

## کمی سازی اثرات تغییر اقلیم بر کشت گندم دیم در حوضه آبریز ارومیه

امیر حسین دهقانی پور\*، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، دانشگاه صنعتی شریف  
مسعود تجریشی، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف  
شهاب عراقی نژاد، عضو هیئت علمی پردیس و منابع طبیعی کشاورزی، دانشگاه تهران  
\* پست الکترونیکی: amir\_pwut87@yahoo.com

### چکیده

پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن، به عنوان یکی از چالش های پیش رو در مدیریت منابع آب و بخش کشاورزی شناخته شده است. در این مقاله با استفاده از مدل چرخه عمومی جو HADCM3 تحت سناریو A2 مقادیر دما و بارش در سه ایستگاه ارومیه، تبریز و سقز در حوضه آبریز ارومیه تا سال ۲۱۰۰ پیش بینی گردید. سپس تغییرات دما و بارش در سه دوره گذشته (۱۹۶۱-۱۹۹۵)، وضع موجود (۱۹۹۵-۲۰۱۰) و دوره های آتی (در سه دوره سی ساله ۲۰۱۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، افزایش دما و کاهش بارندگی ها را در وضع موجود و دوره آتی نسبت به دوره گذشته نشان می دهد. با استفاده از نتایج به دست آمده تأثیرات تغییر اقلیم بر کشت گندم دیم مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به تاخیر افتادن زمان کشت، کوتاه شدن طول دوره رشد و همچنین افزایش تبخیر و تعرق را نشان می دهد.

**کلید واژه ها:** تغییر اقلیم، حوضه آبریز ارومیه، کشت دیم، مدل های چرخه عمومی جو

### ۱- مقدمه

پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن، به عنوان یکی از چالش های پیش رو در مدیریت منابع آب و بخش کشاورزی شناخته شده است. تغییرات اقلیم می تواند بر رشد و نمو، فیزیولوژی، مورفولوژی و فنولوژی گیاهان زراعی تأثیر گذار باشد و در این راستا تحقیقات متعددی صورت گرفته است. هاورکورت و ورهاگن (۲۰۰۸)، طی تحقیقی تغییر اقلیم و اثرات آن بر زنجیره تامین سبب زمینی در اروپا مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که در اروپای شمالی تغییر اقلیم باعث طولانی تر شدن فصل رشد، بارندگی بیشتر در فصل زمستان و کاهش بارندگی در فصل تابستان خواهد شد. همچنین روند بارندگی ها نامنظم تر شده و توام با طوفان خواهد بود. علاوه بر این با طولانی شدن دوره رشد مشکلاتی نظیر افزایش آفت و بیماری ها که در درجه حرارت بالا زیاد می شود، به وجود خواهد آمد که روی تولید و کیفیت محصول اثر خواهد گذاشت [۱].

لوم و همکاران (۲۰۰۹)، اثر پتانسیل تغییر اقلیم بر گندم دوروم با استفاده از داده های اقلیمی ARPEGE تحت سناریو AIB 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 می یابد، اما بارندگی بسته به منطقه و زمان معینی از سال افزایش یا کاهش می یابد. میانگین بارندگی سالانه در مرکز افزایش و در شمال کاهش می یابد. برای سازگاری و

کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم کاشت دیم در هر دو منطقه باید زودتر انجام شود. طول دوره رشد گندم دیم کاهش می‌یابد. کمبود رطوبتی و کاهش عملکرد محصول در نواحی مرکزی اندکی کمتر اما در ناحیه شمالی بیشتر خواهد شد [۲]. هارمنس و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای تاثیر تغییر اقلیم را بر روی بارندگی و تبخیر و تعرق در پورتوریگو بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از داده‌های مدل PCM تحت سناریوهای A1F، B1، A2 و معادله فائو (پنمن مانیتیش) مقادیر تبخیر و تعرق را تا سال ۲۱۰۰ پیش بینی نمودند. نتایج نشان می‌دهد که میزان کمبود بارش که شاخصی از نیاز گیاه برای آب است، برای ماه فوریه که خشک‌ترین ماه سال است افزایش و برای ماه سپتامبر که مرطوب‌ترین ماه سال است کاهش می‌یابد [۳].

در این تحقیق در ابتدا به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی دما و بارش در سه دشت ارومیه، تبریز و سقز می‌پردازد و در ادامه با استفاده از نتایج به دست آمده، اثرات تغییر اقلیم بر کشت دیم را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این راستا بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تاریخ کشت، طول دوره رشد و تبخیر و تعرق کشت دیم از جمله اهداف تحقیق می‌باشد.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- اثرات تغییر اقلیم بر تاریخ کشت و طول دوره رشد

به طور کلی زمان کشت گندم به سه فاکتور شروع بارندگی موسمی، زمان برداشت گیاه پیشین و درجه حرارت محیط بستگی دارد. حداقل دمای مناسب برای جوانه زنی و سبز شدن گندم ۴ درجه سانتی گراد و حداکثر دمای مطلوب برای جوانه زنی ۲۵ درجه سانتی گراد است. بعد از کاشت بذر، برای جوانه زدن و رشد گندم باید یک بارندگی مناسب به منظور تامین رطوبت مورد نیاز خاک برای جوانه زدن نیاز داریم. در این تحقیق با فرض اینکه حداقل ۲۰ میلی‌متر بارندگی در طی پنج روز متوالی داشته باشیم و همچنین دمای هوا بین ۴ تا ۲۵ درجه سانتی گراد که دمای مناسب کشت دیم است، بازه زمانی مناسب برای کشت گندم در گذشته، وضع موجود و نیز در شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی در حوضه آبریز ارومیه تعیین گردید [۴].

