نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هشتم/ شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۳/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۵۹ تا ۷۴

# بررسی روند تغییرات دمایی و ارزیابی ارتباط بین دما با عملکرد و زیست‌توده (مطالعه موردی: ذرت علوفه‌ای در قزوین)

فاطمه صفری[۱]، هادی رمضانی اعتدالی[۱*]، عباس کاویانی[۱] و لیلا خسروی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۱۰)

## چکیده

**عوامل اقلیمی نقش بسیار اساسی در رشد و نمو گیاهان دارند و بنابراین بر کشاورزی مؤثرند. آستانه تحمل گیاهان در رابطه با هر یک از این عوامل محدود است. هرگونه تغییر در این عوامل می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر تولیدات کشاورزی اثرهای چشمگیری داشته باشد. دراین‌بین 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 ۴۴ساله (۲۰۲۳-۱۹۸۰) و بررسی وجود ارتباط بین دمای هوا با عملکرد و زیست‌توده پرداخته شد. بر اساس 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 دیده شد که منجر به کاهش کیفیت محصول و یا ازبین‌رفتن 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) تأیید شد. همچنین مدل عملکرد ماده خشک را برای مزارع مورد بررسی به‌ترتیب با ۱/۹۲، ۵/۶۵، ۴/۹۴، ۱/۵۸، ۰/۹۶ و ۱/۴۹ درصد انحراف شبیه‌سازی کرد که نشان داد، مدل عملکرد رضایت‌بخشی داشته و می‌توان از آن در برنامه‌ریزی‌های مربوط به تولید ذرت استفاده کرد. در ادامه رابطه بین دما با عملکرد و زیست‌توده بررسی شد که طبق نتایج، رابطه منفی و معنادار بین آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ وجود داشت.**

**واژه‌های کلیدی: مدل AquaCrop، دمای هوا، تنش دمایی، آستانه تحمل**

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲. گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

**مقدمه**

یکی از چالش‌هایی که بشر در قرن ۲۱ با آن مواجه است، تغییر اقلیم بوده که به‌عنوان یک تهدید بالقوه، محیط‌های طبیعی و انسان‌ساخت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سال ۱۹۹۰ به بعد، دمای کره زمین به‌طور مرتب افزایش یافته‌است. 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 صدسال (۱۸)، نشان‌دهنده این است که عواملی (انسانی و طبیعی) اقلیم کره زمین را دچار تغییر می‌کنند. به‌طور 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 تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان است. واکنش گیاهان به دماهای زیاد یا کم باتوجه‌به نوع کشت، مرحله رشد و رقم گیاه متفاوت است. تغییر در میزان دمای مطلوب برای رشد و نمو گیاه که منجر به اختلال در فرایندهای رشد و کاهش عملکرد می‌شود، تنش دمایی نامیده می‌شود. تنش دمایی اثرات مختلفی از جمله: تأثیر بر طول دوره رسیدگی، میزان فتوسنتز و تعرق گیاه، باروری گرده و به‌موازات آن عملکرد گیاه دارد (۵). با وجود این 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 به‌ویژه در مناطق گرم و خشک دارای اهمیت است. عملکرد دانه ذرت به روش‌های مختلف تحت تأثیر 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 به‌صورت کاهش در عملکرد نهایی نشان می‌دهند (۵). ذرت در مرحله گلدهی نسبت به تنش گرما و دماهای زیاد بسیار حساس است؛ زیرا دماهای زیاد موجب عقیم شدن تاسل‌ها و به‌موازات آن کاهش عملکرد می‌شود (۷، ۹، ۱۰ و ۲۲). تأثیر تنش گرما در این مرحله نسبت به مرحله‌های دیگر بیشتر است و حتی در مواردی با شدت بیشتر از تنش، عملکرد به صفر می‌رسد.

در پژوهشی در استان قزوین، تأثیرات تنش‌های گرمایی در کشت ذرت ارزیابی شد. 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 بیشتر رود، روی محصولات گیاهی تأثیر منفی گذاشته و در نتیجه باعث کاهش میزان تولید و یا حتی در مواردی منجر به ازبین‌رفتن کامل محصولات می‌شود. طبق بررسی‌ها، تیر و مرداد گرم‌ترین ماه‌های سال در منطقه مورد مطالعه بودند. همچنین در مورد تمامی ارقام، مهم‌ترین اثر زیان‌آور درجه حرارت زیاد، 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 بیشینه دما به بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، تاثیر منفی 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 زودهنگام، عملکرد دانه را به مقدار ۴ درصد افزایش داد و استفاده از ارقامی با طول دوره رسیدگی زیاد در ۲۷ سال گذشته به مقدار ۲۵/۵ درصد عملکرد را افزایش داد (۱۵). به‌منظور 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 به‌طور متوسط ۹۴/۴ روز بود که در مناطق و اقلیم‌های مختلف متفاوت بود. کمترین بازه

