

بررسی روند تغییرات دمایی و ارزیابی ارتباط بین دما با عملکرد و زیست توده

(مطالعه موردی: ذرت علوفه‌ای در قزوین)

فاطمه صفری^۱، هادی رضوانی اعتدالی^{۲*}، عباس کاویانی^۳، لیلا خسروی^۴

۱- دانشجوی دوره دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ۰۹۱۹۸۸۷۷۴۷۸

f71safari@gmail.com

Water engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین. ۰۹۱۲۳۵۳۴۲۵۴

Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

Water engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین. ۰۹۱۸۳۱۶۳۹۸۹

abbasskaviani@gmail.com

Water engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

۴- کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، کارشناس آزمایشگاه کیفیت آب، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع

طبیعی دانشگاه تهران، کرج. ۰۹۱۲۵۷۶۳۲۶۶

1401leilakhosravi@gmail.com

Irrigation and Reclamation engineering Dept., Tehran University, Karaj, Iran

چکیده

عوامل اقلیمی نقش بسیار اساسی در رشد و نمو گیاهان دارند و بنابراین بر کشاورزی موثرند. آستانه تحمل گیاهان در رابطه با هر یک از این عوامل محدود است. هرگونه تغییر در این عوامل می‌تواند بطور مستقیم و غیرمستقیم بر تولیدات کشاورزی اثرات قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. در این بین تنش دمایی از جمله مهمترین پدیده‌های زیان‌بخش است که مشکلات بسیاری برای تولید محصول و عملکرد ایجاد می‌کند. در این پژوهش، به زمان وقوع تنش دمایی با دوره آماری ۴۴ ساله (۲۰۲۳-۱۹۸۰) و بررسی وجود ارتباط بین دمای هوا با عملکرد و زیست توده پرداخته شد. براساس داده‌های هواشناسی، ماه‌های خرداد، تیر و مرداد گرمترین ماه‌های سال شناخته شدند. از سوی دیگر بیشترین امواج گرمایی در تیر و مرداد در سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ مشاهده شد که منجر به کاهش کیفیت محصول و یا از بین رفتن گیاه شد. طبق نتایج مربوط به ارزیابی مدل، دقت مدل در شبیه‌سازی روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی با استفاده از آماره‌های R^2 (۰/۸ و ۰/۵۱) و $NRMSE$ (۱۵/۳۶ و ۷/۱۲) تایید شد. همچنین مدل عملکرد ماده خشک را برای مزارع مورد بررسی به ترتیب با ۱/۹۲، ۵/۶۵، ۴/۹۴، ۱/۵۸، ۰/۹۶ و ۱/۴۹ درصد انحراف شبیه‌سازی کرد که نشان داد مدل عملکرد رضایت بخشی داشته و می‌توان از آن در برنامه‌ریزی‌های مربوط به تولید ذرت استفاده کرد. در ادامه رابطه بین دما با عملکرد و زیست توده بررسی شد که طبق نتایج، رابطه منفی و معنادار بین آنها در سطح اطمینان ۹۹٪ وجود داشت.

واژگان کلیدی: مدل AquaCrop، دمای هوا، تنش دمایی، آستانه تحمل.

یکی از چالش‌هایی که بشر در قرن ۲۱ با آن مواجه است تغییر اقلیم بوده که به عنوان یک تهدید بالقوه، محیط‌های طبیعی و انسان ساخت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سال ۱۹۹۰ به بعد، دمای کره زمین بطور مرتب افزایش یافته است. افزایش ۰/۵ درجه سانتیگراد دما در اروپای غربی، ۰/۴۱ درجه سانتیگراد در آمریکا، ۱/۲۳ درجه سانتیگراد در روسیه و ۱/۳ درجه سانتیگراد در شرق سیبری (۱۴) و افزایش ۲ درجه سانتیگراد دمای شبانه‌روزی ایران در صد سال (۱۸) نشان دهنده این است که عواملی (انسانی و طبیعی) اقلیم کره زمین را دچار تغییر می‌کنند. به طور کلی میانگین دمای جهانی طی ۱۰۰ سال گذشته ۰/۷۴ درجه سانتیگراد افزایش داشته و افزایش دماهای کمینه و زمستانی سریعتر از دماهای بیشینه و تابستانی بوده است (۱۳). بر همین اساس دما یکی از عوامل اقلیمی مهم و تاثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان است. واکنش گیاهان به دماهای بالا یا پایین با توجه به نوع کشت، مرحله رشد و رقم گیاه متفاوت است. تغییر در میزان دمای مطلوب برای رشد و نمو گیاه که منجر به اختلال در فرآیندهای رشد و کاهش عملکرد می‌شود، تنش دمایی نامیده می‌شود. تنش دمایی اثرات مختلفی از جمله: تاثیر بر طول دوره رسیدگی، میزان فتوسنتز و تعرق گیاه، باروری گرده و به موازات آن عملکرد گیاه دارد (۵). با این وجود راهکارهایی همچون: تغییر تاریخ کشت (۱۵) و تغییر رقم (۱۹) برای جلوگیری و یا کاهش اثرات تنش وجود دارد.

تنش دمایی (گرما) یکی از بزرگترین مخاطرات برای تولید ذرت است و این موضوع بویژه در مناطق گرم و خشک حائز اهمیت می‌باشد. عملکرد دانه ذرت به طرق مختلف تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرد از جمله: کاهش طول دوره رسیدگی، کاهش میزان فتوسنتز گیاه و افزایش تعرق و کاهش تعداد تشکیل دانه در مرحله گلدهی که خود را بصورت کاهش در عملکرد نهایی نشان می‌دهند (۵). ذرت در مرحله گلدهی نسبت به تنش گرما و دماهای بالا بسیار حساس است. زیرا دماهای بالا موجب عقیم شدن تاسل‌ها و به موازات آن کاهش عملکرد می‌شود (۷، ۹، ۱۰ و ۲۲). تاثیر تنش گرما در این مرحله نسبت به مرحله‌های دیگر بیشتر می‌باشد و حتی در مواردی با شدت بالاتر از تنش، عملکرد به صفر می‌رسد.

در تحقیقی در استان قزوین، تاثیرات تنش‌های گرمایی در کشت ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج، در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ بیشترین امواج گرمایی رخ داده است. وقتی امواج گرمایی افزایش یافته و از آستانه تحمل گیاه بالاتر رود، بر روی محصولات گیاهی تاثیر منفی گذاشته و در نتیجه باعث کاهش میزان تولید و یا حتی در مواردی منجر به از

