

بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در دشت ابهر

عظیم شیردلی، فرصت لطفی، ذبیح‌الله خانی تملیه، پریسا فخمی و مصطفی صالحی

دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۳۴۳ – ۳۵۶

Vol. 4(4), Winter 2019, 343 – 356

DOI: 10.22034/jewe.2018.148917.1279

The Effect of Climate Change on Sorghum's Yield in Abhar Plain

Shirdeli A., Lotfi F., Khani Temelieyh Z.,
Fakhimi P. and Salehi M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: شیردلی ا.، لطفی ف.، خانی تملیه ذ.، فخمی پ. و صالحی م. (۱۳۹۷). بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در دشت ابهر. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۴، صفحات: ۳۴۳ – ۳۵۶.

Citing this paper: Shirdeli A., Lotfi F., Khani Temelieyh Z., Fakhimi P. and Salehi M. (2019). The effect of climate change on sorghum's yield in Abhar Plain. J. Environ. Water Eng., 4(4), 344– 356. DOI: 10.22034/jewe.2018.148917.1279

بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در دشت ابهر

عظیم شیردلی^۱، فرصت لطفی^۲ ذبیح‌الله خانی تملیه^{۳*}، پریسا فخمی^۴ و مصطفی صالحی^۵

^۱دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲دانش‌آموخته کارشناس ارشد، گروه آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۴دانش‌آموخته کارشناس ارشد، گروه آبیاری زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۵مربی، عضو علمی گروه مهندسی کشاورزی دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷ تهران، ایران

*نویسنده مسئول: z.khani1060@yahoo.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۷/۰۲/۱۰]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۷/۰۸/۱۹]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۹/۱۸]

چکیده

یکی از عوامل تأثیرگذار در رشد و عملکرد گیاهان، دما است. از اینرو، در این مطالعه روند دمایی آبی در منطقه ابهر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی طی دوره‌های زمانی آینده تعیین و با دوره مشاهداتی مقایسه شد. سپس، با استفاده از شبیه‌سازی عملکرد گیاه به‌وسیله مدل AquaCrop، عملکرد گیاه در دوره‌های زمانی آبی و در زمان‌های کشت متفاوت شبیه‌سازی و برآورد گردید. در این مطالعه، بازه زمانی دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۸۶ میلادی، افق نزدیک ۲۰۴۵-۲۰۱۱، افق متوسط ۲۰۷۹-۲۰۴۶ و افق دور ۲۱۰۰-۲۰۸۰ در نظر گرفته شد. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی، نتایج مدل شبیه‌سازی گردش عمومی جو از نرم‌افزار LARS-WG طی مدل HadCM3 و سناریوی A2 استفاده شد. همچنین، تولید فایل سناریو نیز انجام گردید. طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین عملکرد در کشت ۵ خرداد با ۴۶/۲۹ t/ha و کمترین عملکرد در کشت ۱۵ خردادماه با ۴۰/۶ t/ha خواهد بود. با انتقال زمان کشت مرسوم از ۲۵ اردیبهشت به ۵ خرداد شاهد افزایش عملکرد ۰/۲۸ t/ha خواهد بود. در افق‌های آینده زمان کشت ۵ اردیبهشت بیشترین عملکرد را خواهد داشت. در افق‌های آبی عملکرد ذرت علوفه‌ای کاهش خواهد یافت. می‌توان فروغ‌آمایی کمتر در طول دوره رشد کوتاه‌تر و همچنین سیستم فتوسنتزی C4 این محصول را در این کاهش عملکرد دخیل دانست.

واژه‌های کلیدی: AquaCrop؛ تغییر اقلیم؛ دشت ابهر؛ دمای هوا؛ عملکرد.

۱- مقدمه

تأمین غذای کافی برای افراد جامعه، از مهم‌ترین ارکان اصلی توسعه پایدار هر کشور می‌باشد. در عصر حاضر با توجه به محدودیت منابع و افزایش روزافزون جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضا برای محصولات غذایی، شرایط ایجاد می‌کند که از منابع محدود به‌نحو بهینه استفاده شود. از طرف دیگر، در حال حاضر ایران به دلیل ریزش‌های کم جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی آن و واقع بودن در کمربند خشک کره زمین در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. ایران از جمله کشورهایی است که در حال حاضر از تنش شدید آبی رنج می‌برد (Shirdeli and Dastvar 2014).

از سوی دیگر، در نقاط خاصی از کره زمین به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، عوامل فرهنگی و اجتماعی، عوامل محیطی و غیره، عوامل تنش‌زا در تولید محصولات کشاورزی تأثیر بیشتری دارند و کشاورزی در آن مناطق با تحمل هزینه بیشتر و بازده کمتر، صورت می‌گیرد (Ghamarnia et al. 2012). با وجود تمامی پیشرفت‌های علمی و فناوری در زمینه‌ی افزایش عملکرد و تولید محصولات زراعی، کشاورزی به شدت به آب‌وهوا و اقلیم وابسته است. تردیدی نیست که در وضعیت تغییر اقلیم، کشاورزی نیز دستخوش تغییر شده و با ارزیابی تغییر این شاخص‌ها، امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد بود (Nasiri Mahalati et al. 2006).

تغییر اقلیم یکی از رخداد‌های طبیعی در حال وقوع است که سبب افزایش دما، کاهش بارندگی‌ها و تغییرات بیلان آبی و کاهش سطوح تولید شده است (Partoy 2013). پدیده 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 (Bates et al 2008). برای تجزیه و تحلیل اثر تغییر اقلیم می‌توان عملکرد را به‌عنوان تابعی از منبع محیطی محدودکننده در نظر گرفت (Soltani and Gholipour 2007). تغییرات طول رشد، سودمندترین نمایه اقلیمی است که کاربرد‌های اقلیمی بسیار زیادی دارد (Robeson

2002). در پژوهش‌هایی که در نقاط مختلف جهان بر روی نقش اقلیم و تغییرات آن طی دهه‌های اخیر بر کشاورزی انجام شده است، بیشتر بر روی طول فصل رشد و تغییرات زمانی - مکانی آن تأکید شده است. دوره‌ای را که طی آن رشد گیاه اتفاق می‌افتد، دوره رشد یا رویش می‌گویند. برای محاسبه آن روش‌های زیادی توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است.

بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در شهرستان شیراز نشان داد که کاهش در مصرف آب باعث کاهش عملکرد و در نتیجه درآمد کشاورزی منطقه خواهد شد، اما از وارد آمدن خسارت بلندمدت به سطح تولید محصولات زراعی و منابع آب زیرزمینی جلوگیری می‌کند (Asad Falsafizadeh and Sabouhi 2013). Sabouni بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران مشخص نمود که تغییر زمان کاشت ذرت از اردیبهشت به خرداد برای تمام نقاط به‌استثنای سبزوآر گزینه مناسبی برای کاهش آثار تغییر اقلیم می‌باشد (Lashkari et al. 2011).

