

ارزیابی مدل AquaCrop در برداشت‌های مختلف گیاه یونجه در اردستان

فرشید رضائی^{۱*} - عباس کاویانی^۲ - هادی رضائی اعتدالی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۳۰

چکیده

مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی واکنش محصولات زراعی به مقدار آب مصرفی و مدیریت آبیاری توسعه یافت. سادگی، نیاز به حداقل داده ورودی و دقت قابل قبول مدل از مزایای استفاده گسترده از آن می‌باشد. در این تحقیق به منظور واسنجی و اعتبارسنجی عملکرد از داده‌های مزرعه‌ای تحت کشت یونجه در اردستان استفاده شد. اطلاعات هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک اردستان، کیفیت آب و خاک از نتایج آنالیز آب و خاک مزرعه و تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش فائو-پنمن مانیتیت محاسبه شد. پوشش گیاهی اولیه، پوشش گیاهی بیشینه، عمق توسعه ریشه اولیه، عمق توسعه ریشه بیشینه، ضریب گیاهی، تاریخ‌های جوانه‌زنی، گل‌دهی، حداکثر پوشش گیاهی، شروع پیری پوشش گیاهی و رسیدگی فیزیولوژیک پارامترهای واسنجی شده مدل طی شش سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ بودند. از اطلاعات ۲ مزرعه برای واسنجی و ۲ مزرعه دیگر برای اعتبارسنجی استفاده شد. سپس، عملکرد یونجه طی سال‌های مذکور مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. شاخص‌های ارزیابی مزرعه‌ای شامل ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب باقیمانده (CRM)، و کارایی مدل‌سازی (EF) برای اعتبارسنجی استفاده شدند. CRM مثبت در اغلب نتایج نشان از کم برآورد بودن مدل بود. بیشینه R^2 برابر یک و NRMSE، ۰/۰۴ نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد بود. تبخیر از سطح خاک، تعرق گیاه و تبخیر-تعرق واقعی به وسیله مدل برآورد گردید. مقدار تبخیر طی مدت برداشت محصول ۲۷ تا ۴۷ درصد تبخیر-تعرق بود. مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر-تعرق ($Y ET^{-1}$) ۲۷ تا ۴۴ کمتر از بهره‌وری مبتنی بر تعرق ($Y T^{-1}$) شده است. AquaCrop مدل گیاهی قدرتمند و با ارزشی برای بهبود مدیریت آب در مزرعه و محاسبه بهره‌وری آب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، فائو پنمن مانیتیت، مدل گیاهی، واسنجی

مقدمه

ارزیابی کرد. همچنین، از این مدل‌ها می‌توان برای بررسی آثار درازمدت تغییرات کمی و کیفی آب آبیاری بر محصول، شوری خاک، تبخیر-تعرق، نفوذ عمقی و رواناب سطحی استفاده کرد (۹ و ۱۰). در سال‌های اخیر، مجموعه‌ای از مدل‌ها برای پیش‌بینی آثار طولانی مدت آب زیرزمینی، شاخص شوری منطقه ریشه، شوری زدایی پروفیل خاک با زهکشی، کیفیت آب زیرزمینی، انتقال مؤثر املاح، نیاز آبی محصول و مدل‌های واکنش محصول به منظور شبیه‌سازی محصول تولیدی توسعه یافته است. یکی از این مدل‌ها AquaCrop است که سازمان خواربار جهانی (FAO) آن را توسعه داد. این مدل قادر است عملکرد محصولات مختلف را شبیه‌سازی کند (۲۹).

تاکنون مطالعات بسیاری بر روی مدل AquaCrop انجام گرفته است. از جمله، استدیو و همکاران (۳۴) مشاهده کردند مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی تاج پوشش، افزایش زیست توده و عملکرد دانه برای چهار رقم ذرت در شش فصل کشت متفاوت که دارای تراکم کشت، تاریخ کشت، تاریخ برداشت و نیاز تبخیری متفاوت بودند،

به منظور بهبود مدیریت کشاورزی و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی، شناسایی ارتباط بین پارامترهای هیدرولوژیکی و بیولوژیکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از آنجایی که پارامترهای موثر بر عملکرد محصولات کشاورزی متعدد است و حتی این عوامل گاهی اثر متقابل بر یکدیگر دارند، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد و اجزای عملکرد محصولات کشاورزی قدمی اساسی و صحیح در امر مدیریت و تصمیم‌گیری زراعی است (۲۴).

از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به عنوان ابزاری با قابلیت‌های متفاوت برای ارزیابی مدیریت آبیاری در سطوح مختلف حوضه، شبکه آبیاری و مزارع استفاده کرد و تأثیر شرایط پیچیده مدیریت آبیاری را

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
* نویسنده مسئول: (Email: Farshid118@gmail.com)

داشت.

۱۶۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است (۲).

محاسبات تخمینی (مبتنی بر آمار و ارقام و نتایج حاصل از طرح ملی در زمینه تعیین راندمان آبیاری)، کارایی مصرف آب آبیاری محصولات زراعی مختلف در روش‌های آبیاری سطحی با مدیریت زارعین در مناطق اصفهان، گلستان، خراسان، خوزستان (دزفول) و آذربایجان غربی، برای یونجه ۰/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نموده‌است (۱۸).

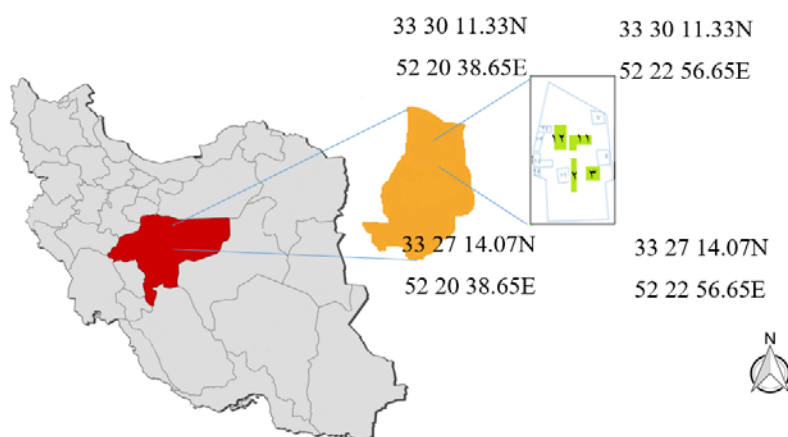
در مطالعه‌ای به منظور تعیین و ارزیابی شاخص بهره‌وری مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور متوسط حجم ناخالص آب آبیاری کاربردی برای یونجه در کرمان با مساحت زیر کشت ۳۸۶۹۰ هکتار، ۷۶۲۵ مترمکعب در هر هکتار و متوسط عملکرد ۱۱/۱۵ تن در هکتار و متوسط بهره‌وری مصرف آب ۱/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود (۱۷). در یک بررسی، مقدار بهره‌وری مصرف آب یونجه از نتایج ۶۷ طرح تحقیقاتی انجام شده طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ در ایستگاه‌های تحقیقاتی ۱۳ استان کشور ۰/۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (۲۷).

هدف از این مطالعه، واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد یونجه در چین‌های مختلف طی سال‌های مختلف برداشت و مقایسه آن با داده‌های اندازه‌گیری شده، مقایسه تبخیر-تعرق واقعی یونجه برآورد شده با نتایج سند ملی آب کشور و کارایی مدل در ارزیابی عملکرد محصول حاصل از سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت و نیمه متحرک در مزارع کشاورزی شرکت فجر اصفهان در شهرستان اردستان از توابع استان اصفهان می‌باشد.

مطالعاتی در جنوب غربی کانزاس و تکزاس (گرم و خشک) پیرامون آنالیز حساسیت مدل انجام شده است. نتایج نشانگر آن است که، بارش، بهره‌وری نرمال شده، شاخص برداشت، حداکثر عمق توسعه ریشه و سه فاکتور رطوبتی شامل، رطوبت اولیه خاک، حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم دارای بیشترین حساسیت بر روی عملکرد می‌باشند (۷ و ۱۴).

مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی واکنش محصولات زراعی به مقدار آب مصرفی و مدیریت آبیاری توسعه داده شد (۲۹ و ۳۴). تحقیقات متعددی برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop برای ذرت و دیگر محصولات مهم زراعی انجام شده است (۱، ۴، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۳۰، ۳۳، ۳۴ و ۳۶). بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مدل به واسنجی و اعتبارسنجی دقیق و گسترده برای همه گونه‌های گیاهی در سراسر دنیا نیاز دارد. تاکنون مطالعه‌ای در مورد کارایی مدل نسبت به گیاهان دارای چین‌های متعدد و چندساله گزارش نشده است. یونجه از جمله گیاهان علوفه‌ای چندساله‌ای است که در هر سال دارای چندین چین می‌باشد.

