مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۵/ شماره ۴/ پیاپی ۴۳/ زمستان ۱۴۰۰ (؟؟-؟؟)

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر کیفیت‌های مختلف پساب بر برخی صفات بیوشیمیایی و مورفولوژی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبیاری (کنفرانس مشهد)

محمدعلی بوش[۱]، حسین بانژاد[۲*]، مرتضی گلدانی[۳] و معصومه متانت[۴]

چکیده

به‌دلیل محدودبودن منابع آب، استفاده از آب‌های نامتعارف در بخش کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است که یک توجه جدی را نسبت به استفادهٔ صحیح از آب‌های نامتعارف مانند آب‌شور، فاضلاب شهری و صنعتی می‌طلبد. در این راستا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایهٔ کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و چهار تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی شش ماه بر روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد. هدف از انجام این پژوهش، مقایسهٔ تأثیر پنج نوع کیفیت آب آبیاری (آب شهری (W)، فاضلاب خام (WS)، فاضلاب تصفیه‌شده (TWS)، مخلوط ۵۰ درصد آب شهری و ۵۰ درصد فاضلاب خام (W+WS)، مخلوط ۵۰ درصد آب شهری و ۵۰ درصد فاضلاب تصفیه‌شده (W+TWS)) به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح آبیاری (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان عامل فرعی بر برخی صفات بیوشیمیایی و مورفولوژی گیاه بوده است. نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش نشان داد که اثر کم‌آبیاری بر برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه تفاوت معنی‌دار داشته است؛ به‌طوری‌که افزایش آبیاری باعث افزایش تعداد برگ، سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و پرولین شده است. همچنین نتایج نشان داد که اثر کیفیت آب آبیاری بر برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی دارای اختلاف معنی‌دار است؛ اما بر میزان پرولینِ برگ، تأثیری نداشته است.

واژهای کلیدی: کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، تعداد برگ، پرولین.

ارجاع: بوش م. بانژاد ح. گلدانی م. و متانت م. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کیفیت‌های مختلف پساب بر برخی صفات بیوشیمیایی و مورفولوژی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبیاری (کنفرانس مشهد) مجله پژوهش آب ایران.

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۴- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
*** نویسنده مسئول: banejad@um.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸

مقدمه

در یک قرن اخیر، افزایش رشد جمعیت و توسعهٔ دامنهٔ فعالیت‌های انسانی در بخش‌های مختلف، منجر به افزایش مصرف سرانهٔ آب شده که این افزایش مصرف سرانهٔ آب و استفادهٔ بی‌رویه از منابع آبی در بسیار از مناطق جهان به‌خصوص نقاط با اقلیم‌های خشک، باعث ایجاد شرایط بحرانی کمّی و کیفی منابع آبی شده است؛ ازاین‌رو استفاده از آب‌های نامتعارف ازجمله فاضلاب تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده در بخش‌های مختلف به‌ویژه در بخش کشاورزی که عمدهٔ مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد، دارای اهمیت ویژه‌ای است (اوغازیان و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی استفاده از فاضلاب خانگی می‌تواند گزینهٔ ارزان‌تر و کم‌هزینه‌تری نسبت‌به پمپاژ آب شیرین باشد و به‌عنوان یک منبع مناسب برای آبیاری گیاهان مورد توجه قرار بگیرد (الفنسی و همکاران، ۲۰۱۸)؛ به‌همین‌دلیل، محدودیت منابع آبی باعث شده است که توجه محققان به استفادهٔ صحیح از آب‌های غیرمتعارف مانند آب‌شور و پساب معطوف شود. پساب شهری علاوه‌بر تأمین آب، نیاز غذایی گیاه را تأمین می‌کند و منبع باارزشی در افزایش سطح پوشش گیاهی محسوب می‌شود، به‌شرط آنکه استفادهٔ اصولی از آن به‌همراه تصفیهٔ مناسبِ پساب باشد (زارع و همکاران، ۱۳۹۶؛ بریسان و همکاران، ۲۰۲۰)؛ چراکه تصفیهٔ فاضلاب قبل از استفادهٔ مجدد آن در آبیاری، می‌تواند خطرات سلامتی را کاهش دهد؛ بنابراین در شرایط کنترل‌شده، پیشنهاد شده است که از فاضلاب تصفیه‌شده برای انواع خاصی از آبیاری کشاورزی استفاده شود (الفنسی و همکاران، ۲۰۱۸).

گوجه‌فرنگی یکی از محصولات مهم کشاورزی در کشور است. بررسی‌ها نشان داده است که کشاورزان بیش از مقدار موردنیاز، به گوجه‌فرنگی آب می‌دهند. آبیاری بی‌رویهٔ گوجه‌فرنگی، علاوه‌بر تهدید جدی منابع آب، ممکن است بر کمیت و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی نیز تأثیر بگذارد (شاهرخ‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵).