نشریه علوم آب و خاک

بین رفتن کامل محصولات می‌شود. طبق بررسی‌ها، تیر و مرداد گرم‌ترین ماه‌های سال در منطقه مورد مطالعه بودند. همچنین در مورد تمامی ارقام، مهم‌ترین اثر زیان آور درجه حرارت بالا، کاهش در تجمع نشاسته است که بیش‌ترین اثر را در کاهش وزن نهایی دانه دارد (۲). بنایان و همکاران (۶) گزارش کردند که در ارقام ذرت، افزایش دما تا ۳۵ درجه سانتیگراد، زیست توده را افزایش داد. افزایش حداکثر دما به بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، تاثیر منفی بر روی زیست توده گیاه داشت. همچنین افزایش دما سرعت رشد در مراحل گلدهی و رسیدگی را سرعت بخشید. در یک آزمایش شبیه‌سازی گزارش شد که تاریخ کاشت‌های زود هنگام عملکرد دانه را به مقدار ۴ درصد افزایش داد و استفاده از ارقامی با طول دوره رسیدگی بالا در ۲۷ سال گذشته به مقدار ۲۵/۵ درصد عملکرد را افزایش داد (۱۵). به منظور ارزیابی مخاطرات ناشی از تنش گرما در ذرت دانه‌ای یک آزمایش شبیه‌سازی در مناطق ایران‌شهر، دزفول، پارس‌آباد، کرمانشاه و کرمان انجام شد. برای بررسی مخاطرات گرما سه بعد شامل مرحله حساس (گلدهی) ذرت به دماهای حدی، فراوانی دماهای حدی در مرحله حساس و شدت دماهای حدی در این مرحله در نظر گرفته شدند. در این مطالعه از مدل گیاهی APSIM برای شبیه‌سازی رشد و نمو ذرت استفاده شد. طبق نتایج این مطالعه دامنه مخاطرات بطور متوسط ۹۴/۴ روز بود که در مناطق و اقلیم‌های مختلف متفاوت بود. کمترین بازه مخاطرات در منطقه نیمه‌خشک و معتدل پارس‌آباد (۱۴ روز) و بیشترین مقدار در منطقه گرم و خشک ایران‌شهر (۱۸۳ روز) ثبت شد. با توجه به تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتیگراد در طول دوره گلدهی و شدت تنش گرما، در میزان عملکرد دانه کاهش رخ داد. با این وجود با تاریخ کاشت‌های زود هنگام و رقم زودرس در کشت بهاره و تاریخ کاشت‌های دیر هنگام و رقم دیررس در کشت تابستانه، شدت تنش گرما کاهش یافته و عملکرد دانه افزایش یافت (۵).

امروزه نقش مدل‌های گیاهی در بررسی اثرات محیطی همچون تنش مشهود است. این ابزارها فرصت مناسبی را برای بررسی تغییرات اقلیمی بلندمدت در مناطق مختلف در سراسر دنیا و ایران فراهم می‌کنند. در یک بررسی در شمال شرق ایران، مدل SUCROS به منظور ارزیابی عملکرد پتانسیل چغندر قند (*Beta vulgaris*) و ارزیابی اثرات سرما بر این محصول در طول سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۸ برای کشت‌های پاییزه و بهاره در هشت منطقه به کار برده شد. نتایج نشان دادند که مقدار آسیب تنش سرما بر چغندر قند در سال‌ها و منطقه‌های مختلف متفاوت بود. به طوری که دامنه این تغییرات در تاریخ کاشت‌های پاییزه از ۶۲/۲ تا ۱۰۰ درصد متفاوت بود (۸). در مطالعه‌ای اثرات تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد زیست‌توده و دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم در شمال استان خوزستان شبیه‌سازی

نشریه علوم آب و خاک

شد. برای شبیه‌سازی عملکرد و رشد گیاه از مدل AquaCrop و از داده‌های تولیدی بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی با استفاده از مدل گردش عمومی جو تحت سناریوهای انتشار A2 و B1 در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ استفاده شد. طبق نتایج، در سناریوهای انتشار A2 پیش‌بینی مناسبی برای پارامترهای اقلیمی و شبیه‌سازی فصل رشد آینده وجود داشت و در دمای حداقل و حداکثر و بارش افزایش دیده شد. طول دوره رشد برای هر ایستگاه با توجه به تغییر اقلیم در منطقها افزایش GDD کاهش خواهد یافت و میزان زیست‌توده و عملکرد دانه با فرض ثابت ماندن تاریخ کشت کنونی و آبیاری کامل حدود یک تا دو تن در سناریوهای متفاوت افزایش خواهد یافت (۱۲). در پژوهشی که آسنگ^۱ و همکاران (۴) بر روی ۳۰ مدل گیاهی مختلف برای گندم انجام دادند، تقریباً تمامی مدل‌ها، عملکرد گیاه را به خوبی شبیه‌سازی کردند اما در دماهای بالاتر میزان دقت مدل در شبیه‌سازی کمتر بود. براساس واکنش مدلها به دما، در حال حاضر گرم شدن زمین باعث کاهش افزایش عملکرد در اکثر مناطق کشت گندم شده است. همچنین تخمین زده می‌شود که تولید جهانی گندم به ازای افزایش یک درجه سانتی‌گراد دما به میزان ۶ درصد کاهش می‌یابد و با توجه به مکانها و زمانهای مختلف این تغییرات بیشتر خواهد بود. در تحقیقی دیگر، اثرات بهبود ۱۵ مدل گیاهی برای گندم با توجه به تنش گرمایی و تاثیر آن بر عملکرد مدل و عدم قطعیت آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها قبل و بعد از بهبود آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مدل‌های بهبود یافته بطور متوسط ۳۹ درصد در مجموعه داده‌های کالیبراسیون و ۲۶ درصد در مجموعه داده‌های ارزیابی با متوسط دمای فصلی بالاتر از ۲۴ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. میانگین مربعات خطا در شبیه‌سازی عملکرد دانه نیز ۳۷ درصد کاهش را نشان داد. کاهش دامنه عدم قطعیت تا ۲۷ درصد نیز میزان توانایی مدلها در پیش‌بینی را تا ۴۷ درصد افزایش داد. بنابراین بهبود مدل‌های گیاهی برای استفاده موثرتر از آنها مهم و ضروری است (۱۷).

با توجه به اهمیت ذرت به عنوان یک محصول استراتژیک در ایران و از آنجائیکه به شدت به دمای هوا و مقدار نور دریافتی از خورشید حساس است، شناخت کافی از اثرات دما بر عملکرد این گیاه ضرورت دارد. این مطالعه به منظور بررسی معنادار بودن اثر دما بر عملکرد در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک و بررسی زمان وقوع تنش دمایی در قزوین از کاشت تا برداشت ذرت انجام

¹Asseng

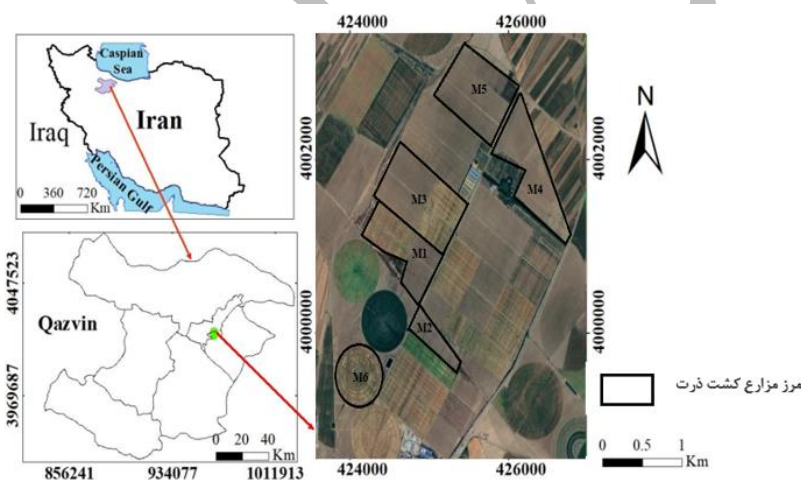
نشریه علوم آب و خاک

گرفت. هرچه میزان شناخت از وقوع رخدادهای اقلیمی همچون تنش دمایی و اثرات آنها بر گیاهان بیشتر باشد، در انجام مدیریت‌های زراعی کشت موفق‌تر عمل خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی این پژوهش، مزارع شرکت کشت و صنعت مگسال واقع در شرق استان قزوین می‌باشد. این مزارع در بخش آبیکی استان قزوین در عرض جغرافیایی $36/09$ درجه شمال و طول جغرافیایی $50/10$ درجه شرق قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه 1220 متر از سطح دریا است. اقلیم منطقه سرد و خشک و متوسط بارندگی سالیانه 210 تا 230 میلی‌متر متغیر است و میانگین دما 12 درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزارع ذرت کشت و صنعت مگسال قزوین

اطلاعات اقلیمی

داده‌های اقلیمی بلندمدت مورد استفاده در این تحقیق، شامل دمای حداقل و حداکثر ($^{\circ}\text{C}$)، بارندگی (mm)، سرعت باد (m/s) و تعداد ساعت‌های آفتابی (hour) هستند که از سازمان هواشناسی کشور به صورت روزانه دریافت شدند. این داده‌ها از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۲۳ جمع‌آوری گردید. داده‌های بیان شده به عنوان ورودی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی مورد استفاده قرار گرفتند.

