

تأثیر محلول پاشی نانو کلات روی بر ویژگی های عملکرد میوه، فیتوشیمیایی و آنتی اکسیدانی گیاه توت فرنگی رقم ساپرینا تحت شرایط کم محلول دهی

پریسا صادقی^۱ و حمید حسن پور^{۱*}

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، محلول پاشی برگی عناصر غذایی می تواند از افزایش مصرف کودهای شیمیایی و آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی جلوگیری کند. بنابراین در پژوهش حاضر تأثیر، محلول پاشی برگی نانو کلات روی (صفر، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر) تحت شرایط کم محلول دهی (۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی لیتر) روی میوه توت فرنگی رقم ساپرینا در شرایط گلخانه ای انجام گرفت. صفات مورد اندازه گیری شامل فعالیت آنتی اکسیدانی، محتوی آسکوربیک اسید، فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین کل، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی 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 آنتی اکسیدانی در مقایسه با شاهد می شود. بالاترین عملکرد میوه (۵۵۰/۳۹ گرم) و محتوی عنصر آهن (۲۸۹/۲ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در تیمار کم محلول دهی ۱۳۰ میلی لیتر و نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار عملکرد (۱۲۳/۵۶ گرم) و محتوای عنصر آهن (۱۲۳/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) نیز در تیمار کم محلول دهی ۹۰ میلی لیتر 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 محلول دهی ۹۰ میلی لیتر به دست آمد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که نانو کود کلات روی در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر جهت بهبود عملکرد و کیفیت توت فرنگی رقم ساپرینا تحت شرایط کم محلول دهی مناسب است. بنابراین براساس نتایج حاصل از این مطالعه می توان استفاده از تیمار کم محلول دهی ۱۱۰ میلی لیتر را به همراه ۱/۵ گرم در لیتر نانو کود کلات روی جهت کاهش مصرف محلول غذایی و آب برای کشت هیدروپونیک توت فرنگی پیشنهاد نمود.

کلمات کلیدی: آنتوسیانین، آنزیم های آنتی اکسیدانی، آسکوربیک اسید، عناصر معدنی، فنل کل

مقدمه

از لحاظ گیاه شناسی توت فرنگی گیاهی چند ساله علفی است که به طور متوسط ۵ - ۳ سال عمر داشته و حاوی طوقه کوتاهی بوده که جوانه های جانبی روی آن قادر به تولید ساقه رونده و یا گل آذین هستند (جلیلی مرندی، ۱۳۸۴). کیفیت میوه توت فرنگی بسیار حائز اهمیت است و از جمله

توت فرنگی (*Fragaria × ananassa* Dutch) از جمله میوه هایی است که دارای طرفداران بسیار زیادی در اکثر نقاط دنیا می باشد، زیرا دارای طعم و عطر ویژه و همچنین ارزش غذایی زیادی است (Yildizhan, 2018; Weber et al., 2018).

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

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 فیزیولوژی 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 افزایش 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 بالا بوده، لذا محلول‌پاشی برگی

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 ۱۵-۲۵ 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 این حال 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 در نهایت 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 DNA, RNA و پروتئین‌ها ایفا

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 سلسیوس 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 غذایی مطلوب برای هر گیاه از طریق اندازه‌گیری زه‌آب خروجی که معمولاً ۱۵ الی ۲۰ میلی‌لیتر 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 کوکویت، ۲۵ درصد پیت‌ماس و ۲۵ درصد پرلیت بود، کشت شدند (شکل ۱). در هفته اول بعد از کشت نشاءهای

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 تیمار شده 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.