زراع و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که آبیاری با ۱۰۰ درصد فاضلاب، باعث افزایش میزان کلروفیل a و b شده است و تفاوت بین تیمارها معنی‌دار است. به‌طورکلی، محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت‌تأثیر عناصر غذایی موجود در فاضلاب افزایش یافته است؛ بنابراین علت افزایش کلروفیل در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب نسبت‌به سایر تیمارها، وجود عناصری ازجمله نیتروژن در آن است (علیزاده و همکاران، ۲۰۰۱).

دالوی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که خشکسالی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود که در آن گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر؛ مانندِ رادیکال‌های سوپراکسید، رادیکال‌های هیدروکسیل، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های آلکوکسی تولید می‌شود. مطابق با گزارش فیروزآبادی (۱۳۹۲)، تحت شرایط تنش رطوبتی، تنظیم سطح برگ گیاه از طریق کاهش اندازهٔ برگ، کاهش تعداد برگ و کاهش سرعت رشد برگ انجام می‌گیرد.

کرمانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی اثر مقادیر مختلف پساب شهری بر عملکرد پنبه با آبیاری قطره‌ای را بررسی کردند که با توجه به مقایسهٔ میانگین سطوح آبیاری و کیفیت آب بر صفت شاخص سطح برگ پنبه، اذعان کردند که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با اختلاف ۱۱/۶ درصدی نسبت‌به تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی در بهترین جایگاه آماری قرار گرفته است و از طرف دیگر، تیمار آبیاری با پساب نیز از اختلاف ۹/۴ درصدی نسبت‌به تیمار آبیاری با آب شهری برخوردار است. مقدار سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت‌تأثیر مواد غذایی موجود در پساب افزایش می‌یابد (گلچین و همکاران، ۱۳۹۳).

کرمانی و همکاران (۱۳۹۴) در آزمایشی واکنش‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی پنبه را نسبت‌به تنش آبی بررسی کردند که نتایج نشان داد، کمبود آبِ بیش‌ازحد باعث کاهش توسعهٔ برگ، گل‌دهی و ناتوانی گیاه برای نگهداری غوزه می‌شود.

مواد و روش

آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و ۴ تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی واقع در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. برای انجام این آزمایش از ۶۰ عدد گلدان ۶ کیلویی حاوی خاک لوم شنی استفاده شد. تیمارها شامل آب شهری (W)، فاضلاب خام (WS)، فاضلاب تصفیه‌شده (TWS)، اختلاط آب شهری و فاضلاب خام به نسبتِ ۵۰:۵۰ (W+WS) و اختلاط آب شهری و فاضلاب تصفیه‌شده (W+TWS) به نسبتِ ۵۰:۵۰ به‌عنوان آب آبیاری و سه سطح کم‌آبیاری به میزان ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. ابتدا نمونه‌ای از فاضلاب خام،

فاضلاب تصفیه‌شده و آب شهری برای آنالیز به آزمایشگاه برده شد و اندازه‌گیری‌های مربوط به کیفیت آب انجام شد. نتایج آنالیز در (جدول ۱)، (جدول ۲) و (جدول ۳) ارائه شده است. همچنین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک نیز تعیین شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. برای تعیین نیاز آبیاری از روش وزنی استفاده شد (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹). پس از تعیین بافت خاک سه گلدان با وزن و اندازهٔ یکسان با آب شهری اشباع شد و بعد از خارج‌شدن آب ثقلی، گلدان‌ها پس از ۴۸ ساعت وزن شدند و ظرفیت زراعی تعیین شد. با وزن‌شدن روزانهٔ گلدان‌ها براساس کمبود آب، نسبت میزان آب آبیاری تعیین شد. اما دور آبیاری براساس رطوبت موجود در خاک که با استفاده از دستگاه TDR تعیین شده و از معادلهٔ (۱) حساب شد (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹). برای تعیین بافت خاک نیز از روش هیدرومتر استفاده شد (جدول ۴).

$$RAW = (FC - PWP) * (D) * (MAD) \quad (۱)$$

در این معادله، RAW: رطوبت سهل‌الوصول FC: رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، PWP: رطوبت حجمی خاک در نقطهٔ پژمردگی، D: عمق ریشه (cm)، MAD: حداکثر تخلیه مجاز است.