مخاطرات در منطقه نیمه‌خشک و معتدل پارس آباد، ۱۴ روز و بیشترین مقدار در منطقه گرم و خشک ایرانشهر، ۱۸۳ روز ثبت شد. باتوجه‌به تعداد روزهای با دمای بیشتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی و شدت تنش گرما، در میزان عملکرد دانه کاهش رخ داد. با وجود این با تاریخ کاشت‌های زودهنگام و رقم زودرس در کشت بهاره و تاریخ کاشت‌های دیرهنگام 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 به‌منظور ارزیابی عملکرد پتانسیل چغندرقند (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 چغندرقند در سال‌ها و منطقه‌های مختلف متفاوت بود؛ به‌طوری که دامنه این تغییرات در تاریخ کاشت‌های پاییزه از ۶۲/۲ تا ۱۰۰ درصد متفاوت بود (۸). در مطالعه‌ای اثرهای تغییراقلیم بر رشد، عملکرد زیست‌توده و دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم در شمال استان خوزستان شبیه‌سازی شد. برای شبیه‌سازی عملکرد و رشد گیاه از مدل AquaCrop و از داده‌های تولیدی بارش، دمای کمینه و بیشینه و ساعت آفتابی با استفاده از مدل گردش عمومی جو تحت سناریوهای انتشار A2 و B1 در دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ استفاده شد. طبق نتایج، در سناریوهای انتشار A2 پیش‌بینی مناسبی برای پارامترهای اقلیمی و شبیه‌سازی فصل رشد آینده وجود داشت و در دمای کمینه و بیشینه و بارش افزایش دیده شد. طول دوره رشد برای هر ایستگاه باتوجه‌به تغییر اقلیم در منطقه با 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 اَسِنگ (Asseng) و همکاران (۴) روی ۳۰ مدل گیاهی مختلف برای گندم انجام دادند، تقریباً تمامی مدل‌ها، عملکرد گیاه را به خوبی شبیه‌سازی کردند؛ اما در دماهای بیشتر میزان دقت مدل در شبیه‌سازی کمتر بود. بر اساس واکنش مدل‌ها به دما، در حال حاضر گرم شدن زمین باعث کاهش افزایش عملکرد در بیشتر 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 باتوجه‌به مکان‌ها و زمان‌های مختلف، این تغییرات بیشتر خواهد بود. در پژوهشی دیگر، اثرهای بهبود ۱۵ مدل گیاهی برای گندم باتوجه‌به تنش گرمایی و تأثیر 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 شبیه‌سازی‌شده در مدل‌های بهبود یافته به‌طور متوسط ۳۹ درصد در مجموعه داده‌های کالیبراسیون و ۲۶ درصد در مجموعه داده‌های ارزیابی با متوسط دمای فصلی بیشتر 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 مؤثرتر از آن‌ها مهم و ضروری است (۱۷).

باتوجه‌به اهمیت ذرت به‌عنوان یک محصول استراتژیک در ایران و ازآنجایی‌که به‌شدت به دمای هوا و مقدار نور دریافتی از خورشید حساس است، شناخت کافی از اثرهای دما بر عملکرد این گیاه ضرورت دارد. این مطالعه به‌منظور بررسی معنادار بودن اثر دما بر عملکرد در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و بررسی زمان وقوع تنش دمایی در قزوین از کاشت تا برداشت ذرت انجام شد. هرچه میزان شناخت از وقوع رخدادهای اقلیمی همچون تنش دمایی و اثرهای 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 است (شکل ۱). این مزارع در بخش آبیک استان قزوین در عرض جغرافیایی ۳۶/۰۹ درجه شمال و طول جغرافیایی ۵۰/۱۰ درجه شرق قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه ۱۲۲۰ متر از سطح دریا است. اقلیم منطقه سرد و خشک و متوسط بارندگی سالیانه ۲۱۰ تا ۲۳۰ میلی‌متر متغیر است و میانگین دما ۱۲ درجه سانتی‌گراد است (۱۱).

### اطلاعات اقلیمی

داده‌های اقلیمی بلندمدت مورد استفاده در این پژوهش، شامل دمای کمینه و بیشینه (°C)، بارندگی (mm)، سرعت باد (m/s) و تعداد ساعت‌های آفتابی (hour) هستند که از سازمان هواشناسی کشور به‌صورت روزانه دریافت شدند. این داده‌ها از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۲۳ جمع‌آوری شد. داده‌های بیان‌شده به‌عنوان ورودی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی استفاده شدند.

### اطلاعات خاک

اطلاعات خاک 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 جمع‌آوری شد (جدول ۱).

### 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 شد (جدول ۲). هیبرید ذرت کشت‌شده در این مزارع سینگل کراس ۷۰۴ است.

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 شد (جدول ۳).

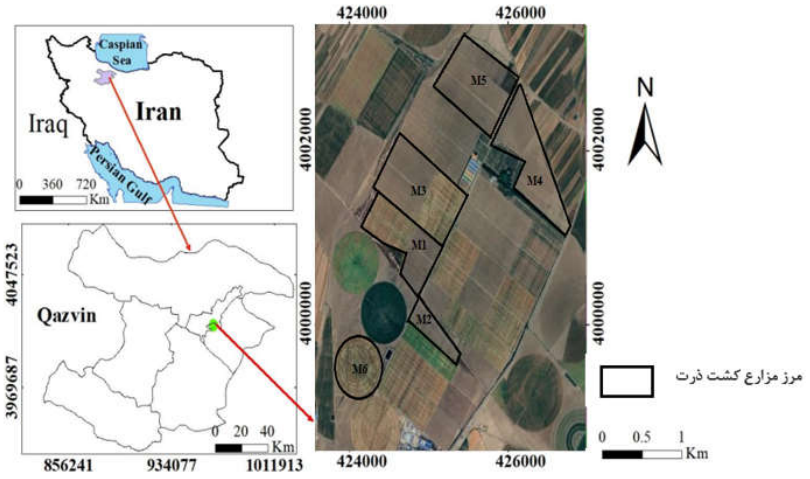
### نحوه بررسی زمان وقوع تنش دمایی

چون عوامل متعددی در فرایند رشد و عملکرد محصولات زراعی همچون ذرت تأثیر دارد، می‌توان با شناسایی عوامل کم‌اثر و صرف‌نظرکردن از آن‌ها، تأثیر عوامل آب‌وهوایی به‌ویژه نقش دما و نوسانات مربوط به آن را آشکار ساخت. یکی از روش‌های ارزیابی عامل دما روی گیاهان، بررسی‌های میدانی است. در کنار بررسی میدانی، روش مطالعه اثرهای دمایی با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه برای بررسی و تحلیل پردازش داده‌های اقلیمی استفاده می‌شود. برای اجرای مدل پردازش داده‌های اقلیمی و بررسی اثر تنش دمایی بر رشد ذرت، آمار ۴۴ساله (۱۹۸۰–۲۰۲۳) میانگین دمای ماهانه ایستگاه هواشناسی قزوین استفاده شد.

