



بررسی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر عملکرد پنبه دیم و آبی تحت سناریوهای SSP در منطقه گرگان

مارال سرکاری^۱، خلیل قربانی^{۲*}، محمد عبدالحسینی^۳، میثم سالاری جزی^۴، ابوطالب هزارجریبی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶

چکیده

در این مطالعه برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد پنبه در منطقه هاشم آباد گرگان با استفاده از ۳۸ سال داده‌های هواشناسی این ایستگاه و مولد Lars-WG، یک دوره ۸۰ ساله داده‌های اقلیمی تحت سه سناریوی گزارش ششم IPCC و برون‌داد مدل HadGEM3 تولید شد. جهت پیش‌بینی عملکرد پنبه دیم و آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم، از مدل آب و هوا - محصول واسنجی شده SSM استفاده گردید. تحلیل روند و جهش در سری‌های عملکرد با استفاده از آزمون‌های من-کندال و پتیت انجام و سناریوی تغییر تاریخ کشت نیز با ۴ تأخیر ۱۵ روزه از ۱۵ خرداد اعمال شد. در دوره پایه، روند میانگین دمای بیشینه و کمینه هوا و سرعت باد افزایشی ولی رطوبت نسبی کاهش یافته است. روند معنی‌داری در بارش سالانه ایستگاه مشاهده نشد. اما در دوره اقلیمی آینده علاوه بر بیشینه و کمینه دمای هوا، بارش سالانه نیز تحت هر ۳ سناریوی اقلیمی افزایش می‌یابد. عملکرد پنبه فاریاب به جز ۲ مورد تحت سناریوی SSP245 با تاریخ کشت‌های زودتر، در تمام سناریوهای اقلیمی و تاریخ‌های کشت کاهش می‌یابد. شیب این تغییرات کاهش یافته تحت سناریو SSP585 بیشتر و در سناریوی SSP245 کمتر می‌باشد ولی عملکرد پنبه در کشت دیم بیشتر تحت تأثیر تاریخ کشت بوده و در تاریخ کشت آخر، از روند معنی‌دار و شیب تغییرات بیشتری برخوردار است. در کشت دیم نوسانات سالانه عملکردی در آینده بیشتر خواهد شد و در برخی از سال‌ها به دلیل افزایش بارش، عملکرد بیش از ۱/۵ تن در هکتار نیز پیش‌نگری شد. با تأیید روندهای معنی‌دار متغیرهای اقلیمی طی دوره پایه، توصیه می‌شود طی دوره آینده کاشت پنبه آبی زودتر انجام شود. در مورد پنبه دیم بررسی‌های بیشتر در خصوص نوسانات بارش پیش‌نگری شده ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل SSM، تاریخ کاشت، پنبه

مقدمه

ایران در ۳ استان گلستان، مازندران و خراسان به شکل دیم نیز کشت می‌شود ولی مقدار آن در مقایسه با کشت آبی ناچیز و در حدود ۴/۷ درصد است (Saberpoor, 2021). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای از طریق جذب بیشتر تابش با طول موج بلند که از زمین گسیل می‌شود، باعث ایجاد تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما و به تبع آن تغییر الگوی بارندگی و تابش خورشیدی می‌شود (IPCC, 1991). از آنجایی که تولید

پنبه مهم‌ترین گیاه لیفی، دارای گونه‌های اهلی و وحشی زیادی است که همگی از تیره ختمیان (Malvaceae) و متعلق به جنس (Gossypium) هستند و مناسب برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. پنبه یک محصول مقاوم در برابر خشکی است و در بسیاری از مناطق جهان با بارش تابستانه کافی، می‌تواند به شکل دیم نیز کشت شود. پنبه در

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*نویسنده مسئول: ghorbani.khalil@yahoo.com)

نحوه ارجاع مقاله:

سرکاری، م.، قربانی، خ.، عبدالحسینی، م.، سالاری جزی، م.، هزارجریبی، ا.، ۱۴۰۴. بررسی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر عملکرد پنبه دیم و آبی تحت سناریوهای SSP در منطقه گرگان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۱): ۵۴-۶۹. DOI: 10.22125/agmj.2024.470726.1171
Sarkari, M., Ghorbani, K., Abdolhosseini, M., Salarijazi, M., Hezarjaribi, A. 2025. Investigation the possible impacts of climate change on rainfed and irrigated cotton yield under SSP scenarios in Gorgan region. Journal of Agricultural Meteorology, 13(1): 54-69. DOI: 10.22125/agmj.2024.470726.1171

۲ درجه) با استفاده از نتایج مدل گردش عمومی HADCM3 (GCM) را در منطقه روددشت اصفهان بررسی کردند و نتیجه گرفتند متوسط عملکرد نسبی محصول تحت دو سناریوی تغییر اقلیم A2 و B1 در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ میلادی نسبت به سناریوی مبنا (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، به ترتیب ۱.۴۹ و ۲.۱ درصد و متوسط عملکرد دانه گندم به ترتیب ۴.۱۹ و ۱۷.۹ درصد کاهش خواهند یافت. (Sheidaei et al., 2015) اثر تغییر اقلیم را بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد برنج در دوره‌های زمانی آینده با استفاده از داده‌های خروجی مدل HadCM3، از سری مدل های AOGCM، در منطقه دشت تجن مورد بررسی قرار دادند. پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی تحت سناریوی انتشار A2، در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱، شبیه سازی شدند. نتایج مدل CROPWAT نشان داد که در اثر تغییر اقلیم با افزایش تبخیر تعرق پتانسیل و کاهش بارندگی موثر و افزایش آب مصرفی گیاه، نیاز خالص آبیاری گیاه برنج در حوزه مورد نظر طی سال‌های آتی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. همچنین در نتیجه تغییر اقلیم و افزایش دما و کاهش بارش درصد کاهش عملکرد در سال‌های آتی به میزان ناچیزی رو به افزایش است. (Eyni et al., 2016) به پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل APSIM پرداختند و نتیجه گرفتند تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در استان فارس، عملکرد دانه گندم در شرایط پتانسیل روند افزایشی خواهد داشت (از ۱۲ تا ۲۴ درصد). این افزایش عملکرد برآیند دو عامل افزایش دما و دی‌اکسید کربن خواهد بود. به طوری که در برخی مناطق مورد مطالعه اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن توسط افزایش دمای بیش از حد مطلوب برای رشد و نمو گندم، خنثی می‌شود. Borzoo et al., (2024) اثر تغییر تاریخ کشت در شرایط تغییر اقلیم را بر عملکرد گندم پاییزه در دشت قزوین بررسی کردند. این بررسی در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ و با مقایسه دو منبع اطلاعاتی LARS-WG و DKRZ در تولید داده‌های سالانه تغییر اقلیم و به کارگیری مدل Aquacrop در شبیه‌سازی واکنش گیاه به تغییرات ذکر شده، صورت گرفت. طبق نتایج حاصل از شرایط اقلیمی مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ

محصولات زراعی به طور مستقیم به شرایط اقلیمی وابسته است، کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد. اگر چه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر در فاکتورهایی مانند آبیاری، خاک، رقم، محصول، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مورد استفاده در کشت محصولات زراعی می‌تواند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش به‌سزایی داشته باشند (Ghorbani Baravati et al., 2023). با توجه به نوسانات آب و هوایی در سال‌های مختلف و همچنین تغییرات اقلیمی، ضرورت دارد تا اثرات آب و هوایی یک دوره آماری بلند مدت بر عملکرد محصولات زراعی سنجیده شود. اما از آنجائی‌که امکان کشت مستقیم طی این سال‌ها وجود ندارد، از این‌رو می‌توان از مدل‌های واسنجی شده آب و هوا و محصول در هر منطقه استفاده کرد. امروزه مدل‌های شبیه‌سازی این امکان را فراهم ساخته‌اند تا با استفاده از آن‌ها، تیمارهای مورد نظر را اجرا کرده و در زمان و هزینه صرفه‌جویی کرد. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی جنبه‌های مختلف علمی شامل هواشناسی کشاورزی، فیزیک خاک، شیمی خاک و فیزیولوژی گیاهان زراعی را به وسیله روابط ریاضی برای پیش‌بینی رشد و نمو و عملکرد به کار می‌گیرند (ریچی و همکاران، ۲۰۰۹). مدل‌های شبیه‌سازی برای درک واکنش گیاهان زراعی به پویایی سیستم آب- خاک- گیاه- اقلیم استفاده می‌شوند (سلطانی، ۱۳۸۸). بر این اساس پژوهشگران زیادی برای بررسی اثرات آب و هوایی و مدیریت زراعی از مدل‌های واسنجی شده آب و هوا و محصول استفاده می‌کنند. (Ghorbani and Soltani 2014) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در گرگان با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد سویا (SSM) بر اساس سناریوهایی مختلف تغییر اقلیم پرداختند و نتیجه گرفتند عملکرد دانه برای کشت آبی، اندکی کاهش ولی در کشت دیم در مزارعی که زودتر کشت می‌شوند، افزایش می‌یابد. (Ababaei et al., 2010) اثرات تغییر اقلیم را با استفاده از مدل SWAP و تحت سناریوهای تغییر اقلیم A2 (857 ppm غلظت CO2 و افزایش دما ۳/۸ درجه) و B1 (538 ppm غلظت CO2 و افزایش دما