ارزایی 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 تیتراژ شد. به محض مشاهده رنگ آبی عمل تیتراژ 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:

$$100 \times [\text{حجم آب میوه}] / (0/88 \times V) = \text{آسکوربیک اسید}$$

$$V = \text{حجم ید در یدور پتاسیم مصرفی بر حسب میلی‌لیتر،}$$

$$0/88 = \text{عدد ثابت که نشان‌دهنده این است که هر یک میلی‌لیتر ید 0/01 نرمال برابر با 0/88 میلی‌گرم آسکوربیک اسید است.}$$



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

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

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

اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) خوانده شد. برای محاسبه محتوی آنتوسیانین کل از فرمول زیر و بر حسب واحد سیانیدین تری گلیکوزید استفاده شد:

$A=(A_{510\text{ nm}}-A_{700\text{ nm}}) \text{ pH } 1 - (A_{510\text{ nm}}-A_{700\text{ nm}}) \text{ pH } 4.5$
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

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

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 به آرامی از دستگاه سانتریفیوژ خارج و محلول رویی در چند ویال کوچک توزیع شد (Sudhakar *et al.*, 2001). عصاره حاصل به منظور 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 برگ‌های تیمارهای مختلف در آن و در دمای ۷۰ درجه سلیسیوس 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 نرم‌ساز به روش کولموگوروف-اسمیرنوف (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،

اضافه شد. پس از این مرحله، لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰-۴۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق قرار گرفتند. در نهایت میزان جذب عصاره هر یک از تیمارها در طول موج 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).

به منظور ارزیابی محتوی فلاونوئید کل میوه‌های توت‌فرنگی در پژوهش حاضر، میزان ۳۰ میکرولیتر از عصاره متانولی حاصل به ۱۵۰ میکرولیتر نیتريت 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 اسپکتوفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) در طول موج 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 طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده و با استفاده از فرمول زیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی محاسبه شد (Chiou *et al.*, 2007):

$$\text{بازدارندگی (\%)} = [(AC-AS)/AC] \times 100$$

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

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

میانگین مربعات										
منابع تغییرات	درجه آزادی	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**
نانو کلات 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**	۲۰/۵۰ ^{ns}	۳/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳۹۴ ^{ns}	۲۱/۶۸ ^{ns}	۰/۱۸*	۰/۱۵۸ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{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

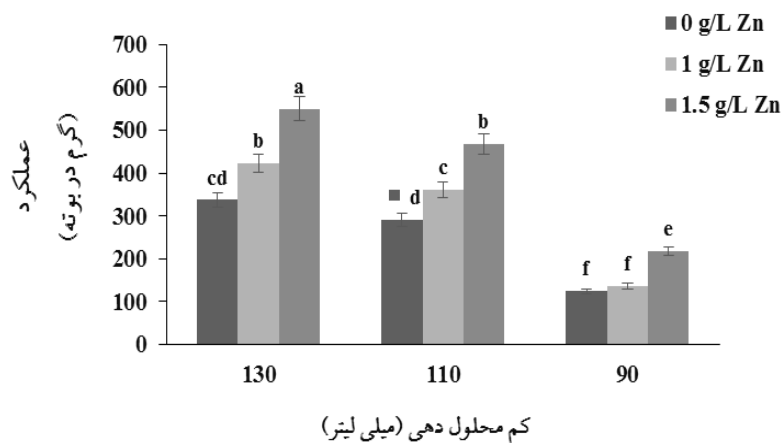
ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

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.

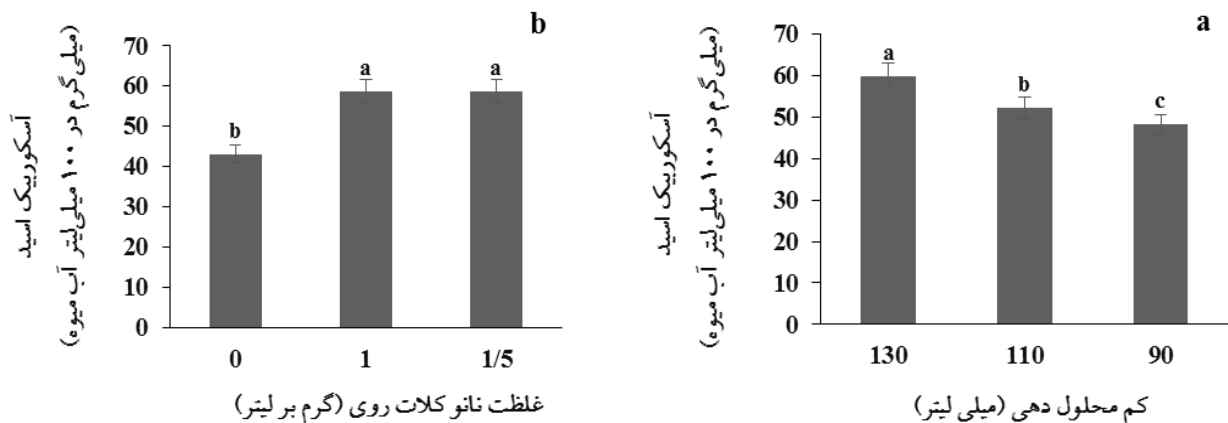
آسکوربیک اسید: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول‌دهی و نانو کلات روی بر محتوی آسکوربیک اسید معنی‌دار شد ($P < 0.01$), اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در تیمار کم محلول‌دهی با کاهش میزان محلول غذایی، مقدار آسکوربیک 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

