# اثرتغییراقلیم بر شاخصهای اگروکلیماتیک مناطق کشت گندم دیم در ایران

مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی[1]

## چکیده

علیرغم اهمیت کلیه پارامترهای آب و هوایی بر رشد و تولید محصولات زراعی، درجه حرارت و بارندگی بیش از سایر پارامترها مورد توجه بوده و تقریباً تمامی روش‌های طبقه بندی اقلیمی کشاورزی و نیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی بر پایه این دو متغیر استوار می‌باشند. در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز تغییر کرده و با ارزیابی تغییر این شاخص‌ها امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد شد. از اینرو بنظر میرسد دو شاخص اقلیمی کشاورزی کمبود بارندگی و طول فصل رشد ابزار بسیار مناسبی برای ارزیابی پتانسیل تولید دیم در شرایط تغییر اقلیم می‌باشند. در این مطالعه ابتدا بر اساس داده‌های عملکرد گندم دیم کشور، مناطق اصلی تولید گندم دیم مشخص و داده‌های اقلیمی مناطق فوق جمع‌آوری شد. در ادامه بر اساس رطوبت قابل استفاده و بر اساس تعریف FAO در ایستگاههای مختلف در شرایط حاضر و در شرایط تغییر اقلیم برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بر اساس نتایج مدل گردش عمومیUKMO طول فصل رشد محاسبه شد. بر اساس نتایج بدست آمده طول فصل رشد محاسبه شده بر مبنای درجه حرارت، مؤید افزایش طول فصل رشد در مناطق دیمکاری کشور است در حالیکه محاسبهٔ طول فصل رشد بر اساس روش FAO و با احتساب رطوبت قابل استفاده گیاه، کاهش طول دورهٔ رشد در مناطق تولید گندم کشور را نشان میدهد. میزان این کاهش در ایستگاههای مورد مطالعه برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب به میزان ۳۶ – ۸ و ۵۵ – ۱۹ روز خواهد بود. شاخص کمبود بارندگی در ایستگاههای مورد مطالعه برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب به میزان ۱۷/۷ – ۸/۳ و ۳۲/۳ – ۲۱/۱ میلیمتر خواهد بود. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح زیر کشت گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب بمیزان ۲۵-۱۶ و۳۳-۲۳ درصد کاهش خواهد یافت.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، گندم دیم، مدل گردش عمومی، طول فصل رشد، شاخص کمبود بارش.

## مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث بالا رفتن دمای سطح کره زمین یا به عبارت دیگر پدیده ای می‌شود که به گرمایش جهانی[2] موسوم است. شواهد مختلف مبتنی بر اندازه گیری‌های دراز مدت نشان داده است که با افزایش غلظت گازهای آتمسفری (بویژه گاز کربنیک) درجه حرارت کره زمین بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. این افزایش دما که در نیمه دوم قرن بیستم بارزتر از هر زمان دیگری بوده است پی آمدهای اقلیمی مختلفی را بهمراه داشته و عامل اصلی بروز پدیدهٔ تغییر اقلیم محسوب می‌شود (۴، ۱۴و ۱۵).

علیرغم اهمیت کلیه پارامترهای آب و هوایی بر رشد و تولید محصولات زراعی، درجه حرارت و بارندگی بیش از سایر پارامترها مورد توجه بوده و تقریباً تمامی روش‌های

---

۱ - اعضای هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

2- Global warming

طبقه‌بندی اقلیمی و نیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی بر پایه این دو متغیر استوار می‌باشند. تردیدی نیست که در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز دستخوش تغییر شده و با ارزیابی تغییر این شاخص‌ها امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد شد. از اینرو بنظر می‌رسد دو شاخص اقلیمی کشاورزی کمبود بارندگی که از طریق نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق بالقوه بدست می‌آید و طول فصل رشد ابزار بسیار مناسبی برای ارزیابی پتانسیل تولید گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم باشند.

در بسیاری از نقاط جهان عامل اصلی محدودکنندهٔ رشد و تولید گیاهان زراعی آب دریافت شده و ذخیره شده در خاک است و نه لزوماً درجه حرارت. حتی در عرضهای جغرافیایی بالا (مناطق اسکاندیناوی) نیز کمبود بارندگی در تابستان باعث بیشتر شدن تبخیر و تعرق از بارش شده و تولید غلات را محدود می‌سازد. لذا در این مناطق میزان مادهٔ خشک تولید شده بوسیلهٔ گیاهان زراعی با میزان آب تعرق شده توسط آنها متناسب است (۱۰). میزان آب تعرق شده بوسیله گیاهان زراعی خود بوسیلهٔ رطوبت هوا کنترل می‌شود و بنابراین در آتمسفر خشک تر، ماده خشک کمتری تولید خواهد شد، لذا تغییر رطوبت هوا و بارندگی هر دو تأثیر چشمگیری بر عملکرد محصولات زراعی خواهند داشت. از اینرو در بسیاری از مطالعات مربوط به تعیین پتانسیل تولید محصولات زراعی به نوعی از نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق بالقوه استفاده شده است (۶و ۱۲). مطالعات در مقیاس جهانی نشان داده است که تغییرات اقلیمی آینده با تأثیر بر درجه حرارت و بارندگی، استعداد کشاورزی در مناطق مختلف را از طریق تغییر طول فصل رشد تحت تأثیر قرار خواهند داد (۱۱).

نتایج حاصل از شبیه سازی تغییر اقلیم بر اساس سناریوی A1FI و CRES که بوسیله مدل گردش عمومی HadCM3 انجام شد حاکی از کوتاهتر شدن طول فصل رشد در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است (۵). در بررسی فوق طول فصل رشد بر اساس تلفیق درجه حرارتهای بالاتر از صفر و فراهمی رطوبت برای رشد گیاهان محاسبه شد. مقایسه طول فصل رشد نقاط مختلف جهان در شرایط اقلیمی سال ۲۰۸۰ میلادی با میانگین دراز مدت طول این دوره در انتهای قرن حاکی از کوتاهتر شدن طول فصل رشد در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله کشور ایران است (۱۴). در حالیکه در عرضهای جغرافیایی بالا، طول فصل رشد در آینده افزایش خواهد یافت. شواهد نشان می‌دهد که افزایش طول فصل رشد در نواحی شمالی کانادا و بطور کلی عرض‌های بالا به دلیل افزایش درجه حرارت بوده در حالیکه کاهش طول فصل رشد در عرضهای میانه (نواحی خشک و نیمه خشک) عمدتاً ناشی از کاهش میزان بارش می‌باشد (۵ و۱۴).

