نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۹، خرداد - تیر ۱۴۰۴، ص. ۳۰۴-۲۹۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 19, Jun.-Jul. 2025, p. 291-304

مقاله علمی-پژوهشی

اثر تأخیر در آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی فلفل سبز در منطقه معتدل ساری

سعید شیوخی سوغانلو[1*]، بهاره شامگانی مشهدی[2]، پروین اسدی[3]، سحرباطبی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

چکیده

وقوع پدیده تغییر اقلیم موجب بروز پیامدهای نامطلوبی بر بخش کشاورزی شده است. افزایش دما و عدم توزیع یکنواخت بارندگی‌ها، باعث ایجاد چالش کم‌آبی و تامین نیاز آبی گیاهان شده است که مستلزم مدیریت دقیق آبیاری است. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری به‌هنگام (on-FC)، ۲۴ (24hr-FC)، ۴۸ (48hr-FC) و ۷۲ (72hr-FC) ساعت تاخیر در آبیاری بود. بر پایه نتایج، بیشترین میزان ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی مربوط به تیمار on-FC و کمترین آنها در تیمار 72hr-FC مشاهده شد. بیشترین میزان عملکرد میوه با ۴۵۷ گرم مربوط به تیمار on-FC بود. در حالی‌که در تیمارهای 24hr-FC، 48hr-FC و 72hr-FC، عملکرد میوه به‌ترتیب ۱۴، ۲۳ و ۴۲ درصد نسبت به تیمار on-FC کاهش یافت. با افزایش نرخ تأخیر در آبیاری، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید میوه کاهش چشمگیری یافت. همچنین بیشترین میزان آنتی-اکسیدان و محتوای فنل میوه در تیمارهای تأخیر در آبیاری مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان آنها را تیمار on-FC به‌ترتیب با ۸۰/۳ درصد و ۰/۶۳ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم به‌خود اختصاص داد. بر اساس یافته‌ها، اهمیت آبیاری به‌هنگام در منطقه مورد مطالعه می‌تواند یک راهکار کاربردی و قابل توصیه به پرورش‌دهندگان محصولات صیفی و سبزی باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تغییر اقلیم، ظرفیت زراعی، کلروفیل، کم‌آبی

مقدمه

فلفل سبز که به نام فلفل تند (*Capsicum annuum* L.) نیز شناخته می‌شود، یک محصول اقتصادی مهم متعلق به خانواده Solanaceae است (Alegewe et al., 2023) که یکی از رایج‌ترین و با ارزش‌ترین محصولات سبزیجاتی است که علاوه بر مصارف غذایی، دارای مصارف دارویی نیز بوده (Martey et al., 2015) و به‌عنوان یک چاشنی ضروری در بسیاری از نقاط جهان برای اهداف مختلف کشت و پرورش داده می‌شود (Tripodi and Kumarn., 2019). گیاهان این خانواده بیشتر در مناطق استوایی و معتدل انتشار دارند و دارای حدود ۹۰ جنس و ۲۸۰۰ گونه است. این جنس در ایران به‌صورت خودرو وجود ندارد ولی ارقام مختلف آن در نقاط مختلف ایران کشت و کار می‌شود (نادعلی و همکاران، ۱۴۰۳). بیش از ۹۰ درصد وزن فلفل سبز را آب تشکیل می‌دهد (Hernandez-Perez et al., 2020) از طرفی به آبیاری بیش از حد حساس است و افزایش میزان آب، موجب کاهش عملکرد آن می‌گردد (سجادی و همکاران، ۱۳۹۶). میوه فلفل سرشار از انواع ویتامین‌ها ازجمله ویتامین ث و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است. و یک منبع غنی از رنگدانه‌های طبیعی مخصوصا کارتنوئیدها است (بهاری و همکاران، ۱۴۰۳). عملکرد فلفل در دوره‌های مختلف برداشت، تنوع قابل توجهی را نشان می‌دهد. در نتیجه، تخمین قبل از برداشت عملکرد فلفل سبز می‌تواند به طور قابل توجهی به بهینه‌سازی فرآیندهای برداشت، مدیریت نیروی کار، حمل و نقل و شرایط ذخیره‌سازی کمک کند (He et al., 2022).

رشد جمعیت جهان و تقاضای فزاینده برای غذا، به همراه محدودیت‌های استفاده از منابع آب، به اهمیت روزافزون راهکارها و اقدامات پایدار در تولید با استفاده از منابع آبی افزوده است. در این راستا، تلاش برای افزایش بهره‌وری آب در محصولات کشاورزی،

۱ استادیار گروه هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۲ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۳ دانشجوی کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۴ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تولیدات محصولات گلخانه ای، گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
(*نویسنده مسئول: saeid.shiukhy@gmail.com)

نقشی حیاتی در حفظ منابع آب ایفا می‌کند؛ زیرا تغییرات آب و هوایی این موضوع را تشدید می‌سازد و می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بهره‌وری کشاورزی داشته باشد (Jiang et al., 2024). استفاده بهینه از باران و آب آبیاری توسط گونه‌های زراعی و غیرزراعی نه‌تنها در مناطق نیمه‌خشک و خشک، بلکه برای مقابله با خشکسالی‌های مکرر در آب و هوای گرمسیری نیز بسیار اهمیت دارد؛ جایی که آب به منبع محدودی برای رشد و نمو گیاهان تبدیل می‌شود (Saha et al., 2020). هرگونه سوء مدیریت در مصرف آب می‌تواند منجر به تنش خشکی بیش از حد در گیاهان و محصولات شده و در نتیجه بر امنیت غذایی تأثیر بگذارد (Rai and Rai., 2020). تنش خشکی منجر به اختلالات فیزیولوژیکی در گیاهان می‌شود و بر رشد و نمو تأثیر می گذارد و در نهایت عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Iqbal et al., 2020). پاسخ گیاه به آبیاری، تابعی از وضعیت آب در گیاه است و تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند پتانسیل آب و خاک، وضعیت ریشه گیاه و نحوه مقاومت آن در برابر تنش آبی و شرایط جوی قرار می‌گیرد (سعیدی نیا و همکاران، ۱۳۹۸).

استراتژی‌های مدیریت آبیاری با هدف صرفه‌جویی بیشتر در آب در مطالعات اخیر بر لزوم تحقیقات بیشتر و اساسی در این زمینه تاکید دارد. سجادی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری (۱۲۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد تبخیر از تشت کلاس A) بر توسعه ریشه و عملکرد گیاه فلفل سبز پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش آبیاری به‌طور معنی‌داری بر حجم، طول، سطح ریشه، وزن تر و خشک ریشه و تعداد میوه‌ها تأثیر منفی داشت. همچنین، کاهش قابل توجهی در بهره‌وری آب و وزن میوه نیز مشاهده شد. شاموت و همکاران اثر کمبود آب بر عملکرد و راندمان مصرف آب در فلفل سبز را ارزیابی کرد و دریافتند که کمبود آب باعث کاهش مصرف آب بدون کاهش قابل توجه در تولید می‌شود (Shammut et al., 2018). زمان‌بندی آبیاری بسیار مهم است، زیرا بر جذب مواد مغذی، رشد میوه و سلامت گیاه تأثیر می‌گذارد. آبیاری با تاخیر می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر عملکرد کیفی محصولات مختلف تأثیر بگذارد و بر پارامترهای کمیت و کیفیت عملکرد تأثیر بگذارد. ژنگ و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر زمان‌بندی آبیاری بر جذب N و Si و بازده گندم زمستانه پرداختند. نتایج نشان داد که تأخیر ۵ تا ۱۰ روزه در آبیاری موجب افزایش بازده گندم شد. با تأخیر در آبیاری، محتوای N و Si در گیاه در مرحله بلوغ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین، تأخیر در آبیاری باعث افزایش قابل توجهی در تجمع N در اندام‌های گیاهی و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان شد(Zheng et al., 2024). گنت و همکاران گزارش کردند که تاخیر در آبیاری منجر به کاهش عملکرد رازک بین ۱۰/۸ – ۱۶/۲ درصد شد(Gent et al., 2022). کانتاس و همکاران به بررسی تأثیر زمان‌بندی آبیاری بر حضور علف‌های هرز، عملکرد و کیفیت علوفه در گیاه یونجه در یونان پرداختند. نتایج نشان داد آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و کیفیت علوفه داشت و بین چگالی کل علف‌های هرز و عملکرد علوفه در برداشت‌های دوم و چهارم همبستگی منفی مشاهده شد(Kanatas et al., 2021).