در هریک از مراحل رشد گیاه میزان مشخصی انرژی توسط گیاه جذب می‌شود. لذا با توجه به همبستگی هر مرحله رشد گیاه با عامل حرارتی دما بایستی میزان انرژی جذبی هر مرحله رشد گیاه محاسبه و در مجموع از مرحله جوانه زنی تا مرحله برداشت مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز و قابل جذب جمع بندی شود. با اطلاع از مقدار انرژی حرارتی جذبی در هر مرحله رشد گیاه می‌توان مدت زمان لازم برای تکمیل مراحل رشدی گیاه را با توجه به پیش بینی‌های دمایی هوا در آینده به دست آورد. مقدار انرژی جذبی روزانه گیاه را درجه-روز رشد یا واحد گرمایی می‌نامند. به عبارت دیگر به مقدار دمایی که یک گیاه از زمان کاشت تا هر یک از مراحل فنولوژیک و در نهایت رسیدن کامل نیاز دارد درجه-روز-رشد GDD می‌گویند و در این تحقیق مراحل و طول دوره رشد گیاه با استفاده از این شاخص که در رابطه ۱ ارائه گردیده است، محاسبه می‌شود.

$$GDD = \frac{\sum T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و  $T_b$  دمای پایه برای نمو گیاه می‌باشد. دمای پایه دمایی است در درجه حرارت‌های کمتر از آن نمو گیاه متوقف می‌شود و مقدار آن برای گندم صفر درجه سانتی گراد است. همچنین در محاسبه میانگین دمای هوا، اگر حداقل دمای روزانه کمتر از دمای پایه بود، مساوی با صفر و اگر حداکثر دمای روزانه بیشتر از ۳۰ درجه سانتی گراد باشد، برابر با ۳۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته می‌شود. مراحل

رشد گیاه به سه دوره مهم قابل تقسیم بندی می باشد. این سه دوره عبارتند از، کاشت تا سبز شدن (سبز شدن)، سبز شدن تا گلدهی و گلدهی تا پر شدن دانه. در جدول ۱، میانگین مقادیر GDD در مراحل مختلف آورده شده است و از این مقادیر برای شبیه سازی وقوع مراحل مختلف فنولوژیک هر گیاه در هر سال معین استفاده می شود [۴].

جدول ۱- مقادیر GDD موردنیاز برای مراحل مختلف رشد در گندم

GDD	مرحله رشد
۱۸۰	از کاشت تا سبز شدن
۱۳۰۰	از کاشت تا گلدهی
۲۱۰۰	از کاشت تا رسیدگی

## ۲-۲- محاسبه تبخیر و تعرق

به منظور محاسبه تبخیر و تعرق از رابطه ۲ استفاده می گردد.

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (2)$$

در رابطه فوق  $K_c$  ضریب گیاهی و  $ET_0$  تبخیر و تعرق پتانسیل می باشد. مقادیر ضریب گیاهی  $K_c$  در مراحل مختلف رشد، مطابق جدول ۲ لحاظ گردید. همچنین به منظور تعیین مراحل مختلف رشد از مقادیر درجه روز-رشد که در جدول ۱ ارائه گردید، استفاده می گردد. مقادیر  $K_c$  بین مرحله اول و مرحله میانی و همچنین بین مرحله میانی و انتهایی، به صورت خطی برآورد می شود.

جدول ۲- مقادیر ضریب گیاهی  $K_c$  برای مراحل مختلف رشد در گندم

$K_c$	مرحله رشد	مرحله رشد
۰/۲-۰/۴	از کاشت تا سبز شدن	مرحله اول رشد
۱/۲۵-۱/۰۵	از کاشت تا گلدهی	مرحله میانی رشد
۰/۳-۰/۲	از کاشت تا رسیدگی	مرحله انتهایی رشد

از آنجایی که پارامترهای اقلیمی شبیه سازی شده برای دوره های آبی دما و بارش می باشد، به منظور محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل باید از مدل های مبتنی بر دما استفاده شود که با بررسی های صورت گرفته مدل هارگریوز-سامانی انتخاب گردید. محاسبه  $ET_0$  با استفاده از مدل هارگریوز-سامانی به صورت رابطه ۳ می باشد [۴]:

$$ET_0 = 0.0135 * K_T * R_a * TD^{0.5} * (T + 17.8) \quad (3)$$

$$K_T = 0.00185 * TD^2 - 0.0433 * TD + 0.4023 \quad (4)$$

$$TD = T_{MAX} - T_{MIN} \quad (5)$$

در روابط بالا  $T_{min}$  و  $T_{max}$  به ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه،  $R_a$  تابش خورشیدی در بالای اتمسفر که برای ماه های مختلف سال و عرض های جغرافیایی مختلف تعیین می شود و  $K_t$  ضریب تصحیح می باشد. مقادیر  $R_a$  برای عرض های جغرافیایی ۳۵ تا ۴۰ درجه شمالی در جدول ۳ ارائه شده است [5].

جدول ۳- مقادیر  $Ra$  برای عرض‌های جغرافیایی ۳۵ تا ۴۰ درجه شمالی

عرض جغرافیایی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
40N	284	432	529	677	742	800	755	674	567	426	323	248
35N	345	496	568	700	742	800	761	397	603	474	380	313

\*برای تبدیل به میلی متر بر روز باید اعداد جدول را بر ۵۸.۵ تقسیم نمود.

### ۳-۲- آزمون آماری روند من-کندال

روند، گرایش دراز مدت سری زمانی است و می‌توان آن را به عنوان گرایش اصلی سری زمانی بدون در نظر گرفتن سایر تغییرات فصلی، ادواری و تصادفی تصور کرد. از دلایل وجود روند در یک سری زمانی می‌توان به دخالت غیرمستقیم انسان در طبیعت اشاره کرد. به عنوان مثال، استفاده از سوخت‌های فسیلی توسط انسان و در نتیجه، افزایش گازهای گلخانه‌ای، سبب ایجاد تغییرات در پارامترهایی نظیر دما و بارندگی می‌شود که این تغییرات به طور آهسته و طولانی مدت صورت می‌گیرد. برای بررسی روند در این پژوهش، از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شده است. آزمون ناپارامتری من-کندال که توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ تکمیل گردید، بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است [6]. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد [7]. مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند [8].

