فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۳۳۱-۳۴۵
https://doi.org/10.22034/13.62.331

مقاله پژوهشی

تأثیر ملاتونین بر عملکرد، صفات رشدی و برخی صفات فیزیولوژیکی فلفل تند تحت شرایط تنش خشکی

مهدی عموزاده[۱]، فردین قنبری[۱*] و راحیل موحدی[۲]
[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
[۲] گروه علوم باغبانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹)

چکیده
ملاتونین نقش‌های متفاوت و مهمی بر بسیاری از جنبه‌های رشد و نمو گیاهان دارد. مشخص شده است که ملاتونین دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است و در فرآیندهای جوانه‌زنی، بلوغ، پیری، حفاظت سلولی و مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده نقش دارد. در این مطالعه اثر غلظت‌های مختلف ملاتونین (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر عملکرد، صفات رشدی و برخی خصوصیات زیست شیمیایی فلفل تند تحت سطوح مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در یکی از مزارع تولیدی در ۲۰ کیلومتری شهرستان دره‌شهر در سال ۱۴۰۰ انجام شد. نتایج نشان داد که کاهش آبیاری باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه شده و محتوای پرولین و مالون دی‌آلدهید را افزایش داد. کاربرد ملاتونین در تمام سطوح آبیاری سبب بهبود رشد و عملکرد فلفل در شرایط مزرعه گردید. همچنین محلول‌پاشی ملاتونین باعث کاهش محتوای پرولین و مالون دی‌آلدهید شده و کلروفیل و کاروتنوئید را نسبت به شاهد افزایش داد. غلظت ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین تأثیر بهتری بر رشد و عملکرد فلفل نسبت به غلظت‌های دیگر داشت. همچنین اثر بخشی هورمون ملاتونین بیشتر در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد ملاتونین (به خصوص در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) با افزایش محتوای کلروفیل و کاهش تجمع مالون دی‌آلدهید و پرولین باعث کاهش آثار تنش خشکی در گیاه فلفل شد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تشتک تبخیر، تنش خشکی، کلروفیل

مقدمه
دسترسی محدود به آب آبیاری و تنش خشکی ناشی از آن یکی از محدودکننده‌ترین عواملی است که بر فرآیندهای متابولیک گیاهان تأثیر می‌گذارد، رشد، نمو و بهره‌وری گیاهان را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش می‌دهد (Dawood, 2016). به‌طورکلی، تنش خشکی می‌تواند باعث آسیب سلولی به دلیل تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شود، که منجر به اختلال هموستاز ردوکس در سلول‌های گیاهی و تولید مالون دی‌آلدئید، نتیجه نهایی پراکسیداسیون لیپیدی در غشای سلولی، شود که به عنوان شاخص آسیب غشای اکسیداتیو شناخته می‌شود (Yang *et al.*, 2021). در میان آنزیم‌های اصلی مهارکننده ROS، کاتالاز (CAT)،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: F.ghanbari@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) ذکر شده‌اند که در کلروپلاست‌ها، میتوکندری‌ها، پراکسی‌زوم‌ها و سیتوزول برای محافظت از بخش‌های سلولی در برابر تنش اکسیداتیو عمل می‌کنند (Farouk and Al-Amri, 2019). یک پاسخ برجسته دیگر به تنش خشکی تجمع موادی از جمله اسیدهای آمینه، پلی‌آمین‌ها، گلایسین‌بتائین، پروتئین‌های آبدوست و کربوهیدرات‌ها است که با از دست‌دادن آماس سلولی مقابله می‌کند و پتانسیل اسمزی سیتوزول سلول و واکوئل‌ها را تعدیل می‌کنند (Yang *et al*., 2021). طی گزارش‌های زیادی ثابت شده است که وقتی گیاهان در شرایط رشد نامطلوب و تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند تغییرات ساختاری و فیزیولوژیکی متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. برخی از این تغییرات شامل تغییر در میزان نشت یونی در بافت گیاهی و یا تغییر در ویژگی‌های روزنه در گیاه است (Shahrivar *et al*., 2020). تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان در اثر تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در طی فرآیند فتوسنتز و تنفس می‌گردد. این رادیکال‌های آزاد اکسیژن به‌طور مستقیم به پروتئین‌ها، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک و از همه مهم‌تر به غشاء سلولی حمله کرده و سبب مرگ سلولی می‌شوند (Zhang *et al*., 2015). بنابراین، در دوره تنش، گیاهان با روش‌های مختلف از جمله با تولید آنتی‌اکسیدان‌ها میزان تحمل به تنش خشکی را افزایش داده‌اند. با این حال، این ترکیبات ضدتنش درون‌زا برای توانمندکردن گیاهان در برابر تنش طولانی مدت کافی نیستند، بنابراین استفاده خارجی از مواد کمکی (به‌عنوان مثال هورمون‌های گیاهی) برای کمک به گیاهان به‌منظور تحمل بهتر شرایط تنش اهمیت دارد.

ملاتونین با فرمول شیمیایی N-acetyl-5-methoxy tryptamine یک ترکیب ایندولی است که به‌طور طبیعی در گیاهان سنتز می‌شود. در گیاهان ملاتونین به‌عنوان محرک زیستی شناخته شده که موجب افزایش تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده و بهبود رشد و توسعه گیاه می‌گردد (Farouk and Al-Amri, 2019; Sharma *et al*., 2020). ملاتونین در طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهی از جمله غلات، حبوبات، سبزیجات و غیره کشف شده است. در گیاهان محل بیوسنتز ملاتونین کلروپلاست‌ها هستند و مقدار ملاتونین سلول‌های گیاهی در مقایسه با سلول‌های جانوری بسیار بیشتر است. آنچه مطالعه ملاتونین را در گیاهان جالب می‌سازد نقش‌های متعددی است که در رشد گیاه و دفاع در برابر عوامل محیطی ایفا می‌کند. گزارش‌هایی در زمینه نقش ملاتونین در بهبود پاسخ‌های گیاه به تنش‌هایی چون خشکی، سرما، حمله پاتوژن‌ها و محافظت در برابر علف‌کش، سمیت یونی و تنش اکسیداتیو ارائه شده است (Debnath *et al*., 2019). ملاتونین سبب تحریک بیوسنتز ایندول استیک اسید (IAA) شده و از این طریق رشد ریشه را تحریک می‌کند (Chen *et al*., 2009). به عنوان جاروب‌کننده عوامل اکسیداتیو و متعادل‌کننده فرآیندهایی که تعادل ردوکس سلول را تغییر می‌دهند، می‌تواند در متحمل‌کردن گیاهان به تنش خشکی گزینه مناسبی باشد (Tiwari *et al*., 2020). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ملاتونین با بهبود بخشیدن به فتوسنتز و هوموستازی یونی، تحمل به تنش را در گیاهان بهبود بخشیده است (Gao *et al*., 2019). پیش‌تیمار با ملاتونین سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و توسعه سیستم ریشه‌ای می‌شود. تیمارهای ملاتونین با افزایش سطح رونوشت‌برداری و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان توانایی گیاه را برای مقابله با تنش اکسیداتیو بهبود می‌بخشد (Khan *et al*., 2024). در گیاه شنبلیله تحت تنش خشکی تیمار ملاتونین در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سبب بهبود فتوسنتز و تعرق گیاه شده و تخریب کلروفیل در شرایط تنش را کاهش داد (Amiri *et al*., 2024). همچنین پیش‌تیمار ملاتونین به‌طور معنی‌داری تولید مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن را کاهش داده و بنابراین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی صدمات ایجادشده به گیاهان در اثر شرایط تنش را کاهش می‌دهد (Altaf *et al*., 2022). در تحقیقی دیگر، تیمار ملاتونین باعث افزایش کلروفیل، کاروتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، پرولین، فنل، فلاونوئید و پروتئین محلول و کاهش محتوای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

مالون دی‌آلدهید در گیاه توت‌فرنگی تحت تنش آبی شد (عین‌الدین و همکاران، ۱۴۰۲).