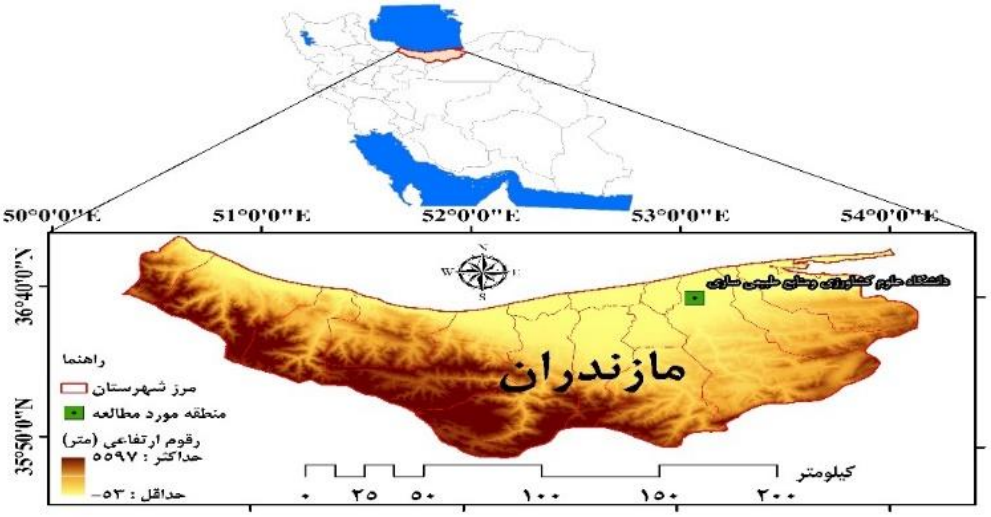
با توجه به اینکه گستره وسیعی از مناطق کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. لذا پیامدهای تغییر اقلیم بسیاری از مناطق ایران را با نگرانی و دشواری‌های زیادی در مدیریت نهاده‌های کشاورزی و بویژه آب، در تامین نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی مواجه ساخته است. این مهم در سال‌های اخیر به تهدیدی جدی و قابل توجه در مناطق معتدل مرطوب و نیمه‌مرطوب نیز تبدیل شده است. به‌طوریکه موجب بروز مشکلات اساسی و محسوس در تامین نیاز آبی برخی از محصولات باغی شده است. لذا با توجه به چالش بحران کم-آبی و افزایش دما و تبخیر–تعرق در طول دوره رشد و نمو گیاهان حتی در مناطق با اقلیم مرطوب، هدف از این پژوهش بررسی تاثیر تاخیر در آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی فلفل سبز در منطقه معتدل مرطوب ساری بود تا به‌عنوان راهکاری ساده و عملی برای جلوگیری از کاهش قابل توجه عملکرد فلفل سبز، در اختیار پرورش‌دهندگان قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

شهرستان ساری دارای طول و عرض جغرافیایی به ترتیب 53°01′ E و 36°33′ N است، که شرایط آب و هوایی آن براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، معتدل و مرطوب است (Shamgani et al., 2024). این منطقه دارای ارتفاع ۱۴ متر بالاتر از سطح دریا، میانگین دمای سالانه بلند مدت ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه بارندگی بلند مدت ۶۵۰ میلی‌متر است. شکل ۱ جزئیات بیشتری از موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در نشان می‌دهد. سایر اطلاعات مربوط به شرایط محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد و نمو گیاه فلفل نیز در جدول (۱) ارائه گردیده است.

آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با عامل زمان‌بندی آبیاری در چهار سطح شامل؛ (آبیاری به‌هنگام (on-FC)، ۲۴ ساعت تاخیر در آبیاری (24hr-FC)، ۴۸ ساعت تاخیر در آبیاری (48hr-FC) و ۷۲ ساعت تاخیر در آبیاری (72hr-FC)، با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. پس از اجرای عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی مزرعه، اقدام به ایجاد کرت‌هایی با ابعاد ۳ × ۲ متر (طول و عرض)گردید. سپس نشاهای فلفل سبز رقم همدانی، که از نظر اندازه یکسان بودند و دقت گردید که از نظر ویژگی‌های ظاهری مشابه باشند، در ردیف‌هایی با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله بوته‌ها در هر ردیف ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند، در تاریخ ۱۲ خرداد کشت شد. فاصله کرت‌ها در داخل هر بلوک یک متر 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 به آستانه محتوای رطوبتی خاک (SWC =70) می‌رسید، آبیاری صورت می‌گرفت. پس از رسیدن گیاه به مرحله ۱۲-۱۰ برگی، تیمارهای زمان‌بندی آبیاری بر اساس ۴۸،۲۴ و ۷۲ ساعت تأخیر در آبیاری در هر دور از آبیاری اعمال شدند. آبیاری بصورت دستی (آبیاری سطحی) با استفاده از آبپاش انجام شد. لازم به ذکر است که بافت خاک محل آزمایش از نوع سیلتی-رسی بوده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول (۲) ارائه گردید.



شکل۱- موقعیت جغرافیایی و منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- برخی از پارامترهای اقلیمی در منطقه مورد مطالعه

ماه	دمای کمینه (°C)	دمای بیشینه (°C)	متوسط دما (°C)	مجموع بارندگی (mm)	متوسط رطوبت نسبی (%)	مجموع تبخیر (mm)
خرداد	۱۹	۳۰/۴	۲۴/۷	۷/۶	۶۹	۱۹۳/۶
تیر	۲۲/۱	۳۲/۱	۲۷/۱	۲۲	۷۱	۱۷۳/۵
مرداد	۲۳	۳۲	۲۷/۵	۳۰/۸	۷۴	۱۳۶/۳
شهریور	۲۱/۴	۳۱/۶	۲۶/۵	۴۱/۳	۷۱	۱۴۲/۵
میانگین	۲۱/۳	۳۱/۵	۲۶/۴	۲۵/۴	۷۱/۲	۱۶۱/۴

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق (cm)	اسیدیته -	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	نیتروژن کل (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)
۳۰-۰	۷/۶	۱/۸	۰/۱	۱۳	۳۷۰	۱/۲	۲

- سنجش میزان عملکرد و ویژگی های مورفولوژیکی

چهار زمان برداشت (۵۰، ۶۵، ۸۰ و ۹۵ روز پس از کاشت[1]) به‌منظور سنجش صفات مورد نظر میوه‌های برداشت شده تعیین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد، میوه‌های برداشت شده با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، توزین شدند. سنجش ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش مدرج بر حسب سانتی‌متر و قطر ساقه نیز با استفاده از کولیس دیجیتال بر حسب میلی‌متر انجام شد. در ادامه، بوته‌ها به‌دقت از زمین جدا و بخش ریشه و اندام هوایی از همدیگر جدا شدند. ابتدا وزن تر ریشه و اندام هوایی با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، توزین شدند و سپس نمونه‌ها درون پاکت‌های کاغذی مربوط به هریک از تیمارها قرار داده شدند و سپس با قرار گرفتن درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و در نهایت وزن خشک آنها نیز توزین شد (شیوخی و همکاران، ۱۴۰۲).

1 Day After Planting (DAP)

- سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای سنجش فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیلb ،کلروفیل ab و کارتنوئید، یک گرم از بافت میوه جدا شد و با ۸ سی‌سی متانول ۱۰۰٪ ترکیب گردید. در محیط تاریک و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد. سپس جذب عصاره با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (uv-1800PC) به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ خوانده شد (Carter & Knapp, 2001). در نهایت با استفاده از روابط (۱)، (۲) و (۳) میزان فعالیت هر یک از رنگیزه‌های فتوسنتزی محاسبه گردید.

Chlorophyll a (µg/ml) = [(16.72 A665.2 – 9.16 A652.4)/1000*8cc]/W (۱)

Chlorophyll b (µg/ml) = = [(34.09 A652.4 – 15.28 A665.2)/1000*8cc]/W (۲)

Carotenoid (µg/ml) = [((1000 A470 – 1.63 Ca – 104.96/221)1000*8cc]/W (۳)

- سنجش ویژگی‌های فیتوشیمیایی

برای عصاره‌گیری یک گرم از بافت تازه میوه در ۱۰ میلی‌لیتر متانول به مدت ۴۸ ساعت برروی شیکر قرار داده شد، سپس به مدت ۵ دقیقه با دور ۴۰۰۰ سانتریفیوژ (مدل، Hettich-EBA200) شد. از محلول شفاف بالایی برای سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدان، محتوای تام فنلی و فلاونوئید میوه استفاده گردید (Kathim et al., 2016). برای سنجش فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره‌ی میوه از رادیکال‌های پایدار ۲ و ۲-دی فنیل ۱-پیکوپل هیدرازیل (DPPH) استفاده شد. به ۱ میلی لیتر از عصاره ۱ میلی لیتر محلول ۰/۲ میلی مولار DPPH اضافه گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در مکان تاریک قرار داده شد. سپس جذب محلول در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت و میزان درصد مهار رادیکال آزاد آن با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید. در این فرمول AC جذب کنترل و As جذب نمونه می‌باشند (Ebrahimzadeh et al., 2009).