سپس داده‌ها در محیط اکسل آماده‌سازی و پس از فیلترکردن 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 به‌عنوان شروع آستانه تنش دمایی شناسایی و براین‌اساس داده‌ها استخراج شد. درنهایت خروجی داده‌ها به‌صورت نمودار ترسیم و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. گفتنی است که فقط ماه‌هایی که شامل دوره کشت ذرت هستند، بررسی شد.

### معرفی مدل AquaCrop

در این پژوهش 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 شد. اگرچه مدل AquaCrop بر مبنای فرایندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است، اما تعداد به نسبت کمی از پارامترهای ساده و قابل‌دسترس 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) هستند. داده‌های اقلیمی شامل دمای کمینه و بیشینه روزانه، بارش روزانه، تبخیر و تعرق روزانه و سایر




**شکل۱. موقعیت جغرافیایی مزارع ذرت کشت و صنعت مگسال قزوین**

**جدول۱. اطلاعات خاک برای واسنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد ذرت**

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

**جدول۲. 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 زیاد (درجه سانتی‌گراد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۴۰۱/۳/۲۰ | ۱۴۰۱/۶/۲۷ | | ۱۱ | ۹۷ | ۱۰۱ | ۸ | ۳۰ |
| ۲ | ۱۴۰۱/۳/۳۱ | ۱۴۰۱/۶/۲۸ | | ۶ | ۶۶ | ۹۱ | ۸ | ۳۰ |
| ۳ | ۱۴۰۱/۳/۲۳ | ۱۴۰۱/۶/۲۵ | سینگل کراس | ۶ | ۶۶ | ۹۶ | ۸ | ۳۰ |
| ۴ | ۱۴۰۱/۳/۲۱ | ۱۴۰۱/۷/۴ | ۷۰۴ | ۹ | ۶۶ | ۱۰۸ | ۸ | ۳۰ |
| ۵ | ۱۴۰۱/۳/۱۷ | ۱۴۰۱/۶/۲۶ | | ۸ | ۶۶ | ۱۰۳ | ۸ | ۳۰ |
| ۶ | ۱۴۰۱/۴/۲۳ | ۱۴۰۱/۷/۲۹ | | ۷ | ۶۶ | ۱۰۰ | ۸ | ۳۰ |

**جدول۳. 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 تریبل | دی آمونیوم فسفات | کود دامی (قبل از کاشت) (ton/ha) | |
| ۱ | تیپ | ۵ | آبی | ۲۰۰ | ۲۰ | — | — | ۱۵۰ | زیرشکن، دیسک، لولر |
| ۲ | تیپ | ۵ | | ۲۰۰ | ۲۰ | — | — | — | |
| ۳ | لینیر | ۸ | | ۲۵۰ | – | — | — | — | |
| ۴ | تیپ | ۶ | | ۴۵۰ | ۲۰ | — | — | — | |
| ۵ | تیپ | ۶ | | ۴۰۰ | ۲۰ | — | — | ۱۵۰ | |
| ۶ | سترپیوت | ۸ | | ۴۰۰ | – | ۱۵۰ | ۲۰۰ | — | |

اطلاعات که برای مدل‌سازی ضروری بودند به فرمت استاندارد مدل تهیه و در مدل AquaCrop وارد شد. با استفاده از این مجموعه‌داده‌ها، بیوماس و عملکرد برای هیبرید مد نظر شبیه‌سازی شد. همچنین برای بررسی اثر تغییرات دما روی عملکرد، میزان دمای کمینه و بیشینه را یک، دو، سه... تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب کاهش و افزایش داده و اثر این تغییرات نیز روی عملکرد بررسی و شبیه‌سازی شد. روند انجام کار مطابق فلوچارت ترسیم‌شده در شکل ۲ است.