فلفل (*Capsicum annuum*) یک محصول گیاهی متعلق به خانواده Solanaceae است و به‌طور گسترده در اکثر نقاط جهان کشت می‌شود. در بسیاری از نقاط جهان، فلفل به دلیل طعم تند، ویژگی‌های تغذیه‌ای و محتویات رنگدانه میوه‌ها ارزش دارد (Saleh *et al*., 2018). مواد شیمیایی گیاهی موجود در فلفل دارای خواص زیست شیمیایی و دارویی زیادی مانند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضدحساسیت و ضدسرطان هستند (Lee *et al*., 2005). همچنین، فلفل رسیده به‌طور طبیعی سرشار از اسید آسکوربیک (ویتامین C) و پرو‌ویتامین A است که رادیکال‌های آزاد را در بدن انسان خنثی می‌کند و خطر ابتلا به بیماری‌هایی مانند آرتریت، قلبی عروقی، سرطان و روند پیری را کاهش می‌دهد (Ozgur *et al*., 2011). مشخص شده است که فلفل به کمبود آب بسیار حساس است و کمبود آب به‌طور قابل‌توجهی وزن تازه کل میوه را کاهش داده و در نتیجه منجر به تولید میوه‌های با اندازه کوچک‌تر می‌شود (Gonzalez-Dugo *et al*., 2007). در تحقیق حاضر اثر کاربرد خارجی ملاتونین بر تحمل به خشکی و برخی ویژگی‌های فرآیند و کارکرد مرتبط با آن در گیاه فلفل تحت شرایط مزرعه بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در یکی از مزارع تولیدی واقع در ۲۰ کیلومتری شهرستان دره‌شهر، استان ایلام در سال ۱۴۰۰ به انجام رسید. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی به عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری بعد از ۱۲۰، ۸۰ و ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و ملاتونین در چهار سطح شامل شاهد یا عدم مصرف، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به عنوان عامل فرعی بود. برای آماده‌سازی زمین مورد نیاز، ابتدا علف‌های هرز، سنگ‌ها و کلوخه‌های سطح مزرعه جمع‌آوری شد و به کمک بیل دستی خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری شخم زده شد. عملیات کاشت پس از آماده‌سازی کرت‌های آزمایشی (۳۶ کرت) در اواخر اسفندماه صورت گرفت. هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت بود. ردیف‌های کناری و نیم متر از بالا و پایین هر کرت به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. برای کاشت، نشاهای سالم و یکدست انتخاب شده و به صورت دستی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر در ردیف‌های منظم کشت شدند. در دو هفته ابتدایی همه گیاهان به صورت یکسان آبیاری شدند تا نشاها کاملاً استقرار یابند. پس از آن تیمار ملاتونین به صورت محلول‌پاشی برگی در غلظت‌های ذکرشده تا خیس‌شدن کامل سطح برگ‌ها اعمال شد و دو هفته بعد مجدداً این عمل تکرار شد. پس از آن گیاهان در معرض تنش خشکی قرار گرفتند و تا پایان فصل رشد ادامه یافت. آبیاری بر اساس مدت زمان لازم برای ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (ایستگاه آب و هواشناسی شهرستان دره‌شهر) انجام گرفت. بدین ترتیب که با استعلام روزانه میزان تبخیر از ایستگاه آب و هواشناسی، زمانی که میزان تبخیر تجمعی برابر تیمارهای ذکر شده می‌رسید، اقدام به آبیاری می‌شد. آبیاری هر کرت به صورت کنترل‌شده با استفاده از لوله‌های آبیاری به صورت یکنواخت در هر کرت توزیع شد. همچنین برای جلوگیری از نشت آب در کرت‌های مجاور بین کرت‌های اصلی ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. مرحله نمونه‌برداری از گیاه زراعی در زمان برداشت محصول انجام گرفت و تعداد پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی با در نظرگرفتن اثر حاشیه انتخاب و بوته‌های موجود به همراه ریشه از خاک خارج شد. پس از شمارش تعداد میوه، اندازه‌گیری وزن تمام میوه‌های برداشت‌شده با استفاده از ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت یک صدم گرم انجام گرفت و میانگین وزن حاصل به عنوان وزن میوه در نظر گرفته شد. سپس وزن تر و خشک شاخساره و ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن خشک، اندام‌های مختلف به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

برای تعیین غلظت پرولین، یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی تهیه‌شده با ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر رقیق نموده و ۵ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین به آن اضافه شده و ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و مخلوط حاصله پس از به هم زدن به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. پس از در آوردن نمونه‌ها از حمام آب جوش و خنک‌شدن آن‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به هر کدام از نمونه‌ها افزوده و به شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن گردد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند. میزان جذب فاز بالایی نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Paquin and Lechasseur, 1979).

برای اندازه گیری محتوای مالون دی‌آلدهید ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک اسید (TCA) یک درصد سائیده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ، ۴/۵ میلی‌لیتر محلول TCA ۲۰ درصد که دارای ۰/۵ درصد اسید تیوباربیوتریک بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت مالون دی‌آلدهید براساس نانومول بر گرم وزن تر گزارش شد (Stewart and Bewley, 1980).

برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید یک گرم برگ تازه با ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و سپس با سرعت ۲۷۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب محلول به دست آمده در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید کل با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Arnon, 1949).

کلروفیل کل = $[(17/76 \times OD_{646.6}) + (7/37 \times OD_{663.6})]$

کلروفیل a = $[(12.25 \times OD_{663.6}) - (2/55 \times OD_{646.6})]$

کلروفیل b = $[(20/31 \times OD_{646}) - (4/91 \times OD_{663.9})]$

کاروتنوئید کل = $([(1000 \times OD470) - (3/27 \times Chla)]-104$ [Chl b])

جهت انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها نرم‌افزار Excel به‌کار رفت.

