



## بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و مراحل فنولوژیک رشد گندم در منطقه زابل

حمیدرضا محمدی<sup>۱</sup>، محمود رمودی<sup>۲</sup>، محمد بنایان<sup>۳</sup>، محمدرضا اصغری پور<sup>۴</sup>، حمیدرضا فنایی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۳

### چکیده

تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر در طول دوره رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، همچنین میزان تبخیر و تعرق گیاهان و تقاضای آب در کشاورزی را تحت تاثیر قرار دهد. در این مطالعه تعدادی از مدل‌های گردش عمومی انتخاب و پیش بینی میانگین دمای سالانه زابل مورد آزمون صحت سنجی قرار گرفت. ارزیابی نتایج مدل‌های اقلیمی، تا اواخر قرن حاضر افزایش میانگین دمای ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد در زابل را پیش بینی می‌کنند. به همین منظور سه سناریوی دمایی (صفر، +۲ و +۵) به ترتیب به عنوان سناریو عدم تغییر دما، حداقل افزایش و حداکثر افزایش تعریف شده و به داده دمایی روزانه دیده بانی شده اضافه شد. تاثیر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و مراحل فنولوژیک گندم (*Triticum aestivum*) و همچنین تبخیر و تعرق در منطقه زابل براساس تاریخ و میانگین رقم‌های مورد کشت رایج مورد بررسی قرار گرفتند. برای محاسبه مراحل فنولوژیک از روش GDD استفاده شد. برای اندازه‌گیری اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مدل هارگریوز-سامانی استفاده شد. نتایج نشان داد نسبت به سناریوی عدم افزایش در اثر افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد میانگین دمای روزانه تا اواخر قرن طول دوره رشد گندم ۱۴ روز کاهش می‌یابد. همچنین تبخیر و تعرق در مرحله آغازین رشد ۲۰ درصد افزایش خواهد یافت. افزایش ۵ درجه سانتی‌گراد دما باعث کاهش ۳۲ روزه طول دوره رشد گندم و افزایش ۴۶ درصدی تبخیر و تعرق در مرحله آغازین رشد گندم در منطقه خواهد شد. تغییر اقلیم نظام تولید گندم را در منطقه تحت تاثیر قرار خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های اقلیمی، سناریوها، ریزمقیاس نمایی، تبخیر و تعرق، GDD

محمدی، ح.ر.، م. رمودی، م. بنایان، م.ر. اصغری پور و ح.ر. فنایی. ۱۳۹۷. اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و مراحل فنولوژیک رشد گندم در منطقه زابل. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۴: ۱۹۱-۱۸۱.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: [m\\_asgharipour@uoaz.ac.ir](mailto:m_asgharipour@uoaz.ac.ir)

۵- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی سیستان، زابل، زابل، ایران

## مقدمه

تداوم روند افزایشی گازهای گلخانه‌ای می‌تواند مخاطرات جدی بر حیات بشر و تامین نیازهای اساسی انسان در چند دهه آینده داشته باشد و تغییر عملکرد و رشد نمو محصولات زراعی از جمله این موارد است (کوچکی و کمالی، ۱۳۸۹). ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی هوا<sup>۱</sup> (GCM)، نشانگر افزایش دما و تغییرات میزان بارندگی در چند دهه آینده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱).

تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر در میزان تبخیر و تعرق گیاهان و مدت، شدت و زمان بارش‌ها، عملکرد محصولات همچنین تقاضای آب در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد (بیس، ۲۰۰۸). دال (۲۰۰۲) نشان داد در دو سوم اراضی زراعی جهان، نیاز خالص آبیاری در دهه‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۷۰ افزایش می‌یابد. سلیمانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد گندم (*Triticum aestivum*) در منطقه بهشهر نشان دادند در دوره‌های آبی بارندگی در فصل پائیز افزایش، و در بقیه فصل‌های سال روندی کاهشی دارد که این تغییرات نیاز خالص آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نیاز خالص آبیاری گندم با جابجائی تاریخ کاشت از فصل پائیز به سمت فصل زمستان افزایش می‌یابد که این افزایش در دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم تشدید خواهد شد. بررسی روند تبخیر تعرق در شالیزارهای تایوان نشان دهنده افزایش ۳ تا ۵ درصدی تبخیر و تعرق در مزارع برنج (*Oryza Sativa*, L) تا سال ۲۰۵۰ است. (یو و همکاران، ۲۰۰۲). رودریگز و همکاران (۲۰۰۷) افزایش ۱۵ تا ۲۰ درصدی نیاز آبی در طول یک فصل زراعی تا سال ۲۰۵۰ در اسپانیا پیش بینی کردند.

یک شاخص حساس و قابل ارزیابی از پاسخ گیاه به تغییر اقلیم، تغییرات در دوره فنولوژی گیاهی است. بابائیان (۱۳۹۱) با بررسی طول فصل رشد در ایران با استفاده از شاخص NDVI<sup>۲</sup> در دوره زمانی ۱۹۸۲-۱۹۹۹ نشان داد رشد پوشش گیاهی به میزان ۰/۹۴ روز در سال افزایش یافته است و آغاز رشد پوشش گیاهی به میزان ۰/۶۳ روز به جلو و خاتمه پوشش گیاهی ۰/۳۲ روز به تاخیر افتاده است. نصیری و همکاران (۱۳۸۴) در مطالعه ویژگی های رشدی گندم در شرایط دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن و رشد و تولید رقم های گوناگون گندم با کمک

مدل SIMTAG<sup>۳</sup> با استفاده از داده‌های آب و هوایی UKMO<sup>۴</sup> نشان دادند افزایش دما منجر به کاهش ۲۶ روز در طول دوره رشد گندم در شرایط مشهد خواهد شد.

