

استفاده تلفیقی از مدل AquaCrop و روش توماس- فیرینگ در بررسی عملکرد گندم دیم

مریم السادات واعظ مدنی^۱، احمد فاخری فرد^۲، ابوالفضل مجنونی هریس^{۳*}

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۵

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تبریز

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majnooni@tabrizu.ac.ir

چکیده

یکی از پیشنهادات کارشناسان برای احیای دریاچه ارومیه تبدیل اراضی آبی به دیم می‌باشد، چرا که نزولات جوی کاهش یافته و تغییر اقلیم و افزایش مصارف کشاورزی موجب قطع حق‌آبه اکولوژیکی رودخانه‌ها در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شده است، در این میان کشت گندم دیم به‌عنوان یک راهکار مفید برای جایگزینی محصولات کشت آبی از طرف کارشناسان مرتبط مطرح است. از این رو بررسی مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد دیم یعنی میزان رطوبت قابل دسترس گیاه ضروری به‌نظر می‌رسد. بدلیل پرهزینه و زمان‌بر بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای جهت تعیین عملکرد محصول با دقت بالا استفاده از مدل‌هایی مانند مدل AquaCrop که در آن عملکرد محصول بر اساس تابعی از رطوبت در دسترس گیاه محاسبه می‌شود، مطلوب است. در این پژوهش پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل گیاهی یاد شده برای شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم دشت تبریز در دوره آماری ۳۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۰)، متغیرهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه با به‌کارگیری سری زمانی توماس- فیرینگ در دوره آماری مذکور برای ۵ سال آتی پیش‌بینی شدند و سپس عملکرد گندم دیم توسط مدل گیاهی برای سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ تخمین زده شد. در پایان راهکار مدیریتی جهت افزایش پتانسیل تولید گندم دیم ارائه گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، توانمندی تلفیقی مدل گیاهی و سری زمانی نامبرده به‌ترتیب در شبیه‌سازی عملکرد محصول و پیش‌بینی اطلاعات اقلیمی در منطقه بالا است. نتایج نشان داد که علیرغم عدم تغییر معنی‌دار بارش، بدلیل افزایش دما، عملکرد گندم در پنج سال آتی ۱۳ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین به‌دلیل مکفی نبودن بارش پیش‌بینی شده، انجام آبیاری تکمیلی به مقدار ۴۰ میلی‌متر برای کشت گندم دیم در منطقه پیش‌بینی گردید تا پتانسیل تولید افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، اعتبارسنجی، دشت تبریز، عملکرد، مدل گیاهی، واسنجی

Using Combined AquaCrop Model and Thomas-Fering Method in Analyzing Rainfed Wheat Yield

MA Vaez Madani¹, A Fakheri Fard², A Majnooni-Heris³

Received: November 24, 2016

Accepted: May 26, 2019

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

²Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

³Assoc. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding Author, e-mail: majnooni@tabrizu.ac.ir

Abstract

One of the experts' suggestions for restoring Lake Urmia is to convert irrigated lands in to rainfed farming in the Urmia lake basin. Rainfed wheat farming might be considered as one of the effective alternatives to the irrigated areas. So, evaluating the soil available moisture as the most important limiting factor of the rainfed wheat farming is necessary. Since the field experiments are costly and time-consuming, application of the crop yield simulating models, e.g. AquaCrop which can estimate the crop yield based on soil water content with high accuracy, would be desirable. In this study, after calibration and validation of the mentioned model for simulating rainfed wheat yield in Tabriz plain during a period of 35-years (1360-1395 HJ), the meteorological variables of the studied region were predicted for a 5-years ahead prediction interval using Thomas-Fering method. The rainfed wheat yield was then estimated using Aquacrop model for the period between 1396 and 1400 (HJ). Finally, management scenario for increasing the potential of rainfed wheat was proposed. The results of this study confirmed the ability of the conjunctive crop model and time series technique for simulating crop yield and meteorological variables in the studied region. Results showed that despite no significant change will be occurred in rainfall amount, ascending trend of the air-temperatures will cause an increase of about 13% in rainfed wheat yield during the next five years. Also, due to precipitation insufficiency for rainfed wheat farming, predicted supplemental irrigation is recommended equal to 40 mm, to increase the potential yield production.

Keywords: Calibration, Crop model, Supplemental irrigation, Tabriz Plain, Validation, Yield

مقدمه

بررسی مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد دیم یعنی میزان آب قابل دسترس گیاه ضروری به نظر می‌رسد. بدلیل پرهزینه و زمان‌بر بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای جهت تعیین عملکرد محصول با دقت بالا استفاده از مدل‌هایی که در آن‌ها عملکرد بر اساس تابعی از آب دسترس گیاه محاسبه می‌شود، مطلوب است. تاکنون جهت شبیه‌سازی عملکرد، مدل‌های متعددی شامل *STICS* (بریسون و همکاران ۲۰۰۳، هدریا و همکاران ۲۰۰۷)، *WOFOST* (دپین ون ۱۹۸۹)، *CropSyst* (استوکل و همکاران ۲۰۰۳) و غیره توسط محققین مختلف ارائه شده که واسنجی آن‌ها بدلیل متغیرهای ورودی زیاد و سخت بودن اندازه‌گیری آن‌ها

گندم به‌عنوان دومین محصول پرمصرف پس از برنج، تأمین‌کننده بیشترین نیاز غذایی کشورهای در حال توسعه است (براون و همکاران ۲۰۱۰) که حدود ۲۲ درصد از سطح زمین‌های زیر کشت در دنیا به محصول گندم اختصاص یافته (لیکر و همکاران ۲۰۰۳) و تقریباً ۲۰ درصد از کالری مصرفی روزانه توسط آن فراهم می‌شود (رامیرز-رودریگز و همکاران ۲۰۱۶). از طرفی طبق نتایج حاصل از تحقیق زارع فیض‌آبادی و همکاران (۱۳۸۵)، نیاز کشور به گندم تا سال ۱۴۰۰ از مرز ۲۰ میلیون تن در سال خواهد گذشت که در خوشبینانه‌ترین حالت حدود ۶۵ الی ۷۰ درصد از اراضی آبی و بقیه باید از اراضی دیم تأمین شود. لذا

منطقه پاکدشت پرداختند، بر اساس نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها مقدار روز درجه رشد از شروع جوانه‌زنی تا رسیدن محصول و ضریب بهره‌وری نرمال‌شده با استفاده از داده‌های واسنجی و روش سعی و خطا به‌ترتیب ۱۲۶۰ روز درجه و ۱۴/۸ گرم بر مترمربع برآورد شد. همچنین نتایج آن‌ها با استفاده از داده‌های صحت‌سنجی نشان داد که مدل واسنجی شده با ضریب تعیین ۰/۹۹ و جذر میانگین مربعات خطای ۰/۵۹ تن در هکتار، با داده‌های اندازه‌گیری شده تطابقی منطقی داشت.