### ۴-۲- مدل‌های چرخه عمومی جو

امروزه شناخت اثرات گازهای گلخانه‌ای به صورت یک مسأله علمی و سیاسی تبدیل شده و همین امر باعث فشار روزافزون بر اقلیم‌شناسان برای ارائه سناریوهای مختلف شناخت اقلیم و عوامل مؤثر بر آن شده است. سناریوهای اقلیمی پیش‌بینی‌کننده وضعیت آینده نمی‌باشند؛ بلکه می‌توان اینگونه تعریف کرد که سناریوهای اقلیمی یک تصویر کلی از آینده ممکن برای اقلیم می‌باشند. مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌های سه بعدی می‌باشند که بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی به منظور شبیه‌سازی اثر گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند و قادر هستند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند [9]. مدل‌های چرخه عمومی، بهترین اطلاعات درباره تغییرات جو با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای را فراهم می‌نمایند. این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای شبیه‌سازی‌های عددی سه بعدی شامل حرکات جوی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی هستند [10].

### ۴-۲-۱- مدل ریزمقیاس آماری SDSM

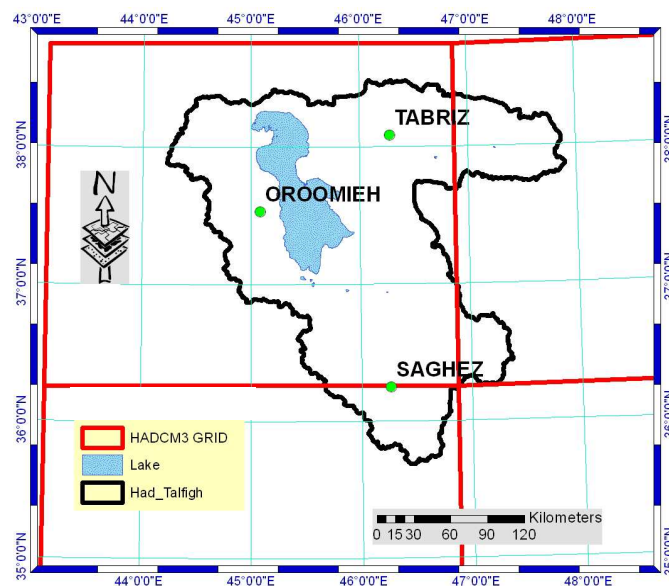
یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آنها با دقت مورد نیاز مدل‌های منطقه‌ای و هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها در حدود ۲۰۰ کیلومتر است، که این دقت خصوصاً برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما مناسب نمی‌باشد [11]. با استفاده از روش کوچک‌مقیاس کردن، می‌توان خروجی این مدل‌ها را به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه مورد مطالعه تبدیل نمود. روش منطقی در افزایش وضوح خروجی‌های مدل‌های چرخه عمومی، محاسبه تغییرات مشاهداتی متغیر سطحی مورد مطالعه در مقیاس منطقه‌ای به عنوان تابعی از خصوصیات آماری متغیرهای مشاهداتی

اقلیمی بزرگ مقیاس می‌باشد. در این روش پس از تعیین تابع مطلوب، متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس که توسط مدل‌های چرخه عمومی در دوره‌های آتی شبیه‌سازی شده‌اند، به عنوان ورودی در این توابع اعمال شده و متغیر سطحی مورد نظر نتیجه خواهد شد [11].

SDSM یکی از مشهورترین مدل‌های آماری مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، تابش و بیشینه و کمینه درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. اکنون الگوریتم ریزمقیاس کردن مدل SDSM در بسیاری از شاخه‌های هواشناسی، هیدرولوژی و محیط زیست با نتایج بسیار خوبی در محدوده‌های جغرافیایی از اروپا، آمریکای شمالی و جنوب شرقی آسیا به کار برده شده است [11].

## ۲-۵- منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران قرار گرفته و با مساحت ۵۱۴۶۰ کیلومتر مربع در حدود ۳ درصد از کل سطح کشور را در بر می‌گیرد. ۱۷ رودخانه دائمی و ۱۲ رودخانه فصلی به سمت دریاچه ارومیه جریان دارد (شکل ۱). این دریاچه با مساحت ۵۱۰۰ کیلومتر مربع دومین دریاچه ی شور بزرگ جهان می‌باشد و یکی از ارزشمندترین اکوسیستم‌های طبیعی ایران می‌باشد که به عنوان یک تالاب بین‌المللی در همایش رامسر ثبت شده است [12]. در سال‌های اخیر، ذخیره آب در دریاچه به شدت کاهش یافته بطوریکه اکوسیستم آن به شدت تهدید شده است. عوامل مختلفی از جمله خشکسالی‌های دوره‌ای، ساخت و ساز سدها و طرح‌های آبیاری، افزایش نیازهای آبی و تغییر اقلیم در این باب نقش دارند.



شکل ۱- حوضه آبریز ارومیه

تنوع توده‌هوائی که به منطقه می‌رسند در رژیم حرارتی و بارش منطقه محسوس است. میانگین سالانه بارندگی در حوزه مطالعاتی از ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است و رژیم غالب آن مدیترانه‌ای با بارش اندک تابستانه می‌باشد. رژیم دمایی منطقه تحت تاثیر توده‌های هوایی که ذکر شد متضمن سرماهای شدید و نوسانات اقلیمی زیاد است. میانگین سالانه دما در حوزه مطالعاتی از حدود ۱۱ درجه در اطراف دریاچه ارومیه تا حدود ۲/۵ درجه در ارتفاعات

سهند و سبلان متغیر است. حدوث سرماهای شدید در منطقه (تبریز ۲۵/۴-، سقز ۳۶/۰- درجه) در واقع غلبه هوای شمالی پدیده ای شناخته شده است [12].

