نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۵۴-۱۳۹

Water Management in Agriculture
Vol. 12, No. 1, Spring and Summer 2025, 139-154

مقاله علمی -پژوهشی

ارزیابی نقش نوسان دمای هوا بر عملکرد کمی و کیفی فلفل سبز تحت آبیاری با پساب شهری

سعید شیوخی سوغانلو[۱]، حسین بهاری پنبه چوله[۲]، سید محمد موسوی بایگی[۳]

چکیده

آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با فاکتور منبع آبیاری در پنج سطح شامل؛ (پساب (TWW100)، ۷۵٪ پساب + ۲۵٪ آب چاه (TWW75 + WW25)، ۵۰٪ پساب + ۵۰٪ آب چاه (TWW50 + WW50)، ۲۵٪ پساب + ۷۵٪ آب چاه (TWW25 + WW75) و آب چاه (WW100)، با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. بر پایه یافته‌ها، صفات مورفولوژیک فلفل در شرایط آبیاری با پساب در مقایسه با آب چاه افزایش یافت. کاهش دمای بیشینه هوا در زمان برداشت چهارم نسبت به زمان‌های برداشت اول، دوم و سوم به ترتیب با ۷/۶، ۶/۱ و ۴/۹ درجه سانتی‌گراد، موجب شد تا عملکرد میوه فلفل افزایش یابد. به‌طوری‌که عملکرد کل در تیمارهای آبیاری TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به ترتیب با ۱۱/۳، ۸، ۷ و ۲/۷ درصد نسبت به شرایط آبیاری با آب چاه (۳۸۴/۸ کیلوگرم در هکتار)، افزایش یافت. بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای آبیاری TWW100، TWW75-WW25 و TWW50-WW50 به ترتیب با ۸۴/۸، ۸۴/۱ و ۸۳/۲ درصد مهار مشاهده شد. همچنین کمترین میزان فلاونوئید مربوط به شرایط آبیاری WW100 با ۲/۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بود.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، آنتی‌اکسیدان، زمان برداشت، معتدل مرطوب، مورفولوژیک

مقدمه

افزایش دمای جهانی ادامه دارد و تغییرات شدید آب و هوایی به‌ویژه دماهای آستانه می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ به‌طور قابل‌توجهی ادامه یابد (IPCC, 2022). دمای محیط برای رشد گیاه حیاتی است و بر تمام مراحل، از جوانه‌زنی تا رشد رویشی کامل و درنهایت رسیدگی میوه تأثیر می‌گذارد (Dos Santos et al., 2022). در دماهای شدید که باعث آسیب به سازمان سلولی می‌شود، آسیب سلول یا مرگ سلولی می‌تواند در عرض چند دقیقه رخ دهد که به شیوه تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و تولید محصول بیان می‌شود (Raza et al., 2019).

فلفل سبز (*Capsicum annuum* L.)، از خانواده *Solanaceae*، دارای ارزش اقتصادی بالایی است و در سراسر جهان هم به‌صورت تازه‌خوری و هم به‌عنوان ادویه نیز مصرف می‌شود. فلفل سبز همچنین سرشار از ترکیبات مشتق از فنل با خواص فیزیولوژیکی و دارویی بالاست که برای سلامتی انسان بسیار سودمند است (Oh and Koh, 2019). علاوه بر این، فلفل سبز فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد که باعث افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان شده است (Selvakumar et al., 2018). در

[۱] استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران (* نویسنده مسئول: Saeid.Shiukhy@gmail.com)
[۲] دانش آموخته هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب-دانشکده کشاورزی،دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
[۳] استاد، هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، عضو هیات علمی گروه مهندسی آب-دانشکده کشاورزی، مشهد، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

طول دوره‌ی رشد (گلدهی، تشکیل، رشد و رسیدگی میوه)، گیاه فلفل سبز دائماً در معرض تغییرات دما است که رشد و بهره‌وری گیاه را از شیوه‌های مختلفی محدود می‌کند. تانپولوس و همکاران نیز اظهار داشتند که رشد و اندازه میوه‌های فلفل تحت تأثیر دمای هوا، روشنایی در روز و رطوبت نسبی در طول گلدهی، تشکیل، رشد و رسیدگی میوه است(Thanopoulos et al., 2013) . گیاهان به‌ویژه صیفی‌جاتی که در مناطق دارای آب‌وهوای معتدل مرطوب و مدیترانه‌ای کشت می‌شوند، ارتباط تنگاتنگی با دما و رطوبت هوا دارند که به‌طور قابل‌توجهی با فصل در نوسان است؛ بنابراین، استراتژی‌هایی برای افزایش عملکرد میوه و کیفیت میوه از طریق سیستم‌های کشت خاص موردنیاز است. در تابستان گیاهان اغلب در معرض دماهای بالا و رطوبت کم هستند، در حالی که با فرارسیدن فصل پاییز بر میزان رطوبت هوا افزوده شده و از میزان دما تا اندازه‌ای کاسته می‌شود (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۳). در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد اندازه میوه به دلیل گرده‌افشانی ناکارآمد، کاهش می‌یابد که باعث کاهش طول میوه و ناهنجاری احتمالی میوه می‌شود. در شرایط طول روز کوتاه، نور باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود، درحالی‌که در مورد نور شدید خورشید، سایه‌دهی باعث افزایش ابعاد برگ، محتوای ماده خشک گیاه و رشد میوه می‌شود. از سوی دیگر، رطوبت نسبی عمدتاً بر روی تشکیل میوه تأثیر می‌گذارد و بر رشد و رسیدگی میوه تأثیر چندان محسوسی ندارد (Islam et al., 2011).

فلفل سبز از مناطق گرمسیری سرچشمه می‌گیرد و برای رشد رویشی و رشد میوه به دمای بالا نیاز دارد. دمای مناسب برای رشد فلفل سبز ۲۵–۲۸ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸–۲۲ درجه سانتی‌گراد در طول شب است. هنگامی‌که دما به کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد یا از ۳۲ درجه سانتی‌گراد بیشتر می‌شود، رشد معمولاً به تأخیر می‌افتد و عملکرد کاهش می‌یابد (Ujjal Husen et al., 2023). دمای کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش رشد کلی گیاه و همچنین گلدهی و تشکیل میوه می‌شود، درحالی‌که دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش شدید میوه‌های کوچک، بیمار یا تغییر شکل یافته می‌شود و درنتیجه کیفیت میوه کاهش می‌یابد (Rosmaina et al., 2022). برخی از مطالعات گزارش کردند که افزایش دمای ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش بهره‌وری گیاه می‌شود. به‌طور مثال کاهش ۳/۲ درصدی در برنج (Jin and Zhu, 2020) و کاهش ۷ تا ۱۰/۵ درصد در گندم (Lu et al., 2019). بااین‌حال، هیچ گزارشی از کاهش سطح تولید در فلفل سبز ناشی از افزایش شدید دما ارائه نشده است.

بحران کم‌آبی و چالش کمبود منابع آب در آینده نزدیک، نگرانی‌ها و مشکلات بسیار جدی را برای کشاورزان ایجاد نموده است؛ بنابراین، طی سالیان اخیر توجه برنامه‌ریزان و متخصصین علـوم کشاورزی بـه اسـتفاده از آب‌های نامتعارف معطـوف شده است (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۲). کاهش هزینه تأمین منبع آبِ آبیاری و کاهش هزینه استفاده از کودهای شیمیایی را می‌توان از بارزترین و مهم‌ترین مزایای استفاده از پساب در کشاورزی به‌حساب آورد (فرمانی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۶). ازآنجاکه پساب حاوی غلظت مطلوبی از عناصر غذایی است منجر به افزایش تولید محصول می‌شود که از دلایل عمده آن می‌توان به بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک، اشاره کرد (Tripathi et al., 2016). از طرف دیگر برخی پیامدهای نامطلوب استفاده از پساب موجب شده است که بهره‌گیری از این منابع در کـشاورزی با شک و تردید مواجه شود (علیزادگان و همکاران، ۱۴۰۱). بسته به منبع پساب که ممکن است صنعتی، شهری و یا تصفیه‌شده یا نشده باشند، معمولاًحاوی عناصر سمی می‌باشند که هر یک می‌تواند در خاک و گیاه انباشته‌شده و درنتیجه سلامتی انسان را تهدید نماید (Tabatabaei et al., 2020). فلزاتی مانند روی، کادمیوم، سرب، آهن، مس و نیکل اگر به مقدار زیاد به خاک وارد شوند، ممکن است باعث سمیت خاک شده و درصورتی‌که در اختیار گیاه قرار بگیرند، سمیت و آلودگی در گیاه ایجاد نمایند (Gatta et al., 2015).

