

## بررسی رخدادهای تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه (مطالعه موردی: بهشهر)

مجید سلیمانی ننادگانی<sup>۱\*</sup>، مسعود پارسی نژاد<sup>۲</sup>، شهاب عراقی نژاد<sup>۳</sup> و علیرضا مساح بوانی<sup>۴</sup>

### چکیده

در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر تاریخ کاشت، طول دوره رشد و تبخیر و تعرق گندم در دوره‌های آبی در منطقه بهشهر بررسی شده است. در ابتدا رخدادهای تغییر اقلیم در منطقه با دو آزمون روند Mann-Kendall و Sen's Estimator ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بارندگی در هیچ یک از فصول سال روند معناداری ندارد در حالی که درجه حرارت در فصل‌های تابستان، پاییز و زمستان روند افزایشی دارد. در ادامه با کوچک مقیاس‌سازی آماری داده‌های خروجی مدل‌های HadCM3 و CGCM3 پارامترهای اقلیمی حداکثر و حداقل درجه حرارت منطقه تحت سناریو A2، در دوره‌های زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰، شبیه‌سازی شدند. مراحل فنولوژیکی گیاه و طول دوره رشد با استفاده از شاخص GDD محاسبه و تبخیر و تعرق پتانسیل به کمک مدل هارگریوز-سامانی برآورد شد. نتایج این بخش نشان داد که در دوره‌های آبی، درجه حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایشی بین ۱ تا ۲ درجه سانتیگراد تا پایان سال ۲۱۰۰ خواهد داشت. تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم بین ۹ تا ۲۷ روز افزایش و طول دوره رشد گیاه بین ۴ تا ۱۴ روز کوتاهتر خواهد شد. اگر چه تبخیر و تعرق روزانه گیاه در طول فصل رشد افزایش می‌یابد اما در مجموع تبخیر و تعرق کل فصل رشد گیاه به دلیل کوتاهتر شدن دوره رشد کاهش خواهد یافت.

### واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، زمان کاشت، طول دوره رشد، تبخیر و تعرق و گندم

ارجاع: سلیمانی ننادگانی م. پارسی نژاد م. عراقی نژاد ش. و مساح بوانی ع. ۱۳۹۰. بررسی رخدادهای تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه (مطالعه موردی: بهشهر). مجله پژوهش آب ایران، ۱۱(۱۰): ۲۰-۱۱.

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۴- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [msn8326@gmail.com](mailto:msn8326@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۰۳

## مقدمه

گیاهان گندم و ذرت برای دوره ۲۱۰۰-۱۹۹۰ در ساحل شرقی دریای مدیترانه در ترکیه پرداختند. تحقیق آنها نشان داد که افزایش درجه حرارت، رشد فیزیولوژیکی هر دو گیاه را سرعت می‌بخشد باعث زودرس شدن محصول می‌شود و کاهش دوره رشد می‌شود. هاورکورت و ورهاگن (۲۰۰۸)، طی تحقیقی تغییر اقلیم و اثرات آن را بر زنجیره تأمین سیب زمینی در اروپا بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در اروپای شمالی تغییر اقلیم باعث طولانی شدن فصل رشد خواهد شد. لوم و همکاران (۲۰۰۹)، اثر پتانسیل تغییر اقلیم بر گندم دوروم در دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در نواحی شمالی و مرکزی تانزانیا را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که درجه حرارت در هر دو ناحیه افزایش، میانگین بارندگی سالانه در مرکز افزایش و در شمال کاهش می‌یابد. کاشت گندم در هر دو منطقه زودتر انجام شده و طول چرخه رشد گندم کاهش می‌یابد. درکشور ما در خصوص اثر تغییر اقلیم بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی منطقه بهشهر با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی مطالعه‌ای انجام نشده، بنابراین در این تحقیق این موضوع بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

در این قسمت ابتدا منطقه مطالعاتی که شهرستان بهشهر است، معرفی می‌شود، سپس چگونگی آشکارسازی تغییر اقلیم در دوره‌های گذشته در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه توضیح داده می‌شود. در ادامه روش مورد استفاده برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی منطقه در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم شرح داده می‌شود. همچنین چگونگی بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر جابجائی تاریخ کاشت و تغییرات طول دوره رشد در آینده ارائه خواهد شد. در انتها نیز روش مورداستفاده در این تحقیق برای محاسبه تبخیر و تعرق گندم توضیح داده خواهد شد.

## منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه شهرستان بهشهر در شرق استان مازندران قرار دارد که از شمال به دریای خزر، از جنوب به

تغییرات اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسان نه تنها بر رواناب و دبی رودخانه‌ها تأثیر گذار است بلکه بر مقدار نیاز آبی نیز اثر می‌گذارد. اگر منطقه یا ناحیه‌ای خشک‌تر و گرم‌تر شود، آب قابل دسترس کاهش یافته که این مشکل با افزایش نیاز آبی تشدید هم خواهد شد. تغییر در طول دوره رشد و میزان تبخیر و تعرق از سطح گیاهان از جمله آثار تغییر اقلیم می‌باشند که می‌تواند تقاضای آب در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات زیادی در خصوص آشکارسازی پدیده تغییر اقلیم، چگونگی وقوع آن در آینده و تأثیر آن بر کشاورزی در مناطق مختلف جهان انجام شده که از آن جمله می‌توان به تحقیقات سو و همکاران (۲۰۰۶)، مدرس و سیلوا (۲۰۰۷)، حجام و همکاران (۱۳۸۶) و مدرسی و عراقی‌نژاد (۱۳۸۹) در روندیابی دما و بارش با استفاده از آزمون من-کندل و بعضی دیگر آزمون‌ها نظیر آزمون همگنی و *Sen's Estimator* اشاره کرد که در همه این مطالعات تغییراتی در روند بارش یا دما و یا دبی رودخانه‌ها مشاهده شده است. در خصوص اثر تغییر اقلیم بر زمان کاشت، طول دوره رشد و تبخیر تعرق گیاه با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی تحقیقاتی در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است. مثلاً یو و همکاران در سال ۲۰۰۲ با بررسی روند تبخیر و تعرق در شالیزارهای تایوان اعلام کردند تا سال ۲۰۵۰، ۳ تا ۵ درصد تبخیر و تعرق برنج اضافه خواهد شد. رودریگز دیز و همکاران (۲۰۰۷)، با بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی در حوضه رودخانه جودالکویر در اسپانیا نشان دادند که نیاز آبی یک فصل زراعی در دهه ۲۰۵۰ بین ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش خواهد یافت که این افزایش بستگی به محل و الگوی کشت و نیز تغییرات مقدار آب مصرفی در طول فصل زراعی دارد. الکالی و همکاران (۲۰۰۷)، با شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم منطقه ای بر تخصیص آب آبیاری در حوضه رودخانه آرکانساس در کولورادو با استفاده از دو مدل گردش عمومی *HAD* و *CCC*، اعلام کردند که هر دو مدل، افزایش نیاز آبی را پیش بینی کرده‌اند. یانو و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از مدل‌های *ECHAM4*، *CGCM2* و *MRI* به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نیاز آبی

اطمینان  $\alpha$ ، فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که  $Z > 0$  باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که  $Z < 0$  باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. مقادیر این آماره در سطح اطمینان ۰.۹۵ و ۰.۹۹ به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ است.

در روش *Sens* برای هر جفت داده یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده بدست می‌آید که از محاسبه میانه،  $Q_{med}$ ، این سری زمانی شیب خط روند، حاصل می‌شود. مقدار مثبت میانه، صعودی بودن و مقدار منفی آن نزولی بودن روند را نشان می‌دهد. در مرحله بعد باید پارامتر  $C_\alpha$  در سطح اطمینان مورد نظر توسط معادله ۱ محاسبه شود:

$$C_\alpha = z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{\text{var}(s)} \quad (1)$$

که در آن،  $Z$  آماره توزیع نرمال استاندارد است.  $\text{var}(s)$  واریانس  $S$  بوده که از معادله ۲ بدست می‌آید:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2)$$

که در آن،  $m$ : تعداد گره‌ها و  $t$ : تعداد داده در هر گره می‌باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر

مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره  $m$  ام برابر  $t$  است.

حال باید حدود اعتماد بالا و پائین  $M_1$  و  $M_2$  با معادله ۳ برآورد شود:

$$M_1 = \frac{N' + C_\alpha}{2} \quad (3\text{-الف})$$

$$M_2 = \frac{N' - C_\alpha}{2} \quad (3\text{-ب})$$

که در آنها  $N'$  تعداد شیب‌های محاسبه شده است. حال اگر مقادیر  $M_1$  امین و  $M_2 + 1$  امین شیب ( $Q_1$  و  $Q_2$ ) به

سلسله جبال البرز و استان سمنان، از شرق به استان گلستان و از غرب به شهرستان نکاء از توابع استان مازندران منتهی می‌شود (شکل ۱). این منطقه در موقعیت ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. اقلیم منطقه به صورت نیمه مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و مرطوب و بارندگی کم و زمستان‌های معتدل با بارندگی زیاد است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۵۷۷ میلیمتر و میانگین دمای سالیانه آن ۱۶ درجه سانتیگراد است. محصولات مختلفی نظیر گندم، جو و تنباکو در این منطقه کشت می‌شود که با توجه به اهمیت و نقش استراتژیک گندم در تأمین مواد غذایی، در این مطالعه این گیاه بررسی شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس)

### آشکار سازی تغییر اقلیم در دوره‌های گذشته

داده‌های اقلیمی حداکثر درجه حرارت، حداقل درجه حرارت و بارندگی تاریخی ۳۰ ساله از ایستگاه اقلیم‌شناسی تیرتاش تهیه گردید و با استفاده از دو آزمون ناپارامتری *Mann-Kendall* و *Sen's Estimator* روند تغییرات بارندگی و درجه حرارت به منظور آشکار سازی پدیده تغییر اقلیم در منطقه بررسی شد. آزمون ناپارامتری من-کندال با در نظر گرفتن دو فرض  $H_0$  و  $H_1$ ، برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می‌شود. آماره این آزمون ( $Z$ ) می‌باشد که دارای توزیع نرمال است. این آزمون، یک آزمون دو طرفه است، بنابراین در صورتی که  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد، در سطح