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی می‌توان از مدل‌های گیاهی استفاده کرد. در این‌گونه مطالعات ابتدا آمار هواشناسی سال‌های گذشته مطابق با پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی (GCM) برای آینده زمانی که غلظت CO₂ افزایش پیدا می‌کند، تغییر داده می‌شوند. سپس واکنش مدل به این آمار تغییر یافته بررسی می‌شود (Soltani 2009). از مدل AquaCrop برای ارزیابی تولید ذرت در شرایط متفاوت استفاده شده است و نتایج نشان داد که حداکثر خطای عملکرد محصول بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی ۲۴٪ بود (Raes et al. 2009). کارایی این مدل در شبیه‌سازی بیوماس، محصول و سطح سایه‌انداز ذرت در تیمارهای بدون تنش آبی و تیمارهای با تنش آبی متوسط، رضایت‌بخش بود در حالی که مدل در شرایط تنش آبی شدید از دقت کمتری برخوردار بود (Heng et al. 2009). در پژوهش‌هایی مشابه، عملکرد مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رشد کتان و اثر اقلیم بر رشد ذرت گزارش شده است (et al. 2007; Abraha Garcia-Vila and Savage 2006).

پارامترهای اقلیمی است، می‌توان از مدل AquaCrop برای برآورد عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای موجود در منطقه در شرایط تغییر اقلیم استفاده کرد. با توجه به مطالب فوق ضرورت مطالعه تغییر اقلیمی در طی دوره‌های آبی در منطقه ضرورت دارد تا با شناخت زمان شروع فصل رشد و مقدار انرژی گرمایی موردنیاز هر محصول جهت تکمیل چرخه رشد، بهترین زمان کشت محصول انتخاب شود و در صورت نیاز حتی محصولات جدیدی جایگزین شود و در صورت امکان با برنامه‌ریزی مناسب زمان کشت از محصولات کشت دوم نیز استفاده کرد.

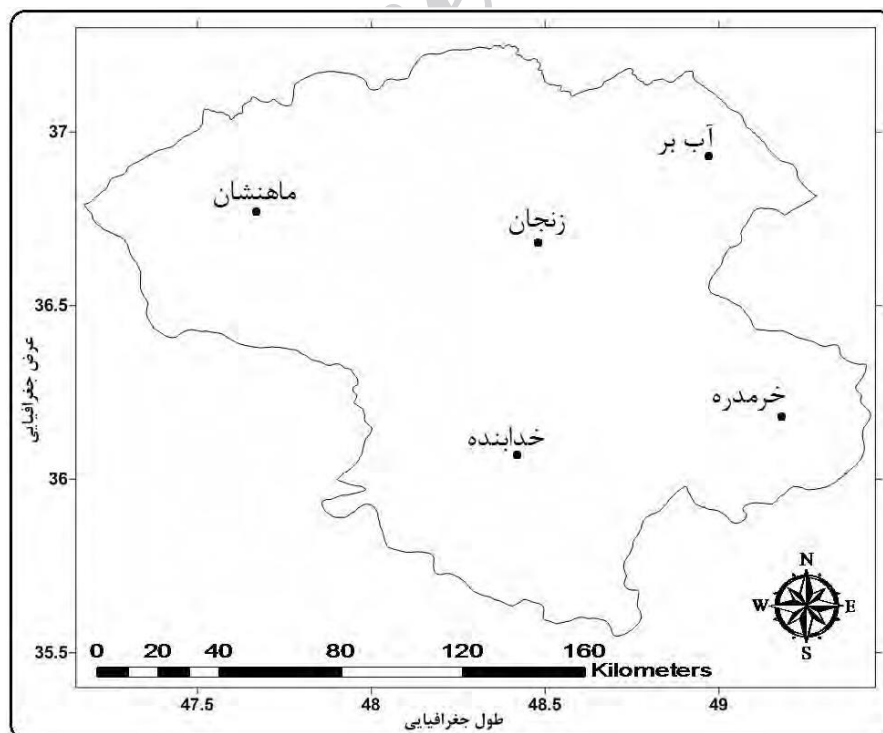
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

به‌منظور انجام بررسی‌ها در این پژوهش با توجه به اینکه به داده‌های حداقل ۲۰۷ نیاز است از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک خرمدره به دلیل فاصله بسیار کم تا ابهر (۶ km) در مرکزیت منطقه و همچنین اقلیم مشابه با ابهر استفاده شد. شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک خرمدره را نشان می‌دهد.

کاهش طول فصل رشد که ناشی از افزایش دما در اثر تغییر اقلیم است، برای نمونه منجر به تغییر تقویم کشت و کاهش بازدهی محصولاتی می‌شود که هنوز کاملاً به حد بلوغ و رشد نهایی خود نرسیده‌اند، درحالی‌که افزایش طول فصل رشد، ممکن است فرصت‌های بیشتری برای شروع کشت زودتر، تضمین رشد نهایی و بلوغ و حتی امکان برداشت بیشتر (در صورت در دسترس بودن آب) را فراهم آورد. همچنین، این نمایه یکی از شاخص‌های مهم برای شناسایی تغییر اقلیم است (Chen et al 2000). بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند دمایی آبی دشت ابهر روند افزایشی پارامترهای دمای کمینه، متوسط و بیشینه در طی افاق‌های زمانی آبی را نشان داد (Shirdeli et al. 2018).

یکی از ارزان‌ترین روش‌ها برای برآورد عملکرد محصولات تحت شرایط مختلف و همچنین دلخواه، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است. با تطبیق کردن (کالیبراسیون) مقادیر عملکرد، نیاز آبی و غیره محصول در شرایط واقعی منطقه، می‌توان مقدار عملکرد، نیاز آبی و غیره همان محصول را در طی شرایط گوناگون و همچنین شرایط تغییر اقلیم برآورد کرد. با توجه به این که منطقه ابهر دارای روند معنی‌دار



شکل ۱- موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه

Fig. 1 Location of the studied area

۲-۲- تهیه و جمع‌آوری نتایج مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو بر اساس سناریوهای محتمل از اقلیم آینده

مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌های سه‌بعدی می‌باشند که بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی به‌منظور شبیه‌سازی اثر گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند و قادر هستند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند (Xu 1999). مدل‌های چرخه عمومی جو، بهترین مطالعات درباره تغییرات جو با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای را فراهم می‌نمایند. از جمله محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت موردنیاز مدل‌های منطقه‌ای و هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها در حدود شبکه‌هایی به طول km ۲۰۰ است، که این دقت به‌ویژه برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما مناسب نیست. با استفاده از روش کوچک‌مقیاس کردن، می‌توان خروجی‌های این مدل‌ها را به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه مورد مطالعه تبدیل نمود. کوچک‌مقیاس کردن در حقیقت به فرآیند حرکت از پیش‌بینی کننده‌های بزرگ‌مقیاس به پیش‌بینی شونده‌ها در مقیاس محلی اطلاق می‌شود (Wilby and Detinger 2000). خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، عموماً بر اساس سناریوهای پخش گازهای گلخانه‌ای موجود، تولید می‌شوند. مدل‌های سه‌بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر (AOGCMs) به‌عنوان پرکاربردترین خروجی‌های اقلیمی مورد استفاده محققان قرار گرفته‌اند. در میان این سناریوها، سناریوی پخش گازهای گلخانه‌ای A2، به لحاظ نزدیک بودن به شرایط واقعی و موجود جهان، دارای دامنه کاربرد مطالعاتی وسیعی است. مدل لارس در DataBase خود خروجی مدل HadCM3 و تحت سناریوی A2 را دارا بوده و با تعیین طول، عرض و ارتفاع جغرافیایی محل مورد مطالعه، این داده‌ها را فراخوانی می‌کند.