یکی از رویکرد سیاست‌های کنونی برای احیای دریاچه ارومیه تبدیل اراضی آبی به دیم می‌باشد، چرا که افزایش مصارف کشاورزی موجب قطع حق‌آبه اکولوژیکی رودخانه‌ها در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شده است، بنابراین جهت توسعه کشت مبتنی بر پایه باران می‌توان با مدل گیاهی AquaCrop عملکرد محصول دیم را برآورد کرد تا با برنامه‌ریزی و مدیریت کشت، از نزولات جوی استفاده حداکثری نمود و به محصول با عملکرد بالاتر دست یافت، لازم به ذکر است پیش‌بینی اطلاعات اقلیمی برای بهره‌گیری از این ابزار مدیریتی ضروری است.

پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی به دو صورت استفاده از مدل‌های اقلیمی پیچیده و یا به صورت آماری امکان‌پذیر است. بررسی‌های آماری خود به روش‌های مختلف شامل تحلیل سری‌های زمانی، همبستگی خطی و غیر خطی و استفاده از توزیع‌های آماری متفاوت انجام می‌گیرد (ابراهیمی آذرخواران و مقدم‌نیا ۱۳۹۲). اگرچه در زمینه پیش‌بینی، سری‌های زمانی (مدل‌های زنجیره مارکوف، توماس-فیرینگ و غیره) و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مختلفی ($FFNN$ ، RNN ^۲ و غیره) کاربرد دارند ولی به طور کلی دلیل استفاده از روش‌های هوشمند در پیش‌بینی مسائل

مستلزم مهارت زیادی است (عابدین‌پور و همکاران ۲۰۱۲). سازمان فائو، مدل AquaCrop را جهت شبیه‌سازی عملکرد محصول در پاسخ به مقدار آب کاربردی عرضه نمود (راس و همکاران ۲۰۰۹، استدیوتو و همکاران ۲۰۰۹). ارائه نتایج با دقت بالا، سادگی، متغیرهای ورودی کمتر و سهولت استفاده توسط کاربر سبب شده تا مدل مذکور در مقایسه با سایر مدل‌های موجود مورد توجه قرار گیرد.

توانایی مدل AquaCrop جهت شبیه‌سازی عملکرد محصولات مختلف در سراسر جهان برای اقلیم‌های متفاوت ارزیابی شده است. برای مثال تومی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی مدل AquaCrop جهت شبیه‌سازی تبخیر-تعرق، رطوبت خاک و عملکرد محصول گندم زمستانه در مراکش پرداختند. آن‌ها با به‌کارگیری آماره‌های ارزیابی مختلف نشان دادند که در منطقه مورد مطالعه اختلاف داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده حداقل بود. اندرزیان و همکاران (۲۰۱۱) در شرایط اقلیمی خوزستان به صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop برای مراحل مختلف رشد گندم تحت سناریوهای آبیاری متفاوت پرداختند. بر اساس پژوهش آن‌ها شبیه‌سازی پارامترهایی نظیر رطوبت منطقه ریشه، توده گیاهی و عملکرد محصول در منطقه اهواز توسط مدل به خوبی انجام شد و به‌تبع آن ریشه دوم میانگین مربعات خطا ($RMSE$) از ده درصد کمتر برآورد گردید. خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) به شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل AquaCrop در خراسان شمالی پرداختند. برای واسنجی از داده‌های دو سال زراعی و برای اعتبارسنجی از داده‌های پنج ساله عملکرد واقعی محصول که مستقل از مرحله واسنجی بود، استفاده گردید، نتایج بدست آمده نشان داد که قابلیت مدل‌سازی عملکرد محصول توسط مدل AquaCrop بالا است. کریمی اورگانی و همکاران (۱۳۹۵) به واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای محصول جو در

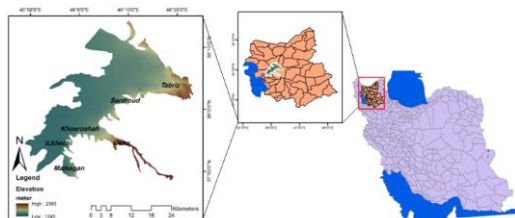
¹ Feed forward neural network

² Recurrent neural network

دومارتن نیمه خشک و بر طبق رده بندی کوین در ردیف کليمای GSB یعنی نوعی آب و هوای مدیترانه‌ای و تابستانی خنک منظور شده است.

اطلاعات اقلیمی، خاک و محصول

داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تبریز به صورت روزانه در دوره آماری ۱۳۶۰-۱۳۹۵ از سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی گرفته شد، این آمار و اطلاعات شامل بارش (R ، میلی‌متر)، کمینه و بیشینه دما (T_{min} و T_{max} ، درجه سلسیوس)، ساعات آفتابی (n ، ساعت)، سرعت باد (U_2 ، متر بر ساعت) و حداقل و حداکثر رطوبت نسبی (RH_{min} ، RH_{max} درصد) بود که در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) به روش فائو-پنمن-مانتیث (آلن و همکاران ۱۹۹۸) به کار گرفته شدند. همچنین داده‌های عملکرد محصول گندم دیم (Y_m) و مشخصات فیزیکی خاک غالب شامل بافت، تعداد لایه خاک، چگالی ظاهری، رطوبت حجمی در حد اشباع (SAT)، ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) به ترتیب از سازمان‌های جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای استان در دوره آماری فوق اخذ شدند. لازم به ذکر است جهت واسنجی، داده‌های عملکرد گندم دیم ۷ سال (۱۳۷۶-۱۳۸۲) و برای اعتبارسنجی داده‌های ۲۸ ساله مستقل از مرحله واسنجی استفاده شدند. متوسط اطلاعات اقلیمی در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۱ و ویژگی‌های خاک غالب منطقه (بی نام ۱۳۷۹) در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

تک‌متغیره مبتنی بودن آن‌ها بر اساس حافظه سری (طول دوره آماری) است، لذا زمانی که آمار در دسترس طولانی مدت باشد، پیش‌بینی از اعتبار و اعتماد مکفی برخوردار بوده و توان انتقال رفتار زمانی به آینده را دارا خواهد بود. در رابطه با پیش‌بینی تحقیقات زیادی توسط پژوهشگران مختلف انجام شده است، برای مثال خلیلی و ناظری تهرودی (۱۳۹۳) با به‌کارگیری سری زمانی $ARMA^1$ به مدل‌سازی و پیش‌بینی بر اساس آمار و اطلاعات بارش و دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک شهر سنندج در دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۱ پرداختند. همچنین عبدالله‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) به پیش‌بینی مقادیر مصارف و بارش در آبخوان دشت عجب‌شیر با استفاده از مدل زمانی توماس-فیرینگ پرداختند و نتایج خوبی را ارائه دادند.