### ۳- جمع بندی و نتیجه گیری

#### ۳-۱- تغییرات بارندگی و دما در دوره گذشته و وضع موجود (۱۹۶۱-۲۰۱۰)

نتایج حاصل از آزمون روند من کندال بارش و دمای میانگین ماهانه و سالانه برای سه دشت ارومیه، تبریز و سقز در جدول ۴ ارائه گردیده است. مطابق جدول ۴ بارش سالانه در سه دشت ارومیه، تبریز و سقز روند کاهشی و میانگین دمای سالانه در دو ایستگاه تبریز و سقز روند افزایشی داشته است. کاهش بارش در ماه های ژانویه و فوریه در دو ایستگاه ارومیه و سقز در سطح ۹۵ درصد معنا دار است. علاوه بر این، کاهش بارش در دشت تبریز علاوه بر ماه های ژانویه و فوریه، در ماه مارس و ژوئن در سطح ۹۵ درصد معنا دار است. همچنین افزایش دما در دو دشت تبریز و سقز در ماه های آوریل تا اکتبر (از فصل بهار تا اوایل فصل پاییز) و همچنین در دشت ارومیه در ماه های ژوئن، آگوست و اکتبر در سطح ۹۵ درصد معنا دار است. افزایش دما و کاهش بارش می تواند تاثیرات زیادی را بر نیاز آبی و عملکرد گندم دیم در سه دشت ارومیه، تبریز و سقز داشته باشد.

جدول ۴- نتایج آزمون من کندال بارش، دمای میانگین ایستگاه های سینوپتیک ارومیه، تبریز و سقز در سطح ۹۵ درصد

پارامتر اقلیمی	ماه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
بارش	تبریز	D	D	D	N	N	D	N	N	N	N	N	N	D
	ارومیه	D	D	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	D
	سقز	D	D	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	D
دمای میانگین	تبریز	N	N	U	U	U	U	U	U	U	U	N	N	U
	ارومیه	N	N	N	N	N	U	N	U	N	U	N	N	N
	سقز	N	N	N	U	U	U	U	U	U	U	N	N	U

D: Downward Trend, N: No Trend, U: Upward Trend

#### ۳-۲- تغییرات دما و بارندگی در دوره آتی (۲۰۱۰-۲۱۰۰)

عملکرد مدل ریز مقیاس SDSM برای دما و بارندگی شبیه سازی شده در دوره ۱۹۶۱-۲۰۱۰ با استفاده از خروجی مدل HADCM3 تحت سناریو A2 و بر اساس شاخص های ضریب تبیین R<sup>2</sup> و جذر میانگین مربعات خطا RMSE به صورت خلاصه در جدول ۵ آورده شده است. شاخص RMSE از رابطه ۶ قابل محاسبه می باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (6)$$

در رابطه بالا Pi و Oi به ترتیب مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی است. مقادیر شاخص عملکرد مدل HADCM3 نشان می دهد که مدل در شبیه سازی دما از قابلیت نسبتاً خوبی برخوردار است. مقایسه مقادیر R<sup>2</sup> مربوط به بارندگی این شاخص ها نشان می دهد که نسبت به دما عملکرد ضعیفی داشته است.

در شکل ۲، ۳ و ۴ و جدول ۶ و ۷ میزان تغییرات در دما و بارش در دوره های آتی به صورت ماهانه در سه ایستگاه ارومیه، تبریز و سقز ارائه شده است. با توجه به مقادیر پیش بینی شده دما و بارش در سه دشت ارومیه، تبریز و سقز

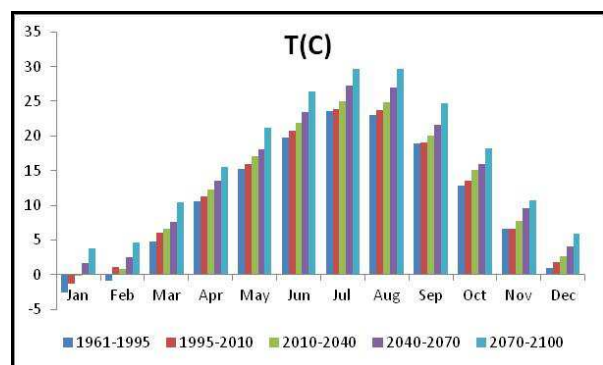
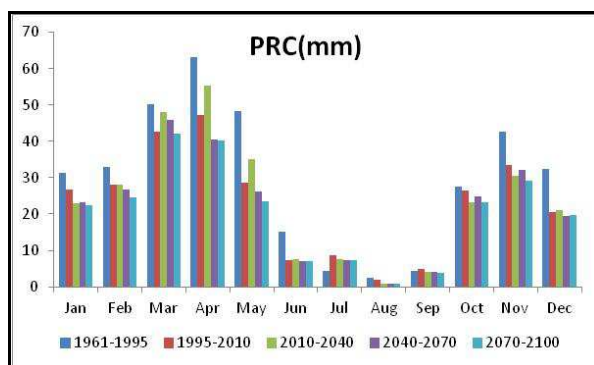
می توان گفت که دما در دوره های آتی روند افزایشی دارد و می تواند بر نیاز آبی گیاهان و طول دوره رشد گیاه موثر باشد.

جدول ۵ - مقادیر شاخص های ارزیابی مدل HADCM3 در شبیه سازی دما و بارش

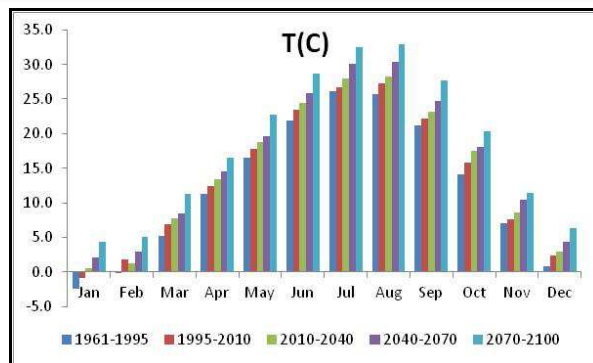
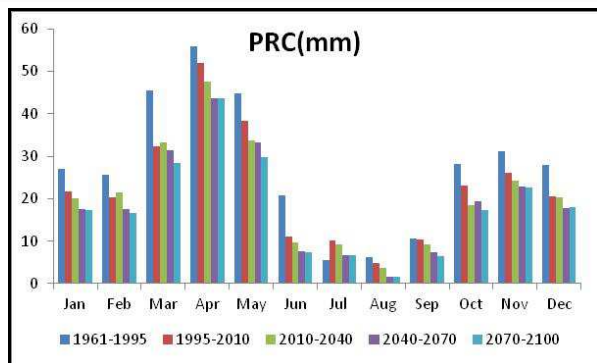
نام ایستگاه	دمای میانگین		بارندگی	
	RMSE(°C)	R <sup>2</sup>	RMSE(mm)	R <sup>2</sup>
ارومیه	0.9	92.3	۱۷.۸	۵۶.۶
تبریز	0.7	99.5	۱۶.۶	۶۳.۴
خوی	0.7	99.2	۱۴.۹	۶۵.۲

