**Iranian Journal of Horticultural Science**
Vol 52, No 4, Winter 2022 (835-850)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.302096.1798

**علوم باغبانی ایران**
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰ (ص ۸۵۰-۸۳۵)

**نشریه پژوهشی:**

# برهمکنش محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید و نانوپتاسیم بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم کامارزا

**مهین سعیدی[۱]، حبیب شیرزاد[۲*]، پرویز نوروزی[۲] و قادر قاسمی[۳]**
**۱ و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران**
**۳. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران**
**(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۹)**

## چکیده
**استفاده از تیمارهایی از جمله نانوکودها و شبه‌هورمون‌ها در کشت‌های بدون خاک از عوامل مهم تاثیرگذار در کمیت و کیفیت محصولات باغی می‌باشند. به منظور بررسی برهمکنش نانوپتاسیم (صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر) و سدیم‌نیتروپروساید (صفر، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومول در لیتر) بر گیاه توت‌فرنگی رقم کامارزا در سیستم کشت بدون خاک، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد همه خصوصیات مورفولوژیک از جمله تعداد میوه، طول و قطر میوه و وزن میوه از لحاظ آماری، تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های شاهد داشتند. بیشترین تعداد، طول و وزن میوه در تیمار ۴۰۰ میکرومول در لیتر سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم مشاهده شد. نتایج نشان داد تمامی خصوصیات فیتوشیمیایی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و آنزیمی از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های شاهد بودند. بیشترین میزان فنل کل در تیمار ترکیبی (۲ گرم بر لیتر نانوپتاسیم و ۴۰۰ میکرومول در لیتر سدیم-نیتروپروساید) مشاهده گردید و بیشترین میزان فعالیت آنزیم PAL نیز مربوط به تیمار ترکیبی (۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم و ۶۰۰ میکرومول در لیتر سدیم‌نیتروپروساید) بود. به‌طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد تیمار نانوپتاسیم و سدیم‌نیتروپروساید می‌تواند کمیت، کیفیت و بازار-پسندی میوه توت‌فرنگی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد.**

**واژه‌های کلیدی:** **آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز، شبه‌هورمون، فنل کل، محلول‌پاشی، نانوکود.**

# Interaction of sodium-nitroprusside and nano-potassium spraying on physicochemical properties and antioxidant capacity of Strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. *Camarosa*)

**Mahin Saeedi[1], Habib Shirzad[2*], Parviz Norouzi[2] and Ghader Ghasemi[3]**
1, 2. M. Sc. Student and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3. Ph. D. Candidate, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (TUM), Tehran, Iran
(Received: May 12, 2020- Accepted: Dec. 29, 2020)

## ABSTRACT
The use of treatments such as nanofertilizers and hormones in soilless culture are important factors influencing the quantity and quality of horticultural products. In order to investigate the interaction of nanopotassium (0, 1, 2 and 3 g/l) and sodium nitroprusside (0, 200, 400 and 600 µ mol/l) on strawberry fruit (cv. *Camarosa*) under hydroponic culture system, a factorially experiment based on completely randomized design was carried out. The results showed that all morphological characteristics including fruit number, fruit length and diameter and fruit weight were statistically significantly different from control samples. The highest number, length and weight of fruit were observed in the treatment of 400 µmol/l sodium nitroprusside and 1 g/l of nanopotassium. The results showed that all phytochemical properties and antioxidant and enzymatic activities were statistically significantly different from control at 1% level of probability. The highest amount of total phenol was observed in the combined treatment (2 g/l nanopotassium and 400 µmol/l sodium nitroprusside) and the highest PAL enzyme activity was related to the combined treatment (3 g/l nanopotassium and 600 µmol/l sodium nitroprusside). In general, the results of the present study showed that the treatment of nanopotassium and sodium nitroprusside can increase the quantity and quality of strawberry fruit and increase its marketability significantly.