در طی سالیان اخیر در استان مازندران کشاورزان نیز بدلیل افزایش دما در اواخر فصل بهار و در طی روزهای فصل تابستان، با مشکلات بسیاری در تولید فلفل مواجه هستند و شاهد افزایش محسوس و قابل‌توجه دما نسبت به گذشته می‌باشند. از سوی دیگر با کاهش نزولات جوی و عدم توزیع نامناسب بارندگی‌ها در طول

فصل رشد و نمو گیاه فلفل سبز، میزان تولید این محصول دستخوش کاهش قابل‌ملاحظه‌ای شده است که برای کشاورزان به‌ویژه روستاییان و صاحبان کسب‌وکار روستایی نگرانی‌هایی را ایجاد کرده است؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی نقش دمای هوا بر عملکرد کمی و کیفی فلفل سبز در زمان‌های برداشت مختلف تحت آبیاری با پساب شهری بود تا علاوه بر ارزیابی پتانسیل تولید محصول، بتوان مناسب‌ترین و با کیفیت‌ترین میوه-های فلفل را در طول زمان‌های برداشت مختلف شناسایی کرد و برای مصارف گوناگون مورد استفاده و بهره‌برداری قرار داد.

مواد و روش‌ها

شهرستان ساری (مزرعه آزمایشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی) با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب با (53° 00′ E) و (36° 33′ N)، ارتفاع از سطح دریا (۱۰- متر)، میانگین دمای سالانه (۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد) و میانگین بارندگی سالانه (۶۵۰ میلی‌متر) واقع شده است (علیزادگان و همکاران، ۱۴۰۱). شرایط آب و هوایی محل آزمایش براساس طبقه‌بندی اقلیمی گسترش یافته دومارتن، معتدل مرطوب می‌باشد. ویژگی‌های منبع پساب و آب چاه در جدول (۱)، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول (۲) و سایر اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی منطقه در طول فصل رشد و نمو گیاه فلفل سبز در جدول (۳)، ارائه گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی آب چاه، پساب و حداکثر حد مجاز استفاده از آب پساب برای مصارف کشاورزی بر اساس برخی استانداردهای موجود

ویژگی‌ها	واحد	آب چاه	پساب	استانداردهای پساب برای کشاورزی		
				WHO (1992)	FAO (2006)	IRNDOE
اسیدیته	–	۷/۸	۷/۹	۶-۸/۵	۶-۸/۵	۶-۸/۵
هدایت هیدرولیکی	دسی زیمنس بر متر	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۷	۰/۷	-
کدورت	–	۱۱	۳/۵۳	-	-	۵۰
کل مواد جامد معلق	میلی‌گرم بر لیتر	۱۸	۴۱/۱	-	-	۱۰۰
کل مواد جامد محلول	–	۴۹۵	۶۲۸/۵	۴۵۰	۴۵۰	-
فسفر کل	میلی‌گرم بر لیتر	۲/۱۹	۴/۱۲	۴	۴	۶
اکسیژن خواهی شیمیایی	میلی‌گرم بر لیتر	۳	۱۸/۱۳	-	-	۲۰۰
نیتروژن کل	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۸	۱۱/۵۷	-	-	-
کلسیم	میلی‌گرم بر لیتر	۶۶	۷۳/۴۸	-	-	-
سدیم	میلی‌گرم بر لیتر	۷۵/۴	۹۵/۲۱	-	-	-
منیزیم	میلی‌گرم بر لیتر	۱۵/۹	۱۹/۸	-	-	۱۰۰
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی	میلی‌گرم بر لیتر	۱	۵/۷	-	-	۱۰۰

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد فلفل

مزرعه آزمایش	رس	سیلت	شن	اسیدیته	هدایت الکتریکی	مواد آلی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب
	درصد				دسی زیمنس بر متر	درصد			میلی‌گرم در کیلوگرم	
	۲۳	۴۰	۳۷	۷/۶	۱/۸	۲	۱/۲	۰/۱	۱۳	۳۷۰

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش (سازمان هواشناسی ایران)

فصل رشد	پارامتر				
	دمای کمینه (T_{min}) درجه سانتی‌گراد	دمای بیشینه (T_{max}) درجه سانتی‌گراد	متوسط دما ($T_{average}$) درجه سانتی‌گراد	بارندگی (P) میلی‌متر	تبخیر (E) میلی‌متر
تیر (July)	۲۸/۷	۳۷/۸	۳۲/۷	۱۴/۸	۱۷۸/۲
مرداد (August)	۲۲/۸	۳۵/۱	۲۸/۶	۲/۹	۲۰۵/۸
شهریور (September)	۱۹/۳	۳۰/۱	۲۳/۹	۳۶/۱	۱۳۵/۸
مهر (October)	۱۴/۴	۲۶/۱	۱۹/۵	۱۴۵	۶۷
میانگین (Average)	۲۱/۷	۳۲/۵	۲۶/۴	۴۹/۷	۱۴۹/۳

آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با فاکتور نوع منبع آبیاری در پنج سطح شامل؛ (۱۰۰٪ پساب (TWW۱100)، ترکیب ۷۵٪ پساب + ۲۵٪ آب چاه (TWW75 + WW25)، ترکیب ۵۰٪ پساب + ۵۰٪ آب چاه (TWW50 + WW50)، ترکیب ۲۵٪ پساب + ۷۵٪ آب چاه (TWW25 + WW75) و ۱۰۰٪ آب چاه ($WW^{۲}$100)، با ۳ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. نشاهای فلفل سبز رقم همدانی، در تاریخ ۱ تیر، در کرت‌های آزمایشی به ابعاد ۳ × ۲ متر (طول و عرض) و در ردیف‌هایی با فاصله ۶۰ سانتی‌متر که در هر ردیف نشاها به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار داشتند، کشت شد. فاصله کرت‌ها در داخل هر بلوک ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۲ متر در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پایان عملیات کاشت، آبیاری انجام شد. رطوبت خاک با استفاده از تانسیومتر پایش و زمانی‌که (SWC =70) می‌رسید، آبیاری صورت می‌گرفت. پس از رسیدن گیاه به مرحله ۱۰-۱۲ برگی، تیمارهای تنش خشکی در هر دور از آبیاری اعمال شدند. آبیاری به‌صورت دستی (آبیاری سطحی) انجام شد.

سنجش ویژگی‌های مورفولوژیکی

پیش از زمان برداشت میوه، ۶ بوته از خطوط میانی در هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای انتخاب شد و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه اندازه‌گیری شد. شاخص سطح برگ با استفاده از نرم افزار Image J و برای یک سطح معین، حاصل از یک کوادرات (۶۰×۳۰) محاسبه شد. پس از برداشت کامل گیاه، ارتفاع هر بوته از پایین‌ترین قسمت (سطح خاک) تا بالاترین قسمت ساقه اصلی گیاه، با استفاده از متر اندازه‌گیری شد. قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر در سه قسمت پایین، وسط و بالای ساقه اندازه‌گیری شد و میانگین آن ثبت گردید. وزن تر ریشه و اندام هوایی، به وسیله ترازو مدل AND MA1000 با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. در ادامه، ریشه و اندام هوایی گیاه درون آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و وزن خشک ریشه و اندام هوایی توزین شد. عملکرد فلفل سبز نیز در طی چهار مرحله برداشت ۴۰، ۵۵، ۷۰ و ۸۵ روز پس از کاشت (به فاصله ۱۵ روز) به‌طور جداگانه توزین شد.