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 نانو کلات 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 این رو 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



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

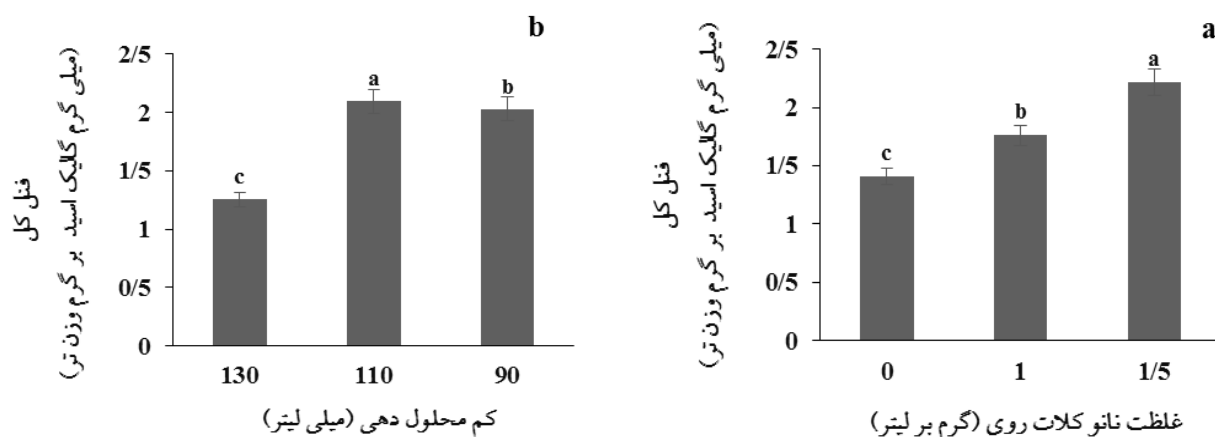


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده کم محلول دهی (a) و نانو کلات روی (b) بر آسکوربیک اسید توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

تنش‌های اکسیداتیو به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی آسکوربیک اسید است (Perin *et al.*, 2019). در پژوهشی Singh و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که محلول پاشی 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 بر این 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

ترتیب در تیمار ۱ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به دست آمد. اختلاف بین دو تیمار ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر 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



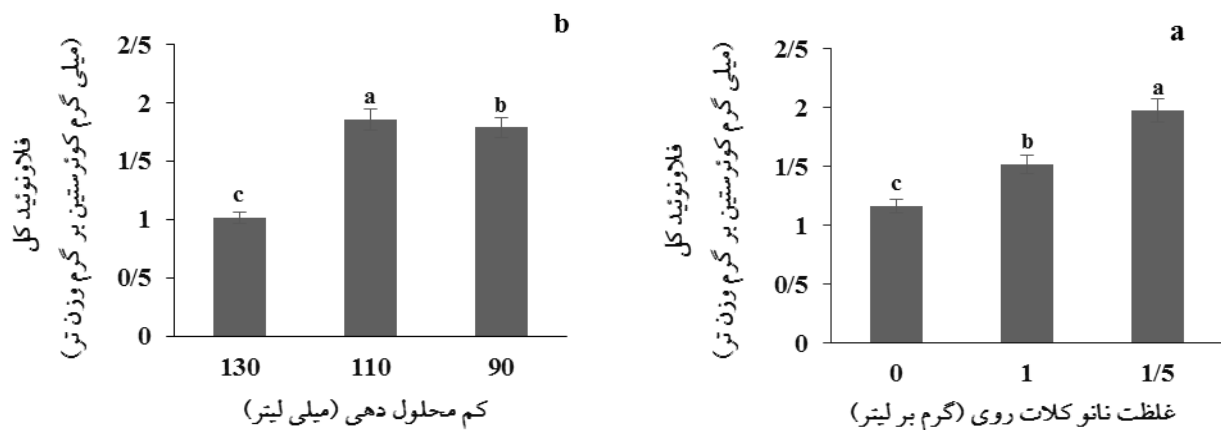
شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول دهی (b) بر محتوی فنل کل توت فرنگی رقم ساپرینا. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن است.

