نشریه هواشناسی کشاورزی
(وابسته به انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران)
جلد ۱۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صص.۵۰-۴۰
مقاله علمی پژوهشی

Journal of Agricultural Meteorology
(Iranian Soc. of Water and Irrig. Eng.)
Vol. 11, No. 2, Autumn & Winter 2023, pp. 40-50
DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132

بررسی تاثیر تغییرات اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای در شمال استان خوزستان با استفاده از مدل AquaCrop

سمیه حاجیوند پایداری [۱]، حجت‌اله یزدان‌پناه [۲*]، سید بهرام اندرزیان [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

چکیده

بیشتر مناطق کره زمین با افزایش دما (به خصوص دمای کمینه) تغییرات در رژیم بارشی و افزایش غلظت CO_2 مواجه شده است. با توجه به اینکه دو سوم ایران جز مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که موجب بروز تغییرات اقلیمی و وقوع خشکسالی‌های پیاپی خواهد شد و این فرآیند بر روی اکوسیستم‌های کشاورزی و عملکرد آن‌ها تاثیرگذار خواهد بود. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد زیست‌توده و دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم در شهرستان شوشتر و صفی‌آباد در قسمت شمالی استان خوزستان در سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ می‌باشد. به این منظور، از داده‌های تولیدی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG با استفاده از مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تحت سناریوهای انتشار A2 و B1، در دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ استفاده شد. برای شبیه‌سازی عملکرد و رشد گیاه از مدل AquaCrop استفاده شد. قبل از استفاده، مدل AquaCrop توسط داده‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری شده در منطقه، واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس مقادیر عملکرد دانه و زیست‌توده در دوره‌های آتی، برای تیمار ۵۰٪ نیاز آبی گیاه شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج، تحت سناریوهای انتشار A2 نتایج ارزیابی مدل LARS-WG نشان داد که پیش‌بینی مناسبی برای پارامترهای اقلیمی و شبیه‌سازی فصل رشد آینده داشت و نشان از افزایش در دمای کمینه، بیشینه، میانگین افزایش در بارش خواهیم بود. طول دوره رشد برای هر ایستگاه با توجه به پارامترهای اقلیمی منطقه تحت تاثیر تغییر اقلیم با افزایش GDD کاهش خواهد یافت. و بیومس و عملکرد دانه نیز با فرض ثابت ماندن تاریخ کشت کنونی و آبیاری کامل حدود یک تا دو تن در افق‌ها و سناریوهای متفاوت افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریو، شبیه‌سازی، عملکرد، AquaCrop

مقدمه

با توجه به اینکه دو سوم ایران جز مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود و به شدت نسبت به تغییر اقلیم آسیب‌پذیر است، بروز تغییرات اقلیمی باعث وقوع خشکسالی‌های پیاپی خواهد شد و بر روی اکوسیستم‌های کشاورزی و عملکرد آن تاثیرگذار خواهد بود. در سال‌های اخیر، مسأله تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی بوده که ذهن محققان سازمان‌های ملی و بین‌المللی را به خود مشغول کرده است. وقوع سیل‌های بسیار مخرب، گرما و سرماهای بی‌موقع، خشکسالی‌ها، بالا رفتن سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها، شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی و جانوری، کاهش ضخامت لایه ازن و غیره از جمله مواردی هستند که بحث تغییر اقلیم را در محافل علمی جهان مطرح ساخته است (Barshan, 2007). نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که

[۱] دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیایی طبیعی.تهران.ایران
[۲] دانشیار، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
(*نویسنده مسئول: ho.yazdan@gmail.com)
[۳] استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

نحوه ارجاع مقاله:
حاجیوندپایداری، س.، یزدان‌پناه، ح.، اندرزیان، س.ب. ۱۴۰۲. بررسی تاثیر تغییرات اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای در شمال استان خوزستان با استفاده از مدل AquaCrop. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۱ (۲): ۵۰-۴۰. DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132
Hajivand Paydari, S., yazdanpanah, H., Andarzian, S. B. 2023. Investigating the impact of climate change on the growth and yield of seed corn in the north of Khuzestan province using the AquaCrop model. Journal of Agricultural Meteorology, 11 (2): 40-50. DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132

DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132

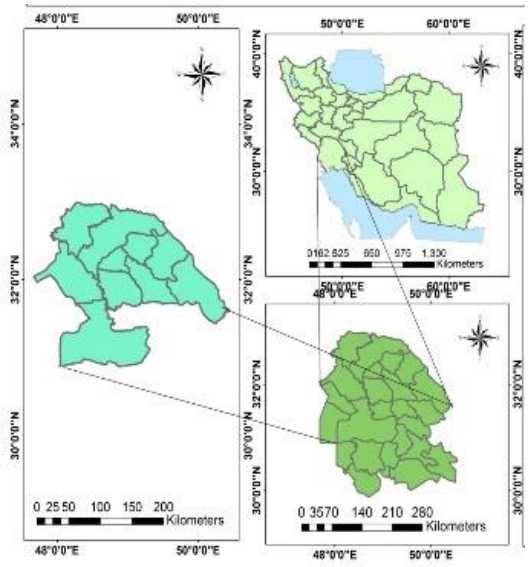
در طی سال‌های اخیر در ایران انجام شده اغلب می‌تواند. مؤید بروز این پدیده در کشور بوده‌اند. ذرت از جمله اولین گیاهانی است که به دلیل ارتباط معاش در مطالعات تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفته است، کوتاه شدن دوره‌ی رشد، کاهش تعداد و وزن واحد دانه از جمله پاسخ‌های گیاه ذرت به تغییر اقلیم است (Perry et al., 1990). ذرت از جمله گیاهان زراعی مهم در ایران به شمار می‌رود که سطح زیر کشت آن بر اساس گزارش فائو ۲۲۶ هزار هکتار و تولید آن معادل ۱/۶۵ میلیون هکتار تن می‌باشد که ۲/۸ درصد از کل تولید غلات را شامل می‌گردد (FAO, 2011). استان خوزستان به عنوان یکی از سه استان مهم تولید کننده‌ی ذرت کشور است. و با توجه به پتانسیل بالای کشاورزی آن در اقتصاد کشاورزی کشور به ویژه ذرت نقش و جایگاه مهمی را در تامین محصولات زراعی دارد. بنابراین هر گونه تغییر در عناصر اقلیمی دما، بارش تنش‌های آبی را برای این استان به دنبال خواهد داشت. به گفته استانداری خوزستان استان در سال ۹۲ حدود ۷۵ هزار هکتار درحدود بیش از ۳۵ درصد تولید کننده ذرت کشور می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده نیاز به بررسی و ارزیابی اثرات زیان‌بار در مقیاس مزرعه‌ای با هدف افزایش تولید ملی، کاهش وابستگی کشور نسبت به واردات ذرت از سایر کشورها، کاهش فقر در بین کشاورزان کم‌بضاعت، آسیب‌پذیر و قشر وابسته به کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. Terzaabi Saab., (2015) در مرکز ایتالیا به مقایسه دو مدل Aquacrop و Cropsyst تحت شرایط تیمارهای کم آبیاری و نیتروژن پرداختند. نتایج نشان داد میزان خطای شبیه سازی عملکرد در مدل Aquacrop کمتر بود. Andarzian et al., (2011) در منطقه اهواز به بررسی Aquacrop جهت شبیه‌سازی روند رشد گیاه گندم (رقم چمران) تحت شرایط کم آبیاری پرداختند نتایج نشان داد خطای شبیه‌سازی عملکرد و بیومس کمتر از ۱۰ درصد بوده و مدل به طور قابل قبولی قادر به شبیه سازی روند رشد تحت شرایط کم آبیاری می‌باشد. انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای مربرط به پاسخ گیاه به مقادیر مختلف آب، کاری پر زحمت بوده و هزینه‌های زیادی دارد. با توجه به این محدودیت‌ها، مدل‌های گیاهی برای مطالعه و تعیین خط مشی در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری ابزار مفیدی می‌باشند (Great and Raes, 2009). با استفاده از مدل‌ها اثر سناریوهای مختلف کم‌آبیاری بر روی تولید محصول و با توجه به منابع آب بهترین برنامه کم‌آبیاری استنتاج می‌گردد. هدف اصلی این پژوهش ابتدا این است که روند تغییرات اقلیمی را در داده‌های تاریخی مشخص نموده و در صورت معنادار بودن تغییرات، آن را آشکارسازی کرده و در ادامه با تولید داده‌های اقلیمی (بارش، دمای حداکثر و حداقل، میانگین و ساعات آفتابی) در افق‌های متفاوت تاثیر این تغییرات را بر روی بر عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای در آینده و خاص در شمال استان خوزستان بررسی کرده و روند تاثیرات و تغییرات را بسنجد. یکی از موارد استفاده مهم AquaCrop که در این پژوهش استفاده شده است، مقایسه عملکردهای قابل حصول و عملکردهای واقعی در مزرعه و یا منطقه است که سبب شناسایی عوامل محدود کننده تولید گیاه و بهره‌وری آب می‌شود و جهت سناریوهای شبیه‌سازی و اهداف برنامه‌ریزی برای اقتصاددان‌ها، مجریان و مدیریان آب در منطقه بسیار سودمند است. برای مطالعات آینده تغییرات اقلیم و توسعه استراتژی‌های مدیریت آب در کشاورزی نیز مناسب است. مشخصات ویژه‌ای که AquaCrop را از سایر مدل‌ها مجزا می‌کند، این است که مدل بر اساس آب و استفاده از کانوپی (بجای استفاده از شاخص سطح برگ) و استفاده از مقادیر بهره‌وری آب نرمال شده بر (ETo و غلظت CO_2) متمرکز شده است. اگر چه مدل ساده است اما در برگیرنده فرایندهای پایه‌ای زراعی و فیزیولوژیکی در بهره‌وری محصول و در پاسخ به آب می‌باشد. از آنجا که عملکرد و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به شدت به شرایط آب و هوایی بستگی دارد لذا تحقیق حاضر اهمیت زیادی در ارائه چشم‌اندازی از وضعیت تولید در مناطق مختلف استان خوزستان در افق ۲۰۲۰ خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

موقعیت، حدود و وسعت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در نیمه شمالی استان خوزستان است که از نظر موقعیت جغرافیایی در نیمه جنوبی منطقه معتدله شمالی واقع گردیده است. این منطقه با مساحتی حدود ۴۱۳۰۰ کیلومتر مربع درنیمه شمالی استان در سلسله

جبال زاگرس قرار گرفته است. از نظر عرض جغرافیایی در نیمه جنوبی منطقه معتدله شمالی از ۳۰ درجه شمالی از خط استوا قرار دارد. از نظر طول جغرافیایی در نیم‌کره شرقی زمین بین طول های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. در مجموع ۲ درجه و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۲ درجه عرض جغرافیایی را در بر می‌گیرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

Figure 1- Geographical location of the study area

مدل AquaCrop جهت بررسی کارایی مصرف آب گیاه، توسط بخش آب و خاک سازمان خواربار جهانی (FAO) با تجدید نظر در مقاله شماره ۳۳ سازمان FAO (Dorn Boss and Cassem, 1979) طراحی شده است. این مدل جهت تعیین واکنش محصول به مقدار آب به خصوص در مناطقی که کمبود آب عاملی کلیدی است بکار می‌رود.

تئوری مدل

پارامترهای مهم مورد بررسی در این مدل محصول[1]، کارایی مصرف آب (WP)[2] و شاخص برداشت (HI)[3] می‌باشد.

$$WP = \frac{Yield}{ET} \qquad HI = \frac{Yield}{Biomass} \qquad (۱)$$

که Biomass و Yield حسب کیلوگرم و آب مصرفی حسب مترمکعب می‌باشد. همانطور که نام این مدل (AquaCrop) نشان می‌دهد، آب به عنوان عامل تعیین کننده بهره‌وری محصول شناخته شده، به طوری که در این مدل، تعرق روزانه گیاه و عامل بهره‌وری نرمال شده به زیست‌توده تبدیل می‌شود (Hsiao et al., 2009). این مدل از معادله (Doorenbos and Kassam, 1979) از طریق تفکیک ۱) تبخیرتعرق حقیقی (Et_a) به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق از سطح گیاه زراعی (T_a) و ۲) عملکرد نهایی محصول (Y) به زیست‌توده (B) و شاخص برداشت (HI) استنتاج شد.

$$\left[\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right] = k_y\left[\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right] \qquad (۲)$$