Inhibition (%) = [(Ac-As)/Ac] ×100 (۴)

به‌منظور بررسی محتوی تام فنلی عصاره از روش معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد. ابتدا به ۲۰ میکرولیتر از عصاره گیاه ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین- سیو کالتیو[1] اضافه نموده، سپس ۱/۱۶ میلی-لیتر آب مقطر اضافه کرده و ۵ دقیقه استراحت به مخلوط مورد نظر داده شد، در ادامه ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۱ مولار اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۴۰ درجه قرار داده شد و در طول موج ۷۶۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Slinkard et al., 1977).

برای تعیین محتوای فلاونوئید از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم استفاده شد. به ۰/۵ میلی لیتر از عصاره، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. سپس در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد و جذب آنها در۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل(Hanon-13) خوانده شد. میزان فلاونوئید بر اساس میلی‌گرم کوِرستین برگرم میوه تازه بیان می‌شود. برای محاسبه غلظت فلاونوئیدهای کل از ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ میلی‌مولار بر سانتی‌متر استفاده شد (Chang et al., 2002). در پایان داده‌های بدست آمده با بهره‌گیری از نرم افزار SASver9.2 تجزیه و تحلیل شدند و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

- ویژگی های مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تأخیر در آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی فلفل سبز در جدول ۳ ارائه شده است. بر پایه نتایج، تأخیر در آبیاری بر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر و خشک اندام هوایی بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تأخیر در آبیاری باعث کاهش ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی در مقایسه با آبیاری به‌هنگام شد. بطوریکه بشترین میزان ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک ریشه، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۴۶/۶ سانتی متر،۶/۴ میلی‌متر، ۲۰/۶ گرم، ۷/۱ گرم، ۲۰۲/۷ گرم، ۵۰/۶ گرم مربوط به آبیاری به هنگام بود و کمترین میزان آنها با ۳۳/۳ سانتی متر،۳/۷ میلی متر، ۱۱/۴ گرم، ۳/۳ گرم، ۱۲۲/۲ گرم و ۲۸/۸ گرم در آبیاری با ۷۲ ساعت تاخیر مشاهده شد (شکل ۲).

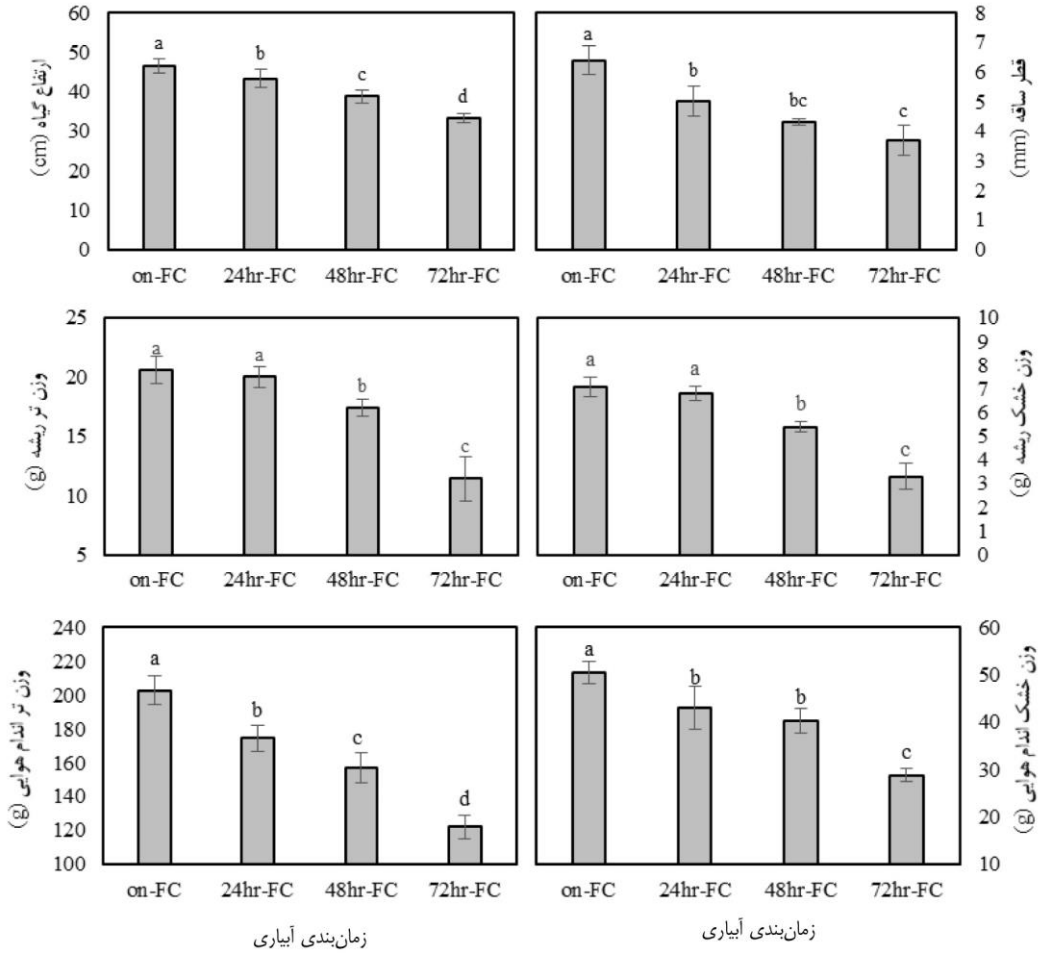
در شرایط کم‌آبی، گیاهان با کاهش بسیار محسوسی در ساختمان سلول و توسعه آن به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها مواجه می‌شوند. مدیریت بهینه آبیاری می‌تواند آب قابل دسترس گیاه در خاک را فراهم کرده و موجب افزایش رشد و در نتیجه عملکرد شود (Mahfooz et al., 2020). همچنین گیاه با قرار گرفتن در معرض تنش رطوبتی خاک، دچار کاهش آماس سلولی، سنتز آنزیم‌ها و مواد دیواره سلولی می‌شود. از اینرو برای تحمل به شرایط بروز تنش، رشد و توسعه گیاه دچار افت شده و نشانه‌های آن بصورت کاهش در ویژگی‌های رویشی و مورفولوژیک از جمله؛ ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، وزن تازه و خشک اندام‌های هوایی گیاه نمایان می‌شود (شیوخی و همکاران، ۱۴۰۳). نازاریو و همکاران اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان را نشانه محسوس کم‌آبی عنوان نمودند(Nazario et al., 2019). بدین‌ترتیب به‌دنبال کاهش جذب نور بدلیل کاهش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و بدیهی است که به‌دنبال آن، عملکرد نیز کاهش یابد.

1- Folin-Ciocalteu

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر برنامه زمان‌بندی آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی فلفل سبز

منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات					
		ارتفاع گیاه(cm)	قطر ساقه(mm)	وزن‌تر ریشه(g)	وزن‌خشک ریشه(g)	وزن‌تر اندام هوایی(g)	وزن‌خشک اندام هوایی(g)
بلوک	۲	۲/۴۷۰۰^{ns}	۰/۲۵۷۵^{ns}	۱/۸۵۲۵^{ns}	۰/۱۶۳۳^{ns}	۵۹/۶۹۲۵^{ns}	۲۲/۰۸۲۵*
برنامه آبیاری	۳	۹۹/۱۵۱۹**	۳/۹۸۹۷**	۵۳/۷۸۶۶**	۸/۱۰۷۵**	۳۴۰۱/۵۶۷۵**	۲۴۴/۶۱۶۳**
خطا	۶	۳/۴۸۱۱	۰/۲۹۹۷	۱/۴۷۲۵	۰/۱۴۳۳	۶۶/۶۹۵۸	۳/۶۱۱۳
کل	۱۱	–	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات (C.v)	–	۴/۵	۱۱/۲	۶/۹	۶/۷	۴/۹	۴/۶

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns عدم معنی داری



شکل ۲- مقایسه تأثیر تیمارهای زمان‌بندی آبیاری بر ویژگی‌های مورفولوژیک فلفل سبز در طول فصل رویش

- عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تأخیر در آبیاری بر عملکرد فلفل سبز در جدول ۴ ارائه شد. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود عملکرد میوه فلفل در مراحل مختلف برداشت به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تیمارهای تأخیر در آبیاری قرار گرفت ($P \leq 0.01$).