عزیزی و روشنی (۱۳۸۸) ضمن بررسی تغییر اقلیم روی دما و تقویم زراعی برنج در گیلان نشان دادند که دما در حال افزایش است و این افزایش موجب جابجایی فصلی و تغییر تقویم زراعی شده است. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم در منطقه بهشهر در بررسی مراحل فنولوژیک گیاه تا پایان سال ۲۱۰۰ با استفاده از شاخص GDD<sup>۵</sup> نشان دادند که طول دوره زمانی مناسب برای کشت گندم بین ۹ تا ۲۷ روز افزایش و طول دوره رشد گیاه بین ۴ تا ۱۴ روز کوتاهتر خواهد شد و همچنین تبخیر و تعرق روزانه گیاه در طول فصل رشد افزایش می‌یابد اما در مجموع تبخیر و تعرق کل فصل رشد به دلیل کوتاهتر شدن دوره رشد کاهش می‌یابد. محمدی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گندم دیم در کرمانشاه نشان دادند تا سال ۲۰۳۹ طول دوره رشد ۲۵ روز کاهش می‌یابد. با توجه به موقعیت جغرافیایی شهرستان زابل و کشت گندم به عنوان محصول اصلی منطقه و اهمیت شناخت اثرات تغییرات اقلیمی آینده بر سیمای کشاورزی منطقه در پژوهش حاضر اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و مراحل فنولوژیک گندم و همچنین تغییرات تبخیر و تعرق در منطقه انجام خواهد شد.

## مواد و روش ها

## منطقه مورد مطالعه

شهرستان زابل با مساحت ۳۴۴ کیلومترمربع در ضلع شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان با مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).

3 - Simulation Model of wheat Genotypes  
4 - United Kingdom Met Office  
5 - Growing Degree Days

1 - General Circulation Model  
2 - Normalizes Difference vegetation Index



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه زابل در استان سیستان و جنوب شرقی ایران

(CD)، کارایی شبیه سازی<sup>۴</sup> (EF)، ضریب مجموع باقیمانده<sup>۵</sup> (CRM) استفاده شده است.

$$\begin{aligned} \text{RMSE} &= \dots & (1) \\ \text{CD} &= \dots & (2) \\ \text{EF} &= \dots & (3) \\ \text{CRM} &= \dots & (4) \end{aligned}$$

در این معادلات  $\text{EF}$  مقادیر شبیه سازی شده،  $\text{RMSE}$  مقادیر مشاهداتی،  $n$  تعداد سالهای آماری مورد مطالعه و  $\text{Q}$  نشانگر مقدار میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشند. کمترین مقدار  $\text{RMSE}$  و  $\text{CD}$  صفر است. بیشترین مقدار  $\text{EF}$  برابر یک می‌باشد.  $\text{EF}$  و  $\text{CRM}$  می‌توانند مقادیر منفی نیز داشته باشند،  $\text{RMSE}$  نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد شبیه سازی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی چقدر است. شاخص  $\text{CD}$  نسبت پراکندگی را بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص  $\text{EF}$  مقادیر شبیه‌سازی شده را با میانگین مشاهداتی مقایسه می‌کند. شاخص  $\text{CRM}$  نشانگر تمایل شبیه‌سازی برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با مقادیر مشاهداتی است. در بهترین حالت، مقادیر عددی  $\text{CRM}$ ،  $\text{RMSE}$  نزدیک به صفر و مقدار  $\text{CD}$

#### داده‌های پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل دو گروه داده‌های مشاهداتی دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) برای منطقه زابل که از سازمان هواشناسی اخذ شده و داده‌های ریزمقیاس نمایی شده حاصل از خروجی مدل  $\text{GCM}$  برای دوره پایه از سایت داده‌های اقلیمی کانادا ([www.cccsn.ec.gc.ca](http://www.cccsn.ec.gc.ca)) تحت سناریو منتخب  $\text{A1B}$  از سناریوهای  $\text{IPCC}$ <sup>۱</sup> گزارش چهارم مورد استفاده قرار گرفتند. گزارش چهارم ( $\text{AR4}$ ) شامل سه سناریو ( $\text{A1B}$ ،  $\text{B1}$ ،  $\text{A1}$ ) هستند که توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم به ترتیب ۲۰۰۷ چاپ شد. سناریو  $\text{B1}$  بر توسعه پایدار محیطی و سناریو  $\text{A1}$  بر رشد سریع و نامتوازن تاکید دارد. سناریو  $\text{A1B}$  بر اساس آن عقیده بر این است که در آینده، میزان سوخت‌های فسیلی با حفظ تعادل مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین در کنار آنها از سوخت غیر فسیلی نیز استفاده می‌گردد.

#### ارزیابی عملکرد مدل‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های  $\text{GCM}$  نتایج مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی دوره پایه با استفاده از شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> ( $\text{RMSE}$ )، ضریب تبیین<sup>۳</sup>

1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2- Root mean square error

3 - Coefficient of determination

4 - Modeling efficiency

5 - Coefficient of residual mass

حداقل و حد اکثر دمای مطلوب برای جوانه زنی و سبز شدن گندم ۴ و ۲۵ درجه است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۷). زمان مطلوب کشت گندم در منطقه اول آذر انتخاب شد. همچنین با توجه به همبستگی هر مرحله رشد گیاه با عامل حرارتی دما، مراحل و طول رشد گیاه با استفاده از شاخص درجه روز رشد و براساس معادله ۱ شبیه سازی شد.

$$GDD = \sum_{T_{min}}^{T_{max}} - T_{base} \quad (5)$$

که در معادله  $T_{min}$  و  $T_{max}$  به ترتیب دمای حداکثر و حداقل روزانه و  $T_{base}$  دمای پایه برای رشد و نمو گیاه است. دمای پایه برای گندم ۴ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است. در محاسبه درجه روز (GDD) اگر حداقل دمای روزانه کمتر از دمای پایه بود، مساوی با آن قرار داده می شد و همچنین اگر حداکثر دمای روزانه بیشتر از ۳۰ درجه سانتی گراد باشد برابر آن در نظر گرفته می شد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۷). درجه رشد روزانه برای هر یک از مراحل رشد گندم در منطقه زابل در جدول شماره ۱ آورده شده است.