مورد استفاده کاهش می‌یابد و عملکرد ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم از ۱۱ تا ۳۸ درصد نسبت به شرایط کنونی کاهش می‌یابد. بطور کلی کاشت زود هنگام ذرت (۱۰ اردیبهشت) باعث تولید عملکرد بالاتری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت (۲۰ اردیبهشت و ۱ خرداد) در شرایط تغییر اقلیم شد. Salari et al., (2023) در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی پنبه در استان خراسان رضوی نتیجه گرفتند مقدار تبخیر تعرق مرجع در دوره آینده نسبت به دوره گذشته با توجه به افزایش دمای هوا افزایش خواهد یافت و بر این اساس بنابر افزایش نیاز آبی مراحل رشد پنبه شامل مرحله اولیه، میانی و پایانی نیز افزایش خواهد داشت. از نظر طول دوره رشد، بالاترین مقدار نیاز آبی در دوره میانی رشد پنبه رخ خواهد داد. Ghorbani Baravati et al., (2023) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاه پنبه در دشت بیرجند پرداختند. مدل گردش عمومی BCM2 تحت دو سناریوی انتشار B1 و A1B در سه دوره (۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰، ۲۰۵۰ تا ۲۰۷۵ و ۲۰۷۵ تا ۲۱۰۰) برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده مورد بررسی و برای تولید پارامترهای اقلیمی روزانه مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های اقلیمی روزانه به دست آمده از خروجی LARS-WG به عنوان ورودی برای مدل DSSAT (مدل شبیه‌سازی محصول زراعی) به منظور شبیه‌سازی رشد پنبه تحت اقلیم آینده استفاده شد. شبیه‌سازی بیان‌گر این بوده است که در مقایسه با دوره پایه، تغییر اقلیم عملکرد پنبه را (از ۱۴/۷۳ تا ۱۸/۵۳ درصد) افزایش و طول فصل رشد پنبه را کاهش داد. دلیل اصلی افزایش عملکرد پنبه را می‌توان به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن نسبت داد. تاریخ مناسب کاشت، زمانی است که عوامل محیطی حادث برای سبز شدن، و رشد گیاه مناسب باشند و در ادامه رشد گیاه با شرایط نامطلوب کمتری مواجه شود. تاریخ کاشت اثر بارزی بر سرعت ظهور گیاهچه، شروع و طول مرحله غنچه‌دهی، غوزه دهی، باز شدن غوزه، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه رویا و تعداد شاخه زایا در پنبه دارد. نتایج آزمایشات تاریخ کاشت نشان می‌دهد که تاریخ کاشت به تنهایی بر روی رشد گیاه تأثیر نمی‌گذارد بلکه گیاه در تاریخ کاشت‌های مختلف از زمان کاشت تا زمانی که به وسیله

تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5، در هر ۴ دوره آتی (دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) میانگین عملکرد نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین عملکرد در کل این دوره‌ها و مدل‌ها برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو RCP 8.5 در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ آبان ماه انجام شود، می‌باشد. کمترین عملکرد نیز برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ تحت شرایط اقلیمی پایگاه اطلاعاتی DKRZ در سناریو RCP 8.5 در صورتی که تاریخ کشت ۱۵ مهر ماه انجام شود، می‌باشد. در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، تاریخ ۱۵ بهمن ماه، در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، تاریخ ۱۵ بهمن، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تاریخ ۱۵ بهمن و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تاریخ ۱ آبان به عنوان مناسب‌ترین تاریخ کشت در این دوره‌ها توصیه می‌شود. (Zamani et al., 2021) به ارزیابی اثرات کشت پنبه بر میزان عرضه و تقاضای منابع آب حوضه پیشین واقع در استان سیستان و بلوچستان ایران تحت سناریوهای تغییر اقلیم پرداختند و نتیجه گرفتند استفاده از دستگاه آب‌شیرین‌کن برای آب شرب و کاهش تلفات و کشاورزی غیر مجاز تأثیر بیشتری بر منابع آب نسبت به سناریوی افزایش راندمان کشت فعلی داشت. بنابراین کشت این محصول، در این حوضه جغرافیایی، به هیچ عنوان قابل توجیه نیست و پیشنهاد می‌شود برای حل مشکل اقتصادی در منطقه مورد مطالعه، کشت‌های دیگر مورد بررسی قرار گیرد. با مقایسه کشت پنبه نسبت به کشت فعلی در تمام حالات مشابه اقلیمی، نیاز تامین نشده پنبه از کشت فعلی بیشتر شد. بنابراین کشت پنبه باعث کمبود روزافزون منابع آب در منطقه می‌شود. (Moradi et al., 2024) از تغییر تاریخ کشت به عنوان راهکار سازگاری با تغییر اقلیم بر تولید ذرت در مشهد استفاده کردند. دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی A1B، B1 و A2 در سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ از مدل LARS-WG را برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بکار بردند و برای شبیه‌سازی رشد ذرت از مدل CERES-Maize استفاده کردند. نتایج نشان داد طول دوره کاشت تا گلدهی و همچنین طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در اکثر سناریوهای

Soltani et al., (2013) که برای این منطقه واسنجی شده است، بر عملکرد پنبه در کشت‌های آبی و دیم بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در این پژوهش، شهرستان گرگان در استان گلستان با موقعیت ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض جغرافیایی است. ارتفاع آن ۱۳/۳ متر از سطح دریا، میانگین بارش سالانه ۵۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد بوده و براساس سیستم اقلیمی دمارتن، دارای اقلیمی مدیترانه‌ای است.

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک هاشم‌آباد گرگان تهیه شد. که شامل بارش، بیشینه و کمینه دمای هوا و ساعت آفتابی در مقیاس روزانه طی دوره آماری موجود (۱۴۰۱-۱۳۶۳) بود. این داده‌ها به عنوان ورودی مدل LARS-WG استفاده شد تا داده‌های اقلیمی آینده تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تولید شود.

مدل اقلیمی

مدل‌های اقلیمی یا مدل گردش عمومی جو (GCM) به‌عنوان مدل‌های عددی هستند که فرآیندهای فیزیکی جو را نشان می‌دهند و می‌توانند اقلیم حاضر را شبیه‌سازی و شرایط اقلیم آینده را تحت سناریوهای مختلف، تصویرسازی نمایند. مولد LARS-WG، ابتدا توسط Racsko et al. (1991) ارائه و سپس توسط Semenov et al., (1998) بازنگری و تعدیل گردید. تاکنون نگارش‌های متعددی از LARS-WG ارائه شده است که در این مطالعه، از نگارش هفتم این مولد استفاده شده است. LARS-WG برای شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارندگی و تابش روزانه خورشید از توزیع‌های نیمه‌تجربی به فرم کلی

$$Emp = \{a_0, a_i; h_i, i=1, \dots, 10\} \quad (1)$$

سرما از بین می‌رود با شرایط محیطی مختلف در طول دوره رشد مواجه می‌شود (Young, 1980). به منظور بررسی اثرات تاریخ کاشت دیر هنگام بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه (رقم سای اکرا) آزمایشی در سال ۱۳۸۱ در ایستگاه تحقیقات پنبه کارکنده-کردکوی به اجرا در آمد. نتایج نشان داد که تاخیر در کاشت پنبه سبب کاهش عملکرد، تعداد غوزه در متر مربع و افزایش وزن و تعداد دانه در غوزه خواهد شد (Panjehkub, et al., 2007). Haung (2016) در آزمایشی دو ساله در منطقه‌ای با آب و هوای نیمه خشک در شمال غربی چین نشان داد که در چهار تاریخ کاشت مورد بررسی، عملکرد و ش پنبه و کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت نخست نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت برتری داشت.

Faghani et al., (2021) به ارزیابی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب با استفاده از مدل SSM - Crop در گرگان پرداختند و نتیجه گرفتند تاریخ کاشت می‌تواند نقش مؤثری در عملکرد و کارایی مصرف آب در پنبه داشته باشد و بهترین تاریخ کاشت را از نیمه دوم اردیبهشت تا اوایل خرداد ماه توصیه کردند. و به منظور عدم تأخیر در زمان کاشت، کشت نشایی پنبه را پیشنهاد کردند. Ghorbani Nasrabad et al., (2022) در بررسی تاریخ کشت پنبه در استان خوزستان نتیجه گرفتند کشت پنبه در ۱۰ اسفند نسبت به کشت آن در ۱۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت بترتیب ۴۲ و ۵۷ درصد عملکرد بیشتری را بدست می‌دهد. پنبه‌کاری از دیرباز در گرگان رونق داشته است. از اینرو به این منطقه، سرزمین طلای سفید گفته می‌شود. تنوع اقلیمی منطقه به گونه‌ای است که پنبه به شکل دیم و آبی کشت می‌شود. اما تغییرات اقلیمی، شرایط آب و هوایی را دگرگون ساخته است. برای ارزیابی این اثرات در پژوهش حاضر، از نتایج پیش‌بینی‌های اقلیمی مطابق با گزارش‌های ارزیابی نسخه ششم هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC AR6¹) تحت عنوان CMIP6² یا سناریوهای SSP³ استفاده شد تا اثرات تغییر اقلیم بر اساس مدل آب و هوا و محصول SSM-Crop⁴ توسعه یافته توسط

3 SSP: Shared Socioeconomic Pathways

4 SSM: Simple Simulation Models

1 IPCC AR4: intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report 4

2 CMIP6: Coupled Model Intercomparison Project

واکنش ساختار زمین به نیروهای مختلف در مورد منشأ و کمی سازی تغییرات آب و هوایی و همچنین بررسی عدم قطعیت سناریوها می‌باشد. یکی از موارد بهبود مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 بهبود تعداد لایه‌های عمودی می‌باشد که چشم‌انداز دقیق‌تری در استراتوسفر دارند و همچنین تعداد سناریوهای دوره‌های آینده گسترش قابل توجهی یافته است (Su et al., 2020; Gupta et al., 2020). در این تحقیق از نتایج مدل اقلیمی HadGEM3 تحت سه سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، متوسط (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) استفاده شده است.

