تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۵/شماره ۹۵ /تابستان ۱۴۰۳/صفحه ۷۴ - ۵۷

نوع مقاله: پژوهشی

برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد زراعت پنبه در شرایط مرسوم کشاورزی شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا (مطالعهٔ موردی: استان فارس)

امیر اسلامی[1*]، محمد مهدی نخجوانی مقدم[2] ، محمد مهدی قاسمی[3] و اکبر جوکار[4]

*۱و ۴ استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲و ۳ استادیار بخش تحقیقات آبیاری، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/ ۰۱ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

چکیده

شناسایی و رفع موانع تولید گیاه پنبه، یکی از مهم‌ترین کالاهای استراتژیک، از قبیل تغییرات اقلیمی و چالش‌های خشکی و کم‌آبی از یک سو و ناپایداری عملکرد و کیفیت نامناسب محصول از سوی دیگر، اهمیت توجه به تحقیقات کاربردی و انتقال دانش فنی به عرصهٔ تولید را دو چندان کرده است. تحقیق حاضر با هدف اندازه‌گیری آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری پنبه در شرایط مرسوم در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا در استان فارس به‌اجرا درآمده است. بدین منظور ۲۰ مزرعه (۱۸ مزرعه آبیاری سطحی و ۲ مزرعه آبیاری قطره‌ای نواری) منتخب در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا انتخاب و عملکرد محصول و میزان آب آبیاری در آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین شاخص‌های عملکرد، میزان آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری پنبه در ۱۸ مزرعهٔ منتخب استان که با روش سطحی آبیاری می‌شدند، به ترتیب برابر ٤٤٥٠ کیلوگرم بر هکتار، ۹۸۹۹ مترمکعب بر هکتار و ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق، توصیه می‌شود از یک سو تاریخ کشت و برداشت به ترتیب ۲۰ خردادماه و اول آبان ماه رعایت گردد. از سوی دیگر با قبول ۲۰ تا ۲۵ درصد کم‌آبیاری تنظیم شده در دوره رشد، میزان آب آبیاری بهینه، بدون لحاظ‌کردن ضریب آبشویی برای گیاه پنبه، در این مناطق با روش آبیاری سطحی بین ۹۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شود. همچنین تاکید می‌شود کشاورزان پیش از کاشت پنبه، از خاک نمونه‌برداری کنند و طبق توصیه‌های کارشناسان،کوددهی بهینه را دنبال کنند.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، عملکرد پنبه، نیاز آبی، مدیریت آبیاری

مقدمه

پنبه (*Gossypium* spp.) برای رشد مناسب و تشکیل و تکمیل غنچه، گل و غوزه‌های سالم نیاز به رطوبت مناسب در تمام فصل رشد دارد. اما مراحل مختلف رشد نسبت به آب واکنش یکسانی ندارند. آب زیاد در مراحل اولیه رشد باعث افزایش شاخ و برگ، افزایش توقع گیاه به آب و مواد غذایی، محدودیت جریان هوا، محدودیت رشد ریشه و تاخیر در گل‌دهی و باز شدن غوزه‌ها می‌شود. از طرف دیگر، تنش آبی اگر رشد سبزینه‌ای را خیلی محدود کند باعث شروع زودهنگام گل‌دهی می‌شود. در مراحل قبل و دورهٔ گل‌دهی و همچنین تشکیل غوزه نسبت به آب حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. به‌طور کلی، تأثیر خواص کیفی آب عمدتاً به رقم وابسته است. کمبود شدید آب درصد روغن دانه را کاهش می‌دهد و اثر مستقیم کمبود آب روی خواص الیاف پنبه به دلیل ریزش غوزه‌ها قابل مشاهده نیست (Kiani, 2013). بعد از انتخاب رقم، کاشت بذر و استقرار بوته، بزرگ‌ترین تصمیم

نگارنده مسئول: **Email:** amireslami.50@gmail.com https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.367111.1593

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مدیریتی در مزرعهٔ پنبه، انتخاب زمان مناسب شروع آبیاری است (Sohrabi Moshkabadi, 2016). اولین آبیاری روی آبیاری‌های بعدی و فنولوژی گیاه اثر مستقیم می‌گذارد (Silvertooth *et al*., 2001). بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی سطح زیرکشت پنبه (کشت آبی) در کشور ۸۷/۵ هزار هکتار است. استان‌های دارای بیشترین سطح زیرکشت پنبه در کشور، به‌ترتیب خراسان‌رضوی، فارس، گلستان، اردبیل و خراسان شمالی هستند (Agricultural Statistics, 2024). مطابق با مطالعات سهرابی مشک‌آبادی (Sohrabi Moshkabadi, 2016)، میزان آب مصرفی پنبه بین ۲۸۵۰ تا ۵۹۰۰ متر مکعب بر هکتار، عملکرد پنبه بین ۱۷۰۰ تا ۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب آبیاری پنبه بین ۰/۲ تا ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب در مناطق مختلف استان گلستان گزارش شده است. آذری (Azari, 1996) نیاز آبی پتانسیل پنبه رقم ساحل را به روش لایسیمتری در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم آباد گرگان مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که تبخیر و تعرق پتانسیل رقم مذکور ۷۷۸ میلی‌متر و میانگین ضریب گیاهی پنبه ۰/۸۲ است. آب خالص موردنیاز پنبه با استفاده از برنامهٔ نرم افزاری Cropwat توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای منطقه گرگان ۷۶۵ میلی‌متر محاسبه شده است (Farshi *et al*., 2015)، در حالی‌که سهرابی مشک‌آبادی (Sohrabi Moshkabadi, 2013) در تحقیقات خود نیاز آبی واقعی پنبه در منطقه مذکور را حدود نصف مقدار اعلام شده و بین ۴۲۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر برآورد کرده است. به‌طور کلی میزان آب آبیاری فصلی پنبه تابع شرایط اقلیمی، رقم، طول دورهٔ رشد و ویژگی‌های خاک است و دامنه تغییرات آن بسته به شرایط از ۴۰۰ میلی‌متر تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در کشور در نوسان است. طول دورهٔ رشد گیاه پنبه بسته به اقلیم و رقم از ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز متغیر است (Kiani, 2013). قائمی (Ghaemi, 2018) در تحقیقات خود مقدار آب آبیاری مورد نیاز کشت پنبه (رقم ورامین) را در منطقهٔ ورامین حدود ۱۰۱۱۰ متر مکعب بر هکتار گزارش کرده است. اسدی و همکاران (Asadi *et al*., 2012) گزارش داده‌اند که میزان آب مصرفی پنبه در منطقه اورزوییهٔ کرمان در صورت تامین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب برابر ۹۲۰۰، ۷۷۰۰ و ۶۰۰۰ متر مکعب بر هکتار است. نتایج تحقیقات رحیمیان و کاخکی (Rahimian and Kakhki, 2016) نیز نشان می‌دهد آب مورد نیاز پنبه در دورهٔ رشد در منطقهٔ کاشمر حدود ۶۰۰۰ تا ۹۰۰۰ مترمکعب بر هکتار است و در مناطقی که دمای هوا زیاد و خاک منطقه شنی باشد، آب مورد نیاز پنبه به ۱۱۰۰۰ مترمکعب بر هکتار نیز خواهد رسید.

نخجوانی‌مقدم و همکاران (Nakhjavani Moghadam *et al*., 2019) در پژوهشی آب کاربردی پنبه در کشور در ۱۲۱ مزرعه تحت مدیریت کشاورزان در استان‌های خراسان‌رضوی، فارس، گلستان، خراسان‌شمالی، اردبیل، سمنان و البرز طی سال ۱۳۹۷ را بررسی کردند. نتایج میانگین میزان آب مصرفی در استان‌های خراسان‌رضوی، فارس، گلستان، خراسان‌شمالی، اردبیل، سمنان و البرز به ترتیب برابر ۹۸۳۰، ۹۹۴۵، ۵۰۷۰، ۶۸۱۵، ۷۵۴۳، ۱۰۵۳۶ و ۸۳۹۳ مترمکعب در هکتار به‌دست آمده است. میانگین آب مصرفی پنبه کشور در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۹۰۹۷ و ۷۲۴۵ مترمکعب در هکتار تعیین شده است. میانگین عملکرد پنبه، حجم آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح کشور به ترتیب ۳۳۸۳/۵ کیلوگرم در هکتار، ۸۹۸۰ مترمکعب در هکتار و ۰/۴۳کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمده است. جعفرآقایی و جلالی (Jafar Aghaei and Jalali, 2013) طی مطالعه‌ای در استان اصفهان، برای مقادیر شوری آب ۴، ۷، ۱۰ و ۱۳ (دسی زیمنس بر متر) میزان آب مصرفی پنبه را به ترتیب برابر ۱۰۸۵۶، ۱۲۰۶۲، ۱۲۷۷۱ و ۱۳۵۷۰ مترمکعب در هکتار و بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری پنبه را به ترتیب برابر ۰/۳۹، ۰/۳۱، ۰/۲۴ و ۰/۱۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. مقایسهٔ آبیاری قطره‌ای با آبیاری سطحی حکایت از برتری

قابل توجه اقتصادی به دلیل صرفه‌جویی مناسب آب در این روش آبیاری است (Aujla *et al.*, 2005; Bakhtiyor *et al.*, 2003). در مطالعه‌ای در منطقه جنوب شرق ترکیه، سه روش آبیاری شیاری، بارانی و قطره‌ای نواری برای گیاه پنبه مقایسه شدند. حداکثر عملکردهای وش پنبه ۴۳۸۰، ۳۶۳۰ و ۳۳۸۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب مربوط به روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری، شیاری و بارانی بود. بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری در سه روش فوق به ترتیب ۴/۸۷، ۳/۸۷ و ۲/۳۶ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار بود (Cetin and Bilgel, 2002). در تگزاس که منطقه‌ای است نیمه خشک، بیشترین عملکرد پنبه در روش آبیاری قطره‌ای نواری که به میزان ۷۴۰ میلی‌متر آب مصرف کرده بود، به‌دست آمد (Wanjura *et al.*, 2002). با اجرای آزمایش مزرعه‌ای طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ مشخص شد که برای گیاه پنبه در مناطق خشک و نیمه خشک هندوستان، روش آبیاری قطره‌ای نواری بر روش آبیاری شیاری مزیت دارد. تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه پنبه در روش آبیاری قطره‌ای نواری به‌ترتیب سبب صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی به میزان ۳۰ و ۱۷ درصد نسبت به روش آبیاری شیاری شده است (Rao *et al.*, 2016). در تحقیقی اثر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی طی دو سال بر عملکرد و بهره‌وری آب پنبه در منطقهٔ کاشمر بررسی شد و مقدار عملکرد وش در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۳۰۷۴ و ۳۹۸۸ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد که با هم اختلاف معنی‌دار دارند. بهره‌وری آب الگوهای مذکور به ترتیب ۰/۲۶۸ و ۰/۳۴۹ کیلوگرم وش به ازای مصرف هر مترمکعب آب بود (Jolaini and Mehrabadi, 2010). نتایج مقایسه دو روش آبیاری قطره‌ای نواری و نشتی در زراعت پنبه در خراسان رضوی نشان داد که با صرفه‌جویی قابل توجه در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری شیاری (۴۲ درصد) میزان تولید کل پنبه بدون اضافه کردن منابع جدید آبی افزایش می‌یابد (Afshar and Mehrabadi, 2016).

ابراگیموف و همکاران (Ibragimov *et al.*, 2007) طی تحقیقی ۳ ساله بهره‌وری آب پنبه را در دو روش آبیاری قطره‌ای نواری و شیاری مقایسه کردند و نتیجه گرفتند با کاربرد روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به روش آبیاری شیاری به میزان ۱۸ تا ۴۲ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود و میزان بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نواری به میزان ۳۵ تا ۱۰۳ درصد نسبت به روش آبیاری شیاری افزایش می‌یابد.

اسلامی و همکاران (Eslami *et al.*, 2019) در تحقیقی، برنامه‌ای ساده برای آبیاری مزارع پنبهٔ مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری در مناطق شهرهای داراب و لار ارائه دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین مدت زمان هر نوبت آبیاری پنبه معادل ۷۰۰ دقیقه در یک خاک لوم رسی با راندمان یکنواختی ۷۰ درصد سامانه و با فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری و دبی ۲/۱ لیتر در ساعت روزنه‌ها به‌دست آمد. کمترین مدت زمان آبیاری مربوط به خاک رسی شنی با راندمان یکنواختی ۹۰ درصد سامانه و با فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری و دبی ۸/۲ لیتر در ساعت روزنه‌ها و معادل ۱۰۰ دقیقه به‌دست آمد. حداکثر دفعات آبیاری به سه بار در هفته برای خاک رسی شنی در مرداد ماه توصیه شد. میزان کل نیاز آبی ناخالص پنبه در مناطق شهرستان‌های داراب و لارستان به ترتیب ۹۲۱۰ و ۱۰۰۲۰ مترمکعب در هکتار برآورد گردید. زارت و باستیانسن (Zwart and Bastiannsen, 2004) بر اساس تحلیل جامع از نتایج تحقیقات و آزمایش‌های ۲۵ ساله دریافتند که دامنهٔ مقادیر بهره‌وری آب پنبه از مقادیر گزارش‌شده توسط سازمان فائو تجاوز می‌کند. دامنهٔ تغییرات برای پنبه (دانه)، پنبه (الیاف)، به ترتیب برابر ۰/۹۵-۰/۴۱ و ۰/۳۳-۰/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام شد. این محققان نتیجه‌گیری کردند که پتانسیل و فرصت برای حفظ یا افزایش بهره‌وری آب پنبه زیاد است. شیروانیان و همکاران (Shirvanian *et al.*, 2013) به منظور بررسی اقتصادی روش کم‌آبیاری پنبه و تعیین

آستانهٔ اقتصادی اعمال آن در شهرستان داراب تحقیقاتی کردند و نشان دادند سطح آستانهٔ اقتصادی کم‌آبیاری پنبه ۸۸۶۹ مترمکعب آب آبیاری در هکتار است که نسبت به میزان آب مصرفی در سطح آبیاری کامل موجب صرفه‌جویی ۳۱ درصد (۳۹۷۷ مترمکعب در هکتار) در آب آبیاری می‌شود. فیک و همکاران (Feike *et al.*, 2017) برای افزایش درک کشاورزان پنبه کار چینی از بهره‌وری آب مطالعاتی در شمال غرب چین دنبال کردند. در این منطقه، استفادهٔ بیش از حد از منابع محدود آب‌های سطحی نه تنها موجب تخریب محیط زیست شده‌است بلکه به دلیل رقابت میان کشاورزان، بهره برداری از آب‌های زیرزمینی نیز به شدت گسترش یافته‌است. این محققان در بررسی پرسشنامه‌های ۱۱۲ بهره‌بردار دریافتند که اندازهٔ مزرعه، نوع محصول و تعداد کشت در سال در انتخاب سیستم آبیاری قطره‌ای موثر بوده‌اند.

عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2024) در تحقیقاتی جامع با هدف ارزیابی حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب، ۳۵ محصول زراعی، باغی و سبزی و صیفی در ایران را در نظر گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد میانگین وزنی حجم آب آبیاری (نسبت به سطح زیر کشت) به تفکیک محصولات باغی، زراعی و سبزی و صیفی به ترتیب ۹۱۶۲، ۷۶۶۹ و ۷۲۴۷ مترمکعب بر هکتار است. حجم کل آب مورد استفاده برای ۳۵ محصول مورد مطالعه ۶۱/۷ میلیارد مترمکعب و حجم کل آب آبیاری دیگر محصولاتی که در این تحقیق ارزیابی نشده بودند، ۹/۴ میلیارد مترمکعب برآورد شد که در مجموع حدود ۷۰ درصد حجم کل آب تجدیدپذیر کشور است. میانگین وزنی بهره‌وری آب آبیاری و آب محصولات مورد مطالعه به ترتیب ۱/۹ و ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد که با مقدار هدف‌گذاری‌شده در برنامهٔ چشم‌انداز ۲۰ ساله بسیار نزدیک است. لی و همکاران (Li *et al.*, 2024) از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ در شیهزی چین با هدف بهینه سازی استراتژی‌های آبیاری برای بهبود محیط خاک و افزایش بهره وری آب پنبه تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تحقیقاتی کردند. طرح آزمایشی در قالب اسپلیت پلات با تیمارهای مقدار آبیاری در دو سطح ۳۱۷۷ و ۳۸۴۰ متر مکعب در هکتار و تعداد آبیاری در سه سطح ۹، ۸ و ۷ بار در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد که تیمار ۳۸۴۰ مترمکعب در هکتار و تعداد ۸ بار آبیاری بهترین تیمار بوده است و سبب افزایش کارایی مصرف آب غوزهٔ پنبه، کاهش نوسان‌های دمای خاک و تجمع نمک سطحی شده است.

با توجه به جمع‌بندی سوابق تحقیق مشخص می‌شود که بر اساس اقلیم و شرایط مختلف مزرعه، مقادیر متفاوتی آب آبیاری به محصول پنبه داده می‌شود. این شاخص از ۲۸۵۰ تا ۱۷۶۲۰ متر مکعب در هکتار متغیر گزارش شده است. با توجه به اینکه پنبه جزو محصولات نسبتا مقاوم به شوری است، مقدار بالای آب آبیاری مربوط به مناطقی است که شوری آب و خاک زیاد است و برای آبشویی باید آبیاری اضافه صورت گیرد. میانگین بهره‌وری آب این محصول در کشور ۰/۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمده است. نکتهٔ مهم دیگر، برتری روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به روش سطحی است که در تمام سوابق تحقیق بر این نکته تاکید شده است که این روش می‌تواند حداقل ۳۰ درصد صرفه‌جویی آب را در پی داشته باشد. هدف اصلی در این پژوهش اندازه‌گیری آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری پنبه در همان شرایطی است که کشاورزان در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا در استان فارس اعمال می‌کنند.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه

شهرستان لارستان در جنوب استان فارس و بین نوار ۵۳ درجه و ۸۷ دقیقه تا ۵۵ درجه ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. لارستان از نظر آب و هوا جزء مناطق گرم و

خشک به‌شمار می‌رود و دارای زمستان‌هایی معتدل و تابستان‌هایی بسیار خشک است. شهرستان داراب در جنوب غربی استان فارس قرار دارد. بیشتر مناطق شهرستان داراب از نظر آب و هوایی گرمسیری است که بارش در آن بیشتر به صورت باران است و از ۳۵۰ میلی‌متر در سال تجاوز نمی‌کند. شهرستان فسا در ارتفاع ۱۱۵۰ متری از سطح دریا قرار گرفته و بلندترین نقطه این شهرستان خرمن‌کوه در کنار روستای کچوییه با ۳۲۲۰ متر ارتفاع است. فسا در منطقه نیمه‌خشک معتدل قرار گرفته‌است و میزان بارندگی آن به‌طور متوسط حدود ۳۲۰ میلی‌متر در سال است.

روش تحقیق

این تحقیق به‌صورت میدانی و به‌منظور تعیین آب آبیاری پنبه در مزارع تحت مدیریت کشاورزان طی یک فصل زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۸) در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا در استان فارس اجرا شد. مزارع آزمایشی در شهرستان‌ها با کمک کارشناسان معاونت تولیدات گیاهی، مدیریت هماهنگی ترویج و مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان و در نهایت کارشناسان مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان‌ها طوری شناسایی و انتخاب شدند که کشاورزان معمولی و نیز کشاورزان پیشرو در آنها وجود داشته باشند. در این پژوهش، اندازه‌گیری‌ها در خصوص تعیین حجم آب آبیاری با در نظر گرفتن عوامل مختلفی مانند روش آبیاری (سطحی و قطره‌ای نواری)، اندازهٔ قطعات زراعی و کیفیت آب و خاک مزارع در نظر گرفته شد. بدین ترتیب در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا به ترتیب تعداد ۷، ۸ و ۵ مزرعه پنبه انتخاب شد.

میزان آب آبیاری محصولات از طریق مراجعهٔ حضوری به مزارع و باغ‌های منتخب، اندازه‌گیری شد. برنامه آبیاری ثبت گردید و دبی منبع آب با استفاده از دستگاه فلوم WSC و کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. پس از تعیین دبی منبع آب، با توجه به تعداد ساعت آبیاری، حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری در هر یک از مزارع منتخب تعیین شد.

بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری

ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزان برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گیاه می‌توان به‌کار برد، اندازه‌گیری عملکرد و مقدار آب آبیاری در فصل زراعی است. با داشتن این مقادیر و با توجه به رابطهٔ (۱) بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محاسبه می‌شود (Abbasi *et al*., 2016).

$$WP_p = \frac{Y}{I} \qquad (۱)$$

که در آن: WP_p بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) و I عمق آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است.

نیاز آبی خالص و ناخالص پنبه

برای برآورد نیاز آبی خالص پنبه در مناطق مورد مطالعه، ابتدا تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از نرم افزار ET_o-calculator به روش فائو پنمن مانتیث محاسبه شد (Raes, 2012). بدین منظور از اطلاعات نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی به مناطق مورد مطالعه استفاده گردید. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده شامل متوسط روزانه مقادیر دمای حداکثر و حداقل هوا، درصد رطوبت نسبی حداکثر و حداقل هوا، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (متر بر ثانیه) و تعداد ساعات آفتابی در شبانه روز در یک دورهٔ آماری ۱۰ ساله بودند. پس از تعیین مقادیر تبخیر - تعرق مرجع، میزان تبخیر- تعرق پتانسیل پنبه (نیاز آبی) در مناطق مورد مطالعه با استفاده از از رابطهٔ (۲) برآورد گردید.

$$ETc=Kc * ETo \qquad (۲)$$

که در آن: ET_c تبخیر- تعرق گیاهی (میلی‌متر بر روز)، K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) و ET_o تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) است.

برای تعیین مقادیر ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد پنبه، ابتدا با توجه به مشاهدات مزرعه‌ای، مراحل چهارگانهٔ رشد پنبه مشخص شد. پس از آن ضریب‌های گیاهی مربوط به هر مرحله رشد بر اساس پیشنهاد نشریهٔ فائو ۵۶ (Allen *et al.*, 1998) انتخاب گردید. برای مقایسهٔ میزان آب کاربردی توسط کشاورزان با نیاز آبیاری واقعی در مزارع منتخب پنبه، ابتدا از طریق تقسیم نیاز آبی پنبه بر راندمان آبیاری در هر یک از مزارع میزان نیاز آبیاری محاسبه گردید. با توجه به نظر کارشناسان و شیوهٔ آبیاری در مزارع مورد مطالعه، پتانسیل راندمان آبیاری برای روش‌های قطره‌ای نواری و سطحی به ترتیب به میزان ۹۰ و ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (Abbasi and Abbasi, 2023).

روش‌های آبیاری در شهرستان داراب با آزمون تی-استودنت تجزیه و تحلیل شد. برای بررسی تغییرات عملکرد، حجم آب آبیاری و شاخص بهره‌وری آب در تولید پنبه در شهرستان‌های مورد نظر از نرم افزار SPSS 26 برای تجزیه و تحلیل واریانس و مقایسهٔ میانگین (دانکن) داده ها بهره‌گیری شد.

نتایج و بحث

بررسی مشخصات مزارع انتخابی

در این تحقیق ۲۰ مزرعه پنبه که از رقم گلستان برای کشت استفاده کرده بودند، در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا انتخاب شدند. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین شاخص‌ها در جدول (۱) آمده است. منبع آب در تمامی مزارع از نوع زیرزمینی (چاه) بود. شوری آب مورد استفاده برای مزارع پنبه منتخب استان متغیر و بین ۰/۹ تا ۸/۳ دسی‌زیمنس بر متر و شوری خاک بین ۱/۵ تا ۱۲/۵ دسی-زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد (جدول ۱). در بین داده‌های شوری آب و خاک سه شهرستان، بیشترین انحراف معیار در شهرستان فسا محاسبه شده است. این شاخص برای شوری آب معادل (۲) و برای شوری خاک معادل (۳) در این شهرستان به‌دست آمده است (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین حجم آب آبیاری، شوری آب و خاک، مساحت و عملکرد مزارع پنبه منتخب در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا استان فارس در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

Table 1- The minimum, maximum and average values of applied Irrigation water, water and soil salinity, area and yield of selected cotton farms in Larestan, Darab and Fasa cities of Fars province in the crop year 2017-2018

شهرستان City	پارامتر Parameter	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) Applied irrigation water (m^3/ha)	شوری آب (دسی زیمنس بر متر) Water salinity (dS/m)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) Soil salinity (dS/m)	مساحت مزرعه (هکتار) Area (ha)	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) Yield of cotton (kg/ha)
	حداقل	۵۶۱۶	۲/۰	۳/۴	۱۰/۰	۳۵۰۰
لارستان	حداکثر	۱۶۱۸۹	۵/۵	۸/۹	۲۴/۵	۴۹۰۰
	میانگین	۹۲۶۱	۳/۸	۶/۰	۱۳/۸	۴۳۰۰
	انحراف معیار	۳۶۰۹	۱	۲	۵	۴۵۰
	حداقل	۶۹۱۲	۰/۹	۱/۵	۵/۰	۵۲۰۰
داراب	حداکثر	۱۴۶۴۴	۱/۳	۲/۱	۵۳/۵	۷۰۰۰
	میانگین	۱۱۴۳۰	۱/۱	۱/۷	۱۷/۶	۵۷۷۵
	انحراف معیار	۲۸۳۱	۰	۰	۱۵	۵۳۳
	حداقل	۵۷۳۹	۳/۱	۴/۷	۳/۰	۲۸۰۰
فسا	حداکثر	۱۲۷۴۶	۸/۳	۱۲/۵	۱۲/۰	۳۲۰۰
	میانگین	۸۵۲۵	۵/۴	۸/۱	۶/۶	۳۰۸۰
	انحراف معیار	۲۳۸۰	۲	۳	۳	۱۶۰

مأخذ: داده‌های تحقیق

میانگین دوره رشد پنبه در مزارع منتخب نزدیک به ۱۴۱ روز بود. اما کیانی (Kiani, 2013) این شاخص را بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز گزارش داده است. همان‌طور که در جدول (۱) مشخص است مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین مساحت مزارع انتخابی به ترتیب ۳ (فسا)، ۵۳/۵ (داراب) و ۱۲/۷ هکتار بود. بیشترین انحراف معیار این شاخص در شهرستان داراب و معادل ۱۵ محاسبه شد (جدول ۱). میانگین عملکرد محصول پنبه در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا به ترتیب ۴۳۰۰، ۵۷۷۵ و ۳۰۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۱). بیشترین میزان تغییر در شاخص عملکرد در شهرستان داراب حاصل شده است به‌طوری که انحراف معیار آن معادل ۵۳۳ محاسبه شد. کمترین تغییرات نیز با انحراف معیار معادل ۱۶۰، در شهرستان فسا به‌دست آمد. کمترین عملکرد محصول در شهرستان فسا دیده می‌شود که علاوه بر شوری بالای خاک نسبت به سایر شهرستان‌ها به دلیل افزایش ناگهانی دما (بین ۴۴ تا ۴۶ درجه سانتی‌گراد) در زمان اوج گل‌دهی بوده که سبب ریزش گل و غوزه‌های تازه تشکیل شده گردیده است. از طرف دیگر، آفت سنک پنبه نیز در این زمان به اوج خود رسیده بود که این عامل نیز باعث ریزش غوزه‌ها شد. در شهرستان داراب که بیشترین عملکرد به‌دست آمده روش کشت در مزارع منتخب با ماشین کمبینات و ردیفکار بوده است، در مزارع منتخب شهرستان فسا کاشت به روش دست‌پاش یا با ماشین کودپاش کشت بوده است. برابر آمارنامه سال ۱۳۹۹ سازمان جهاد کشاورزی فارس (Statistics of Jahad-Agricultural Organization of Fsrs, 2021) میانگین عملکرد پنبه در استان ۳۵۹۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است که در مزارع منتخب شهرستان‌های لارستان و داراب به ترتیب ۱۹/۵ و ۶۰/۶ درصد افزایش و در شهرستان فسا ۱۴/۴ درصد کاهش عملکرد به‌دست آمده است.

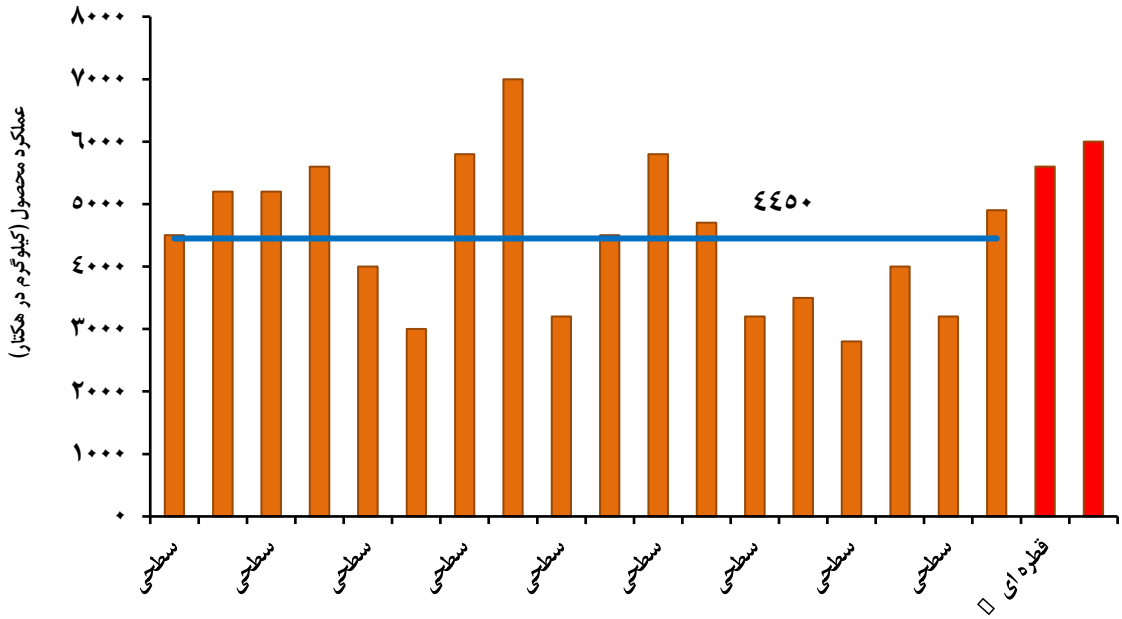
در خصوص شاخص حجم آب آبیاری در جدول (۱)، همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین این شاخص در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا به ترتیب معادل ۹۲۶۱، ۱۱۴۳۰ و ۸۵۲۵ مترمکعب بر هکتار اندازه‌گیری شده است. بیشترین و کمترین انحراف معیار این شاخص به ترتیب در شهرستان‌های لارستان معادل ۳۶۰۹ و فسا با مقدار ۲۳۸۰ مشاهده شده است.

تغییرات عملکرد پنبه در مزارع منتخب

برای آبیاری مزارع منتخب پنبه استان، کشاورزان از دو روش آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی به ترتیب ۲ و ۱۸ مورد استفاده می‌کردند (شکل ۱). توضیح اینکه، در سالی که مطالعات دنبال می‌شد، مزرعهٔ دیگری وجود نداشت که به روش قطره‌ای نواری آبیاری شود و تنها همین دو مزرعه در شهرستان داراب به این روش آبیاری می‌شدند. دامنهٔ تغییرات مقادیر عملکرد پنبه در مزارع منتخب استان زیاد و بین ۲۸۰۰ تا ۷۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود. مطابق شکل (۱)، متوسط عملکرد محصول در ۱۸ مزرعه منتخب استان که با روش سطحی آبیاری می‌شدند، برابر ۴۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار بود که نسبت به میانگین استانی که در آمارنامه ذکر شده است، ۲۳/۷ درصد افزایش عملکرد به‌دست آمده است. بر اساس نتایج سوابق تحقیق (Cetin and Bilgel, 2002)، چنانچه تعداد مزارع منتخب با آبیاری قطره‌ای نواری افزایش می‌یافت انتظار می‌رفت که اختلاف این دو میانگین افزایش می‌یافت.

تغییرات حجم آب آبیاری در تولید پنبه

دامنهٔ تغییرات مقادیر آب آبیاری در ۲۰ مزرعهٔ منتخب استان زیاد و بین ۵۶۱۶ تا ۱۶۱۹۰ مترمکعب بر هکتار است. میانگین حجم آب آبیاری در ۱۸ مزرعهٔ منتخب که با روش آبیاری سطحی آبیاری می‌شدند برابر ۹۸۹۹ مترمکعب بر هکتار به‌دست آمد (شکل ۲). در بین مزارع منتخب تنها دو مزرعه با آبیاری قطره‌ای نواری آبیاری می‌شدند، بنابراین در مورد این روش نمی‌توان ارزیابی دقیقی کرد به همین دلیل صرفا به ارائه میانگین روش سطحی اکتفا شده است.



شکل ۱- تغییرات عملکرد محصول در مزارع پنبه در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا

Figure 1- Crop yield changes in cotton fields in Larestan, Darab and Fasa cities

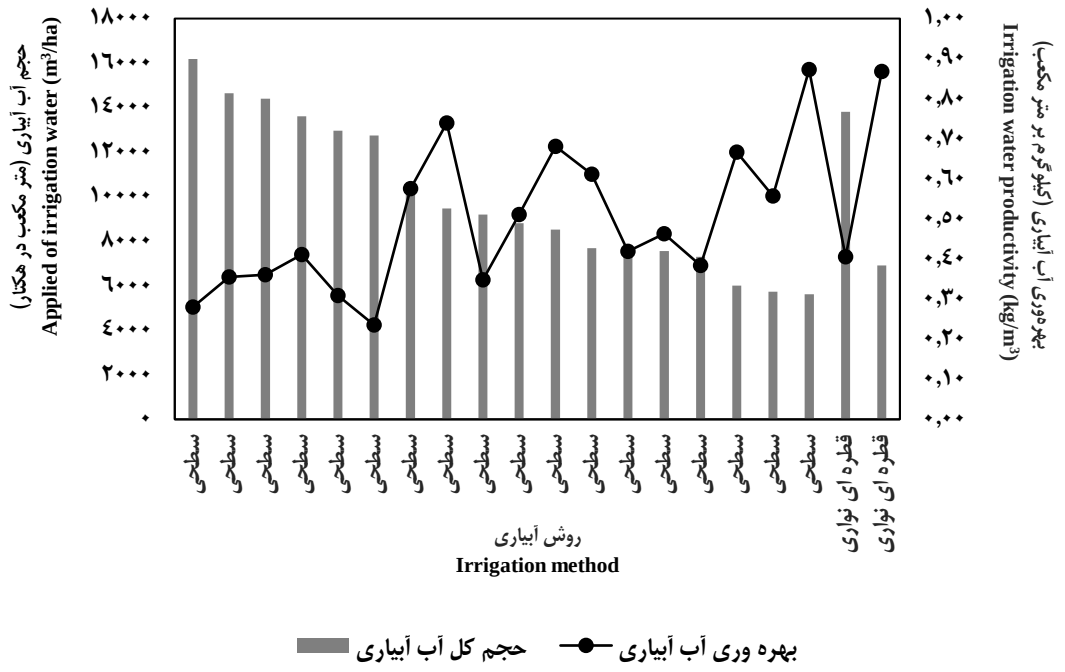
نخجوانی مقدم و همکاران (Nakhjavani Moghadam *et al.*, 2019) دامنهٔ تغییرات حجم آب مصرفی در مزارع منتخب کشور را بین ۳۱۳۰ تا ۱۷۶۲۰ مترمکعب در هکتار گزارش کرده‌اند. میانگین آب مصرفی پنبه کشور در روش آبیاری سطحی برابر ۹۰۹۷ مترمکعب در هکتار در همین تحقیق به‌دست آمده است. بدین ترتیب، در مزارع منتخب فارس که با آبیاری سطحی آبیاری می‌شوند ۸/۸ درصد آبیاری بیشتری نسبت به میانگین کشوری دیده می‌شود. با نگاهی به سوابق تحقیق مشخص می‌شود که شاخص آب آبیاری در مناطق اقلیمی مختلف بسیار متفاوت است و در منطقه‌ای مانند گلستان ۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار و در منطقهٔ خشک و نیمه خشک ورامین، کرمان و کاشمر به ترتیب ۱۰۱۱۰ ، ۹۲۰۰ و ۹۰۰۰ متر مکعب در هکتار به‌دست آمده است که اختلاف زیادی با نتایج این تحقیق حاضر دیده نمی‌شود (Kiani, 2013; Ghaemi, 2018; Asadi *et al.*, 2012; Rahimian and Kakhki, 2016).

تغییرات بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری در تولید پنبه

با توجه به مقادیر عملکرد و آب آبیاری مزارع منتخب پنبه، شاخص بهره‌وری آب آبیاری وش الیاف پنبه محاسبه و دامنه تغییرات آن بین ۰/۲۴ تا ۰/۸۷کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. متوسط بهره‌وری آب در مزارع منتخب استان برابر ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد که ۱۶/۳ درصد از میانگین کشوری که نخجوانی مقدم و همکاران گزارش داده‌اند، بیشتر است. میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری سطحی برابر ۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب است (شکل ۲).

مقایسهٔ میزان آب آبیاری و نیاز آبیاری خالص پنبه

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد دو عامل موثر در میزان نیاز آبی گیاه پنبه تاریخ کاشت و طول دورهٔ رشد گیاه هستند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، با تاخیر در کاشت گیاه و کاهش طول دورهٔ رشد مقادیر به‌دست آمده برای نیاز آبی گیاه کاهش یافتند. میانگین نیاز آبی پنبه در مزارع منتخب استان فارس بر اساس داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله،



شکل ۲- حجم کل و بهره‌وری آب آبیاری پنبه در مزارع منتخب شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا

Figure 2- Applied and productivity of cotton irrigation water in selected fields of Larestan, Darab and Fasa cities

داده‌های هواشناسی سال اجرای پروژه و سند ملی آب به‌ترتیب برابر ۸۴۹، ۸۸۸ و ۹۸۹ میلی‌متر محاسبه گردید. در این خصوص کیانی (Kiani, 2013) میزان نیاز آبی خالص پنبه را برای شرایط اقلیمی مختلف کشور بین ۴۵۵ تا ۹۸۰ میلی‌متر گزارش کرده است.

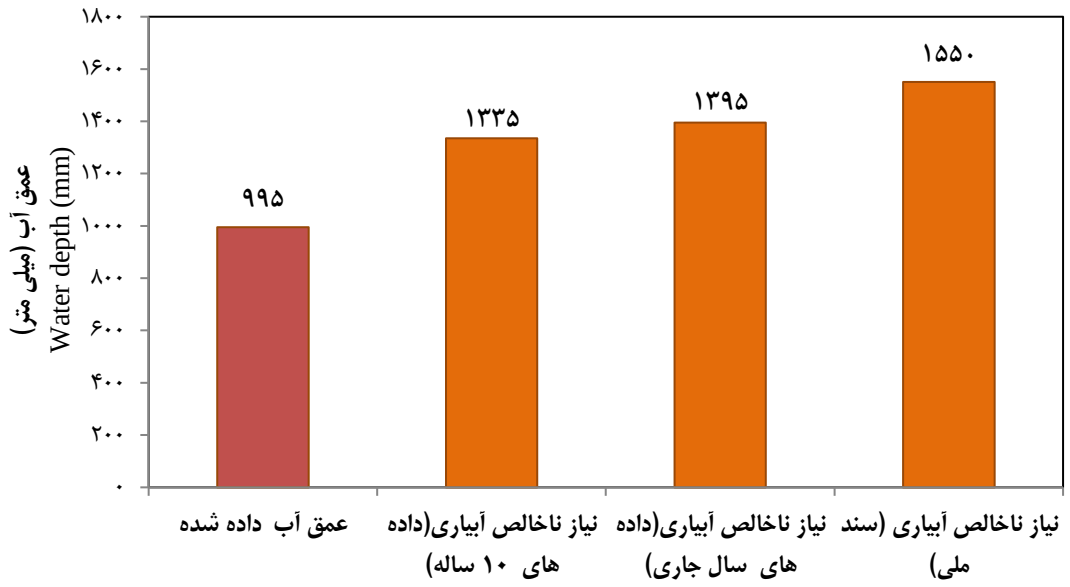
در شکل (۳)، متوسط عمق آب داده شده به مزارع پنبه در مناطق اجرا با مقادیر میانگین نیاز آبیاری ناخالص پنبه (برآورد شده به سه روش متفاوت و در مناطق مورد مطالعه) مقایسه شده‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد، کشاورزان مزارع منتخب پنبه در سه شهرستان مورد مطالعه را به طور متوسط به‌میزان ۲۸/۷ درصد کمتر از حد نیاز آبیاری محصول در سال زراعی اجرای طرح آبیاری کرده‌اند (شکل ۳). چنانچه داده‌های تحقیق با نیاز ناخالص آبیاری داده‌های ۱۰ ساله مقایسه شود، میزان کم‌آبیاری به مقدار ۲۵/۵ درصد می‌رسد. به نظر می‌رسد یکی از دلایل بالاتر بودن میانگین بهره‌وری آب آبیاری مزارع منتخب نسبت به میانگین کشوری، که پیش از این توضیح داده شد، همین کم‌آبیاری اعمال شده باشد.

بر اساس داده‌های تحقیق، در بین تمامی مزارع منتخب پنبه در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا، بیشترین عملکرد (۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مزرعه‌ای ۱۰ هکتاری در داراب به‌دست آمد. در این مزرعه، با روش آبیاری سطحی به مقدار ۹۴۷۲ مترمکعب در هکتار و به تعداد ۷ بار با دبی ۲۳ لیتر در ثانیه طی ۱۳۵ روز آب داده شده بود. در این مزرعه، سه بار کود داده شده بود، از کودهای فسفات آمونیوم قبل از کشت، اوره و ریزمغذی‌ها طی دورهٔ رشد استفاده شده است. بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری در این مزرعه معادل ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. در این مزرعه، کیفیت آب مناسب بوده است و شوری آب آبیاری ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. با توجه به طول دورهٔ رشد پنبه در این مزرعه، میزان نیاز خالص آبی گیاه با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیث در سال زراعی تحقیق و بلند مدت (داده‌های

۱۰ ساله) به ترتیب معادل ۷۴۴ و ۷۰۱ میلی‌متر محاسبه شد (باران موثر در این دوره صفر است). بدین ترتیب، در این مزرعه نیز نسبت به سال اجرای تحقیق ۲۳/۶ درصد و نسبت به بلند مدت ۱۸/۹ درصد کم‌آبیاری صورت گرفته است. هر چند برای تمام مزارع منتخب در سه شهرستان، نسبت به سال زراعی جاری ۲۸/۷ درصد کم‌آبیاری وجود داشته است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

از ۲۰ مزرعهٔ منتخب در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا، ۸ مزرعه در شهرستان داراب قرار داشت که ۲ مزرعه با روش آبیاری قطره ای نواری و ۶ مزرعه دیگر با روش سطحی آبیاری می‌شدند. نتایج تجزیه و تحلیل آماری با آزمون تی-استودنت برای مقایسهٔ این دو روش آبیاری در جدول (۲) آورده شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری در شهرستان داراب تفاوت آماری قابل توجهی در هیچ یک از شاخص‌ها ندارند. در جدول (۳)، مقایسهٔ میانگین‌ها برای این دو روش آبیاری و شاخص‌های مذکور در همین شهرستان آورده شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که میانگین عملکرد، آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری در شهرستان داراب تفاوت قابل توجهی ندارند. با توجه به بررسی داده‌ها مشخص می‌شود که در یکی از مزارع آبیاری قطره‌ای نواری مقدار آب آبیاری ۱۳۸۰۹ متر مکعب در هکتار اندازه‌گیری شده است (شکل ۲)، در حالی که این افزایش آبیاری نه تنها باعث افزایش عملکرد نشده است، بلکه نسبت به مزرعهٔ دیگر قطره‌ای نواری که ۶۹۱۲ متر مکعب در هکتار آبیاری شده، به میزان ۶/۷ درصد عملکرد کمتری داشته است (شکل ۱). ذکر این نکته ضروری است که چنانچه تعداد مزارع آبیاری قطره‌ای نواری بیشتر بود، نتایج این مقایسه احتمالاً با نتایج فعلی تفاوت داشت.



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین عمق آب داده‌شده در مزارع منتخب در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا با میانگین نیاز ناخالص آبیاری پنبه، محاسبه شده به سه روش مختلف

Figure 3- Comparison of the average water depth given in selected farms in Larestan, Darab and Fasa cities with the average gross cotton irrigation requirement, calculated in three different ways.

جدول ۲- مقایسهٔ روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری در شهرستان داراب با آزمون تی-استودنت

Table 2- Comparison of surface and drip irrigation methods in Darab city with Student's t-test

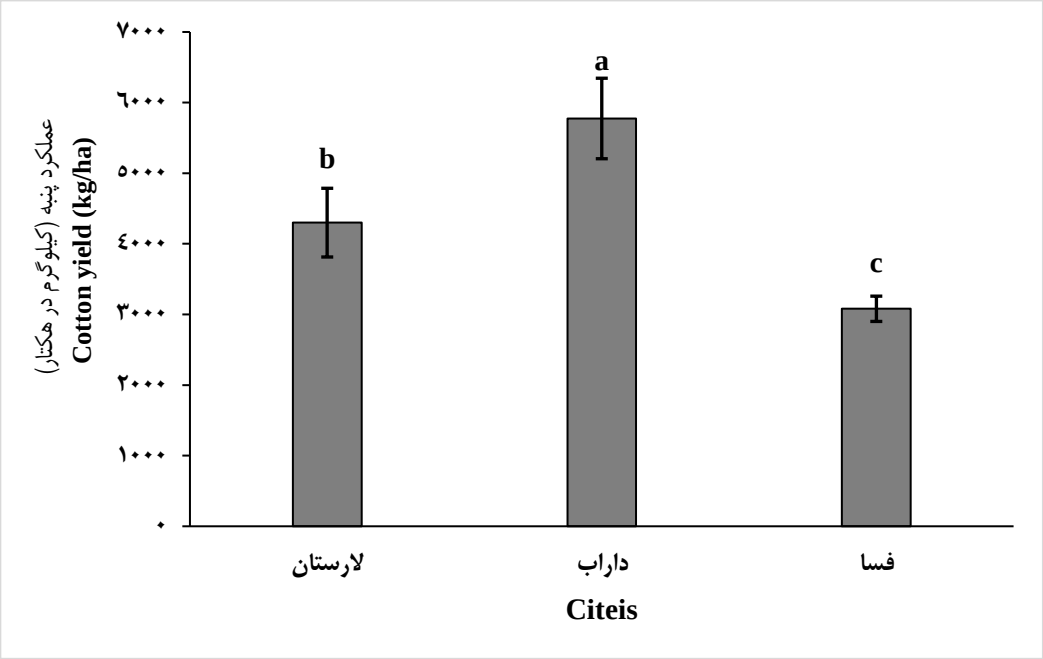
شاخص Index	درجه آزادی df	آماره t	احتمال p
عملکرد Yield	۶	-۰/۰۶۶	۰/۹۴۹
حجم آب آبیاری Applied irrigation water	۶	۰/۵۴۸	۰/۶۰۴
بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity	۶	-۰/۷۱۵	۰/۵۰۲

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار) و بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) در دو روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری شهرستان داراب

Table 3- Comparison of average yield index (kg/ha), applied irrigation water (m^3/ha) and irrigation water productivity (kg/m^3) in two methods of surface and drip irrigation in Darab city

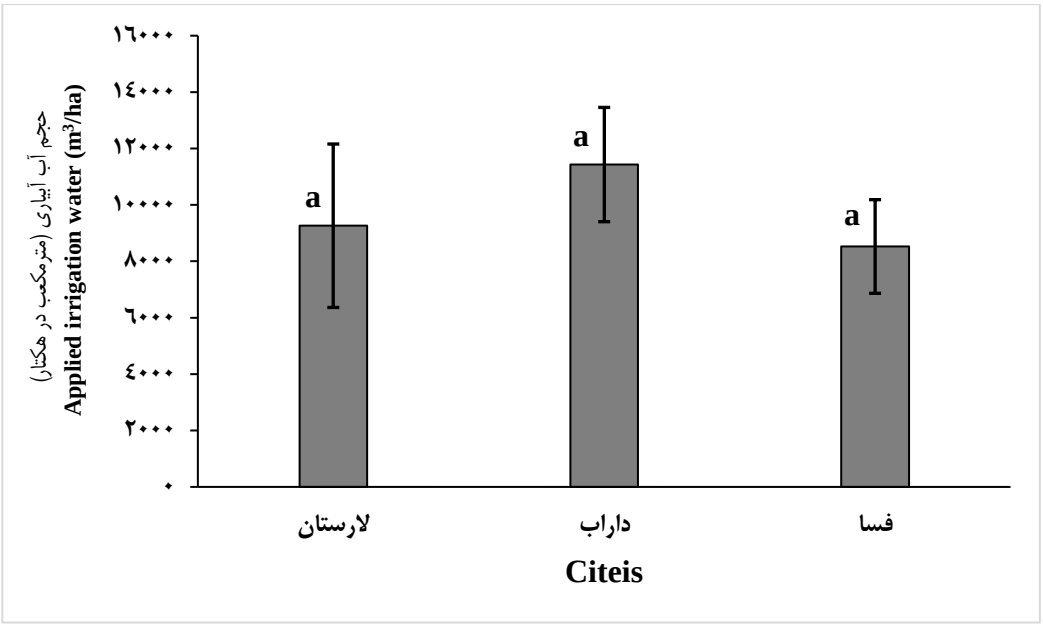
شاخص Index	روش آبیاری Irrigation method	میانگین Mean	انحراف استاندارد Std. deviation	خطای استاندارد Std. error
عملکرد Yield	سطحی surface	۵۷۶۶/۷	۶۶۲/۳	۲۷۰/۴
	قطره‌ای نواری Tape	۵۸۰۰	۲۸۲/۸	۲۰۰
حجم آب آبیاری Applied irrigation water	سطحی surface	۱۱۷۸۶/۸	۲۷۳۰/۳	۱۱۱۴/۶
	قطره‌ای نواری Tape	۱۰۳۶۰/۵	۴۸۷۶/۹	۳۴۴۸/۵
بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity	سطحی surface	۰/۵۲	۰/۱۷	۰/۰۶۸
	قطره‌ای نواری Tape	۰/۶۴	۰/۳۲	۰/۲۳

با توجه به اینکه داده‌ها در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا جمع‌آوری شده بود تجزیه و تحلیل آماری شاخص‌های عملکرد، حجم و بهره‌وری آب آبیاری در این سه شهرستان نیز به انجام رسید و در شکل‌های (۴ تا ۶) آورده شده است. در شکل (۴) مشاهده می‌شود اختلاف شاخص عملکرد در هر سه شهرستان معنی‌دار است. اما برای شاخص حجم آب آبیاری بین سه شهرستان اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۵). به همین ترتیب برای شاخص بهره‌وری آب آبیاری نیز اختلاف معنی‌داری بین سه شهرستان مشاهده نمی‌شود (شکل ۶).



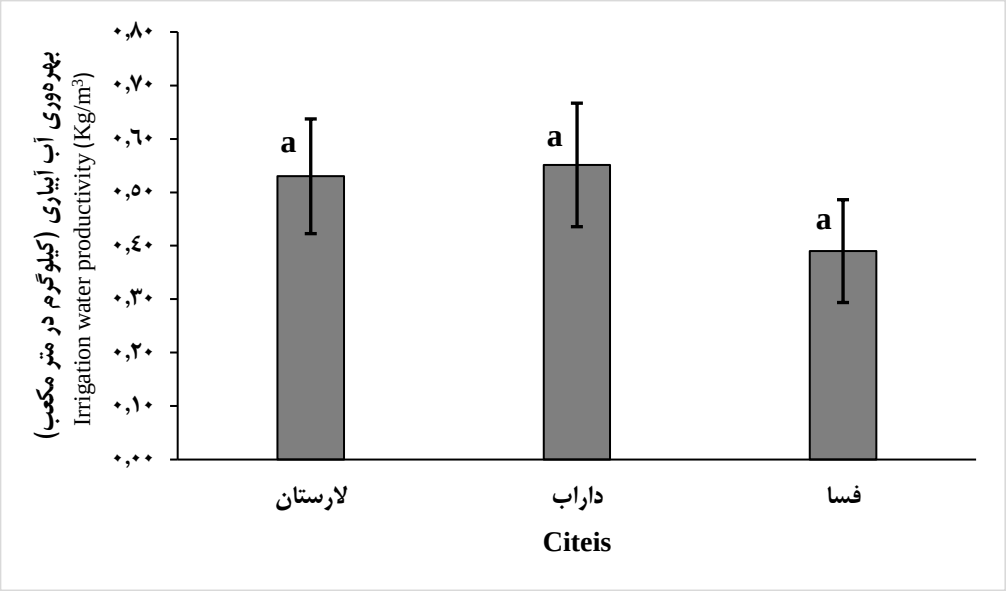
شکل ٤- مقایسهٔ میانگین عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار) در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا

Figure 4- Comparison of the average of cotton yield (kg/ha) in the three cities of Larestan, Darab and Fasa



شکل ٥- مقایسهٔ میانگین حجم آب آبیاری پنبه (مترمکعب در هکتار) در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا

Figure 5- Comparison of the average of cotton applied irrigation water (m^3/ha) in the three cities of Larestan, Darab and Fasa



شکل ٦- مقایسهٔ میانگین بهره‌وری آب آبیاری پنبه (کیلوگرم در مترمکعب) در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا

Figure 6- Comparison of the average of cotton irrigation water productivity (kg/m^3) in the three cities of Larestan, Darab and Fasa

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، حجم آب آبیاری و شاخص بهره‌وری آب آبیاری پنبه در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا در استان فارس بررسی گردید. نتایج مطالعات نشان داد میانگین حجم آب آبیاری در مزارع منتخب لارستان، داراب و فسا به ترتیب ۹۲۶۱، ۱۱۴۳۰ و ۸۵۲۵ مترمکعب بر هکتار اندازه‌گیری شد که به‌طور میانگین و به تعداد ۶، ۸ و ۱۰ نوبت در مزارع آبیاری شده است. میانگین شوری خاک نیز ۶، ۲ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در مزارع منتخب لارستان، داراب و فسا اندازه‌گیری شد. با این همه، میانگین شاخص عملکرد در مزارع منتخب این مناطق به ترتیب ۴۳۰۰، ۵۷۷۵ و ۳۰۸۰ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. همان‌طور که مشخص است، در مزارع منتخب داراب که کمترین شوری وجود داشته و آب بیشتری داده شده است، عملکرد نسبت به دو شهرستان دیگر بیشتر و اختلاف معنی‌داری دارد. گیاه پنبه به شوری مقاوم است ولی به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش عملکرد در دو شهرستان لارستان و فسا، بالا بودن شوری خاک باشد. به‌همین دلیل توصیه می‌شود در چنین مزارعی میزان آب آبشویی محاسبه و به مقدار آب آبیاری اضافه شود. در شهرستان فسا، از یک سو افزایش ناگهانی دما در زمان گلدهی سبب ریزش گل و غوزه‌ها شده بود و از سوی دیگر طغیان آفت سِنک از دلایل دیگر کاهش عملکرد بوده است با توجه به میانگین حجم آب آبیاری در مزارع منتخب پنبه استان برابر ۹۸۹۹ مترمکعب بر هکتار و احتساب آخرین آمار سطح زیرکشت پنبه در استان فارس (۱۹۲۶۹ هکتار)، حجم آب آبیاری استفاده شده در کل مزارع پنبه استان به میزان ۱۹۱ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌شود.

بر اساس نتایج این تحقیق و وضعیت نامناسب کمی و کیفی منابع آب استان توصیه می‌شود از یک سو تاریخ کاشت و برداشت بهینه به ترتیب ۲۰ خردادماه و اول آبان ماه توسط بهره‌برداران رعایت گردد و از سوی دیگر با قبول میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد کم‌آبیاری تنظیم شده در دوره رشد، میزان آب آبیاری بهینه بدون لحاظ ضریب آبشویی برای گیاه پنبه در این مناطق با روش آبیاری سطحی بین ۹۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شود. هر چند انتظار

می‌رود سامانهٔ آبیاری قطره‌ای نواری برای مزارع پنبه‌کاری در استان توسعه یافته تا از این طریق نیز امکان افزایش بهره‌وری وجود داشته باشد، زیرا در اکثر نتایج سوابق تحقیق این امر محقق شده بود. با توجه به کاهش مصرف آب به میزان ۳۰ درصد در این روش نسبت به روش سطحی، حجم آب آبیاری کل مزارع پنبهٔ استان به ۱۳۳ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، بر اساس نتایج تحقیقات لی و همکاران (Li *et al.*, 2024) استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه‌ای از چین که دمای حداکثر و دمای حداقل روزانه به ترتیب ۴۰ و ۳- درجه سانتی‌گراد با بارندگی ۸۲/۴ میلی‌متر در طول فصل رشد است، ۳۸۴۰ مترمکعب در هکتار توصیه شده است. مجموع آب کاربردی برای پنبه در این منطقه با توجه به ۵۷/۷ میلی‌متر باران موثر، معادل ۳۸۹۸ مترمکعب در هکتار به‌دست می‌آید. این استراتژی آبیاری نشان دهندهٔ روشی موثر برای کشت پنبه و به حداکثر رساندن محصول و بهبود کارایی استفاده از منابع است. بدین ترتیب و با فرض اینکه تمامی مزارع استان به این سامانه مجهز شوند، مصرف آب در کل مزراع پنبه از ۱۹۱ میلیون مترمکعب به ۷۵ میلیون مترمکعب یعنی ۶۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. از این رو، توصیه می‌شود توسعهٔ سامانه‌های نوین آبیاری با تاکید بر آبیاری زیرسطحی در زراعت پنبه در دستور کار متولیان امر و بهره‌برداران قرار گیرد. برای جلوگیری از شور شدن خاک‌ها، به ویژه در مزارعی که با آب شور آبیاری می‌شوند، ضریب آبشویی محاسبه و به مقدار آب آبیاری اضافه شود. اجرای آزمون خاک قبل از کاشت پنبه به دو منظور کنترل شوری و نیاز تغذیه‌ای خاک تاکید می‌شود. با رعایت این توصیه‌ها افزایش شاخص بهره‌وری آب در محصول پنبه دور از انتظار نخواهد بود.

مراجع

Abbasi, F., Akbari, M., Naseri, A., Abbasi, N., Baghani, J., Jolani, M. Shahrokhnia, M.A., Nakhjavani-Moghadam, M.M., Sepehri, S., Moayeri, M., Hasan-Oghli, A.R., Haghayeghi-Moghadam, A., Ghadami-Firoozabadi, A. , Mousavi Fazl, H., & Yazdani, M.R. (2024). A review of water consumption management indicators of different crops in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 25(94): 1-16.

Abbasi, F., Abbasi, N., & Tavakoli, A.R. (2016). Water productivity in the agricultural sector; Challenges and prospects. *Journal of water and sustainable development*, 4(1): 141-144. (in Persian)

Abbasi, F., & Abbasi, N. (2023). An analysis of irrigation efficiencies over time in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(6): 1025-1033. (in Persian)

Afshar, H. & Mehrabadi, H. R. (2016). Investigating the performance of cotton and its components in two methods of drip and furrow irrigation. *Seedling and Seed Quarterly, No. 4*. (in Persian)

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration, (guidelines for computing crop water requirements). *FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56*.

Anon. 2021. Statistics of Fars Jahad-Agricultural Organization. (in Persian)

Anon. 2024. Agricultural Statistics. The First Volume of the Crops “Crop Year 2022-2023”. Bureau of Statistics and Information and Communications Technology in Ministry of Agriculture, 126 p. (in Persian)

Asadi, R., Hasanpour, F., Tabatabayi, S. M. & Kohi, N. (2012). Evaluation of surface and subsurface drip irrigation systems on cotton yield in Orzuiyeh, Kerman province. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, 17(63): 11-20. (in Persian)

Aujla, M.S., Thind, H.S. & Butter, G.S. (2005). Cotton yield and water use efficiency at various levels of

water and N through drip irrigation under two methods of planting. *Agricultural Water Management*, 51:167-179.

Ayars, J.E., Hutmacher, R.B., Vail, S.S., & Schoneman, R.A. (1991). Cotton response to nonuniform and varying depths of irrigation, *Agricultural water Management*, l 9: 151-166.

Azari, H. M. (1996). Final report of the plan to determine evaporation and transpiration potential by lysimetry method. Agricultural and Natural Resources Research Center of Golestan Province, Agricultural Research, Education and Promotion Organization. (in Persian)

Bakhtiyor, K., Nazirbay, I., Yusupbek, E., Stevsn, E., & Lee, H. (2003). Irrigation scheduling study of drip irrigated cotton by use of soil moisture neutron probe. *International Water and Irrigation*, 23(1): 38-41.

Cetin, O. & Bilgel, L. (2002). Effect of different irrigation methods on schedding and yield of cotton. *Agricultural Water Management*, 54(1):1-15.

Eslami, A., Shahrokhnia, M.A. & Ghafouri, V. (2019). Presenting a simple program for managing drip irrigation systems of cotton fields (case study: Darab and Larestan cities). *Oilseeds Extension Journal*, 2(2): 92-84. (in Persian)

Farshi, A.A., Shariati, M.R., Jarollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabi Far, M. & Tavalaie, M.M. (2015). *Estimation of water requirements for major garden and crop plants in the country*. Publications of Soil and Water Research Institute. (in Persian)

Feike, T., Khor, L.Y., Mamitimin, Y., Ha, N., Li, L., Abdusalih, N., Xiao, H., & Doluschitz, R. (2017). Determinants of cotton farmers' irrigation water management in arid Northwestern China, *Agricultural Water Management*, 187: 1-10.

Ghaemi, M. (2018). *Irrigation method in cotton cultivation in Varamin region*. Soil and Water Research Institute. (in Persian)

Ghorbani Nasrabad, g. (2007). The effect of deficite irrigation in different stages of growth on the quantitative and qualitative properties of cotton. Publications of the country's cotton research institute, final report. (in Persian)

Ibragimov, N., Evett, S. R., Esanbekov, Y., Kamilov, B. S., Mirzaev, L, & Lamers, J. P.A. (2007). Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, 90(1-2):112-120.

Jafar Aghaei, M. & Jalali, A.H. (2013). The effect of irrigation water salinity on the yield and water use efficiency of three cotton cultivars. *Journal of agricultural and horticultural products processing production*, 2(5): 97-107. (in Persian)

Jolaini, M. & Mehrabadi, H.R. (2010). Investigating the effect of surface and subsurface drip irrigation methods and round irrigation on the quantity and quality of cotton. The final report of the Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Kiani, A.R. (2013). Cotton irrigation planning. Promotional publication of Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Li, N., Shi, X., Zhang, H., Shi, F., Zhang, H., Liang, Q., Hao, X., Luo, H., & Wang, J. (2024). Optimizing irrigation strategies to improve the soil microenvironment and enhance cotton water productivity under deep drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 305:1-15.

Nakhjavani Moghadam, M.M., Haqhayeghi Moghadam, A., Jolaini, M., Sohrabi Meshkabadi, B., Eslami A., Khosravi, H., & Akhwan, K. (2019). Determination of Cotton water consumption. The final report of the Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Raes, D. (2012). *The ETo Calculator, Reference Manual, Version 3.2*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division.

Rahimian M. & Kakhki, A. (2016). Calculation of water requirement of cotton plant by lysimeter method in Kashmar region. *Journal of Water and Soil Sciences*, 21: 145-141.

Rao, S.S., Tanwar, S.P.S., & Regar, P.L. (2016). Effect of deficit irrigation, phosphorous inoculation and cycocel spray on root growth, seed cotton yield and water productivity of drip irrigated cotton in arid environment. *Agricultural Water Management*, 169:14-25.

Shirvanian, A., Haghighatnia, H. & Mehrjo, S. (2013). Determining the economic threshold of deficite irrigation of cotton in Darab city. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 28(4): 312-321. (in Persian)

Silvertooth, J.C., Galadima, A. & Norton, E.R. (2001). *Evaluation of Irrigation termination effects on fiber micronaire and yield of Upland cotton*. The University of Arizona.

Sohrabi Moshkabadi, b. (2013). Final report of determining the most appropriate time to start irrigation and its effect on yield and quality of cotton fibers. Publications of the country's cotton research institute. (in Persian)

Sohrabi Moshkabadi, b. (2016). Cotton water productivity of the country. Technical publication of Cotton Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (in Persian)

Wanjura, D.F., Upchurch, D.R., Mahan, J.R. & Burke, J.J. (2002). Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 55(3):217-237.

Zwart S.J. & Bastiansen W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. *Agricultural Water Management*, 69:115-133.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.25/No.95/Summer /2024/P: 57-74

Original Research

Estimation of Irrigation Water Productivity Indicators and Cotton Cultivation Yield in Conventional Agricultural Conditions of Larestan, Darab and Fasa Cities (Case Study: Fars Province)

***A. Eslami , M.M. Nakhjavani Moghadam , M.M. Ghasemi, A. Jokar**

***Corresponding Author:** Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education And Extention Organization, Shiraz, Iran
Received: 1 October 2024, **Accepted:** 30 October 2024
Email: amireslami.50@gmail.com
https://doi.org/ 10.22092/idser.2024.367111.1593

Extended Abstract

Introduction

Recognizing and removing production obstacles such as climate changes and drought and water shortage challenges, on one hand, and performance instability and Inappropriate product quality, on the other hand, has doubled the importance of paying attention to applied research and transfer of technical knowledge to the field of production. Therefore, the present research was conducted with the aim of investigating the impact of farmers' management in different climates of cotton-producing areas of Fars province on the irrigation water productivity index.

Methodology

This research was carried out in the field in order to determine the cotton irrigation water in the fields under the management of farmers during one cropping season (2018-2019) in Larestan, Darab and Fasa areas in Fars province. A total of 20 experimental farms were selected. Registration of irrigation program and measurement of water source flow using WSC flume device and volumetric meter were also done. After determining the flow rate of the water source, according to the number of hours of irrigation, the applied irrigation water in each irrigation turn was determined in each of the selected fields. The simplest method that can be used in farmers' fields to estimate the physical productivity of irrigation water of a plant is to measure the yield and amount of irrigation water during the cropping season. In order to estimate the pure water requirement of cotton in the study areas, first, the reference evapotranspiration was calculated using the ETo-calculator software (Raes, 2012) according to the FAO Penman-Monteith method. The meteorological information used included daily average maximum and minimum air temperature, maximum and minimum relative humidity, wind speed at a height of 10 meters (m/s) and the number of sunny hours per day in a statistical period of 10 years. In order to determine plant coefficient values in different stages of cotton growth, first, according to field observations, the four stages of cotton growth were determined. Then the plant coefficients related to each growth stage were selected based on the proposal of FAO publication 56 (Allen et al., 1998). Considering the efficiency of 60 and 90% for surface and drip irrigation systems, respectively (Abassi *et al.*, 2015), the gross water requirement of farms was obtained.

Results and Discussion

The average yield of cotton in Larestan, Darab and Fasa cities is 4300, 5775 and 3080 kg per hectare, respectively. As it is known, the lowest crop yield was obtained in Fasa district, which could be due to high soil salinity. According to the research of Nakhjavani Moghadam et al. (Nakhjavani Moghadam *et al*., 2019), the average yield of cotton in the country is reported to be 3383.5 kg per hectare, which has increased by 27 and 70 percent in Larestan and Darab, respectively, and the cotton average yield in Fasa is 9 The percentage has decreased. The average amount of irrigation water in selected farms and 18 farms that were irrigated by surface irrigation method was 9944 and 9899 cubic meters per hectare, respectively. The average water productivity in the selected farms of the province was 0.5 kg/m3, which is 16.3% higher than the national average reported by Nakhjavani Moghadam *et al.* Also, the average water productivity in the surface irrigation method was 0.49 kg/m3. The average water requirement of cotton in the selected farms of Fars province was calculated as 849, 888 and 989 mm, respectively, based on 10-year meteorological data, meteorological data of the project implementation year and the national water document. Surface and drip irrigation methods in Darab city did not have significant statistical differences in any of the indicators.

Conclusion

Taking into account the latest statistics on the area under cotton cultivation in Fars province (19,269 hectares), the volume of water consumed in all the cotton fields of the province is estimated at 191 million cubic meters per year. The results showed that the average indicators of yield, irrigation water and productivity of cotton irrigation water in 18 selected farms of the province that were irrigated by surface method were 4450 kg/ha, 9899 m3/ha and 0.5 kg/m3, respectively. Based on the results of this research, it is recommended that the optimal planting and harvesting dates are observed by the operators on June 20 and November 1, respectively. On the other hand, by accepting the amount of regulated deficit irrigation (20-25%) during the growth period, the optimal irrigation water amount regardless of the leaching coefficient for the cotton plant in these areas with the surface irrigation method should be considered between 9000 and 10000 cubic meters per hectare. It is also emphasized that before planting, farmers should take the soil sample and test it and perform optimal fertilization management according to the recommendations of experts.

Keywords: Cotton yield, Irrigation water, Irrigation management, Water requirement