مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۲ شماره ۳ صفحه های ۳۷۱ تا ۳۸۲ (۱۴۰۰)
مقاله پژوهشی

تاثیر کاربرد برگی نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت فرنگی رقم سابرینا در شرایط کم محلول‌دهی[1]

Effect of Foliar Application of Nano-TiO_2 on Some Quantitative and Qualitative Attributes of Strawberry Fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cv. Sabrina under Deficit Fertigation

پریسا صادقی و حمید حسن پور*[2]

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید بر برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه توت‌فرنگی رقم سابرینا، آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. بوته‌های توت‌فرنگی با نانوذره‌ها تیتانیوم دی اکسید (صفر، ۶ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط مقادیر متفاوت محلول غذایی (۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰میلی‌لیتر) محلول‌پاشی گردیدند. در پایان دوره آزمایش، کلروفیل a و b برگ، پی‌اچ آب میوه، اسیدیته کل، مواد جامد محلول، کاروتنوئید، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، وزن، طول و عرض میوه و عملکرد بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه‌ها نشان داد که برهمکنش تیمار کم محلول‌دهی و تیمار استفاده از نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید بر وزن میوه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و کلروفیل a و عملکرد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد، وزن میوه و وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی در تیمار ۱۳۰ میلی‌لیتر محلول غذایی و غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌ها تیتانیوم دی‌اکسید مشاهده گردید. همچنین، در ویژگی‌های طول و عرض میوه، پی‌اچ آب میوه، اسیدیته کل، مواد جامد محلول، کلروفیل b و کاروتنوئید اثرهای اصلی تیمار کم محلول‌دهی و تیمار نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان طول و عرض میوه، پی‌اچ، مواد جامد محلول و کاروتنوئید در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید مشاهده گردید و در فاکتور کم محلول‌دهی نیز بیشترین میزان این صفت‌ها در تیمار شاهد (محلول‌دهی کامل) مشاهده شد. به طور کلی نتیجه‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد توت‌فرنگی رقم سابرینا در شرایط کم‌محلول دهی داشت.

واژه‌های کلیدی: تیتانیوم، میوه توت‌فرنگی، نانو ذره‌ها، عملکرد، هیدروپونیک.

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria× ananassa* Duch از خانواده Rosaceae جزء میوه‌هایی است که به‌دلیل عطر، طعم و ارزش غذایی بالا طرفداران زیادی در سراسر جهان پیدا کرده است. توت‌فرنگی رقم سابرینا روزکوتاه، پرگل، شیرین، دارای ماندگاری و انبارداری بالا، عملکرد زیاد، میوه یکدست، بافت سفت و گوشتی، وزن میوه بالا نسبت به ارقام دیگر، عدم نیاز به زنبور گلخانه‌ای و همچنین، مقاوم به آفاتی چون کنه و بیماری‌های قارچی می‌باشد (۳۳).

مطالعه‌ها نشان داده است که استفاده از انواع کودهای جدید مانند نانوکودها می‌تواند ضمن کاهش میزان مصرف کود به‌دلیل جذب بالاتر آن به علت سطح ویژه زیاد، در جهت رسیدن به عملکرد بالا مفید باشند (۲۷). نانو ذره‌ها مجموعه‌ای از اتم‌ها و مولکول‌های با قطر بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. تیتانیوم (Ti) نهمین عنصر غالب در پوسته زمین است و به عنوان یک عنصر سودمند می‌تواند باعث افزایش

۱- تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۲۹

۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (ha.hassanpour@urmia.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

و تحریک رشد و جذب برخی از عنصرها مانند نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی شده و محصول‌دهی گیاهان را افزایش دهد (۷). همچنین، مشخص شده است که نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید می‌تواند کارایی دستگاه فتوسنتزی را بهبود بخشیده و توانایی گیاه را برای جذب نور خورشید افزایش دهد و بدین وسیله بر تولید و تبدیل انرژی نورانی به الکترون فعال و فعالیت‌های شیمیایی تأثیر گذاشته و باعث افزایش کارایی فتوسنتز در گیاه شود؛ به طوری‌که تاثیر مثبت آن بر فتوسیستم II و غشای تیلاکوئیدی در گیاه اسفناج نیز پیشتر گزارش شده است (۱۲).

در مطالعه سرتیپ و سیروس‌مهر (۲۶) در بررسی اثر نانو ذره‌ها تیتانیوم و سطوح مختلف آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و پارامترهای رشدی گیاه خرفه، به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید با غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش کلروفیل کل، وزن تر و خشک گیاه می‌گردد.

تنش کمبود آب یکی از منابع مهم تنش‌های غیرزنده است، به طوری‌که باعث کاهش رشد و نمو و کاهش عملکرد در طول مراحل رویشی، زایشی و رسیدگی محصول می‌گردد (۲۸). تنش خشکی می‌تواند باعث ایجاد تنش اکسیداتیو شود که این فرایند می‌تواند به کاهش مقدار رنگدانه‌های کلروفیل a و b منجر شده و از این راه منتج به کاهش توانایی فتوسنتز می‌شود. یکی دیگر از عوامل کاهش کلروفیل‌ها، رقابت آنزیم گلوتامین‌کیناز (آنزیم کاتالیز کننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر زیست‌ساخت کلروفیل) در شرایط تنش خشکی می‌باشد که باعث شده تا پیش‌سازگلوتامات، بیشتر به مصرف پرولین برسد و در نتیجه زیست‌ساخت کلروفیل با محدودیت مواجه شود. البته از راه کم‌آبیاری تا حدودی می‌توان این محدودیت‌ها را کاهش داد. کم‌آبیاری یک روش آبیاری است که مقدار کمی تنش به گیاه تحمیل می‌کند، بنابراین کمترین تاثیر را روی کاهش عملکرد خواهد داشت (۹ و ۲۴). همچنین، مطالعه‌های پیشین نشان داده است که محلول‌پاشی نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید باعث افزایش محتوای کلروفیل در گوجه‌فرنگی (۲۲)، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو (ریبولوز ۱و۵ بیس فسفات اکسیژناز) و افزایش فتوسنتز خالص در جلبک آرابیدوپسیس (۳۶) و اسفناج (۱۶) گردیده است. بنابراین، استفاده از این ماده در شرایط تنش خشکی می‌تواند کاهش فتوستز و در نهایت عملکرد را به کمینه برساند.