۲-۳- ریزمقیاس نمایی

شیوه‌های متفاوتی برای ریزمقیاس نمایی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به استفاده از اطلاعات سلول اصلی، درون‌یابی

به‌منظور برآورد تغییرات میزان دمای حداقل، متوسط و حداکثر در منطقه ابهر در افق‌های آتی تحت تأثیر اثر تغییر اقلیم، نیازمند یک دوره مرجع به‌عنوان دوره پایه است. ابتدا به‌منظور بررسی روند تغییرات میزان دمای حداقل، متوسط و حداکثر در گذشته از آزمون ناپارامتری من-کندال و به‌منظور محاسبه مقدار تغییرات از روش شیب روند سن استفاده شد. بدین منظور از داده‌های ایستگاه سینوپتیک خرمدره در بازه زمانی از بدو تا سیس تا منتهی به سال ۱۴۰۱۴ استفاده شد. نتایج این آزمون در (Fakhimi et al. (2015) آمده است.

از این داده‌ها آزمون روند و دقت انجام شد. با توجه به نتایج آزمون من-کندال سری زمانی دمای حداقل در ماه‌های فروردین تا شهریور و بهمن و اسفند و همه فصل‌های سال و همچنین در مقیاس سالانه نیز دارای روند صعودی معنی‌دار است که به‌غیر از ماه بهمن و فصل پاییز که دارای روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ هستند، بقیه ماه‌ها و فصول دارای روند صعودی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹٪ هستند. متوسط دمای ماهانه سری‌های زمانی ماه‌های تیر، شهریور، بهمن و اسفند دارای روند صعودی معنی‌دار هستند که ماه‌های بهمن و شهریور در سطح اطمینان ۹۰٪ و ماه تیر و اسفند در سطح ۹۹٪ دارای روند معنی‌دار هستند.

در مقیاس فصلی نیز به‌جز فصل پاییز سایر فصل‌ها دارای روند صعودی معنی‌دار بوده‌اند که درصد اطمینان معنی‌داری در فصل تابستان در سطح ۹۹٪ بوده است. دمای بیشینه ماه‌های تیر و بهمن در سطح اطمینان ۹۵٪ و ماه اسفند در سطح اطمینان ۹۹٪، دارای روند صعودی معنی‌دار بوده‌اند. فصل‌های تابستان و زمستان در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای روند صعودی معنی‌دار بوده‌اند و دمای حداکثر سالانه نیز در سطح اطمینان ۹۹٪ دارای روند صعودی است.

در این تحقیق اثرات تغییر اقلیم بر میزان دمای حداقل، متوسط و حداکثر منطقه ابهر در سه افق زمانی آتی شامل افق نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۴۵)، افق متوسط (۲۰۴۶-۲۰۷۹) و افق دور (۲۰۸۰-۲۱۰۰) مورد مطالعه قرار گرفته است.

ایستگاه موردنظر انتخاب شده و برای تولید داده‌های دوره پایه از گزینه BaseLine و برای تولید داده‌های اقلیمی دوره‌های آتی از بخش انتخاب سناریوی اقلیمی استفاده می‌شود. خروجی این مرحله به‌صورت فایل متنی در محل نصب نرم‌افزار و در پوشه OutPut قرار می‌گیرد. در این مطالعه از یک مدل AOGCM استفاده شده است که داده‌های خروجی دمای کمینه و بیشینه و همچنین داده‌های روزانه آن‌ها برای برخی از این مدل‌ها در پایگاه اطلاعاتی نرم‌افزار در دسترس می‌باشد. سناریوی پخش A2 از مدل HadCM3 مبنای ادامه کار بود.

این بخش در زیر منوی Generator قرار دارد که با انتخاب سناریوی HadCM3 و انتخاب دوره موردنظر برای تولید داده (دوره‌های نزدیک، متوسط و دور) با فشردن گزینه generate، مدل اقدام به تولید داده‌های اقلیمی نموده و خروجی در محل پوشه OutPut قرار می‌گیرد. این فایل حاوی داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده تحت شرایط اقلیمی می‌باشد. در صورت معنی دار بودن روند پارامتر ساعت آفتابی (تابش) و وارد کردن داده‌های ساعت آفتابی، پارامتر تابش نیز تولید خواهد شد (Partoy 2012).

۲-۵- تولید فایل سناریو

برای تولید فایل سناریوی تغییر اقلیم موردنیاز مدل LARS-WG، باید از دو فایل (*wgx) و فایل (*.dat) خروجی مدل که داده‌های روزانه ایجاد شده هستند و سناریوهای تغییر اقلیم برای متغیرهای آب‌وهوایی استفاده کرد. این متغیرها شامل نسبت تغییرات در میانگین پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر، تغییرات طول دوره‌های خشک و تر ماهانه دوره آتی نسبت به دوره پایه (رابطه ۱)، تغییر نسبی انحراف از معیار میانگین دمای روزانه هر ماه دوره آتی نسبت به دوره پایه (رابطه ۲) و تغییرات مطلق مقدار تابش دوره آتی نسبت به دوره پایه (رابطه ۳) می‌باشند، این متغیرها از خروجی مدل‌های AOGCM به‌دست آمده، که تحت عنوان فایل (*.sce) در اختیار مدل قرار می‌گیرند. همچنین داده‌های مربوط به انحراف از معیار میانگین دمای روزانه از فایل (*.dat) و سایر داده‌ها از فایل (*.wgx) استخراج می‌گردد. محاسبه تغییرپذیری بارش، طول دوره تر و خشک و کمینه و بیشینه دما: میانگین توزیع تجربی طول دوره‌ها را برای دوره

اطلاعات سلول‌های مجاور، روش‌های آماری و روش‌های دینامیکی اشاره نمود که جهت تولید سناریوهای اقلیمی به کار گرفته می‌شود. در این مطالعه از روش ریزمقیاس نمایی آماری (استفاده از مدل مولد آب‌وهوا) استفاده شده است که جزئیات آن در ادامه خواهد آمد. LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، تابش و ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده، به کار می‌رود. این مدل از اطلاعات روزانه مشاهداتی در یک ایستگاه مشخص برای محاسبه یک دسته از پارامترهای توزیع‌های احتمالی متغیرهای آب و هوایی و همچنین همبستگی و ارتباط میان آن‌ها استفاده می‌کند. این دسته از پارامترها برای ساخت سری‌های زمانی مصنوعی متغیرهای آب و هوایی به کار می‌روند. به‌وسیله تنظیم پارامترهای توزیع‌های به‌دست آمده برای ایستگاه هواشناسی موردنظر بر اساس تغییرات پیش‌بینی‌شده‌ی اقلیم که از مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای یا جهانی به‌دست آمده‌اند، یک سناریوی اقلیمی روزانه برای ایستگاه هواشناسی ایجاد می‌شود که می‌تواند برای ارزیابی تغییرات اقلیمی و ساخت اطلاعات مورداستفاده قرار گیرد (Semenov and Stratonovich 2010). برای ارزیابی و واسنجی کردن مدل روش‌های مختلفی موجود است، از جمله مقایسه داده‌های تولیدشده توسط مدل و دوره پایه ایستگاه با رسم نمودارهای مربوط به پارامترهای مختلف و همچنین استفاده از فرمول‌های مختلف که در اکثر مطالعات تغییر اقلیم به آن‌ها اشاره شده است. (Nasari et al 2013).