مدل آب و هوا و محصول (SSM-Crop)

در این مدل مقدار عملکرد بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت آبیاری و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌شود. مدل شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد و از اطلاعات قابل دسترس آب و هوا و خاک استفاده می‌کند. این مدل رشد، نمو و عملکرد را به صورت روزانه به‌عنوان تابعی از شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و مدیریت زراعی (رقم، تاریخ کاشت، تراکم بوته، رژیم آبیاری) شبیه‌سازی می‌کند. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک، گسترش و پیری برگ، تأثیر خشکی هوا، شوری و CO₂ بر تولید ماده خشک، توزیع ماده خشک؛ تأثیر دماهای آستانه (دماهای بالا و پایین) بر سطح برگ، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد (Soltani and Sinclair, 2011). مدل SSM برای شبیه‌سازی پارامترهای مختلف فنولوژیکی نیازمند یکسری اطلاعات پایه است که برخی از اطلاعات ورودی مورد نیاز مدل شامل داده‌های متغیرهای هواشناسی و متغیرهای مدیریت زراعی است. لازم به ذکر است که از دمای کمینه و بیشینه برای محاسبه دمای موثر استفاده خواهد شد و مستقیماً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (Ghorbani and Soltani., 2014). همچنین از داده‌های ساعت آفتابی برای محاسبه تابش خورشیدی بر حسب (MJ.m-2d-1)، از رابطه آنگستروم استفاده شد. به این دلیل که در بسیاری از ایستگاه‌ها تابش خورشیدی به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود (Zinali Mobarakeh et al., 2019).

استفاده می‌کند که هیستوگرامی شامل ۱۰ طبقه است و هر یک از طبقات آن در فاصله $[a_{i-1}, a_i]$ تعریف می‌شود به طوری‌که، $a_{i-1} < a_i$ و فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام می‌باشد. برای تولید مقادیر متغیرهای تصادفی وضع هوا با استفاده از یک توزیع نیمه‌تجربی، ابتدا یکی از طبقات ده‌گانه به تصادف انتخاب می‌شود. سپس، با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه مورد نظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. توزیع نیمه‌تجربی، انعطاف‌پذیر است زیرا با تغییر فواصل $[a_{i-1}, a_i]$ ، شکل توزیع فراوانی نیز تغییر می‌کند. فواصل $[a_{i-1}, a_i]$ بر اساس ویژگی‌های مورد انتظار داده‌های وضع هوا انتخاب می‌شوند. در مورد تابش خورشید، این فاصله بین حداکثر و حداقل داده‌ها، به قسمت‌های مساوی تقسیم می‌شود اما در مورد طول سری‌های خشک و تر و مقدار بارندگی، اندازه فاصله با افزایش i (شماره طبقه) افزایش می‌یابد. دلیل انعطاف‌پذیری فواصل در مورد دو متغیر اخیر آن است که معمولاً فراوانی مقادیر کم آنها، بیشتر از فراوانی مقادیر بزرگ آنها است و در صورتی که فواصل به طور یکسان انتخاب شوند، ممکن است بخش اعظم فراوانی‌ها در یک فاصله قرار گیرد و کارایی مدل کاهش یابد. دماهای حداکثر و حداقل روزانه به عنوان فرایندهای استوکاستیک تلقی می‌شوند که میانگین و انحراف معیار آنها به وضعیت تری یا خشکی روز مورد نظر مربوط شده است. مولد LARS-WG در شبیه‌سازی دماهای حداکثر و حداقل، از الگوریتمی مشابه مولد ClimGen استفاده می‌کند، با این تفاوت که در اینجا، میانمایی روزانه پارامترهای ماهانه با استفاده از سری فوریه محدود (مرتب‌به سه) انجام می‌شود (Bazrafshan, 2009). هیات بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC با هدف اصلی شناخت جنبه‌های تغییر اقلیم و بخصوص چگونگی اثر فعالیت‌های انسانی بر آن، مجموعه‌ای از گزارش‌های ارزیابی و تخصصی و مقالات فنی را منتشر نموده که به‌عنوان معتبرترین منابع اطلاعاتی در مورد تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند. و تاکنون گزارش‌های متعددی تهیه و منتشر کرده است. در این پژوهش از سناریوهای SSP بر اساس نسخه ششم گزارش‌های اقلیم CMIP6 (IPCC AR6) استفاده شد. از اهداف اصلی مدل‌های CMIP6 بررسی پیامدهای مدل‌های سازمان یافته، چگونگی

تحلیل آماری و مقایسه‌ای داده‌ها

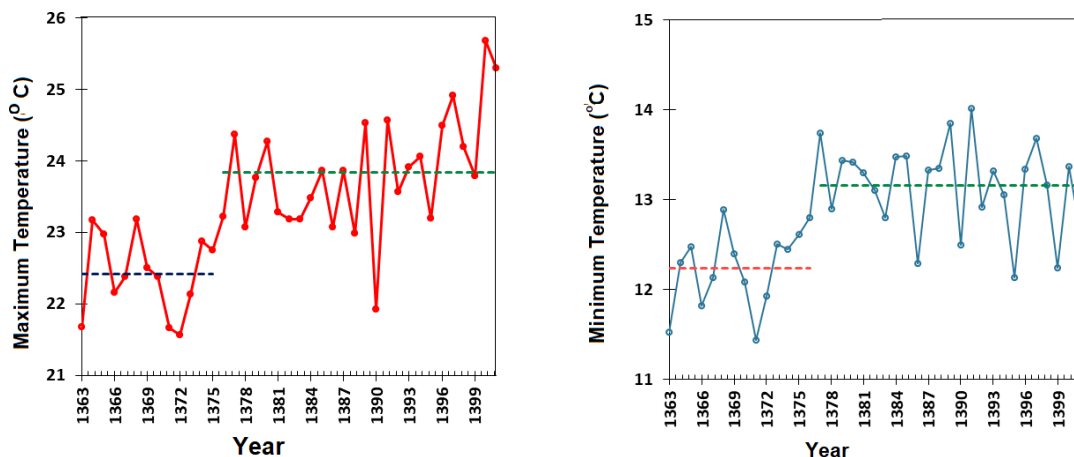
تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده است که می‌توان آن‌ها را در دو دسته کلی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی نمود. مبنای کلیه این روش‌های آماری مطرح نمودن دو فرض صفر (H0) و فرض یک (H1) و آزمون نمودن آن‌ها براساس روش‌ها و تکنیک‌های خاص آماری است که در نهایت منجر به رد فرض صفر می‌شود و یا اینکه دلایل و شواهد کافی برای رد آن مشاهده نمی‌شود. پذیرفته شدن فرض صفر یعنی عدم وجود روند و پذیرش فرض یک به منزله وجود روند معنی دار در سری داده‌ها می‌باشد. روش‌های پارامتری که جهت تحلیل روند سری‌های زمانی بکار گرفته می‌شوند عمدتاً بر اساس رابطه رگرسیونی بین سری داده‌ها با زمان استوار می‌باشند که آزمون t-استیودنت از جمله متداول‌ترین این روش‌ها به شمار می‌رود. در روش‌های ناپارامتریک اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است به گونه‌ای که این روش‌ها مستقل از توزیع آماری بوده و برای سری‌هایی که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند مناسب‌تر از روش‌های پارامتریک می‌باشند که آزمون من-کندال یکی از متداول‌ترین این روش‌ها به شمار می‌رود (Bihrat and Bayazit., 2003). آزمون همگنی پتی

هم یک آزمون ناپارامتری است و نیازمند فرض نرمال بودن سری زمانی نمی‌باشد. این آزمون نیز دارای فرض صفر به صورت استقلال مقادیر مختلف سری زمانی از یکدیگر و همگنی آن‌ها است. در مقابل در صورتی که شکستگی و ناپیوستگی در مقدار میانگین سری زمانی وجود داشته باشد، مطابق فرض یک این آزمون، سری زمانی ناهمگن است. این روش آزمون همگنی نیز همچون آزمون بیشاند در یافتن ناهمگنی‌های نقاط میانی سری زمانی توانایی بیشتری داشته و از جمله آزمون‌هایی است که زمان بروز ناهمگنی را گزارش می‌کند (Costa and Soares, 2009).

نتایج و بحث

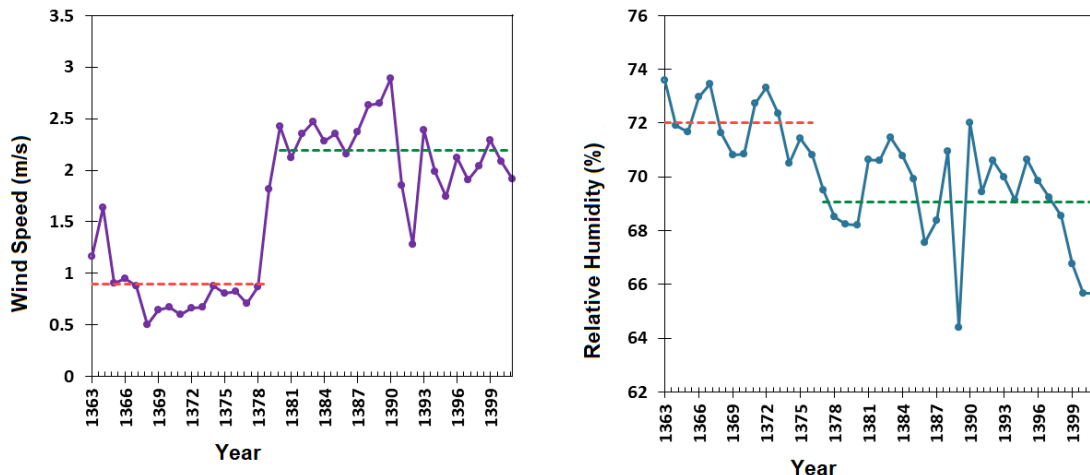
تحلیل وضعیت اقلیمی در منطقه

ابتدا وضعیت اقلیمی منطقه مطالعاتی در یک دوره ۳۸ ساله (۱۴۰۱-۱۳۶۳) مورد بررسی قرار گرفت، نتایج آزمون من-کندال بر روی ۵ پارامتر اقلیمی بیشینه و کمینه دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش نشان داد (شکل‌های ۱ و ۲ و جدول ۱) به غیر از بارش تمامی این پارامترها تغییرات معنی داری را نشان می‌دهند. دمای هوا و سرعت باد افزایش ولی رطوبت نسبی کاهش یافته است.



