تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴ (ص ۶۹۴-۶۸۵)

ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری

منا گلابی[1*] و عبدعلی ناصری[2]

۱. استادیار دانشکدهٔ مهندسی و علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استاد دانشکدهٔ مهندسی و علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت : ۱۳۹۴/۳/۷ – تاریخ تصویب ۱۳۹۴/۴/۲۳)

چکیده

در سال‌های اخیر مدل‌های متعددی جهت روابط آب و خاک و گیاه ارائه‌شده است. یکی از آن‌ها مدل AquaCrop است که در تحقیق حاضر به‌منظور پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری در جنوب خوزستان استفاده شده است. به منظور دستیابی به برخی ضرایب ورودی مورد نیاز ابتدا کالیبره‌شدن انجام شد. مدل نسبت به پوشش کانوپی اولیه در زمان تکمیل ۹۰ درصد سبزشدن (CC_0)، حداکثر کانوپی گیاهی (CC_x) و شاخص برداشت (HI) کالیبره شد. این ضرایب به‌ترتیب ۷/۲ سانتی‌مترمربع، ۹۰ درصد و ۴۰ درصد به‌دست آمد. سپس، مدل اجرا و مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده با استفاده از شاخص‌های آماری مقایسه شد. ضریب تعیین بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شدهٔ عملکرد ۰/۹۷، میانگین مربعات خطای نرمال‌شده ۸ درصد، معیار کارایی نش- ساتکلیف ۰/۸۳ و ضریب باقیمانده ۰/۰۹- برآورد شد. به‌طورکلی، می‌توان گفت مدلAquaCrop توانایی مناسبی در شبیه‌سازی میزان عملکرد تحت تنش شوری دارد. همچنین، مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل بیش از مقدار واقعی برآورد شده است. ضریب تعیین مدل در شبیه‌سازی شوری پروفیل خاک بیش از ۸۰ درصد به‌دست آمد و نحوهٔ قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده نسبت به خط ۱:۱ بیانگر برآورد بیشتر مدل AquaCrop است.

کلید واژگان: تنش شوری، مدل AquaCrop، نیشکر.

مقدمه

از روش‌های نوین کشاورزی پرکاربرد در دههٔ اخیر در کارهای پژوهشی، بهینه‌سازی، مدیریت کشاورزی، ارتقای بهره‌وری منابع، به‌خصوص منابع آب‌وخاک، استفاده از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی است. به دلیل اینکه فاکتورهای مؤثر بر سیستم تولید محصولات زراعی و ستاده‌های بخش کشاورزی متعدد است و حتی این فاکتورها گاهی اثر متقابل بر یکدیگر دارند، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سیستم تولید محصولات زراعی قدمی اساسی و صحیح در امر مدیریت و تصمیم‌گیری زراعی است (Liu *et al*., 2007).

اصولاً ساده‌سازی سیستم‌های پیچیده به‌طور منظم به‌صورت مدل، روش مناسبی است، زیرا به‌کاربردن روش قدیمی آزمون و خطا و روش درنظرگرفتن راه‌حل برای مشکل اطمینان‌بخش نیست. به کمک مدل، اجزای سیستم و آثار متقابل آن‌ها شناخته شده و این آثار به صورت کمّی و با فرمول‌های ریاضی بیان می‌شود (Maymandinezhad, 1999).

از مدل‌های شبیه‌ساز می‌توان به عنوان ابزاری با قابلیت‌های متفاوت برای ارزیابی مدیریت آبیاری در سطوح مختلف حوضه، شبکهٔ آبیاری و مزارع استفاده کرد و تأثیر شرایط پیچیدهٔ مدیریت آبیاری را ارزیابی کرد. همچنین، از این مدل‌ها می‌توان برای بررسی آثار درازمدت تغییرات کمّی و کیفی آب آبیاری بر محصول، شوری خاک، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی و رواناب سطحی استفاده کرد (Droogers, 2000; Droogers and Kite, 2001).

در سال‌های اخیر، مجموعه‌ای از مدل‌ها برای پیش‌بینی آثار طولانی‌مدت آب زیرزمینی، شاخص شوری منطقهٔ ریشه، شوری‌زدایی پروفیل خاک با زهکشی، کیفیت آب زیرزمینی و زهکشی، انتقال مؤثر املاح، نیاز آبی محصول و مدل‌های واکنش محصول به‌منظور شبیه‌سازی محصول تولیدی توسعه یافته است. یکی از این مدل‌ها AquaCrop است که سازمان خواربار جهانی آن را توسعه داد. این مدل قادر است عملکرد محصولات مختلف را شبیه‌سازی کند. نسخهٔ اولیهٔ این مدل در سال ۲۰۰۷ ارائه شد که در آن تأثیر تنش شوری بر عملکرد دیده نشده بود. در نسخهٔ چهار که در سال ۲۰۱۲ معرفی شد، مدل توسعه و

* نویسنده مسئول: mona_golabi@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

تأثیر تنش شوری و انتقال املاح در نیمرخ خاک نیز در نظر گرفته شد (Reas *et al*., 2012).

اکثر تحقیقات دربارهٔ این مدل در وضعیت بدون شوری منابع آب و خاک بوده و عمدتاً برای شبیه‌سازی کم‌آبیاری و عملکرد محصول صورت گرفته است. از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینهٔ مدل AquaCrop می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Iqbal و همکاران (2014) به منظور بررسی عملکرد مدل AquaCrop برای گندم زمستانه، مطالعه‌ای در دشت شمالی چین انجام دادند و آزمایش‌های مزرعه‌ای در ایستگاه لانچنگ در سال ۱۹۹۸-۲۰۰۱ تحت کم‌آبیاری اجرا شد و مدل AquaCrop با بخشی از تیمارها، واسنجی و با دستهٔ دیگر اعتبارسنجی شد. مدل AquaCrop با داده‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ عملکرد دانه و با در نظر گرفتن شرایط واقعی مزرعه در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ اعتبارسنجی مجدد شد. به‌طورکلی، در اعتبارسنجی مدل، ریشهٔ میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ۰/۵۸ تن در هکتار، بیوماس ۰/۸۷ تن در هکتار، تبخیر و تعرق واقعی ۳۳/۲ میلی‌متر و رطوبت حجمی خاک ۳۷/۶-۲۴/۵ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop مدلی اطمینان‌بخش برای شبیه‌سازی تولید عملکرد در دشت شمالی چین است.

