



دانشگاه گرجان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرجان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰

۳۹-۵۲

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2021.17588.2625

شبیه‌سازی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب با استفاده از مدل SSM-Crop

منیره فغانی^{*}، خلیل قربانی^۱، قربان قربانی نصرآباد^۲ و موسی حسام^۳

^۱ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب- آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،

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

^۳ استادیار مؤسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: پنبه به عنوان یکی از محصولات زراعی مهم در کشور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و برای رسیدن به خودکفایی الیاف، نیاز به افزایش تولید آن می‌باشد. روش‌های صحیح مدیریت زراعی از جمله تاریخ کاشت، به منظور تعیین مناسب‌ترین شرایط رشد در راستای افزایش عملکرد و به حداکثر رسانیدن بهره‌وری از محیط رشد می‌باشد. تاریخ کاشت پنبه به دلیل محدودیت‌های محیطی و مواجه شدن دوره حساس پنبه با گرمای شدید تابستان و کشت دو محصول و سرمای زودرس و دیر هنگام ابتدا و انتهای فصل، از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف در این پژوهش دستیابی به بهترین تاریخ کاشت از لحاظ دستیابی به عملکرد بالا در پنبه و افزایش کارایی مصرف آب می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش داده‌های آماری ۳۵ ساله (۱۳۶۳-۱۳۹۷) ایستگاه هم‌دیدگی هواشناسی هاشم‌آباد گرگان (بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه، تابش خورشیدی روزانه) وارد مدل واسنجی شده آب و هوا و محصول (SSM-Crop) شده و با تعریف ۱۱ سناریوی تاریخ کاشت در مدل واسنجی شده آب و هوا و محصول (SSM-Crop) (۲۴ فروردین، ۳ اردیبهشت، ۱۳ اردیبهشت، ۲۳ اردیبهشت، ۲ خرداد، ۱۲ خرداد، ۲۲ خرداد، ۱ تیر، ۱۱ تیر، ۲۱ تیر، ۳۱ تیر)، تغییرات عملکردی و کارایی مصرف آب در پنبه و هم‌چنین خصوصیات آماری آن در سال‌های مختلف با شرایط آب و هوایی متفاوت بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از عملکرد و کارایی مصرف آب پیش‌بینی شده در مدل آب و هوا و محصول (SSM-Crop) نشان داد که با تأخیر در کاشت پنبه، متوسط عملکرد و ش پنبه کاهش یافت اما بر اساس نتایج آزمون آماری t-student جهت مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد، نتایج عملکرد در تاریخ‌های کاشت مربوط به سناریوهای ۳، ۱۳ و ۲۳ اردیبهشت ماه اختلاف معنی‌داری را نشان نداد در مورد متوسط کارایی مصرف آب از سناریوی ۲۴ فروردین الی سناریوی ۲ خرداد ماه روند افزایشی دیده شد و سپس از سناریوی ۲ خرداد ماه تا سناریوی ۳۱ تیرماه روند آن کاهش یافته بود که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن به ترتیب ۱۰/۰۷ و ۱/۷۵ در سناریوی ۲ خرداد و سناریوی ۳۱ تیرماه بود.

نتیجه‌گیری: پنبه گیاهی است که تاریخ کاشت می‌تواند نقش مؤثری در عملکرد و کارایی مصرف آب در آن داشته باشد اما بهترین تاریخ کاشت با توجه به مدل واسنجی شده آب و هوا و محصول، از نیمه دوم اردیبهشت تا اوایل خرداد ماه به دست آمد.

* مسئول مکاتبه: monir.faghani@yahoo.com

با توجه به کاهش متوسط عملکرد و ش پنبه و متوسط کارایی مصرف آب به دلیل تأخیر کشت و دو کشت بودن در سال بسیاری از زمین‌های زراعی در گرگان، تأخیر در زمان کاشت به کشاورزان توصیه نمی‌شود و برای به‌دست آوردن عملکرد بهتر و استفاده بهینه از آب در کشت پنبه، استفاده از کشت نشایی پنبه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تأخیر کاشت، کشت نشایی، گرگان، مدیریت زراعی، واسنجی

مقدمه

پنبه از منابع اصلی تامین الیاف و روغن در ایران و جهان بوده و کنجاله آن از مواد غذایی با ارزش در بخش دامداری می‌باشد. هم‌چنین پنبه از محصولات زراعی مهمی است که در منطقه گرگان از دیرباز در سطح وسیعی کشت می‌شد. با توجه به الگوی کشت ۲ محصول در سال و مطابقت زمانی دوره رشد این محصول با فصل خشکی، تاریخ کاشت مهم‌ترین عاملی است که بر طول دوره رویشی و زایشی و توازن بین آن‌ها، سایر عوامل تولید و نهایتاً عملکرد و کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد. در واقع هدف از تاریخ مناسب کاشت دستیابی به زمانی است که مجموعه عوامل محیطی حادث در آن زمان برای سبز شدن، استقرار و بقای گیاهچه مناسب باشد ضمن آن‌که هر مرحله از رشد گیاه با شرایط مطلوب خود روبرو گردد و به شرایط نامناسب محیطی برخورد نکند. تاریخ کاشت اثر بارزی بر سرعت ظهور گیاهچه، شروع و طول مرحله غنچه‌دهی، غوزه‌دهی، باز شدن غوزه، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه رویا و تعداد شاخه زایا در پنبه دارد (۳). یکی از مزایای تاریخ کشت مناسب، ایجاد تطابق زمانی وقوع مراحل فنولوژیک گیاه با عوامل محیطی موثر بر آن‌ها می‌باشد به‌طوری‌که موجبات تولید عملکرد بالا را فراهم می‌آورد و با تأخیر در تاریخ کشت، وزن غوزه، تعداد غوزه رسیده، وزن هزاردانه کاهش و ریزش گل افزایش می‌یابد (۷). با بررسی اثر تاریخ کاشت بر کیفیت الیاف و درصد روغن بذر سه رقم پنبه در