که در آن Y_x حداکثر عملکرد گیاه زراعی، Y_a عملکرد واقعی گیاه زراعی، ET_x حداکثر تبخیرتعرق، ET_a تبخیرتعرق واقعی و K_y عامل تناسب بین افت عملکرد نسبی و کاهش نسبی در میزان تبخیرتعرق است. تفکیک Et_a به Es و Ta سبب حذف نامطلوب آب جهت تولید ماده خشک گیاه زراعی (مانند تبخیر از سطح خاک (Es)) می‌شود. این امر به ویژه زمانی که کانوپی گیاه زراعی هنوز به خوبی سطح زمین را پوشش نداده مهم است. تفکیک Y نیز به B و HI سبب می‌شود تا بتوانیم به روشنی اثر محیط را بر روی B و HI مشخص کنیم. در حقیقت با استفاده از تفکیک اثر محیط بر روی روابط بالا سبب ایجاد معادله AGB شود که می‌توان از آن به عنوان هسته اصلی مدل‌سازی رشد گیاهان زراعی با استفاده از مدل AquaCrop نام برد

$$AGB = WP \times \frac{Tc}{ET0} \qquad (۳)$$

که در آن AGB1 زیست‌توده اندام هوایی، WP2 مقدار بهره‌وری آب (هر واحد زیست‌توده تولید شده به مقدار آب تعرق یافته)، Tc میزان تعرق گیاه زراعی و ET0 تبخیرتعرق مرجع است (Hanks, 1983). با استفاده از معادله (دورن بوس و کاسم، بر مبنای معرفی دو مرحله واسطه‌ای ۱) رابطه à که عملکرد (Y) را به تبخیرتعرق گیاه زراعی (در معادله۳ بیان شد) از طریق پارامتر Ky متصل می‌کند که برای دوره‌های

[1] Yield
[2] Water Productivity
[3] Harvest Index

DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132

درازمدت بکار برده می‌شود، ۲) رابطه a که زیست‌توده (B) را به Taدر معادله بیان می‌کند از طریق WP متصل می‌کند که برای دوره‌های کوتاه مدت زمانی روزانه استفاده می‌شود (Doorenbos and Kassam, 1979). بر مبنای معادله برای شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی با استفاده از مدل AquaCrop نیاز است تا سری کاملی را به مدل معرفی کرد. در واقع مشابه با سایر مدل‌ها، AquaCrop دارای ساختار است که زنجیره‌ای از داده‌های خاک (بیلان آب در خاک)، گیاه (فرایندهای رشد و نمو و عملکرد) و اقلیم (رژیم‌های دمایی، بارش، تبخیر) را برای مدل‌سازی گیاه زراعی به هم پیوند می‌دهد. علاوه بر این داده‌ها بعضی جنبه‌های مدیریتی (نظیر آبیاری، کوددهی) می‌توانند در این مدل مدنظر قرار داده شوند. این ابعاد مدیریتی قادرند بر روی بیلان آبی خاک، رشد و نمو گیاه زراعی و در نتیجه عملکرد نهایی محصول اثرگذار باشند. در مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مدنظر قرار نمی‌گیرند (FAO, 2000). تفکیک ET0 به دو بخش تبخیر از خاک (E) و تعرق (T) و استفاده از شاخص سطح سایه‌انداز (CC) به جای شاخص سطح برگ (LAI) دو تفاوت عمده‌ای هستند که این مدل را از سایر مدل‌ها متمایز می‌کند. مدل Aquacrop برای اجرا نیاز به ورود داده‌های هواشناسی، گیاه، خاک، مدیریت مزرعه و آبیاری دارد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل Aquacrop شامل مقادیر روزانه بیشینه و کمینه دمای هوا، تبخیرتعرق مرجع (ET0) و بارش می‌باشند. تبخیرتعرق مرجع با معادله پنمن مانتیث فائو و با استفاده از دمای بیشینه و کمینه هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی برآورد شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز این تحقیق از ایستگاه تحقیقات کشاورزی صفی اباد دزفول جمع آوری شده است. اطلاعات فنولوژی مورد استفاده در این پژوهش مربوط به اطلاعات برداشت شده توسط آقای هاشمی در ۲۵ ژوئیه ۱۹۹۳ از سطح مزرعه، واقع در مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی صفی آباد دزفول (واقع در ۳۲/۱۶ درجه عرض شمالی، ۴۸/۵۰ درجه طول شرقی و ارتفاع ۶۷/۵ متر از سطح دریا) می‌باشد. در کاشت تابستانه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ دزفول استفاده گردید. همچنین از اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های شوشتر و هواشناسی کشاورزی صفی‌آباد دزفول طی سال‌های ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۲ استفاده شد.

داده‌های ورودی مدل

داده‌های اقلیمی

مهم‌ترین داده‌های اقلیمی مورد نیاز مدل شامل داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه، در طول سال‌های (۲۰۱۲-۱۹۸۵) برای ایستگاه‌های شوشتر و صفی‌آباد دزفول و همچنین تبخیرتعرق گیاه مرجع ET و بارندگی می‌باشند. داده‌های دمای روزانه، مقدار بارندگی روزانه و سایر اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ET0 از اطلاعات آماری سال‌های (۲۰۱۲-۱۹۸۵) برای ایستگاه‌های شوشتر و صفی‌آباد دزفول استخراج گردید.

داده‌های مربوط به خاک

داده‌های مورد نیاز خاک ویژگی‌های هیدرولیکی شامل هدایت هیدرولیکی اشباع (Ksat)، رطوبت حجمی اشباع (θ_{sat})، حد ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) است (جدول ۱).

جدول ۱- داده‌های مربوط به خاک برای مدل AquaCrop

Table 1- Soil data for the AquaCrop model

Soil type	Loam silicate
Saturated hydraulic conductivity (mm/day)	250
Saturated humidity (Volume %)	46
Agricultural capacity point (volume %)	31
Permanent wilting point (volume %) of loamy Silicicum	15

داده‌های گیاهی

پارامترهای محصول را برای محصولات عمده کشاورزی توسط FAO کالیبره شده و آن‌ها به صورت مقدار پیش‌فرض در مدل قرار دارند. داده‌های گیاهی برای ذرت شامل پارامترهای ثابت و داده‌های کاربر می‌باشند. مقادیر این پارامترها با استفاده از اطلاعات آزمایشات انجام شده در نقاط مختلف جهان تعیین شده‌اند، لازم به ذکر است که این آزمایشات در بهترین شرایط مدیریتی انجام شده‌اند. این پارامترها به طور عمده به دو دسته ۱) Conservative،

DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132

پارامترهایی که بستگی به نوع گیاه دارند و به عامل زمان، مکان، شرایط مدیریتی، خصوصا اقلیمی و جغرافیایی وابسته نیستند (جدول ۲) و ۲) Cultivar، پارامترهایی که بر خلاف نوع قبل، وابسته به زمان، مکان، شرایط مدیریتی، خصوصیات اقلیمی و جغرافیایی هستند (Raes et al., 2009) تقسیم می‌شوند.