تغییرات بارندگی نشان می دهد که در دشت تبریز بارش روند کاهشی دارد و در دوره های آتی باعث کاهش عملکرد محصول دیم در این دشت می شود. در دشت سقز و ارومیه، میزان بارش در دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۵ کاهش یافته است، اما در دوره ۲۰۱۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۰ بارش افزایش می یابد. در دشت ارومیه و سقز، افزایش بارش بهاره (در ماه های مارس، آوریل و می) در دوره ۲۰۱۰-۲۰۴۰ نسبت به سایر ماه ها مشهود است. بارش های بهاره در مرحله گلدهی و پرشدن دانه ها می باشد و بر عملکرد محصول دیم تاثیر به سزایی دارد. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ از میزان مقادیر بارش کاسته می شود و در این دوره ها کاهش عملکرد محصول را به همراه دارد.

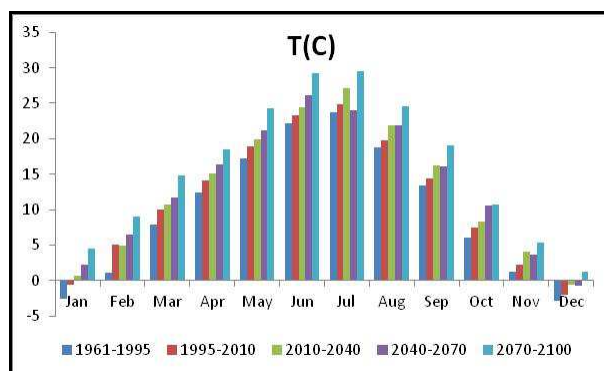
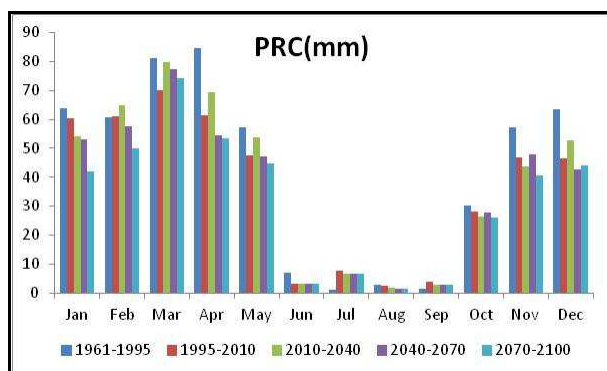
با توجه به میانگین دما ماهانه و سالانه ارائه شده در جداول ۶ و ۷ می توان گفت که در یک دوره کمترین دما متعلق به سقز و بیشترین مقادیر دما متعلق به تبریز می باشد، بنابراین می توان نتیجه گرفت که میزان تبخیر و تعرق (ET<sub>0</sub>) در دشت تبریز بیشتر از دشت ارومیه و همچنین میزان تبخیر و تعرق (ET<sub>0</sub>) در دشت ارومیه بیشتر از دشت سقز است؛ اما از آنجایی که میزان (ET<sub>C</sub>) علاوه بر مقدار دما، به طول دوره رشد نیز وابسته است، نمی توان در مورد میزان تبخیر و تعرق مورد نیاز گیاه (ET<sub>C</sub>) قضاوت نمود. افزایش دما طول دوره رشد را کوتاه تر می نماید که می تواند باعث کاهش (ET<sub>C</sub>) شود. بنابراین باید محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق مورد نیاز گیاه به طور جداگانه برای سه دشت ارومیه، تبریز و خوی انجام گیرد. میزان بارش های ماهانه و سالانه نیز نشان می دهد که بیشترین بارش در ایستگاه سقز و کمترین بارش مربوط به ایستگاه تبریز است. بنابراین می توان انتظار داشت که میزان عملکرد محصول در دشت سقز بیشتر از دشت ارومیه و در دشت ارومیه بیشتر از دشت تبریز است.



شکل ۲ - مقادیر دما و بارش در دوره های زمانی مختلف در دشت ارومیه



شکل ۳ - مقادیر دما و بارش در دوره های زمانی مختلف در دشت تبریز



شکل ۴ - مقادیر دما و بارش در دوره های زمانی مختلف در دشت سفزر

جدول ۶ - مقادیر دمای ماهانه و سالانه در ایستگاه ارومیه، تبریز و سفزر (بر حسب درجه سانتی گراد)