هدف از این پژوهش استفاده تلفیقی از مدل *AquaCrop* و سری زمانی توماس-فیرینگ برای تعیین و پیش‌بینی عملکرد گندم دیم می‌باشد. برای نیل به این هدف مدل *AquaCrop* با استفاده از داده‌های بلندمدت برای شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم در دشت تبریز، واسنجی و اعتبارسنجی گردید. سپس با کاربرد سری زمانی توماس-فیرینگ، متغیرهای اقلیمی برای پنج سال آینده پیش‌بینی و جهت تعیین عملکرد گندم در دوره آتی وارد مدل *AquaCrop* شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، دشت تبریز با مساحت بیش از ۱۰۰۰۰۰ هکتار و مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی در شمال‌غرب کشور و در قسمت شرقی حوضه دریاچه ارومیه واقع شده است (شکل ۱). اقلیم منطقه طبق روش

¹Autoregressive- moving- average

جدول ۱- میانگین اطلاعات اقلیمی در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی.

متوسط روزانه مشخصات اقلیمی								پارامتر
$\overline{ET_0}$	a_x	\overline{RH}_{min}	σ_z	\bar{i}	\bar{T}_{max}	\bar{T}_{max}	\bar{R}	مرحله
mm day ⁻¹		%	km hr ⁻¹	hr	°C		mm	
۴/۶۲	۶۶/۹۰	۳۱/۶۹	۳/۹۳	۸/۰۷	۱۹/۲۹	۸/۱۹	۰/۶۱	واسنج ی
۴/۲۵	۷۰/۱۶	۳۴/۸۱	۲/۹۷	۷/۶۶	۱۸/۵۸	۷/۶۲	۰/۷۲	اعتبارس نجی

جدول ۲- میانگین مشخصات فیزیکی بافت خاک غالب دشت تبریز.

ویژگی خاک		بافت		چگالی ظاهری		رطوبت حجمی (%)	
عمق (cm)				gr cm ⁻¹			
		PWP	FC	SAT			
۰-۳۰	لومی	۱۱/۲۵	۲۱/۸۴	۳۷/۵۶	۱/۵۴		
۳۰-۷۰	سیلتی-لومی	۱۳/۶	۲۶/۵۸	۴۰/۷۰	۱/۵۰		
۷۰-۱۱۰	لومی	۱۲/۹۰	۲۶/۷۰	۳۹/۶۶	۱/۴۳		
۱۱۰-۱۵۰	سیلتی-لومی	۱۱/۰۵	۲۵/۰۷	۴۴/۳۶	۱/۵۲		

توجه به مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0)، عملکرد محصول را بر اساس معادله زیر برآورد می‌کند.

$$WP_{adj}^* = \frac{B}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T_r}{ET_0}\right)_i} \Rightarrow B = WP_{adj}^* \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_r}{ET_0}\right)_i \quad [1]$$

که در آن پارامتر WP_{adj}^* بر حسب ($Mg\ ha^{-1}$) نشانگر بهره‌وری آب اصلاح و نرمال شده بر اساس دو عامل تبخیر- تعرق مرجع و غلظت دی‌اکسیدکربن است (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۳). در راستای شبیه‌سازی عملکرد محصول گندم دیم، متغیرهای ورودی نسخه ۵ مدل (اکتبر ۲۰۱۵) که شامل اقلیم، گیاه، مدیریت، خاک، شرایط اولیه حاکم بر آب‌خاک و دوره زمانی شبیه‌سازی می‌باشد، تکمیل شد که در ادامه به ترتیب به شرح هر یک آن‌ها پرداخته شده است. جهت دستیابی به جزئیات بیشتر مدل به پژوهش‌های راس و همکاران (۲۰۰۹) و استدیوتو و همکاران (۲۰۰۹) مراجعه گردد.

پارامترهای اقلیمی

در مدل AquaCrop اطلاعات چهارگانه اقلیمی مورد نیاز شامل بارش، تبخیر- تعرق گیاه مرجع، درجه حرارت و غلظت دی‌اکسید کربن موجود در جو می‌باشد که به جز

مدل AquaCrop

معادله اصلی جهت برآورد عملکرد محصول در مدل AquaCrop بر اساس توسعه رابطه دورنباس و کاسام (۱۹۷۹) می‌باشد که مبتنی بر رابطه خطی عملکرد و تعرق می‌باشد. با تکیه بر تئوری ریچی علاوه از جداسازی تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه (ریچی، ۱۹۷۲)، پوشش کانوپی گیاه^۱، جایگزین شاخص سطح برگ^۲ شده است. در این مدل توده گیاهی^۳ (B) و عملکرد نهایی محصول (Y_P) طبق دو معادله ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند.

$$B = WP \cdot \sum T_r \quad [1]$$

$$Y_P = B \cdot HI \quad [2]$$

که در روابط فوق عوامل WP ، $\sum T_r$ و HI به ترتیب نمایانگر بهره‌وری آب (گرم بر متر مربع)، تعرق تجمعی گیاه (میلی‌متر در روز) و شاخص برداشت (درصد) هستند. به طور کلی این مدل پس از نرمال نمودن تعرق گیاه (T_r) با

¹ Canopy Cover

² Leaf Area Index

³ Biomass

حجمی را به عنوان مرجع در نظر می‌گیرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴).

در حال حاضر نیز رقم یکسانی در کل دشت و منطقه کشت نمی‌گردد، لذا داده‌های عملکرد مطالعه حاضر، متوسط عملکرد ارقام مرسوم منطقه می‌باشد. تاریخ خاصی جهت کشت رقم دیم در منطقه وجود نداشته و به طور کلی متأثر از مقدار بارش در فصل پاییز می‌باشد، همچنین درجه حرارت اواخر بهار و اوایل تابستان در تاریخ برداشت آن اثرگذار است (بنیایان و همکاران ۲۰۱۰). در این پژوهش طول دوره شبیه‌سازی معادل با متوسط تاریخ کشت گندم دیم در منطقه یعنی ۲۴ مهر (۱۵ اکتبر) و تاریخ برداشت آن (۱۴ تیر) ۵ جولای در نظر گرفته شد.