اطلاعات خاکی مورد نیاز برای اجرای مدل شامل بافت خاک، ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم، هدایت الکتریکی و نقطه اشباع خاک است. این اطلاعات از گزارش آزمایش خاک شرکت مگسال دریافت و جمع آوری شد (جدول ۱).

جدول ۱- اطلاعات خاک برای واسنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد ذرت

عمق برداشت نمونه خاک			پارامتر
۹۰	۶۰	۳۰	
Loam	Clay Loam	Clay Loam	بافت خاک
۳۱	۳۹	۳۹	ظرفیت مزرعه (درصد حجمی)
۱۵	۲۳	۲۳	نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی)
۱/۵۰۹	۱/۶۷۰	۱/۴۵۴	هدایت الکتریکی (dS/m)
۷/۶۸	۷/۶۳	۷/۵۱	اسیدیته (pH)
۴۶	۵۰	۵۰	نقطه اشباع (درصد حجمی)
۳۸	۳۲	۲۸	شن (%)
۲۸	۳۶	۴۰	سیلت (%)
۳۴	۳۲	۳۲	رس (%)

اطلاعات گیاهی و مدیریتی

اطلاعات زراعی مورد نیاز در این بخش شامل: تاریخ کاشت و برداشت، نوع رقم، طول چرخه رشد، مراحل فنولوژی و سایر اطلاعات مربوط به روند رشد گیاه در طول فصل رشد از مزارع مورد مطالعه جمع‌آوری گردید (جدول ۲). هیبرید ذرت کشت شده در این مزارع سینگل کراس ۷۰۴ است.

جدول ۲- اطلاعات گیاهی مزارع مورد مطالعه

شماره مزرعه	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	نوع هیبرید	زمان جوانه‌زنی (روز)	زمان بلوغ (روز)	زمان رسیدگی فیزیولوژیکی (روز)	دمای پایه (درجه سانتیگراد)	دمای بالا (درجه سانتیگراد)
۱	۱۴۰۱/۳/۲۰	۱۴۰۱/۶/۲۷		۱۱	۹۷	۱۰۱	۸	۳۰

نشریه علوم آب و خاک

۳۰	۸	۹۱	۶۶	۶	۱۴۰۱/۶/۲۸	۱۴۰۱/۳/۳۱	۲
۳۰	۸	۹۶	۶۶	۶	۱۴۰۱/۶/۲۵	۱۴۰۱/۳/۲۳	۳
۳۰	۸	۱۰۸	۶۶	۹	۱۴۰۱/۷/۴	۱۴۰۱/۳/۲۱	۴
۳۰	۸	۱۰۳	۶۶	۸	۱۴۰۱/۶/۲۶	۱۴۰۱/۳/۱۷	۵
۳۰	۸	۱۰۰	۶۶	۷	۱۴۰۱/۷/۲۹	۱۴۰۱/۴/۲۳	۶

اطلاعات مدیریتی شامل: روش آبیاری، نوع کود مصرفی، مقدار کود در هکتار، نوع کشت (دیم، آبی)، عملیات خاک‌ورزی و اقدامات قبل از کاشت از مستندات موجود از مزارع و مصاحبه با کارشناسان مربوطه جمع‌آوری گردید (جدول ۳).

جدول ۳- اطلاعات مدیریتی مزارع مورد مطالعه

شماره مزرعه	روش آبیاری	دور آبیاری (روز)	نوع کشت	نوع و مقدار کودهای مصرفی				اقدامات قبل از کاشت
				اوره (kg/ha)	اسید هیومیک (lit/ha)	سوپرفسفات تریپل	دی آمونیوم فسفات	
۱	تیپ	۵	آبی	۲۰۰	۲۰	-	-	کود دامی (قبل از کاشت) (ton/ha)
۲	تیپ	۵	آبی	۲۰۰	۲۰	-	-	۱۵۰
۳	لینیر	۸	آبی	۲۵۰	-	-	-	زیرشکن، دیسک، لولر
۴	تیپ	۶	آبی	۴۵۰	۲۰	-	-	۱۵۰
۵	تیپ	۶	آبی	۴۰۰	۲۰	-	-	۲۰۰
۶	ستریپوت	۸	آبی	۴۰۰	-	۱۵۰	-	

نحوه بررسی زمان وقوع تنش دمایی

چون عوامل متعددی در فرآیند رشد و عملکرد محصولات زراعی همچون ذرت تاثیر دارد، می‌توان با شناسایی عوامل کم اثر و صرف نظر کردن از آنها، تاثیر عوامل آب و هوایی به ویژه نقش دما و نوسانات مربوط به آن را آشکار ساخت. یکی از روش‌های ارزیابی عامل دما بر روی گیاهان بررسی‌های میدانی است. در کنار بررسی میدانی، روش مطالعه اثرات دمایی با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه جهت بررسی و تحلیل پردازش داده‌های اقلیمی استفاده می‌شود. برای اجرای مدل پردازش داده‌های اقلیمی و بررسی اثر تنش دمایی بر رشد ذرت، آمار ۴۴ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۳) میانگین دمای ماهانه ایستگاه هواشناسی قزوین استفاده شد.

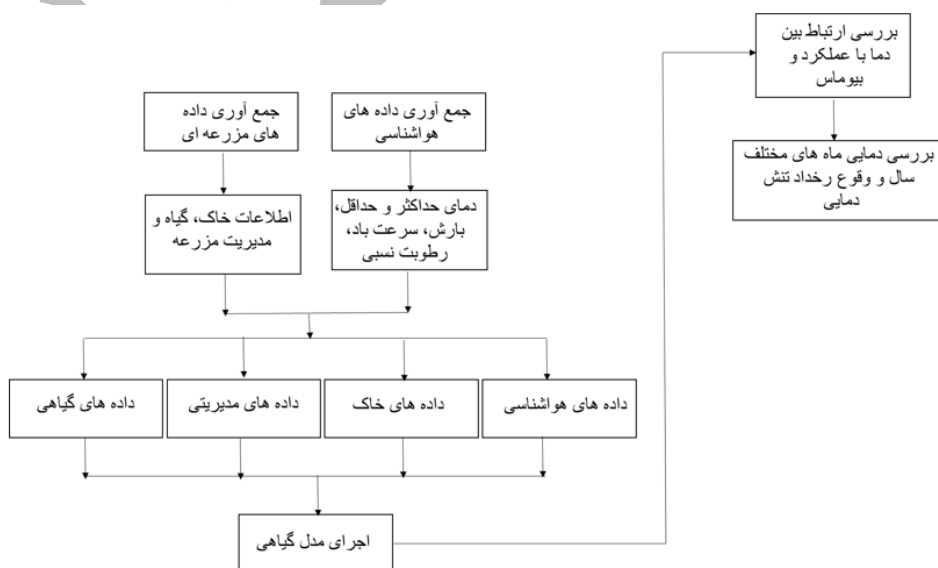
سپس داده‌ها در محیط اکسل آماده‌سازی و پس از فیلتر کردن بر اساس آستانه دمایی قابل تحمل برای گیاه ذرت که ۳۰-۸ درجه سانتیگراد است (۲۱)، دماهای بیشتر از ۳۰ درجه و کمتر از ۸ درجه به عنوان شروع آستانه تنش دمایی شناسایی و بر این اساس

نشریه علوم آب و خاک

داده‌ها استخراج شد. در نهایت خروجی داده‌ها بصورت نمودار ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که فقط ماه‌هایی که شامل دوره کشت ذرت هستند بررسی شد.