نام دشت	دوره مطالعاتی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
ارومیه	1961-1995	-2.6	-0.9	4.8	10.6	15.2	19.8	23.6	23	18.9	12.8	6.7	0.9	11
	1995-2010	-1.3	1.1	6.1	11.3	16	20.8	23.8	23.7	19	13.6	6.7	1.8	11.9
	2010-2040	0	0.8	6.6	12.3	17	21.8	25	24.8	20.1	15.1	7.7	2.6	12.8
	2040-2070	1.6	2.5	7.6	13.5	18.1	23.5	27.2	27	21.6	15.9	9.6	4.1	14.4
	2070-2100	3.8	4.7	10.4	15.5	21.2	26.4	29.7	29.6	24.7	18.3	10.7	5.9	16.7
تبریز	1961-1995	-2.5	-0.2	5.2	11.2	16.5	21.9	26.2	25.7	21.2	14.1	7.1	0.9	12.3
	1995-2010	-0.9	1.8	6.9	12.4	17.8	23.4	26.7	27.2	22.1	15.7	7.6	2.3	13.6
	2010-2040	0.5	1.2	7.7	13.5	18.8	24.4	28	28.3	23.2	17.4	8.5	3	14.6
	2040-2070	2	3	8.4	14.6	19.7	25.9	30.1	30.4	24.7	18.1	10.4	4.4	16
	2070-2100	4.3	5.1	11.3	16.6	22.7	28.7	32.5	32.9	27.7	20.4	11.4	6.3	18.3
سفزر	1961-1995	-2.6	1	7.9	12.4	17.3	22.1	23.8	18.7	13.4	6	1.3	-2.8	9.9
	1995-2010	-0.6	5.1	10	14.1	18.9	23.4	24.9	19.8	14.4	7.4	2.2	-2	11.5
	2010-2040	0.7	5	10.7	15.1	19.9	24.4	27.1	21.9	16.2	8.3	4.1	-0.6	12.7
	2040-2070	2.2	6.5	11.8	16.4	21.2	26.1	24	21.9	16.1	10.6	3.7	-0.8	13.3
	2070-2100	4.5	9	14.8	18.4	24.3	29.2	29.6	24.5	19	10.7	5.3	1.3	15.9



جدول ۲ - مقادیر بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه ارومیه، تبریز و سقز (بر حسب میلی متر)

نام دشت	دوره مطالعاتی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
ارومیه	1961-1995	31	33	50	63	48	15	4	2	4	28	43	32	355
	1995-2010	27	28	43	47	29	7	9	2	5	26	34	20	276
	2010-2040	23	28	48	55	35	7	8	1	4	23	31	21	284
	2040-2070	23	27	46	40	26	7	7	1	4	25	32	19	258
	2070-2100	22	25	42	40	24	7	7	1	4	23	29	20	244
تبریز	1961-1995	27	26	45	56	45	21	6	6	11	28	31	28	329
	1995-2010	22	20	32	52	38	11	10	5	10	23	26	21	271
	2010-2040	20	21	33	48	34	10	9	4	9	18	24	20	251
	2040-2070	18	18	31	44	33	8	7	2	7	19	23	18	227
	2070-2100	17	17	28	44	30	7	7	2	6	17	23	18	216
سقز	1961-1995	64	61	81	85	57	7	1	3	1	30	57	64	511
	1995-2010	61	61	70	61	48	3	8	3	4	28	47	46	439
	2010-2040	54	65	80	69	54	3	7	2	3	26	44	53	459
	2040-2070	53	58	77	54	47	3	7	2	3	28	48	43	422
	2070-2100	42	50	74	53	45	3	7	2	3	26	41	44	390

### ۳-۳- تعیین زمان کاشت

زمان مناسب برای کشت دیم گندم در دشت های ارومیه، تبریز و سقز در شرایط فعلی و تحت تاثیر اقلیم در آینده به صورت خلاصه در جدول ۸ آورده شده است. همانطور که پیشتر اشاره شد، بازه زمانی مناسب برای کاشت دیم حداقل ۲۰ میلی متر بارندگی در طی پنج روز متوالی و دامنه حرارتی ۴ تا ۲۵ درجه سانتی گراد می باشد. بر همین اساس با استفاده از داده های تاریخی حداقل و حداکثر درجه حرارت زمان مناسب کاشت در دوره ۱۹۹۵-۱۹۶۱ و ۲۰۱۰-۱۹۹۵ و با استفاده از مقادیر شبیه سازی این متغیرها برای دوره های آتی، زمان مناسب کشت برای دوره های ۲۰۱۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ تعیین گردید. طبق پرسش های محلی، زمان کاشت گندم در ماه های مهر و آبان می باشد که این اطلاعات با نتایج ارائه شده برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۰ همخوانی دارد.

جدول ۸ - بازه زمانی مناسب برای کشت گندم دیم در دوره های زمانی مختلف

دوره زمانی	1961-1995	1995-2010	2010-2040	2040-2070	2070-2100
بازه زمانی کاشت در دشت ارومیه	۳ اکتبر تا ۲۸ نوامبر	۱۰ اکتبر تا ۳۰ نوامبر	۱۵ اکتبر تا ۳ دسامبر	۲۱ اکتبر تا ۱۰ دسامبر	۲ نوامبر تا ۱۹ دسامبر
بازه زمانی کاشت در دشت تبریز	۹ اکتبر تا ۱ دسامبر	۱۹ اکتبر تا ۳ دسامبر	۲۱ اکتبر تا ۱۰ دسامبر	۲۷ اکتبر تا ۲۱ دسامبر	۸ نوامبر تا ۲۸ دسامبر
بازه زمانی کاشت در دشت سقز	۲۵ سپتامبر تا ۷ نوامبر	۴ اکتبر تا ۱۵ نوامبر	۱۰ اکتبر تا ۲۳ نوامبر	۱۳ اکتبر تا ۱ دسامبر	۱۵ اکتبر تا ۶ دسامبر

مطابق جدول فوق، دو نتیجه قابل برداشت است:

۱- زمان کاشت به ترتیب از دشت سقز در جنوب حوضه، سپس در دشت ارومیه در غرب حوضه و بعد از آن در دشت تبریز در شرق حوضه آبریز آغاز می شود. در تفسیر نتایج به دست آمده می توان این چنین بیان نمود که میانگین دما در دشت سقز کمتر از دشت ارومیه و میانگین دما در دشت ارومیه از دشت تبریز کمتر است. از طرف دیگر زمان وقوع بارش پاییزه در دشت سقز نسبت به دشت ارومیه زودتر و مقدار بارش پاییزه بیشتری را نسبت به دشت ارومیه به خود اختصاص می دهد. همچنین زمان وقوع بارش پاییزه در دشت ارومیه نسبت به دشت تبریز زودتر و مقدار بارش پاییزه بیشتری را نسبت به دشت تبریز به خود اختصاص می دهد.