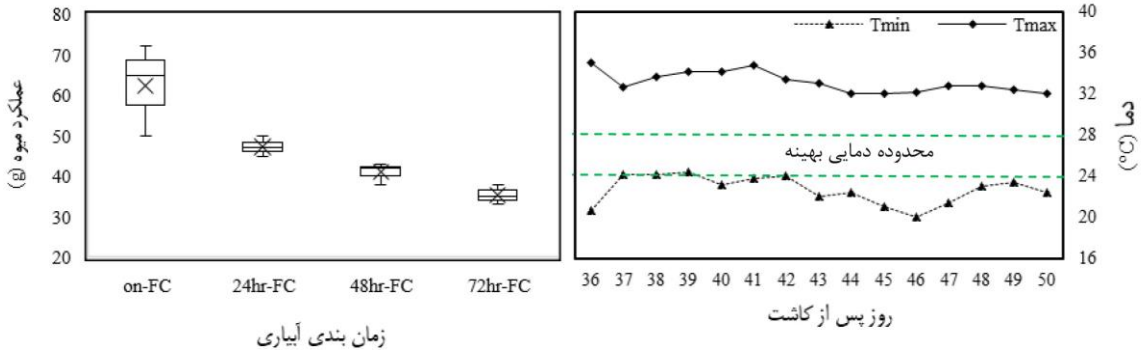
جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر برنامه زمان‌بندی آبیاری بر میزان عملکرد میوه در زمان‌های برداشت مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات				
		۵۰ (DAP)	٦٥ (DAP)	۸۰ (DAP)	۹۵ (DAP)	برداشت کل
بلوک	۲	۵۲/۰۰۰۰^{ns}	۱/۸۰۳۳^{ns}	۳۱/۲۵۰۸^{ns}	۰/۳۵۰۸^{ns}	۶۹/۲۰۳۳ns
زمان‌بندی آبیاری	۳	۴۰۶/۳۳۳۳**	۱۶۵۲/۰۸۹۷**	۲۸۰۵/۴۵۶۳**	۸۳۱/۹۵۳۳**	۱۹۸۴۱/۸۴۶۶**
خطا	۶	۳۱/۳۳۳۳	۳۴/۳۸۲۲	۴۵/۸۰۶۳	۱۶/۵۴۷۵	۱۱۷/۴۷۶۶
کل	۱۱	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات (C.v)	–	۱۲	۵/۹	۴/۴	۵/۹	۲/۹

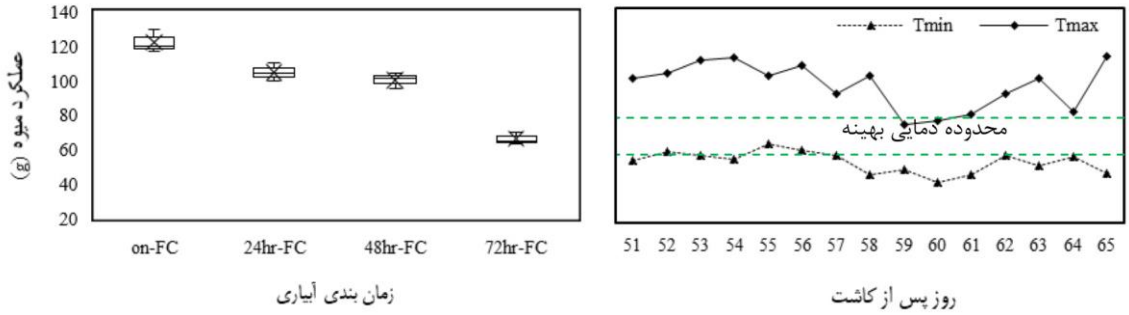
* و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد وns عدم معنی داری

بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، در زمان برداشت اول (۵۰ روزپس از کاشت) بیشترین میزان عملکرد میوه در تیمار آبیاری on-FC با ۶۲/۳ گرم و کمترین میزان آن در تیمار 72hr-FC با ۳۵/۳ گرم مشاهده شد. دلیل اصلی کاهش میزان عملکرد در برداشت اول در مقایسه با سایر زمان‌های برداشت را می‌توان به شرایط محیطی پیرامون گیاه نسبت داد. بررسی متغیرهای هواشناسی در طی دوره برداشت نشان داد که میزان بسیار اندک بارندگی (۱/۸ میلی‌متر) و میزان بسیار قابل توجه تبخیر (۹۹/۶ میلی‌متر)، تأمین و حفظ رطوبت خاک را با چالش اساسی مواجه ساخته بود. از طرف دیگر، با توجه به بازه دمایی مطلوب میوه‌دهی فلفل (۲۸- ۲۲ درجه سانتی‌گراد)، میانگین دمای هوا حدود ۲۸ درجه سانتی‌گراد بود که محدودیت چندانی را ایجاد نکرد. اما وجود تعداد روزهایی با دمای بیشینه بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در کل دوره برداشت، تأثیر بسیار محسوسی بر کاهش میزان عملکرد در بین تیمارها داشت. در واقع میزان بارش ناچیز و پتانسیل بالای تبخیر در طی دوره برداشت، تأمین رطوبت خاک را تنها در گرو زمان‌بندی منظم آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه میسر می‌ساخت. وضعیت کمبود رطوبت خاک در تیمارهای تحت تأخیر در آبیاری، تشدید شده و متناسب با آن، عملکرد میوه نیز دچار افت بسیار چشمگیری شد (شکل ۳).

در زمان برداشت دوم (۶۵ روزپس از کاشت)، بیشترین میزان عملکرد میوه مربوط به تیمار آبیاری on-FC با ۱۲۲/۳گرم بود و کمترین میزان آن، در تیمار 72hr-FC با ۶۶/۱ گرم مشاهده شد (شکل ۴). در زمان برداشت دوم (۶۵ روز پس از کاشت)، اثرات نامطلوب میزان بارندگی و تبخیر کمی تعدیل شد و تأمین و حفظ رطوبت خاک تا اندازه‌ای بهبود یافت. همچنین تعداد روزهای با دمای بیشینه بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد نیز در مقایسه با زمان برداشت اول کمتر بود، اما باز هم وضعیت چندان مطلوبی برای میوه‌دهی فراهم نبود. در واقع، اثرات منفی بالا بودن دمای بیشینه بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، تا حدی به‌واسطه افزایش میزان بارندگی (۱۷/۴ میلی‌متر) و کاهش تبخیر (۶۵/۳ میلی‌متر) نسبت به برداشت اول جبران گردید و باعث افزایش میزان عملکرد میوه در میان تیمارها شد.

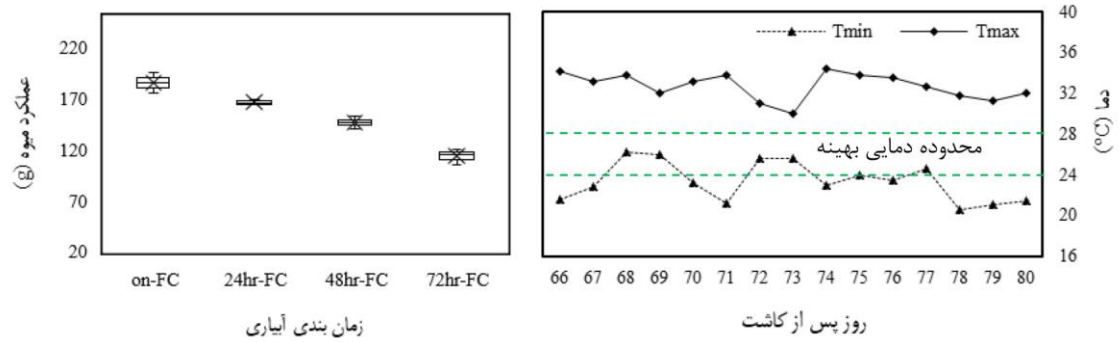


شکل ۳- مقایسه میزان عملکرد میوه فلفل سبز میان تیمارهای آزمایش در زمان برداشت اول (50 DAP)



شکل ٤- مقایسه میزان عملکرد میوه فلفل سبز میان تیمارهای آزمایش در زمان برداشت دوم (65 DAP)

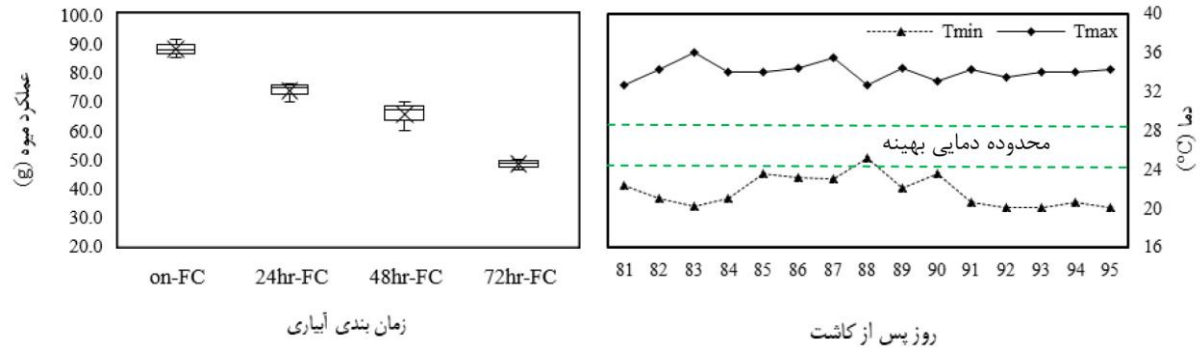
در زمان برداشت سوم (۸۰ روز پس از کاشت)، بیشترین میزان عملکرد میوه در مقایسه با سایر زمان‌های برداشت مشاهده شد. به‌طوریکه بیشترین میزان عملکرد در تیمار آبیاری on-FC با ۱۸۵ گرم مشاهده شد که در مقایسه با میزان عملکرد همین تیمار در زمان‌های برداشت اول و دوم به‌ترتیب با افزایش ۱۲۲/۷ و ۵۱/۲ درصدی مواجه شد. این در حالی بود که کمترین میزان عملکرد میوه مربوط به تیمار آبیاری 72hr-FC با ۱۳۳/۳ گرم بود (شکل ۵). همانطور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود در زمان برداشت سوم (۸۰ روز پس از کاشت) نیز تعداد روزهای با دمای بیشینه بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در طول دوره برداشت محدودیت ایجاد کرد. اما وقوع بارندگی به میزان ۱۳/۴ میلی‌متر و کمترین میزان تبخیر با ۶۰ میلی‌متر در طول دوره، موجب شد تا عملکرد میوه در بین تیمارها نسبت به زمان‌های برداشت اول و دوم بواسطه تأمین بخشی از رطوبت خاک و عدم مواجه با تنش رطوبتی، افزایش یابد.



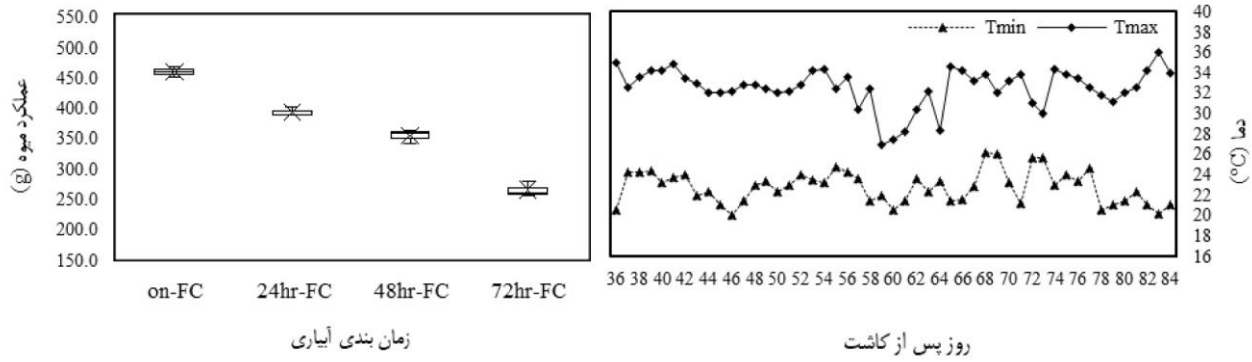
شکل ٥- مقایسه میزان عملکرد میوه فلفل سبز میان تیمارهای آزمایش در زمان برداشت سوم (80 DAP)

در زمان برداشت چهارم (۹۵ روز پس از کاشت)، نتایج مشابهی با زمان‌های برداشت اول، دوم و سوم مشاهده شد. بطوریکه بیشترین میزان عملکرد میوه در تیمار آبیاری on-FC با ۸۸/۱ گرم مشاهده شد و کمترین میزان عملکرد میوه را تیمار آبیاری 72hr-FC با ۴۸/۲ گرم به‌خود اختصاص داد (شکل ۶). افزایش میزان تبخیر به میزان ۸۳/۲ میلی‌متر و عدم وجود بارندگی در طول دوره برداشت، بسیار تأثیرگذار و تعیین‌کننده بود. بطوریکه در تیمارهای تأخیر در آبیاری، بدلیل نبود بارندگی و وجود دماهای بیشینه بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش پتانسیل تبخیر در منطقه، وضعیت رطوبت خاک برای دسترسی گیاه بویژه در تیمار 72hr-FC بسیار بحرانی بود. در این دوره وجود روزهایی با دمای بیشینه ۳۵ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد محدویت‌های بیشتری را نسبت به زمان‌های برداشت دوم و سوم ایجاد کرد که در نهایت باعث شد نه‌تنها روند صعودی افزایش عملکرد میوه در زمان‌های برداشت دوم و سوم متوقف شود، بلکه عملکرد میوه در میان تیمارها نیز دچار افت قابل توجهی گردد.

به‌طور کلی روند تغییرات میزان عملکرد میوه نشان داد که با گذر از زمان برداشت اول تا زمان برداشت سوم، شرایط محیطی پیرامون گیاه به‌تدریج مطلوب‌تر شده و بر میزان تولید میوه افزوده شد. که در این میان نقش دمای بیشینه هوا (تعداد روزهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و میزان بارندگی و پتانسیل تبخیر منطقه، بسیار نمایان بود. اما با رسیدن به زمان برداشت چهارم، روند افزایشی عملکرد میوه در زمان‌های برداشت دوم و سوم متوقف شد و با کاهش قابل توجهی مواجه شد. ولی در مقایسه با زمان برداشت اول همچنان عملکرد میوه در بین تیمارهای آزمایش بالاتر بود.



شکل ٦- مقایسه میزان عملکرد میوه فلفل سبز میان تیمارهای آزمایش در زمان برداشت چهارم (95 DAP)



شکل ۷- مقایسه میزان عملکرد کل میوه فلفل سبز میان تیمارهای آزمایش در طی فصل رشد

اهمیت آب در گیاهان از نقش آن در حمایت از فتوسنتز، تنظیم دما از طریق تعدیل تبخیر، حفظ ساختار از طریق فشار تورگر سلولی، و انتقال مواد مغذی به داخل و سرتاسر گیاه و در نتیجه حمایت از رشد آن ناشی می‌شود. در حالی که آبیاری باید به‌درستی برنامه‌ریزی شود تا رشد محصول را در مناطقی که بارندگی برای حمایت از رشد و عملکرد محصول ناکافی است، تضمین کند تا مبادا گیاهان در مرحله بحرانی رشد دچار تنش آبی شوند (Irshad et al., 2024). فراوانی دوره‌های خشکی عملکرد و کیفیت محصولات صیفی و سبزی را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، با این وجود، وقوع بارندگی بیش از حد باعث غرقابی در خاک می‌شود که علائم آن شبیه کم آبی است. غرقابی خاک مانع از تامین اکسیژن و تنفس ریشه ها، جذب آب و هدایت هیدرولیکی می‌شود که منجر به بسته شدن روزنه می‌شود (Limami et al., 2014). در این شرایط، جذب آب و هدایت هیدرولیکی می‌شود که منجر به بسته شدن روزنه می‌شود. در این شرایط بسته شدن روزنه منجر به کاهش فتوسنتز خالص می‌شود که به دلیل کاهش رسانایی روزنه ای، فلورسانس کلروفیل و محتوای کلروفیل برگ ها است. با این حال، تنش آبی معمولاً به کمبود آب اشاره دارد نه آب اضافی (Zhu et al., 2016). برنامه ریزی آبیاری و مقدار آب آبیاری با توجه به تحمل تنش آبی و مصرف آب گونه های گیاهی تعیین می‌شود. ارزیابی تحمل به خشکی در شرایط مزرعه دشوار است زیرا رطوبت کم خاک و تنش دمای بالا معمولاً با هم اتفاق می‌افتند و ارزیابی پاسخ‌ها به طور جداگانه دشوار است. خشکسالی در شرایط مزرعه باعث افزایش تبخیر و تعرق و فتوسنتز می‌شود که منجر به کاهش عملکرد می‌شود (Mir et al., 2012). نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که تأخیر ۵ تا ۱۰ روزه در آبیاری در مقایسه با تأخیر ۱۵ و ۲۰ روز در آبیاری، موجب افزایش بازده گندم شد. با تأخیر در آبیاری، محتوای N و Si در گیاه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. کانتاس و همکاران (۲۰۲۱)، نشان دادند که زمان‌بندی آبیاری عملکرد و کیفیت علوفه یونجه را در شرایط یک هفته تأخیر قبل از برداشت در مقایسه با یک و دو هفته پس از برداشت افزایش داد. شیوخی و همکاران (۱۴۰۳) نشان دادند که آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی (Fc) و کاهش دمای بیشینه هوا در زمان برداشت چهارم نسبت به زمان‌های برداشت اول، دوم و سوم به‌ترتیب با ۷/۶، ۶/۱ و ۴/۹ درجه سانتی‌گراد، موجب شد تا عملکرد میوه فلفل افزایش یابد. یافته‌های نجفی ایمن‌آبادی و همکارن (۱۴۰۳) حاکی از آن بود که با توجه به بحران کمبود منابع آب و چالش کم‌آبی، آبیاری تحت تیمار آبیاری بر اساس ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی باعث