سنجش ویژگی‌های بیوشیمیایی

برای سنجش درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH)، یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی را به یک میلی‌لیتر DPPH و برای شاهد به‌جای عصاره متانولی از متانول خالص استفاده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک نگهداری شدند. در پایان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای سنجش محتوای فلاونوئید از روش رنگ‌سنجی کلرید آمونیوم استفاده می‌شود. برای تهیه عصاره

[1] Treated wastewater

[2] Well water

خشک، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول و ۰/۱ سی‌سی آلومینیوم کلرید ۱۰٪ با ۰/۱ سی‌سی استات پتاسیم یک مولار به‌همراه ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد تا نمونه نهایی حاصل شود. سپس مخلوط ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار داده شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت گردید. عدد بدست آمده برای فلاونوئید با رجوع به منحنی استاندارد تبدیل به میزان واقعی شد و در نهایت بر حسب اکی‌والان کوئرستین در یک گرم عصاره خشک محاسبه شد. سنجش محتوای ترکیبات فنلی کل با استفاده از روش معرف فولین سیو-کالتیو انجام شد. برای عصاره‌گیری، ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره متانولی با ۲/۵ میلی‌لیتر فولین سیو کالتیو مخلوط گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم اضافه شد. محلول فوق ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفت و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. عدد به دست آمده برای ترکیبات فنلی کل با رجوع به منحنی استاندارد تبدیل به میزان واقعی شد و در نهایت بر حسب اکی‌والان گالیک اسید در یک گرم عصاره خشک محاسبه شد (شیوخی سوغانلو و رائینی سرجاز، ۱۳۹۷). در پایان داده‌های بدست آمده با بهره‌گیری از نرم افزار SASver9.2 تجزیه‌وتحلیل شدند و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس تاثیر آبیاری با پساب بر صفات مورفولوژیکی گیاه فلفل، معنی‌دار بود. به‌طوری‌که نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، شاخص سطح برگ و بهره‌وری آب ($P \leq 0.01$)، قطر ساقه و وزن تر ریشه ($P \leq 0.05$) تحت تاثیر آبیاری با پساب قرار گرفتند (جدول ۴).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس تاثیر نوع منبع آبیاری بر صفات مورفولوژیک گیاه فلفل

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی df	میانگین مربعات							
		ارتفاع گیاه PH	قطر ساقه SD	وزن تر ریشه RFW	وزن خشک ریشه RDW	وزن تر اندام هوایی SFW	وزن خشک اندام هوایی SDW	شاخص سطح برگ LAI	بهره‌وری آب WP
		سانتی متر	میلی‌متر	کیلوگرم در هکتار				–	مترمکعب
بلوک	۲	۹/۴۰۳۷ns	۰/۱۹۵۰ns	۵/۱۹۲۶ns	۱۲/۱۹۴ns	۷۴/۱۷۸۶ns	۶۰/۴۸۲ns	۰/۰۲ns	۰/۰۰۶ns
منبع آب	۴	۱۱۳/۶۰۱۵**	۰/۷۵۷۱*	۴۹/۵۲۸۳*	۸۳/۷۳۴**	۲۰۵۷/۳۴۳۳**	۱۱۴۶/۳۶**	۰/۲۴**	۰/۰۳**
خطا	۸	۳/۵۷۵۸	۰/۱۳۱۸	۱۲/۹۶۱۸	۷/۰۸۶۵	۴۰/۹۳۷۸	۲۲/۵۴۷	۰/۰۱	۰/۰۰۰۶
کل	۱۴	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات	-	۴/۱	۴/۴	۲/۳	۶/۹	۰/۹	۱/۳	۴/۱۲	۱/۲

**,* and ns: showed significant level at 0.01, 0.05 and non- significant, respectively.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمارهای آبیاری TWW100، TWW75-WW25 و TWW50-WW50 به ترتیب با ۵۰/۹، ۴۹ و ۴۸/۴ سانتی‌متر بود و کمترین مقدار ارتفاع گیاه در شرایط WW100 با ۳۵/۷ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین بیشترین قطر ساقه در تیمار TWW100 با ۸/۹ میلی‌متر مشاهده شد و کمترین مقدار آن، مربوط به تیمار آبیاری TWW25-WW75 با ۷/۵ میلی‌متر بود. همچنین نتایج حاکی از آن بود که در تیمار آبیاری TWW100، بیشترین وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب با ۱۶۰/۵ و ۴۶/۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان وزن تر و خشک ریشه در تیمار آبیاری WW100 به‌ترتیب با ۱۵۰/۵ و ۳۲/۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، اثر

آبیاری با پساب نشان داد که بالاترین میزان وزن تر اندام هوایی گیاه فلفل در تیمار آبیاری TWW100 با ۷۳۰/۵ کیلوگرم در هکتار و پایین‌ترین میزان وزن تر اندام هوایی نیز در تیمارهای آبیاری TWW25-WW75 و WW100 به ترتیب با ۶۸۸/۹ و ۶۶۴/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. درحالی‌که بیشترین وزن خشک اندام هوایی، مربوط به تیمار آبیاری TWW100، با ۳۹۲/۲ و کمترین مقدار آبیاری در تیمار WW100، با ۳۳۸/۳ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمارهای آبیاری TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW100 با مقادیر به ترتیب ۳/۴۶، ۳/۳۶ و ۳/۲۶ و کمترین مقدار شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری TWW25-WW75 و WW100 با مقادیر به ترتیب ۳ و ۲/۷۶ مشاهده شد. همچنین میزان شاخص سطح برگ در تیمار WW100 نسبت به TWW100، ۱۵/۳ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه فلفل در طول فصل رشد

تیمارها	ارتفاع گیاه PH	قطر ساقه SD	وزن تر ریشه RFW	وزن خشک ریشه RDW	وزن تر اندام هوایی SFW	وزن خشک اندام هوایی SDW	شاخص سطح برگ LAI	بهره‌وری آب WP
	سانتی متر	میلی‌متر	سانتی متر					مترمکعب
TWW100	۵۰/۹a	۸/۹a	۱۶۰/۵a	۴۶/۱a	۷۳۰/۵a	۳۹۲/۲a	۳/۴۶a	۲/۳a
TWW75-WW25	۴۹a	۸/۴ab	۱۵۷/۸ab	۴۱/۱ab	۶۸۵/۵ b	۳۶۰b	۳/۴۴a	۲/۲b
TWW50-WW50	۴۸/۴a	۸/۱bc	۱۵۶/۱abc	۳۷/۲bc	۶۸۳/۹ b	۳۵۷/۲b	۳/۳۶a	۲/۲b
TWW25-WW75	۴۳/۲b	۷/۵c	۱۵۲/۲bc	۳۶/۱bc	۶۶۸/۹c	۳۵۶/۱b	۳b	۲/۱c
WW100	۳۵/۷c	۸/۱bc	۱۵۰/۵c	۳۲/۲c	۶۶۴/۴c	۳۳۸/۳c	۲/۷۶b	۲d

Means with the same letter are not significantly different.

پساب حاوی مقادیر زیادی از عناصر مغذی مورد نیاز گیاه می‌باشد که با توجه به کیفیت پساب مورد استفاده با فراهم آوردن این عناصر برای گیاه، باعث رشد اندام‌های مختلف گیاهی می‌شود که به دنبال آن، موجب بهبود عملکرد محصول و مواد فتوسنتزی می‌شود (علیزادگان و همکاران، ۱۴۰۱). بدیعی و همکاران (۱۳۹۵) افزایش سطح برگ و به دنبال آن افزایش عملکرد محصول را، به فراهمی نیتروژن خاک و افزایش جذب آن توسط گیاه نسبت دادند. سواین و همکاران اظهار داشتند که کاربرد حجم بالای پساب در مقایسه با تیمار شاهد (آب چاه)، باعث افزایش وزن تر برگ، شاخص سبزینگی و ارتفاع گیاه شد (Swain et al., 2020). حاجی‌هاشمی و همکاران بیان کردند که پساب باعث افزایش کارایی مصرف آب و ویژگی‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل، رنگدانه‌های فتوسنتزی و فتوسنتز خالص شد و به دنبال آن شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه و عملکرد دانه نیز افزایش پیدا کرد (Hajihashemi et al., 2020). نتایج پژوهش زارع و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که بکار بردن پساب برای آبیاری، باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل، کلروفیل برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی لوبیاچیتی نسبت به تیمار شاهد شد. خوش‌روش و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که آبیاری با پساب مغناطیسی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در ذرت نسبت به پساب غیرمغناطیسی شد. همچنین با افزایش استفاده از پساب، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت افزایش یافت.