Hsiao و همکاران (2009) در بررسی پارامتری‌کردن و آزمون مدل روی گیاه ذرت در مزارع دیویس ایالت کالیفرنیا، بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده را ۲۲ درصد در تودهٔ گیاهی و ۲۴ درصد در دانهٔ تولیدی اعلام کردند.

Garcia-Vila و همکاران (2009) مدل AquaCrop را برای بهینه‌کردن مقدار آبیاری پنبه در جنوب اسپانیا به‌کار بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل مذکور عملکرد، تودهٔ گیاهی و کارایی مصرف آب را برای پنبه با ضریب تعیینی بیش از ۹۰ درصد شبیه‌سازی کرد. هم‌چنین، دقت مدل در برآورد تودهٔ گیاهی نسبت به سایر پارامترها بالاتر بود.

Farahani و همکاران (2009)در ارزیابی مدل AquaCrop برای پنبه تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در منطقهٔ گرم و خشک سوریه نشان دادند که مدل مذکور تبخیر- تعرق را با خطای ۱۳ درصد و مقدار محصول در شرایط کم‌آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد را با خطای ۳۲ درصد برآورد می‌کند.

Khalili و همکاران (2014) در شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل AquaCrop در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سیساب خراسان شمالی نشان دادند که مدل با دقت بالایی قابلیت مدلسازی عملکرد محصول را در شرایط دیم داراست، به‌طوری‌که ضریب تعیین، میانگین مجذور مربعات خطای استاندارد و نرمال‌شده، راندمان مدل و شاخص توافق بین عملکرد دانهٔ اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۰۶۲، ۵/۲۳۵، ۰/۹۱۷ و ۰/۸۷۷ به‌دست آمد.

Khorsand و همکاران (2014) عملکرد مدل AquaCrop را در پیش‌بینی عملکرد دو رقم گندم روشن و قدس، رطوبت و شوری نیمرخ خاک تحت تنش شوری و کم‌آبی در منطقهٔ بیرجند ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند که مدل در پیش‌بینی عملکرد برای ارقام روشن و قدس دارای متوسط خطای نسبی ۲/۹۸ و ۴/۸۲ درصد است. در پیش‌بینی شوری عصارهٔ اشباع در مقایسه با رطوبت خاک خطای بیشتری نشان داد.

با توجه به سطح زیر کشت نیشکر در استان خوزستان، در تحقیق حاضر مقایسهٔ بین عملکرد اندازه‌گیری‌شدهٔ نیشکر تحت تنش شوری با مقادیر شبیه‌سازی‌شدهٔ مدل AquaCrop با استفاده از شاخص‌های آماری بررسی شد. همچنین، پروفیل شوری خاک با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده و مقایسهٔ آن با پروفیل به‌دست‌آمده از مدل تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

در تحقیق حاضر، از داده‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ رسالهٔ دکتری استفاده شده که از شهریور ۱۳۸۶تا آذر ۱۳۸۷ در مزرعهٔ آزمایشی مرکز تحقیقات شرکت کشت‌وصنعت نیشکر و صنایع جانبی اهواز انجام گرفت (Golabi, 2009). این مرکز در ۴۰ کیلومتری جنوب اهواز، غرب رودخانهٔ کارون و شرق جادهٔ اهواز- خرمشهر و در طول جغرافیایی "۱۲ °۴۸ و عرض جغرافیایی "۱۵ °۳۱ تا "۴۰ °۳۱ جنب ایستگاه اصلی پمپاژ آب کشت‌وصنعت امیر کبیر قراردارد. منطقهٔ محل اجرای طرح از لحاظ جغرافیایی در پایین‌ترین قسمت دشت آبرفتی رودخانهٔ کارون قراردارد و دارای آب‌وهوای خشک است. در تقسیم‌بندی اقلیمی به روش گوسن جزء اقلیم نیمه‌بیابانی است. این منطقه بارندگی تابستانه ندارد و بیشترین بارندگی در زمستان و فصل سرد انجام می‌گیرد. در تقسیم‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه جزء اقلیم بیابانی گرم میانه است. شکل ۱ موقعیت مکانی منطقهٔ مورد مطالعه و جدول ۱ شرایط آب‌وهوایی محل تحقیق را نشان می‌دهد.

با هدف تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت، اواخر مرداد ماه ۱۳۸۶، ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و از پنج نقطهٔ زمین (به شکل W) از اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری انجام گرفت. از نمونه‌های برداشت‌شده نمونهٔ

Archive of SID
www.SID.ir

مرکبی تهیه شد. بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه مرکز تحقیقات شرکت کشت‌وصنعت نیشکر، بافت، اسیدیته، هدایت الکتریکی، وزن مخصوص ظاهری، آنیون‌ها و کاتیون‌های نمونهٔ مرکب اندازه‌گیری شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری از هر لایهٔ خاک نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از استوانه‌های نمونه‌برداری تهیه و جرم مخصوص ظاهری هر نمونه تعیین شد. نتایج آنالیز نمونه‌های خاک در جدول ۲ آمده است.