واسنجی و اعتبارسنجی

واسنجی با هدف انطباق قابل قبول نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل با داده‌های واقعی انجام می‌پذیرد. در این پژوهش مدل AquaCrop بر اساس داده‌های زراعی ۷ ساله محصول گندم (۱۳۸۲-۱۳۷۶) تحت شرایط دیم واسنجی شد. پارامترهای متغیر مدل در راستای دستیابی به بهترین برازش استخراج شدند.

برای اعتبارسنجی، مدل AquaCrop با داده‌های مستقل از مرحله واسنجی اجرا گردید. داده‌های عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به ترتیب بعنوان متغیرهای وابسته و مستقل در یک مدل رگرسیونی خطی به کار گرفته شدند و همبستگی آن‌ها به صورت معادله ۴ بیان شد. با استفاده از روابط ۵ تا ۱۳ محدوده‌های اطمینان در سطح ۹۵ درصد ترسیم و آستانه حداقل و حداکثر ضرایب معادله خطی بیان گردید.

$$\hat{Y}_P = \hat{\beta}_1 Y_M + \hat{\beta}_2 \quad [4]$$

$$SSY_M = \sum_{i=1}^N (Y_{M_i} - \bar{Y}_M)^2 \quad [5]$$

$$SSY_P = \sum_{i=1}^N (Y_{P_i} - \bar{Y}_P)^2 \quad [6]$$

$$SY_M Y_P = \sum_{i=1}^N (Y_{M_i} - \bar{Y}_M)(Y_{P_i} - \bar{Y}_P) \quad [7]$$

$$\sigma^2 = \frac{SSY_P - \hat{\beta}_1 SY_M Y_P}{N-2} \quad [8]$$

$$S_e(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\sigma^2 \left(\frac{1}{N} + \frac{\bar{Y}_M^2}{SSY_M} \right)} \quad [9]$$

پارامتر چهارم کلیه اطلاعات با به‌کارگیری پارامترهای سازمان هواشناسی استان تکمیل شد. همچنین مدل برای غلظت CO_2 مقدار ۳۶۹/۴۶ قسمت در میلیون

پارامترهای گیاهی

پارامترهای گیاهی به دو دسته کلی ثابت^۱ و غیر ثابت^۲ تقسیم می‌شوند. مقادیر ثابت پارامترهای گیاهی مانند شاخص برداشت مرجع، بیشینه مقدار تخلیه رطوبت خاک با هدف تکمیل پروسه رشد ($P_{exp, upper}$) و غیره به صورت پیش‌فرض در مدل برای محصولات مختلف توسط کارشناسان فائو ارائه شده که واسنجی آن‌ها با بهره‌گیری از داده‌های رشد گیاه در شرایط ایده‌آل و بدون محدودیت صورت گرفته است. لازم به ذکر است کاربرد آن‌ها در صورت وجود تنش آبی از طریق ضریب پاسخ به تنش (K_S) صورت می‌گیرد، بدین‌سان که در زمانی که گیاه تحت تنش کم‌آبی قرار نگیرد مقدار آن برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. پارامترهای غیر ثابت همچون ضرایب رشد و کاهش پوشش گیاهی (CDC, CGC) و غیره متأثر از خانواده گیاه و گونه آن می‌باشد، لذا بدلیل وارد شدن مقادیر آن‌ها توسط کاربر به مدل، این پارامترها نیاز به واسنجی ندارند.

نحوه آبیاری و مدیریت زراعی

بدلیل دیم بودن محصول مورد مطالعه، کشت، مبتنی بر آب باران در نظر گرفته شد. همچنین مدیریت مزرعه منطبق بر پیش‌فرض مدل یعنی میزان رواناب و مالچ‌پاشی معادل صفر و عدم محدودیت در حاصلخیزی خاک تنظیم گردید.

خاک، شرایط اولیه حاکم بر آب‌خاک و دوره زمانی شبیه‌سازی

خصوصیات هیدرولیکی در هر لایه از نیمرخ خاک طبق اطلاعات خاک‌شناسی جدول ۲ وارد مدل شدند و مدل پس از کاشت در فواصل زمانی روزانه اجرا گردید. در دشت تبریز در چند دهه اخیر ارقام مختلف گندم کشت شده است و

¹ Conservative

² Non-Conservative

این مدل به‌عنوان یکی از روش‌های مستقیم تولید داده‌های مصنوعی است که برای سری‌های پرپیوندیک ماهانه نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. میزان پارامترهای هواشناسی ماه‌های آتی در روش مذکور که مبتنی بر مدل رگرسیون خطی است با استفاده از داده‌های آماری سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۵ و یک متغیر تصادفی بر پایه تابع توزیع احتمال نرمال به‌دست آمد که معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$A_{t+1} = \bar{A}_{j+1} + \beta_j (A_t - \bar{A}_j) + z_t \times s_{j+1} \sqrt{1 - R_j^2} \quad [20]$$

$$\beta_j = R_j \frac{s_{j+1}}{s_j} \quad [21]$$

در رابطه فوق پارامترهای $A_t, \bar{A}_j, \bar{A}_{j+1}, \beta_j, s_{j+1}, s_j$ و R_j به ترتیب نشانگر اطلاعات اقلیمی مختلف (بارش، حداقل و حداکثر دما، ساعت آفتابی، متوسط سرعت باد و حداقل و حداکثر رطوبت نسبی) در ماه $t+1$ ام، میانگین ماهانه پارامترها در ماه‌های $t+1$ زام و $t+1$ زام، ضریب خطی‌سازی برای برآورد اطلاعات اقلیمی، انحراف معیار مقادیر اطلاعات اقلیمی ماه‌های $t+1$ زام و $t+1$ زام، ضریب همبستگی داده‌ها و عدد نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ هستند. با در دست داشتن آمار و اطلاعات در طول دوره آماری مورد مطالعه، مقادیر اطلاعات اقلیمی برای ۵ سال آتی با به‌کارگیری روش توماس-فیرینگ پیش‌بینی شد. شاخص‌های ارزیابی سری زمانی نامبرده با پارامترهای آماری در ارزیابی مدل گیاهی مشترک است.