افزایش میزان ماده خشک تولیدی شد. نتایج مطالعات امیدی و همکاران (۱۳۹۹) در گیاه بالنگو و تقی‌زاده طبری (۱۳۹۹) در گیاه گل گاوزبان نیز نشان داد که متناسب با کم‌آبی ناشی از زمان‌بندی آبیاری، میزان وزن خشک کل کاهش محسوسی یافت. نتایج برخی از مطالعات از جمله؛ زوازو و همکاران در آووکادو (Zuazo et al., 2021)، گیل مارین و همکاران در فلفل شیرین (Gil-Marín et al., 2023)، الموتایری و همکاران در زغال اخته (Almutairi et al., 2017) و مالشه و همکاران در انبه (Malshe et al., 2020) نیز نشان از کاهش عملکرد میوه در شرایط تاخیر در آبیاری بود.

- رنگیزه‌های فتوسنتزی و ویژگی‌های فیتو شیمیایی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر زمان‌بندی آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و ویژگی های فیتوشیمیایی فلفل سبز در جدول ۵ ارائه شده‌است. اثر زمان‌بندی آبیاری بر میزان فعالیت کلروفیل a و b میوه فلفل بسیار معنی دار بود ($P \leq 0.01$). همچنین میزان فعالیت آنتی-اکسیدانی و محتوای فنل میوه نیز تحت تأثیر زمان‌بندی آبیاری، تفاوت معنی‌دار نشان داد ($P \leq 0.05$). این در حالی بود که اثر زمان-بندی آبیاری بر محتوای کارتنوئید و فلاونوئید میوه معنی‌دار نبود.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر برنامه زمان‌بندی آبیاری بر میزان عملکرد میوه در زمان‌های برداشت مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات					
		کلروفیل a (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کارتنوئید (mg/g)	آنتی‌اکسیدان (%)	فنل (mg.GA/g)	فلاونوئید (mg.QU/g)
بلوک	۲	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۱/۸۰۳۳^{ns}	۰/۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۵۸۹^{ns}
زمان‌بندی آبیاری	۳	۰/۰۰۸۴**	۰/۰۰۳۰**	۰/۰۰۴۷^{ns}	۴۹/۴۸۶۶**	۰/۰۳۲۰*	۰/۲۳۰۶^{ns}
خطا	۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۶	۰/۷۲۰۰	۰/۰۰۵۴	۰/۰۷۵۹
کل	۱۱	–	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات	–	۲/۲	۳/۴	۱۲/۲	۰/۹	۹/۴	۱۲/۸

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری نشان می‌دهند

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین و کمترین میزان فعالیت کلروفیل a در تیمارهای on-FC و 72hr-FC به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۸ و ۰/۳۶ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. این در حالی بود که بیشترین میزان فعالیت کلروفیل b در تیمارهای on-FC و 24hr-FC به‌ترتیب با ۰/۴۰ و ۰/۳۸ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد و کمترین میزان آن، به‌ترتیب با ۰/۳۵ و ۰/۳۳ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمارهای 48hr-FC و 72hr-FC بود (جدول ۶). نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که، فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوای فنل میوه فلفل تحت آبیاری تیمار on-FC نسبت به تیمارهای تأخیر در آبیاری کاهش یافت. بطوریکه کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با ۸۰/۳ درصد مربوط به تیمار on-FC بود. در حالیکه بیشترین میزان آن، در تیمارهای تأخیر در آبیاری 24hr-FC، 48hr-FC و 72hr-FC به‌ترتیب با ۸۶/۶، ۸۸/۲ و ۸۹/۳ درصد مشاهده شد. لازم به ذکر است که میان تیمارهای تأخیر در آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بر پایه یافته‌ها، محتوای فنل میوه نیز نتایجی مشابه با فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه داشت. بطوریکه کمترین میزان فنل میوه مربوط به تیمار on-FC با ۰/۶۳ میلی‌گرم گالیک اسید بود. در حالیکه بیشترین میزان آن، در تیمارهای تاخیر در آبیاری 24hr-FC، 48hr-FC و 72hr-FC به‌ترتیب با ۰/۸۶، ۰/۸۴ و ۰/۷۹ میلی‌گرم گالیک اسید مشاهده شد (جدول ۶). همانطور که در جدول ۶ نیز مشاهده می‌شود میزان فلاونوئید میوه تحت تأثیر هیچکدام از تیمارها قرا نداشت و تغییرات تقریباً یکسان بود.

جدول ٦- بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر زمان‌بندی آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و ویژگی‌های فیتوشیمیایی میوه فلفل سبز

تیمار (Treatment)	کلروفیل a (mg/g)	کلروفیلb (mg/g)	کارتنوئید (mg/g)	آنتی‌اکسیدان (%)	فنل (mg.GA/g)	فلاونوئید (mg.QU/g)
on-FC	۰/۴۸ a	۰/۴۰ a	۰/۲۲ a	۸۰/۳ b	۰/۶۳ b	۰/۹۸ a
24hr-FC	۰/۴۵ b	۰/۳۸ a	۰/۲۰ a	۸۷/۶ a	۰/۷۹ a	۱/۰۵ a
48hr-FC	۰/۴۰ c	۰/۳۵ b	۰/۲۰ a	۸۸/۲ a	۰/۸۴ a	۱/۲۰ a
72hr-FC	۰/۳۶ d	۰/۳۳ b	۰/۱۸ a	۸۹/۳ a	۰/۸۶ a	۱/۶۰ a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند

تنش خشکی نقش بسیار مهمی را به عنوان یک عامل ایجادکننده اختلال در فیزیولوژی گیاه ایفا می‌کند. ازاینرو، کاهش در میزان فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی که ارتباط تنگاتنگی با ژنوتیپ و نوع گونه گیاه دارد، نشانه خوبی برای در معرض قرار گرفتن گیاهان در برابر تنش‌های محیطی بویژه تنش آبی به‌حساب می‌آیند (مرشدلو و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از عوامل تأثیر گذار در حفظ و پایداری ظرفیت فتوسنتزی میزان کلروفیل بوده که در شرایط بروز تنش، به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Jianguo et al., 2018). به‌منظور جلوگیری از اکسیداسیون سلولی در شرایط بروز تنش، فرایند تثبیت کربن در طی فتوسنتز در راستای تولید متابولیت‌های ثانویه مصرف می‌شود. همچنین ترکیبات فنلی در قالب گروه‌های الکترون‌دهنده و پروتون-دهنده قوی، موجب ممانعت از تنش اکسیداتیو شده و در نهایت رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کنند. همچنین فلاونوئیدها با شناسایی تعداد و موقعیت گروه‌های OH فنلی موجود، عمل پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد را انجام می‌دهند (نجفی ایمن‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۳). نتایج عزیزی و همکاران (۱۴۰۳)، نشان داد که زمان‌بندی آبیاری بر مبنای ۵۵ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، باعث کاهش فعالیت کلروفیلa، کلروفیلb، کلروفیل کل، کارتنوئید، پروتئین و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه عدس شد. همچنین، افزایش شدت و مدت‌زمان کم‌آبی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) گردید. سارانی‌ملاک و همکاران (۱۴۰۱)، نشان دادند که زمان‌بندی آبیاری در هر دو زمان برداشت گیاه خار مریم، موجب کاهش میزان کلروفیل a متناسب با کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه در خاک شد. همچنین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز با افزایش شدت تنش، افزایش یافت. بطوریکه در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی کمترین مقدار و در شرایط ۲۵ درصد نیاز آبی به بیشترین مقدار رسید. دالوند و همکاران (۱۳۹۷) بیان نمودند که زمان‌بندی دور آبیاری ۱۵ روز نسبت به دور آبیاری ۵ و ۱۰ روز، موجب کاهش تعداد برگ‌ها و گل‌ها، رنگیزه‌های کلروفیل a، b و کارتنوئید گردید. نتایج شیوخی سوغانلو و همکاران (۱۴۰۱) نیز حاکی از بود که با افزایش شدت تنش خشکی ناشی از زمان‌بندی آبیاری، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، فلاونوئید، فنل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ ریحان به‌ترتیب با کاهش ۶۳/۳، ۳۲/۸، ۴۰/۷، ۴۵/۸، ۴۶/۳، ۵۵/۵ و ۹/۸ درصدی روبه‌رو شد. نتایج برخی مطالعات از جمله؛ ال–سید و همکاران در فلفل شیرین (El-Sayed et al., 2019)، تلس و همکاران در فلفل سیاه (Teles et al., 2023) ، ارول در فلفل (Erol, 2024) خالصی و همکاران (۱۴۰۲) در نخود، سنجری و همکاران (۱۳۹۴) در چای ترش، شیوخی سوغانلو و همکاران (۱۴۰۳) در سویا موید کاهش فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، b و کارتنوئید و همچنین افزایش میزان ویژگی‌های فیتوشیمیایی شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید میوه می‌باشند.

نتیجه‌گیری

متغیرهای تاثیرگذار اقلیمی از جمله دمای هوا، میزان بارندگی و پتانسیل تبخیر منطقه، شرایط خرد اقلیمی پیرامون گیاه را تغییر داده و نقش بسیار تعیین کننده‌ای را در زمان‌بندی مناسب آبیاری محصولات صیفی و سبزی، ایفا می‌نمایند. نتایج ارزیابی اثر برنامه زمان‌بندی آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی فلفل سبز نشان داد که، تأخیر در آبیاری نسبت به آبیاری به‌هنگام، خصوصیات مورفولوژیکی فلفل سبز را تحت تاثیر قرار داد. بطوریکه متناسب با تأخیر در آبیاری نسبت به آبیاری به‌هنگام، صفاتی همچون ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی دچار کاهش محسوسی شدند. بر پایه یافته‌ها، عملکرد میوه در زمان‌های برداشت ۵۰، ۶۵، ۸۰ روز پس از برداشت، به‌واسطه افزایش میزان بارندگی و کاهش میزان تبخیر در منطقه، روند افزایشی داشت اما در زمان برداشت چهارم (۹۰ روز پس از کاشت)، روند افزایش تولید میوه متوقف و با کاهش قابل توجهی مواجه شد. در این میان وجود روزهایی با دمای بیشینه بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در طول دوره‌های برداشت، محدودیت‌هایی را در زمان‌بندی آبیاری برای تأمین رطوبت خاک و تولید میوه ایجاد کرد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط تأخیر در آبیاری میزان فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش یافت. بطوریکه فعالیت کلروفیل a در شرایط آبیاری به‌هنگام بواسطه قرار نگرفتن در شرایط تنش، در مقایسه با تیمارهای تأخیر در آبیاری برتری محسوسی داشت که این برتری در مقایسه با تیمار 72hr-FC نمایان‌تر بود. کاهش فعالیت کلروفیل b در تیمارهای تأخیر در آبیاری نسبت به تیمار آبیاری به-هنگام نیز موید این بود که با کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد شرایط تنش خشکی، عملکرد رنگیزه‌های فتوسنتزی متناسب با شدت تنش دجار افت می‌گردد. مقایسه نتایج چگونگی تغییرات ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه فلفل با نتایج بدست آمده از فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی کاملاً متفاوت بود. بطوریکه نتایج حاکی از آن بود که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل میوه در تیمارهای تأخیر در آبیاری نسبت به تیمار آبیاری به‌هنگام، افزایش یافت. بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل میوه در تیمار آبیاری به-هنگام مشاهده شد که نشان دهنده کیفیت بالاتر میوه در مقایسه با تیمارهایی بود که در طول دوره رشد بواسطه تأخیر در آبیاری با تنش خشکی مواجه شده بودند. با توجه به نتایج بدست آمده، لزوم توجه بیشتر به زمان‌بندی مناسب آبیاری در طول دوره فصل رشد و نمو گیاه فلفل سبز می‌تواند یک راهکار کاربردی و قابل توصیه به

پرورش‌دهنده‌گان محصولات صیفی و سبزی باشد.

منابع:

امیدی، ح.، پیرجلیلی، ف. و احمدی، خ. ۱۳۹۹. ارزیابی اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی سه جمعیت بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleaa*). علوم باغبانی. ۳۴(۴): ۶۲۰-۶۰۵ .

تقی زاده طبری، ز.، اصغری، ح.ر.، عباس‌دخت، ح. و باباخانزاده سجیرانی، ا. ۱۳۹۹. بررسی اثر بیوچار و سالیسیلیک اسید بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)در شرایط تنش کم‌آبی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۴۰: ۸۷۸-۸۸۹.

خالصی، ع.، موسوی میرکلائی، س. ا. ع.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، افتخاری، ع. و نشائی مقدم، م. ۱۴۰۲. تأثیر محلول‌پاشی برخی از اسیدهای آمینه بر رشد و عملکرد نخود (Cicer arientinum L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۴(۱): ۲۷-۴۰.

دالوند، م.، سلگی، م. و خالقی، ع. ۱۳۹۷. تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک و تنش خشکی بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک گل جعفری. روابط خاک و گیاه. ۹(۲): ۸۰-۶۷

سارانی ملاک، م.، الهدو، م.، مهرآوران، ل. و پیری، ل. ۱۴۰۱. تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری روی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه داروئی خارمریم (Silybum marianum) . تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک. ۱(۴): ۱۲۷-۱۱۳.

سجادی، ف.، شریفان، ح. و جمالی، ص. ۱۳۹۷. بررسی اثر رژیمهای مختلف آب آبیاری بر توسعه ریشه و بهره‌وری مصرف آب گیاه فلفل سبز. علوم اب و خاک. ۲۲(۳): ۲۸-۱۷.

سعیدی نیا، م.، حسینیان،س.ح. و بیرانوند، ف. ۱۳۹۸. اثر تنش آبی بر میزان تبخیر و تعرق، اسانس و برخی صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی مرزه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۸): ۲۰۷۲-۲۰۶۳.

سنجری، م.، سیروس‌مهر، ع. و فاخری، ب. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی و اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش. به زراعی کشاورزی. ۱۷(۲): ۴۱۴-۴۰۳.

شیوخی‌سوغانلو، س.، بهاری پنبه‌چوله، ح. و موسوی بایگی، م. ۱۴۰۳. ارزیابی نقش نوسان دمای هوا بر عملکرد کمی و کیفی فلفل سبز تحت آبیاری با پساب شهری. مدیریت آب در کشاورزی. انتشار به‌صورت نسخه الکترونیکی.

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

عزیزی، س.، زارع، ن.، شیخ زاده، پ.، عزیزی.، ج. و کریمی‌زاده، ر. ۱۴۰۳. ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی عدس (Lens culinaris)به تنش خشکی و آبیاری مجدد. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۷(۴): ۷۱۹-۷۰۳.

مرشدلو، م. ۱۳۹۴. ارزیابی فیتوشیمیایی، فیزیولوژیکی و بیان برخی ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در مرزنجوش (Origanum vulgare L.) تحت شرایط تنش کم آبی.رساله دکتری فیزیولوژی و اصلاح گیاهان دارویی ، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه تهران.

نادعلی، ف. و کشاورز، س. ۱۴۰۲. ارزیابی سازگاری و پایداری لاین‌های پیشرفته جمعیت‌های مختلف فلفل سبز (*Capsicum annum*. L). پژوهش در علوم باغبانی. ۲(۲): ۳۴۰-۳۲۷.