۲-۴- تولید داده‌های آب‌وهوایی در آینده تولید داده‌ها

در این مرحله مدل نیاز اساسی به دو فایل مشخص‌کننده رفتار اقلیم در گذشته (*wgx) و سناریوی تغییر اقلیم (*.sce)، ناشی از خروجی مدل‌های GCM خواهد داشت. برای این کار از منوی Generator استفاده می‌شود. نام

پایه و آینده با استفاده از فایل (*.wgx) انجام شده است. برای این کار مرکز هر هیستوگرام را از طریق میانگین گیری دو مقدار ابتدا و انتها به دست آورده و مقدار حاصل را در تعداد رخدادهای این بازه ضرب کرده تا مقدار میانگین طول دوره را برای این بازه هیستوگرام محاسبه شود. این کار برای همه هیستوگرام ها انجام گرفت. حال همه مقادیر را باهم جمع کرده تا تقریبی از تعداد کل روزهای تر (یا خشک) به دست آید. تعداد کل رخدادهای هم از طریق جمع تمامی رخدادهای (یا چگالی توزیع آن ها) موجود در هر هیستوگرام به دست آورده و برای محاسبه میانگین توزیع، مجموع روزهای تر (یا خشک) بر تعداد کل رخدادهای تقسیم شد. این کار برای همه ۱۲ ماه و برای دو دوره انجام داده شد. در نهایت برای محاسبه تغییر نسبی طول دوره تر (یا خشک) ماهانه، طول میانگین سری آینده بر طول میانگین سری در دوره پایه همان ماه تقسیم گردید.

$$RC = \frac{\bar{X}_f}{\bar{X}_b} \quad (1)$$

$$RC_{std} = \frac{std_f}{std_b} \quad (2)$$

$$RC_{rad} = \bar{X}_f - \bar{X}_b \quad (3)$$

که، b و f به ترتیب: پایه و آتی

۲-۶- ضرورت استفاده از مدل های گیاهی

کشاورزی را می توان به عنوان علم مدیریت محصول جهت کسب حداکثر سود تعریف نمود که از طریق پیش بینی و اجرای تکنیک های مدیریتی بهتر حاصل می شود. امروزه افزایش تولید محصول بیش تر به استفاده درست از منابع قابل دسترس بستگی دارد. بسیاری از فاکتورها از جمله خاک، اقلیم، گیاه و مدیریت تولید، در نحوه واکنش گیاه کاشته شده به عملیات آبیاری، کوددهی و دیگر عملیات کشت، مؤثر می باشد. مدل های گیاهی، کاربرد زیاد و رایجی در ارزیابی غیرمستقیم اراضی برای پاسخ به پرسش هایی که در تحقیقات علمی، مدیریت محصول و سیاست مطرح می شود، دارند (et al. 1996). مدل های گیاهی امکان پیش بینی عملکرد محصول و پتانسیل بهره وری مکان هایی که گیاه در آنجا رشد

نکرده است را می دهند. اگرچه مدل ها نمی توانند جایگزین آزمایش های مزرعه ای شوند ولی یک مزیت عمده دارند و آن این که موجب صرفه جویی در هزینه ها و زمان می گردند. در غیر این صورت لازم است آزمایش های مزرعه ای خسته کننده ای در چند مکان با خصوصیات آب و هوا و خاک متفاوت برای چندین سال صورت گیرد (Karimi 2009). برای درک بیشتر فرآیند واکنش گیاه به شرایط متفاوت رشد و نیز پیش بینی عملکرد و بهره وری در سطوح مختلف، مدل های کامپیوتری با شبیه سازی سیستم خاک، محصول و اتمسفر نقش ارزشمندی را ایفا می کنند. با پیشرفت فن آوری های سخت افزاری و نرم افزاری در بخش کامپیوتر و همچنین افزایش دسترسی اشخاص به آن ها، مدل های کاربر مدار زیادی برای شبیه سازی گیاهان متعددی تولید شده که می توانند برای بهینه سازی محصول، مدیریت ماده غذایی و ارائه نظریه هایی در رابطه با مدیریت گیاهی در سطح وسیع استفاده گردند. همچنین می توانند برای تحقیق در زمینه های موضوعات محیطی و قابلیت تحمل اکوسیستم های کشاورزی توسط گیاه به کار روند (Monteith 1996). هدف اصلی مدل های گیاهی، کاربرد آن به عنوان ابزاری تحلیلی برای مطالعه اثر مدیریت سیستم های کشت روی حاصلخیزی محصول و محیط است. برای این منظور، اغلب مدل های گیاهی به شبیه سازی بیلان آب خاک، بیلان نیتروژن گیاه، خاک، فنولوژی گیاه، رشد ریشه، میزان زیست توده گیاه، عملکرد محصول، میزان تولید و تجزیه باقی مانده گیاهی، فرسایش خاک و سرنوشت آفت کش ها می پردازند. این موارد تحت تأثیر شرایط اقلیمی، مشخصات خاک و گیاه، گزینه های مدیریتی سیستم کشت از جمله تناوب محصول، آبیاری، کوددهی و غیره می باشند (Karimi 2009).

بدین منظور از داده‌های گیاهی موجود در پژوهش‌های مشابه در اقلیم‌های نزدیک به شرایط اقلیمی منطقه که در داخل کشور و مناطق نزدیکتر به شهرستان ابهر موجود است، استفاده شد و سپس برای واسنجی دقیق مدل، از داده‌های موجود در سازمان جهاد کشاورزی شهرستان ابهر اعم از تراکم کشت، عملکرد محصول و زمان کشت و داده‌های نرم‌افزار NETWAT استفاده شد.

۲-۹- تقویم دوره کشت

به دلیل نیاز به دخالت دادن شرایط تغییر اقلیم در مراحل رشد گیاه، از واحد (درجه-روز) استفاده شد. برخی از این مقادیر با استفاده از داده‌های سایر پژوهش‌ها اصلاح گردید و با استفاده از زمان کاشت و برداشت در منطقه ابهر واسنجی گردید و مقادیر سایر پارامترهای زمان رشد گیاه به نسبت این مقادیر تغییر پیدا کرد. بعنوان مثال اگر زمان برداشت محصول ده روز افزایش یافته باشد فاصله زمان گلدهی محصول بعد از کشت به نسبت زمان واسنجی شده برداشت تقسیم بر زمان قبلی برداشت در مدل افزایش می‌یابد. به دلیل استفاده از بالاترین عملکرد و همچنین جلوگیری از سرمازدگی، حداکثر یک هفته به زمان برداشت مرسوم منطقه اضافه گردید.

۲-۱۰- عملکرد محصول

به منظور واسنجی دقیق مقدار محصول تولیدی از داده‌های جهاد سازندگی شهرستان ابهر استفاده گردید. برای این منظور نیز از دو پارامتر WP^* و HI (شاخص برداشت) می‌توان استفاده کرد. به دلیل ثابت فرض کردن پارامتر WP^* در مرحله قبل، از شاخص برداشت استفاده شد. به دلیل تأثیرپذیری مقدار عملکرد محصول از نیاز آبی، ابتدا باید نیاز آبی واسنجی شده و سپس عملکرد محصول واسنجی شود.

۲-۱۱- تغییر زمان کشت

در این پژوهش به دلیل این که هدف علاوه بر مطالعه تغییرات ایجاد شده در عملکرد محصول طی دوره‌های زمانی آبی، مطالعه تغییرات عملکرد در تغییر زمان کشت نیز می‌باشد. بدین منظور زمان کشت محصول در منطقه را علاوه بر همان روز، ۱۰ و ۲۰ روز زودتر و دیرتر از زمان موجود به مدل وارد کرده و در واقع برای محصول، پنج تاریخ کشت مختلف در نظر گرفته شد.