نتایج و بحث

واسنجی مدل AquaCrop

پارامترهای گیاهی واسنجی شده محصول گندم دیم در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر آستانه بالایی و پایینی تخلیه رطوبت خاک متأثر از عوامل مختلف شامل اقلیم، رقم گیاه، مراحل رشد و میزان تبخیر است. همچنین ضریب شکل منحنی تنش به شدت، تداوم و حساسیت گیاه به بروز تنش‌ها دارد. به همین سبب ارقام پیش‌فرض پارامترهای گیاهی گندم در مدل با محصول کشت شده در محدوده مورد ارزیابی تفاوت دارد. لازم به ذکر است با کاهش رطوبت خاک، تنش به دو صورت خطی یا غیر خطی مطابق ضریب شکل

$$S_\varepsilon(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\frac{\sigma^2}{SSY_M}} \quad [10]$$

$$\beta_1 = \hat{\beta}_1 \pm t_{\frac{\alpha}{2}, N-P} S_\varepsilon(\hat{\beta}_1) \quad [11]$$

$$\beta_1 = \hat{\beta}_1 \pm t_{\frac{\alpha}{2}, N-(K+1)} S_\varepsilon(\hat{\beta}_1) \quad [12]$$

$$\mu = \hat{Y}_P \pm t_{\frac{\alpha}{2}, N-(K+1)} \sqrt{\sigma^2 \left(\frac{1}{N} + \frac{(Y_{M_i} - \bar{Y}_M)^2}{SSY_M} \right)} \quad [13]$$

در روابط فوق پارامترهای $\sigma^2, SY_M, Y_P, SSY_P, SSY_M, S_\varepsilon(\hat{\beta}_1), S_\varepsilon(\hat{\beta}_1)$ و $\mu, K, \alpha, \bar{Y}_P, \bar{Y}_M, Y_{P_i}, Y_{M_i}$ به ترتیب نمایانگر مجموع مربعات اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، مجموع حاصلضرب اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده در شبیه‌سازی شده، واریانس خطاها، خطای استاندارد ضرایب β_1 و β_1 ، مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی متغیر t ام، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، درجه آزادی، تعداد متغیرها، محدوده نوسان میانگین و تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده هستند.

برای بررسی آماری این مراحل از آماره‌هایی شامل ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده $(NRMSE)$ ، راندمان مدل (EF) ، شاخص سازگاری $(D-Index)$ و معیار کارایی نش-ساتکلیف (NSE) به صورت زیر استفاده گردید.

$$NRMES = \frac{1}{\bar{Y}_M} - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{P_i} - Y_{M_i})^2} \times 100 \quad [14]$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{M_i} - \bar{Y}_M)^2 - \sum_{i=1}^N (Y_{P_i} - Y_{M_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{M_i} - \bar{Y}_M)^2} \quad [15]$$

$$D - Index = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{P_i} - Y_{M_i})^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_{M_i}| + |Y_{P_i}|)^2} \right] \quad [16]$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{P_i} - Y_{M_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{M_i} - \bar{Y}_M)^2} \quad [17]$$

متغیرهای Y_{P_i} و Y_{M_i} بر اساس روابط زیر محاسبه شدند.

$$Y_{P_i} = Y_{P_i} - \bar{Y}_M \quad [18]$$

$$Y_{M_i} = Y_{M_i} - \bar{Y}_M \quad [19]$$

مدل توماس-فیرینگ

¹ Normalized Root Mean Square Error

² Index of Agreement

³ Nash-Sutcliffe efficiency

مدل خطی میان مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده گندم دیم و شبیه‌سازی شده توسط مدل *AquaCrop* در سطح اطمینان ۹۵ درصد در طول دوره آماری ۲۸ ساله که مستقل از مرحله واسنجی می‌باشد در شکل ۳ ارائه شده که بدلیل بالا بودن ضریب همبستگی معادله خطی ($R^2 = 0.185$)، پهنای باند اطمینان معادله و ضرایب آن در سطح احتمال مذکور باریک است (روابط ۲۲ و ۲۳)، از طرفی آماره‌های ارزیابی جدول ۵ به وضعیت ایده‌آل نزدیک است لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل *AquaCrop* مقدار عملکرد دانه تولیدی گندم دیم را در منطقه مورد مطالعه به خوبی شبیه‌سازی نموده است. همچنین مطابق شکل ۴، پارامتر ریشه دوم میانگین مربعات خطا حداقل (معادل 0.03932 تن در هکتار) بوده و مقدار آن نزدیک به صفر برآورد شده است. نزدیک بودن مقادیر راندمان مدل و شاخص سازگاری به عدد ۱ نشانگر توانمندی مدل *AquaCrop* در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم دیم در منطقه مورد مطالعه است. خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) نیز محدوده پارامترهای آماری مرحله اعتبارسنجی مدل *AquaCrop* در منطقه خراسان رضوی را برای شبیه‌سازی گندم دیم ایده‌آل گزارش نموده‌اند.

اطلاعات اقلیمی پیش‌بینی شده به روش توماس-فیرینگ

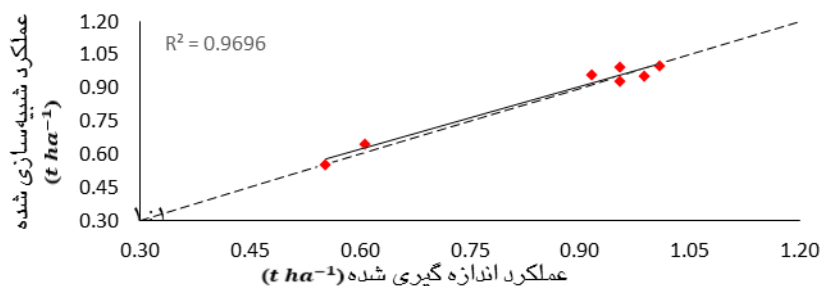
متوسط شاخص‌های آماری برای ارزیابی مقادیر حاصل از پیش‌بینی اطلاعات اقلیمی با سری زمانی توماس-فیرینگ در طول دوره آماری ۳۵ ساله در جدول ۶ ارائه شده است. بررسی آماره‌ها نشان می‌دهد که نتایج پیش‌بینی بدلیل قرار گرفتن تمامی شاخص‌های آماری به جز *NRMSE* در محدوده شرایط نزدیک به ایده‌آل، قابل قبول است. در مدل‌سازی زمانی که مقدار شاخص *NRMSE* کمتر از ده درصد، بین بازه ۱۰ تا ۲۰ درصد، ۲۰ تا ۳۰ درصد و بیشتر از ۳۰ درصد باشد، وضعیت به‌ترتیب ایده‌آل، مناسب، متوسط و نامناسب است (خرسند و همکاران، ۱۳۹۳)، در این پژوهش مقدار این شاخص در وضعیت مناسب قرار دارد.