جدول۲ - مقادیر پارامترهای ثابت (Conservative) ورودی گیاه ذرت به مدل AquaCrop

Table 2- Conservative parameters of AquaCrop taken from Hsiao et al., (2009) AquaCrop model

Parameter description	Value	Units or meaning
Base temperature	10	°C
Cut-off temperature	30	°C
Canopy cover per seedling at 90% emergence (CC)	6.5	cm²
Time from sowing to emergence	7 (135)	DAP(GDD)
Time to maximum canopy cover	60 (1 109)	DAP(GDD)
Time from sowing to maximum rooting depth	67 (1 257)	DAP(GDD)
Time from sowing to start of canopy senescence	76 (1408)	DAP(GDD)
Time from sowing to maturity	100 (1 898)	DAP(GDD)
Time from sowing to flowering	54 (1 018)	DAP(GDD)
Duration of flowering	10 (183)	DAP(GDD)
Length of building up HI	42 (778)	DAP(GDD)
Maximum effective rooting depth, Z	1	m
Minimum effective rooting depth, Zn	0.3	m
Reference harvest index, HI	50	%
Cultivar (TZEE-W)		TZEE-W
Planting method		Direct sowing
Planting density	62 500	plants/ha
Soil fertility	65	Moderate (%)
Surface mulches	0	%
Curve number, CN	66	
Readily evaporable water, REW	2	mm

داده‌های آبیاری

در مزرعه مورد تحقیق شرایط آبیاری کامل و مقدار آب مصرفی ۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

داده‌های مدیریتی

این داده‌ها در دو بخش ۱) مدیریت مزرعه و ۲) مدیریت آبیاری می‌باشد. مدیریت مزرعه انتخاب سطح حاصلخیزی خاک، و شیوه‌های تعادل آب خاک مانند مالچ برای کاهش تبخیر خاک، پشته برای ذخیره آب در مزرعه، و شیوه شخم است. این سطوح تاثیر بسزایی بر روی بهره‌وری آب (WP)، سرعت رشد کانوپی و کاهش سرعت پیری شدن کانوپی محصول دارد. در مدیریت آبیاری کاربر انتخاب می‌کند که محصول دیم یا آبیاری است. اگر آبیاری است کاربر می‌تواند سیستم آبیاری را انتخاب کند، بخشی از سطح مرطوب، و مشخص برای تشخیص زمان آبیاری، کیفیت آب آبیاری، زمان و میزان آبیاری اعمال شده که با توجه به آبیاری رایج منطقه روش آبیاری کرتی انتخاب گردید و در بخش مدیریت مزرعه از هیچ پشته و مالچی استفاده نگردید.

خروجی مدل AquaCrop

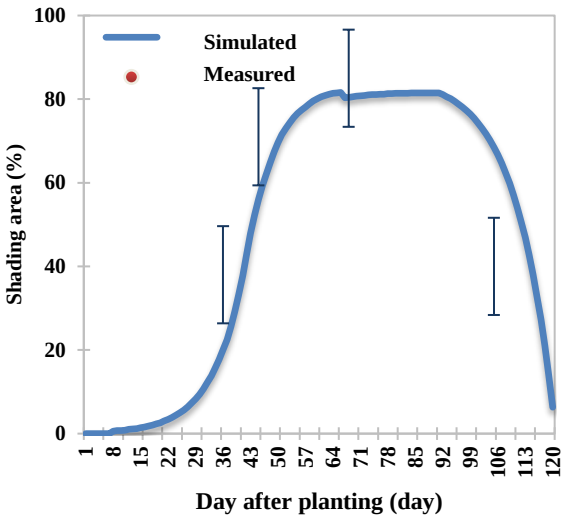
مهم‌ترین خروجی‌ها در نرم‌افزار AquaCrop شامل تغییرات زمانی رطوبت در نیمرخ خاک، آب آبیاری مورد نیاز، تغییرات زمانی تبخیرتعرق، پارامترهای موازنه آب، خاک، درصد پوشش گیاهی در طول فصل رشد، عملکرد دانه، ماده خشک تولیدی، شاخص برداشت و نیز شاخص بهره‌وری تعرق در تولید دانه و ماده خشک تولیدی است (Tavakoli and Tavakoli, 2011).

نتایج و بحث

اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی توسعه سایه‌انداز گیاه ارزیابی کارکرد مدل در شبیه‌سازی روند تغییرات سایه‌انداز گیاه، نشان داد که مدل قادر است به خوبی روند تغییرات سایه‌انداز گیاه را شبیه‌سازی نماید (شکل ۲). شاخص‌های آماری ارائه شده نیز حاکی از توانمندی مدل در شبیه‌سازی این خصوصیت گیاهی تحت شرایط مختلف محیطی می‌باشد. مقادیر شاخص‌های ارزیابی شامل R^2، RMSE، NRMSE، EF و d برای شبیه‌سازی سایه‌انداز گیاه به ترتیب برابر ۰/۹۹، ۸/۸٪، ۱۳/۶٪، ۰/۸ و ۰/۹۳ است.

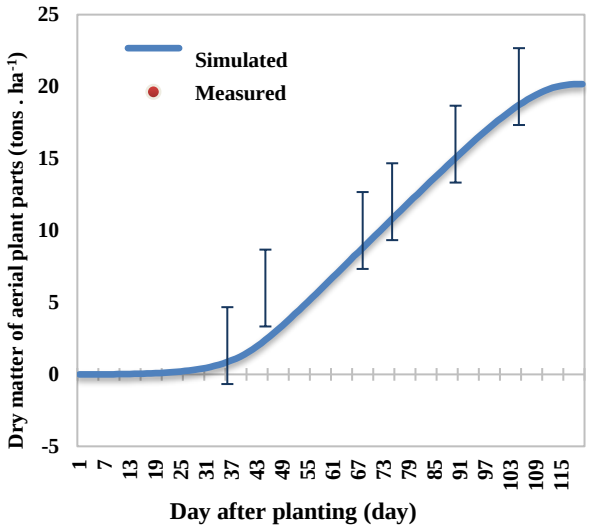
اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی

مقایسه روند تجمع ماده خشک شبیه‌سازی شده توسط مدل با روند تجمع ماده خشک اندازه‌گیری شده در طی فصل رشد گیاه، نشان می‌دهد که مدل بطور مطلوبی توانسته است رشد گیاه را شبیه‌سازی نماید (شکل ۳).