از سوی دیگر تغییر طول فصل رشد، تولید محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. نتایج حاصل از شبیه سازی تغییر اقلیم بر اساس سناریوی A1FI و براساس نتایج مدل گردش عمومی HadCM2 نشان دهنده تغییر در پتانسیل تولید محصولات زراعی در نقاط مختلف جهان تحت شرایط اقلیمی سال ۲۰۸۰ است، بطوریکه تغییرات عملکرد محصولات زراعی با طول فصل رشد مرتبط می‌باشد. نتایج مطالعه فوق برای ایران نشان داد که بسته به سناریوی اقلیمی، میانگین عملکرد محصولات زراعی ۲/۵ تا ۵ درصد کاهش خواهد یافت (۱۴).

از آنجا که در مناطق خشک و نیمه خشک، پایین بودن میانگین نزولات سالانه با میانگین بالای تبخیر و تعرق بالقوه همراه است، این مناطق را می‌توان بر اساس نسبت این دو متغیر تقسیم بندی کرد، بر اساس این تقسیم بندی بخش عمده مناطق دیم جهان (از جمله مناطق دیم ایران) در محیطهایی قرار دارندکه در آنها نسبت میانگین بارش سالانه به میانگین تبخیر و تعرق بالقوه بین ۰/۲ تا ۰/۵ می‌باشد (۱۱). از سوی دیگر شواهد موجود حاکی از آن است که پدیدهٔ

تغییر اقلیم، نسبت فوق را در مناطق خشک و نیمه خشک هم از طریق کاهش میانگین بارش سالانه و هم از طریق افزایش تبخیر و تعرق بالقوه به دلیل افزایش درجه حرارت، به طور قابل ملاحظه ای افزایش خواهد داد. در صورت تحقق چنین تغییراتی، تولید محصولات دیم در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک که عمدتاً بر غلات و بویژه گندم استوار است به مخاطره خواهد افتاد (۱۴).

از سوی دیگر اکثر مناطق خشک و نیمه خشک جهان که به دلیل ساختار اکولوژیکی خود حساسیت شدیدتری نسبت به تغییرات اقلیمی دارند در کشورهای در حال توسعه واقع شده اند. افزایش جمعیت، اتکا به تولیدات کشاورزی و فقدان اطلاعات کافی از شرایط اقلیمی آینده، در کنار یکدیگر، امنیت غذایی آینده ساکنان این مناطق را تهدید می‌کند. با این وجود اغلب مطالعات انجام شده در مورد پی آمدهای تغییر اقلیم بر تولیدات زراعی مربوط به کشورهای در حال توسعه بوده و تعمیم این نتایج به سایر نقاط با عدم قطعیت همراه خواهد بود. از اینرو هدف از این تحقیق بررسی اثر تغییراقلیم بر شاخصهای اقلیمی کشاورزی از جمله کمبود بارندگی و طول فصل رشد و اثر آنها بر تولید گندم دیم در ایران می‌باشد.

## مواد و روشها

### داده‌های اقلیمی

داده‌های اقلیمی مورد نیاز برای این تحقیق از سازمان هواشناسی کشور و مرکز ملی اقلیم شناسی تهیه شد. این داده‌ها شامل آمار دراز مدت (حداقل ۳۰ ساله) در فاصله سالهای ۱۳۷۷-۱۳۴۸ و طولانی تر شامل حداقل، حداکثر و میانگین دمای ماهانه، نزولات ماهانه، میزان تبخیر و تعرق بالقوه (ETP) ماهانه و سالانه و نیز تعداد ساعت آفتابی (در مورد برخی ایستگاه ها) بود.

داده‌های اقلیمی براساس مناطق تولید گندم دیم کشور از جمله از ایستگاه‌های تبریز، مشهد، ارومیه، قزوین، زنجان، خوی، اراک، کرمانشاه، خرم آباد، ایلام، سنندج و شهر کرد جمع‌آوری شدند. بطور کلی ایستگاهها به نحوی انتخاب شدند که معرف وضعیت اقلیمی مناطق تولید گندم دیم کشور باشند.

## سناریوی تغییر اقلیم

سناریوهای تغییر اقلیم در این مطالعه با استفاده از مدل گردش عمومی (GCM) طراحی گردید. مدل گردش عمومی UKMO قبلاً توسط کوچکی (۱) جهت پیش بینی پارامترهای اقلیمی ایستگاههای مختلف کشور برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی (مطابق با ۱۴۰۵ و ۱۴۳۰ شمسی) بکار رفته و نتایج آن در این بررسی بکار گرفته شد. غلظت گاز کربنیک آتمسفر بر اساس آخرین برآورد IPCC در این سالها به ترتیب حدود ۴۲۵ و ۵۰۰ قسمت در میلیون می‌باشد (۹). با اجرای مدل GCM مقادیر ماهانه درجه حرارت حداقل، حداکثر و نزولات ماهانه برای ایستگاههای مختلف محاسبه گردید. جهت تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه از تولید کنندهٔ داده‌های آب و هوایی WGEN (۱۳) استفاده شد. مطالعات قبلی (۳) نشان داده است که تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تشعشع ورودی در ایستگاههای مختلف کشور ناچیز می‌باشد. نتایج حاصل از مدل گردش عمومی جهت محاسبه شاخصهای اقلیمی کشاورزی مناطق دیم کشور در سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ و مقایسه آنها با شرایط فعلی مورد استفاده قرار گرفت.