معرفی مدل AquaCrop

در این تحقیق از نسخه AquaCrop v. 6.1 (May 2018) برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت استفاده شد و شرایط شبیه‌سازی در حالت وجود تنش دمایی و عدم وجود سایر تنش‌ها اجرا گردید. اگرچه مدل AquaCrop بر مبنای فرایندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است، اما تعداد نسبتاً کمی از پارامترهای ساده و قابل دسترس به‌عنوان پارامترهای ورودی استفاده می‌شوند. ورودی‌های مدل شامل چهار دسته اطلاعات شامل: داده‌های اقلیمی، داده‌ها و پارامترهای گیاهی، اطلاعات خاک و مدیریت (مزرعه‌ای و آبیاری) می‌باشند. داده‌های اقلیمی شامل دمای حداقل و حداکثر روزانه، بارش روزانه و تبخیر و تعرق روزانه و سایر اطلاعات که برای مدل‌سازی ضروری بودند به فرمت استاندارد مدل تهیه و در مدل AquaCrop وارد شد. با استفاده از این مجموعه داده‌ها بیوماس و عملکرد برای هیبرید مورد نظر شبیه‌سازی شد. همچنین برای بررسی اثر تغییرات دما روی عملکرد، میزان دمای حداقل و حداکثر را یک، دو، سه ... تا ۱۵ درجه سانتیگراد به ترتیب کاهش و افزایش داده و اثر این تغییرات نیز روی عملکرد بررسی و شبیه‌سازی شد. روند انجام کار مطابق فلوجارت ترسیم شده در شکل ۲ می‌باشد.



شکل ۲- فلوجارت انجام کار

بررسی آماری

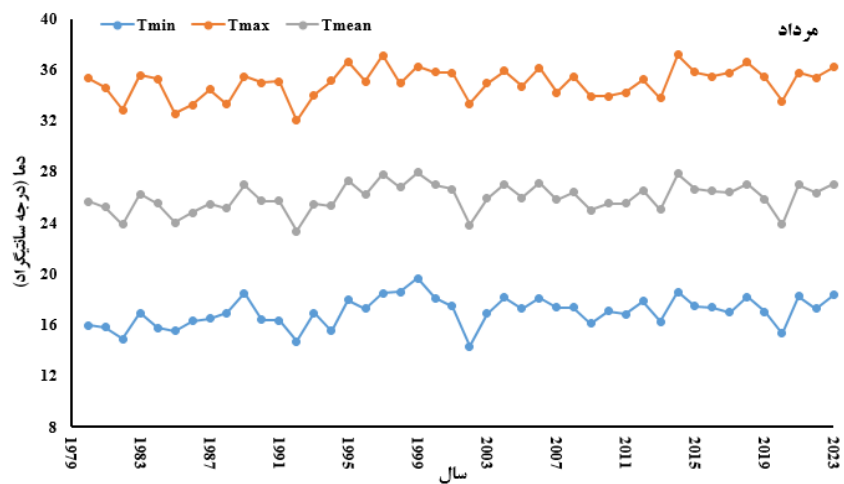
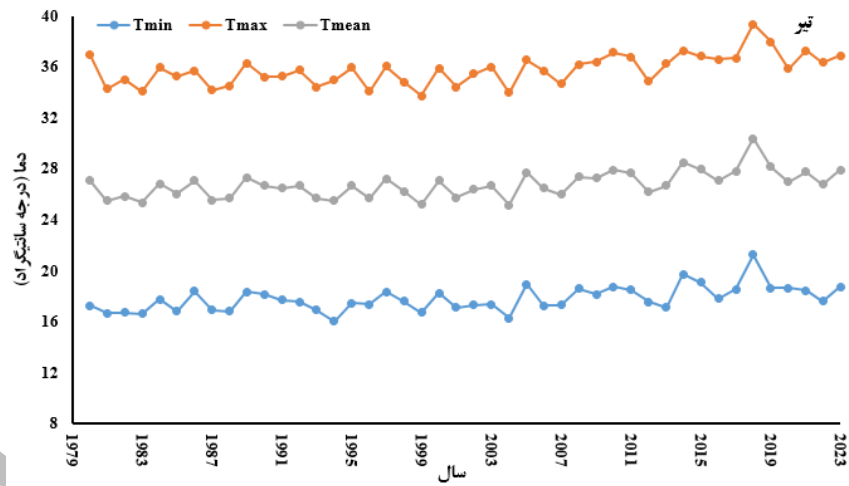
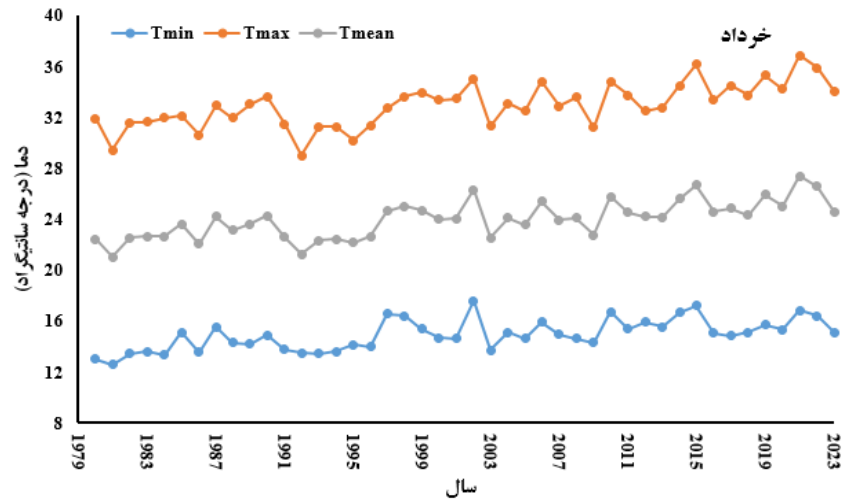
برای ارزیابی آماری و بدست آوردن رابطه بین دما و عملکرد و معنادار بودن آن از نرم افزار SPSS استفاده شد. SPSS اطلاعات جمع آوری شده را دریافت، تحلیل، بررسی و مقایسه می‌کند. در نهایت، جدول و نمودار آن را ارائه می‌دهد. در این پژوهش، ابتدا برای بررسی نرمال بودن داده‌ها و اینکه آیا از توزیع نرمال پیروی می‌کنند یا خیر از روش کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در مواردی که مقدار Sig. در جدول بزرگتر از ۰/۰۵ بود داده‌ها نرمال بود. سپس مقدار ضریب همبستگی پیرسون محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. این ضریب میزان همبستگی بین دو متغیر را برآورد می‌کند و مقدار آن بین +۱ و -۱ است. مثبت بودن مقدار آن به معنای آن است که تغییرات دو متغیر بطور هم جهت اتفاق می‌افتد و منفی بودن آن یعنی دو متغیر در جهت عکس هم عمل می‌کنند. چنانچه مقدار این ضریب صفر شود نشان می‌دهد که هیچ رابطه‌ای بین دو متغیر وجود ندارد. حال در صورت نرمال نبودن داده‌ها ابتدا آنها را نرمال کرده بعد مقدار ضریب همبستگی را برای آنها بدست آورده شد. برای نرمال کردن داده‌ها در SPSS ابتدا داده‌ها را رتبه‌بندی سپس داده‌های رتبه‌بندی شده را با دستور مربوطه نرمال کرده و در نهایت می‌توان مقدار ضریب همبستگی را به دست آورد. وقتی وجود رابطه معنی دار بین داده‌ها به اثبات رسید، بین مقادیر دما و عملکرد رگرسیون خطی ترسیم گردید.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات دمایی و زمان وقوع تنش دمایی

بررسی داده‌های اقلیمی ۴۴ ساله ایستگاه هواشناسی قزوین به منظور ارزیابی اثرات تنش دمایی بر رشد و عملکرد گیاه ذرت نشان داد، عملکرد گیاه ذرت به شدت تحت تاثیر تنش دمایی قرار دارد. براساس نمودارهای ترسیم شده، ماه‌های خرداد، تیر و مرداد گرمترین (شکل ۳) و دی و بهمن سردترین ماه‌های سال در این ایستگاه هستند. از آنجایی که دو ماه دی و بهمن شامل فصل زراعی ذرت نمی‌شوند، از آنها صرفنظر کرده و فقط سه ماه خرداد، تیر و مرداد مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرد.