بذرهای گیاه گوجه‌فرنگی رقم اولمارک فلات در سینی‌های نشا با بستر کشت کوکوپیت و پرلیت کاشته شدند و نشاها در مرحلهٔ سه یا چهار برگی به گلدان‌های موردنظر منتقل شد. در هر گلدان سه نشا با فواصل مساوی کشت شد. با تعیین نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی تیمارهای انتخاب‌شده اعمال شد و بعد از ۱۵۰ روز گیاهان را برداشت کرده و صفاتی ازجمله تعداد برگ، سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و پرولین اندازه‌گیری شد؛ به‌طوری که تعداد برگ در آخرین مرحله از نمو گیاه شمارش شد. سطح برگ توسط دستگاه Area Measurment System با مدل Delta-T Devices Ltd اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری مقدار کلروفیل از روش آرنون استفاده شد (آرنون، ۱۹۶۷). درنهایت با استفاده از معادلات (۲)، (۳) و (۴) به‌ترتیب میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر نمونه اندازه‌گیری شد. همچنین مقدار پرولین به روش بتیس (بتیس و همکاران، ۱۹۷۳) و با استفاده از معادلهٔ (۵) برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر نمونه محاسبه شد. در پایان داده‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار JMP آنالیز شدند و مقایسهٔ میانگین در آن دسته از صفاتی که اختلاف معنی‌دار داشتند، با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

$$\text{Chl a} = \frac{(19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)V}{100W} \quad (۲)$$

$$Chl\ b = \frac{(19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)V}{100W} \quad (۳)$$

$$Carotenoids = \frac{100(A470) - 3.27(mg\ chl.A) - 104(mg}{227} \quad (۴)$$

در معادلات (۲) تا (۴)، V= حجم محلول صاف‌شده، w= وزن‌تر نمونه برحسب گرم و A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر.

$$P = (a * b)/(c * 1000) \quad (۵)$$

در این معادله، P: پرولین برحسب میلی بر گرم وزن‌تر برگ، a: پرولین برحسب ppm، b: حجم نمونه و c: وزن‌تر برگ.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورداستفاده

کیفیت آب	ترکیبات شیمیایی									
	SAR	Cl (meq/L)	Na (meq/L)	K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	SO_4 (meq/L)	HCO_3 (meq/L)	EC_{25}* (dS/m)	pH
آب شهری	۲/۷۱	۱	۰/۲۷	۰/۴۸	۴/۴	۲/۸	۰/۷	۷	۱/۲۳	۸/۲

* EC_{25} هدایت الکتریکی آب در دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی فاضلاب تصفیه‌شده شهری مشهد

آب آبیاری	pH	EC_{25} (dS/m)	BOD5 (mg/L)	COD (mg/L)	Ca^{2+} (meq/L)	Mg^{2+} (meq/L)	NO_3^- (meq/L)	SO_4^{2-} (meq/L)	CL^- (meq/L)
فاضلاب تصفیه‌شده شهری	۷/۹	۱/۴	۱۱۰	۱۹۷	۵۰/۴۶	۳۷/۳۲	۱/۲۵	۷۵	۵۹۰

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی فاضلاب خام شهری مشهد

آب آبیاری	pH	EC_{25} (ds/m)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (meq/L)	K (meq/L)	NO_3^- (meq/L)	Na (meq/L)
فاضلاب خام شهری	۷/۸۴	۱/۶	۹۳۳	۳۹/۲	۷/۳۸	۴۵	۱۱۷/۵۴

جدول ۴- تجزیهٔ شیمیایی و فیزیکی خاک مورداستفاده

ترکیبات شیمیایی						
درصد اشباع ٪	سیلت ٪	رس ٪	شن ٪	ماده آلی ٪	EC_{25} (dS/m)	pH
۳۳/۴	۳۵	۱۷	۴۸	۰/۰۹	۳/۸	۷/۲

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژی

تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک میوه

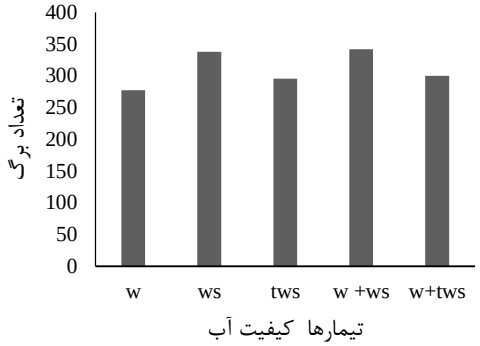
نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر تیمارهای مختلف بر تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمال یک درصد بود. در صفت قطر میوه، فقط تیمار کم‌آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و وزن خشک میوه با توجه به جدول در هیچ‌یک از تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیهٔ واریانس اثر تیمار کیفیت، کم‌آب و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد برگ و سطح برگ در گوجه‌فرنگی

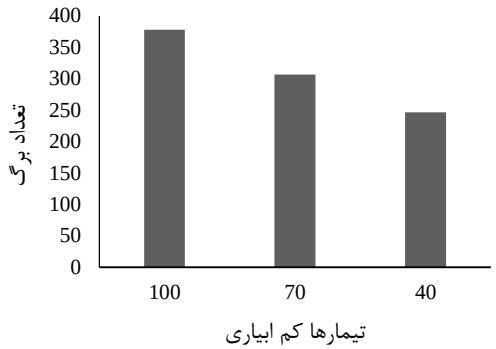
		میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزاد	تعداد برگ	سطح برگ	وزن خشک میوه	قطر میوه
کیفیت آب	۴	۷۱۴۲/۲۴**	۴۰۱۳۵/۵**	۱/۳۳ ns	۱۹۶/۵۹ ns
کم‌آبیاری	۲	۶۴۶۹۹/۸۲**	۶۲۶۵۳۵/۶**	۰/۷۴ ns	۷۸۹۷/۱۶ ××
کیفیت× کم	۸	۲۵۶۵/۱۳**	۱۵۵۸۵/۷**	۱/۷۷ ns	۱۸۶/۶۶ ns
خطا	۳۰	۴۶۵/۶	۱۲۴۸	۱/۱	۴۰۹/۷۳