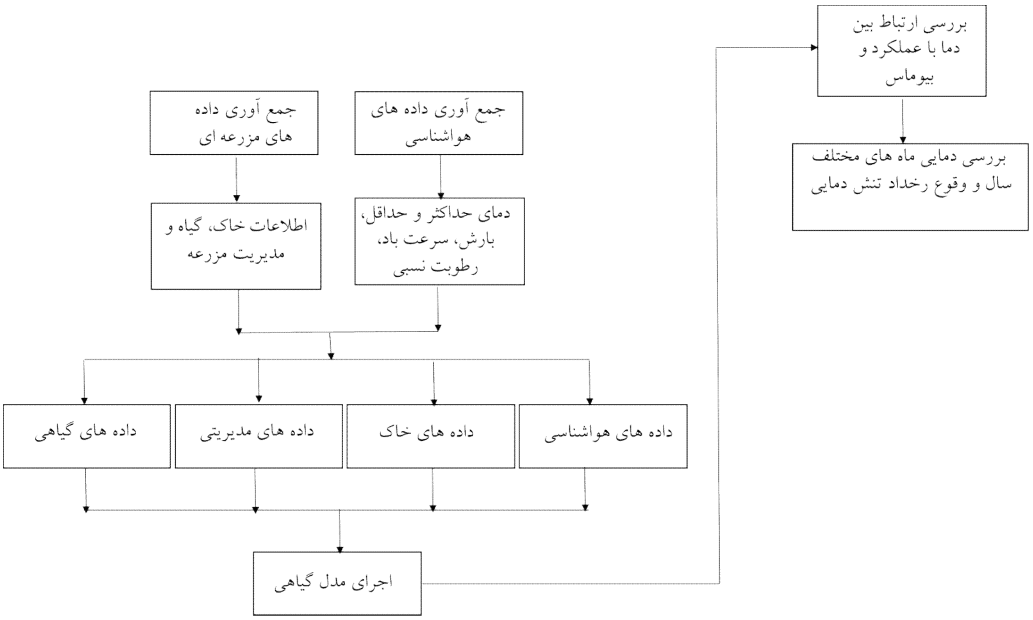
### بررسی آماری

برای ارزیابی آماری و به‌دست‌آوردن رابطه بین دما و عملکرد و معنادار بودن آن از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. SPSS اطلاعات جمع‌آوری‌شده را دریافت، تحلیل، بررسی و مقایسه می‌کند. درنهایت جدول و نمودار آن را ارائه می‌دهد. در این پژوهش، ابتدا برای بررسی نرمال‌بودن 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 بررسی شد. این ضریب میزان همبستگی بین دو متغیر را برآورد می‌کند و مقدار آن بین ۱+ و ۱– است. مثبت‌بودن مقدار آن به معنای آن است که تغییرات دو متغیر به‌طور هم‌جهت 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 نرمال‌نبودن داده‌ها ابتدا آن‌ها را نرمال کرده، سپس مقدار ضریب همبستگی برای آن‌ها به‌دست آورده شد. برای نرمال‌کردن داده‌ها در SPSS، ابتدا داده‌ها را رتبه‌بندی و سپس داده‌های رتبه‌بندی‌شده را با دستور مربوطه نرمال کرده و درنهایت می‌توان مقدار ضریب همبستگی را به‌دست آورد. وقتی وجود رابطه معنی‌دار بین داده‌ها به اثبات رسید، بین مقادیر دما و عملکرد رگرسیون خطی ترسیم شد.