منحنی آن افزایش می‌یابد، به همین دلیل گیاه در آستانه حداقل رطوبت، حداکثر تنش را تجربه می‌کند. رابطه بین عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در طول ۷ سال برای مرحله ارزیابی در شکل ۲ نشان داده شده است. بررسی شکل فوق نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با ضریب تعیین ۰/۹۷ وجود دارد و اختلاف معنی‌داری بین شیب حاصل با شیب (یک) و عرض از مبدا (صفر) خط یک به یک در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد. عرض از مبدا خط رگرسیونی حاصل در این مطالعه در محدوده (۰/۱۱ تا -۰/۲۲) و شیب خط رگرسیونی حاصل در محدوده (۰/۷۵ تا ۱/۱۴) قرار دارد. بدلیل قرار گرفتن شیب و عرض از مبدا خط یک به یک در محدوده‌های فوق اختلاف معنی‌داری بین شیب و عرض از مبدا این دو خط در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده نمی‌شود و این نشان از دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی عملکرد گندم و موفقیت در واسنجی مدل می‌باشد. شاخص‌های آماری مورد بررسی برای مرحله واسنجی در جدول ۴ ارائه شده است. قرار گرفتن پارامتر *NRMSE* در بازه کمتر از ۱۰ درصد، نزدیک بودن شاخص‌های نش-ساتکلیف، سازگاری و راندمان مدل به عدد یک نشانگر این است که مدل *AquaCrop* به درستی برای منطقه مورد مطالعه واسنجی شده است لذا دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد قابل قبول است. خرسند و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی مدل *AquaCrop* در پیش‌بینی عملکرد گندم در منطقه بیرجند پرداختند. بر اساس نتایج پژوهش آن‌ها شاخص‌های آماری R^2 ، *NRMSE* و *NSE* در مرحله واسنجی، به‌ترتیب معادل ۰/۹۶۵، ۰/۲۴۵ و ۰/۹۶۵ برآورد شدند که با نتایج شاخص‌های آماری در این تحقیق مطابقت دارد.

اعتبارسنجی مدل *AquaCrop*

جدول ۳- پارامترهای واسنجی شده گندم دیم توسط مدل AquaCrop.

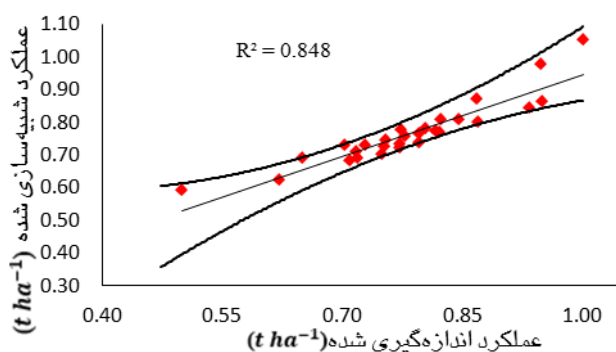
مقدار	پارامتر گیاهی	نوع پارامتر
۱	دمای پایه ($T_{Base}, ^\circ C$)	ثابت
۳۰	دمای بالا ($T_{Cut-off}, ^\circ C$)	
۱/۳۸	پوشش کانوپی اولیه ($CC_0, \%$)	
۵	پوشش کانوپی اولیه به هنگام تکمیل ۹۰ درصد سبز شدن	
۰/۲۵	آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک در رشد رویشی ($P_{exp, Upper}$)	
۰/۵۵	آستانه پایینی تخلیه رطوبت خاک در رشد رویشی ($P_{exp, Lower}$)	
۳	ضریب شکل منحنی تنش رشد برگ رویشی	
۰/۵۰	آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک در هدایت روزه‌ای ($P_{sto, Upper}$)	
۳	ضریب شکل منحنی تنش هدایت روزه‌ای	
۰/۸۵	آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک برای جلوگیری از پیری	
۳	ضریب شکل منحنی تنش پیری	غیر ثابت
۰/۱۶	ضریب بهره‌وری آب اصلاح و نرمال شده بر اساس ET_0 و CO_2	
۵۰	شاخص برداشت مرجع ($HI_0, \%$)	
۱۲	آغاز جوانه‌زنی (روز پس از کاشت)	
۱۵۸	طول دوره تا وقوع حداکثر پوشش گیاهی (روز پس از کاشت)	
۲۰۸	طول دوره پیری (روز پس از کاشت)	
۸۵	حداکثر پوشش گیاهی ($CC_x, \%$)	
۴/۶	ضریب رشد پوشش گیاهی ($CGC, \%/Day$)	
۸	ضریب کاهش پوشش گیاهی ($CDC, \%/Day$)	
۱/۵۷	حداکثر عمق مؤثر ریشه (Zx, m)	



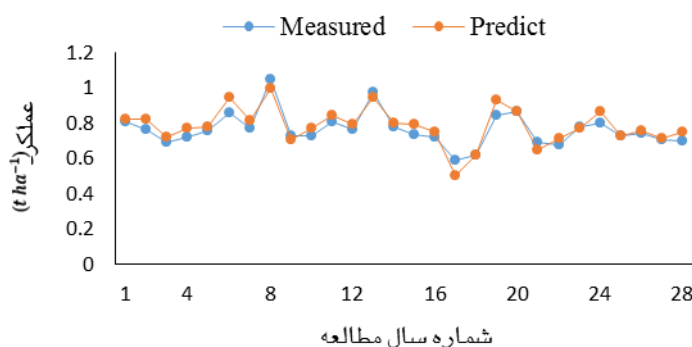
شکل ۲- رابطه بین مقادیر عملکرد گندم دیم شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده.

جدول ۴- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده عملکرد و شاخص های آماری.

							سال زراعی
۱۳۸۳-۱۳۸۲	۱۳۸۲-۱۳۸۱	۱۳۸۰-۱۳۸۱	۱۳۸۰-۱۳۷۹	۱۳۷۸-۱۳۷۹	۱۳۷۷-۱۳۷۸	۱۳۷۶-۱۳۷۷	عملکرد ($t ha^{-1}$)
۰/۹۳۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۵۰۱	۰/۶۴۶۲	۰/۵۵۰۰	۰/۹۹۴۴	۰/۹۵۷۶	اندازه‌گیری شده (Y_M)
۰/۹۵۴۵	۱/۰۰۰۸	۰/۹۸۷۱	۰/۶۰۵۲	۰/۵۵۲۰	۰/۹۵۴۴	۰/۹۱۵۰	شبیه‌سازی شده (Y_P)
شاخص های آماری							
NSE		D-Index		EF		NRMSE	
۰/۹۶		۰/۹۹		۰/۹۳		۳/۷۰٪	



شکل ۳- مقایسه عملکرد گندم دیم اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای مرحله اعتبارسنجی.



شکل ۴- مقایسه عملکرد گندم دیم اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی به ازای سال‌های مختلف.

$$-0.4546 \leq \beta_1 \leq 1/20.12$$

[۲۲]

$$-0.1750 \leq \beta_2 \leq -0.4044$$

[۲۲]

جدول ۵- شاخص‌های آماری برای مرحله اعتبارسنجی.