EF نیز نزدیک به عدد ۱ خواهد بود (مساح بوانی و همکاران، ۱۳۸۷).

### تعریف سناریوهای تغییر اقلیم

براساس ارزیابی ها و صحت سنجی انجام شده از مدل اقلیمی GCM، تا اواخر قرن حاضر افزایش میانگین دمای ۲ تا ۵ درجه سانتی گراد در منطقه پیش بینی می شود (شکل ۲). به همین منظور سه سناریوی دمایی ( صفر، +۲ و +۵) به ترتیب به عنوان سناریو عدم تغییر دما، حداقل و حداکثر افزایش تعریف شد و به داده روزانه دمایی گزارش شده اضافه شد. داده های دیده بانی شده از مرکز هواشناسی زابل در سال ۹۲ و همچنین اطلاعات مزرعه ای تاریخ کاشت و مراحل میانگین فنولوژیک ارقام گندم آبی در منطقه براساس نظر مرکز تحقیقات کشاورزی زابل مورد استفاده در پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

### تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات طول دوره رشد

جدول ۱- میانگین درجه روز رشد گندم در منطقه بر اساس مراحل مهم رشد و نمو (تقسیم بندی زیدوکس)

مرحله	رشد و نمو	(GDD)
۰	جوانه زنی	۹۱
۱	نمو برگ	۲۴۹
۲	پنجه زنی	۲۵۱
۳	ساقه دهی	۳۴۷
۴	غلاف رفتن	۲۰۰
۵	خوشه رفتن	۱۱۱
۶	گلدهی	۱۲۰
۷	پرشدن دانه	۲۰۸
۸	سخت شدن دانه	۳۹۱

منبع: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زابل

### برآورد تبخیر و تعرق گندم در منطقه

برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق<sup>۱</sup> (ETc) گندم در منطقه در شرایط فعلی و آینده از معادله زیر استفاده شد.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (6)$$

که در آن  $K_c$  ضریب گیاهی و ET تبخیر و تعرق پتانسیل می باشد. مقادیر ضریب  $K_c$  در مراحل مختلف رشد براساس

مرحله آغازین رشد برابر ۰/۷ در مرحله میانی برابر ۱/۱۵ و در مرحله انتهایی برابر ۰/۴ براساس گزارش فائو لحاظ شده است (FAO56). مرحله آغازین از زمان کاشت گیاه تا انتهای مرحله پنجه زنی است. مرحله میانی از شروع مرحله ساقه رفتن تا انتهای پرشدن دانه و مرحله پایانی از رسیدگی محصول تا پایان سخت شدن دانه و پلاستیدگی برگ ها را تشکیل می دهد. از آنجایی که پارامترهای اقلیمی شبیه سازی شده برای آینده درجه حرارت می باشد باید برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از

1 - evapotranspiration

مدل‌های مبتنی بر دما استفاده نمود. به همین منظور از مدل هارگریوز-سامانی برای برآورد تبخیر و تعرق در منطقه استفاده

شد. محاسبه  $ET_0$  براساس معادلات زیر به روش هارگریوز-سامانی به دست آمد (هارگریوز و سامانی، ۱۹۸۲).

$$ET_0 = 0.0135 \times K_p \times R_a \times TD^{0.8} \times (T + 17.8) \quad (V)$$

$$K_p = 0.00183 \times TD^2 - 0.0488 \times TD + 0.4023$$

$$TD = T_{max} - T_{min}$$

که در آن  $ET_0$  تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز)،  $TD$  تفاضل دمای حداکثر و حداقل در دوره ماهانه،  $T$  میانگین دمای ماهانه،  $T_{min}$  و  $T_{max}$  به ترتیب دمای حداکثر و حداقل در دوره مورد نظر (روزانه یا ماهانه) برحسب درجه سانتی گراد هستند که در این پژوهش روزانه در نظر گرفته شده اند  $R_a$  تابش خورشیدی در بالای اتمسفر که برای ماه‌های مختلف سال و عرض‌های گوناگون جغرافیایی متفاوت می‌باشد و  $K_p$  ضریب تصحیح است.

