تأثیر محلول‌پاشی ملاتونین و ویتامین‌های گروه ب بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی سویا (*Glycine max*)

یوسف محمّدی، مهدی برادران فیروزآبادی*، احمد غلامی و حسن مکاریان

دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/٤/۲٦)

چکیده

مهم‌ترین دوره رشد گیاهانی نظیر سویا در تابستان قرار دارد که به‌طور معمول با تنش‌هایی مانند گرما و خشکی روبرو خواهد بود. این‌گونه استنباط می‌شود که شاید بتوان با کاربرد خارجی ترکیباتی از قبیل ویتامین‌ها و ملاتونین موجب کاهش اثرات منفی تنش‌های وارده به گیاه شده و افزایش عملکرد را نتیجه گرفت. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر استفاده از ملاتونین و ویتامین‌های گروه ب بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد سویا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح محلول‌پاشی ملاتونین (صفر، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار) و شش سطح محلول‌پاشی با ویتامین‌های گروه ب (شاهد، تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین، پانتوتنیک اسید و پیریدوکسین هر کدام با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند که در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار سازماندهی شدند. اثر متقابل ملاتونین و ویتامین ب بر ماده خشک کل، عملکرد، پایداری غشا، مقدار نسبی آب برگ، کلروفیل a و b، کاروتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین معنی‌دار بود. بیشترین مقدار اکثر صفات از جمله عملکرد دانه، مقدار نسبی آب برگ و کلروفیل در شرایط محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین همراه با پانتوتنیک اسید به‌دست آمد البته تأثیر پیریدوکسین نیز قابل توجه بود. بررسی اثر ملاتونین در شرایط عدم‌حضور ویتامین ب نشان داد که با افزایش غلظت آن درصد پروتئین و درصد روغن دانه افزایش یافت. محلول‌پاشی ملاتونین با غلظت ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۷ و ۸٤ درصد افزایش داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده ترکیب تیماری پانتوتنیک اسید و ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین موجب افزایش عملکرد، پایداری غشا، ماده خشک کل، کلروفیل a و b، محتوای آنتوسیانین و فلاونوئید برگ گردید.

کلمات کلیدی: پروتئین دانه، روغن دانه، کلروفیل، ماده خشک

مقدمه

بخش مهمی از دوره رشد گیاهان بهاره در تابستان قرار دارد که با تنش‌های محیطی مثل تنش‌های کم‌آبی و گرما به‌ویژه در هنگام ظهر همراه است که آثار مهمی بر رشد و تولید محصول می‌گذارد. بسیاری از تنش‌های زنده و غیرزنده علاوه بر سازوکار ویژه‌ای که سبب آسیب می‌شوند، انواع اکسیژن فعال ((Reactive Oxygen Spcies (ROS)) را تولید کرده و از این راه گیاهان را به‌شدت تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. سلول‌های گیاهی از مکانیسم‌های مختلفی برای جلوگیری یا تخفیف خسارت اکسایشی ایجادشده به‌واسطه ROS استفاده می‌کنند. این عمل ممکن است از طریق یک سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی ایجادشده شامل متابولیت‌های آسکوربات و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m.baradaran.f@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

گلوتاتیون و موارد دیگر مانند توکوفرول‌ها (ویتامین E)، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها و یا سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شامل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنول اکسیداز انجام شود (Agarwal and Pandey, 2004). امروزه کاربرد خارجی مواد مختلفی از جمله کاربرد انواع ویتامین‌ها (شامل آسکوربیک اسید، انواع ویتامین B و...) در راستای کاهش تأثیر تنش‌های مختلف بر رشد و عملکرد گیاه مطرح و مورد آزمون قرار گرفته است. ویتامین‌های گروه B می‌توانند نقش مهمی در مهار ROS و تنش‌زدایی ایفا کنند و موجب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها شوند (Burguieres *et al.*, 2007; Chen and Xiong, 2005). تیامین (ویتامین B_1) به‌عنوان کوآنزیم آنزیم دکربوکسیلاز در تنفس سلولی نقش دارد و سبب ورود مواد اکسیدکننده به چرخه کربس برای تولید انرژی و ایجاد مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان می‌گردد (Goyer, 2010). Ahn و همکاران (۲۰۰۵) نقش تیامین را در القای مقاومت در گیاهان در طیف وسیعی از پاتوژن‌ها گزارش نمودند. در مطالعه (Azahar, 2016) کاربرد ویتامین B_1 (تیامین) سبب افزایش عملکرد و رشد بهتر خردل گردید. Vinchesi و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان نمودند که کاربرد ویتامین B_1 (تیامین) موجب کاهش شدید سطوح بیماری ویروس Y در سیب‌زمینی می‌شود. کاربرد پیریدوکسین (B_6) افزایش جذب ریشه و سرعت ظهور برگ و درنهایت افزایش توان فتوسنتزی گیاه را نشان داد (Khan *et al.*, 1995). گزارش شده است که کاربرد خارجی ریبوفلاوین (B_2) مقاومت گیاه برنج را در برابر بیماری زنگ غلاف در برنج افزایش می‌دهد (Taheri and Hofte, 2007). تحقیقات Shshhat و همکاران (۲۰۱٤) روی گیاه *Lupinus termis* نشان داد که محلول‌پاشی نیاسین اثر قابل توجهی بر میزان پروتئین و روغن دانه داشت. شاخص سطح برگ گیاهان لوبیا سبز که بذر آنها با پانتوتنیک اسید پیش تیمارشده بودند به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (حلفی، ۱۳۹۷).

با توجه به تغییرات آب و هوایی نیاز به توسعه راهکارهای کشاورزی قابل تطابق با تغییرات محیطی ضروری است (Rivero *et al.*, 2007). از موادی که اخیراً به‌صورت کاربرد خارجی جهت افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها و یا افزایش عملکرد و کیفیت آنها در شرایط مزرعه استفاده می‌شود، ملاتونین است. ملاتونین یک ترکیب طبیعی ایندول آمین مشتق شده از تریپتوفان (ان استیل ۵ متوکسی تریپتامین) است که ابتدا تصور می‌شد که فقط در جانوران وجود دارد (Janas and Posmyk, 2013). در حال حاضر ملاتونین در قسمت‌های مختلف گیاهان شامل ریشه، ساقه، برگ، گل، میوه و دانه تشخیص داده شده است (Jemima *et al.*, 2011; Reiter *et al.*, 2015). ملاتونین اعمال مختلف فیزیولوژیکی را در گیاهان موجب می شود. این ترکیب علاوه بر نقش پیام‌رسانی تاریکی و تحریک تنظیم‌کننده‌های رشد، نقش قابل توجهی به‌عنوان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مرتبط با محافظت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو داخلی و محیطی بازی می‌کند (Reiter *et al.*, 2015; Tan, 2015; Zhang, 2015). ملاتونین به‌عنوان خط اول دفاع و حسگر داخلی تنش اکسیداتیو در گیاهان گزارش شده است (Tan *et al.*, 2012). ملاتونین اثرات منفی تنش خشکی را در گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تخفیف داده و سبب افزایش قدرت ریشه، تخفیف اثرات تنش‌های دیگر مرتبط با خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم ۲ و حفظ ظرفیت فتوسنتزی گیاه، به حداقل رساندن اثرات منفی تنش خشکی توسط تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای مواد سمی سلول گردیده است (Liu *et al.*, 2015). ملاتونین موجب کاهش سرعت فرآیند پیری میوه هلو و افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و همچنین کاهش فعالیت لیپوکسی‌ژناز، سطح آنیون سوپراکسید و هیدروژن پراکسید و محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه گردید (Gao *et al.*, 2016). نشان داده شده است که ملاتونین اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری نسبت به ویتامین C، E و K دارد و ممکن است ناشی از نفوذ بهتر به داخل ترکیبات سلولی باشد. در حالی که ویتامین‌ها فقط قادر به انتقال انتخابی هستند (Bonnefont-Rousselot and Collin, 2010). با توجه به خواص مثبت ضدتنشی که برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

ویتامین‌های گروه B و ملاتونین ذکر شده است این‌گونه استنباط می‌شود که شاید بتوان با اعمال این مواد روی گیاه زراعی سویا به‌صورت محلول‌پاشی آثار مثبتی از افزایش رشد و عملکرد ناشی از بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک به‌ویژه در شرایط تابستان به‌دست آورد. لذا در این تحقیق به بررسی این موضوع و نحوه اثر این مواد بر گیاه سویا از منظر زراعی و فیزیولوژیک پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود (واقع در شهر بسطام در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه شرقی) در سال ۱۳۹۶ جهت بررسی اثر محلول‌پاشی ملاتونین و ویتامین‌های گروه ب بر برخی خصوصیات زراعی، فیزیولوژیک و کیفی سویا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح محلول‌پاشی ملاتونین (صفر، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار) و شش سطح محلول‌پاشی با ویتامین‌های گروه B (شاهد، تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین، پانتوتنیک اسید و پیریدوکسین هر کدام با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند که در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار سازماندهی شدند. تعداد تیمارها در مجموع ۱۸ و تعداد کل کرت‌های آزمایش ۵۴ پلات بود که در هر پلات ٤ خط به طول ۳ متر (با رعایت فاصله‌روی ردیف ۵ و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر) قرار گرفت. دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در تاریخ ۵ خرداد ۱۳۹۶ با دست و در عمق ۵ سانتی‌متری در خاک انجام شد. فاصله دو بوته روی ردیف ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرهای سویا (*Glycine max*) رقم DPX ۱۵ دقیقه قبل از کاشت با باکتری همزیست با سویا (*Bradyrhizobium japonicum*) ساخت شرکت فن‌آوری زیستی طبیعت‌گرا (بایوسوی) آغشته شدند. آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای و هفتگی انجام شد. ٦۰ روز پس از کاشت و قبل از گلدهی اقدام به اعمال تیمارهای محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ملاتونین با فاصله ۲ روز از ویتامین‌های گروه B گردید. محلول‌پاشی‌ها یک‌بار در اواخر روز و در شرایط مناسب آب و هوایی اعمال شد به‌نحویکه برگ‌های سویا با مقدار آب مساوی برای کلیه تیمارها کاملاً خیس شدند.در تیمار شاهد از آب خالص جهت محلول‌پاشی استفاده گردید. استفاده از آب خالص به‌منظور مشخص‌شدن اثر واقعی ملاتونین و ویتامین‌های گروه B انجام گرفت. وزن خشک کل از مجموع وزن خشک برگ، ساقه و غلاف هر نمونه بر حسب گرم در مترمربع به‌دست آمد. از هر کرت تعداد ١٦ بوته با در نظرگرفتن حاشیه برای تعیین عملکرد دانه برداشت گردید. مساحت اشغال‌شده توسط این بوته‌ها محاسبه و عملکرد نهایی بر حسب هکتار محاسبه شد. مقدار نسبی آب برگ با استفاده از برگ‌های جوان و توسعه‌یافته هم سن قطع‌شده از ۲ بوته در هر کرت اندازه‌گیری شد. برای این منظور نمونه‌ها داخل فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل و با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند (وزن تر) و سپس به‌مدت ٢٤ ساعت در آب‌مقطر و در یخچال و در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس آب روی آنها با کاغذ صافی خشک شد و دوباره وزن شدند (وزن اشباع). پس از آن به مدت ٤٨ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن شدند (وزن خشک). محاسبه مقدار نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ صورت گرفت (Kramer, 1983).

(رابطه ۱)

/ (وزن خشک – وزن تر)} = مقدار نسبی آب برگ
۱۰۰× (وزن خشک – وزن اشباع)

اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا با استفاده از روش Sairam و Srivastava (۲۰۰۱) انجام شد. بدین منظور از هر ترکیب تیماری تعداد ۹ برگ هم‌سن جوان و توسعه‌یافته انتخاب و قطع گردید. سپس از هر تیمار ۲ نمونه ۰/۱ گرمی دیسک برگی توسط پانچ برای تعیین هدایت الکتریکی برگ در دمای ۱۰۰ و ٤۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شدند. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، لوله‌های آزمایش حاوی ۰/۱ گرم نمونه‌های دیسک برگی و ۱۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

میلی‌لیتر آب‌مقطر به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (C_2) در دستگاه اتوکلاو قرار داده شدند. پس از اتمام این زمان، نمونه‌ها از اتوکلاو خارج و هدایت الکتریکی آنها اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد (C_1) به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از آب مقطر ٤۰ درجه سانتی‌گراد در لوله‌های آزمایش حاوی ۰/۱ گرم دیسک برگی ریخته شد. سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از این مدت هدایت الکتریکی محلول‌ها اندازه‌گیری شد. از رابطه ۲ برای محاسبه پایداری غشا استفاده شد.

(رابطه ۲)

$(1 - C_1/C_2) \times 100$ = شاخص پایداری غشا پلاسمایی

روغن موجود در دانه با استفاده از دستگاه سوکسله تمام اتوماتیک Soxtherm 2000 automatic Gerhardt تعیین گردید (بی‌نام، ۱۳۸۸). بدین منظورمقدار یک گرم نمونه آسیاب‌شده در کارتوش مخصوص دستگاه قرار داده شد. کارتوش درون بالن در نگهدارنده فلزی قرار داده شد. مقدار ۱٤۰ میلی‌لیتر حلال آلی (اتر) به بالن اضافه شد و تا تکمیل فرآیند آزمایش صبر شد. در انتهای کار، بالن بدون نمونه و نگهدارنده به آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید و به‌مدت یک ساعت حرارت داده شدند. سپس بالن به دسیکاتور منتقل و پس از سردشدن توزین گردید. برای محاسبه درصد روغن موجود در نمونه‌ها از رابطه ۳ استفاده شد.

(رابطه ۳)

درصد روغن موجود در نمونه = (وزن نمونه / بالن وزن اولیه - وزن ثانویه بالن) × ۱۰۰

مقدار نیتروژن موجود در دانه پس از برداشت با دستگاه NIR (Near Infrared Radiation) مدل KJT-270 ساخت شرکت Kett ژاپن تعیین گردید. مقدار یک گرم نمونه آسیاب‌شده در محل مخصوص قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه قرار داده شد و درصد نیتروژن نمونه در طول‌موج مخصوص با دستگاه اندازه‌گیری شد. برای تبدیل درصد نیتروژن به درصد پروتئین از رابطه ٤ استفاده گردید. ضریب تبدیل پروتئین ۵/۷۵ در نظر گرفته شد (AOAC, 1999).

(رابطه ٤)

درصد پروتئین نمونه = درصد نیتروژن × ضریب تبدیل پروتئین

محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها به‌روش Hiscox و Israelstom (۱۹۷۹) اندازه‌گیری شد. استخراج نمونه‌ها به روش بدون لهیدگی و با دی‌متیل سولفوکسید از برگ‌های دوم هم‌سن و جوان انجام شد و ضریب نمونه‌ها در طول‌موج‌های ٦٦۳، ٦٤۵ و ٤۷۰ نانومتر خوانده شد. سپس با استفاده از روابط ۵ تا ۷ محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها برحسب میکروگرم بر میلی‌لیتر محاسبه شد (Arnon, 1949).

(رابطه ۵)

$$Chl\ a = (12.25\ A663) - (2.55\ A645)$$

(رابطه ٦)

$$Chl\ b = (20.31\ A645) - (4.91\ A663)$$

(رابطه ۷)

$$Car = (1000\ A470 - 1.90\ Chl\ a - 63.14\ Chl\ b) / 214$$

پس از جایگزین کردن داده‌ها در روابط بالا اعداد به‌دست آمده در V/W×1000 ضرب گردید تا بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آیند. V حجم محلول کلروفیل بر حسب میلی‌لیتر و W وزن نمونه تر برگ بر حسب گرم است. محتوای آنتوسیانین برگ با استفاده از ۰/۰۲گرم از بافت تازه گیاهی با ٤ میلی‌لیتر محلول کلریدریک اسید یک درصد و متانول استخراج گردیده و جذب محلول‌ها درطول‌موج ۵۳۰ و ٦۵۷ نانومتر اندازه‌گیری شد (Mita, 1997). برای اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید برگ با استفاده از از روش Krizek و همکاران (۱۹۹۸) میزان۰/۲گرم از برگ در ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی شامل (متانول و کلریدریک اسید به نسبت ۹۹ به ۱) پس از ساییده‌شدن و سانتریفیوژ به‌مدت ۱۵ دقیقه و قرارگیری در حمام آب‌گرم و سردشدن نمونه‌ها با دستگاه اسپکترفوتومتر در طول‌موج ۳۰۰ نانومتر خوانده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزارهای SAS و MSTATC و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرغلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین‌های گروه ب بر صفات زراعی و فیزیولوژیک سویا

منابع تغییر	درجه آزادی	ماده خشک کل	عملکرد	پایداری غشا	مقدار نسبی آب برگ	روغن دانه
تکرار	۲	۳۰۱۱/۶۱	۰/۴۵	۲۷۷/۸	۶۳/۰۴	۲/۲۴
ملاتونین	۲	۴۰۱۴۹/۰۵**	۴/۶۸**	۲۶۲/۲۴**	۱۱۶۸/۱۱**	۱۵/۹۵**
ویتامین ب	۵	۷۷۸۵۳/۷۴**	۲/۷۸**	۷۷۴/۸۱**	۲۵/۲۸**	۱/۲۱**
ملاتونین × ویتامین ب	۱۰	۴۵۶۶/۳۴*	۰/۰۳*	۱۳/۲۶*	۱/۹۱*	۰/۰۶
خطا	۳۴	۲۱۱۷/۱۶	۰/۰۱۷	۶/۱۴	۰/۷۵	۰/۰۸
ضریب تغییرات	-	۶/۱۰	۷/۰۱	۳/۸	۱/۲۶	۱/۶۷

*و** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرغلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین‌های گروه ب بر صفات زراعی و فیزیولوژیک سویا

منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین دانه	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	فلاونوئید	آنتوسیانین
تکرار	۲	۴/۳۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۹۹	۰/۰۰۹
ملاتونین	۲	۲/۹۵**	۲/۷۱**	۱۰/۵۱**	۰/۹۳**	۵/۷۵۴**	۰/۱۱۳**
ویتامین ب	۵	۰/۲۷	۰/۳۳**	۰/۷۵**	۰/۹۳**	۰/۹۷۶**	۰/۹۷۳**
ملاتونین × ویتامین ب	۱۰	۰/۳۰	۰/۰۸**	۰/۰۷*	۰/۰۶**	۰/۱۹۰**	۰/۰۰۴**
خطا	۳۴	۰/۳۱	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۱/۳۷	۵/۲۲	۳/۷۵	۱۱/۹۶	۳/۷۹	۱/۵۷

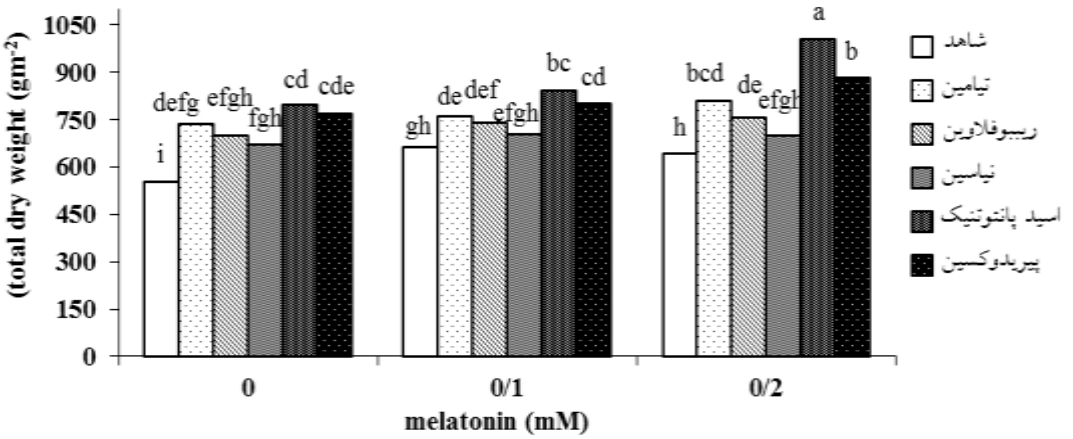
*و** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد است.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل ملاتونین و ویتامین ب بر کلروفیل a، کاروتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد و بر ماده خشک کل، عملکرد، پایداری غشا، مقدار نسبی آب برگ و کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود همچنین اثر ملاتونین بر کلیه صفات مورد اندازه‌گیری و اثر ویتامین‌های ب بر همه صفات بجز پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین اثرمتقابل محلول‌پاشی ملاتونین و ویتامین‌های ب افزایش معنی‌دار تجمع ماده خشک کل در اثر همه تیمارها نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۱). افزایش در غلظت ملاتونین به‌طور نسبی این صفت را بهبود بخشید و در نهایت بیشترین مقدار ماده خشک در ترکیب تیماری ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین و پانتوتنیک اسید با میانگین حدود ۱۰۰۰ گرم در متر مربع ثبت شد که به لحاظ آماری نیز نسبت به سایر ترکیبات تیماری برتری داشت در حالی که مقدار این صفت در گیاهان شاهد حدود ۵۵۴ گرم در متر مربع به‌دست آمد که افزایشی ۴۴ درصدی ماده خشک را در پی داشت. این نتیجه حاصل همراه‌شدن غلظت بالای ملاتونین با پانتوتنیک اسید بود. پس از پانتوتنیک اسید، اثر پیریدوکسین نیز مثبت بود که البته اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارها در غلظت ۰/۱ و صفر ملاتونین نداشت (شکل ۱). در تحقیقات El-Awadi و همکاران (۲۰۱۷) روی نخود نتایج مشابهی گزارش شد. Paredes و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که ملاتونین در گیاهان به خصوص در شرایط محیطی مانند خشکی دانه‌ها (Hardeland *et al.*, 2007) که رادیکال‌های آزاد نمی‌توانند دفع مسمومیت آنزیمی را به‌خوبی انجام دهند، موجب افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]



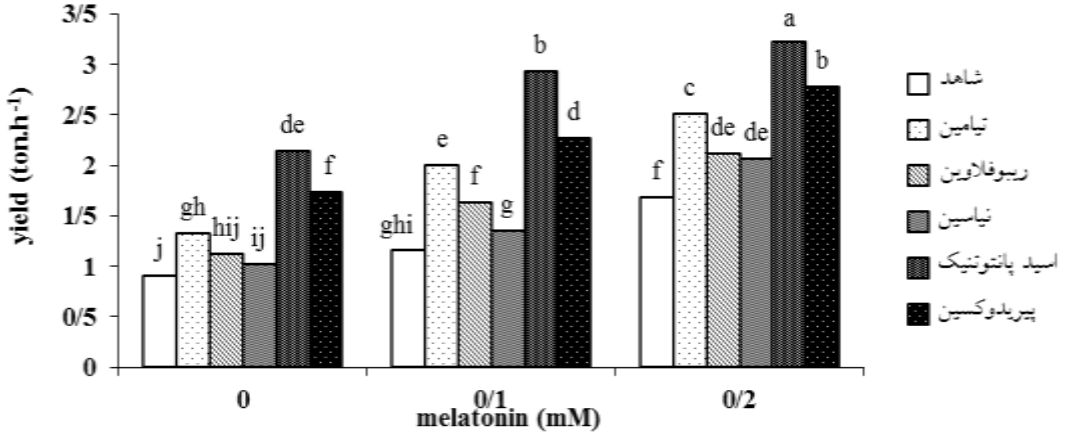
شکل ۱- مقایسه میانگین ماده خشک کل سویا تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

محافظت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. غلظت‌های پایین ملاتونین (۰/۱ و ۰/۱۵ میلی‌مولار) می‌تواند کارآیی تبدیل CO_2 و تجمع وزن خشک را بالا ببرد (Liu *et al*., 2015). محلول‌پاشی پانتوتنیک اسید نیز موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ در لوبیا سبز گردید (حیدری خوشکاروندانی، ۱۳۹٦). طبق تحقیقات Khan و همکاران (۱۹۹۵) نقش افزایش‌دهنده ویتامین ب در میزان جذب ریشه، موجب افزایش ظهور برگ می‌شود که این امر به نوبه خود سبب افزایش توان فتوسنتزی و سرعت جذب خالص می‌شود. همچنین پیریدوکسین موجب افزایش میزان سرعت جذب مواد غذایی در ذرت گردیده است (Khan *et al*., 2001).

بالاترین عملکرد در ترکیب تیماری ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین و پانتوتنیک اسید به‌دست آمد که ضمن اختلاف معنی‌دار با سایر ترکیب‌های تیماری، افزایش تقریباً ۳/۵ برابری نسبت به گیاهان شاهد نشان داد (شکل ۲). مقایسه ویتامین‌های ب نشان می‌دهد که در هر سه سطح ملاتونین بیشترین اثر مربوط به پانتوتنیک اسید و پس از آن پیریدوکسین و تیامین بود. در عدم‌حضور ویتامین‌های ب محلول‌پاشی ملاتونین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار و دو برابرشدن غلظت آن عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۷ و ۸٤ درصد افزایش داد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از ملاتونین و ویتامین‌های ب سبب افزایش در میزان عملکرد دانه گردید به‌طوریکه افزایش غلظت ملاتونین همراه با ویتامین ب اثر بیشتری بر عملکرد دانه داشت. محلول‌پاشی ملاتونین تحمل به شرایط تنش را در گیاهان افزایش و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ناشی از رشد در شرایط تنش غیرزنده را تخفیف می‌دهد (Tan *et al*., 2011). اثرات مثبت پرایمینگ بذر با ملاتونین نه تنها کیفیت بذر (جوانه‌زنی و قدرت بیشتر در پایین‌تر از شرایط نرمال)، بلکه توسعه گیاهچه، رشد گیاه و عملکرد محصول را نیز افزایش می‌دهد (Janas *et al*., 2009; Szafranska *et al*., 2016). ملاتونین ممکن است به‌عنوان واسطه خیلی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، تعادل یونی و افزایش رشد رویشی در تعدادی از گونه‌های گیاهی عمل نماید که منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Kolar and Machackova, 2005; Sarropoulou *et al*., 2012). گیاهان تیمارشده با پیریدوکسین و پانتوتنیک اسید توان جذب و توان فتوسنتزی و عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (Khan *et al*., 2001; فرخی و ارادتمند اصلی، ۱۳۸۷). Khan و همکاران (۱۹۹۵) بیان نمودند که پیریدوکسین موجب افزایش توان فتوسنتزی و درنتیجه افزایش ماده خشک تولیدی از طریق تأثیر مثبت بر روی سرعت جذب خالص (NAR) می‌شود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

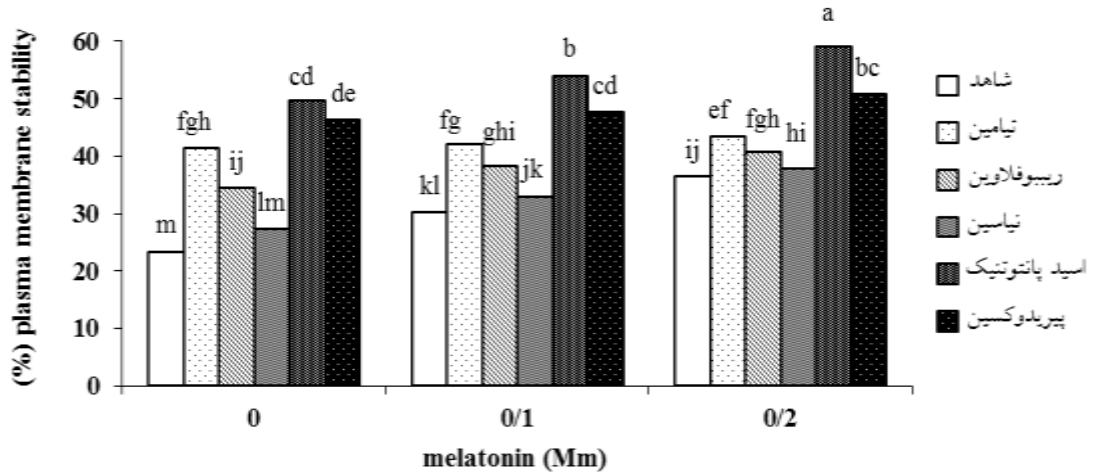


شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه سویا تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

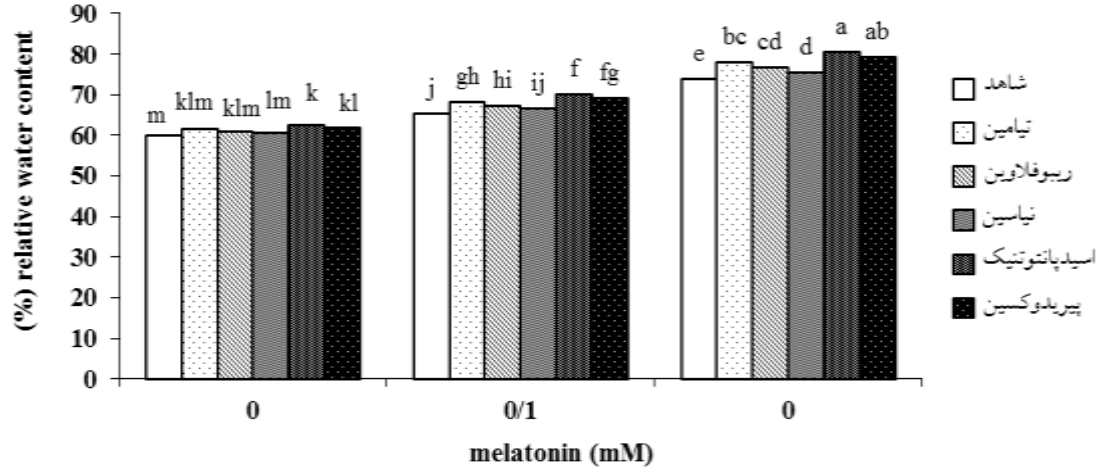
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی بر پایداری غشای پلاسمایی برگ سویا نشان داد که هر دو ماده سبب افزایش پایداری غشا نسبت به تیمار شاهد گردیدند. بیشترین پایداری غشا متعلق به ترکیب تیماری ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین و پانتوتنیک اسید بود که افزایش تقریباً ۱/۸ برابری نسبت به تیمار شاهد (غلت صفر ملاتونین و عدم‌محلول‌پاشی ویتامین ب) را نشان داد. کمترین میزان پایداری غشا مربوط به تیمار شاهد بود که البته با ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی ملاتونین و نیاسین تفاوت معنی‌داری نداشت. در مجموع محلول‌پاشی ویتامین ب در هر سه غلظت ملاتونین موجب افزایش پایداری غشا گردید ولی اثر پانتوتنیک اسید و پیریدوکسین بیشتر از بقیه بود (شکل ۳). ملاتونین تا حدی می‌تواند به‌عنوان پاک‌کننده و اولین مانع در برابر انفجار گونه‌های فعال اکسیژن و تغییر در بیان خیلی از ژن‌های مسئول واکنش به تنش (Arnao and Hernandez-Ruiz, 2012) مطرح باشد. ملاتونین مستقیماً H_2O_2 درگیر در فرآیند پیری که همراه با افزایش نفوذپذیری غشا و رهاشدن پروتئین و دیگر محتویات سلول (Liang *et al.*, 2018) است را برطرف نموده و با کاهش اکسیداسیون لیپیدها سبب افزایش پایداری غشای برگ (Shi *et al.*, 2015a; Ding *et al.*, 2017) و همچنین بهبود نگهداری هموستازی سلول‌ها می‌شود (Marta *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2016). کاربرد تیامین در گیاه آفتابگردان تحت تنش خسارات وارده به غشای سلول را با پایین‌آوردن پتانسیل آب برگ، بهبود جذب پتاسیم و افزایش مقدار نسبی آب برگ، کلروفیل، قندهای محلول، اسیدهای آمینه آزاد کل و تولید ماده خشک کاهش داد (Sayed and Gadallah, 2001).

در اثر محلول‌پاشی اسید پانتوتنیک و پیریدوکسین به‌تنهایی، ملاتونین به‌تنهایی و نیز همراه‌شدن هر دو غلظت ملاتونین با کلیه ویتامین‌های ب وضعیت آبی برگ به‌طور معنی‌داری بهبود یافت. مقادیر صفت مقدار آب نسبی برگ در غلظت بالای ملاتونین (۰/۲ میلی‌مولار) بیشتر بود (شکل ٤). به نحوی که بیشترین مقدار آن مربوط به پانتوتنیک اسید و پیریدوکسین همراه با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین به‌ترتیب با میانگین ۸۰/۵ و ۷۹/۲ درصد بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. اغلب برای بررسی میزان آب بافت گیاهان، رطوبت نسبی برگ اندازه‌گیری می شود (Zhang *et al.*, 2013). کاربرد ملاتونین روی بذرهای نخود فرنگی موجب افزایش معنی‌دار میزان رطوبت نسبی برگ گیاهچه‌های حاصل از این بذرهای تحت تنش اکسیداتیو پاراکوآت (Szafranska *et al.*, 2016) و گیاهچه‌های تحت تنش سرما (Tuna *et al.*, 2014; Han *et al.*, 2017) گردید. استفاده از ملاتونین به گیاهان در حفظ فشار تورگر بالاتر کمک می‌نماید و در باز نگهداشتن روزنه‌ها و سرعت نسبتاً بالاتر فتوسنتز مشارکت دارد (Meng *et al.*, 2014). گیاهان تیمارشده با ملاتونین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد پایداری غشای برگ سویا تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

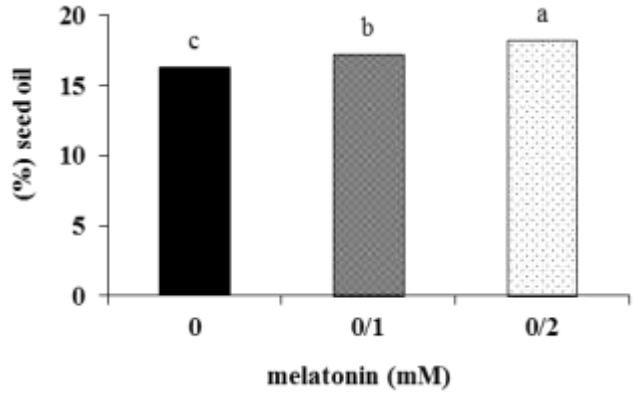


شکل ٤- مقایسه میانگین مقدار نسبی آب برگ سویا تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

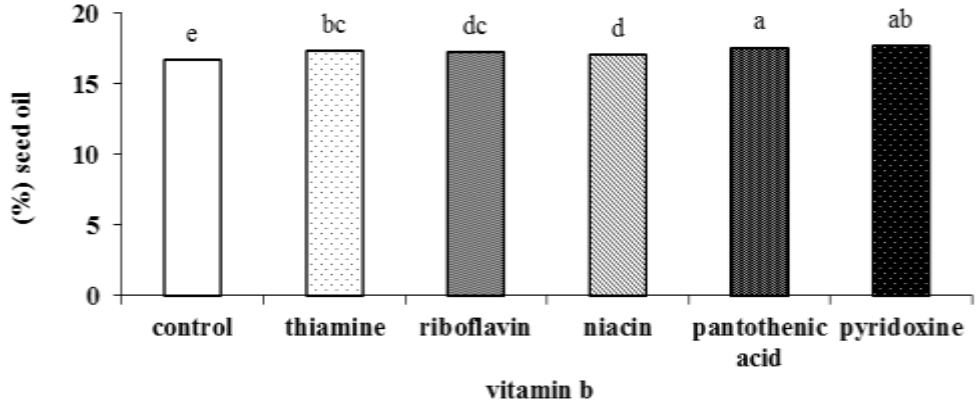
پتانسیل آب برگ و رطوبت نسبی بیشتری نسبت به گیاهان تیمارنشده جهش‌یافته با کمبود ABA نشان دادند که این نتایج بیان می‌کند که ملاتونین در وضعیت آبی گیاهان تحت تنش سرما که مستقل از ABA است، درگیر است (Li *et al.*, 2016). همچنین گزارش شده است که استفاده از تیمار پانتوتنیک اسید و پیریدوکسین موجب افزایش معنی‌دار رطوبت نسبی برگ لوبیا سبز گردید (حیدری خوشکاروندانی، ۱۳۹٦). افزایش رطوبت نسبی برگ در گیاهان تیمارشده با تیامین نیز مشاهده شد که ممکن است به‌دلیل ایفای نقش تیامین به‌عنوان تخفیف دهنده اثرات تنش و فاکتوری برای افزایش رشد ریشه و ساقه تحت شرایط تنش باشد (Sayed and Gadallah, 2001).

بررسی اثر سطوح مختلف ملاتونین و ویتامین‌های ب بر درصد روغن دانه نشان داد که درصد روغن دانه با کاربرد ملاتونین و دو برابرشدن غلظت آن افزایش یافت به نحوی که بیشترین مقدار این صفت از تیمار ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین به‌دست آمد که افزایش تقریباً ۱/۸ درصد روغن نسبت به تیمار شاهد را نشان داد (شکل ۵). ویتامین‌های ب نیز نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی افزایش معنی‌داری در درصد روغن دانه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]



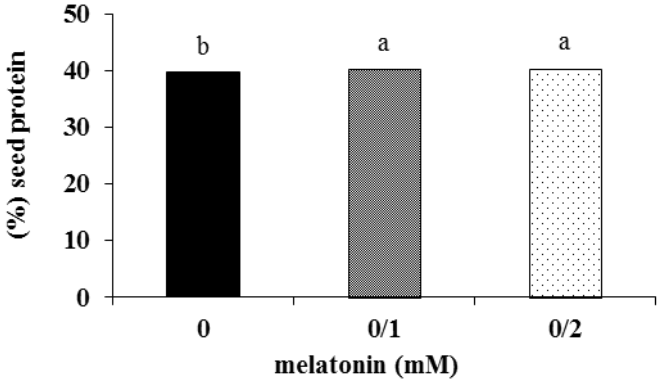
شکل ۵- تأثیر محلول‌پاشی ملاتونین بر درصد روغن دانه. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.



شکل ٦- تأثیر محلول‌پاشی ویتامین‌های ب بر درصد روغن دانه. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بر اساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

ایجاد نمودند. بیشترین مقدار این صفت با میانگین ۱۷/۷ و ۱۷/۵ درصد به‌ترتیب متعلق به تیمار پانتوتنیک اسید و پیریدوکسین بود که اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نداشتند. درصد روغن دانه در تیمار شاهد ۱٦/٦ درصد بود (شکل ٦). پیش از این نیز گزارش شده است که تیمار ۰/۵ میلی‌مولار ملاتونین موجب افزایش معنی‌دار روغن دانه نخود (chickpea) در حدود ٤٤ درصد، نسبت به تیمار شاهد گردید (El-Awadi *et al.*, 2017). علاوه بر این ملاتونین تعدادی از ژن‌های بیوسنتز اسیدهای چرب را افزایش می‌دهد (Millar and Kunst, 1997; Wu and Xue, 2010) که مسئول تجمع اسیدهای چرب در دانه‌های سویا هستند (Song *et al.*, 2013). از ویتامین‌های گروه ب نیز محلول‌پاشی 50ppm پیریدوکسین و 100 ppm تیامین موجب افزایش معنی‌دار روغن دانه گیاه Lupine (*Lupins termis* L.) گردید (El-Awadi *et al.*, 2016). پیریدوکسین به‌عنوان یک کوآنزیم برای آنزیم‌های متابولیکی متعدد شامل متابولیسم اسیدهای آمینه و برای رشد و تمایز گونه‌های مختلف گیاهی مورد نیاز است (Dolatabadian and Sanavy, 2008). افزایش تولید روغن خردل از طریق پیش‌تیمار بذرها با پیریدوکسین به‌واسطه افزایش سنتز اسیدهای آمینه پیش‌ماده روغن خردل از قبیل گلوتامات، آسپارتات، آلانین یا سرین به‌علت آلفاکتو اسیدهای تولیدشده در طی چرخه کربس به‌عنوان یک نتیجه از نقش قابل توجه پیریدوکسین به‌عنوان کوآنزیم در سیستم‌های آمینو ترانسفراز مختلف گزارش شده است (Mengel and Kirkby, 1982;

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]



شکل ۷- تأثیر محلول‌پاشی ملاتونین بر درصد پروتئین دانه. **حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.**

(Lehninger, 1984).

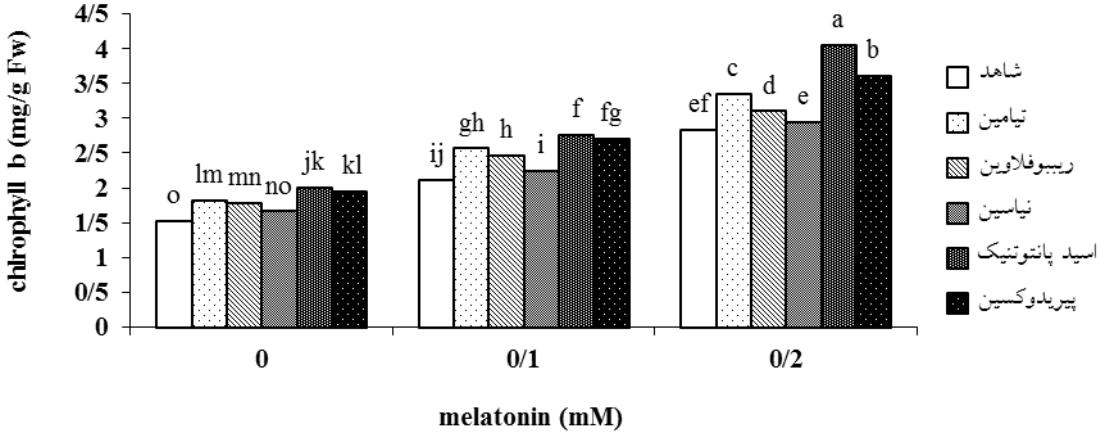
فقط اثر ساده محلول‌پاشی ملاتونین بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در شکل ۷ دیده می‌شود که در اثر محلول‌پاشی ملاتونین میزان پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی بین غلظت‌های ملاتونین اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۷). بذرهای ذرت تیمارشده با ملاتونین افزایش در قدرت و کیفیت بذر و بهبود ذخیره پروتئین دانه (از قبیل کوپینز و دیگر گلوبولین‌های انتقال‌یافته به محور جنینی) و افزایش تولید انرژی را نشان دادند (Kołodziejczyk *et al.*, 2016) که می‌تواند ناشی از بیان بیش از حد گلیسر آلدئید ۳ فسفات دهیدروژناز باشد (Catusse *et al.*, 2011).

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی و افزایش غلظت ملاتونین همراه با ویتامین‌های ب افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ را سبب گردید. میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید در برگ گیاهان شاهد (عدم محلول‌پاشی) پایین بود. ترکیبات تیماری مورد مطالعه مقدار کلروفیل a را بین ۱۱ تا ۸۷ درصد، مقدار کلروفیل b را بین ۸/۵ تا ۱۶۵ درصد و میزان کاروتنوئید برگ را بین ۴۳ تا ۲۸۰ درصد بهبود بخشیدند. بیشترین مقدار کلروفیل a و b در برگ گیاهانی به ثبت رسید که توسط ملاتونین ۰/۲ میلی‌مولار به‌همراه پانتوتنیک اسید محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی با پیریدوکسین در همین سطح از ملاتونین مقام دوم را دارا بود. در اثر کاربرد دو ویتامین مذکور (پانتوتنیک اسید و پیریدوکسین) در هر سه سطح ملاتونین مقدار کاروتنوئید برگ بالا بود. البته اثرگذاری نیاسین در غلظت بالای ملاتونین و تیامین در هر سه سطح ملاتونین بر این صفت نیز قابل توجه بود (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰).

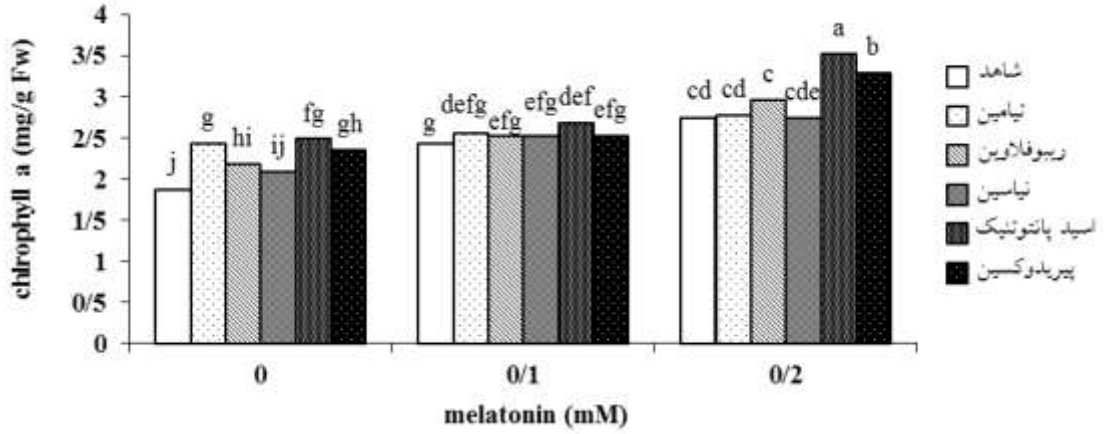
تنظیم اعمال زیادی در بیش از ۸۰۰ ژن مرتبط با پیری (SAGs) دلالت بر برنامه‌ریزی فرآیند پیری برگ‌ها دارد (Buchanan-Wollaston *et al.*, 2005). در این فرآیند ماکرومولکول‌ها، پروتئین‌های اصلی و لیپیدها هیدرولیز شده و ترکیبات دیگر به سرعت به مخازن دیگر گیاه منتقل می‌شوند (بذر، میوه، برگ‌های جدید و...). تخریب کلروپلاست نیز در طی فرآیند از دست‌دادن پروتئین‌ها از قبیل روبیسکو و پروتئین‌های متصل به کلروفیل اتفاق می افتد (Lim *et al.*, 2007; Hortensteiner, 2006). پیش‌تیمار بذرها با ملاتونین موجب کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در بافت برگ، محافظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید)، بهبود عملکرد اجزای فتوسنتز و محتوای آب بیشتر در بافت‌های گیاهان حاصل از این بذرها تحت تنش پاراکوآت گردید (Szafranska *et al.*, 2016). افزایش معنی‌دار رنگدانه کلروفیل b و کاروتنوئید در گیاه همیشه‌بهار با محلول‌پاشی پیریدوکسین در مطالعه Soltani و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده شد. پیریدوکسین با غلظت 50ppm افزایش ۱۴۱ درصدی کلروفیل a و ۱۱۵ درصدی کاروتنوئید و با غلظت 100ppm افزایش ۲۰۹ درصدی کلروفیل b را در گیاه Lupine نشان داد (El-Awadi *et al.*, 2016). Gopala و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

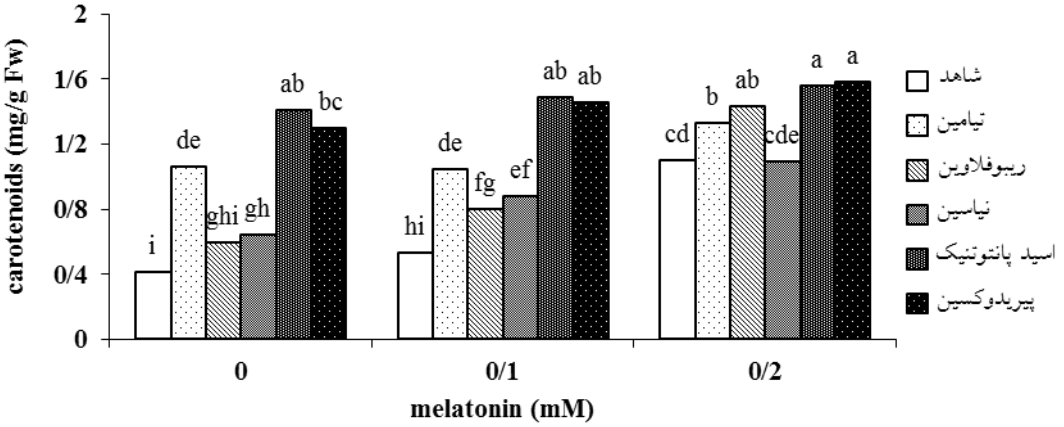
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]



شکل ۸- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین ب. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.



شکل ۹- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین ب. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین ب. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

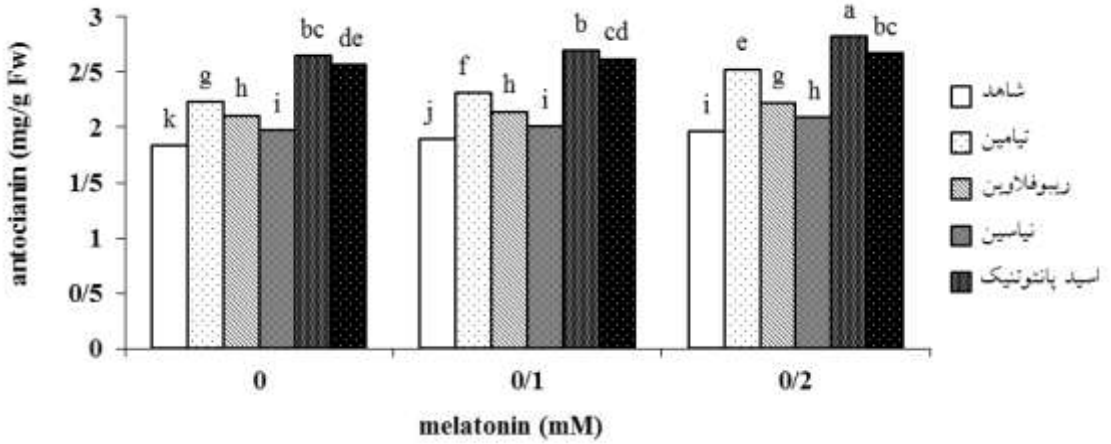
Sastry (۱۹۷۲) گزارش نمودند که تمام ویتامین‌های گروه ب ممکن است با سنتز کلروفیل مرتبط باشند. در این رابطه Hamada و Khulaef (۲۰۰۰) دریافتند که خیساندن بذور یا پیش‌تیمار گیاهچه باقلا (*Vicia faba*) با پیریدوکسین بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی را تحریک می‌نماید. تیامین نیز به‌عنوان پیش‌ماده تیامین دی‌فسفات به‌صورت یک کوآنزیم در بسیاری از مسیرهای متابولیکی شامل بیوسنتز رنگدانه‌های گیاه (Friedrich, 1987) و متابولیسم کربوهیدرات‌ها (Kawasaki, 1991) عمل می‌نماید.

در تیمارهای محلول‌پاشی با ملاتونین و ویتامین ب افزایش معنی‌داری در غلظت آنتوسیانین نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (شکل ۱۱). محلول‌پاشی همه ویتامین‌های ب سبب افزایش میزان آنتوسیانین نسبت به تیمار شاهد شد، البته مانند سایر صفات مورد بررسی اثر پانتوتنیک اسید از بقیه بیشتر بود و پس از آن به‌ترتیب پیریدوکسین، تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین قرار داشتند. با افزایش غلظت ملاتونین اثر افزایشی ویتامین‌ها بر این صفت نیز افزایش یافت و بیشترین غلظت آنتوسیانین از محلول‌پاشی توأم ملاتونین با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار و پانتوتنیک اسید به‌دست آمد که ٥٤ درصد از تیمار شاهد بیشتر بود (شکل ۱۱). تیمار ملاتونین موجب افزایش معنی‌دار تولید آنتوسیانین و افزایش رشد کلم و افزایش سطوح نسخه‌برداری ژن‌های تنظیم بیوسنتز آنتوسیانین (*MYB*، *bHLH* و *WD40*) گردید (Zhang *et al.*, 2016a). به‌نظر می‌رسد آنتوسیانین از گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده محافظت می‌کند. آنتوسیانین ممکن است تمایل به بازدارندگی نوری را کاهش دهد و با جلوگیری از شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد و کاهش سطوح گونه‌های فعال اکسیژن اثرات تنش خشکی، شوری، فلزات سنگین یا اکسیداتیو را تخفیف دهد (Agati and Tattini, 2010; Falcone Ferreyra *et al.*, 2012). در پژوهش حمزه نژادی و همکاران (۱۳۹٦) بیشترین محتوای آنتوسیانین در گیاهان تیمارشده با تیامین و اکسین مربوط به ترکیب تیماری غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین و ۲۰۰ میکرومولار تیامین مشاهده شد.

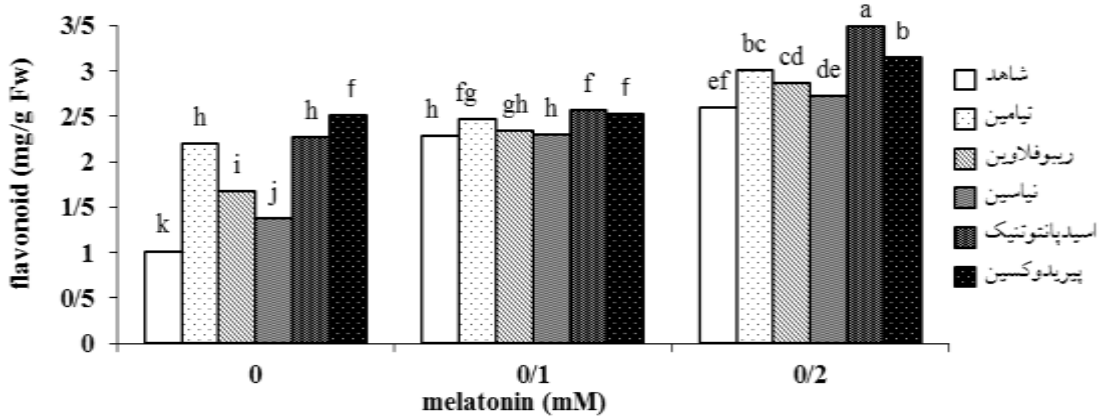
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی بر میزان فلاونوئید نشان داد که هر دو ماده سبب افزایش فلاونوئید نسبت به تیمار شاهد گردیدند. مقایسه ۱۷ ترکیب تیماری مورد مطالعه با شاهد نشان داد که کاربرد نیاسین در عدم‌حضور ملاتونین با ۳۵ درصد افزایش نسبت به شاهد کمترین و توأم‌شدن پانتوتنیک اسید با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین با ۲٤۰ درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین تأثیر را بر میزان فلاونوئید برگ داشتند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت ملاتونین میزان این صفت افزایش یافت. همچنین محلول‌پاشی ویتامین‌های ب در هر سه غلظت ملاتونین موجب افزایش فلاونوئید گردید (شکل ۱۲). Liang و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که مقادیر زیادی از فلاونوئید در گیاهچه‌های کیوی تیمارشده با ملاتونین تجمع پیدا کرد و رونویسی سطوحی از ۸ ژن درگیر در سنتز فلاونوئید شامل (*PAL*)، (*C4H*)، (*CHS*)، (*F3H*)، (*FNS*)، (*LAR*)، (*ANR*) و (*UFGT*) در پاسخ به کاربرد ملاتونین افزایش پیدا کردند. تجمع اضافی و کنترل‌نشده گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) عامل آغاز پیری است. سطوح ROS و دیگر اثرات مخربشان به‌عنوان کنش معمول گیاه در پاسخ پیری شناخته شده است (Apel and Hirt, 2004; Khanna-Chopra, 2012). محققین زیادی نشان داده‌اند که ملاتونین می‌تواند از ارگانیسم‌ها در برابر ROS محافظت کند (Shi *et al.*, 2015b; Zhang *et al.*, 2016b). این فعالیت آنتی‌اکسیدانی از پنج مسیر عمل می‌کند که شامل ۱- پاکسازی مستقیم رادیکال‌های آزاد، ۲- تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (از قبیل پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز)، ۳- تقویت فعالیت دیگر آنتی‌اکسیدان‌ها (از قبیل آسکوربیک اسید، قندهای محلول و فلاونوئید)، ٤- محافظت از آنزیم‌ها از خسارت اکسیداتیو و ٥- افزایش کارآیی زنجیره انتقال الکترون میتوکندریایی و درنتیجه تخفیف تراوش الکترون و کاهش تولید رادیکال‌های آزاد است (Zhou *et al.*, 2016; Gong *et al.*, 2017). سنتز برخی ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیب‌های فنلی مانند فلاونوئید از مهم‌ترین سیستم‌های دفاعی گیاهان برای کنترل و خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد است (Pandy *et al.*, 2002

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]



شکل ۱۱- مقایسه میانگین میزان آنتوسیانین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین ب. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.



شکل ۱۲- مقایسه میانگین میزان فلاونوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین ب. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

al., 2002). کاربرد تیامین کل محتوای فنل سوسن (Nahed *et al.*, 2009) و آویشن (Reda *et al.*, 2005) را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. این مشاهدات ممکن است ناشی از نقش تیامین در مسیرهای متابولیکی مختلف از قبیل قند و متابولیسم پروتئین، فتوسنتز و تنفس سلولی باشد (Reda *et al.*, 2005; Tuna *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری

گیاهان بهاره که بخش مهمی از دوره رشدشان در تابستان قرار دارد در معرض تنش‌های محیطی مثل تنش‌های کم‌آبی و گرما به‌ویژه در هنگام ظهر قرار دارند. این تنش‌ها انواع اکسیژن فعال (ROS) را تولید کرده وآثار منفی بر رشد و عملکرد این گیاهان دارند. با توجه به نتایج به‌دست آمده محلول‌پاشی ملاتونین و ویتامین ب افزایش معنی‌داری در میزان ماده خشک کل، عملکرد، پایداری غشا، مقدار نسبی آب برگ، کلروفیل a و b، کاروتنوئید، فلاونوئید و آنتوسیانین را نشان دادند. بنابراین می‌توان استفاده از ترکیب تیماری ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین و پانتوتنیک اسید را به‌منظور بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و در نتیجه افزایش کیفیت و عملکرد گیاه سویا پیشنهاد داد که علاوه بر کاهش هزینه‌های گیاه، موجب کاهش اثرات منفی تنش‌های وارده به گیاه شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

منابع

بی‌نام (۱۳۸۸) مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. دانه‌های روغنی. اندازه‌گیری مقدار روغن (روش مرجع). استاندارد ملی ایران. ۷۵۹۳.

حلفی، ج. (۱۳۹۷) تأثیر پیش‌تیمار بذر با پیریدوکسین، پانتوتنیک اسید و روی بر رشد، عملکرد و کیفیت لوبیا سبز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

حمزه نژادی، م.، نادرنژاد، ن.، اسرار، ز. و مظفری، ح. (۱۳۹٦) بررسی تاثیر همزمان اکسین و تیامین بر میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و محتوای ترکیبات فنلی در دو مرحله رشد رویشی گیاه سویا (*Glycin max*). زیست‌شناسی گیاهی ایران ۹: ٦۸-۵۳.

حیدری خوشکاروندانی، ن. (۱۳۹٦) اثر محلول‌پاشی پیریدوکسین، پانتوتنیک اسید و عنصر روی بر خصوصیات کمی و کیفی لوبیا سبز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

فرخی، غ. ر. و ارادتمند اصلی، د. (۱۳۸۷) تأثیر پیریدوکسین و سطوح مختلف نیتروژن بر عمکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس۷۰٤. مجله زراعت و اصلاح نباتات ایران ۵: ۱٦-٤.

Agarwal, S. and Pandey, V. (2004) Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifoli*. Biologia Plantarum 48: 555-560.

Agati, G. and Tattini, M. (2010) Multiple functional roles of flavonoids in photoprotection. New Phytologist 186: 786-793.

Ahn, I. P., Kim, S. and Lee, Y. H. (2005) Vitamin B1 functions as an activator of plant disease resistance. Plant Physiology 138: 1505-1515.

AOAC. (1999) Association Official Methods of Analysis. Method.

Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55: 373-399.

Arnao, M. B. and Hernandez-Ruiz, J. (2012) Functions of melatonin in plants. Journal of Pineal Research 59: 133-150.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgris*. Plant physiology 24: 1-15

Azahar, S. (2016) Response of vitamin B1 (Thiamine hydrochloride) in improving growth and yield of mustard (*Brassica juncea* L.). Journal of Functional and Environmental Botany 6: 107-113.

Bonnefont-Rousselot, D. and Collin, F. (2010) Melatonin: action as antioxidant and potential applications in human. Toxicology 278: 55-67.

Buchanan-Wollaston, V., Page, T., Harrison, E., Breeze, E., Lim, P. O., Nam, H. G., Lin, J. F., Wu, S. H., Swidzinski, J., Ishizaki, K. and Leaver, C. J. (2005) Comparative transcriptome analysis reveals significant differences in gene expression and signaling pathways between developmental and dark/starvation-induced senescence in Arabidopsis. The Plant Journal 42: 567-585.

Burguieres, E., McCue, P., Kwon, Y. I. and Shetty, K. (2007) Effect of vitamin C and folic acid on seed vigour response and phenolic-linked antioxidant activity. Bioresource Technology 98: 1393-1404.

Catusse, J., Meinhard, J., Job, C., Strub, J. M., Fischer, U., Pestsova, E.,Westhoff, P., Van Dorsselaer, A. and Job, D. (2011) Proteomics reveals potential biomarkers of seed vigor in sugarbeet. Proteomics 11: 1569-1580.

Chen, H. and Xiong, L. (2005) Pyridoxine is required for post-embryonic root development and tolerance to osmotic and oxidative stresses. The Plant Journal 44: 396-408.

Ding, F., Wang, M., Liu, B. and Zhang, S. (2017) Exogenous melatonin mitigates photoinhibition by accelerating non-photochemical quenching in tomato seedlings exposed to moderate light during chilling. Frontiers in Plant Science 8: 1-11.

Dolatabadian, A. and Sanavy, S. A. M. (2008) Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 36: 61-66.

Dubbels, R., Reiter, R. J., Klenke, E., Goebel, A., Schnakenberg, E., Ehleers, C., Schiwara, H. W. and Schloot, W. (1995) Melatonin in edible plants identified by radioimmunoassay and by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. Journal of Pineal Research 18: 28-31.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

El-Awadi, M. E., Abd Elbaky, Y. R., Dawood, M. G., Shalaby, M. A. and Bakry, B. A. (2016) Enhancement quality and quantity of lupine plant via foliar application of some vitamins under sandy soil conditions. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences 7: 1012-1024.

El-Awadi, M. E., Dawood, M. G., Abd Elbaky, Y. R. and Hassan, E. A. (2017) Physiological effect of melatonin, IAA and their precursor on quality and quantity of chickpea plants grown under sandy soil conditions. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Special Issue 35-44.

Falcone Ferreyra, M. L., Rius, S. P. and Casati, P. (2012) Flavonoids: biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications. Frontiers in Plant Science 3: 1-15.

Friedrich, W. (1987) Thiamin (Vitamin B1, aneurin). Urban and Chwartzenberg 240-258.

Gao, H., Zhang, Z. K., Chai, H. K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D. N., Yang, T. and Cao, W. (2016) Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. Postharvest Biology and Technology 118: 103-110.

Gong, X. Q., Shi, S. T., Dou, F. F., Song, Y. and Ma, F. W. (2017) Exogenous melatonin alleviates alkaline stress in Malus hupehensis Rehd. By regulating the biosynthesis of polyamines. Molecules 22: 1-20.

Gopala Rao, P. and Sastry, K. S. (1972) B-group vitamins during seedling growth of late and early varieties of groundnut *Arachis hypogea* L. The Indian Botanical Society 51: 155-161.

Goyer, A. (2010) Thiamine in plants: Aspects of its metabolism and functions. Phytochemistry 71: 1615-1624.

Hamada, A. M. and Khulaef, E. M. (2000) Stimulative effects of ascorbic acid, thiamin or pyridoxine on *Vicia faba* growth and some related metabolic activates. Pakistan Journal of Biological Sciences 3: 1330-1332.

Han, Q. H., Huang, B., Ding, C. B., Zhang, Z. W., Chen, Y. E., Hu, C., Zhou, L. J., Huang, Y., Liao, J. Q., Yuan, S. and Yuan, M. (2017) Effects of melatonin on anti-oxidative systems and photosystem ii in cold-stressed rice seedlings. Frontiers in Plant Science 8: 1-14.

Hardeland, R., Pandi-Perumal, S. R. and Poeggeler, B. (2007) Melatonin in plants: focus on a vertebrate night hormone with cytoprotective properties. Functional Plant Science and Biotechnology 1: 32-45.

Hattori, A., Migitaka, H., Iigo, M., Itoh, M., Yamamoto, K., Ohtani-Kaneko, R., Hara, M., Suzuki, T. and Reiter, R. J. (1995) Identification of melatonin in plants and its effects on plasma melatonin levels and binding to melatonin receptors in vertebrates. Biochemistry and Molecular Biology International 35: 627-634.

Hiscox, J. D. and Israelstom, G. F. (1978) A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 57: 1332-1334.

Hortensteiner, S. (2006) Chlorophyll degradation during senescence. Annual Review of Plant Biology 57: 55-77.

Janas, K. M. and Posmyk, M. M. (2013) Melatonin, an underestimated natural substance with great potential for agricultural application. Acta Physiologiae Plantarum 35: 3285-3292.

Janas, K. M., Ciupinska, E. and Posmyk, M. M. (2009) Melatonin applied by hydropriming, as phytobiostimulator improving corn (*Zea mays* L.) seedlings growth at abiotic stresses conditions. In: Progress in Environmental Science and Technology (eds. Li, S., Wang, Y., Cao, F., Huang, P. and Zhang, Y.) Pp. 383-388. Science Press, USA Inc.

Jemima, J., Bhattacharjee, P. and Singhal, R. S. (2011) Melatonin a review on the lesser known potential nutraceutical. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 2: 1975-1987.

Kawasaki, T. (1991) Modern chromatographic. Analysis of Vitamins. New York, Marcel Dekker 60: 319-354.

Khan, M., Samiullah, N. and Khan, N. A. (2001) Response of mustard and wheat to presowing seed treatment with pyridoxine and basal level of calcium. Indian Journal of Plant Physiology 6: 300-305.

Khan, N. A., Khan, F. A., Aziz, O. and Samiullah, N. (1995) Pyridoxine enhances root growth and leaf NPK content of lentil grown with phosphorus levels. Frontiers in Plant Science 807-808.

Khanna-Chopra, R. (2012) Leaf senescence and abiotic stresses share reactive oxygen species-mediated chloroplast degradation. Protoplasma 249: 469-481.

Kolar, J. and Machackova, I. (2005) Melatonin in higher plants: occurrence and possible functions. Journal of Pineal Research 39: 333-341.

Kołodziejczyk, I., Dzitko, K., Szewczyk, R. and Posmyk, M. M. (2016) Exogenous melatonin expediently modifies proteome of maize (*Zea mays* L.) embryo during seed germination. Acta Physiologiae Plantarum 38: 1-18.

Kramer, P. S. (1983) Water Relations of Plants. Academic Press.

Krizek, D. T., Britz, S. J. and Mirecki, R. M. (1998) Inhibitory effect of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. Physiolgia Plantarum 103: 1-7.

Lehninger, A. L. (1984) Principles of Biochemistry. New York, Worth Publishers Inc.

Li, X., Dun-Xian, T., Dong, J. and Fulai, L. (2016) Melatonin enhances cold tolerance in drought primed wild type and abscisic acid deficient mutant barley. Journal of Pineal Research 61: 328-339.

Liang, D., Shen, Y., Ni, Z., Wang, Q., Lei, Z., Xu, N., Deng, Q., Lin, L., Wang, J., Lv, X. and Xia, H. (2018) Exogenous melatonin application delays senescence of kiwifruit leaves by regulating the antioxidant capacity and biosynthesis of flavonoids. Frontiers in Plant Science 9: 1-14.

Lim, P. O., Kim, H. J. and Nam, H. G. (2007) Leaf senescence. Annual Review of Plant Biology 58: 115-136.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

Liu, J., Wang, W., Wang, L. and Sun,Y. (2015) Exogenous melatonin improves seedling health index and drought tolerance in tomato. Plant Growth Regulation 77: 317-326.

Marta, B., Szafra nska, K. and Posmyk, M. M. (2016) Exogenous melatonin improves antioxidant defense in cucumber seeds (*Cucumis sativus* L.) germinated under chilling stress. Frontiers in Plant Science 7: 1-12.

Meng, J. F., Xu, T. F., Wang. Z. Z., Fang, Y. L., Xi, Z. M. and Zhang, Z. W. (2014) The ameliorative effects of exogenous melatonin on grape cuttings under water-deficient stress: antioxidant metabolites, leaf anatomy, and chloroplast morphology. Journal of Pineal Resrarch 57: 200-212.

Mengel, K. and Kirkby, E. A. (1982) Principles of Plant Nutrition. Bern, Switzerland, International Potash Institute.

Millar, A. A. and Kunst, L. (1997) Very-long-chain fatty acid biosynthesis is controlled through the expression and specificity of the condensing enzyme. Plant Journal 12: 121-131.

Mita, R. (1997) Oxidative stress. Antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7: 405-410.

Nahed, G. A., Lobna, T. and Soad, M. I. (2009) Some studies on effect of putresine, ascorbic acid and thiamine on growth, flowering and some chemical constituents of gladiolus plants at Nurbaria. Ozean Journal of Applied Science 2: 169-179.

Pandy, N., Singh, A. K., Pathak, G. C. and Sharma, C. P. (2002) Effect of zinc on antioxidant response in maize (*Zea mays* L.) leaves. Indian Journal of Experimental Biology 40: 954-956.

Paredes, S. D., Korkmaz, A., Manchester, L. C., Tan, D. X. and Reiter, R. J. (2009) Phytomelatonin: a review. Journal of Experimental Botany 60: 57-69.

Reda, F., Abdel-Rahim, E. A., El-Baroty, G. S. A. and Ayad, H. S. (2005) Response of essential oil, phenolic components and polyphenol oxidative activity of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) to some bioregulators and vitamins. International Journal of Agriculture and Biology 7: 735-739.

Reiter, R. J., Tan, D. X., Gitto, E., Sainz, R. M., Mayo, J. C., Leon, J., Manchester, L. C., Vijayalaxmi, Kilic, E. and Kilic, U. (2004) Pharmacological utility of melatonin in reducing oxidative cellular and molecular damage. Polish Journal Pharmacology 56: 159-170.

Reiter, R. J., Tan, D. X., Zhou, Z., Cruz, M. H. C., Fuentes-Broto, L. and Galano, A. (2015) Phytomelatonin: assisting plants to survive and thrive. Molecules 20: 7396-7437.

Rivero, R. M., Kojima, M., Gepstein, A., Sakakibara, H., Mittler, R., Gepstein, S. and Blumwald, E. (2007) Delayed leaf senescence induces extreme drought tolerance in a flowering plant. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 104: 19631-19636.

Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. (2001) Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen proxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science 186: 63-70.

Sarropoulou, V. N., Therios, I. N. and Dimassi-Theriou, K. N. (2012) Melatonin promotes adventitious root regeneration in vitro shoot tip explants of the commercial sweet cherry rootstocks CAB-6P (*Prunus cerasus* L.), Gisela 6 (*P. cerasus*×*P. canescens*), and M×M 60 (*P. avium*×*P. mahaleb*). Journal of Pineal Research 52: 38-46.

Sayed, S. A. and Gadallah, M. A. A. (2001) Effects of shoot and root application of thiamin on salt-stressed sunflower plants. Plant Growth Regulation 36: 71-80.

Shi, H., Jiang, C., Ye, T., Tan, D. X., Reiter, R. J., Zhang, H., Liu, R. and Chan, Z. (2015b) 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.

Shi, H., Wang, X., Tan, D. X., Reiter, R. J. and Chan, Z. (2015a) Comparative physiological and proteomic analyses reveal the actions of melatonin in the reduction of oxidative stress in Bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L). Pers.). Journal of Pineal Research 59: 120-131.

Shshhat, I. M. A., Gazal, G. M. and Mohamed, G. S. (2014) Effect of ascorbic acid and niacin on protein, oil fatty acids and antibacterial activity of *Lupinus termis* seeds. International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research 6: 866-873.

Soltani, Y., Saffari, V. R., Maghsoudi moud, A. A. and Mehrabani, M. (2012) Effect of foliar application of α-tocopherol and pyridoxine on vegetative growth, flowering,and some biochemical constituents of (*Calendula officinalis* L.) plants. African Journal of Biotechnology 11: 11931-11935.

Song, Q. X., Li, Q. T., Liu, Y. F., Zhang, F. X., Ma, B., Zhang, W. K., Man, W.Q., Du, W. G., Wang, G. D., Chen, S. Y. and Zhang, J. S. (2013) Soybean GmbZIP123gene enhances lipid content in the seeds of transgenic Arabidopsis plants. Journal of Experimental Botany 64: 4329-4341.

Szafranska, K., Reiter, R. J. and Posmyk, M. M. (2016) Melatonin application to *Pisum sativum* L. seeds positively influences the function of the photosynthetic apparatus in growing seedlings during paraquat-induced oxidative stress. Frontiers in Plant Science 7: 1-12.

Taheri, P. and Hofte, M. (2007) Riboflavin-induced resistance against rice sheath blight functions through the potentiation of lignin formation and jasmonic acid signalling pathway. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences 72: 309-313.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

Tan, D. X. (2015) Melatonin and plants. Journal of Experimental Botany 66: 625-625.

Tan, D. X., Hardeland, R., Manchester, L. C., Korkmaz, A., Ma, S., Rosales-Corral, S. and Reiter, R. J. (2011) Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. Journal of Experimental Botany 63: 577-597.

Tan, D. X., Hardeland, R., Manchester, L. C., Korkmaz, A., Ma, S., RosalesCorral, S. and Reiter, R. J. (2012) Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. Journal of Experimental Botany 63: 577-597.

Tuna, A. L., Kaya, C., Altunlu, H. and Ashraf, M. (2013) Mitigation effects of non-enzymatic antioxidants in maize (*Zea mays* L.) plants under salinity stress. Australian Journal of Crop Science 7: 1181-1188.

Turk, H., Erdal, S., Genisel, M., Atci, O., Demir, Y. and Yanmis, D. (2014) The regulatory effect of melatonin on physiological, biochemical and molecular parameters in cold-stressed wheat seedlings. Plant Growth Regulation 74: 139-152.

Vinchesi, A. C., Rondon, S. I. & Goyer, A. (2016) Priming potato with thiamin to control potato virus Y. American Journal of Potato Research 94: 1-16.

Wu, G. Z. and Xue, H. W. (2010) Arabidopsis β-ketoacyl-[acyl carrier protein] synthase i is crucial for fatty acid synthesis and plays a role in chloroplast division and embryo development. The Plant Cell 22: 3726-3744.

Zhang, N., Sun, Q. Q., Zhang, H. J., Cao, Y. Y., Weeda, S. and Ren, S. X. (2015) Role of melatonin in abiotic stress resiseance in plants. Journal of Experimental Botany 66: 647-656.

Zhang, J., Li, H., Xu, B., Li, J. and Huang, B. (2016b) Exogenous melatonin suppresses dark-induced leaf senescence by activating the superoxide dismutase-catalase antioxidant pathway and down-regulating chlorophyll degradation in excised leaves of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Frontiers in Plant Science 7: 1-15.

Zhang, N., Sun, Q., Li, H., Li, X., Cao, Y., Zhang, H., Li, S., Zhang, L., Qi, Y., Ren, S., Zhao, B. and Guo, Y. D. (2016a) Melatonin improved anthocyanin accumulation by regulating gene expressions and resulted in high reactive oxygen species scavenging capacity in cabbage. Frontiers in Plant Science 7: 1-17.

Zhang, N., Zhao, B., Zhang, H. J., Weeda, S., Yang, Ch., Yang, Z. C., Ren, S. and Guo, Y. D. (2013) Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Journal of Pineal Research 54: 15-23.

Zhou, X., Zhao, H., Cao, K., Hu, L., Du, T., Baluska, F. and Zou, Z. (2016) Beneficial roles of melatonin on redox regulation of photosynthetic electron transport and synthesis of d1 protein in tomato seedlings under salt stress. Frontiers in Plant Science 7: 1-10.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]

Effect of foliar application of iron nanoparticles on improvement of some physiological and morphological traits of purslane (*Portulaca oleracea*) under cadmium stress

Yusef Mohammadi, Mehdi Baradaran Firouzabadi*, Ahmad Gholami, Hassan Makarian

Faculty of Agriculture Shahrood University of Technology
(Received: 28/04/2019, Accepted: 17/07/2019)

Abstract

In order to investigate the effects of foliar spraying of iron nanoparticles on improvement of some physiological and morphological traits of purslane (*Portulaca oleracea*) under cadmium stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The experiment was conduted under greenhouse conditions at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University during 2017. The experimental factors included cadmium chloride in six levels (0, 25, 50, 75,100 and 125 mg/kg soil) and foliar spring of iron nanoparticles in five levels (0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 g/l). The results showed that the interction effects of iron nanoparticles and cadmium were significant on leaf area, root dry weight and proline content at 5% as well as leaf dry weight and chlorophyl contents at 1% probablity level. The leaf area responded a linear decrease trend with increasing cadmium levels at levels of 0, 0.5, 0.75 and 1 g/l of foliar spraying of iron nanoparticles. By contrast, as a segmented model at concentration of 0.25 g/l. Foliar spraying of iron nanoparticles at all four levels increased root dry weight to 25 mg/kg of cadmium, but at levels above 25, the root dry weight decreased at higher level of Cd. Meanwhile, the concentration of 0.5 g/l of foliar spraying of iron nanoparticles had the most effect on root dry weight by 34.80% increase as compared to the control. SPAD value increased in both levels of 0.5 and 0.75 to 25 mg/kg of soil cadmium, 11.19 and 28.99% respectively, as compared to the control. In general, our results, indicated that foliar application of iron nanoparticles was effective to improve cadmium tolerance in purslane plant in low cadmium concentrations. However, more research is needed to investigate the mechanism of iron nanoparticles.

Keywords: Stress, Phytoremediation, Heavy metals, Nanoparticles.

Corresponding author, Email: m.baradaran.f@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.27.8]