نتایج

صفات کمی میوه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده ملاتونین و آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد و تعداد میوه در بوته معنی‌دار شد. اثر اصلی آبیاری بر میانگین وزن میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل ملاتونین و آبیاری نیز در سطح احتمال یک درصد بر این صفات معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش آب آبیاری در حد ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تعداد میوه و میانگین وزن میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و به‌تبع آن، عملکرد کل نیز کاهش یافت. استفاده از تیمار ملاتونین در تمام سطوح آبیاری تعداد میوه در بوته و عملکرد کل را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱ و ۲). در سطوح آبیاری ۸۰ و ۴۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین تعداد میوه و بالاترین عملکرد با کاربرد ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین بدست آمد. بیشترین میزان میانگین وزن میوه (۱/۷۴ گرم) در تیمار شاهد و آبیاری ۴۰ میلی‌متر و کمترین میزان وزن میوه (۱/۴۴ گرم) در شرایط عدم کاربرد ملاتونین و ۸۰ میلی‌متر تبخیر بدست آمد (شکل ۲ و ۳).

صفات رشدی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده ملاتونین و آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر همه صفات رشدی شامل ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره معنی‌دار شد (جدول ۱). اثر متقابل ملاتونین و آبیاری بر صفات وزن تر شاخساره و ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک شاخساره و ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان

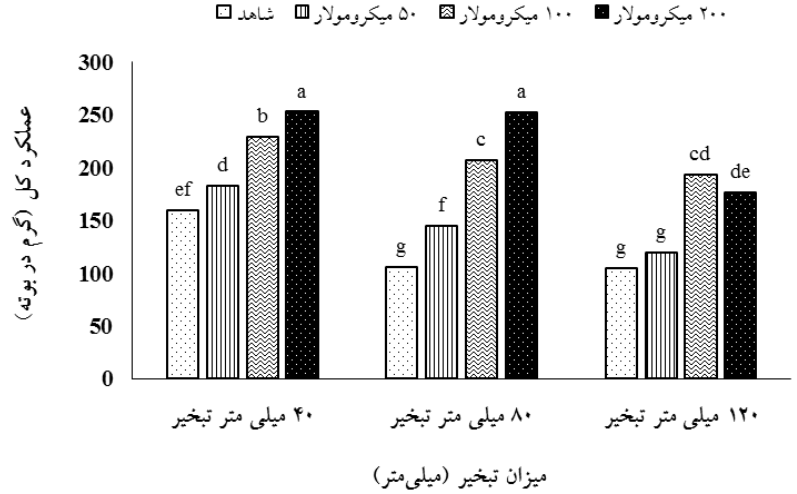
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رشدی اندازه‌گیری‌شده در رابطه با دورهای مختلف آبیاری و ملاتونین

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		عملکرد کل	تعداد میوه در بوته	میانگین وزن میوه	ارتفاع گیاه	وزن‌تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	وزن‌تر ریشه	وزن خشک ریشه
بلوک	۲	۵۶/۴۰	۳۲/۷۹	۰/۰۰۲	۱۵/۲۵	۵۲/۰۴	۰/۴۰	۳۶/۶۱	۰/۶۸
آبیاری	۲	۹۸۸۵/۲۴**	۳۸۸۲/۵۱**	۰/۰۲۱**	۳۴۶/۷۵**	۳۷۸۰۷/۹۵**	۱۱۵۹/۸۲**	۴۱۶/۲۲**	۸/۹۶**
خطای اول	۴	۱۹۱/۱۹	۵۸/۸۵	۰/۰۰۶	۵/۱۲	۲۰۲/۸۱	۵/۹۳	۴۲/۹۴	۲/۱۶
ملاتونین	۳	۲۱۷۳۷/۷۳**	۷۹۶۴/۴۹**	۰/۰۰۴^{ns}	۹۲۶/۰۰**	۱۲۰۳۴/۴۳**	۸۲۹/۱۲**	۸۸۳/۱۵**	۲۰/۵۴**
آبیاری×ملاتونین	۶	۹۲۹/۵۱**	۳۵۴/۵۹**	۰/۰۲۷**	۳۱/۴۱^{ns}	۶۳۵/۴۴*	۴۴/۶۷**	۳۹/۰۴*	۲/۷۷**
خطای کل	۱۸	۱۰۳/۴۰	۲۵/۲۷	۰/۰۰۳	۱۵/۰۵	۲۲۲/۸۳	۸/۰۶	۱۴/۸۸	۰/۵۹
ضریب تغییرات	-	۵/۷۲	۴/۶۰	۳/۵۰	۴/۹۷	۴/۱۲	۶/۱۵	۴/۱۶	۴/۸۰

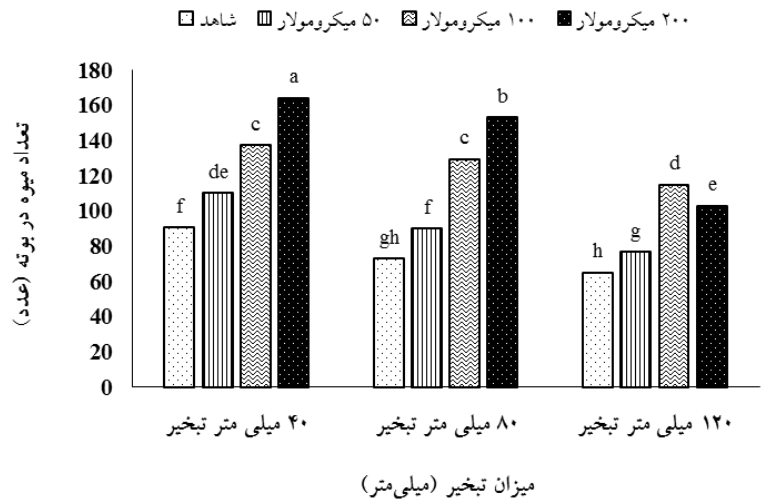
*** و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns عدم تفاوت معنی‌داری است.**



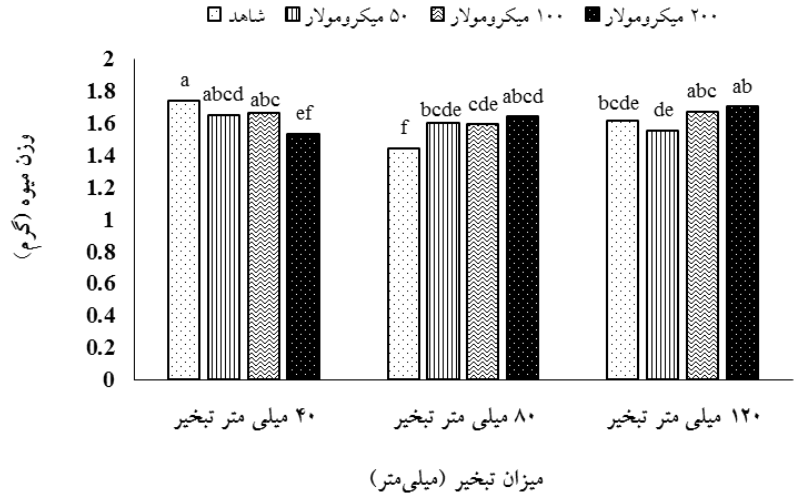
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر عملکرد کل بوته فلفل. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