متوسط آب مصرف شده تا سال ۲۰۰۱ اراضی یونجه فاریاب کامل در ایالت کلرادو ۱۳۳۰۰ متر مکعب در هکتار و متوسط عملکرد ۱۰/۱۳ تن در هکتار بود که این به معنی راندمان مصرف ۰/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب در سال می‌باشد. بهره‌وری آب برای علوفه یونجه با رطوبت ۱۰ تا ۱۵ درصد برابر ۱/۵ تا ۲ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار گزارش شده است. نیاز آبی یونجه در طول دوره رشد ۸۰۰ تا



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Geographical location of the study area

شبیه‌سازی عملکرد یونجه در چین‌های مختلف طی سال‌های مختلف برداشت از اطلاعات مزارع کشاورزی شرکت فجر اصفهان شهرستان اردستان در عرض جغرافیایی ۳۳°۲' تا ۳۳°۳۰' و طول جغرافیایی

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop در

۵۵°۲۰' تا ۵۳°۲۲' و ارتفاع ۱۰۰۴ متر بالاتر از سطح دریا استفاده شد. موقعیت اراضی مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

اطلاعات مزرعه‌ای

بر اساس اقلیم نمای دوما رتن منطقه دارای اقلیم خشک، میانگین سالانه حداقل دما در شهرستان اردستان برابر ۱۳/۱ درجه و میانگین حداکثر دما ۲۴/۴ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی سالانه در این منطقه برابر ۱۱۵/۲ میلی‌متر می‌باشد. داده‌های هواشناسی روزانه شش سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اردستان که در فاصله ۱۳ کیلومتری از منطقه مورد مطالعه می‌باشد، استفاده شده است. از معادله فائو پنمن مانیتث (۳) برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز خاک از نمونه برداری‌های مزرعه‌ای و تعیین ویژگی‌های آن در آزمایشگاه به دست آمده است. نتیجه تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک محل آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

مزرعه مورد مطالعه شامل ۱۰ قطعه تحت کشت یونجه با مجموع مساحتی بالغ بر ۲۸۰ هکتار می‌باشد. منبع تامین آب هر قطعه یک حلقه چاه با کمیت و کیفیت‌های متفاوت بود. سیستم آبیاری قطعات از نوع بارانی و شامل دو نوع کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک و کلاسیک نیمه متحرک می‌باشد. پس از بررسی خصوصیات قطعات، شامل تشابه بافت خاک و کمیت و کیفیت آب آبیاری، قطعات ۲ و ۱۱ برای واسنجی و قطعات ۳ و ۱۲ برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. اطلاعات هر قطعه در جدول‌های (۱) و (۲) شرح داده شده‌اند. مقادیر آب آبیاری، متوسط آب کاربردی در سطح مزرعه است که از طریق دبی پمپاژ هر منبع به کمک کنتور حجمی در زمان بهره‌برداری محاسبه شد. مدل بر اساس داده‌های مزرعه‌ای واسنجی شد و از داده‌های هواشناسی (دما، حداکثر و حداقل، بارش و تبخیر و تعرق گیاه مرجع)، داده‌های خاک، اطلاعات آبیاری و محصول برای اجرای مدل طی شش سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ استفاده شد.

جدول ۱- پارامترهای خاک استفاده شده در مدل آکو کراپ

Table 1- The input soil parameters used in the AquaCrop model

| قطعه Field | بافت خاک Soil textur | سیلت Silt(%) | رس Clay(%) | شن Sand(%) | اسیدته pH | هدایت الکتریکی EC _s (ds/m) | ظرفیت زراعی FC (m ³ /m ³) | پژمردگی PWP (m ³ /m ³) |
|---------------|-------------------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|---|---|---|
| 2 | Sandy Loam | 4 | 9 | 87 | 7.6 | 5.75 | 22 | 10 |
| 3 | Sandy Loam | 23 | 9 | 68 | 7.6 | 3.04 | 22 | 10 |
| 11 | Sandy Loam | 7 | 16 | 77 | 7.6 | 2.45 | 22 | 10 |
| 12 | Sandy Loam | 9 | 14 | 77 | 7.6 | 3 | 22 | 10 |

جدول ۲- اطلاعات قطعات مورد مطالعه

Table 2- Field data

| قطعه Field | مساحت Area(ha) | دبی سیستم system Discharge(l/s) | نوع سیستم System Type | هدایت الکتریکی آب (دسی زیمنس بر متر) EC _w (ds/m) | | | | | |
|---------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------|--|------|------|------|------|------|
| | | | | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 |
| 2 | 24 | 30 | متحرک Animated | 5 | 5.8 | 6.2 | 4.8 | 5 | 5.3 |
| 3 | 21 | 30 | متحرک Animated | 4.5 | 5.2 | 5.6 | 4.3 | 4.5 | 4.6 |
| 11 | 39 | 40 | ثابت Fixed | 8.3 | 8.2 | 7.5 | 7.3 | 8.2 | 8.1 |
| 12 | 40 | 40 | ثابت Fixed | 7.6 | 8.5 | 9 | 6.6 | 6.9 | 7.1 |

مربوط به اکتبر ۲۰۱۵ استفاده شده است.

$$\frac{Y_x - Y_n}{Y_n} = K_x \left(\frac{ET_x - ET_n}{ET_n} \right) \quad (1)$$

که در آن Y_n عملکرد بیشینه، Y_x عملکرد واقعی، ET_n تبخیر-تعرق بیشینه، ET_x تبخیر-تعرق واقعی و K_x ضریب حساسیت به کم آبی (ضریب واکنش عملکرد به آب) می‌باشد. $\left(\frac{Y_x - Y_n}{Y_n} \right)$ معرف کاهش محصول و $\left(\frac{ET_x - ET_n}{ET_n} \right)$ بیان کننده تنش آبی است. جزئیات بیشتر و

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop همانند مدل‌های Budget و Cropwat از معادله دورنیوس و کاسام (رابطه ۱) که در نشریه ۳۳ فائو برای محاسبه ضریب حساسیت کم آبی بر اساس تعیین نسبت تبخیر-تعرق نسبی و عملکرد نسبی بیان شده است استفاده می‌کند و هر سه مدل بر اساس معادله بیلان آب عمل می‌کنند. در این پژوهش از نسخه ۵

بهره‌وری مصرف آب:

$$W/P = \frac{Y(kg\ ha^{-1})}{w(m^3\ ha^{-1})} \quad (6)$$

معادله (۶) بیانگر بهره‌وری آب می‌باشد که در این رابطه Y بیانگر کل ماده تولید شده توسط گیاه، مقدار ماده خشک تولیدی گیاه و یا عملکرد اقتصادی است. متغیر w بسته به سطح مورد ارزیابی گیاه، مزرعه، حوضه و یا دشت می‌تواند مقادیر مختلف آب شامل مقدار آب تعرق یافته به وسیله گیاه، مقدار تبخیر-تعرق و یا مقدار آب به کار رفته برای زراعت باشد.

آنالیز حساسیت داده‌های ورودی به مدل

مدل AquaCrop با استفاده از معادله ضریب حساسیت (رابطه ۷)، آنالیز حساسیت شده و میزان تاثیر پارامترهای ورودی روی خروجی‌های مدل مشخص شدند.

$$S_c = \frac{\Delta W}{W} / \frac{\Delta P}{P} \quad (7)$$

در رابطه فوق S_c ضریب حساسیت بدون بعد، ΔW اختلاف مقادیر پارامترهای خروجی قبل و بعد از تغییر پارامترهای ورودی، W متوسط پارامترهای خروجی قبل و بعد از تغییر پارامترهای ورودی، ΔP اختلاف مقادیر پارامترهای ورودی اولیه و تغییر یافته، P متوسط پارامترهای ورودی قبل و بعد از تغییر همان پارامتر، هستند. جدول (۳) دامنه تغییرات ضریب حساسیت را نشان می‌دهد (۲۵).

روابط به کار رفته در مدل در مطالعات رائس و همکاران (۲۹)، استیدیوتو و همکاران (۳۴) و رضانی اعتدالی (۳۲) بیان گردیده است.

تبخیر-تعرق گیاهی

به منظور محاسبه تبخیر-تعرق گیاه (ETc)، از رابطه (۲) استفاده شد.

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (2)$$

که در آن، ETc تبخیر-تعرق گیاه (میلیمتر بر روز)، Kc ضریب گیاهی و ET0 تبخیر-تعرق پتانسیل (میلیمتر بر روز) می‌باشد (۳). تبخیر-تعرق پتانسیل از روش فائو پنمن مانیتیت محاسبه شد که در قسمت ورودی مدل از آن استفاده شده بود. مقادیر ضریب گیاهی (Kc)، با استفاده از روابط (۳) و (۴) اصلاح گردید (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

(۳ و ۴)

$$K_{c-mid} = K_{c-mid-table} + (0/04(U_2-2)0/004(RH_{min}45)) \left(\frac{S_c}{100}\right)^{0.75}$$

$$K_{c-end} = K_{c-end-table} + (0/04(U_2-2)0/004(RH_{min}45)) \left(\frac{S_c}{100}\right)^{0.75}$$

ضرایب گیاهی مرحله توسعه و پایانی رشد، بین دو مقدار یعنی بین ضرایب گیاهی انتهایی مرحله قبل ($K_{c\ prev}$) و ابتدای مرحله بعد ($K_{c\ next}$) که همان $K_{c\ end}$ مرحله پایانی رشد باشد، به صورت خطی تغییر می‌کن (۳).

$$K_{c_i} = K_{c_{prev}} + \left(\frac{-\Delta K_{c_{prev}}}{\Delta stage}\right) (K_{c_{next}} - K_{c_{prev}}) \quad (5)$$