شکل ۱- نمودار تشخیص همگنی (پتیت) در سری سالانه بیشینه و کمینه دمای هوا

Figure 1- Homogeneity Detection Chart (Pettitt) in the Annual Series of Maximum and Minimum Air Temperature



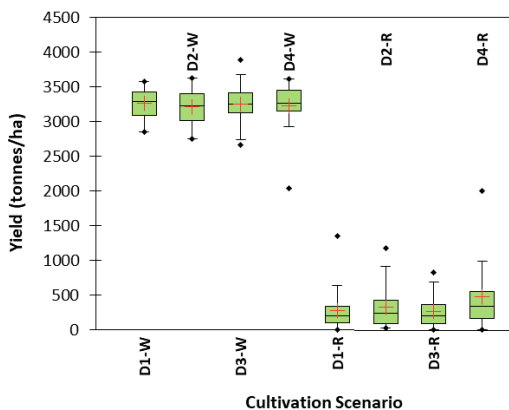
شکل ۲- نمودار تشخیص همگنی (پتیت) در سری سالانه سرعت باد و رطوبت نسبی

Figure 2- Homogeneity Detection Chart (Pettitt) in the Annual Series of Wind Speed and Relative Humidity

جدول ۱- نتایج آزمون من-کندال و پتیت برای تشخیص روند و جهش در سری زمانی سالانه

Table 1- Results of the Mann-Kendall and Pettitt Tests for Detecting Trends and Change point in the Annual Time Series

Climate Variable\ Test	Mann-Kendall trend test		Sen's Slope	Pettitt test	
	p-value	Trend result		Pettitt p-value	Pettitt result
TMIN (°C)	0.001	Increasing	0.032	0.005	Increasing
TMAX (°C)	<0.0001	Increasing	0.064	0.003	Increasing
Relative Humidity (%)	0	Decreasing	-0.125	<0.0001	Decreasing
Wind Speed (m/s)	<0.017	Increasing	0.043	<0.0001	Increasing
Precipitation (mm)	0.14	No Trend	-2.28	0.21	No Mutation



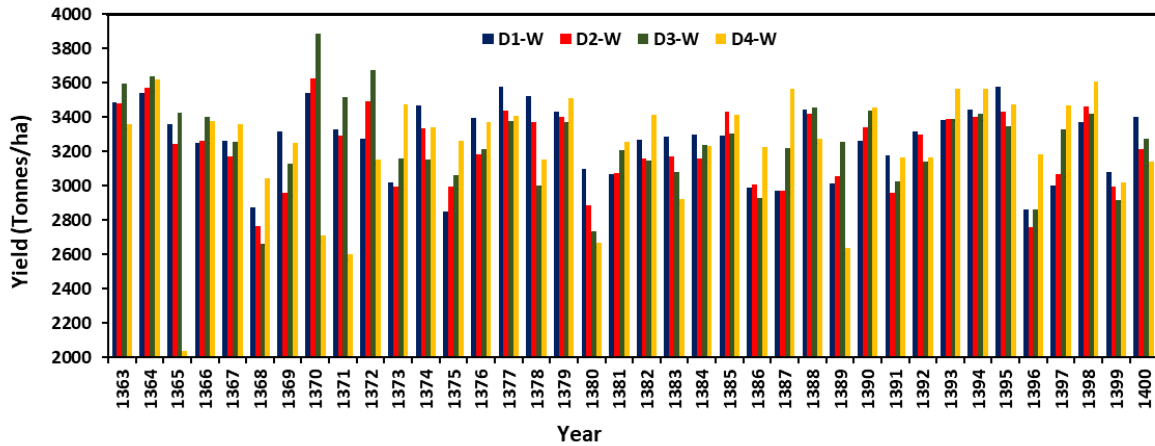
شکل ۳- نمودار جعبه‌ای تغییرات عملکرد دیم و آبی (آبیاری

کامل) پنبه در یک دوره ۳۸ ساله (۱۳۶۳-۱۴۰۳)

Figure 3- Box Plot of Changes in Rainfed and Irrigated (Full Irrigation) Cotton Yield Over a 38-Year Period (1984-2024)

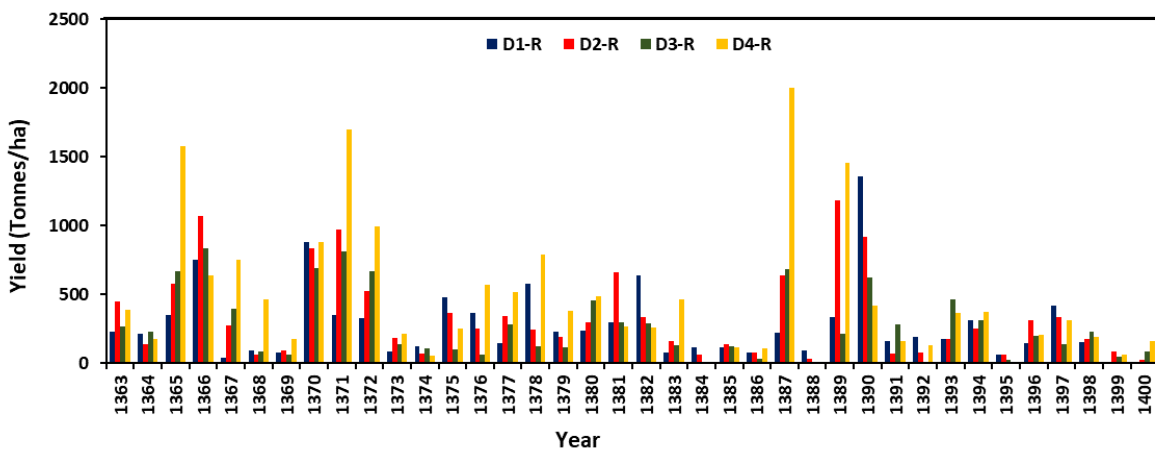
مقایسه عملکرد کشت دیم و آبیاری کامل پنبه در دوره گذشته

پس از اجرای مدل SSM، سری زمانی عملکرد پنبه در زراعت دیم (R) و آبیاری کامل در هر مرحله رشد (W) در تاریخ کشت‌های D1 (۱۵ خرداد)، D2 (۳۰ خرداد)، D3 (۱۴ تیر) و D4 (۲۹ تیر) تشکیل شد (شکل ۴). کشت آبی با آبیاری کامل با میانگین عملکرد ۳۲۴۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به کشت دیم با میانگین عملکرد ۳۴۰ کیلوگرم در هکتار از عملکرد بسیار بالاتری برخوردار است (شکل ۳). همچنین نوسانات عملکردی کشت دیم طی سال‌های مختلف نسبت به کشت آبی خیلی زیادتر می‌باشد بطوری که در برخی از سال‌ها تقریباً محصول خاصی حاصل نمی‌شود (شکل‌های ۴ و ۵). در کشت دیم در بهترین شرایط، عملکرد پایین‌تری از کشت آبی بدست می‌آید. سناریوهای تاریخ کشت نیز نشان می‌دهد شرایط در سال‌های مختلف متفاوت است و می‌بایست بر اساس شرایط آب و هوایی تصمیم‌نهایی را گرفت.



شکل ۴- تغییرات عملکرد پنبه (آبیاری کامل) در تاریخ کشت‌های مختلف در یک دوره ۳۸ ساله (۱۴۰۳-۱۳۶۳)

Figure 4- Changes in Cotton Yield (Full Irrigation) at Different Planting Dates Over a 38-Year Period (1984-2024)



شکل ۵- تغییرات عملکرد پنبه (کشت دیم) در تاریخ کشت‌های مختلف در یک دوره ۳۸ ساله (۱۴۰۳-۱۳۶۳)

Figure 5- Changes in Cotton Yield (Rainfed) at Different Planting Dates Over a 38-Year Period (1984-2024)

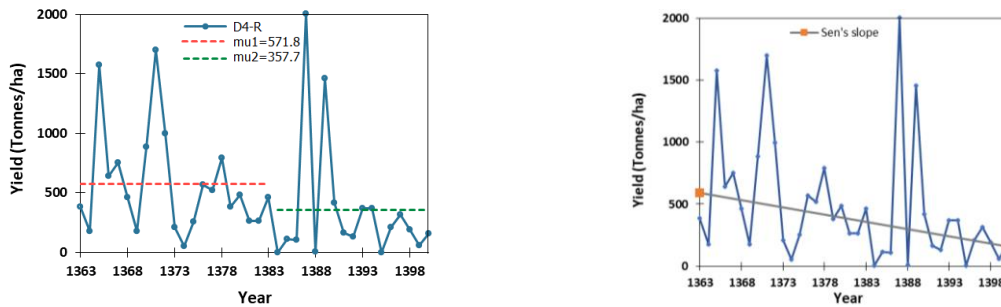
کمتر شده و باعث افزایش عملکرد شده است. آزمون من-کندال روند کاهشی و آزمون پتیت، جهش کاهشی معنی‌دار را در سری D4-R نشان می‌دهد (شکل ۶ و جدول ۲). با توجه به اینکه تنها متغیرهای مدل، داده‌های هواشناسی می‌باشد پس می‌توان کاهش عملکرد مشاهده شده را به تغییر اقلیم نسبت داد و نتیجه گرفت که تغییر اقلیم می‌تواند اثر معنی‌داری را بر عملکرد دیم و آبی داشته باشد.

شیب خط سن در تمام موارد به جز W4-D منفی ولی از لحاظ آماری در آزمون من-کندال فاقد روند معنی‌دار می‌باشد. در آبیاری کامل با دیرترین تاریخ کاشت (D4-W) این شیب افزایشی و روند آن معنی‌دار می‌باشد و دلیل این افزایش عملکرد به افزایش دمای هوا مربوط می‌شود. در گذشته تأخیر در کاشت باعث می‌شد که غوزه‌ها در هوای سرد کاملاً باز نشوند ولی با افزایش دمای هوا این مشکل

جدول ۲- نتایج آزمون من-کندال و پتیت برای تشخیص روند و جهش در عملکرد پنبه

Table 2- Results of the Mann-Kendall and Pettitt Tests for Detecting Trends and Change point in Cotton Yield

Cultivation Scenario\Test	p-value	Sen's Slope	Trend result	Pettitt test P-value	Pettitt Result
D1-W	0.421	-2.972	No Trend	0.751	No Mutation
D2-W	0.497	-2.423	No Trend	0.789	No Mutation
D3-W	0.258	-4.954	No Trend	0.248	No Mutation
D4-W	0.365	3.542	Increasing	0.608	No Mutation
D1-R	0.175	-3.347	No Trend	0.346	No Mutation
D2-R	1.000	-6.470	Decreasing	0.225	No Mutation
D3-R	0.083	-5.041	No Trend	0.271	No Mutation
D4-R	0.014	-11.688	Decreasing	0.033	Decreasing



شکل ۶- روند و جهش در سری زمانی عملکرد دیم پنبه در دوره مشاهداتی D4-R

Figure 6- Trend and Change point in the Time Series of Rainfed Cotton Yield During the Observational Period D4-R

اختلاف معنی‌داری در تاریخ کشت‌های مختلف وجود ندارد ولی در کشت دیم بین D1 با D4 و D3 با D4 اختلاف معنی‌دار در عملکرد مشاهده می‌شود و در کشت دیم، D4 با D1 اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد و با توجه به میانگین بالاتر عملکرد D4، کشت دیرتر در دیم‌کاری در گذشته بهتر بود (جدول ۳ و ۴).