به کاررفته در نشریه شماره ۳۳ سازمان خواربار جهانی (FAO) (رابطه ۴) استفاده می‌کند.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (4)$$

Y_a : عملکرد واقعی ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$)، Y_m : حداکثر عملکرد ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$)، K_y : فاکتور واکنش عملکرد (بی‌بعد)، ET_a : تبخیر و تعرق واقعی (Cm) و ET_m : تبخیر و تعرق حداکثر (Cm) پارامترهای موردنیاز این مدل به دو دسته‌ی پارامترهای ثابت و متغیر تقسیم می‌شوند. اطلاعات ورودی این مدل اطلاعات اقلیم، خاک، مدیریت و خصوصیات گیاه می‌باشند. پارامترهای مهم موردبررسی در این مدل، عملکرد محصول، بهره‌وری مصرف آب (WP) (رابطه ۵) و شاخص برداشت (HI) (رابطه ۶) می‌باشد.

$$WP = \frac{Yield}{ET} \quad (5)$$

$$HI = \frac{Yield}{Biomass} \quad (6)$$

$Yield$ و $Biomass$ به ترتیب عملکرد و زیست توده (کیلوگرم) و ET آب مصرفی (مترمکعب) می‌باشد. رابطه (۷) هسته اصلی مدل AquaCrop در برآورد عملکرد می‌باشد.

$$Biomass = WP * \sum_{i=1}^n \left(\frac{Tc}{ET_o} \right)_i \quad (7)$$

WP : بهره‌وری مصرف آب ($\text{gm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$)، TC : تعرق گیاه ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$)، ET_0 : تبخیر و تعرق مرجع ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$) و

$\sum_{i=1}^n$: بیانگر گام‌های روزانه این معادله است.

۲-۸- واسنجی مدل نسبت به منطقه مورد مطالعه

با توجه به این نکته که داده‌های گیاهی مدل AquaCrop برای ارقام خاصی از محصولات و مناطق محدودی از جهان موجود است و در مناطق متفاوت، رقم خاصی از محصول ممکن است واکنش‌های متفاوتی از خود نشان دهد و همچنین هر محصولی ارقام متفاوتی دارد، نیاز به واسنجی داده‌های گیاهی در منطقه موردنظر با ارقام و عملکردهای واقعی آن‌ها در منطقه است.

۲-۱۲- نیاز آبی محصول

به منظور واسنجی دقیق نیاز آبی محصول در شرایط واقعی منطقه از داده‌های موجود در نرم‌افزار NETWAT استفاده گردید. بدین منظور از دو پارامتر K_{CTR} (ضریب تعرق) و WP^* (بهره‌وری آب که توسط تبخیر و تعرق مرجع و غلظت دی‌اکسید کربن اصلاح و نرمال شده است) می‌توان استفاده کرد. از ضریب تعرق به دلیل سادگی ضریب استفاده شد. از پارامتر WP^* به دلیل محدودیت مقدار پارامتر و همچنین دخیل بودن عامل کربن دی‌اکسید و غذا سازی استفاده نشده است.

۳- یافته‌ها و بحث

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- واسنجی و ارزیابی مدل LARS-WG

ضرایب اصلاحی به منظور تولید فایل سناریوی تغییر اقلیم مورد نیاز مدل LARS-WG، برای سناریوهای تغییر اقلیم و برای متغیرهای آب‌وهوایی در ستون‌های ۱- نسبت تغییرات در میانگین پارامترهای بارش، ۲- دمای حداقل، ۳- دمای حداکثر، ۴ و ۵- تغییرات طول دوره‌های خشک و تر ماهانه

دوره آبی نسبت به دوره پایه (رابطه ۱)، ۶- تغییر نسبی انحراف از معیار میانگین دمای روزانه هرماه دوره آبی نسبت به دوره پایه (رابطه ۲) و ۷- تغییرات مطلق مقدار تابش دوره آبی نسبت به دوره پایه (رابطه ۳) در جداول (۱) تا (۳) آمده است.

۳-۲- تغییرات دمایی در دوره‌های آبی

به منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی، سناریوی تغییر اقلیم را بر مبنای مقایسه خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 به داده‌های دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۶) شبیه سازی برای دوره‌های آبی در سه افق نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۱۱)، افق متوسط (۲۰۴۶-۲۰۷۹) و افق دور (۲۰۸۰-۲۱۰۰) شد. که با استفاده از این نتایج می‌توان تغییرات پارامترهای آماری مربوط به دما را مورد ارزیابی قرار داد. مدل HadCM3 تحت روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG در اکثر ماه‌های سال دمای بیشتری را در دوره آبی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهند. داده‌های شبیه‌سازی شده دما در دوره‌های زمانی آبی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۰) ایستگاه خرمدره در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۱- ضرایب اصلاح شده فایل سناریوی دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۵

Table 1 Corrected coefficients of the scenario file for the period 2011-2045

پارامتر/ماه	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
فروردین	1.01	1.01	0.99	0.96	0.99	0.97	1
اردیبهشت	1	1.01	1	1.01	1	1.02	1.01
خرداد	1	1.01	1	1.02	1.02	1	1.01
تیر	1.01	1.38	1.17	1.01	1	1.01	1.01
مرداد	1.1	1.04	0.99	1	1	1.02	1.01
شهریور	1.01	1.54	1.16	1.01	1.01	1	1
مهر	1	1.01	1.03	0.98	1	1	0.98
آبان	1.01	1	1.01	0.89	0.99	1.02	0.97
آذر	1	0.99	1	1.93	0.98	1.03	0.98
دی	1	0.99	1.02	0.94	0.89	1	0.99
بهمن	1	0.99	0.99	2.18	0.97	1.06	1
اسفند	1.01	0.99	1.01	1	0.98	1.03	1

[۱]: تغییرات نسبی میانگین بارش ماهانه؛ [۲]: تغییرات نسبی طی دوره خشک؛ [۳]: تغییرات نسبی طی دوره تر؛ [۴]: تغییرات مطلق میانگین دمای حداقل ماهانه؛ [۵]: تغییرات مطلق میانگین دمای حداکثر ماهانه؛ [۶]: تغییرات نسبی انحراف از معیار میانگین دمای روزانه؛ [۷]: تغییرات نسبی میانگین تابش ماهانه

جدول ۲- ضرایب اصلاح‌شده فایل سناریوی دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۷۹

Table 2 Corrected coefficients of the scenario file for the period 2046-2079

[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	پارامتر/ماه
1	0.97	0.98	0.91	1	1.01	1	فروردین
1.02	1.04	0.99	0.98	1	1.01	1.01	اردیبهشت
1.02	1.01	1	1	1	1.01	1	خرداد
1.01	1.02	1	0.98	1.17	1.4	1.01	تیر
1	1.02	0.99	1	0.98	1.04	1.1	مرداد
0.99	1.02	1	1	1.16	1.54	1.01	شهریور
0.97	1.03	1	0.95	1.02	1.02	1	مهر
0.97	1.01	0.98	0.77	0.99	1	1.01	آبان
0.97	1.02	0.92	1.26	1	1	1	آذر
0.98	1	0.74	1.37	1	0.99	1	دی
0.99	1.06	0.92	1.43	0.99	1.01	1	بهمن
0.99	1.04	0.97	1.64	1.01	1.01	1	اسفند

[۱]: تغییرات نسبی میانگین بارش ماهانه؛ [۲]: تغییرات نسبی طی دوره خشک؛ [۳]: تغییرات نسبی طی دوره تر؛ [۴]: تغییرات مطلق میانگین دمای حداقل ماهانه؛ [۵]: تغییرات مطلق میانگین دمای حداکثر ماهانه؛ [۶]: تغییرات نسبی انحراف از معیار میانگین دمای روزانه؛ [۷]: تغییرات نسبی میانگین تابش ماهانه