شکل ۲- ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی روند تغییرات سایه‌انداز گیاه ذرت

Figure 2- Model evaluation to simulate the trend of changes in maize plant shading



شکل ۳- ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی گیاه ذرت

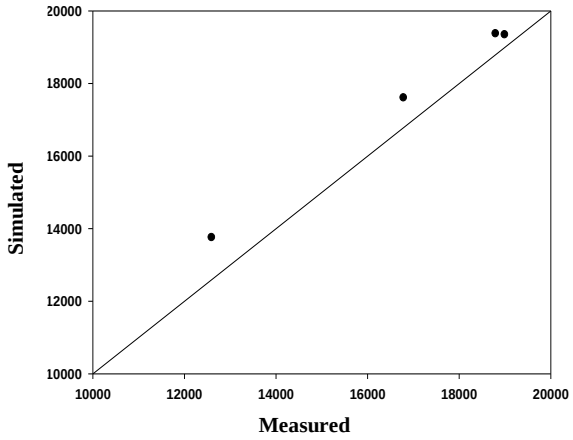
Figure 3 - Model evaluation to simulate the process of dry matter accumulation of aerial parts of corn

نتایج بررسی شاخص‌های ارزیابی مدل نیز این توانایی را تأئید می‌کند. مقادیر شاخص‌های ارزیابی R^2، RMSE، NRMSE، EF و d برای شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی گیاه به ترتیب برابر ۰/۹۸، ۰/۹۳۶ تن در هکتار، ۸/۵٪، ۰/۹۸ و ۰/۹۹ می‌باشد. اگر چه نتایج نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده به میزان جزئی بیشتر ازمقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد، که ممکن است به علت عدم خشک شدن کامل نمونه‌ها یا برآورد نقاط رطوبتی FC و PWP خاک طی فرایند واسنجی باشد. اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه در زمان برداشت مقایسه عملکردهای ماده خشک کل اندام‌های هوایی و دانه شبیه‌سازی شده توسط مدل با عملکردهای ماده خشک کل اندام‌های هوایی و دانه اندازه‌گیری‌شده در مزرعه، نشان داد که مدل با توانایی خوبی تولید ماده خشک و عملکرد دانه را در شرایط مختلف رطوبت خاک برآورد می‌کند (شکل ۴). مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی R^2، RMSE، NRMSE و d برای تولید ماده خشک به ترتیب معادل ۰/۹۷، ۷۷۰ کیلوگرم در هکتار، ۴/۶٪، ۹۷ /۰ و مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی R^2، RMSE، NRMSE و d برای عملکرد دانه به ترتیب معادل ۰/۹۰، ۹۲۲ کیلوگرم در هکتار، ۱۳٪ و ۰/۸۰ بود. اگر چه در همه مقایسات مدل تا حدودی ماده خشک کل و عملکرد دانه را بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده شبیه‌سازی نمود که بخشی از این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تلفات و ریزش دانه در زمان برداشت باشد. نتایج ارزیابی مدل (واسنجی و صحت‌سنجی) نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی می‌تواند فرایندهای رشد و نمو وتولید ماده خشک و عملکرد دانه و همچنین تغییرات رطوبت خاک را شبیه‌سازی نماید. لذا می‌توان از آن به‌عنوان یک ابزار مناسب برای بررسی تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی بر عملکرد ذرت استفاده نمود.

نتایج مدل AquaCrop برای ایستگاه‌های صفی‌آباد و شوشتر

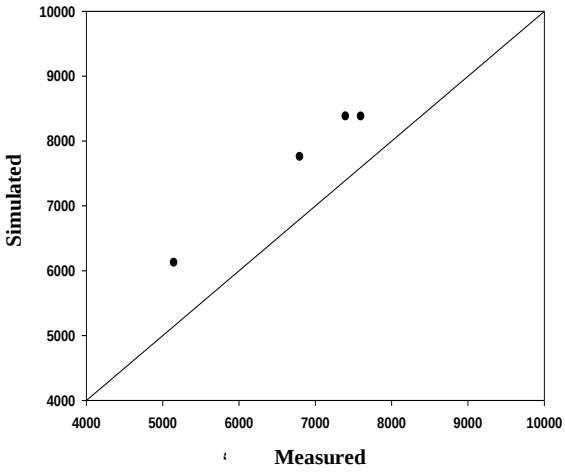
مدل AquaCrop برای دو ایستگاه صفی آباد، شوشتر، به علت اینکه ایستگاه‌ها برای منطقه مورد مطالعاتی دارای اطلاعات کامل سینوپتیکی بودند اجرا شد. نتایج خروجی AquaCrop برای دو ایستگاه صفی‌آباد و شوشتر به نرم‌افزار Sigma plot داده شد. و برای هر چهار متغیر GDD، دوره رشد، عملکرد و پتانسیل با نرم‌افزار Box plot ترسیم و بر روی نمودارها تجزیه و تحلیل انجام شد. مدل برای ایستگاه شوشتر طی دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۸۵ اجرا شد و نتایج نشان دادند که در متغیر

(GDD، شکل ۶) در افق ۲۰۲۰ (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت سناریوی A2 کاهش ۱ درجه‌ای GDD نسبت به سال پایه داشته است.



شکل ۴ - مقایسه عملکرد ماده خشک کل (کیلوگرم در هکتار) شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیری شده تحت شرایط مختلف رطوبت خاک

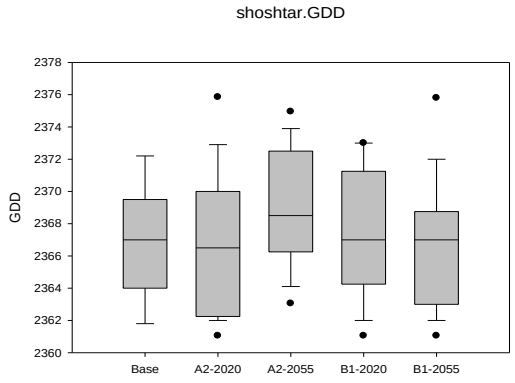
Figures 4 - Comparison of total dry matter (kg ha^{-1}) simulated with measured under different soil moisture conditions



شکل ۵- مقایسه عملکرد ماده خشک دانه (کیلوگرم در هکتار) شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیری شده تحت شرایط مختلف رطوبت خاک

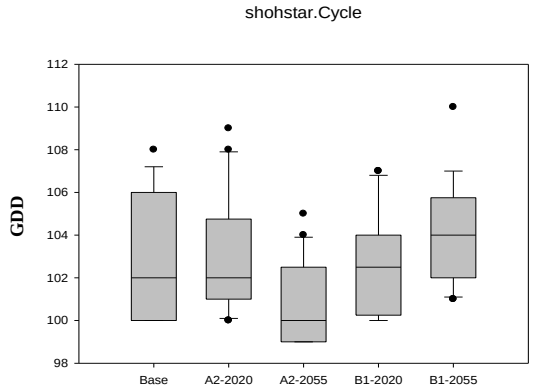
Figures 5- Comparison of grain yield (kg ha^{-1}) simulated with measured under different soil moisture conditions