جدول ۳- طبقه‌بندی پیشنهادی برای دامنه تغییرات ضریب حساسیت

Table 3- Classification of input parameters by sensitivity factors

| دامنه تغییرات | $S_c=0$ | $0 < S_c < 0/3$ | $0/3 < S_c < 1/5$ | $S_c > 1/5$ |
|------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| The ratio of changes | | | | |
| شدت حساسیت | بدون حساسیت | حساسیت کم | حساسیت متوسط | حساسیت شدید |
| The intensity of sensitivity | No sensitivity | Low sensitivity | Moderate sensitivity | Hyper sensitivity |

عمق توسعه ریشه اولیه، عمق توسعه ریشه بیشینه، ضریب گیاهی، تاریخ‌های جوانه‌زنی، گل‌دهی، حداکثر پوشش گیاهی، شروع پیری پوشش گیاهی و رسیدگی فیزیولوژیک برای مدل معرفی گردید. داده‌های فیزیولوژیک از اطلاعات کارشناسان شرکت کشاورزی فجر اردستان و برداشت‌های مزرعه‌ای به دست آمدند. کیفیت و کمیت آبیاری برای هر قطعه بر اساس آزمایشات دوره‌ای و دبی آبیاری در طول دوره رشد گیاه وارد گردید. هدف از واسنجی مدل تنظیم ورودی‌های گیاهی اندازه‌گیری نشده برای به حداقل رساندن خطای پیش بینی عملکرد است. مجموع سناریوهای واسنجی ۱۲ عدد بود. هر سناریو متعلق به یک سال و مشتمل بر چین‌های مختلف بود. شش مورد مربوط به قطعه ۲ و شش مورد دیگر متعلق به قطعه ۱۱

واسنجی مدل

واسنجی مدل با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای برداشت محصول و سایر اطلاعات آب، خاک و اقلیم طی ۶ سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ در قطعات ۲ و ۱۱ انجام شد. با توجه به چند ساله بودن گیاه، برای چین اول اطلاعات گیاهی با عنوان کشت^۱ و در چین‌های بعدی بصورت نشاء کاری^۲ برای مدل تعریف گردید. با توجه به تغییرات فیزیولوژیک گیاه در طول هر سال و طی چین‌های مختلف، مقدار عددی پارامترهای مربوطه شامل پوشش گیاهی اولیه، پوشش گیاهی بیشینه،

- 1- Sowing
- 2- Transplanting

می‌باشد. شاخص EF بین صفر و یک تغییر می‌کند. هرچه این پارامتر به یک نزدیکتر باشد نشان از عملکرد بهتر مدل است. چنانچه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های CRM و NRMSE برابر با صفر و مقدار EF برابر با یک خواهد بود (۳۱).

نتایج و بحث

مقادیر ضریب حساسیت برآورد شده تعدادی از پارامترهای ورودی مدل در جدول (۴) ارائه شده است. براساس دامنه تغییرات پیشنهاد شده توسط لیو و همکاران (۲۵) زمان گلدهی و زمان حداکثر پوشش گیاهی دارای بیشترین حساسیت و رطوبت اولیه و شرایط اولیه خاک بدون حساسیت بر عملکرد گیاه تعیین گردیدند.

اعتبارسنجی مدل

به منظور بررسی نتایج حاصل از مدل با نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت‌یابی نتایج و ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل از یکسری شاخص ارزیابی مزرعه‌ای شامل ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب باقیمانده (CRM)، و کارایی مدل سازی (EF) استفاده شد. پس از واسنجی مدل در قطعات ۲ و ۱۱، اعتبارسنجی در قطعات ۳ و ۱۲ انجام شد. همچنین نتایج حاصل از واسنجی در قطعات ۲ و ۱۱ مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند. بدین منظور نتایج حاصل از مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای به کمک شاخص‌های مذکور مورد آزمون قرار گرفتند. شاخص CRM بیان‌کننده بیش برآورد یا کم برآورد بودن مدل

جدول ۴- ضریب حساسیت پارامترهای ورودی مدل AquaCrop

Table 4- The sensitivity coefficients of AquaCrop model input parameters

| درجه حساسیت The degree of sensitivity | مقدار در حالت %-۲۵ The amount of Sc in - %25 | مقدار در حالت %+۲۵ The amount of Sc in +%25 | پارامتر ورودی Input parameters |
|--|--|---|--|
| کم - کم | 0.20 | 0.18 | پوشش گیاهی اولیه Initial Canopy cover |
| متوسط - متوسط | 1.03 | 0.89 | پوشش گیاهی بیشینه Maximum Canopy cover |
| کم - کم | 0.12 | 0.03 | عمق توسعه ریشه اولیه Initial Root depth |
| کم - کم | 0.06 | 0.02 | عمق توسعه ریشه بیشینه Maximum Root depth |
| متوسط - متوسط | 1.06 | 0.89 | ضریب گیاهی Coefficient Crop |
| کم - بدون | 0 | 0.22 | زمان جوانه زنی Germination |
| متوسط - شدید | 1.53 | 0.64 | زمان گلدهی Flowering |
| متوسط - شدید | 1.57 | 0.82 | زمان حداکثر تاج پوشش گیاهی maximum canopy cover |
| کم - کم | 0.08 | 0.10 | زمان آغاز پیری Senescence |
| کم - کم | 0.11 | 0.09 | بلوغ فیزیولوژیک Physiological maturity |
| بدون - بدون | 0 | 0 | رطوبت اولیه خاک Initial soil humidity |
| بدون - بدون | 0 | 0 | شرایط اولیه خاک Initial soil conditions |

پارامترهای گیاهی

شماره روز
GDD

پارامترهای گیاهی امکان پذیر نیست، لذا در این مطالعه سعی شد برخی از مهمترین پارامترهای گیاهی و حتی پارامترهایی با کمترین

واسنجی هر مدل گیاهی برای شبیه‌سازی امری ضروری است. با توجه به آن که در اغلب مطالعات مزرعه‌ای اندازه‌گیری تمامی

حساسیت به دلیل تفاوت آن‌ها در چین‌های مختلف برای یونجه در گزارشی از اطلاعات گیاهی واسنجی شده آورده شده است. منطقه مورد مطالعه در هر کدام از قطعات واسنجی شود. در جدول (۵)

جدول ۵- پارامترهای گیاهی واسنجی شده
Table 5- The calibrated crop parameters

| روز پس از کاشت Day after planting | ضریب گیاهی Crop coefficient | | | | عمق توسعه ریشه (متر) Root depth(m) | | پوشش گیاهی (درصد) Canopy cover | | چین Harvest | سال قطعه Year Fiel | |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|-----------|--|-------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|------------------|
| | Physiological maturity | Senescence | Maximum canopy cover | Flowering | Germination | بیشینه Maximum | اولیه Initial | بیشینه Maximum | | | اولیه Initial |
| | | | | | | | | | | | |
| 46 | 32 | 15 | 14 | 3 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | 65 | 9.04 | 1 | |
| 60 | 54 | 15 | 30 | 3 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 88 | 8.53 | 2 | |
| 60 | 56 | 14 | 56 | 2 | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 87 | 10 | 3 | 2 |
| 30 | 28 | 14 | 22 | 2 | 1.2 | 1.5 | 1.2 | 86 | 10 | 4 | |
| 60 | 52 | 14 | 29 | 2 | 0.9 | 1.5 | 1.5 | 69 | 9.5 | 5 | 2010 |
| 46 | 31 | 15 | 14 | 3 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | 54 | 9.0 | 1 | |
| 59 | 50 | 18 | 30 | 3 | 1 | 0.8 | 0.5 | 64 | 10 | 2 | |
| 60 | 52 | 13 | 29 | 2 | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 66 | 10 | 3 | 11 |
| 60 | 28 | 14 | 23 | 2 | 1.25 | 1.5 | 1.2 | 80 | 10 | 4 | |
| 46 | 32 | 15 | 14 | 3 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | 78 | 9.04 | 1 | |
| 60 | 54 | 15 | 30 | 3 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 88 | 8.53 | 2 | 2 |
| 60 | 56 | 14 | 56 | 2 | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 87 | 10 | 3 | 2011 |
| 59 | 31 | 15 | 15 | 3 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | 72 | 9.8 | 1 | 11 |
| 60 | 54 | 15 | 24 | 4 | 1 | 0.8 | 0.5 | 69 | 9.9 | 2 | |
| 60 | 54 | 14 | 45 | 3 | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 87 | 10 | 3 | |
| 30 | 32 | 14 | 14 | 5 | 1 | 1.5 | 1.2 | 69 | 8.9 | 4 | |
| 60 | 33 | 21 | 16 | 5 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 58 | 8.3 | 1 | |
| 60 | 50 | 28 | 31 | 4 | 1 | 0.8 | 0.4 | 58 | 9.9 | 2 | |
| 60 | 39 | 15 | 31 | 4 | 1.2 | 1 | 0.8 | 66 | 9.9 | 3 | 2 |
| 60 | 34 | 24 | 30 | 3 | 0.9 | 1.5 | 1 | 48 | 9.9 | 4 | |
| 30 | 20 | 14 | 14 | 3 | 0.95 | 0.5 | 0.1 | 56 | 7.6 | 1 | 2012 |
| 60 | 50 | 28 | 31 | 4 | 1 | 0.75 | 0.5 | 58 | 9.9 | 2 | |
| 60 | 38 | 17 | 31 | 4 | 1.15 | 1 | 0.75 | 65 | 10 | 3 | 11 |
| 60 | 35 | 26 | 32 | 5 | 1 | 1.5 | 1 | 55 | 9.9 | 4 | |
| 45 | 32 | 25 | 16 | 5 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | 43 | 8.2 | 1 | |
| 60 | 50 | 28 | 31 | 4 | 1 | 0.8 | 0.4 | 58 | 9.9 | 2 | 2 |
| 59 | 39 | 15 | 31 | 4 | 1.2 | 1 | 0.8 | 66 | 9.0 | 3 | |
| 60 | 49 | 40 | 46 | 17 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 52 | 6.7 | 1 | 2013 |
| 60 | 50 | 30 | 31 | 4 | 1.15 | 0.8 | 0.4 | 62 | 9.9 | 2 | |
| 60 | 38 | 23 | 32 | 5 | 1.1 | 1 | 0.8 | 49 | 9.8 | 3 | 11 |
| 60 | 35 | 25 | 32 | 5 | 1 | 1.5 | 1 | 48 | 9.9 | 4 | |
| 90 | 70 | 20 | 18 | 4 | 0.9 | 1 | 0.5 | 60 | 9.5 | 1 | |
| 60 | 50 | 28 | 31 | 4 | 1 | 1.5 | 1 | 58 | 9.9 | 2 | 2 |
| 59 | 40 | 18 | 31 | 4 | 0.8 | 1.5 | 1.5 | 55 | 8.9 | 3 | |
| 60 | 49 | 31 | 45 | 16 | 1 | 1 | 0.5 | 65 | 9.2 | 1 | 2014 |
| 60 | 50 | 26 | 42 | 15 | 1.2 | 1.5 | 1 | 56 | 8.8 | 2 | 11 |
| 60 | 48 | 23 | 32 | 5 | 0.8 | 1.5 | 1.5 | 31 | 7.9 | 3 | |
| 60 | 40 | 25 | 13 | 10 | 0.8 | 1.5 | 1 | 18 | 6.7 | 1 | |
| 60 | 46 | 30 | 31 | 16 | 1 | 1.5 | 1.5 | 47 | 8.8 | 2 | 2 |
| 60 | 38 | 35 | 38 | 16 | 0.8 | 1.5 | 1 | 37 | 8.08 | 1 | |
| 60 | 38 | 29 | 34 | 14 | 1.1 | 1.5 | 1.5 | 47 | 6.7 | 2 | 11 |
| 60 | 48 | 32 | 23 | 12 | 0.8 | 1.5 | 1.5 | 34 | 8.9 | 3 | |