### نتایج و بحث

ارزیابی مدل‌های گوناگون اقلیمی در پیش‌بینی میانگین دمای سالانه زابل با استفاده از مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های دیده بانی شده در دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۰) استفاده شد. بررسی قابلیت پیش‌بینی مدل‌های گوناگون اقلیمی مدل ECHAM5OM با کارایی ۹۹ درصد بالاترین کارایی را جهت شبیه‌سازی میانگین دمایی در دوره پایه نشان داد و این مدل جهت پیش‌بینی اقلیم آینده زابل مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی GCM در پیش‌بینی میانگین دمای سالیانه در دوره پایه

شاخص	MIROC3.2 medres	INMCM3.0	GFDL2.0	ECHAM5OM	CSIROMk3	GISS-ER	HADCM3	CNRMCM3	CSIROMk3.5	BCM2.0
RMSE	۰/۷۳	۱/۸۱	۰/۹۶	۰/۱۳	۱/۵۷	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۶۵
CD	۰/۳۴	۲/۱۰	۰/۵۹	۰/۰۱	۱/۵۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۲۷
EF	۰/۶۶	-۱/۱۰	۰/۴۱	۰/۹۹	-۰/۵۷	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۶۷	۰/۷۳
CRM	۰/۱۸	۰/۴۴	۰/۲۳	-۰/۰۳	۰/۳۸	-۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۶

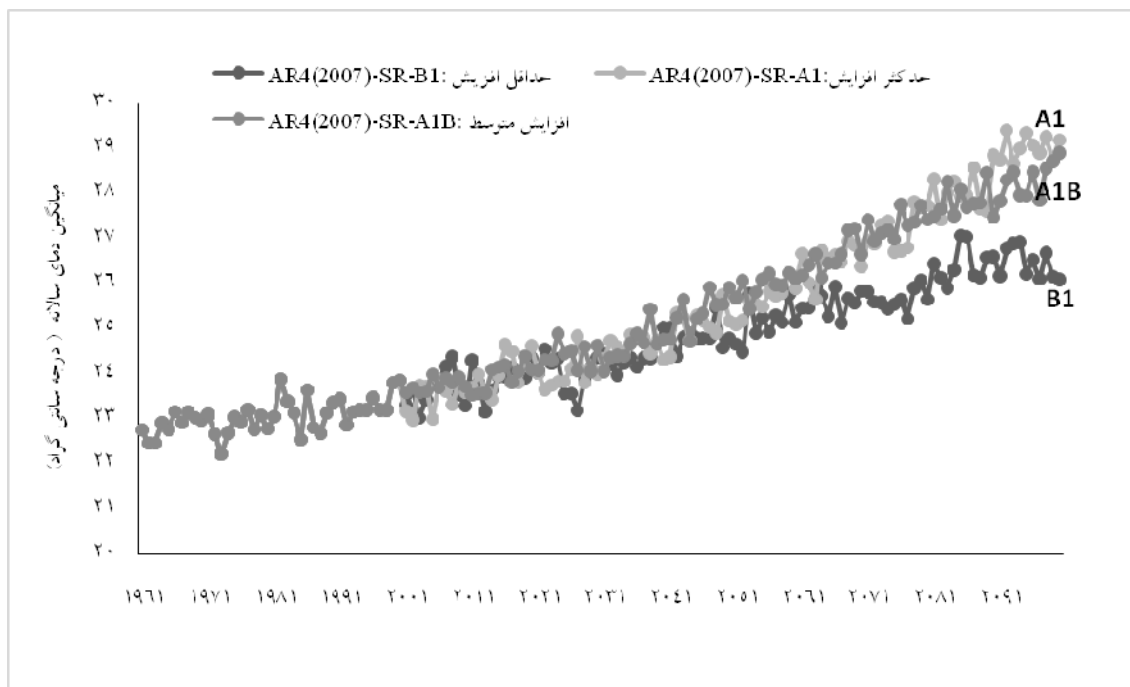
پیش‌بینی مدل ECHAM5OM از اقلیم آینده زابل نشان داد در خوش بینانه ترین حالت تحت سناریو B1 دمای زابل حداقل به طور میانگین ۲ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت. پیش‌بینی میانگین دمای زابل تحت سناریو A1 و A1B افزایش حداکثر ۵ را برای منطقه تا اواخر قرن پیش‌بینی کردند (شکل ۲). این تغییرات اقلیمی در آینده می‌تواند محیط زیست و کشاورزی منطقه را به شدت تحت تاثیر قرار دهد. دو سناریو افزایشی به همراه سناریو عدم تغییر تعریف و جهت ارزیابی مراحل فنولوژیک گندم در منطقه مورد استفاده قرار گرفت.

### افزایش ۲ درجه میانگین دمای روزانه

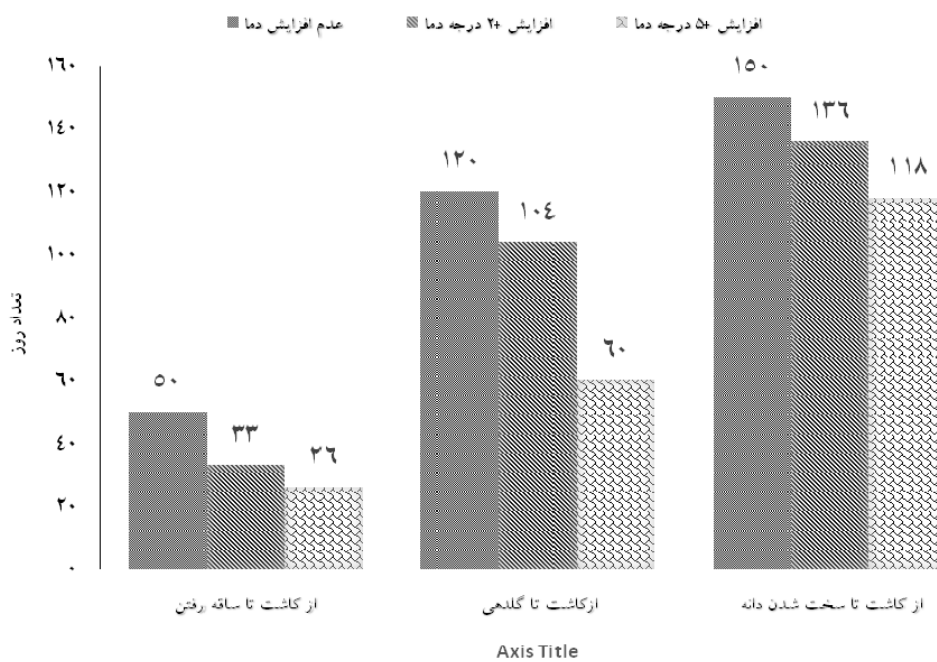
محاسبه مراحل فنولوژیک گیاه به روش GDD نشان داد افزایش ۲ درجه سانتی گراد متوسط دمای روزانه تا اواخر قرن