*،**و ns به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، وجود معنی‌دار در سطح ۵ درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار

اثر تیمارهای کیفیت آب بر تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمالی ۱ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد؛ به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ و سطح برگ در تیمار مخلوط ۵۰ درصد آب شهری و ۵۰ درصد فاضلاب خام، میانگین تعداد برگ برابر با ۳۴۲/۱۱ و میانگین سطح برگ برابر با ۶۹۸/۴۴ سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار صفات در تیمار مخلوط آب شهری و آب تصفیه‌شده به‌ترتیب میانگین تعداد برگ و سطح برگ برابر با ۲۷۷/۵۶ و ۵۳۵ سانتی‌متر مربع بوده است (شکل ۱) و (شکل ۳). اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر تعداد برگ و سطح برگ، در سطح احتمالی ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود؛ به‌طوری‌که با افزایش میزان آبیاری تعداد برگ و سطح برگ، افزایش پیدا کرد (شکل ۲) و (شکل ۴). اثر متقابل تیمارهای کیفیت آب و کم‌آبیاری بر تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵)؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار تعداد برگ و سطح برگ در تیمار فاضلاب و نیاز آبیاری ۱۰۰ درصد، به‌ترتیب میانگین ۴۳۷/۳۳ تعداد برگ و ۹۳۸/۳۳ سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار آن در تیمار آب شهری و نیاز آبیاری ۴۰ درصد با میانگین ۲۱۴/۳۴ تعداد برگ و ۳۰۹ سانتی‌متر مربع بود (جدول ۶). همچنین در صفت قطر میوه، کمترین ارتفاع میوه در تیمار کم‌آبیاری ۴۰ درصد با میانگین ۲۳/۲۶ سانتی‌متر و بیشترین قطر میوه در تیمار شاهد با میانگین ۶۸/۴۷ سانتی‌متر مشاهده شد.



شکل ۱- اثر کیفیت آب آبیاری بر تعداد برک گوجه‌فرنگی



شکل ۲- اثر کم‌آبیاری بر تعداد برگ در گوجه‌فرنگی

شکل ۳- اثر کیفیت آب آبیاری بر سطح برگ در گوجه‌فرنگی

شکل ۴- اثر کم‌آبیاری بر سطح برگ در گوجه‌فرنگی

جدول ۶- تفاوت میانگین بر تعداد برگ و سطح برگ در تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی

تیمار (کیفیت-کم‌آبیاری)	تعداد برگ	سطح برگ (cm2)
۱۰۰ws,	۴۳۷/۳۳^{a}	۹۳۸/۳۳^{a}
۱۰۰w+ws,	۴۰۴^{ab}	۸۳۶^{b}
۱۰۰w+tws,	۳۹۰/۳۳^{b}	۷۱۶/۳۳^{c}
۷۰w+ws,	۳۵۴/۳۳^{c}	۷۰۷^{c}
۱۰۰،w	۳۳۳/۶۷^{c}	۷۴۹^{c}
۷۰ws,	۳۳۱/۶۷^{c}	۷۳۲^{c}
۱۰۰tws,	۳۲۵^{c}	۷۱۲/۶۷^{c}
۷۰tws,	۲۸۵/۳۳^{d}	۶۹۵^{c}
۷۰w	۲۸۴/۶۶^{d}	۷۳۹/۶۷^{c}
۷۰w+tws,	۲۷۹^{de}	۵۶۹/۶۷^{d}
۴۰tws,	۲۷۶/۳۳^{de}	۴۲۲/۳۳^{e}
۴۰w+ws,	۲۶۸^{de}	۵۵۲/۳۳^{d}
۴۰ws,	۲۴۵^{ef}	۳۸۱^{e}
۴۰w+tws,	۲۵۴/۶۷^{f}	۳۱۹^{f}
۴۰w,	۲۱۴/۳۳^{f}	۳۰۹^{f}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، فاقد تفاوت معنی‌داری است.

پارامترهای بیوشیمیایی

کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و پرولین

نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر تیمارهای مختلف بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح احتمالی ۱ درصد بود (جدول ۷).