مناسب آن را در سال‌های مختلف در قطعات ۲ و ۱۱ نشان می‌دهند. مقادیر کم و نزدیک به صفر NRMSE و CRM نشان از دقت بالای واسنجی و مقادیر مثبت و نزدیک به صفر CRM نشان از واسنجی به مقدار کمی بیشتر از مقادیر واقعی می‌باشد. مقادیر نزدیک به یک EF

به منظور بررسی دقت واسنجی انجام شده در قطعات ۲ و ۱۱ مقادیر عملکرد واسنجی شده مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن در جدول (۶) ارائه گردید. نتایج شاخص‌های آماری در ارزیابی واسنجی مدل، واسنجی

نشان از کارایی بالای واسنجی انجام شده است.

جدول ۶- شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل در واسنجی عملکرد قطعات ۲ و ۱۱

Table 6- Statistical indicators for evaluation of Calibrated yield models in Parts 2 and 11

| معادله Equation | R ² | NRMSE | CRM | EF | سال قطعه Year Field |
|------------------------|----------------|-------|-------|------|------------------------|
| $y = 0/9533x + 88/735$ | 0.99 | 0.07 | 0.16 | 0.99 | 2 |
| $y = 0/9883x + 6/8919$ | 0.99 | 0.13 | 0.24 | 0.87 | 11 |
| $y = 0/9543x + 4/8512$ | 0.98 | 0.12 | 0.14 | 0.98 | 2 |
| $y = 0/9933x + 12/732$ | 0.99 | 0.07 | 0.05 | 0.98 | 11 |
| $y = 0/8995x + 5/9321$ | 0.97 | 0.18 | 0.09 | 0.64 | 2 |
| $y = 1/0872x - 123/09$ | 0.99 | 0.02 | -0.08 | 0.89 | 11 |
| $y = 0/9824x + 5/3542$ | 0.97 | 0.11 | 0.10 | 0.86 | 2 |
| $y = 0/9941x + 52/562$ | 0.99 | 0.08 | 0.03 | 0.98 | 11 |
| $y = 1/0665x - 283/81$ | 0.98 | 0.17 | -0.12 | 0.93 | 2 |
| $y = 0/9841x + 25/372$ | 0.99 | 0.06 | 0.08 | 0.89 | 11 |
| $y = 0/9993x + 6/2417$ | 0.99 | 0.01 | -0.09 | 0.95 | 2 |
| $y = 0/9699x + 3/9173$ | 0.99 | 0.02 | 0.02 | 0.99 | 11 |

کاهش دما در این دوره از برداشت‌ها در شکل (۴) نمایش داده شده است.

در جدول (۷) شاخص‌های آماری برای حصول درجه اعتماد به مدل برای شبیه‌سازی عملکرد نشان داده شده است.

در تحقیق حاضر در اکثر موارد مدل دارای برآوردی مطابق با مقدار واقعی با اختلاف بسیار کم و در برخی موارد بیش برآورد بود. مقادیر کم NRMSE نشان‌دهنده دقت بالای مدل در برآورد عملکرد بوده است. CRM در بیشتر موارد مثبت و نشان از کم برآورد بودن مدل در غالب شبیه‌سازی‌ها می‌باشد. این موضوع در شکل‌های (۲) و (۳) به وضوح دیده می‌شود. در تمام معادلات x مقادیر واقعی و y مقادیر شبیه‌سازی شده است. مقدار NRMSE در حالت ایده آل ۰/۱، در بازه 0/1 تا 0/2 بیانگر عملکرد مناسب، ۰/۲ تا ۰/۳ بیانگر عملکرد متوسط و بیش از ۰/۳ بیانگر عملکرد نامناسب مدل است. در مدل‌سازی صورت گرفته متوسط این پارامتر 0/۲ به دست آمد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است. بهترین شبیه‌سازی متعلق به قطعه ۳ و ۱۲ در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۲ بوده است. در این سال‌ها تمام شاخص‌های آماری در حالت ایده‌آل قرار دارند. بدترین شبیه‌سازی نیز متعلق به همان قطعه ۳ و در سال ۲۰۱۲ بود. چنانچه بیشتر توضیح داده شد، تغییرات دمایی موجب این انحراف شده است. شکل (۵) مقادیر عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده سالانه طی دوره ۶ ساله ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. بیشینه عملکرد متعلق به قطعه ۳ و در اولین سال برداشت می‌باشد. برداشت سالانه با نرخ متوسط ۱/۲ نسبت به سال‌های قبل کاهش داشته است. به نظر می‌رسد سیستم آبیاری متحرک دارای کارایی و راندمان بهتری نسبت

پس از واسنجی، اعتبارسنجی مدل برای برآورد میزان عملکرد، انجام گرفت. میزان عملکرد واقعی به ازای چین‌های مختلف و اعتبارسنجی مدل در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که مشخص است گیاه یونجه در سال اول دارای بیشترین عملکرد بوده و در سال‌های بعدی با کاهش عملکرد مواجه می‌شود، این روند در شبیه‌سازی توسط مدل نیز به درستی تخمین زده شد. همچنین در طول یکسال بیشینه عملکرد مربوط به اواسط فصل رشد است که این مورد نیز به خوبی شبیه‌سازی گردید.

عملکرد شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی در سال ۲۰۱۲ در هر دو قطعه ۳ و ۱۲ در برداشت سوم اختلاف محسوسی دارند. با توجه به دقت مدل در برداشت‌های اول و سوم و پس از بررسی داده‌های اقلیمی، مشخص شد که کاهش دما در چند روز در دوره رشد دومین برداشت موجب کاهش عملکرد گردیده است. لازم به توضیح است که مدل براساس تاریخ دوره رشد^۱ نه درجه رشد روز^۲ اجرا گردیده است، متوسط دمای هوا در روزهای ۱۴۰ تا ۱۶۵ روز از ابتدای سال کاهش داشته است. اجرای مدل بر اساس تاریخ دوره رشد موجب عدم حساسیت آن به تنش‌های دمایی می‌شود.

