

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

محمدعلی بوش^۱، حسین بانزاد^{۲*}، مرتضی گلدانی^۳ و معصومه متانت^۴

چکیده

به دلیل محدود بودن منابع آب، استفاده از آب‌های نامتعارف در بخش کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است که یک توجه جدی را نسبت به استفاده صحیح از آب‌های نامتعارف مانند آب‌شور، فاضلاب شهری و صنعتی می‌طلبد. در این راستا، آزمایشی به صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی شش ماه بر روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد. هدف از انجام این پژوهش، مقایسه 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؛ به طوری که 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 پرولین برگ، تأثیری نداشته است.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، تعداد برگ، پرولین.

ارجاع: بوش م، بانزاد ح، گلدانی م، و متانت م. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کیفیت‌های مختلف پساب بر برخی صفات بیوشیمیایی و مورفولوژی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبیاری. مجله پژوهش آب ایران. ۴۳: ۵۹-۶۷.

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 آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۴- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

* نویسنده مسئول: banejad@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵

مقدمه

در یک قرن اخیر، افزایش رشد جمعیت و توسعه دامنه فعالیت‌های انسانی در بخش‌های مختلف، منجر به افزایش مصرف سرانه آب شده که این افزایش مصرف سرانه آب و استفاده بی‌رویه از منابع آبی در بسیار از مناطق جهان به‌خصوص نقاط با اقلیم‌های خشک، باعث ایجاد شرایط بحرانی کمی و کیفی منابع آبی شده است؛ از این رو استفاده از آب‌های نامتعارف از جمله فاضلاب تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده در بخش‌های مختلف به‌ویژه در بخش کشاورزی که عمده مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد، دارای اهمیت ویژه‌ای است (اوغازیان و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی استفاده از فاضلاب خانگی می‌تواند گزینه ارزان‌تر و کم‌هزینه‌تری نسبت به پمپاژ آب شیرین باشد و به‌عنوان یک منبع مناسب برای آبیاری گیاهان مورد توجه قرار بگیرد (الفنسی و همکاران، ۲۰۱۸)؛ به‌همین دلیل، محدودیت منابع آبی باعث شده است که توجه محققان به استفاده صحیح از آب‌های غیرمتعارف مانند آب‌شور و پساب معطوف شود. پساب شهری علاوه بر تأمین آب، نیاز غذایی گیاه را تأمین می‌کند و منبع بارزشی در افزایش سطح پوشش گیاهی محسوب می‌شود، به‌شرط آنکه استفاده اصولی از آن به‌همراه تصفیه مناسب پساب باشد (زارع و همکاران، ۱۳۹۶؛ بریسان و همکاران، ۲۰۲۰)؛ چراکه تصفیه فاضلاب قبل از استفاده 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 بی‌رویه گوجه‌فرنگی، علاوه بر تهدید جدی منابع آب، ممکن است بر کمیت و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی نیز تأثیر بگذارد (شاهرخ‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵).

زارع 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. به‌طور کلی، محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت تأثیر عناصر غذایی موجود در فاضلاب افزایش یافته است؛ بنابراین علت افزایش کلروفیل در تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب نسبت به سایر

تیمارها، وجود عناصری از جمله 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؛ مانند 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 اندازه 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 مقایسه 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 نسبت به 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 نسبت به تیمار آبیاری با آب شهری برخوردار است. مقدار سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت تأثیر مواد غذایی موجود در پساب افزایش می‌یابد (کلچین و همکاران، ۱۳۹۳).