پایه برای گندم صفر درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد (رضائی و همکاران، ۱۳۸۷). در محاسبه GDD اگر حداقل دمای روزانه کمتر از دمای پایه بود، مساوی با آن قرار داده می‌شود همچنین اگر حداکثر دمای روزانه بیشتر از ۳۰ درجه سانتیگراد باشد برابر آن در نظر گرفته می‌شود (رضائی و همکاران، ۱۳۸۷). درجه روز-رشد لازم در هر یک از مراحل چهار گانه رشد گیاه در جدول ۱ آورده شده است. باید توجه داشت که مقادیر ارائه شده در جدول ۱ تحت شرایط اقلیمی گرگان می‌باشد. اما بررسی‌های انجام شده بر اساس طبقه بندی دومارتن نشان می‌دهد که این دو منطقه دارای اقلیم یکسان بوده (جدول ۲) لذا، در این تحقیق از اطلاعات جدول ۱ برای منطقه بهشهر استفاده شد.

جدول ۱- مقادیر GDD مورد نیاز در مراحل مختلف رشد گندم (رقم تجن) (رضائی و همکاران، ۱۳۸۷).

GDD	مرحله رشد
۱۲۵	از کاشت تا سبز شدن
۱۳۵۳	از کاشت تا گل دهی
۱۴۴۳	از کاشت تا شروع رشد دانه
۲۱۷۵	از کاشت تا رسیدگی

جدول ۲- اقلیم منطقه مطالعاتی در سیستم اقلیمی دومارتن بر اساس آمار ۳۰ ساله

ایستگاه	ضریب خشکی دو مارتن (IA)	بارندگی سالانه (mm)	متوسط دمای سالانه هوا (°C)
گرگان	۲۰/۴۴	۵۶۶/۲۸	۱۷/۷
بهشهر	۲۱/۸۴	۵۸۷/۶	۱۶/۹

#### تخمین تبخیر و تعرق گندم در بهشهر

برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق (ETc) گندم برای شرایط اقلیمی فعلی و آینده منطقه مورد مطالعه از معادله ۵ استفاده شد.

$$ETc = k_c \times ETo \quad (5)$$

که در آن  $k_c$  ضریب گیاهی و  $ETo$ : تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. مقادیر ضریب  $k_c$  در مراحل مختلف رشد بر اساس گزارش‌های FAO لحاظ شد، به این صورت که در مرحله اول رشد برابر با ۰/۷،

گونه‌ای باشد که عدد صفر بین آنها قرار گیرد، به عبارت دیگر یکی مثبت و دیگری منفی باشد، فرض صفر پذیرفته شده و سری زمانی هیچ گونه روندی نخواهد داشت. در غیر اینصورت فرض صفر رد و سری زمانی در سطح اطمینان مورد آزمون روند معنا دار دارد.

#### تولید سناریوی اقلیمی در دوره‌های آتی

شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی حداکثر و حداقل درجه حرارت در دهه‌های آینده با استفاده از نتایج خروجی مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی<sup>۱</sup> CGCM3 و HadCM3، تحت سناریوی A2، از سری سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۲</sup> IPCC، که حدی‌ترین شرایط را در نظر می‌گیرد، انجام گرفت. خروجی مدل‌های فوق دارای وضوح مکانی پائینی است، بنابراین برای تولید داده‌های اقلیمی درجه حرارت در سطح منطقه مورد مطالعه، این خروجی‌ها به روش آماری کوچک مقیاس شد که این کار با استفاده از نرم افزار SDSM4.2 (ویلبای و داوسون، ۲۰۰۷) در چهار دوره زمانی ۱۹۷۱-۲۰۰۰، ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ انجام شد و سپس از داده‌های شبیه‌سازی شده در مراحل بعد استفاده شد.

#### تأثیر تغییر اقلیم بر جابجایی تاریخ کاشت و تغییرات طول دوره رشد در آینده

حداقل دمای مناسب برای جوانه‌زنی و سبز شدن گندم ۴ درجه و حداکثر دمای مطلوب برای جوانه‌زنی ۲۵ درجه سانتیگراد است (رضائی و همکاران، ۱۳۸۷). در این تحقیق با در نظر گرفتن دامنه حرارتی ۴ تا ۲۵ درجه سانتیگراد بازه زمانی مناسب برای کاشت گندم در منطقه تعیین شد. همچنین با توجه به همبستگی هر مرحله رشد گیاه با عامل حرارتی دما، مراحل و طول دوره رشد گیاه با استفاده از شاخص درجه-روز رشد<sup>۳</sup>، و بر اساس معادله ۴ محاسبه شد (نصوحی، ۱۳۸۶؛ رضائی و همکاران، ۱۳۸۷).