عملکرد میوه

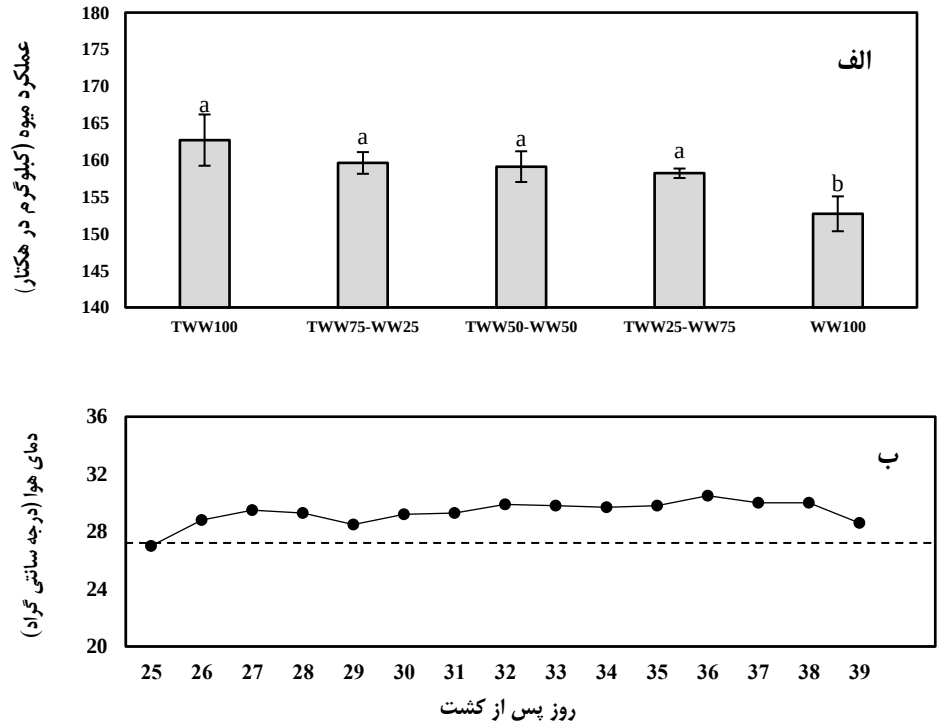
نتایج تجزیه واریانس تاثیر آبیاری با پساب بر میزان عملکرد گیاه فلفل در تمامی زمان‌های برداشت مختلف، در جدول (۶) ارائه گردید. نتایج نشان داد که عملکرد گیاه طی چهار مرحله برداشت میوه فلفل (۴۰، ۵۵، ۷۰ و ۸۵ روز پس از کاشت)، تحت تاثیر آبیاری با پساب قرار گرفت. به‌طوری‌که اثر آبیاری با پساب بر میزان عملکرد گیاه فلفل در برداشت‌های اول و دوم معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). این در حالی بود که اثر آبیاری با پساب بر عملکرد گیاه فلفل در برداشت‌های سوم، چهارم و عملکرد کل بسیار معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$).

بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان عملکرد در برداشت اول مربوط به تیمارهای TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به‌ترتیب ۱۸۶/۳، ۱۸۰، ۱۷۶/۹ و ۱۷۵/۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان برداشت در تیمار WW100، با وزن ۱۵۸/۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۱- الف). همانطور که در شکل ۱- الف ملاحظه می‌شود، میزان عملکرد در تیمار آبیاری WW100 نسبت به تیمارهای TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به‌ترتیب با ۱۵، ۱۲، ۱۰/۴ و ۹/۸ درصد کاهش مواجه شد. همچنین تغییرات دمای روزانه هوا در طی فصل رشد، از دو هفته قبل از برداشت اول (۴۰-۲۵ روز پس از کاشت)، بین ۲۷ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد بود و همین امر باعث شد تا عملکرد گیاه نسبت به برداشت‌های دوم، سوم و چهارم بسیار کم باشد. با توجه به اینکه دمای هوای مطلوب برای تشکیل، رشد و رسیدگی میوه فلفل، ۲۵ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، کاهش عملکرد میوه در این زمان از برداشت قابل توجیه می‌باشد (شکل ۱- ب).

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس تاثیر پساب بر میزان عملکرد در زمان‌های برداشت مختلف

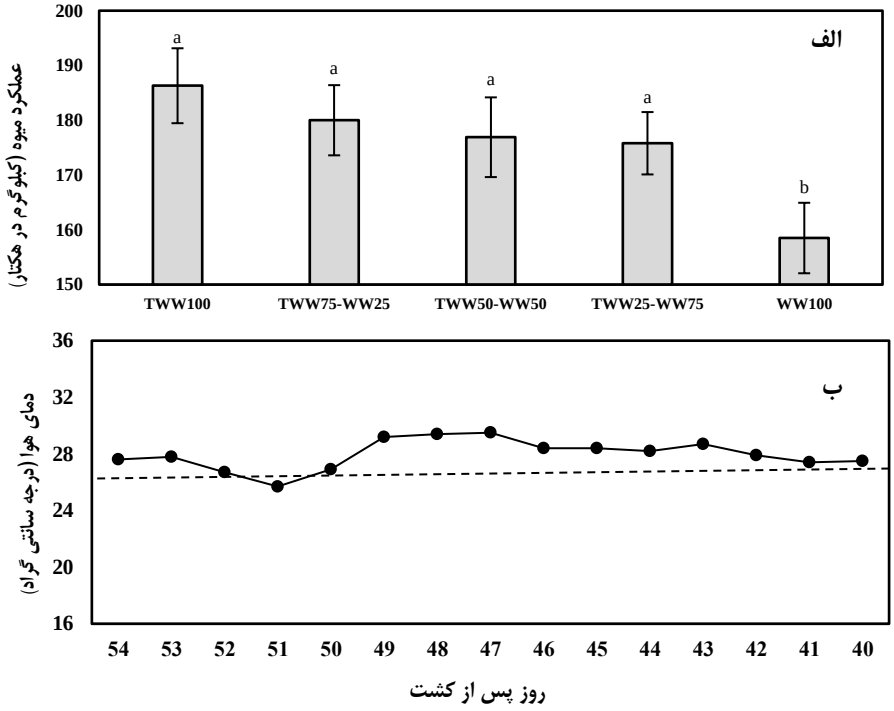
منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		برداشت اول	برداشت دوم	برداشت سوم	برداشت چهارم	عملکرد کل
		کیلوگرم در هکتار				
بلوک	۲	۱۸۷/۳۶ns	۰/۹۳ns	۰/۶۵ns	۱/۷۱ ns	۲۲۳/۷۲ ns
منبع آب	۴	۳۲۰/۳۶*	۴۰/۲۳*	۱۷۰۵/۵۶**	۱۷۰۷/۶۶**	۱۰۸۹۶/۲۳**
خطا	۸	۴۷/۵۶	۵/۹۴	۵/۱۳	۲/۷۳	۵۸/۷۲
کل	۱۴	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (C.v)	-	۳/۹	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۵