داد که سطوح آبیاری ۱۲۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر سبب کاهش معنی‌دار و به ترتیب ۸/۶۴ و ۱۲/۵۱ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به آبیاری ۴۰ میلی‌متر شدند. همچنین کاربرد ملاتونین در تمام غلظت‌ها ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد افزایش داد و بیشترین تأثیر در تیمار ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین (۳۴/۹۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲). با کاهش آب آبیاری در حد ۱۲۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر وزن تر و خشک شاخساره و ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. استفاده از تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین در تمام سطوح آبیاری وزن‌تر و خشک ریشه و شاخساره را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین میزان وزن تر شاخساره (۴۳۴ گرم) در تیمار ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین و آبیاری ۴۰ میلی‌متر و کمترین میزان وزن تر شاخساره (۲۵۷ گرم) در شرایط عدم کاربرد ملاتونین و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بدست آمد (شکل ۴). همچنین بیشترین وزن‌تر ریشه (۱۰۷/۰۴ گرم) در تیمار ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین و آبیاری ۴۰ میلی‌متر و کمترین میزان وزن تر ریشه (۶۹/۷۱ گرم) در شرایط عدم کاربرد ملاتونین و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بدست آمد (شکل ۶).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر تعداد میوه در بوته فلفل. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

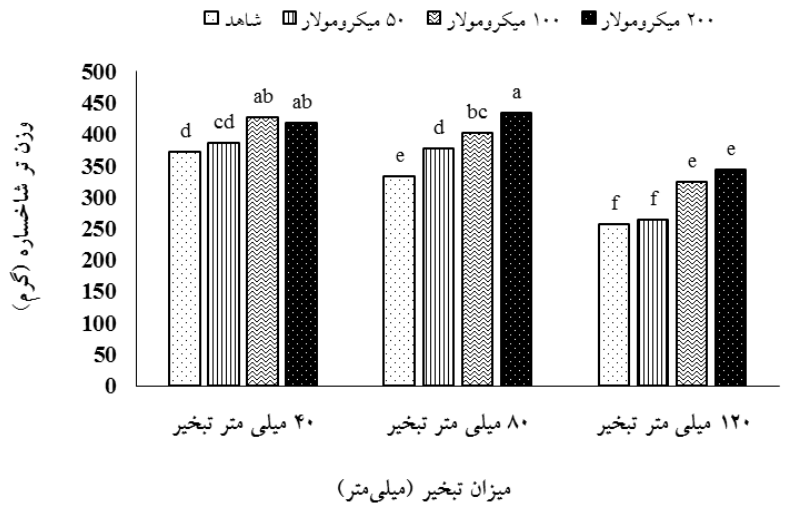


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر میانگین وزن میوه فلفل. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

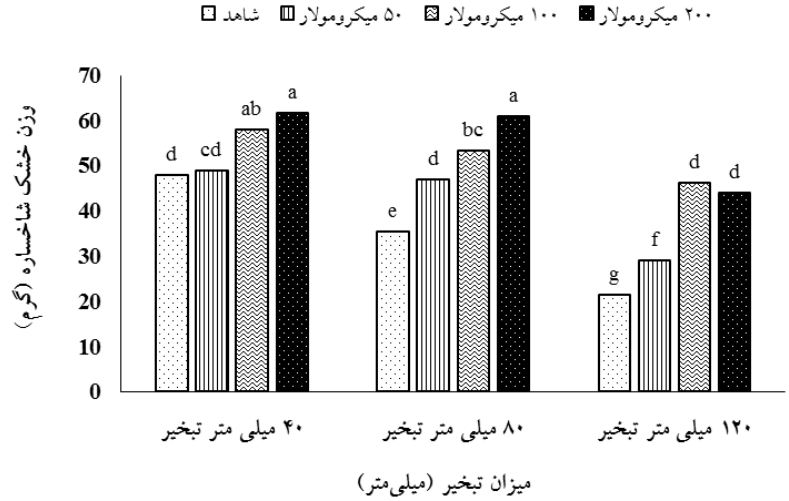
پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده ملاتونین، آبیاری و اثر متقابل ملاتونین و آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر محتوای پرولین معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش آب آبیاری میزان پرولین گیاه فلفل افزایش یافت به‌طوری‌که در شرایط عدم کاربرد ملاتونین گیاهان آبیاری‌شده بعد از ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب ۳۸/۵۰ و ۶۷/۴۷ درصد محتوای پرولین بالاتری نسبت به گیاهان آبیاری‌شده پس از ۴۰ میلی‌متر تبخیر نشان دادند. ملاتونین در تمام سطوح آبیاری محتوای پرولین را نسبت به شاهد کاهش داد. در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، کمترین میزان پرولین با کاربرد ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین (۳۴ درصد کاهش نسبت به شاهد) بدست آمد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر وزن‌تر شاخساره فلفل. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

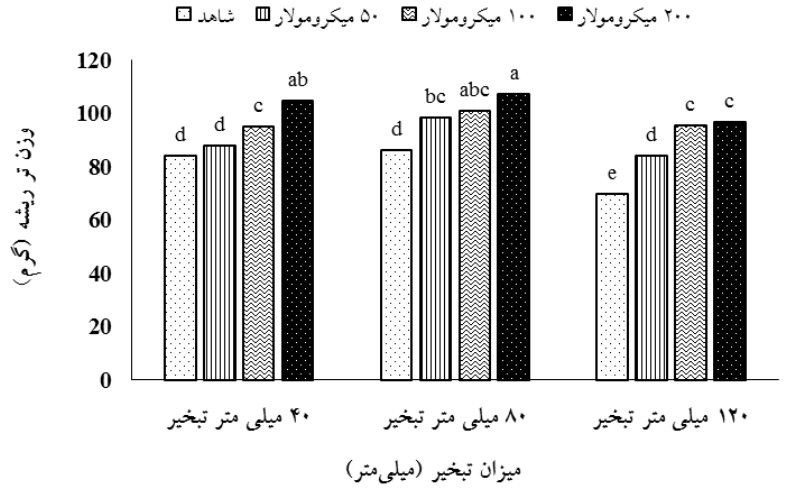


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر وزن خشک شاخساره فلفل. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

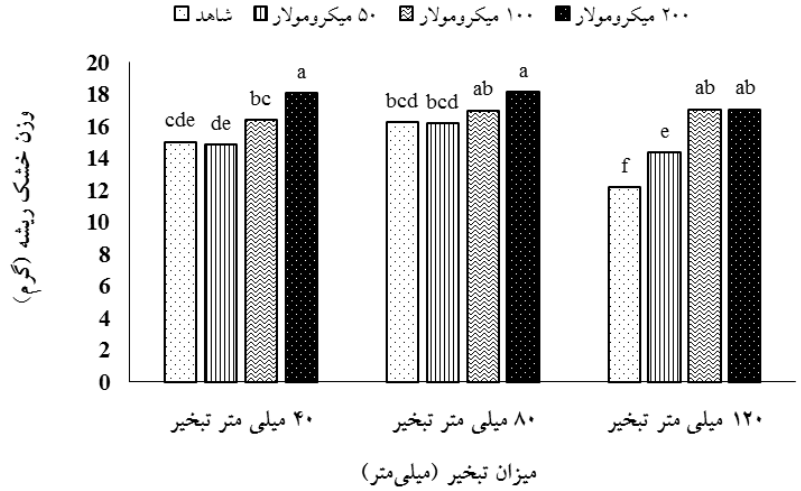
بیشترین مقدار پرولین برگ مربوط به آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر و تیمار بدون کاربرد ملاتونین (۵۷/۰۶ میکرومولار بر گرم وزن‌تر) و کم‌ترین مقدار پرولین برگ (۲۷/۱ میکرومولار بر گرم وزن‌تر) مربوط به ۴۰ میلی‌متر آبیاری و کاربرد ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین بود (شکل ۸).

مالون دی‌آلدهید: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده ملاتونین و آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر مالون دی‌آلدهید معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل ملاتونین و آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر مالون دی‌آلدهید معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش آب آبیاری میزان مالون دی‌آلدهید به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. استفاده از تیمار ملاتونین در سطوح آبیاری ۸۰ و ۱۲۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر وزن‌تر ریشه فلفل. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

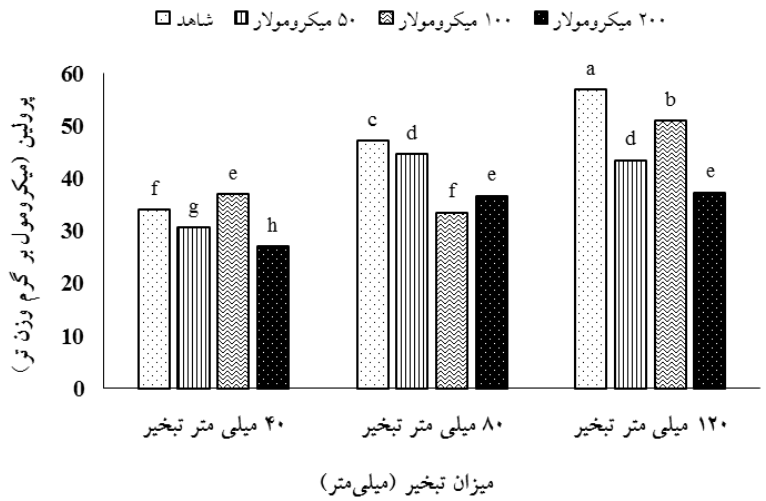


شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر وزن خشک ریشه فلفل. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

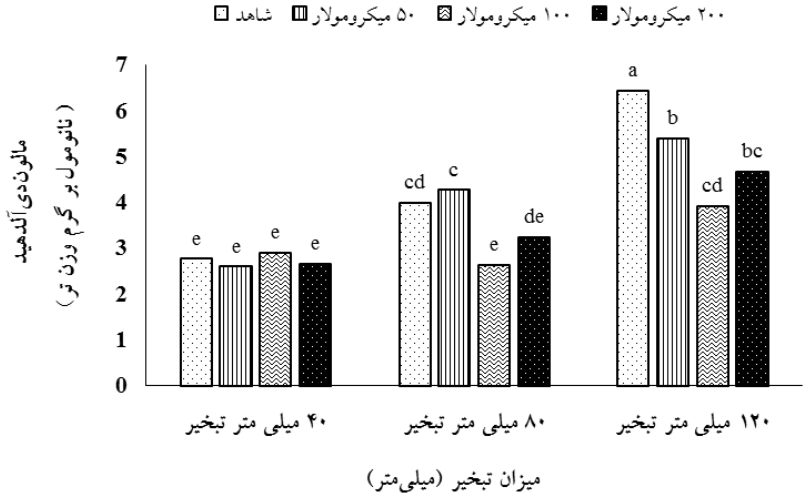
میلی‌متر تبخیر میزان مالون دی‌آلدهید را کاهش داد ولی در ۴۰ میلی‌متر تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید مربوط با عدم کاربرد ملاتونین بدست آمد و همه سطوح ملاتونین میزان مالون دی‌آلدهید را نسبت به شاهد کاهش دادند. بیشترین مقدار مالون دی‌آلدهید (۶/۴۲ نانومول بر گرم وزن تر) در تیمار ترکیبی ۱۲۰ میلی‌متر آبیاری و بدون کاربرد ملاتونین بدست آمد (شکل ۹).

کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده ملاتونین و آبیاری بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل آبیاری و ملاتونین بر این صفات معنی‌دار نشد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر پرولین. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و ملاتونین (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر مالون دی‌آلدهید. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

(جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاهش آب آبیاری در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب سبب کاهش ۱۷، ۱۰ و ۱۴ درصدی محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در برگ‌های فلفل نسبت به آبیاری ۴۰ میلی‌متر شد. استفاده از تیمار ملاتونین در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار در تمام سطوح آبیاری رنگدانه‌های فتوسنتزی را نسبت به شاهد افزایش داد. همچمنین تیمار ملاتونین در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به ترتیب سبب افزایش ۷، ۲۲ و ۱۶ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و ملاتونین در سطح یک درصد بر محتوای کاروتنوئید معنی‌دار شد. اما اثر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفت‌های پرولین، مالون دیآلدهید، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید در رابطه با دورهای مختلف آبیاری و ملاتونین

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پرولین	مالون دی‌آلدهید	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
بلوک	۲	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۱
آبیاری	۲	۶۷۵/۰۱**	۱۷/۳۹**	۰/۱۴**	۰/۰۱۷*	۰/۲۱۴**	۰/۰۰۸۲*
خطای اول	۴	۲/۶۹	۰/۲۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۲
ملاتونین	۳	۲۲۸/۶۱**	۲/۸۱**	۰/۰۸۳**	۰/۰۴۲**	۰/۲۰۵**	۰/۰۰۷۵**
آبیاری × ملاتونین	۶	۸۵/۹۶**	۱/۱۶*	۰/۰۱۴ns	۰/۰۰۶ns	۰/۰۳۱ns	۰/۰۰۱۶ns
خطای کل	۱۸	۱/۹۶	۰/۲۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱۳
ضریب تغییرات	-	۳/۴۹	۱۴/۳۲	۷/۵۰	۱۰/۱۷	۷/۸۶	۱۰/۹۴

*** و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns عدم تفاوت معنی‌داری است.**

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مربوط به پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده تحت تأثیر دورهای مختلف آبیاری و ملاتونین(میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)

		ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
			(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			
آبیاری	۴۰ میلی‌متر تبخیر	۸۳/۹۱a	۱/۲۹a	۰/۷۰a	۱/۸۵a	۰/۳۶۸a
	۸۰ میلی‌متر تبخیر	۷۶/۶۶b	۱/۲۲a	۰/۶۵a	۱/۷۳ab	۰/۳۳۷b
	۱۲۰ میلی‌متر تبخیر	۷۳/۴۱c	۱/۰۷b	۰/۶۳b	۱/۵۹b	۰/۳۱۶c
ملاتونین	شاهد	۶۶/۷۷d	۱/۰۷c	۰/۵۸b	۱/۵۴c	۰/۳۰۰b
	۵۰ میکرومولار	۷۳/۳۳c	۱/۱۹b	۰/۶۲b	۱/۶۹b	۰/۳۴۸a
	۱۰۰ میکرومولار	۸۱/۷۸b	۱/۲۳ab	۰/۷۳a	۱/۸۹a	۰/۳۴۵a
	۲۰۰ میکرومولار	۹۰/۱۱a	۱/۳۰a	۰/۶۹a	۱/۷۹ab	۰/۳۶۹a

حروف غیر مشابه در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد بین آن‌ها است.

متقابل ملاتونین و آبیاری بر کاروتنوئید معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش آب آبیاری میزان کاروتنوئید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که آبیاری ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر سبب کاهش ۸ و ۱۴ درصدی محتوای کاروتنوئید نسبت به آبیاری ۴۰ میلی‌متر شد. استفاده از تیمار ملاتونین در تمام سطوح آبیاری کاروتنوئید را نسبت به شاهد افزایش (۱۵ تا ۲۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) داد. بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۳۶۹ میلی‌گرم بر وزن تر) در تیمار ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین و کمترین میزان کاروتنوئید (۰/۳۰۰ میلی‌گرم بر وزن تر) در عدم کاربرد ملاتونین بدست آمد (جدول ۳).

بحث

تنش خشکی باعث تسریع پیری برگ شده و غلظت کلروفیل را کاهش می‌دهد و سرانجام میزان فتوسنتز به میزان معنی‌داری کاهش یافته و در نتیجه رشد و عملکرد محصول نیز کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

می‌یابد (Sharma *et al*., 2020). در تحقیق حاضر نیز کاهش آبیاری در گیاه فلفل باعث کاهش پارامترهای رشدی و عملکرد این گیاه در شرایط مزرعه شد که نشان‌دهنده حساسیت زیاد این گونه به کمبود آب است. همچنین نتایج نشان داد که، استفاده از تیمار ملاتونین سبب بهبود صفات رشدی و عملکرد گیاه در سطوح مختلف آبیاری شد. بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش آبی با کاربرد خارجی ملاتونین در گیاهان شنبلیله، برنج و سویا نیز گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Imran *et al*., 2021; Amiri *et al*., 2024; Khan *et al*., 2024). گزارش شده است که، ملاتونین با تعدیل فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی شرایط زیست گیاهان را در مواجهه با تنش خشکی تنظیم می‌کند و در نهایت تحمل گیاهان را در برابر شرایط تنش افزایش می‌دهد (Cui *et al*., 2017). تنظیم دستگاه فتوسنتزی و سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی فرآیندهای اصلی فیزیولوژیکی هستند که توسط ملاتونین تحت شرایط کمبود آب کنترل می‌شوند و از این طریق آثار تنش در گیاهان با کاربرد خارجی ملاتونین تعدیل می‌شود (Tiwari *et al*., 2020). همچنین ملاتونین برون‌زا با تنظیم گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان تحت تنش خشکی، پیری را به تأخیر می‌اندازد و به حفظ رشد گیاه در شرایط نامساعد تنش کمک می‌کند (Debnath *et al*., 2019). در تحقیق حاضر نیز تیمار ملاتونین سبب بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش پرولین و مالون دی‌آلدهید شده و از این طریق رشد و عملکرد فلفل تند در شرایط تنش خشکی را بهبود داد. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار ملاتونین با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه سبب کاهش آثار تنش خشکی بر گیاه می‌شود.

نتایج نشان داد که کاهش آبیاری در گیاه فلفل تند سبب افزایش معنی‌دار تجمع پرولین شده و بیشترین میزان پرولین در آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. گزارش شده است که تولید املاح سازگار مختلف تحت عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های گیاهان برای مقابله با شرایط تنش اسمزی است (Imran *et al*., 2021). محافظت‌کننده‌های اسمزی شامل پروتئین‌های محلول، پرولین و اسیدآمینه آزاد کل نقش محافظتی گیاهان در برابر تنش را دارند و به تنظیم اسمزی سلول، تثبیت آنزیم‌ها، پروتئین، سم‌زدایی ROS، محافظت و یکپارچگی سلول کمک می‌کند (Dawood, 2016). تجمع پرولین در گیاهان، رطوبت بافت را حفظ، به جذب آب از محیط کمک و سلول‌ها را برای حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طبیعی خود حمایت می‌کند (Kaur and Asthir, 2015). مطالعات بسیاری این یافته‌ها را در گیاهان مختلف تحت شرایط تنش خشکی تأیید کرده‌اند. علاوه‌براین بسیاری از محققان افزایش قند و پروتئین محلول را در شرایط تنش خشکی به عنوان مکانیزم محافظتی گیاهان گزارش کردند (Farouk and Al-Amri, 2019; Imran *et al*., 2021). از طرف دیگر، نتایج نشان داد که کاربرد ملاتونین به خصوص در غلظت ۲۰۰ میکرومولار سبب کاهش تجمع پرولین در شرایط مختلف رطوبتی شد. به‌طور مشابه با این نتایج، گزارش شده است که تیمار ملاتونین در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار، سبب کاهش تجمع پرولین در گیاهان سویا تحت تنش خشکی شد و از این طریق آثار تنش خشکی بر گیاه را کاهش داد (Imran *et al*., 2021). در تحقیقی دیگر، کاربرد ملاتونین در غلظت ۱۰۰ میکرومولار محتوای پرولین گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی را کاهش داد (Altaf *et al*., 2022). از آنجا که افزایش تولید پرولین در شرایط تنش نشان‌دهنده اثر سوء تنش بر گیاهان می‌باشد، کاهش پرولین در گیاه فلفل تیمارشده با ملاتونین می‌تواند نشان‌دهنده تحمل بهتر شرایط تنش با کاربرد خارجی ملاتونین باشد.

محتوای مالون دی‌آلدهید (MDA) به عنوان شاخص یکپارچگی ساختاری غشا در نظر گرفته می‌شود. محتوی MDA در شرایط تنش‌های محیطی به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد که منجر به کاهش سیالیت و تخریب هموستازی یونی غشا در گیاهان می‌شود. در واقع، افزایش MDA منعکس‌کننده آسیب غشای سلول است که در اثر آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش‌های سرما، شوری و خشکی در گیاهان ایجاد می‌شود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

(Morales and Munne-Bosch, 2019). شدت آسیب اکسیداتیو به غشا سلول به عنوان پراکسیداسیون لیپیدی معمولاً با MDA اندازه‌گیری می‌شود. در آزمایش حاضر با کاهش آبیاری گیاه فلفل محتوای MDA به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش MDA در اثر تنش خشکی در گیاهان پدیده عمومی بوده و در تحقیقات زیادی گزارش شده است (Altaf *et al*., 2022). نتایج نشان داد که کاربرد ملاتونین سبب کاهش تجمع MDA در برگ‌های فلفل در شرایط آبیاری پس از ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر شد. به‌طور مشابه، Li و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین با کاهش تجمع رادیکال‌های آزاد، حفظ کارایی فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش تجمع MDA شده و تحمل شرایط تنش توسط گیاه را افزایش داد. همچنین عین‌الدین و همکاران (۱۴۰۲) گزارش دادند که تیمار ملاتونین در غلظت ۱۵۰ میکرومولار سبب کاهش تجمع MDA در گیاه توت‌فرنگی تحت شرایط تنش آبی شد. در این رابطه گزارش شده است که در طی تنش، ملاتونین واکنش‌های تطبیقی متعددی مانند افزایش فتوسنتز، سرعت تعرق، جذب مواد معدنی، تنظیم هورمونی، متابولیسم قند و مهار ROS را افزایش می‌دهد و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی را تنظیم کرده و آسیب اکسیداتیو به لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک را کاهش می‌دهد (Tiwari *et al*., 2020). بر این اساس کاربرد خارجی ملاتونین در گونه‌های گیاهی مختلف با کاهش آثار تنش خشکی بر گیاه سبب کاهش آسیب به غشاء و جلوگیری از تجمع مالون دی‌آلدهید شد (Debnath *et al*., 2019).

یکی از آثار منفی تنش‌های محیطی بر گیاهان کاهش کلروفیل است که منجر به کاهش جذب انرژی نورانی شده و فرآیند فتوسنتز و تولید ماده گیاهی را کاهش می‌دهد (Agathokleous *et al*., 2020). نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش آبیاری در گیاه فلفل تند در شرایط مزرعه سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b و کل شده و محتوای کاروتنوئید را نیز نسبت به شاهد کاهش داد. کاهش محتوای کلروفیل گیاهان در اثر تنش خشکی یک پدیده عمومی بوده و در تحقیقات زیادی گزارش شده است. به عنوان مثال Altaf و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که تنش کم آبی سبب کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل در گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. کاهش کلروفیل در شرایط تنش ممکن است به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی مؤثر در بیوسنتز کلروفیل و یا تخریب کلروفیل موجود ناشی از افزایش تجمع رادیکال‌های آزاد باشد (Agathokleous *et al*., 2020). نتایج تحقیقات حاضر نشان داد که کاربرد بیرونی ملاتونین اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و باعث بهبود محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در مقایسه با شاهد شد. گزارش شده است که تیمار ملاتونین با تأثیر بر فرآیند بیوسنتز کلروفیل، منجر به افزایش این رنگیزه فتوسنتزی شده و از این طریق رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش را بهبود می‌دهد (Khan *et al*., 2024). مطالعات نشان می‌دهد که اثرات ملاتونین روی رنگیزه‌های فتوسنتزی ممکن است مرتبط با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها یا افزایش ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان باشد (Xalxo and Keshavkant, 2019). از طرفی دیگر ممکن است کاربرد ملاتونین از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود بیوسنتز کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها که مطلوب برای بیوسنتز کلروفیل است، کلروفیل را از آسیب انواع اکسیژن فعال حفاظت کند و منجر به افزایش بیوسنتز این رنگیزه در گیاهان تحت تنش شود (Farouk and Al-Amir, 2019). همچنین Wang و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که کاربرد ملاتونین بیان ژن‌های تخریب‌کننده کلروفیل (Senesense-associated gene (SAG12), pheida oxygenas (PAO)) را متوقف کرده و همچنین باعث افزایش چرخه اسید آسکوربیک و گلوتایتون می‌شود و در نتیجه موجب کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و تأخیر در پیری برگ‌های گیاه می‌شود. علاوه‌براین Shi و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که حفاظت از کلروفیل شامل کنترل پیری در برگ‌های گیاه با کاربرد ملاتونین ایجاد شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تیمار ملاتونین با کاهش آسیب اکسیداتیو منجر به حفظ کلروفیل در شرایط تنش شده و از این طریق به تداوم رشد گیاه در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

تنش کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش آبیاری فلفل تند در شرایط آب‌وهوایی شهرستان دره‌شهر سبب کاهش پارامترهای رشدی و عملکردی گیاه شد. همچنین کاهش آبیاری در گیاه فلفل منجر به کاهش کلروفیل و افزایش معنی‌دار پرولین و مالون دی‌آلدهید شد. نتایج نشان داد که استفاده از تیمار ملاتونین به صورت محلول پاشی‌برگی آثار خشکی در گیاه را کاهش داده و منجر به افزایش رشد و عملکرد آن در شرایط مزرعه شد. تیمار ملاتونین باعث افزایش کلروفیل و کاروتنوئید شده و محتوای پرولین و مالون دی‌آلدهید را نسبت به شاهد کاهش داد. بنابراین برای کاهش آثار تنش کم آبی در گیاه فلفل استفاده از تیمار ملاتونین (غلظت ۱۰۰ میکرومولار) توصیه می‌شود.

منابع

عین‌الدین، محمدصفا، شکوهیان، علی‌اکبر، رسول‌زاده، علی، و همتی، آرش (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر اسید فولیک و ملاتونین بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی توت‌فرنگی رقم کاماروسا تحت تنش آبی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۷)، ۱۲۷-۱۴۲. https://doi.org/ 10.22034/12.57.127

Agathokleous, E., Feng, Z., & Penuelas, J. (2020). Chlorophyll hormesis: Are chlorophylls major components of stress biology in higher plants. *Science of the Total Environment*, *726*, 138637. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138637

Altaf, M. A., Shahid, R., Ren, M. X., Naz, S., Altaf, M. M., Khan, L. U., & Ahmad, P. (2022). Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Antioxidants*, *11*(2), 309. https://doi.org/10.3390/antiox11020309

Amiri, H., Zamani, Z., Arnao, M. B., Ismaili, A., Gavyar, P. H. H., & Khodayari, H. (2024). Optimal concentration of melatonin enhances drought stress tolerance in fenugreek. *Acta Physiologiae Plantarum*, *46*(2), 15. https://doi.org/10.1007/s11738-023-03643-3

Arnon, D. T. (1949). Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*ogy, *24*, 1-15. https://doi.org/ 10.1104/pp.24.1.1

Chen, Q., Qi, W. B., Reiter, R. J., Wei, W., & Wang, B. M. (2009). Exogenously applied melatonin stimulates root growth and raises endogenous indoleacetic acid in roots of etiolated seedlings of *Brassica juncea*. *Journal of Plant Physiology*, *166*(3), 324-328. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.06.002

Cui, G., Zhao, X., Liu, S., Sun, F., Zhang, C., & Xi, Y. (2017). Beneficial effects of melatonin in overcoming drought stress in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *118*, 138-149. https://doi.org/ 10.1016/j.plaphy.2017.06.014

Dawood, M. G. (2016). Influence of osmoregulators on plant tolerance to water stress. *Sciences Agriculture*, *13*(1), 42-58. https://doi.org/ 10.15192/pscp.sa.2016.13.1.4258

Debnath, B., Islam, W., Li, M., Sun, Y., Lu, X., Mitra, S., & Qiu, D. (2019). Melatonin mediates enhancement of stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(5), 1040. https://doi.org/10.3390/ijms20051040

Farouk, S. & Al-Amri, S. M. (2019). Ameliorative roles of melatonin and/or zeolite on chromium-induced leaf senescence in marjoram plants by activating antioxidant defense, osmolyte accumulation, and ultrastructural modification. *Industrial Crops and Products*, *142*, 111823. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111823

Gao, W., Feng, Z., Bai, Q., He, J., & Wang, Y. (2019). Melatonin-mediated regulation of growth and antioxidant capacity in salt-tolerant naked oat under salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(5), 1176. https://doi.org/10.3390/ijms20051176

González-Dugo, V., Orgaz, F., & Fereres, E. (2007). Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. *Scientia Horticulturae*, *114*(2), 77-82. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.014

Imran, M., Latif Khan, A., Shahzad, R., Aaqil Khan, M., Bilal, S., Khan, A., & Lee, I. J. (2021). Exogenous melatonin induces drought stress tolerance by promoting plant growth and antioxidant defence system of soybean plants. *AoB Plants*, *13*(4), plab026. https://doi.org/10.1093/aobpla/plab026

Kaur, G. & Asthir, B. J. B. P. (2015). Proline: A key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia plantarum*, *59*, 609-619. https://doi.org/10.1007/s10535-015-0549-3

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

Khan, Z., Jan, R., Asif, S., Farooq, M., Jang, Y. H., Kim, E. G., & Kim, K. M. (2024). Exogenous melatonin induces salt and drought stress tolerance in rice by promoting plant growth and defense system. *Scientific Reports*, *14*(1), 1214. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51369-0

Lee, J. J., Crosby, K. M., Pike, L. M., Yoo, K. S., & Leskovar, D. I. (2005). Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* Spp.). *Scientia Horticulturae*, *106*, 341-352. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.04.008

Li, X., Brestic, M., Tan, D. X., Zivcak, M., Zhu, X., Liu, S., & Liu, F. (2018). Melatonin alleviates low PS I-limited carbon assimilation under elevated CO_2 and enhances the cold tolerance of offspring in chlorophyll b-deficient mutant wheat. *Journal of Pineal Research*, *64*(1), e12453. https://doi.org/10.1111/jpi.12453

Morales, M. & Munne-Bosch, S. (2019). Malondialdehyde: Facts and artifacts. *Plant Physiology*, *180*(3), 1246-1250. https://doi.org/10.1104/pp.19.00405

Ozgur, M., Ozcan, T., Akpinar-Bayizit, A., & Yilmaz-Ersan, L. (2011). Functional compounds and antioxidant properties of dried green and red peppers. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(25), 5638-5644. https://doi.org/10.5897/AJAR11.709

Paquin, R. & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une m ethode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, *57*, 1851-1854. https://doi.org/10.1139/b79-233

Saleh, B. K., Omer, A., & Teweldemedhin, B. (2018). Medicinal uses and health benefits of chili pepper (*Capsicum* spp.): A review. *MOJ Food Process Technology*, *6*(4), 325-328. https://doi.org/ 10.15406/mojfpt.2018.06.00183

Shahrivar, Z., Abtahi, F., & Hatami, M. (2020). Effect of growth regulator salicylate on some physiological and biochemical parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research*, *32*(4), 724-735.

Sharma, A., Wang, J., Xu, D., Tao, S., Chong, S., Yan, D., Li, Z., Yuan, H., & Zheng, B. (2020). Melatonin regulates the functional components of photosynthesis, antioxidant system, gene expression, and metabolic pathways to induce drought resistance in grafted *Carya cathayensis* plants. *Science of the Total Environment*, *713*, 136675. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136675

Shi, H., Jiang, C., Ye, T., Tan, D. X., Reiter, R. J., Zhang, H., Liu, R., & Chan, Z. (2014). Comparative physiological, metabolomic, and transcriptomic analyses reveal mechanisms of improved abiotic stress resistance in bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L). Pers.) by exogenous melatonin. *Journal of Experimental Botany*, *66*, 681-694. https://doi.org/10.1093/jxb/eru373

Stewart, R. R. & Bewley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, *65*(2), 245-248. https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245

Tiwari, R. K., Lal, M. K., Naga, K. C., Kumar, R., Chourasia, K. N., Subhash, S., & Sharma, S. (2020). Emerging roles of melatonin in mitigating abiotic and biotic stresses of horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, *272*, 109592. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109592

Wang, P., Sun, X., Li, C., Wei, Z., Liang, D., & Ma, F. (2013). Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. *Journal of Pineal Research*, *54*(3), 292-302. https://doi.org/10.1111/jpi.12017

Xalxo, R. & Keshavkant, S. (2019). Melatonin, glutathione and thiourea attenuates lead and acid rain-induced deleterious responses by regulating gene expression of antioxidants in *Trigonella foenum graecum* L. *Chemosphere*, *221*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.029

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, *7*(3), 50. https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050

Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S., & Guo, Y. D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, *66*, 647-656. https://doi.org/10.1093/jxb/eru336

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]

The effect of melatonin on yield, growth traits and some physiological parameters of hot pepper under drought stress conditions

Mehdi Amozadeh[1], Fardin Ghanbari[*1], Raheel Movahedi[2]

[1] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
[2] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: 2024/01/29, Accepted: 2024/04/07)

Abstract

Melatonin has different and important roles in many aspects of plant growth and development. Recently, it has been found that melatonin has antioxidant properties and plays a vital role in the processes of germination, maturation, aging, cell protection, and resistance to biotic and abiotic stresses. In this study, the effect of different concentrations of melatonin (0, 50, 100, and 200 µM) on yield, growth traits and some biochemical characteristics of hot pepper (*Capsicum annuum*) under different levels of deficit irrigation (irrigation after 40, 80 and 120 mm of evaporation from a class A pan) was investigated. The split plot experiment was carried out in the form of a randomized complete block design with three replications. The results showed that the reduction of irrigation decreased the growth and yield of the plant and increased the content of proline and malondialdehyde. Application of melatonin at all irrigation levels improved the growth and performance of pepper in field conditions. Also, melatonin foliar application decreased the content of proline and malondialdehyde and increased chlorophyll and carotenoid compared to the control. The concentration of 200 µM melatonin had a better effect on the growth and yield of pepper than other concentrations. Also, the effectiveness of the melatonin hormone was observed more at the irrigation level of 120 mm of evaporation. In general, the results of this research showed that the use of melatonin (especially in concentrations of 100 and 200 µM) reduced the effects of drought stress in pepper plants by increasing the content of chlorophyll and reducing the accumulation of malondialdehyde and proline.

Keywords: Antioxidant, Chlorophyll, Drought stress, Evaporation pan

Corresponding author, Email: F.ghanbari@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.331]