نشریه علوم آب و خاک

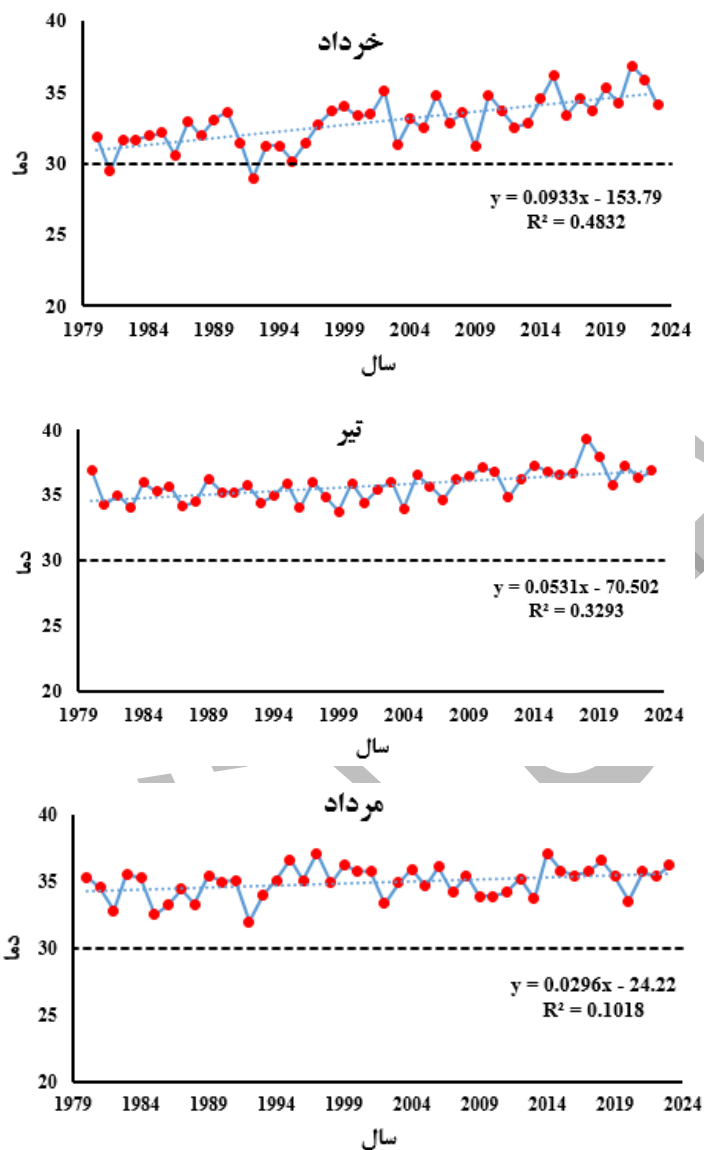


شکل ۳- نوسانات دمایی گرمترین ماه‌های سال (خرداد، تیر و مرداد)

نشریه علوم آب و خاک

با توجه به اینکه بازه دمایی مطلوب برای رشد و نمو ذرت ۳۰-۸ درجه سانتیگراد است و حداقل دما در سه ماهی که بعنوان گرمترین ماه‌های سال در فصل زراعی شناخته شدند بیشتر از ۸ درجه سانتیگراد بوده، به همین علت تنش دمایی فقط با دمای حداکثر (دماهای بالای ۳۰ درجه سانتیگراد) در دوره آماری ۴۴ ساله بترتیب در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در نمودارهای زیر ترسیم شد (شکل ۴). خرداد اولین ماه موثر در تنش دمایی در طول دوره مطالعاتی است. شروع افزایش بیشتر در دما از سال ۲۰۰۲ به بعد رخ داد و سال ۲۰۲۱ بیش‌ترین موج گرما را داشته و دما به بیش از ۳۶ درجه سانتیگراد رسید. بطور کلی افزایش دما از سال ۲۰۰۲ به بعد دارای روند بوده و معنی دار بودن را نشان می‌دهد. بیشترین میزان تنش دمایی تیر ماه از ابتدای دوره مطالعاتی ملموس است ولی روند آن از سال ۱۹۹۹ به بعد افزایشی و معنی‌دار بوده و در سال ۲۰۱۸ بیشترین دامنه تغییری را در برگرفته که در افت راندمان محصول کاملاً موثر است. در ماه مرداد نیز همچون تیرماه تنش از ابتدای دوره آماری مشهود و روندی افزایشی و معنی‌دار دارد. در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۱۴ بیشترین روند تغییرات دما در منطقه مشاهده شد.

بررسی روند دمایی دوره ۴۴ ساله نشان داد که کمترین تنش دمایی در خرداد ماه و بیشترین آن در تیر و مرداد قابل لمس است و دما به بالای آستانه دمایی مطلوب گیاه یعنی ۳۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. وقوع این تنش‌های دمایی در منطقه منجر به کاهش کیفیت محصول و یا حتی از بین رفتن کامل گیاه می‌شود. با توجه به آمار سالهایی که گیاه ذرت کشت شده و دمای ماهانه به بالاتر از آستانه تحمل گیاه رسیده، در سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ بیشترین امواج گرمایی (تنش دمایی) رخ داده است. طبق آمارهای موجود در سازمان جهاد کشاورزی میزان تولید ذرت برای قزوین در سال ۱۹۹۷ برابر ۲۱۱۱۷ تن، سال ۲۰۱۴ برابر ۱۴۰۴۱۴۹ تن و سال ۲۰۱۸ برابر ۱۰۹۸۴۷۱ تن بوده است. مقدار تولید ذرت در این سالها کمتر بوده که نشان دهنده اثر افزایش امواج گرمایی (تنش دمایی) است که از حد آستانه تحمل گیاه بالاتر رفته و بر روی عملکرد محصول اثر منفی گذاشته است. بنابراین شناخت دوره‌های وقوع تنش دمایی و پیش‌بینی زمان وقوع آنها در آینده کمک شایانی به افزایش بهره‌وری و کیفیت و کمیت محصول ذرت می‌کند. از طرفی، نتایج پژوهش حاضر با پژوهشی که احمدی و همکاران (۲) بر روی ذرت در قزوین انجام دادند تطابق دارد. طبق پژوهش آنها نیز بیشترین امواج گرمایی در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد طی سالهای ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ رخ داد که شامل فصل زراعی ذرت می‌شود.