**,* and ns: showed significant level at 0.01, 0.05 and non- significant, respectively



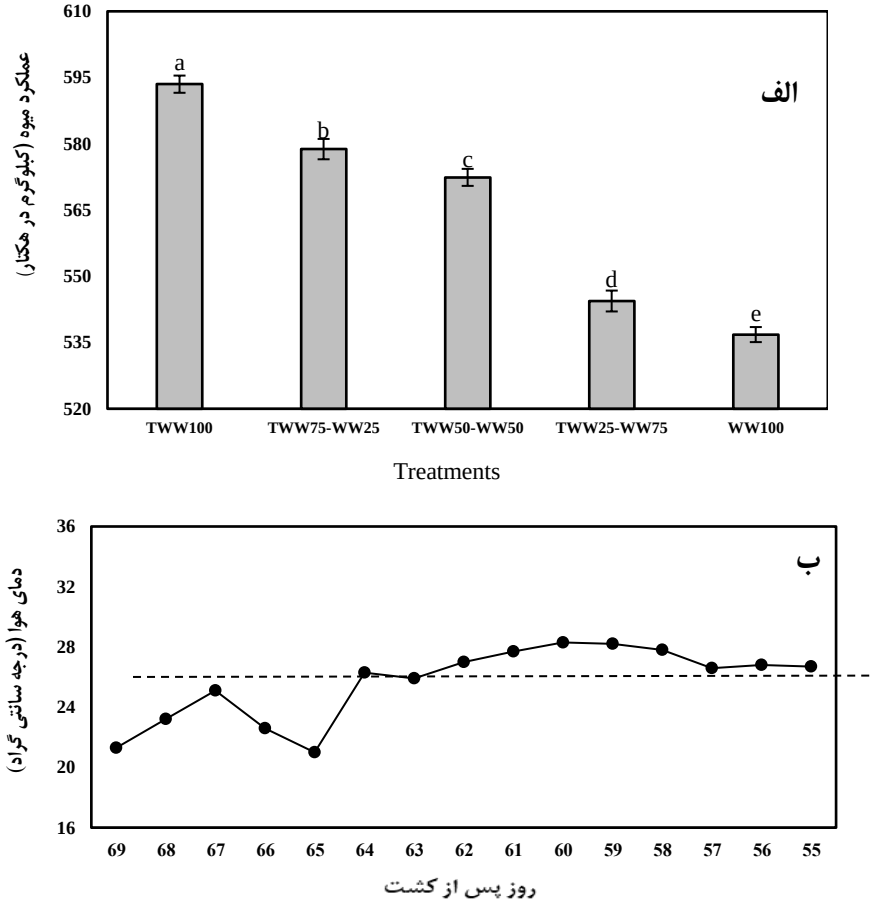
شکل ۱- میزان تغییرات عملکرد میوه میان تیمارهای آبیاری (الف) و نوسان دما در طول زمان برداشت اول (٤٠ روز پس از کاشت)

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد در برداشت دوم، مربوط به تیمارهای TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به‌ترتیب ۱۶۲/۷، ۱۵۹/۶، ۱۵۹/۱ و ۱۵۸/۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان برداشت در تیمار WW100، با وزن ۱۵۲/۷ کیلوگرم در هکتار بود. همانطور که در شکل ۲- الف مشاهده می‌شود، میزان عملکرد در تیمار آبیاری WW100 نسبت به تیمارهای TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به‌ترتیب ۶/۱، ۴/۳، ۴ و ۳/۴ درصد کاهش یافت. همچنین تغییرات دمای هوا از زمان برداشت اول تا فرارسیدن زمان برداشت دوم (۴۰- ۵۵ روز پس از کاشت)، بین ۲۵/۷ تا ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد بود. در برداشت دوم نسبت به برداشت اول، بیشینه و کمینه دمای هوا تا حدودی کاهش داشت و متناسب با آن، میزان عملکرد نسبت به برداشت اول، نیز دستخوش تغییرات قابل توجهی شد و میزان عملکرد با افزایش همراه بود (شکل ۲- ب).



شکل ۲- میزان تغییرات عملکرد میوه میان تیمارهای آبیاری (الف) و نوسان دما (ب) در طول زمان برداشت دوم (۵۵ روز پس از کاشت).

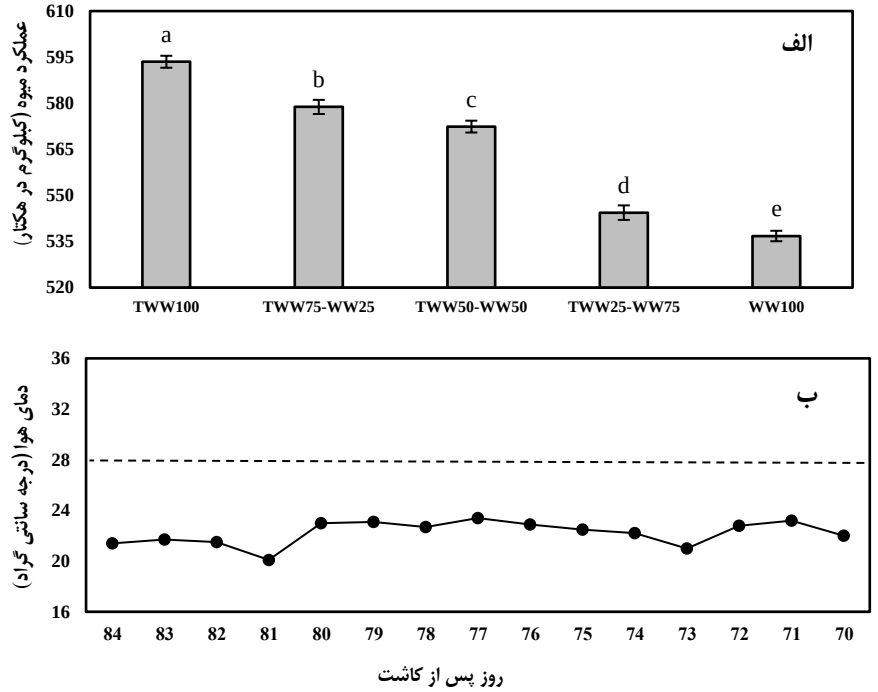
بر پایه یافته‌های بدست آمده از مقایسه میانگین‌ها، در زمان برداشت سوم، بیشترین میزان عملکرد در تیمار آبیاری با پساب TWW100 با ۴۹۷/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین میزان عملکرد مربوط به تیمار آبیاری WW100 با ۴۴۱ کیلوگرم در هکتار بود. همانطور که در شکل ۳- الف مشاهده می‌شود، میزان عملکرد در تیمار آبیاری WW100 نسبت به تیمارهای TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به‌ترتیب ۱۰/۵، ۷/۸، ۶/۶ و ۱/۴ درصد کاهش را به دنبال داشت. تغییرات دمای هوا در حدفاصل بین زمان‌های برداشت دوم و سوم (۷۰-۵۵ روز پس از کاشت)، بین ۲۱ تا ۲۸/۳ درجه سانتی‌گراد در نوسان بود. به‌طوری‌که می‌توان گفت که کاهش دمای کمینه و بیشینه هوا نسبت به زمان‌های برداشت اول و دوم، باعث شد تا برداشت سوم در مقایسه با دو برداشت اول و دوم، افزایش چشمگیری را در میزان عملکرد نشان دهد (شکل ۳- ب).