### طول فصل رشد

طول فصل رشد (تعداد روزهای بدون یخبندان) در ایستگاههای مختلف در شرایط حاضر و در شرایط تغییر اقلیم برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بر اساس نتایج مدل

گردش عمومی محاسبه شد. بنا به تعریف طول فصل رشد بالقوه محصولات زراعی عبارتست از فاصله بین آخرین یخبندان بهاره و اولین یخبندان پاییزه، این دوره برای هر گونه گیاهی اختصاصی بوده و به حداقل درجه حرارت رشد آن (صفر پایه) بستگی خواهد داشت (۲). بر اساس تعریف FAO، تعیین طول فصل رشد صرفاً بر اساس درجه حرارت چندان واقع گرایانه نمی باشد (۶). زیرا در بسیاری از مناطق خشک یا نیمه خشک رطوبت عامل اصلی محدود کننده رشد است. لذا حتی در صورت مناسب بودن درجه حرارت برای رشد، عدم دسترسی به آب کافی، رشد را به شدت محدود خواهد کرد. این امر بویژه در شرایط دیم که تولید اساساً بر وجود رطوبت کافی استوار است حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین در دستورالعمل ناحیه بندی اکولوژیکی FAO، تعیین طول فصل رشد بر اساس میزان رطوبت قابل استفاده گیاه تعیین می‌شود. از اینرو در این مطالعه طول فصل رشد بر اساس رطوبت قابل استفاده و بر اساس تعریف FAO محاسبه شد. در روش FAO طول فصل رشد واقعی با استفاده از میانگین میزان بارندگی ماهانه و میانگین تبخیر و تعرق بالقوه ماهانه تعیین می‌شود. بدین صورت که با رسم منحنی مربوط به ۵۰ ٪ تبخیر و تعرق ماهانه، نقاط تلاقی این منحنی با منحنی تغییرات بارش، طول فصل رشد (LGP) [1] را مشخص می‌سازد (۶). جهت محصولات دیم این دوره نشان دهندهٔ طول واقعی فصل رشد می‌باشد.

**طول دوره خشکی و شاخص کمبود بارندگی**

طول دوره خشکی در ایستگاههای تحت بررسی بر اساس تعداد روزهایی که میزان بارندگی کمتر از تبخیر و تعرق باشد برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی محاسبه و با طول این دوره در شرایط اقلیمی فعلی مقایسه شد.

در این مطالعه جهت محاسبهٔ کمبود بارندگی تحت شرایط فعلی و تغییر اقلیم، از تفاضل میزان بارندگی روزانه (P بر حسب میلی متر) و تبخیر و تعرق بالقوه روزانه ( PET بر حسب میلی متر) استفاده شد. مجموع این تفاضل در طی فصل رشد گندم دیم نشان دهندهٔ کمبود میزان بارندگی و شاخصی از شدت تنش وارد نشده بر گیاه می‌باشد (۱۹). در مورد گندم دیم چنانچه طول دورهٔ زمستان نیز که تبخیر و تعرق بالقوه کمتر از نزولات می‌باشد در محاسبات مورد توجه قرار گیرد، میزان شاخص کمبود بارندگی تقلیل خواهد یافت و چنانچه محاسبه براساس دورهٔ رشد از شروع بهار در نظر گرفته شود این شاخص مقادیر بیشتری خواهد داشت. از آنجا که آب ذخیره شده در خاک بر رشد بهاره گندم دیم مؤثر می‌باشد، در این مطالعه کمبود بارندگی براساس کل دورهٔ رشد (از کاشت تا برداشت) محاسبه شده است.

## نتایج و بحث

**اثر تغییر اقلیم بر طول فصل رشد**

نتایج مدل گردش عمومی نشان داد که طول فصل رشد در تمامی مناطق دیم خیز کشور افزایش خواهد یافت. مقایسه طول فصل رشد در شرایط فعلی و شرایط شبیه سازی شده سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی در جدول ۱ ارائه شده است. شواهد متعدد از مطالعات تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان از جمله کانادا، استرالیا، ژاپن (۷) و چین (۱۷) همگی طولانی‌تر شدن طول فصل رشد را در شرایط اقلیمی آینده تأیید کرده است. با این حال میزان تغییر طول فصل رشد بسته به نوع سناریوی تعریف شده برای تغییر اقلیم متفاوت خواهد بود (۱۶).

در شرایط تغییر اقلیم، افزایش درجه حرارت باعث افزایش تبخیر و تعرق شده و از سوی دیگر کاهش میزان نزولات در ترکیب با تغییر تبخیر و تعرق بالقوه، طول فصل رشد را بطور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد داد. تحت این

1- Length of Growing Period

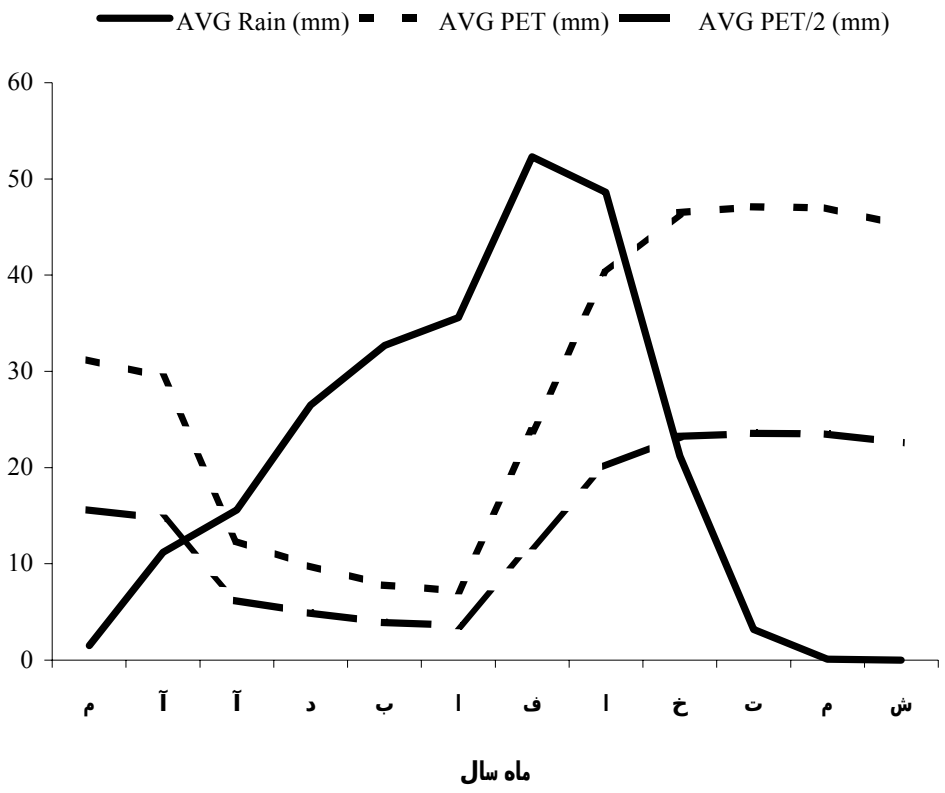
شرایط، تولید محصولات زراعی تنها در صورت انجام آبیاری کافی امکان پذیر خواهد بود، بنابراین در شرایط دیم محدودیتهای جدی بهمراه خواهد داشت (۱۸).