$$GDD = \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} - T_{bas} \quad (4)$$

که در آن،  $T_{Min}$  و  $T_{Max}$  به ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و  $T_{bas}$  دمای پایه لازم برای نمو گیاه است. دمای

1- AOGCM

2- Intergovernmental Panel of Climate Change

3- Growing Degree Days (GDD)

که در آن  $T_{Max}$  و  $T_{Min}$  به ترتیب حداکثر و حداقل درجه حرارت در دوره مورد نظر (روزانه یا ماهانه) بر حسب درجه سانتیگراد هستند و در این تحقیق متوسط ده روزه در نظر گرفته شده‌اند.  $R_a$  تابش خورشیدی در بالای اتمسفر که برای ماه‌های مختلف سال و عرض‌های جغرافیایی مختلف، دارای مقادیر مختلف می‌باشد و  $k_T$  ضریب تصحیح است.

### نتایج و بحث

#### تغییرات بارندگی و دما در گذشته

نتایج حاصل از دو آزمون روند در جدول ۳، ارائه شده است. تغییرات بارندگی در هیچ یک از فصول سال روند معناداری ندارد، در حالی که درجه حرارت در تمام فصول سال دارای روند صعودی است. اگر چه در فصل بهار این افزایش معنادار نیست اما در فصل‌های تابستان و پاییز در سطح ۹۵٪ و در فصل زمستان در سطح ۹۹٪، معنادار می‌باشد. بنابراین می‌توان ادعا کرد که دمای منطقه در دوره‌های گذشته تحت تاثیر عواملی قرار گرفته که باعث افزایش آن شده است.

مرحله میانی (سوم) برابر با ۱/۱۵ و مرحله انتهایی برابر با ۰/۴ و بین مرحله اول و مرحله میانی و همچنین بین مرحله میانی و انتهایی مقادیر این ضریب به صورت خطی برآورد شد (نشریه FAO56). از آنجائی که پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده برای دوره‌های آبی درجه حرارت می‌باشد، برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل می‌بایست از مدل‌های مبتنی بر دما استفاده می‌شد که با انتخاب مدل پنمن-مونتیث به عنوان شاهد، مدل هارگریوز-سامانی در مقایسه با سایر مدل‌ها دارای دقت بیشتری در برآورد تبخیر و تعرق در منطقه می‌باشد، به همین دلیل از این مدل در این تحقیق استفاده شد. محاسبه  $ET_0$  با استفاده از مدل هارگریوز-سامانی به کمک معادلات زیر بدست می‌آید.

$$ET_0 = 0.0135 \times k_T \times R_a \times TD^{0.5} \quad (6)$$

$$\times (T + 17.8)$$

$$k_T = 0.00185 \times TD^2 - 0.0433 \times TD + 0.4023 \quad (7)$$

$$TD = T_{Max} - T_{Min} \quad (8)$$

جدول ۳- نتایج آزمون‌های روند در بهشهر

دمای میانگین				بارندگی				فصل
Mann-kendall	Sen's Estimator			Mann-kendall	Sen's Estimator			
z	Q1	Q2	Qmed	z	Q1	Q2	Qmed	
۰/۸۰۹	-۰/۰۱۹	۰/۰۴۷	۰/۰۱۹	۱/۹۲۰	۰/۰۰۰	۱/۰۷۴	۰/۵۰۱	بهار
۲/۵۴*	۰/۰۱۱	۰/۰۷۰	۰/۰۴۲	-۰/۴۰۸	-۰/۷۲۰	۰/۴۲۰	-۰/۱۳۴	تابستان
۱/۹۶*	۰/۰۰۰	۰/۰۵۹	۰/۰۲۶	۰/۶۸۱	-۰/۶۹۶	۱/۳۸۱	۰/۳۹۶	پاییز
۲/۶۱**	۰/۰۲۰	۰/۰۸۶	۰/۰۴۵	-۱/۱۸۵	-۰/۷۲۵	۰/۱۹۶	-۰/۳۲۴	زمستان

\*\* در سطح ۹۹٪ معنی دار است.

\* در سطح ۹۵٪ معنی دار است.