مقایسه سناریوهای تاریخ کشت در دوره مشاهداتی به منظور بررسی نقش تاریخ کشت در تغییرات عملکردی پنبه، مدل SSM برای ۴ تاریخ کشت با فاصله زمانی ۱۵ روزه (D4 تا D1) برای یک دوره ۳۸ ساله اجراء شد نتایج نشان داد در سناریوهای آبیاری کامل، هیچ

جدول ۳- آزمون معنی‌داری تغییرات میانگین عملکرد کشت آبی پنبه در تاریخ‌های کشت مختلف

Table 3- Significance Test of Mean Yield Changes in Irrigated Cotton at Different Planting Dates

Scenario	D1-W		D2-W		D3-W		D4-W	
	p-value	t	p-value	t	p-value	t	p-value	t
D2-W	0.33	-0.99	0	0	0.49	-0.21	0.93	0.09
D3-W	0.83	-0.21	0.49	0.69	0	0	0.64	-0.47
D4-W	0.5	-0.68	0.93	0.09	0.64	-0.47	0	0

جدول ۴- آزمون معنی‌داری تغییرات میانگین عملکرد کشت دیم پنبه در تاریخ‌های کشت مختلف

Table 4- Significance Test of Mean Yield Changes in Rainfed Cotton at Different Planting Dates

Scenario	D1-R		D2-R		D3-R		D4-R	
	p-value	t	p-value	t	p-value	t	p-value	t
D2-R	0.39	0.87	0	0	0.93	0.99	0.14	1.5
D3-R	0.93	0.09	0.32	0.99	0	0	0.02	2.31
D4-R	0.03	2.2	0.14	1.5	0.02	2.31	0	0

افزایشی معنی‌داری برخوردار هستند (جدول ۵). بیشترین افزایش دمای بیشینه در سناریوی SSP585 در حدود ۳/۶ درجه سانتی‌گراد و همچنین بیشترین افزایش بارش سالانه نیز مربوط به همین سناریو و در حدود ۲۱۴ میلی‌متر می‌باشد. نتایج اجرای مدل SSM نیز نشان داد در تمام تاریخ‌های کشت، سناریوی بدبینانه SSP585 بیشترین کاهش عملکرد را در آینده خواهد داشت و در سناریوی D3-W-SSP585 عملکرد با جهش قابل توجهی از میانگین ۳۱۷۵ به ۲۴۹۱ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد یعنی با وجود اینکه در تعریف سناریوی آبیاری کامل، محدودیتی برای مصرف آب و تعداد نوبت‌های آبیاری دیده نشده است، حدود ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد به وجود می‌آید (شکل‌های ۷ تا ۱۱ و جدول ۵).

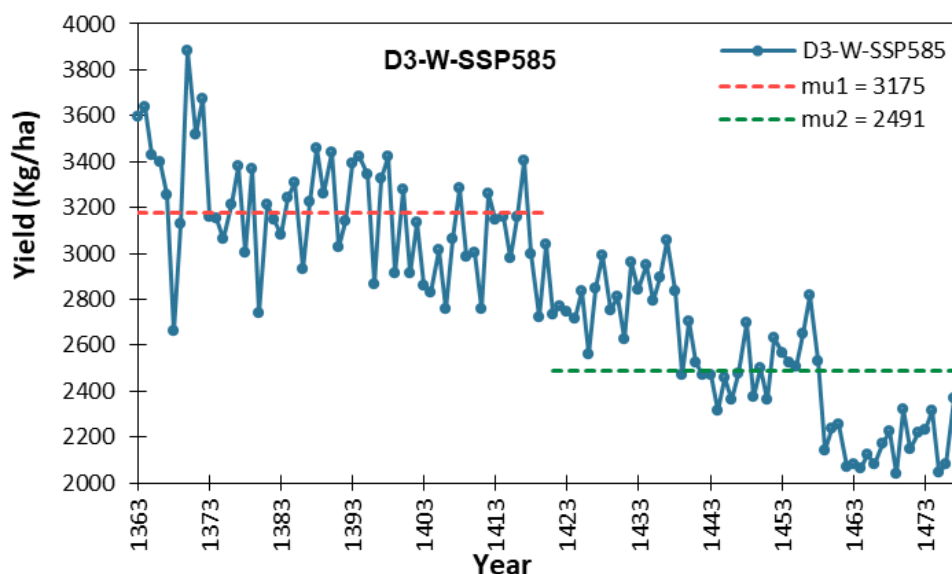
تغییر اقلیم و عملکرد پنبه

تحت ۳ سناریوی اقلیمی SSP126، SSP245 و SSP585 داده‌های بارش، دمای هوا و ساعات آفتابی روزانه توسط نرم‌افزار Lars_WG برای یک دوره ۸۰ ساله تولید شد (۴ دوره ۲۰ ساله، ۲۰۴۰-۲۰۲، ۲۰۴۰-۲۰۲، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰). عملکرد پنبه در تاریخ کشت‌های مختلف و تحت این سناریوها با استفاده از مدل SSM شبیه‌سازی شد. سری زمانی کمیت‌های اقلیمی پیش‌بینی شده از سناریوهای اقلیمی که در ادامه داده‌های گذشته تشکیل شد و روند و جهش آنها با آزمون‌های من-کندال و پتیت بررسی شد و نتایج نشان داد هر سه کمیت اقلیمی بیشینه و کمینه دمای هوا و بارش، از روند و جهش

جدول ۵- نتایج آزمون جهش و روند بر سری سالانه کمیت‌های اقلیمی سناریوهای مختلف اقلیمی

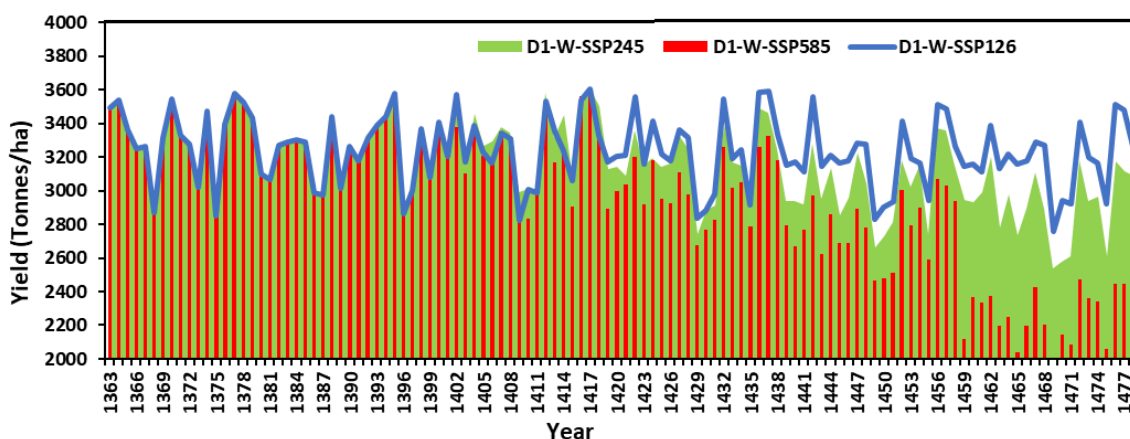
Table5- Results of Trend and Change point Tests on the Annual Series of Climatic Variables for Different Climate Scenarios

Climate Variable	Climate Scenario	Mann-Kendall Trend Test		Sens' s Slope	Pettitt Test		Average	
		p-value	Trend Result		p-value	Change point Result	Before Mutation	After Mutation
TMAX (°c)	SSP126	<0.0001	Increasing	0.022	<0.0001	Increasing	23.8	25.1
TMIN (°c)	SSP126	<0.0001	Increasing	0.024	<0.0001	Increasing	13.3	14.8
Precipitation (mm)	SSP126	<0.0001	Increasing	2.3	<0.0001	Increasing	507	708
TMAX (°c)	SSP245	<0.0001	Increasing	0.039	<0.0001	Increasing	23.6	26
TMIN (°c)	SSP245	<0.0001	Increasing	0.04	<0.0001	Increasing	13.3	15.7
Precipitation (mm)	SSP245	<0.0001	Increasing	1.805	<0.0001	Increasing	507	694
TMAX (°c)	SSP585	<0.0001	Increasing	0.061	<0.0001	Increasing	23.8	27.4
TMIN (°c)	SSP585	<0.0001	Increasing	0.066	<0.0001	Increasing	13.4	17.3
Precipitation (mm)	SSP585	<0.0001	Increasing	2.526	<0.0001	Increasing	507	721