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 محلول دهی و نانو کلات روی و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان آنتوسیانین معنی دار 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 محلول دهی و نانو کلات روی بر محتوای فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی دار بود ($P < 0.01$), اما اثرات متقابل آن‌ها معنی دار 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 محلول دهی 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 محلول دهی 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 محلول دهی این روند منظم نبود. بیشترین میزان فلاونوئید کل (۱/۹۷ میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و کمترین میزان آن (۱/۱۷ میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن تر) در تیمار شاهد به دست آمد (شکل ۵a). در شرایط کم محلول دهی نیز بیشترین و کمترین میزان فلاونوئید (به ترتیب ۱/۸۵ و ۱/۰۱ میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار کم محلول دهی 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 فتدی روی ساختار فلاونوئیدها از جمله علل افزایش‌دهنده قدرت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها است.



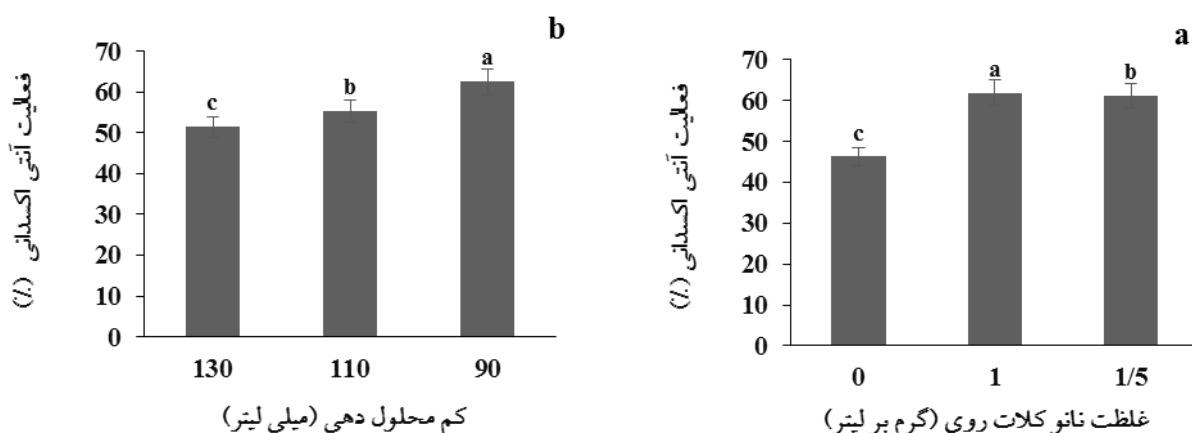
شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر فلاونوئید کل توت‌فرنگی رقم سابرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

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).