#### تغییرات دما در دوره‌های آبی

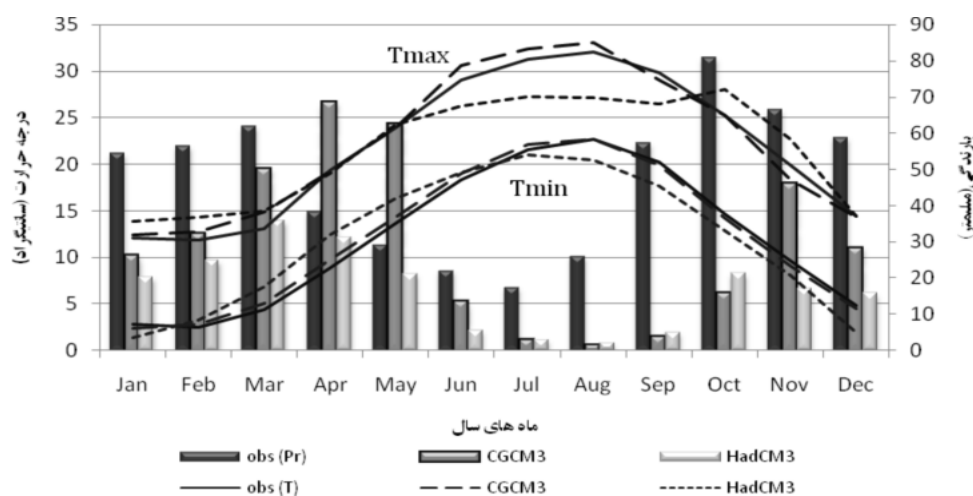
درجه حرارت و بارش شبیه‌سازی شده در دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰، با استفاده از کوچک مقیاس سازی اطلاعات دو مدل CGCM3 و HadCM3 و مقایسه آن با مقادیر مشاهداتی، در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین در جدول ۴ عملکرد دو مدل در شبیه‌سازی بارندگی و درجه حرارت آورده شده است. شاخص‌های

ضریب تبیین،  $R^2$ ، جذر میانگین مربعات خطا،  $RMSE$  و  $d$  شاخص توافق<sup>۱</sup>، به عنوان معیارهای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مقدار  $d$  بین صفر و یک تغییر می‌کند و هرچه به یک نزدیک تر باشد عملکرد مدل بهتر است. با مقایسه مقادیر مندرج در جدول ۴ و مشاهده شکل ۲ می‌توان گفت که مدل CGCM3 نتیجه بهتری در

ما معطوف به نتایج این مدل خواهد بود. در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، حداکثر درجه حرارت، بجز ماه دسامبر که تغییری در پی نخواهد داشت، در بقیه ماه‌های سال افزایش می‌یابد. حداقل درجه حرارت نیز در همه ماه‌های سال بجز ماه نوامبر و می، افزایش می‌یابد. بطور کلی میانگین افزایش دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۰/۵ درجه سانتیگراد است. در دوره زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰، حداکثر درجه حرارت، در همه ماه‌ها و حداقل درجه حرارت بجز ماه نوامبر در بقیه ماه‌های سال، افزایش می‌یابد. بطور کلی میانگین افزایش دما در این دوره نسبت به دوره پایه ۱ درجه سانتیگراد است. در دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰، هر دو پارامتر حداکثر و حداقل درجه حرارت، در همه ماه‌ها افزایش می‌یابد. بطور کلی میانگین افزایش دما در این دوره نسبت به دوره پایه ۲ درجه سانتیگراد است.

تخمین مقادیر درجه حرارت از خود نشان داده است اما در مورد بارندگی هیچ یک از مدل‌ها برتری برجسته‌ای بر دیگری نداشته و عملکرد تقریباً مشابهی دارند. به طور کلی مدل CGCM3 در شبیه‌سازی این پارامترهای اقلیمی از دقت و عملکرد بالاتری برخوردار است. در شکل ۳، روند و میزان تغییرات حداکثر و حداقل درجه حرارت به صورت ماهانه نشان داده شده است. قسمت‌های الف و ج، مربوط به مدل CGCM3 و قسمت‌های ب و د، مربوط به مدل HadCM3 است.