اثر تیمارهای کیفیت آب بر کلروفیل a و کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد؛ به‌طوری‌که بیشترین کلروفیل a و کلروفیل b در تیمار مخلوط آب شهری و فاضلاب تصفیه‌نشده به‌ترتیب با میانگین ۶/۰۶ و ۱۱/۳۲ mg/gr و کمترین کلروفیل a،

کلروفیل b در تیمار مخلوط آب شهری و فاضلاب تصفیه‌شده با میانگین ۴/۳۵ و ۷/۰۸ mg/gr مشاهده شد (شکل ۵) و (شکل ۷)؛ اما اثر کیفیت آب آبیاری بر کاروتنوئید، دارای تفاوت معنی‌داری نبود (جدول ۷). بررسی اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح احتمالی ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود؛ به‌طوری‌که با افزایش نیاز آبیاری کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید افزایش پیدا کرد (شکل ۶، ۸ و ۹). همچنین اثر متقابل تیمارهای کیفیت آب و سطوح مختلف آبیاری در سطح احتمالی ۱ درصد بر کلروفیل a و کلروفیل b و کاروتنوئید معنی‌دار شد (جدول ۷)؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در تیمار فاضلاب و نیاز آبیاری ۱۰۰ درصد، به‌ترتیب میانگین ۷/۲۶ و ۱۸/ ۱۳ و ۰/۰۹ mg/gr بود و کمترین مقدار آن در تیمار مخلوط آب شهری و فاضلاب تصفیه‌شده و نیاز آبیاری ۴۰ درصد، به‌ترتیب میانگین ۳/۷۶، ۶/۷۸ و ۰/۰۲ mg/gr بود (جدول ۸).

جدول ۷- تجزیهٔ واریانس اثر تیمارها بر کیفیت آب و کم‌آبیاری و اثر متقابل بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در برگ گوجه‌فرنگی

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزاد	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
کیفیت آب	۴	۱/۰۸^{ns}	۱۵/۲۷**	۵/۸۷**	۰/۰۰۰۲۸^{ns}
کم‌آبیاری	۲	۱۱۸/۷۰**	۱۱/۱۳**	۸/۶۵**	۰/۰۰۴۲**
کیفیت× کم	۸	۱/۵۷^{ns}	۲۶/۷۲**	۴/۷۲**	۰/۰۰۰۶۰**
خطا	۳۰	۲/۷۳	۰/۹۲	۲/۶	۰/۰۰۰۱۵

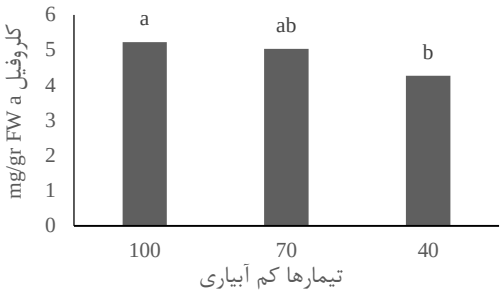
*،** و ns به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، وجود معنی‌دار در سطح ۵ درصد وعدم‌تفاوت معنی‌دار

پرولین

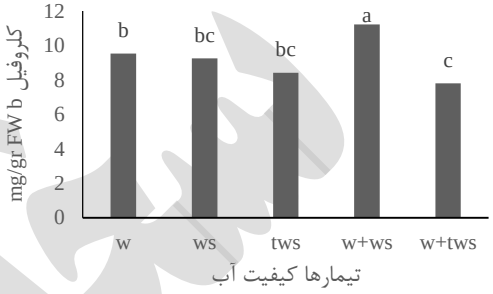
نتایج به‌دست‌آمده از بررسی پرولین در برگ‌های گیاه گوجه‌فرنگی بین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که اثر تیمارهای مختلف کیفیت آب آبیاری و اثر متقابل کیفیت آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر پرولین در برگ گیاه گوجه‌فرنگی دارای اختلاف معنی‌داری نبود؛ اما اثر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد، اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۷)؛ به‌طوری‌که بیشترین پرولین در برگ در تیمار نیاز آبیاری ۴۰ درصد با میانگین ۹/۰۷ µmol/gr و کمترین مقدار آن در تیمار نیاز آبیاری ۱۰۰ درصد با میانگین ۴/۲۲۷۰ µmol/gr مشاهده شد (شکل ۱۰).