**Keywords:** Nano fertilizer, PAL enzayme, quasi-hormones, spray, total phenol content.

* Corresponding author E-mail: h.shirzad@urmia.ac.ir

## مقدمه

با کمک دانش نوین تغذیه، ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزی‌ها به گونه‌ی شایان توجهی افزایش یافته است، از سوی دیگر بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات کشاورزی برای تولید کنندگان حائز اهمیت است. یکی از راه‌های افزایش عملکرد در واحد سطح و افزایش خصوصیات کمی و کیفی محصولات کشاورزی استفاده از سیستم‌های کشت بدون خاک در گلخانه‌ها می‌باشد، از طرفی به دلیل هزینه بر بودن تولید در گلخانه و سیستم‌های بدون خاک نیاز به تیمار گیاهان کشت شده در این سیستم‌ها با عناصر معدنی یا محلول‌های غذایی در طول دوره داشت محصول ضروری به نظر می‌رسد (Dris *et al*., 2001). یکی از محصولات رایج تولیدشده در سیستم‌های بدون خاک توت فرنگی می‌باشد.

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria×ananassa* Duch. از خانواده Rosaceae می‌باشد. توت‌فرنگی از میوه‌هایی است که به دلیل عطر و طعم، شکل و رنگ، ارزش غذایی بالا و ترکیبات فیتوشیمیایی از اهمیت بسیار زیادی در بین مصرف کنندگان برخوردار است (Aghaee Fard *et al*., 2015). میوه رسیده توت‌فرنگی دارای ترکیباتی نظیر فیبر، پروتیین، قندهایی مثل فروکتوز، گلوکز، ساکاروز، اسیدهای آلی مثل اسید مالیک و اسید سیتریک، ویتامین‌های ث، آ، تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین، عناصر معدنی مانند کلسیم، پتاسیم، فسفر و آهن و همچنین ترکیبات فنلی و آنتوسیانین می‌باشد (Ayub *et al*., 2010). یکی از ارقام تجاری توت‌فرنگی رقم کامارزا می‌باشد، این رقم روز کوتاه، بوته‌ای بسیار قوی، دارای برگ‌های بزرگ و متراکم، میوه‌ای سفت و مخروطی شکل که در اوایل باردهی وزن آن تا ۴۰ گرم هم می‌رسد. نسبت به کمبود کلسیم حساس بوده و در مقابل سفیدک و ورتیسیلیوم مقاوم می‌باشد، در حال حاضر کشت و کار این رقم در حال توسعه می‌باشد (Lolaei *et al*., 2013).

کشور ایران یکی از کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و همواره با معضل کمبود آب مواجه است، استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای راهکاری موثر برای کاهش مصرف آب و افزایش تولید محصولات کشاورزی است و راهی است مؤثر جهت افزایش تولید با مصرف کمتر (Farzamnia *et al*., 2015; Akbari & Dehghanisanij, 2017). در این خصوص آبیاری تدریجی باعث بهبود رطوبت بستر کشت، کاهش مقاومت روزنه‌ای و افزایش بهبود پتانسیل آب برگ و افزایش عملکرد در توت‌فرنگی می‌شود (دلشاد و همکاران، ۱۳۹۰). از طرفی، کشت بدون خاک به دلیل عاری بودن از آفات و بیماری‌ها و به‌دلیل سهولت و مدیریت آسان‌تر محلول غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shahinrokhsar *et al*., 2007). یکی از مشکلات رایج سیستم‌های کشت بدون خاک، تغذیه نامناسب به دلیل فقدان الگوی خاص برای تغذیه می‌باشد (Behnamian & Messiha, 2001)، لذا حل این مشکل نیازمند تعیین غلظت‌های مناسب استفاده از عناصر معدنی پرمصرف و کم مصرف می‌باشد. یکی از عناصر معدنی ارزشمند و ضروری برای رشد محصولات کشاورزی پتاسیم است. پتاسیم در رشد و توسعه سلول‌های گیاهی، فرآیند فتوسنتز و تنفس، حفظ تعادل بارالکتریکی کلروپلاست، ایجاد تورژسانس سلولی، باز و بسته شدن روزنه و سنتز انواع کربوهیدرات‌ها، پروتیین ها و لیپیدها نقش دارد و از این‌رو تأثیر مهمی بر رشد و نمو، عملکرد و کیفیت محصول دارد (Ganjehi & Golchin, 2012).