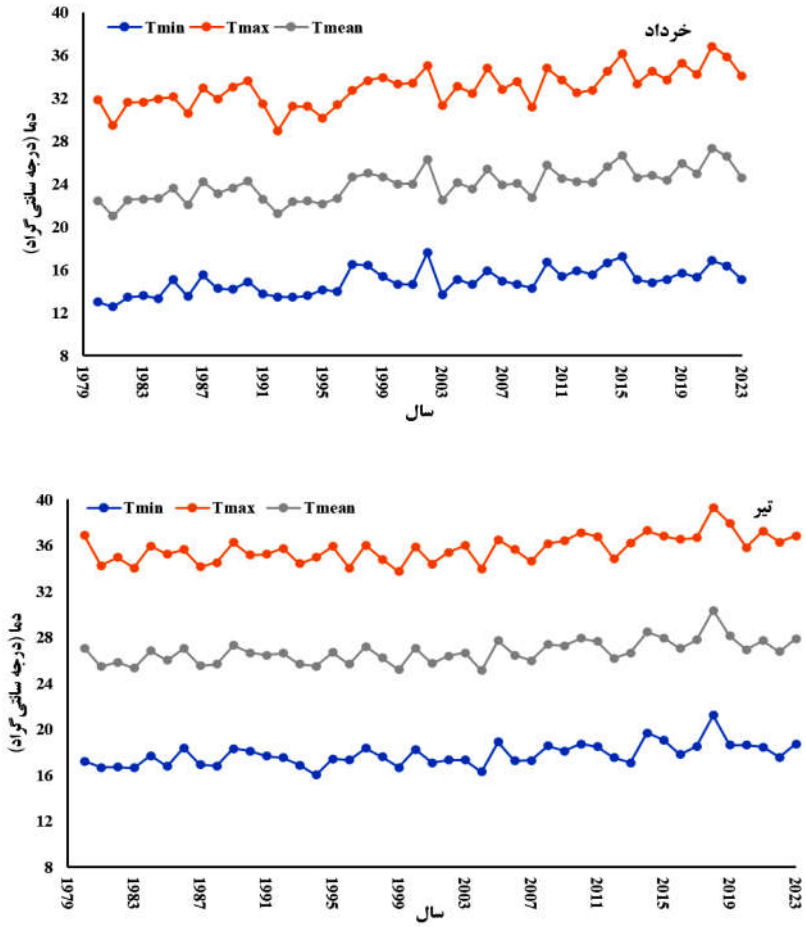
## نتایج و بحث

### بررسی تغییرات دمایی و زمان وقوع تنش دمایی

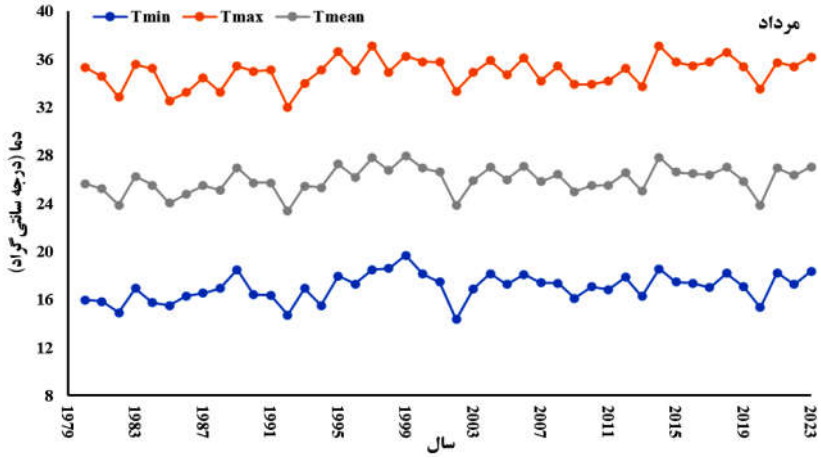
بررسی داده‌های اقلیمی ۴۴ساله ایستگاه هواشناسی قزوین به‌منظور ارزیابی اثرهای تنش دمایی بر رشد و عملکرد گیاه ذرت نشان داد، عملکرد گیاه ذرت به‌شدت تحت تأثیر تنش دمایی قرار دارد. بر اساس نمودارهای ترسیم‌شده، ماه‌های خرداد، تیر و مرداد گرم‌ترین (شکل ۳) و دی و بهمن سردترین ماه‌های سال در این




**شکل۲. فلوچارت انجام کار**




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



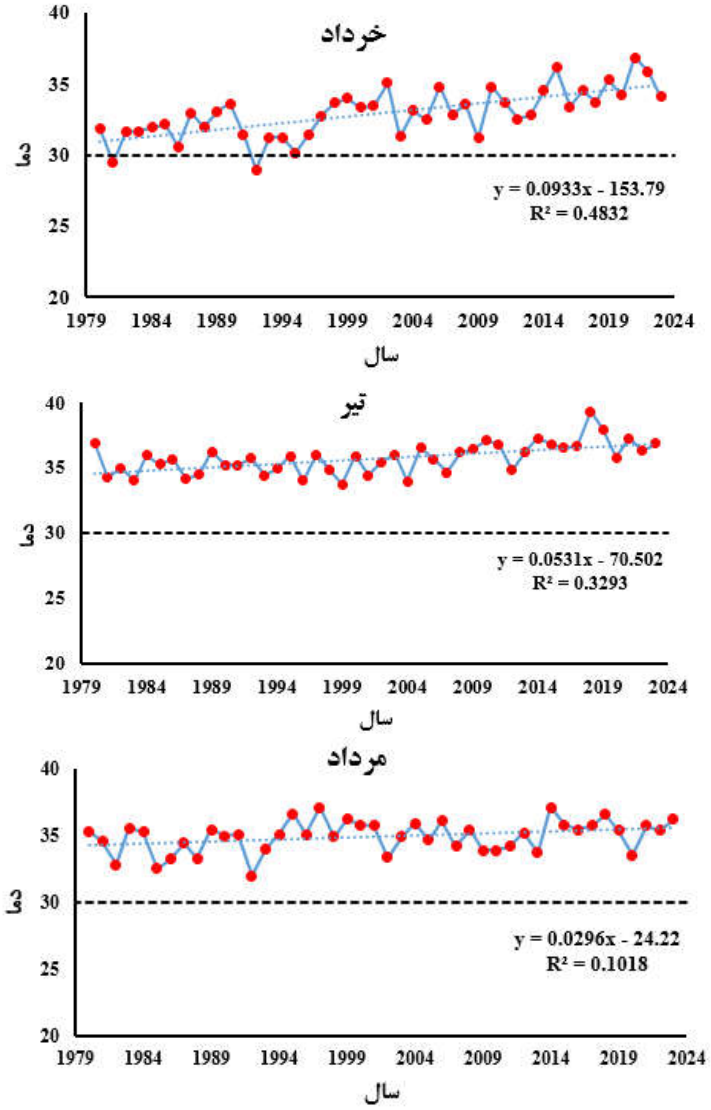

**شکل ۳. نوسانات دمایی گرم‌ترین ماه‌های سال (خرداد، تیر و مرداد) (ادامه شکل)**

ایستگاه هستند. ازآنجایی‌که 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.

باتوجه‌به اینکه بازه دمایی مطلوب برای رشد و نمو ذرت ۳۰-۸ درجه سانتی‌گراد است و کمینه دما در سه ماهی که به‌عنوان گرم‌ترین ماه‌های سال در فصل زراعی شناخته شدند بیشتر از ۸ درجه سانتی‌گراد بوده، به همین علت تنش دمایی فقط با دمای بیشینه (دماهای بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) در دوره آماری ۴۴ساله به‌ترتیب در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در نمودارهای زیر ترسیم شد (شکل ۴).

خرداد اولین ماه مؤثر 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. به‌طورکلی افزایش دما از سال ۲۰۰۲ به بعد دارای روند بوده و معنی‌دار 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 دربرگرفته که در افت راندمان محصول کاملاً مؤثر 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 دیده شد.