شکل ۴- دماهای بیش از آستانه بالای گیاه در فصل زراعی ذرت (بیشتر از ۳۰ درجه سانتیگراد)

بررسی ارتباط بین دما با عملکرد

کالیبراسیون مدل AquaCrop برای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ (SC704) با استفاده از اطلاعات مزارع کشت ذرت در مگسال برای سال زراعی ۱۴۰۱ در ایستگاه قزوین انجام شد. از آنجاییکه دما بر روی مراحل مختلف رشد گیاه در فصل رشد اثرگذار است، مدل را نه تنها با استفاده از داده‌های عملکرد ماده خشک کالیبره کرده بلکه برای افزایش صحت کارایی مدل در شبیه‌سازی، نتایج آن در مراحل روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی کامل بررسی شد. براساس اطلاعات موجود شبیه‌سازی فنولوژی، بیوماس و عملکرد با مدل

نشریه علوم آب و خاک

قابل اطمینان بود و تطابق خوبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد (جدول ۴). این مدل تاریخ گلدهی را با اختلاف ۸ تا ۱۷ روز شبیه‌سازی کرد. در خصوص رسیدگی فیزیولوژیک نیز مدل کارایی خوبی داشت و تاریخ این مرحله را با اختلاف یک تا ۱۴ روز شبیه‌سازی کرد، پس مدل فنولوژی ذرت هیبرید SC704 را بطور قابل قبولی شبیه‌سازی کرد که این مساله گام مهمی جهت ارزیابی صحت مدل است. همچنین بر اساس اطلاعات جدول ۴، مدل عملکرد ماده خشک را برای مزارع یک تا شش به ترتیب با ۱/۹۲، ۵/۶۵، ۴/۹۴، ۱/۵۸، ۰/۹۶ و ۱/۴۹ درصد انحراف شبیه‌سازی کرد و این موضوع نشان می‌دهد که مدل AquaCrop قادر به شبیه‌سازی رشد ذرت است.

جدول ۴- نتایج کالیبراسیون مدل AquaCrop برای ذرت در مزارع کشت شده

شماره مزرعه	هیبرید	تاریخ کاشت	روز تا گلدهی (روز پس از کاشت)			روز تا رسیدگی (روز پس از کاشت)			ماده خشک (تن در هکتار)	
			مشاهده شده	شبیه‌سازی شده	GDDs (درجه-روز-رشد)	مشاهده شده	شبیه‌سازی شده	GDDs (درجه-روز-رشد)	مشاهده شده	شبیه‌سازی شده
۱	SC704	۲۰ خرداد ۱۴۰۱	۹۷	۸۰	۱۰۴۲	۱۰۱	۱۰۲	۱۵۵۱	۲۷/۲	۲۳/۵۶۲
۲	SC704	۳۱ خرداد ۱۴۰۱	۶۶	۷۷	۹۹۸	۹۱	۸۷	۱۳۴۶	۲۸/۸	۱۸/۲۳
۳	SC704	۲۳ خرداد ۱۴۰۱	۶۶	۷۵	۹۷۶	۹۶	۹۲	۱۴۱۴	۲۶/۸۸	۱۷/۸۹۱
۴	SC704	۲۱ خرداد ۱۴۰۱	۶۶	۷۵	۹۷۳	۱۰۸	۱۰۱	۱۵۴۲	۲۴/۹۶	۲۲/۶۴۳
۵	SC704	۱۷ خرداد ۱۴۰۱	۶۶	۷۵	۹۶۷	۱۰۳	۹۸	۱۵۰۸	۲۲/۴	۲۱/۲۳۶
۶	SC704	۲۳ تیر ۱۴۰۱	۶۶	۷۴	۹۹۲	۱۰۰	۵۶	۱۲۸۴	۲۰/۴۸	۱۷/۰۱

دما تقریباً بر تمام فرآیندهای زیستی گیاهان زراعی نقش کلیدی دارد. سرعت رشد و نمو ذرت از زمان کاشت تا مرحله گلدهی تابع دما بوده و کمتر به متوسط بستگی دارد. میزان GDDs رشد و نمو ذرت را شدیداً تحت تاثیر قرار می‌دهد. طبق تحقیقات انجام شده ذرت برای جوانه‌زنی نیازمند ۱۱۰ تا ۱۲۰ درجه-روز-رشد است (۲۴). تاریخ کاشت و هیبرید مورد استفاده ذرت بر روی GDDs اثر داشته، بطوریکه با تاخیر در تاریخ کاشت، درجه-روز-رشد لازم برای طی مراحل رشد کاهش یافت. با توجه به افزایش میزان دمای حداکثر در طول فصل رشد ذرت، گیاه در مدت زمان کمتری میزان درجه-روز-رشد لازم برای تکمیل فرآیند رشد را دریافت

کرد. پس میتوان گفت با تاخیر در تاریخ کاشت مقدار درجه-روز-رشد در مراحل مختلف رشد گیاه کاهش می‌یابد. علت اختلاف در میزان GDDs برای مزارع مختلف تفاوت در تاریخ کشت‌های مزارع مختلف است.

طبق تحقیقی که سیاحی و همکاران (۲۰) بر روی ارزیابی کارایی مدل AquaCrop و WOFOST انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مدل AquaCrop دقت بهتری نسبت به WOFOST داشته و میزان خطای شبیه‌سازی عملکرد توسط AquaCrop کمتر بود. اکثر محققان برای این مدل دقت خوبی را گزارش کرده‌اند (۳، ۱۶ و ۲۳)، پس بطور کلی می‌توان از آن به عنوان ابزاری مطمئن در برنامه‌ریزی برای کشت ذرت استفاده کرد.

طبق نتایج بدست آمده از بررسی وجود رابطه بین دما با عملکرد و بیوماس که در جدول ۵ ارائه شده، بین دمای حداقل و حداکثر با عملکرد به جز مزارع ۱ و ۵ که در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دارند باقی مزارع در سطح ۹۹٪ رابطه معنادار و منفی دارند. در مورد رابطه با زیست‌توده تمامی مزارع، به جز مزرعه شماره یک که در سطح ۹۵٪ معنی دار است، در سطح اطمینان ۹۹٪ رابطه معنی دار و منفی وجود دارد. منفی بودن این روابط یعنی با کاهش دمای حداقل یا افزایش دمای حداکثر میزان عملکرد و بیوماس کاهش می‌یابد. علت این کاهش، اثری است که کاهش یا افزایش دما بر روی طول دوره گلدهی یا طول دوره رسیدگی این هیبرید از ذرت می‌گذارد. مقدار ضریب همبستگی برای عملکرد در مزارع ۳ و ۶ بیشتر از ۰/۵ و در سایر مزارع بین ۰/۵-۰/۲ بوده که نشانگر وجود رابطه قوی و متوسط بین دمای حداقل و حداکثر با عملکرد است. مقدار این ضریب برای زیست‌توده در مزرعه ۶ بیشتر از ۰/۵ و در سایر مزارع بین ۰/۲-۰/۵ است که رابطه قوی و متوسط بین دما با زیست‌توده در مزارع را نشان می‌دهد.

نتایج این بخش از پژوهش، درخصوص وجود رابطه بین دما با عملکرد و بیوماس با نتایج تحقیقی که اسنگ و همکاران (۴) و مایورانو و همکاران (۱۷) انجام دادند همخوانی دارد. آنها در تحقیقات خود به بررسی تنش دمایی و اثر آن روی عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل‌های گیاهی مختلف از جمله AquaCrop پرداختند. براساس نتایج حاصله، تنش دمایی با اثرگذاری بر روی مراحل مختلف رشد گیاه سبب بروز تغییر در طول هر مرحله شده و در نهایت بر مقدار عملکرد و زیست‌توده شبیه‌سازی شده توسط مدل تاثیر می‌گذارد.

جدول ۵- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در مزارع مورد بررسی

شماره مزرعه	پارامتر	دمای حداقل	دمای حداکثر
۱	عملکرد	-۰/۳۴۸*	-۰/۲۴۲*
	بیوماس	-۰/۳۵۰*	-۰/۲۴۳*
۲	عملکرد	-۰/۳۹۴**	-۰/۴۳۳**
	بیوماس	-۰/۴۳۱**	-۰/۴۲۹**
۳	عملکرد	-۰/۵۰۵**	-۰/۵۳۸**
	بیوماس	-۰/۳۹۲**	-۰/۴۱۸**
۴	عملکرد	-۰/۳۵۰**	-۰/۳۹۰**
	بیوماس	-۰/۴۵۵**	-۰/۴۵۳**
۵	عملکرد	-۰/۳۸۶*	-۰/۳۸۴**
	بیوماس	-۰/۴۳۴*	-۰/۴۱۷**
۶	عملکرد	-۰/۵۳۲**	-۰/۵۸۵**
	بیوماس	-۰/۵۱۹**	-۰/۵۳۸**

* و **: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و یک درصد است.