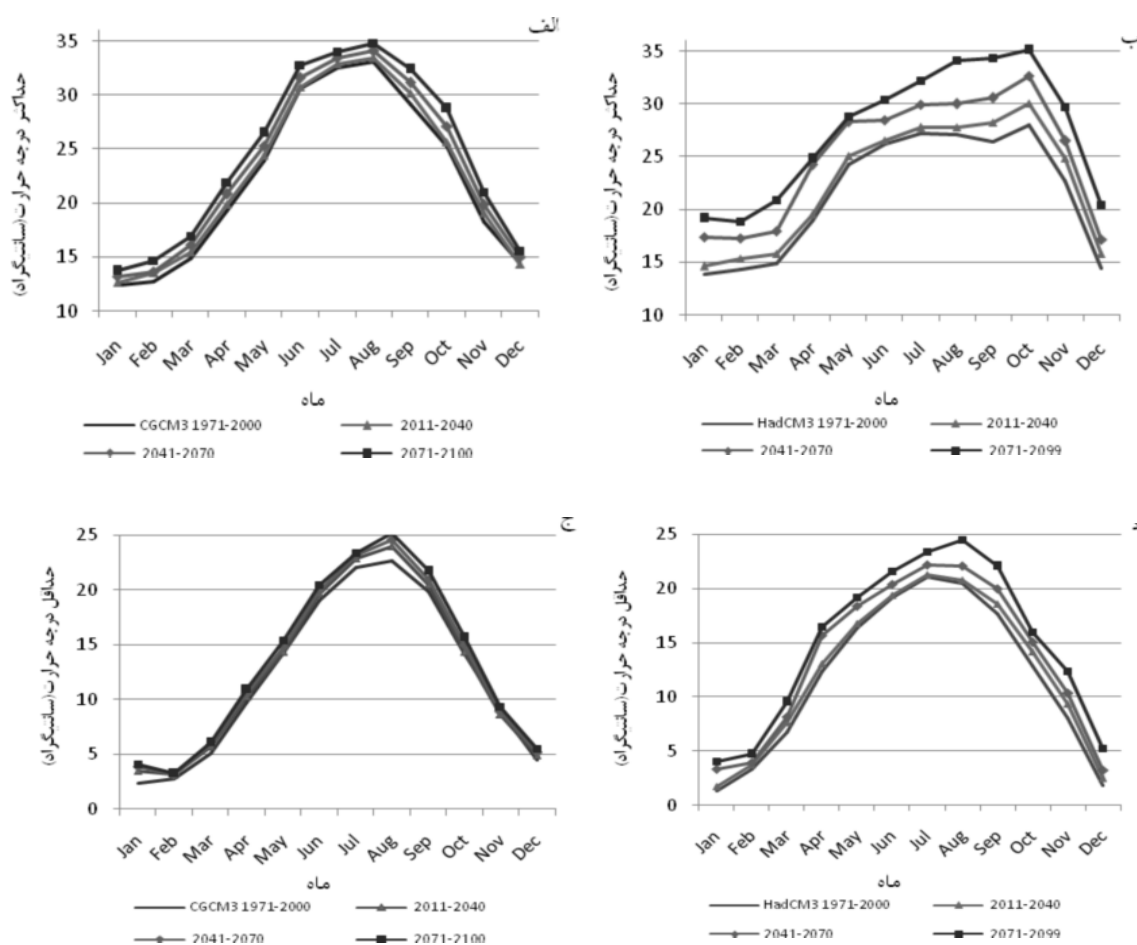
هر دو مدل بارش روند مشابهی در شبیه‌سازی حداکثر و حداقل درجه حرارت دارند و افزایش دما در آینده را نشان می‌دهند که البته تحت شرایط مدل HadCM3 مقدار افزایش دمای حداکثر و دمای حداقل، در ماه‌های مختلف بیشتر خواهد بود. همانطور که قبلاً اشاره شد مدل CGCM3 عملکرد بهتری دارد، بنابراین در ادامه کار بحث



شکل ۲- مقایسه متغیرهای درجه حرارت و بارندگی شبیه‌سازی شده توسط دو مدل CGCM3 و HadCM3 با مقادیر مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰).

جدول ۴- ارزیابی مدل‌های CGCM3 و HadCM3 در شبیه‌سازی بارندگی و دما

مدل	حداکثر درجه حرارت			حداقل درجه حرارت			بارندگی		
	R <sup>2</sup> (%)	RMSE (°c)	d	R <sup>2</sup> (%)	RMSE (°c)	d	R <sup>2</sup> (%)	RMSE (mm)	d
CGCM3	۹۸/۵۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۵	۹۹/۴۸	۰/۵۴۰	۰/۹۹۸	۲۰/۳۸	۳۲/۶۷	۰/۵۰۰
HadCM3	۹۰/۷۰	۲/۷۰	۰/۹۵۵	۹۱/۳۳	۲/۱۴	۰/۹۷۶	۲۳/۹۱	۳۴/۸۳	۰/۵۲۲



شکل ۳- روند تغییرات درجه حرارت در دوره‌های آبی

۲۰۷۱-۲۱۰۰، ابتدای دوره کاشت ۱۰ روز جابجا شده (از ۲۸ مهر به ۸ آبان)، همچنین ۳۷ روز به انتهای فصل کاشت اضافه شده و در مجموع بازه زمانی کاشت نسبت به دوره پایه ۲۷ روز افزایش یافته است. علت اینکه جابجایی و افزایش بازه زمانی کاشت در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ بارزتر از دو دوره قبل است افزایش قابل توجه درجه حرارت در این دوره نسبت به دو دوره قبل است.

#### تغییرات طول دوره رشد

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گندم، پنج تاریخ کاشت به فاصله ده روز از هم شامل نهم، نوزدهم و بیست و نهم آبان و نیز نهم و نوزدهم آذر مورد بررسی قرار گرفت. دلیل این انتخاب مشترک بودن این تاریخ‌ها بین هر چهار دوره زمانی است و در این صورت مقایسه بین چهار دوره زمانی آسانتر خواهد بود. زمان رسیدن محصول

#### زمان مناسب برای کاشت گندم در شرایط حاضر و دوره‌های آبی

زمان مناسب برای کاشت گندم زمستانه در منطقه بهشهر در شرایط فعلی و تحت تأثیر تغییر اقلیم در آینده، به صورت خلاصه در جدول ۵ آورده شده است. طبق پرسش‌های محلی، زمان کاشت گندم در ماه‌های آبان و آذر و گاهی مهرماه است و این اطلاعات با نتایج بدست آمده برای دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ که از ۲۸ مهر تا ۳۰ آذر را گزارش می‌کند، مطابقت دارد. در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، شروع فصل کاشت تغییری نکرده اما انتهای آن ۹ روز افزایش یافته (از ۳۰ آذر به ۹ دی انتقال یافته است). در دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰، ابتدای دوره کاشت ۷ روز جابجا شده (از ۲۸ مهر به ۵ آبان)، همچنین ۱۴ روز به انتهای فصل کاشت اضافه شده و در مجموع بازه زمانی کاشت نسبت به دوره پایه ۹ روز افزایش یافته است. در دوره