می‌توان چنین بحث کرد که واکنش گیاه به تنش خشکی به ماهیت کمبود آب وابسته است و می‌تواند به‌صورت پاسخ‌های فیزیولوژیک کوتاه‌مدت یا بلندمدت باشد. تغییرات محتوی رطوبتی برگ و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و شاخصی از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (رزمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ لوگینی و همکاران، ۱۹۹۹)؛ به‌طوری‌که عدم‌دسترسی گیاه گوجه‌فرنگی به آب کافی، سبب کاهش صفات تعداد برگ، سطح برگ و صفات فتوشیمیایی مانند کلروفیل a، کلرفیل b و کاروتنوئید می‌شود؛ اما کم‌آبیاری باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت‌گرفتن تنش به مقدار آن افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کمبود آب گیاه به‌منظور جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات تنظیم‌کنندهٔ اسمزی ازجمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد. افزایش غلظت پرولین در اندام‌های گیاه در اثر ممانعت از تجزیهٔ پرولین برای جلوگیری از ورود به چرخهٔ ساخت پروتئین یا افزایش تجزیهٔ پروتئین است که ممکن است با کاهش رشد همراه باشد. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش‌های پیشین در این زمینه (الیاسی و همکاران، ۲۰۲۰؛ آی‌نیو و همکاران، ۲۰۱۸؛ احمدی و همکاران، ۲۰۰۵) مطابقت دارد. تعداد برگ، سطح برگ، میزان کلروفیل a و کلروفیل b در تیمار مخلوط آب شهری با فاضلاب خام، بیشتر از تیمار شاهد بود (علیزاده و همکاران، ۲۰۰۱) همچنین براساس گزارش الفنسی و همکاران (۲۰۱۸)، آبیاری گیاه یونجه با فاضلاب شهری نسبت‌به آب چاه، اثرات مثبتی بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه یونجه داشته است که نتایج این مطالعات نیز با نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش سازگار است.

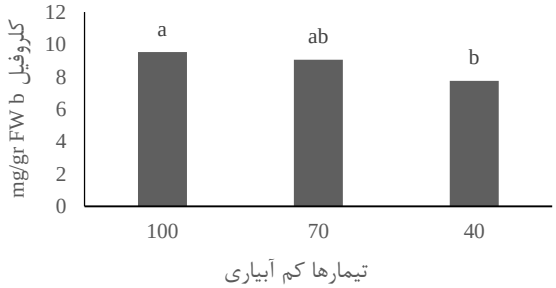
شکل ۵- اثر کیفیت آب آبیاری بر کلروفیل a



شکل ۶- اثر کم‌آبیاری بر کلروفیل a

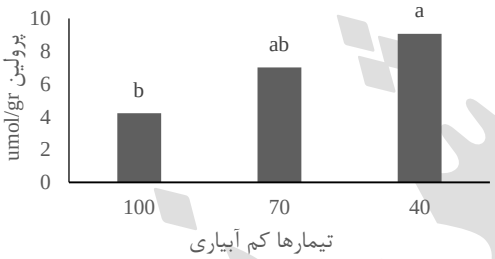


شکل ۷- اثر کیفیت آب آبیاری بر کلروفیل b برگ



شکل ۸- اثر کم‌آبیاری بر کلروفیل b برگ

شکل ۹- اثر کم‌آبیاری بر کاروتنوئید برگ



شکل ۱۰- اثر کم‌آبیاری بر پرولین برگ

جدول ۸- تفاوت میانگین اثر متقابل کیفیت آب و کم‌آبیاری بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی

تیمار (کیفیت-کم)	کلروفیل a (mg/gr)	کلروفیل b	کاروتنوئید
ws,۱۰۰	۷/۲۶^{a}	۱۳/۱۸^{a}	۰/۰۹^{a}
w+ws,۱۰۰	۷/۱۶^{a}	۱۳/۷۸^{a}	۰/۰۶^{bc}
w,۷۰	۶/۲۶^{ab}	۱۱/۲۹^{ab}	۰/۰۳^{ef}
w+ws,۴۰	۵/۷۶^{abc}	۱۰/۵^{bc}	۰/۰۷۲^{ab}
tws,۴۰	۵/۲۹^{bcd}	۹/۵۳^{bcd}	۰/۰۷۲^{ab}
w+ws,۷۰	۵/۲۸^{bcd}	۹/۴۴^{bcde}	۰/۰۴۶^{cde}
w+tws,۷۰	۵/۰۴^{bcd}	۹/۰۸^{bcde}	۰/۰۴۵^{cde}
w,۱۰۰	۵^{bcd}	۹/۰۲^{bcde}	۰/۰۴^{cde}
tws,۷۰	۴/۹۹^{bcd}	۸/۹۸^{bcde}	۰/۰۳۴^{ef}
w,۴۰	۴/۵۹^{cd}	۸/۳۳^{bcde}	۰/۰۴۴^{cde}
ws,۷۰	۴/۱۵^{cd}	۷/۴۷^{cde}	۰/۰۳۲^{ef}
w+tws,۴۰	۴/۰۹^{cd}	۷/۳۷^{de}	۰/۰۶۱^{bc}
w+tws,۱۰۰	۳/۹۵^{cd}	۶/۹۸^{de}	۰/۰۴۴^{cde}
ws,۴۰	۳/۸۴^{cd}	۶/۹۲^{de}	۰/۰۲۲^{f}
tws,۱۰۰	۳/۷۶^{d}	۶/۷۸^{e}	۰/۰۲۷^{ef}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، فاقد تفاوت معنی‌داری است.