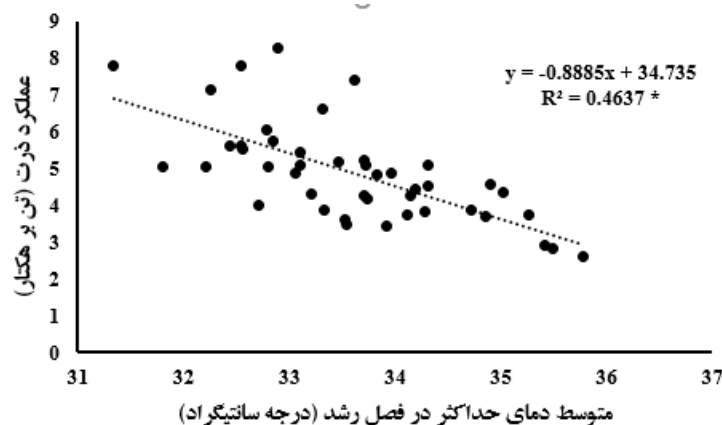
در مزارع مورد مطالعه اثر دمای حداقل بر روی بیوماس در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است. اثر این پارامتر بر روی عملکرد مزارع نیز معنی دار بود. طبق نتایج بررسی واریانس در مورد دمای حداکثر، اثر این پارامتر بر روی بیوماس و عملکرد با سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار بود. براساس نتایج جدول ۶، بطور کلی می توان گفت که افزایش دمای حداکثر و کاهش دمای حداقل بر مقدار عملکرد و بیوماس تاثیر معنی داری دارد. نتایج تجزیه واریانس دما با عملکرد و بیوماس با نتایج مربوط به بررسی ضریب همبستگی پیرسون آنها مطابق دارد و هر دو وجود ارتباط بین این پارامترها را نشان می دهند. با توجه به نتایج تحقیقاتی که بر روی ارتباط داده های هواشناسی با عملکرد و بیوماس گیاهان زراعی انجام شده می توان اظهار داشت که تغییرات درجه حرارت بر واریانس و میانگین عملکرد و بیوماس گیاهان زراعی موثر است. بطوریکه متوسط عملکرد گیاهان زراعی با درجه حرارت های بالاتر یا پایین تر کاهش می یابد و یا به بیانی دیگر، تغییر در درجه حرارت باعث افزایش تغییر پذیری عملکرد گیاهان زراعی می شود (۱). این نتایج با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

جدول ۶- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در طرح

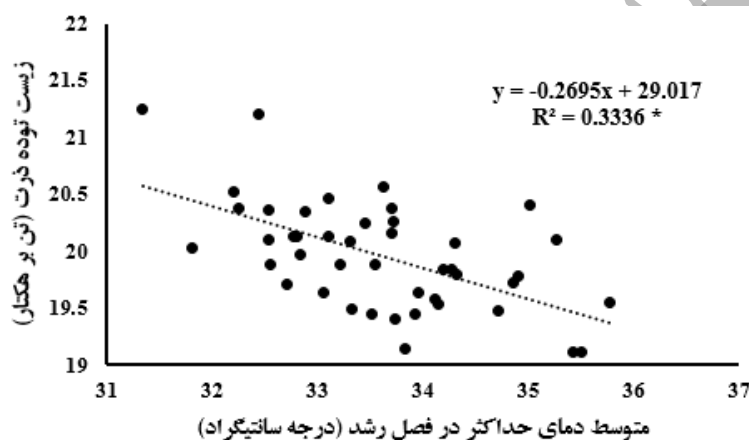
شماره مزرعه	منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
			عملکرد	بیوماس
۱	دمای حداقل	۲	۰/۳۰۹*	۱/۳۴۷*
	دمای حداکثر	۳	۰/۰۱۰*	۰/۰۴۵*
	خطا	۳۸	۰/۰۸۸	۰/۳۸۳
۲	دمای حداقل	۲	۳۵/۰۲۲*	۱/۴۶۳*
	دمای حداکثر	۳	۳/۰۲۳*	۰/۲۰۸*
	خطا	۳۸	۷/۹۴۵	۰/۲۰۷
۳	دمای حداقل	۲	۲/۶۰۱*	۰/۹۳۷*
	دمای حداکثر	۳	۶/۵۷۸*	۰/۱۶۵*
	خطا	۳۸	۳/۷۸۹	۰/۱۷۰
۴	دمای حداقل	۲	۴/۵۶۴*	۱/۹۵۳*
	دمای حداکثر	۳	۷/۸۰۵*	۰/۳۲۵*
	خطا	۳۸	۴/۷۲۳	۰/۲۱۷
۵	دمای حداقل	۲	۱/۸۰۷*	۱/۱۲۲*
	دمای حداکثر	۳	۹/۱۹۳*	۰/۱۹۲*
	خطا	۳۸	۳/۶۸۱	۰/۱۷۳
۶	دمای حداقل	۲	۱/۴۸۷*	۱/۳۵۱*
	دمای حداکثر	۳	۱۰/۶۲۹*	۰/۳۴۵*
	خطا	۳۸	۰/۷۷۵	۰/۴۳۷

*: معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد

به دلیل آنکه در کشت ذرت اثرگذاری دمای حداکثر بر رشد و عملکرد این گیاه بیشتر است، تنها رابطه رگرسیونی عملکرد و زیست توده شبیه سازی شده با دمای حداکثر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن مطابق شکل ۵ و ۶ است. با توجه به نمودار رگرسیونی عملکرد-دما و زیست توده-دما در طول فصل رشد ذرت، عملکرد با ضریب تبیین ۰/۴۶ و زیست توده با ضریب ۰/۳۳ نسبت به دمای حداکثر برآورد شد. همانطور که در نمودارها نیز مشخص است با افزایش میزان دما، مقدار متوسط عملکرد و زیست توده بدست آمده کاهش یافته و شدت مخاطرات گرما سبب این کاهش عملکرد است. طبق مطالعات پیشین و همانطور که قبلا نیز اشاره شد، ذرت در مرحله گلدهی نسبت به دمای بالا بسیار حساس است چرا که دمای بالا باعث عقیم شدن دانه گرده و در نهایت کاهش عملکرد و زیست توده می شود.