شکل ۱. موقعیت مکانی منطقهٔ مورد مطالعه

جدول ۱. آمار میانگین ماهانهٔ پارامترهای هواشناسی ایستگاه مرکز تحقیقات نیشکر در طول دورهٔ تحقیق

ماه	میانگین درجهٔ حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین درجهٔ حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	کمترین درجهٔ حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	میانگین درجهٔ حرارت حداکثر (سانتی‌گراد)	بیشترین درجهٔ حرارت حداکثر (سانتی‌گراد)	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	متوسط تبخیر روزانه (میلی‌متر)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)
شهریور	۳۴/۳۰	۲۳/۹۰	۱۸/۵۰	۴۴/۸۰	۴۸/۴۰	۳۳/۹۰	۱۳/۶۰	۲/۷۰	۰/۰۰
مهر	۲۹/۲۰	۱۹/۸۰	۱۶/۵۰	۳۸/۶۰	۴۳/۴۰	۴۳/۷۰	۸/۵۰	۲/۰۰	۰/۰۰
آبان	۲۳/۰۰	۱۴/۳۰	۸/۴۰	۳۱/۷۰	۳۶/۶۰	۴۵/۱۰	۵/۶۰	۲/۰۰	۰/۰۰
آذر	۱۵/۰۰	۹/۱۰	۱/۲۰	۲۱/۰۰	۲۵/۴۰	۶۳/۶۰	۲/۷۰	۲/۵۰	۳۴/۴۰
دی	۸/۸۰	۳/۲۰	-۱/۲۰	۱۴/۵۰	۲۲/۴۰	۶۸/۶۰	۱/۷۰	۲/۰۰	۳۱/۰۰
بهمن	۱۱/۹۰	۶/۲۰	۰/۵۰	۱۷/۶۰	۲۴/۶۰	۶۵/۹۰	۲/۶۰	۲/۲۰	۱۸/۰۰
اسفند	۱۷/۶۰	۹/۸۰	۱/۵۰	۲۵/۴۰	۳۳/۰۰	۵۰/۰۰	۵/۳۰	۲/۴۰	۲/۷۰
فروردین	۲۴/۶۰	۱۶/۱۰	۱۱/۰۰	۳۳/۰۰	۳۸/۸۰	۴۵/۱۰	۸/۱۰	۲/۴۰	۰/۰۰
اردی بهشت	۳۰/۰۰	۲۱/۵۰	۱۶/۲۰	۳۸/۵۰	۴۳/۴۰	۲۸/۵۰	۱۰/۹۰	۲/۱۰	۰/۰۰
خرداد	۳۳/۷۰	۲۴/۸۰	۱۹/۲۰	۴۲/۵۰	۴۶/۸۰	۲۳/۵۰	۱۵/۷۰	۳/۰۰	۰/۰۰
تیر	۳۵/۹۰	۲۶/۶۰	۲۰/۸۰	۴۵/۳۰	۴۸/۲۰	۲۳/۹۰	۱۴/۹۰	۲/۳۰	۰/۰۰
مرداد	۳۷/۰۰	۲۷/۶۰	۲۳/۸۰	۴۶/۳۰	۵۰/۲۰	۲۹/۱۰	۱۳/۹۰	۲/۱۰	۰/۰۰
شهریور	۳۵/۱۰	۲۶/۱۰	۲۰/۴۰	۴۴/۱۰	۴۸/۴۰	۴۴/۵۰	۹/۲۰	۱/۷۰	۰/۱۰
مهر	۲۸/۶۰	۱۹/۱۰	۱۴/۴۰	۳۸/۰۰	۴۲/۰۰	۴۰/۰۰	۷/۴۰	۱/۶۰	۰/۰۰
آبان	۲۰/۱۰	۱۳/۲۰	۶/۴۰	۲۶/۹۰	۳۵/۵۰	۵۹/۵۰	۳/۴۰	۱/۴۰	۰/۶۰
آذر	۱۴/۶۰	۷/۹۰	-۰/۲۰	۲۱/۳۰	۲۷/۰۰	۶۵/۱۰	۲/۲۰	۱/۵۰	۱/۳۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. ویژگی‌های خاک مزرعهٔ طرح

عمق نمونه	EC (dS/m)	pH	وزن ظاهری (gr/cm^3)	مخصوص	درصد رطوبت اشباع	درصد رطوبت حجمی ظرفیت زراعی	درصد رطوبت حجمی نقطهٔ پژمردگی	بافت
۰-۳۰	۲/۳۵	۷/۸۸	۱/۵۴		۴۴	۲۰	۸/۳	Sandy Loam
۳۰-۶۰	۲/۱۰	۷/۹۴	۱/۵۵		۵۰	۳۶/۵	۱۹/۳	Sandy Clay Loam
۶۰-۹۰	۲/۲۱	۷/۹۴	۱/۵۵		۵۰	۳۶/۱	۱۹/۲	Sandy Clay Loam

اصلی‌ترین هدف این پژوهش ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری است. بدین منظور از لذا چهار سطح آب با هدایت‌های الکتریکی مختلف جهت آبیاری استفاده شد. چهار سطح آب مورد استفاده عبارت است از آب معمول آبیاری منطقه (آب رودخانه)، هدایت الکتریکی ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر. به منظور تهیهٔ آب با هدایت الکتریکی ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر زه‌آب‌های شرکت کشت‌وصنعت امیرکبیر با آب معمولی مخلوط شد. بدین منظور زه‌آب با هدایت الکتریکی بالا از شرکت با تانکری نزدیک زمین طرح منتقل و برای هر بار آبیاری با آب معمول منطقه مخلوط و هدایت الکتریکی مورد نظر تهیه می‌شد. به منظور آگاهی از کیفیت آب آبیاری کاربردی آنالیز کامل فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری انجام گرفت. نتایج حاصل در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۳. تجزیهٔ آب تهیه‌شده برای آبیاری (زه‌آب رقیق‌شده)

شمارهٔ نمونه	EC (dS/m)	pH	مجموع مواد محلول TDS (mg/l)	نسبت جذب سدیم SAR	آنیون‌ها (meq/l)			کاتیون‌ها (meq/l)				طبقه‌بندی Classification
					کربنات Co_3^{2-}	بی‌کربنات HCo_3^-	کلر Cl^-	سولفات SO_4^{2-}	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	منیزیم Mg^{2+}	کلسیم Ca^{2+}	
S_2	۳/۰۰	۷/۷۵	۱۱۲۵	۹/۱۵	۰/۰۰	۳/۶۰	۳۰/۰۴	۱۳/۶۰	۲۴/۱۰	۰/۱۵	۸/۵۰	۵/۳۸	C_4S_3
S_3	۴/۵۰	۷/۸۴	۱۵۰۰	۹/۲۷	۰/۰۰	۳/۹۰	۴۵/۳۹	۱۷/۲۰	۲۵/۹۴	۰/۱۷	۸/۷۳	۶/۹۳	C_4S_3
S_4	۶/۰۰	۷/۷۸	۲۰۰۰	۹/۹۳	۰/۰۰	۴/۰۰	۶۰/۴۱	۱۹/۰۶	۲۹/۳۴	۰/۲۱	۹/۶۰	۷/۸۷	C_4S_4