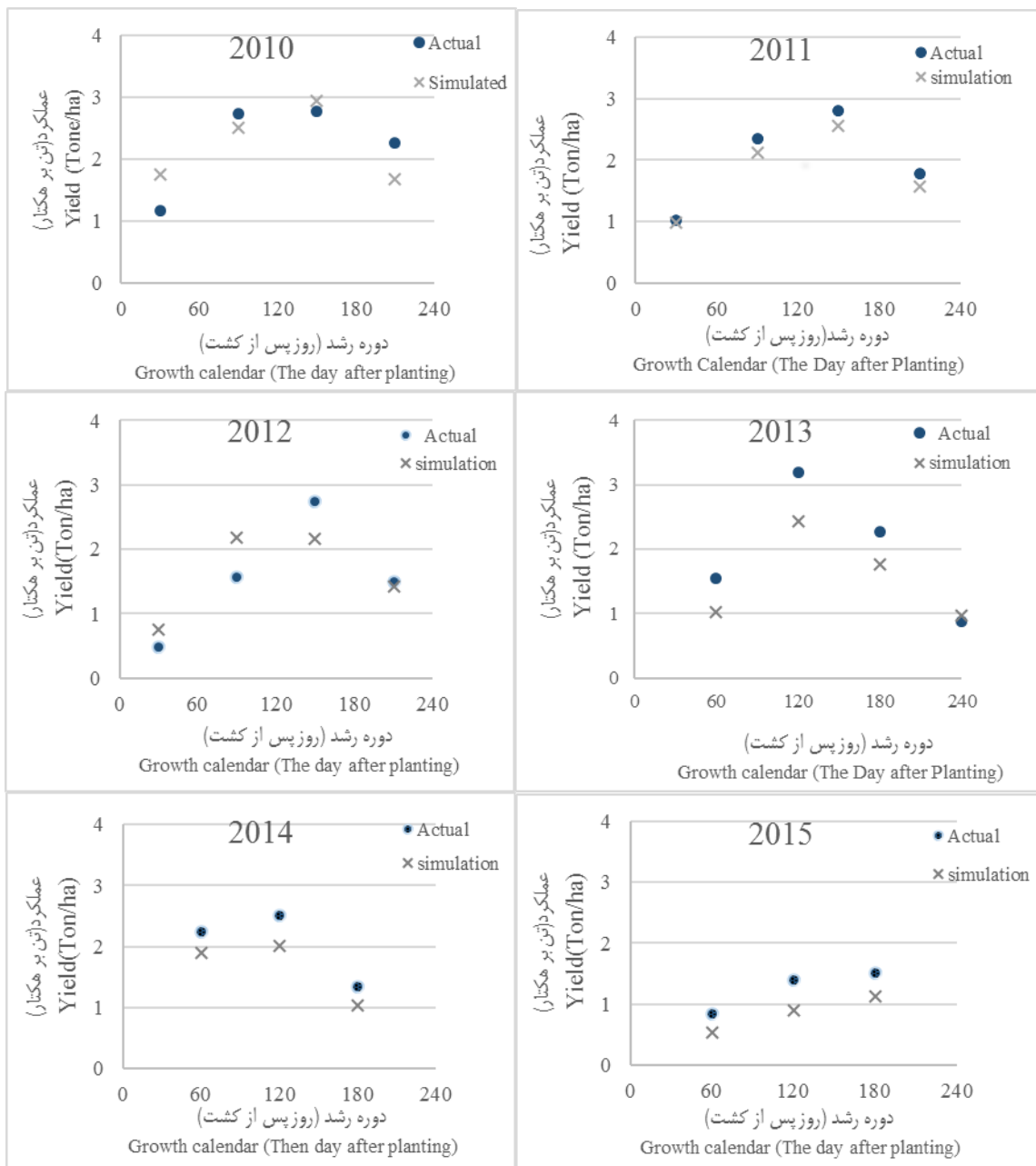
این موضوع در شکل (۴) کاملاً نمایان می‌باشد، در سه برداشت دیگر در هر دو قطعه و یا در یکی از قطعات، مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی اختلاف محسوسی ندارند؛ این در حالی است که در برداشت سوم در هر دو قطعه ۳ و ۱۲ مقادیر با هم اختلاف زیادی دارند.

1- Calendar days

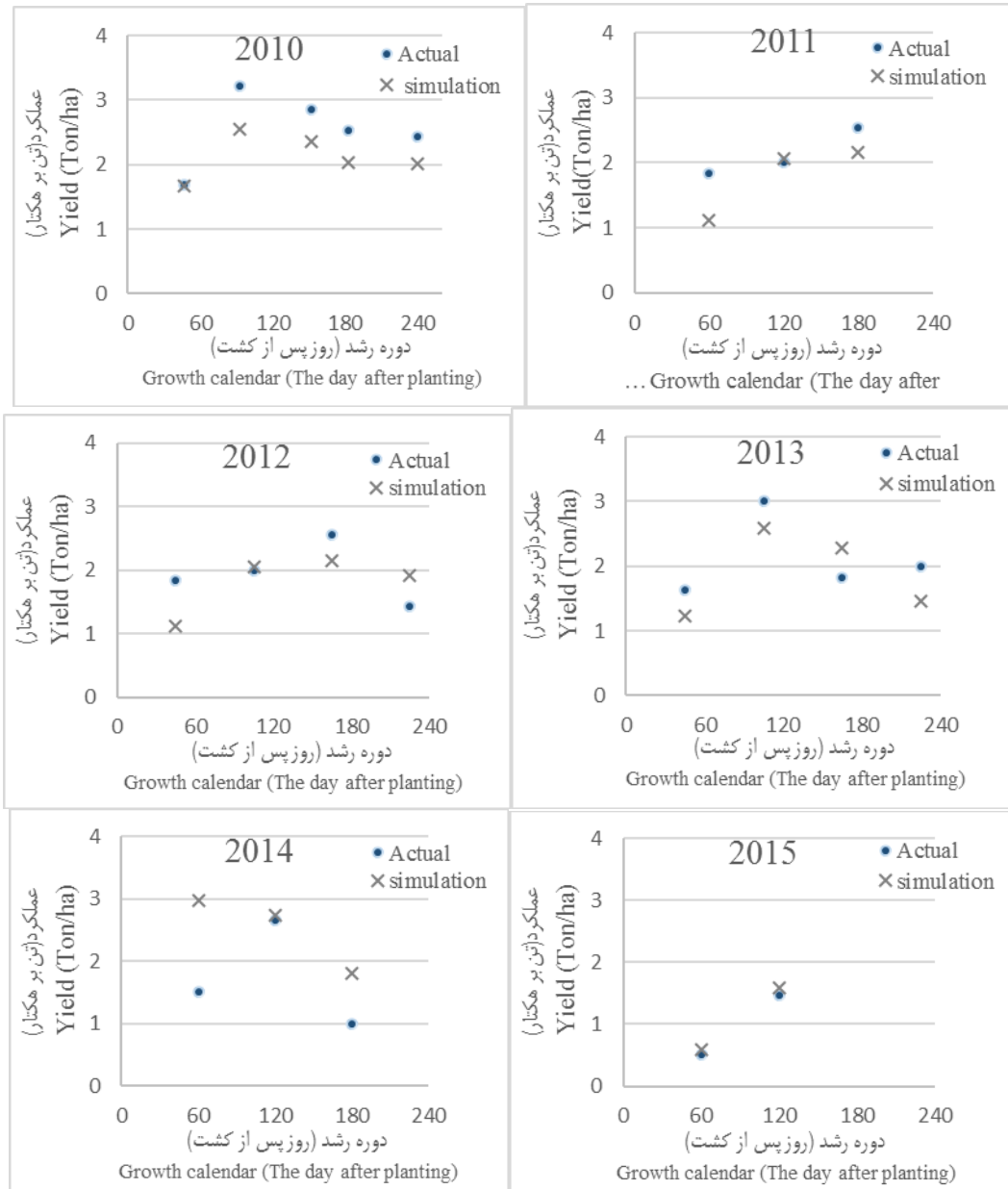
2- Growing Degree Days(GDD)

شبیه‌سازی چین‌ها در قطعه ۳ در سال ۲۰۱۲ در عملکرد سالانه همان سال دارای کارایی مناسبی است، این مورد اهمیت تفکیک چین‌ها و توانایی مدل در شبیه‌سازی آن را اثبات می‌نماید.

به سیستم آبیاری کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، که بسیار مرسوم است؛ می‌باشد، تفاوت در ضریب یکنواختی پخش دو سیستم باعث این تفاوت شده است (۲۸ و ۸). با وجود عملکرد نامناسب مدل در

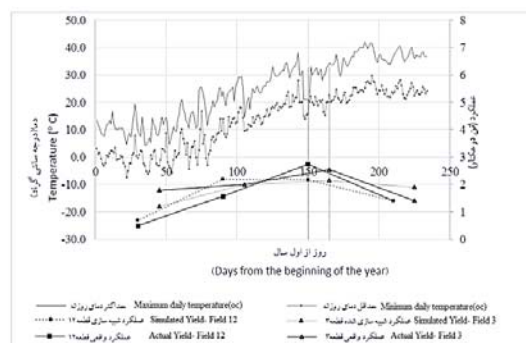


شکل ۲- عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ در برداشت‌های مختلف قطعه ۱۲
Figure 2- Actual and simulated yields 2010 to 2015 in part 12



شکل ۳- عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ در برداشت‌های مختلف قطعه ۳