نجفی ایمن‌آبادی، ن.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و شیوخی سوغانلو، س. ۱۴۰۳. ارزیابی تاثیر مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). مجله آب و خاک. نسخه الکترونیکی.

Alegewe, R., Shaibu, A. G. and Zakaria, Y.S. 2023. Optimization of Water Management for Green Pepper Production in a Water-Limiting Tropical Savanna Agroecological Zone Based on Crop Water Productivity. Journal of Engineering.(1).

Almutairi, K. F., Bryla, D. R. and Strik, B. C. 2017. Potential of deficit irrigation, irrigation cutoffs, and crop thinning to maintain yield and fruit quality with less water in northern highbush blueberry. HortScience. 52(4): 625-633.

Carter, G. A. and Knapp, A. K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. American journal of botany. 88(4): 677-684.

Chang, Y. L., Huang, Q. and Ong, C. K. 2002. Effect of Fe doping on the magnetotransport properties in Nd 0.67 Sr 0.33 MnO 3 manganese oxides. Journal of applied physics. 91(2): 789-793.

Ebrahimzadeh, M. A., Nabavi, S. F., Eslami, B. and Nabavi, S. M. 2009. Antioxidant and antihemolytic potentials of Physospermum cornobiense (L.) DC .Pharmacology online. 3: 394-403.

El-Sayed, H. A., Shokr, M. M. B., Elbauome, H. A. and

crop. Agronomy. 11(3): 550.

Limami, A., Diab, H. and Lothier, J. 2014. Nitrogen metabolism in plants under low oxygen stress. Planta. 239: 531–541.

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.

Martey, A. 2015. Growth, yield and consumer acceptance of sweet pepper (Capsicum annuum L.) as influenced by open field and greenhouse production systems. M.Sc. thesis, University of Ghana, Accra, Ghana.

Mir, R.R., Zaman-Allah, M., Sreenivasulu, N., Trethowan, R. and Varshney, R. K. 2012. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. Theoretical and Applied Genetics. 125: 625–645.

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.

Rai, A. C. and Rai, K. K. 2020. Drought stress and its mitigation and management strategies in crop plants. Sustainable Agriculture in the Era of Climate Change. 143-168.

Saha, A., Rattan, B., Sekharan, S. and Manna, U. 2020. Quantifying the interactive effect of water absorbing polymer (WAP)-soil texture on plant available water content and irrigation frequency. Geoderma. 368: 114310.

Shamgani-Mashhadi, B., Nadi, M., Darzi-Naftchali, A. and Soqanloo Shiukhy. S. 2024. Improving sustainability of rice-canola rotation through water and nitrogen management in a humid region. Agricultural Water Management. 305:109106.

Shammout, M. A. W., Qtaishat, T., Rawabdeh, H. and Shatanawi, M. 2018. Improving water use efficiency under deficit irrigation in the Jordan Valley. Sustainability. 10(11): 4317.

Slinkard, K. and Singleton, V. L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American journal of enology and viticulture. 28(1): 49-55.

Teles, G. C., Medici, L. O., Valença, D. D. C., Cruz, E. S. D. and Carvalho, D. F. D. 2023. Morphophysiological changes in black pepper under Elmorsy, A. K. S. A. 2019. Response of sweet pepper to irrigation intervals and humic acid application. Journal of Plant Production. 10(1): 7-16.

Erol, Ü. H. 2024. Pepper fruits at different ripening periods have potential phyto-biochemical and enzymatic responses to irrigation levels. Journal of Food Quality. 2024 (1): 9082436.

Gent, D. H., Claassen, B. J., Massie, S. T., Phillips, C. L., Shellhammer, T. H., Trippe, K. M. and Twomey, M. C. 2022. Delayed early season irrigation: impacts on hop yield and quality. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 80(1): 62-65.

Gil-Marín, J. A., Zermeño-González, A., Córdova-Rodríguez, M. X., Ramírez-Rodríguez, H., Cadena-Zapata, M., Méndez-González, J. and Cornejo-Oviedo, E. H. 2023. Deficit Irrigation on Fruit Yield and Quality of Sweet Pepper. The Open Agriculture Journal. 17(1).

He, L., Fang, W., Zhao, G., Wu, Z., Fu, L., Li, R., Majeed, Y. and Dhupia, J. 2022. Fruit yield prediction and estimation in orchards: A state-of-the-art comprehensive review for both direct and indirect methods. Computers and Electronics in Agriculture.195: 106812. doi: 10.1016/ j.compag. 2022.106812.

Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. D. R., Valverde, M.E. and Paredes-López, O. 2020. Capsicum annuum (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential.A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 19(6): 2972-2993.

Iqbal, M. S., Singh, A. K. and Ansari, M. I. 2020. Effect of drought stress on crop production. New frontiers in stress management for durable agriculture. 35-47. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1322-0_3.

Irshad, A., Ahmad, H., Muhammad, I., Khan, S. U. and Raza, S. 2024. The role of water stress and soil texture on plant roots anatomy, architecture, and senescence. Frontiers in Plant Science. 15: 1490001.

Jiang, A., McBean, E. and Wang, Y. 2024. Sustainable Environments Require Sustainable Water–A Review of Some Challenging Issues of Water for Urban Regions. Preprints, 2024011982.

Jianguo, Q.L., Simin, S., Lin, Y., Mingiun, LI, Fengwang, M.A and Yangjun, ZOU. 2019. Potassium uptake and transport in apple roots under drought stress. Horticultutal plants journal.10-16.

Kanatas, P., Gazoulis, I. and Travlos, I. 2021. Irrigation timing as a practice of effective weed management in established alfalfa (Medicago sativa L.)

Zhu, M., Li, F. H. and Shi, Z. S. 2016. Morphological and photosynthetic response of waxy corn inbred line to waterlogging. Photosynthetica. 54: 636–640.

Zuazo, V. H. D., Lipan, L., Rodríguez, B. C., Sendra, E., Tarifa, D. F., Nemś, A. and García-Tejero, I. F. 2021. Impact of deficit irrigation on fruit yield and lipid profile of terraced avocado orchards. Agronomy for Sustainable Development. 41: 1-16.

different water supplies. Acta Scientiarum. Agronomy. 45: e59460.

Tripodi, P. and Kumar, S. 2019. The capsicum crop: an introduction. The capsicum genome. 1-8.

Zheng, H., Sun, J., Liang, Y., Cao, C., Gao, Y., Zhang, J. and Zheng, C. 2024. Effect of Delayed Irrigation at the Jointing Stage on Nitrogen, Silicon Nutrition and Grain Yield of Winter Wheat in the North China Plain. Plants. 13(18): 2648.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 19, Jun.-Jul. 2025, p. 291-304

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۹، خرداد - تیر ۱۴۰۴، ص. ۳۰۴-۲۹۱

Assessment of delayed irrigation affecting on quantitative and qualitative yield of green pepper in a humid region, Sari

S. Shiukhy Soqanloo*[1], B. Shamgani Mashhadi[2], P. Asadi[3], S. Batebi[4]
Recived: Jan.25, 2024 Accepted: Apr.06, 2025

Abstract

The occurrence of climate change has caused undesirable consequences on the agricultural sector. Increasing temperatures and uneven distribution of rainfall have created the challenge of water deficit and providing the crop water requirement, which requires accurate irrigation management. The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications in the 2024 growth season at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Iran. The treatments included on-time irrigation (on-FC), 24hr-FC, 48hr-FC, and 72hr-FC delayed irrigation. Based on the results, the highest plant height, stem diameter, root fresh and dry weight, and shoot fresh and dry weight were observed in the on-FC, and the lowest were observed in the 72hr-FC. The highest fruit yield was obtained in the on-FC treatment by 457 g. While in the 24hr-FC, 48hr-FC and 72hr-FC treatments, fruit yield decreased by 14, 23 and 42%, respectively, compared to the on-FC. Also, with increasing delayed irrigation rates, chlorophyll a, b, and fruit carotenoid content decreased significantly. The highest antioxidant activity and fruit phenolic content was observed in delayed irrigation treatments, while the lowest was observed in on-FC by 80.3% and 0.63 mg.GA/g, respectively. Based on the findings, the importance of timely irrigation in the study area can be a practical and recommendable solution for growers of summer crops and vegetables.

Keywords: Antioxidant, Chlorophyll, Climate change, Field capacity, Water deficit

1- Assistant Professor of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
2- Ph.D. candidate of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
3- MSc. student of Medicinal Plants, Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran.
4- Graduate student of Science in Greenhouse Crop Production, Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran.
(*- Corresponding Author Email: saeid.shiukhy@gmail.com)