طول دوره رشد گندم ۱۴ روز کاهش خواهد یافت (شکل ۳). از نظر تاثیر بر مراحل فنولوژیک بیشترین تغییر در مرحله پنجه زنی رخ می‌دهد و طول دوره پنجه زنی از ۴۰ به ۲۵ روز کاهش می‌یابد. افزایش دما تاثیر قابل توجهی بر سایر مراحل فنولوژیک به ویژه در مراحل بعد از غلاف رفتن ندارد.

شواهد آزمایشی نشان می‌دهد که تسریع مراحل فنولوژی مهمترین تاثیر افزایش دما در گیاهان است. منزل و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه ۵۴۲ گونه گیاهی در فاصله سالهای ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ در ۲۶ کشور اروپایی دریافتند که در ۷۸ درصد موارد سرعت نمو به دلیل بالا رفتن دما افزایش یافته و طول مراحل کوتاهتر شده است. کوتاهتر شدن طول دوره رشد ناشی از افزایش دما در اغلب گیاهان زراعی باعث کاهش عملکرد می‌شود زیرا تابش کمتری جذب شده و زمان کمتری برای تجمع ماده خشک در اختیار گیاه خواهد بود (فالکو و ستولد، ۲۰۰۶).



شکل ۲- پیش بینی تغییرات میانگین دمای سالانه زابل بر اساس سناریو های مختلف IPCC تا سال ۲۱۰۰ با مدل ECHAM5OM (mean)



شکل ۳- تغییرات طول دوره رشد گندم در اثر سناریو های مختلف تغییر اقلیم در منطقه زابل

## افزایش ۵ درجه میانگین دمای روزانه

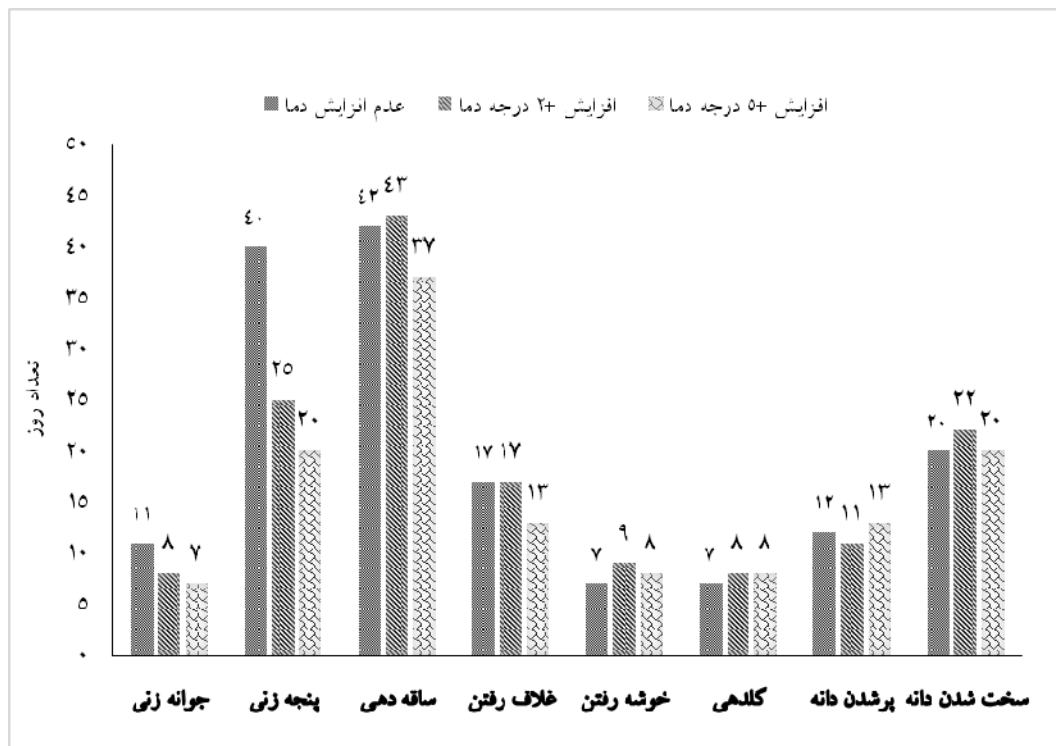
افزایش ۵ درجه سانتی گراد دما باعث کاهش ۳۲ روزه طول دوره رشد گندم در منطقه خواهد شد (شکل ۳). طول مرحله جوانه زنی، پنجه زنی ساقه و غلاف رفتن کوتاهتر و بیشترین کاهش در مرحله پنجه زنی اتفاق خواهد افتاد به نحوی که طول دوره پنجه زنی به ۲۰ روز نسبت به شرایط فعلی ۴۰ روز خواهد رسید اما بر مراحل فنولوژیک پس از خوشه رفتن با حفظ تاریخ کاشت فعلی به علت دریافت GDD مشابه تاثیری نخواهد داشت (شکل ۴). کوچکی و همکاران (۱۳۸۰) با شبیه‌سازی رشد، فنولوژی و تولید رقم های گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد نشان دادند که تغییر اقلیم از طریق افزایش دما باعث ۲۶ روز کاهش در طول دوره رشد گندم در شرایط مشهد خواهد شد. شاخص‌های فیزیولوژی نظیر تعداد و سطح برگ‌ها نیز تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت.