جدول ۳- ضرایب اصلاح‌شده فایل سناریوی دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰

Table 3 Corrected coefficients of the scenario file for the period 2080-2100

[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	پارامتر/ماه
1.07	1	0.97	0.85	1.01	1.01	1.01	فروردین
1.03	1.05	0.98	0.95	1	1.01	1	اردیبهشت
1.01	0.98	0.99	0.97	1	1.01	1	خرداد
1.01	1.02	0.99	0.98	1.02	0.99	0.9	تیر
1.01	1.05	0.99	0.98	0.98	0.97	0.99	مرداد
0.98	1.06	0.99	0.97	1.02	1	1.02	شهریور
0.95	1.04	0.98	0.91	1.01	1.01	1	مهر
0.94	1.05	0.95	0.61	1.01	0.99	1	آبان
0.97	1.02	0.87	2.94	0.99	1	1	آذر
0.97	0.93	0.65	2.75	1.01	1	1	دی
1.01	1.03	0.86	2.99	1.01	1.01	1	بهمن
1.04	1.08	0.93	3.42	1.01	0.99	0.98	اسفند

عناوین ستون‌های جدول: [۱]: تغییرات نسبی میانگین بارش ماهانه؛ [۲]: تغییرات نسبی طی دوره خشک؛ [۳]: تغییرات نسبی طی دوره تر؛ [۴]: تغییرات مطلق میانگین دمای حداقل ماهانه؛ [۵]: تغییرات مطلق میانگین دمای حداکثر ماهانه؛ [۶]: تغییرات نسبی انحراف از معیار میانگین دمای روزانه؛ [۷]: تغییرات نسبی میانگین تابش ماهانه

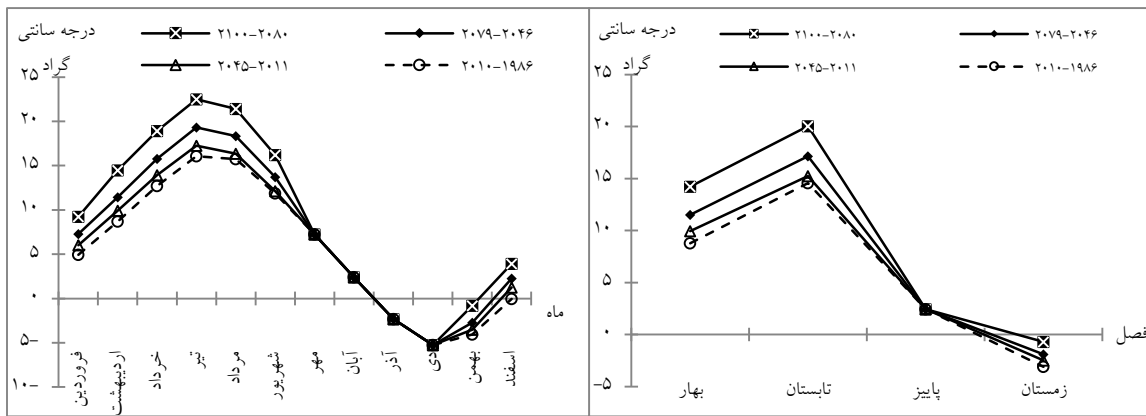
۳-۳- تغییرات دمایی در دوره‌های آتی

پس از بررسی کیفیت مدل در شبیه‌سازی دوره پایه، اقدام به تولید داده‌های شبیه‌سازی شده، برای دوره‌های آتی در سه افق نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۴۵)، افق متوسط (۲۰۴۶-۲۰۷۹) و افق

در تولید فایل سناریو، اعداد هر دو سری (GCM) PREDICTIONS و LARS-WG PARAMETERS یکی در نظر گرفته می‌شود و تولید فایل سناریو برای هر یک از سه افق زمانی آینده نزدیک، متوسط و دور انجام می‌شود.

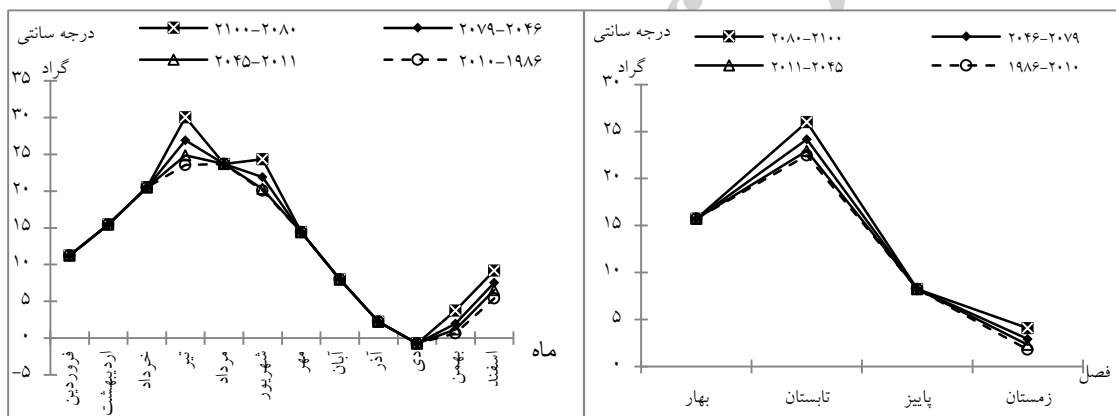
(۳)، (۲)، (۴) ایستگاه خرمدره در نمودار شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) نمایش داده شده است.

دوره‌های زمانی آبی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی دوره پایه (۲۰۸۰-۲۱۰۰) شد. داده‌های شبیه‌سازی شده دما در



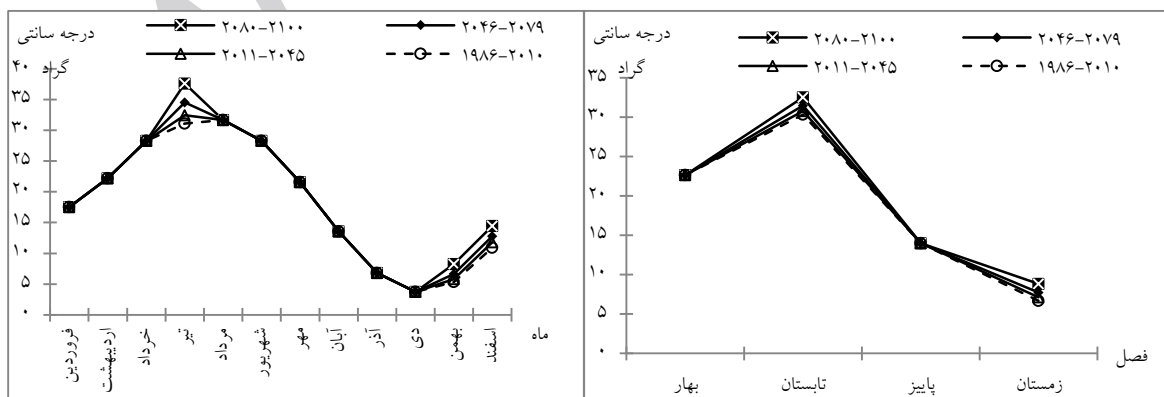
شکل ۲- نمودار دمای حداقل مشاهداتی و پیش‌بینی شده ایستگاه خرمدره

Fig. 2 Minimum Observational and Predicted Temperature Characteristics of Khoramdarah Station