پتاسیم کافی، صفات کیفی میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث افزایش میزان قند و اسید شده و طعم را بهبود می‌بخشد. سفتی میوه و در نتیجه قابلیت نگهداری آن با تغذیه پتاسیم بهبود می‌یابد همچنین پتاسیم در درشتی میوه و افزایش عملکرد نقش دارد (El-Bassiony *et al*., 2010). گزارش شده است که کاربرد پتاسیم، وزن خوشه، اندازه خوشه، وزن حبه، اندازه حبه و مواد جامد محلول کل انگور را افزایش داده است (Sindhu *et al*., 2002). گزارش شده است که پتاسیم ازطریق افزایش رشد گیاه میزان تولید مواد فتوسنتزی را افزایش می‌دهد و به علت تخصیص کربن اضافی تثبیت شده به مسیر اسید شیکمیک موجب افزایش ترکیب‌های فنلی می‌شود (Nguyen *et al*., 2010). از طرف دیگر ثابت شده است که فنیل آلانین آمونیالیاز آنزیمی کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید

است (Tamagnon *et al*., 1998) و پتاسیم با افزایش فعالیت این آنزیم میزان ترکیب‌های فنلی را افزایش می‌دهد (Soarcs *et al*., 2005).

Zaree *et al*. (2015) گزارش کردند که مقدار فنل کل در اثر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در انگور رقم "رشه" افزایش یافت. در پژوهشی مشخص شده است که کاربرد برگی پتاسیم منجر به افزایش معنی‌دار رنگدانه‌های آنتوسیانین، ترکیب‌های فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آبمیوه انار در مقایسه با شاهد شده است (Tehranifar *et al*., 2006). در گزارشی Yavary *et al*. (2015) بیان کردند محلول‌پاشی ترکیبی نانوپتاسیم و ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری باعث افزایش آنتوسیانین، فلاونوئید، فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در گیاه آلوئه‌ورا شدند. با توجه به اثرات مفید ذکر شده برای پتاسیم تصور می‌شود که استفاده از این عنصر به صورت نانو با عنایت به این که فناوری نانو با کاهش اندازه ذرات و افزایش سطح تماس این عنصر با بافت گیاهی باعث افزایش کارایی این عنصر می‌شود، بیش از پیش مفید واقع گردد (Bautista-Banos *et al*., 2006). امروزه نانو کودها فناوری نوینی هستند که با کوچک کردن اندازه ذرات در مقیاس نانو، امکان جذب بسیار بیشتری را فراهم می‌آورند. قابلیت جذب و مصرف بالا هم از طریق خاک (به صورت سرک همراه آب آبیاری، سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی) و هم از طریق برگ (محلول‌پاشی) از ویژگی‌های این نوع کودها به‌شمار می‌روند. از سوی دیگر نانوکمپلکس‌ها در بازه pH وسیعی قابل استفاده هستند (Mazaherinia *et al*., 2010).

سدیم‌نیتروپروساید (SNP) (که ترکیب تجاری تولیدکننده نیتریک اکسید است)، یک مولکول پیامرسان حیاتی است. نیتریک‌اکسید به‌عنوان یک سیگنال مهم در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه در مراحل مربوط به رشد و نمو و پیری اندام‌ها نقش دارد (Arasimowics & Wieczoorek, 2007). این ترکیب در تحریک تقسیم سلولی، افزایش میزان کلروفیل و بسیاری از اعمال دیگر دخالت دارد (Belingin & Lamattina, 2000).