شکل ۳- میزان تغییرات عملکرد میوه میان تیمارهای آبیاری (الف) و نوسان دما (ب) در طول زمان برداشت سوم (۷۰ روز پس از کاشت)

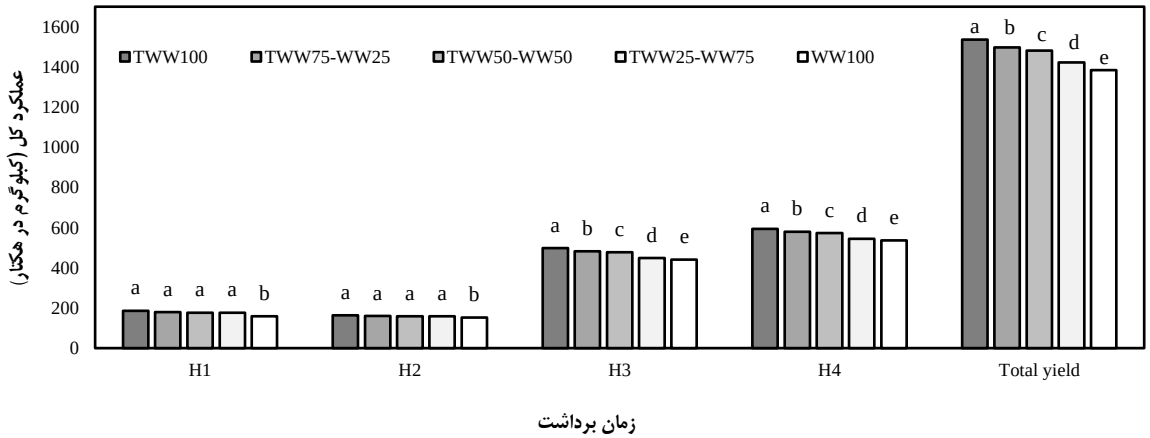
در برداشت چهارم بیشترین و کمترین میزان عملکرد را تیمارهای TWW100 و WW100 به ترتیب با ۵۹۳/۵ و ۵۳۶/۸ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص دادند (شکل ۴- الف). همانطور که در شکل ۴- الف مشاهده می‌شود، میزان عملکرد در تیمار آبیاری WW100 نسبت به تیمارهای TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به‌ترتیب ۱۱، ۸، ۶/۶ و ۲/۷ درصد کاهش را نشان داد. در بازه زمانی برداشت سوم تا برداشت چهارم (۷۰- ۸۵ روز پس از کاشت)، نوسان دمای هوا بین ۲۰/۱ تا ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بود که این کاهش دمای بیشینه و کمینه نسبت به دماهای ثبت شده در برداشت‌های اول، دوم و سوم بسیار قابل توجه بود (شکل ۴- ب).

به‌طور کلی، عملکرد کل میوه در بین تیمارهای آزمایش نشان داد که در شرایط آبیاری با پساب و یا ترکیب‌های مختلف آن با آب چاه نسبت به آب چاه نتایج مطلوب‌تری حاصل شد. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد کل در تیمارهای آبیاری TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به ترتیب با ۱۵۳۶، ۱۴۹۷/۲، ۱۴۸۰/۸ و ۱۴۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که در مقایسه با تیمار آبیاری با آب چاه WW100 با ۱۳۸۴/۸ کیلوگرم در هکتار، برتری محسوسی داشتند (شکل ۵).



شکل ٤- میزان تغییرات عملکرد میوه میان تیمارهای آبیاری (الف) و نوسان دما در طول زمان برداشت اول (۸۵ روز پس از کاشت)

بررسی روند دمای هوای ثبت شده در طول زمان‌های برداشت مختلف میوه فلفل نشان داد که میزان عملکرد میوه به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر دمای هوا قرار داشت. به‌نحوی‌که در زمان‌های برداشت‌های اول و دوم، میزان دمای هوا بالاتر از حد دمای هوای مطلوب برای تشکیل، رشد و رسیدگی میوه فلفل بود و میزان عملکرد پایین در برداشت‌های اول و دوم، موید تاثیر دمای هوای بالاتر از حد بهینه میوه‌دهی بود. در واقع، اختلاف دمای بیشینه هوا بین زمان برداشت چهارم با زمان‌های برداشت اول، دوم و سوم به‌ترتیب برابر با ۷/۶، ۶/۱ و ۴/۹ درجه سانتی‌گراد بود. این اختلاف دمای محسوس و بسیار قابل توجه باعث شد تا عملکرد گیاه فلفل در بین تمامی تیمارهای آزمایش در زمان‌های برداشت مختلف، بسیار محسوس و به‌طور کاملاً مشهودی افزایش یابد.



شکل ۵- مقایسه میزان تغییرات عملکرد میوه در هریک از زمان‌های برداشت و عملکرد کل میوه در طول فصل رشد فلفل سبز

استفاده از پساب بدلیل بهبود بخشیدن به شرایط فیزیکی خاک و فراهم نمودن نیتروژن در خاک، شرایط مورد نیاز برای افزایش رشد و عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه را فراهم ساخته که موجب افزایش معنی‌دار عملکرد می‌گردد (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۳). گیاهان با قرار گرفتن در شرایط کم‌آبی، به افت بسیار آشکاری در ساختمان سلول و توسعه آن به خصوص در اندام‌های هوایی (ساقه و برگ‌ها) دچار می‌شوند. آبیاری با پساب به‌خوبی می‌تواند عناصر غذایی موردنیاز گیاه را فراهم کرده و موجب افزایش رشد و عملکرد شود (Mahfooz et al., 2020؛ علیزادگان و همکاران، ۱۴۰۱). بر طبق گزارشات قضاوی و ارست (۱۳۹۵)، زمانی که گیاه در مرحله زایشی باشد، وجود به اندازه‌ی عناصر غذایی، در پر کردن دانه‌های گیاه گندم نقش مهمی دارد. در این راستا نتایج پژوهش‌های (Mousavi and Shahsavari, 2014؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Nazario et al., 2019؛ Singh et al., 2021)، نیز بر بهره‌گیری از پساب تاکید دارند. یافته‌های بدست آمده از پژوهش حاضر، با نتایج محققان ذکر شده همخوانی داشت و این در حالی بود که پانوراس و همکاران معتقدند استفاده از منابع آب چاه و پساب بر میزان رشد و عملکرد گیاه ذرت تفاوت چندانی نداشت (Panoras et al., 2013). طبق گزارشات یزدانی و همکاران (۱۳۹۶)، بیشترین تعداد سنبله و عملکرد دانه‌ی گیاه جو در تیمارهایی مشاهده شد که از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری‌ها استفاده کرده بودند.

ویژگی‌های بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس تاثیر آبیاری با پساب شهری بر ویژگی‌های میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فلاونوئید میوه فلفل، بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). درحالی‌که بر میزان محتوای فنل کل، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس تاثیر آبیاری با پساب بر میزان ویژگی‌های بیوشیمیایی

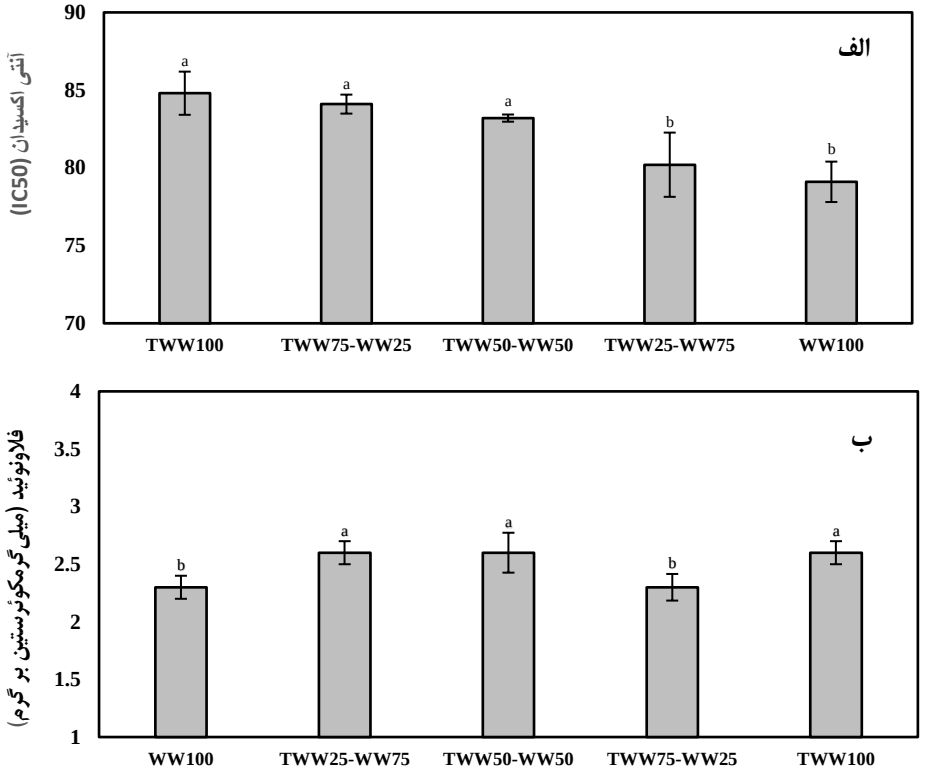
منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی df	میانگین مربعات		
		آنتی‌اکسیدان Antioxidant	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoid
بلوک	۲	۰/۶۳۲۰ns	۰/۰۳۲۶ns	۰/۰۶۶۶*
منبع آب	۴	۱۸/۹۴۱۶**	۰/۰۱۳۳ns	۰/۰۶۲۳**
خطا	۸	۱/۹۲۱۱	۰/۰۳۶۸	۰/۰۰۸۳
کل	۱۴	-	-	-
ضریب تغییرات (C.v)	-	۱/۶	۴/۱	۳/۶