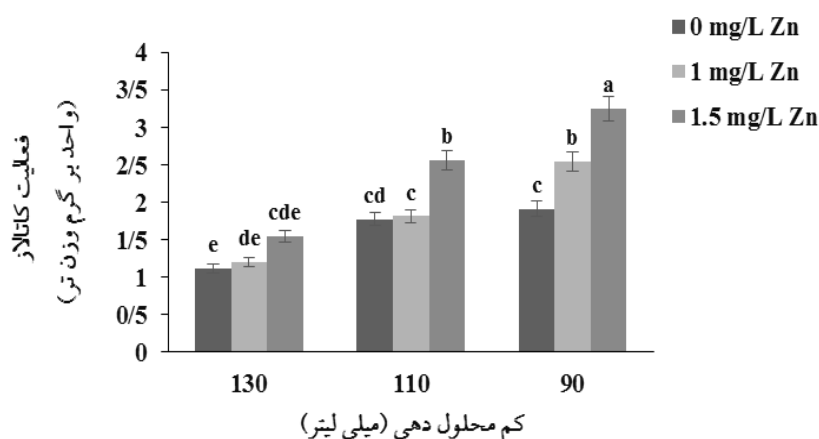
سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس DPPH که بر پایه قدرت مهارکنندگی رادیکال‌ها آزاد استوار است، به طور گسترده به عنوان پارامتری معتبر در بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات خالص و همین‌طور عصاره‌های گیاهی، در شرایط آزمایشگاه محسوب می‌شود (Comert et al., 2020). آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیباتی هستند که مانع عمل 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.

ترکیبات فلاونوئیدی عمدتاً رادیکال‌های هیدروکسی و پراکسی را خنثی می‌کنند و از طریق تشکیل کمپلکس با فلزات، از اکسیداسیون لپیدها 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، ضد میکروبی، 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 گرانی اسمیت گزارش نمودند. مشابه پژوهش انجام‌شده، Gergichevich و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر عنصر روی را در افزایش 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



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول دهی (b) بر فعالیت آنتی اکسیدانی توت فرنگی رقم سابرینا. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن است.

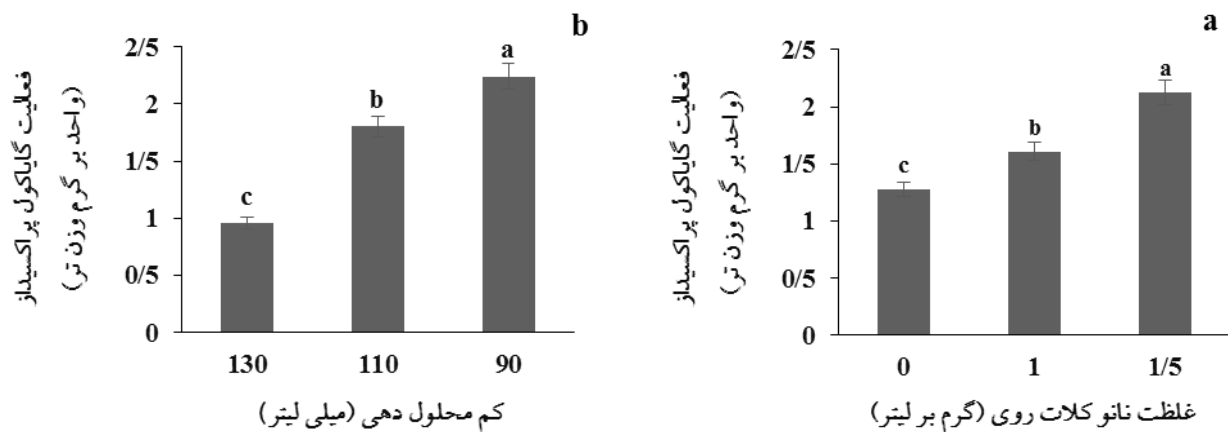


شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو کلات روی و کم محلول دهی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز توت فرنگی رقم سابرینا. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن است.

دیده شد، با این حال اختلاف معنی داری بین شاهد و سطوح مختلف نانو کلات روی وجود نداشت (شکل ۷).

آنزیم گایاکول پراکسیداز: تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول دهی و نانو کلات روی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی دار شد ($P < 0.01$) اما اثرات متقابل آن‌ها معنی دار 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).