جدول۴. آنالیز آب معمولی (S_1) استفاده‌شده در طول فصل رشد (شهریور ۱۳۸۶ تا آبان ۱۳۸۷)

ماه	EC (dS/m)	pH	مجموع مواد محلول TDS (mg/l)	نسبت جذب سدیم SAR	آنیون‌ها (meq/l)			کاتیون‌ها (meq/l)				طبقه‌بندی Classification
					کربنات Co_3^{2-}	بی‌کربنات HCo_3^-	کلر Cl^-	سولفات SO_4^{2-}	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	منیزیم Mg^{2+}	کلسیم Ca^{2+}	
شهریور	۱/۵۲	۸/۰۳	۱۲۰۰	۷/۵۰	۰/۰۰	۳/۲۰	۲۳/۴۳	۷/۰۰	۱۴/۰۰	۰/۱۲	۴/۰۰	۳/۰۰	C_3S_1
مهر	۱/۸۸	۷/۶۷	۱۰۰۰	۴/۳۰	۰/۰۰	۳/۲۰	۲۲/۰۳	۱۱/۰۰	۹/۰۰	۰/۱۰	۴/۲۰	۴/۴۰	C_3S_1
آبان	۱/۸۹	۷/۹۰	۱۲۰۰	۴/۳۰	۰/۰۰	۳/۲۰	۲۲/۹۴	۵/۳۰	۹/۳۰	۰/۱۱	۳/۸۰	۵/۶۰	C_3S_1
آذر	۱/۶۰	۷/۸۰	۸۰۰	۵/۲۰	۰/۰۰	۲/۵۰	۲۱/۰۵	۱۱/۰۰	۱۱/۱۰	۰/۱۱	۳/۹۰	۵/۱۰	C_3S_1
دی	۱/۵۰	۷/۲۷	۸۰۰	۲/۵۰	۰/۰۰	۳/۰۰	۱۹/۹۷	۱۰/۷۰	۷/۳۰	۰/۱۰	۱۳/۰۰	۴/۰۰	C_3S_1
بهمن	۱/۴۰	۷/۶۷	۱۰۰۰	۵/۴۵	۰/۰۰	۳/۳۰	۱۸/۴۱	۸/۶۰	۱۰/۸۱	۰/۱۰	۲/۱۰	۵/۷۰	C_3S_1
اسفند	۱/۸۵	۷/۸۹	۱۲۰۰	۵/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰	۲۴/۰۹	۶/۰۰	۱۰/۰۰	۰/۱۱	۳/۰۰	۵/۰۰	C_3S_2
فروردین	۲/۱۱	۸/۰۴	۸۰۰	۶/۰۰	۰/۰۰	۳/۰۰	۲۴/۲	۶/۶۰	۱۳/۵۰	۰/۱۰	۵/۶۰	۴/۶۰	C_3S_2
اردی بهشت	۲/۳۲	۷/۸۳	۱۲۰۰	۲/۹۰	۰/۰۰	۵/۰۰	۲۴/۸۶	۸/۰۰	۶/۶۰	۰/۱۱	۵/۶۵	۵/۱۰	C_4S_1
خرداد	۲/۷۳	۷/۹۱	۱۶۰۰	۶/۲۰	۰/۰۰	۳/۰۰	۲۵/۸۳	۸/۰۰	۱۳/۵۰	۰/۱۲	۴/۴۰	۵/۰۰	C_4S_2
تیر	۲/۲۹	۷/۸۴	۱۲۰۰	۶/۹۰	۰/۰۰	۲/۶۰	۲۶/۸۸	۶/۶۰	۱۵/۵۰	۰/۱۲	۴/۸۰	۵/۴۰	C_4S_2
مرداد	۲/۴۰	۸/۳۳	۱۶۰۰	۶/۴۰	۰/۰۰	۲/۲۰	۲۹/۳	۶/۴۰	۱۵/۴۰	۰/۱۳	۶/۴۰	۵/۴۰	C_4S_2
شهریور	۳/۱۶	۸/۲۲	۱۶۰۰	۷/۵۰	۰/۰۰	۳/۲۰	۲۷/۰۷	۱۱/۰۰	۱۸/۲۰	۰/۱۳	۶/۲۰	۵/۶۰	C_4S_2
مهر	۲/۳۴	۸/۱۴	۱۶۰۰	۷/۳۰	۰/۰۰	۲/۸۰	۲۶/۷۳	۹/۳۰	۱۸/۰۰	۰/۱۱	۵/۸۰	۶/۲۰	C_4S_2
آبان	۲/۳۱	۷/۶۴	۱۵۰۰	۷/۹۰	۰/۰۰	۳/۸۰	۲۸/۰۹	۶/۴۰	۱۸/۸۰	۰/۱۱	۵/۶۰	۵/۶۰	C_4S_2

Archive of SID

www.SID.ir

در این پژوهش هدف اصلی بررسی آثار چهار سطح کیفیت آب از نظر شوری بر عملکرد سه واریتهٔ نیشکر CP48-103، IRC99-01 و CP57-614 و شوری پروفیل خاک است که در تحقیق حاضر نتایج ارزیابی بر واریتهٔ CP57-614 به دلیل عملکرد مناسب در سال اول و سطح زیر کشت ۳۰ درصدی ارائه شده است.