**,* and ns: showed significant level at 0.01, 0.05 and non- significant, respectively.

بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای آبیاری TWW100، TWW75-WW25 و TWW50-WW50 به‌ترتیب با ۸۴/۸، ۸۴/۱ و ۸۳/۲ درصد مهار مشاهده شد درحالی‌که کمترین میزان آن مربوط به تیمارهای TWW25-WW75 و WW100 به‌ترتیب با ۸۰/۲ و ۷۹/۱ درصد مهار بود (شکل ۶- الف). همچنین بیشترین میزان فلاونوئید در تیمارهای آبیاری TWW100، TWW50-WW50 و TWW25-WW75 به‌ترتیب با ۲/۶، ۲/۶ و ۲/۶ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم مشاهده شد درحالی‌که کمترین میزان آن مربوط به تیمارهای آبیاری TWW75-WW25 و WW100 به‌ترتیب با ۲/۳ و ۲/۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بود (شکل ۶- ب).

محدویت بسیار شدید منابع آب در جهان، باعث شده است تا استفاده از منابع آب‌های نامتعارف به صورت جدی توسعه یابد. این موضوع می‌تواند بر عوامل زیستی گیاهان و حتی بر سلامتی انسان هم تأثیرگذار باشد. طی سال‌های گذشته فرآورده‌های گیاهی بیشترین کاربرد را برای درمان بیماری‌ها در مقایسه با فرآورده‌های شیمیایی داشته است (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۲). از طرفی در این فراورده‌های گیاهی (متابولیت‌های ثانویه)، فنل و

فلاونوئید یافت می‌شود که دارای پتانسیل بسیار خوبی برای پاک-سازی رادیکال‌های آزاد هستند و در تمامی اندام‌های مختلف گیاه مانند ریشه، پوست، برگ و میوه یافت می‌شوند (فاضلی نسب و همکاران، ۱۳۹۸). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنلی و فلاونوئید کل از وسیع‌ترین و رایج‌ترین گروه ترکیبات دفاعی و متابولیت‌های ثانویه در گیاهان هستند (شیوخی سوغانلو و رائینی سرجاز، ۱۳۹۷). دهقانی احمدآبادی و همکاران (۱۴۰۱)، نشان دادند که میزان فنل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی سه گیاه اطلسی مکزیکی، شاه‌پسند و اسطوخودوس تحت تاثیر آبیاری با پساب ۵۰ درصد، به طور معنی‌داری افزایش یافتند. نتایج برخی تحقیقات از جمله (Koc et al., 2010; Du et al., 2020) نیز موید تغییر برخی از این ترکیبات ناشی از مدیریت‌های آبیاری و زراعی می‌باشد که با تغییر در محیط پیرامون گیاه برخی از آن‌ها را دستخوش افزایش محسوس و قابل توجهی می‌نماید.



شکل ٦- مقایسه تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (الف) و محتوای فلاونوئید (ب) میوه فلفل سبز

نتیجه‌گیری

با توجه به پیامدهای تغییر اقلیم و به‌طور ویژه گرمایش جهانی، افزایش دمای هوا در طول دوره رشد و نمو گیاهان و اهمیت تامین نیاز آبی گیاه در شرایط بحران کم‌آبی، موجب شده است که پاسخ گیاهان به این تغییرات بسیار حائز اهمیت باشد. عمده پاسخ گیاه به صورت تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی است که در نهایت منجر به تغییراتی در میزان عملکرد گیاه می‌گردد. بر پایه نتایج این پژوهش، کاهش دمای هوا در زمان‌های برداشت چهارم و سوم نسبت به زمان‌های برداشت دوم و اول میوه فلفل نشان داد که ارتباط معنی‌داری میان کاهش دمای هوا و افزایش محصول وجود داشت. به‌طور مثال؛ کاهش دمای بیشینه هوا از ۳۱ درجه سانتی‌گراد در زمان برداشت اول

(۴۰ روز پس از کاشـــت) به ۲۳/۴ درجه ســـانتی‌گراد در زمان برداشت چهارم موجب شد تا میزان عملکرد میوه در زمان برداشت چهارم در مقایسه با زمان برداشت اول در شرایط آبیاری با پساب (TWW100، TWW75-WW25، TWW50-WW50 و TWW25-WW75) نســـبت به آب چاه، افزایش یابد. همچنین صـفات مورفولوژیک و ویژگی‌های بیوشـیمیایی میوه فلفل تحت شـرایط آبیاری با تیمارهای حاوی پسـاب در مقایسـه با آب چاه برتری محسوسی را نشان دادند؛ بنابراین می‌توان اینگونه اظهار داشت که عناصر غذایی موجود در پساب با فراهم ساختن شرایط مطلوب‌تر رشـد و نمو در مقایسـه با آب بهبود کیفیت میوه را به دنبال خواهند داشـت. لذا با رعایت نکات زیسـت محیطی و بهداشتی می‌توان استفاده از پساب را در برنامه‌ریزی‌های آبیاری و تامین نیاز آبی گیاهان باغی پیشنهاد نمود.

منابع

دهقانی احمدآبادی، س.، مفتاحی‌زاده، ح.، سیاحتی اردکانی، غ. ر. و شیرمردی، م. ۱۴۰۱. ارزیابی خصوصیات گیاه‌پالایی اطلسی مکزیکی، شاه‌پسند و اسطوخودوس در تیمار آبیاری با پساب فولاد: مطالعه موردی فولاد غدیر. نشریه محیط‌زیست طبیعی. ۷۵ (۲): ۲۹۰-۲۷۷.

بدیعی، آ.، کاراندیش، ف. و طباطبایی، س. م. ۱۳۹۵. تاثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده شهری بر عملکرد گندم و ویژگی‌های میکروبی خاک و گیاه. نشریه دانش آب و خاک. ۲۶ (۴/۲): ۲۲۸-۲۱۵.

خوش‌روش، م.، عرفانیان، ف، و پورغلام آمیجی، م .۱۴۰۰. اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. نشریه علمی مدیریت آب در کشاورزی. ۸ (۱): ص ۱۲۸-۱۱۵.

زارع، ر.، سهرانی، ت. و متشرع‌زاده، ب. ۱۳۹۶. تاثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای لوبیاچیتی. مدیریت آب و آبیاری. ۷ (۱): ۴۳-۵۷.

شیوخی سوغانلو، س.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و عارف‌راد، م. ۱۴۰۳. ارزیابی تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر انتشار گاز دی اکسید کربنِ خاک، بهره‌وری آب و عملکرد سویا (*Glycine max* L.). نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۲۲ (۳): ۳۵۷-۳۴۳.

شیوخی سوغانلو، س.، غلامی سفیدکوهی، م. و قاسمی، ی. ۱۴۰۲. تاثیر تنش آبی و پساب شهری بر غلظت فلزات سنگین، عملکرد و ویژگی‌های کیفی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). علوم باغبانی. ۳۷(۳): ۷۳۹-۷۲۳.

شیوخی سوغانلو، س. و رائینی سرجاز، م. ۱۳۹۷. تأثیر مالچ پلاستیکی قرمز بر عملکرد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارقام مختلف توت‌فرنگی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۵ (۳): ۲۵-۱۳.

علیزادگان، ف.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و شیوخی سوغانلو، س. ۱۴۰۱. ارزیابی تأثیر پساب بر ویژگی‌های شیمیایی، غلظت عناصر پرمصرف و فلزات سنگینِ خاک و عملکرد ذرت سینگل کراس ۷۰۴. نشریه آب و خاک. ۳۶(۴): ۵۱۱-۵۲۴.