فعالیت آنزیم کاتالاز: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول دهی و نانو کلات روی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ($P < 0.01$) و اثرات متقابل آن‌ها معنی دار شد ($P < 0.05$) (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تیمار کم محلول دهی 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 محلول دهی ۹۰ سی سی به دست آمد. کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۱/۱۱ واحد بر گرم وزن تر) نیز در غلظت صفر نانو کلات روی و کم محلول دهی ۱۳۰ میلی لیتر



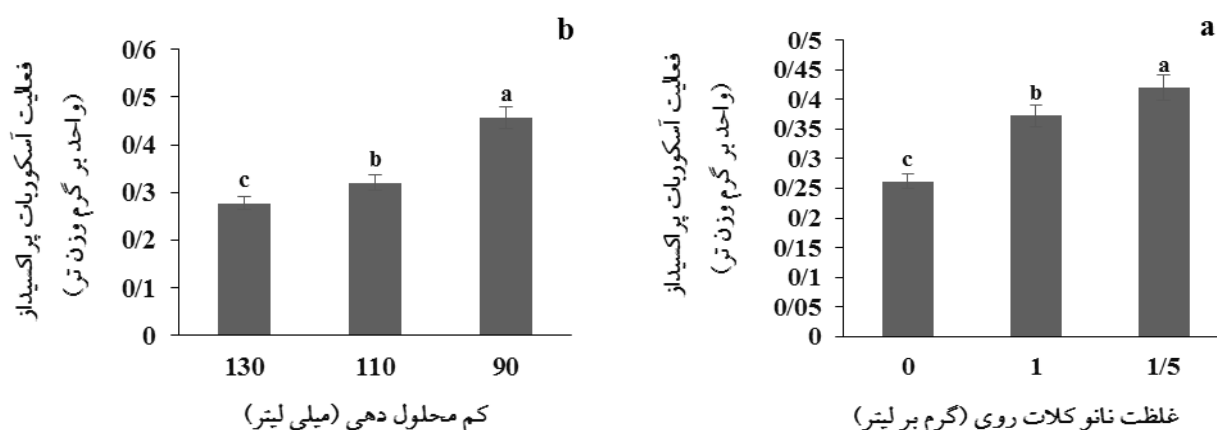
شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول دهی (b) بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز توت‌فرنگی رقم ساپرینا. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.

گرم وزن تر) در کم محلول دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۹b).

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 می‌یابد. 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

افزایش شدت کم محلول دهی نیز تأثیر مشابهی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز داشت و با افزایش کم محلول دهی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۲/۲۴ واحد بر گرم وزن تر) در تیمار کم محلول دهی ۹۰ میلی‌لیتر و کمترین میزان آن (۰/۹۶ واحد بر گرم وزن تر) در تیمار کم محلول دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر به دست آمد (شکل ۹b).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات ساده کم محلول دهی 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 غلظت 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 ۹a). افزایش شدت کم محلول دهی نیز تأثیر مشابهی بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز داشت و با افزایش کم محلول دهی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۰/۴۵ واحد بر گرم وزن تر) در کم محلول دهی ۹۰ میلی‌لیتر و کمترین میزان آن (۰/۲۷ واحد بر



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

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

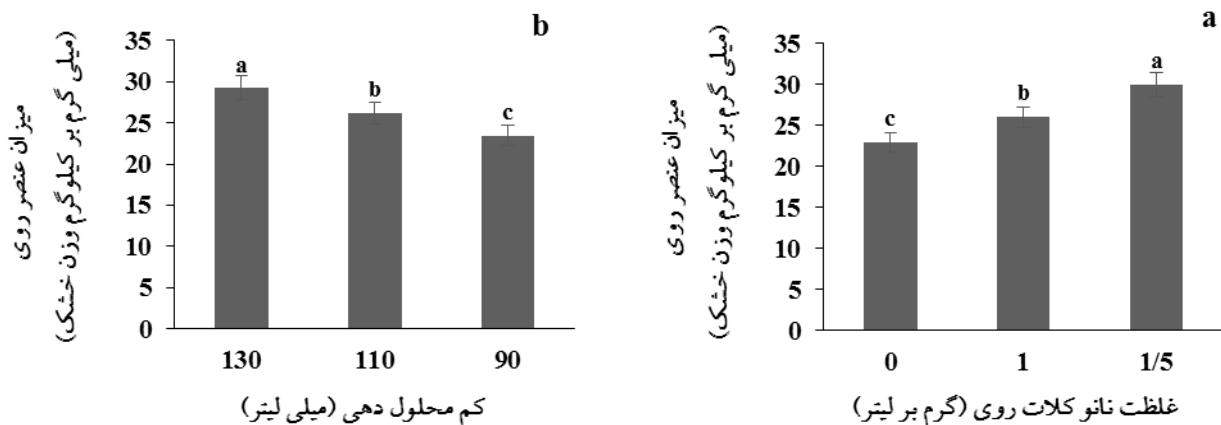
فعالیت داشته و پراکسید هیدروژن را تجزیه و به آب تبدیل می‌کند. همچنین آنزیم آسکوربات پراکسیداز پراکسید هیدروژن را در کلروپلاست، سیتوسول، میتوکندری و پراکسی‌زوم سلول‌های گیاهی از بین می‌برد (Gupta et al., 2018). عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در متابولیسم پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و همچنین رنگدانه‌های فتوسنتزی 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