بررسی روند دمایی دوره ۴۴ساله نشان داد که کمترین تنش دمایی در خردادماه و بیشترین آن در تیر و مرداد قابل لمس است و دما به بیشتر از آستانه دمایی مطلوب گیاه یعنی ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. وقوع این تنش‌های دمایی در منطقه منجر به کاهش کیفیت محصول و یا حتی ازبین‌رفتن کامل گیاه می‌شود. باتوجه‌به آمار سال‌هایی که گیاه ذرت کشت شده و دمای ماهانه به بیشتر 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 نشان‌دهنده اثر افزایش امواج گرمایی (تنش دمایی) است که از حد آستانه تحمل گیاه بیشتر رفته و 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) 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 حد بالای آستانه 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. ازآنجایی‌که دما روی مراحل مختلف رشد گیاه در فصل رشد اثرگذار است، مدل را نه‌تنها 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. بر اساس اطلاعات موجود شبیه‌سازی فنولوژی، بیوماس و عملکرد با مدل قابل اطمینان بود و تطابق خوبی بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده 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 ۱ تا ۱۴ روز شبیه‌سازی کرد. پس مدل فنولوژی ذرت هیبرید SC704 را به‌طور قابل قبولی شبیه‌سازی کرد که این مسئله گام مهمی برای ارزیابی صحت مدل است. همچنین بر اساس اطلاعات جدول ۴، مدل عملکرد ماده خشک را برای مزارع یک

**جدول ۴. نتایج کالیبراسیون مدل AquaCrop برای ذرت در مزارع کشت‌شده**

| شماره مزرعه | هیبرید | تاریخ کاشت | روز تا گلدهی (روز پس ز 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 |

تا شش به‌ترتیب 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.

دما تقریباً بر تمام فرایندهای زیستی گیاهان زراعی نقش کلیدی دارد. سرعت رشد و نمو ذرت از زمان کاشت تا مرحله گلدهی تابع دما بوده و کمتر به فتوسنتز بستگی دارد. میزان GDDs رشد و نمو ذرت را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد. طبق پژوهش‌های انجام‌شده، ذرت برای جوانه‌زنی نیازمند ۱۱۰ تا ۱۲۰ درجه – روز – رشد است (۲۴). تاریخ کاشت و هیبرید مورد استفاده ذرت روی GDDs اثر داشته، به‌طوری که با تأخیر در تاریخ کاشت، درجه – روز – رشد لازم برای طی مراحل رشد کاهش یافت. باتوجه‌به افزایش میزان دمای بیشینه در طول فصل رشد ذرت، گیاه در مدت‌زمان کمتری میزان درجه – روز – رشد لازم برای تکمیل فرایند رشد را دریافت کرد. پس می‌توان گفت با تأخیر 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 پژوهشی که سیاحی و همکاران (۲۰) 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. بیشتر پژوهشگران برای این مدل دقت خوبی را گزارش کرده‌اند (۳، ۱۶و ۲۳). پس به‌طورکلی می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری مطمئن در برنامه‌ریزی برای کشت ذرت استفاده کرد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از بررسی وجود رابطه بین دما با عملکرد و بیوماس که در جدول ۵ ارائه شده، بین دمای کمینه و بیشینه 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٪ معنی‌دار است، در سطح اطمینان ۹۹٪ رابطه معنی‌دار و منفی وجود دارد. مفهوم منفی بودن این روابط این است که با کاهش دمای کمینه یا افزایش دمای بیشینه، میزان عملکرد و بیوماس کاهش می‌یابد. علت این کاهش، اثری است که کاهش یا افزایش دما روی طول دوره گلدهی یا طول دوره رسیدگی

**جدول ۵. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در مزارع مورد بررسی**

| شماره مزرعه | پارامتر | دمای کمینه | دمای بیشینه |
|---|---|---|---|
| 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 **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و یک درصد است.

این هیبرید از ذرت می‌گذارد. مقدار ضریب همبستگی برای عملکرد در مزارع ۳ و ۶ بیشتر از ۰/۵ و در سایر مزارع بین ۲/۵-۰/۰ بوده که نشانگر وجود رابطه قوی و متوسط بین دمای کمینه و بیشینه با عملکرد است. مقدار این ضریب برای زیست‌توده در مزرعه ۶ بیشتر از ۰/۵ و در سایر مزارع بین ۲/۵-۰/۰ 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 پژوهشی که اسنگ و همکاران (۴) و مایورانو و همکاران (۱۷) انجام دادند، همخوانی دارد. آن‌ها در پژوهش‌های خود به بررسی تنش دمایی و اثر آن روی عملکرد شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل‌های گیاهی مختلف از جمله AquaCrop پرداختند. بر اساس نتایج حاصله، تنش دمایی با اثرگذاری روی مراحل مختلف رشد گیاه سبب بروز تغییر در طول هر مرحله شده و درنهایت بر مقدار عملکرد و زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده توسط مدل تأثیر می‌گذارد.

در مزارع مورد مطالعه اثر دمای کمینه روی بیوماس در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. اثر این پارامتر روی عملکرد مزارع نیز معنی‌دار بود. طبق نتایج بررسی واریانس در مورد دمای بیشینه، اثر این پارامتر روی بیوماس و عملکرد با سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج جدول ۶، به‌طور کلی می‌توان گفت که افزایش دمای بیشینه و کاهش دمای کمینه بر مقدار عملکرد و بیوماس تأثیر معنی‌داری 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 می‌دهند. باتوجه‌به نتایج پژوهش‌هایی که روی ارتباط داده‌های هواشناسی با عملکرد و بیوماس گیاهان زراعی انجام شده، می‌توان اظهار داشت که تغییرات درجه حرارت بر واریانس و میانگین عملکرد و بیوماس گیاهان زراعی مؤثر است؛ به‌طوری که متوسط عملکرد گیاهان زراعی با درجه حرارت‌های بیشتر یا کمتر کاهش می‌یابد و یا به بیانی دیگر، تغییر در درجه حرارت باعث افزایش تغییرپذیری عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (۱). این نتایج با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