شکل ۵- رابطه رگرسیونی عملکرد و دمای حداکثر در طول فصل رشد گیاه ذرت



شکل ۶- رابطه رگرسیونی زیست توده و دمای حداکثر در طول فصل رشد گیاه ذرت

نتیجه گیری کلی

تنش های محیطی از جمله عواملی هستند که استفاده حداکثری از پتانسیل آب، خاک و گیاه را در راستای تولید دچار محدودیت می کنند. گیاه ذرت دارای آستانه تحمل دمایی بالایی است. بازه دمایی مطلوب برای رشد این گیاه ۳۰-۸ درجه سانتیگراد بوده در حالیکه این گیاه در بازه ۴۵-۰ درجه سانتیگراد قادر به زنده ماندن است اما قطعاً کاهش عملکرد و کیفیت محصول رخ خواهد داد. دمای محیطی بیش از تاب آوری گیاه بیشترین تاثیر منفی را در فازهای فنولوژیک ذرت بویژه در مرحله تولیدمثل برجا می گذارد. با توجه به بررسی های انجام گرفته، عملکرد گیاه ذرت با دما و تغییرات آن رابطه معکوس و معنی داری داشته و به شدت دماهای خیلی بالا یا خیلی پایین روی عملکرد این گیاه اثر منفی دارد. با تغییر دما، جذب عناصر غذایی نیز دستخوش تغییر می گردد. نتایج بررسی در مورد پدیده تنش دمایی در قزوین نشان داد که سه ماه خرداد، تیر و مرداد گرمترین ماه های سال بوده و بیشترین تنش دمایی در

تیر و مرداد رخ می‌دهد. همچنین بیشترین میزان امواج گرمایی در سال ۱۹۹۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ بود. ارزیابی مدل AquaCrop با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز توانمندی مدل را در انجام شبیه‌سازی تایید کرد. در خصوص بررسی رابطه دمای هوا با عملکرد و زیست‌توده، بطور کلی بین دما با عملکرد و زیست‌توده رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد و این ارتباط در اکثر مزارع کشت ذرت در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار و منفی است. تحلیل عوامل جوی و بررسی اثرات آنها به بخش مدیریت در کشاورزی کمک کرده تا بتوان احتمال وقوع رخداد‌های مطلوب و نامطلوب جوی را در مراحل مختلف رشد گیاه تخمین زده و اثرات آن را تقویت و یا تضعیف کرد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر مستخرج از نتایج رساله دکتری می‌باشد. بدین وسیله از همکاری سازمان هواشناسی کشور و کشت و صنعت مگسال برای در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Adams, R.M., 2000. Climate variability and climate change: Implications for agriculture. IRI Proceedings. Oregon State University, U.S.A.
2. Ahmadi, M., & Mirhaji, H. 2012. Evaluation of Thermal Stress Effects on Corn (Case Study: Qazvin Province). *Environmental Sciences*, 9(3), 119-128 (In Farsi).
3. Alishiri R, Paknejad F, Aghayari F. 2014. Simulation of sugar beet growth under different water regimes and nitrogen levels by AquaCrop. *Bioscience*. 4(4): 1-9.
4. Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., Reynolds, M.P., Alderman, P.D., Prasad, P.V.V., Aggarwal, P.K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A.J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Izaurralde, R.C., Jabloun, M., Jones, C.D., Kersebaum, K.C., Koehler, A.-K., Müller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., O'Leary, G., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Wolf, J., Zhao, Z., Zhu, Y., 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature climate change*. 5: 143-147.
5. Azizi, K., & Rahimi-Moghaddam, S. 2020. Simulating the risk of heat stress on grain maize production under arid and semi-arid conditions. *Environmental Sciences*, 18(3), 85-105. doi: 10.29252/envs.18.3.85 (In Farsi).
6. Bannayan, M., G. Hoogenboom & N. M. J. Crout. 2004. Photo thermal impact on maize performance: assimilation approach. *Ecological Modelling*. 180(2-3): 277-290

7. Carberry, P., Muchow, R. and McCown, R. 1989. Testing the CERES-maize simulation model in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research*. 20(4), 297–315.
8. Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S. and Chenu, K. 2019. Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology*. 13, 1-11.
9. Dupuis, I. and Dumas, C. 1990. Influence of temperature stress on in vitro fertilization and heat shock protein synthesis in maize (*Zea mays* L.) reproductive tissues. *Plant Physiology*. 94(2), 665–670.
10. Gourdj, S.M., Sibley, AM. and Lobell, D.B. 2013. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*. 8(2): 1-11.
11. Hadadi, F., Aghighi, H., & Moradi, A. 2018. Evaluation of Sentinel-2 imagery for the estimation of Silage maize biomass: A case study of Magsal Animal Husbandry & Agriculture, Qazvin, Iran. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 10(4), 99-120 (In Farsi).
12. Hajivandpaydari, 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 (In Farsi).
13. IPCC, 2013. *Climate Change 2013*. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., et al. (eds). Cambridge, UK and New York, USA.
14. Jones, P.D. 1998. It was the best of times, it was the worst of times. *Science*, 280: 544-545.
15. Liu, Z., Hubbard, K. G., Lin, X. and Yang, X., 2013. Negative effects of climate warming on maize yield are reversed by the changing of sowing date and cultivar selection in Northeast China. *Global Change Biology*. 19(11), 3481- 3492.
16. Malik A, Shakir AS, Ajmal M, Jamal Khan M, Ali Kan T. 2017. Canopy cover, biomass and root yield under different irrigation and field management practices in semi-arid regions of Pakistan. *Water Resources Management*. 31: 4275-4292.
17. Maiorano, A., Martre, P., Asseng, S., Ewert, F., Müller, Ch., P. Rötter, R., C. Ruane, A., A. Semenov, M., Wallach, D., Wang, E., D. Alderman, Ph., T.Kassie, B., Biernath, Ch., Basso, B., Cammarano, D., J. Challinor, A., Doltra, J., Dumont, B., Eyshi Rezaei, E., Gayler, S., ..., Zhu, Y. 2017. Crop model improvement reduces the uncertainty of the response to temperature of multi-model ensembles. *Field Crops Research*. 202: 5-20.
18. Montazeri, F., & Fahmi, H. 2003. Climate changes on the country's water resources. 3rd Regional Conference on Climate Change. Isfahan. Iran. 23 October (In Farsi).
19. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R., 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: a model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*. 253, 1-14.
20. Sayyahi, H., Egdernezhad, A., and Ebrahimipak, N.A. 2020. Evaluation of AquaCrop and WOFOST for Simulation of Sugar Beet Yield and Water Productivity under Different Irrigation Intervals and Fertilizer Stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(10), 2593-2605. doi: 10.22059/ijswr.2020.300418.668568 (In Farsi).

21. Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. & Raes, D. 2012. Crop yield response to water (FAO-66), Rome.
22. Stone, P. 2000. The Effects of Heat Stress on Cereal Yield and Quality. In A.S. Basra eds. *Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress*. Food Products Press, Inghamton, USA.
23. Stricevic R, Cosic M, Djurovic N, Pejic B, Maksimovic L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management*. 98: 1615-1621.
24. Vafa, P., Barary, M., Darkhal, H., & Naseri, R. 2014. Thermal Requirement and the Response of Corn Hybrids (*Zea mays* L.) to Different Planting Dates in Isfahan. *Journal of Crop Ecophysiology*. 2(30), 121-136 (In Farsi).

Investigating the trend of temperature changes and evaluating the relationship between temperature with yield and biomass (case study: Maize in Qazvin)

Climatic factors play a very important role in the growth and development of plants and therefore affect agriculture. The tolerance threshold of plants for each of these factors is limited. Any change in these factors can directly and indirectly have significant effects on agricultural production. Meanwhile, temperature stress is one of the most important damaging phenomena that causes many problems for product production and yield. In this research, the time of occurrence of temperature stress with a statistical period of 44 years (1980-2023) and the relationship between air temperature with yield and biomass were investigated. According to meteorological data, the months of June, July, and August were known as the hottest months of the year. On the other hand, the most heat waves were observed in July and August in the years 1997, 2014, and 2018, which led to a decrease in the quality of the product or the loss of the plant. According to the model evaluation results, the accuracy of the model in simulating days to flowering and days to maturity was confirmed using R^2 (0.8 and 0.51) and NRMSE (15.36 and 7.12) statistics. Also, the biomass model was simulated for the studied fields with deviation percentages of 1.92, 5.65, 4.94, 1.58, 0.96, and 1.49% respectively, which showed that the model had a satisfactory performance. It can be used to maize production planning. Next, the relationship between temperature, yield, and biomass was investigated, and according to the results, there was a negative and significant relationship between temperature with yield and biomass at the 99% confidence level.

Keywords: AquaCrop model, Air temperature, Temperature stress, Tolerance threshold.