سدیم نیتروپروساید با اثرات مستقیم روی اجزاء دیواره سلول توسط آپوپلاست، دیواره سلول را شل کرده و با تاثیر بر فسفولیپیدهای دولایه ای سیالیت غشاء را افزایش می‌دهد و به این طریق بزرگ شدن سلول و در نتیجه بزرگ شدن میوه را تسهیل می‌کند (Zhang, 2004). Yadollahi *et al*. (2013) گزارش کردند اثر سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید بر وزن، تعداد، طول و عرض میوه گیاه دارویی کارلا در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نیتریک‌اکسید به‌طور غیر مستقیم با تحت تأثیر قرار دادن متابولیسم کربوهیدرات‌ها، آن‌ها را به سمت سنتز ترکیبات فنلی هدایت می‌کند. همچنین غلظت‌های پایین سدیم نیتروپروساید در گیاهان به عنوان یک پیامبر ثانویه، باعث بیان ژن‌های فنیل آلانین‌آمونیالیاز می‌شود و از این طریق باعث افزایش فنل می‌شود (Dumer *et al*., 1998). Esmaeilzadeh *et al*. (2015) گزارش کردند اثر نیتریک‌اکسید بر گیاهچه‌های بادرنجبویه کشت شده در شرایط *in vitro* باعث افزایش میزان ترکیبات فنلی، فلاونوئید کل و آنتوسیانین شد. با توجه به اهمیت عنصر پتاسیم و نقش سدیم نیتروپروساید بر عملکرد وکیفیت پس از برداشت میوه‌ها، این پژوهش با هدف دست‌یابی به غلظت‌های بهینه استفاده از منابع کودی و همچنین تیمارهای شبه هورمونی جهت تولید محصولاتی با کیفیت و عملکرد بیشتر انجام شد.

## مواد وروش‌ها

### مواد گیاهی

نشاهای توت‌فرنگی تهیه شده از شرکت گلخانه چیلک واقع در شهر ارومیه، به گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه انتقال داده شدند. سرمادهی به مدت ۴۰۰ ساعت در دمای ۲ الی ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد و بعد از تکمیل نیاز سرمایی نشاءها به گلخانه و محیط کشت بدون خاک با دمای ۲۵-۱۸ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند. گیاهان در بستر کشت از پیت‌ماس و پرلایت با نسبت ۳ به ۱ که به طور افقی قرار گرفته بودند کشت شدند و روزانه با محلول‌پاشی استاندارد (حاوی عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف) که اسامی و مقدار عناصر در جدول ۱ آورده شده از طریق سیستم قطره‌ای آبیاری شدند.

جدول ۱. عناصر پرمصرف و کم مصرف مورد استفاده در سیستم کشت بدون خاک.

Table 1. Macro and micro elements used in soilless cultivation system.

| No | Names of salts | Amount (g) | Formula |
|---|---|---|---|
| | | Macro elements | |
| 1 | Calcium nitrate | 250 | $Ca(NO_3)_2$ |
| 2 | Mono-potassium phosphate | 70 | $KH_2PO_4$ |
| 3 | Potassium sulfate | 150 | $K_2SO_4$ |
| 4 | Magnesium sulfate | 135 | $MgSO_4$ |
| 5 | Ammonium molybdenum | 1.25 | $NH_4(_6Mo_7O_{24})$ |
| | | Micro elements | |
| 6 | Boric acid | 14.3 | $H_3BO_3$ |
| 7 | Manganese sulfate | 25 | $MnSO_4$ |
| 8 | Zinc sulfate | 1.5 | $ZnSO_4$ |
| 9 | Copper sulfate | 1.5 | $CuSO_4$ |
| 10 | Iron | 12.5 | $Fe^{+2}$ |

**تیمارهای مورد مطالعه**

محلول‌پاشی نانوپتاسیم (تهیه‌شده از شرکت فن آور سپهرپارمیس) در چهار سطح (صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم در لیتر) و SNP (شرکت مرک آلمان) در چهار سطح (صفر، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومول در لیتر) اعمال شدند. محلول‌پاشی در دو مرحله ۱۲ روز بعد از گلدهی کامل و دو هفته پس از آن صورت گرفت. پس از رسیدگی کامل میوه‌ها، خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری وزن، طول، قطر و تعداد میوه**

برای اندازه‌گیری وزن میوه از ترازوی دیجیتال مدل CANDGL300 با دقت ۰/۰۰۱، و برای طول و قطر میوه هم از کولیس دیجیتال استفاده شد. همچنین تعداد میوه‌ها بر روی بوته‌ها شمارش شدند.

**اندازه‌گیری اسیدیته (pH) و مواد جامد محلول (TSS)**

برای اندازه‌گیری محتوای مواد جامد قابل حل، از رفراکتومتر دستی مدل ATAGO استفاده شد و داده‌ها برحسب بریکس یاداشت گردید (Ayala-Zavala, 2007). با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتالی مدل (pH-Meter CG 824) pH آب میوه اندازه‌گیری شد.