رحمانی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم و جو (*Hordeum Vulgare*) در منطقه بیرجند نشان دادند که در آینده دماهای کمینه و بیشینه در تمامی ماههای سال افزایش می‌یابند و متوسط بارش سالانه نیز حدود ۳/۵ درصد بیشتر خواهد شد. با وجود بیشتر شدن تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به دلیل کاشت زودتر گندم و جو و کوتاه شدن طول دوره رشد آنها، نیاز آبی محصولات در آینده بین ۱۹/۵ درصد (گندم) تا ۲۲/۵ درصد (جو) کمتر خواهد شد. از سوی دیگر عملکرد گندم نیز به علت کوتاه تر شدن طول دوره رشد محصول تحت تاثیر تغییر اقلیم حدود ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت.

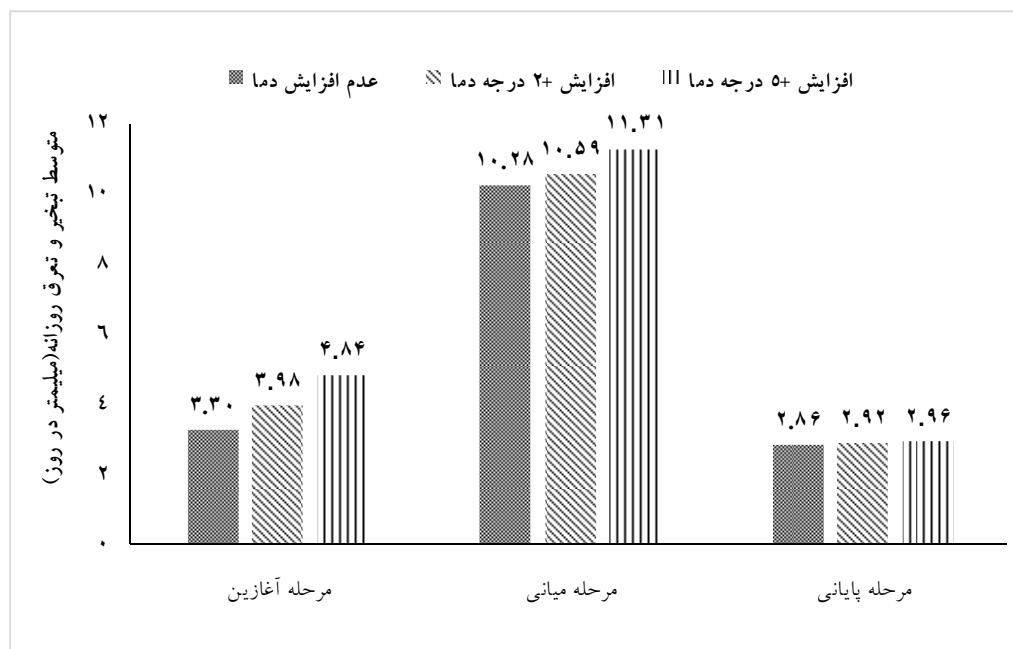
## مقایسه افزایش ۲ و ۵ درجه دما بر مراحل فنولوژیک

بیشترین تاثیر افزایش دمای روزانه در مراحل اولیه رشد بروز می‌کند و با افزایش ۲ درجه دما تعداد روزهای لازم برای رسیدن گیاه به مرحله پیش از ساقه دهی ۱۷ روز و با افزایش ۵ درجه سانتی گراد تعداد روزهای لازم تا پیش از ساقه رفتن ۲۵ روز کاهش می‌یابد (شکل ۴). هردو سناریو حداقل و حداکثر افزایش دما (۵ درجه سانتی گراد) با حفظ تاریخ کاشت فعلی تاثیری در مراحل فنولوژیک سنبله رفتن، گل دهی، پر شدن دانه و رسیدن فیزیولوژیک نخواهند داشت. در مرحله ساقه رفتن و تشکیل غلاف نیز این تغییرات ناچیز خواهد بود. بیشترین تاثیر هر دو سناریو در مرحله پنجه زنی اتفاق می‌افتد و مدت پنجه زنی به ۱۵ تا ۲۰ روز کاهش می‌یابد (شکل ۴).

آسنگ و همکاران (۲۰۰۴) با شبیه‌سازی مراحل رشد گندم در شرایط افزایش دما تحت سناریوهای تغییر اقلیم با مدل APSIM<sup>۱</sup> نشان دادند با افزایش ۱.۷ درجه سانتی گراد دما زمان گلدهی ۱۱ روز و همچنین عملکرد و زیست توده گیاه کاهش می‌یابد. تائو و همکاران (۲۰۱۴) به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گندم در ۱۲۰ ایستگاه تحقیقات کشاورزی از سال ۲۰۰۹-۱۹۸۱ در مناطق گوناگون چین تاثیر معنی دار تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گندم و تغییر تاریخ گلدهی و رسیدگی و کاهش معنی دار طول دوره رشد و عملکرد را گزارش کردند. کوچکی (۱۳۹۵) در شبیه‌سازی عملکرد ۴ گونه زراعی با استفاده از مدل سوکروز و با استفاده از نتایج داده‌های آب و هوایی مدل گرد عمومی GFDL<sup>۲</sup> برای سال ۲۰۵۰ نشان دادند که میانگین عملکرد این گیاهان در سال هدف در مناطق گوناگون کشور به ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۱، ۶/۶، و ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش عمدتاً به دلیل افزایش دما بوده و افزایش غلظت دی اکسید کربن تنها در حدود ۵/۶ درصد از اثرات منفی دمای بالا را جبران می‌کند. البته در مورد گندم و ذرت کاهش عملکرد تا حد زیادی تابع میزان افزایش دما در طی دوره پر شدن دانه خواهد بود. افزایش دما، طول کل دوره رشد و نیز طول دوره پر شدن دانه را در گیاهان دانه‌ای کاهش خواهد داد. با وجودی که نقش غنی‌کنندگی CO<sub>2</sub> بر بهبود رشد گیاهان به اثبات رسیده است، ولی افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی این تأثیر مثبت را خنثی خواهد کرد. البته افزایش دما در مناطق واقع در عرض‌های شمالی که با محدودیت طول فصل رشد مواجه هستند مطلوب خواهد بود در حالیکه افزایش دما در مناطق گرم و خشک تولید را به شدت محدود می‌سازد (کوچکی و نصیری، ۱۳۹۵).