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

مواد و روش

آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و ۴ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده 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 نسبت ۵۰:۵۰ (W+WS) و اختلاط آب شهری و فاضلاب تصفیه‌شده (W+TWS) به نسبت ۵۰:۵۰ به‌عنوان آب آبیاری و سه سطح کم‌آبیاری به میزان ۷۰، ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. ابتدا نمونه‌ای از فاضلاب خام،

که تعداد برگ در آخرین مرحله از نمو گیاه شمارش شد. سطح برگ توسط دستگاه Area Measurement System با مدل Delta-T Devices Ltd اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری مقدار کلروفیل از روش آرنون استفاده شد (آرنون، ۱۹۶۷). در نهایت با استفاده از معادلات (۲)، (۳) و (۴) به‌ترتیب میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه اندازه‌گیری شد. همچنین مقدار پرولین به روش بتیس (بتیس و همکاران، ۱۹۷۳) و با استفاده از معادله (۵) برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد. در پایان داده‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار JMP آنالیز شدند و مقایسه میانگین در آن دسته از صفاتی که اختلاف معنی‌داری 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.

$$\text{Chl a} = \frac{(19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)V}{100W} \quad (2)$$

$$\text{Chl b} = \frac{(19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)V}{100W} \quad (3)$$

Carotenoids

$$= \frac{100(A470) - 3.27(\text{mg chl. A}) - 104(\text{mg})}{227} \quad (4)$$

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

$$P = (a * b) / (c * 1000) \quad (5)$$

در این معادله، P: پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، a: پرولین برحسب ppm، b: حجم نمونه و c: وزن تر برگ.

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 اندازه 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 روزانه 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 معادله (۱) حساب شد (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹). برای تعیین بافت خاک نیز از روش هیدرومتر استفاده شد (جدول ۴).

$$\text{RAW} = (\text{FC} - \text{PWP}) * (\text{D}) * (\text{MAD}) \quad (1)$$

در این معادله، RAW: رطوبت سهل‌الوصول FC: رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، PWP: رطوبت حجمی خاک در نقطه 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 مرحله 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 از جمله تعداد برگ، سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و پرولین اندازه‌گیری شد؛ به‌طوری

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورداستفاده

ترکیبات شیمیایی										کیفیت آب
pH	EC ₂₅ [*] (dS/m)	HCO ₃ (meq/L)	SO ₄ (meq/L)	Mg (meq/L)	Ca (meq/L)	K (meq/L)	Na (meq/L)	Cl (meq/L)	SAR	
۸/۲	۱/۲۳	۷	۰/۷	۲/۸	۴/۴	۰/۴۸	۰/۲۷	۱	۲/۷۱	آب شهری

* EC₂₅ هدایت الکتریکی آب در دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی فاضلاب تصفیه‌شده شهری مشهد

CL ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	EC ₂₅ (dS/m)	pH	آب آبیاری
۵۹۰	۷۵	۱/۲۵	۳۷/۳۲	۵۰/۴۶	۱۹۷	۱۱۰	۱/۴	۷/۹	فاضلاب تصفیه‌شده شهری

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی فاضلاب خام شهری مشهد

Na (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	K (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	TDS (mg/L)	EC ₂₅ (ds/m)	pH	آب آبیاری
۱۱۷/۵۴	۴۵	۷/۳۸	۳۹/۲	۹۳۳	۱/۶	۷/۸۴	فاضلاب خام شهری

جدول ۴- تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده

ترکیبات شیمیایی						
pH	(ds/m)EC ₂₅	ماده آلی %	شن %	رس %	سیلت %	درصد اشباع %
۷/۲	۳/۸	۰/۰۹	۴۸	۱۷	۳۵	۳۳/۴

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژی

تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک میوه

درصد بود. در صفت قطر میوه، فقط تیمار کم آبیاری 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).

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر تیمارهای مختلف بر تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمال یک

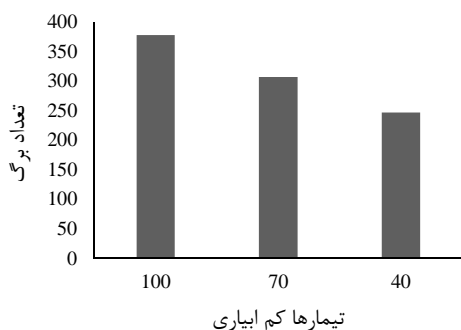
جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمار کیفیت، کم آب و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد برگ و سطح برگ در گوجه‌فرنگی

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}
کم آبیاری	۲	۶۴۶۹۹/۸۲**	۶۲۶۵۳/۶**	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