شاخص‌های آماری				
NSE	D-Index	EF	NRMSE	
۱	۱	۱	<۱۰٪	ایده‌آل
۰/۸۲	۰/۹۰	۰/۸۵	۵/۱۵	محاسبه شده

تعلق داشت. مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی که به مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی در طول دوره آماری ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ پرداختند نشان دادند که بیشترین خطای مطلق مدل‌سازی مربوط به پارامتر ساعت آفتابی بود.

روش توماس- فیرینگ برای گسترش داده‌های ماهانه مناسب است. در این تحقیق از میان پارامترهای هواشناسی پیش‌بینی شده بیشترین و کمترین ضریب همبستگی به ترتیب به پارامتر حداقل و حداکثر دما با مقدار ($R^2 = 0.96$) و ساعت آفتابی با مقدار ($R^2 = 0.59$)

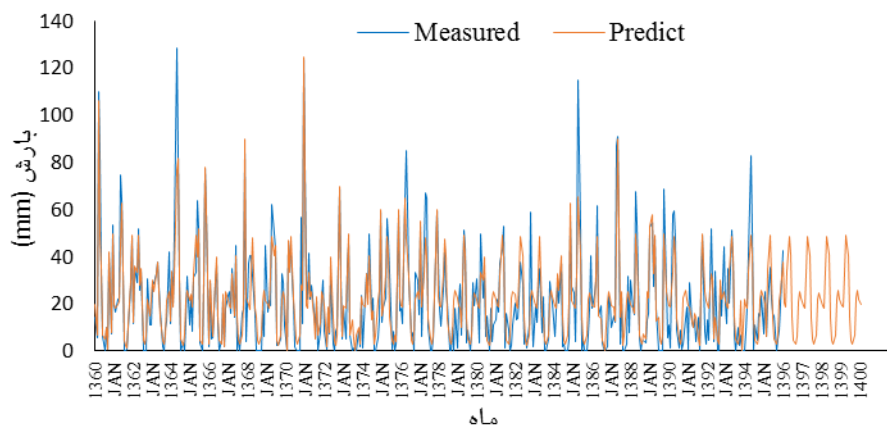
برای نمونه در شکل ۵ به مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده بارش با سری زمانی توماس-فیرینگ برای ۵ سال آینده (۱۳۹۷-۱۴۰۰) پرداخته شده است که بر اساس آن مقدار پارامتر ریشه دوم میانگین مربعات خطا معادل ۵ میلیمتر می‌باشد. همچنین بدلیل معادل بودن ضریب R^2 با ۰/۷۲ بر اساس شکل ۶، همبستگی خطی بین مقادیر شبیه‌سازی شده بارش توسط سری و اندازه‌گیری شده آن بالا است، لذا نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش قابل اعتماد است.

متوسط عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل AquaCrop برای ۵ سال آبی معادل ۰/۸۷ تن در هکتار می‌باشد، از طرفی طبق شکل ۷، تمامی مقادیر پیش‌بینی شده بارش سالانه از حداقل آستانه بارش در کشت دیم (معادل با

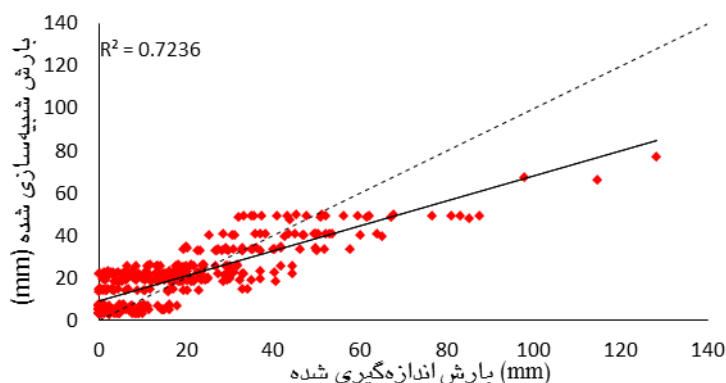
۳۰۰ میلی‌متر در سال) کمتر است، لذا انجام آبیاری تکمیلی به عمق ۴۰ میلی‌متر در طول دوره رشد حساس گندم به کم‌آبی که مصادف با دوره گلدهی محصول است توصیه می‌شود. بررسی متوسط گندم تولیدی دوره در دسترس و پنج سال آینده نشان می‌دهد که ۱۳ درصد در عملکرد گندم در سالهای آبی افزایش وجود خواهد داشت. در پیش‌بینی بارش، متوسط بارش پنج ساله اختلاف معنی داری با متوسط سالهای گذشته ندارد و افزایش عملکرد ناشی از افزایش دما در این دوره می‌باشد.

جدول ۶- متوسط شاخص‌های آماری برای ارزیابی سری زمانی توماس-فیرینگ.

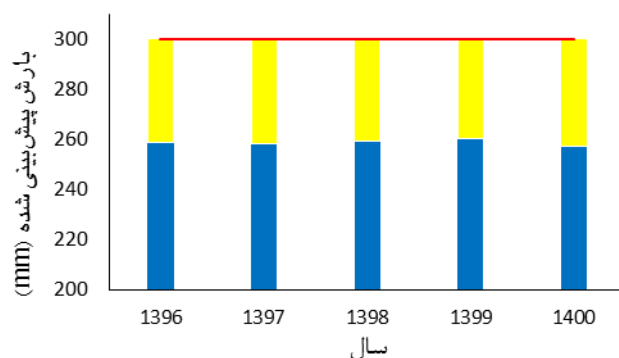
آماره‌های ارزیابی				
NSE	D-Index	EF	NRMSE	
۱	۱	۱	<۱۰٪	ایده‌آل
۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۷۰	۱۹/۹۸	محاسبه شده



شکل ۵- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده بارش در سالهای مورد مطالعه.



شکل ۶- رابطه داده‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده بارش.



شکل ۷- نمودار تعداد سال‌های کمتر از کمترین آستانه بارش سالانه پیش‌بینی شده در پنج سال آینده.

