



اثر محلول پاشی نانو کودهای مختلف بر برخی صفات فیزیولوژیک زعفران (*Crocus sativus* L.)

مجید رستمی^{۱*}، معصومه ملکی^۲ و علیرضا عفتی^۳

تاریخ دریافت: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۳ آذر ۱۳۹۵

رستمی، م.، ملکی، م.، و عفتی، ع. ۱۳۹۶. اثر محلول پاشی نانو کودهای مختلف بر برخی صفات فیزیولوژیک زعفران (*Crocus sativus* L.). زراعت و فناوری زعفران، ۵(۴): ۳۴۵-۳۵۹.

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نانو کودهای مختلف بر برخی صفات فیزیولوژیک زعفران، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در دانشگاه ملایر در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل نانو کودهای تک عنصری آهن، منگنز، بُر، پتاسیم، روی و شاهد بودند که با غلظت دو در هزار و به صورت محلول پاشی جهت بهبود وضعیت تغذیه گیاه مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد که اثر محلول پاشی نانو کودها روی میزان محتوای نسبی آب، قند احیاکننده و قندهای غیر احیاکننده معنی دار بود. نانو کودهای مختلف از نظر کلروفیل a و کلروفیل کل اختلاف معنی داری با تیمار شاهد نداشتند با این وجود بیشترین میزان کلروفیل a ($1/53 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) در تیمار نانو کود آهن و کمترین میزان آن ($0/93 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) در تیمار نانو کود منگنز مشاهده شد. تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی داری بر میزان کلروفیل b و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نداشتند. علاوه بر این تأثیر نانو کودهای مختلف بر میزان پروتئین و فنل معنی دار بود. بیشترین میزان پروتئین ($1/56 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) در تیمارهای نانو کود پتاسیم و بُر با ۱۲ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد و کمترین میزان پروتئین برگ ($1/36 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) در تیمار نانو کود آهن به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد سه درصد کاهش نشان داد. بیشترین میزان فنل ($0/27 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Dw}$) با ۱۰/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد در تیمار نانو کود منگنز مشاهده شد و فقط اختلاف این تیمار با شاهد معنی دار بود. بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که کاربرد کلیه نانو کودهای مورد مطالعه با غلظت یکسان از لحاظ علمی قابل توصیه نیست.

کلمات کلیدی: آنزیم، تغذیه گیاه، قند، کلروفیل.

۱- استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ملایر

۲- استادیار فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشگاه ملایر

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشگاه ملایر

(*-ایمیل نویسنده مسئول: majidrostami7@yahoo.com)

مقدمه

افزایش جمعیت در کشورهای مختلف دنیا از یک سو و عدم امکان افزایش سطح زیر کشت از سوی دیگر باعث شده که افزایش عملکرد در واحد سطح به عنوان اصلی ترین گزینه فراروی کشاورزان مورد توجه قرار گیرد. در چند دهه گذشته استفاده از کودهای شیمیایی با بهبود وضع تغذیه گیاهی تا حدودی این مشکل را کاهش داده اند ولی با این وجود به دلیل اثرات مخرب کودهای شیمیایی بر محیط زیست و سلامت انسان، مدت ها است که استفاده از آن ها مورد نکوهش قرار گرفته است. در راستای کاهش آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه کودهای شیمیایی راه کارهایی ارائه شده است که از جمله مهم ترین آن ها تغییر منابع کودی و تغییر روش کود دهی می باشد (Rostami & Ahmadi, 2014).

عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانو ذرات اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. در نانو کودها که به عنوان جایگزین کودها مرسوم هستند عناصر غذایی به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می شوند و در نتیجه از بروز پدیده مردابی شدن آب های ساکن و همچنین آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به عمل خواهد آمد (Zhu et al., 2008). در حقیقت با بهره وری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانو کودها، فرصت های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان قرار گرفته است. فرآورده های نانو شامل مخلوطی از ذره های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Mukhopadhyay, 2014).

زعفران زراعی (*Crocus sativus* L.) گیاهی علفی از خانواده زنبقیان است و مناطقی که دارای زمستان های ملایم و

دارای تابستان های گرم و خشک باشند برای کشت آن مناسب هستند (Sepaskhah & Kamgar, 2009). ویژگی های خاص این گیاه هم چون عدم خواب تابستانه و عدم نیاز به آبیاری در طول فصل گرم، عدم نیاز به کاشت مجدد و امکان بهره برداری از مزرعه برای چندین سال و همچنین ارزش اقتصادی محصول باعث شده که کاشت زعفران در بسیاری از مناطق کشور مورد توجه قرار گیرد (Rostami & Mohammadi, 2013). گیاهان مختلف برای رشد و نمو مطلوب نیاز به مقدار متعادلی از عناصر غذایی خاک دارند و در شرایطی که میزان عناصر معدنی خاک کمتر از حد مورد نیاز گیاه باشد لازم است که از طریق کاربرد ترکیبات شیمیایی این کمبود جبران شود.

زعفران ریشه نسبتاً کم حجمی دارد که در بخش محدودی از خاک گسترش می یابد به همین دلیل کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی در خاک می تواند باعث اتلاف منابع کودی و کاهش کارایی مصرف کود و همچنین افزایش آلودگی محیط زیست شود. علاوه بر این از آنجا که قسمت عمده رشد این گیاه در فصل پاییز و زمستان است بنابراین کاهش شدت تعرق باعث می شود که میزان جذب و انتقال آب و عناصر غذایی محلول در آن کاهش یابد که این شرایط نیز به نوبه خود باعث کاهش غلظت عناصر غذایی در برگ های گیاه می شود (Akrami et al., 2014) به همین دلیل به نظر می رسد لزوم استفاده از عناصر غذایی و بهبود تغذیه معدنی به صورت محلول پاشی در این گیاه بیش از سایر گیاهان باشد. محلول پاشی عناصری همچون بر، مس، منیزیم، منگنز و روی در مقایسه با کاربرد آن ها در خاک مناسب تر است زیرا در روش محلول پاشی سرعت رفع کمبود بیشتر است و از تثبیت و تجمع عناصر در خاک و همچنین بروز اثرات سمیت جلوگیری می شود. گزارش شده که محلول پاشی کودهای کامل به ویژه در پایان فصل