**جدول ۱-** طول فصل رشد (تعداد روزهای بدون یخبندان) در ایستگاههای مختلف در شرایط حاضر (احتمال ۷۵٪) و مقادیر آن برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بر اساس نتایج مدل گردش عمومی.

| ایستگاه | طول بالقوه فصل رشد (تعداد روزهای فاقد یخبندان) | | |
|---|---|---|---|
| | فعلی | ۲۰۲۵ | ۲۰۵۰ |
| اراک | ۲۱۹ | ۲۴۰ | ۲۵۴ |
| ارومیه | ۲۱۷ | ۲۳۴ | ۲۴۶ |
| تبریز | ۲۲۱ | ۲۳۵ | ۲۵۳ |
| خرم آباد | ۲۵۸ | ۲۷۴ | ۲۸۹ |
| خوی | ۲۱۵ | ۲۳۲ | ۲۴۰ |
| زنجان | ۱۸۴ | ۲۰۰ | ۲۱۷ |
| سقز | ۱۸۴ | ۲۰۴ | ۲۲۰ |
| سنندج | ۲۰۴ | ۲۲۵ | ۲۴۰ |
| شهرکرد | ۱۸۳ | ۲۰۳ | ۲۲۵ |
| قزوین | ۲۱۷ | ۲۴۰ | ۲۵۶ |
| کرمانشاه | ۲۰۸ | ۲۲۴ | ۲۴۳ |
| همدان | ۱۸۱ | ۱۹۵ | ۲۱۴ |

نتیجه گیری بر اساس درجه حرارت بعنوان مبنای تعیین طول فصل رشد در مورد محصولات دیم چندان منطقی نمی باشد. زیرا نتایج مربوط به طول فصل رشد محاسبه شده بر مبنای درجه حرارت مؤید افزایش طول فصل رشد در مناطق دیمکاری کشور است (جدول ۱)، در حالیکه محاسبهٔ طول فصل رشد بر اساس روش FAO و با احتساب رطوبت قابل استفاده گیاه، کاهش طول دورهٔ رشد را در مناطق تولید گندم کشور تأیید می‌کند. در شکل ۱ طول فصل رشد محاسبه شده به روش FAO را برای ایستگاه کرمانشاه نشان داده شده است. طول فصل رشد در سایر ایستگاههای تحت بررسی نیز به همین روش برای شرایط فعلی و تغییر اقلیم تعیین گردید (جدول ۲).

افزایش درجه حرارت سرعت رشد و نمو محصولات زراعی را افزایش خواهد داد، با این حال شواهد آزمایشی نشان داده است که تحت این شرایط، طول دورهٔ رسیدگی دانه در غلات و گیاهان دانه ای کوتاه تر خواهد شد (۱۹). بروز این پدیده چنانچه با خشکی و کمبود آب همراه باشد، اثرات شدیدی را بر کاهش عملکرد به همراه خواهد داشت و در واقع در شرایط گرمایش ناشی از تغییر اقلیم، افزایش تبخیر و تعرق و نهایتاً کمبود آب قابل استفاده عامل اصلی محدود کنندهٔ فصل رشد برای گندم دیم خواهد بود. از سوی دیگر پدیدهٔ تغییر اقلیم با تأثیر بر نزولات، طول دورهٔ خشکی در مناطق دیم خیز کشور را تحت تأثیر قرار خواهد داد. شدت این تأثیر تابع میزان تغییر درجه حرارت و نزولات می‌باشد. طول دورهٔ خشکی در اثر تغییر اقلیم در مناطق تحت بررسی در این مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، در تمامی مناطق دیم خیز کشور طول دورهٔ خشکی در شرایط تغییر اقلیم تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد.




**شکل ۱**- طول واقعی فصل رشد بر اساس روش FAO و با احتساب رطوبت قابل استفاده گیاه برای ایستگاه کرمانشاه. محاسبات برای شرایط فعلی و بر اساس میانگین داده‌های ۳۰ ساله انجام شده است. (جهت توضیحات به متن مراجعه شود).

تغییر طول دورهٔ خشکی در شرایط تغییر اقلیم برای اکثر مناطق نیمه خشک جهان از جمله استرالیا ( ۷)، چین (۱۷) و بخشهایی از آمریکا (۲۰) گزارش شده است. تنش آب در طول مراحل نمو بسته به شدت آن بر گیاهان زراعی تأثیر خواهد گذاشت. این اثرات را می‌توان بصورت تجمعی محاسبه کرد. چنین اطلاعاتی را می‌توان از داده‌های آب و هوایی و نیاز آبی گیاه بدست آورد. در واقع تحت این شرایط، با ترکیب مجموع تنش آبی وارد شده به گیاه (شاخص کمبود آب)، میزان مصرف آب بوسیله گیاه، تبخیر و تعرق واقعی و برخی عوامل مؤثر بر این پارامتر ها، می‌توان نوعی تابع عملکرد را جهت پیش بینی عملکرد کالیبره کرد (۱۰).