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که تعداد برگ، سطح برگ، میزان کلروفیل a و کلروفیل b در تیمار مخلوط آب شهری با فاضلاب خام، به‌ترتیب باعث افزایش ۲۳، ۱۶، ۱۴ و ۱۷ درصد نسبت‌به تیمار شاهد، مشاهده شده‌است؛ اما کیفیت آب آبیاری بر پرولین، تفاوت معنی‌دار نداشته است. همچنین می‌توان گفت که واکنش گیاه به تنش خشکی به ماهیت میزان آب وابسته است؛ به‌طوری‌که عدم‌دسترسی گیاه گوجه‌فرنگی به آب کافی، سبب کاهش صفات فیزیولوژیکی مانند تعداد برگ، سطح برگ و صفات فتوشیمیایی مانند کلروفیل a، کلرفیل b و کاروتنوئید می‌شود؛ اما کم‌آبیاری باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت‌گرفتن تنش خشکی، مقدار پرولین آن بیشتر می‌شود.

منابع

۱. انصاری ح. شریفان ح. و داوری ک. ۱۳۸۹. اصول عملیات آبیاری عمومی. انتشارات جهاد دانشگاه مشهد. ۴۸۲ ص.

۲. اوغازیان ع. اکبری‌زاد ا. کلانه ح. و رحمانی‌ثانی ا. ۱۳۹۴. مقایسهٔ امکان رشد گیاه ذرت شیرین آبیاری‌شده با پساب بیمارستانی تصفیه‌شده توسط گیاهان و تیورونی. فصلنامهٔ کمیتهٔ تحقیقات دانشجویی دانشگاه پزشکی سبزوار. ۳(۲۰): ۱۱-۱۸.

۳. رزمی ن. ایران‌نژاد ج. خانزاده ح. و مقدم ب.۱۳۹۲. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک سه رقم سویا. نشریهٔ علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷ (۱): ۵۷-۷۰.

۴. زراع ر. سهرانی ت. و متشرع زاده ب. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای لوبیاچیتی. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۱): ۴۳-۵۷.

۵. شاهرخ‌نیا م. شاه‌امیریان م. غیاثی ع. ۱۳۹۵. بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد و کیفیت ارقام گوجه‌فرنگی تحت کاشت نشانی. نشریهٔ آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۱۰): ۱۷۷-۱۸۶.

۶. فیروزآبادی ع. ق. رائینی م. شاه‌نظری ع. و زارع ابیانه ح. ۱۳۹۲. تغییرات شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و پارامترهای ریشهٔ گیاه آفتاب‌گردان در کم‌آبیاری-آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه. فناوری تولیدات گیاهی، ۶ (۱): ۶۹-۷۹.

۷. کرمانی، م. اسدی ر. سانیج ح. ۱۳۹۴. اثر مقادیر مختلف پساب شهری بر عملکرد پنبه با آبیاری قطره‌ای. نشریهٔ پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹ (۱): ۶۴-۷۴.

۸. گلچین ل. سلیماسی س. و کلوانق ج. ۱۳۹۳. اثر آبیاری با پساب کارخانهٔ خمیرمایه بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد باقلا. نشریهٔ علمی-پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱(۲۹): ۲۹-۴۰.

9. Ahmadi A. and Siosemardeh A. 2005. Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in Wheat: leaf photosynthetic rate, stonatal ciduvtance and noun stonatal. Limitation. Iran. Ja GRON. Breeding. 7 (5): 807-811.
10. Ai Nio S. Mantilen Ludong D. P. and Wade L. J. 2018. Comparison of leaf osmotic adjustment expression in wheat (Triticum aestivum L.) under water deficit between the whole plant and tissue levels, Agriculture and Natural Resources. 52(1): 33-38.
11. Alizadeh A. Bazari M. Velayti S. Hasheminia M. and Yaghmaie A. 2001. Irrigation of corn with wastewater. In:Ragab R, Pearce G,Chamgkim J,Nairizi S and Hamdy A (Eds), pp147-154.ICID International Workshop on wastewater Rruse and Management.Seoul, South Korea. pp. 147-154
12. Al-Yasi H. Attia H. Alamer Kh. Hassan F. Esmat F. Elshazly S. Kadambot K. H. M Siddique. And Hessini K. 2020. Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. Plant Physiology and Biochemistry 150(1): 133-139.
13. Arnon D. I. 1967. Copper enzymes in isolated chloroplasts.Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. PlantPgysiol. 24 (1): 1-15.
14. Bates L. S. Waldern R. P. and Teare I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies.Plant Soil. 39 (1): 205-207.
15. Bressan D. F. Capelin D. Gomes E. R. Barros É. A. D. Bettini M. d. O. and Broetto F. 2020. Impacts on growth, water relations

and nutritional composition of basil plants submitted to irrigation with saline and wastewater, SN Applied Sciences. 2 (4): 1-11.