شکل ۴- اثر سناریوهای افزایش دما در اثر تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژیک رشد گندم در منطقه زابل



شکل ۵- اثر سناریو های گوناگون افزایش دما بر تبخیر و تعرق گندم در منطقه زابل



## تغییرات تبخیر و تعرق

افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق می‌گردد. این افزایش در مراحل ابتدایی رشد بیشتر است و با افزایش ۵ درجه سانتی‌گراد به بیش از یک میلی‌متر در روز می‌رسد و در مراحل انتهایی افزایش ۵ درجه دما افزایش تبخیر و تعرق ناچیز و کمتر از ۰/۱ میلی‌متر است. در مرحله میانی رشد گندم با ۲ درجه افزایش دما تبخیر و تعرق گیاه حدود ۰/۵ میلی‌متر به طور متوسط روزانه افزایش می‌یابد و با ۵ درجه افزایش دما تبخیر و تعرق یک میلی‌متر در روز نسبت به شرایط فعلی بیشتر می‌شود (شکل ۵).

مساح و همکاران (۱۳۸۴) ضمن ارزیابی اثر کمبود آب بر عملکرد محصول با استفاده از تابع تولید خطی ارائه شده توسط FAO مورد در منطقه بهشهر نشان دادند که بارندگی‌ها در فصل پاییز افزایش اما در فصل‌های زمستان و بهار کاهش می‌یابد این در حالی است که دما در تمامی ماه‌های سال افزایشی بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد تا پایان سال ۲۱۰۰ خواهد داشت و نیاز خالص آبیاری با جابجایی تاریخ کاشت به سمت فصل زمستان افزایش یافته که این افزایش در دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم تشدید خواهد شد. به ازای هر تاریخ کاشت مشخص، کمبود عملکرد نسبی محصول در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه تغییر چشمگیری نخواهد داشت اما با جابجایی تاریخ کاشت به سمت فصل زمستان به دلیل افزایش تبخیر و تعرق و استفاده کمتر از باران موثر، افزایش می‌یابد. علیزاده و کمالی (۱۳۸۱) با

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد نشان دادند که در صورت افزایش دمای هوا به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد نیاز خالص آبیاری با الگو و ترکیب کشت سایه انداز گیاهی ۶ درصد نسبت به حالت طبیعی افزایش خواهد داشت. میزان افزایش نیاز آبیاری به ازای ۴ و ۶ درجه افزایش دما به ترتیب ۱۱ و ۱۷ درصد برآورد شده است.

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تغییر اقلیم مراحل فنولوژیک رشد گندم در منطقه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. سناریوهای محتمل افزایش دما نشان داد که با افزایش ۲ و ۵ درجه سانتی‌گراد طول دوره رشد به میزان ۲۰ تا ۲۵ روز کوتاهتر می‌شود. وقوع این تغییرات و کوتاه شدن طول دوره رشد به میزان ۲۵ روز باعث می‌شود گیاه در مرحله پرشدن دانه به تنش حرارتی کمتری برخورد کرده اما از طرفی مدت زمان بهره‌برداری از منابع کاهش می‌یابد که می‌تواند باعث کاهش عملکرد گردد. به منظور کاهش اثرات سوء اقلیمی می‌توان تاریخ مطلوب کشت گندم که در حال حاضر اواخر آبان تا اوایل آذر می‌باشد را تغییر داده و تا اواخر آذر ماه افزایش داد. تغییر نوع رقم‌های مورد کشت و یا تغییر نوع کشت از سایر راهکارهای پیشنهادی ممکن برای مواجهه با اثرات تغییر اقلیم است.

## منابع

- اشرف، ب.، ا. علیزاده، م. موسوی بایگی و م. بنایان اول. ۱۳۹۳. صحت سنجی داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط اجرای منفرد و گروهی پنج مدل AOGCM برای منطقه شمال شرق ایران. نشریه آب و خاک ۲۸(۲): ۲۶۶-۲۵۳.
- بابائیان، ا. و م. کوهی. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های تغییر اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. آب و خاک. شماره ۲۶: ۹۶۷-۹۵۳.
- دلقدی، م.، ع. مساح بوانی. م. آجرلو. س. پرومندنسب و ب. اندرزیان. ۱۳۹۳. ارزیابی ریسک تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد و فنولوژی رشد گندم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). مدیریت آب و آبیاری. جلد ۴، شماره ۲: ۱۷۵-۱۶۱.
- رحمانی، م.، م. جامی الاحمدی. ع. شهیدی و م. هادی زاده ازغندی. ۱۳۹۴. تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم و جو (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۷(۴): ۴۶۰-۴۴۳.
- سلیمانی، م.، م. پارسی نژاد. ش. عراقی نژاد و ع. مساح بوانی. ۱۳۹۱. تأثیر رخداد تغییر اقلیم بر زمان کاشت طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه (مطالعه موردی: بهشهر). مجله پژوهش آب. شماره ۱۰: ۲۰-۱۱.
- رضایی، پ.، ا. سلطانی. ف. اکرم و ا. زینلی. ۱۳۸۷. کمی‌سازی وقوع تنش‌های دمایی در زراعت گندم در گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۵، شماره ۴: ۱۰۷-۷۷.
- عباسی، ف.، ا. بابائیان. ش. ملیوسی. م. اثمیری و ل. مختاری. ۱۳۹۱. ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۱۰۴: ۲۳۰-۲۰۵.

