

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

یوسف محمدی، مهدی برادران فیروزآبادی\*، احمد غلامی و حسن مکاریان

دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۴/۲۶)

### 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 محلول پاشی ملاتونین (صفر، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار) و شش سطح محلول پاشی 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 محلول پاشی ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین همراه با پانتوتنیک اسید به‌دست آمد البته تأثیر پیریدوکسین نیز قابل توجه بود. بررسی اثر ملاتونین در شرایط عدم حضور ویتامین ب نشان داد که با افزایش غلظت آن درصد پروتئین و درصد روغن دانه افزایش یافت. محلول پاشی ملاتونین با غلظت ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۷ و ۸۴ 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

(Reactive Oxygen Species (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 ایجاد شده به‌واسطه ROS استفاده می‌کنند. این عمل ممکن است از طریق یک سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی ایجاد شده شامل متابولیت‌های آسکوربات و

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

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

(Rivero *et al.*, 2007). از موادی که اخیراً به صورت 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 می‌شود. این ترکیب علاوه بر نقش پیام‌رسانی تاریکی و تحریک تنظیم‌کننده‌های رشد، نقش قابل توجهی به عنوان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مرتبط با محافظت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو داخلی و محیطی بازی می‌کند (Reiter *et al.*, 2015; Tan, 2015; Zhang, 2015). ملاتونین به عنوان 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

گلوکوتایون 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 (Burguires *et al.*, 2007; Chen and Xiong, 2005). تیامین (ویتامین B<sub>1</sub>) به عنوان 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<sub>1</sub> (تیامین) سبب افزایش عملکرد و رشد بهتر خردل گردید. Vinchesi و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان نمودند که کاربرد ویتامین B<sub>1</sub> (تیامین) موجب کاهش شدید سطوح بیماری ویروس Y در سیب‌زمینی می‌شود. کاربرد پیریدوکسین (B<sub>6</sub>) افزایش جذب ریشه و سرعت ظهور برگ و در نهایت افزایش توان فتوسنتزی گیاه را نشان داد (Khan *et al.*, 1995). گزارش شده است که کاربرد خارجی ریوفلاوین (B<sub>2</sub>) مقاومت گیاه برنج را در برابر بیماری زنگ غلاف در برنج افزایش می‌دهد (Taheri and Hofte, 2007). تحقیقات Shshhat و همکاران (۲۰۱۴) روی گیاه *Lupinus termis* نشان داد که محلول‌پاشی نیاسین اثر قابل توجهی بر میزان پروتئین و روغن دانه داشت. شاخص سطح برگ گیاهان لویا سبز که بذر آنها با پانتوتنیک اسید پیش تیمار شده 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

ویتامین‌های گروه B گردید. محلول پاشی‌ها یکبار در اواخر روز و در شرایط مناسب آب و هوایی اعمال شد به نحویکه برگ‌های سویا با مقدار آب مساوی برای کلیه تیمارها کاملاً خیس شدند. در تیمار شاهد از آب خالص جهت محلول پاشی استفاده گردید. استفاده از آب خالص به منظور مشخص شدن 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 به دست آمد. از هر کرت تعداد ۱۶ بوته با در نظر گرفتن حاشیه برای تعیین عملکرد دانه برداشت گردید. مساحت اشغال شده توسط این بوته‌ها محاسبه و عملکرد نهایی بر حسب هکتار محاسبه شد. مقدار نسبی آب برگ با استفاده از برگ‌های جوان و توسعه یافته هم سن قطع شده 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 به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در یخچال و در دمای ۴ 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 ۴۸ 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)

$$\frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})}{\text{وزن خشک}} = \text{مقدار نسبی آب برگ}$$

$$100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع})$$

اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا با استفاده از روش Srivastava و Sairam (۲۰۰۱) انجام شد. بدین منظور از هر ترکیب تیماری تعداد ۹ برگ هم‌سن جوان و توسعه یافته 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 ۴۰ 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

ویتامین‌های گروه B و ملاتونین ذکر شده است این‌گونه استنباط می‌شود که شاید بتوان با اعمال این مواد روی گیاه زراعی سویا به صورت محلول پاشی آثار مثبتی از افزایش رشد و عملکرد ناشی از بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک به ویژه در شرایط تابستان به دست 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 محلول پاشی ملاتونین و ویتامین‌های گروه B بر برخی خصوصیات زراعی، فیزیولوژیک و کیفی سویا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح محلول پاشی ملاتونین (صفر، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار) و شش سطح محلول پاشی با ویتامین‌های گروه B (شاهد، تیمارین، ریبوفلاوین، نیاسین، پانتوتینیک 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 ۴ خط به طول ۳ متر (با رعایت فاصله روی ردیف ۵ و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر) قرار گرفت. دو خط کناری به عنوان 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. بذره‌های 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 به صورت جوی و پشته‌ای و هفته‌ای انجام شد. ۶۰ روز پس از کاشت و قبل از گلدهی اقدام به اعمال تیمارهای محلول پاشی با غلظت‌های مختلف ملاتونین با فاصله ۲ روز از

در نظر گرفته شد (AOAC, 1999).

(رابطه ۴)

ضریب تبدیل پروتئین × درصد نیتروژن = درصد پروتئین نمونه  
محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها به روش 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 طول موج‌های  
۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ 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)

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

(رابطه ۶)

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

(رابطه ۷)

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

پس از جایگزین کردن داده‌ها در روابط بالا اعداد به دست آمده  
در  $V/W \times 1000$  ضرب گردید تا بر حسب میلی‌گرم بر گرم  
وزن تر برگ به دست آیند. V حجم محلول کلروفیل بر حسب  
میلی‌لیتر و W وزن نمونه تر برگ بر حسب گرم است. محتوای  
آنتوسیانین برگ با استفاده از  $0.02$  گرم از بافت تازه گیاهی با  $4$   
میلی‌لیتر محلول کلریدریک اسید یک درصد و متانول استخراج  
گردیده و جذب محلول‌ها در طول موج  $530$  و  $657$  نانومتر  
اندازه‌گیری شد (Mita, 1997). برای اندازه‌گیری محتوای  
فلاونوئید برگ با استفاده از روش Krizek و همکاران  
(۱۹۹۸) میزان  $0.2$  گرم از برگ در  $3$  میلی‌لیتر متانول اسیدی  
شامل (متانول و کلریدریک اسید به نسبت  $99$  به  $1$ ) پس از  
ساییده شدن و سانتریفیوژ به مدت  $15$  دقیقه و قرارگیری در  
حمام آب گرم و سرد شدن نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر در  
طول موج  $300$  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  $5$  درصد صورت گرفت.

میلی‌لیتر آب مقطر به مدت  $15$  دقیقه در دمای  $100$  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. به منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی  
دمای  $40$  درجه سانتی‌گراد ( $C_1$ ) به مقدار  $10$  میلی‌لیتر از آب  
مقطر  $40$  درجه سانتی‌گراد در لوله‌های آزمایش حاوی  $0.1$  گرم  
دیسک برگی ریخته شد. سپس لوله‌های آزمایش به مدت  $30$   
دقیقه در دمای  $40$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از این  
مدت هدایت الکتریکی محلول‌ها اندازه‌گیری شد. از رابطه  $2$   
برای محاسبه پایداری غشا استفاده شد.

(رابطه ۲)

$$\text{روغن موجود در دانه} = (1 - C_1/C_2) \times 100$$

روغن موجود در دانه با استفاده از دستگاه سوکسله تمام  
اتوماتیک Soxtherm 2000 automatic Gerhardt تعیین گردید  
(بی‌نام، ۱۳۸۸). بدین منظور مقدار یک گرم نمونه آسیاب‌شده  
در کارتوش مخصوص دستگاه قرار داده شد. کارتوش درون  
بالن در نگهدارنده فلزی قرار داده شد. مقدار  $140$  میلی‌لیتر  
حلال آلی (اتر) به بالن اضافه شد و تا تکمیل فرآیند آزمایش  
صبر شد. در انتهای کار، بالن بدون نمونه و نگهدارنده به آن  
 $105$  درجه سانتی‌گراد منتقل گردید و به مدت یک ساعت  
حرارت داده شدند. سپس بالن به دسیکاتور منتقل و پس از  
سرد شدن توزین گردید. برای محاسبه درصد روغن موجود در  
نمونه‌ها از رابطه  $3$  استفاده شد.

(رابطه ۳)

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

$$100 \times (\text{وزن نمونه} / \text{بالن})$$

مقدار نیتروژن موجود در دانه پس از برداشت با دستگاه

(Near Infrared Radiation) NIR 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 طول موج مخصوص  
با دستگاه اندازه‌گیری شد. برای تبدیل درصد نیتروژن به درصد  
پروتئین از رابطه  $4$  استفاده گردید. ضریب تبدیل پروتئین  $5/75$

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر غلظت‌های 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 \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر غلظت‌های 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