**جدول ۶. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در طرح**

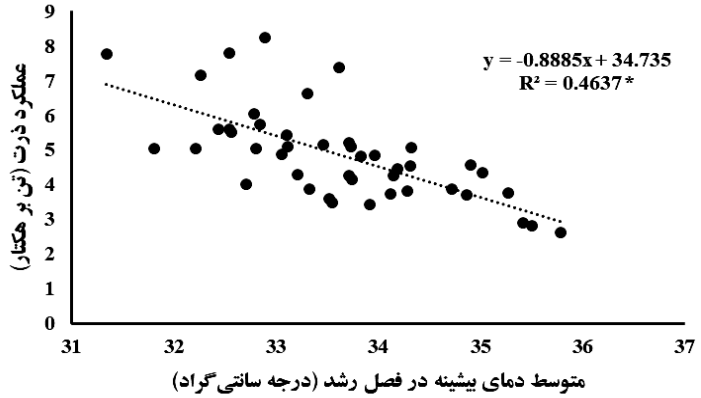
| شماره مزرعه | منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | |
|---|---|---|---|---|
| | | | عملکرد | بیوماس |
| | دمای کمینه | ۲ | ۰/۳۰۹* | ۱/۳۴۷* |
| ۱ | دمای بیشینه | ۳ | ۰/۰۱۰* | ۰/۰۴۵* |
| | خطا | ۳۸ | ۰/۰۸۸ | ۰/۳۸۳ |
| | دمای کمینه | ۲ | ۳۵/۰۲۲* | ۱/۴۶۳* |
| ۲ | دمای بیشینه | ۳ | ۳/۰۲۳* | ۰/۲۰۸*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

*: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

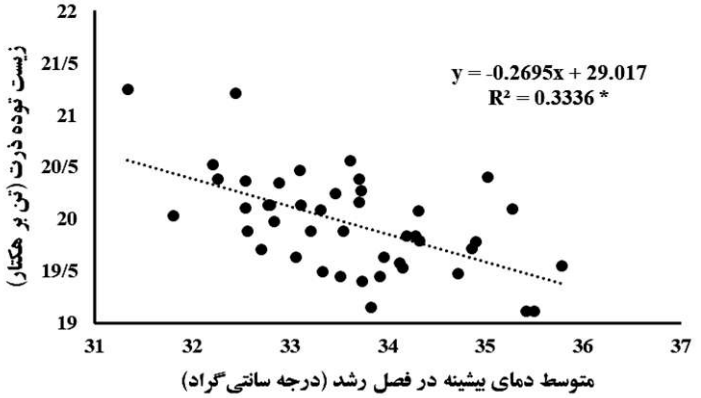
به‌دلیل آنکه در کشت ذرت اثرگذاری دمای بیشینه بر رشد و عملکرد این گیاه بیشتر است، تنها رابطه رگرسیونی عملکرد و زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده با دمای بیشینه بررسی شد و نتایج آن مطابق شکل ۵ و ۶ است. باتوجه‌به نمودار رگرسیونی عملکرد – دما و زیست‌توده – دما در طول فصل رشد ذرت، عملکرد با ضریب تبیین ۰/۴۶ و زیست‌توده با ضریب ۰/۳۳ نسبت به دمای بیشینه برآورد شد. همان‌طور که در نمودارها نیز مشخص است، با افزایش میزان دما، مقدار متوسط عملکرد و زیست‌توده به‌دست‌آمده کاهش یافته و شدت مخاطرات گرما سبب این کاهش عملکرد است. طبق مطالعه‌های پیشین و همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، ذرت در مرحله گلدهی نسبت به دمای زیاد بسیار حساس است؛ چرا که دمای زیاد باعث عقیم شدن دانه گرده و درنهایت کاهش عملکرد و زیست‌توده می‌شود.

## نتیجه‌گیری کلی

تنش‌های محیطی از جمله عواملی هستند که استفاده بیشینه از پتانسیل آب، خاک و گیاه را در راستای تولید دچار محدودیت می‌کنند. گیاه ذرت دارای آستانه تحمل دمایی زیادی است. بازه دمایی مطلوب برای رشد این گیاه ۳۰–۸ درجه سانتی‌گراد بوده، درحالی‌که این گیاه در بازه ۴۵–۰ درجه سانتی‌گراد قادر به زنده ماندن است؛ اما قطعا کاهش عملکرد و کیفیت محصول رخ خواهد داد. دمای محیطی بیش از تاب‌آوری گیاه بیشترین تأثیر منفی را در




**شکل ۵. رابطه رگرسیونی عملکرد و دمای بیشینه در طول فصل رشد گیاه ذرت**




**شکل ۶. رابطه رگرسیونی زیست‌توده و دمای بیشینه در طول فصل رشد گیاه ذرت**

فازهای فنولوژیک ذرت به‌ویژه در مرحله تولید مثل برجا می‌گذارد. باتوجه‌به بررسی‌های انجام‌شده، عملکرد گیاه ذرت با دما و تغییرات آن رابطه معکوس و معنی‌داری داشته و به‌شدت دماهای خیلی زیاد یا خیلی کم روی عملکرد این گیاه اثر منفی دارد. با تغییر دما، جذب عناصر غذایی نیز دستخوش تغییر می‌شود. نتایج بررسی در مورد پدیده تنش دمایی در قزوین نشان داد که سه ماه خرداد، تیر و مرداد گرم‌ترین ماه‌های 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 نرمال‌شده نیز توانمندی مدل را در انجام شبیه‌سازی تأیید کرد. در خصوص بررسی رابطه دمای هوا با عملکرد و زیست‌توده، به‌طورکلی بین دما با عملکرد و زیست‌توده رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد و این ارتباط در بیشتر مزارع کشت ذرت در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار و منفی است. تحلیل عوامل جوی و بررسی اثرهای 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 اثرهای آن را تقویت و یا تضعیف کرد.