فتوستنتز، تنفس و تمایز سلولی شرکت دارد و کمبود آن می‌تواند کارایی اندامک‌های فتوستنتزی را به میزان زیادی کاهش دهد (Bybordy & Mamedov, 2010). میزان کلروفیل و تجمع متابولیت‌ها در اندام‌های هوایی تحت تأثیر عنصر روی افزایش می‌یابد. تغییر در میزان کلروفیل می‌تواند ناشی از تأثیر عنصر روی بر فرایندهایی باشد که منجر به سنتز کلروفیل می‌شوند (Arif et al., 2012). روی همچنین نقش مهمی در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها و عملکرد آن‌ها به‌عنوان کوفاکتور دارد (Grotz & Guerinet, 2006). عنصر بُر نقش اساسی در فرایندهای حیاتی گیاه مانند تقسیم سلولی، تشکیل جوانه گل و برگ، تشکیل دیواره سلول، رشد ریشه و انتقال مواد بین سلول‌ها دارد. از آنجا که قابلیت تحرک بُر در گیاه نسبتاً کم است بنابراین غلظت این عنصر در بخش‌های پایینی گیاه بیشتر است (Moeinian et al., 2011). با توجه به روند افزایشی کاشت زعفران در استان‌های غربی کشور و همچنین مطالعات محدودی که در زمینه تغذیه برگی زعفران انجام شده است، این پژوهش باهدف بررسی اثر محلول پاشی نانو کودها بر روی برخی صفات فیزیولوژیک و ویژگی‌های بیوشیمیایی زعفران در شهرستان ملایر انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ملایر (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه، ارتفاع از سطح دریا ۱۷۸۰ و متوسط بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر) در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد نانو کودهای تک عنصره‌ی آهن (کلات آهن ۱۲ درصد)، منگنز (کلات منگنز ۲۵ درصد)، بُر (کلات بُر ۱۸ درصد)، پتاسیم (کلات پتاسیم ۲۳ درصد)، روی (کلات روی ۲۰ درصد) و شاهد (عدم استفاده از نانو کود) بودند که بر اساس

زمستان بسیار سودمند است زیرا جذب این مواد توسط برگ‌ها و تجمع آن‌ها در بنه‌ها باعث افزایش تعداد گل و عملکرد در سال بعد می‌شود (Amirghasemi, 2001). محلول پاشی عناصر غذایی ضمن کاهش هزینه‌های تولید باعث کاهش آلودگی محیط‌زیست و همچنین افزایش کارایی مصرف عنصر شیمیایی مورد استفاده می‌شود. با این وجود اثرات مثبت محلول پاشی در همه بخش‌های این گیاه به یک میزان نیست. در آزمایشی مزرعه‌ای غلظت، زمان و دفعات مناسب محلول پاشی بر رشد رویشی و تولید بنه‌های دختری زعفران با استفاده از محلول غذایی کامل مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده نشان داد که تعداد و وزن تر و خشک بنه‌های دختری و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و بنه زعفران، تحت تأثیر غلظت‌های متفاوت و همچنین دفعات و زمان‌های مختلف محلول پاشی قرار نگرفت. بر اساس نتایج این آزمایش محلول پاشی نمی‌تواند سبب بهبود خصوصیات رشدی بنه دختری زعفران شود (Khorasani et al., 2013). پتاسیم پس از نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مؤثر در رشد و نمو گیاهان است که ضمن تأثیر در فرایندهای فیزیولوژیک مختلف باعث بهبود کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود. پتاسیم عمده‌ترین کاتیون سیتوپلاسم است و نقش فعالی در تنظیم پتانسیل اسمزی و فعالیت روزنه‌ها و همچنین آنزیم‌ها دارد. هرچند اثرات مثبت کاربرد پتاسیم به اثبات رسیده است با این حال گزارش شده است که زعفران از نظر نیاز به پتاسیم گیاهی کم‌توقع می‌باشد و مصرف بیش از میزان نیاز گیاه حتی باعث کاهش عملکرد گیاه در مقایسه با شرایط عدم مصرف می‌شود (Zabihi & Feizi, 2014). منگنز از طریق اثرگذاری بر انتقال عناصر ضروری همچون آهن و منیزیم به کلروپلاست رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Marschner, 2011). آهن نقش اساسی در متابولیسم کلروفیل دارد و به عنوان کوفاکتور در بسیاری از آنزیم‌های دخیل در فعالیت‌های سلولی از قبیل

مطالعه دقیق تر اثرات تیمارها هیچ نوع کود شیمیایی و دامی استفاده نشد. با پایان گل دهی اعمال تیمارها از ۱۲ آذرماه آغاز شد. برای اعمال تیمارهای مختلف از نانو کودهای تأییدشده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شد و محلول پاشی در سه نوبت با فاصله یک هفته تکرار شد. سه هفته پس از آخرین مرحله ی محلول پاشی برداشت نمونه ها صورت گرفته و صفات مورد نظر به شرح زیر موردسنجش قرار گرفت.

توصیه شرکت تولیدکننده با غلظت دو در هزار در یک مزرعه ۵ ساله مورد محلول پاشی قرار گرفتند. خلاصه نتایج مربوط به آزمایش خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. در این مزرعه بنه هایی با میانگین وزن هشت گرم به صورت خطی و با تراکم ۵۰ بنه در مترمربع کشت شدند. اولین آبیاری مزرعه در نیمه اول مهرماه صورت گرفت. در طول دوره آزمایش علف های هرز کرت های آزمایشی به صورت دستی وجین شدند و به منظور

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Selected physical and chemical properties of soil

بافت خاک	آهن	روی	منگنز	پتاسیم	فسفر	کربن آلی	شاخص واکنش	هدایت الکتریکی	
	Fe	Zn	Mn	K	P				N
Soil texture	mg.kg ⁻¹					%		(dS.m ⁻¹)	
لومی سیلتی Silt loam	3.4	0.9	8.1	241	5.8	0.16	0.51	7.9	1.73

میزان پروتئین موجود در عصاره های پروتئین استخراج شده از روش (Bradford, 1976) استفاده شد.

بعد از انجام آزمایش، داده ها با استفاده از نرم افزار Minitab 16 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند. مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

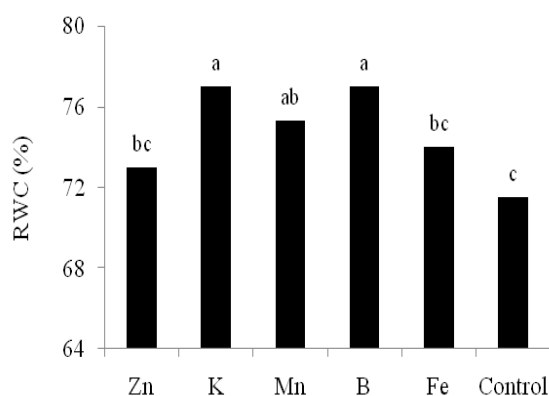
بر اساس نتایج به دست آمده، اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای نسبی آب برگ زعفران در سطح پنج درصد معنی دار بود. هرچند همه تیمارهای آزمایشی اثر افزایشی نسبت به شاهد داشتند. با این وجود محلول پاشی نانو کود بُر و پتاسیم بیشترین تأثیر مثبت بر روی محتوای نسبی آب برگ داشته و باعث افزایش هفت درصدی محتوای نسبی آب نسبت به شاهد شد. اختلاف معنی داری بین تیمارهای نانو کود بُر، منگنز و پتاسیم

سنجش محتوای کلروفیل a و b با استفاده از روش لیختن تالر و ولبورم (Lichtenthaler & Wellburn, 1983) انجام شد. محتوای نسبی آب برگ^۱ (RWC)، با استفاده از بافت برگ های توسعه یافته و به روش قسیم و همکاران (Qasim et al, 2003) تعیین شد. برای سنجش قندهای احیاکننده از روش نلسون (Nelson, 1944) استفاده شد و برای سنجش قندهای غیر احیاکننده ابتدا میزان کل قندها با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک (Dubois et al, 1956) مشخص شد و با محاسبه تفاوت بین قند کل و قند احیاکننده میزان قندهای غیر احیاکننده محاسبه شد. فنل با استفاده از روش مک دونالد و همکاران (McDonald et al., 2001) سنجیده شد. به منظور سنجش میزان آنزیم های آنتی اکسیدانت برگ زعفران، ابتدا بافر استخراج تهیه شد، سپس استخراج آنزیم با استفاده از این بافر از نمونه های برگ انجام گرفت و برای سنجش آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز استفاده گردید (Gogorcena, 1995). برای سنجش

کاربرد نانو کودهای مختلف از طریق تنظیم روابط آبی گیاه باعث بهبود محتوی نسبی آب در مقایسه با تیمار شاهد شدند. این تأثیر می‌تواند به صورت مستقیم از طریق تغییر پتانسیل برگ و یا فعالیت روزنه‌ها و یا به صورت غیرمستقیم از طریق تنظیم فرایندهای بیوشیمیایی باشد. گزارش شده است که نانو کودها می‌توانند از طریق افزایش میزان قندها در سلول‌های گیاهی به فرآیند تنظیم اسمزی کمک کنند (Khodary, 2004).

بر اساس نتایج به دست آمده اثر تیمارهای آزمایشی در سطح پنج درصد بر میزان رنگیزه کلروفیل a معنی دار بود (شکل ۲) ولی تأثیر تیمارها بر میزان کاروتنوئیدها و کلروفیل b معنی دار نبود (جدول ۲).

وجود نداشت و از بین تیمارهای کودی کمترین تأثیر را نانو کود روی داشت که باعث افزایش دو درصدی نسبت به شاهد شد (شکل ۱). افزایش محتوی نسبی برگ در اثر کاربرد پتاسیم در دو رقم کلزا (Fanaei et al., 2009) و زیتون (Benlloch- Gonzalez et al., 2008) قبلاً گزارش شده است. پژوهش‌های انجام شده درباره‌ی تأثیر روی بر روابط آبی گیاه نسبت به بقیه عناصر کمتر است. تأثیر روی بر روابط آبی ممکن است به صورت غیرمستقیم و با تأثیر بر ویژگی‌های دیگر گیاه مانند پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها باشد (Tavallali et al., 2009). با توجه به این که در این آزمایش تا زمان سنجش محتوی نسبی آب برگ فقط یک نوبت آبیاری صورت گرفته بود به نظر می‌رسد که



شکل ۱- اثر نانو کودهای مختلف بر محتوی نسبی آب برگ زعفران
Figure 1- Effect of different nano-fertilizers on relative water content of saffron leaves.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک زعفران در تیمارهای مختلف

Table 2- Analysis of variance (mean squares) for physiological traits at different treatments

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها	کلروفیل کل	قند غیرقابل احیا
SOV	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoids	Total Chlorophyll	Non reducing sugar
تکرار (Replication)	2	0.0044	0.0026	0.036	0.0162	0.0078
تیمار (Treatment)	5	0.0878*	0.0188 ^{ns}	0.0807 ^{ns}	0.2119*	0.1056*
خطا (Error)	10	0.0239	0.0097	0.0660	0.0572	0.0104
ضریب تغییرات (CV%)		18.9	15.8	17.8	21.3	16.4

* و ns به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار می‌باشند.

* and ns are significant at the 0.05 levels of probability and no significant, respectively.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک زعفران در تیمارهای مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای احیاکننده	کاتالاز	پروکسیداز	پروتئین	فن ول	محتوی آب نسبی
SOV	df	Reducing sugar	Catalase	Proxidase	Protein	Phenol	RWC
تکرار (Replication)	2	0.0004	0.0099	0.00019	0.0108	0.0007	0.044
تیمار (Treatment)	5	0.0518*	0.003 ^{ns}	0.00015 ^{ns}	0.0557*	0.0708*	14.62*
خطا (Error)	10	0.0043	0.001	0.0001	0.0062	0.0064	1.21
ضریب تغییرات (CV%)		18.8	14.6	8.72	5.41	13.4	9.2

* و ns به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

* and ns are significant at the 0.05 levels of probability and no significant, respectively.

tinctorius L. گزارش کردند که بیشترین میزان کلروفیل برگ در شرایط محلول‌پاشی آهن با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شده و استفاده از غلظت‌های بیشتر آهن باعث کاهش نسبی میزان کلروفیل شد.

کاهش میزان کلروفیل a در اثر کاربرد برخی از نانو کودها را می‌توان به غلظت مورد استفاده از این ترکیبات نسبت داد زیرا فاصله بین آستانه کمبود و مرز سمیت این ترکیبات بسیار اندک است. به نظر می‌رسد از لحاظ تأثیر بر روی فرایند ساخت کلروفیل به جز نانو کود آهن غلظت مصرفی برای سایر نانو کودها بیشتر از حد مطلوب برای زعفران بوده است.

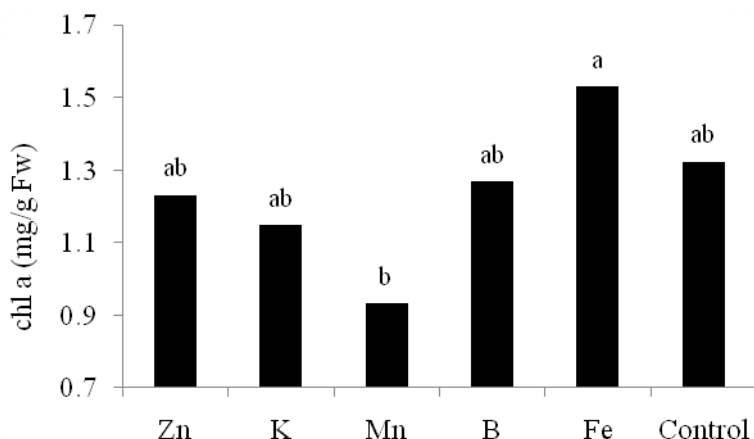
زارع ده آبادی و همکاران (Zare DehAbadi et al., 2007) با ارزیابی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های صفر، پنج، ۱۰، ۲۰، ۴۰ میکرومولار عنصر روی در گیاه نعناع (*Mentha spicata* L.) گزارش کردند که میزان کلروفیل، در غلظت پنج میکرومولار روی افزایش و در سایر غلظت‌های روی نسبت به شاهد، کاهش داشته است.

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف بر میزان کلروفیل کل در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). هیچ‌یک از تیمارهای آزمایشی در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل کل نداشتند و همانند آنچه که در مورد کلروفیل a مشاهده شد، فقط تیمارهای نانو کود آهن و نانو کود منگنز از نظر میزان کلروفیل کل اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند.

هیچ یک از تیمارها نسبت به شاهد تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a نداشتند و فقط اختلاف بین نانو کود آهن و نانو کود منگنز از نظر میزان کلروفیل a معنی‌دار بود. بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار نانو کود آهن مشاهده شد به صورتی که در این تیمار میزان کلروفیل a در مقایسه با تیمار شاهد حدود ۱۵ درصد افزایش یافت. به جز نانو کود آهن که باعث افزایش میزان کلروفیل a شده سایر تیمارها باعث کاهش میزان این رنگیزه در مقایسه با شاهد شدند.

پژوهشگران گزارش کردند که در گیاهان سبزه، اغلب میان سطح آهن و مقدار کلروفیل همبستگی مناسبی وجود دارد و گیاهانی که به خوبی از آهن برخوردارند دارای کلروفیل بیشتری هستند (Shafea et al., 2011). علاوه بر این گزارش شده است که در بین تیمارهای محلول‌پاشی شده بر روی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمارهای آزمایشی آهن و منگنز بوده و کمترین میزان کلروفیل a در محلول‌پاشی روی بوده است (Babaeian et al., 2009).

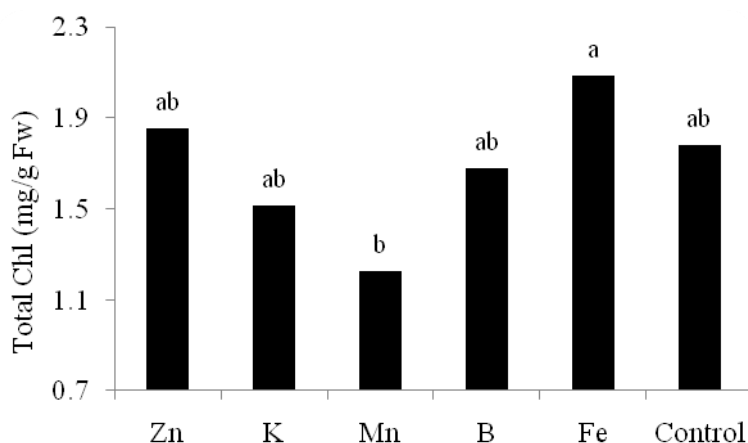
شاید یکی از دلایل افزایش کلروفیل a در تیمار آزمایشی نانو کود آهن این بوده است که آهن به عنوان یکی از عناصر ضروری برای گیاهان نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان و سنتز کلروفیل، تیلاکوئیدها و نمو کلروپلاست دارد (Curie & Briat, 2003). فتحی امیرخیز و همکاران (Fathi Amirkhiz et al., 2015) با انجام آزمایشی بر روی گلرنگ (*Carthamus*



شکل ۲- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان کلروفیل a در برگ زعفران
Figure 2- Effect of different nano-fertilizers on Chl a content.

مورد استفاده منگنز در این آزمایش بیش از حد مورد نیاز گیاه بوده و به دلیل اثرات سمیت باعث کاهش میزان کلروفیل کل شده است. پیوندی و همکاران (Peivandi et al., 2011) بیان کردند به کارگیری نانو کلات آهن در گیاه مرزه (*Ocimum basilicum*) باعث افزایش کلروفیل کل می شود. با توجه به اینکه عنصر آهن در ساختار کلروفیل نقش مستقیمی ندارد اما وجود آهن کافی سبب بهبود کلروفیل سازی در گیاه می گردد و وضعیت کلروفیل گیاه می تواند در میزان فتوسنتز تأثیر گذار باشد.

هر چند تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی داری بر میزان کلروفیل کل نداشتند ولی کاربرد نانو کود آهن باعث شد که میزان کلروفیل کل نسبت به شاهد ۱۷ درصد افزایش یابد. به غیر از تیمار نانو کود آهن و روی در سایر تیمارها میزان کلروفیل کل در مقایسه با شاهد کاهش یافت و کمترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار نانو کود منگنز بود که نسبت به شاهد ۲۷ درصد کاهش یافت (شکل ۳). منگنز جزء ترکیبات ساختمانی کلروفیل بوده که کمبود آن باعث کاهش میزان سنتز کلروفیل می شود (Marschner, 2011)؛ بنابراین به نظر می رسد غلظت

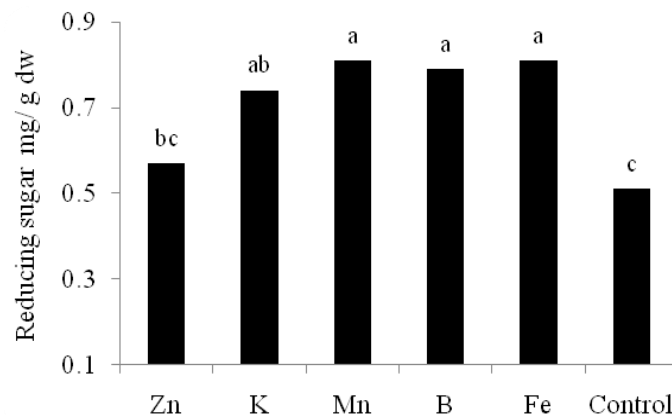


شکل ۳- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان کلروفیل کل در برگ زعفران
Figure 3- Effect of different nano-fertilizers on total Chl of saffron leaf.

های موجود در گیاهان می‌شوند و قندها علاوه بر نقش‌های اصلی خود، در تنظیم اسمزی نیز به گیاهان کمک می‌کنند (Khodary, 2004).

عناصر آهن و روی نقش مهمی در سنتز کربوهیدرات‌ها و پروتئین دارند. روی با افزایش، مقدار تنظیم کننده‌های رشد، کمک به متابولیسم مواد و تأثیر بر واکنش‌های انتقال الکترون در چرخه کربس، آهن با شرکت در متابولیسم مواد هیدروکربن‌دار، پروتئین و انتقال آن‌ها، همچنین تأثیر بر فرآیندهای زیستی در افزایش عملکرد گیاهان نقش به‌سزایی دارند (Welch, 1995). بر اساس نظر مارشمر (Marschner, 2011) عناصر آهن، روی و منگنز در فرآیند فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها دخالت دارند. در آزمایش بابائیان و همکاران (Babaeian et al., 2009) نیز مشخص شد که تیمار ترکیبی این سه عنصر بیشترین تأثیر را بر تولید کربوهیدرات‌ها در آفتابگردان داشتند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان قندهای احیاکننده برگ زعفران در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). هرچند همه تیمارهای آزمایشی اثر افزایشی نسبت به شاهد داشتند، با این وجود محلول‌پاشی نانو کود آهن بیشترین تأثیر مثبت را بر میزان قندهای احیاکننده داشته و باعث افزایش ۳۸ درصدی نسبت به شاهد شد. اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای نانو کود آهن و منگنز وجود نداشت. از بین تیمارهای کودی کم‌ترین تأثیر را نانو کود روی داشت و هرچند اختلاف این تیمار با شاهد معنی‌دار نبود ولی باعث افزایش ۱۴ درصدی میزان قندهای احیاکننده برگ زعفران نسبت به شاهد شد (شکل ۴). غلظت بالای کربوهیدرات‌ها (قندها) باعث کاهش خسارت‌های اکسیداتیو و حفظ ساختار پروتئین در طی کمبود آب می‌شود. به نظر می‌رسد که برخی از نانو کودها با کاهش تنش اکسیداتیو و حفاظت از غشاهای کلروپلاستی، سلولی و حفاظت از ماکرو مولکول‌هایی، نظیر پروتئین‌ها، موجب افزایش میزان قند-



شکل ۴- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان قندهای احیا کننده

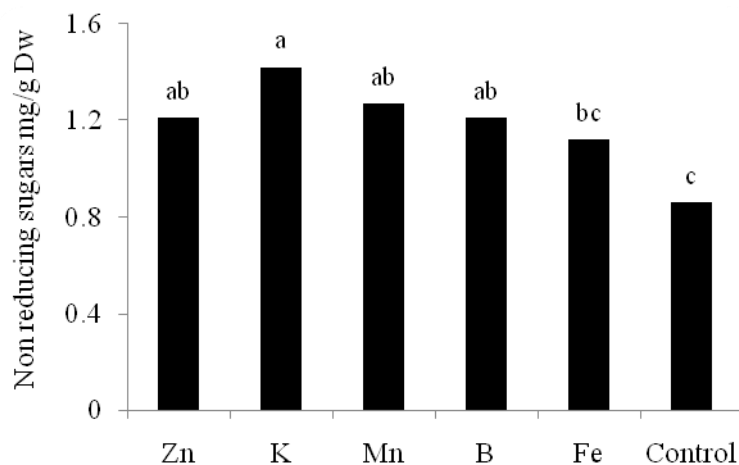
Figure 4- Effect of different nano-fertilizers on reducing sugars.

داشتند با این وجود محلول‌پاشی نانو کود پتاسیم و منگنز بیشترین تأثیر مثبت را بر میزان قندهای غیر احیاکننده داشته و به ترتیب باعث افزایش ۲۹ و ۲۳ درصدی نسبت به شاهد شدند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان قندهای غیر احیاکننده برگ زعفران در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. هرچند همه تیمارهای آزمایشی اثر افزایشی نسبت به شاهد

گیاهان به تنش‌ها دارد (Marschner, 2011). بیشترین غلظت پتاسیم در بافت‌های جوان توسعه یافته و اندام‌های زایشی وجود دارد که بیانگر اهمیت زیاد این عنصر در متابولیسم و رشد سلول-ها می‌باشد. نقش کلیدی پتاسیم به عنوان تنظیم کننده اسمزی در آماس سلول و به ویژه در روزنه‌ها شناخته شده است (Athar & Ashraf, 2005).

اختلاف معنی داری بین تیمارهای نانو کود پتاسیم، منگنز، روی و بر وجود نداشت و از بین تیمارهای کودی کمترین تأثیر را نانو کود آهن داشت که باعث افزایش ۹ درصدی نسبت به شاهد شد (شکل ۵). عنصر روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیسی سلول، محافظت غشاء در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری



شکل ۵- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان قندهای غیر احیا کننده
Figure 5- Effect of different nano-fertilizers on non reducing sugar.

شرایط تنش خشکی در تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن به دست آمد و مصرف سطوح بیشتر عنصر آهن باعث کاهش در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود (Fathi Amirkhiz et al., 2011).

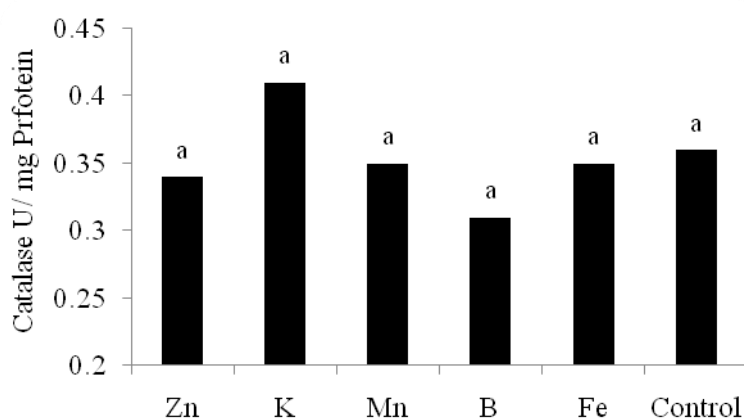
بر اساس نتایج به دست آمده، اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان آنزیم پراکسیداز برگ زعفران معنی دار نبود. هرچند همه تیمارهای آزمایشی اثر افزایشی نسبت به شاهد داشتند. با این وجود محلول پاشی نانو کود روی بیشترین تأثیر مثبت بر روی میزان فعالیت آنزیم پروکسیداز داشته است (شکل ۷). پژوهشگران دیگر نیز به نقش روی در هدایت روزنه‌ای و تحریک فعالیت آنزیمی اشاره کرده‌اند (Hajiboland & Amirazad, 2010). عنصر روی، فعال سازی بسیاری از آنزیم‌ها را بر عهده دارد اما یک عنصر غیر متحرک در گیاه محسوب می

بر اساس نتایج به دست آمده، اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان آنزیم کاتالاز برگ زعفران معنی دار نبود (شکل ۶). با این حال به غیر از کاربرد نانو کود پتاسیم که باعث افزایش جزئی فعالیت کاتالاز شد سایر نانو کودها باعث کاهش فعالیت این آنزیم در مقایسه با تیمار شاهد شدند.

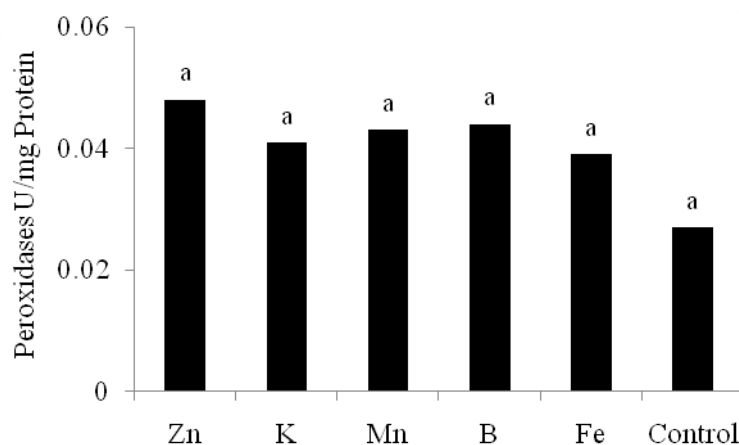
گیاهان برای مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن بسته به ظرفیت ژنتیکی شان سیستم دفاع آنتی اکسیداتیو را در خود گسترش می‌دهند (Mittler et al., 2004). آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، از مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی کننده‌ی پراکسیدروژن در گیاهان هستند، زیرا آن‌ها حاوی آهن هستند و فعالیت آن‌ها احتمالاً تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد (Shigeoka et al., 2002). با محلول پاشی آهن بر روی گیاه گلرنگ بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در

کوفاکتور در فعال کردن چندین آنزیم دخالت می‌کند. این آنزیم‌ها در متابولیسم کربوهیدرات و پروتئین نقش دارند (Marschner, 2011). گزارش شده است که فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز، در شرایط کمبود آهن کاهش می‌یابد (Sun et al., 2007)، زیرا این آنزیم‌ها دارای آهن پورفیرین هستند و به عنوان گروه‌های پروستتیک، نقش ویژه‌ای را در متابولیسم گیاهی ایفا می‌کنند (Bannister et al., 1987).

شود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش مهمی را در پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال ایفا می‌کنند. این آنزیم‌ها توانایی تحمل به تنش در گیاه را افزایش داده و پیری را به تأخیر می‌اندازند (Alscher et al., 2002). گزارش شده است که میزان فعالیت ایزوآنزیم‌های پراکسیداز در برگ‌های سویا و آفتابگردان در محلول غذایی فاقد آهن در فرآیند خنثی‌سازی پراکسید هیدروژن کاهش می‌یابد (Ranieri, 2001). عنصر روی به عنوان یک



شکل ۶- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز
Figure 6- Effect of different nano-fertilizers on Catalase activity.



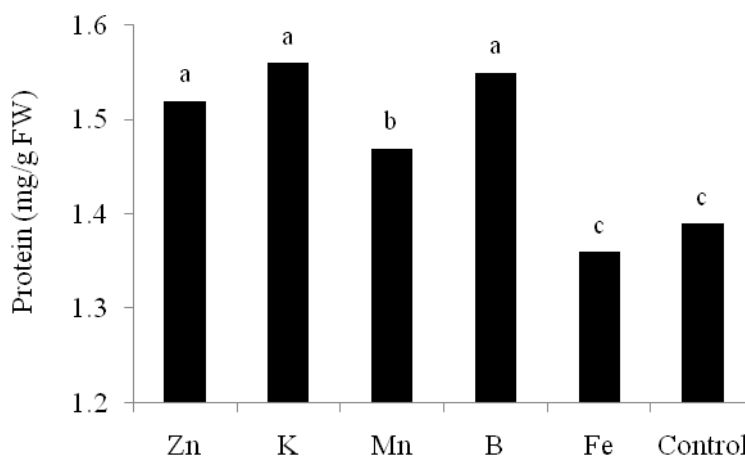
شکل ۷- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان فعالیت آنزیم پروکسیداز
Figure 7- Effect of different nano-fertilizers on Peroxidase activity.

زعفران داشتند. به جزء تیمار نانو کود آهن در سایر تیمارها میزان پروتئین بیشتر از شاهد بود و اختلاف این تیمارها و شاهد

بر اساس نتایج به دست آمده، تیمارهای آزمایشی در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری بر میزان سنتز پروتئین در برگ گیاه

بردن عملکرد دانه، درصد روغن، درصد پروتئین و عملکرد روغن کلزا داشته است. محلول پاشی نانو کود آهن روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) باعث کاهش مقدار پروتئین نسبت به شاهد می شود (Peivandi et al., 2011). گزارش شده است که به کاربرد نانو کود آهن و کلات آهن بر روی گیاه مرزه (*Satureja hortensis*) موجب افزایش میزان پروتئین می گردد اما با افزایش غلظت کلات آهن و نانو کود کلات آهن میزان پروتئین کاهش می یابد (Peivandi et al., 2011).

معنی دار بود. بیشترین میزان پروتئین در شرایط کاربرد نانو کود پتاسیم و بُر مشاهده شد که در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۲ و ۱۱ درصد افزایش نشان داد. بین تیمارهای نانو کود پتاسیم، روی و بُر اختلاف معنی داری وجود نداشت. کمترین میزان پروتئین در تیمار نانو کود آهن مشاهده شد ولی اختلاف این تیمار و تیمار شاهد معنی دار نبود (شکل ۸). مرشدی و همکاران (Morshedi et al., 2000) نقش روی و آهن را همانند سایر عناصر ریزمغذی بسیار مهم دانسته و نتیجه گرفتند که محلول پاشی آهن و روی بیشترین تأثیر را در بالا



شکل ۸- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان پروتئین برگ
Figure 8- Effect of different nano-fertilizers on leaf protein content.

کاهش یافت (شکل ۹). ارتباط مثبت بین محتوای فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی قبلاً نیز گزارش شده است و از جمله مکانیسم های فعالیت آنتی اکسیدانی این ترکیبات غیرفعال کردن رادیکال های آزاد لیپیدی و جلوگیری از تجزیه هیدروپروکسیدها به رادیکال های آزاد و نیز توانایی آن ها در کلات کردن یون های فلزی، بیان شده است (Al-Bishri & Nabil Danial, 2013).

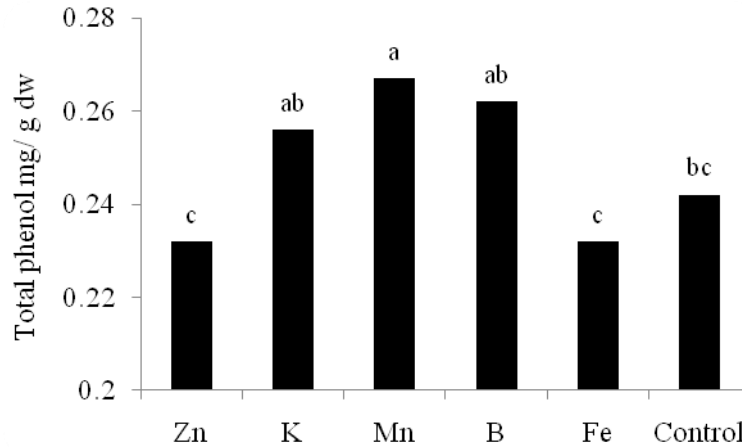
نتیجه گیری

کاربرد نانو کودهای مختلف باعث بهبود روابط آبی گیاه زعفران و افزایش محتوی آب نسبی در کلیه تیمارها در مقایسه

بر اساس نتایج به دست آمده، تیمارهای آزمایشی در سطح پنج درصد اثر معنی داری بر میزان سنتز و تجمع فنل در برگ گیاه زعفران داشتند. به غیر از تیمارهای آزمایشی نانو کود آهن و روی در سایر تیمارها میزان فنل بیشتر از شاهد بود، با این حال اختلاف این تیمارها (نانو کود آهن و روی) و تیمار شاهد از لحاظ میزان فنل برگ معنی دار نبود. بیشترین میزان فنل در شرایط کاربرد نانو کود منگنز و بُر بود که در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۱ و ۹ درصد افزایش نشان داد. اختلاف معنی داری بین تیمارهای نانو کود منگنز و بُر وجود نداشت. کمترین میزان آن مربوط به نانو کود آهن بود که در مقایسه با تیمار شاهد ۳ درصد

تیمار شاهد افزایش یابد.

با شاهد شد. علاوه بر این کاربرد همه انواع نانو کودها باعث شد میزان قندهای احیاکننده و قندهای غیر احیاکننده در مقایسه با



شکل ۹- اثر نانو کودهای مختلف بر میزان فنل کل

Figure 9- Effect of different nano-fertilizers on total phenol.

فیزیولوژیک مختلف در زعفران حساسیت متفاوتی به محلول-پاشی عناصر غذایی دارند و به همین دلیل توصیه می‌شود برای مطالعه بهتر و دقیق‌تر اثرات نانو کودها هر یک از آنها به صورت انفرادی و در غلظت‌های متفاوت مورد بررسی قرار گیرند و غلظت بهینه برای آنها مشخص شود.

هرچند هیچ‌یک از تیمارهای آزمایشی باعث تغییر معنی‌دار کلروفیل a و کلروفیل کل در مقایسه با شاهد نشدند ولی بین تیمار نانو کود آهن و نانو کود منگنز از لحاظ هر دو صفت تفاوت معنی‌داری وجود داشت و بیشترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار نانو کود آهن مشاهده شد. به غیر از نانو کود آهن سایر تیمارها باعث افزایش معنی‌دار پروتئین برگ در مقایسه با تیمار شاهد شدند. به نظر می‌رسد که ویژگی‌ها و فرایندهای

منابع

- Akrami, M.R., Malakouti, M.J., and Keshavarz, P. 2014. Study of flower and stigma yield of saffron as affected by potassium and zinc fertilizers in Khorasan Razavi Province. *Journal of Saffron Research* 2 (1): 85-96. (In Persian with English Summary).
- Al-Bishri, W., and Nabil Danial, E. 2013. Comparative study on the antioxidant, antimicrobial activities and total phenolic content of selected seeds from Saudi Arabia. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 11 (2): 202-207.
- Alscher, R.G., Erturk, N., and Heath, L.S. 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany* 53 (372): 1331-1341.
- Amirghasemi, T. 2001. *Saffron, Red Gold of Iran*. Ayandegan Publication. Tehran. (In Persian).
- Arif, M., Asifshehzad, M., Bashir, F., Tasneem, M., Yasin, G., and Iqbal, M. 2012. Boron, zinc and microtone effects on growth, chlorophyll contents and yield attributes in rice (*Oryza*

- sativa* L.) cultivars. African Journal of Biotechnology 11 (48): 10851-10858.
- Athar, H., and Ashraf, M. 2005. Photosynthesis under drought stress. In M. Pessaraki (eds). Handbook of Photosynthesis. CRC Press, New York. p. 795-810.
- Babaeian, M., Haydari, M., and Ghanbari, A. 2009. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (Alster cultivar) under water stress at three stages. Journal of Water and Soil Science 12 (46): 119-129. (In Persian with English Summary).
- Bannister, J.V., Bannister, W.H., and Rotills, G. 1987. Aspects of the structure, function and application of superoxide dismutase. CRC Critical Reviews in Biochemistry 22: 110-180.
- Benlloch-Gonzalez, M., Arquero, O., Fournier, J.M., Barranco, D., and Benlloch, M. 2008. K⁺ starvation inhibits water stress- induced stomatal closure. Journal of Plant Physiology 165: 623-630.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.
- Bybordy, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 94-103.
- Curie, C., and Briat, J.F. 2003. Iron transport and signaling in plants. Annual Review of Plant Biology 54: 183-206.
- Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, A., Rebers, J.K., and Smith, P.A.F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28 (3): 350-356.
- Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., and Ghanbari Bonjar, A. 2009. Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. International Journal of Plant Production 3 (2): 41-54.
- Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavy, S.A.M., Rezazadeh, A.R., and Heshmati, S. 2011. Effect of iron application on enzymatic activity, grain yield and oil content of safflower under water deficit conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 13 (3): 452-465. (In Persian with English Summary).
- Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., and Heshmati, S. 2015. Study the effect of iron chelate on chlorophyll content, photochemical efficiency and some biochemical traits in Safflower under deficit irrigation condition. Iranian Journal of Field Crop Science 46: 137-145. (In Persian with English Summary).
- Gogorcena, Y., Iturbe-Ormaetxe, I., Escuredo, P., and Becana, M. 1995. Antioxidant defenses against activated oxygen in pea nodules subjected to water stress. Plant Physiology 108: 753-759.
- Grotz, N., and Guerinot, M.L. 2006. Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. Biochemistry and Biophysics Acta 763 (7): 595-608.
- Hajiboland, R., and Amirzad, H. 2010. Drought tolerance in Zn-deficient red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata f. rubra) plants. Horticultural Science 37: 88-98.
- Khodary, S.E.A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. International Journal of Agriculture and Biology 6: 5-8.
- Khorasani, R., Rezvani Moghaddam, P., and Hassanzadeh Aval, F. 2013. Effect of concentration, time and frequency of foliar applications on vegetative growth and production of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) by using a complete nutrient solution. In Second National

- Conference on the Newest Scientific and Research Findings on Saffron. Torbat-e-Heydarieh. Iran, 30 October 2013, p. 40. (In Persian).
- Lichtenthaler, H., and Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 603: 591-593.
- Marschner, H. 2011. Mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Academic Press.
- McDonald, S., Prenzler, P.D., Autolovich, M., and Robards, K. 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry* 73:73-84.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., and Breusegem, F.V. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science* 9: 490-498.
- Moeinian, M.R., Zargari, K., and Hasanpour, J. 2011. Effect of boron foliar application on quality characteristic and growth parameters of wheat grain under drought stress. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 10 (4): 593-599.
- Morshedi, A., Malakouti, M.J., and Rezaei, H. 2001. Effect of iron foliar application on yield, quality and quantity characteristic and enrichment of canola grains in Bardisar, Kerman. *Journal of soil and water* 12: 56-68. (In Persian).
- Mukhopadhyay, S.S. 2014. Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints. *Nanotechnology, Science and Applications* 7: 63-71.
- Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. *The Journal of Biological Chemistry* 153: 375-380.
- Peivandi, M., Kamali Jamakani, Z., and Mirza, D. 2011. The Effect of Nano Fe Chelate and Fe Chelate on the Growth and Activity of some Antioxidant in summer savory (*Satureja hortensis*). *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal* 5: 25-32. (In Persian with English Summary).
- Peivandi, M., Parandeh, E., and Mirza, D. 2011. The effect of nano iron chelated with iron chelate on growth parameters and activity of antioxidant enzymes Basil (*Ocimum basilicum*). *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal* 4: 89-98. (In Persian with English Summary).
- Qasim, M., Ashraf, M.M., Jamil, A.M., Rehman, Y.S.U., and Rha, E.S. 2003. Water relations and gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus* L.) lines under salt stress. *Annals of Applied Biology* 142 (3): 307-316.
- Ranieri, A., Castagna, A., Baldan, B., and Soldatini, G.F. 2001. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. *Journal of Experimental Botany* 52 (354): 25-35.
- Rostami, M., and Ahmadi, A.R. 2014. Investigation the effect of nitrogen forms and split fertilization on grain yield and nitrogen content of two corn hybrids. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 10: 40-46. (In Persian with English Summary).
- Rostami, M., and Mohammadi, H. 2013. Effects of planting date and corm density on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) under Malayer climatic conditions. *Journal of Agroecology* 5: 27-38. (In Persian with English Summary).
- Sepaskhah, A.R., and Kamgar-Haghighi, A.A. 2009. Saffron irrigation regime. *International Journal of Plant Production* 3 (1): 1-16.
- Shafea, L. Saffari, M., Emam, Y., and

- Mohammad Nejad, Gh. 2011. Effect of nitrogen and zinc fertilizers on leaf zinc and chlorophyll contents, grain yield and chemical composition of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. Seed and Plant Production Journal 27 (2): 235-246. (In Persian).
- Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., and Yoshimura, K. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. Journal of Experimental Botany 53 (372): 1305-1319.
- Sun, B., Jing, Y., Chen, K., Song, L., Chen, F., and Zhang, L. 2007. Protective effect of nitric oxide on iron deficiency-induced oxidative stress in maize (*Zea mays*). Journal of Plant Physiology 164: 536-543.
- Tavallali, V., Rahemi, M., Maftoun, M., Panahi, B., Karimi, S., Ramezani, A., and Vaezpour, M. 2009. Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. Scientia horticulturae 123 (2): 272-279.
- Welch, R.M. 1995. Micronutrient Nutrition of Plants. Critical Reviews in Plant Sciences 14: 49-82.
- Zabihi, H.R., and Feizi, H. 2014. Saffron response to the rate of two kinds of potassium fertilizers. Saffron Agronomy and Technology 2 (3): 191-198. (In Persian with English Summary).
- Zare Dehabadi, S., Asrar, Z., and Mehrabani, M. 2008. Effect of zinc on growth and some physiological and biochemical parameters of spearmint (*Mentha spicata* L.). Iranian Journal of Plant Biology 20 (3): 230-241. (In Persian with English Summary).
- Zhu, H., Han, J., Xiao, J.Q., and Jin, Y. 2008. Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. Journal of Environmental Monitoring 10: 713-717.

The Effect of Foliar Application of Chemical Nano-Fertilizers on Physiological Traits of Saffron (*Crocus sativus* L.)

Majid Rostami^{1*}, *Masoumeh Maleki*² and *Ali Reza Effati*³

Submitted: 16 May, 2016

Accepted: 23 November, 2016

Rostami, M., Maleki, M., and Effati, A.R. 2018. Effect of foliar application of chemical nano-fertilizers on physiological traits of saffron (*Crocus sativus* L.) . Saffron Agronomy & Technology 5(4): 345-359.

Abstract

In order to investigate the effects of different types of nano-fertilizers on some of the physiological characteristics of saffron (i.e. antioxidant enzymes, reducing and non-reducing sugars, photosynthetic pigments, total phenol content and relative water content of leaf) the current experiment was conducted at the Malayer University during the 2014-2015 growing season. The study was performed based on randomized complete block design (RCBD) with six treatments and three replications. The experimental treatments were control and five different types of nano-fertilizers (iron: Fe, boron: B, manganese: Mn, potassium: K and zinc: Zn). The effects of experimental treatments on relative water content, protein and total phenol content, reducing and non-reducing sugars were significant. However, there was no significant effect on chlorophyll b, leaf carotenoids, Catalase and Proxidase activity. Although the difference between nano-fertilizers and control treatment for chlorophyll a and also total chlorophyll was not significant the highest amount of chlorophyll a ($1.53 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) was measured in the Fe treatment and the lowest amount ($0.93 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) was observed in the Mn treatment. Based on the results, all of the experimental treatment increased the relative water content of leaf compared with control. The highest amount of total phenol content ($0.27 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$) with 10.5% increase compared to control was observed in Mn treatment and just the difference of this treatment with the control treatment was significant. By the application of Zn, Mn, K and B nano-fertilizer leaf protein content was significantly increased when compared with the control treatment whereas the difference between Fe and control was not significant. The highest concentration of leaf protein ($1.56 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) with 12% increase compared to control treatment was observed in the K and B treatments whereas the lowest concentration of leaf protein ($1.36 \text{ mg.g}^{-1} \text{ Fw}$) with 3% decrease compared to control was related to the Fe treatment. The different response of the studied characteristics to application of various nano-fertilizer showed that different physiological traits did not have a similar sensitivity to all of the mineral nutrients. Therefore, application of entire nano-fertilizers with the same concentration is not scientifically recommendable.

Keywords: Chlorophyll, Enzyme, Plant nutrition, Sugar.

1 - Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Malayer University, Iran

2 - Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Malayer University, Iran

3 - Former MSc. Student of Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Science, Malayer University, Iran

(* - Corresponding Author E-mail: Majidrostami7@yahoo.com)

DOI: 10.22048/jsat.2017.54127.1160