اگرچه پژوهش‌های پیشین، پتانسیل نانوذره‌ها تیتانیوم دی‌اکسید در بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان را تایید کرده است (۴)، اما اثر این نانو ذره‌ها در بهبود ویژگی‌ها و عملکرد گیاهان در شرایط تنش کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید بر ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم سابرینا در شرایط تنش کم محلول‌دهی طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مکان و شیوه انجام آزمایش

پژوهش حاضر در گلخانه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه انجام شد. ابتدا سیستم کشت هیدروپونیک طراحی و تنظیم گردید و سپس نشاهای توت‌فرنگی رقم سابرینا پس از رفع نیاز سرمایی در کیسه‌های کشت حاوی ۵۰ درصد کوکوپیت، ۲۵ درصد پیت‌ماس و ۲۵ درصد پرلیت در سه ردیف حاوی ۲۷ بوته کشت گردید و به صورت یکنواخت هرس برگ شدند. هفته اول جهت استقرار بوته‌ها از آب، هفته دوم تا هفته ششم جهت رشد رویشی از محلول غذایی مخصوص این دوره (محلول هوگلند نیم‌غلظت) و از هفته هفتم تا پایان دوره برداشت بسته به مراحل گلدهی تا باردهی از محلول غذایی هوگلند تغییر یافته (جدول ۱) استفاده گردید. با محاسبه میزان خروجی محلول از هر نازل و میزان نیاز هر بوته، زمان مورد نیاز برای محلول‌دهی محاسبه شده و این زمان به ۵ بار در روز تقسیم و به صورت خودکار به پای هر بوته پمپ شد (۱۱). جهت اعمال تنش کم محلول‌دهی، ردیف اول (بدون تنش) با محلول‌دهی ۵ بار در روز، ردیف دوم محلول‌دهی ۴ بار در روز و ردیف سوم محلول‌دهی ۳ بار در روز استفاده شد (۳۱). محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید بعد از هرس گل‌های اولیه، از هفته چهاردهم تا هجدهم، هر هفته یکبار (۵ بار) انجام گرفت. نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شد و تیمار محلول غذایی نیز در سه سطح (۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ (شاهد) میلی‌لیتر) به صورت روزانه انجام گرفت. سپس میوه‌هایی که بیش از ۷۰ درصد رنگ گرفته بودند، برداشت شده و شاخص‌های مختلف کمی و کیفی در آن‌ها اندازه‌گیری شدند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

نانو ذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید مورد استفاده در این آزمایش از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان (مشهد- ایران) تهیه شد. نانو ذره‌ها به شکل کریستالی با اندازه ۲۰ نانومتر بود. رنگ نانو ذره‌ها سفید و به لحاظ مورفولوژی کروی شکل بوده و مساحت سطح ویژه آن $m^2 g^{-1}$ ۴۵-۱۰ و محلول در آب بوده و درصد خلوص این نانو ذره ۹۹ درصد بود.

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی مورد استفاده برای کودآبیاری گیاهان توت فرنگی.
Table 1. Composition of nutrient solution used to fertigate strawberry plants.

	غلظت عنصرهای غذایی Concentration of nutrients (mg L^{-1})											
	منگنز (Mn)	روی (Zn)	مولیبدن (Mo)	آهن (Fe)	منیزیم (Mg)	مس (Cu)	بور (B)	کلسیم (Ca)	گوگرد (S)	نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)
رویشی (Vegetative)	0.11	0.13	0.05	3	34	0.03	0.67	110	32	150	86	325
گلدهی (Flowering)	0.11	0.10	0.03	3	29	0.03	0.67	130	30	110	80	340

پارامترهای مورد بررسی

در طول آزمایش، وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتالی، طول و عرض میوه توسط کولیس، پی‌اچ میوه با دستگاه پی‌اچ‌سنج، اسیدهای قابل تیتراسیون با روش تیتراسیون و مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه قندسنج اندازه‌گیری شد. کلروفیل a، b و کاروتنوئید نیز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر Dynamica (HALODB-20) و روش Wellburn & Lichtenthaler (۱۷) ارزیابی شدند و برای محاسبه کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید از فرمول‌های زیر استفاده شد:

Chl a = 11.75 A662 – 2.350 A645
Chl b = 18.61 A645 – 3.960 A662
Car =1000 A470 – 2.270 Chl a- 81.4 Chl b /227

همچنین به منظور اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی و ریشه، (در مرحله آخر بعد از برداشت میوها) بوته‌ها به طور کامل از بستر خارج شده و ریشه‌ها با آب شسته شده و سپس در معرض هوا قرار داده شدند تا رطوبت آن‌ها از بین برود. سپس، قسمت‌های هوایی را از ریشه‌ها جدا کرده و با ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه‌ها و قسمت‌های هوایی به طور جداگانه در پاکت قرار گرفتند و سپس به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند و در نهایت با ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند.

واکاوی داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی انجام گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1 انجام شد و میانگین‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردیدند.

نتایج

طول و عرض میوه

نتیجه‌های جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تیمارهای کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر طول و عرض میوه معنی‌دار نبود، ولی اثر اصلی تیمار کم محلول‌دهی و تیمار با غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر میزان طول و عرض میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. براساس نتیجه‌های مقایسه میانگین، در تیمار نانو ذره‌ها، بیشترین (۴/۷۴ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۳۱ سانتی‌متر) میزان طول میوه به ترتیب در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره و تیمار شاهد به دست آمد (شکل ۱- الف). همچنین، در تیمار کم محلول‌دهی، بیشترین (۴/۶۷ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۲۱ سانتی‌متر) میزان طول

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

میوه به ترتیب در تیمار شاهد و محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر مشاهده شد (شکل ۱- ب). در مورد عرض میوه نیز با افزایش غلظت نانو ذره‌ها و همچنین با افزایش محلول‌دهی میزان عرض میوه افزایش پیدا کرد (شکل ۲- الف و ب). براساس پژوهش‌های پیشین، کم محلول‌دهی سبب کاهش اندازه میوه می‌شود (۲۹). همچنین نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید با افزایش قدرت سیستم ریشه‌ای گیاه در جذب آب و مواد غذایی و تشکیل اسیدآمینه‌های ضروری، سبب افزایش طول و عرض میوه می‌شود (۱۶). در پژوهشی Alcaraz و همکاران (۲) با محلول‌پاشی تیتانیوم روی هلو گزارش کردند که تیتانیوم با افزایش فعالیت آهن در کلروپلاست برگ و کروموپلاست میوه و افزایش جذب مواد غذایی، سبب افزایش طول و عرض میوه می‌شود که نتیجه‌های مطالعه حاضر نیز با این پژوهش همخوانی دارد.

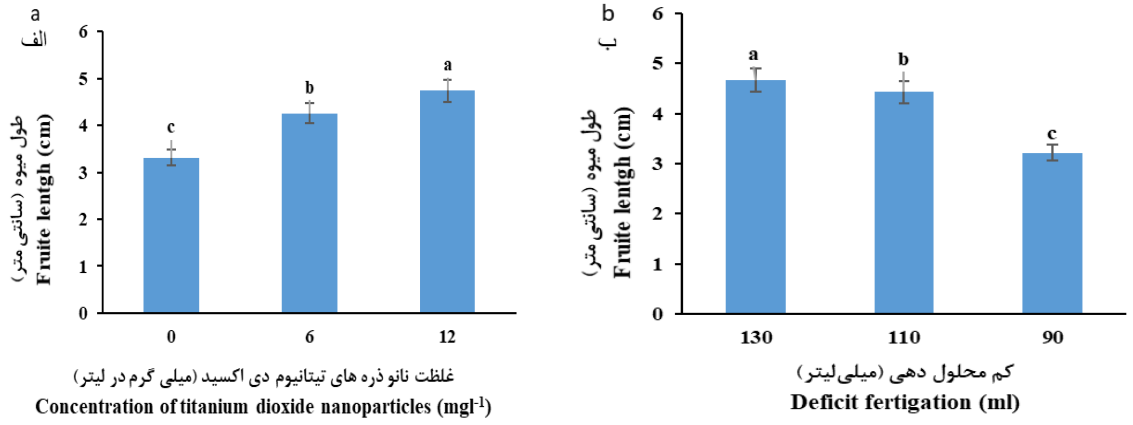

Fig. 1. Main effects of titanium dioxide nanoparticles (a) and deficit fertigation (b) on fruit length of strawberry cv. Sabrina.

شکل ۱- اثرهای اصلی نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید (الف) و کم محلول‌دهی (ب) بر طول میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

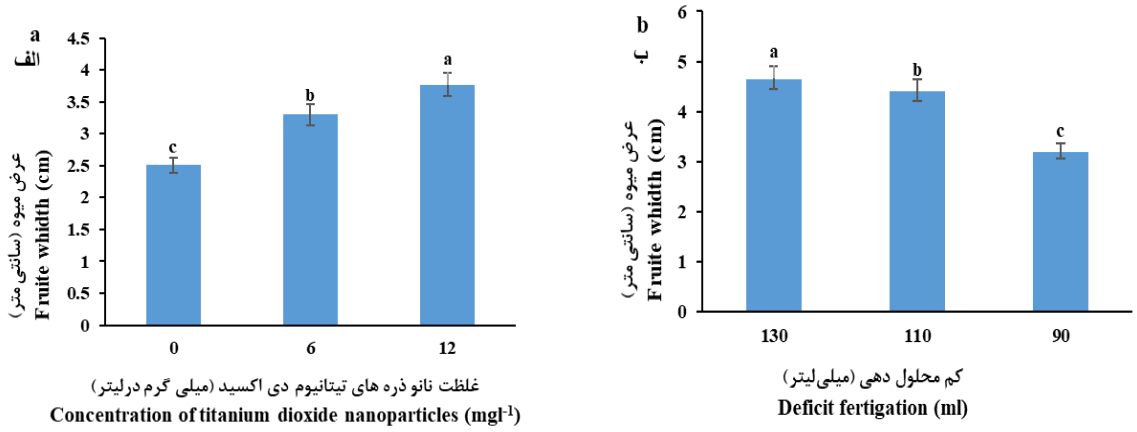

Fig. 2. Mean comparison simple effect of Titanium dioxide nanoparticles (a) and deficit fertigation (b) on fruit width of strawberry cv. Sabrina.

شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ساده نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید (الف) و کم محلول‌دهی (ب) بر عرض میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

وزن میوه

اثر برهمکنش تیمارهای کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید در سطح احتمال یک درصد بر وزن میوه معنی‌دار بود. داده‌های مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن میوه (۵۲/۲۱ گرم) در تیمار شاهد (محلول‌دهی کامل) و غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بود. در مقابل کمترین وزن میوه (۱۰/۶۲ گرم) در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و غلظت صفر نانو ذره‌ها مشاهده گردید. با توجه به این نتیجه‌ها، می‌توان بیان کرد که با افزایش میزان کم محلول‌دهی از وزن میوه‌ها کاسته شده، اما با افزایش غلظت نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید وزن میوه‌ها بیشتر شده است (شکل ۳). در مطالعه‌ای برزگر و همکاران (۵) گزارش نمودند که تنش خشکی باعث کاهش وزن میوه و عملکرد گیاه خربزه شد. همچنین در مطالعه دیگر (۱۰) مشاهده شد که تنش

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

خشکی باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی و میوه گوجه‌فرنگی شده است که در مطالعه حاضر نیز نتیجه‌های مشابهی مشاهده شد. فتوسنتز فرایند فیزیولوژیک غالب در گیاهان می‌باشد و چون رشد و عملکرد گیاه مقیاسی از میزان فتوسنتز است، پس تنش‌های محیطی افزون بر مقدار فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاهان را نیز کاهش می‌دهند (۸). کاهش وزن میوه به احتمال زیاد به دلیل کاهش رشد گیاه و فتوسنتز همراه با پیری برگ‌ها در اثر تنش به گیاه است. همچنین، تنش آبی با کاهش جذب نیتروژن و استفاده آن توسط گیاه، مانع بزرگ شدن یاخته‌ها شده و سطح برگ و فتوسنتز را کاهش می‌دهد (۲۵). در حالیکه استفاده از نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید باعث افزایش جذب آب و عنصرهای معدنی توسط ریشه می‌شود (۳۴). بنابراین، با افزایش جذب آب توسط گیاه آب بیشتری وارد میوه می‌شود و چون وزن میوه تابعی از میزان آب موجود در آن است، بنابراین با افزایش جریان آب به سمت میوه، اندازه و وزن آن بالا خواهد رفت.

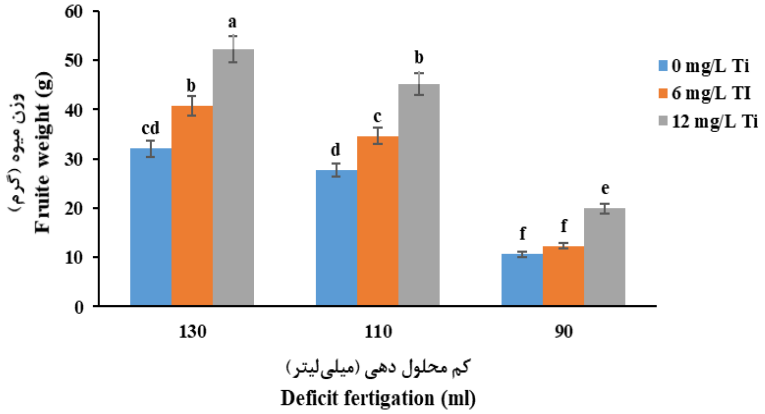

Fig. 3. Interaction effect of titanium dioxide nanoparticles and deficit fertigation on fruit weight of strawberry cv. Sabrina.

شکل ۳- اثر برهمکنش نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید و کم محلول‌دهی بر وزن میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی

با توجه به نتیجه‌های جدول تجزیه واریانس، برهمکنش تیمارهای کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر وزن تر ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. براساس مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان وزن تر (۲۱/۰۷ گرم) و خشک (۷/۶۹ گرم) ریشه در تیمار شاهد (محلول‌دهی کامل) و غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید مشاهده گردید. در مقابل کمترین میزان وزن تر (۱۴/۰۸ گرم) و خشک (۴/۰۷ گرم) ریشه در تیمار کم محلول‌دهی (۹۰ میلی‌لیتر) و تیمار شاهد محلول‌پاشی نانو ذره‌ها (صفر میلی‌گرم در لیتر) به دست آمد (شکل ۴- الف و ب). در مورد وزن تر و خشک اندام هوایی، مشابه نتیجه‌های مربوط به وزن تر و خشک ریشه، بیشترین میزان وزن تر (۷۶/۷۶ گرم) و خشک (۵۶/۸۱ گرم) در تیمار شاهد و محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید به دست آمد. کمترین میزان وزن تر (۳۱/۳۵ گرم) و خشک (۱۱/۳۲ گرم) اندام هوایی نیز در تیمار کم محلول‌دهی (۹۰میلی‌لیتر) و تیمار شاهد نانو ذره‌ها (غلظت صفر میلی‌گرم در لیتر) مشاهده گردید (شکل ۴- ث و د). مطالعه‌های پیشین نشان داده است که در شرایط کمبود آب، میزان جذب مواد غذایی کاهش یافته و ظرفیت فتوسنتز کل و رشد گیاه تحلیل می‌یابد و سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه می‌شود (۱۵). استفاده از نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید به دلیل افزایش توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی شده که این موضوع با نتیجه‌های Zheng و همکاران (۳۵) روی اسفناج همخوانی دارد. همچنین، سرتیپ و سیروس‌مهر (۲۶) نیز در بررسی اثر نانو ذره‌های تیتانیوم و سطوح مختلف آبیاری در گیاه خرفه به این نتیجه رسیدند که نانو ذره‌های تیتانیوم سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه و ساقه می‌شوند که نتیجه‌های پژوهش حاضر نیز با این مطالعه در یک راستاست.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

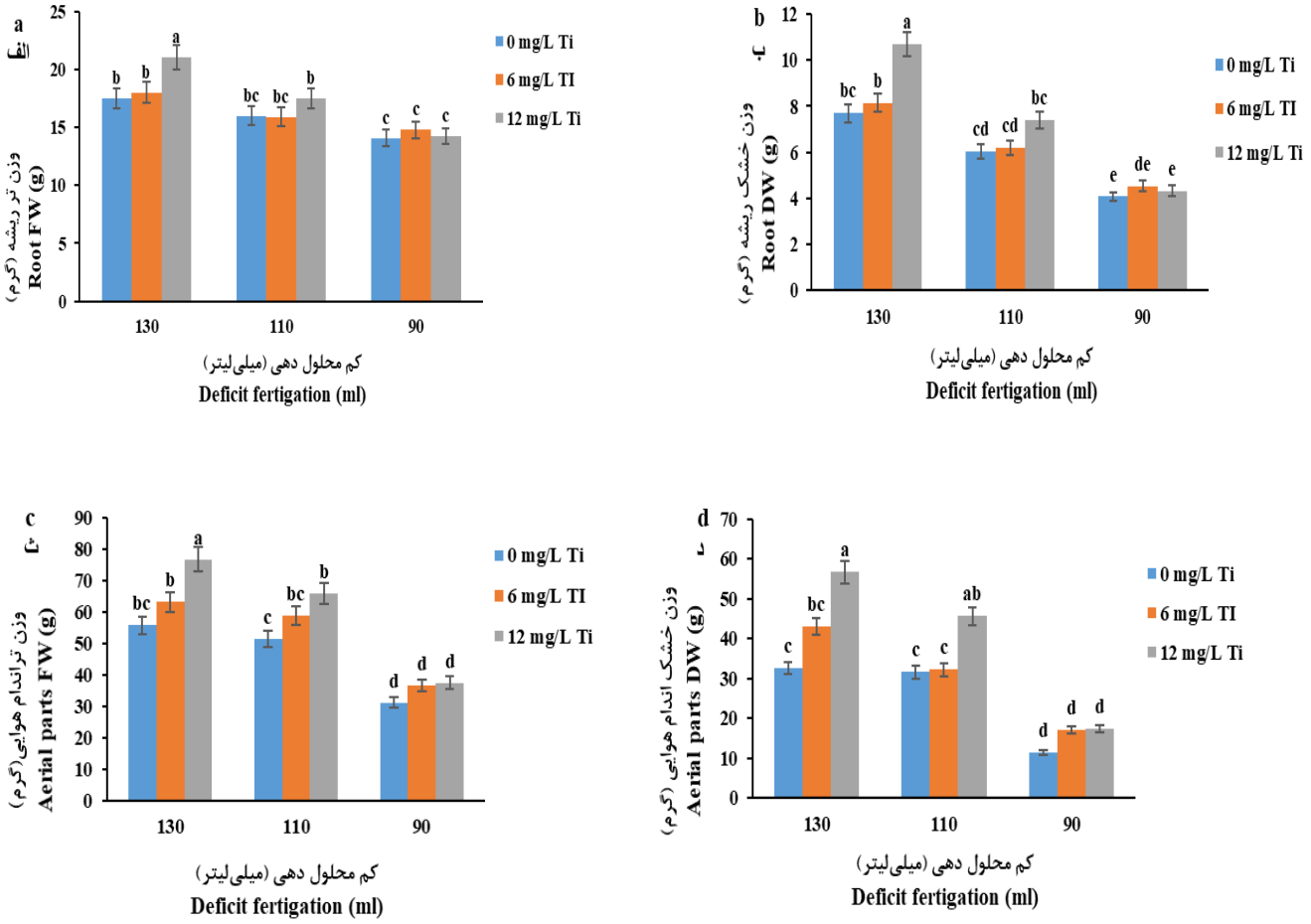

Fig. 4. Mean comparison interaction effect of Titanium dioxide nanoparticles and deficit fertigation on fruit, root fresh weight (a), root dry weight (b), aerial parts fresh weight (c) and aerial parts dry weight (d) of strawberry cv. Sabrina.

شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید و کم محلول‌دهی بر وزن تر ریشه (الف)، وزن خشک ریشه (ب)، وزن تر اندام هوایی (ث) و وزن خشک اندام هوایی (د) توت فرنگی رقم سابرینا.

pH و TA

نتیجه‌های جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تیمارهای کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر میزان TA و pH میوه توت‌فرنگی اثر معنی‌داری نداشت؛ اما اثر ساده این دو فاکتور در سطح احتمال یک درصد بر میزان TA معنی‌دار بود. در مورد pH نیز اثر ساده کم محلول‌دهی در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده نانو ذره‌ها تیتانیوم دی اکسید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. براساس نتیجه‌های مقایسه میانگین، در تیمار با نانو ذره‌ها، بیشترین (۰/۵۳ درصد) و کمترین (۰/۴۳ درصد) میزان TA به ترتیب در تیمار شاهد و غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانوذره به دست آمد (شکل ۵- الف). همچنین در تیمار کم محلول‌دهی، بیشترین (۰/۵۹ درصد) و کمترین (۰/۳۶ درصد) میزان TA به ترتیب در تیمار شاهد و محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۵- ب). در مورد pH نیز با افزایش غلظت نانو ذره‌ها میزان pH بیشتر شد به‌طوری‌که در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بیشینه این میزان (۳/۳۴) به دست آمد. همچنین، با افزایش میزان کم محلول‌دهی pH افزایش یافت که در کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر بیشترین pH (۳/۳۴) به ثبت رسید (شکل ۶- الف و ب). تنش خشکی سبب کاهش میزان TA و افزایش میزان pH در میوه گردید. دلیل این مطلب را شاید به انباشت قندها در اثر کاهش آب گیاه و حفظ فشار اسمزی برای مقابله با سطوح پایین تنش خشکی نسبت داد. اسید آلی در میوه به عنوان یک منبع انرژی بوده که در زمان رسیدن با افزایش میزان سوخت‌وساز مصرف شده و کاهش می‌یابد (۲۳). از نتیجه‌های مطالعه حاضر می‌توان استنباط کرد که بین اسیدیته (TA) و مواد جامد محلول رابطه منفی وجود دارد که این رابطه ناشی از افزایش قند و کاهش اسیدیته با اعمال نانو ذره‌های تیتانیوم می‌باشد. در بررسی تاثیر نانو ذره‌های دی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

اکسید تیتانیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک توت فرنگی رقم کوئین‌الیزا، کاربرد نانو ذره‌ها سبب افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون و کاهش میزان pH میوه گردید (۱۳) که نتیجه‌های پژوهش حاضر نیز با این یافته‌ها همسو است.

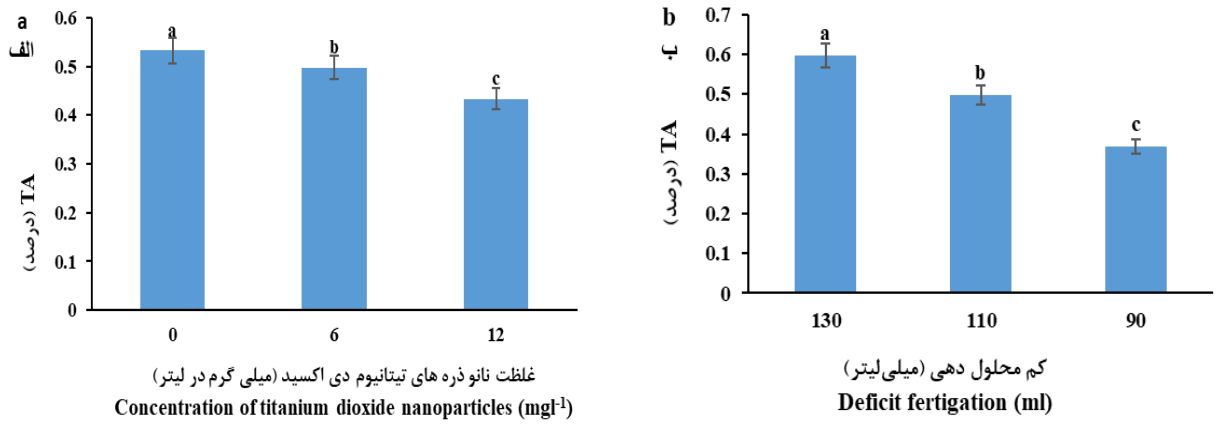

Fig. 5. Mean comparison simple effect of Titanium dioxide nanoparticles (a) and deficit fertigation (b) on TA content of strawberry cv. Sabrina.

شکل ۵- مقایسه میانگین اثر ساده نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید (الف) و کم محلول‌دهی (ب) بر میزان TA میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

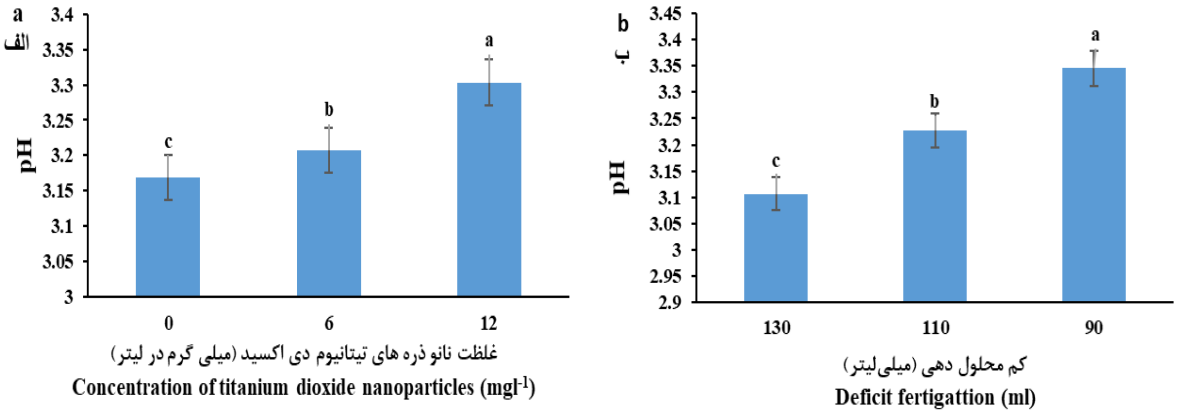

Fig. 6. Mean comparison simple effect of Titanium dioxide nanoparticles (a) and deficit fertigation (b) on fruit pH of strawberry cv. Sabrina.

کل۶- مقایسه میانگین اثر ساده نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید (الف) و کم محلول‌دهی (ب) بر میزان pH میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

TSS

برهمکنش تیمارهای کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر میزان TSS میوه توت‌فرنگی معنی‌دار نبود، اما اثر ساده این دو فاکتور به تنهایی در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری بر میزان TSS داشتند. با توجه به نتیجه‌های مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان TSS (۹/۳۵ درصد) در استفاده از نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان (۶/۲۳ درصد) در تیمار شاهد مشاهده گردید. در تیمار کم محلول‌دهی نیز بیشترین میزان TSS (۹/۰۲ درصد) در کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و کمترین میزان (۷/۳۸ درصد) در تیمار شاهد به دست آمد (شکل ۷- الف و ب). در هنگام رسیدن میوه، کربوهیدرات‌های پلیمری به ویژه قندهای دیواره یاخته‌ای شکسته شده و موجب تغییر مزه و بافت محصول می‌شوند. به همین دلیل میزان مواد جامد محلول با رسیدن میوه افزایش می‌یابد (۲۳). در تنش خشکی نیز به دلیل افزایش نسبت کربوهیدرات‌ها به میوه و کاهش مقدار آب میوه‌ها، مواد جامد محلول افزایش می‌یابد (۱۰). در مطالعه Jie و همکاران (۱۴) روی ۵ رقم توت‌فرنگی، گزارش شد که تنش خشکی سبب افزایش کربوهیدرات‌های میوه می‌شود. همچنین، نتیجه‌های مطالعه‌های پیشین نشان دادند که نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

سبب افزایش میزان مواد جامد محلول شدند. افزایش مواد جامد محلول می‌تواند یا ناشی از هیدرولیز ساکارز و تولید گلوکز و فروکتوز و یا آبگیری میوه باشد (۳). بنابراین، با توجه به روند افزایش وزن تر میوه در طول تیمار شاید بتوان استنباط کرد که افزایش TSS از هیدرولیز ساکارز بوده است.

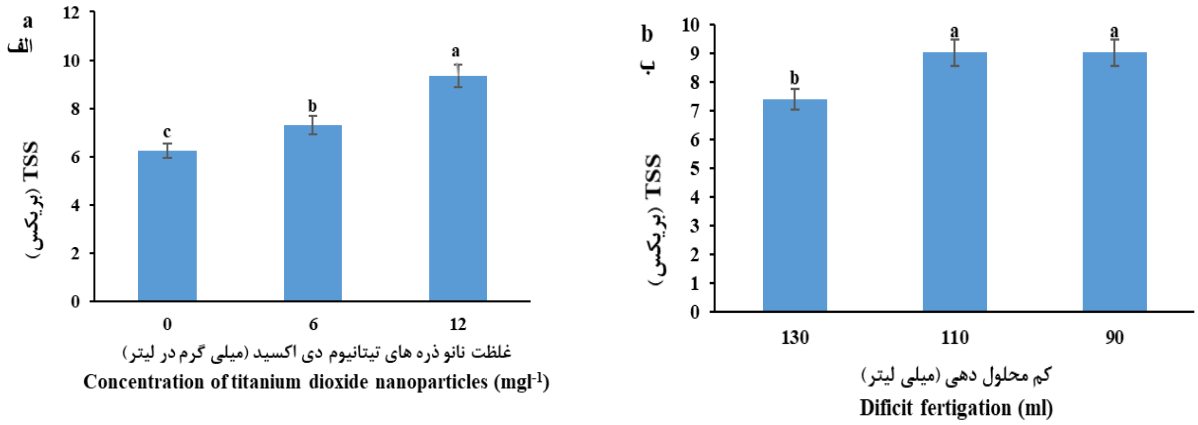

Fig. 7. Mean comparison simple effect of Titanium dioxide nanoparticles (a) and deficit fertigation (b) on fruit TSS of strawberry cv. Sabrina.

شکل۷- مقایسه میانگین اثر ساده نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید (الف) و کم محلول‌دهی (ب) بر میزان TSS میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

کلروفیل a و b و کاروتنوئید

نتیجه‌های تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تیمار کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اما در مورد میزان کلروفیل b و کاروتنوئید اثر معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین، بر اساس نتیجه‌های به دست آمده، اثر ساده کم محلول‌دهی بر میزان کلروفیل b و اثرهای ساده کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر میزان کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. براساس مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان کلروفیل a (۳/۱۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار شاهد کم محلول‌دهی و غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌ها و کمترین میزان کلروفیل a (۲/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار ۹۰ میلی‌لیتر کم محلول‌دهی و غلظت صفر نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید مشاهده گردید (شکل ۸- الف). در مورد کلروفیل b، با افزایش میزان کم محلول‌دهی از مقدار آن کاسته شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل b (۲/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار شاهد و کمترین میزان (۱/۵۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر مشاهده گردید (شکل ۸- ب).

بیشترین میزان کاروتنوئید (۱/۷۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در استفاده از نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان (۱/۲۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار شاهد مشاهده گردید. در تیمار کم محلول‌دهی نیز بیشترین میزان کاروتنوئید (۱/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار شاهد و کمترین میزان (۰/۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۹- الف و ب).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

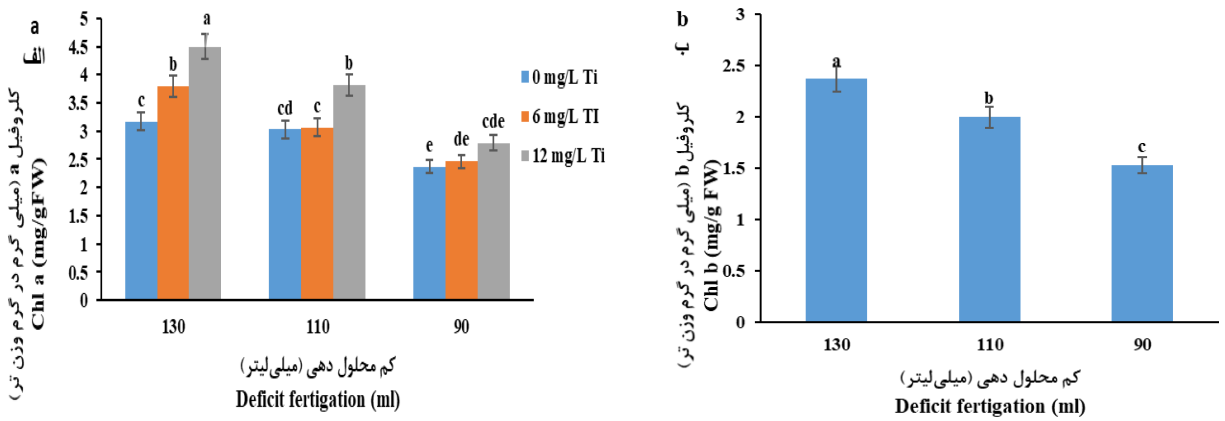

Fig. 8. Mean comparison interaction effect of Titanium dioxide nanoparticles and deficit fertigation on chl a (a) and simple effect of deficit fertigation on chl b (b) of strawberry cv. Sabrina.

شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید و کم محلول‌دهی بر میزان کلروفیل a (الف) و اثر ساده کم محلول‌دهی بر میزان کلروفیل b (ب) توت‌فرنگی رقم سابرینا.

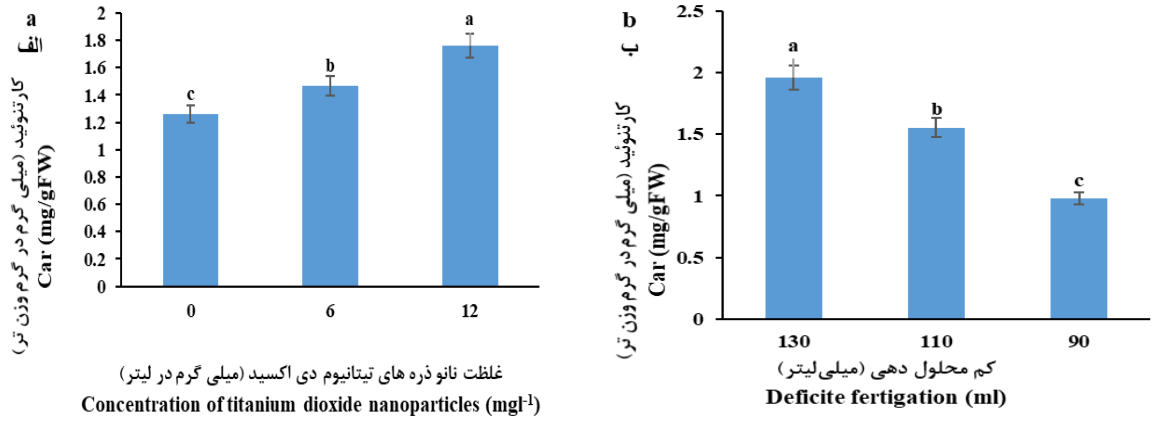

Fig. 9. Mean comparison simple effect of Titanium dioxide nanoparticles (a) and deficit fertigation (b) on carotenoid content of strawberry cv. Sabrina.

شکل ۹- مقایسه میانگین اثر ساده نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید (الف) و کم محلول‌دهی (ب) بر میزان کاروتنوئید میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

مطالعه‌های پیشین نشان داده است که تنش خشکی مانع از فتوسنتز گیاهان شده و سبب تغییر در میزان کلروفیل، صدمه به دستگاه فتوسنتزی و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین می‌شود (۱). کاهش کلروفیل گیاه در نتیجه تخریب کلروفیل به واسطه محدودیت شدید آبی بوده که به کاهش فتوسنتز خالص منجر می‌شود؛ در حالی‌که نانو ذره‌های تیتانیوم با افزایش جذب موادی مانند نیتروژن و منیزیم، میزان تشکیل کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های کلیدی را بالا برده، در نتیجه سبب افزایش سطح برگ و در نهایت فتوسنتز می‌شود (۳۵). همچنین، در مطالعه Zheng و همکاران (۳۵) روی گیاه خرفه، استفاده از تیمار نانو تیتانیوم دی اکسید سبب افزایش ۳ برابری فتوسنتز شد و کلروفیل a نیز به میزان ۴۵ درصد افزایش یافت که نتیجه‌های پژوهش حاضر با این مطالعه همخوانی دارد. در مطالعه Neto و همکاران (۲۱) تغییرهای متابولیکی را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. این پژوهشگران گزارش کردند که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش ساخت کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود. همچنین، کاهش محتوای کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در نیشکر (۲۹) گزارش شده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که نانو تیتانیوم دی اکسید سبب افزایش میزان کاروتنوئیدها می‌گردد. این ذره‌ها به دلیل کوچک بودن و امکان نفوذ بالا، سبب جذب بهتر منیزیم، آهن و گوگرد شده و جذب نور را افزایش داده و تشکیل رنگدانه‌ها را تسهیل می‌نمایند (۱۹).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

در بررسی تاثیر نانو تیتانیوم دی‌اکسید بر متابولسم فتوسنتزی گیاه شنبلیله، استفاده از این نانو ذره‌ها سبب افزایش ۳۵ درصدی کاروتنوئیدها نسبت به گیاهان شاهد شد (۲۰) که نتیجه‌های پژوهش حاضر نیز با نتیجه‌های این مطالعه همخوانی دارد.

عملکرد بوته

نتیجه‌های تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش کم محلول‌دهی و غلظت‌های مختلف نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید بر میزان عملکرد بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود و بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان عملکرد (۵۲۷/۲۴ گرم) در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید و محلول‌دهی کامل و کمترین میزان (۱۰۳/۶۱ گرم) در تیمار ۹۰ میلی‌لیتر کم محلول‌دهی و غلظت صفر نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید مشاهده گردید (شکل ۱۰). در شرایط تنش به علت کاهش سطح برگ، محتوای هیدرات‌کربن برگ کاهش یافته و به دنبال آن فتوسنتز نیز محدود می‌گردد که می‌تواند عاملی برای کاهش عملکرد در گیاه گردد. هر گیاهی جهت تولید میوه بیشتر و رشد بهتر و دستیابی به عملکرد بالا به رشد رویشی مناسب و ذخایر غذایی کافی نیازمند است که این امر با جذب بهینه آب و مواد غذایی ممکن خواهد بود (۳۲). نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید با افزایش توانایی گیاه در جذب آب، قدرت سیستم ریشه را در جذب آب و مواد غذایی بالا برده و تشکیل اسیدهای آمینه ضروری را افزایش می‌دهد (۱۸). همچنین، نانو ذره‌های تیتانیوم میزان تشکیل کلروفیل را افزایش داده و به این ترتیب سبب افزایش فتوسنتز و عملکرد می‌شود (۳۵). در بررسی اثر محلولپاشی برگی دی اکسید تیتانیوم بر رشد، عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی در حین کشت، استفاده از تیتانیوم دی اکسید سبب افزایش کیفیت شده و عملکرد میوه توت‌فرنگی را ۲۰ درصد افزایش داد (۶) که نتیجه‌های پژوهش حاضر با نتیجه‌های این مطالعه همخوانی دارد.

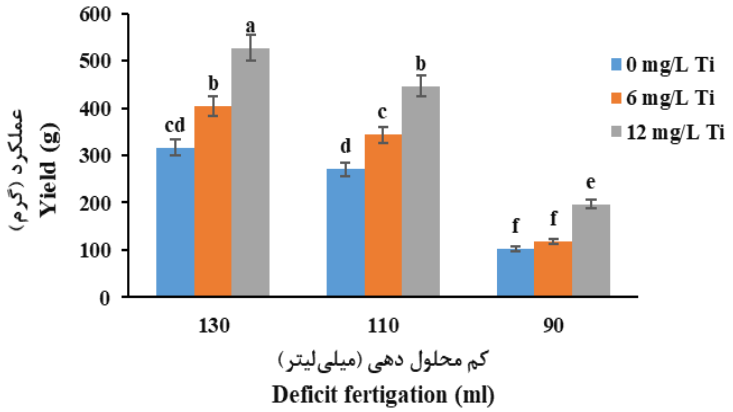

Fig. 10. Mean comparison interaction effect of Titanium dioxide nanoparticles and deficit fertigation on yield of strawberry cv. Sabrina.

شکل۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید و کم محلول‌دهی بر عملکرد (۲۷ بوته در ۶ هفته) میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا.

نتیجه گیری

تنش کم محلول‌دهی باعث کاهش ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی شد. استفاده از غلظت‌های مختلف نانو تیتانیوم دی اکسید سبب بهبود این ویژگی‌ها گردید، به‌طوری‌که بیشترین تاثیر مربوط به غلظت ۱۲ میلی گرم در لیتر بود. این غلظت عملکرد محصول را بیش از ۱/۵ برابر نسبت به نمونه شاهد در محلول‌دهی کامل و رژیم کم محلول‌دهی افزایش داد. سایر ویژگی‌های مورد مطالعه نیز به طور چشمگیری افزایش داشتند. همچنین، این نانو ذره‌ها با کاهش میزان پی‌اچ و افزایش مواد جامد محلول سبب بهبود طعم و مزه میوه شدند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که برای افزایش عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت فرنگی و همچنین صرفه‌جویی در مصرف محلول غذایی می‌توان از نانو ذره‌های تیتانیوم دی اکسید در شرایط کم محلول‌دهی با غلظت مناسب استفاده نمود.

منابع

References

1. Abass, S. M. and H.I. Mohamed. 2011. Alleviation of adverse effects of drought stress on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by exogenous application of hydrogen peroxide. Bangladesh J. Bot. 40(1): 75-83.
2. Alcaraz-López, C., M. Botía, C.F. Alcaraz, & F. Riquelme. 2004. Effect of foliar sprays containing calcium, magnesium and titanium on peach (*Prunus persica* L.) fruit quality. J. Sci. Food Agr. 84(9): 949-954.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

3. Arena, M. E. N.S. and Curvetto. 2008. Berberis buxifolia fruiting: Kinetic growth behavior and evolution of chemical properties during the fruiting period and different growing seasons. Sci. Hort. 118: 120- 127.
4. Berahmand, A. A., A.H. Ghafarian Panahi, H. Sahabi, P. Feizi, P. Rezvani Moghaddam, N. Shahtahmassebi, A. Fotovat, H. Karimpour O. Gallehgir. 2012. Effects of silver nanoparticles and magnetic field on growth of fodder maize (*Zea mays* L.), Biol. Trace Elem. Res. 149:419 – 424.
5. Barzegar, Z., M. Mobli, A. Khoshgoftarmanesh, and J. Abedi. 2013. The effect of different planting media on the growth and development of greenhouse bell pepper. 8th Iranian Congress of Horticultural Sciences. 7-4 September (In Persian).
6. Choi, H. G., B.Y. Moon, K. Bekhzod, K.S. Park, J.K. Kwon, J. H. Lee. & N.J. Kang. 2015. Effects of foliar fertilization containing titanium dioxide on growth, yield and quality of strawberries during cultivation. Hort. Environ. Biotechnol. 56(5): 575-581.
7. Feizi, H., P.R. Moghaddam, N. Shahtahmassebi, & A. Fotovat. 2012. Impact of bulk and nanosized titanium dioxide (TiO 2) on wheat seed germination and seedling growth. Biol. Trace Elem. Res.146(1): 101-106.
8. Garcia-sanchez, F., J.P. Syvertsen, V. Martinez, and J.C. Melgar. 2006. Salinity tolerance of Valencia orange trees on rootstocks with contrasting salt tolerance is not improved by moderate shade. J. Exp. Bot. 121:1-10.
9. Giné-Bordonaba, J., & L.A. Terry. 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (Fragaria x ananassa) fruit and leaves. Sci. Hort. 199: 63-70
10. Haghighi, M. 2010. The Effect of Partial Root Zone Drying on Water Relations, Growth, Yield and Some Qualitative Attributes of Tomato. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 1(2): 9-18.
11. Hooshmand, M., M. Albaji, & N.A. zadeh Ansari. 2019. The effect of deficit irrigation on yield and yield components of greenhouse tomato (Solanum lycopersicum) in hydroponic culture in Ahvaz region, Iran. Sci. Hort. 254: 84-90
12. Hong, F., P. Yang, F. Gao, C. Liu, L. Zheng, F. and F. Yang. F. 2005. Effect of nano-anatase TiO2 on spectral characterization of photosystem particles from spinach. Chem. Res. China Univ. 21: 196–200.
13. Hashemi, D. E., M. Mousavi, N. Moallemi, & M.M.H. Ghafariyan. 2016. Effect of Nanoparticles of Titanium Dioxide (Anatas) on Physiological Characteristics of Strawberry (*Fragaria Ananassa* CV Queen Elisa) in Hydroponic Condition.
14. Jie, Z., Y. Yuncong, J.H. Streeter, and D.C. Ferree. 2010. Influence of soil drought stress on photosynthesis, carbohydrates and the nitrogen and phophorus absorb in different section of leaves and stem of Fugi/M.9EML, a young apple seedling. Afr. J. Biotechnol. 9(33): 5320-5325**.**
15. Lebon, E., A. Pellegrino, and G. Louarn. 2006. Branch development controls leaf area dynamics ingrapevine (*Vitis vinifera* L.) growing in drying soil. Ann. Bot. 98(1):175-185.
16. Lei, Z., S. Mingyu, L. Chao, C. Liang, H. Hao, and W. Xiao. 2007. Effects of Nanoanatase TiO2 on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. Biol. Trace. Elem. Res. 119, 68–76. doi: 10.1007/s12011-007-0047-3.
17. Lichtenthaler, H.K. and A.R. Wellburn. 1985. Determination of total cartenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biochem Soc. Trans. 11: 591-592.
18. Mingyu, S., W. Xiao, L. Chao, Q. Chunxiang, L. Xiaoqing, C. Liang, & H. Fashui. 2007. Promotion of energy transfer and oxygen evolution in spinach photosystem II by nano-anatase TiO 2. Biol. Trace. Elem. Res. 119(2): 183-192.
19. Mahmoodzadeh, H., R. Aghili, & M. Nabavi. 2013. Physiological effects of TiO2 nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum*). J. Eng. Appl. Sci. 3(14): 1365-1370.
20. Missaoui, T., M. Smiri, H. Chmingui, & A. Hafiane. 2017. Effects of nanosized titanium dioxide on the photosynthetic metabolism of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). C. R. Biol. 340(11-12): 499-511.
21. Oliviera-Neto, C. F., A.K. Silva-Lobato, M.C. Goncalves-Vidigal, R. C.L. Costa, Santos.Filho, G.A.R. Alves, W.J.M. Silva-Maia, F.J.R. Cruz, H.J.B. Neres, and M.J. Santos Lopes. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Sci. Technol. Stud. 7: 588-593.
22. Raliya, R., Biswas, P., and Tarafdar, J. C. 2015. TiO_2 nanoparticle biosynthesis and its physiological effect on mung bean (*Vigna radiata* L.). Biotechnol. Rep. 5, 22–26. doi: 10.1016/j.btre.2014.10.009
23. Rahimi, M. (2005). Post-harvest physiology of fruits and vegetables. Shiraz Publications. 368 pages (In Persian).
24. Rafiipour, M., M. Gholami, H. and H. Sari Khani. 2016. The effect of dehydration stress and some nutrients on quantitative and qualitative characteristics of Camarosa strawberry cultivar, PhD thesis, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, 145 p (In Persian).
25. Sarker, B. C., M. Hara, and M. Uemura. 2004. Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. Sci. Hort. 103:387-402.
26. Sartip, H., and A. Sirousmehr. 2017. 'Effect of titanium nano particles and different irrigation levels on photosynthetic pigments, proline, soluble carbohydrates and growth parameters of Purslane', J. Plant Physiol. 9(28), pp. 79-90 (In Persian).
27. Scrinis, G., and K. Lyons. 2007. The emerging nano-corporate paradigm: nanotechnology and the transformation of nature, food and agri-food systems. Int. J. Soc. Food. Agr. 15(2):22-44.
28. Showemimo, F.A and J. D. Olarewaju. 2007. Drought tolerance indices in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Inter. Plant Bree. Gene. 1: 29-33.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

29. Silva, M. A., J.L. Jifon, J. A.G. Silva, and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Braz. J. Plant Physiol. 19: 193-201.
30. Sensoy, S., A. Ertek, I. Gedik, & C. Kucukyumuk. 2007. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field-grown melon (*Cucumis melo* L.). Agr. Water Manag. 88(1-3): 269-274.
31. Terry, L. A., G.A. Chope, J.G. & Bordonaba. 2008. Effect of water deficit irrigation on strawberry (Fragaria× ananassa) fruit quality. In VI International Strawberry Symposium 842 (pp. 839-842).
32. Turhan, E., & A. Eris. 2005. Changes of micronutrients, dry weight, and chlorophyll contents in strawberry plants under salt stress conditions. Commun Soil Sci. Plant Anal. 36(7-8), 1021-1028.
33. Wei, Y., X. Shao, Y. Wei, F. Xu, and H.Wang. 2018. Effect of preharvest application of tea tree oil on strawberry fruit quality parameters and possible disease resistance mechanisms. Sci. Hort. 241: 18-28.
34. Yang, F., F. Hong, W. You, C. Liu, F. Gao, C. Wu, & P. Yang. 2006. Influence of nano-anatase TiO 2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biol. Trace Elem. Res.110(2): 179-190.
35. Zheng, L., F. Hong, S. Lu, and C. Liu. 2005. Effect of nano-TiO 2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biol. Trace Elem. Res.104(1): 83-91.
36. Ze, Y., C. Liu, L. Wang, M. Hong, and F. Hong. 2011. The regulation of TiO2 nanoparticles on the expression of light-harvesting complex II and photosynthesis of chloroplasts of Arabidopsis thaliana. Biol. Trace Elem. Res. 143, 1131–1141. doi: 10.1007/s12011-010-8901-0

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 22 (3): 371-382 (2021)
Research article

Effect of Foliar Application of Nano-Tio_2 on Some Quantitative and Qualitative Attributes of Strawberry Fruit (*Fragaria*× *ananassa* Duch.) cv. Sabrina Under Deficit Fertigation

P. Sadeghi and H. Hassanpour*[1]

In order to investigate the effects of titanium dioxide nanoparticles (nano-TiO2) on some quantitative and qualitative characteristics of strawberry cv. Sabrina, a factorial greenhouse experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The strawberry plants were sprayed with titanium dioxide nanoparticles (0, 6 and 12 mg L^{-1}) and under different deficient fertigation treatments (90, 110 and 130 ml). At the end of the experiment, traits such as leaf chlorophyll a and b, pH, TA, TSS, carotenoids, fresh and dry weight of aerial parts and roots, fruit weight, length and width and yield were evaluated. The results showed that the interaction effect of deficient fertigation and titanium dioxide nanoparticles treatments on fruit weight, fresh and dry weight of roots and aerial parts, chlorophyll a and yield was significant, so that the highest yield, fruit weight and fresh and dry weight of roots and aerial parts were observed in 130 ml of deficient fertigation and 12 mg L^{-1} titanium dioxide nanoparticles treatments. Also, the main effects of deficient fertigation and titanium dioxide nanoparticles treatments were significant on fruit length and width, pH, TA, TSS, chlorophyll b and carotenoids traits. The highest length and width of fruits, pH, TSS and carotenoids were observed by separate using of 12 mg L^{-1} titanium dioxide nanoparticles or 130 ml of deficient fertigation. In general, the obtained results of this study showed that the concentration of 12 mg L^{-1} of titanium dioxide nanoparticles had the highest effect on increasing the yield of strawberry cv. Sabrina under deficient fertigation.

Keywords: Titanium, Strawberry Fruit, Nanoparticles, Yield, Hydroponics.

1. M.Sc. and Associate Professor of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
*Corresponding Author, Email: (ha.hassanpour@urmia.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.3.10.5]