منطقه گرگان مشخص شد که با تأخیر در کاشت، درصد روغن بذر در همه ارقام کاهش می‌یابد (۶). تاریخ کاشت بر عملکرد و فنولوژی گیاه تغییرات بسیار مشخصی اعمال می‌کند به این صورت که با تأخیر در کاشت عملکرد نهایی و ش و هم‌چنین عملکرد پنبه کاهش یافته و مرحله گلدهی گیاه بیش‌تر از سایر مراحل تحت‌تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفته و ریزش گل‌ها افزایش می‌یابد (۱). به‌منظور 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 انجام شد و نتایج نشان داد که تأخیر در کاشت پنبه سبب کاهش عملکرد، تعداد غوزه در مترمربع و افزایش وزن و تعداد دانه در غوزه خواهد شد و بذرها و گیاهچه‌های کاشته‌شده در فروردین نسبت به کاشت‌های اردیبهشت و خرداد معمولاً با درجه حرارت‌های پایین خاک و هوا مواجه می‌شوند که این دمای پایین رشد گیاه را به تأخیر می‌اندازد و شیوع بیماری‌های گیاهچه‌ای را افزایش می‌دهد و علاوه بر این، تاریخ کاشت‌های زودتر زمان بیشتری برای گیاه برای تولید و بلوغ غوزه فراهم می‌کند (۱۳). تعداد روز تا باز شدن غوزه از ۱۳۵ روز در تاریخ کاشت ۱۲ نوامبر به ۱۶۱ روز در تاریخ کاشت ۲۹ ژانویه رسید (۹). به‌منظور تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت پنبه رقم ورامین در شرایط آب و هوایی شهرستان گرمسار، مراحل فنولوژیکی شامل جوانه‌زنی، شروع گل‌دهی، شروع غوزه‌دهی، باز شدن غوزه، رسیدگی و صفات تعداد غوزه در

۳۵ سال داده‌های آب و هوایی در منطقه هاشم‌آباد گرگان در مدل مذکور، بهترین سناریوی تاریخ کاشت معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: منطقه مطالعاتی در این پژوهش ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد گرگان می‌باشد که ایستگاه هم‌دیدگی هواشناسی کشاورزی هاشم‌آباد گرگان نیز در آن واقع شده است. این ایستگاه واقع در ۱۱ کیلومتری شمال غربی شهرستان گرگان با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی با ارتفاع متوسط ۱۴ متر از سطح دریا می‌باشد و دارای آب و هوای مدیترانه‌ای بوده و زمستان‌های آن نسبتاً ملایم و تابستان‌های آن نسبتاً مرطوب است. متوسط بلندمدت بارش سالانه در این منطقه ۵۲۷ میلی‌متر بوده که عمده پراکنش آن در فصل‌های پاییز و زمستان است و متوسط سالانه دمای هوا در این ایستگاه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این ایستگاه تحقیقاتی دارای خاکی با بافت سیلت کلی لوم و EC زیر یک دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. در ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد از سال ۱۳۶۳ شروع به داده برداری شده و داده‌های روزانه آن تا سال ۱۳۹۷ مورد استفاده قرار گرفت.

ساختار مدل: این مدل در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان طراحی و ساخته شده است (۱۶). در این مدل مقدار عملکرد پتانسیل بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت (مانند 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 (۱۵).

فنولوژی: پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به شمار می‌رود. تولید و تسهیم ماده خشک در

بوته، وزن هر غوزه، ارتفاع بوته و مقاومت یا حساسیت به بیماری‌ها و آفات یادداشت‌برداری شد و نتایج حاصل از تاریخ کاشت بر عملکرد وش و صفاتی مانند تعداد بوته در مترمربع، تعداد غوزه در بوته و ارتفاع بوته معنی‌دار بود اما این تیمار وزن غوزه را تحت تأثیر قرار نداد (۱۱). با بررسی رشد و عملکرد چهار رقم پنبه در دو تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و ۲۰ خرداد در فیصل‌آباد پاکستان، نتایج نشان داد که تاریخ کاشت نخست، از لحاظ تعداد گل در بوته، تعداد غوزه‌های باز شده در بوته، عملکرد وش و درصد الیاف نسبت به تاریخ کاشت دوم برتری داشت (۲). در آزمایشی دو ساله در منطقه‌ای با آب و هوای نیمه خشک در شمال غربی چین نتایج نشان داد که در چهار تاریخ کاشت مورد بررسی، عملکرد وش پنبه و کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت نخست نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت برتری داشت (۸). تأخیر در کاشت به دلیل مواجه شدن دوره اوج گل‌دهی و غوزه‌دهی با شرایط گرم تیر و مردادماه موجب کاهش معنی‌دار عملکرد پنبه از طریق کاهش تعداد غوزه مؤثر بر عملکرد در پایان فصل رشد گردید (۱۰). پاسخ پنبه به سه تاریخ کاشت زود، متوسط و دیر (به ترتیب از پنجم می تا پایان همان ماه) نشان داد که میانگین عملکردهای تاریخ کاشت متوسط و دیر در چهار منطقه کارولینای شمالی به ترتیب ۳۱ و ۵۱ درصد تاریخ کاشت زود هنگام بود (۵). تاریخ کاشت زود هنگام، تعداد کل غوزه در گیاه، وزن غوزه و عملکرد وش را افزایش داد (۴). عملکرد پنبه در کاشت زود هنگام در مقایسه با کاشت در زمان معمول، ۱۰ درصد بیش‌تر بود (۱۲). هدف از این پژوهش بررسی اثرات تاریخ کاشت بر عملکرد و اجرای عملکرد پنبه و هم‌چنین کارایی مصرف آب در این محصول با استفاده از مدل واسنجی شده آب، هوا و محصول (SSM-Crop) می‌باشد تا بر اساس ورود

گیاهان برای رسیدن به هر یک از مراحل (سبز شدن، شروع مؤثر پر شدن دانه‌ها، پایان مؤثر پر شدن دانه‌ها، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی) نیاز به مقادیر مشخصی از واحد دمایی تجمعی دارند که این مقادیر به‌عنوان پارامترهای ورودی مدل (SSM-Crop) جهت مدل‌سازی مراحل فنولوژیک گیاهان محسوب می‌شوند. با محاسبه واحد دمایی روزانه از طریق رابطه ۱ و جمع این اعداد از زمان کاشت با استفاده از رابطه ۲، می‌توان زمان وقوع هر یک از مراحل فنولوژیک گیاه را پیش‌بینی کرد. سپس مرحله نمو نرمالیزه شده (NGS) که یک متغیر بدون بعد است و مقدار آن در کاشت صفر و در رسیدگی برداشت ۱ می‌باشد با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$NGS = CGDD / GDDM \quad (3)$$

که در آن، GDDM زمان حرارتی مورد نیاز از کاشت تا رسیدگی برداشت برای رقم‌های زودرس، متوسط رس و دیررس به ترتیب (۱۳۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) و CGDD زمان حرارتی تجمعی برای مرحله نموی مورد نظر می‌باشد.

تولید و توزیع ماده خشک: در مدل تولید ماده خشک با روش ساده مبتنی بر کارایی استفاده از تشعشع (RUE)^۲ پیش‌بینی می‌شود. مقدار PAR دریافت شده در هر روز (FINT) از شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور (K برای PAR) براساس قانون بیر-بوگر-لامبرت در مدل محاسبه می‌شود (۱۹). مقدار ماده خشک تولید شده در هر روز (DBP) از حاصل ضرب PAR دریافت شده، کسری از تشعشع رسیده که به‌وسیله جامعه گیاهی دریافت می‌شود (FINT، بدون واحد) و RUE به‌دست می‌آید:

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به‌وسیله زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود (۱۷). فنولوژی براساس مفهوم واحد دمایی تعدیل شده و بر اساس مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی می‌شود (۱۷). مدل مراحل سبز شدن، شروع مؤثر پر شدن دانه‌ها (در غوزه پنبه)، پایان مؤثر پر شدن دانه‌ها (در غوزه پنبه)، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی را پیش‌بینی می‌کند. مدل، واکنش سرعت نسبی نمو در گیاه به میانگین دمای روزانه را با استفاده از یک تابع دندان مانند^۱ توصیف می‌کند. بر اساس تابع دندان مانند سرعت نمو در یک دمای معین و کم‌تر از آن صفر می‌باشد که این دما، دمای پایه نامیده می‌شود. با افزایش دما نسبت به دمای پایه، سرعت نمو نیز افزایش می‌یابد و در دمایی به نام دمای مطلوب تحتانی، به حداکثر می‌رسد. با افزایش دما نسبت به دمای مطلوب تحتانی تا رسیدن به دمای مطلوب فوقانی، سرعت نمو در حداکثر مقدار خود باقی می‌ماند. با افزایش دما نسبت به دمای مطلوب فوقانی، سرعت نمو مجدداً کاهش می‌یابد تا این‌که در دمایی موسوم به دمای سقف به صفر می‌رسد. سرعت نمو در دمای بالاتر از دمای سقف نیز صفر می‌باشد.

بر اساس توضیحات ارائه شده مقدار واحد دمایی روزانه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$DTU = (TP1D - TBD) \times f(T) \quad (1)$$

$$TU = \sum DTU \quad (2)$$

که در آن‌ها، DTU واحد دمایی روزانه، TP1D دمای مطلوب تحتانی برای گیاه، TBD دمای پایه برای گیاه، f(T) سرعت نمو نسبی با توجه به دمای روزانه، TU واحد دمایی تجمعی.

$$LAI = RLAI \times LAIMAX \quad (۷)$$

که در آن، LAI شاخص سطح برگ، LAIMAX حداکثر شاخص سطح برگ و RLAI نسبت LAI موجود به حداکثر LAI قابل حصول توسط محصول می‌باشد. مدل مقدار RUE در هر روز را از RUE در شرایط مطلوب IRUE و فاکتور تصحیح RUE برای دما (TCFRUE) محاسبه می‌نماید:

$$RUE = IRUE \times TCFRUE \quad (۸)$$

اگرچه RUE تحت شرایط مطلوب رشد ثابت بوده ولی دماهای نامناسب می‌توانند موجب کاهش آن شوند (۱۹). پارامترهای مشاهده شده برای پنبه در ایران در جدول ۱ ذکر شده است.

$$DBP = PAR \times FINT \times RUE \quad (۴)$$

$$PAR = SRAD \times 0.5 \quad (۵)$$

مقدار ۰/۵ به عنوان ضریبی برای تبدیل کل تشعشع خورشیدی (SRAD) به تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در رابطه بالا منظور شده است. کسر تشعشع دریافت شده (FINT) به صورت تابع نمایی از LAI و ضریب استهلاك نور (KPAR) مطابق رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$FINT = 1 - \exp(-K \times LAI) \quad (۶)$$

در این مطالعه مقدار KPAR برابر ۰/۶ تخمین زده شد (۱۴). مقدار LAI طبق رابطه ۷ به دست می‌آید.

جدول ۱- پارامترهای SSM-Crop مشاهده شده برای پنبه در ایران.

Table 1. Observed parameters of SSM- Crop model for cotton in Iran.

مقدار value	علامت اختصاری (Abv)	پارامتر (واحد) Parameter (unit)
فنولوژی Phenology		
12	TBD	دمای پایه نمو (°C) Base temperature for development (°C)
30	TP1D	دمای بهینه تحتانی نمو (°C) Lower optimum temperature for development (°C)
30	TP2D	دمای بهینه فوقانی نمو (°C) Upper optimum temperature for development (°C)
45	TCD	دمای سقف نمو (°C) Ceiling temperature for development (°C)
1300-1600-2100	tuHAR	واحد دمایی لازم برای برداشت یا ریزش برگ (°C) Temperature unit for harvest (°C)
68-84-110	tuEMR	واحد دمایی لازم برای سبز شدن یا شروع رشد برگ Temperature unit from sowing to emergence (°C)
681-839-1101	tuBSG	واحد دمایی لازم برای شروع رشد بذر یا میوه Temperature unit from sowing to beginning seed growth (°C)
1105-1360-1785	tuTSG	واحد دمایی لازم برای پایان رشد بذر یا میوه Temperature unit from sowing to termination seed growth (°C)
1105-1360-1785	tuPM	واحد دمایی لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی (پایان تجمع ماده خشک) Temperature unit for physiological maturity (°C)
Senescence and development of leaf area پیری و توسعه سطح برگ		
(0.15 , 0.05)	x1, y1	نقطه شماره ۱ برای سطح برگ نرمال در مقابل واحد دمایی نرمال Point #1 for normalized leaf area vs normalized temperature unit
(0.5 , 0.95)	x2, y2	نقطه شماره ۲ برای سطح برگ نرمال در مقابل واحد دمایی نرمال Point #2 for normalized leaf area vs normalized temperature unit

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

مقدار value	علامت اختصاری (Abv)	پارامتر (واحد) Parameter (unit)
5.3	LAIMX	شاخص سطح برگ حداکثر Maximum expected leaf area index
1235-1520-1995	tuBLS	واحد دمایی برای شروع پیری برگ Temperature unit for beginning leaf senescence Leaf senescence rate coefficient (°C)
1	SRATE	ضریب سرعت پیر شدن برگ‌ها Leaf senescence rate coefficient
8	FrzTh	آستانه انجماد برای مرگ برگ (دمای پایین) (°C) Freezing threshold for leaf death (Low temperature) (°C)
0.01	FrzLDR	مرگ برگ نسبی به ازای هر درجه کاهش دما زیر دمای پایین (آستانه انجماد) Relative leaf death per each degree below low temperature (freezing threshold)
37	HeatTH	دمای آستانه گرما برای پیر شدن برگ‌ها (°C) Heat threshold temperature for leaf senescence (°C)
0.1	HtLDR	افزایش نسبی سرعت پیری برگ به ازای هر درجه افزایش دما از دمای آستانه گرما Relative increase in leaf senescence rate per each degree above heat threshold (°C)
		تجمع ماده خشک Dry matter accumulation
10	TBRUE	دمای پایه برای تولید ماده خشک (°C) Base temperature for dry matter production (°C)
20	TP1RUE	دمای بهینه تحتانی برای تولید ماده خشک (°C) Lower optimum temperature for dry matter production (°C)
40	TP2RUE	دمای بهینه فوقانی برای تولید ماده خشک (°C) Upper optimum temperature for dry matter production (°C)
50	TCRUE	دمای سقف برای تولید ماده خشک (°C) Ceiling temperature for dry matter production (°C)
0.6	KPAR	ضریب خاموشی برای تشعشع فعال فتوسنتزی Extinction coefficient for photosynthetically active radiation
7/1	IRUE	کارایی استفاده از تشعشع در شرایط رشد بهینه Radiation use efficiency under optimal growth conditions (g MJ ⁻¹)
0.8	C3C4	ضریب برای واکنش کارایی استفاده از تشعشع به غلظت CO ₂ تشکیل عملکرد Yield Formation
0.4	HI _{max}	بیشترین مقدار شاخص برداشت Maximum harvest index/Liner increase in harvest index
10	MC	محتوای رطوبت وش Moisture content (% dwb) روابط آب و خاک Water and soil relations
200	iDEPORT	عمق اولیه ریشه در زمان سبز شدن یا شروع رشد برگ Initial depth of roots at emergence or beginning of growth (mm)
0.05	fiBRG	کسر زمان حرارتی برای شروع رشد ریشه Fraction of tuHAR for beginning root growth(°C)
0.55	fiTRG	کسر زمان حرارتی برای پایان رشد ریشه Fraction of tuHAR for termination root growth fiTRG(°C)
1000	MEED	بیشترین عمق موثر ریشه Maximum effective depth of water extraction from soil (mm)
5	TEC	ضریب کارایی تعرق Transpiration efficiency coefficient (Pa)
0.3	WSSG	آستانه FTSW وقتی تولید ماده خشک شروع به کاهش می‌کند FTSW threshold when dry matter production starts to decline WSSG
0.4	WSSL	آستانه FTSW وقتی توسعه سطح برگ شروع به کاهش می‌کند FTSW threshold when leaf area development starts to decline WSSL
0.5	WSSD	ضریب تغییر سرعت نمو در شرایط کمبود آب A coefficient that specifies acceleration or retardation in development in response to water deficit

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل (SSM-Crop) نشان داد که با تأخیر در تاریخ کاشت، متوسط عملکرد و ش پنبه کاهش می‌یابد به طوری که در سناریوی تاریخ کاشت ۳۱ تیرماه کم‌ترین عملکرد پنبه به صفر رسید که این بدان علت است که با تأخیر در تاریخ کاشت، فصل گلدهی پنبه با فصل سرما متقارن شده و این سبب شده که یا پنبه به گلدهی نرسیده و یا غوزه‌هایی که تشکیل می‌شوند ضعیف بوده و باز نشوند و همچنین ضریب تغییرات عملکرد و ش پنبه به‌ازای تأخیر در تاریخ کاشت به‌خصوص در خرداد و تیرماه تفاوت فاحش داشته که این نشان‌دهنده تفاوت بودن عملکرد پنبه در دو شرایط مشابه بوده است (جدول ۲).

سناریوهای تاریخ کاشت: در این پژوهش بعد از ورود پارامترهای هواشناسی هاشم‌آباد گرگان (۱۳۶۳-۱۳۹۷) در مدل (SSM-Crop)، ۱۱ سناریو تاریخ کاشت (۲۴ فروردین، ۳ اردیبهشت، ۱۳ اردیبهشت، ۲۳ اردیبهشت، ۲ خرداد، ۱۲ خرداد، ۲۲ خرداد، ۱ تیر، ۱۱ تیر، ۲۱ تیر، ۳۱ تیر) تعریف شد. در هر سناریو برای هر ۳۵ سال داده هواشناسی شامل بارش، بیشینه دما، کمینه دما و تابش خورشیدی در مقیاس زمانی روزانه، مدل (SSM-Crop) اجراء شد تا تغییرات عملکردی و همچنین کارایی مصرف آب در پنبه در سال‌های مختلف با شرایط آب و هوایی متفاوت بررسی شود.

جدول ۲- خلاصه آماری عملکرد پنبه در سناریوهای مختلف تاریخ کاشت.

Table 2. Statistical summary of cotton yield in different scenarios of planting date.

ضریب تغییرات عملکرد پنبه	انحراف از معیار عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار)	دامنه تغییرات عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار)	متوسط عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار)	کم‌ترین عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار)	بیش‌ترین عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار)	سناریو تاریخ کاشت
Coefficient of variation of cotton yield	Standard deviation of cotton yield (kg/ha)	Range of cotton yield changes (kg/ha)	Average cotton yield (kg/ha)	Minimum cotton yield (kg/ha)	Maximum cotton yield (kg/ha)	Scenario of planting date
0.061	302.30	1316	4910	4419	5737	۲۴ فروردین 13 April
0.060	294.38	1339	4850	4396	5735	۳ اردیبهشت 23 April
0.061	295.52	1487	4780	4248	5735	۱۳ اردیبهشت 3 May
0.071	335.92	1687	4730	4049	5735	۲۳ اردیبهشت 13 May
0.107	499.20	3280	4650	2455	5735	۲ خرداد 23 May
0.106	486.43	2817	4550	2517	5333	۱۲ خرداد 2 June
0.178	758.83	3564	4240	1674	5238	۲۲ خرداد 12 June
0.288	908.73	3652	3150	1055	4708	۱ تیر 22 June
0.434	906.17	3584	2090	154	3737	۱۱ تیر 2 July
0.558	647.51	2705	1160	35	2740	۲۱ تیر 12 July
0.934	439.11	1502	470	0	1502	۳۱ تیر 22 July

۱۰/۰۷ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) بیش‌ترین متوسط کارایی مصرف آب را داشته و از سناریوی ۲ خردادماه به بعد متوسط کارایی مصرف آب سیر نزولی داشته و در سناریوی ۳۱ تیرماه متوسط کارایی مصرف آب به کم‌ترین مقدار خود یعنی ۱/۷۰ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) رسیده است (جدول ۳).

خروجی‌های مربوط به تعداد آبیاری، مقدار آب مصرفی، بارش، متوسط عملکرد پنبه، کل ماده خشک، متوسط کارایی مصرف آب از مدل (SSM-Crop) استخراج شد. تمامی صفات مذکور با تأخیر در تاریخ کاشت کاهش یافته ولی متوسط کارایی مصرف آب از اواخر فروردین‌ماه تا اوایل خردادماه سیر صعودی داشته داشته به طوری که سناریوی ۲ خردادماه با مقدار

جدول ۳- صفات شبیه‌سازی شده در مدل SSM-Crop در انواع سناریوهای تاریخ کاشت.

Table 3. Simulated traits in Ssm-Crop model in different planting date scenarios.

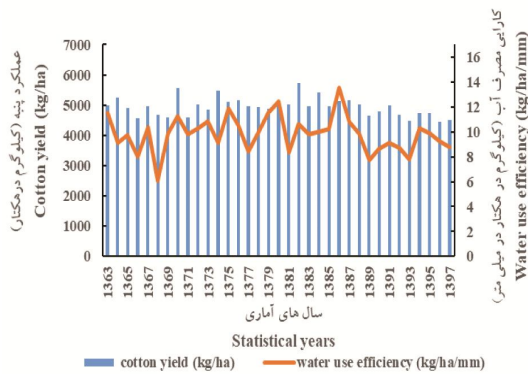
متوسط کارایی مصرف آب (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) Average water use efficiency (kg/ha/mm)	کل ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Total dry matter (kh/ha)	متوسط عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار) Average cotton yield (kg/ha)	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	مقدار آب مصرفی (میلی‌متر) Amount of water use (mm)	تعداد آبیاری Irrigation number	سناریو تاریخ کاشت Scenario of planting date
9.65	12250	4910	198	311	5	۲۴ فروردین 13 April
9.66	12110	4850	194	308	5	۳ اردیبهشت 23 April
9.82	11970	4780	196	290	5	۱۳ اردیبهشت 3 May
9.89	11870	4730	191	286	4	۲۳ اردیبهشت 13 May
10.07	11780	4650	187	275	4	۲ خرداد 23 May
9.99	11690	4550	187	268	4	۱۲ خرداد 2 June
9.80	11400	4240	178	254	4	۲۲ خرداد 12 June
7.95	10290	3150	173	223	4	۱ تیر 22 June
5.92	9020	2090	160	192	3	۱۱ تیر 2 July
3.70	7770	1160	154	158	3	۲۱ تیر 12 July
1.70	6400	470	145	130	3	۳۱ تیر 22 July

۱۳۸۶ بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن ۶/۰۵ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۸ دیده شد (شکل ۱). در سناریوی ۳ اردیبهشت‌ماه بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد پنبه مشابه سناریوی ۲۴ فروردین‌ماه بود. کارایی مصرف آب در سناریوی ۳ اردیبهشت‌ماه

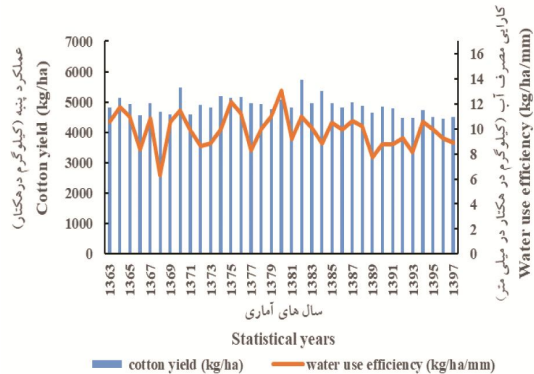
در سناریوی ۲۴ فروردین‌ماه بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد پنبه به ترتیب ۵۷۳۷ و ۴۴۶۰ (کیلوگرم در هکتار) در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۶ بوده است. کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۴ فروردین‌ماه با مقدار ۱۳/۵۲ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال

کمترین عملکرد پنبه به ترتیب ۵۲۳۸ و ۱۶۷۴ (کیلوگرم در هکتار) در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۴ دیده شد. کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۲ خردادماه با مقدار ۱۳/۳۴ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۷۹ بیشترین مقدار و کمترین آن ۵/۳۳ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۴ مشاهده شد (شکل ۷). در سناریوی ۱ تیرماه بیشترین و کمترین عملکرد پنبه به ترتیب ۴۴۲۳ و ۱۰۵۵ (کیلوگرم در هکتار) در سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۶۷ دیده شد. کارایی مصرف آب در سناریوی ۱ تیرماه با مقدار ۱۲/۲۱ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۱ بیشترین مقدار و کمترین آن ۳/۰۸ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۷ بوده است (شکل ۸). در سناریوی ۱۱ تیرماه بیشترین و کمترین عملکرد وش پنبه به ترتیب ۳۷۲۵ و ۱۵۴ (کیلوگرم در هکتار) در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۸۲ مشاهده شد. کارایی مصرف آب در سناریوی ۱۱ تیرماه با مقدار ۹/۷۶ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۱ بیشترین مقدار و کمترین آن ۰/۵۸ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۱ بوده است (شکل ۹). در سناریوی ۲۱ تیرماه بیشترین و کمترین عملکرد پنبه به ترتیب ۲۷۴۰ و ۳۵ (کیلوگرم در هکتار) در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۶۶ بوده است. کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۱ تیرماه با مقدار ۷/۴۴ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۹۶ بیشترین مقدار و کمترین آن ۰/۱۶ (کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۶ دیده شد (شکل ۱۰). در سناریوی ۳۱ تیرماه بیشترین عملکرد وش پنبه ۱۵۰۲ (کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۹۶ و کمترین عملکرد پنبه ۰ (کیلوگرم در هکتار) در ۸ سال از ۳۵ سال آماری بوده است. کارایی مصرف آب در سناریوی ۳۱ تیرماه با مقدار ۵/۱۱ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۹۶ بیشترین مقدار و کمترین آن ۰ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در ۸ سال بوده است (شکل ۱۱).

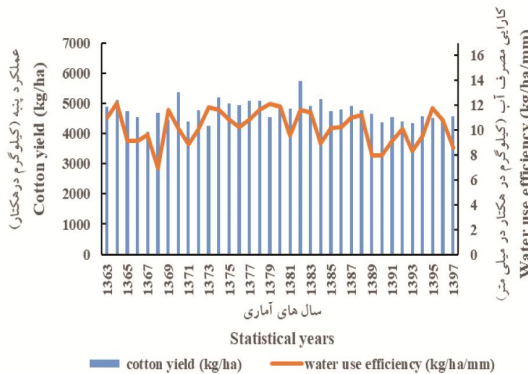
با مقدار ۱۳/۰۱ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۰ بیشترین مقدار و کمترین آن ۶/۲۸ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۸ بوده است (شکل ۲). در سناریوی ۱۳ اردیبهشت‌ماه بیشترین عملکرد پنبه مشابه سناریوی ۲۴ فروردین و ۳ اردیبهشت‌ماه بوده و کمترین عملکرد آن ۴۲۴۸ (کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۷۳ مشاهده شد. کارایی مصرف آب در سناریوی ۱۳ اردیبهشت‌ماه با مقدار ۱۳/۳۵ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۴ بیشترین مقدار و کمترین آن ۶/۳۴ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۸ بوده است (شکل ۳). در سناریوی ۲۳ اردیبهشت‌ماه بیشترین عملکرد پنبه مشابه سناریوهای قبل و کمترین عملکرد آن با مقدار ۴۰۴۹ (کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۶۷ دیده شد. کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۳ اردیبهشت‌ماه با مقدار ۱۲/۱۹ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۴ بیشترین مقدار و کمترین آن ۶/۹۰ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۶۸ بوده است (شکل ۴). در سناریوی ۲ خردادماه بیشترین عملکرد پنبه نیز مشابه سناریوهای قبل و کمترین عملکرد آن با مقدار ۲۴۵۵ (کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۸۳ مشاهده شد. کارایی مصرف آب در سناریوی ۲ خردادماه با مقدار ۱۳/۹۵ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۲ بیشترین مقدار و کمترین آن ۶/۲۰ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۳ شبیه‌سازی گردید (شکل ۵). در سناریوی ۱۲ خردادماه بیشترین و کمترین عملکرد پنبه به ترتیب ۵۳۳۳ و ۲۵۱۷ در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۸۳ بوده است. کارایی مصرف آب در سناریوی ۱۲ خردادماه با مقدار ۱۳/۳۸ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۷۸ بیشترین مقدار و کمترین آن ۶/۰۹ (کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر آب) در سال ۱۳۸۳ دیده شد (شکل ۶). در سناریوی ۲۲ خردادماه بیشترین و



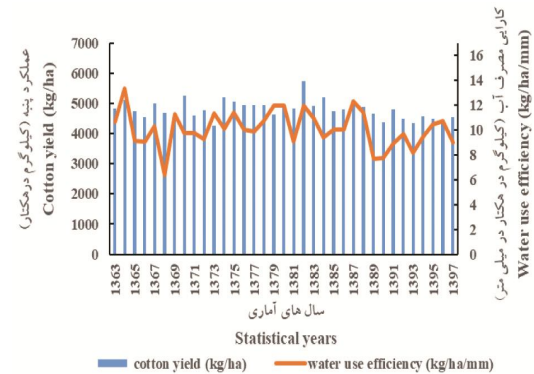
شکل ۲- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۳ اردیبهشت.
 Fig. 2. Cotton yield and water use efficiency in 23 April scenario.



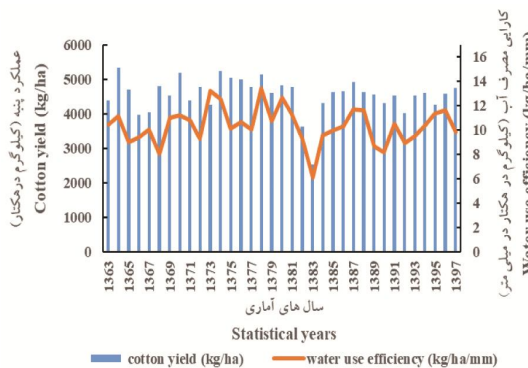
شکل ۱- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۴ فروردین.
 Fig. 1. Cotton yield and water use efficiency in 13 April scenario.



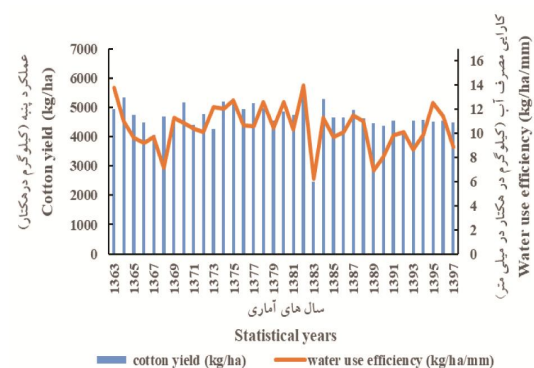
شکل ۴- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۳ اردیبهشت.
 Fig. 4. Cotton yield and water use efficiency in 13 May scenario.



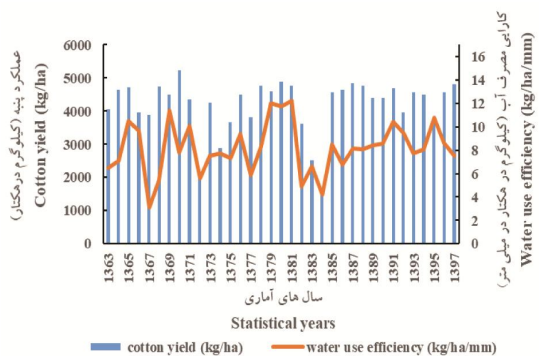
شکل ۳- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۱۳ اردیبهشت.
 Fig. 3. Cotton yield and water use efficiency in 3 May scenario.



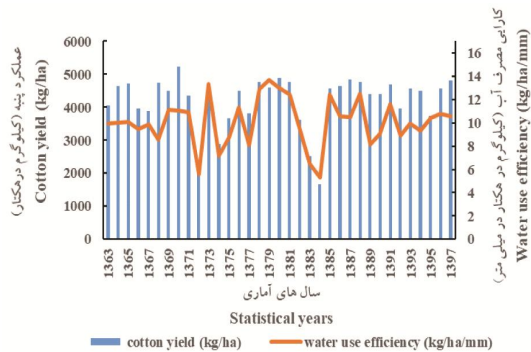
شکل ۶- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۱۲ خرداد.
 Fig. 6. Cotton yield and water use efficiency in 2 June scenario.



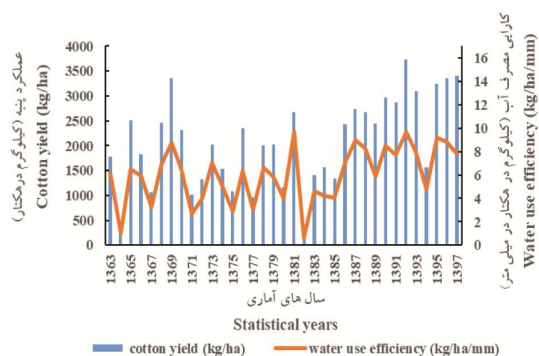
شکل ۵- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۲ خرداد.
 Fig. 5. Cotton yield and water use efficiency in 23 May scenario.



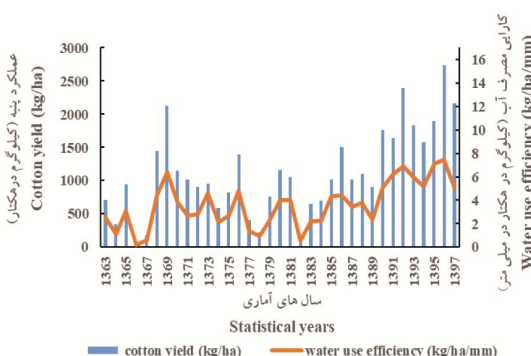
شکل ۸- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۱ تیر.
Fig. 8. Cotton yield and water use efficiency in 22 June scenario.



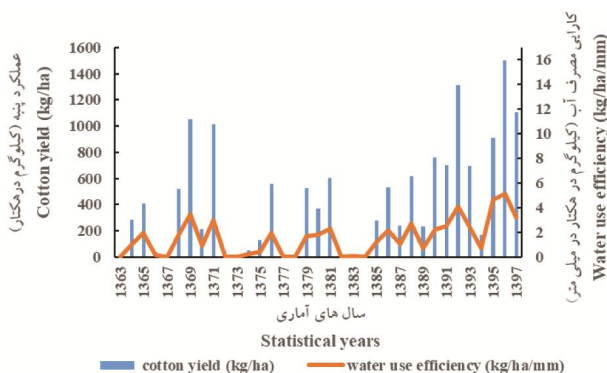
شکل ۷- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۲ خرداد.
Fig. 7. Cotton yield and water use efficiency in 12 June scenario.



شکل ۱۰- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۲۱ تیر.
Fig. 10. Cotton yield and water use efficiency in 12 July scenario.



شکل ۹- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۱۱ تیر.
Fig. 9. Cotton yield and water use efficiency in 2 July scenario.



شکل ۱۱- عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در سناریوی ۳۱ تیر.
Fig. 11. Cotton yield and water use efficiency in 22 July scenario.

اختلافات جزئی عملکردی آن‌ها را در طول ۳۵ سال اجرای مدل معنی‌دار تشخیص نداد (جدول‌های ۴ و ۵). نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌ها (۱، ۶ و ۱۳)، از لحاظ کاهش عملکرد پنبه به‌ازای تأخیر در کاشت مشابه بوده است. به‌منظور بررسی بیش‌تر در نتایج حاصل از مدل واسنجی شده، پیشنهاد می‌شود پنبه در چند تاریخ از سناریوهای تاریخ کاشت، در مزرعه هاشم‌آباد کشت شود و نتایج حاصل از پارامترهای شبیه‌سازی شده در مدل با همان پارامترها در کشت مستقیم پنبه با یکدیگر مقایسه گردد و میزان تطابق آن‌ها سنجیده شود.

مقایسه عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها: برای این منظور از آزمون t-student استفاده شد و آماره آزمون براساس معیار P-value برای بررسی معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها در سطح ۵ درصد آزمون شد. در صورتی که مقدار P-value بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد بین سناریوهای کاشت تفاوت عملکرد معنی‌داری وجود ندارد. با توجه به میزان عملکرد در سناریوهای مختلف تاریخ کاشت تعریف شده در این پژوهش، بهترین تاریخ‌های کاشت مربوط به سناریوهای ۳ و ۱۳ و ۲۳ اردیبهشت‌ماه بود و آزمون t-student نیز

جدول ۴- مقدار P-value آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش t-student.

Table 4. P-value of mean comparison test by t-student.

۲ خرداد 23 May	۲۳ اردیبهشت 13 May	۱۳ اردیبهشت 3 May	۳ اردیبهشت 23 April	۲۴ فروردین 13 April	سناریو تاریخ کاشت Scenario of planting date
0.007	0.012	0.046	0.345	-	۲۴ فروردین 13 April
0.037	0.093	0.277	-	0.345	۳ اردیبهشت 23 April
0.187	0.498	-	0.277	0.046	۱۳ اردیبهشت 3 May
0.431	-	0.498	0.093	0.012	۲۳ اردیبهشت 13 May
-	0.431	0.197	0.037	0.007	۲ خرداد 23 May
0.337	0.057	0.013	0.001	0	۱۲ خرداد 2 June
0.005	0	<0.0001	<0.0001	<0.0001	۲۲ خرداد 12 June
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	۱ تیر 22 June
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	۱۱ تیر 2 July
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	۲۱ تیر 12 July
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	۳۱ تیر 22 July

جدول ۵- مقدار P-value آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش t-student.

Table 5. P-value of mean comparison test by t-student.

سناریو تاریخ کاشت Scenario of planting date	۱۲ خرداد 2 June	۲۲ خرداد 12 June	۱ تیر 22 June	۱۱ تیر 2 July	۲۱ تیر 12 July	۳۱ تیر 22 July
۲۴ فروردین 13 April	0	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۳ اردیبهشت 23 April	0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۱۳ اردیبهشت 3 May	0.013	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۲۳ اردیبهشت 13 May	0.057	0	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۲ خرداد 23 May	0.337	0.005	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۱۲ خرداد 2 June	-	0.035	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۲۲ خرداد 12 June	0.035	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۱ تیر 22 June	<0.0001	<0.0001	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001
۱۱ تیر 2 July	<0.0001	<0.0001	<0.0001	-	<0.0001	<0.0001
۲۱ تیر 12 July	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	-	<0.0001
۳۱ تیر 22 July	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	-

نتیجه گیری

در بررسی اثر تاریخ کشت بر عملکرد پنبه و کارایی مصرف آب در منطقه گرگان که بر اساس اجرای مدل واسنجی شده آب و هوا و محصول (SSM-Crop) در یک دوره آماری ۳۵ ساله اجراء شده است مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده عبارتند از: ۱. بهترین زمان کاشت پنبه در گرگان بدون افت قابل‌توجه عملکرد از اواخر فروردین تا اواخر خرداد می‌باشد به‌طوری‌که در این زمان بالاترین عملکرد در بین سال‌های مختلف به‌دست می‌آید. ۲. از اواخر تیرماه به بعد با توجه به سرد شدن هوا در زمان غوزه‌دهی و عدم باز شدن غوزه‌ها عملکرد به شده افت پیدا کرده به‌طوری‌که عملاً عملکردی حاصل

نمی‌شود. ۳. در سال‌های اول شبیه‌سازی در تاریخ کاشت ۲۱ تیر عملکرد صفر و یا بسیار کم بود اما در سال‌های اخیر عملکرد حاصل شد که در واقع به‌دلیل گرم‌تر شدن هوا در سال‌های اخیر است. ۴. با وجود این‌که در مدل آب و هوا و محصول شرایط آبیاری برای پنبه در نظر گرفته شد و کمبود نیاز آبی با آبیاری تأمین شد با این وجود در سال‌های مختلف به‌دلیل متنوع بودن شرایط آب و هوایی، عملکردهای متفاوتی به‌دست آمد و این نقش شرایط آب و هوایی به‌ویژه بارش را در عملکرد محصولات زراعی نشان می‌دهد. ۵. با تأخیر در کاشت از اواخر فروردین، متوسط تعداد دفعات آبیاری کاهش می‌یابد به‌دلیل این‌که طول دوره رشد کاهش یافته و هم‌چنین دوره فنولوژی

و استفاده بهینه از آب در کشت پنبه، تأخیر در زمان کاشت توصیه نمی‌شود ولی با توجه به این‌که بیش‌تر زمین‌های زراعی در گرگان در سال دوبار کشت می‌شوند و برداشت محصول اول ممکن است تا اواخر خرداد طول بکشد پس به کشاورزان توصیه می‌شود تا به کشت نشایی پنبه توجه خاصی کنند.

گله‌ی که حساس‌ترین دوره به کم‌آبی می‌باشد با فصل بارش و همچنین سردی هوا مطابق می‌شود. با این حال کارایی مصرف آب تا اوایل خرداد افزایشی و پس از آن به دلیل افت عملکرد محصول کاهش خواهد بود. ۶. در پایان با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که برای به دست آوردن عملکرد بهتر

منابع

- Adamsen, F.J. 2005. Planting date effect on flowering seed yield and oil content. *Agron. J.* 3: 132-145.
- Arshad, M., Wajid, A., Maqsood, M., Hussain, K., Aslam, M. and Ibrahim, M. 2007. Response of growth, yield and quality of different cotton cultivars to sowing dates. *Pak. J. Agric. Sci.* 44: 2. 208-212.
- Eid, H.M., Hosny, A., Ainer, N.G. and Sherif, M.A. 1992. Prediction of seed cotton yield under different sowing dates and plant population densities in middle Egypt. *Ann. Agric. Sci. (Cairo)*. 1: 205-218.
- Eldebaby, A.S., Hammam, G.Y. and Nagible, M.A. 1995. Effect of planting date, N and P application levels on the yield of giza 80 cotton cultivar. *Ann. Agric. Sci. Moshtohor*.
- Guthrie, D.S. 1991. Cotton response to starter fertilizer placement and planting dates. *Agron. J.* 83: 836-839.
- Gadry, F. and Latefi, N. 2006. Effect of planting date on fiber quality and seed oil content of cotton cultivars in Gorgan. *Agric. Res. J.* 3: 20-32.
- Ghayame Tafarosh, A. 2008. Cotton. *J. Agric. Sci. Agric.* 9: 25-27. (In Persian)
- Huang, J. 2016. Different sowing dates affected cotton yield and yield components. *Int. J. Plant. Pro.* 10: 1. 63-68.
- Lamas, F.M., Vieira, J.M., Begaza, J.C. E.O. and Sediama, C.S. 1989. Study of the interaction of between row spacing and sowing date in tree cotton crops. *Rev. Cer.* 36: 247-263.
- Mehrabadi, H.R. 2000. Effect of Different Pplanting dates and methods on quantity and quality traits of Varamin cotton cultivar. *J. Comp. Pathol.* 7: 2. 61-72. (In Persian)
- Naderi Arefi, A. and Abedini Esfahlani, M. 2013. Effect of planting date and final irrigation on cotton yield at Garmsar condition. *J. Agric.* 15: 3. 201-211. (In Persian)
- Pettigrew, W.T. 2002. Improved yield potential with and early planting cotton production system. *Agron. J.* 87: 947-952.
- Panjeh Koob, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Gagari, A. 2007. Effect of late sowing dates and plant density on yield and yield components of cotton. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 13: 2. 157-168. (In Persian)
- Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. *Europ. J. Agron.* 44: 13-22.
- Soltani, A. and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res.* 124: 252-260.
- Soltani, A., Maddah, V. and Sinclair, T.R. 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. *Int. J. Plant Prod.* 7: 711-740.
- Sinclair, T.R., Kitani, S., Hinson, K., Bruniard, J. and Horie, T. 1991. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. *Crop Sci.* 31: 786-790.
- Sinclair, T.R. 2006. A reminder of the limitations in using Beer's law to estimate daily radiation interception by vegetation. *Crop Sci.* 46: 2343-2347.
- Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in filed crops. *Jihad-e-Daneshgahi of Mashhad University Publications.* 175p. (In Persian)