Figure 3- Actual and simulated yields 2010 to 2015 in part 3



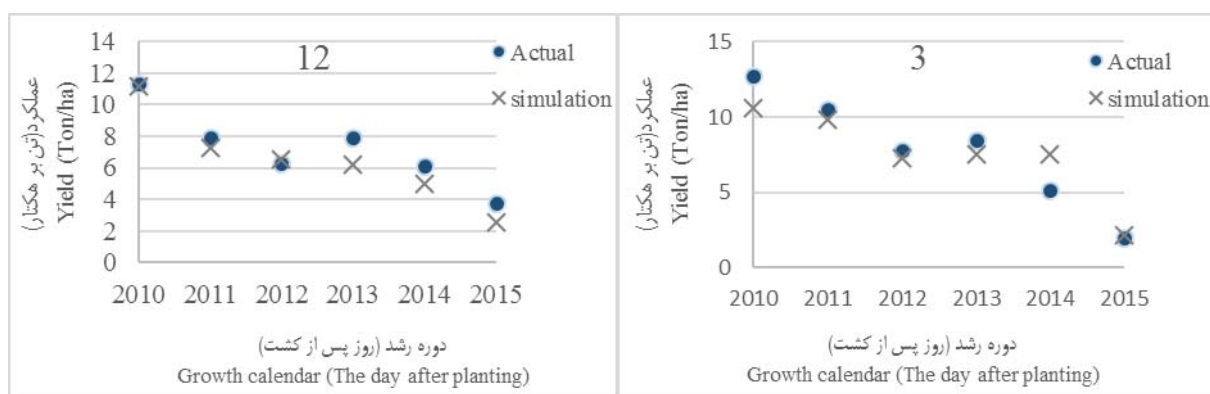
شکل ۴- رابطه دما و عملکرد در سال ۲۰۱۲

Figure 4- Temperature and yields function in 2012

جدول ۷- شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل در شبیه‌سازی عملکرد قطعات ۳ و ۱۲

Table 7- Statistical indicators for evaluation of Calibrated yield models in Parts 3 and 12

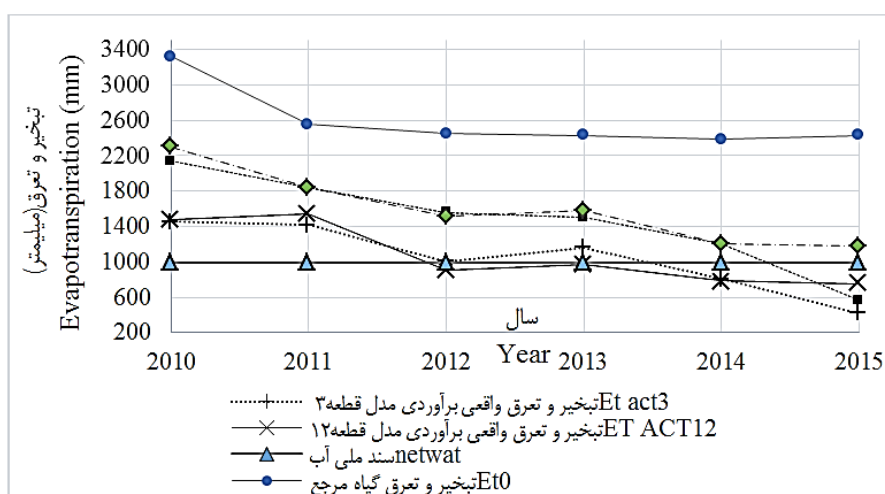
| معادله Equation | R ² | NRMSE | CRM | EF | سال قطعه Field Year |
|------------------------|----------------|-------|-------|------|------------------------|
| $y = 0.5875x + 0.6324$ | 0.96 | 0.19 | 0.16 | 0.16 | 3 2010 |
| $y = 0.6061x + 0.8666$ | 0.55 | 0.17 | 0.01 | 0.55 | 12 |
| $y = 0.8563x + 0.0933$ | 0.68 | 0.26 | 0.25 | 0.93 | 3 2011 |
| $y = 0.8881x + 0.0449$ | 0.99 | 0.01 | 0.089 | 0.91 | 12 |
| $y = 0.3605x + 1.109$ | 0.12 | 0.24 | 0.07 | 0.41 | 3 2012 |
| $y = 1.6211x + 0.654$ | 0.70 | 0.28 | -0.03 | 0.69 | 12 |
| $y = 0.7822x + 0.2348$ | 0.53 | 0.21 | 0.10 | 0.27 | 3 2013 |
| $y = 0.6773x + 0.2146$ | 0.93 | 0.26 | 0.21 | 0.62 | 12 |
| $y = 1.4254x + 1.7673$ | 0.34 | 0.26 | -0.45 | 0.93 | 3 2014 |
| $y = 0.8563x - 0.0933$ | 0.98 | 0.26 | 0.18 | 0.39 | 12 |
| $y = 2.0308x + 0.4122$ | 1 | 0.024 | -0.09 | 0.95 | 3 2015 |
| $y = 0.8047x - 0.1557$ | 0.93 | 0.32 | 0.32 | 0.91 | 12 |



شکل ۵- عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده سالانه طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ قطعات ۳ و ۱۲
Figure 5- Actual and simulated annually yields 2010 to 2015 in fields 3 and 12

سند ملی آب مقایسه گردیده است که بیان کننده تفاوت بسیار زیاد آنها در دو سال ابتدایی می‌باشد.

شکل (۶) مقادیر تبخیر-تعرق سالانه گیاه یونجه در اردستان طی دوره ۶ ساله برداشت آن را نشان می‌دهد، مقادیر بدست آمده با نتایج



شکل ۶- تبخیر-تعرق سالانه یونجه طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵
Figure 6- Alfalfa annual evapotranspiration during 2010 to 2015

حاصلضرب ضریب گیاهی در تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0) است، برای هر دو مزرعه محاسبه و مقایسه گردید. چنانچه در شکل (۵) مشخص می‌باشد مقدار عددی آن از نتایج مدل که تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده می‌باشد، بیشتر است. اختلاف آنها ناشی از ضریب تنش ($ET_0 \times K_c \times K_s$) است که مدل در برآورد نیاز آبی واقعی گیاه لحاظ می‌کند. مقدار عددی ضریب تنش سالانه برای قطعات ۳ و ۱۲ در جدول (۸) نشان داده شده است (۳۱).

جدول ۸- ضریب تنش شوری و خشکی در قطعات ۳ و ۱۲
Table 8- Salinity and drought stress coefficient in fields 3 and 12

| سال Year | | | | | | قطعه Field |
|----------|------|------|------|------|------|------------|
| 2015 | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 | |
| 0.74 | 0.67 | 0.77 | 0.65 | 0.77 | 0.68 | 3 |
| 0.64 | 0.65 | 0.61 | 0.59 | 0.84 | 0.65 | 12 |

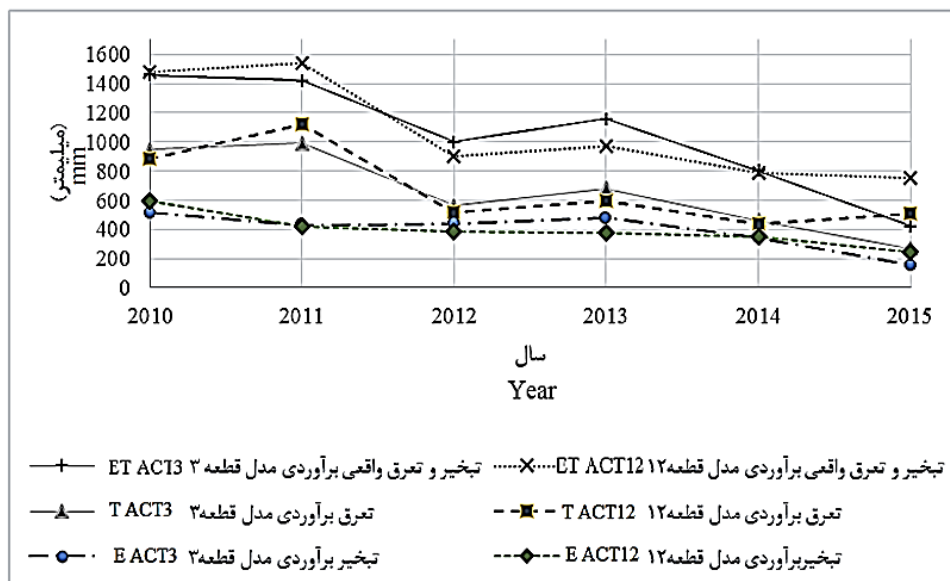
تبخیر-تعرق است. تبخیر-تعرق به دو مولفه تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه تفکیک می‌شود. آنچه به عنوان بخش مولد محسوب می‌شود تعرق گیاه و بخش پوشش سبز محصول است که بررسی و نحوه بهبود بهره‌وری تعرق از طریق ارائه گزاره‌های مدیریتی از قابلیت‌های مدل AquaCrop محسوب می‌شود. مقادیر تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه یونجه از مقدار تبخیر-تعرق برآوردی توسط مدل تفکیک و در شکل (۷) نمایش داده شده‌اند.