فاضلی‌نسب، ب.، مشتاقی، ن. و فروزنده، م. ۱۳۹۸. بررسی اثر حلال عصاره‌گیری بر میزان فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی-اکسیدانی برخی گیاهان دارویی بومی ایران. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام. ۲۷ (۳): ۲۶-۱۴.

فرمانی فرد، م.، قمرنیا، ه.، پیر صاحب، م. و فتاحی، ن. ۱۳۹۶. تاثیر آبیاری بلند مدت با فاضلاب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۳): ۶۲-۵۰.

قضاوی، ر. و ارست، م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر آبیاری با پساب شهری بر تجمع برخی عناصر شیمیایی در گیاه و خصوصیات اکولوژیکی گیاه اکالیپتوس *Eucalyptus camadulensis* Dehnh. نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهان. ۴ (۸): ۲۹-۱۳.

یزدانی، ع.، صفاری، م. و رنجبر، غ. ۱۳۹۶. اثر آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه شده بر عملکرد دانه و تجمع فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.). مجله علوم زراعی ایران. ۱۹ (۴): ۲۹۶-۲۸۴.

Dos Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F. and Domingues, D. S. 2022. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: A review. Stresses. 2: 113-135.

Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., and Xie, F. 2020. Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. Agronomy. 10(2):1-21.

Gatta, G., Libutti, A., Gagliardi, A., Beneduce, L., Brusetti, L., Borruso, L., Disciglio, G. and Tatantino, E. 2015. Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on

A. and Matsi, T. h. 2013. Corn Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater. GlobalNEST International Journal 5(1): 39-45.

Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y. and Xu, J. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. Plants. 8(34): 1-29.

Rosmaina., Zulfahmi., Jannah, M. and Sobir. 2022. Temperature critical threshold for yield in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). SABRAO J. Breed. Genet. 54(3): 627-637.

Selvakumar, G., Yi, P. H., Lee, S. E., Han, S. G. and Chung, B. N. 2018. Hairy vetch, compost and chemical fertilizer management effects on red pepper yield, quality, and soil microbial population. Hortic Environ Biotechnol. 59: 607-614.

Singh, D. V., Upadhyay, A. K., Singh, R. and Singh, D. P. 2021. Implication of municipal wastewater on growth kinetic, biochemical profile, and defense system of Chlorella vulgaris and Scenedesmus vacuolatus. Environmental Technology & Innovation. 26: 1-13.

Swain, A., Singh, S.K., Mohapatra, K.K. and Patra, A. 2020. Effect of sewage sludge application on yield, nutrients uptake and nutrient use efficiency of spinach (*Spinacia oleracea* L). Annals of Plant and Soil Research. 22(3): 305-309.

Tabatabaei, S. H., Nourmahnad, N., Golestani Kermani, S., Tabtabaei, S. A., Najafi, P. and Heidarpour, M. 2020. Urban wastewater reuse in agriculture for irrigation in arid and semi-arid regions - A review. International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture. 9: 193-220

Thanopoulos, Ch., Akoumianakis, K. A. and Passam, H. C. 2013. The effect of season on the growth and maturation of bell peppers. International Journal of Plant Production. 7(2): 281-294.

Tripathi, V. K., Rajput, T. B. and Patel, N. 2016. Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. Journal of Cleaner Production. 139: 396-406.

Ujjal Husen, M. D., Naher, N., Habib, Z. F. B., Rahman, H. and Halim, A. 2023. Growth and Yield Performance of Chili (*Capsicum annuum* L.) on Rooftop of Different Height of Buildings. Journal of Experimental Agriculture International. 45(11): 104-121

qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. Agricultural Water Management. 149: 33-43.

Hajihashemi, S., Mbarki, S., Skalicky, M., Noedoost, F., Raeisi, M. and Brestic, M. 2020. Effect of Wastewater Irrigation on Photosynthesis, Growth, and Anatomical Features of Two Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* L.). Water. 12: 1-12.

IPCC. 2022. https://climateoutreach.org/programmes/impacts-and-adaptation.

Islam, M., Satyaranjan, S., Hasanuzzaman, A. and Rahim, M. A. 2011. Effect of spacing on the growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Journa of Central European Agriculture. 12(2): 328-335.

Jin, H. and Zhu, Z. 2020. Dark, light, and temperature: Key players in plant morphogenesis. Plant Physiol. 180: 1793-1802.

Koc, E., İslek, C. and Üstun, A. S. 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science. 23: 1-6.

Lu, H., Hu, Y., Wang, C., Liu, W., Ma, G., Han, Q. and Ma, D. 2019. Effects of high temperature and drought stress on the expression of gene encoding enzymes and the activity of key enzymes involved in starch biosynthesis in wheat grains. Front. Plant Science. 10: 1414.

Mahfooz, Y., Yasar, A., Guijan, L., Islam, Q.U., Tabinda Akhtar, A. B., Rasheed, R., Irshad, S. and Naeem, U. 2020. Critical risk analysis of metals toxicity in wastewater irrigated soil and crops: a study of a semi-arid developing region. Scientific Reports. 10(12845): 1-10.

Mousavi, S. R. and Shahsavari, M. 2014. Effects of treated municipal wastewater on growth and yield of maize (*Zea mays*). Biological Forum. 6(2): 228-233.

Nazario, A. A., Zution, I., Augusto Agnellos Barbosa, E., Nazario Silva dos Santos, L., Rodrigues Cavalcante Feitosa, D. and Matsura, E. E. 2019. Impact of the application of domestic wastewater by subsurface drip irrigation on the soil solution in sugarcane cultivation. Applied and Environmental Soil Science. 4: 2-11.

Oh, S. Y. and Koh, S. Ch. 2019. Fruit Development and Quality of Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) under Various Temperature Regimes. Horticultural science and technology, 37(3): 313-321.

Panoras, A., Evgenidis, G., Bladenopoulous, S., Melidis, V., Doitsinis, A., Samaras, I., Zdragkas,

Water Management in Agriculture
Vol. 12, No. 1, Spring and Summer 2025, 139-154

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۵۴-۱۳۹

Evaluation the Impact of Air Temperature Fluctuations on the Quantitative and Qualitative Yield of Green Pepper under Urban Wastewater Irrigation

S. Shiukhy-Soqanloo[1*], H. Bahari Panbehchooleh[2] and M. Mousavi Baygi[3]

Abstract

The experiment was conducted based on a randomized complete block design (RCBD) with the irrigation water source as a factor at five levels: treated wastewater (TWW100), 75% treated wastewater + 25% well water (TWW75 + WW25), 50% treated wastewater + 50% well water (TWW50 + WW50), 25% treated wastewater + 75% well water (TWW25 + WW75) and 100% well water (WW100). The study was carried out with three replications during the 2022-2023 growth season at Sari University of Agricultural Science and Natural Resources, Sari, Iran. Based on the results, the morphological traits of green pepper increased under wastewater irrigation compared to well water irrigation. A decrease in maximum air temperature during the fourth harvest, by 7.6, 6.1, and 4.9 °C compared to the first, second, and third harvests, respectively, led to an increase in fruit yield. As a result, the total yield in the TWW100, TWW75-WW25, TWW50-WW50 and TWW25-WW75 treatments increased by 11.3%, 8%, 7% and 2.7%, respectively, compared to well water irrigation (384.8 kg/ha). The highest antioxidant activity was recorded in the TWW100, TWW75-WW25 and TWW50-WW50 treatments, with inhibition rates of 84.8%, 84.1% and 83.2%, respectively. The lowest flavonoid content was observed under WW100 irrigation, with 2.3 mg quercetin per gram of fresh weight

Keywords: Antioxidant, Harvest time, Moderately humid, Morphological, Unconventional water

[1]Assistant Professor of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran (* Corresponding Author Email: Saeid.Shiukhy@gmail.com)
[2] MSc graduated of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM). Iran
[3] Professor of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran
Received: 19 Aug 2024
Accepted:18 Nov 2024