ولی در همین افق دامنه تغییرات تا چندین درجه بیشتر نسبت به سال پایه افزایش خواهد داشت. در افق ۲۰۵۰ تحت همین سناریو مقدار GDD نسبت به سال پایه تا چندین درجه افزایش خواهد داشت. در افق ۲۰۲۰ تحت سناریوی B1مقدار GDD دریافتی گیاه نسبت به سال پایه تغییر نمی‌کند. در افق ۲۰۵۰ تحت همین سناریو در سطح اطمینان ۷۵ درصد GDD بیشتر خواهد شد. همانگونه که از شکل ۷ مشخص است در افق ۲۰۲۰ (۲۰۳۰-۲۰۱۱) برای سناریوی A2 دوره رشد گیاه نسبت به سال پایه کمی افزایش می‌یابد. ولی در همین افق تحت سناریو B1 دوره رشد گیاه نسبت به سال پایه افزایشی نخواهد یافت. در افق ۲۰۵۰ تحت سناریو A2 کاهش طول دوره رشد مشاهده خواهد شد که این امر حاکی از آن است که با افزایش GDD دریافتی به علت دمای بالا طول دوره رشد گیاه کاهش می‌یابد. در افق ۲۰۵۰ تحت سناریو B1 میانگین این سال‌ها نسبت به سال پایه بالاتر است و در سطح اطمینان ۵۰ درصد بیشتر خواهد شد. طبق شکل ۸، در ایستگاه شوشتر تقریباً در دو افق مورد نظر میانگین بیومس نسبت به سال پایه افزایش داشته است که چنین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش CO_2 ماده خشک گیاه نیز افزایش می‌یابد؛ به این علت که CO_2 با رشد گیاه رابطه مستقیم دارد. در نمودار عملکرد ذرت شکل ۹ در ایستگاه شوشتر همانند بیومس تولیدی افزایش را نشان می‌دهد. البته به توجه به واریانس‌های نمودار در بعضی سال‌های شاهد افت عملکرد هستیم که خود می‌تواند مسبب دلایل زیادی باشد. احتمال اینکه تنش گرمایی رخ داده است. که با توجه به اینکه ذرت در مرحله گلدهی به دمای آستانه‌ی بالا واکنش نشان می‌دهد سبب افت عملکرد در زمان رشد زایشی و برداشت گیاه شود.



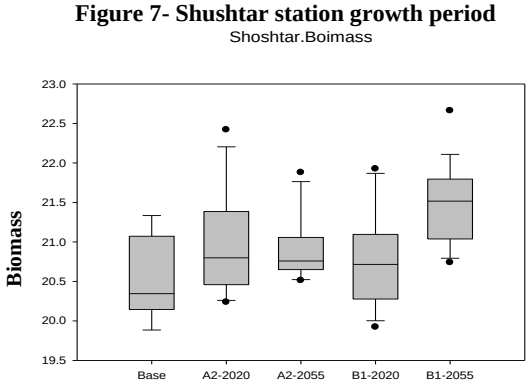
شکل ۶- GDD ایستگاه شوشتر

Figure 6- GDD of Shushtar station



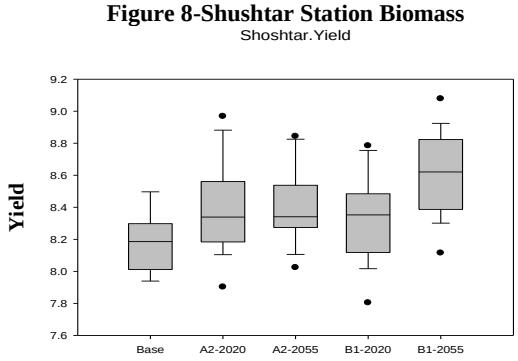
شکل۷- دوره رشد ایستگاه شوشتر

Figure 7- Shushtar station growth period



شکل ۸- بیومس ایستگاه شوشتر

Figure 8-Shushtar Station Biomass

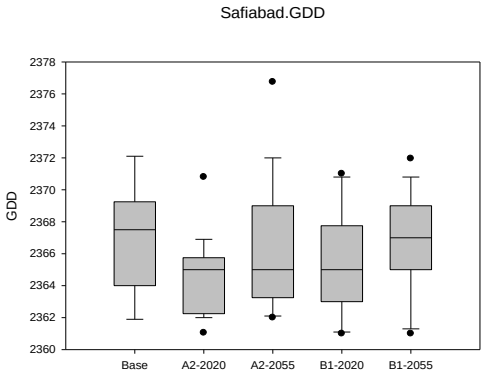


شکل ۹- عملکرد ذرت ایستگاه شوشتر

Figure 9- Corn yield of Shushtar station

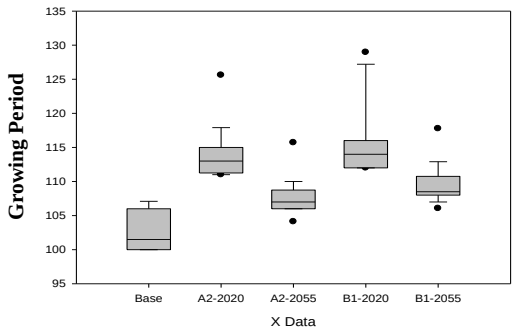
ایستگاه صفی آباد

مدل AquaCrop برای ایستگاه صفی آباد در دوره‌ی آماری ۲۰۱۲-۱۹۸۵ اجرا شد و نتایج خروجی GDD نشان دادند که متغیر GDD در سال‌های آتی رفتارهای متفاوتی را از خود نشان می‌دهد (شکل ۱۰). در افق ۲۰۲۰ سناریو A2 میانگین GDD سالانه نسبت به سال پایه کاهش داشته است.



شکل ۱۰- GDD ایستگاه صفی آباد

Figure-10 GDD of Safiabad station



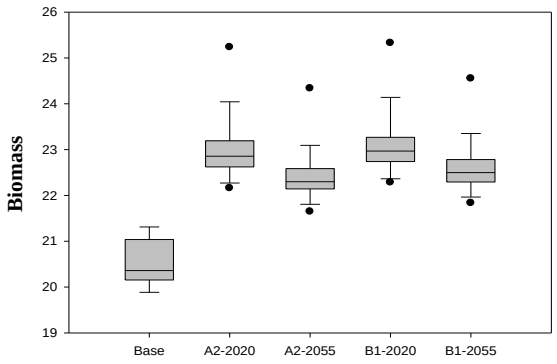
شکل ۱۱- دوره رشد ایستگاه صفی آباد

Figure 11- Growth period of Safiabad station

به این دلیل است که هنوز افزایش دمای محسوسی رخ نداده است و در افق ۲۰۵۵ GDD نسبت به سال پایه احتمالاً ۲/۵ درجه کاهش پیدا می‌کند و به احتمال ۷۵ درصد GDD افزایش خواهد یافت. در افق ۲۰۲۰ و تحت سناریو B1 به دلیل اینکه فاصله زمانی با سال پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۲ کم است و سناریو خوشبینانه می‌باشد GDD به میزان فقط یک درجه کمتر می‌شود. درحالیکه در افق ۲۰۵۵ تحت سناریو B1 افزایش قابل زیادی برای GDD نسبت به سال پایه مشاهده نمی‌شود. بررسی دوره رشد گیاه برای ایستگاه صفی‌آباد دزفول اینطور نشان می‌دهد که دوره رشد گیاه ذرت در این شهرستان رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهد. در بعضی از سالها GDD بیشتر شده و دوره رشد گیاه کمتر شده است و رابطه معکوس ک این دو متغیر را نشان می‌دهد. روند تغییرات بیومس تولیدی در ایستگاه شوشتر افزایش نسبت به سال پایه را نشان می‌دهد که تقریباً در تمامی افق‌ها افزایش بیومس مورد انتظار بود و این افزایش عملکرد می‌تواند مربوط به GDD، افزایش