چنانچه در شکل مشخص می‌باشد در قطعه ۳ تبخیر از سطح خاک در سال ۲۰۱۱ با ۳۰ درصد و در سال ۲۰۱۲ با ۴۴ درصد و در قطعه ۱۲ در سال ۲۰۱۱ با ۲۷ درصد و در سال ۲۰۱۲ با ۴۴ درصد دارای کمترین و بیشترین سهم از تبخیر-تعرق یونجه را تشکیل داده‌اند؛ لذا بیشترین و کمترین سهم از اتلاف آب مصرفی به ترتیب ۴۴ و ۲۷ درصد بوده است. با دقت در شکل (۷) مشخص می‌گردد که میزان تبخیر-تعرق واقعی در قطعه ۱۲ به جز سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ بیشتر از تبخیر-تعرق قطعه ۳ بوده است. میزان تبخیر از سطح خاک (بخش غیر مفید مصرف آب) نیز روندی مشابه با تبخیر-تعرق واقعی دارد، بنابراین چنین استنباط می‌شود که میزان تلفات تبخیر در سیستم کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک بیشتر از سیستم متحرک می‌باشد. بهره‌وری آب کشاورزی معرف کسر کل تولید ماده خشک بر آب مصرفی است. این پارامتر می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی در بخش‌های مختلف قرار گیرد.

دلیل مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با سند ملی آب کشور، کاربرد متداول سند ملی در مطالعات آبیاری تحت فشار در تمام کشور می‌باشد. به دلیل عدم دسترسی به داده‌های لایسیمیتری قضاوت درباره نتایج بدست آمده به شکل صحیح امکان پذیر نیست ولی با توجه به دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد انتظار می‌رود نتایج حاصل از تبخیر-تعرق شبیه سازی شده با مدل نیز دارای صحت قابل قبول باشند. تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0) دارای بیشترین مقدار و از معادله فائو پنمن مانیتیت محاسبه گردید. تبخیر-تعرق گیاه (ET_c)، که

بطور متوسط ضریب تنش (K_s) طی ۶ سال برداشت محصول در قطعه ۳، ۰/۷۲ و در قطعه ۱۲، ۰/۶۶ بوده است. چنانچه پیش‌تر بیان گردید، عملکرد نیز در قطعه ۳ نسبت به قطعه ۱۲ بیشتر بود؛ لذا با توجه به اینکه دبی آبیاریها در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت ۳ تا ۴ برابر سیستم متحرک می‌باشد، به نظر می‌رسد؛ تنش ناشی از آبیاری سنگین (غرقابی شدن) در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت موجب این امر گردیده است. شدت پخش آب در آبیاریهای بارانی کلاسیک ثابت تنها اندکی از شدت نفوذ خاک کمتر بوده و پس از گذشت دقایقی از شروع آبیاری معمولاً رواناب ایجاد می‌شود.

مقدار تبخیر-تعرق در طول سال‌های مختلف برداشت دارای اختلاف زیادی است. نتایج سند ملی آب بصورت متوسط بلندمدت تبخیر-تعرق هر منطقه‌ای می‌باشد (همواره عدد ثابتی است)، چنانچه مشخص می‌باشد این موضوع موجب ایجاد تنش آبی شدید در سال‌های ابتدایی و اعمال بیش آبیاری در سال‌های انتهایی برداشت محصول می‌شود. نتایج بدست آمده با نتایج افشارمنش و همکاران (۲)، مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که نیاز آبی یونجه در طول دوره رشد ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است. علاوه بر اثر طول عمر گیاه، طول دوره رشد نیز در سال مختلف متفاوت بود. در پژوهشی دیگر میزان تبخیر-تعرق یونجه از اول تیرماه لغایت آخر آبان ماه جمعا ۱۵۶۰ میلی‌متر و در همین دوره میزان تبخیر-تعرق چمن ۱۱۵۴ میلی‌متر و نسبت یونجه به چمن ۱۲۴ برآورده شده است (۳۵). یکی از پارامترهای اصلی در رشد و نمو محصولات کشاورزی



شکل ۷- تبخیر از خاک، تعرق از گیاه و تبخیر-تعرق سالانه یونجه طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵

Figure 7- Soil evaporation, crop transpiration, and Alfalfa evapotranspiration annually during 2010 to 2015

جدول ۹- بهره‌وری تبخیر-تعرق و بهره‌وری تعرق در قطعات ۳ و ۱۲ طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵

Table 9- Evapotranspiration and transpiration productivity in part 3 and 12 during 2010 to 2015

| سال Year | | | | | | | قطعه Field | |
|----------|------|------|------|------|------|------------------|---------------------|----|
| 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | WP _{ET} | بهره‌وری تبخیر-تعرق | 3 |
| 0.47 | 0.64 | 0.73 | 0.78 | 0.76 | 0.87 | WP _T | بهره‌وری تعرق | |
| 0.74 | 1.12 | 1.24 | 1.39 | 1.09 | 1.34 | WP _{ET} | بهره‌وری تبخیر-تعرق | 12 |
| 0.50 | 0.78 | 0.82 | 0.70 | 0.51 | 0.76 | WP _T | بهره‌وری تعرق | |

سالانه و حتی ماهانه در اکثر موارد نتایج قابل قبول و بسیار نزدیک به مقدار واقعی عملکرد برآورد کرده است. در دو سال ابتدایی برداشت محصول شاخص‌های ارزیابی دقت متوسط مدل را نشان دادند. مقادیر کم NRMSE نشان‌دهنده دقت بالای مدل در برآورد عملکرد بوده است. CRM در بیشتر موارد مثبت و نشان از کم برآورد بودن مدل در غالب شبیه‌سازی‌ها می‌باشد. طی انجام تحقیق مشخص گردید؛ مدل AquaCrop نسبت به تغییرات دمایی حساسیت داشته و پیشنهاد می‌گردد مدل از قسمت درجه رشد^۱ روز به جای تاریخ دوره رشد^۲ اجراء گردد. نسخه ۵ مدل AquaCrop علاوه بر تنش‌های رطوبتی تنش شوری را نیز در محاسبات دخالت می‌دهد، این موضوع در تفاوت تبخیر-تعرق واقعی حاصل از مدل کاملاً مشخص می‌باشد. در تحقیق صورت گرفته میزان تبخیر-تعرق سالانه توسط مدل پیش‌بینی شده است. میزان بالای تبخیر باعث کاهش ۲۷ تا ۴۴ درصدی بهره‌وری تبخیر-تعرق (Y ET⁻¹) نسبت به بهره‌وری تعرق (Y T⁻¹) گردید.

جدول (۹) بهره‌وری تبخیر-تعرق (Y ET⁻¹) و بهره‌وری تعرق (Y T⁻¹) را طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ در قطعات ۳ و ۱۲ نشان می‌دهد. تفاوت در مقادیر بهره‌وری قطعات در هر سال به دلیل تفاوت در ترکیب شیمیایی، شاخص برداشت و میزان تعرق می‌باشد. متوسط بهره‌وری تبخیر-تعرق (Y ET⁻¹) در قطعات ۳ و ۱۲ طی ۶ سال برداشت به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود. متوسط بهره‌وری تعرق (Y T⁻¹) در قطعات ۳ و ۱۲ طی ۶ سال برداشت به ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. میزان بالای تبخیر چنانچه در شکل (۷) مشخص می‌باشد باعث شده است، بهره‌وری تبخیر-تعرق (Y ET⁻¹) نسبت به بهره‌وری تعرق (Y T⁻¹) در قطعه ۳، ۳۰ تا ۴۴ درصد کاهش داشته باشد و این مقدار برای قطعه ۱۲، ۲۷ تا ۴۴ درصد بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

طی انجام تحقیق مشخص گردید که مدل AquaCrop در شبیه‌سازی میزان عملکرد محصول در مقایسه با عملکرد واقعی