نتیجه‌گیری کلی

منطقه شمالغرب کشور بدلیل مواجه شدن با خشکسالی‌های مداوم و توزیع زمانی نامناسب بارش، بحران خشک شدن دریاچه ارومیه و نزول تصاعدی سطح آب زیرزمینی نیاز به مدیریت هوشمند جهت استفاده حداکثری از نزولات جوی برای بهبود عملکرد گندم و کاهش مصرف آب کشاورزی دارد. در این میان به‌کارگیری مدل‌های شبیه ساز رشد گیاه به‌عنوان ابزار مدیریتی برای ارزیابی اثرات تنش خشکی بر عملکرد محصول دیم و تعیین برنامه هوشمند جهت کشت، مفید واقع خواهد شد. در این پژوهش مدل گیاهی *AquaCrop* برای تخمین عملکرد گندم دیم دشت تبریز بر اساس آمار طولانی‌مدت واسنجی و اعتبارسنجی شد. سپس اطلاعات اقلیمی ماهانه در طول ۵ سال آبی به روش

توماس- فیرینگ پیش‌بینی و ارزیابی گردید. متوسط عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل *AquaCrop* برای ۵ سال آبی معادل ۰/۸۷ تن در هکتار برآورد شد که نشان از افزایش عملکرد در سالهای آبی دارد. نتایج آماری بدست آمده برای پیش‌بینی عملکرد توسط مدل *AquaCrop* و داده‌های بارش توسط سری توماس- فیرینگ توانایی مدل و سری فوق را برای استفاده تلفیقی در مدیریت تولید گندم در شرایط موجود و آبی در منطقه مورد تایید قرار داد. با توجه به مکفی نبودن بارش پیش‌بینی شده در طول ۵ سال آبی، انجام آبیاری تکمیلی به عمق ۴۰ میلی‌متر در دوره گلدهی محصول دیم توصیه می‌گردد تا از این طریق بتوان پتانسیل عملکرد گندم دیم را در منطقه افزایش داد.

منابع مورد استفاده

- Abdolahzadeh M, Fakherifard A, Asadi E and Nazemi AH, 2015. Modeling the effects of consumption and precipitation on the water table oscillations (case study: Ajabshir Aquifer). *Water and Soil Science, University of Tabriz* 26: 83-97 (In Persian).
- Abedinpour M, Sarangi A, Rajput TBS, Man S, 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.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*. Rome.
- Andarzian B, Bannayan M, Steduto P, Mazraeh H, Barati ME and Rahnama A, 2011. Validation and testing of the AquaCrop Model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management* 100: 1-8.
- Bannayan M, Sanjani S, Alizadeh A, Sadeghi Lotfabadi S and Mohammadian A, 2010. Association between climate indices, aridity index and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research* 118: 105–114.
- Braun HJ, Atlin G, Payne T, 2010. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds CRP (Ed.). *Climate change and crop production*, CABI, London, UK.
- Brisson N, Gary C, Justes E, Roche R, Mary B, Ripoche D, Zimmer D, Sierra J, Bertuzzi P, Burger P, Bussiere F, Cabidoche YM, Cellier P, Debaeke P, Gaudillere JP, Maraux F, Seguin B and Sinoquet H, 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy* 18: 309–332.
- Diepen Van CA, 1989. Application of simple interpolation methods in agrometeorology, pp. 3–17 In: Gozzini, B., Hims, M. (Eds.), *Proceedings of workshop on dealing on specialization*, 24–25 September 1996, Toulouse. EUR 18473 EN. Office for Official Publications of the EU, Luxembourg.
- Doorenbos J and Kassam AH, 1979. *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, FAO.
- Ebrahimi Azarkharan F and Moghadam Nia AR, 2013. Forecasting of drought events using Markov chain (Case study: Subbasin of Kalanak in Taleghan Basin). *Extension and Development of Watershed Management* 2:43-47 (In Persian).
- Hadria R, Khabba S, Lahrouni A, Duchemin B, Chehbouni AG, Ouzine L and Carriou J, 2007. Calibration and validation of the STICS crop model for managing wheat irrigation in the semi-arid Marrakech/Al Haouz plain. *Arabian Journal of Engineering Science* 32 (1C): 87–101.
- Karimi Orghani H, Rahimi Khoob A and Nazarifar MH, 2015. Calibration and validation of AquaCrop model for barely in Pakdasht region- Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 3:539-549 (In Persian).
- Khalili K and Nazeri Tahrudi M, 2014. Modeling of annual water level changes of Urmia Lake with linear time series models. *Water Management in Arid Lands* 1:27-36 (In Persian).
- Khalili N, Davari K, Alizadeh A, Kafi M and Ansari H, 2014. Simulation of rainfed wheat yield using AquaCrop Model, case study: Sisab rainfed researchers station, Northern Khorasan. *Journal of Water and Soil* 28: 930-939 (In Persian).
- Khorsand A, Verdinejad VR and Shahidi A, 2014. Performance evaluation of AquaCrop model to predict yield production of wheat, soil water and solute transport under water and salinity stresses. *Journal of water and Irrigation Management* 1: 89-104 (In Persian).
- Licker R, Johnston M, Foley A, Barford C, Kucharik CJ, Monfreda Ch and Ramankutty N, 2010. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the 'yield gap' of croplands around the world? *Global Ecology and Biogeography* 19 (6): 769–782.
- Meshkatee AH, Kordlazi M and Babaeian A, 2011. Determination and evaluation of Lars model in simulation of meteorological data in Golestan province. *Journal of Applied researches in Geographical Science* 46: 81-96 (In Persian).
- Mohammadi M, Davari K, Ghahreman B, Ansari H and Hahgverdi A, 2015. Calibration and validation of AquaCrop model for simulation of spring wheat yield under simultaneous salinity and water stress. *Journal of Water Research in Agriculture* 3: 277-295 (In Persian).

- Raes D, Steduto P, Hsiao TC and Fereres E, 2009. AquaCrop the FAO crop model to simulate yield response to water II. Main algorithms and soft ware description. *Agronomy Journal* 101: 438–447.
- Ramirez-Rodrigues MA, Alderman PD, Stefanova L, Cossani CM, Flores D and Asseng S, 2016. The value of seasonal forecasts for irrigated, supplementary irrigated, and rainfed wheat cropping systems in northwest Mexico. *Agricultural Systems* 147: 76-86.
- Ritchie JT, 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resource Research* 8:1204–1213.
- Sen Z, 1978. A mathematical model of monthly flow sequences *Hydrological Sciences-Bulletin-des Sciences Hydrologiques* 23 (6): 223-229.
- Steduto P, Hsiao TC, 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.
- Stoeckle M, Janzen D, Hallwachs W and Hanken Baker J, 2003. Draft conference report. Taxonomy, DNA and the barcode of life. Meeting held at the Banbury center. Cold Spring Harbor Laboratory, New York, NY, <http://phe.rockefeller.edu/Barcode-Conference/docs/B2summary.doc>.
- Toumi J, Er-Raki S, Ezzahar J, Khabba S, Jarlan L and Chehbouni A, 2016. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. *Agricultural Water Management* 163: 219-235.
- Zarea A, Koocheki A and Nassiri M, 2006. Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. *Iranian Journal of Field Crops Research* 1: 49-71(In Persian).