دما (به شرطی که دما به تنش منجر نشود) و افزایش CO_2 (چون گیاه ذرت گیاه با مسیر فتوسنتزی C4 نسبت به گیاهان C3 در تثبیت CO_2 بهتر عمل می‌کند) باشد. بررسی عملکرد در ایستگاه صفی‌آباد نشان از آن دارد که در تمامی سناریوها و افق‌ها میزان عملکرد نسبت به دروه پایه بیشتر می‌شود و در دو افق ۲۰۲۰ تحت سناریوهای A2 و B1 افزایش عملکرد قابل توجهی مشاهده گردید. در افق ۲۰۵۵ تحت هر دو سناریو افزایش عملکرد نسبت به سال پایه مشاهده گردید. با افزایش بیش از حد دما ممکن است تنش خشکی ایجاد شده و راندمان محصول نسبت به سال پایه کم شود که با مدیریت آبیاری و اتخاذ تدابیر سازگاری با تغییر اقلیم مثل انتخاب ژنوتیپ‌هایی که نسبت به شرایط محیط مقاوم‌تر هستند بتوان این تنش‌ها را کمتر کرد و عملکرد بهتری را رقم زد.

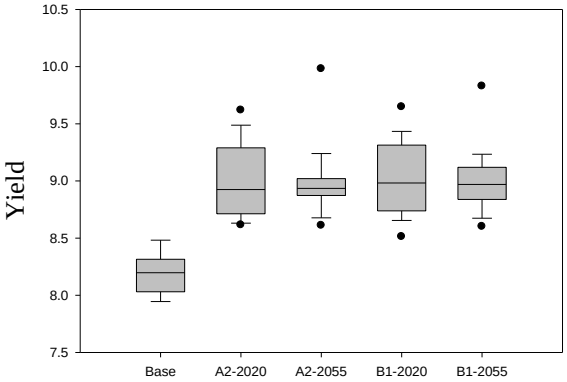
Safiabad.Biomass



شکل ۱۲- بیومس ایستگاه صفی آباد

Figure 12- Safi Abad Station Biomass

Safiabad.Yield



شکل ۱۳- عملکرد ایستگاه صفی آباد

Figure 13- Operation of Safiabad station

نتیجه گیری

با توجه به داده‌های اقلیمی ثبت شده نظیر دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای میانگین، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه‌های سینوپتیک استان و داده‌های گیاه، خاک و آبیاری و ورود به مدل AquaCrop و خروجی از آن و مجدداً، ورود خروجی‌ها به نرم‌افزار SigmaPlot و تحلیل و تفسیری که بر BoxPlot خروجی و اطلاعات به دست آمده از تغییرات مربوط به دو ایستگاه‌های شوشتر و صفی آباد بر چهار متغیر GDD، دوره رشد، بیومس و عملکرد انجام شد مشخص شد که دو ایستگاه مورد مطالعه برای مدل AquaCrop طول دوره رشد رابطه معکوسی با GDD دارد. به طوری در سال‌های آتی با افزایش دما GDD دریافتی گیاه نیز سریع‌تر به گیاه می‌رسد که خود نیز موجب افزایش رشد گیاه شد و در نهایت طول روزهای رشد کاهش پیدا کرد و در مقابل اگر در طول سال‌های آتی دما به مقدار کمی کم شود طول دوره رشد گیاه بیشتر می‌شود. در ارتباط با عملکرد زیست توده و عملکرد دانه در سال‌های آتی نسبت به سال پایه افزایش عملکرد در سال‌های مختلف از یک تن تا دو تن در هکتار وجود خواهد داشت. این عملکرد بالا می‌تواند ناشی از افزایش CO_2 در اقلیم آینده باشد که رابطه مستقیم با رشد گیاهان چهار کربنه را شان می‌دهد. در ایستگاه شوشتر بیشترین GDD مربوط به افق ۲۰۵۰ تحت سناریوی A2-2050 به مقدار یک درجه بیشتر از سال پایه برآورد شد و در همین افق طول دوره رشد گیاه نسبت به سال پایه ۲/۵ روز بیشتر از سال پایه شده است. در افق ۲۰۲۰ کمترین اختلاف را با سال پایه دارد. در ایستگاه صفی آباد، تقریباً در تمامی سال‌های آتی شاهد افزایش GDD هستیم و این تغییرات بصورت غیرمحسوس ولی افزایشی می‌باشد و عملکرد دانه و زیست‌توده نیز افزایش پیدا کرده است. علیرغم افزایش دما، بیشترین افزایش عملکرد در افق ۲۰۵۰ تحت سناریو B1 رخ داد. افزایش مقدار CO_2 منجر به افزایش عملکرد شد بطوریکه عملکرد از ۸ تن به ۹تن در هکتار افزایش یافته است. نتایج برای دو ایستگاه صفی‌آباد و شوشتر افزایش در دمای کمینه و بیشینه را بیان کرد، در بارش روند صعودی در منطقه مشاهده گردید. برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و ایجاد فصل رشد احتمالی برای هر دوره از مدل LARS-