**اندازه گیری محتوای فنل کل (TPC)**

اندازه‌گیری محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو انجام شد. داده‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد. جهت رسم منحنی استاندارد نیز از گالیک اسید استفاده شد. میزان فنل کل براساس میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم وزن تر میوه گزارش شد (Ebrahimzadeh *et al*., 2008).

**اندازه گیری محتوای فلاونوئید کل (TFC)**

برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل از معرف کلرید آلومینیوم استفاده شد و داده‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۸۰ نانومتر قرائت شده و برحسب میلی‌گرم معادل کوئرسیتین بر ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان شد (Chang *et al*., 2002).

**اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین کل (TAC)**

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین از روش Krizek *et al*. (1998) با کمی تغییرات استفاده شد. برای محاسبه غلظت آنتوسیانین از ضریب خاموشی معادل ( $\partial$= 33000 $mol^{-1}\ cm^2$) استفاده گردید. A جذب نمونه، b عرض سل و c غلظت محلول موردنظر می‌باشد. در نهایت غلظت آنتوسیانین طبق رابطه A= $\partial$bc برحسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر میوه حساب گردید.

**اندازه‌گیری میزان آسکوربیک اسید**

اندازه‌گیری میزان آسکوربیک اسید با استفاده از روش ۲و ۶ دی کلروایندوفنل (DCIP) انجام شد. ابتدا ۲ میلی‌لیتر DCIP داخل لوله‌های آزمایشی ریخته و سپس ۸۰ میکرولیتر عصاره به آن اضافه کرده (تغییر رنگ صورتی) و سپس جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV2100 PC) با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید (Bor *et al*., 2006).

**اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) و فعالیت غلظت مهار ۵۰ درصد ($IC_{50}$)**

برای ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش DPPH استفاده شد. برای این کار ۲۰۰۰ میکرولیتر از محلول DPPH را (که از قبل تهیه شده بود) در داخل لوله‌های آزمایش استریل ریخته، سپس مقدار مشخصی از عصاره میوه هر یک از نمونه‌ها را به آن اضافه کرده و محلول حاصل در دمای اتاق و در تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شد. جذب محلول حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. جهت تهیه شاهد (Control) نیز به روش فوق عمل کرده ولی به جای عصاره، آب مقطر استفاده شده و طبق فرمول زیر محاسبه گردید (Nakajima *et al*, 2004).

$$RSA = \frac{(\text{Abs control})t = 30\ \text{min} - (\text{Abs sample})t = 30\ \text{min}}{(\text{Abs control})t = 30\text{min}} \times 100$$

Abs control: میزان جذب شاهد (بلنک)

Abs sample: میزان جذب نمونه

جهت اندازه‌گیری فعالیت غلظت مهار ۵۰ درصد، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش (DPPH) با پنج غلظت مختلف اندازه‌گیری شد.

**سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL)**

برای سنجش فعالیت آنزیم PAL از روش Karthikeyan *et al.* (2006) با کمی تغییر استفاده شد. جذب در طول موج ۲۹۰ nm با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. محاسبه فعالیت آنزیم PAL با استفاده از قانون بیرلامبرت و با ضریب خاموشی ۹۶۳۰l.cm-µ و بر حسب n mol FW min انجام گردید.

**سنجش آنزیم گایاکول‌پراکسیداز (GPX)**

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از پیش‌ماده گایاکول اندازه‌گیری شد. افزایش جذب به دلیل اکسیداسیون گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه اندازه‌گیری شد. هر واحد آنزیمی معادل ۱ میلی‌مول تترا گایاکول تولید شده در یک دقیقه می‌باشد. میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز µmol $H_2O_2$/min/100ml extract بیان شد (Roy *et al.*, 1996).

**سنجش پتاسیم میوه به روش شعله سنجی**

از روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتری انجام شد. در این روش ابتدا دستگاه توسط استانداردها کالیبره شده سپس ۱ میلی‌لیتر از عصاره آماده شده را در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و آن را به حجم رسانده شد. سپس بوسیله فلیم‌فوتومتر مقدار پتاسیم قرائت گردید و بعد از اعمال ضرایب و محاسبات لازم (میزان پتاسیم بر حسب درصد ماده خشک) بیان شد.