1- Growing Degree Days (GDD)
2- Calendar days

منابع

- 1- Abedinpour M., Sarangi A., Rajput T.B.S., Singh M.H., Pathak H., and Ahmad T. 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 110: 55-66.
- 2- Afsharmanesh GH., Heidari-Sharifabad H., Mazaheri D., Noormohammadi GH., and Madani. H. 2008. The effects of water deficit stress on hay alfalfa (*Medicago sativa*) yield and water use efficiency cultivars. 78: 132-140.(in Persian with English abstract)
- 3- Allen R.G., L.S. Pereira Raes D., and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration–Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN92-5-104219-5
- 4- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no, 56:134-153.
- 5- Alizadeh H., Nazari B., ParsiNejhad M., and Ramezani Etedali H. 2010., Evaluation AquaCrop model in deficit irrigation management wheat and barley in Karaj., *Irrigation and Drainage.*, 4: 283-273.(in Persian with English abstract)
- 6- Andarziana B., Bannayanb M., Steduto P., Mazraeha H., Barati M.E., Barati M.A., and Rahnama A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production. *Agricultural Water Management.*, 100: 1-8.
- 7- Araya A., Habtu S., Hadgu K.M., Kebede A., and Dejene T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley. *Agricultural Water Management.*, 97: 1838-1846.
- 8- Babazade H., Saraee Tabrizi M. 2012. Aquacrop model evaluation under deficit irrigation management Soybean. *WATER AND SOIL AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY*, 2:329-339 (in Persian with English abstract)
- 9- Bazane M., Sadredini A.A., Nazemi A., and DalirHasannia R. 2015. The impact of optimizing the arrangement and spacing of sprinkler uniformity coefficient fixed sprinkler irrigation system. *Water in Agricultural Research.*, 29:537-546.(in Persian with English abstract)
- 10- Droogers P., and Kite G. 2001. Simulation modeling at different scales to evaluated the productivity of water. *Physics and Chemistry of the Earth*, 12: 877-880.
- 11- Droogers P. 2000, Estimating actual evapotranspiration using a detailed agro hydrological model, *Journal of Hydrology*, 229:50-58.
- 12- Ebrahimi M., Vardinejhad V., and MajnooniHaris A. 2015. Maize growth under different water and nitrogen management simulation model AquaCrop. *Iranian Journal of Soil and Water Research.*, 46:207-220.(in Persian with English abstract)
- 13- Farahani H.J., Izzi G., Steduto P., and Oweis T.Y. 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy Journal.*, 101:469–476.
- 14- García-Vila M., Fereres E., Mateos L., and Steduto P. 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agronomy Journal*. 101:477– 487.
- 15- Geerts S., Raes D., García M., Miranda R. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability With Aguacrop. *Agronomy Journal.*, 101:499-508
- 16- Hasanli M., Afrasiab P., and Ebrahimian H. 2015. AquaCrop and SALTMED assessment models for estimating corn yield and soil salinity. *Iranian Journal of Soil and Water Research.*, 46:487-898.(in Persian with English abstract)
- 17- Heng L.K., Evett S.R., Howell T.A., and Hsiao T.C. 2009. Calibration and testing of FAO AquaCrop model for maize in several locations. *Agronomy Journal*. 101: 488–498.
- 18- Heydari N. 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of crops under agricultural management in the country. *Journal of Water Management and Irrigation.*, 2:43-57.(in Persian with English abstract)
- 19- Heydari N., and Haghayehgimohgadam S.A. 2000. Irrigation water use efficiency of major products across the country .gzarsh provided to the Department of Agriculture Ministry of Agriculture. Research Institute of Agricultural Engineering. Karaj.(in Persian)
- 20- Hsiao T.C., Heng L.K., Steduto P., Raes D., and Fereres F. 2009. AquaCrop Model parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*. 101:448–459.
- 21- KHalili N., Davari K., Alizade A., Kafi M., and Ansari H. 2014. Simulation of Yield of Dryland Wheat by using AquaCrop Case Study Dryland Agricultural Research Station Sisab, North Khorasan. . *Journal of Water and Soil.*, 28:930-939.(in Persian with English abstract)
- 22- Keating B.A., Carberry P.S., Hammer G.L., Probert M.E., Robertson M.J., Holzworth D., Huth N.I., Hargreaves J.N.G., Meinke H., Hochman Z., McLean G., Verburg K., Snow V., Dimes J.P., Silburn M., Wang E., Brown S., Bristow K.L., Asseng S., Chapman S., McCown R.L., Freebairn D.M., Smith C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18:267-288.

- 23- Khorsand A., Verdinezhad V., and Shahidi A. 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: 89-104. (in Farsi).
- 24- Kumar P., Sarangi A., Singh D.K., and Parihar S.S. 2014. Evaluation of AquaCrop model in predicting wheat yield and water productivity under irrigated saline regimes. *Irrigation and Drainage.* 63:474–487.
- 25- Liu H.F., Genard M., Guichard S., and Bertin N. 2007. Model assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes, *Journal of Experimental Botany.* 58:7-3580.
- 26- Mkhabela M.S., and Bullock P.R. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Agricultural Water Management.* 110:16– 24.
- 27- Mohamadi M., GHahreman B., Davari K., Ansari H., and Shahidi A.S. 2014. Validation AquaCrop model to simulate yield and water use efficiency of winter wheat under drought and salinity stresses at the same time. *Journal of Water and Soil.*, 29:67-84. (in Persian with English abstract)
- 28- Montazar A., and Kosari H. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. *Proceeding of the international conference of water saving in Mediterranean agriculture and future needs.* Valenzano (Italy). Series B., 56: 109-120.
- 29- Pourmaroof E., Faryabi A., and GHamarnia H. 2010. Evaluation of Sprinkler irrigation systems fixed Dehgolan Plain Kurdistan., *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources Water and soil sciences.*, 54:1-16. (in Persian with English abstract)
- 30- Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., and Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and soft ware description. *Agron. J.*, 101: 438-447.
- 31- Rahimi KHoob H., Sotoozenia A., and Masah Bovani A.R. 2014. AquaCrop model calibration and validation for maize Qazvin region. *Journal of Irrigation and Drainage.*, 8:108-115. (in Persian with English abstract).
- 32- Ramezani Etedali H., Liaqat A., Parsinejhad M., and Tavakoli A. 2016. AquaCrop in irrigation management model calibration and verification of important cereals, *Journal of Irrigation and Drainage.*, 3:389-397. (in Persian with English abstract).
- 33- Ramezani Etedali H. 2012. Development of an Optimization Model for Water Allocation in Irrigated and Rainfed Lands to increase Economical Productivity. Ph.D. Thesis. University of Tehran, Iran.
- 34- Salemi H., Mohd Soom M.A., Lee T.S., and Mousavi S.F., Ganji A., and KamilYusoff M. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. *African Journal of Agricultural Research*, 610: 2204-2215.
- 35- Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., and Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101: 426–437.
- 36- Shariati M.,R. 1997. Review reference evapotranspiration plant alfalfa as lysimeter., *Soil and Water Research Institute.*
- 37- Ziaee T.H., Babazade H.V., and Kave F. 2014. CERES-Maize model performance review and AquaCrop the components of soil water balance and maize yield. *Iranian Journal of Soil and Water Research.*, 45:435-445. (in Persian with English abstract).



Evaluation of AquaCrop Model for different Harvesting time of Alfalfa in Ardestan

F. Ramezani Humbari^{1*} - A. Kaviani² - H. Ramezani Etedali³

Received: 08-01-2017

Accepted: 20-06-2017

Introduction: AquaCrop model was developed to simulate crop response to water consumption and irrigation management. The model is easy to use, works with limited input, and has acceptable accuracy. In this study, the data of an alfalfa field (as a perennial fodder plant) in the Iranian city of Ardestan was used to calibrate and validate the performance of AquaCrop model to simulate the crop productivity in relation to water supply and irrigation management.

Materials and Methods: The data of Fajr-e Esfahan Company farms of Ardestan County were used for calibration and validation of the AquaCrop model, simulating the alfalfa performance in different harvests and over different years. The farms are 1004 m above sea level and located in 33°2' to 33°30' North and 55°20' to 55°22' East. The farm under investigation included ten plots of alfalfa field, with an area of 280 hectares. The data of two plots were used for calibration and, two others used for validation.

Considering that alfalfa is a perennial plant, the data regarding the first harvest was defined as sowing, and transplanting was used to refer to the next harvests. Considering the physiological changes of plants over a year and during different harvests, the numerical value of different parameters, including primary vegetation, maximum vegetation, the depth of primary root development, the maximum depth of primary root development, crop coefficient, germination date, flowering, vegetation senescence, and physiological maturity, were defined for the model. The CRM, NRMSE, R^2 , and EF indices were used for verification of the calibration results. The CRM index determines the overestimation or underestimation of the model. The EF index is variable between 1 and 0, where 1 indicates optimal performance of the model. If all estimated and measured values were equal, the value of CRM and NRMSE would be zero, and EF would be one.

Results and Discussion: After calibration, validation was performed to examine the performance of the model. Hence, the actual performance rate for different harvests and the results of simulations were compared. Lower NRMSE value is indicative of high accuracy of the model in estimation of the performance. The value of CRM was mostly positive, showing the underestimation of the model in most of the simulations. The maximum performance happened during the first harvest year. The annual harvest decreased with an average rate of 1.2, compared to former years. The evaporation and transpiration rate was calculated by the model and the results were compared with potential evapotranspiration (FAO Penman-Monteith) and National Document of Irrigation (NET WAT). The reference crop evapotranspiration (ET_0) had the highest value, and was calculated through FAO Penman-Monteith equation. The numerical value of potential crop evapotranspiration (ET_c), which is the result of multiplication of crop coefficient by reference crop evapotranspiration (ET_0), was greater than the results of the model, i.e. the estimated actual evapotranspiration. The discrepancy between them is the result of stress coefficient ($ET_0 \times K_c \times K_s$), which the model takes into account in estimation of actual plant water requirement. Evapotranspiration refers to two factors, namely the water lost by transpiration from plants and by evaporation from the soil. The plant transpiration and green cover are considered to be the generating part; AquaCrop is able to examine and improve transpiration efficiency through managerial statements. The values of transpiration from plants and evaporation from the soil for alfalfa were differentiated from the values estimated by the model. The productivity of evaporation, transpiration, and evapotranspiration were calculated by the model. The difference in the productivity values of the plots during different years was the result of difference in chemical composition, harvest index, and transpiration rate.

Conclusion: The AquaCrop model performed well in simulation of crop performance compared to actual annual, and even monthly, performance, and its results were very close to the actual performance. The model is sensitive to temperature changes, and it is suggested to use the Growing Degree Days (GDD) instead of Calendar Days section. The Version 5 of AquaCrop model can, in addition to moisture stress, include salinity stress in

1, 2 and 3-MSc Student and Assistant Professors Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin

(* - Corresponding Author Email: Farshid118@gmail.com)

calculations; this is evident in the variation of actual evaporation and transpiration values estimated by the model. In this study, the annual evaporation and transpiration rate was predicted by the model. The higher rate of evaporation can lead to a 27 to 44 percent decrease in the efficiency of evapotranspiration ($Y ET^{-1}$), compared to transpiration efficiency ($Y T^{-1}$).

Keywords: Validation, FAO Penman-Monteith, Calibration, NRMSE