تشریح مدل، فرضیه‌ها و معادلات حاکم بر مدل AquaCrop

اساس تخمین عملکرد محصول در مدل AquaCrop رابطهٔ Doorenbos and Kassam است که در شمارهٔ ۳۳ *نشریهٔ آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار جهانی (فائو)* ارائه شده است. با اعمال اصلاحاتی در آن از جمله تفکیک تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر از سطح خاک و تعرق، همچنین درنظرگرفتن بیوماس، شاخص برداشت و ضریب تنظیم شاخص برداشت استفاده شده است (رابطه‌های ۱ و۲) (Reas *et al*., 2012).

$$(1-\frac{Y}{Y_X})=K_y\,(1-\frac{ET}{ET_X}) \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

که در آن Yx حداکثر عملکرد، Y عملکرد واقعی، ETX حداکثر تبخیر و تعرق، ET تبخیر و تعرق واقعی و Ky فاکتور تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی است.

$$Y=f_{HI}\times HI_{.}\times B \qquad \text{(رابطهٔ ۲)}$$

که در آن Y عملکرد، f_{HI} ضریب تنظیم‌کنندهٔ شاخص برداشت مرجع است که به کمبود آب، درجهٔ حرارت هوا، زمان و شدت تنش در طول چرخهٔ رشد بستگی دارد. HI_o شاخص برداشت مرجع طی مرحلهٔ بلوغ فیزیولوژیکی و B بیوماس است.

چشم‌پوشی از آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی از فرضیه‌های حاکم بر مدل AquaCrop است.

داده‌های ورودی مورد نیاز مدل

ورودی‌های مدل شامل چهار دسته اطلاعات هواشناسی، گیاه، مدیریتی و خاک است. جدول ۵ فهرست داده‌های مورد نیاز هر بخش را نشان می‌دهد.

جدول۵. داده‌های ورودی مورد نیاز مدل AquaCrop

ورودی‌های مدل AquaCrop			
داده‌های هواشناسی	داده‌های مربوط به گیاه	داده‌های مدیریتی	داده‌های خاک
حداقل دما	پارامترهای ثابت	مدیریت آبیاری	بافت خاک
حداکثر دما	پارامترهای ویژهٔ کاربر	مدیریت زراعی	تعداد لایه‌های خاک
بارش			هدایت هیدرولیکی اشباع
تبخیر و تعرق روزانهٔ گیاه مرجع			رطوبت حجمی در حد اشباع
غلظت دی‌اکسید کربن موجود در جو			ظرفیت زراعی
			نقطهٔ پژمردگی

داده‌های مربوط به حداقل و حداکثر دمای هوا و بارش از ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات نیشکر در طول دورهٔ تحقیق اخذ شد. به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق روزانهٔ گیاه از داده‌های طشت تبخیر ایستگاه هواشناسی استفاده شد. میزان دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر در مدل به صورت پیش‌فرض از سال ۱۹۰۲ تا ۲۰۹۹ موجود است.

داده‌های گیاهی مورد نیاز مدل شامل پارامترهای ثابت و ویژهٔ کاربر است. مقادیر پارامترهای گیاهی ثابت با گذشت زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کند و برای گیاهان زراعی مهم به منزلهٔ پیش‌فرض در مدل وجود دارد. علاوه‌بر پارامترهای ثابت، برخی دیگر اطلاعات مورد نیاز برای اجرای شبیه‌سازی، به گونه و محصول زراعی بستگی دارد یا طبق شرایط مدیریتی و محیطی مختلف، مقادیر متفاوتی را داراست که پارامترهای مخصوص کاربر نامیده می‌شود. از جملهٔ این پارامترها می‌توان تاریخ و تراکم کشت، زمان رسیدن مراحل فنولوژیکی گیاه و حداکثر عمق ریشه را نام برد که برای هر ناحیه و محصول با توجه به شرایط خاص خود متغیر است و کاربر تعیین می‌کند. در پژوهش حاضر، دورهٔ شبیه‌سازی معادل با طول دورهٔ رشد گیاه یعنی از اواسط مرداد تا حدود آخر دی در نظرگرفته شد.

ارزیابی مدل AquaCrop

برای سنجش اعتبار و درستی نتایج شبیه‌سازی مدل از آماره‌های ضریب تعیین[1] (R^2)، میانگین مربعات خطای نرمال‌شده[2] (NRMSE)، معیار کارایی نش- ساتکلیف[3] (NSE) و ضریب باقی‌مانده[4] (CRM) استفاده شد. فرمول‌های این آماره‌ها

1. Coefficient of determination
2. Normal Root Mean Square Error
3. Nash-Sutcliffe Efficiency
4. Coefficient of residual mass

Archive of SID
www.SID.ir

به صورت زیر است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - \overline{O}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}\right)^2} \quad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

$$NRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{1/2} \times \frac{100}{\overline{O}} \quad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad \text{(رابطهٔ ۵)}$$

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

در فرمول‌های ارائه‌شده P_i مقادیر پیش‌بینی‌شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری‌شده، n تعداد نمونه‌ها و $\overline{O}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری‌شده با هم برابر شود، مقدار عددی NRMSE و CRM برابر صفر و مقدار R^2 و NSE برابر ۱ خواهد شد (Moriasi *et al*., 2007).

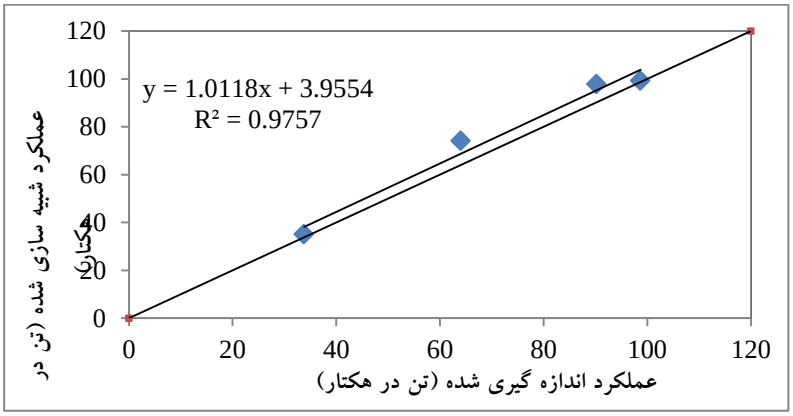
نتایج و بحث

به منظور شبیه‌سازی میزان عملکرد و پروفیل شوری خاک ابتدا مدل نسبت به پارامترهای گیاهی به‌کاررفته در مدل AquaCrop کالیبره شد. هدف از کالیبره‌کردن مدل تنظیم ورودی‌های گیاهی مدل جهت استفاده در مرحلهٔ صحت‌سنجی یا اعتبارسنجی است. جدول ۶ نتایج مرحلهٔ کالیبره‌کردن را نشان می‌دهد.