16. Condon A. Richards A. Rebetzke J. and Farqouhar D. 2002. Improving instrinsic water use efficiency and crop yield. Crop Sci.42(1):122-133.
17. Dalvi U. S. Naik R. M. and Lokhande P. K. 2017. Antioxidant defense system in chickpea against drought stress at pre- and post- flowering stages, Ind J Plant Physiol. 23(1): 16-23.
18. Elfanssi S. Ouazzani N. Ad Mandi L. 2018. Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (Medicago sativa L.) irrigated by treated domestic wastewater, Agricultural Water Management. 202(1): 231-240.
19. Loggini B. Scartazza A. Brugnoli E. and Navari-Izzo F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. Plant Physiology. 119(3): 1091-1100.

Research paper

Evaluation of the effect of different wastewater qualities on some biochemical and morphological traits of tomato plant under deficit irrigation

M. Boush[1], H. Banejad[2*], M. Goldani[3], Masoumeh metanat[4]

Extended Abstract

With the increase of population, migration to cities and expansion of urbanization, improvement of living standards, and expansion of industries have caused a large volume of sewage to be produced in limited areas that the cannot be refined in the environment. However, this high volume of wastewater can be considered a source of water, materials, and energy. Today, many countries make optimal use of water resources and advance their national development programs based on recycling. The use of wastewater in agriculture should be based on water, soil, and environment characteristics, and be established regarding the proportion between the quality of the wastewater and the type of wastewater application, according to economic issues. This subject requires access to executable standards, instructions, and criteria for each of the different sections to observe environmental standards. Wastewater as a stable water source for irrigation of agricultural products should be considered in water crisis management, in compliance with ecological considerations.

A factorial experiment was conducted in a complete randomized design with 15 treatments and four replications in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. For this experiment, sandy loam soil was used in 60 pots (6 kg containing). Treatments include urban water (W), treated wastewater (TWS), untreated wastewater (WS), combined urban water and treated wastewater ratio of 50:50 (W + TWS), and combined urban water and untreated wastewater (W + WS) (50:50) as irrigation water, and three levels of irrigation were 100, 70 and 40% of the plant's water requirement. First, treated wastewater samples, untreated wastewater, and urban water were taken to the laboratory for water quality analysis. The seedlings were transferred to the desired pots in the three or four-leaf stage. After 150 days, the plants were harvested from the pools, and traits such as leaf number, leaf area, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, and proline were measured.

According to the analysis of variance tables, the simple effect of water quality treatment on the leaf number, leaf area, chlorophyll a and b at the level of one percent probability have a significant difference; but there was no significant difference in proline and carotenoid traits. In simple effect of deficit irrigation treatment, all measured characteristics have a considerable difference at the level of one percent probability. However, in the interaction effect of water quality and deficit irrigation, leaf number, leaf area, chlorophyll a and b, and carotenoids trait were significant at the level of one percent probability, and proline trait was not significantly different. Therefore, due to the interaction of water quality and deficit

1- Ph.D. Student irrigation and Drainage engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Water science Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4- Ph.D. Student Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
***. Corresponding Author: Banejad@um.ac.ir**
Received: 2018/10/22 Accepted: 2019/06/03

irrigation treatments, the most leaf number was related to the treatment of 100% of the plant's water requirement with untreated wastewater, and the least leaf number belongs to the treatment of 40% of the plant's water requirement with urban water. In the leaf area, the highest amount was related to 100% of the plant's water requirement with untreated wastewater. The least amount was related to 40% of the plant's water requirement with urban water. The most amount of chlorophyll a was associated with the treatment of 100% of the plant's water requirement with untreated wastewater. The least amount of chlorophyll is associated with 100% of the plant's water requirement with treated wastewater. In chlorophyll b, the most value was related to the interaction treatment of 100% of the plant's water requirement, and the combination of urban water and untreated wastewater in the ratio of 50:50 and the least number was related to the treatment of 100% of the plant's water requirement with treated wastewater. Also, in the carotenoid trait, most carotenoids were related to 100% of the plant's water requirement with untreated sewage. The least amount of carotenoid was linked to 40% of the plant's water requirement with untreated wastewater.
According to the results, it can be concluded that the leaf number, leaf area, chlorophyll a, and chlorophyll b in the treatment of urban water with untreated wastewater was more than the control, and the quality of irrigation water on proline was not significantly different. Also, it is concluded that the plant's natural response to drought stress depends on the amount of water and can be short-term or long-term physiological responses. Thus, the lack of access of tomato plants to enough water reduces physiological traits such as leaf number, leaf area, and photochemical traits such as chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids. But deficit irrigation increases the amount of proline, and with the drought stress intensifies, the number of proline increases. Thus, in conditions of deficit irrigation, the plant reduces its osmotic potential to absorb more water by accumulating potential osmotic regulators such as proline and soluble carbohydrates in the leaf.

Keywords: Chlorophyll a, Chlorophyll b, Carotenoids, Number of leaves, Proline.

Citation: Boush M. A. Banejad H. Goldani M. and Metanat M. 2022. Evaluation of the effect of different wastewater qualities on some biochemical and morphological traits of tomato plant under deficit irrigation. Iranian Water Research Journal.