در این مطالعه کمبود بارندگی براساس کل دورهٔ رشد (از کاشت تا برداشت) محاسبه شده و نتایج برای ایستگاههای تحت بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج این جدول حاکی از کمبود شدید بارندگی در شرایط اقلیمی آینده می باشد. این کمبود که هم ناشی از کاهش میزان بارش و هم به دلیل افزایش تبخیر و تعرق حقیقی در اثر بالارفتن درجه حرارت می‌باشد اثرات قابل توجهی بر عملکرد خواهد داشت (۱۲).

**جدول ۲**- طول فصل رشد در ایستگاههای مختلف در شرایط فعلی (بر اساس آمار درجه حرارت) و مقادیر آن برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بر اساس روش FAO و با احتساب رطوبت قابل استفاده گیاه محاسبه شده است.

| ایستگاه | طول بالقوه فصل رشد (تعداد روزهای فاقد یخبندان) | | |
|---|---|---|---|
| | فعلی | ۲۰۲۵ | ۲۰۵۰ |
| اراک | ۲۱۹ | ۲۰۴ | ۱۹۲ |
| ارومیه | ۲۱۷ | ۲۰۱ | ۱۸۳ |
| تبریز | ۲۲۱ | ۲۰۸ | ۱۹۰ |
| خرم آباد | ۲۵۸ | ۲۲۲ | ۲۰۳ |
| خوی | ۲۱۵ | ۲۰۱ | ۱۷۸ |
| زنجان | ۱۸۴ | ۱۷۶ | ۱۶۵ |
| سقز | ۱۸۴ | ۱۷۳ | ۱۶۱ |
| سنندج | ۲۰۴ | ۱۸۸ | ۱۷۲ |
| شهرکرد | ۱۸۳ | ۱۷۱ | ۱۶۰ |
| قزوین | ۲۱۷ | ۲۰۰ | ۱۸۲ |
| کرمانشاه | ۲۰۸ | ۱۸۹ | ۱۷۳ |
| همدان | ۱۸۱ | ۱۷۰ | ۱۶۲ |

طول فصل رشد در شرایط فعلی مشابه جدول ۱ بر اساس تعداد روزهای بدون یخبندان محاسبه شده است.

چنانچه شاخص کمبود بارندگی به میزان پیش بینی شده در شرایط تغییر اقلیم سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ در مناطق دیم خیز کشور تحقق یابد، بدون تردید بسیاری از مناطق فعلی تولید گندم دیم استعداد خود را جهت این سیستم تولید از دست خواهند داد. چنین پدیده ای جهت اکثر مناطق فعلی تولید دیم در جهان از جمله چین (۱۷)و استرالیا (۷) در شرایط تغییر اقلیم پیش بینی شده است. مطالعات انجام شده در استرالیا حاکی از آن است که تأثیر تغییر اقلیم بر کاهش شاخص کمبود بارندگی عمدتاً به دلیل افزایش میزان تبخیر و تعرق بالقوه است. با این حال نتایج این تحقیق برای مناطق دیم خیز کشور نشان میدهد که هر دو پارامتر بارندگی و تبخیر و تعرق سهم تقریباً یکسانی در نوسانات شاخص کمبود بارندگی دارند.

**جدول ۳**- طول فصل خشک (روز) در شرایط فعلی و مقادیر محاسبه شده آن برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰.

| ایستگاه | طول فصل خشک | | |
|---|---|---|---|
| | فعلی | ۲۰۲۵ | ۲۰۵۰ |
| اراک | ۱۷۶ | ۱۸۴ | ۱۹۲ |
| ارومیه | ۱۷۰ | ۱۸۰ | ۱۸۹ |
| تبریز | ۱۵۶ | ۱۶۳ | ۱۷۳ |
| خرم آباد | ۲۰۳ | ۲۱۳ | ۲۲۲ |
| خوی | ۱۷۶ | ۱۸۸ | ۱۹۷ |
| زنجان | ۱۶۹ | ۱۸۱ | ۱۹۰ |
| سقز | ۲۲۰ | ۲۲۹ | ۲۳۶ |
| سنندج | ۱۶۴ | ۱۷۳ | ۱۸۲ |
| شهرکرد | ۲۰۷ | ۲۱۵ | ۲۲۳ |
| قزوین | ۱۶۷ | ۱۷۴ | ۱۸۴ |
| کرمانشاه | ۱۷۷ | ۱۸۵ | ۱۹۴ |
| همدان | ۱۶۵ | ۱۷۴ | ۱۸۴ |

**جدول ۴**- مقادیر محاسبه شده برای شاخص کمبود بارندگی (کمبود آب) جهت گندم دیم در ایستگاههای تحت بررسی، مقادیر مربوط به شرایط فعلی با نتایج محاسبه شده براساس مدل گردش عمومی در سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ مقایسه شده است.

| ایستگاه | شاخص کمبود بارندگی (P-PET) (mm) | | |
|---|---|---|---|
| | فعلی | ۲۰۲۵ | ۲۰۵۰ |
| اراک | ۶۸/۵ | ۸۰/۳ | ۹۵/۲ |
| ارومیه | ۷۲/۳ | ۸۴/۹ | ۹۸/۶ |
| تبریز | ۷۰/۸ | ۸۷/۱ | ۹۴/۹ |
| خرم آباد | ۷۲/۴ | ۹۰/۱ | ۹۹/۶ |
| خوی | ۶۹/۲ | ۷۷/۵ | ۹۰/۳ |
| زنجان | ۷۴/۳ | ۸۸/۸ | ۱۰۱/۶ |
| سقز | ۷۱/۵ | ۸۵/۳ | ۹۷/۷ |
| سنندج | ۸۱/۸ | ۹۳/۲ | ۱۰۵/۸ |
| شهرکرد | ۶۵/۷ | ۸۰/۲ | ۹۳/۱ |
| قزوین | ۸۳/۹ | ۱۰۰/۱ | ۱۱۶/۲ |
| کرمانشاه | ۷۷/۴ | ۸۹/۹ | ۱۰۰/۲ |
| همدان | ۷۶/۲ | ۸۸/۳ | ۱۰۳/۱ |