و طول دوره رشد گیاه معادل با تاریخ کشت‌های مختلف در جدول ۶ ارائه شده است.  
جدول ۵ - بازه زمانی مناسب برای کشت گندم در دوره‌های زمانی مختلف

دوره زمانی	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰
بازه زمانی کاشت	۲۸ مهر (۲۰ اکتبر) تا ۳۰ آذر (۲۱ دسامبر)	۲۸ مهر (۲۰ اکتبر) تا ۹ دی (۳۰ دسامبر)	۵ آبان (۲۷ اکتبر) تا ۱۴ دی (۴ ژانویه)	۸ آبان (۳۰ اکتبر) تا ۷ بهمن (۲۷ ژانویه)

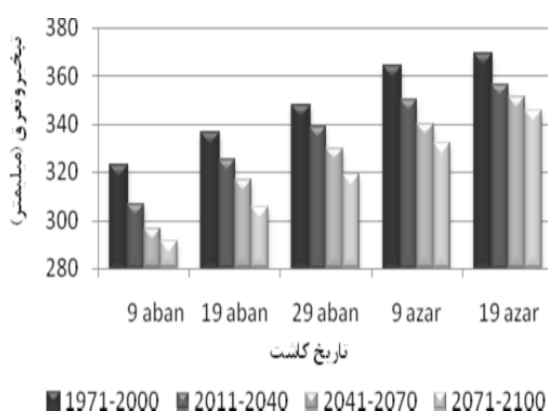
جدول ۶- تاریخ رسیدن محصول و طول دوره رشد (روز) گندم تحت تأثیر تغییر اقلیم در تاریخ کشت‌های مختلف

تاریخ کاشت	دوره زمانی			
	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰
۹ آبان	۲۴ اردیبهشت-۱۹۶	۲۰ اردیبهشت-۱۹۲	۱۵ اردیبهشت-۱۸۷	۱۰ اردیبهشت-۱۸۲
۱۹ آبان	۱ خرداد-۱۹۴	۲۸ اردیبهشت-۱۹۰	۲۴ اردیبهشت-۱۸۶	۱۸ اردیبهشت-۱۸۰
۲۹ آبان	۸ خرداد-۱۹۱	۴ خرداد-۱۸۷	۳۱ اردیبهشت-۱۸۳	۲۶ اردیبهشت-۱۷۸
۹ آذر	۱۳ خرداد-۱۸۷	۱۰ خرداد-۱۸۳	۶ خرداد-۱۷۹	۱ خرداد-۱۷۴
۱۹ آذر	۱۸ خرداد-۱۸۱	۱۴ خرداد-۱۷۷	۱۱ خرداد-۱۷۴	۷ خرداد-۱۷۰

در حالی که در ۱۹ آذر از ۱۸۱ روز به ۱۷۰ (۱۱ روز کاسته شده) روز رسیده است.

#### تبخیر و تعرق گیاه، ETC

تغییرات تبخیر و تعرق کل فصل رشد گیاه گندم، در دوره پایه و تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی به صورت شماتیک در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴- تبخیر و تعرق کل در دوره‌های زمانی و تاریخ کشت‌های مختلف

چند نکته از این جدول قابل برداشت است: الف- به ازای یک تاریخ کشت مشخص، طول دوره رشد گیاه در آینده کوتاهتر خواهد شد به عنوان مثال اگر تاریخ کاشت ۱۹ آبان باشد، طول دوره رشد در دوره پایه، ۱۹۴ روز و در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰، ۱۸۰ روز خواهد بود. دلیل این کاهش دوره رشد افزایش درجه حرارت است، به طوری که رشد فنولوژیکی گیاه زودتر کامل شده و در نهایت گیاه بالغ می‌شود. ب- با جابجائی تاریخ کاشت به سمت فصل زمستان مثلاً از ۹ آبان به ۱۹ آذر طول دوره رشد کوتاهتر شده بگونه‌ای که میزان کاهش در دوره پایه بیشتر و در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ کمتر خواهد بود. دلیل این کاهش قرار گرفتن بخش بیشتری از مراحل پایانی دوره رشد در فصل بهار که دمای هوا در این فصل بیشتر از فصل پائیز که مصادف با مراحل اولیه رشد می‌باشد، در نتیجه درجه حرارت دریافتی گیاه بیشتر و دوره رشد کوتاهتر خواهد شد. ج- با انتقال تاریخ کاشت از ۹ آبان به ۱۹ آذر از تعداد روزهایی که در اثر افزایش درجه حرارت در دوره‌های آتی، از دوره رشد گیاه کاسته می‌شود، کاهش می‌یابد. به عنوان مثال در ۹ آبان، طول دوره رشد از ۱۹۴ روز در دوره پایه به ۱۸۲ روز در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰، (۱۴ روز) کاهش یافته