۲- مطابق نتایج به دست آمده در جدول ۸، بازه زمانی مناسب در وضع موجود و همچنین در دوره های آتی به سمت جلو جابجا شده است. برای مثال در دشت ارومیه، در دوره زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱۰ در وضع موجود نسبت به دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۵ به مدت ۳ روز به ابتدا و انتهای فصل کشت اضافه شده است. همچنین در دوره های ۲۰۱۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ به طور متوسط به مدت ۷، ۱۰ و ۲۱ روز به ابتدا و انتهای بازه زمانی کاشت اضافه شده است. علت این جابجایی را می توان این چنین تفسیر کرد که دما در وضع موجود و همچنین دوره های آتی نسبت به وضع گذشته افزایش یافته و از طرفی از مقادیر بارش پاییزه کم شده است؛ بنابراین بازه زمانی مناسب برای کاشت به اواخر پاییز و اوایل زمستان منتقل شده است.

### ۳-۴- تغییرات طول دوره رشد

به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گندم در دشت های ارومیه، تبریز و سقز در سه تاریخ کشت مشترک بین پنج دوره زمانی و به فاصله ۱۰ روز از هم انتخاب گردید. زمان رسیدن محصول و طول دوره رشد گیاه معادل با تاریخ های کشت مختلف در جداول ۹ تا ۱۴ ارائه شده است. به طور کلی چند نتیجه از این جداول قابل برداشت است.

جدول ۹- تغییرات طول دوره رشد گندم تحت تاثیر تغییر اقلیم در تاریخ کشت های مختلف در دشت ارومیه

تاریخ کاشت	دوره زمانی				
	1961-1995	1995-2010	2010-2040	2040-2070	2070-2100
05-Nov	12-Jul	07-Jul	30-Jun	18-Jun	28-May
15-Nov	15-Jul	10-Jul	06-Jul	23-Jun	03-Jun
25-Nov	18-Jul	11-Jul	09-Jul	25-Jun	06-Jun

جدول ۱۰- تغییرات طول دوره رشد گندم تحت تاثیر تغییر اقلیم در تاریخ کشت های مختلف در دشت ارومیه

تاریخ کاشت	دوره زمانی				
	1961-1995	1995-2010	2010-2040	2040-2070	2070-2100
05-Nov	روز ۲۵۰	روز ۲۴۴	روز ۲۳۷	روز ۲۲۵	روز ۲۰۴
15-Nov	روز ۲۴۲	روز ۲۳۷	روز ۲۳۳	روز ۲۲۰	روز ۲۰۰
25-Nov	روز ۲۳۵	روز ۲۲۸	روز ۲۲۶	روز ۲۱۳	روز ۱۹۳

جدول ۱۱- تغییرات طول دوره رشد گندم تحت تاثیر تغییر اقلیم در تاریخ کشت های مختلف در دشت تبریز

تاریخ کاشت	دوره زمانی				
	1961-1995	1995-2010	2010-2040	2040-2070	2070-2100
Nov-۱۰	6-Jul	27-Jun	19-Jun	13-Jun	25-May
Nov-۲۰	10-Jul	30-Jun	22-Jun	17-Jun	29-May
Nov-۳۰	13-Jul	03-Jul	26-Jun	20-Jun	02-Jun

جدول ۱۲ - تغییرات طول دوره رشد گندم تحت تاثیر تغییر اقلیم در تاریخ کشت های مختلف در دشت تبریز

تاریخ کاشت	دوره زمانی				
	1961-1995	1995-2010	2010-2040	2040-2070	2070-2100
10-Nov	۲۳۹ روز	230 روز	۲۲۲ روز	216 روز	197 روز
20-Nov	۲۳۳ روز	223 روز	215 روز	210 روز	191 روز
30-Nov	۲۲۶ روز	216 روز	209 روز	203 روز	185 روز

جدول ۱۳ - تغییرات طول دوره رشد گندم تحت تاثیر تغییر اقلیم در تاریخ کشت های مختلف در دشت سقز

تاریخ کاشت	دوره زمانی				
	1961-1995	1995-2010	2010-2040	2040-2070	2070-2100
15-Oct	01-Jul	15-Jun	11-Jun	28-May	15-May
25-Oct	02-Jul	18-Jun	14-Jun	02-Jun	19-May
05-Nov	04-Jul	22-Jun	16-Jul	06-Jun	22-May

جدول ۱۴ - تغییرات طول دوره رشد گندم تحت تاثیر تغییر اقلیم در تاریخ کشت های مختلف در دشت سقز

تاریخ کاشت	دوره زمانی				
	1961-1995	1995-2010	2010-2040	2040-2070	2070-2100
15-Oct	260 روز	۲۴۴ روز	240 روز	226 روز	213 روز
25-Oct	251 روز	۲۳۷ روز	231 روز	221 روز	207 روز
05-Nov	242 روز	230 روز	224 روز	214 روز	199 روز

- ۱- دوره رشد در دشت تبریز نسبت به دشت ارومیه و همچنین طول دوره رشد در دشت ارومیه نسبت به دشت سقز کمتر است. در تفسیر نتیجه به دست آمده می توان گفت که میانگین دما در دشت تبریز نسبت به دشت ارومیه بیشتر بوده و همچنین میانگین دما در دشت ارومیه نسبت به دشت سقز بیشتر می باشد. بنابراین با توجه به اینکه افزایش دما باعث می شود که درجه روز-رشد در مدت کمتری به مقادیری که در جدول ۱ ارائه گردید، کامل شود.
- ۲- به ازای یک تاریخ کشت مشخص، طول دوره رشد در آینده کوتاه تر خواهد شد. در تفسیر نتیجه به دست آمده می توان گفت که دلیل کاهش دوره رشد، افزایش درجه حرارت می باشد. در واقع افزایش دما باعث می شود که رشد فنولوژیکی گیاه زودتر کامل شده و در نهایت گیاه بالغ می شود.
- ۳- با جابجایی تاریخ کشت به سمت اواخر فصل پاییز و اوایل فصل زمستان طول دوره رشد کوتاه تر می شود. در تفسیر نتیجه به دست آمده می توان گفت، که در تاریخ های کشت دیر هنگام مرحله میانی و انتهایی رشد گیاه به سمت اواسط بهار که هوا گرمتر است جابجا و باعث می شود که رشد فنولوژیکی گیاه نسبت به کشت زود هنگام، زودتر کامل شود.
- ۴- کوتاه تر شدن طول دوره رشد اگرچه ممکن است باعث کمتر شدن نیاز آبی کل فصل گیاه و در نتیجه باعث صرفه جویی در مصرف آب می شود. اما به علت اینکه میزان تابش دریافتی توسط گیاه کمتر می باشد، انجام عمل فتوسنتز کمتر شده و در نتیجه بیومس و عملکرد پتانسیل گیاه کاهش می یابد.