پس از کالیبره‌کردن، شبیه‌سازی میزان عملکرد و شوری خاک با مدل انجام گرفت. نتیجهٔ مربوط به صحت‌سنجی مدل نسبت به عملکرد در شکل ۲ و آماره‌های مورد محاسبه در جدول ۷ آمده است.

جدول ۶. پارامترهای گیاهی به‌کاررفته در مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد نیشکر

پارامتر گیاهی	مقدار	واحد	روش تعیین
دمای پایهٔ T_{base}	۹	^oC	پیش فرض
دمای بالا T_{upper}	۳۲	^oC	پیش فرض
پوشش کانوپی اولیه در زمان تکمیل ۹۰ درصد سبزشدن CC_0	۷/۲۰	cm^2	واسنجی
ضریب رشد کانوپی CGC	۰/۱۲۵	%/day	پیش فرض
حداکثر کانوپی گیاهی CC_x	۹۰	%	واسنجی
ضریب کاهش کانوپی CDC	۰/۰۷۶	%/day	پیش فرض
شاخص برداشت HI	۴۰	%	واسنجی
بهره‌وری آب نرمال‌شده WP	۳۰	gr/m^2	پیش فرض
ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل $K_{cTr,x}$	۱/۱۰	-	پیش فرض
آستانهٔ بالای تخلیهٔ رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی P_{upper}	۰/۵۵	-	پیش فرض
آستانهٔ پایین تخلیهٔ رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی P_{lower}	۰/۲۵	-	پیش فرض
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای گسترش کانوپی	۳	-	پیش فرض
آستانهٔ بالای ضریب تخلیهٔ رطوبتی خاک برای کنترل روزنه‌ها	۰/۵	-	پیش فرض
فاکتورشکل ضریب تنش آبی خاک برای کنترل روزنه‌ها	۳	-	پیش فرض



شکل ۲. مقایسهٔ مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شدهٔ عملکرد نیشکر

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷. آماره‌های محاسبه‌شده برای ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد نیشکر

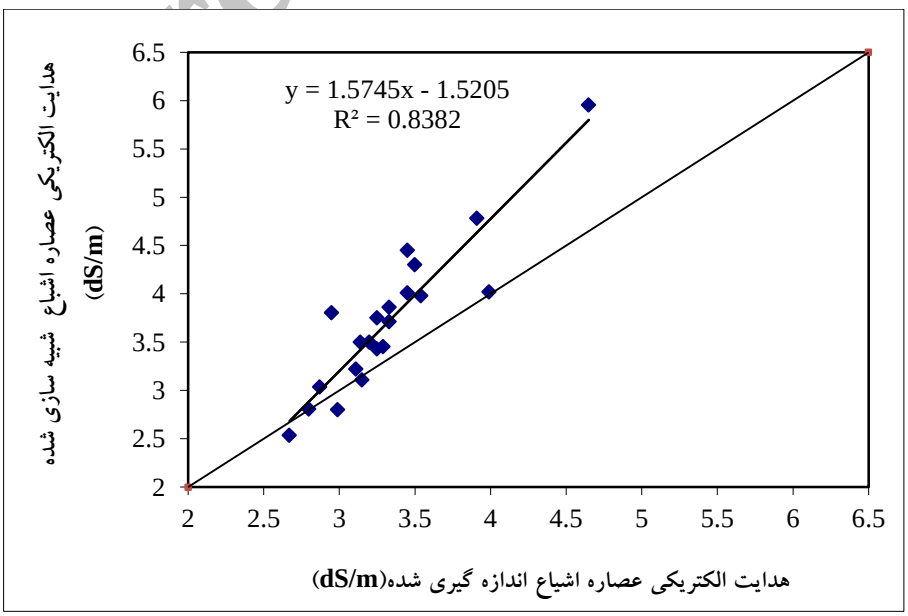
نوع آماره	مقدار عددی
R^2	۰/۹۷
NRMSE	۰/۰۸
NSE	۰/۸۳
CRM	-۰/۰۹

مطابق شکل ۲ و جدول ۷ آمارهٔ R^2 که نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری نشان می‌دهد، ۰/۹۷ به‌دست آمد که توانایی مناسب مدل را در شبیه‌سازی میزان عملکرد تحت تنش شوری نشان می‌دهد. مقدار NRMSE در حالت ایده‌آل ۱۰ درصد، در بازهٔ ۱۰ تا ۲۰ بیانگر عملکرد مناسب، ۲۰-۳۰ درصد بیانگر عملکرد متوسط و بیش از ۳۰ درصد بیانگر عملکرد نامناسب مدل است. در مدل‌سازی صورت‌گرفته این پارامتر ۸ درصد به‌دست آمده که نشان‌دهندهٔ عملکرد ایده‌آل مدل است. شاخصNSE شاخصی بدون بعد است که به ۱ ختم می‌شود (از منفی بی‌نهایت تا ۱). وقتی مقدار این شاخص برابر با ۱ شد، بدین معناست که مدل کاملاً با واقعیت تطابق دارد. در این بررسی مقدار معیار کارایی نش-ساتکلیف ۰/۸۳ به‌دست آمد که بیانگر تطابق مناسب مدل با واقعیت است. ضریب باقیمانده در این مقاله ۰/۰۹- حاصل شد.

مقادیر مثبت این شاخص برآورد کمتر و مقادیر منفی برآورد بیشتر مدل را نشان می‌دهد. نتایج حاصل در این قسمت با نمودارها کاملاً تطابق دارد.