- عزیزی، ق و م. روشنی. ۱۳۸۸. تحلیلی بر مفاهیم و اثرات تغییر اقلیم روی دما و تقویم زراعی برنج درگیلان. فصلنامه فضای جغرافیایی. ۴ شماره ۸: ۱۵۵-۱۴۳.
- کوچکی، ع. و غ. کمالی. ۱۳۸۹. تغییر اقلیم و تولید گندم دیم در ایران. پژوهش های زراعی ایران. ۳: ۵۲۰-۵۰۸.
- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی. ۱۳۹۵. تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۲- پیش بینی تولید محصولات زراعی و راهکارهای سازگاری. نشریه پژوهش های زراعی ایران. ۱۴(۱): ۱۱۷-۱۰۵
- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی. ح. شریفی. ا. زند و ع. کمالی. ۱۳۸۰. شبیه سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد. نشریه بیابان. ۶(۲): ۱۲۸-۱۱۷.
- مساح بوانی، ع. و ر. مرید. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان. تحقیقات منابع آب ایران ۱(۱): ۴۷-۴۰.
- محمدی، ا.، ح. یزدان پناه و ف. محمدی. ۱۳۹۳. بررسی رخداد تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت و طول دوره رشد گندم دوروم (دیم) مطالعه موردی: ایستگاه سرارود کرمانشاه. پژوهش های جغرافیای طبیعی. جلد ۴۶(۲): ۲۴۶-۲۳۱.
- نصیری محلاتی، م. و ع. کوچکی. ۱۳۸۴. اثر تغییر اقلیم بر شاخص های آگرو کلیماتیک مناطق کشت گندم در ایران. مجله پژوهش های زراعی ایران. جلد ۳(۲): ۳۰۳-۲۹۱.
- Asseng, S., P.D. Jamieson, B. Kimbal, P. Painter, K. Sayer and J.W. Bowden. 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. J. Field Crops Research. 85: 85-102.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, and J. P. Palutikof. 2008. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.
- Doll P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. J. Climatic Change. 54: 269-293.
- Fulco, L., and A. Senthold. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. Agricultural Systems, 90: 159-179
- Hargreaves, G.L., and Z.A. Samani. 1982. Estimating potential evapotranspiration. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 108 (3): 225-230.
- Menzel, A., T.H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, R. Ahas, K. Alm-Kubler, P. Bissolli, O.G. Braslavskaya, A. Briede, F.M. Chmielewski, Z. Crepinsek, Y. Curnel, A. Dahl, C. Defila, A. Donnelly, Y. Filella, K. Jatczak, F. Mage, A. Mestre, O. Nordli, C. Penuelas, P. Pirinen, V. Remisova, H. Scheifinger, M. Striz, A. Susnik, A.J.H Van Vliet, F-E Wielgolaski, S. Zach and A.N.A Züst. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Glob. Chang. Biol. 12, 1969-1976.
- Taoa, F., Z.B Zhao, D. Xiaoa, p. Reimund and H. Zhang. 2014. Responses of wheat growth and yield to climate change in different climate zones of China, 1981-2009. Agricultural and Forest Meteorology. 190:91-104.

## Effect of climate change on phenological stages and growth stages of wheat in Zabol region

H.R. Mohammadi<sup>1</sup>, M. Ramroudi<sup>1</sup>, M. Bannayan<sup>2</sup>, M.R. Asgharipour<sup>2</sup>, H.R. Fanaee<sup>3</sup>

Received: 2016-6-29 accepted: 2017-2-1

### Abstract

Climate change can affect the crop yield and water consumption in agriculture by changing duration of phenological stage, crop yield and evapotranspiration. In this research a number of GCM models were selected and forecasted annual mean temperature of the region was validated. The climate models forecast 2 to 5 °C by the end of this century in Zabol. Therefore, three temperature scenarios (zero, +2 and +5), representing no temperature change, the minimum temperature increasing and the maximum temperature increasing, respectively were added to the observed data temperature. The effect of climate change was examined on duration the growth season and phenological stages of wheat (*Triticum aestivum*), as well as evapotranspiration in Zabol based on planting date and conventional variety. The GDD method was used for calculating the phenologic stages. Hargreaves – Samani model was used for measuring the effect of climate change scenarios on evapotranspiration. Results showed that 2 °C increasing temperature by the end of the century reduced growth duration of wheat by 14 days compared to no temperature change. In addition, early growth evapotranspiration decreased by 20 percent. Increasing 5 °C decrease growth duration of wheat by 32 days and increasing early evapotranspiration by 46 % growth in region. Climate change influenced wheat culture in region. Coping with these changes require planning for production components change according to today's conditions or define new conditions based on adaptive patterns.

**Key word:** Climate model, scenario, downscaling, phenology, GDD

---

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- member of Agriculture Research Center of Zabol, Zabol, Iran