نسبت بارندگی ماهانه در سناریوی تعریف شده برای تغییر اقلیم آینده به میزان بارندگی مبنا، (میانگین درازمدت فعلی ایستگاههای تحت بررسی) و نیز نسبت تبخیر و تعرق بالقوه ماهانه در شرایط تغییر اقلیم به تبخیر و تعرق مبنا تقریباً برای تمام ماههای سال در مناطق تولید گندم کشور کمتر از ۱ بوده و در شرایط سال ۲۰۵۰ پایین تر از سال ۲۰۲۵ می‌باشد. البته لازم به ذکر است که برای برخی استانهای غرب کشور (همدان و کرمانشاه) این نسبتها در ماههای زمستان و بویژه در شرایط سال ۲۰۲۵ در حدود ۱ بوده که مؤید تبخیر کمتر آن در ماههای سرد در مقایسه با بهار می‌باشد.

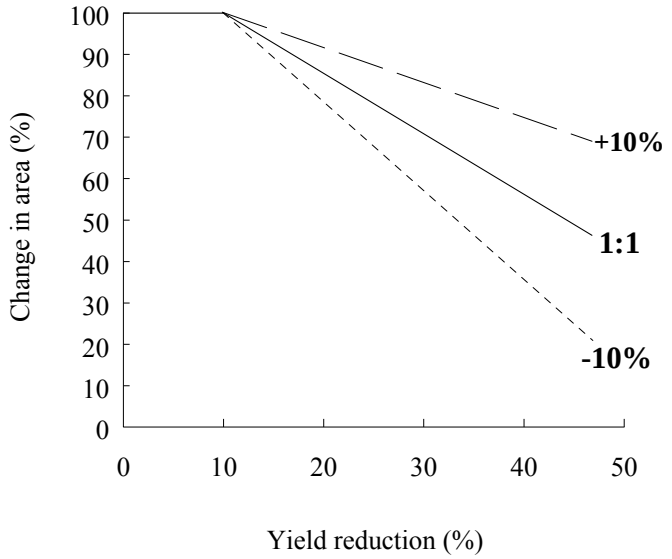
پیش بینی محققین در برخی از کشورهای جهان حاکی از آن است که در طی چند دهۀ گذشته، افزایش شدت و دور برگشت خشکسالی باعث کاهش قابل ملاحظه ای در سطح زیر کشت گندم دیم شده است ( مثلاً در استرالیا ). برای مثال چنانچه بهره وری یا استعداد اراضی دیم بین ۴۰-۳۰ درصد کاهش یابد بسیاری از اراضی حاشیه ای فعلی غیر قابل استفاده خواهند بود و بخش هایی از زمین‌های مستعد فعلی بصورت حاشیه ای در خواهند آمد و تنها مناطقی که در حال حاضر از بارش ( متوسط یا زیاد) برخوردارند به صورت زمینهایی مستعد کشت دیم باقی خواهند ماند. این پدیده عامل مهمی در سناریوهای اقلیمی است که مؤید کاهش قابل توجه عملکرد بالقوۀ گندم می‌باشد (۸).

در این مطالعه، به منظور ارائه نمایی کلی از وضعیت احتمالی تغییر در سطح زیر کشت گندم دیم کشور در ارتباط با کاهش نزولات از روش ساده ای استفاده شد. به این منظور فرض شد که چنانچه کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش تولید در منطقه (مناطقی که تولید دیم بصورت گسترده در حال حاضر انجام می‌شود) به میزان ۱۰ ٪ نسبت به تولید بالقوه پیش بینی شده کاهش یابد، تغییری در سطح زیر کشت بوجود نخواهد آمد. این فرض بر این پایه استوار است که با کاهش ۱۰ درصدی عملکرد، تولید کنندگان قادر خواهند بود با استفاده از روشهای نسبتاً ساده سازگاری بر مشکل غلبه کنند لذا سطح زیر کشت کاهش جدی نخواهد داشت (۲۰). در بالاتر از این سطح کاهش عملکرد، متناسب با شدت کاهش آن، سطح زیر کشت نیز کاهش خواهد یافت. جهت

تحلیل بهتر این پاسخ، سه وضعیت مختلف انتخاب گردید. تغییر ۱:۱ سطح زیر کشت با کاهش پتانسیل عملکرد، تغییر به میزان ۲۰ ٪ بیشتر و نیز ۲۰ ٪ کمتر از نسبت ۱:۱ که دو منطقه بالا و پایین پاسخ را نشان میدهند. جهت روشن شدن روش بکار رفته، نحوهٔ عمل بصورت ساده در شکل ۲ نشان داده شده است.

با بکارگیری این روش ساده ولی واقع گرایانه می‌توان برآورد کرد که در صورت بروز تغییرات اقلیمی آینده و کاهش میزان بارش ناشی از آن که نهایتاً منجر به کاهش عملکرد بالقوه گندم دیم خواهد شد، سطح زیر کشت این محصول در چه محدوده‌ای تغییر خواهد کرد. هاودن و جونز (۸) در مطالعه ای که بر روی عکس العمل تولیدات گندم استرالیا به تغییر اقلیم انجام دادند، هزینه و سود حاصل از تغییر غلظت گازکربنیک آتمسفر و پی آمدهای آن بر تولید گندم را مورد بررسی قرار داده اند. در این تحقیق مشخص شد که در صورت عدم استفاده از روش‌های سازگاری به شرایط تغییر اقلیم (نظیر انتخاب یا اصلاح ارقام جدید گندم، استفاده از روشهای جدید مدیریت و نظایر آن) در مناطق نیمه خشک استرالیا سطح زیر کشت گندم به دلیل کاهش عملکرد بالقوه به طور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد یافت و این امر منجر به کاهش چشمگیر اقتصاد تولید گندم در این کشور خواهد شد. البته در این مطالعه با وارد کردن روشهای سازگاری در مدلهای شبیه سازی نشان داده شد علیرغم هزینه ای که برای اجرایی کردن این روشها لازم است، سود حاصل قابل قبول بوده و با جبران کاهش عملکرد، سطح زیر کشت تغییر چندانی نخواهد کرد (۸).