به‌طورکلی، می‌توان بیان کرد که مدل AquaCrop توانایی مناسبی در شبیه‌سازی میزان عملکرد تحت تنش شوری دارد. از این لحاظ (پیش‌بینی بیشتر از مقدار واقعی مدل)، نتایج این بررسی مشابه تحقیق Khorsand و همکاران (2014) در خصوص گندم است. آن‌ها نشان دادند که مدل میزان عملکرد گندم را بیش از مقدار واقعی برآورد می‌کند. این در حالی است که Farahani و همکاران (2009) در مورد کتان در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری میزان عملکرد شبیه‌سازی شده را کمتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده به دست آوردند. همچنین، Hsiao و همکاران (2009) طی تحقیقی دربارهٔ ذرت با رژیم‌های مختلف آبیاری با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۹۷۴، ۱۹۸۹، ۱۹۹۰، ۱۹۹۴، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ به این نتیجه رسیدند که روند عملکرد شبیه‌سازی‌شده نسبت به عملکرد اندازه‌گیری‌شده منظم نیست؛ بدین معنا که در برخی سال مقدار شبیه‌سازی بیش از اندازه‌گیری و برعکس بوده است. صرف‌نظر از مورد ذکرشده مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی عملکرد از خود نشان داده است.

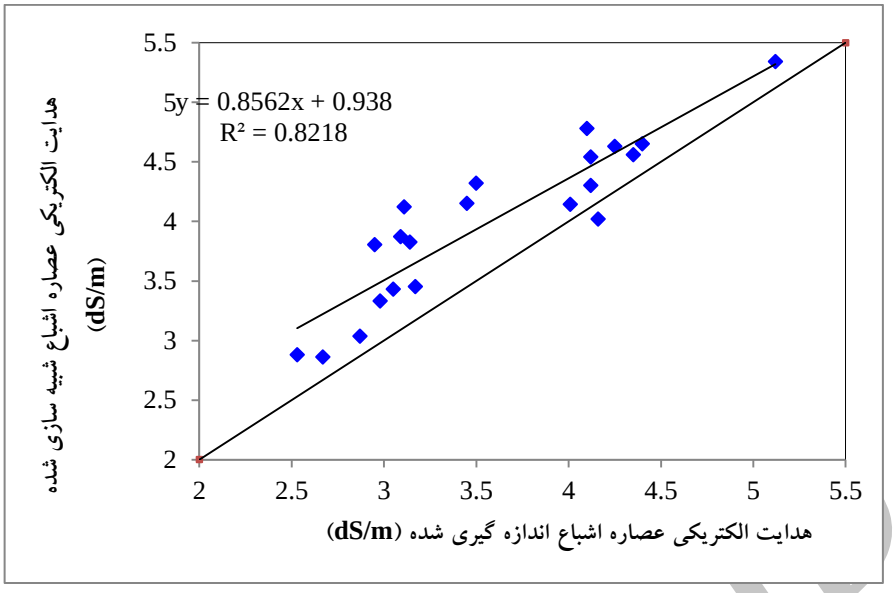
پس از بررسی عملکرد شوری شبیه‌سازی‌شده بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی شوری در شکل‌های ۳ تا ۶ آمده است.



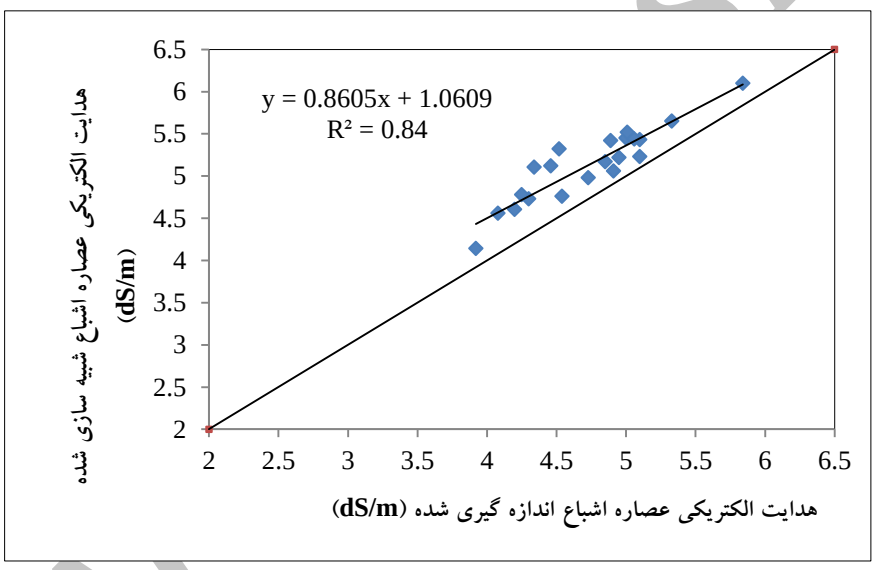
شکل ۳. مقایسهٔ عصارهٔ اشباع شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده به ازای سطح شوری S_1

Archive of SID

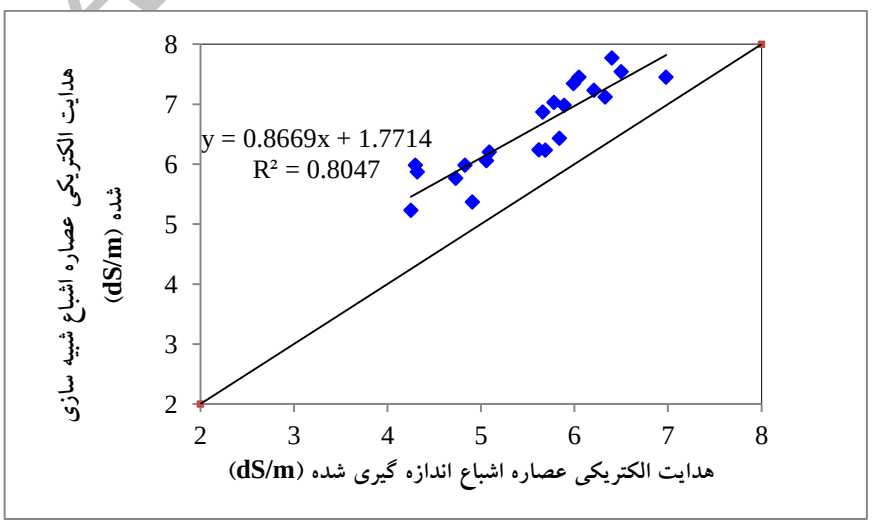
www.SID.ir



شکل ۴. مقایسهٔ عصارهٔ اشباع شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده به ازای سطح شوری S_2