شکل ۳- نمودار دمای متوسط مشاهداتی و پیش‌بینی شده ایستگاه خرمدره

Fig. 3 Average observation and predicted temperature of Khoramdarah station



شکل ۴- نمودار دمای حداکثر مشاهداتی و پیش‌بینی شده ایستگاه خرمدره

Fig. 4 Maximum observation and predicted maximum temperature at Khoramdarah station

۳-۴- واسنجی مدل AquaCrop

مدل AquaCrop برای بررسی عملکرد و شبیه‌سازی دوره رشد ذرت علوفه‌ای در پنج زمان کشت مختلف و در چهار دوره زمانی حاضر، افق نزدیک، متوسط و دور مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور به برخی اصلاحات در پارامترهای موجود در مدل نیاز است. برخی از این اطلاعات و اصلاحات در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴- اطلاعات کشت و برخی از پارامترهای گیاهی مدل

Table 4 Crop data and some plant parameters of the AquaCrop model

ذرت علوفه‌ای	محصول
روز	پارامتر
10	تراکم بذر
60	عمق ریشه (cm)
107	Kc Tr
113	(g/m ³) WP*
129	(%) Hi0
72	
52	
12	

WP*: بهره‌وری آب که توسط تبخیر و تعرق مرجع و غلظت کربن دی‌اکسید اصلاح و نرمال شده است، KcTr: ضریب تعرق، Hi0: شاخص برداشت

۳-۵- تقویم دوره کشت محصولات

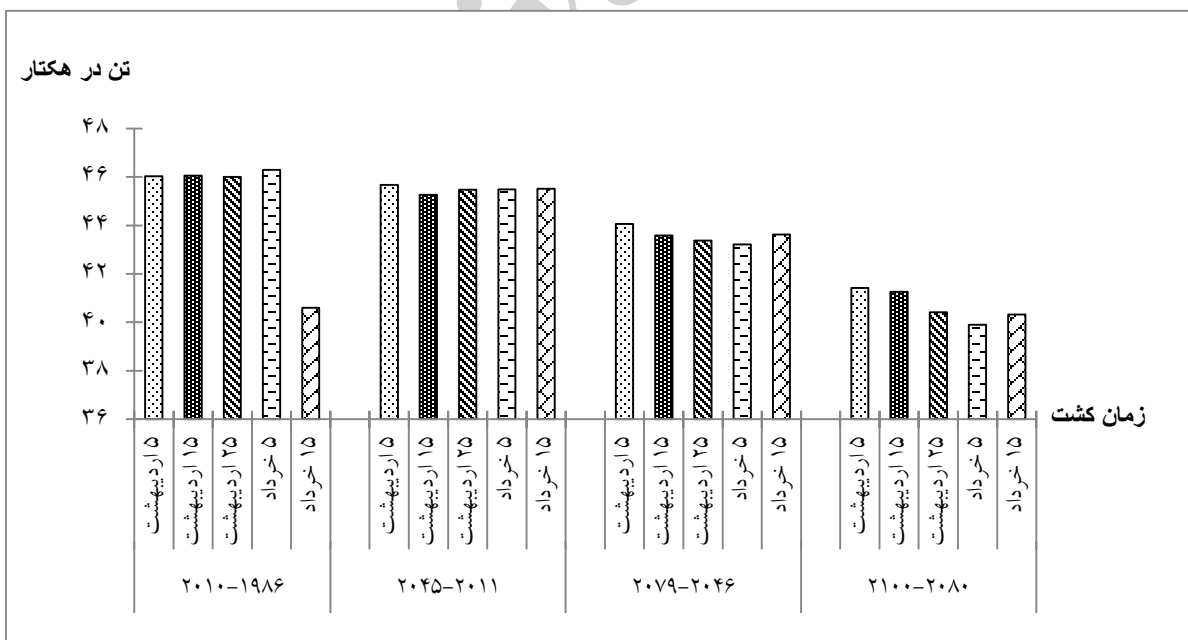
تقویم دوره کشت محصول ذرت علوفه‌ای بر حسب درجه-روز وارد شد تا با تأثیرپذیری از تغییرات دمایی تغییر زمان کشت و همچنین تغییرات به وجود آمده در شرایط تغییر اقلیم ثابت باقی‌مانده و طول دوره کشت تغییر یابد. در جدول (۵) تقویم دوره کشت آمده است.

جدول ۵- تقویم کشت محصول ذرت علوفه‌ای بر حسب پارامتر

درجه-روز و زمان کشت مرسوم

Table 5 Calendar of sorghum's product according to the degree-day and conventional cultivation time

ذرت علوفه‌ای	محصول
روز	پارامتر
10	زمان جوانه زنی
60	زمان رسیدگی به حداکثر پوشش گیاهی
107	زمان رسیدگی به عمق ریشه
113	زمان شروع پیری
129	زمان رسیدگی فیزیولوژیک
72	زمان رسیدگی گلدهی
52	زمان رسیدگی به دوره محصول دهی
12	طول رسیدگی به دوره گلدهی



شکل ۵- شبیه‌سازی عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای در زمان‌های متفاوت کشت و شرایط تغییر اقلیم

Fig. 5 Simulation of yield of sorghum's crop at different times and conditions of climate change

۳-۶- شبیه‌سازی عملکرد محصول

عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای توسط مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد در نمودار شکل (۵) آمده است. بیشترین عملکرد در کشت ۵ خرداد با $46/29 \text{ t/ha}$ و کمترین عملکرد در کشت ۱۵ خردادماه با $40/6 \text{ t/ha}$ است. با انتقال زمان کشت مرسوم از ۲۵ اردیبهشت به ۵ خرداد شاهد افزایش عملکرد $0/28 \text{ t/ha}$ خواهد بود. در عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر تغییر اقلیم عملکرد کاهش خواهد یافت. در افق‌های آینده زمان کشت ۵ اردیبهشت بیشترین عملکرد را خواهد داشت. در افق‌های آینده عملکرد ذرت علوفه‌ای کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه در افق‌های آینده به دلیل افزایش دما، پارامتر درجه-روز نیز افزایش می‌یابد و به دلیل ثابت بودن نیاز انرژی گرمایی گیاه، دوره‌های رشد نیز به تبع کوتاه خواهد شد. به دلیل کمتر شدن تعداد روزهای رشد گیاه، گیاه کمتر در معرض نور و انرژی خورشید قرار می‌گیرد و در نتیجه فروغ‌آمایی و غذاسازی و جذب مواد غذایی و ریزمغذی‌ها از خاک در گیاه کاهش می‌یابد و وزن خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد. (Farokhi and Ghorbani Kahriz Sangi 2012). همچنین ذرت به-دلیل سیستم فروغ‌آمایی C4، در برابر افزایش مقدار کربن دی‌اکسید در افق‌های آینده کمتر واکنش نشان می‌دهد و افزایش

محسوسی در عملکرد ناشی از افزایش کربن دی‌اکسید نخواهد داشت (Zand and Baghestani 2010).