تجزیه و تحلیل اقتصادی تأثیر تغییر اقلیم بر تولیدات گندم دیم کشور موضوع بسیار مهمی است که لازم است در بررسی‌های بعدی مورد توجه قرار گیرد. با وجودیکه در پژوهش حاضر، ارزیابی اقتصادی اثرات تغییر اقلیم مورد نظر نبوده است ولی نتایج بدست آمده از روش ساده فوق الذکر نشان داد که سطح زیر کشت در استانهای مختلف کشور در سناریوهای آینده اقلیمی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. میزان نسبی این تغییرات در جدول ۵ ارائه شده است.




**شکل ۲** - تغییر در سطح زیر کشت در اثر تغییر در عملکرد بالقوه. تا ۱۰٪ کاهش عملکرد تغییری در سطح زیر کشت ظاهر نمی شود بعد از آن سطح زیر کشت با ۳ الگوی فرضی به ترتیب با نسبت‌های ۱:۱ و ۲۰٪ کمتر یا بیشتر از ۱:۱ بر حسب کاهش عملکرد، تقلیل خواهد یافت.

باید توجه داشت که این کاهش سطح زیر کشت گندم دیم بصورت مطلق نمی باشد، بدین معنی که این امکان وجود خواهد داشت که برخی از اراضی فعلی که کاربردی غیر از تولید گندم دیم دارند در صورت بروز تغییر اقلیم به کشت دیم اختصاص یابند. پیش بینی‌های انجام شده امکان تغییر کاربری اراضی در شرایط اقلیمی آینده را در برخی کشورهای جهان تائید کرده است (۲۰). چنانچه چنین تغییری در کشور ایران نیز صورت گیرد، مقادیر ذکر شده در جدول ۵ نیز تغییر خواهد کرد، به این دلیل باید این مقادیر را بصورت نسبی مورد توجه قرار داد.

**جدول ۵**- تغییرات (میزان کاهش) سطح زیر کشت گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی. جهت جزئیات بیشتر در مورد نحوهٔ محاسبه این مقادیر به متن مراجعه شود.)

| ایستگاه | تغییر سطح زیر کشت گندم دیم ( ٪) | |
|---|---|---|
| | ۲۰۲۵ | ۲۰۵۰ |
| اراک | ۲۱/۶-۱۴/۵ | ۲۸/۸-۱۹/۲ |
| ارومیه | ۱۹/۳-۱۵/۸ | ۲۷/۶-۱۸/۵ |
| بجنورد | ۲۷/۶-۱۸/۵ | ۴۴/۵-۲۹/۶ |
| تبریز | ۱۸/۰-۱۲/۰ | ۲۵/۵-۱۷/۰ |
| خرم آباد | ۲۶/۴-۱۹/۲ | ۳۴/۵-۲۳/۲ |
| خوی | ۲۴/۰-۱۸/۰ | ۳۷/۲-۲۴/۸ |
| زنجان | ۲۸/۸-۱۹/۲ | ۳۷/۲-۲۴/۸ |
| سقز | ۲۲/۹-۱۶/۱ | ۳۱/۲-۲۰/۸ |
| سنندج | ۲۰/۴-۱۶/۱ | ۳۰/--۲۰/۰ |
| شهرکرد | ۲۵/۲-۱۷/۳ | ۳۴/۵-۲۳/۴ |
| شیروان | ۳۲/۱-۲۱/۶ | ۴۶/۲-۳۰/۲ |
| قزوین | ۳۰/--۲۰/۰ | ۳۹/۵-۳۶/۴ |
| کرمانشاه | ۲۴/۰-۱۶/۰ | ۳۲/۱-۲۱/۷ |
| همدان | ۲۶/۴-۱۷/۶ | ۳۴/۸-۲۳/۲ |
| میانگین | ۲۴/۲-۱۶/۴ | ۳۳/۵-۲۳/۰ |

با توجه به وسعت فعلی اراضی دیم کشور به نظر می‌رسد کاهش سطح زیر کشت پیش بینی شده که میانگین آن برای سال ۲۰۲۵ میلادی در کشور در محدودهٔ ۲۵-۱۶ درصد و برای سال ۲۰۵۰ میلادی در محدودهٔ ۳۳-۲۳ درصد قرار دارد قابل توجه باشد. بعلاوه بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، در عین حال کاهش قابل ملاحظه ای نیز در عملکرد گندم دیم کشور حاصل خواهد شد. ترکیب این دو عامل، یعنی کاهش سطح زیر کشت و کاهش عملکرد در مناطق دیم باعث کاهش جدی تولید گندم دیم در ۲۵ تا ۵۰ سال آینده در کشور می‌گردد.

## جمع بندی

نتایج این تحقیق نشان داد که بطور کلی درجه حرارت در مناطق دیم خیز کشور افزایش یافته در حالیکه میزان بارش سالانه و فصلی کاهش خواهد یافت. این تغییرات با تأثیر بر میزان تبخیر و تعرق در شرایط دیم، طول فصل رشد گندم،

طول فصل خشک و شاخص کمبود بارش را کاهش داده و بسیاری از فرآیندهای رشد گندم از جمله سرعت رشد محصول و عملکرد را به دلیل کاهش میزان آب قابل استفاده به میزان قابل توجهی کاهش خواهد داد. شدت کاهش با عمیق تر شدن شرایط تغییر اقلیم از سال ۲۰۲۵ به سال ۲۰۵۰ بیشتر خواهد بود. بعلاوه به منظور ارزیابی تغییر سطح زیر کشت گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم که عمدتاً در پاسخ به کاهش عملکرد صورت می‌گیرد روش ساده ای مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده سطح زیر کشت گندم دیم کشور نیز دچار کاهش قابل توجهی خواهد شد. بنابراین ترکیب توام کاهش عملکرد و کاهش سطح زیر کشت، تولیدات کل گندم دیم کشور را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش خواهد داد. به نظر می‌رسد تحت این شرایط، بخشی از مناطق مستعد دیم کشور به اراضی حاشیه ای تبدیل شده و یا بطور کلی استعداد تولید خود در شرایط دیم را به دلیل محدودیت میزان نزولات از دست بدهند. با وجودیکه ارزیابی اقتصادی نظام تولید گندم دیم کشور در شرایط اقلیمی آینده از اهداف این تحقیق نبوده است ولی نتایج بدست آمده بطور ضمنی مؤید بروز مشکلات اقتصادی در این نظام‌ها نیز می‌باشد.