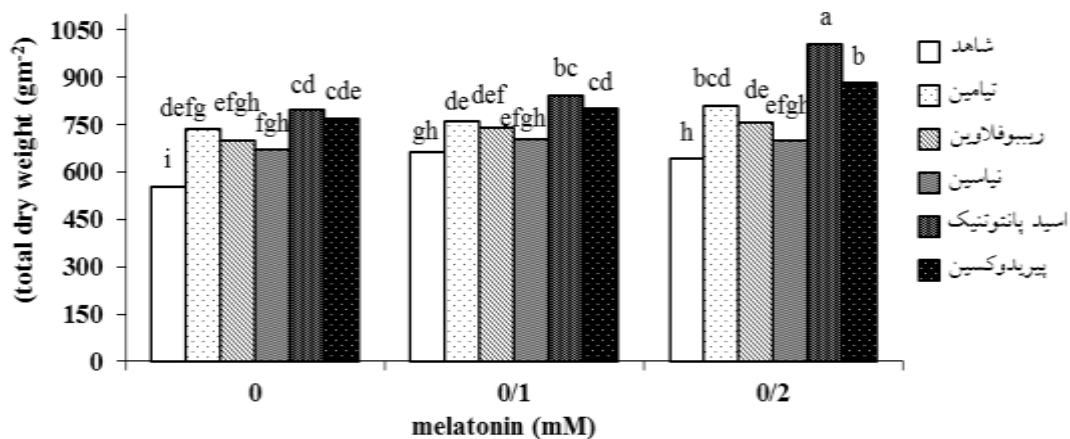
\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد است.

## 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 اثر متقابل محلول پاشی 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

میلی مولار 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 همراه شدن 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

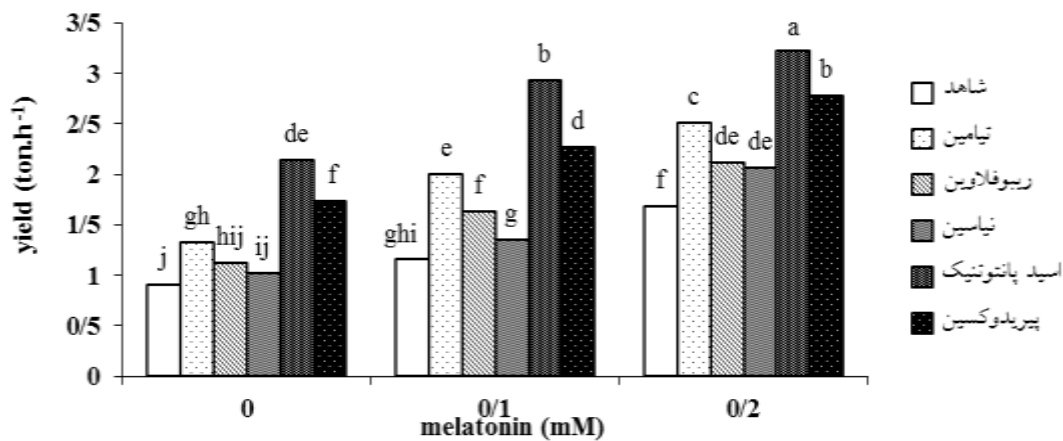


شکل ۱- مقایسه میانگین ماده خشک کل سویا تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

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 تیمار شده با پیریدوکسین و پانتوتینیک 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 در نتیجه افزایش ماده خشک تولیدی از طریق تأثیر مثبت بر روی سرعت جذب خالص (NAR) می‌شود.

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 پانتوتینیک اسید نیز موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ در لوبیا سبز گردید (حیدری خوشکاروندانی، ۱۳۹۶). 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 پانتوتینیک 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 پانتوتینیک اسید و پس از آن پیریدوکسین و تیامین بود. در عدم حضور ویتامین‌های ب محلول‌پاشی ملاتونین با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار و دو برابر شدن غلظت آن عملکرد دانه را به ترتیب ۲۷ و ۸۴ درصد افزایش داد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از ملاتونین و ویتامین‌های

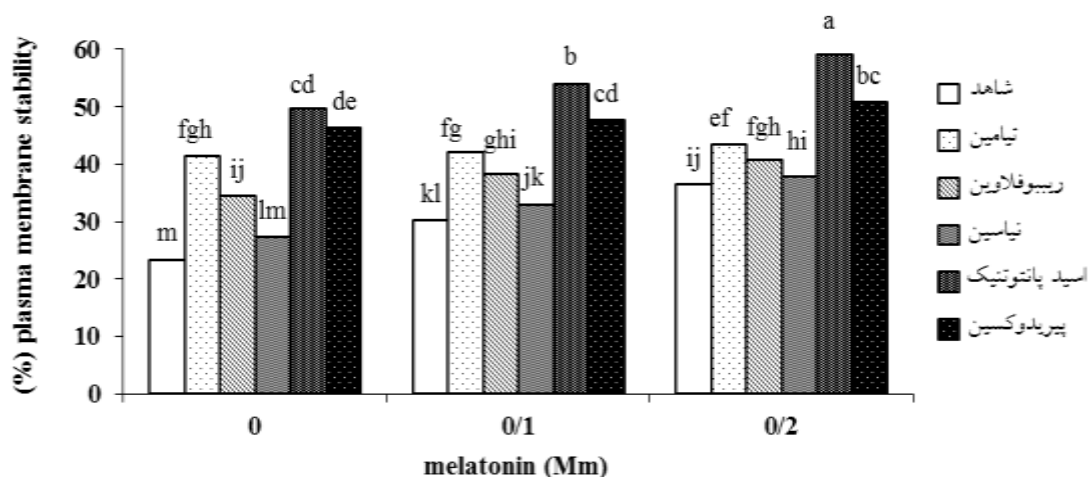


شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه سویا تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

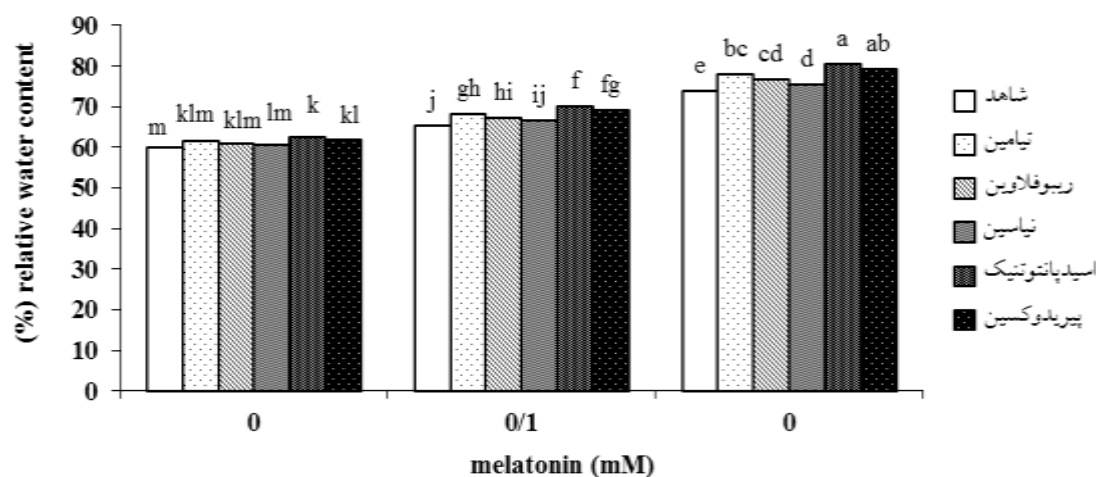
غشای سلول را با پایین آوردن پتانسیل آب برگ، بهبود جذب پتاسیم و افزایش مقدار نسبی آب برگ، کلروفیل، قندهای محلول، اسیدهای آمینه آزاد کل و تولید ماده خشک کاهش داد (Sayed and Gadallah, 2001).

در اثر محلول پاشی اسید پانتوتینیک و پیریدوکسین به تنهایی، ملاتونین به تنهایی و نیز همراه شدن هر دو غلظت ملاتونین با کلیه ویتامین‌های ب وضعیت آبی برگ به طور معنی‌داری بهبود یافت. مقادیر صفت مقدار آب نسبی برگ در غلظت بالای ملاتونین (۰/۲ میلی‌مولار) بیشتر بود (شکل ۴). به نحوی که بیشترین مقدار آن مربوط به پانتوتینیک اسید و پیریدوکسین همراه با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین به ترتیب 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 می‌شود (Zhang *et al.*, 2013). کاربرد ملاتونین روی بذرهاى نخود فرنگی موجب افزایش معنی‌دار میزان رطوبت نسبی برگ گیاهچه‌های حاصل از این بذرهاى تحت تنش اکسیداتیو پاراکوات (Szafranska *et al.*, 2016) و گیاهچه‌های تحت تنش سرما (Tuna *et al.*, 2017; Han *et al.*, 2014) 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 تیمار شده با ملاتونین

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی 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 پانتوتینیک اسید بود که افزایش تقریباً ۱/۸ برابری نسبت به تیمار شاهد (غلت صفر ملاتونین و عدم محلول پاشی ویتامین ب) را نشان داد. کمترین میزان پایداری غشا مربوط به تیمار شاهد بود که البته با ترکیب تیماری عدم محلول پاشی ملاتونین و نیاسین تفاوت معنی‌داری نداشت. در مجموع محلول پاشی ویتامین ب در هر سه غلظت ملاتونین موجب افزایش پایداری غشا گردید ولی اثر پانتوتینیک اسید و پیریدوکسین بیشتر از بقیه بود (شکل ۳). ملاتونین تا حدی می‌تواند به عنوان 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 رهاسدن پروتئین و دیگر محتویات سلول (Liang *et al.*, 2018) است را برطرف نموده و با کاهش اکسیداسیون لپیدها 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 تیمار در گیاه آفتابگردان تحت تنش خسارات وارده به



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 ( $P < 0/05$ ) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.



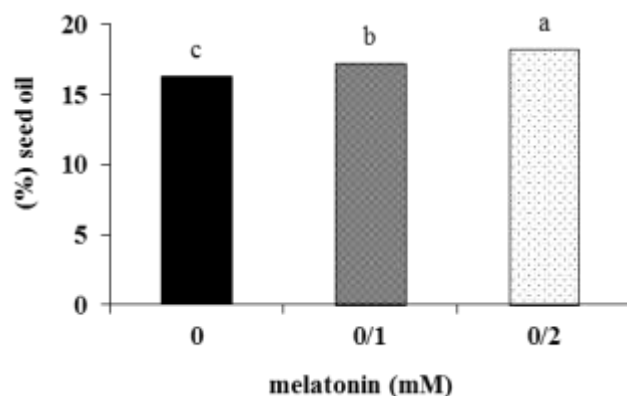
شکل ۴- مقایسه میانگین مقدار نسبی آب برگ سویا تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

دهنده اثرات تنش و فاکتوری برای افزایش رشد ریشه و ساقه تحت شرایط تنش باشد (Sayed and Gadallah, 2001).

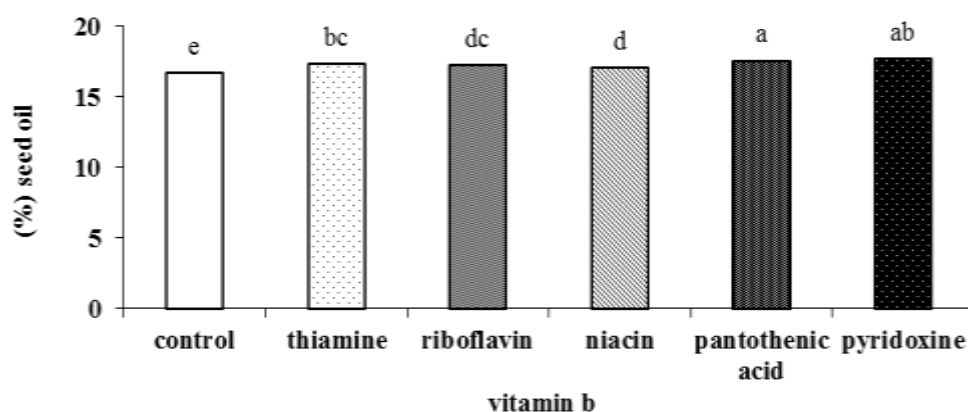
بررسی اثر سطوح مختلف ملاتونین و ویتامین‌های ب بر درصد روغن دانه نشان داد که درصد روغن دانه با کاربرد ملاتونین و دو برابر شدن غلظت آن افزایش یافت به نحوی که بیشترین مقدار این صفت از تیمار ۰/۲ میلی مولار ملاتونین به دست آمد که افزایش تقریباً ۱/۸ درصد روغن نسبت به تیمار شاهد را نشان داد (شکل ۵). ویتامین‌های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

پتانسیل آب برگ و رطوبت نسبی بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده جهش یافته 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، ۱۳۹۶). افزایش رطوبت نسبی برگ در گیاهان تیمار شده با تیامین نیز مشاهده شد که ممکن است به دلیل ایفای نقش تیامین به عنوان تخفیف





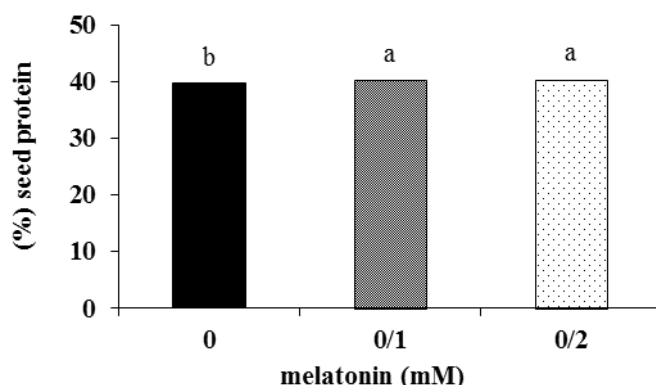
شکل ۵- تأثیر محلول پاشی ملاتونین بر درصد روغن دانه. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی دار ( $P < 0.05$ ) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) است.



شکل ۶- تأثیر محلول پاشی ویتامین‌های ب بر درصد روغن دانه. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی دار ( $P < 0.05$ ) بر اساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) است.

و 100 ppm تیامین موجب افزایش معنی دار روغن دانه گیاه *Lupine* (*Lupinus termis* L.) گردید (El-Awadi *et al.*, 2016). پیریدوکسین به عنوان 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 پیش تیمار بذرها با پیریدوکسین به واسطه افزایش سنتز اسیدهای آمینه پیش ماده روغن خردل از قبیل گلوتامات، آسپاراتات، آلانین یا سرین به علت آلفاکتو اسیدهای تولید شده در طی چرخه کربس به عنوان یک نتیجه از نقش قابل توجه پیریدوکسین به عنوان کوآنزیم در سیستم‌های آمینو ترانسفراز مختلف گزارش شده است (Mengel and Kirkby, 1982; و

ایجاد نمودند. بیشترین مقدار این صفت با میانگین ۱۷/۷ و ۱۷/۵ درصد به ترتیب متعلق به تیمار پانتوتینیک اسید و پیریدوکسین بود که اختلاف معنی داری نسبت به هم نداشتند. درصد روغن دانه در تیمار شاهد ۱۶/۶ درصد بود (شکل ۶). پیش از این نیز گزارش شده است که تیمار ۰/۵ میلی مولار ملاتونین موجب افزایش معنی دار روغن دانه نخود (*chickpea*) در حدود ۴۴ 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 محلول پاشی 50ppm پیریدوکسین



شکل ۷- تأثیر محلول پاشی ملاتونین بر درصد پروتئین دانه. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی دار ( $P < 0/05$ ) بر اساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) است.

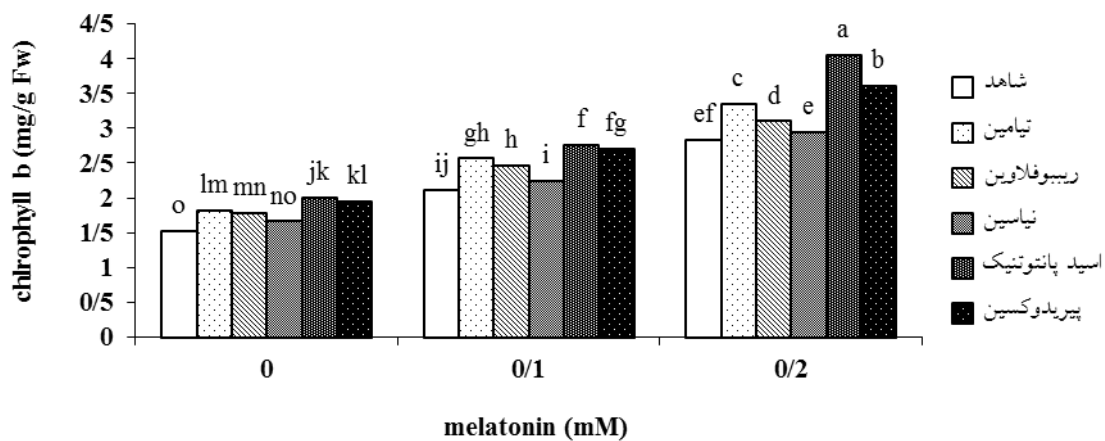
ملاتونین مقدار کاروتنوئید برگ بالا بود. البته اثرگذاری نیاسین در غلظت بالای ملاتونین و تیامین در هر سه سطح ملاتونین بر این صفت نیز قابل توجه بود (شکل های ۸، ۹ و ۱۰).

تنظیم اعمال زیادی در بیش از ۸۰۰ ژن مرتبط با پیری (SAGs) دلالت بر برنامه ریزی 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 می شوند (بذر، میوه، برگهای جدید و...). تخریب کلروپلاست نیز در طی فرآیند از دست دادن پروتئینها از قبیل رویسکو و پروتئینهای متصل به کلروفیل اتفاق می افتد (Lim *et al.*, 2006; Hortensteiner, 2007). پیش تیمار بذر با ملاتونین موجب کاهش تجمع گونه های فعال اکسیژن در بافت برگ، محافظت از رنگدانه های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید)، بهبود عملکرد اجزای فتوسنتز و محتوای آب بیشتر در بافت های گیاهان حاصل از این بذر با افزایش معنی دار پاراکوات گردید (Szafranska *et al.*, 2016). افزایش معنی دار رنگدانه کلروفیل b و کاروتنوئید در گیاه همیشه بهار با محلول پاشی 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) و

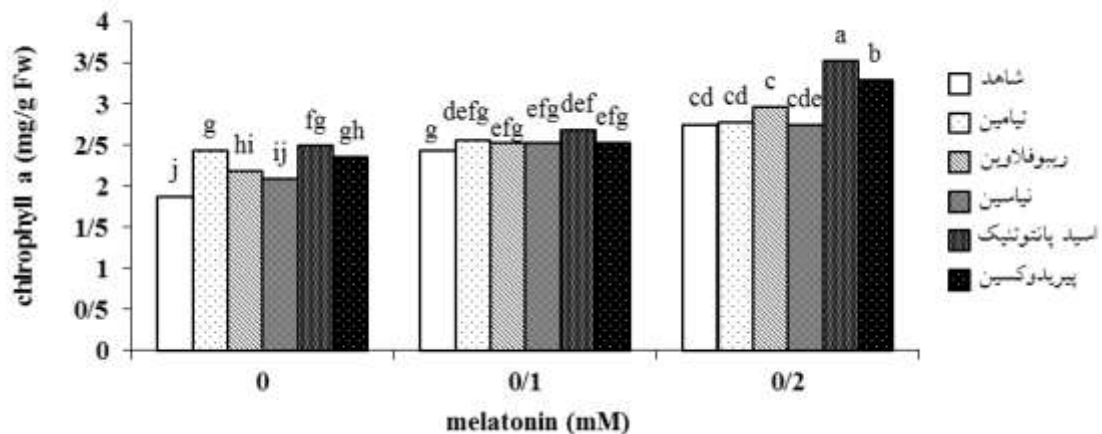
(Lehninger, 1984).

فقط اثر ساده محلول پاشی ملاتونین بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. در شکل ۷ دیده می شود که در اثر محلول پاشی ملاتونین میزان پروتئین دانه به طور معنی داری افزایش یافت ولی بین غلظت های ملاتونین اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (شکل ۷). بذرهای ذرت تیمار شده با ملاتونین افزایش در قدرت و کیفیت بذر و بهبود ذخیره پروتئین دانه (از قبیل کوپینز و دیگر گلوبولین های انتقال یافته به محور جنینی) و افزایش تولید انرژی را نشان دادند (Kołodziejczyk *et al.*, 2016) که می تواند ناشی از بیان بیش از حد گلیسر آلدئید ۳ فسفات دهیدروژناز باشد (Catusse *et al.*, 2011).

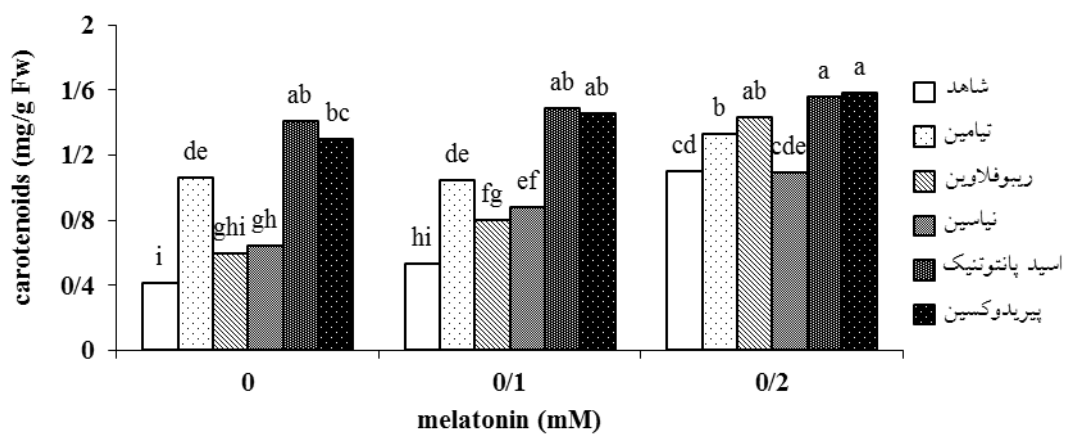
نتایج نشان داد که محلول پاشی و افزایش غلظت ملاتونین همراه با ویتامین های b افزایش محتوای رنگدانه های فتوسنتزی برگ را سبب گردید. میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید در برگ گیاهان شاهد (عدم محلول پاشی) پایین بود. ترکیبات تیماری مورد مطالعه مقدار کلروفیل a را بین ۱۱ تا ۸۷ درصد، مقدار کلروفیل b را بین ۸/۵ تا 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 میلی مولار به همراه پانتوتنیک اسید محلول پاشی شدند. محلول پاشی 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



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 ( $P < 0.05$ ) 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 ( $P < 0.05$ ) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

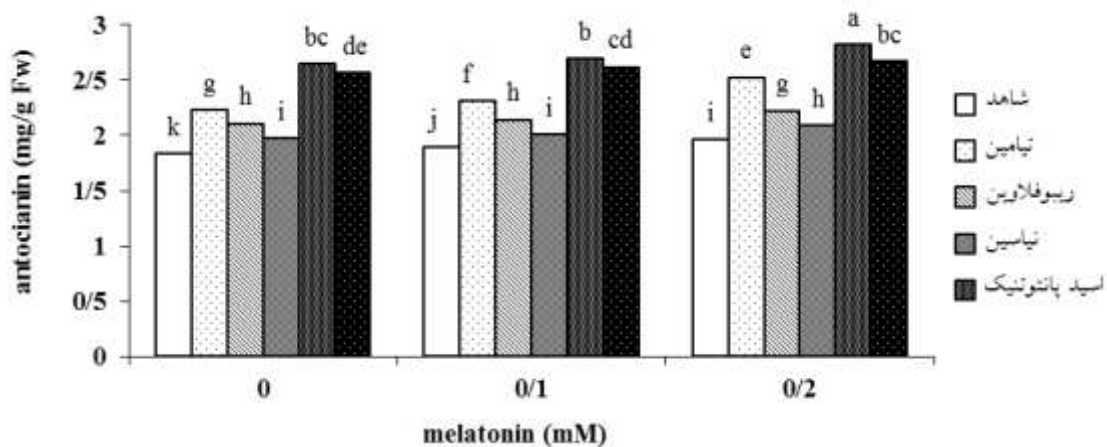


شکل ۱۰- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از غلظت‌های مختلف ملاتونین و ویتامین ب. حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) براساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

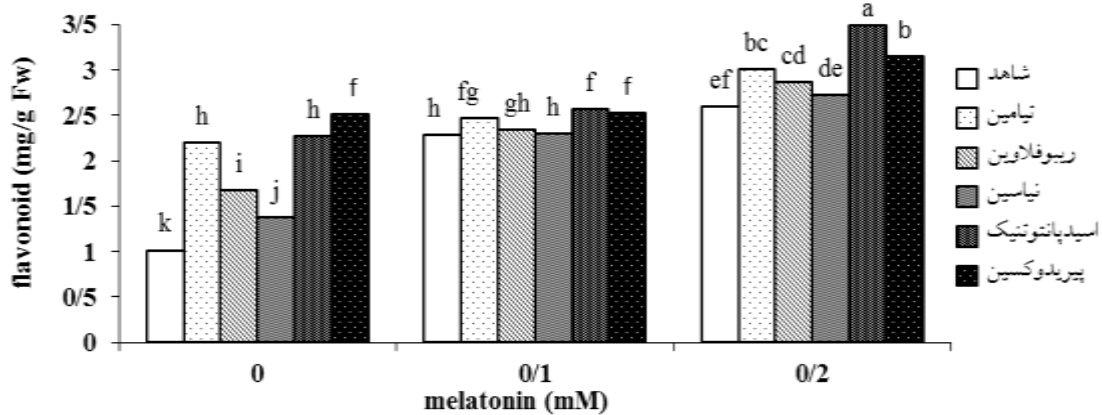
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی بر میزان فلاونوئید نشان داد که هر دو ماده سبب افزایش فلاونوئید نسبت به تیمار شاهد گردیدند. مقایسه ۱۷ ترکیب تیماری مورد مطالعه با شاهد نشان داد که کاربرد نیاسین در عدم حضور ملاتونین با ۳۵ درصد افزایش نسبت به شاهد کمترین و توأم شدن پانتوتینیک اسید با غلظت ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین با ۲۴۰ 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 تیمار شده 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 ارگانسیم‌ها 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)، ۴- محافظت از آنزیم‌ها از خسارت اکسیداتیو و ۵- افزایش کارایی زنجیره انتقال الکترون میتوکندریایی و در نتیجه 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 خنثی کردن رادیکال‌های آزاد است (Pandy et al., 2002).

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. تیمین نیز به‌عنوان پیش‌ماده تیمین 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 پانتوتینیک اسید از بقیه بیشتر بود و پس از آن به‌ترتیب پیریدوکسین، تیمین، ریوفلاوین 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 پانتوتینیک اسید به‌دست آمد که ۵۴ 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 (*bHLH MYB* 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 (۱۳۹۶) بیشترین محتوای آنتوسیانین در گیاهان تیمار شده با تیمین و اکسین مربوط به ترکیب تیماری غلظت ۱۰ میکرومولار اکسین و ۲۰۰ میکرومولار تیمین مشاهده شد.



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 ( $P < 0/05$ ) بر اساس 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 ( $P < 0/05$ ) بر اساس نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) است.

(ROS) را تولید کرده و آثار منفی بر رشد و عملکرد این گیاهان دارند. با توجه به نتایج به دست آمده محلول پاشی 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 پانتوتینیک اسید را به منظور 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.

(*al.*, 2002). کاربرد ویتامین کل محتوای فنل سوسن (*Nahed et al.*, 2009) و آویشن (*Reda et al.*, 2005) را به طور معنی‌داری افزایش داد. این مشاهدات ممکن است ناشی از نقش ویتامین 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

## 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. (۱۳۹۶) بررسی تأثیر همزمان اکسین و تیامین بر میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و محتوای ترکیبات فنلی در دو مرحله رشد رویشی گیاه سویا (*Glycin max*). زیست‌شناسی گیاهی ایران ۹: ۶۸-۵۳.
- حیدری خوشکاروندانی، ن. (۱۳۹۶) 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 عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴. مجله زراعت و اصلاح نباتات ایران ۵: ۱۶-۴.
- 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 vulgaris*. *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.
- Burguières, 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., Ehlers, 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.

- 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 Schwartzenberg* 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.

- 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., Szafranska, 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 Research* 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. *Ocean 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) Phyto-melatonin: 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) Phyto-melatonin: 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 peroxide 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  $\alpha$ -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 GmbZIP123 gene 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.



- 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., Rosales-Corral, 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  $\beta$ -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 resistance 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.

## 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 conducted 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 spraying of iron nanoparticles in five levels (0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 g/l). The results showed that the interaction 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 chlorophyll contents at 1% probability 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