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد:

- ۱- بیشترین عملکرد در کشت ۵ خرداد و کمترین عملکرد در کشت ۱۵ خردادماه است. با انتقال زمان کشت مرسوم از ۲۵ اردیبهشت به ۵ خرداد افزایش عملکرد $0/28 \text{ t/ha}$ خواهد بود.
- ۲- در عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر تغییر اقلیم عملکرد کاهش خواهد یافت. در افق‌های آینده زمان کشت ۵ اردیبهشت بیشترین عملکرد را خواهد داشت. در افق‌های آینده عملکرد ذرت علوفه‌ای کاهش می‌یابد.
- ۳- با توجه به اینکه در افق‌های آینده به دلیل کمتر شدن تعداد روزهای رشد گیاه، گیاه کمتر در معرض نور و انرژی خورشید قرار می‌گیرد و در نتیجه فتوسنتز و غذاسازی و جذب مواد غذایی و ریزمغذی‌ها از خاک در گیاه کاهش می‌یابد و وزن خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد.
- ۴- همچنین ذرت به‌دلیل سیستم فروغ‌آمایی C4، در برابر افزایش مقدار کربن دی‌اکسید در افق‌های آینده کمتر واکنش نشان می‌دهد و افزایش محسوسی در عملکرد ناشی از افزایش کربن دی‌اکسید نخواهد داشت.

References

- Abraha M. G. and Savage M. J. (2006). Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *J. Agri. Ecosys. Environ.*, 115, 150-160.
- Asad Falsafizadeh, N. and Sabouhi Sabouni, M. (2013). Investigation of climate change phenomenon on agricultural production. *J. Agri. Econom. Develop.*, 26(4), 272-286 [In Persian].
- Bates B. C., Kundzewicz Z. W., Wu S. and Palutikof Eds J. P. (2008). Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210.
- Boote K. J., Jones J. W. and Pkering N. (1996). Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.*, 88, 704-716.
- Chen X., Tan Z., Schwartz M. D. and Xu, C. (2000). Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in northern China, *Int. J. Biometeorol.*, 44, 97-101.
- Fakhimi P., Shirdeili A. and Massoudi M. (2015). Study of changes in monthly, seasonal, and annual air temperature in Zanjan province. First Iranian National Irrigation and Drainage Congress, Ferdowsi University of Mashhad [In Persian].
- Farokhi J. and Ghorbani Kahriz Sangi A. (2012). Comparison of water consumption in cucumber with two types of magnetic water and non-magnetic water in bed preparation

- and planting. The First National Conference on Sustainable Development Strategies, Tehran [In Persian].
- Garcia-Vila M., Fereres E., Hsiao T. and Raes D. (2007). Yield response to water. The FAO revision framework and the crop-water productivity model AquaCrop.
- Ghamarnia H, Gharemani Fard M. and Sassani Sh. (2012). Evaluation of supplemental irrigation effects on yield and water use efficiency of three new varieties wheat. *Water Irrig. Manag.*, 2(2), 69-83 [In Persian].
- Heng L. Kh., Hsiao T., Evett S., Howell T. and Steduto P. (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigation and water deficient field maize. *Agron. J.*, 101, 488-498.
- Karimi M. (2009). Evaluation of water management and silage sorghum fertilization with CropSyst and AquaCrop models in Veramin region. Master's Dissertation, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran [In Persian].
- Lashkari A., Alizadeh A. and Banayan Aval M. (2011). Investigate the possible reduction effect of climate parameters change on maize production in the north east of Iran. *J. Soil Water*, 25(4), 926-939 [In Persian].
- Monteith J. L. (1996). The quest for balance in crop modeling. *Agron. J.*, 88, 695-699.
- Nasiri Mahalati M., Kochaki A. R., Kamaei Gh. A. and Marashi H. (2006). Effect of climate change in agro-climatic indices of Iran. *J. Agri. Sci. Technol.*, 7, 71-82 [In Persian].
- Nasseri S. Nouri H. and Zaynee Wand H. (2014). Detection of climate change in Khorramabad city using downscaling of HADCM3 model. Second National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, 1-9 [In Persian].
- Partoy M. (2012). The effect of climate change on water requirement and wheat yield and its wdaptation wstrategies. Master's Dissertation, Faculty of Agriculture, Zanjan University [In Persian].
- Raes D., Steduto P., Hsiao T. C. and Fereres E. (2009). AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water II. Main algorithms and soft ware description. *Agron. J.*, 101, 438-447.
- Rezaie H., Rabiee Ghafar Z., KhaniTemeliyeh Z. and Khani Temeliyeh S. (2017). Climatic zoning using multi-variable statistical methods at East Azarbyjan Province. *J. Environ. Water Eng.*, 3(3), 259 – 271 [In Persian].
- Robeson S. M. (2002). Increasing growing season length in Illinois during the 20th century. *Climat. Change*, 52, 219-238.
- Semenov M. and Stratonovich P. (2010). Use of multimodel ensembles from global climate models for assessment of climate change impact. *Climat. Res.* 1, 114.
- Shirdeli A. and Dastvar S. (2014). An optimization technique for cropping patterns and land consolidation: A case study for irrigation network. *J. Manag. Sci. Lett.*, 4(9), 2087-2092.
- Shirdeli A., Khani Temeliyeh Z., Rezaie H., Imani M. and Fakhimi P. (2018). Evaluating the impact of climate change on future temperature trend of Abhar plain. *J. Environ. Water Eng.*, 4(1), 47 – 60. [In Persian].
- Soltani, A. (2009). Mathematical modeling in crops, Mashhad University Press, 175 p [In Persian].
- Soltani A. And Gholipour M. (2007). Simulation of the effect of climate change on growth, yield and water consumption of chickpea. *J. Agri. Sci. Nat. Resour.*, 13(2), 24-27 [In Persian].
- Wilby R. L. and Dettinger M. D. (2000). Streamflow changes in Sierra Nevada, Clifornia, simulated using a statistically downscaled general circulation model scenario of climate change, *Linking Climate Change to Land Surface Change*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 120.
- Xu C. (1999). From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Prog. Phys. Geogr.*, 23, 2, 229-249.
- Zand A. and Baghestani M. A. (2011). Climate change and its environmental impacts on weeds. *Zaytun Monthly*, 31(224), 2-11 [In Persian].

The Effect of Climate Change on Sorghum's Yield in the Abhar Plain

Azim Shirdeli¹, Forsat Lotfi^{2*}, Zabihollah Khani Temelieyeh³, Parisa Fakhimi⁴ and Mostafa Salehi⁵

¹Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

²M.Sc. Alumni, Department of Hydro-Meteorology, Faculty of Human Science, Zanjan University, Zanjan, Iran

³PhD Scholar, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

⁴M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

⁵Instructor, Scientific Member of the Department of Agriculture, Payame Noor University, P.O. BOX 19395-3697 Tehran, Iran

*Corresponding author: z.khani1060@yahoo.com

Original Paper

Received: December 30, 2017

Revised: September 7, 2018

Accepted: October 10, 2018

Abstract

Temperature is one of the factors affecting plant growth. Hence, in this paper, future temperature trends in Abhar region affected by climate change during future periods was evaluated and compared with the period of observation. Plant yield in the future and different cultivation periods was later simulated and estimated through AquaCrop simulation model of plant yield. The study observation period was considered as 1986-2010 AD, near horizon 2011-2045, the average horizon 2046-2079 and 2080-2100 horizon in the current study. LARS-WG software was used in HadCM3 model and A2 scenario in order to downscale the results of general atmosphere circulation's simulation model. Furthermore, the scenario file was generated in this study. According to the results obtained, the highest yield will be cultivated on May 26 with 46.29 tons per hectare and the lowest yield will be produced on June 5 with 40.6 tons per hectare. If we change the traditional cultivation time from May 15 to May 26, a growth of 0.28 tons per hectare will be expected. The highest yield will be on May 15 in the future. Moreover, the sorghum's yield will decrease. Lesser photosynthesis during the shorter growing season and C4 photosynthetic system of this product could be involved in this yield loss.

Keywords: AquaCrop; Climate Change; Abhar Plain; Air Temperature; Yield.