## سپاسگزاری

پژوهش حاضر مستخرج از نتایج رساله دکتری است. بدین‌وسیله از همکاری سازمان هواشناسی کشور و کشت و صنعت مگسال برای در اختیار قراردادن داده‌های مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده


1. Adams, R.M. 2000. Climate variability and climate change: Implications for agriculture. IRI Proceedings. Oregon State University, U.S.A.
2. Ahmadi, M. and H. Mirhaji. 2012. Evaluation of Thermal Stress Effects on Corn (Case Study: Qazvin Province). *Environmental Sciences 9*(3): 119-128 (in Farsi).
3. Alishiri, R., F. Paknejad and F. Aghayari. 2014. Simulation of sugar beet growth under different water regimes and nitrogen levels by AquaCrop. *Bioscience* 4(4): 1-9.
4. Asseng, S., F. Ewert, P. Martre, R.P. Rötter, D.B. Lobell, D. Cammarano, B.A. Kimball, M.J. Ottman, G.W. Wall, J.W. White, M.P. Reynolds, P.D. Alderman, P.V.V. Prasad, P.K. Aggarwal, J. Anothai, B. Basso, C. Biernath, A.J. Challinor, G. De Sanctis, J. Doltra, E. Fereres, M. Garcia-Vila, S. Gayler, G. Hoogenboom, L.A. Hunt, R.C. Izaurralde, M. Jabloun, C.D. Jones, K.C. Kersebaum, A.-K. Koehler, C. Müller, S. Naresh Kumar, C. Nendel, G. O'Leary, J.E. Olesen, T. Palosuo, E. Priesack, E. Eyshi Rezaei, A.C. Ruane, M.A. Semenov, I. Shcherbak, C. Stöckle, P. Stratonovitch, T. Streck, I. Supit, F. Tao, P.J. Thorburn, K. Waha, E. Wang, D. Wallach, J. Wolf, Z. Zhao and Y. Zhu. 2015. Rising temperaturesreduce global wheat production. *Nature Climate Change* 5(2): 143-147.
5. Azizi, K. and S. Rahimi-Moghaddam. 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. Hoogenboon and N. M. J. Crout. 2004. Photo thermal impact on maize performance: assimilation approach. *Ecological Modelling* 180(2-3): 277-290
7. Carberry, P., R. Muchow and R. McCown. 1989. Testing the CERES-maize simulation model in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research* 20(4): 297–315.
8. Deihimfard, R., S. Rahimi-Moghaddam and K. Chenu. 2019. Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology*. 63: 511-521.
9. Dupuis, I. and C. Dumas. 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. Gourdji, S.M., A.M. Sibley and D.B. Lobell. 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., H. Aghighi and A. Moradi. 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 and GIS*, *10*(4): 99-120 (in Farsi).
12. Hajivandpaydari, S., H. Yazdanpanah and S.B. Andarzian. 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 Ito the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 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(5363): 544-545.
15. Liu, Z., K.G. Hubbard, X. Lin and X. Yang. 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, A.S. Shakir, M. Ajmal, M. Jamal Khan and T. Ali Kan. 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. A. Maiorano, P. Martre, S. Asseng, F. Ewert, Ch. Müller, R.P. Rötter, A.C. Ruane, M.A. Semenov, D. Wallach, E. Wang, P.D. Alderman, B.T. Kassie, C. Biernath, B. Basso, D. Cammarano, A.J. Challinor, J. Doltra, B. Dumont, E.E. Rezaei, S. Gayler, K.C. Kersebaum, B.A. Kimball, A-K. Koehler, B. Liu, G.J. O'Leary, J.E. Olesen, M.J. Ottman, E. Priesack, M. Reynolds, P. Stratonovitch, T. Streck, P.J. Thorburn, K. Waha, G.W. Wall, J.W. White, Zh. Zhao,Y. Zhu. 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. and H. Fahmi. 2003. Climate changes on the country's water resources. 3rd Regional Conference on Climate Change, Isfahan, Iran (in Farsi).
19. Rahimi-Moghaddam, S., J. Kambouzia and R. Deihimfard. 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* 253-254: 1-14.
20. Sayyahi, H., A. Egdernezhad and N.A. Ebrahimipak. 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., T.C. Hsiao, E. Fereres and D. Raes. 2012. Crop yield response to water (FAO-66), Rome, Italia.

22. Stone, P. 2000. The Effects of Heat Stress on Cereal Yield and Quality. PP. 243-291. *In:* A.S. Basra (Ed), Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress. Food Products Press, Inghamton, USA.
23. Stricevic, R., M. Cosic, N. Djurovic, B. Pejic and L. Maksimovic. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management.* 98(10): 1615-1621.
24. Vafa, P., M. Barary, H. Darkhal and R. Naseri. 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).

**Journal of Water and Soil Science**
**Vol. 28, No. 4, Winter 2025, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.**

# Investigating the Trend of Temperature Changes and Evaluating the Relationship Between Temperature with Yield and Biomass (Case Study: Forage Maize in Qazvin)

**F. safari[1], H. Ramezani Etedali[1*], A. Kaviani[1] and L. Khosravi[2]**

(Received: June 1-2024 ; Accepted: August 31-2024)

## Abstract

Climatic factors play an important role in the growth and development of plants and 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 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, 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). Also, the 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. It showed that the model had a satisfactory performance and could be used for maize production planning. Next, the relationship between temperature, yield, and biomass was investigated, and there was a negative and significant relationship between temperature, yield, and biomass at the 99% confidence level.

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

1. Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
*: Corresponding author, Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir