

افزایش بهره‌وری آب پنبه با فاضلاب تصفیه شده شهری

شهرام کریمی^۱ و رسول اسدی^{۲*}

چکیده

محدودیت منابع آب، ضرورت استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی را نشان می‌دهد. در این پژوهش برای افزایش بهره‌وری آب با استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری، آزمایشی به صورت کرت‌های نواری خرد شده (استریپ اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی جوپار در سال ۱۳۹۰ انجام شد. در این آزمایش میزان مصرف آب در چهار سطح ($I_1 = 100$, $I_2 = 85$, $I_3 = 70$ و $I_4 = 55$ درصد نیاز آبی) به عنوان عامل اصلی، دو سامانه آبیاری (آبیاری قطره‌ای سطحی (S_1) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_2)) و دو کیفیت آب (آب چاه (Q_1) و فاضلاب تصفیه شده شهری (Q_2)) به عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که کاربرد پساب، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد، بهره‌وری آب و صفات مرفولوژیکی اندازه‌گیری شده دارد، به طوری که عملکرد و بهره‌وری آب ۹ درصد نسبت به استفاده از آب چاه افزایش می‌یابد. همچنین تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد اثر معنی‌داری داشت و تنش شدید موجب کاهش ۲۹ درصدی عملکرد محصول شد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز تمامی صفات مورد مطالعه، افزایش زیادی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی داشتند. پس به نظر می‌رسد کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از کم‌آبیاری در کشت پنبه به میزان ۸۵ درصد نیاز آبی اعمال شده در پساب در استان کرمان می‌تواند راه‌کاری مناسب برای صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن در دوره‌های خشکسالی باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، بهره‌وری آب، پساب، پنبه، عملکرد، کم‌آبیاری.

ارجاع: کریمی ش. و اسدی ر. ۱۳۹۳. افزایش بهره‌وری آب پنبه با فاضلاب تصفیه شده شهری. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۵):۱۶۷-۱۷۵.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۲- عضو استعدادهای درخشان باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.

* نویسنده مسئول: rakh_802@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳

مقدمه

در سال‌های اخیر، با توجه به تغییر اقلیم جهانی و به دنبال آن تغییر الگوهای بارندگی و افزایش روزافزون جمعیت در بیشتر کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران، استفاده از آب‌های غیرمتعارف از جمله فاضلاب‌های تصفیه شده در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یک منبع مطمئن، اجتناب‌ناپذیر است. این در حالی است که با توجه به روند افزایش جمعیت جهان، پیش‌بینی می‌شود طی ۴۰ سال آینده، تولید مواد غذایی در جهان باید حداقل تا سه برابر افزایش یابد پس اهمیت نیاز به آب برای تولید بیشتر مواد غذایی، به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است (رضوانی‌مقدم و میرزایی، ۱۳۸۸). این عوامل موجب شده‌اند که برنامه‌ریزان در اندیشه فراهم کردن منابع جدید آب باشند، که بتواند ضمن جایگزینی از لحاظ اقتصادی، در توسعه کشاورزی و تأمین مواد غذایی مؤثر باشد. در این میان آب‌های غیرمتعارف، به ویژه فاضلاب‌های تصفیه شده، دارای عناصر غذایی متنوع بوده و در تأمین نیازهای آینده تولید غذا دارای جایگاه خاصی هستند (موجیری، ۲۰۱۱).

از طرف دیگر؛ افزایش بهاء آب، پیشرفت علم و اهمیت کشاورزی برای استفاده بهینه از آب، کشاورزان را به سمت استفاده درست از آب کشانده است. این در حالی است که در صورت استفاده صحیح از آب، افزایش تولید در واحد سطح را، می‌تواند به همراه داشته باشد. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف‌ها کاربرد شیوه‌های جدید آبیاری مانند استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای است. استفاده از این سامانه علاوه بر کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد محصول و سطح زیرکشت را در پی دارد (داگدیل و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که باعث افزایش بازده استفاده از اراضی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک و بهره‌وری آب می‌شود (رشیدی و رضادوست، ۱۳۸۴).

تاکنون بررسی‌های زیادی در خصوص تأثیر کم‌آبیاری در قالب استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از آب‌های متعارف بر کمیت و کیفیت محصولات مختلف زراعی انجام شده است؛ به طوری که بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب محصول پنبه با دو روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری بارانی نشان داد که مقدار عملکرد پنبه در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۸ درصد

و کارایی مصرف آب ۱۵ درصد بیشتر از آبیاری بارانی بود (ویتاکر و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعه اثر سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (با چهار سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) بر عملکرد پنبه نشان داد که با کاهش آب آبیاری، کارایی مصرف آب در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری در عملکرد تیمارهای آبیاری کامل و ۷۵ درصد نیاز آبی دیده نشد. در این پژوهش تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی به‌عنوان بهترین تیمار معرفی شد (کالفونتر و همکاران، ۲۰۰۷).

پنبه از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است؛ که در بازار جهانی از میان پنج دانه روغنی مهم بعد از سویا در مقام دوم قرار دارد، زیرا منبعی غنی از روغن و پروتئین است که بیش از ۶ درصد پروتئین مورد نیاز دنیا را تشکیل می‌دهد (شهبازیان و همکاران، ۱۳۸۶). یکی از مهم‌ترین مشکلات زارعین در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک، فراهم کردن شرایط مطلوب به خصوص تأمین آب کافی در طول دوره رشد گیاه است. پس با توجه به اهمیت استفاده از آب‌های غیرمتعارف و عدم استفاده از این منبع آب در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در کشت پنبه در ایران، هدف از این پژوهش، مقایسه اثرات آبیاری با آب چاه و پساب در شرایط اعمال کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب پنبه تحت شرایط استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در استان کرمان است.

مواد و روش‌ها

برای افزایش بهره‌وری آب پنبه با استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۰، در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقاتی کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان جویبار در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمان، در زمینی به ابعاد ۲۸×۴۲ متر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت کرت‌های نواری خرد شده (استریپ اسپلیت پلات) در سه تکرار به اجرا درآمد. در این آزمایش میزان مصرف آب در چهار سطح (۱۰۰=I_۱، ۸۵=I_۲، ۷۰=I_۳ و ۵۵=I_۴ درصد نیاز آبی) به‌عنوان عامل اصلی، دو سیستم آبیاری (آبیاری قطره‌ای سطحی (S_۱) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (S_۲)) و دو کیفیت آب (آب چاه (Q_۱) و فاضلاب تصفیه شده شهری (Q_۲)) به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. تیمارها در

از فرمول پنمن- مونتیت اصلاح شده توسط فائو، درصدهای کم آبیاری را با توجه به نیاز کامل آبی گیاه تعدیل کرده و به گیاه اعمال شد. همچنین میزان آب مصرفی تیمارهای فرعی اعمال شده در هر تیمار اصلی یکسان در نظر گرفته شد؛ به طوری که میزان آب مصرفی در تیمارهای اصلی ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی به ترتیب معادل ۸۹۰۰، ۷۵۵۰، ۶۲۰۰ و ۴۹۰۰ مترمکعب در هکتار بود. این مقادیر با نتایج رحیمیان و کاخکی (۱۳۸۶) که آب مورد نیاز پنبه در طول دوره رشد را حدود ۶۰۰۰ تا ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار تعیین کردند همخوانی دارد. لازم به ذکر است که در این پژوهش دور آبیاری برای همه تیمارها ۳ روز یکبار در نظر گرفته شد. جدول‌های ۱ و ۲ برخی خصوصیت‌های شیمیایی و فیزیکی خاک، آب چاه و پساب (همراه با استاندارد) مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین پارامترهایی که در این مطالعه اندازه‌گیری شدند عبارت بودند از: الف) عملکرد محصول که برای اندازه‌گیری آن در هر کرت از دو ردیف کشت‌شده وسط استفاده شد و دو ردیف کناری به‌عنوان حاشیه حذف شد، ب) بهره‌وری آب که از تقسیم کردن عملکرد محصول بر میزان آب مصرفی در هر هکتار به دست آمد ج) اجزاء عملکرد که شامل تعداد غوزه در بوته، وزن غوزه، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ بود. د) میزان آب مصرفی که از طریق کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. داده‌های به دست آمده با نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

کرت‌هایی به عرض ۳/۵ و طول ۶ متر (شامل ۴ ردیف کشت به فاصله ۷۰ سانتی‌متر از یکدیگر) قرار گرفتند. همچنین فاصله بوته‌های پنبه کشت شده در هر ردیف کشت ۱۵ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها که به‌صورت عمودی کنار هم قرار داشتند، ۱/۵ متر بود.

برای افزایش راندمان آبیاری از دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی استفاده شد. در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، نوارهای دو جداره (تیپ) بر روی سطح خاک و در کنار ساقه گیاه قرار گرفتند، ولی در سامانه آبیاری زیرسطحی، نوارهای مزبور در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شدند.

نیاز آبی گیاه با استفاده از فرمول پنمن- مونتیت اصلاح شده توسط فائو، و اعمال ضریب گیاهی تعیین شد (علیزاده، ۱۳۸۷). پارامترهای مربوط به فرمول پنمن- مونتیت از ایستگاه هواشناسی شهر کرمان گرفته شد و ضریب گیاهی با توجه به منحنی تغییرات ضریب گیاهی پنبه در طول فصل رشد برای دوره‌های آبیاری، با استفاده از دستورالعمل نشریه شماره ۵۶ فائو تعیین شد (ریچارد و همکاران، ۱۹۹۸). لازم به ذکر است که آب مورد نیاز گیاه در تیمارهایی که با آب چاه آبیاری می‌شدند، از آب چاه موجود در محل پژوهش تأمین شد و در تیمارهای آبیاری شده با پساب، پس از محاسبه نیاز آبی و برآورد میزان آب مصرفی گیاه در طول دوره رشد، میزان پساب تصفیه شده شهری مورد نیاز، از تصفیه‌خانه شهر کرمان به محل آزمایش حمل و در یک مخزن در کنار مزرعه مورد بررسی ذخیره شد و برحسب نیاز هر تیمار استفاده شد.

در این پژوهش برای اعمال تیمارهای کم آبیاری پس از محاسبه نیاز کامل آبیاری (۱۰۰ درصد نیاز آبی) با استفاده

جدول ۱- نتایج تجزیه برخی خصوصیت‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

SAR	PH	EC (ds/m)	آنیون‌ها و کاتیون‌های (میلی‌کیولان در لیتر)						رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	عمق خاک (سانتی‌متر)
			Ca	Mg	Na	Cl	HCO ₃	SO ₄				
۳/۶	۸	۰/۸۷	۱۰/۸	۱۰	۱۱/۶	۱۲	۴/۱	۱۲/۶	۱۸	۶۰	۲۲	۳۰-۰

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب چاه و فاضلاب مورد استفاده و مرز استاندارد آلوده کننده فاضلاب برای مصارف کشاورزی^۱

پارامتر اندازه‌گیری شده	آب چاه	پساب مورد آزمایش	مرز استاندارد آلوده کننده در مصارف کشاورزی
pH	۷/۱	۷/۶	۶-۸/۵
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۹	۳/۱	-
کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	۴۳/۴	۲۱۶/۷	-
منیزیم (میلی‌گرم بر لیتر)	۲۱/۱	۷۹/۴	۱۰۰
سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)	۵۲/۹	-	-
کلر (میلی‌گرم بر لیتر)	۹۳/۲	۴۱۲	۶۰۰
سولفات (میلی‌گرم بر لیتر)	۱۳۹/۵	۶۹۲	۵۰۰
نیتрат (میلی‌گرم بر لیتر)	-	۶/۲	-
فسفات (میلی‌گرم بر لیتر)	-	۷/۶	-
مس (میلی‌گرم بر لیتر)	-	۰/۰۰۴	۰/۰۲
منگنز (میلی‌گرم بر لیتر)	-	۰/۰۴۸	۱
روی (میلی‌گرم بر لیتر)	-	۰/۰۳۸	۲
کلیرم کل (MPN/100 ml)	-	۶۳	۱۰۰۰
BOD (میلی‌گرم بر لیتر)	-	۲۴	۱۰۰
COD (میلی‌گرم بر لیتر)	-	۵۱	۲۰۰

۱: استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران

نتایج و بحث

معنی‌دار است اما از بین اثر متقابل‌ها، اثر متقابل سطح‌های مختلف آبیاری و سیستم آبیاری بر دو صفت عملکرد و بهره‌وری آب، اثر متقابل سطح‌های مختلف آبیاری و کیفیت آب بر دو صفت ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ و اثر متقابل سامانه آبیاری و کیفیت آب فقط بر شاخص سطح برگ، معنی‌دار هستند.

نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای سطح‌های آبیاری، سیستم آبیاری، کیفیت آب و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد پنبه، بهره‌وری آب، تعداد غوزه در بوته، وزن غوزه، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای سطح‌های آبیاری، سامانه آبیاری و کیفیت آب بر تمامی صفات مورد بررسی

جدول ۳- خلاصه نتایج تجزیه واریانس

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	بهره‌وری آب	تعداد غوزه در بوته	وزن غوزه	ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ
تکرار Rep	۲	۲۵۰۷/۱۶۹	۰/۰۰۰۱	۰/۴۳۸	۰/۰۱۹	۶۱/۷۱۸	۰/۰۱۹
سطح‌های آبیاری A	۳	۱۵۵۱۸۸۰/۲۵۴ ^{xx}	۰/۰۱۹ ^{xx}	۱۲۸/۷۵۰ ^{xx}	۲/۲۱۳ ^{xx}	۲۱۶/۲۱۶ ^{xx}	۰/۱۳۰ ^{xx}
خطا (E ₁)	۶	۶۹۲/۲۲۱	۰/۰۰۰۱	۰/۱۰۴	۰/۰۰۲	۲/۱۹۵	۰/۰۰۲
سیستم آبیاری B	۱	۵۸۰۳۱۶/۰۰۴ ^{xx}	۰/۰۱۱ ^{xx}	۹۶/۳۳۳ ^{xx}	۰/۱۷۴ ^{xx}	۹۶/۰۵۰ ^{xx}	۰/۱۳۳ ^{xx}
اثر متقابل AB	۳	۲۴۶۰۳/۱۷۵ ^{xx}	۰/۰۰۰۱ ^{xx}	۰/۵۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۸۸۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}
خطا (E ₂)	۸	۵۱۸/۱۷۶	۰/۰۰۰۱	۰/۶۸۸	۰/۰۰۲	۰/۴۹۲	۰/۰۰۱
کیفیت آب C	۱	۵۸۷۵۹۵/۷۷۴ ^{xx}	۰/۰۱۳ ^{xx}	۵۶/۳۳۳ ^{xx}	۰/۱۸۴ ^{xx}	۷۱/۷۸۵ ^{xx}	۰/۲۳۱ ^{xx}
اثر متقابل AC	۳	۱۸۹۵/۰۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۴/۴۰۷ ^{xx}	۰/۰۰۵ ^{xx}
اثر متقابل BC	۱	۷۸۵/۷۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۵۸۵ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{xx}
اثر متقابل ABC	۳	۴۹۸۰/۳۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۱/۷۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
خطا (E ₃)	۱۶	۷۸۰۵/۸۲۱	۰/۰۰۰۱	۵/۰۶۳	۰/۰۳۱	۰/۸۸۶	۰/۰۰۰۱

** معنی‌دار و ns غیرمعنی‌دار

صفات مورفولوژیکی

جدول ۴ مقایسه میانگین صفات تعداد غوزه در بوته، وزن غوزه، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف را که توسط آزمون دانکن به دست آمده است، نشان می‌دهند. با توجه به این جدول می‌توان گفت که تعداد غوزه در بوته تیمارهای ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی به ترتیب با اختلاف ۵، ۲۵ و ۳۷ درصد، نسبت به تیمار نیاز آبی کامل گیاه در گروه‌های آماری (b)، (c) و (d) قرار گرفتند. به عبارت دیگر می‌توان گفت که اعمال کم‌آبیاری شدید، باعث کاهش زیاد تعداد غوزه در بوته می‌شود. واکنش‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی پنبه نسبت به تنش آبی نشان می‌دهد که کمبود بیش از حد آب باعث کاهش توسعه برگ، گل‌دهی و عدم توانایی گیاه برای نگهداری غوزه می‌شود (آبارز و همکاران، ۱۹۹۹).

مقایسه میانگین تعداد غوزه در بوته حاصل از اثر نوع سامانه نشان از برتری ۱۶ درصدی تعداد غوزه در بوته تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی می‌دهد (جدول ۴). این نتیجه با نتایج به دست آمده از پژوهش کالفونتز و همکاران (۲۰۰۷)، همخوانی دارد. از دیگر نکته‌ها می‌توان به برتری ۱۳ درصدی تعداد غوزه در بوته، آبیاری با پساب نسبت به آبیاری با آب چاه را اشاره کرد. علی‌خاص و کوچک‌زاده (۱۳۸۹)، در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که افزایش کاربرد پساب در آبیاری، تعداد غوزه در بوته را افزایش می‌دهد که در نهایت باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود. همچنین این پژوهشگران گفتند که ضریب همبستگی بین تعداد غوزه در بوته‌های آبیاری شده توسط پساب با عملکرد محصول، ۰/۹۶ است.

وزن غوزه تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه بوده و پژوهشگران به‌نژادی به کمک روش‌های اصلاحی و دقت در چرخه تولید بذر، برای تولید غوزه‌های بزرگ‌تر تلاش می‌کنند (کارام و همکاران، ۲۰۰۶). اما نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت مناسب آبیاری نیز توان بوته را برای افزایش وزن غوزه، ارتقاء می‌دهد. به طوری که صرفه‌جویی ۱۳۵۰ مترمکعبی آب مصرفی، بین دو تیمار ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی، هیچ اختلافی بین وزن غوزه این دو تیمار ایجاد نشده است. هرچند که کاهش ۲۷۰۰ مترمکعبی آب در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی نیز فقط کاهش ۴/۵ درصدی وزن غوزه را در پی دارد. پژوهشگران

اعلام کرده‌اند که تنش خفیف در طول فصل رشد سبب جذب بهتر مواد فتوسنتزی از طریق مخزن‌های اندام‌های زایشی نسبت به مخزن‌های اندام‌های رویشی می‌شود، این امر باعث بقاء بیشتر غوزه‌ها و در نتیجه افزایش تعداد و وزن آن‌ها می‌شود (وایت و راین، ۲۰۰۴). اما در تیمار ۵۵ درصد نیاز آب اختلاف شدیدی در وزن غوزه ایجاد شده است. مقایسه میانگین صفت وزن غوزه تحت تأثیر دو تیمار اعمال شده در نوع سامانه و دو تیمار اعمال شده در کیفیت آب، نشان از برتری ۳ درصدی وزن غوزه در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری با پساب می‌دهد (جدول ۴).

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل سطح‌های آبیاری و کیفیت آب بر صفت ارتفاع بوته (جدول ۳) و همچنین ارزیابی مقایسه میانگین این صفت توسط آزمون دانکن (جدول ۴)، می‌توان گفت که پساب اعمال شده در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ارتفاع ۵۱/۹۲ سانتی‌متری دارای بهترین جایگاه آماری است و بعد از آن پساب اعمال شده در تیمار ۸۵ درصد نیاز آبی با اختلاف ۶ درصدی قرار گرفته است. علی‌خاص و کوچک‌زاده (۱۳۸۹)، در مقایسه نسبت‌های مختلف آب چاه با پساب در آبیاری پنبه به این نتیجه رسیدند که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰ درصد اعمال پساب در آبیاری است. از دیگر نکته‌های قابل ذکر در جدول ۴ می‌توان به برتری ۶ درصدی ارتفاع بوته در آبیاری زیرسطحی اشاره کرد که با نتایج مطالعه جارد و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد.

شاخص سطح برگ نمایان‌گر سطح برگ گیاه در هر مترمربع است. با توجه به مقایسه میانگین این صفت تحت تأثیر اثر متقابل سطح‌های آبیاری و کیفیت آب (جدول ۴)، می‌توان گفت که دو تیمار I_1Q_2 و I_2Q_2 در بهترین جایگاه آماری قرار گرفته‌اند و پساب اعمال شده در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی با اختلاف ۲۱ درصدی نسبت به دو تیمار مذکور در گروه آماری (b) قرار گرفته است و تیمارهای آب چاه اعمال شده در سطح‌های مختلف آبیاری دارای شاخص سطح برگ خوبی نیستند. این نتایج نشان از آن دارد که کاهش میزان مواد غذایی، رشد رویشی و در نتیجه مقدار شاخص سطح برگ گیاه را کاهش داده و با کاهش سطح برگ، مقدار مواد فتوسنتز کننده تولید شده در برگ کاهش می‌یابد و باعث کاهش عملکرد می‌شود (وایت و راین، ۲۰۰۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطح‌های آبیاری

تیمارها	تعداد غوزه در بوته	وزن غوزه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	شاخص سطح برگ
I ₁	۱۹/۳۳ a	۴/۵۱۴ a	۴۹/۹۹ a	۰/۵۷ a
I ₂	۱۸/۳۳ b	۴/۵۱۴ a	۴۸/۳۰ b	۰/۵۷ a
I ₃	۱۴/۵۰ c	۴/۳۱۷ b	۴۵/۰۳ c	۰/۴۶ b
I ₄	۱۲/۳۳ d	۳/۵۸۹ c	۴۰/۳۵ d	۰/۳۶ c
مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سامانه آبیاری				
تیمارها	تعداد غوزه در بوته	وزن غوزه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	شاخص سطح برگ
S ₁	۱۴/۷۱ b	۴/۱۷۳ b	۴۴/۵۰ b	۰/۴۴ b
S ₂	۱۷/۵۲ a	۴/۲۹۳ a	۴۷/۳۳ a	۰/۵۴ a
مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر کیفیت آب				
تیمارها	تعداد غوزه در بوته	وزن غوزه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	شاخص سطح برگ
Q ₁	۱۵/۰۴ b	۴/۱۷۱ b	۴۴/۷۰ b	۰/۴۲ b
Q ₂	۱۷/۲۱ a	۴/۲۹۵ a	۴۷/۱۷ a	۰/۵۶ a
مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر اثر متقابل سطح‌های آبیاری و کیفیت آب				
تیمارها	تعداد غوزه در بوته	وزن غوزه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	شاخص سطح برگ
I ₁ Q ₁	-	-	۴۸/۰۷ c	۰/۴۹ c
I ₁ Q ₂	-	-	۵۱/۹۲ a	۰/۶۶ a
I ₂ Q ₁	-	-	۴۶/۹۲ cd	۰/۴۹ c
I ₂ Q ₂	-	-	۴۹/۶۳ b	۰/۶۶ a
I ₃ Q ₁	-	-	۴۳/۹۲ e	۰/۳۹ d
I ₃ Q ₂	-	-	۴۶/۱۵ d	۰/۵۲ b
I ₄ Q ₁	-	-	۳۹/۸۸ f	۰/۳۲ e
I ₄ Q ₂	-	-	۴۰/۷۲ f	۰/۴۰ d
مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر اثر متقابل سامانه آبیاری و کیفیت آب				
تیمارها	تعداد غوزه در بوته	وزن غوزه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	شاخص سطح برگ
S ₁ Q ₁	-	-	-	۰/۳۸ d
S ₁ Q ₂	-	-	-	۰/۵۰ b
S ₂ Q ₁	-	-	-	۰/۴۶ c
S ₂ Q ₂	-	-	-	۰/۶۲ a

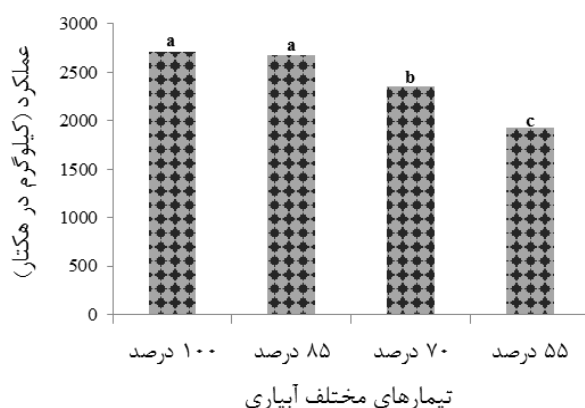
عملکرد

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین عملکرد پنبه حاصل از اثر تیمار عامل اصلی، در شکل ۱ نشان داده شده است. بر این اساس مشخص می‌شود که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با عملکرد ۲۷۰۷ کیلوگرم در هکتار و با اختلاف ۱، ۱۳ و ۲۸/۷ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی دارای بهترین عملکرد است. اما از نظر آماری فقط اختلاف معنی‌داری با دو تیمار ۷۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی دارد. عملکرد خوب تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی را می‌توان در راستای اثرات مثبت تنش خفیف در طول فصل رشد بر اجزاء عملکرد گیاه و همچنین اثرپذیری سایر اندام‌های گیاهی مرتبط با اجزاء عملکرد

ارزیابی کرد، که باعث عملکرد خوب تیمارهای اعمال شده تحت تنش خفیف شده است (وایت و راین، ۲۰۰۴). آزمایش اثر چهار تیمار ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بر عملکرد پنبه، نشان از هم‌گروه بودن دو تیمار ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی داشت. عملکرد محصول در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد، اختلافی ۷ درصدی را نشان داد (داگدیل و همکاران، ۲۰۰۹)، که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد. جدول ۵، مقایسه میانگین عملکرد پنبه را نشان می‌دهد که با آزمون دانکن به دست آمده است. با توجه به این جدول می‌توان گفت که تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در گروه آماری (a) و آبیاری سطحی در گروه آماری (b)

افزایش عملکرد عملکرد داشته است (دستورانی و همکاران، ۱۳۸۶). مقایسه اثر چهار سطح آبیاری (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پتانسیل تبخیر و تعرق) با استفاده از دو سامانه آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) بر عملکرد پنبه نشان داد که سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی در حدود ۱۵ درصد افزایش عملکرد دارد (کالفونز و همکاران، ۲۰۰۷).

قرار گرفته است. این جدول نشان می‌دهد با وجود یکسان بودن میزان آب مصرفی در تیمار عامل فرعی، میزان عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری سطحی در حدود ۹ درصد افزایش دارد. دلیل این امر را می‌توان آن دانست که در آبیاری زیرسطحی به دلیل کاهش تبخیر، کنترل بهتر علف‌های هرز و رساندن مستقیم آب به منطقه توسعه ریشه، نقش به سزایی در



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد پنبه تحت تأثیر سطح‌های آبیاری

حدود ۹ درصد افزایش داشت. دلیل این امر را می‌توان آن دانست که عناصر غذایی و مواد آلی موجود در پساب، با میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و افزایش هوموس خاک و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و حاصل‌خیزی خاک را در پی دارد که در نهایت باعث افزایش عملکرد می‌شود (موجیری، ۲۰۱۱).

جدول ۵ بیان می‌کند که تیمار سامانه آبیاری با پساب با عملکردی ۲۵۲۹ کیلوگرم در هکتار، در گروه آماری (a) و تیمار آبیاری با آب چاه در گروه آماری (b) قرار گرفته است. به عبارت دیگر، با وجود یکسان بودن میزان آب مصرفی در تیمار عامل فرعی، میزان عملکرد محصول در تیمار آبیاری با پساب نسبت به تیمار آبیاری با آب چاه در

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطح‌های آبیاری

تیمارها	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
S ₁	۲۳۰۹ b	۰/۳۴۳ b
S ₂	۲۵۲۹ a	۰/۳۷۴ a
مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر کیفیت آب		
تیمارها	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
Q ₁	۲۳۰۸ b	۰/۳۴۲ b
Q ₂	۲۵۲۹ a	۰/۳۷۵ a
مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر اثر متقابل سطح‌های آبیاری و نوع سامانه آبیاری		
تیمارها	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
I ₁ S ₁	۲۵۶۴ b	۰/۲۸۸ g
I ₁ S ₂	۲۸۵۰ a	۰/۳۲۰ f
I ₂ S ₁	۲۵۲۸ c	۰/۳۳۵ e
I ₂ S ₂	۲۸۳۵ a	۰/۳۷۵ cd
I ₃ S ₁	۲۲۷۵ e	۰/۳۶۷ d
I ₃ S ₂	۲۴۴۰ d	۰/۳۹۳ ab
I ₄ S ₁	۱۸۶۸ g	۰/۳۸۲ bc
I ₄ S ₂	۱۹۹۰ f	۰/۴۰۶ a

بهره‌وری آب

از آن جایی که پنبه دارای مسیر فتوسنتزی سه کربنه است، دارای بهره‌وری آب پایینی می‌باشد اما تغییر عوامل محیطی و گیاهی نیز در کاهش یا افزایش این صفت مؤثر است. کاهش رطوبت خاک ممکن است از طریق انسداد روزنه‌ها سبب افزایش بهره‌وری آب این گیاه شود (ساندر و باستیانسن، ۲۰۰۴). در این پژوهش همان‌طور که انتظار می‌رفت تأثیر کم‌آبیاری بر صفت مزبور زیاد است. جدول ۵ نشان می‌دهد که تیمار ۵۵ درصد نیاز آبی اعمال شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (I۴S۲)، از لحاظ آماری دارای بهترین جایگاه آماری است. سایر بررسی‌های انجام شده در مورد کم‌آبیاری نیز کارآمدی این روش مدیریتی در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی و افزایش سود خالص را نشان می‌دهد (باسال و همکاران، ۲۰۰۹). پژوهشگران در پژوهش سه ساله‌ای در شرق ترکیه، تأثیر کم‌آبیاری را بر عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه بررسی کردند. در این مطالعه، سه تیمار ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی کامل گیاه، با تیمار نیاز آبی کامل گیاه در سامانه آبیاری قطره‌ای مقایسه شد. نتایج نشان داد که بالاترین کارایی مصرف آب در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه رخ داده، و بعد از آن تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی دارای بهترین کارایی مصرف آب بوده است. علاوه بر این، بازده تغییر کارایی مصرف آب در سه سال آزمایش ۰/۲۵ تا ۰/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود (یونلو و همکاران، ۲۰۱۰) که با دستاوردهای این پژوهش همخوانی داشت. از دیگر نکته‌های قابل ذکر در جدول ۵ می‌توان به برتری ۹ درصدی در بهره‌وری آب، سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری با پساب نسبت به آبیاری با آب چاه اشاره کرد که با نتایج جارد و همکاران (۲۰۰۸) و علی‌خاص و کوچک‌زاده (۱۳۸۹) همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

مجموع نتایج حاصل از بررسی بهره‌وری آب پنبه در شرایط اعمال کم‌آبیاری با استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با اعمال دو کیفیت آب (آب چاه و فاضلاب تصفیه شده شهری) نشان می‌دهد که کاهش ۱۳۵۰ مترمکعبی آب (۱۵ درصد) بین دو تیمار ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در شرایطی باعث کاهش ۱

درصدی عملکرد محصول، ۵ درصدی تعداد غوزه در بوته و ۳/۴ درصدی ارتفاع بوته شده که افزایش ۱۵ درصدی بهره‌وری آب و عدم تغییر وزن غوزه و شاخص سطح برگ، را در پی داشته است. همچنین استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی سبب افزایش ۹ درصدی عملکرد و بهره‌وری آب، ۳ درصدی وزن غوزه، ۱۶ درصدی تعداد غوزه در بوته، ۶ درصدی ارتفاع بوته و ۲۰ درصدی شاخص سطح برگ شده است. از طرفی کاربرد پساب در مقایسه با آب چاه سبب افزایش ۹ درصدی عملکرد و بهره‌وری آب، ۳ درصدی وزن غوزه، ۱۳ درصدی تعداد غوزه در بوته، ۵ درصدی ارتفاع بوته و ۲۵ درصدی شاخص سطح برگ را در پی داشت. پس با توجه به نتایج به دست آمده، کاربرد روش کم‌آبیاری در کشت پنبه در تیمار ۸۵ درصد نیاز آبی با استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط اعمال پساب در استان کرمان می‌تواند راه‌کاری مناسب برای صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن در دوره‌های خشکسالی باشد.

با توجه به این که در این پژوهش تأثیر فاضلاب تصفیه شده بر شاخص‌های رشد گیاه و خصوصیات مختلف خاک صورت نگرفته است، پیشنهاد می‌شود این مورد در پژوهش‌های آینده مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱. دستورانی م. ت. صادق‌زاده م. ع. و حشمتی م. ۱۳۸۶. بررسی کارایی آبیاری زیرسطحی در میزان رشد و تولید درختان پسته. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۲۲: ۴۸-۳۵.
۲. رحیمیان م. ح. و کاخکی ع. ۱۳۸۶. محاسبه نیاز آبی گیاه پنبه به روش لایسیمتر در منطقه کاشمر. مجله علوم آب و خاک. ۲۱: ۱۴۱-۱۴۵.
۳. رشیدی م و رضادوست س. ۱۳۸۴. بررسی اثرات سطح‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۶: ۱۲۴۱-۱۲۵۰.
۴. رضوانی‌مقدم پ و میرزایی م. ۱۳۸۸. تأثیر نسبت‌های مختلف آب چاه با فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات مرفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سرگوم و ارزن. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱: ۶۳-۷۷.

18. Whitaker R. Ritchie G. Bednarzand C. and Mills C. 2008. Cotton subsurface drip and overhead irrigation efficiency, maturity, yield, and quality. American Society of Agronomy. 100:1763-1768.
19. White S. and Raine S. 2004. Identifying the potential to apply deficit irrigation strategies in cotton using large mobile irrigation machines. 4th international crop science congress. Brisbane, Australia, 26 Sep-1 Oct, 2004.
۵. شهبازیان د. شهبازیان ن. جباری ح. اکبری غ. و دانشیان ج. ۱۳۸۶. اثر تنش کم‌آبی بر خصوصیات زراعی هیبریدهای آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۹: ۱۳-۲۲.
۶. علی‌خاص م و کوچک‌زاده م. ۱۳۸۹. تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده روی خصوصیات گیاه پنبه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۲: ۲۲۹-۲۳۵.
۷. علیزاده ا. ۱۳۸۷. رابطه آب و خاک و گیاه. مشهد، دانشگاه امام رضا. ۳۰۹ ص.
8. Ayars J. Phene C. Hutmacher R. Davis B. Schoneman R. Vail S. and Mead R. 1999. Cotton response to nonuniform and varying depts. Of irrigation. Agricultural Water Management. 19:151-166.
9. Basal H. Dagdelen N. Unay A. and Yilmaz E. 2009. Effects of deficit drip irrigation ratios on Cotton (*Gossypium Hirsutum*) yield and fiber quality. Agronomy and Crop Science. 159: 19-29.
10. Dagdelen N. Basal H. Yilmaz E. Gurbuz T. and Akcay S. 2009. Different drip irrigation regimes affect Cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. Agricultural Water Management. 69:111-120.
11. Jared R. Whitaker G. Ritchie C. Bednarz N. and Cory I. 2008. Cotton subsurface drip and surface irrigation efficiency, maturity, yield and quality. Agronomy Journal. 100:1763-1771.
12. Kalfountzos D. Alexiou I. Kotsopoulos S. Zavakos G. and Vyrlas P. 2007. Effect of subsurface drip irrigation on Cotton plantations. Water Resource Management. 21:1341-1351.
13. Karam F. Lahoud R. Masaad R. Daccache A. Mounzer O. and Roupheal Y. 2006. Water use and lint yield response of drip irrigation cotton to length of irrigation season. Agricultural water management. 85:287-295.
14. Mojiri A. 2011. Effects of Municipal Wastewater on Physical and Chemical Properties of Saline Soil. Journal of Biology, Environment. Science. 14:71-76.
15. Richard G. Allen S. Pereira D. and Martin S. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO irrigation and drainage paper. 23 p.
16. Sander J. and Bastiaanssen W. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigation wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management. 69:115-133.
17. Unlu M. Kanber R. Levent D. Tekin S. and Kapur B. 2010. Effect of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigation cotton in Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 98: 597-605.