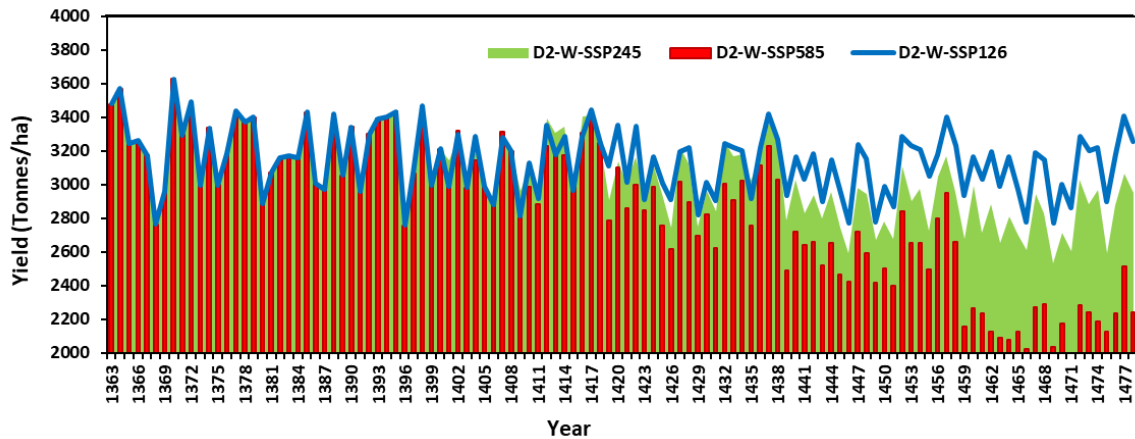
شکل ۷- نمودار جهش کاهشی عملکرد در سناریوی D3-W-SSP585

Figure7- Decreasing Change point Chart in Yield under the D3-W-SSP585 Scenario



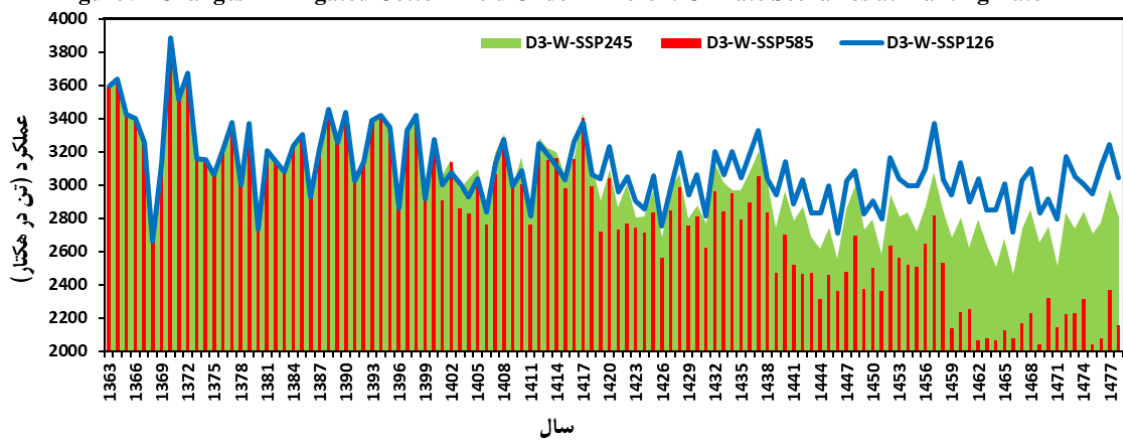
شکل ۸- تغییرات عملکرد کشت آبی پنبه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت D1

Figure 8- Changes in Irrigated Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D1



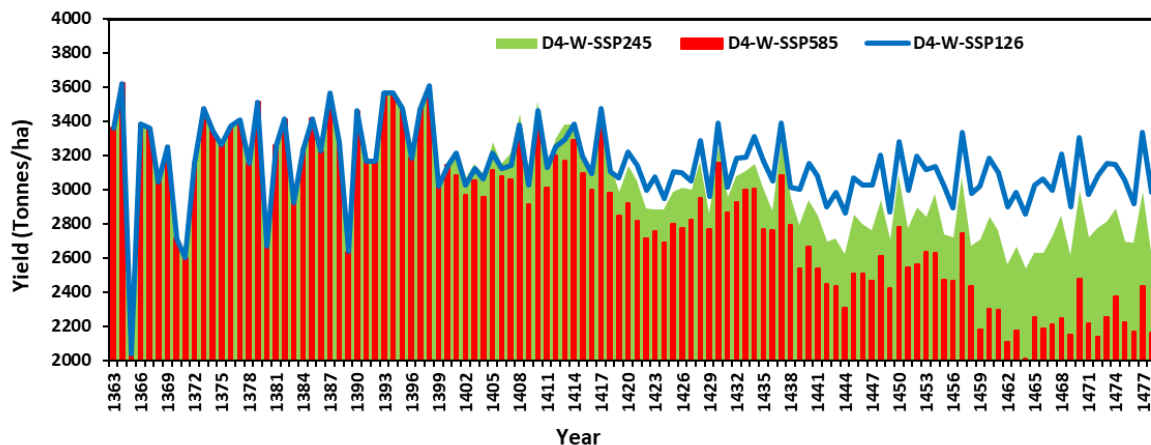
شکل ۹- تغییرات عملکرد کشت آبی پنبه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت D2

Figure 9- Changes in Irrigated Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D2



شکل ۱۰- تغییرات عملکرد کشت آبی پنبه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت D3

Figure 10- Changes in Irrigated Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D3



شکل ۱۱- تغییرات عملکرد کشت آبی پنبه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت D4

Figure 11- Changes in Irrigated Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D4

بدینانه اقلیمی SSP585 می‌باشد به طوری که از حدود ۱۰ تا ۱۱/۵ کیلوگرم در هکتار در هر سال عملکرد کاهش می‌یابد (جدول ۶).

جز سناریوی D1-W-SSP126 در سایر سناریوها جهش کاهشی معنی‌داری در عملکرد پنبه آبی دیده می‌شود. بیشترین شیب تغییرات عملکرد مربوط به سناریوی

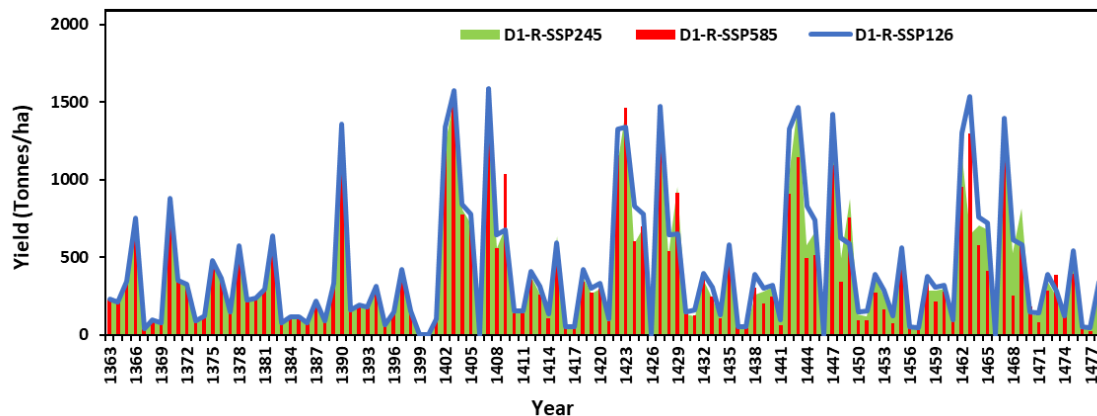
جدول ۶- نتایج آزمون روند و جهش در عملکرد پنبه آبی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت‌های مختلف

Table 6- Results of Trend and Change point Tests on Irrigated Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Various Planting Dates

Climate Scenario\ Test	Mann-Kendall Trend test		Sens' Slope	Pettit Test		Average Yield (Kg/ha)	
	p-value	Trend Result		p-value	Change point Result	Before Mutation	After Mutation
D1-W-SSP126	1.000	No Trend	-1.123	0.299	No Mutation	3235	3235
D2-W-SSP126	0.016	Decreasing	-1.479	0.059	No Mutation	3143	3143
D3-W-SSP126	<0.0001	Decreasing	-3.036	<0.0001	Decreasing	3197	3001
D4-W-SSP126	0.000	Decreasing	-2.563	<0.0001	Decreasing	3219	2803
D1-W-SSP245	<0.0001	Decreasing	-3.814	<0.0001	Decreasing	3269	3000
D2-W-SSP245	<0.0001	Decreasing	-4.737	<0.0001	Decreasing	3166	2841
D3-W-SSP245	<0.0001	Decreasing	-6.221	<0.0001	Decreasing	3206	2818
D4-W-SSP245	<0.0001	Decreasing	-6.285	<0.0001	Decreasing	3221	2850
D1-W-SSP585	<0.0001	Decreasing	-9.828	<0.0001	Decreasing	3332	2645
D2-W-SSP585	<0.0001	Decreasing	-10.539	<0.0001	Decreasing	3167	2541
D3-W-SSP585	<0.0001	Decreasing	-11.689	<0.0001	Decreasing	3175	2491
D4-W-SSP585	<0.0001	Decreasing	-11.339	<0.0001	Decreasing	3178	2530

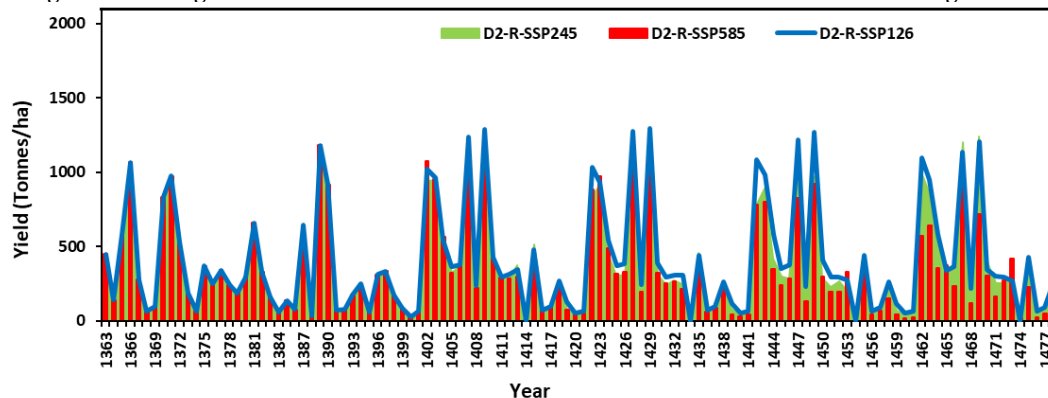
کشت دیم و تغییر اقلیم
برای کشت دیم نیز مدل SSM بر اساس داده‌های سناریوهای مختلف اقلیمی اجراء شد. به جز در سناریوهای D4-R- SSP245 و D4-R-SSP585 جهش کاهشی معنی‌داری دیده نمی‌شود با این وجود در بیشترین حالت کاهش عملکرد کمتر از ۳ کیلوگرم در هکتار در سال در آینده پیش‌بینی می‌شود.