دو نکته مهم در شکل ۴، بارز است. اول اینکه با جابجایی تاریخ کاشت از ۹ آبان به سمت ۱۹ آذر،  $\sum ETC$  در تمام دوره‌ها افزایش می‌یابد. علت این افزایش، جابجا شدن مراحل میانی و انتهایی رشد (که گیاه در این مرحله حداکثر تبخیر و تعرق را دارد) به سمت اواسط بهار که هوا گرمتر است، بوده و در نتیجه تبخیر و تعرق بیشتر خواهد شد. دوم اینکه در دوره‌های زمانی آینده هرچه به طرف انتهایی قرن پیش می‌رویم  $\sum ETC$  کاهش می‌یابد. علت این کاهش این است که علیرغم افزایش تبخیر و تعرق گیاه در دوره‌های آبی، بدلیل افزایش درجه حرارت و کوتاه شدن دوره رشد در مجموع تبخیر و تعرق کل گیاه در طول فصل رشد کاهش یابد. بیشترین درصد کاهش تبخیر و تعرق در ۹ آبان و کمترین درصد در ۱۹ آذر رخ داده است. این موضوع مؤید این است که اگر از نظر آب قابل دسترس محدودیتی نباشد، در دوره‌های آبی بهتر است بذر در اوایل آبان کاشت شود، زیرا تبخیر و تعرق گیاه کمتر و در نتیجه مصرف آب کمتر خواهد بود.

### نتیجه‌گیری

مطالعه انجام شده نشان می‌دهد که در منطقه بهشهر، بارندگی در دوره‌های گذشته در هیچ یک از فصول سال روند معناداری ندارد در حالی که درجه حرارت در فصل‌های تابستان، پائیز و زمستان روند افزایشی دارد. همچنین در دوره‌های آبی، درجه حرارت در همه ماه‌های سال افزایشی بین ۱ تا ۲ درجه سانتیگراد تا پایان سال ۲۱۰۰ داشته باشد که در این شرایط، دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم بین ۹ تا ۲۷ روز افزایش و طول دوره رشد گیاه بین ۴ تا ۱۴ روز کوتاهتر خواهد شد. تبخیر و تعرق گیاه در طول فصل رشد افزایش می‌یابد اما در مجموع تبخیر و تعرق کل فصل رشد گیاه به دلیل کوتاهتر شدن دوره رشد کاهش خواهد یافت. البته در کنار تبخیر و تعرق باید تغییرات بارندگی از نظر توزیع و مقدار آن در طول فصل رشد و تأثیر آن بر نیاز خالص آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری برای سازگاری با پدیده تغییر اقلیم بررسی شود که این کار برای منطقه بهشهر انجام شده و در قالب یک پژوهش جداگانه ارائه خواهد شد.

### منابع

- ۱- حجام س. خشخوی. و وندی ر. ۱۳۸۶. تحلیل روند بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی. ۶۳: ۱۵۷-۱۶۸.
- ۲- رضائی پ. سلطانی الف. اکرم قادری ف. و زینلی الف. ۱۳۸۷. کمی سازی وقوع تنش‌های دمائی در زراعت گندم (*Triticum aestivum*) در گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۵. شماره ۴.
- ۳- مدرسی ف. و عراقی‌نژاد ش. ۱۳۸۸. بررسی اثر تغییر اقلیم بر دبی حداکثر (مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی. دانشگاه تهران.
- ۴- نصوحی غ. ۱۳۸۶. هواشناسی و محصولات کشاورزی. چاپ سوم. انتشارات رضوی.
- 5- Allen G. R. Pereira L. S. Raes D and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. 78-86.
- 6- Elgaali E. Garcia L. A. and Ojima D. S. 2007. High resolution modeling of the regional impacts of climate change on irrigation water demand. J. of Climatic Change. 84: 441-461.
- 7- Haverkort A. J. and Verhagen A. 2008. Climate Change and Its Repercussions for the Potato Supply Chain. J. of Potato Research. 51: 223-237.
- 8- Kendall M. G. 1975. Rank Correlation Methods. Charles Griffin. London.
- 9- Lhomme J. P. Mougou R. and Mansour M. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. J. of Climatic Change.
- 10- Mann H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica. 13: 245-259.
- 11- Modarres R. and Silva V. P. R. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. J. of Arid Enviroments. 70: 344-355.
- 12- Rodríguez Díaz J. A. Weatherhead E. K. Knox J. W. and Camacho E. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. Reg. J. of Environ Change. 7: 149-159.
- 13- Sen P. K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. the American Statistical Association. 63: 1379-1389

- Environment of Turkey. J. of Sensors. 7: 2297-2315.
- 16- Yu P. S. Yang T. C. and Chou C. C. 2002. Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in southern Taiwan. J. of Climatic Change. 54:165-17.
- 14- Wilby R. L. and Dawson C. w. 2007. SDSM4.2- User Manual.
- 15- Yano T. Aydin M. and Haraguchi T. 2007. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean