مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۶ شماره ۱ صفحه‌های ۴۷ تا ۶۴ (۱۴۰۴)
مقاله پژوهشی

اثر ملاتونین بر عملکرد، خصوصیات بیوشیمیایی و عناصر غذایی موسیر ایرانی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

The Effect of Melatonin on Yield, Biochemical Characteristics and Nutritional Elements of Iranian Shallot Under Different Irrigation Regimes

روح الله احتشام و فردین قنبری*

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (F.ghanbari@ilam.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثر ملاتونین بر صفات کمی و کیفی موسیر ایرانی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. رژیم‌های مختلف آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح دور آبیاری پنج روز یکبار، ۱۰ روز یکبار و بدون آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار، فاکتورهای مورد مطالعه در این پژوهش بودند. نتایج نشان داد که کاهش آبیاری باعث کاهش صفات کمی و کیفی گیاه موسیر شد. محلول‌پاشی موسیر به خصوص در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین باعث افزایش وزن‌تر و خشک سوخ، میزان فسفر و کلسیم نسبت به شاهد گردید. بیشترین وزن‌تر خشک اندام هوایی (۱۳۱ گرم) مربوط به دور آبیاری پنج روز یکبار و محلول‌پاشی تیمار ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین بود. علاوه بر این ملاتونین با غلظت ۲۰۰ میکرومولار در دور آبیاری ۱۰ روز یکبار محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را به ترتیب ۳۳/۳۳، ۱۸/۴۶ و ۱۶/۹۲ ٪ نسبت شاهد افزایش داد. همچنین بیشترین میزان ویتامین ث و محتوای نیتروژن در دور آبیاری ۱۰ روز یکبار و محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار به دست آمد. به طور کلی کاربرد ملاتونین (به خصوص در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) خصوصیات بیوشیمیایی، عناصر غذایی و عملکردی موسیر ایرانی را بهبود بخشید و باعث تحمل بهتر شرایط خشکی در این گیاه شد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، فنل کل، موسیر.

مقدمه

گیاهان دارویی یکی از ارزشمندترین گیاهانی هستند که امروزه به طور گسترده برای درمان بیماری‌های مختلف و ارتقای سلامت انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Riaz *et al.*, 2023). موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss)، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی و پیازی، متعلق به تیره Alliaceae است که رویشگاه اصلی آن کوه‌های زاگرس در غرب و مرکز ایران است

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

(Vahdat *et al*., 2024). موسیر به‌عنوان ادویه برای انواع غذاها مانند سالاد، ترشی، ماست و سس‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mohammadiani *et al*., 2021). به علاوه سوخ تازه و خشک موسیر در طب سنتی برای درمان روماتیسم، التهاب، آرتریت، اسهال و درد معده موثر بوده است. همچنین دارای فعالیت‌های دارویی مختلفی از جمله فعالیت آنتی اکسیدانی، کاهش قند خون، ضد سرطان، ضد تجمع پلاکتی، ضد چربی خون، ضد میکروبی، ضد قارچ، ضد انگل، محافظ کبد و تعدیل کننده سیستم ایمنی است (Grewal *et al*., 2020). موسیر سرشار از قند، پروتئین، چربی، کلسیم، پتاسیم، فسفر، گوگرد، ید، فیبر، سیلیکون و ویتامین‌ها است و سهم بسزایی در رژیم غذایی انسان دارد (Yeshiwas *et al*., 2023). با این حال، عامل محیطی که موفقیت گیاهان موسیر را تعیین می‌کند، در دسترس بودن آب است (Kusumiyati *et al*., 2024). زیرا، کاهش بارندگی و کمبود آب موجود در بسیاری از نقاط از جمله مناطق خشک و نیمه خشک ایران منجر به کاهش دسترسی به آب می‌شود و عملکرد آن را محدود می‌کند (Yousefvand *et al*., 2022). در گیاهان موسیر، کمبود آب به طور کلی در دوره تشکیل سوخ اتفاق می‌افتد که یک دوره بحرانی برای گیاهان موسیر است و می‌تواند تولید را کاهش دهد (Nur *et al*., 2020). در مطالعات مختلفی گزارش شده است که تنش آبی موجب کاهش تعداد سوخ‌ها و وزن‌تر و خشک آنها (Rahmawati & Wulandari, 2024)، صفات رشدی، فیزیولوژیکی (Nur *et al*., 2020) و عملکرد سوخ موسیر شده است (Yousefvand *et al*., 2022).

رویکردهای متفاوتی برای کاهش اثرات مضر تنش خشکی ضروری است. در این میان، تیمار برون‌زا با استفاده از محرک‌های زیستی یا فیتوهورمون‌ها به‌عنوان یک روش مفید و مهم برای بهبود سازگاری محصول و محافظت در برابر شرایط تنش‌زا در نظر گرفته می‌شود. یکی از محرک‌های زیستی که نقش مهمی در رشد، نمو و پاسخ به تنش‌های غیرزیستی دارد، ملاتونین است (Mazrou *et al*., 2023). ملاتونین (N- استیل- ۵- متوکسی تریپتامین)، از مشتقات تریپتوفان، در موجودات زنده وجود دارد و گزارش شده است که نقش هورمون مانندی در برخی گونه گیاهی دارد (Bidabadi *et al*., 2020). ملاتونین می‌تواند طیف وسیعی از فرآیندهای گیاهی را در سطوح رشدی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی تنظیم کند (Ibrahim *et al*., 2020). ملاتونین در افزایش رشد و نمو گیاهان، تحریک جوانه‌زنی بذر، تشویق رشد ریشه‌های جانبی، تاخیر در پیری برگ‌ها و تأثیر بر رسیدن میوه‌ها نقش دارد (Huang *et al*., 2023). همچنین ملاتونین انواع مسیرهای متابولیک پایه را در گیاهان، مسیرهای متابولیک اولیه شامل مسیرهای متابولیسم کربوهیدرات، لیپید و نیتروژن و همچنین فرآیندهای متابولیک ثانویه شامل فنول‌ها، ترپنوئیدها و فلاونوئیدها را کنترل می‌کند (Hasnain *et al*., 2023). به علاوه ملاتونین نقش حیاتی در حفاظت از گیاهان در برابر کمبود آب دارد. از دستگاه فتوسنتزی با افزایش راندمان مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)[۱] محافظت می‌کند و آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی را کاهش می‌دهد (El-Bauome *et al*., 2022). اثر مثبت ملاتونین در کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی قبلاً در گیاهان مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، تیمار ملاتونین با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، اسیدهای آمینه آزاد و قندهای محلول، پروتئین و در نتیجه افزایش رشد و جذب پتاسیم و روی در برگ‌ها و ریشه‌ها اثرات نامطلوب خشکی را بر روی شلغم بهبود بخشید (Hasnain *et al*., 2023). به طور مشابه تحت تنش خشکی، محلول‌پاشی ملاتونین رشد گیاه، کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی را در گوجه فرنگی افزایش داد (Ibrahim *et al*., 2020). در مطالعه El-Bauome و همکاران (El-Bauome *et al*., 2022) محلول‌پاشی ملاتونین ارتفاع، قطر، ماده خشک ، سطح برگ، محتوای کلروفیل برگ، محتوای آب نسبی برگ، ویتامین ث، پرولین، قند محلول کل، کلم گل را در شرایط تنش خشکی افزایش داد. علاوه بر این،

۱- Reactive Oxygen Species

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

Nasircilar و همکاران (Nasircilar *et al*., 2024) نشان دادند سرعت جوانه‌زنی، تعداد برگ، اسیدهای آمینه پروتئین‌زا، ویتامین‌های محلول در آب و محتوای مواد معدنی سوخ تحت تنش خشکی در نتیجه کاربرد ملاتونین افزایش یافت.

با توجه به این که موسیر یک گیاه با ارزش دارویی و اقتصادی مهم است، یافتن راهکارهای مناسب برای کاهش اثرات تنش خشکی و فراهم کردن امکان افزایش عملکرد محصول در این شرایط، حائز اهمیت است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر ملاتونین بر صفات کمی و کیفی موسیر ایرانی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر ملاتونین بر صفات کمی و کیفی موسیر ایرانی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح، دور آبیاری پنج روزه، دور آبیاری ۱۰ روزه و بدون آبیاری به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی ملاتونین با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند.

پس از عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، دیسک زنی و تسطیح، سوخ‌های موسیر در تاریخ دوم آذر ۱۴۰۱ به صورت دستی کشت شدند. سوخ‌های مورد استفاده از گونه‌های وحشی استان همدان تهیه شد. قبل از کشت سوخ‌ها در زمین اصلی کود NPK به خاک مزرعه اضافه شد. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف با تراکم ۱۰ بوته بود. سوخ‌ها روی ردیف‌هایی با فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در عمق هشت سانتی‌متر خاک کشت شدند. در طی رشد گیاهان وجین علف‌های هرز در مزرعه به صورت دستی انجام گرفت. اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری در هنگام ظهور گیاهان شروع شده و تا ۱۵روز قبل از برداشت ادامه داشت. گیاهان موسیر طی مرحله رشد رویشی دو مرحله با فاصله هفت روز یکبار با غلظت‌های مختلف ملاتونین محلول‌پاشی شدند. زمان محلول‌پاشی ساعات اولیه صبح روی تمام قسمت‌های گیاه به وسیله سمپاش دستی صورت گرفت. در مرحله خشک شدن ۹۰ درصدی بوته‌ها (۱۱ خرداد ماه) موسیرها برای اندازه‌گیری صفات برداشت شدند.

اندازه‌گیری وزن‌تر و خشک اندام هوایی و سوخ

پس از برداشت گیاهان و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه، با استفاده از آب ریشه‌ها، به آرامی شسته شده، سپس سوخ و قسمت هوایی از هم جدا و وزن‌تر سوخ‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. به‌منظور محاسبه وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس وزن خشک سوخ و اندام هوایی گیاه بر حسب گرم یادداشت شد.

استخراج عصاره

به منظور تهیه عصاره متانولی، ۰/۵ گرم از بافت‌تر سوخ گیاه توسط ازت مایع در سه میلی‌لیتر متانول ۸۰ ٪ همگن شد و پس از سانتریفیوژ کردن نمونه‌ها با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، روشناور جدا و از آن برای سنجش فنل کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ویتامین ث استفاده شد.

تعیین فنل کل

ارزیابی میزان فنل کل با روش فولین- سیوکالتیو انجام شد. بدین منظور ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی استخراج شده با ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ ٪ مخلوط شده و به مدت پنج دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس به نمونه‌ها مقدار

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

۱۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷٪ اضافه گردید و به مدت دو ساعت نمونه‌ها روی شیکر در تاریکی قرار گرفتند. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای شاهد نیز به جای عصاره از متانول ۸۰ ٪ استفاده شد. در نهایت مقدار فنل کل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن‌تر بیان شد (Singleton & Rossi, 1965).

تعیین فلاونوئید کل

سنجش فلاونوئید کل به روش آلومینیوم کلراید انجام شد. به این صورت که ابتدا یک میلی‌لیتر عصاره متانولی با ۲۵۰ میکرولیتر از محلول کلرید آلومینیوم ۱۰ ٪ و ۲۵۰ میکرولیتر استات پتاسیم یک مولار مخلوط شد و نیم ساعت در تاریکی قرار داده شد. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد (Akkol *et al*., 2008).

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (دیفنیل پیکریل هیدرازیل)، ابتدا ۲۰۰ میکرولیتر (حجم نهایی سه میلی‌لیتر) عصاره رقیق‌شده نمونه‌ها با ۲۸۰۰ میکرولیتر محلول ۰/۰۴ ٪ DPPH مخلوط شد. بعد از ۳۰ دقیقه نگهداری نمونه‌ها در شرایط تاریکی و دمای اتاق، جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Akowuah *et al*., 2005).

$$DPPH\ (\%) = (A_C - A_S)/A_C \times ۱۰۰$$

که در آن A_S جذب نمونه گیاهی و A_C جذب محلول شاهد است.

اندازه‌گیری ویتامین ث

اندازه‌گیری ویتامین ث (آسکوربیک اسید) به وسیله تیتراسیون با ۶،۲ دی کلروفنول ایندوفنول انجام گرفت. برای تعیین میزان آسکوربیک اسید مقدار یک سی‌سی از عصاره را با پنج سی‌سی متافسفریک مخلوط کرده و پس از سانتریفیوژ به مدت سه دقیقه، محلول رویی را برداشته و با ایندوفنول تیتر کردیم. ظهور رنگ ارغوانی نشان‌دهنده پایان تیتراسیون بود. براساس میزان محلول مصرف شده غلظت اسید آسکوربیک نمونه‌ها محاسبه و بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر گزارش شد (Ranganna, 1997).

سنجش عناصر غذایی

جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی ابتدا سوخ‌های موسیر در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شده و آسیاب گردیدند. از نمونه‌های آسیاب شده مقدار ۰/۵ گرم وزن کرده در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سیلسیوس به مدت سه ساعت قرار داده تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شدند. ۱۰۰ میلی‌گرم خاکستر حاصل در پنج میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو نرمال حل گردید و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس عصاره حاصل از کاغذ صافی عبور داده و برای اندازه‌گیری عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم مورد استفاده قرار گرفت. غلظت نیتروژن به روش هضم و تقطیر (دستگاه کجلدال) تعیین شد (Nelson & Sommers, 1983). پتاسیم و کلسیم به روش نشر شعله‌ای با دستگاه فلایم‌فتومتر (JENWAY ساخت کشور آلمان) خوانده شد. غلظت فسفر به روش آمونیوم مولیبدات و مولیبدات وانادات (روش زرد) اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Pratt & Chapman, 1961).

واکاوی آماری داده‌ها

واکاوی آماری داده‌های حاصل از این آزمایش، با استفاده از نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel انجام گردید.

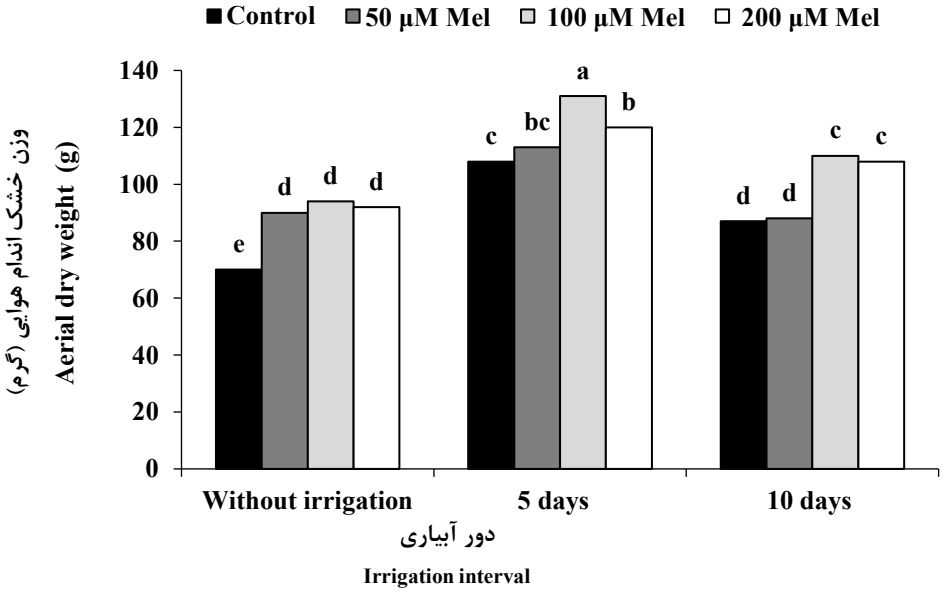
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

داده‌های جدول یک نشان داد که برهمکنش بین سطوح آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر وزن خشک اندام هوایی موسیر معنی‌دار بود. نتایج شکل یک نشان داد که با افزایش دور آبیاری وزن خشک اندام هوایی موسیر کاهش یافت، در حالی محلول‌پاشی بوته‌های موسیر با ملاتونین باعث افزایش میزان آن در سطوح مختلف آبیاری نسبت به تیمار شاهد شد. به نحوی که بیشترین وزن‌تر خشک اندام هوایی در تیمار ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین در دور آبیاری پنج روز یکبار با میزان ۱۳۱ گرم به دست آمد. در مقابل کمترین مقدار صفت مذکور به تیمار شاهد محلول‌پاشی تحت تنش خشکی (بدون آبیاری) با میزان ۷۰ گرم اختصاص داشت (شکل ۱).

کاهش رشد و تولید گیاه در شرایط تنش کم‌آبی احتمالاً به دلیل تأثیر مضر تنش خشکی است که باعث اختلال در ویژگی‌های تبادل گاز، تعادل یونی، یکپارچگی سلولی، تعادل آب و کاهش فتوسنتز می‌شود و در نتیجه رشد و تولید گیاه را مهار می‌کند (Desoky *et al*., 2021). به علاوه تأثیر مخرب خشکی بر گیاهان می‌تواند به دلیل کاهش جذب آب از خاک به برگ، افزایش کم آبی و کاهش تورژسانس و تقسیم سلول‌ها باشد که همگی می‌توانند بر خصوصیات رشد رویشی به ویژه ارتفاع گیاه تعداد برگ و وزن خشک گیاه تأثیر منفی بگذارند (Abdelaal *et al*., 2021). در این مطالعه محلول‌پاشی ملاتونین وزن خشک اندام هوایی موسیر را افزایش داد. به علاوه Ibrahim و همکارن (Ibrahim *et al*., 2020) نشان دادند کاربرد ملاتونین اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش داد و وزن خشک اندام هوایی گوجه‌فرنگی را افزایش داد. آن‌ها این امر را به افزایش بیان ژن‌هایی نسبت دادند که در تقسیم سلولی، فتوسنتز و متابولیسم نقش دارند. ملاتونین نقش مهمی در فتوسنتز و محافظت از نور ایفا می‌کند (Ribeiro *et al*., 2024). همچنین ملاتونین به‌عنوان یک تقویت کننده رشد عمل می‌کند که رشد را بهبود می‌بخشد و گیاهان را از تنش‌های غیر زنده محافظت می‌کند (Mazrou *et al*., 2023).



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر وزن خشک اندام هوایی موسیر ایرانی.

Fig. 1. Mean comparison of the interaction effect of different irrigation regimes and melatonin foliar application on shoot dry weight of Iranian shallot.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

وزن‌تر و خشک سوخ

وزن‌تر و خشک سوخ تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین قرار گرفت به گونه‌ای که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین تیمارها وجود داشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش دور آبیاری میزان وزن‌تر و خشک سوخ کاهش یافت. به طوری که بیشترین وزن‌تر (۹۱/۵ گرم) و خشک (۲۶/۷۳ گرم) سوخ به دور آبیاری پنج روز یکبار و کمترین مقدار آن‌ها به ترتیب با میزان ۶۳/۲۶ و ۱۹/۲۵ گرم به تنش شدید بدون آبیاری اختصاص یافت (جدول ۱). از سوی دیگر مشاهده شد محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ملاتونین اثر متفاوتی بر وزن‌تر سوخ موسیر داشتند. افزایش غلظت ملاتونین از صفر تا ۱۰۰ میکرومولار باعث صعودی شدن نمودار وزن‌تر سوخ گردید و پس از آن در غلظت ۲۰۰ میکرومولار روند نزولی در پیش گرفت. در واقع بیشترین وزن‌تر سوخ مربوط به تیمار ۱۰۰ و ۵۰ میکرومولار (۸۲/۷۹ و ۷۷/۷۷ گرم) بود که در مقایسه با شاهد ۱۸/۹۵ و ۱۱/۷۳ ٪ افزایش نشان دادند (جدول ۱). همچنین محلول‌پاشی ملاتونین در افزایش وزن خشک سوخ نقش داشت. کوچک‌ترین سوخ‌ها با میزان ۱۹/۲۸ گرم در تیمار شاهد مشاهده شدند. در حالی که بزرگترین سوخ‌ها در غلظت ۲۰۰ و ۱۰۰ میکرومولار به دست آمد که باعث افزایش ۲۹/۲۵ و ۲۵/۳۱ درصدی وزن خشک سوخ نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۱).

موسیر دارای سیستم ریشه‌ای کم عمق هستند و این باعث می‌شود که آن‌ها نسبت به تنش آبی، به ویژه در هنگام تشکیل و بزرگ شدن سوخ حساس‌تر شوند. بنابراین بیشتر بودن وزن‌تر و خشک سوخ در دور آبیاری پنج روز یکبار ممکن است به دلیل دسترسی بهتر رطوبت در ناحیه ریشه در کل دوره رشد سیر باشد زیرا آب نقش مهمی در جذب و انتقال مواد مغذی و فتوسنتز دارد که باعث رشد و افزایش وزن سوخ می‌شود. مصطفی و همکاران (Moustafa *et al*., 2024) نیز بیان کردند کاهش محتوای ماده خشک سوخ سیر در معرض تنش آبی ممکن است به دلیل کاهش جذب مواد مغذی باشد که منجر به کاهش ارتفاع بوته و تعداد برگ می‌شود که به نوبه خود منجر به کاهش تولیدات فتوسنتزی و کاهش تجمع ماده خشک در سوخ می‌شود. همچنین کاهش وزن‌تر سوخ به کاهش صفات تبادل گازی با آسیب به محتویات کلروفیل نسبت داده می‌شود که منجر به تنش اکسیداتیو می‌شود (Gökçe *et al*., 2022). از سوی دیگر محلول‌پاشی ملاتونین منجر به افزایش وزن‌تر و خشک سوخ موسیر شد، در واقع استفاده از ملاتونین باعث افزایش محتوای پتاسیم در برگ‌ها می‌شود و از آنجایی که پیش ساز بیوسنتزی یکسانی با اکسین‌ها دارند به‌عنوان یک تنظیم کننده رشد گیاه عمل می‌کند و وزن سوخ را افزایش می‌دهد (Ribeiro *et al*., 2024). در نتایج مشابهی کاربرد ملاتونین غده‌زایی سیب‌زمینی و تشکیل غده‌ها را تحریک کرد و با افزایش قندهای غیرکاهنده و مهار انتقال هورمون آبسیزیک اسید از ریشه به سیستم اندام هوایی منجر به بهبود عملکرد غده شد (El-Yazied *et al*., 2022).

محتوای فنل کل

بر اساس نتایج مشخص شد که اثر ساده سطوح آبیاری و اثرات متقابل سطوح آبیاری در محلول‌پاشی ملاتونین بر محتوای فنل کل سوخ موسیر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که تیمار ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار در دور آبیاری ۱۰ روز یکبار بیشترین محتوای فنل کل (۱/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) را داشت که تفاوت معنی‌داری با غلظت ۵۰ میکرومولار ملاتونین در تیمار بدون آبیاری نداشت. کمترین محتوای فنل کل (۴/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) نیز مربوط به محلول‌پاشی ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار در تنش شدید آبی (بدون آبیاری) بود (شکل ۲ الف).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر ساده رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر وزن‌تر و خشک سوخ موسیر ایرانی.

Table 1. Mean comparison of the simple effect of different irrigation regimes and melatonin foliar application on bulb fresh and dry weight of Iranian shallot.

Treatment		تیمار	وزن‌تر سوخ (گرم) Bulb fresh weight (g)	وزن خشک سوخ (گرم) Bulb dry weight (g)
دور آبیاری Irrigation interval	Without irrigation	بدون آبیاری	63.26^{c}	19.25^{c}
	5 days	۵ روز یکبار	91.50^{a}	26.73^{a}
	10 days	۱۰ روز یکبار	74.30^{b}	22.22^{b}
محلول‌پاشی ملاتونین Melatonin foliar application	Control	شاهد	69.60^{c}	19.28^{c}
	50 µM	۵۰ میکرومولار	77.77^{ab}	22.59^{b}
	100 µM	۱۰۰ میکرومولار	82.79^{a}	24.16^{a}
	200 µM	۲۰۰ میکرومولار	75.81^{b}	24.92^{a}

تیمارهای دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن هستند.

Different letters indicate significance at $P < 0.05$ according to Duncan test.

ترکیبات فنل از جمله ترکیبات آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی هستند که نقش آنتی‌اکسیدانی خود را از طریق مکانیسم‌های مختلفی از جمله از بین بردن رادیکال‌های آزاد، مهار واکنش‌های اکسیداتیو، کاهش هیدروژن، واکنش انسداد اکسیژن، کلات یون‌های فلزی و عمل به‌عنوان سوبسترای آنزیم پراکسیداز ایفا می‌کنند (Zahedi *et al*., 2020). به طور کلی، تغییر محتوای فنلی در گیاهان تحت تنش خشکی به ژنوتیپ و گونه گیاهی بستگی دارد. بسیاری از نویسندگان گزارش کردند که محتوای فنل در بافت‌های گیاهی تحت شرایط نامطلوب تنش افزایش می‌یابد. زیرا متابولیت‌های ثانویه بیشتری در گیاهان در شرایط تنش تولید می‌شوند و این متابولیت‌ها می‌توانند از اکسید شدن سلول‌ها جلوگیری کنند (Yeloojeh *et al*., 2020). با این حال، در یک گزارش، ترکیبات فنلی سیر در شرایط تنش خشکی به دلیل نشت و از دست‌دهی فنل‌ها کاهش یافت (Habuš Jerčić *et al*., 2023). همچنین این کاهش می‌تواند ناشی از تخریب ترکیبات فنلی در اثر واکنش با ترکیبات اکسیداتیو در شرایط تنش خشکی باشد یا کاهش مقدار این ترکیبات می‌تواند به علت کاهش فعالیت آنزیم‌های مسیر بیوسنتز این ترکیبات باشد (Hassanzadeh Ghortepeh *et al*., 2020). طی نتایج به دست آمده تایید شد محلول‌پاشی ملاتونین باعث افزایش محتوای فنل کل موسیر در هر دو دور آبیاری و بدون آبیاری می‌شود. در ارتباط با تأثیر مثبت محلول‌پاشی ملاتونین بر محتوای فنل کل سوخ موسیر می‌توان اظهار داشت که ملاتونین اعمال شده به‌عنوان یک مولکول سیگنالی در گیاهان تحت تنش خشکی عمل می‌کند و با افزایش قابل توجه این متابولیت‌های ثانویه موجب تسریع مقاومت گیاه در برابر آسیب اکسیداتیو می‌شود (Hossain *et al*., 2020). علاوه بر این، نقش افزایش دهنده ملاتونین بر محتویات فنلی ناشی از القای مسیرهای متابولیکی مختلف است که باعث تشکیل ترکیبات مختلف به ویژه تحت تنش می‌شود (Sadak *et al*., 2020). در پژوهش انجام شده در گل گاوزبان اروپایی مشخص شد ملاتونین با افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز در مسیر فنیل پروپانوئید در برگ‌های گیاه، تجمع ترکیبات فنلی را افزایش داد (Farouk & Al-Huqail, 2022).

محتوای فلاونوئید کل

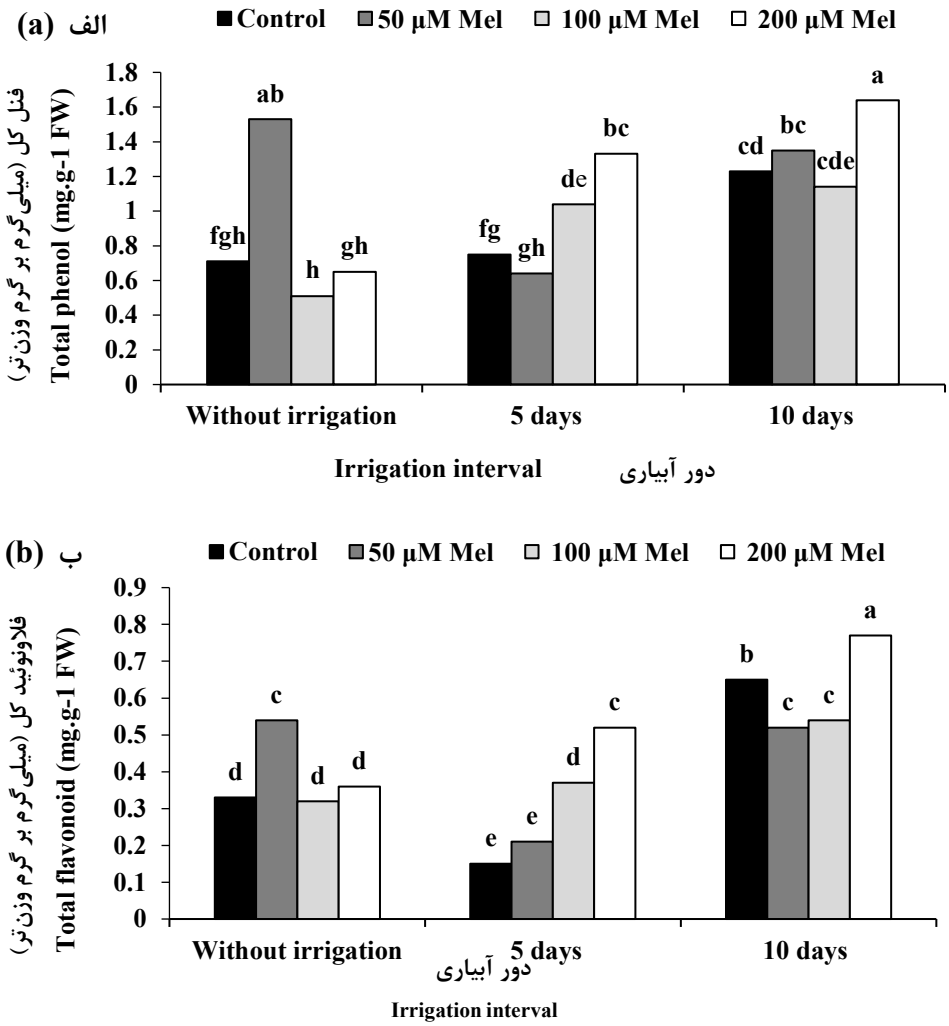
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، محلول‌پاشی ملاتونین و برهمکنش آبیاری در محلول‌پاشی (P>۰/۰۱) بر محتوای فلاونوئید کل سوخ بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین که در شکل دو ارائه شده است با افزایش دور آبیاری از پنج به ۱۰ روز یکبار فلاونوئید کل در همه سطوح محلول‌پاشی ملاتونین افزایش نشان داد. به گونه‌ای

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

که بیشترین فلاونوئید کل با میانگین ۰/۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر مربوط به محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین و دور آبیاری ۱۰ روز یکبار بود. در حالی که دور آبیاری پنج روز یکبار، تیمار شاهد و محلول‌پاشی ملاتونین ۵۰ میکرومولار کمترین محتوای فلاونوئید کل را داشت که نسبت به محلول‌پاشی ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار و دور آبیاری ۱۰ روز یکبار به ترتیب کاهش ۸۰/۵۱ و ۷۲/۷۲ درصدی نشان دادند (شکل ۲ ب).

فلاونوئیدها، برای بیوسنتز و تجمع در گیاهان برای افزایش مقاومت گیاه در برابر تأثیرات مضر تنش کم آبی تأیید شده‌اند. تجمع فلاونوئیدها در سیتوپلاسم می‌تواند منجر به سم‌زدایی مولکول‌های مضر H_2O_2 و در نتیجه تنش ناشی از کم آبی شود (Desoky *et al*., 2021). با این حال، محتوای فلاونوئید کل به گونه، بافت‌های گیاهی و سطح خشکی بستگی دارد. کاهش کل فلاونوئیدها در تنش خشکی ممکن است به دلیل غیرفعال شدن آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز آن‌ها باشد (Kusumiyati *et al*., 2024). همچنین تنش خشکی با کاهش آنزیم‌های درون‌زا یا کاهش بیان ژن‌های مرتبط با پلی‌فنول‌ها، مسیر تولید فلاونول‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zahedi *et al*., 2023). در پژوهشی، Shin و همکاران (Shin *et al*., 2021) بیان کردند که محتوای فلاونوئید کل کاهو بعد از ششم روز تنش خشکی به طور موقت کاهش یافت و در روز هشتم تمایل به بازگشت را نشان داد که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت. از طرفی گزارش‌ها حاکی از این است که در گیاه موسیر محتوای فلاونوئید کل تحت شرایط محلول‌پاشی ملاتونین افزایش یافت. سایر محققین در بررسی تأثیر محلول پاشی ملاتونین بر چند گونه مرکبات تحت تنش خشکی بیان داشتند، مقدار فلاونوئیدهای انباشته شده در گیاهچه‌های پیش تیمار شده با ملاتونین از طریق تنظیم متابولیسم‌های ثانویه و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و سطوح رونوشت هشت ژن درگیر در سنتز فلاونوئیدها، در پاسخ به کاربرد ملاتونین افزایش یافت (Jafari & Shahsavar, 2021).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر محتوای فنل کل (الف) و محتوای فلاونوئید کل (ب) موسیر ایرانی.

Fig. 2. Mean comparison of the interaction effect of different irrigation regimes and melatonin foliar application on total phenol content (a) and total flavonoid content (b) of Iranian shallot.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

برهمکنش سطوح آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سوخ معنی‌داری (P>۰/۰۱) شد. با افزایش شدت تنش آبیاری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل کاهش یافت و در شرایط بدون آبیاری کمترین میزان را داشت. به طور کلی محلول‌پاشی گیاهان با ملاتونین تا دور آبیاری ۱۰ روز یکبار سبب افزایش بیشتر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در مقایسه با گیاهان شاهد شد که این افزایش در تیمار ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین بالاتر بود. بالاترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار (۷۶ ٪) و ۱۰۰ میکرومولار (۷۳ ٪) ملاتونین در دور آبیاری ۱۰ روز یکبار دیده شد. اما کمترین میزان آن با میانگین ۴۴ ٪ در تیمار شاهد در شرایط بدون آبیاری ثبت شد (شکل ۳ الف).

DPPH رادیکال‌های آزاد مصنوعی هستند که برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Barrales-Heredia *et al*., 2023). DPPH فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (بخشی از مجموعه دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاهان) را نشان می‌دهد. یک همبستگی مثبت بین محتوای فنل، فلاونوئید و DPPH وجود دارد و نقش احتمالی فنل و فلاونوئید را در سم‌زدایی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

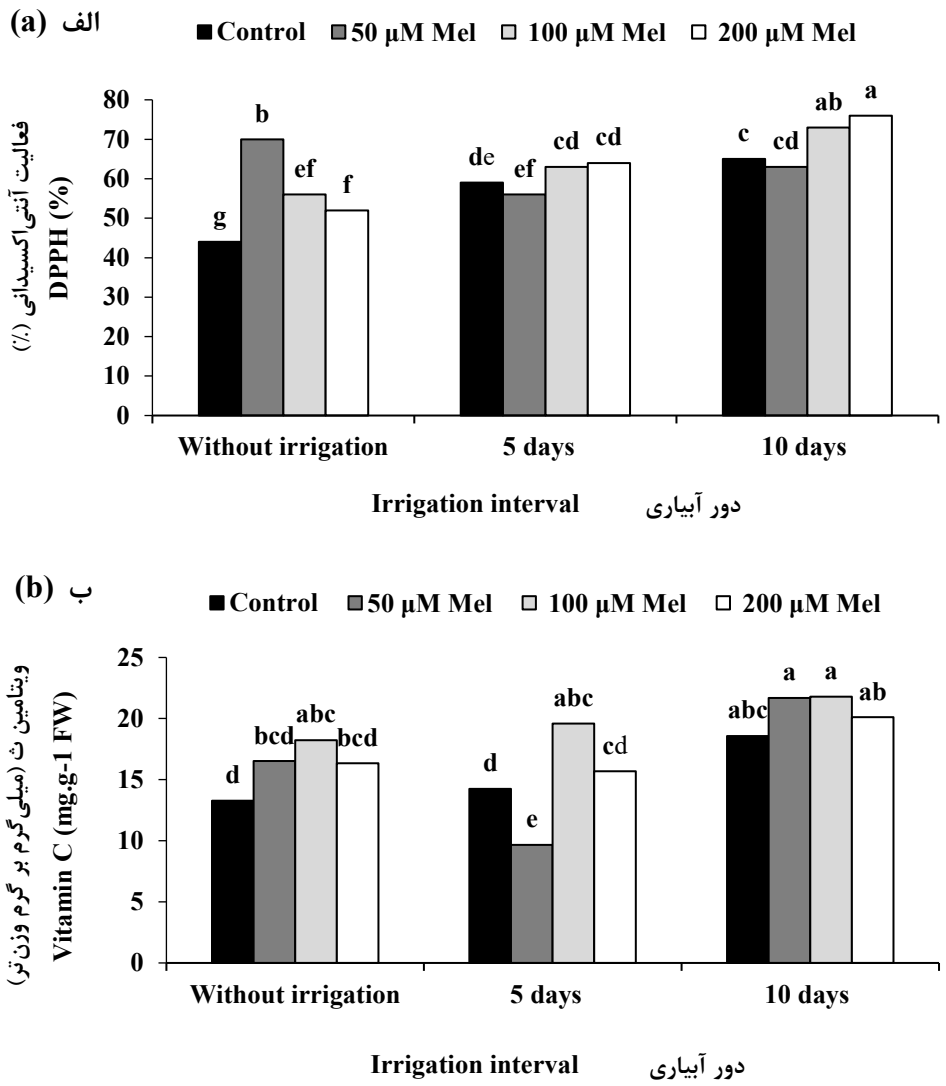
رادیکال‌های آزاد در گیاهان رشد یافته در شرایط تنش نشان می‌دهد (Rezaie *et al*., 2020). بنابراین تفاوت در محتوای فنل و فلاونوئید می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را تحت تاثیر قرار دهد (Hassanzadeh Ghortepeh *et al*., 2020). سطوح بالاتر فعالیت مهار رادیکال DPPH در بافت‌های گیاهی با افزایش تحمل تنش مرتبط است. شواهد نشان داده است که ملاتونین از طریق واکنش با رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسی برای از بین بردن مستقیم مولکول‌های ROS، ظرفیت مهار موثر رادیکال‌های آزاد را دارد (Talaat & Todorova, 2022). بنابراین اثر مثبت محلول‌پاشی ملاتونین در افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل موسیر نسبت به تیمار شاهد در رژیم‌های مختلف آبیاری ممکن است به افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (فنولیک‌ها و فلاونوئیدها) و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی نسبت داده شود (Mazrou *et al*., 2022).

محتوای ویتامین ث

بر اساس نتایج به دست آمده اثرات اصلی آبیاری و ملاتونین در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل هر دو فاکتور بر محتوای ویتامین ث در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. در هر سه سطح آبیاری، دور آبیاری ۱۰ روز یکبار سبب افزایش معنی‌دار ویتامین ث نسبت به دور آبیاری پنج روز یکبار و بدون آبیاری شد. همچنین در دور آبیاری ۱۰ روز یکبار و بدون آبیاری غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش ویتامین ث شدند. اما در دور آبیاری پنج روز یکبار، تنها غلظت ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین محتوای ویتامین ث را نسبت به شاهد افزایش داد. در حقیقت بیشترین میزان ویتامین ث (به ترتیب ۲۱/۸۰ و ۲۱/۶۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) از تیمار ۱۰۰ و ۵۰ میکرومولار ملاتونین در دور آبیاری ۱۰ روز یکبار و کمترین میزان آن (۹/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) از غلظت ۵۰ میکرومولار در دور آبیاری پنج روز یکبار حاصل شد (شکل ۳ ب).

ویتامین ث، به‌عنوان یک آنتی اکسیدان غیر آنزیمی، نقش اساسی را در دفاع گیاهان در برابر کمبود آب با انجام سم‌زدایی آنزیمی پراکسید هیدروژن و حذف مستقیم ROS ایفا می‌کند (Aziz *et al*., 2018). در برخی از گیاهان مانند گوجه فرنگی، انگور و توت فرنگی تنش خشکی سبب افزایش تجمع ویتامین ث شد (Stagnari *et al*., 2016) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در مقابل، غلظت ویتامین ث در گیاهان اسفناج و سویا تحت تنش خشکی کاهش یافت (Robinson & Bunce, 2000; Seminario *et al*., 2017). این نتایج نشان می‌دهد که غلظت ویتامین ث در گیاهان مختلف تحت تاثیر سطح تنش خشکی و گونه گیاهی قرار دارد. از طرف دیگر نتایج نشان داد که، استفاده از ملاتونین در گیاهان موسیر باعث افزایش اسید آسکوربیک سوخ شد. به نظر می‌رسد افزایش موفقیت آمیز غلظت اسید آسکوربیک موسیر توسط ملاتونین ناشی از افزایش فعالیت مونوآسکوربات ردوکتاز و گلوتاتیون ردوکتاز در تسریع احیای AsA باشد (Farouk & Al-Huqail, 2022). همچنین کاربرد ملاتونین می‌تواند سطوح بالاتری از AsA را با سرعت بخشیدن به تبدیل DHA به AsA حفظ کند. علاوه بر این، ملاتونین ممکن است با تحریک بیان ژن‌های مرتبط با چرخه AsA-GSH محتوای اسید آسکوربیک را بهبود بخشد (Talaat & Todorova, 2022).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (الف) و محتوای ویتامین ث (ب) موسیر ایرانی.

Fig. 3. Mean comparison of the interaction effect of different irrigation regimes and melatonin foliar application on DPPH (a) and vitamin C content (b) of Iranian shallot.

محتوای نیتروژن

برهمکنش سطوح آبیاری در محلول‌پاشی ملاتونین بر محتوای نیتروژن (P>۰/۰۱) معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که با افزایش دور آبیاری محتوای نیتروژن روند افزایشی – کاهشی داشت به طوری که تا دور آبیاری ۱۰ روز یکبار نسبت به دور آبیاری پنج روز یکبار افزایش یافت، اما با افزایش تنش آبی (بدون آبیاری) در مقایسه با دور آبیاری پنج روز یکبار کاهش پیدا کرد. کاربرد ملاتونین در غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار در شرایط بدون آبیاری و دور آبیاری ۱۰ روز یکبار باعث افزایش محتوای نیتروژن شد. در حالی‌که گیاهانی که به‌عنوان شاهد (بدون کاربرد ملاتونین) در دور آبیاری پنج روز یکبار قرار داشتند، محتوای نیتروژن ۲/۵ ٪ بود و کاربرد غلظت ۲۰۰ میکرومولار سبب افزایش میزان آن به ۳/۱ ٪ شد. در واقع بیشترین

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

میزان محتوای نیتروژن (۳/۷۴ ٪) از تیمار ۱۰۰ میکرومولار در دور آبیاری ۱۰ روز یکبار به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد (شکل ۴ الف).

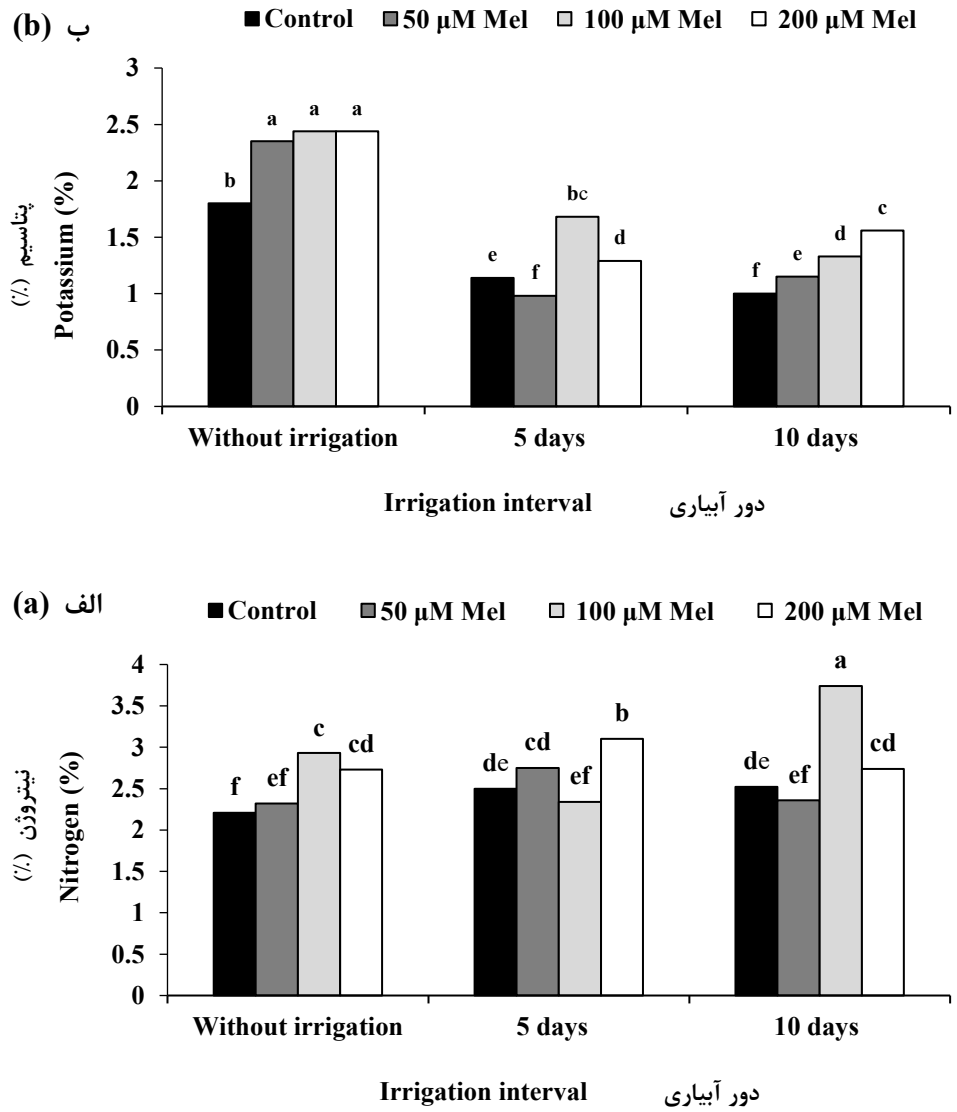
دلیل کاهش غلظت نیتروژن سوخ موسیر در اثر تنش خشکی می‌تواند به کاهش انتقال و جذب نیتروژن، نیترات و یون آمونیوم به سطح ریشه و در نتیجه غلظت کمتر آن مربوط باشد. تحرک نیتروژن به شدت توسط خاک کم آب محدود می‌شود. بنابراین، هنگامی که یک گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود، کمبود نیتروژن رخ می دهد (Aqaei *et al*. 2020). جذب عناصر غذایی یک عامل حیاتی در ایجاد تحمل گیاه به کمبود آب است. بنابراین، این احتمال وجود دارد که ملاتونین با افزایش جذب عناصر معدنی در گیاهان به بهبود تحمل به خشکی کمک کند. گزارش شده است که ملاتونین می‌تواند با بیان بیشتر ژن‌ها مربوط به متابولیسم نیتروژن، جذب نیتروژن را در شرایط خشکی افزایش دهد (Liang *et al*., 2018). کاربرد ملاتونین می‌تواند به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاه موثر در افزایش کارایی مصرف نیتروژن گیاه استفاده شود. به علاوه ملاتونین منجر به حفظ سطح بالاتر نیتروژن در اندام هوایی می‌شود که در نهایت سبب رشد بیشتر گیاه می‌شود. سیستم ریشه‌ای قوی‌تر نیز به جذب نیتروژن گیاه کمک می‌کند (Qiao *et al*., 2019).

محتوای پتاسیم

طبق جدول تجزیه واریانس برهمکنش سطوح آبیاری در محلول‌پاشی ملاتونین بر محتوای پتاسیم سوخ موسیر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. با کاهش آبیاری محتوای پتاسیم به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که بیشترین پتاسیم در شرایط بدون آبیاری مشاهده شد. در حالی که در دور آبیاری پنج روزه، کاربرد ملاتونین با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار محتوای پتاسیم را نسبت به شاهد افزایش دادند. همچنین در سطوح آبیاری ۱۰ روزه و بدون آبیاری، هر سه غلظت ملاتونین بکار رفته محتوای پتاسیم را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۴ ب).

پتاسیم نقش حیاتی در تنظیم وضعیت آب، تنظیم اسمزی و تعادل بار در گیاهان دارد. پتاسیم علاوه بر تنظیم اسمزی و حرکات روزنه‌ای، فعالیت آنزیم و پایداری غشاها را نیز تنظیم می‌کند. تجمع پتاسیم در بافت‌های گیاهی ممکن است به گیاهان کمک کند تا از نظر اسمزی تنظیم شوند و فعالیت آکواپورین‌های دخیل در جذب آب را حفظ کنند، بنابراین تحمل تنش خشکی را بهبود می‌بخشند (Kulczycki *et al*., 2022). بنابراین، افزایش محتوای پتاسیم می‌تواند با نقش حیاتی آن در غلبه بر آسیب اکسیداتیو ناشی از خشکی از طریق مهار تولید گونه‌های فعال اکسیژن مرتبط باشد (Geremew *et al*., 2021). از سوی دیگر کاربرد ملاتونین باعث افزایش محتوای پتاسیم سوخ در گیاه موسیر تحت تنش خشکی شده است. این افزایش غلظت پتاسیم ممکن است به کاهش آسیب غشاء در سطح ریشه نسبت داده شود که به طور کلی تیمار ملاتونین غلظت پتاسیم را با تنظیم سیگنال‌های ROS و بهبود بیان نسبی ژن‌های انتقال پتاسیم افزایش می‌دهد (Jahan *et al*., 2020). علت دیگر افزایش محتوای پتاسیم موسیر در شرایط تنش خشکی در اثر استفاده از ملاتونین در مقایسه با گیاهان شاهد بدون ملاتونین به دلیل تأثیر تعدیل کننده این ماده بر ترکیب عناصر معدنی گیاهان است و با کمک به تنظیم بالای آن عناصر، تنش را کاهش می‌دهد (Liang *et al*., 2018).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر محتوای نیتروژن (الف) و پتاسیم (ب) سوخ موسیر ایرانی.

Fig. 4. Mean comparison of the interaction effect of different irrigation regimes and melatonin foliar application on nitrogen content (a) and potassium content (b) of Iranian shallot.

محتوای فسفر

محتوای فسفر سوخ موسیر تحت تأثیر سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. نتایج نشان داد که با تشدید تنش کم آبی محتوای فسفر سوخ کاهش یافت. به طوری بیشترین محتوای فسفر (۱/۱۳ ٪) مربوط به دور آبیاری پنج روزه و کمترین میزان آن با میانگین ۰/۵۵ و ۰/۷۰ ٪ در بدون آبیاری و دور آبیاری ۱۰ روز یکبار دیده شد (جدول ۲).

سطح کافی فسفر فرآیندهای متابولیکی مانند تنفس، فتوسنتز، تقسیم و گسترش سلولی و جذب سایر مواد معدنی را ارتقا می دهد (Kulczycki *et al*., 2022). در مطالعه حاضر کاهش فسفر در اثر تنش آبی احتمالاً به کاهش جذب آن‌ها توسط ریشه‌ها و اختلال در انتقال مواد غذایی از طریق آوند چوبی نسبت داده می‌شود (Abd El-Gawad *et al*., 2021). فسفر یکی از یون‌هایی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

است که در شرایط خشکی برای گیاه غیر قابل استفاده می‌شود، زیرا این یون شدیداً جذب رس‌های خاک شده و فقط بخش کوچکی از یون فسفات به حالت محلول است. در شرایط خشکی جذب یون فسفات نه تنها به واسطه قابلیت حل کم آن، بلکه به دلیل کاهش قدرت جذب ریشه‌ها تقلیل پیدا می‌کند (Hassanzadeh Ghortepeh *et al*., 2020).

محتوای کلسیم

آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری و غلظت‌های مختلف ملاتونین بر محتوای کلسیم سوخ معنی‌دار بود. اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد. با افزایش تنش آبی محتوای کلسیم کاهش یافت به نحوی که کمترین میانگین مربوط به تنش شدید بدون آبیاری (۰/۲۴ ٪) بود که در مقایسه با دور آبیاری ۵ و ۱۰ روز یکبار ۴۱/۴۶ و ۲۲/۵۸ ٪ کاهش نشان داد (جدول ۲). از سوی دیگر نتایج حاکی از آن است که محلول‌پاشی با ملاتونین سبب افزایش محتوای کلسیم شد. به صورتی که بیشترین میزان آن (۰/۳۴ ٪) از غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار و غلظت ۵۰ میکرومولار (۰/۳۳٪) ملاتونین و کمترین مقدار آن با میزان ۰/۲۸ ٪ از تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۲).

کلسیم یکی از مواد مغذی مهم است که با حفظ پایداری دیواره‌های سلولی و غشای سلولی و همچنین تنظیم فرآیند مقاومت به خشکی، نقش فیزیولوژیکی حیاتی را در شرایط خشکی ایفا می‌کند (Zhang *et al*., 2023). کلسیم یک عنصر غیر متحرک است و برای جذب بهینه خود به منبع آب کافی نیاز دارد (Abd El-Gawad *et al*., 2021). بنابراین به نظر می‌رسد کاهش محتوای آب خاک موجب کاهش جذب کلسیم به وسیله ریشه و انتقال آن به سوخ موسیر شده است. در حالی که افزایش غلظت کلسیم در گیاهان محلول‌پاشی شده با ملاتونین را می‌توان به نقش این عنصر در محافظت از غشاها نسبت داد (Sadak *et al*., 2020). در حقیقت ملاتونین با رشد بهتر گیاه و تولید کربن باعث تسهیل جذب مواد مغذی از خاک و انتقال آن‌ها به اندام‌های گیاه می‌شود. همچنین گزارش شده است که ملاتونین بیوسنتز ایندول استیک اسید را تحریک کرده و رشد ریشه را تحریک می‌کند. محرک رشد ریشه باعث جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و انتقال آن به اندام‌های گیاه می‌شود (Ramezan *et al*., 2023).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین بر محتوای فسفر و کلسیم سوخ موسیر ایرانی.

Table 2. Mean comparison of the simple effect of different irrigation regimes and melatonin foliar application on phosphorus and calcium content of bulb Iranian shallot.

Treatment		تیمار	فسفر (٪) Phosphorus (%)	کلسیم (٪) Calcium (%)
دور آبیاری Irrigation interval	Without irrigation	بدون آبیاری	0.55^{b}	0.24^{c}
	5 days	۵ روز یکبار	1.13^{a}	0.41^{a}
	10 days	۱۰ روز یکبار	0.70^{b}	0.31^{b}
محلول‌پاشی ملاتونین Melatonin foliar application	Control	شاهد	۰/۷۵^{a}	0.28^{b}
	50 µM	۵۰ میکرومولار	۰/۷۴^{a}	0.33^{a}
	100 µM	۱۰۰ میکرومولار	۰/۶۰^{a}	0.34^{a}
	200 µM	۲۰۰ میکرومولار	۰/۶۹^{a}	0.34^{a}

تیمارهای دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن هستند.

Different letters indicate significance at $P < 0.05$ according to Duncans test.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط خشکی سبب کاهش پارامترهای کمی و کیفی گیاه موسیر ایرانی شد. دوره بدون آبیاری در موسیر سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی، وزن‌تر و خشک سوخ، محتوای فنل کل، فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و کلسیم گردید. محلول‌پاشی ملاتونین به طور قابل توجهی آسیب اکسیداتیو ناشی از خشکی را از طریق القای مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی کاهش داد و در نتیجه با افزایش رشد، عملکرد گیاه و بهبود محتوای عناصر غذایی سوخ در نهایت تحمل به تنش خشکی را افزایش داد. بنابراین، این یافته‌ها نشان می‌دهد که ملاتونین (غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) می‌تواند به‌عنوان جایگزین ایمن و مناسب برای سایر مواد مصنوعی برای کاهش اثرات نامطلوب کمبود آب و افزایش تحمل به خشکی در موسیر استفاده شود.

References منابع

Abd El-Gawad, H. G., Mukherjee, S., Farag, R., Abd Elbar, O. H., Hikal, M., Abou El-Yazied, A., Helal, N., Elkelish, A., El Nahhas, N., Azab, E., Ismail, I., Mbarki, S., & Ibrahim, M. F. (2021). Exogenous γ-aminobutyric acid (GABA)-induced signaling events and field performance associated with mitigation of drought stress in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Signaling & Behavior, 16*(2), 1853384.

Abdelaal, K., Attia, K. A., Niedbała, G., Wojciechowski, T., Hafez, Y., Alamery, S., & Arafa, S. A. (2021). Mitigation of drought damages by exogenous chitosan and yeast extract with modulating the photosynthetic pigments, antioxidant defense system and improving the productivity of garlic plants. *Horticulturae, 7*(11), 510.

Akkol, E. K., Göger, F., Koşar, M., & Başer, K. H. C. (2008). Phenolic composition and biological activities of *Salvia halophila* and *Salvia virgata* from Turkey. *Food Chemistry, 108*(3), 942-949.

Akowuah, G. A., Ismail, Z., Norhayati, I., & Sadikun, A. (2005). The effects of different extraction solvents of varying polarities on polyphenols of *Orthosiphon stamineus* and evaluation of the free radical-scavenging activity. *Food Chemistry, 93*(2), 311-317.

Alipour, A., Karimmojeni, H., Zali, A. G., Razmjoo, J., & Jafari, Z. (2022). Weed management in *Allium hirtifolium* L. production by herbicides application. *Industrial Crops and Products, 177*, 114407.

Aqaei, P., Weisany, W., Diyanat, M., Razmi, J., & Struik, P. C. (2020). Response of maize (*Zea mays* L.) to potassium nano-silica application under drought stress. *Journal of Plant Nutrition, 43*(9), 1205-1216.

Aziz, A., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, *123*, 192-203.

Barrales-Heredia, S. M., Grimaldo-Juárez, O., Suárez-Hernández, Á. M., González-Vega, R. I., Díaz-Ramírez, J., García-López, A. M., & Del-Toro-Sánchez, C. L. (2023). Effects of different irrigation regimes and nitrogen fertilization on the physicochemical and bioactive characteristics of onion (*Allium cepa* L.). *Horticulturae, 9*(3), 344.

Bidabadi, S. S., VanderWeide, J., & Sabbatini, P. (2020). Exogenous melatonin improves glutathione content, redox state and increases essential oil production in two *Salvia* species under drought stress. *Scientific Reports, 10*(1), 6883.

Desoky, E. S. M., Selem, E., Abo El-Maati, M. F., Hassn, A. A., Belal, H. E., Rady, M. M., Al-Harbi, M. S, & Ali, E. F. (2021). Foliar supplementation of clove fruit extract and salicylic acid maintains the performance and antioxidant defense system of *Solanum tuberosum* L. under deficient irrigation regimes. *Horticulturae, 7*(11), 435.

El-Bauome, H. A., Abdeldaym, E. A., Abd El-Hady, M. A., Darwish, D. B. E., Alsubeie, M. S., El-Mogy, M. M., Basahi, M. A., Al-Qahtani, S. M., Al-Harbi, N. A., Alzuaibr, F. M., Alasmarim A., Ismail, I. A., Dessoky,

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

E. S, & Doklega, S. M. (2022). Exogenous proline, methionine, and melatonin stimulate growth, quality, and drought tolerance in cauliflower plants. *Agriculture, 12*(9), 1301.

El-Yazied, A. A., Ibrahim, M. F., Ibrahim, M. A., Nasef, I. N., Al-Qahtani, S. M., Al-Harbi, N. A., Alzuaibr, F. M., Alaklabi, A., Dessoky, E. S., Alabdallah, N. M., Omar, M. M. A., Ibrahim, M. T. S., Metwally, A. A., Hassan, K. M. & Shehata, S. A. (2022). Melatonin mitigates drought induced oxidative stress in potato plants through modulation of osmolytes, sugar metabolism, ABA homeostasis and antioxidant enzymes. *Plants, 11*(9), 1151.

Farouk, S., & Al-Huqail, A. A. (2022). Sustainable biochar and/or melatonin improve salinity tolerance in borage plants by modulating osmotic adjustment, antioxidants, and ion homeostasis. *Plants, 11*(6), 765.

Geremew, A., Carson, L., Woldesenbet, S., Carpenter, C., Peace, E., & Weerasooriya, A. (2021). Interactive effects of organic fertilizers and drought stress on growth and nutrient content of *Brassica juncea* at vegetative stage. *Sustainability, 13*(24), 13948.

Gökçe, Z. N. Ö., Gökçe, A. F., Junaid, M. D., & Chaudhry, U. K. (2022). Morphological, physiological, and biochemical responses of onion (*Allium cepa* L.) breeding lines to single and combined salt and drought stresses. *Euphytica, 218*(3), 29.

Grewal, A. S., Arora, S., Sharma, N., & Singh, S. (2020). In silico docking studies of compounds from Persian shallot as allosteric glucokinase activators. *Plant Archives, 20* (1), 3768-3771.

Habuš Jerčić, I., Bošnjak Mihovilović, A., Matković Stanković, A., Lazarević, B., Goreta Ban, S., Ban, D. & Kereša, S. (2023). Garlic ecotypes utilise different morphological, physiological and biochemical mechanisms to cope with drought stress. *Plants, 12*(9), 1824.

Hasnain, Z., Zafar, S., Usman, S., Zhang, L., & Elansary, H. O. (2023). Elucidating role of melatonin foliar spray in ameliorating adverse effects of drought stress on growth and physio-biochemical attributes of Brassica rapa plants. *Scientia Horticulturae, 321*, 112336.

Hassanzadeh Ghortepeh, A., Amirnia, R., & Heydarzadeh, S. (2020). The effect of manure application on physiological traits of *Cichorium intybus* L. in response to drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(3), 133-146. (In Persian).

Hossain, M. S., Li, J., Sikdar, A., Hasanuzzaman, M., Uzizerimana, F., Muhammad, I., Yuan, Y., Zhang, C., Wang, C, & Feng, B. (2020). Exogenous melatonin modulates the physiological and biochemical mechanisms of drought tolerance in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn). *Molecules, 25*(12), 2828.

Huang, Q., Yan, H., You, M., Duan, J., Chen, M., Xing, Y., Hu, X, & Li, X. (2023). Enhancing drought tolerance and fruit characteristics in tomato through exogenous melatonin application. *Horticulturae, 9*(10), 1083.

Ibrahim, M. F., Elbar, O. H. A., Farag, R., Hikal, M., El-Kelish, A., El-Yazied, A. A., Alkahtani, J, & El-Gawad, H. G. A. (2020). Melatonin counteracts drought induced oxidative damage and stimulates growth, productivity and fruit quality properties of tomato plants. *Plants, 9*(10), 1276.

Jafari, M., & Shahsavar, A. (2021). The effect of foliar application of melatonin on changes in secondary metabolite contents in two citrus species under drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science, 12*, 692735.

Jahan, M. S., Guo, S., Baloch, A. R., Sun, J., Shu, S., Wang, Y., Ahmmad, G. J., Kabir, K, & Roy, R. (2020). Melatonin alleviates nickel phytotoxicity by improving photosynthesis, secondary metabolism and oxidative stress tolerance in tomato seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 197*, 110593.

Kulczycki, G., Sacała, E., Chohura, P., & Załuska, J. (2022). Maize and wheat response to drought stress under varied sulphur fertilisation. *Agronomy, 12*(5), 1076.

Kusumiyati, K., Manurung, G. P., & Hamdani, J. S. (2024). Growth, yield, and secondary metabolite responses of three shallot cultivars at different watering intervals. *Open Agriculture, 9*(1), 20220255.

Liang, B., Ma, C., Zhang, Z., Wei, Z., Gao, T., Zhao, Q., Ma, F, & Li, C. (2018). Long-term exogenous application of melatonin improves nutrient uptake fluxes in apple plants under moderate drought stress. *Environmental and Experimental Botany, 155*, 650-661.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

Mazrou, R. M., Hassan, F. A., Mansour, M. M. F., & Moussa, M. M. (2023). Melatonin enhanced drought stress tolerance and productivity of *Pelargonium graveolens* l.(herit) by regulating physiological and biochemical responses. *Horticulturae, 9*(11), 1222.

Mazrou, R. M., Hassan, S., Yang, M., & Hassan, F. A. (2022). Melatonin preserves the postharvest quality of cut roses through enhancing the antioxidant system. *Plants, 11*(20), 2713.

Mohammadiani, E., Aliakbarlu, J., Ownagh, A., & Kaboudari, A. (2021). Antifungal interactions of Persian shallot (*Allium hirtifolium*) extracts and potassium sorbate against *Aspergillus flavus* and *Penicillium citrinum*. *Flavour and Fragrance Journal, 36*(3), 332-338.

Moustafa, M. M., El-wahed, A., Ahmed, H. M., Awad, A. H., & Sheta, M. H. (2024). Morpho-physiological traits, quality and productivity of garlic under drought stress of different growth stages. *Egyptian Journal of Soil Science, 64*(1), 99-118.

Nasircilar, A. G., Erkaymaz, T., & Ulukapi, K. (2024). Reflection of the synergistic/antagonistic effects of melatonin and salicylic acid on the biochemical profile of *Allium cepa* L under drought stress. *South African Journal of Botany, 166*, 1-13.

Nelson, D. A., & Sommers, L. (1983). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9*, 539-579.

Nur, S., Suwarto, S., Saparso, S., & Djatmiko, H. A. (2020). Morfo-physiological response of three shallot varieties on water surface variation level. *International Journal of Applied Science. 3*(2), p1-p1.

Pratt, P. F., & Chapman, H. D. (1961). Methods of Analysis for Soils, Plants and Water. Univerisity of California.

Qiao, Y., Yin, L., Wang, B., Ke, Q., Deng, X., & Wang, S. (2019). Melatonin promotes plant growth by increasing nitrogen uptake and assimilation under nitrogen deficient condition in winter wheat. *Plant Physiology and Biochemistry, 139*, 342-349.

Rahmawati, N., & Wulandari, N. (2024). Foliar application of SiO_2 nanoparticles to increase shallot production under water stress as an effort to mitigate climate change. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing*.

Ramezan, D., Zargar, M., Bayat, M., & Pakina, E. (2023). The effects of melatonin and sodium nitroprusside on characteristics of chlorophyll fluorescence, leaf gas exchange, physicochemical characteristics and mineral elements of pepper (*Capsicum annuum*) under different temperatures. *Preprints, 2023120861*.

Ranganna, S. (1997). Handbook of analysis of quality control of fruit and vegetable product, tata mcgraw-hill. New Delhi, India.

Rezaie, R., Abdollahi Mandoulakani, B., & Fattahi, M. (2020). Cold stress changes antioxidant defense system, phenylpropanoid contents and expression of genes involved in their biosynthesis in *Ocimum basilicum* L. *Scientific Reports, 10*(1), 5290.

Riaz, M., Khalid, R., Afzal, M., Anjum, F., Fatima, H., Zia, S., & Aslam, M. A. (2023). Phytobioactive compounds as therapeutic agents for human diseases: A review. *Food Science & Nutrition, 11*(6), 2500-2529.

Ribeiro, J. E. D. S., da Silva, A. G., Coêlho, E. D. S., Oliveira, P. H. D. A., Silva, E. F. D., de Oliveira, A. K., & Barros Júnior, A. P. (2024). Melatonin mitigates salt stress effects on the growth and production aspects of radish. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 28*, e279006.

Robinson, J. M., & Bunce, J. A. (2000). Influence of drought-induced water stress on soybean and spinach leaf ascorbate-dehydroascorbate level and redox status. *International Journal of Plant Sciences*, *161*(2), 271-279.

Sadak, M. S., Abdalla, A. M., Abd Elhamid, E. M., & Ezzo, M. I. (2020). Role of melatonin in improving growth, yield quantity and quality of *Moringa oleifera* L. plant under drought stress. *Bulletin of the National Research Centre, 44*, 1-13.

Seminario, A., Song, L., Zulet, A., Nguyen, H. T., González, E. M., & Larrainzar, E. (2017). Drought stress causes a reduction in the biosynthesis of ascorbic acid in soybean plants. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1042.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

Shin, Y. K., Bhandari, S. R., Jo, J. S., Song, J. W., & Lee, J. G. (2021). Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities in lettuce seedlings. *Horticulturae, 7*(8), 238.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture, 16*(3), 144-158.

Stagnari, F., Galieni, A., & Pisante, M. (2016). Drought stress effects on crop quality. *Water Stress and Crop plants: a Sustainable Approach*, *2*, 375-392.

Talaat, N. B., & Todorova, D. (2022). Antioxidant machinery and glyoxalase system regulation confers salt stress tolerance to wheat (*Triticum aestivum* L.) plants treated with melatonin and salicylic Acid. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22*(3), 3527-3540.

Vahdat, F., Mehdizadeh, T., Kazemeini, H., Reale, A., & Kaboudari, A. (2024). Physicochemical, microbial, and sensory characteristics of yogurt with Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) and probiotic bacteria. *Food Science & Nutrition*, 1-10.

Yeloojeh, K. A., Saeidi, G., & Sabzalian, M. R. (2020). Drought stress improves the composition of secondary metabolites in safflower flower at the expense of reduction in seed yield and oil content. *Industrial Crops and Products, 154,* 112496.

Yeshiwas, Y., Temsegen, Z., Wubie, M., & Wagnew, T. (2023). Effects of varieties and different environments on growth and yield performance of shallot (*Allium cepa* var. aggregatum). *International Journal of Agronomy, 2023*.

Yousefvand, P., Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., & Mastinu, A. (2022). Salicylic acid stimulates defense systems in *Allium hirtifolium* grown under water deficit stress. *Molecules, 27(*10), 3083.

Zahedi, S. M., Hosseini, M. S., Fahadi Hoveizeh, N., Kadkhodaei, S., & Vaculík, M. (2023). Physiological and biochemical responses of commercial strawberry cultivars under optimal and drought stress conditions. *Plants, 12*(3), 496.

Zahedi, S. M., Moharrami, F., Sarikhani, S., & Padervand, M. (2020). Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. *Scientific Reports, 10*(1), 17672.

Zhang, T., Dong, G., Tian, Y., Zhou, Y., Li, Y., Zhang, S., & Li, H. (2023). Effects of drought stress and Ca supply on the biomass allocation strategies of poplar and mulberry. *Forests, 14*(3), 505.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 26 (1):47- 64 (2025)
Research article

The Effect of Melatonin on Yield, Biochemical Characteristics and Nutritional Elements of Iranian Shallot Under Different Irrigation Regimes

Rohalah Ehtesham, Fardin Ghanbari*
Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
*Corresponding author, Email: (F.ghanbari@ilam.ac.ir)

In order to investigate the effect of melatonin on the quantitative and qualitative traits of Iranian shallot under different irrigation regimes, a split plot experiment in completely randomized block design with three replications was conducted in 2022-2023 in the research farm of the Faculty of Agriculture of Ilam University. Different irrigation regimes as the main factor in three levels of irrigation cycle 5 days interval, 10 days interval and without irrigation, and melatonin foliar spraying as a secondary factor in four levels with concentrations of 0 (control), 50, 100 and 200 µM, were the studied factors in this research. The results showed that the reduction of irrigation caused a decrease in the quantitative and qualitative traits of the shallot plant. Foliar spraying of shallots, especially in concentrations of 100 and 200 µM melatonin, caused an increase in the dry weight and phosphorus content of the bulb compared to the control. The highest dry weight of the shoot (131 g) was related to the 5-day irrigation cycle and foliar spraying of 100 µM melatonin treatment. The period without irrigation in shallot caused a decrease in the dry weight of aerial parts, fresh and dry weight of the bulb, total phenol content, total flavonoid content, antioxidant capacity, vitamin C and nutritional elements of nitrogen, phosphorus and calcium. Foliar spraying of shallot with melatonin increased the fresh and dry weight of the bulb, and the concentration of phosphorus and calcium in the Iranian shallot plant. In addition, melatonin with a concentration of 200 µM in the 10 days irrigation cycle increased the total phenol content, total flavonoid content, and total antioxidant capacity by 33.33, 18.46, and 16.92%, respectively, compared to no foliar spraying. Also, the highest vitamin C and nitrogen content were obtained in the 10-day irrigation cycle and 100 µM melatonin. In general, foliar application of melatonin (especially in concentrations of 100 and 200 µM) improved the biochemical properties, nutritional and functional elements of Iranian shallot and caused better tolerance of drought conditions in this plant.

Keywords: Antioxidant, Drought stress, Shallot, Total phenol.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]