شکل ۵. مقایسهٔ عصارهٔ اشباع شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده به ازای سطح شوری S_3



شکل ۶. مقایسهٔ عصارهٔ اشباع شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده به ازای سطح شوری S_4

www.SID.ir

جدول ۸. آماره‌های محاسبه‌شده برای ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پروفیل شوری

نوع آماره	S_1	S_2	S_3	S_4
R^2	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۰
NRMSE	٪۷/۰	٪۷/۰	٪۸/۰	٪۶/۵
NSE	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۷۰
CRM	−۰/۰۷	−۰/۰۷	−۰/۰۸	−۰/۰۶

مطابق شکل‌ها و جدول مذکور، مدل در شبیه‌سازی شوری پروفیل خاک نیز دارای توانایی قابل‌قبولی است، زیرا ضریب تعیین بیش از ۸۰ درصد به‌دست آمده است. برای هر یک از نمودارهای فوق خط ۱:۱ ترسیم شد. نحوهٔ قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده نسبت به خط مذکور بیش از مقدار یا کمتر برآوردکردن مدل را نشان می‌دهد. در چهار شکل فوق هدایت الکتریکی بالای خط ۱:۱ قراردارد که بیانگر برآورد بیشتر مدلAquaCrop است. همچنین، مقدار ضریب باقیماندهٔ منفی به‌دست‌آمده نیز مؤید این مطلب است. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با بررسی Khorsand و همکاران (2014) مغایرت دارد. دلیل آن را هم به بررسی اثر توأم شوری و کم‌آبیاری در تحقیق Khorsand و همکاران (2014) می‌توان مرتبط دانست.

نتیجه‌گیری

در مقالهٔ حاضر از مدل AquaCrop به منظور پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری استفاده شد. بدین منظور از داده‌های هواشناسی، گیاه، خاک و مدیریتی به عنوان ورودی استفاده شد و نتایج زیر به صورت خلاصه به‌دست آمد.

پوشش کانوپی اولیه در زمان تکمیل ۹۰٪ سبزشدن CC_0، در شرایط تحقیق ۷/۲ سانتی‌مترمربع در مرحلهٔ واسنجی به‌دست آمد. این در حالی است که این پارامتر در مدل به صورت پیش‌فرض مقدار ۶/۵ سانتی‌مترمربع است.

حداکثر کانوپی گیاهی CC_x ، در مرحلهٔ واسنجی ۹۰ درصد حاصل شد که مقدار به‌دست‌آمده با مقدار در نظر گرفته‌شده برای نیشکر در مدل ۵ درصد تفاوت دارد.

شاخص برداشت HI نیشکر در مدل ۳۵ درصد در نظر گرفته شده که در مرحلهٔ واسنجی ۴۰ درصد به‌دست آمد.

مدل در شبیه‌سازی میزان محصول و شوری خاک براساس شاخص‌های آماری دقت مناسبی دارد.

در شرایط تحقیق حاضر مدل مقدار محصول و شوری را بیش از مقدار واقعی برآورد کرده است.

به‌طورکلی، می‌توان بیان کرد که مدل AquaCrop در صورتی که دارای ورودی‌های مناسبی باشد و با دقت واسنجی شود نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند.

REFERENCES

Droogers, P and G. Kite, 2001, *Simulation modeling at different scales to evaluated the productivity of water*, J. Physics and Chemistry of the Earth, Vol 26, No. 12, pp. 877-880.

Droogers, P., 2000, Estimating actual evapotranspiration using a detailed agro hydrological model, Journal of Hydrology, Vol 229, pp. 50-58.

Farahani H.J., Izzi G., and Oweis T.Y. 2009. Parameterization and Evaluation of The Aquacrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. Agron. J. 101, 469–476.

Garcia-Vila M., Fereres E., Mateos L., Orgaz F., and Steduto P. 2009. *Deficit Irrigation Optimization of Cotton with Aquacrop.* Agron. J. 101, 477–487.

Golabi, M. (2009), Mathematical modelling of response sugarcane to drain water as irrigation water and application SALTMED model for sugarcane irrigation water management in semi-arid areas. Ph. D. thesis. Shahid Chamran University. (In Farsi)

Hsiao T.C., Hneg L.K., Steduto P., Rojas-Lara B., Raes D. and Fereres E. 2009. Aquacrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Responseto Water: III. Parameterization and Testing for Maiz. Agron. J. 101:448-459.

Iqbal M, Shen Y, Stricevic R, Pei H, Sun H, Amiri E, Penas A and del Rio S (2014). Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. Agricultural Water Management, 135:61-72.

Khalili, N., K, Davari., A, Alizadeh., M, Najafi and H, Ansari. (2014). *Simulation of rainfed wheat yield using AquaCrop model, Case study: Sisab*

Archive of SID

www.SID.ir

rainfed researches station, Northen Khorasan, Journal of Water and Soil, 28 (5), 930-939. (In Farsi)

Khorsand, A., V, Verdinezhad and A, Shahidi. (2014). Evaluation Aquacrop model for simulation wheat yield, moisture and salinity of soil profiles under water and salinity stress, Journal of water and irrigation management, 4(1), 89-104. (In Farsi)

Liu, H. F., M. Genard, S. Guichard and N. Bertin, 2007, *Model assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes*, Journal of Experimental Botany, Vol 58, No. 13, pp. 3567-3580.

Maymandinezhad, M. Ch. (1999). *Ecology foundation*, Tehran University, 808p. (In Farsi)

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations,* Transactions of the ASABE, 50, 885–900.

Raes D, Steduto P, Hsiao TC and Fereres E. (2012). *Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division*, Rome, Italy.

Archive of SID

www.SID.ir