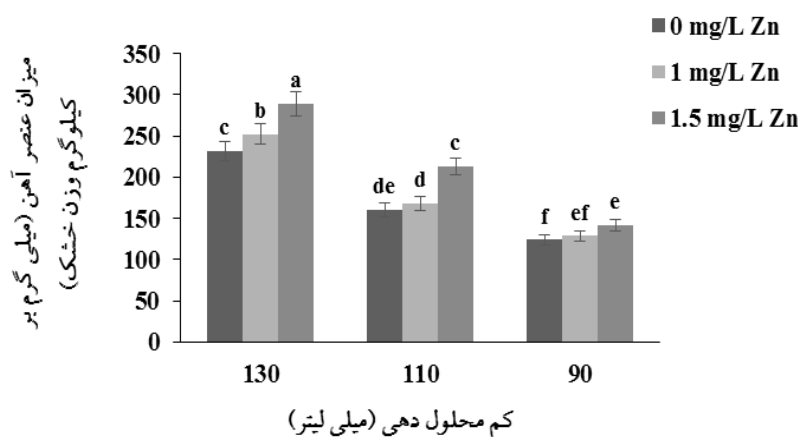
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمار کم محلول دهی و نانو کلات روی بر عناصر آهن و روی توت فرنگی رقم سابرینا.

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

ns. * و **: به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثرات ساده نانو کلات روی (a) و کم محلول دهی (b) بر میزان عنصر روی در توت فرنگی رقم سابرینا. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ در بین میانگین‌ها براساس آزمون دانکن است.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو کلات روی و کم محلول دهی بر میزان عنصر آهن توت فرنگی رقم سابرینا. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار 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

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 افزایش 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.

در سلول‌های 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 بیوستتزا ساکاریدها، فتوستتزا 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 فتوستتزا 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 فتوستتزا 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 بیوستتزا اکسین در حضور آن و روی و افزایش غلظت فسفوانول 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

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.

خبازی، سارا، عبدالمهی، فرزین، قاسمی، مصطفی، و رستگار، سمیه (۱۳۹۷). بررسی تأثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی روی و منگنر بر برخی ویژگی های کمی و کیفی میوه پرتقال واشنگتن ناول (*Citrus sinensis* CV. Navel). علوم باغبانی ایران، ۴۹(۳)، ۷۷۹-۷۹۰. <https://doi.org/10.22059/IJHS.2017.238139.1286>

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

رفیعی پور، مهین، غلامی، منصور، و ساری خانی، حسین (۱۳۹۷). اثر کم آبیاری بر برخی ویژگی های ریخت شناسی و فیزیولوژیکی توت فرنگی (*Fragaria ananassa*). پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی 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 محلول پاشی 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 ویژگی های کمی 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). روش های پیشرفته پرورش توت فرنگی. ترجمه هاشم آبادی، 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](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.crf.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>

- 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., & Tzortzakakis, 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](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 mukorossi* 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](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>

- 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 CO₂ emission of strawberry production in greenhouse and open field. *Energy*, *143*, 417-423. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.139>.

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