فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۵۱-۶۸
https://doi.org/10.22034/12.57.51

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی نانو کلات روی بر ویژگی‌های عملکرد میوه، فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی گیاه توت‌فرنگی رقم سابرینا تحت شرایط کم محلول‌دهی

پریسا صادقی[1] و حمید حسن‌پور[1*]
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹)

چکیده
با توجه به اثرات زیست محیطی کاربرد زیاد کودهای شیمیایی متداول، محلول‌پاشی برگی عناصر غذایی می‌تواند از افزایش مصرف کودهای شیمیایی و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی جلوگیری کند. بنابراین در پژوهش حاضر تأثیر، محلول‌پاشی برگی نانو کلات روی (صفر، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر) تحت شرایط کم محلول‌دهی (۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتر) روی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوی آسکوربیک اسید، فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای عناصر آهن و روی بودند. نتایج حاصله نشان داد که کاربرد کلات روی منجر به افزایش عملکرد، محتوای آسکوربیک اسید، فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با شاهد می‌شود. بالاترین عملکرد میوه (۵۵۰/۳۹ گرم) و محتوی عنصر آهن (۲۸۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در تیمار کم محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار عملکرد (۱۲۳/۵۶ گرم) و محتوای عنصر آهن (۱۲۳/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) نیز در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی صفر گرم در لیتر مشاهده شد. همچنین بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۳/۲۵ واحد بر گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر به دست آمد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که نانو کود کلات روی در غلظت ۱/۵گرم در لیتر جهت بهبود عملکرد و کیفیت توت فرنگی رقم سابرینا تحت شرایط کم محلول‌دهی مناسب است. بنابراین براساس نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان استفاده از تیمار کم محلول‌دهی ۱۱۰ میلی‌لیتر را به همراه ۱/۵گرم در لیتر نانو کود کلات روی جهت کاهش مصرف محلول غذایی و آب برای کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی پیشنهاد نمود.

کلمات کلیدی: آنتوسیانین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، آسکوربیک اسید، عناصرمعدنی، فنل کل

مقدمه
توت‌فرنگی (*Fragaria× ananassa* Dutch) از جمله میوه‌هایی است که دارای طرفداران بسیار زیادی در اکثر نقاط دنیا می‌باشد، زیرا دارای طعم و عطر ویژه و همچنین ارزش غذایی زیادی است (Yildizhan, 2018; Weber *et al*., 2018). از لحاظ گیاه‌شناسی توت‌فرنگی گیاهی چند ساله علفی است که به طور متوسط ۵ - ۳ سال عمر داشته و حاوی طوقه کوتاهی بوده که جوانه‌های جانبی روی آن قادر به تولید ساقه رونده و یا گل آذین هستند (جلیلی مرندی، ۱۳۸۴). کیفیت میوه توت‌فرنگی بسیار حائز اهمیت است و از جمله

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ha.hassanpour@urmia.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

شاخص‌های بارز مربوط به کیفیت توت‌فرنگی، عطر و طعم (نسبت قند به اسید و ترکیبات فرار) و رنگ است (Yan *et al.*, 2019). این میوه همچنین غنی از آسکوربیک اسید، فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین با خواص آنتی‌اکسیدانی هستند و نقش مهمی در سلامتی بشر ایفا می‌کنند (Wei *et al.*, 2018).

عوامل بسیاری روی عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی تأثیرگذار است، از جمله این عوامل می‌توان به تنش کم آبی اشاره نمود. ریشه‌های توت‌فرنگی کم عمق هستند (در ارتفاع ۲۵-۱۵ سانتی‌متری)، در نتیجه ضروری است که تعداد دور آبیاری را افزایش داده و مقدار آب را کاهش دهیم (هاشم آبادی، ۱۳۸۱). تنش خشکی طولانی مدت، موجب عدم گلدهی و میوه‌دهی و یا ریز شدن میوه‌ها، پریدگی عمومی رنگ برگ‌ها و همچنین حاشیه‌های قرمز- قهوه‌ای رنگ برگ‌ها می‌شود (رفیعی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعه‌ای رفیعی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) گزارش نمودند که کم آبیاری در صرفه‌جویی آب نقش قابل توجهی دارد، اگرچه ممکن است سطح برگ، وزن خشک و عملکرد محصول را در توت‌فرنگی تا حدودی کاهش دهد. با این‌حال اثرات مثبتی در افزایش راندمان مصرف آب دارد.

عناصر ریزمغذی، نقش حیاتی در رشدونمو گیاهان ایفا کرده و سهم مهمی در افزایش عملکرد محصول دارند. بعضی عناصر غذایی کم مصرف همانند روی، برای رشد گیاه ضروری هستند و در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل دخالت دارند و کمبود آن‌ها می‌تواند موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه و درنهایت کاهش کمیت و کیفیت محصول گردد (Ahmed *et al.*, 2023). با به کارگیری نانو کودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند (Ahmed *et al.*, 2023). عنصر روی نیز یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری برای همه موجودات زنده است و به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بیش از ۳۰۰ نوع آنزیم شرکت می‌نماید (Ahmed *et al.*, 2023). این عنصر نقش اساسی را در سنتز RNA، DNA و پروتئین‌ها ایفا می‌کند. کمبود این عنصر می‌تواند باعث عدم توازن عناصر غذایی در گیاه شده و کاهش راندمان مصرف آب و در نهایت کاهش کیفیت و کمیت محصول را در پی داشته باشد (Radhika and Meena, 2021). عنصر روی در گیاهان نقش‌های بسیار مهمی را ایفا می‌کند، به طوری که کمبود آن موجب کاهش رشد، اختلال در واکنش‌های حیاتی و بازدهی گیاه می‌شود. از جمله نقش‌های این عنصر می‌توان به مشارکت در سنتز کروموزوم، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته، متابولیسم پروتئین‌ها، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده، حفظ غشاهای زیستی و در مقاومت به عفونت‌ها توسط عوامل بیماری‌زا اشاره نمود. عنصر روی همچنین برای تولید کلروفیل، عملکرد دانه گرده، باروری و جوانه‌زنی دانه گرده نیاز است (Radhika and Meena, 2021).

در مطالعه‌ای محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی با تابش لیزر نور قرمز منجر به افزایش عملکرد نسبت به کاربرد خاکی نانوذرات اکسید روی (ZnO) شد (El-Hak *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای دیگر Ahmed و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر محلول‌پاشی برگی روی و نانو ذرات اکسید روی را در گیاه گوجه‌فرنگی با هدف درک اثرات آن‌ها بر فیزیولوژِی گیاه مورد بررسی قرار دادند، نتایج حاصل نشان داد که نانوذرات اکسید روی در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام تأثیر مثبتی روی پارامترهای رشدی، خصوصیات فیزیکی میوه و عملکرد داشت و برای عملکرد بالاتر و کیفیت بهتر میوه جهت تولید گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی توصیه گردید. همچنین در پژوهشی دیگر، مقادیر مختلفی از کود روی در توت‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفت و مشخص شد که استفاده از کود روی به مقدار ۳ کیلوگرم در هکتار می‌تواند منجر به افزیش عملکرد و پارامترهای کیفی از قبیل مواد جامد محلول و ویتامین ث در میوه توت‌فرنگی گردد (Abdul Quddus *et al.*, 2022).

با توجه به اهمیت میوه توت‌فرنگی و همچنین اثرات مثبت عنصر روی بر ویژگی‌های گیاهان و همچنین به دلیل اینکه هزینه تهیه محلول‌های غذایی برای کاشت توت‌فرنگی در سیستم‌های کشت هیدروپونیک بالابوده، لذا محلول‌پاشی برگی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

نانوکود روی تحت شرایط کم محلول‌دهی در گلخانه برای بهبود کیفیت و همچنین برای کاهش هزینه‌های تولید و کاهش مصرف آب در گلخانه، می‌تواند مورد مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه اجرا در سال ۱۳۹۹ شد. شرایط دمایی داخل گلخانه در طول روز ۲۴ و در طول شب ۱۸ درجه سیلسیوس تنظیم گردید و رطوبت نسبی داخل گلخانه ۴۰-۶۵ درصد و شدت نور نیز در حدود ۲۵۰۰-۳۰۰۰ لوکس بود. مطالعه انجام‌شده به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل نانو کلات روی در سه سطح صفر، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر و مقدار محلول غذایی در سه سطح ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتر (شاهد) براساس آزمایش مقدماتی و تعیین محلول عذایی مطلوب برای هر گیاه از طریق اندازه‌گیری زه‌آب خروجی که معمولاً ۱۵ الی ۲۰ میلی‌لتیر در نظر می‌گیرند، تعیین گردیده و دو سطح کمتر از آن به عنوان کم محلول‌دهی نیز منظور شد. قبل از اجرای این پژوهش ابتدا سیستم کشت هیدروپونیک طراحی و تنظیم شد. سپس زمان مورد نیاز برای محلول‌دهی از طریق محاسبه میزان خروجی محلول از هر نازل و میزان نیاز هر بوته براساس اندازه‌گیری زه‌آب خروجی محاسبه شد و به صورت خودکار پای هر بوته داده شد. همچنین برای اعمال تنش کم محلول‌دهی، ردیف اول (بدون تنش) با محلول‌دهی پنج بار در روز (۱۳۰ میلی‌لیتر)، ردیف دوم محلول‌دهی چهار بار در روز (۱۱۰ میلی‌لیتر) و ردیف سوم محلول‌دهی سه بار در روز (۹۰ میلی‌لیتر) استفاده شد. نشاءهای توت‌فرنگی رقم سابرینا مورد نیاز از گلخانه توت‌فرنگی صدیق‌نیا در ارومیه تهیه شدند. قبل از کشت نشاءها، نیاز سرمایی آنها برطرف شده و در مرحله چهار تا هشت برگی و در کیسه‌های کشت با ظرفیت ۱۴ لیتری که طول و عرض آن‌ها به ترتیب ۱۱۰ و ۳۵ سانتی‌متر و حاوی ۵۰ درصد کوکوپیت، ۲۵ درصد پیت‌ماس و ۲۵ درصد پرلیت بود، کشت شدند (شکل ۱). در هفته اول بعد از کشت نشاهای توت‌فرنگی جهت استقرار بوته‌ها از آب جهت تغذیه استفاده شد و از هفته دوم تا ششم جهت رشد رویشی از محلول غذایی مخصوص این دوره (محلول هوگلند نیم‌غلظت) با EC ۱/۲- ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و از هفته هفتم تا پایان دوره برداشت بسته به مراحل گلدهی تا باردهی از محلول غذایی هوگلند تغییریافته با EC ۱/۵ - ۲ دسی‌زیمنس بر متر (جدول ۱) استفاده شد. محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانو کلات روی بعد از هرس گل‌های اولیه، از هفته چهاردهم تا هجدهم، هر هفته یک بار در پنج نوبت انجام گرفت. سپس میوه‌هایی که بیش از ۷۰ درصد رنگ گرفته بودند، برداشت شده و شاخص‌های مختلف کمی و کیفی در آن‌ها اندازه‌گیری شدند.

عملکرد: به منظور تعیین عملکرد، تمامی میوه‌های بوته‌های تیمارشده از مرحله شروع میوه‌دهی تا پایان میوه‌دهی برداشت و با ترازوی دیجیتالی توزین شدند. در پایان مجموع وزن تمام میوه‌های بوته هر تیمار به عنوان عملکرد آن بوته بر حسب گرم محاسبه شد.

ارزیابی محتوی آسکوربیک اسید و آنتوسیانین کل: به منظور تعیین محتوی آسکوربیک اسید میوه‌های توت‌فرنگی از روش جلیلی مرندی (۱۳۸۴) و از طریق تیتراسیون با ید در یدور پتاسیم در حضور معرف نشاسته یک درصد استفاده شد. برای این منظور، ابتدا پنج میلی‌لیتر از آب میوه توت‌فرنگی در یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شده و در حدود ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به آن اضافه شد و سپس با استفاده از محلول ید در یدور پتاسیم، در حضور دو میلی‌لیتر معرف نشاسته یک درصد تیتر شد. به محض مشاهده رنگ آبی عمل تیترکردن متوقف شد. با توجه به حجم آب میوه اولیه، محتوای آسکوربیک اسید برطبق فرمول زیر بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه محاسبه شد:

آسکوربیک اسید = [(0/88×V)/ (حجم آب میوه)]×100

V= حجم ید در یدور پتاسیم مصرفی برحسب میلی‌لیتر، ۰/۸۸= عدد ثابت که نشان‌دهنده این است که هر یک میلی‌لیتر ید ۰/۰۱ نرمال برابر با ۰/۸۸ میلی‌گرم آسکوربیک اسید است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]



شکل ۱- نشاهای توت‌فرنگی رقم سابرینا کشت‌شده در سیستم هیدروپونیک تحت شرایط گلخانه

جدول ۱- غلظت عناصر موجود در محلول غذایی مورد استفاده جهت تغذیه گیاهان توت‌فرنگی

غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	عناصر کم مصرف	غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	عناصر پر مصرف
۰/۶۷	بور (B)	۲۵۰	نیتروژن (N)
۰/۱۱	منگنز (Mn)	۳۲۵	پتاسیم (K)
۰/۱۳	روی (Zn)	۸۶	فسفر (P)
۰/۰۳	مس (Cu)	۱۱۰	کلسیم (Ca)
۰/۰۵	مولیبدن (Mo)	۳۲	گوگرد (S)
۳	آهن (Fe)	۳۴	منیزیم (Mg)

محتوای آنتوسیانین کل: برای سنجش محتوی آنتوسیانین میوه‌های توت‌فرنگی، از روش اختلاف pHها استفاده شد (Masukasu *et al.*, 2003). برای اندازه‌گیری محتوی آنتوسیانین کل، دو بافر با pHهای ۴/۵ و ۱ استفاده شدند. پس از تهیه بافرها، ۰/۲ گرم از بافت میوه با کمک ازت مایع در داخل هاون چینی کاملاً پودر شد و سپس ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی یک درصد که حاوی متانول و کلریدریک اسید به نسبت ۹۹ به ۱ بود، به آن اضافه و باز به طور کامل ساییده شدند. در مرحله بعد عصاره ناهمگن حاصل در ۱۰۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۴°C سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ، محلول رویی جمع‌آوری و میزان جذب آن در طول‌موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) خوانده شد. برای محاسبه محتوی آنتوسیانین کل از فرمول زیر و بر حسب واحد سیانیدین تری گلیکوزید استفاده شد:

A=(A510 nm-A700 nm) pH 1- (A510 nm-A700 nm) pH 4.5

ارزیابی محتوی فنل و فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: برای ارزیابی محتوی فنل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، ابتدا با استفاده از روش Hajimahdipour و همکاران (۲۰۰۹) عصاره‌گیری از میوه‌های توت‌فرنگی انجام شد. برای تعیین محتوی فنل کل، ۱۵ میکرولیتر از عصاره حاصل از میوه‌های توت‌فرنگی با ۱۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ درصد داخل لوله‌های آزمایش ریخته شده و به آن ۹۶۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد افزوده شد. در نهایت ۱۸۰ میکرولیتر آب‌مقطر به این مخلوط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

اضافه شد. پس از این مرحله، لوله‌های آزمایش به مدت ۴۰-۳۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق قرار گرفتند. در نهایت میزان جذب عصاره هر یک از تیمارها در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) خوانده شده و محتوی فنل کل بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر گزارش شد (Slinkard and Singleton, 1977).

به‌منظور ارزیابی محتوی فلاونوئید کل میوه‌های توت‌فرنگی در پژوهش حاضر، میزان ۳۰ میکرولیتر از عصاره متانولی حاصل به ۱۵۰ میکرولیتر نیتریت سدیم پنج درصد اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۵ الی ۱۵ دقیقه در شرایط تاریکی قرار داده شدند. پس از گذشت این مدت، ۱۰۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم یک مولار و ۳۰۰ میکرولیتر محلول کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد به آن اضافه کرده و میزان جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) در طول‌موج ۳۸۰ نانومتر انجام شد. در نهایت محتوی فلاونوئید کل عصاره‌ها براساس میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تر گزارش شد (Chang *et al*., 2002).

همچنین به منظور تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش دی‌پی‌پی‌اچ (DPPH) استفاده شد. برای این منظور ابتدا ۱۵ میکرولیتر از عصاره متانولی حاصل از هر نمونه در لوله آزمایش ریخته شده و به آن ۲ میلی‌لیتر از محلول DPPH (۰/۰۰۴ گرم پودر DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد) اضافه شد. پس از گذشت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه، میزان جذب هر یک از نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر خوانده و با استفاده از فرمول زیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی محاسبه شد (Chiou *et al*., 2007):

بازدارندگی (%) = [(AC-AS)/AC]×100

AC: میزان جذب بلنک، AS: میزان جذب نمونه

ارزیابی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: به منظور تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ابتدا ۰/۵ گرم از میوه‌های تازه توزین و در ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج (Tris-HCL ۰/۵ درصد و پلی وینیل پیرولیدون (PVP) ۰/۰۵ درصد و pH=۸) و روی یخ به مدت ۱۰ دقیقه ساییده شد تا یک عصاره کاملاً همگن به دست آید. عصاره به دست آمده سانتریفیوژ شده و محلول رویی از رسوب با دقت جدا شده و به ویال‌های تمیز منتقل و دوباره سانتریفیوژ شد. در نهایت، ویال‌ها به‌آرامی از دستگاه سانتریفیوژ خارج و محلول رویی در چند ویال کوچک توزیع شد (Sudhakar *et al*., 2001). عصاره حاصل به‌منظور بررسی فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز (Mac-Adam *et al*., 1992). آسکوربات پراکسیداز (Nakano and Asada, 1987) و کاتالاز (Aebi, 1984) با دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی میزان عناصر روی و آهن: به منظور تعیین میزان غلظت عناصر روی و آهن، نمونه‌های برگی تیمارهای مختلف در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس مقدار ۴ گرم از هر یک از نمونه‌ها توزین و در داخل کوزه چینی ریخته و در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلیسیوس قرار داده که در مدت زمان پنج ساعت به خاکستر سفید رنگ تبدیل شد. سپس به خاکستر حاصل ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک یک درصد اضافه و حجم آن به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. در نهایت مخلوط حاصل توسط کاغذ صافی فیلتر شد. میزان عناصر روی و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer Analyst 800 ساخت کشور آلمان انجام شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها بعد از نرمال‌سازی به روش کولموگروف- اسمیرنف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد و مقایسه مقادیر میانگین‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده کم محلول‌دهی، نانو کلات روی و اثر برهمکنش آن‌ها بر عملکرد میوه معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط کم محلول‌دهی،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمار کم محلول‌دهی و نانو کلات روی مربوط به خصوصیات بیوشیمیایی توت‌فرنگی رقم سابرینا.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		عملکرد	آسکوربیک اسید	آنتوسیانین کل	فنل کل	فلاونوئید کل	فعالیت آنتی اکسیدانی	کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز
کم محلول‌دهی (A)	۲	۱۹۰۳۱۹/۹**	۳۱۷/۶۲**	۱۹/۰۸^{ns}	۱/۹**	۱/۹۵۶**	۲۸۵/۷۰**	۳/۷۴**	۳/۸۲**	۰/۰۷۹**
نانوکلات روی (B)	۲	۶۰۲۳۳/۵**	۷۲۵/۱۲**	۱۶/۷۵^{ns}	۱/۴**	۱/۴۷۹**	۷۰۰/۳۲**	۱/۷۱**	۱/۶۵**	۰/۰۵۹**
A×B	۴	۲۹۰۰/۴۷**	۲۰/۵۰۰^{ns}	۳/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۳۹۴^{ns}	۲۱/۶۸^{ns}	۰/۱۸*	۰/۱۵۸^{ns}	۰/۰۰۱۳^{ns}
اشتباه آزمایشی	۱۸	۵۹۸/۶۱	۴۴/۶۴	۷/۵۰	۰/۰۱	۰/۰۱۶	۴۲/۰۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۵۷	۱۲/۵۰	۲۴/۵۱	۷/۰۵	۸/۱۴	۱۱/۴۸	۱۱/۹۱	۱۴/۱۰	۲۳/۸۲

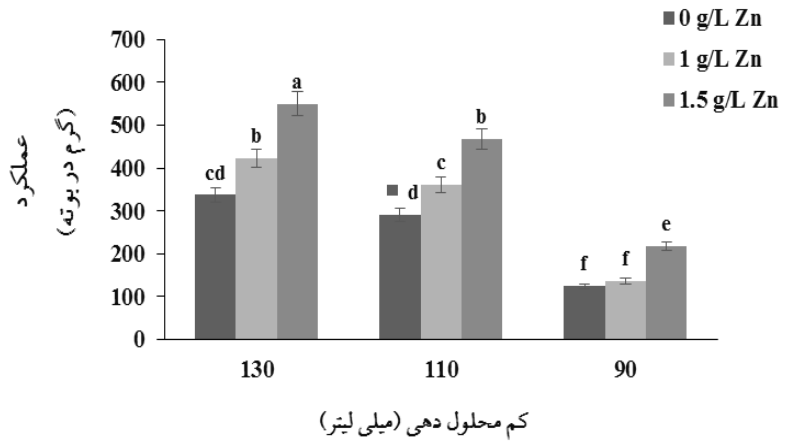
ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

با افزایش غلظت نانو کلات روی، عملکرد میوه روند افزایشی داشت. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد میوه (۵۵۰/۳۹ گرم) در تیمار کم محلول‌دهی ۱۳۰ سی‌سی و نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار آن (۱۲۳/۵۶ گرم) در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ سی‌سی و نانو کلات روی صفر گرم در لیتر به دست آمد (شکل ۲). در پژوهش انجام‌شده کاربرد نانوکلات روی منجر به افزایش ۶/۱ درصدی عملکرد در مقایسه با گیاه شاهد شد که این یافته‌ها با نتایج Maity و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی بر میوه انار مطابقت دارد. این پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد عنصر روی عملکرد میوه انار را در ارقام مختلف آن از ۲/۸۴ درصد به ۸/۸۷ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد.

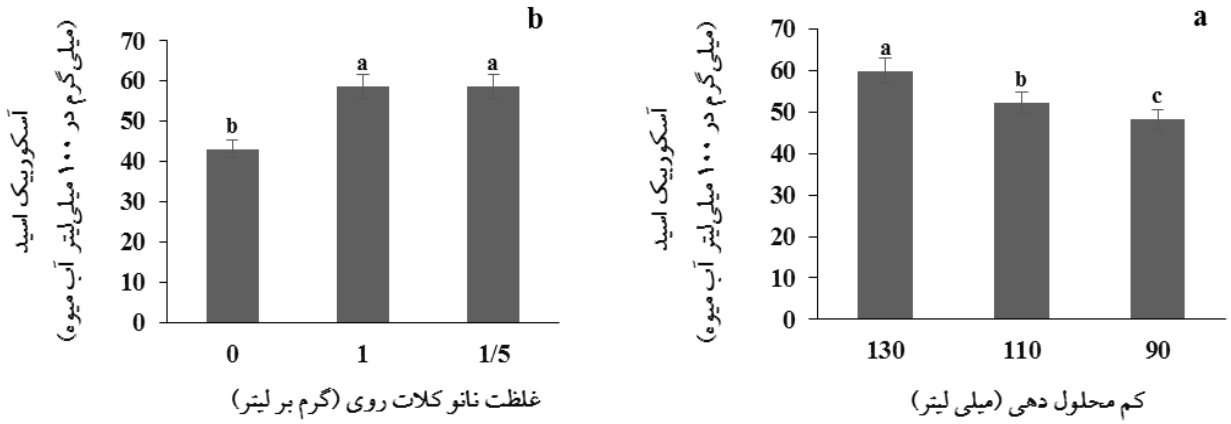
اثرات غلظت‌های مختلف عنصر روی و نانوذرات روی در گوجه‌فرنگی و گندم توسط Amooaghaie و همکاران (۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روی و کلات روی به جوانه‌زدن بذرها و افزایش خصوصیات رشد در غلظت‌های پایین‌تر کمک می‌کنند، در حالی که نانوذرات این ویژگی‌ها را در غلظت‌های بالاتر کاهش می‌دهند. عنصر روی به‌عنوان اجزای فلزی آنزیم‌های مختلف عمل می‌کند و همچنین به‌عنوان یک کوفاکتور عملکردی، ساختاری و تنظیمی در ارتباط با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و ساخت پروتئین نقش دارد. از این‌رو نقش عنصر روی در افزایش عملکرد محصولات قابل توجه است (Radhika and Meena, 2021). مشابه نتایج پژوهش حاضر در مطالعه خبازی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش شد که کاربرد سولفات روی در غلظت‌های ۴ و ۶ گرم در لیتر منجر به افزایش تعداد میوه می‌شود. با توجه به نقش عنصر روی در تولید هورمون اکسین، به نظر می‌رسد که تولید هورمون منجر به افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش تعداد میوه می‌گردد، علاوه بر این نشان داده شده است که محلول‌پاشی سولفات روی از طریق کاهش ریزش برگ منجر به افزایش تعداد و عملکرد میوه می‌شود (Tahir *et al*., 2020). با توجه به آنچه اشاره شد می‌توان افزایش عملکرد توت‌فرنگی در پژوهش حاضر را به خاطر کاربرد نانو کلات روی توجیه نمود.

آسکوربیک اسید: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر محتوی آسکوربیک اسید معنی‌دار شد ($P < 0.01$)، اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در تیمار کم محلول‌دهی با کاهش میزان محلول غذایی، مقدار آسکوربیک اسید کاهش پیدا کرد به طوری که بیشترین و کمترین میزان آسکوربیک اسید (۵۹/۸۹ و ۴۸/۲۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) به ترتیب در تیمار کم محلول‌دهی ۱۳۰ و ۹۰ سی‌سی به دست آمد (شکل ۳a). همچنین مقایسه نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو کلات روی، آسکوربیک اسید روند افزایشی داشت، به طوری که بیشترین و کمترین میزان آسکوربیک اسید (۵۸/۷۱ و ۴۳/۰۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو کلات روی و کم محلول‌دهی بر عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان-دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

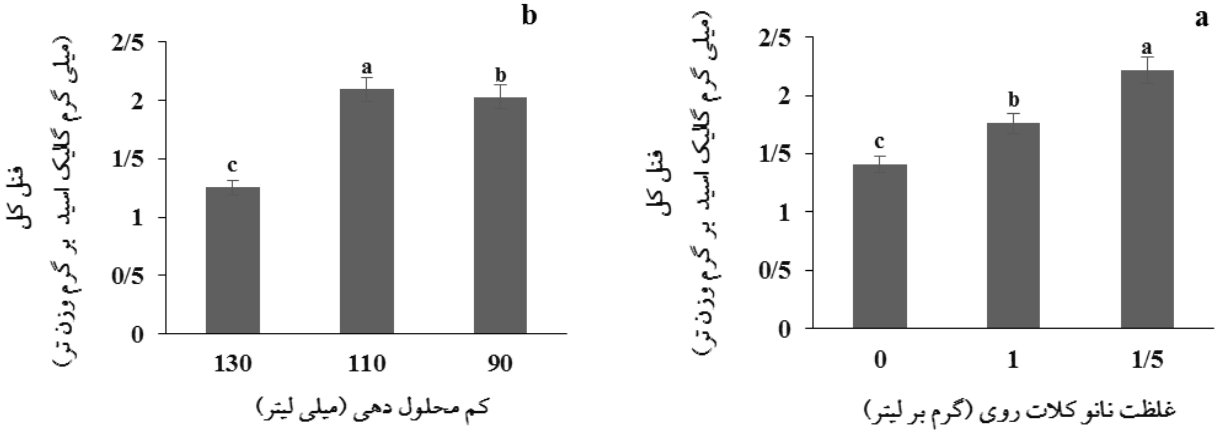


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده کم محلول‌دهی (a) و نانو کلات روی (b) بر آسکوربیک اسید توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

ترتیب در تیمار ۱ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به دست آمد. اختلاف بین دو تیمار ۱ و ۱/۵ گرم درلیتر نانو کلات روی از نظر آماری معنی‌دار نبود و هر دو نتیجه یکسانی را در پی داشتند (شکل ۳b).

از نظر ارزش غذایی، کاهش آسکوربیک اسید نامطلوب است. بنابراین با جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های مرتبط با اکسیداسیون آسکوربیک اسید می‌توان از کاهش آن ممانعت کرد. محتوی آسکوربیک اسید در ماندگاری ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها بسیار مفید است (Saleem *et al.*, 2021). کاهش در آسکوربیک اسید ممکن است به دلیل افزایش اکسیداسیون در اثر تنش آبی باشد و قابلیت حفاظت از سلول‌ها در برابر تنش‌های اکسیداتیو به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی آسکوربیک اسید است (Perin *et al.*, 2019). در پژوهشی Singh و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۰/۶ درصد در توت‌فرنگی منجر به افزایش عملکرد، افزایش وزن، طول و عرض میوه، قند محلول و آسکوربیک اسید شد. علاوه براین در مطالعه تأثیر نانو اکسید روی بر رشد و عملکرد و خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم کاماروزا تحت شرایط کشت بدون خاک بررسی شد، نتایج حاصله نشان داد که کاربرد نانو اکسید روی، میزان کربوهیدرات محلول میوه، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین کل، آسکوربیک اسید و سفتی بافت میوه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر محتوی فنل کل توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن است.

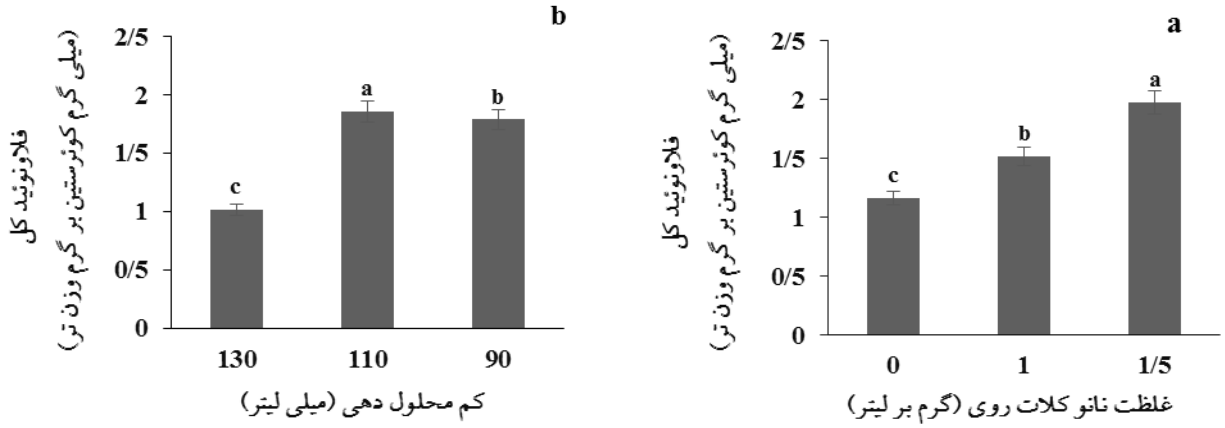
را افزایش داد (اشرفی، ۱۳۹۷).

محتوای آنتوسیانین، فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان آنتوسیانین معنی‌دار نشد (جدول ۲). از دلایل متعددی که در تأثیرگذاری روی بر محتوی آنتوسیانین نقش دارند، می‌توان به رقم، شرایط محیطی، شدت نور، دما، غلظت به کار رفته روی، نوع روی مورد استفاده شده و زمان کاربرد اشاره نمود که همه این فاکتورها در افزایش یا عدم تغییر و حتی کاهش آنتوسیانین نقش اساسی دارند. همچنین تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر محتوای فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود ($P < 0.01$)، اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نانو کلات روی، محتوای فنل کل روند افزایشی داشت به طوری که بیشترین و کمترین محتوای فنل (۲/۲۱ و ۱/۴ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به دست آمد (شکل ۴a). در تیمار کم محلول‌دهی نیز با کاهش میزان محلول، محتوی فنل افزایش پیدا کرد، به طوری که بیشترین و کمترین محتوای فنل (۲/۰۹ و ۱/۲۵ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار کم محلول‌دهی ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۴b).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش مقدار نانو کلات روی، میزان فلاونوئید روند افزایشی داشت، در حالی که در تیمار کم محلول‌دهی این روند منظم نبود. بیشترین میزان فلاونوئید کل (۱/۹۷ میلی‌گرم کوئرسیتین در گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و کمترین میزان آن (۱/۱۷ میلی‌گرم کوئرسیتین در گرم وزن تر) در تیمار شاهد به دست آمد (شکل ۵a). در شرایط کم محلول‌دهی نیز بیشترین و کمترین میزان فلاونوئید (به ترتیب ۱/۸۵ و ۱/۰۱ میلی‌گرم کوئرسیتین در گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار کم محلول‌دهی ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۵b).

ترکیبات فنلی یکی از مهم‌ترین و بزرگترین گروه از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی هستند که به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند. در این میان ترکیبات فلاونوئیدی یکی از فراوان‌ترین گروه از ترکیبات فنلی هستند که در مواد غذایی مختلف مثل میوه و سبزیجات یافت می‌شوند (De la Rosa *et al.*, 2019). قوی‌ترین قدرت آنتی‌اکسیدانی در بین ترکیبات فنلی مربوط به همین ترکیبات فلاونوئیدی است که این خاصیت به دلیل حضور عامل هیدروکسیل در ساختارشان است. قرارگیری ترکیبات قندی روی ساختار فلاونوئیدها از جمله علل افزایش‌دهنده قدرت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]



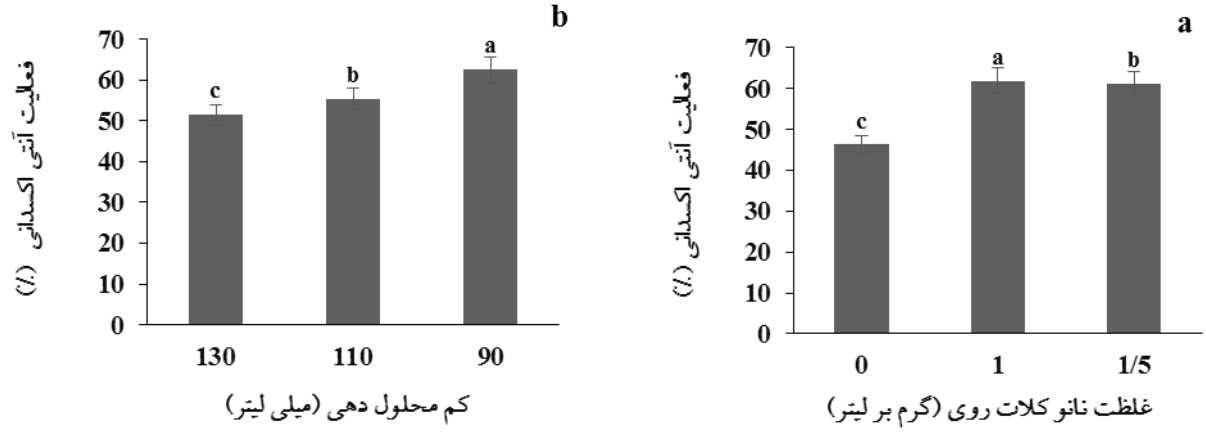
شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر فلاونوئید کل توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

ترکیبات فلاونوئیدی عمدتاً رادیکال‌های هیدروکسی و پراکسی را خنثی می‌کنند و از طریق تشکیل کمپلکس با فلزات، از اکسیداسیون لیپیدها ممانعت می‌کنند (De la Rosa *et al.*, 2019). ترکیبات فنلی یکی از بهترین منابع آنتی‌اکسیدان طبیعی موجود در گیاهان هستند. این ترکیبات دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضدمیکروبی، ضدآلرژی و دارای پتانسیل محافظت قلبی و گشادکنندگی عروق هستند (De la Rosa *et al.*, 2019). گزارشات در رابطه با تأثیر عنصر روی بر ترکیبات فنلی دارای نتایج متناقضی است، به‌طور مثال در پژوهشی، Davarpanah و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر بسیار جزئی در ترکیبات فنلی را در میوه انار در اثر کاربرد روی گزارش کردند. در حالی که در پژوهشی دیگر، Erdem و Sahin (۲۰۲۱) افزایش محتوی ترکیبات فنلی را پس از محلول‌پاشی روی بر سیب رقم گرانی اسمیت گزارش نمودند. مشابه پژوهش انجام‌شده، Gergichevich و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر عنصر روی را در افزاش محتوی ترکیبات فنلی در فندق (*Corylus avellana* L.) گزارش کردند که نتایج پژوهش انجام شده نیز مطابق آن است.

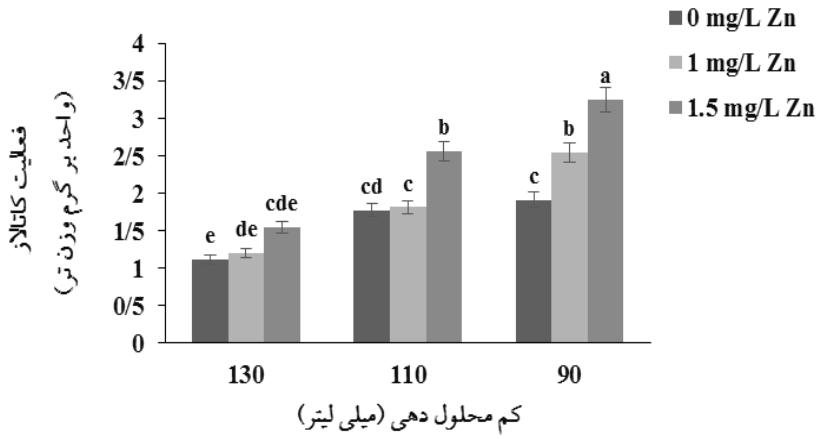
مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نانو کلات روی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد روند افزایشی داشت. تأثیر تیمار نانو کلات روی بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۱/۹۴ درصد) در تیمار ۱ گرم در لیتر نانو کلات روی و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۴۶/۲۸ درصد) در تیمار شاهد به دست آمد (شکل ۶a). در شرایط کم محلول‌دهی نیز بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۲/۵۶ و ۵۱/۴۵ درصد) به ترتیب در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۶b).

سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس DPPH که بر پایه قدرت مهارکنندگی رادیکال‌ها آزاد استوار است، به طور گسترده به عنوان پارامتری معتبر در بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات خالص و همین‌طور عصاره‌های گیاهی، در شرایط آزمایشگاه محسوب می‌شود (Comert *et al.*, 2020). آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیباتی هستند که مانع عمل رادیکال‌های آزاد و تخریب سلول‌های حیاتی بدن می‌شوند (Erdem and Sahin, 2021). پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که کم‌آبیاری توت‌فرنگی می‌تواند غلظت برخی از ترکیبات مربوط به طعم (از جمله قندها و اسیدهای آلی) و ظرفیت آنتی‌اکسیدان را به‌طور قابل توجهی در میوه رسیده افزایش دهد (رفیعی‌پور، ۱۳۹۷). مشابه پژوهش حاضر، Erdem و Sahin (۲۰۲۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه سیب گرانی اسمیت می‌شود، علاوه بر این Song و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تیمار میوه انگور با سولفات روی منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن است.

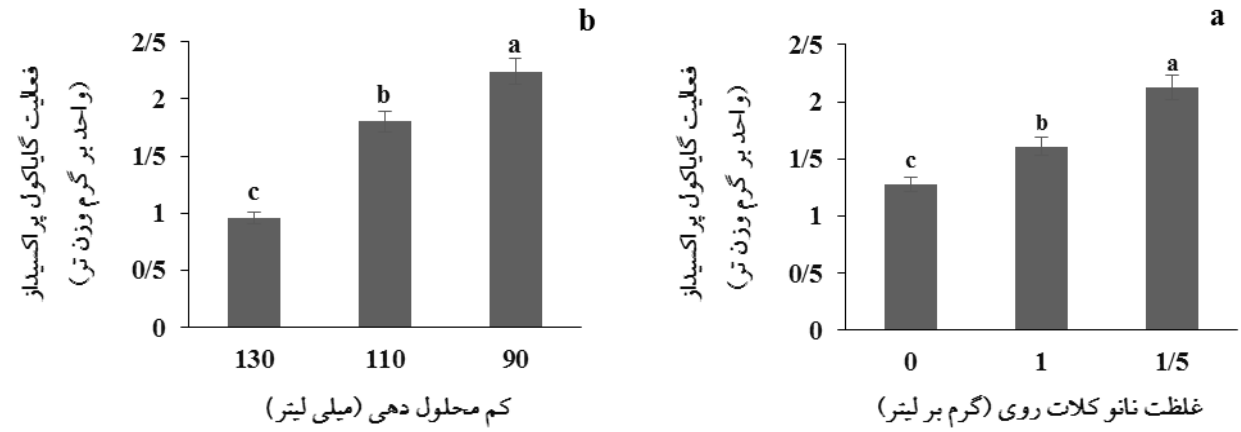


شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو کلات روی و کم محلول‌دهی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

فعالیت آنزیم کاتالاز: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ($P < 0.01$) و اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار شد ($P < 0.05$) (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تیمار کم محلول‌دهی و نانو کلات روی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۳/۲۵ واحد بر گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و کم محلول‌دهی ۹۰ سی‌سی به دست آمد. کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۱/۱۱ واحد بر گرم وزن تر) نیز در غلظت صفر نانو کلات روی و کم محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر دیده شد، با این حال اختلاف معنی‌داری بین شاهد و سطوح مختلف نانو کلات روی وجود نداشت (شکل ۷).

آنزیم گایاکول پراکسیداز: تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار شد ($P < 0.01$) اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نانو کلات روی میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز افزایش پیدا کرد. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۲/۱۲ و ۱/۲۷ واحد بر گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به دست آمد (شکل ۸a).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]



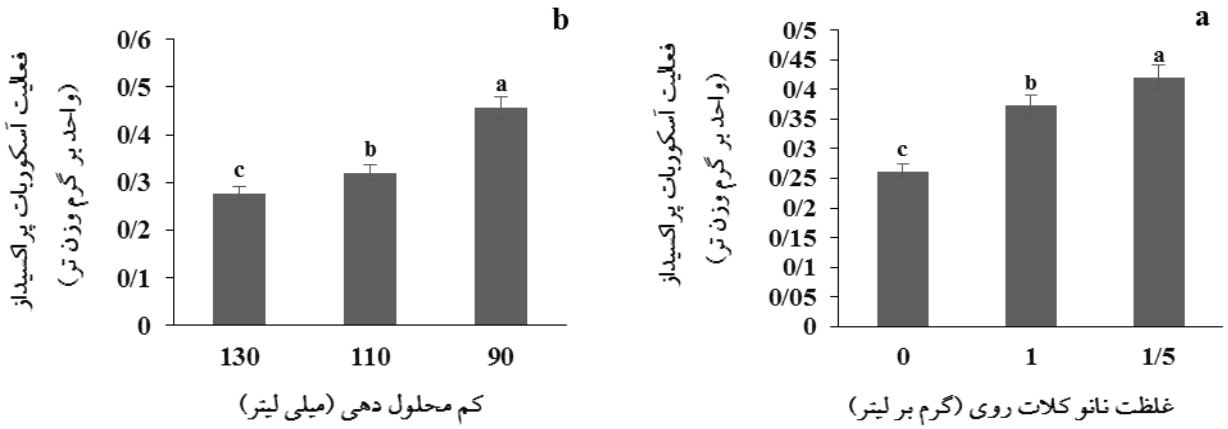
شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول‌دهی(b) بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

افزایش شدت کم محلول‌دهی نیز تأثیر مشابهی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز داشت و با افزایش کم محلول‌دهی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۲/۲۴ واحد بر گرم وزن تر) در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و کمترین میزان آن (۰/۹۶ واحد بر گرم وزن تر) در تیمار کم محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۸b).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار شد ($P < 0.01$) اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غاظت نانو کلات روی میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش پیدا کرد. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۰/۴۲ و ۰/۲۶ واحد بر گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به دست آمد (شکل 9a). افزایش شدت کم محلول‌دهی نیز تأثیر مشابهی بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز داشت و با افزایش کم محلول‌دهی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۰/۴۵ واحد بر گرم وزن تر) در کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و کمترین میزان آن (۰/۲۷ واحد بر گرم وزن تر) در کم محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل 9b).

در بررسی تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی پاسخ گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی معمولاً فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز اغلب به عنوان نشانگر استفاده می‌شوند. با افزایش سطح تنش میزان فعالیت این آنزیم‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و سنتز متابولیت‌های ثانویه با هم مرتبط هستند (Gupta *et al.*, 2018). در شرایط عادی رشد، در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی در گیاهان تولید گونه‌های فعال اکسیژن را داریم اما گیاهان مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی کارآمدی برای از بین بردن آن‌ها دارند. تحت شرایط تنش این تعادل به هم خورده و مقدار گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابند. عمومی‌ترین واکنش گیاهان در مواجهه با صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است. تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به طور گسترده در بسیاری از گیاهان تحت تنش گزارش شده است (Gupta *et al.*, 2018). از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیدازها هستند که در هنگام تنش‌های اکسیداتیو به عنوان اولین خط دفاعی در گیاهان عمل می‌کنند. آنزیم کاتالاز باعث شکسته شدن پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن می‌شود. آنزیم گایاکول پراکسیداز نیز در سیتوسول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول‌دهی(b) بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

فعالیت داشته و پراکسید هیدروژن را تجزیه و به آب تبدیل می‌کند. همچنین آنزیم آسکوربات پراکسیداز پراکسید هیدروژن را در کلروپلاست، سیتوسول، میتوکندری و پراکسی‌زوم سلول‌های گیاهی از بین می‌برد (Gupta *et al*., 2018). عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در متابولیسم پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و همچنین رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد می‌تواند باعث افزایش توان فتوسنتزی و تولید محصول شود (مرادی تلاوت، ۱۳۹۴). مشابه پژوهش حاضر سالاری و رستگار (۱۴۰۰) گزارش کردند که کاربرد محلول‌پاشی عناصر روی و آهن منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود.

عناصر غذایی، روی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر میزان عنصر روی معنی‌دار شد ($P < 0.01$) اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نانو کلات روی میزان عنصر روی افزایش پیدا کرد. بیشترین و کمترین میزان عنصر روی (۲۹/۹ و ۲۲/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به ترتیب در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به دست آمد (شکل ۱۰a). افزایش شدت کم محلول‌دهی نیز تأثیر منفی بر میزان عنصر روی داشت و با افزایش کم محلول‌دهی عنصر روی کاهش پیدا کرد. بیشترین میزان عنصر روی (۲۹/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در کم محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر و کمترین میزان آن (۲۳/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۱۰b).

آهن: نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی و اثر متقابل آن‌ها بر عنصر آهن معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش کم محلول‌دهی، مقدار عنصر آهن کاهش پیدا کرد اما با کاربرد نانو کلات روی در شرایط کم محلول‌دهی میزان عنصر آهن افزایش داشت. در شرایط کم محلول‌دهی ۹۰ سی‌سی نیز با افزایش غلظت نانو کلات روی، میزان عنصر آهن افزایش یافت اما اختلاف بین تیمارها کم بود. بیشترین مقدار عنصر آهن (۲۸۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در تیمار کم محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار آن (۱۲۳/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی صفر گرم در لیتر به دست آمد (شکل ۱۱).

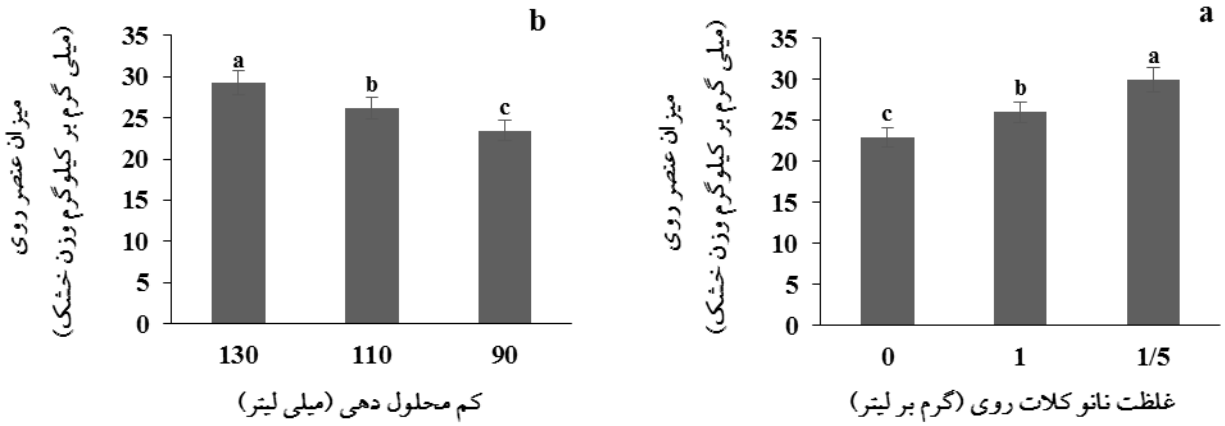
در پژوهش حاضر با کاربرد نانو کلات روی، مقدار عنصر روی روند صعودی داشت اما در مقابل تنش کم محلول‌دهی تأثیر منفی بر مقدار آن در گیاه داشت و با افزایش تنش، مقدار روی کاهش یافت. عناصر کم مصرف، بخشی از عناصر ضروری گیاه هستند و نقش مهمی در تولید و عملکرد گیاه دارند. اگرچه این عناصر در مقادیر کم برای گیاه مورد نیاز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

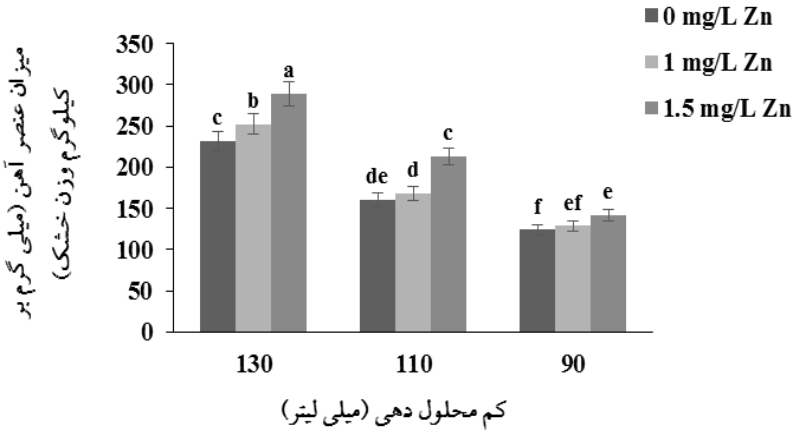
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمار کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر عناصر آهن و روی توت‌فرنگی رقم سابرینا.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عنصر روی	عنصر آهن
کم محلول‌دهی (A)	۲	۷۳/۶۲**	۳۶۴۹۴/۹**
نانو کلات روی (B)	۲	۱۱۰/۸۹**	۴۴۳۲/۱**
A×B	۴	۱۱/۰۱ ns	۳۸۴/۸۴**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۶/۲۲	۸/۷۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۴۹	۱/۵۵

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر میزان عنصر روی در توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو کلات روی و کم محلول‌دهی بر میزان عنصر آهن توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

است اما این عناصر در فعل و انفعالات آنزیمی در گیاه دخالت دارند و از اجزای اصلی آنزیم‌های فتوسنتزی در انتقال انرژی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

در سلوهای گیاهی و سنتز ترکیبات ضروری محسوب می‌شوند (Hassanpouraghdam *et al*., 2020). آهن و روی به عنوان اجزای فلزی آنزیم‌های مختلف، در ساختار و عملکرد کوفاکتورهای تنظیمی دخالت دارند و با بیوسنتز ساکاریدها، فتوسنتز و ساخت پروتئین در گیاهان ارتباط دارند (Hassanpouraghdam *et al*., 2020). از سازوکارهای جذب عناصر به وسیله ریشه‌ها، می‌توان به گسترش و توسعه ریشه در خاک اشاره نمود که ریشه می‌تواند از بخش وسیعی از محیط رشد عناصر غذایی را جذب کند. محلول‌پاشی با عناصر آهن و روی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش گسترش ریشه گیاه داشته باشد. عناصر ریزمغذی از جمله عناصر ضروری برای حیات گیاه هستند که می‌توان به رابطه میزان کافی روی در گیاه و تولید آنزیم کربونیک انیدراز اشاره کرد. این آنزیم در فتوسنتز گیاه نقش بسیار مهمی دارد و منجر به افزایش تولید کربوهیدرات می‌شود. آهن نیز در ساخت کلروفیل، تیلاکوئید و نمو کلروپلاست نقش دارد (Dass *et al*., 2022). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد عنصر روی، منجر به افزایش شدت فتوسنتز در گیاه می‌شود و میزان کربوهیدرات بیشتری به ریشه منتقل شده و بنابراین رشد و جذب عناصر توسط ریشه افزایش پیدا می‌کند و غلظت عناصر غذایی در گیاه افزایش می‌یابد. به طور کلی افزایش جذب عناصر در اثر کاربرد عنصر روی، می‌تواند به دلایل مختلفی باشد که می‌توان به افزایش کربوهیدرات در ریشه، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش بیوسنتز اکسین در حضور آن و روی و افزایش غلظت فسفواینول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز اشاره کرد (Dass *et al*., 2022). با توجه به اینکه کمبود عناصر ریزمغذی در گیاهان شایع است به نظر می‌رسد که استفاده از کود نانو کلات روی به دلیل قابلیت جذب بالایی که دارد، تأثیر مثبت و مفیدی در تأمین عناصر ریزمغذی داشته باشد. از طرف دیگر کاهش میزان محلول غذایی همان‌طور که انتظار می‌رفت تأثیر زیادی در کاهش مقدار روی در گیاه داشت. در پژوهشی Rizwan و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که با افـزایش سطوح نانو ذره روی، محتوی روی گیاه نیز افزایش می‌یابد که احتمالاً به دلیل توانایی نانو ذرات روی در فراهمی روی قابل جذب گیاه باشد.

نتیجه‌گیری

میوه توت‌فرنگی از جمله میوه‌هایی است که به خاطر داشتن ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی بالا، طرفداران بسیاری داشته، ولی تولید هیدروپونیک آن به خاطر مصرف محلول غذایی هزینه بالایی در بر دارد. براساس نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد نانو کلات روی در شرایط کم محلول‌دهی بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی رقم سابرینا تأثیر مثبت و مفیدی داشته است. میزان عملکرد، محتوی ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها و همچنین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی اعم از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی در شرایط تنشی ناشی از کم محلول‌دهی افزایش داشتند و کاربرد نانو کلات روی به تقویت سیستم دفاعی گیاه کمک کرد. در پژوهش حاضر غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر نانو کلات روی نقش بیشتری در بهبود شاخص‌های مورد بررسی داشت. بنابراین استفاده از آن در شرایط کم محلول‌دهی ۱۱۰ میلی‌لیتر جهت کاهش مصرف محلول غذایی و آب برای کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی پیشنهاد می‌شود.

منابع

اشرفی، سیران. (۱۳۹۷) تأثیر نانو اکسید روی بر رشد و عملکرد و خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم کاماروزا تحت شرایط کشت بدون خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

خبازی، سارا، عبدالهی، فرزین، قاسمی، مصطفی، و رستگار، سمیه (۱۳۹۷). بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و منگنز بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه پرتقال واشنگتن ناول (*Citrus sinensis* CV. Navel). *علوم باغبانی ایران*، ۴۹(۳)، ۷۹۰-۷۷۹. https://doi.org/10.22059/IJHS.2017.238139.1286

جلیلی مرندی، رسول (۱۳۸۴) میوه‌های ریز (انگور، توت‌فرنگی، کیوی فروت، تمشک، انگور فرنگی حبه درشت، انگور فرنگی حبه ریز و ذغال اخته). چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه، ارومیه.

رفیعی‌پور، مهین، غلامی، منصور، و ساری خانی، حسین (۱۳۹۷). اثر کم آبیاری بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*). *پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۱ (۴)، ۸۳۷-۸۲۲. https://doi.org/ 20.1001.1.23832592.1397.31.4.6.8

مرادی تلاوت، محمدرضا، روشن، فرشته، و سیادت، سید عطا الله (۱۳۹۴). اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر محتوای عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *مجله علوم زراعی ایران*، ۱۷، ۱۵۳-۱۶۴. https://doi.org/20.1001.1.15625540.1394.17.2.6.0

سالاری، اکبر، و رستگار، سمیه (۱۴۰۰). اثر تغذیه برگی روی و آهن بر برخی ویژگی‌های کمّی و کیفی اورلاندو تانجلو. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۰(۴۱)، ۱۷۰-۱۵۷. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1411-fa.html

شارما، آر. ام. و یام داکنی، آر. (۱۳۸۱) روش‌های پیشرفته پرورش توت‌فرنگی. ترجمه هاشم‌آبادی، داود. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت.

Aebi, H. (1984). Catalase *in vitro*. *Methods in Enzymology*, *105*, 121-126. https://doi.org/10.1016/s0076-6879(84)05016-3

Abdul Quddus, M. D., Alamgir Siddiky, M. D., Razzab Ali, M. D., Ahmed, R., Kumer Sarker, K., & Sadia Arfin, M. S. (2022). Influence of boron and zinc on yield, nutrient uptake and quality of strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(6), 866-882. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1998528

Ahmed, R., Uddin, M. K., Quddus, M. A., Samad, M. Y. A., Hossain, M. A. M., & Haque, A. N. A. (2023). Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. *Horticulturae*, *9*(2), 162. https://doi.org/10.3390 /horticulturae9020162

Amooaghaie, R., Norouzi, M., & Saeri, M. (2017). Impact of zinc and zinc oxide nanoparticles on the physiological and biochemical processes in tomato and wheat. *Botany*, *95*, 441-455. https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0194

Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in *propolis* by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, *10*, 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

Chiou, A., Karathanos, V. T., Mylona, A., Salta, F. N., Preventi, F., & Andrikopoulos, N. K. (2007). Currants (*Vitis vinifera* L.) content of simple phenolic and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *102*, 516-522. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.009

Comert, E. D., Mogol, B. A., & Gokmen, V. (2020). Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Current Research in Food Science*, *2*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.001

Dass, A., Rajanna, G. A., Babu, S., Lal, S. K., Choudhary, A. K., Singh, R., & Kumar, B. (2022). Foliar application of macro-and micronutrients improves the productivity, economic returns, and resource-use efficiency of soybean in a semiarid climate. *Sustainability*, *14*(10), 5825. https://doi.org/10.3390/su14105825

Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Abadia, J., & Khorasani, R. (2016). Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*, *210*, 57-64. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.003

Elhadi, M. Y. (2019). Phenolic compounds. In: Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables (eds. De la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-Garcia, J. and Alvarez-Parrilla, E.) Pp. 253-271. Wood Head Publishing.

El-Hak, R. E. S. A., El-Said, S. A. E. A., El-Shazly, A. A. E. F., El-Gazzar, M., Shaaban, E. A. E. A., & Saleh, M. M. S. (2019). Efficiency of nano-zinc foliar spray on growth, yield and fruit quality of Flame seedless grape. *Journal of Applied Sciences*, *19*, 612-617. https://doi.org/10.3923/jas.2019.612

Erdem, H. & Sahin, O. (2021). Foliar zinc sprays affected yield and bioactive compounds of granny smith apple. *International Journal of Fruit Science*, *21*(1), 670-680. https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1920554

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

Gergichevich, C. M., Luengo-Escobar, A., Alarcon, D., Reyes-Diaz, M., Ondrasek, G., Morina, F., & Khristopher, O. (2021). Combined spraying of boron and zinc during fruit set and premature stage improves yield and fruit quality of *European hazelnut* cv. tonda di giffoni. *Frontiers in Plant Science, 12*, 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.661542

Gupta, D. K., Palma, J. M., & Corpas, F. J. (2018). Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants. Springer International Publishing, Berlin.

Hajimahdipour, H., Khanavi, M., SHekarchi, M., Abedi, Z., & Pirali Hamedani, M. (2009). Study the best method of extraction of phenolic compounds in *Echinacea purpurea*. *Journal of Medicinal Plants, 4*, 145-152. https://doi.org/ 20.1001.1.2717204.2009.8.32.17.4

Hassanpouraghdam, M. B., Mehrabani, L. V., & Tzortzakis, N. (2020). Foliar application of nano-zinc and iron affects physiological attributes of *Rosmarinus officinalis* and quietens NaCl salinity depression. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20*, 335-345. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00111-1

Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall *fescue*: I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology, 99*, 872-878. https://doi.org/ 10.1104/pp.99.3.872

Maity, A., Gaikwad, N., Dhinesh Babu, K., Sarkar, A., & Patil, P. (2021). Impact of zinc and boron foliar application on fruit yield, nutritional quality and oil content of three pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Journal of Plant Nutrition, 42*, 1-13. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884711

Masukasu, H., Karin, O., & Kyoto, H. (2003). Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanus sativus*) hypocotyls. *Plant Science, 164*, 259-265. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00408-9

Nakano, Y. & Asada, K. (1987). Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; Its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Plant and Cell Physiology, 28*(1), 131-140. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077268

Perin, E. C., da Silva Messias, R., Borowski, J. M., Crizel, R. L., Schott, I. B., Carvalho, I. R., ... & Galli, V. (2019). ABA-dependent salt and drought stress improve strawberry fruit quality. *Food Chemistry, 271*, 516-526. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.213

Radhika, K. & Meena, S. (2021). Effect of zinc on growth, yield, nutrient uptake and quality of groundnut: A review. *The Pharma Innovation Journal, 10*(2), 541-546. https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i2h.5727

Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A. & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere, 214*, 269-277. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.120

Saleem, M. S., Anjum, M. A., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M. & Ejaz, S. (2021). Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits. *International Journal of Biological Macromolecules, 189*, 160-169. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.051

Singh, G., Kachwaya, D. S., Kuchi, V. S., Singh, M., Singh, J., & Singh, B. (2020). Influence of foliar application of mineral nutrients on vegetative and fruit quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cv. Chandler. *The Journal of Plant Science Research, 36*(1/2), 323-328. https://doi.org/10.32381/JPSR.2020.36.1-2.41.

Sing, R. & Kumari, N. (2015). Comparative determination of phytochemicals and antioxidant activity from leaf and fruit of *Sapindus mukorrossi* Gaertn. – A valuable medicinal tree. *Industrial Crops and Products, 73*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.012

Slinkard, K. & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture, 28*, 49-55. https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49

Song, C. Z., Liu, M. Y., Meng, J. F., Chi, M., Xi, Z. M., & Zhang, Z. W. (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. *Journal of Molecules, 20*, 2536-2554. https://doi.org/10.3390/molecules20022536

Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science, 161*, 613-619. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00450-2

Tahir, R., Adnan, M., Bilal, H. M., Saeed, M. S., Tampubolon, K., Rehman, F., & Prince, P. (2020). Impact of foliar application of Zn on growth yield and quality production of *Citrus*: A review. *Indian Journal of Pure and Applied Biosciences, 8*(6), 529-534. doi: https://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8496.

Weber, N., Schmitzer, V., Jakopic, J., & Stampar, F. (2018). First fruit in season: Seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) fruit formation and yield. *Scientia Horticulturae, 242*, 103-109. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.038

Wei, Y., Shao, X., Wei, Y., Xu, F., & Wang, H. (2018). Effect of preharvest application of tea tree oil on strawberry fruit quality parameters and possible disease resistance mechanisms. *Scientia Horticulturae, 241*, 18-28. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.077

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., Li, L., & Soleimani Aghdam, M. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology, 147*, 29-38. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002

Yildizhan, H. (2018). Energy, exergy utilization and CO_2 emission of strawberry production in greenhouse and open field. *Energy, 143*, 417-423. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.139.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]

Effect of nano-chelating spray on yield, phytochemical and antioxidant properties of Sabrina strawberry fruit under low solubility conditions

Parisa Sadeghi, Hamid Hassanpour*

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
(Received: 2023/01/17, Accepted: 2023/05/30)

Abstract

Due to the environmental effects of the widespread use of conventional chemical fertilizers, foliar application of nutrients can prevent an increase in chemical fertilizer use and pollution of surface and groundwater. Therefore, in the present study, the effect of foliar application of nano-chelate zinc (0, 1 and 1.5 g/l) under low fertigation conditions (90, 110 and 130 ml) on strawberry fruit C.V. Sabrina was performed in greenhouse conditions. The measured traits included antioxidant activity, vitamin C content, total phenol, flavonoids, anthocyanin content, antioxidant enzymes, and the content of iron and zinc elements. The results showed that the application of zinc chelate leads to increased yield, vitamin C, phenol and flavonoid content, and antioxidant capacity compared to control. The highest fruit yield (550.39 g) and iron element content (289.2 mg/kg DW) were observed in low fertigation of 130 ml and nano chelate zinc of 1.5 g/l, whereas the lowest yield (123.56 g) and iron element content (123.92 mg/kg DW) were obtained in low fertigation of 90 ml and nano chelate zinc at 0 g/l. Also, the highest activity of catalase enzyme (3.25 units/g FW) was obtained in 1.5 g/l of nano zinc chelate and low fertigation of 90 ml treatments. In general, it can be concluded that zinc chelate nano-fertilizer at a 1.5 g/l is suitable for improving the yield and quality of Sabrina cultivar strawberries under low fertigation conditions. Therefore, based on the results of this study, it is possible to suggest the use of a low fertigation treatment of 110 ml along with 1.5 g/L of zinc chelate nano to reduce the consumption of nutrient solution and water for strawberry hydroponic cultivation.

Keywords: Anthocyanin, Antioxidant enzymes, Ascorbic acid, Mineral elements, Total phenol

Corresponding author, Email: ha.hassanpour@urmia.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-30]