کشت دیم و تغییر اقلیم
برای کشت دیم نیز مدل SSM بر اساس داده‌های سناریوهای مختلف اقلیمی اجراء شد. به جز در سناریوهای D4-R- SSP245 و D4-R-SSP585 جهش کاهشی معنی‌داری دیده نمی‌شود با این وجود در بیشترین حالت کاهش عملکرد کمتر از ۳ کیلوگرم در هکتار در سال در آینده پیش‌بینی می‌شود.



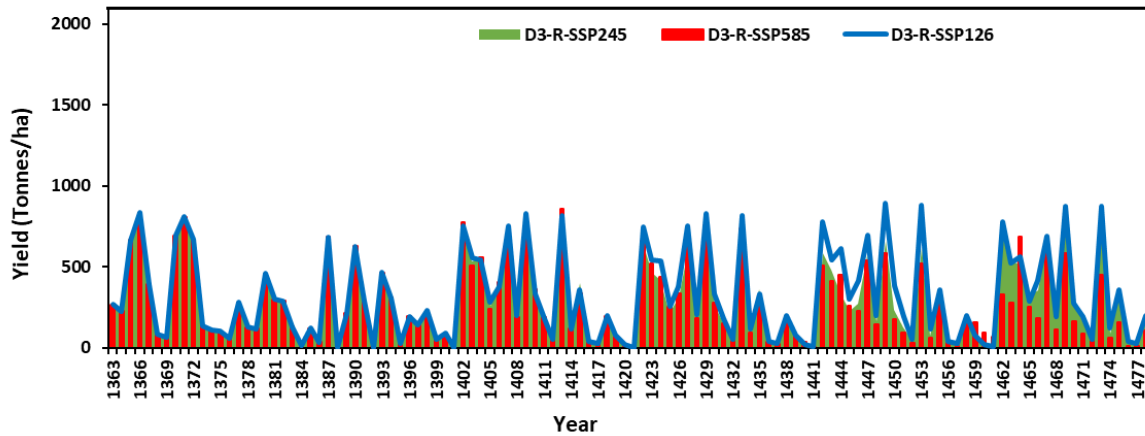
شکل ۱۲- تغییرات عملکرد کشت دیم پنبه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت D1

Figure 12- Changes in Rainfed Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D1



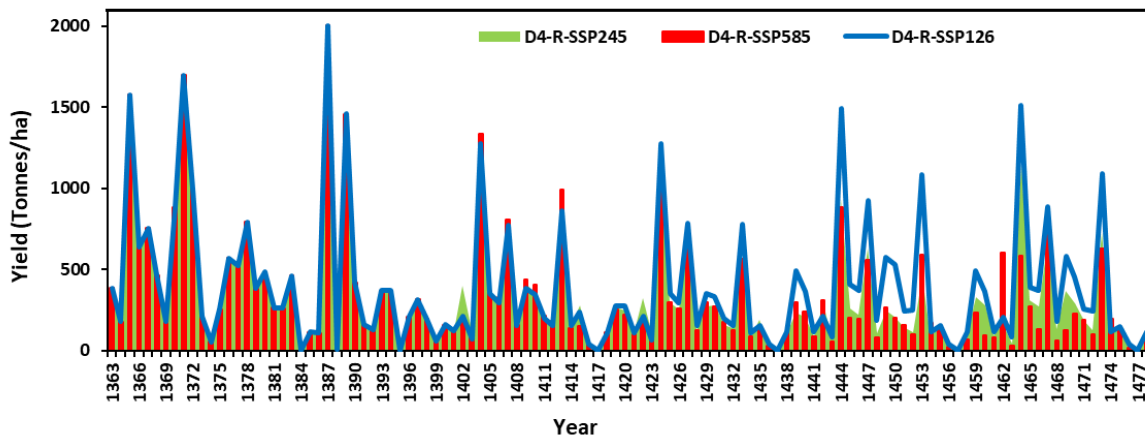
شکل ۱۳- تغییرات عملکرد کشت دیم پنبه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت D2

Figure 13- Changes in Rainfed Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D2



شکل ۱۴- تغییرات عملکرد کشت دیم پنبه تحت سناریوهای اقلیمی در تاریخ کشت D3

Figure 14- Changes in Rainfed Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D3



شکل ۱۵- تغییرات عملکرد کشت دیم پنبه تحت سناریوهای اقلیمی در تاریخ کشت D4

Figure 15- Changes in Rainfed Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Planting Date D4

در آینده، برای تاریخ کاشت D1 (۱۵ خرداد) نتایج بهتری را نشان می‌دهد. سناریوهای مختلف اقلیمی چه در حالت بدبینانه و چه در حالت خوش‌بینانه در تاریخ کشت‌های مختلف نشان می‌دهد که کشت زودتر از عملکرد بالاتری در آینده برخوردار است و در غیر این صورت کاهش شدید عملکردی که در سناریوهای D4-R-SSP245 و D4-R-SSP585 وجود دارد مشاهده شد (جدول ۷).

نکته قابل توجهی که در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ دیده می‌شود بعد از سال ۱۴۰۱ (داده‌های مشاهداتی) در برخی از سال‌ها عملکردی بیشتر از دوره گذشته و بیشتر از ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده می‌شود و این بیانگر آن است که در آینده نوسانات عملکردی طی سال‌های مختلف زیادتر خواهد شد و تصمیم‌گیری در مورد کشت دیم پنبه نیازمند پیشگویی‌های دقیق هواشناسی خواهد بود. همچنین سناریوهای تاریخ کشت

جدول ۷- نتایج آزمون روند و جهش در عملکرد پنبه دیم تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در تاریخ کشت‌های مختلف

Table 7- Results of Trend and Change point Tests on Rainfed Cotton Yield Under Different Climate Scenarios at Various Planting Dates

Climate Scenario\ Test	Mann-Kendall Trend Test		Sen's Slope	Pettitt Test		Average Yield (Kg/ha)	
	p-value	Trend Result		p-value	Change point Result	Before Mutation	After Mutation
D1-R-SSP126	0.503	No Trend	0.546	0.164	No Mutation	429	429
D2-R-SSP126	1.000	No Trend	-0.020	0.814	No Mutation	398	398
D3-R-SSP126	1.000	No Trend	-0.005	0.375	No Mutation	314	314
D4-R-SSP126	0.008	Decreasing	-1.067	0.162	No Mutation	390	390
D1-R-SSP245	0.626	No Trend	0.320	0.450	No Mutation	396	396
D2-R-SSP245	0.220	No Trend	-0.309	0.098	No Mutation	361	361
D3-R-SSP245	0.156	No Trend	-0.336	0.467	No Mutation	285	285
D4-R-SSP245	0.000	Decreasing	-2.004	0.016	Decreasing	465	247
D1-R-SSP585	0.995	No Trend	0.003	0.951	No Mutation	379	379
D2-R-SSP585	0.043	Decreasing	-0.770	0.563	No Mutation	341	341
D3-R-SSP585	0.001	Decreasing	-0.753	0.805	No Mutation	271	271
D4-R-SSP585	0.000	Decreasing	-2.121	0.007	Decreasing	465	227

هکتار نیز رسید اما لازمه آن پیش‌آگاهی از وضعیت آب و هوایی فصل رشد گیاه پنبه است که نیازمند پیشگویی دقیق هواشناسی است. در صورت تأمین نیاز کامل آبیاری پنبه، تغییر تاریخ کشت از ۱۵ خرداد تا اواخر تیر اختلاف معنی‌داری را از لحاظ عملکرد نشان نمی‌دهد. ولی در زراعت دیم اواخر تیر به دلیل عملکرد بالاتر، مناسب‌تر می‌باشد. تمام سناریوهای نسخه ششم تغییر اقلیم، افزایش دمای هوا (بیشینه و کمینه) و بارش را برای منطقه پیش‌بینی می‌کنند. سناریوی SSP585 نسبت به دو سناریوی دیگر، افزایش بیشتری را برای بارش و دمای هوا پیش‌بینی می‌کند بطوری که میانگین سری بیشینه و کمینه دمای هوا را بترتیب ۲۷/۴ و ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین سری بارش سالانه را ۷۲۱ میلی‌متر برآورد می‌کند. بر اساس سناریوهای اقلیمی SSP، عملکرد پنبه آبی به جز دو مورد در سناریوی خوشبینانه SSP124 در تاریخ کشت‌های D1 و D2 جهش کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهد و در بدترین حالت در سناریوی D3-W-SSP585 از میانگین ۳۱۷۵ به ۲۴۹۱ خواهد رسید. در کشت دیم در آینده تحت سناریوهای مختلف اقلیمی SSP، کاهش عملکرد زیادی به جز در دو مورد D4-R-SSP245 و D4-R-SSP585 دیده نمی‌شود و حتی در برخی از سال‌ها در دوره آینده نسبت به دوره گذشته افزایش عملکردی در حدود ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار پیش‌بینی شده است. در پایان می‌توان نتیجه گرفت تغییر اقلیم در منطقه گرگان اتفاق افتاده است و سناریوهای

نتیجه‌گیری

محدودیت در منابع آبی استان گلستان باعث شده تا امکان کشت آبی در تمام مناطق این استان فراهم نشود از اینرو برخی از کشاورزان اقدام به کشت دیم می‌کنند. به منظور مقایسه عملکرد کشت آبی و دیم محصول پنبه و اثرات تغییر اقلیم و تاریخ کشت، پژوهش حاضر بر اساس اجرای مدل واسنجی شده آب و هوا و محصول SSM در گرگان طی دره مشاهداتی و آینده اجراء شد و مهمترین نتایجی که بدست آمد عبارتند از:

بررسی سری سالانه پارامترهای هواشناسی در گرگان به کمک آزمون‌های روند و جهش بیانگر آن است که به جز بارش، پارامترهای هواشناسی مؤثر بر تبخیر-تعرق و نیاز آبی شامل دمای هوا (بیشینه و کمینه) و سرعت باد افزایش و رطوبت نسبی کاهش معنی‌داری یافته است و این تغییرات از جهش معنی‌داری نیز برخوردار هستند. پس می‌توان گفت در گرگان تغییر اقلیم اتفاق افتاده و اقلیم آن گرم‌تر و خشک‌تر شده است. بطوری که بیشینه و کمینه دمای هوا بترتیب ۱/۳ و ۰/۸ درجه سانتی‌گراد و سرعت باد ۱/۳ متر بر ثانیه افزایش، رطوبت نسبی نیز حدود ۳ درصد کاهش یافته است. عملکرد کشت دیم نسبت به کشت آبی کمی بیش از ۱۰ درصد می‌باشد و با توجه به هزینه‌های بالای کاشت پنبه، کشت دیم این محصول عملاً توصیه نمی‌شود مگر در برخی از سال‌ها که شرایط آب و هوایی مناسب است می‌توان به عملکرد ۲ تن در

- Ghorbani, Kh., Soltani, A. 2014. The effect of climate change on soybean yield in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 21(2), 67-85. (In Farsi)
- Ghorbani, N. G., Mokhtaran, A., Roshani, G., Zangi, M. 2022. The effect of planting dates and irrigation with Khuzestan sugarcane drainage on quantitative and qualitative properties of cotton cultivars *Iranian Water Research Journal*, 16(1), 39-48.
- Gupta, V., Singh, V. and Jain, M.K. 2020. Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology* 590(1), 125422.
- Huang, J. 2016. Different sowing dates affected cotton yield and yield components. *International Journal of Plant Production*, 10(1), 63-68.
- IPCC. 1992. IPCC first report on climate change: The 1990 and 1992 IPCC assessment. WMO, Rome, Italy.
- Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. 2014. Effect of climate change on Maize production and shifting of planting date as adaptation strategy in Mashhad. *Journal of agricultural science and sustainable production*, 23(4), 111-130. (In Farsi)
- Panjeh, K. A., Galeshi, S., Zeinali, E., Ghagari, A. 2007. Effect of late sowing dates and Plant density on yield and yield components of cotton (*Gossypium hirsutum* cv. Siokra). *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 14(5). (In Farsi)
- Racsko, P., Szeidl, L., 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling*, 57, 27-41.
- Rawlins, S. L. 1991. Global environmental change and agriculture. *Journal of Production Agriculture*, 4(3), 291-293.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S. 2009. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Saberpour, L., Soufizadeh, S., Mahdavi Damghani, A., Kambouzia, J., Ghorbani Nasrabad, G. 2021. Growth Analysis of New Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Cultivars Affected by Planting Date and Nitrogen Fertilizer in Golestan. *Environmental Sciences*, 19(4), 1-14. (In Farsi)
- Salari, H., Kashki, A., Karami, M., Zandy, R. 2023. Evaluation of climate change effects on water requirement of cotton crop Khorasan Razavi province. *Journal of Climate Research*, 1402(53), 163-182. (In Farsi)
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather اقلیمی SSP نیز برای آینده تغییرات بیشتری را نیز پیش‌بینی می‌کنند. در اثر این تغییر اقلیم عملکرد پنبه آبی کاهش خواهد یافت و با مدیریت صحیح تاریخ کشت می‌بایست از مقدار بیشتر این کاهش عملکرد کاست. از طرفی دیگر دقیق‌تر شدن پیشگویی‌های هواشناسی می‌تواند نقش مؤثری را جهت تصمیم‌گیری در مورد امکان کشت در هر سال تاریخ کشت ایفا کند.

منابع

- Ababaei, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F., Rezaverdinejad, V., Karimi, B. 2010. Climate change impact on wheat yield and analysis of the related risks:(Case study: Esfahan Ruddasht Region). *Water and Soil Science*, 20(3), 135-150. (In Farsi)
- Bazrafshan, J., Khalili, A., Hoorfar, A., Torabi, S., Hajjam, S. 2009. Comparison of the Performance of ClimGen and LARS-WG Models in Simulating the Weather Factors for Diverse Climates of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 5(1), 44-57. (In Farsi)
- Bihrat, Ö. N. Ö. Z. and Bayazit, M. 2003. The poRer of statistical tests for trend detection. *Turkish journal of engineering and environmental sciences*, 27(4), 247-251.
- Borzoo, F., Ramezani Etedali, H. 2024. Effect of Planting Dates on Autumn Wheat Yield under Climate Change condition. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(5), 979-995. (In Farsi)
- Costa, A. C., Soares, A. 2009. Homogenization of climate data: revieR and neR perspectives using geostatistics. *Mathematical Geosciences*. 41: 291-305.
- Eyni, N. H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghghat, M., Nouri, O. 2016. Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM mode. *Journal of Crop Production*, 8(4), 203-224. (In Farsi)
- Faghani, M., Ghorbani, K., Ghorbani Nasrabad, G., Hesam, M. 2021. Simulation of the effect of planting date on cotton yield and water use efficiency using SSM-Crop model. *Journal of Plant Production Research*, 28(2), 39-52. (In Farsi)
- Franklin, P., Gardner, R., Pearce, B., Mitchell, R.L. 2010. *Physiology of Crop Plants*. Scientific Press, 336p.
- Ghorbani Baravati, F., Najafi Mood, M. H., Ramezani, Y., Khashei, A. 2023. Impact of climate change on cotton growth and yield (case study: Birjand Plain). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(8), 1131-1145. (In Farsi)

- cotton. *Crop Sci.* 20(5): 370-374.
- Zamani, Y., Hamidianpour, M., Hashemi Monfared, S. A., Azhdari Moghaddam, M. 2021. Evaluation of the effects of cotton cultivation on the supply and demand of water resources in the southeastern regions of Iran under climate change scenarios. *Iranian Journal of Cotton Researches*, 9(1), 23-44. (In Farsi)
- Zareii, N., Dourandish, A., Alibakhshi, H., Sabouhi, M. 2022. The effect of climate change on the yield of major cereals in Iran. *Agricultural Economics*, 16(2), 27-46. (In Farsi)
- Zinali Mobarakeh, Z., Deyhim Fard, R., Kambuzia, J. 2019. Evaluation of the effects of climate change and adaptation strategies on the yield and water use efficiency of irrigated wheat (*Triticum aestivum*), Case study of Khorasan Razavi province. *Journal of Plant Production Research*. 26(3), 71-87 (In Farsi)
- generators for diverse climates. *Climate Research*, 10: 95-107.
- Sheidaei, M., Ziatabar, A. M., Fazloula, R. 2015. Study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rice crop (case study: Tajan plain). *Water and Soil*, 28(6), 1284-1297 (In Farsi)
- Soltani, A., Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, *groRth* and yield. *Field Crop Research*, 124 (2), 252-260.
- Su Buda, Huang, J., Mondal, S.K., Zhai, J., Wang Y., Wen, S., Gao, M., Yanran, L., Jiang, S., Jiang, T., Aiwei, L. 2020. Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in China. *Atmospheric Research*, 250(1).
- Young, E.F., Taylor, R.M., Peterson, H.D. 1980. Day-degree units and time in relation to vegetative development and fruiting for three cultivars of



Investigation the possible impacts of climate change on rainfed and irrigated cotton yield under SSP scenarios in Gorgan region

M. Sarkari¹, K. Ghorbani^{2*}, M. Abdolhosseini³, M. Salarijazi², A. Hezarjaribi²

Received: 02/05/2024

Accepted: 01/12/2024

Abstract

In this study the 38-year period of observed meteorological data of Hashem Abad station in Gorleston province north of Iran was used to generated 80 years of climatic data under the SSP climate change scenarios by the Lars-WG weather generator, to investigate possible impacts of climate change on irrigated and rainfed cotton in the region. The calibrated SSM crop -weather model was employed for yield simulation. Trend analysis of yield times series was performed using the Mann-Kendall and Pettitt tests. Four predefined different planting dates with 15-days interval starting from June 5th were also considered as possible adaption options. During baseline period an increasing trend of mean maximum and minimum air temperature and wind speed and decreasing trend in relative humidity was observed. Annual precipitation did not show any significant trend or jump point. For the future period, an increasing trend for annual precipitation, maximum and minimum air temperatures, under all three climate change scenarios is projected. The irrigated cotton yield, except for 2 cases under the SSP245 scenario with earlier planting dates, under most climatic scenarios and planting dates would decrease. The slope of these decreasing changes is greater under the SSP585 scenario comparing to SSP245 scenario. However, the rainfed cotton yield is more influenced by the planting date. The most delayed planting date shows significant yield trend and jump point with a greater slope. In rainfed cultivation, annual yield fluctuations will increase in the future, and an average 1.5 t/ha increase for some years is projected. Ultimately, some significant trends in climatic variables have been detected in this station and it is projected to be further in future. Earlier planting of cotton can recommend. In case of rainfed crop, further investigation on rainfall variability in future is required for more precise results.

Keywords: Climate Change, SSM, Rainfed, Cotton, Gorgan



¹ Ph.D. Candidate of Water engineering, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran

² Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran

(*Corresponding Author Email Address: Ghorbani.khalil@gau.ac.ir)

³ Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

سرکاری، م. قربانی، خ. عبدالحسینی، م. سالاری جزی، م. هزارجریبی، ا. ۱۴۰۴. بررسی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر عملکرد پنبه دیم و آبی تحت

سناریوهای SSP در منطقه گرگان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۳(۱): ۵۴-۶۹. DOI: 10.22125/agmj.2024.470726.1171

Sarkari, M., Ghorbani, K., Abdolhosseini, M., Salarijazi, M., Hezarjaribi, A. 2025. Investigation the possible impacts of climate change on rainfed and irrigated cotton yield under SSP scenarios in Gorgan region. Journal of Agricultural Meteorology, 13(1): 54-69. DOI: 10.22125/agmj.2024.470726.1171