

## بررسی کاربرد نانو ذره دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و پارامترهای فلورسانس کلروفیل در گیاه بادمجان (*Solanum melongena* L.) تحت تنش کم آبیاری

فرزاد رسولی<sup>۱\*</sup>، فاطمه عابدینی<sup>۲</sup>، سید مرتضی زاهدی<sup>۱</sup>

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- دانشجوی سابق گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

\* نویسنده مسئول: farrasoli@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۳ - تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۱۵)

### چکیده

تنش خشکی مهم ترین عامل محدود کننده رشد و تولید در گیاهان می باشد. نانو ذره دی اکسید تیتانیوم می تواند تأثیرات متفاوتی بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه داشته باشد. در پژوهش حاضر تأثیر غلظت های مختلف نانو ذره دی اکسید تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) و دو سطح آبیاری (آبیاری معمولی، دور آبیاری ۵ روزه) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا گردید. شصت روز پس از شروع آزمایش، تغییرات شاخص کلروفیل، سطح برگ، پرولین، پروتئین، کربوهیدرات کل، پارامترهای فلورسانس کلروفیل (Fo, Fv/Fm) و عناصر (پتاسیم، منگنز، آهن و روی) ارزیابی شد. تنش کم آبیاری به همراه محلول پاشی نانو ذره دی اکسید تیتانیوم میزان شاخص کلروفیل، پرولین، پروتئین، غلظت پتاسیم، روی، آهن و منگنز و سطح برگ را افزایش و میزان حداقل فلورسانس کلروفیل را کاهش داد. با افزایش غلظت نانو ذره دی اکسید تیتانیوم، مقدار کربوهیدرات محلول کل افزایش و تغییر در میزان (Fv/Fm) نسبت به گیاه شاهد مشاهده نشد.

واژه های کلیدی: پرولین، پروتئین، سطح برگ، کربوهیدرات محلول کل، Fo, Fv/Fm.

## The effect of Titanium nano dioxide on physiological particular and chlorophyll fluorescence parameters in Eggplant (*Solanum melongena* L.) under water deficit stress

F. Rasouli<sup>1\*</sup>, F. Abedini<sup>2</sup> and S. M. Zahedi<sup>1</sup>

1- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Maragheh University

2- Former student, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Maragheh University

\* Corresponding author E-mail: farrasoli@gmail.com

(Received: June 24, 2018 - Accepted: October 07, 2018)

### Abstract

Drought stress is the most important factor limiting growth and production of plants. Titanium dioxide nanoparticles have different effects on morphological, physiological and biochemical properties of the plants. In this study, effects of spraying of Titanium dioxide nanoparticles (0, 50, 100 and 200 mg/l) and two levels of irrigation (normal irrigation, 5-days irrigation intervals) was evaluated through a factorial assay based on randomized block complete design with three replications. Sixty days after starting the assay, changes in chlorophyll index, leaf area, proline, protein, total carbohydrate, chlorophyll fluorescence parameters (Fo, Fv/Fm) and nutrients (potassium, manganese, Iron, and zinc) were measured. Under water deficit stress, spraying of Titanium dioxide nanoparticles, increased the amount of chlorophyll index, proline and protein content, concentrations of potassium, zinc, iron, manganese; leaf surface and reduced the amount of minimum chlorophyll fluorescence. Also, total soluble carbohydrate content increased in parallel with titanium dioxide nanoparticles concentration, while the treatment did not affect the amount of FV/FM.

**Keywords:** Fv/Fm, Fo, Leaf surface, Proline, Protein, Total soluble carbohydrate.

کاتالاز، پراکسیداز و آنزیم‌های متابولیسم گلوکاتین) هستند، بوجود می‌آید (Baczek Kwinta and Kościelniak, 2009).

تیتانیوم (Ti) به‌عنوان یک عنصر سودمند باعث افزایش و تحریک رشد می‌شود و می‌تواند جذب برخی از عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را افزایش دهد (Pais, 1983). مقدار جذب عناصر به رطوبت، رقم، گونه گیاه، pH خاک و وضعیت عناصر غذایی موجود در خاک بستگی دارد (Kuzel, 2003). میزان اثر بخشی NP-TiO<sub>2</sub> بر محصولات گیاهی به غلظت نانو ذرات، اندازه، ساختار شیمیایی، پوشش سطحی، نحوه کاربرد، روش‌های ترکیبی و گونه‌های گیاهی بستگی دارد. نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>) و اکسید روی (ZnO) بیشترین استفاده را در بسیاری از صنایع به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی خاص خود دارند. نانو دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند کارایی دستگاه فتوسنتزی را بهبود بخشد و توانایی گیاه را برای جذب نور خورشید افزایش دهد که بر تولید و تبدیل انرژی نورانی به الکترون فعال و فعالیت‌های شیمیایی تأثیر گذاشته و باعث افزایش کارایی فتوسنتز در گیاه شود (Akbari et al., 2014). گزارش‌های متعددی مبنی بر کاهش اثرات مخرب تنش خشکی توسط نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم ارائه شده است. این ماده با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مالون دی‌آلدئید (Malondialdehyde) باعث کاهش اثرات تنش خشکی می‌شود (Zheng et al., 2007). نانو ذرات تیتانیوم به‌واسطه کوچکی ذرات، سطح تماس آن با مواد افزایش یافته و کارایی و اثر بخشی بیشتری دارد (Omidi-Tabrizi, 1998). بر این اساس، گیاهان رایج‌ترین موارد استفاده شده برای تعیین اثر نانو ذرات هستند (Dogaaroglu and Koleli, 2017). گزارش شده است نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم موجب افزایش

بادمجان با نام علمی (*Solanum melongena* L.) یک گیاه گرمادوست بوده و بیشتر در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت و کار می‌شود (Sihachakr et al. 1994). کمبود آب و تنش شوری جزء مهم‌ترین مسائل جهانی در تولید غذا و محصولات کشاورزی هستند (Jaleel et al., 2007b). گیاهان در حال رشد در معرض بسیاری از تنش‌ها مانند خشکسالی، دمای پایین، شوری، سیل، گرما، تنش اکسیداتیو و سمیت فلزات سنگین در طبیعت هستند (Cheruth et al., 2009). خشکسالی باعث کمبود آب سلول‌های گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای شده که با مهار متابولیسم و کاهش میزان فتوسنتز گیاهان منجر به پژمردگی دائم در گیاه می‌شود (Jaleel et al., 2008). تنش خشکی می‌تواند باعث ایجاد تنش اکسیداتیو شود که این فرآیند موجب کاهش کلروفیل و میزان فتوسنتز می‌گردد (Ort et al., 2001). تحمل به تنش خشکی تقریباً در تمام گیاهان دیده می‌شود. اما میزان آن از گونه‌ای به گونه‌ی دیگر و حتی درون گونه‌ها متفاوت است. تنش خشکی منجر به بسته شدن روزنه‌ها، محدودیت در تبادل گازها، اختلال در متابولیسم و ساختار سلولی، کاهش در آبیگری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل و در نهایت توقف واکنش‌های کاتالیز شده آنزیمی می‌شود (Jaleel et al., 2007d). رشد گیاه در اثر تغییر در خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی از قبیل فتوسنتز، تنفس، انتقال و جذب یون‌ها، کربوهیدرات‌ها، متابولیسم مواد مغذی و پروتئین کاهش می‌یابد (Jaleel et al., 2008a). استراتژی حفاظت از گیاهان در برابر تنش ایجاد شده، افزایش در سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها (گلوکاتینون، آسکوربات، کاروتنوئید، فلاونوئیدها و پلی‌فنل‌ها) و آنزیم‌های اختصاصی که تجزیه‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن (سوپراکسید دیسموتاز،

وزن خشک، بیوسنتز کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو، سرعت فتوسنتز و میزان نیتروژن در اسفناج (Zheng *et al.*, 2005) می‌شود. تلاش‌های زیادی برای مطالعه امکان نفوذ نانو ذرات به زنجیره غذایی از طریق جذب گیاه و ذخیره زیستی آن‌ها اختصاص داده شده است (Mishra *et al.*, 2014). گائو و همکاران (Gao *et al.*, 2006) نانو ذرات را به عنوان یک حسگر محرک زیستی معرفی کرده‌اند که NP-TiO<sub>2</sub> موجب بهبود جذب نور و تبدیل انرژی نورانی به انرژی الکتریکی و شیمیایی، جذب دی‌اکسیدکربن، بیان ژن فعال روبیسکو و در نهایت جلوگیری از پیری کلروپلاست می‌شود. هانگ و همکاران (Hang *et al.*, 2005) بیان کردند نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم موجب افزایش رشد در اسفناج از طریق افزایش میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز، افزایش میزان جذب نور، تسریع انتقال الکترون و افزایش کارایی از تغییر حالت انرژی نورانی می‌باشند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول پاشی نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و پارامترهای فلورسانس کلروفیل در گیاه بادمجان تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش کم آبیاری انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۶ در گلخانه پژوهشی دانشگاه مراغه اجرا گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلدان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح مختلف آبیاری (آبیاری معمولی، دور آبیاری با فواصل پنج روزه) و چهار سطح محلول پاشی نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. قبل از اجرای آزمایش برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش قرار گرفت. بذرها بعد از جوانه‌زنی در محیط خاکی تا مرحله ۸

برگی همه گلدان‌ها مرتب آبیاری می‌شدند. کود مورد نیاز برای سهولت تغذیه گیاه (۱/۵-۲/۵ درصد) N، (۰/۷۵-۱/۲۵ درصد) P، (۱/۵-۲ درصد) K، (۱۵۰-۳۵۰) Mg، (۲۵۰-۲۰۰) Zn، (۱۰۰۰-۲۰۰۰) Fe، (۱۵۰۰-۲۰۰۰) Ca، (۲۰۰-۳۰۰) Mn، (۳-۶) Mo و B (۵-۱۰) در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب در مقدار مجاز توصیه شده (شرکت آل زیست ۹۰) بر روی گیاه پاشیده شد. محلول پاشی نانو ذرات تیتانیوم طی پنج مرحله به صورت هفتگی بعد از اعمال دور آبیاری پنج روزه بر روی شاخ و برگ گیاه بادمجان انجام شد.

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل: برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ‌ها از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (SPAD-502) ساخت کشور ژاپن استفاده شد.

اندازه‌گیری سطح برگ: بعد از اتمام پنج مرحله از محلول پاشی با نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم نمونه‌های برگ از گیاهان جدا شد و بلافاصله سطح برگ تمام تیمارها به وسیله نرم‌افزار Image J تعیین گردید. Image J یک برنامه پردازش تصویر تحت جاوا است که در مؤسسه ملی سلامت آمریکا تولید شده و از وبگاه اینترنتی این موسسه (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>) *download.html* به‌طور رایگان قابل بارگذاری است.

اندازه‌گیری پرولین به روش بتیس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) انجام شد. تعیین میزان پروتئین محلول با استفاده از روش برادفورد انجام گرفت (Bradford, 1976). به‌منظور اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول، نمونه گیاهی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس کربوهیدرات‌های محلول از طریق سه بار عصاره‌گیری یک گرم ماده خشک برگ در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد استخراج شد. عصاره حاصل با استفاده از پنج میلی‌لیتر سولفات روی پنج درصد و ۴/۷ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ۰/۳ نرمال صاف گردید. سپس با اضافه نمودن یک میلی‌لیتر فنل پنج درصد

کلروفیل (۵۳/۰۳) مشاهده شد. با ادامه روند تنش کم آبی میزان شاخص کلروفیل نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت. کمترین میزان شاخص کلروفیل برای تیمار شاهد به میزان (۳۷/۹۳) ثبت گردید. این مطالعه نشان داد که در گیاهان تحت شرایط تنش کم آبی به همراه محلول پاشی NP-TiO<sub>2</sub> نسبت به گیاهان آبیاری شده به همراه محلول پاشی، میزان شاخص کلروفیل بطور قابل توجهی افزایش می یابد (شکل ۱). در این آزمایش در گیاه تحت آبیاری معمولی به همراه ۵۰ میلی گرم بر لیتر تیتانیوم نسبت به گیاه تحت تنش خشکی به همراه ۵۰ میلی گرم بر لیتر تیتانیوم، شاخص کلروفیل ۶/۸۶ درصد افزایش یافت. در مطالعه ای علت تجمع کلروفیل در غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم در شرایط آبیاری معمولی را به اثرات مکمل مواد مغذی مانند منیزیم (Mg)، آهن (Fe) و گوگرد (S) بیان کردند (Mahmoodzadeh et al., 2013). استفاده از NP-TiO<sub>2</sub> می تواند ساختار کلروفیل را بهبود بخشد، جذب نور را افزایش دهد و تشکیل کلروفیل را آسان تر کند. همچنین، با انتقال انرژی نور به الکترون های فعال، بر فعالیت های شیمیایی و در نهایت بر فتوسنتز تأثیر می گذارد (Mahmoodzadeh et al., 2013; Skupie et al., 2007). در پژوهشی (Missaoui et al., 2017) بر روی گیاه شنبليله، کلروزه شدن در برگ ها در غلظت ۱۰۰ میلی بر لیتر دی اکسید تیتانیوم گزارش شد. ولی در گیاه بادمجان چنین علائمی مشاهده نگردید. نتایج محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2016) نشان داد میزان کلروفیل در ۱۰ پی پی ام نانو ذره دی اکسید تیتانیوم کاهش می یابد. همچنین، در تحقیقات لارو و همکاران (Larue et al., 2012) در گیاه گندم تأثیری از نانو ذره بر میزان کلروفیل مشاهده نگردید. در حالیکه در تحقیقات (Gao et al., 2008) در گیاه اسفناج و تحقیقات رالیا و همکاران (Raliya et al., 2015)

و پنج میلی لیتر اسیدسولفوریک به دو میلی لیتر از نمونه های صاف شده، غلظت کربوهیدرات محلول به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۳۵ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت های مختلف گلوکز تعیین گردید (DuBois et al., 1956). حداقل فلورسانس کلروفیل (Fo) و میزان حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) با استفاده از دستگاه Pulse Amplitude Modulation Fluorometer Effeitrich Germany PAM-2500, Walz اندازه گیری شد. پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و عناصر روی و آهن و منگنز با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری گردید (Hamada, 1994).

داده های آزمایش توسط نرم افزار SAS 9.2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که ویژگی هایی مانند شاخص کلروفیل، سطح برگ، پرولین، پروتئین محلول کل، میزان کربوهیدرات کل، Fv/Fm، Fo، غلظت عناصر پتاسیم، منگنز، روی و آهن بطور معنی داری تحت تأثیر محلول پاشی برگی نانو ذره اکسید تیتانیوم به همراه اعمال تنش کم آبیاری قرار گرفت.

## شاخص کلروفیل

نتایج نشان داد اثر متقابل محلول پاشی نانو ذره دی اکسید تیتانیوم تحت تنش کم آبیاری بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۱). برای گیاهان تحت تنش کم آبی به همراه محلول پاشی با نانو ذره به مقدار ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر دی اکسید تیتانیوم بیشترین میزان شاخص

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر نانو ذره دی اکسید تیتانیوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و پارامترهای فلورسانس کلروفیل در گیاه بادمجان (*Solanum melongena* L.) تحت تنش کم آبیاری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
F <sub>o</sub>	Fv/Fm	کربوهیدرات محلول کل	پروتئین	پروکلین	سطح برگ	کلروفیل		
۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۴۲/۱۰	۰/۰۰۱	۰/۲۸	۵/۱۱	۶/۱۵	۲	بلوک
۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴*	۱۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	۴۱۵**	۸/۳۲ <sup>ns</sup>	۳۳/۱۳۵ <sup>ns</sup>	۱	خشکی
۰/۰۰۶**	۰/۰۰۳**	۳۰۵**	۰/۰۰۶**	۱۰۶**	۴۸۶**	۹۸/۵۹**	۳	نانودی اکسید تیتانیوم
۰/۰۰۹*	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۵۷/۹۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۹**	۳۵/۹۷**	۵۸۰**	۳۹/۸۲۵*	۳	خشکی × نانودی اکسید تیتانیوم
۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۵	۳۲	۰/۰۰۰۳	۶/۶۱	۷۶	۱۰/۲۲۹۲	۱۴	خطا
۴/۶۷ %	۳/۴ %	۱۴/۹۱ %	۳/۹۶ %	۷/۳۴ %	۱۶/۱۳ %	۷ %	-	ضریب تغییرات

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد را نشان می دهند.

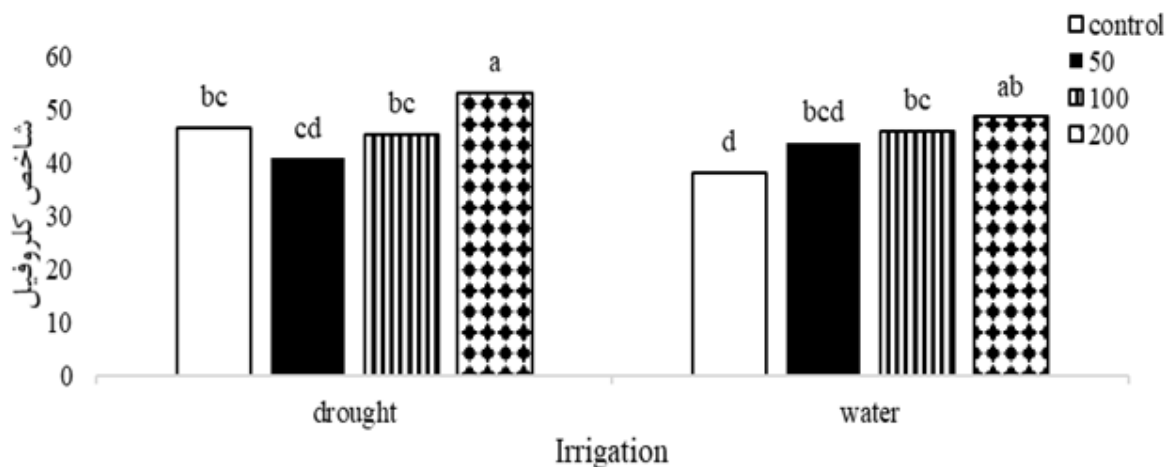
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر نانو ذره دی اکسید تیتانیوم بر میزان عناصر پتاسیم، منگنز، روی و آهن در گیاه بادمجان (*Solanum melongena* L.) تحت تنش کم آبیاری

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
آهن	روی	منگنز	پتاسیم		
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۹۵	۶/۵۰	۲	تکرار
۰/۰۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۴۰/۰۴*	۱	خشکی
۰/۰۱۵**	۰/۰۱۹**	۰/۰۰۱**	۱۲۲/۹**	۳	نانودی اکسید تیتانیوم
۰/۰۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱**	۶۸/۷۰**	۳	خشکی × نانودی اکسید تیتانیوم
۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۶/۶۹	۱۴	خطا
۷/۵ %	۱۴ %	۲۵ %	۱۴ %	-	ضریب تغییرات

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد را نشان می دهند.

سبب افزایش جذب نیتروژن می شود، بنابراین میزان سنتز کلروفیل در گیاهان افزایش می یابد (Yang et al., 2006).

در گیاه لوبیا مشخص گردید نانو ذره دی اکسید تیتانیوم موجب افزایش میزان کلروفیل می شود. این نتایج مختلف نشان دهنده تأثیر غلظت های مختلف نانو ذره در گونه های مختلف گیاهان می باشد. در تحقیقی گزارش شده است که برگ های گیاهان ذرت و گندم تحت تیمار تنش خشکی نسبت به برگ های همان گیاهان تحت آبیاری مطلوب دارای عدد کلروفیل سنج بالاتری بودند (Bredemeier, 2005) که با نتایج به دست آمده از این آزمایش مطابقت دارد. از آنجاییکه نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

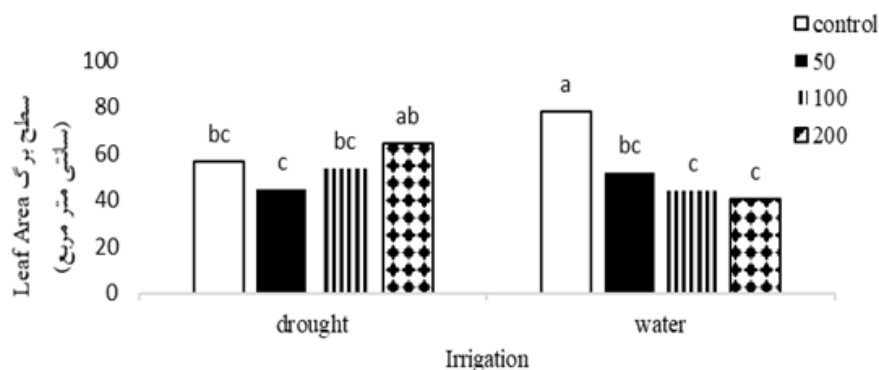


شکل ۱- اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان شاخص کلروفیل در برگ گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

در اثر تنش کم‌آبیاری را جبران کرد. با ادامه روند آبیاری به همراه محلول‌پاشی NP-TiO<sub>2</sub> به میزان ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سطح برگ نسبت به گیاه کنترل، ۴۸ سانتی‌متر مربع کاهش داشت. محققان در آزمایشی بر روی گیاه شنبلیله به مدت ۱۶ روز تحت تیمار با نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم نشان دادند که بالاترین غلظت نانو ذره اکسید تیتانیوم، سطح برگ را تا ۲۰ درصد نسبت به گیاه کنترل کاهش می‌دهد (Missaoui *et al.*, 2017). همچنین، گزارش شده است که علت کاهش سطح برگ در اثر نانو ذره اکسید تیتانیوم، نبود برهمکنش مستقیم آن با مسیر بیوسنتز کلروفیل و همچنین احتمالاً به دلیل کاهش چگالی کلروپلاست می‌باشد (Zayneb *et al.*, 2015).

#### سطح برگ

برهمکنش سطوح آبیاری به همراه محلول‌پاشی NP-TiO<sub>2</sub> بر میزان سطح برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین سطح برگ مربوط به آبیاری گیاه بدون اعمال محلول‌پاشی به میزان ۷۸ سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار مربوط به تیمار آبیاری شده با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر NP-TiO<sub>2</sub> به میزان ۴۰/۴۹ سانتی‌متر مربع بود (شکل ۲). با اعمال فرآیند تنش کم‌آبیاری در گیاه بادمجان به همراه محلول‌پاشی NP-TiO<sub>2</sub> به مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان سطح برگ نسبت به گیاه تحت تنش کم‌آبی بدون محلول‌پاشی ۳۷/۹۵ درصد افزایش نشان داد. اگرچه اختلاف آن با تیمار خشکی بدون نانوتیتانیوم معنی‌دار نبود، ولی کاهش سطح برگ

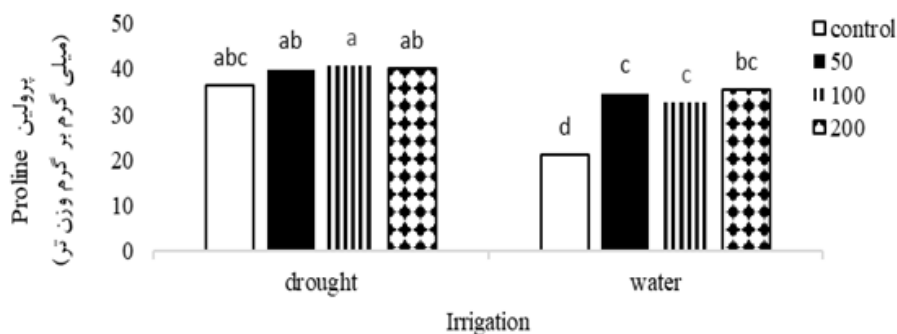


شکل ۲- اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر سطح برگ در گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

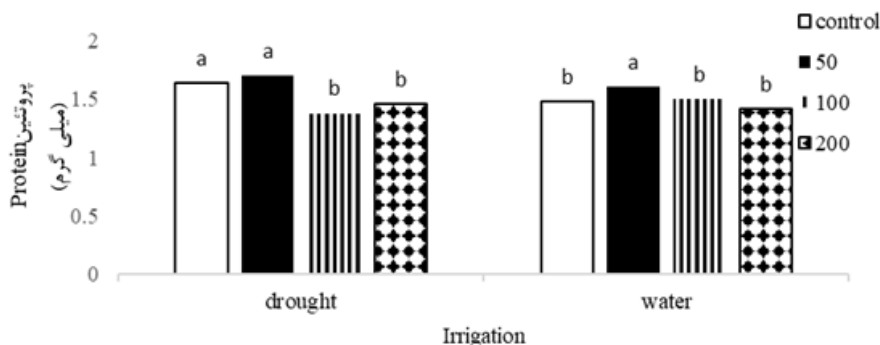
مشاهده نگردید. (شکل ۳). یکی از راهکارهای گیاهان برای مقابله با کمبود آب در سلول به علت تنش خشکی، انباشت اسیدهای آمینه سازگار کننده مانند (پرولین، گلايسين، آلانين و والين) است. بین تجمع پرولین و سازش به تنش اسمزی در گیاهان همبستگی مثبت وجود دارد (Bates et al., 1973). پرولین علاوه بر داشتن نقش در تنظیم اسمزی، باعث تثبیت ساختار داخلی سلول در سیتوزول می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007). در برخی از گیاهان در مراحل اولیه تنش کم‌آبیاری چندین اسید آمینه افزایش می‌یابد که با ادامه تنش فقط اسید آمینه پرولین بیشتر تجمع یافته و ذخیره می‌شود (Rajinder, 1987).

### پرولین

نتایج نشان داد اثر متقابل سطوح مختلف محلول‌پاشی نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم بر تنش کم‌آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین با مقدار ۱۱/۵۰ درصد افزایش در مقایسه با شاهد در گیاه تیمار شده با تنش کم‌آبی همراه با محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد. کمترین میزان پرولین مربوط به گیاه آبیاری شده بدون اعمال محلول‌پاشی به میزان ۲۱/۱۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر بود. در این آزمایش با اعمال تنش کم‌آبیاری به همراه محلول‌پاشی تأثیر افزایشی در میزان پرولین مشاهده شد ولی اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها



شکل ۳- اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان پرولین در گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۴- اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان پروتئین در گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها

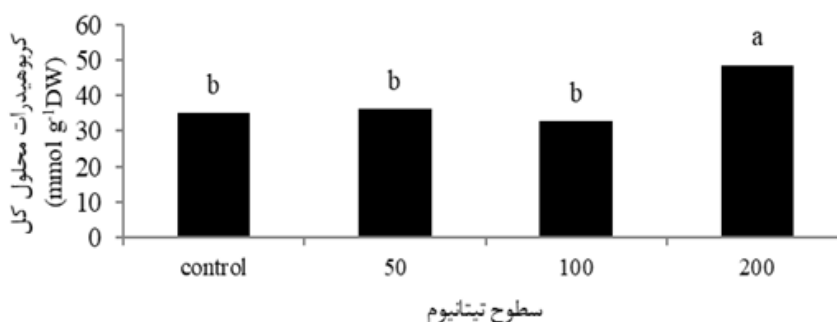
### پروتئین

نتایج نشان داد اثر متقابل محلول‌پاشی سطوح مختلف نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم تحت تنش کم آبی بر میزان پروتئین در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). محلول‌پاشی نانو ذره به غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط آبیاری نرمال باعث افزایش میزان پروتئین در برگ گیاه شد. کمترین میزان پروتئین در تیمار کم آبیاری به همراه محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که نسبت به گیاه شاهد ۱۵/۸۵ درصد کاهش نشان داد (شکل ۴). به نظر می‌رسد علت این امر، کاهش میزان منگنز و روی در این سطح تیماری باشد که در بخش مربوط به این عناصر گزارش شده

است. در پاسخ به تنش کم آبیاری، سلول‌های گیاهی شروع به سنتز و تجمع برخی از آمینو اسیدها (از قبیل پرولین)، پروتئین‌ها، قندها (ساکاروز، گلوکز)، ترکیبات الکلی و اسیدهای آلی می‌کند (Hasegawa *et al.*, 2000).

### میزان کربوهیدرات محلول کل

نتایج پژوهش حاضر نشان داد برهمکنش نانو ذره اکسید تیتانیوم و تنش کم آبیاری بر میزان کربوهیدرات محلول کل معنی‌دار نبود. البته محلول‌پاشی نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم بر مقدار کربوهیدرات محلول کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان کربوهیدرات محلول کل در برگ گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

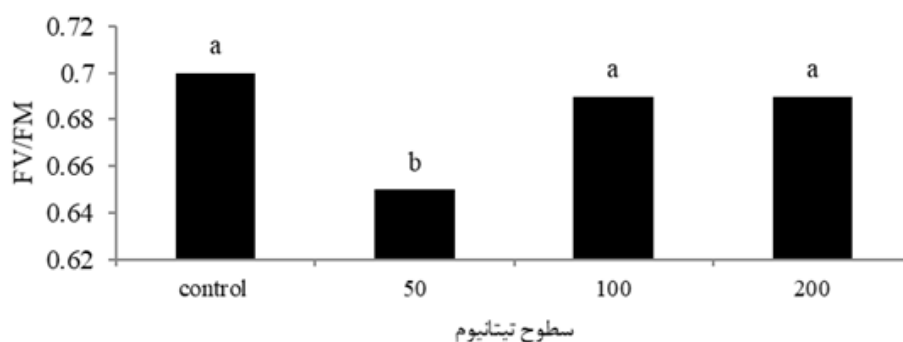


بیشترین میزان کربوهیدرات کل با اختلاف معنی‌دار (48/45 mmol g<sup>-1</sup>DW) مربوط به تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تیتانیوم و کمترین مقدار آن (32/66 mol g<sup>-1</sup>DW) مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تیتانیوم بود که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۵). در آزمایشی بر روی گیاه لوبیا سبز مشخص گردید که استفاده از ۰/۰۱ درصد نرمال نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم موجب افزایش قندهای محلول می‌شود (Abdel *et al.*, 2017). احتمالاً نانو ذره تیتانیوم با افزایش دریافت نور، فتوسنتز و کارایی آن را افزایش داده و پتانسیل تولید کربوهیدرات گیاه را بالا می‌برد.

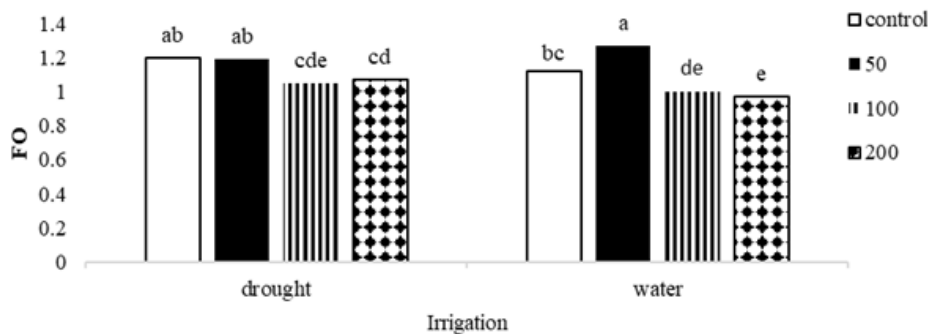
#### حداقل فلورسانس کلروفیل (Fo) و میزان حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

میزان فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به خوبی نشان دهد. چون نسبت Fv/Fm تعیین هرگونه آسیب به فتوسیستم II را ممکن می‌سازد. فلورسانس کلروفیل بطور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد و وجود هرگونه آشفتگی مانند جلوگیری از تولید تعدادی از پروتئین‌های تیلاکوئید رمز شده توسط کلروپلاست،

در مقایسه با پروتئین‌های رمز شده توسط هسته سلول و یا دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II، منجر به کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم در شرایط سازگار با تاریکی (Fv/Fm) می‌گردد (فرانکبود و لپیژ، ۲۰۰۳). بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، اثر تنش آبی و محلول پاشی نانو ذره اکسید تیتانیوم در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II معنی‌دار بود (جدول ۱). با اعمال تنش خشکی میزان حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) کاهش می‌یابد. حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II با میانگین ۰/۷۰ در تیمار آبیاری شده بدون محلول پاشی و کمترین آن با میانگین ۰/۶۵ از تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به دست آمد (شکل ۶). با افزایش غلظت دی‌اکسید تیتانیوم مقدار (Fv/Fm) به ۰/۶۹ رسید که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد. نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (Fv/Fm) نشان‌دهنده پتانسیل یا بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II می‌باشد (Zhao *et al.*, ۲۰۰۷). برای برگ‌های بدون تنش مقدار Fv/Fm حدود ۰/۸۳-۰/۶۵ که این مقدار بسیار سازگار بوده و با حداکثر تولید کوانتومی فتوسنتز ارتباط دارد (Demmig and Björkman, 1987). شاخص Fv/Fm منعکس‌کننده



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان (Fv/Fm) در برگ گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.



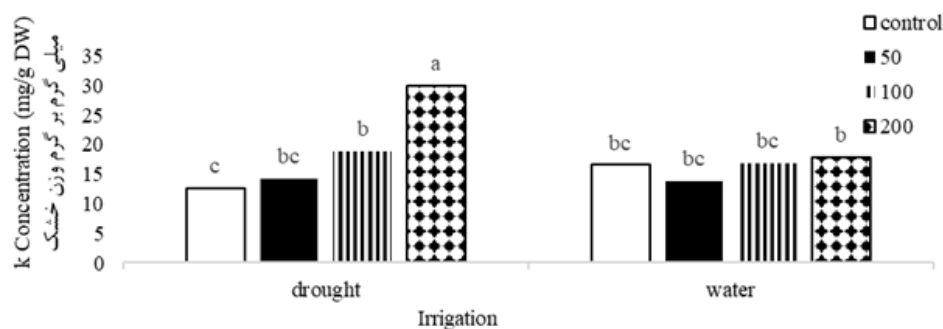
شکل ۷- اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان حداقل فلورسانس (Fv/Fm) در برگ گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

آزمایش حاضر نشان می‌دهد گیاهانی که در شرایط تنش خشکی به همراه محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم قرار گرفته‌اند، شرایط تنش را نسبت به گیاهان در معرض تنش خشکی به همراه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر محلول‌پاشی بهتر تحمل می‌کند. افزایش مقدار Fv/Fm نشان‌دهنده اختلال در دستگاه‌های فتوسنتزی است. افزایش Fv/Fm به علت تنش‌های غیرزنده همانند نمونه‌هایی که در تنش درجه حرارت بالا قرار گرفته‌اند، رخ می‌دهد (Yamada *et al.*, 1996).

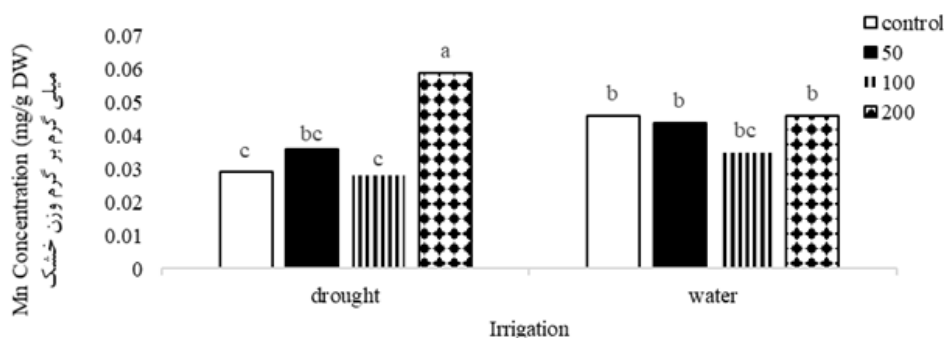
اثر متقابل تنش کم آبیاری در محلول‌پاشی با نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان پتاسیم و منگنز موجود در برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). با اعمال تنش کم آبیاری به همراه محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم میزان پتاسیم موجود در برگ نسبت به گیاه شاهد با اختلاف معنی‌داری ۸۰/۶۴ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸). کمترین غلظت منگنز در تیمار تنش کم آبی و بیشترین غلظت منگنز مربوط به تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم با اعمال تنش مشاهده گردید. همچنین، با ادامه روند محلول‌پاشی (۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) دی‌اکسید تیتانیوم بر روی گیاه تحت تنش، غلظت منگنز نسبت به گیاه شاهد به ترتیب ۴/۳۴ و ۱۰۳/۴۴ درصد افزایش مشاهده گردید (شکل ۹).

حساسیت بالای PS II به محرک‌های محیطی، بطور مستقیم یا غیرمستقیم می‌باشد. با این حال، تفسیر آن همیشه به‌سادگی نیست (Murchie *et al.*, 1999). شاخص Fv/Fm میزان تولید کوانتومی ذاتی PS II را اندازه‌گیری می‌کند و به همین ترتیب باید برای تولید حداکثر کوانتومی با مبادله گاز فتوسنتز (CO<sub>2</sub> یا O<sub>2</sub>) ارتباط داشته باشد و در صورت بروز تنش سبب کاهش کارایی انتقال الکترون می‌شود. این نشان می‌دهد که مقدار کل انرژی نور تبدیل شده در مرکز واکنش PS II کاهش می‌یابد. بنابراین، تغییرات مشاهده شده در فعالیت فتوشیمیایی PS II می‌تواند موجب محدودیت فعالیت فتوسنتزی در اثر کمبود آب شود (Tezara *et al.*, 2002).

میزان حداقل فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) بطور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۱). تنش کم آبیاری باعث افزایش میزان حداقل فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) در بوته شد. بطوریکه در تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم هم در شرایط کم آبیاری و هم در شرایط آبیاری نرمال موجب کاهش میزان حداقل فلورسانس کلروفیل گردید (شکل ۷). تیماری که بتواند در شرایط تنش از افزایش Fv/Fm جلوگیری کند، تحمل بیشتری به تنش نشان خواهد داد.



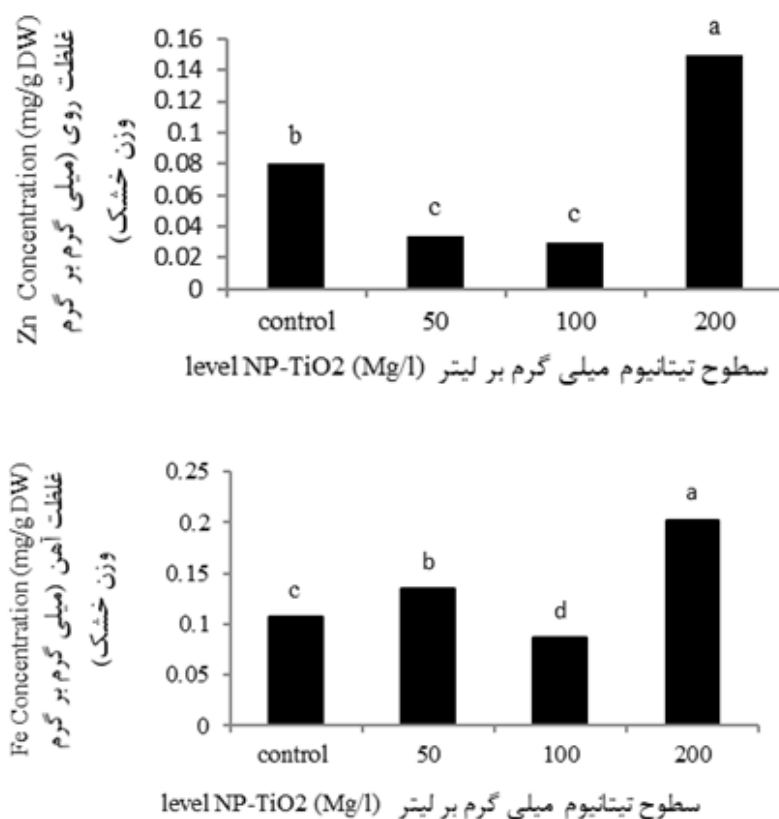
شکل ۸- اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر غلظت پتاسیم موجود در برگ گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۹- اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر غلظت منگنز موجود در برگ گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

زراعی می‌شوند. محلول NPK با نانو ذرات باعث افزایش سطح جذب مواد غذایی و تحریک رشد و نمو در گیاه می‌شود (Pteltd, 2006). کاربرد نانو دی اکسید تیتانیوم توانایی گیاه را در مصرف مواد مغذی افزایش می‌دهد. بطوریکه با کاربرد نانو ذره دی اکسید تیتانیوم بر روی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای میزان کلسیم، نیتروژن، فسفر و منیزیم و میزان آهن را افزایش می‌دهد (Kleiber and Markiewicz, 2013).

سطوح مختلف نانو ذره اکسید تیتانیوم بر غلظت روی و آهن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. با کاربرد بالاترین غلظت محلول پاشی نانو دی اکسید تیتانیوم میزان غلظت روی و آهن در برگ گیاه بادمجان نسبت به ترتیب ۸۷/۵ و ۸۸/۷۸ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱۰). نانو ذرات در تحریک رشد رویشی و تسهیل در جذب عناصر میکرو به ریشه گیاه نقش دارند. بدین ترتیب منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان



شکل ۱۰: اثر غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم (+، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان غلظت روی و آهن در برگ گیاه بادمجان تحت تنش خشکی. حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

ذرات تیتانیوم با تغییراتی از قبیل افزایش در میزان پرولین، کربوهیدرات محلول، پتاسیم، منگنز، روی، آهن و کاهش در میزان حداقل فلورسانس از آسیب دیدن گیاه کاسته می‌شود.

سپاسگزاری

از همکاران محترم آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه بخاطر همکاری صمیمانه در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان استنباط نمود گیاهانی که در شرایط تنش کم آبیاری قرار گرفته‌اند، تغییراتی در خصوصیات فیزیولوژیکی خود ایجاد می‌کنند تا به تنش وارد آمده واکنش نشان بدهند. از طرفی با اسپری کردن نانو

## References

- Abdel Latef A.A, Alhmad M.F.A, & Abdel fattah K.E. (2017). The possible roles of priming with ZnO nanoparticles in mitigation of salinity stress in lupine (*Lupinus termis*) Plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36: 60–70.
- Akbari, G.A., Morteza, E., Moaveni, P., Alahdadi, I., Bihamta, M.R. & Hasanloo, T., (2014). Pigments apparatus and anthocyanins reactions of borage to irrigation, methylalcohol and titanium dioxide. *International Journal of Biosciences*, 4: 192-208.
- Amada, A. M & EL-enany, A. E., (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36, 75- 81.
- Baczek-Kwinta & Kościelniak, J. (2009). The mitigating role of experimental factors in seedling injury and chill-dependent depression of catalase activity in maize leaves. *Biologia Plantarum*. 53(2), 278-284.
- Bates I.S., Waldren R.P. & Teare I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water- stress studies. *Plant and soil*, 39, 205- 207.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Bredemeier, C. (2005). *Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize*. Ph. D. Thesis. Technical University of Munich, Germany. pp 219.
- Cheruth, A.J., Ksouri, R., Ragupathi, G., Paramasivam, M., Jallali, I., Hameed, J.A., Zhao, C.X., Shao, H.B., & Rajaram, P. (2009). Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31, 427–436.
- Demmig, B., & Björkman, O. (1987). Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489–504.
- Dogaaroglu, Z.G., & Koleli, N. (2017). Effects of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles on germination and antioxidant system of wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Applied ecology and environmental research*. 15(3), 1499-1510.
- DuBois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28, 350-356.
- Flexas, J., Escalona, J.M & Medrano, H. (1999). Water stress induces different levels of photosynthesis & electron transport rate regulation in grapevines. *Plant, Cell and Environment*, 22, 39–48.
- Foyer, C., Furbank, R., Harbinson, J & Horton, P. (1990). The mechanisms contributing to photosynthetic control of electron transport by carbon assimilation in leaves. *Photosynthesis Research*, 25, 83–100.
- Gao, F., Hong, F., Liu, C., Zheng, L., Su, M., Wu, X., Yang, F., Wu, C & Yang, P. (2006). Mechanism of nano-anatase TiO<sub>2</sub> on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach: inducing complex of rubisco-rubisco activase, *Biological Trace Element Research*, 111: 239–253.
- Gao, F., Liu, C., Qu, Zheng, C.L. Yang, Su, F.M. & Hong, F. (2008). Was improvement of spinach growth by nano-TiO<sub>2</sub> treatment related to the changes of rubisco activase?. *Biometals*, 21: 211- 217.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., Bohnert, H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 463-499.
- Hong, F., Yang, F., Liu, C., Gao, Q., Wan, Z., Gu, F., Wu, C., Ma, Z., Zhou, J & Yang, P. (2005). Influences of nano-TiO<sub>2</sub> on the chloroplast aging of spinach under light, *Biol. Trace Elem. Res.* 104 (3): 249–260.
- Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L., Yang, P. (2005). Effect of nano- TiO<sub>2</sub> on photochemical reaction of chloroplasts of spinach, *Biological Trace Element Research*, 105 (1–3): 269–279.

- Jaleel, C.A., Gopi, R., Sankar B., Gomathinayagam, M & Panneerselvam, R. (2008a). Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*, 33: 42–47.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Lakshmanan, G.M.A., Gomathinayagam, M., & Panneerselvam, R. (2008). “Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 61(2): 298–303.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R & Panneerselvam, R. (2007d). Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in *Catharanthus roseus* is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 60: 201–206.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R & Panneerselvam, R. (2007b). Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*; effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 60, 110–116.
- Kleiber, T & Markiewicz, B. (2013). Application of “Tytanit” in greenhouse tomato growing. *Acta Scientiarum Polonorum Horticulture*. 12:117–126.
- Kuzel, S., Hruby, M., Cigler, P., Tlustos, P & Van, N. (2003). Mechanism of physiological effects of titanium leaf sprays on plants grown on soil. *Biological Trace Element Research*, 91: 179- 190.
- Larue, C., Laurette, Herlin-Boime, J.N. Khodja, H. Fayard, Flank, B.A.M., Brisset, F & Carriere, M. (2012). Accumulation, translocation and impact of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum*): Influence of diameter and crystal phase. *Science of the Total Environment*, 431:197-208.
- Mahmoodzadeh, H. Aghili, R. Nabavi, M. (2013). Physiological effects of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum*). *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(14): 1365–1370.
- Mishra, S., Singh, B.R., Singh, A., Keswani, C., Naqvi, Singh, A.H.H.B. (2014). Biofabricated silver nanoparticles act as a strong fungicide against *Bipolaris sorokiniana* causing spot blotch disease in wheat, *PLoS One*, 9 (5): 1–11.
- Missaoui, T., Smiri, M., Chmingui, H., Hafiane, A. (2017). Effects of nanosized titanium dioxide on the photosynthetic metabolism of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Comptes Rendus Biologies Physiology*. 340(11-12): 499-511.
- Mohammadi, H., Esmalipour, M and Gheranpaye A. (2016). Effects of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and water-deficit stress on morpho-physiological characteristics of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) plants. *Acta agriculturae Slovenica*, 107(2):385-396.
- Nazari, M., MaaliAmiri, R., Mehraban, F.H., & Khaneghah, H.Z. (2012). Change in antioxidant responses against oxidative damage in black chickpea following cold acclimation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59: 183-189.
- Omidi-Tabrizi, A.H. (1998). *Correlation between traits and path analysis for grain and oil yield in spring safflower*, Seed and Plant Improvement Institute. Karaj. Iran. pp. 36-45.
- Ort, D. R. (2001). When there is too much light. *Plant Physiology*. 125, 29-32.
- Pais, I., (1983). The biological importance of titanium. *Journal of Plant Nutrition*, 6: 3-131.
- Percival, G.C, Fraser, G.A, Oxenham, G. (2003). Foliar salt tolerance of *Acer* genotypes using chlorophyll fluorescence. *Arboricultural Journal*, 29: 61-65.
- Sihachakr, D., Daunay, M.C., Serraf, I., Chaput, M.H., Mussio, I., Haricourt, R., Rotino, L and Ducreux, G. (1994). Somatic hybridization of eggplant (*Solanum melongena* L.) with its close & wild relatives.

*Biotechnology in Agriculture and Forestry: Somatic Hybridization in Crop Improvement*. Pp. 255- 278.

- Skupie, K and Oszmianski, J. (2007). Influence of titanium treatment on antioxidants and antioxidant activity of strawberries, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6 (4): 83–94.
- Su, M., Wu, X. Liu, C., Qu, Liu, C.X. Chen, L. Huang, H. & Hong, F. (2007). Promotion of energy transfer & oxygen evolution in spinach photosystem II by nano-anatase TiO<sub>2</sub>. *Biological Trace Element Research*, 119: 183-192.
- Tezera, W., Mitchell, V., Driscoll, S.P., Lawlor, D.W. (2002). Effects of water deficit and its interaction with CO<sub>2</sub> supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1781-1791.
- Dhindsa, R.S. (1987). Glutathione status and protein synthesis during drought and subsequent rehydration in *Tortula ruralis*. *Plant Physiol.*, 83, 816- 819.
- Yamada, M., Hidaka, T., Fukamachi, H. (1996). Heat tolerance in leaves of tropical fruit crops as measured by chlorophyll fluorescence. *Scientia Horticulturae*, 67: 39-48.
- Yang, F., Hong, F., You, W., Liu, C., Gao, F., Wu, C & Yang, P. (2006). Influences of nano-anatase TiO<sub>2</sub> on the nitrogen metabolism of growing spinach, *Biological Trace Element Research*, 110 (2): 179–190.
- Zayneb, C., Bassem, K., Zeineb, K., Grubb, C., Nouredine, D.D., Hafedh, M & Amine, E. (2015). Physiological responses of fenugreek seedlings and plants treated with cadmium, *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 10679– 10689.
- Zhao, C.X, He, M.R, Wang, Z.L., Wang, Y.F, Lin, Q. (2009). Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. *Com. Ren. Biology*, 332: 759-764.
- Zhao, G.Q., Ma, B.L. & Ren, C.Z. (2007). Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Journal Crop Science*, 41: 123-131.
- Zheng L, Su M, Liu Ch, Chen Li, Huang H, Wu X, Liu X, Yang, Gao F & Hong F. (2007). Effects of Nanoanatase TiO<sub>2</sub> on Photosynthesis of Spinach Chloroplasts Under Different Light Illumination. *Biological Trace Element Research*, 119: 68–76.
- Zheng, L., Hong, F., Lu, S., Liu, C., (2005). Effect of nano-TiO<sub>2</sub> on strength of naturally aged seeds and growth of Spinach, *Biological Trace Element Research*, 105: 83-91.