**واکاوی آماری داده‌ها**

کلیه داده‌های به‌دست آمده با سه تکرار و به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.1) آنالیز شدند. از آزمون دانکن چند دامنه‌ای برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد. جهت رسم نمودارها هم از نرم افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

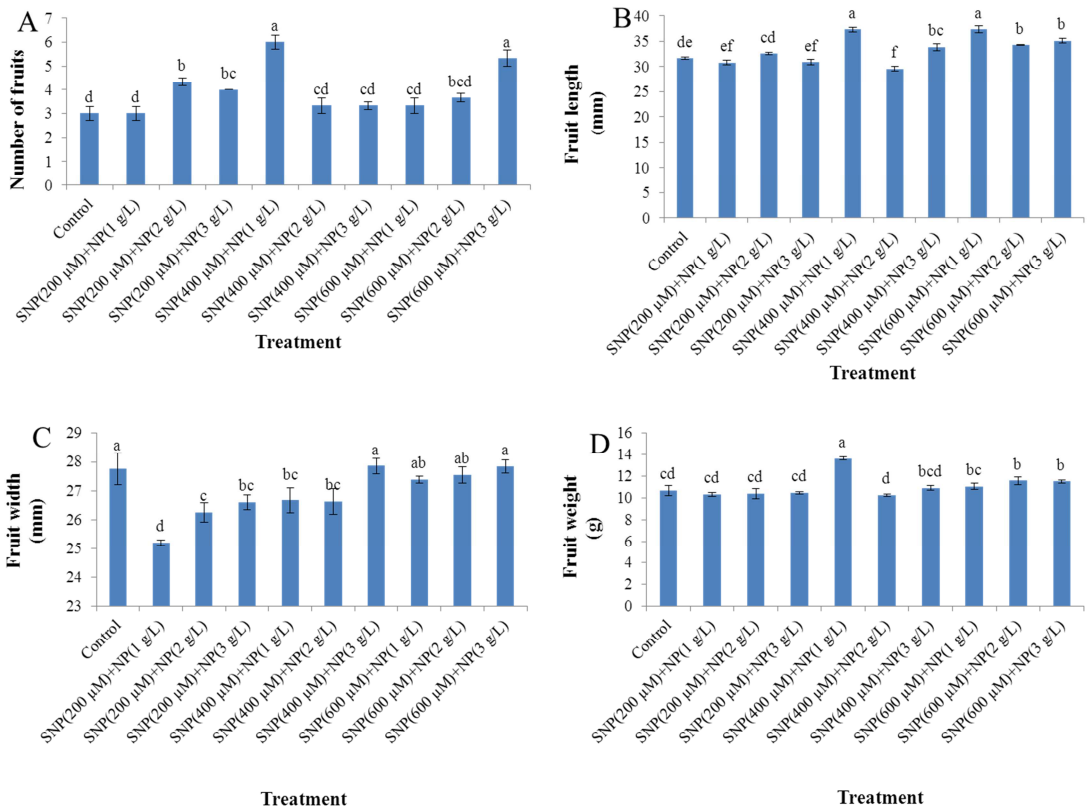
**وزن، طول، قطر و تعداد میوه**

براساس نتایج این مطالعه تیمار تلفیقی نانوپتاسیم و سدیم‌نیتروپروساید اثر معنی‌داری بر وزن، طول، قطر و تعداد میوه توت‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد داشت. به طوری که بیشترین تعداد میوه در گیاهان محلول‌پاشی‌شده با ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم و کمترین آن در گیاهان شاهد و گیاهان محلول‌پاشی‌شده با ۲۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم به‌ترتیب با میزان‌های ۶ و ۳ عدد میوه ثبت شد (نمودار A-۱). بیشترین طول و عرض میوه به‌ترتیب در گیاهان محلول‌پاشی با ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم و ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم به ترتیب با میزان‌های ۳۷/۳۳ و ۲۷/۸۵ میلی‌متر مشاهده شد (نمودار C و B-۱). نتایج بدست آمده در این پژوهش در رابطه با وزن میوه‌ها در بین