**قدردانی:** بودجه این تحقیق توسط سازمان هواشناسی کشور تامین شده که بدین وسیله قدردانی می‌شود.

## منابع


۱- کوچکی، ع. ۱۳۸۲ بررسی تغییرات شاخص‌های اقلیمی کشاورزی با هدف تغییر اقلیم. سازمان هواشناسی کشور.

۲- کوچکی، ع. وم. نصیری. ۱۳۷۰. اکولوژی گیاهان زراعی : روابط گیاهان و محیط. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۳- کوچکی، ع. م. نصیری، ح.شریفی، ا. سلطانی و غ. کمالی. ۱۳۸۲. پیش بینی آب و هوای ایران در شرایط دو برابر شدن غلظت گاز کربنیک بوسیله مدلهای گردش عمومی. بیابان: (۲)۸: ۹۵-۸۳.

4- Antle, J. M. 1995. Climate change and agriculture in developing countries. American Journal of Agricultural Economics. 77:741–46.

5- Downing, T. E., L. Ringlus, M. Hulme, and D. Waughray. 1997. Adapting to climate: Cold Regions. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 809-825.

6- Fischer, G., H. Velthuizen, M. Shah, and F. Nachtergaele. 2002. Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

7- Howden, S. M., P. J. Reyenga, and H. Meinke. 1999. Global change impacts on Australian wheat cropping: studies on hydrology, fertilizer management and mixed crop rotations. Report to the Australian Greenhouse Office. CSIRO Wildlife and Ecology, Working Paper 99/13, Canberra.

8- Howden, M. and R. Jones. 2001. Costs and benefits of $CO_2$ increase and climate change on the Australian wheat industry. Australian Greenhouse Office, October 2001.

9- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. (Houghton, J.T.,Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer,P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson. (Eds.). Contribution of Working

Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

10- Monteith, J.L. 1981. Climatic variation and the growth of crops. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 107: 749-774.

11- Menzel, A. and P. Fabian. 1999. Growing season extended in Europe. Nature. 397: 659.

12- Pauw, E. De , W. Gbela, and H. Adamb 2000. Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. Agricultural and Forest Meteorology. 103: 43–58

13- Richardson, C.W. 1984. WGEN: a model for generating daily weather variables. U.S. Departemnt of Agriculture, Agricultural Research Service. ARS-8, 83pp.

14- Rosenzweig, C. and M. L. Parry.1994. Potential impacts of climate change on world food supply. Nature, 367:133-138.

15- Saunders, M. A. 1998. Global warming: the view in 1998. Beneld Greig Hazard Research Centre Report, University College London.

16- Smith, J. B. and M. Hulme. 1998. Climate change scenarios. In: UNEP Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Studies (Burton, I.,J. F. Feenstra, J.B. Smith, and R. S. J. Tol,) (Eds). Version 2.0, United Nations Environment Programme and Institute for Environmental Studies. Vrije Universiteit, Amsterdam, 2-9, 3-1 to 3-40.

17- Tao, Z. 1993. Influences of global change on agriculture of China. In: Climate Biosphere Interactions, John Wiley & Sons, Inc., New York.

18- Tubiello, F. N., C. Rosenzweig, B. A. Kimball, P. J Pinterm G.W. Wall, D. J. Hunsaker, R. L Lamorte, and R. L. Garcia. 1999. Testing CERES-Wheat with FACE data: $CO_2$ and water interactions. Agron. J. 91: 1856-1865

19- Turner, N. C. 2001. Optimizing water use. In: Nosberger, H. A. and P. C. Struik (Eds.) International Crop Science. CAB International, Wallingford, UK. pp. 119-135.

20- White, R. P., D. Tunstall, and N. Henniger. 2002. An ecosystem approach to drylands: Building support for new development policies. World Resources Institute, Information Policy Brief. No. 1. 14 pp.

# Effects of climate change on agroclimatic indices in rainfed wheat production areas of Iran

**M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki**[1]

## Abstarct

Despite the importance of all climatic parameters for crop growth and productivity, temperature and rainfall are more crucial compared to others and almost all climatic and agroclimatic indices are based on these two variables. Climate change will lead to variation in agroclimatic indices and evaluation of this variation is a key to study crop response to future climatic conditions. Length of growing period (LGP) and rainfall deficit index could be used as indictors for assessment of potential impact of climate change of rainfed systems. To study this impact long-term weather data of main rainfed wheat production areas of Iran were collected. UKMO general circulation model was used for perdiction of climatic parameters of selected stations for years 2025 and 2050 based on pre defined scenarios of IPCC for this target years. LGP, length of dry season and rainfall deficit index were calculated from present data and the generated data for target years. The results showed that LGP based on temperature would be increased in all rainfed areas of country. However, including the water availability in the calculation was led to a lowered LGP. Reduction of LGP for the studied stations was in the range of 8-36 and 19-55 days for years 2025 and 2050, respectively. Rainfall deficit index for 2025 and 2050 was varied, respectively at 8.3-17.7 and 21.1-32.3 mm. It was estimated that under climatic condition of years 2025 and 2050 the cultivated areas in the main rainfed production regions of the country would be reduced by 16-25 and 23-33%, respectively.

**Keywords:** Climate change, rainfed wheat, general circulation model, length of growing period, rainfall deficit index.

1-Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.