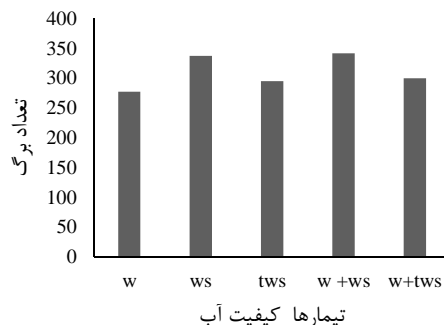
*** و ns به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، وجود معنی‌دار در سطح ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

برگ، افزایش پیدا کرد (شکل ۲) و (شکل ۴). اثر متقابل تیمارهای کیفیت آب و کم آبیاری بر تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵)؛ به طوری که بیشترین مقدار تعداد برگ و سطح برگ در تیمار فاضلاب و نیاز آبیاری ۱۰۰ درصد، به ترتیب 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 کم آبیاری ۴۰ درصد با میانگین ۲۳/۲۶ سانتی‌متر و بیشترین قطر میوه در تیمار شاهد با میانگین ۶۸/۴۷ سانتی‌متر مشاهده شد.

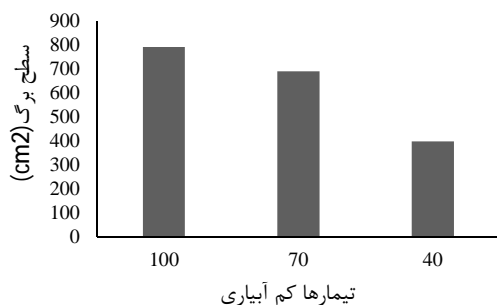
اثر تیمارهای کیفیت آب بر تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمالی ۱ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد؛ به طوری که بیشترین تعداد برگ و سطح برگ در تیمار مخلوط ۵۰ درصد آب شهری و ۵۰ درصد فاضلاب خام، میانگین تعداد برگ برابر با ۳۴۲/۱۱ و میانگین سطح برگ برابر با ۶۹۸/۴۴ سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار صفات در تیمار مخلوط آب شهری و آب تصفیه‌شده به ترتیب میانگین تعداد برگ و سطح برگ برابر با ۲۷۷/۵۶ و ۵۳۵ سانتی‌متر مربع بوده است (شکل ۱) و (شکل ۳). اثر تیمارهای کم آبیاری بر تعداد برگ و سطح برگ، در سطح احتمالی ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود؛ به طوری که با افزایش میزان آبیاری تعداد برگ و سطح



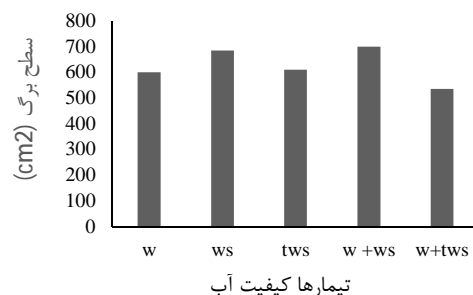
شکل ۲- اثر کم آبیاری بر تعداد برگ در گوجه‌فرنگی



شکل ۱- اثر کیفیت آب آبیاری بر تعداد برگ گوجه‌فرنگی



شکل ۴- اثر کم آبیاری بر سطح برگ در گوجه‌فرنگی



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

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

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

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

پارامترهای بیوشیمیایی

کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و پرولین

نتایج تجزیه 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،

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 ۱۳/۱۸ 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).

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

جدول ۷- تجزیه 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
کاروتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a	پرولین	درجه آزاد	
۰/۰۰۰۲۸ ^{ns}	۵/۸۷**	۱۵/۲۷**	۱/۰۸ ^{ns}	۴	کیفیت آب
۰/۰۰۴۲**	۸/۶۵**	۱۱/۱۳**	۱۱۸/۷۰**	۲	کم‌آبیاری
۰/۰۰۰۶۰**	۴/۷۲**	۲۶/۷۲**	۱/۵۷ ^{ns}	۸	کیفیت* کم
۰/۰۰۰۱۵	۲/۶	۰/۹۲	۲/۷۳	۳۰	خطا