### ۳-۵- تغییرات در تبخیر و تعرق کل فصل رشد ( $ET_C$ )

تغییرات در تبخیر و تعرق کل فصل رشد ( $ET_C$ ) در گذشته، وضع موجود و تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره های آتی در جدول ۱۵ الی ۱۷ ارائه شده است.

جدول ۱۵- تبخیر و تعرق کل فصل رشد در دوره های زمانی و تاریخ کشت های مختلف در ارومیه (بر حسب میلی متر در سال)

دوره زمانی	05-Nov	15-Nov	25-Nov
1961-1995	344	346	351
1995-2010	343	344	348
2010-2040	306	309	311
2040-2070	301	303	304
2070-2100	246	260	263

جدول ۱۶- تبخیر و تعرق کل فصل رشد در دوره های زمانی و تاریخ کشت های مختلف در تبریز (بر حسب میلی متر در سال)

دوره زمانی	۱۰-Nov	۲۰-Nov	۳۰-Nov
1961-1995	284	287	306
1995-2010	279	287	294
2010-2040	274	285	286
2040-2070	266	284	284
2070-2100	231	237	239

جدول ۱۷- تبخیر و تعرق کل فصل رشد در دوره های زمانی و تاریخ کشت های مختلف در سقز (بر حسب میلی متر در سال)

دوره زمانی	15-Oct	25-Oct	05-Nov
1961-1995	433	456	464
1995-2010	422	447	451
2010-2040	396	428	429
2040-2070	375	404	413
2070-2100	351	359	370

با توجه به جداول بالا به سه نتیجه می توان اشاره نمود:

- ۱- میزان تبخیر و تعرق کل فصل رشد ( $ET_C$ ) در دشت سقز نسبت به دشت ارومیه بیشتر و همچنین میزان تبخیر و تعرق کل فصل رشد، در دشت ارومیه نسبت به دشت تبریز بیشتر است. در واقع طول مدت رشد بر میزان تبخیر و تعرق کل فصل رشد، تاثیر گذار بوده است.
- ۲- در یک دوره زمانی مشخص، جابجایی زمان کشت، افزایش تبخیر و تعرق کل فصل رشد را به همراه دارد. علت افزایش این است که مراحل میانی و انتهایی رشد (که گیاه در این مرحله حداکثر تبخیر و تعرق را دارد) به سمت اواسط بهار که هوا گرمتر است جابجا می شود و در نتیجه مقدار تبخیر و تعرق کل فصل رشد افزایش می یابد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در هر دوره زمانی بهتر است که کشت زود هنگام صورت گیرد؛ به خاطر آنکه اولاً، طول دوره رشد گیاه افزایش یافته و باعث می شود که میزان تابش دریافتی توسط گیاه بیشتر و در نتیجه انجام عمل فتوسنتز افزایش یافته و بیومس و عملکرد پتانسیل گیاه را افزایش می دهد. ثانیاً میزان تبخیر و تعرق کل فصل رشد کاهش می یابد. و از طرف دیگر در کشت زود هنگام، برداشت محصول نیز زودتر انجام می



گیرد و از آنجایی هر چه به سمت فصل تابستان نزدیک می شویم از میزان بارش ها کاسته می شود، بنابراین برداشت زودتر، عملکرد محصول را افزایش می دهد.

۳- در دوره های زمانی آینده هر چه به سال ۲۱۰۰ نزدیک می شویم، مقدار تبخیر و تعرق کل فصل رشد، کاهش می یابد. علت کاهش مقدار تبخیر و تعرق کل فصل رشد، این است که علی رغم افزایش تبخیر و تعرق (ET<sub>0</sub>) در دوره های آتی (به دلیل افزایش درجه حرارت)، کوتاه شدن دوره رشد باعث می شود که در مجموع، میزان تبخیر و تعرق کل فصل رشد گیاه کاهش یابد.

#### ۴- مراجع

- [1] Haverkort A. J. and Verhagen A. 2008. Climate Change and Its Repercussions for the Potato Supply Chain. *J. of Potato Research* 51: 223-237.
- [2] Lhomme J.P., Mougou R., and Mansour M. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *J. of Climatic Change*.
- [3] Harmsen E.W., Miller N.L., Schlegel N.J., and Gonzalez J.E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *J. of Agricultural Water Management*. 96: 1085-1095.
- [4] سلیمانی ننادگانی، م، پارسى نژاد، م، عراقى نژاد، ش، مساح بوانى، ع، (۱۳۸۹)، برسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی فناوری و کشاورزی، دانشگاه تهران.
- [5] علیزاده، ا. (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا.
- [6] Mann, H. B. (1945). "Nonparametric tests against trend." *Econometrica*, 13, 245-259
- [7] Zhang, Q., Liu, C., Xu, C., Xu, Y., and Jiang, T. (2006). "Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China." *J. Hydrology*, 324, 255-265
- [8] Turgay, P. & Ercan, K. (2005), "Trend analysis in Turkish precipitation data", *Hydrological processes* published online in Wiley Inter science.
- [9] Xu, C.Y. (1999), "From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches", *Progress in Physical Geography*, 23, pp. 229-249.
- [10] Dracup, J.A. & Vicuna, S. (2005), "Overview of hydrology and water resources studies on climate change: the California", *Proceeding of EWRI 2005, Impact of global climate change*.
- [11] Wilby, R.L., Dawson, C.W. & Barrow, E.M. (2001), "SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts", *Environmental Modeling & Software*, 17, pp. 147-159.