WG و برای شبیه‌سازی رشد ذرت از مدل AquaCrop استفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل LARS-WG نشان داد که پیش‌بینی مناسبی برای پارامترهای اقلیمی و شبیه‌سازی فصل رشد احتمالی آینده دارد که نشان از افزایش دمای کمینه، بیشینه، میانگین و افزایش در بارش بوده است. طول دوره رشد برای منطقه تحت تاثیر تغییر اقلیم با افزایش GDD کاهش خواهد یافت. بیومس و عملکرد دانه نیز با فرض ثابت ماندن تاریخ کشت کنونی حدود ۱ تا ۲ تن در افق‌ها و سناریوهای متفاوت افزایش خواهد یافت. استفاده از تکنیک مدل‌سازی گیاهان زراعی می‌تواند در آرایش راندمان و عملکرد ذرت در استان تحت تاثیر تغییراقلیم به کار گرفته شده موثر واقع شود. مدل AquaCroop نشان داد توانایی خوبی در شبیه‌سازی در دروه رشد و عملکرد دارد. که اگر این مدل در ارزیابی های بهره‌وری آب و انتخاب تاریخ کشت های متفاوت و مقاوم به شرایط محیط بتوان با برنامه‌ریزی‌های مناسب یا عملکرد را بهبود بخشید یا اینکه با افزایش دما و ترجیحاً افزایش آب مصرفی گیاه بتوان عملکرد را در حد مطلوب نگه داشت. در راستای ادامه این پژوهش با استفاده از مدل AquaCrop برای رقم‌های مختلف تحت آبیاری‌های متفاوت ارزیابی مدل AquaCrop برای ژنوتیپ‌های مختلف و مقاوم به خشکی، اجرای مدل AquaCrop برای افق‌های زمانی دیگر به دلیل کشت بالای گیاهان زراعی در استان خوزستان، اجرا و مدلسازی برای سایر گیاهان زراعی و مناطق دارای پتانسیل کشت استفاده از دیگر مدل‌های زراعی مانند CERES-Mazie برای ذرت منطقه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Baratie, M. A., Rahnama, B. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management, 100, 1-8.

Barshan, M. 2007. Drought in the expansion of knowledge and thought. Mehrab, 44, 11-15.

Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33, Rome, 193 p Evapotranspiration and water-use efficiency of irrigated colored cotton cultivar in semi-arid regions. http, //germanwatch .org/en/publications

FAO. 2011. Arailable on http, //www.fao.org|crop/ statis tics/en/].

Geerts, S., Raes, D. 2009. Deficit irrigation as onfarm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management, 96, 1275-1284

Hanks, R. J. 1983.Yield and water-use relationships, An overview. Limitations to efficient water use in crop production limitationstoef. 393-411

Hsiao, T. C., Heng, L. K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., Fereres, E. 2009. AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water, III, Parameterization and testing for maize. Agronomy Journal, 101, 448-45.

IPCC. 2007. climate change, the physical science Basis. summary for policy makers. contribution of working Eroup. [to the Fourth Assessment Report of the inter-qovernmental panel on climate change, Cambridqe university Press.Newyork, usa.

Kochaki, A., Nasiri Mahalati, M., Badagh Jamali, J., Marashi, S.H. 2006. Studying the effect of climate change on the growth characteristics and yield of Sardari rainfed wheat using the general circulation model. Agricultural Sciences and Industries, 20(7), 95-83.

Kochaki, A, NasiriMahallati, M, Badag Jamali, Marashi, S.H. 2010. Effects of climate change on growth characteristics and yield of wheat cultivars, Sardari using general circulation models.

Li, x., takahashi, T., Suzuki, N., Kaiser, H.M. 2011. theimpact of climate change on maize yieldsin the united states and china Agricultural Systemes, 104, 348-353.

Parry, M.L. 1990. Climate change and world Agriculture. Eathsean Poblications, Landon. Harwood change from regional climate models. Journal of climate change 8, 97-122

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water, II. Main algorithms and software description. American Society of Agronomy, 101, 438-447.

Tavakoli, A., Tavakoli, A. 2011. The effect of climate change on agricultural water consumption in Torbat Heydarieh plain. The 11th national seminar on irrigation and evaporation reduction. Shahid Bahoner University of Kerman, Kerman, Iran.

Theresa Abi Sabb, M., Todorovic, M., Albrizio, R., 2015. Comparing AquqCrop and nitrogen regimes. Does calibration yaer influence the perofrmence of crop growth models? Agricultural Water Management, 147, 21-33.

Journal of Agricultural Meteorology
(Iranian Soc. of Water and Irrig. Eng.)
Vol. 11, No. 2, Autumn & Winter 2023, pp. 40-50
DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132

نشریه هواشناسی کشاورزی
(وابسته به انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران)
جلد ۱۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صص.۵۰-۴۰
مقاله علمی پژوهشی

Investigating the impact of climate change on the growth and yield of seed corn in the north of Khuzestan province using the AquaCrop model

S. Hajivand Paydaril[1], H. Yazdanpanah[2]*, S. B. Paroon[3]

Received: 02/04/2022
Accepted: 02/05/2023

Abstract
Most of the regions of the globe have faced changes in the precipitation regime and CO2 concentration with the increase in temperature (especially the minimum temperature). Considering that two-thirds of Iran is considered to be arid and semi-arid regions, which will cause climate changes and successive droughts, and this process will affect agricultural ecosystems and their performance. The aim of this research is to simulate the effects of climate change on growth, biomass yield and corn grain under climate change conditions in Shushtar and Safi Abad cities in the northern part of Khuzestan province in 2020-2050. For this purpose, the production data of precipitation, minimum temperature, maximum temperature and sunshine hours of the LARS-WG statistical model using HADCM3 atmospheric general circulation model and under emission scenarios A2 and B1 were used in the periods of 2020-2050. AquaCrop model was used to simulate plant performance and growth. Before use, the AquaCrop model was calibrated and verified by field data collected in the region. Then, the values of seed yield and biomass in future periods were simulated for the treatment of 50% of the water requirement of the plant. According to the results, under A2 emission scenarios, the evaluation results of the LARS-WG model showed that it had a suitable forecast for the climate parameters and the simulation of the future growing season. And the increase in minimum and maximum temperature will be the average increase in precipitation. The length of the growth period for each station will decrease with the increase of GDD according to the climatic parameters of the region under the influence of climate change. Biomass and grain yield will also increase by one to two tons in different horizons and scenarios assuming the current planting date and full irrigation remain constant.

Keywords: Climate Change, Scenario, Simulation, Yield, AquaCrop

[1] Ph. D. student in Meteorology, Kharazmi University of Tehran, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Department of Natural Geography, Tehran
[2] Associate Professor, University of Isfahan, Faculty of Geographical Sciences and Planning. Isfahan, Iran (*Corresponding Author email address: ho.yazdan@gmail.com)
[3] Assistant Professor of Agricultural and Natural Resources Research Center of Khuzestan Province. Ahvaz.Iran

نحوه ارجاع مقاله:
حاجیوندپایداری، س.، یزدان‌پناه، ح.، اندرزیان، س.ب. ۱۴۰۲. بررسی تاثیر تغییرات اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای در شمال استان خوزستان با استفاده از مدل AquaCrop. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۱ (۲): ۵۰-۴۰. DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132

Hajivand Paydari, S., yazdanpanah, H., Andarzian, S. B. 2023. Investigating the impact of climate change on the growth and yield of seed corn in the north of Khuzestan province using the AquaCrop model. Journal of Agricultural Meteorology, 11 (2): 40-50. DOI: 10.22125/agmj.2023.330985.1132