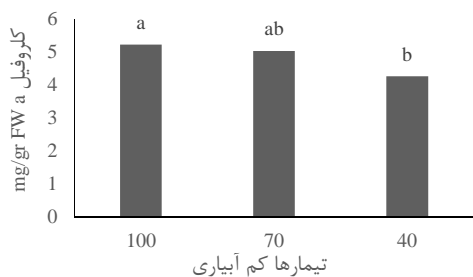
ns و **، به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، وجود معنی‌دار در سطح ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

صفات تعداد برگ، سطح برگ و صفات فتوشیمیایی مانند کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید می‌شود؛ اما کم‌آبیاری باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت گرفتن تنش به مقدار آن افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کمبود آب گیاه به‌منظور جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد. افزایش غلظت پرولین در اندام‌های گیاه در اثر ممانعت از تجزیه پرولین برای جلوگیری از ورود به چرخه ساخت پروتئین یا افزایش تجزیه 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 نسبت به آب چاه، اثرات مثبتی بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه یونجه داشته است که نتایج این مطالعات نیز با نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش سازگار است.

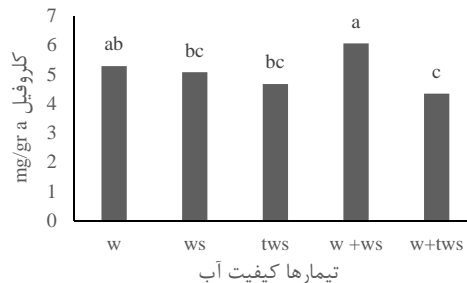
پرولین

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).

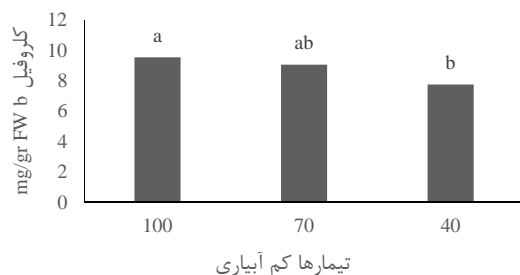
می‌توان چنین بحث کرد که واکنش گیاه به تنش خشکی به ماهیت کمبود آب وابسته است و می‌تواند به‌صورت پاسخ‌های فیزیولوژیک کوتاه‌مدت یا بلندمدت باشد. تغییرات محتوی رطوبتی برگ و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و شاخصی از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (رزمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ لوگینی و همکاران، ۱۹۹۹)؛ به‌طوری‌که عدم دسترسی گیاه گوجه‌فرنگی به آب کافی، سبب کاهش



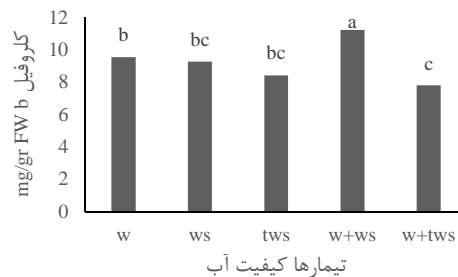
شکل ۶- اثر کم آبیاری بر کلروفیل a



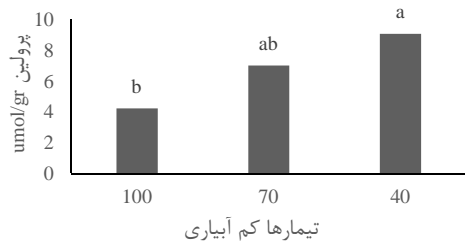
شکل ۵- اثر کیفیت آب آبیاری بر کلروفیل a



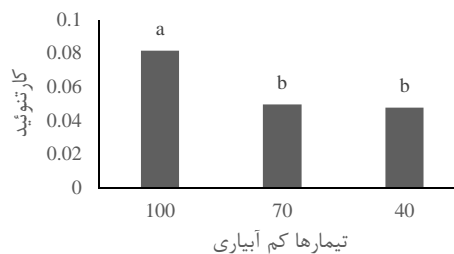
شکل ۸- اثر کم آبیاری بر کلروفیل b برگ



شکل ۷- اثر کیفیت آب آبیاری بر کلروفیل b برگ



شکل ۱۰- اثر کم آبیاری بر پرولین برگ



شکل ۹- اثر کم آبیاری بر کاروتنوئید برگ

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

کاروتنوئید	کلروفیل		تیمار (کیفیت-کم)
	b	a	
	(mg/gr)		
۰/۰۹ ^a	۱۳/۱۸ ^a	۷/۲۶ ^a	ws, ۱۰۰
۰/۰۶ ^{bc}	۱۳/۷۸ ^a	۷/۱۶ ^a	w+ws, ۱۰۰
۰/۰۳ ^{ef}	۱۱/۲۹ ^{ab}	۶/۲۶ ^{ab}	w, ۷۰
۰/۰۷۲ ^{ab}	۱۰/۵ ^{bc}	۵/۷۶ ^{abc}	w+ws, ۴۰
۰/۰۷۴ ^{ab}	۹/۵۳ ^{bcd}	۵/۲۹ ^{bcd}	tws, ۴۰
۰/۰۴۶ ^{cde}	۹/۴۴ ^{bcde}	۵/۲۸ ^{bcd}	w+ws, ۷۰
۰/۰۴۵ ^{cde}	۹/۰۸ ^{bcde}	۵/۰۴ ^{bcd}	w+tws, ۷۰
۰/۰۴ ^{cde}	۹/۰۲ ^{bcde}	۵ ^{bcd}	w, ۱۰۰
۰/۰۳۴ ^{ef}	۸/۹۸ ^{bcde}	۴/۹۹ ^{bcd}	tws, ۷۰
۰/۰۴۴ ^{cde}	۸/۳۳ ^{bcde}	۴/۵۹ ^{cd}	w, ۴۰
۰/۰۳۲ ^{ef}	۷/۴۷ ^{cde}	۴/۱۵ ^{cd}	ws, ۷۰
۰/۰۶۱ ^{bc}	۷/۳۷ ^{de}	۴/۰۹ ^{cd}	w+tws, ۴۰
۰/۰۴۴ ^{cde}	۶/۹۸ ^{de}	۳/۹۵ ^{cd}	w+tws, ۱۰۰
۰/۰۲۲ ^f	۶/۹۲ ^{de}	۳/۸۴ ^{cd}	ws, ۴۰
۰/۰۲۷ ^{ef}	۶/۷۸ ^e	۳/۷۶ ^d	tws, ۱۰۰

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، به ترتیب باعث افزایش ۲۳، ۱۶، ۱۴ و ۱۷ درصد نسبت به 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؛ به طوری که عدم دسترسی گیاه گوجه‌فرنگی به آب کافی، سبب کاهش صفات فیزیولوژیکی مانند تعداد برگ، سطح برگ و صفات فتوشیمیایی مانند کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید می‌شود؛ اما کم‌آبیاری باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت گرفتن 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. مقایسه امکان رشد گیاه ذرت شیرین آبیاری‌شده با پساب بیمارستانی تصفیه‌شده توسط گیاهان و تیورونی. فصلنامه کمیته 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. نشریه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷(۱): ۵۷-۷۰.
۴. زراع ر. سهرانی ت. و متشعزاده 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. و غیائی ع. ۱۳۹۵. بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد و کیفیت ارقام گوجه‌فرنگی تحت کاشت نشانی. نشریه 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 ریشه گیاه آفتاب‌گردان در کم‌آبیاری-آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه. فناوری تولیدات گیاهی، ۶(۱): ۶۹-۷۹.
۷. کرمانی، م. اسدی ر. و سانج ح. ۱۳۹۴. اثر مقادیر مختلف پساب شهری بر عملکرد پنبه با آبیاری قطره‌ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۱): ۶۴-۷۴.
۸. گلچین ل. سلیماسی س. و کلوانق ج. ۱۳۹۳. اثر آبیاری با پساب کارخانه خمیرمایه بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد باقلا. نشریه 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, stomatal conductance and non-stomatal limitation. Iran. J. Agron. 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. Hashemini 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 Reuse 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*. Plant Physiology. 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 Farquhar D. 2002. Improving intrinsic 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.