میوه‌های شاهد و تیمار شده نشانگر متغیر بودن این شاخص از ۱۰/۲۲ گرم تا ۱۳/۶۴ بود، بنابراین بالاترین میزان وزن میوه در اثر متقابل تیمار ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم مشاهده شد (نمودار D-۱). پژوهش‌های مختلف حاکی از آن است که سه عنصر پتاسیم، فسفر و نیتروژن از طریق جذب ریشه‌ای نسبت به سایر عناصر ضروری برای حداکثر رشد گیاه ناکافی است. لذا این سه عنصر ترکیب اساسی کودهای تجاری را تشکیل می‌دهند. پتاسیم از طریق افزایش رشد گیاه میزان مواد فتوسنتزی را افزایش داده و بدین صورت باعث افزایش اجزای عملکرد از قبیل وزن، طول، عرض و تعداد میوه توت فرنگی می‌شود (Nguyen *et al.*, 2010). در پژوهشی که توسط El-Bassiony *et al.* (2010) صورت گرفت به منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی پتاسیم بر رشد و عملکرد فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) مشخص شد که محلول‌پاشی برگی پتاسیم عملکرد در گیاهان تیمار شده را افزایش می‌دهد. نقش سدیم‌نیتروپروساید نیز در افزایش وزن میوه می‌تواند به دلیل ماهیت پیام رسانی این ملکول باشد که بدین وسیله در بسیاری از فرآیندهای مرتبط با رشد ونمو دخالت کرده و در برخی از گیاهان ظهور ریشه‌های جانبی را تحریک کرده و درنتیجه باعث جذب بیشتر عناصر غذایی از محیط بستر شده و افزایش عملکرد را در پی داشته باشد (Ahmad *et al.*, 2016).

**اسیدیته (pH) و مواد جامد محلول (TSS)**

در مطالعه حاضر، تغییرات اسیدیته و مواد جامد محلول در میوه‌های توت‌فرنگی تیمارشده با نانوپتاسیم و سدیم‌نیتروپروساید تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با شاهد نشان دادند.



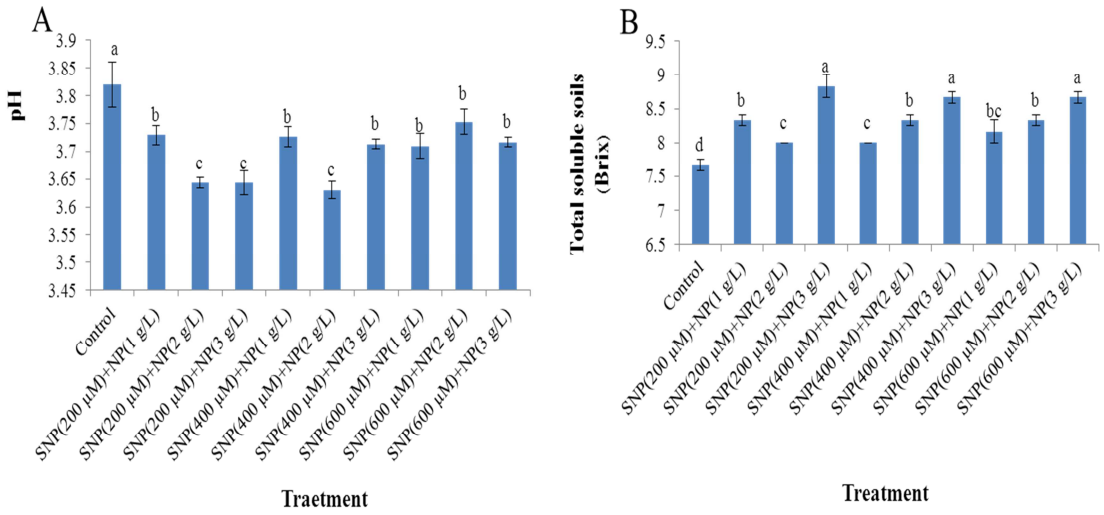

شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم‌نیتروپروساید و نانوپتاسیم بر A) تعداد میوه B) طول میوه C) عرض میوه D) وزن میوه توت فرنگی (SNP، NP و Control به ترتیب مخفف کلمات سدیم‌نیتروپروساید، نانوپتاسیم و شاهد هستند).

Figure 1. Mean comparison interaction effect of sodium-nitroprusside and nano-potassium on A) number of fruit B) Fruit length C) Fruit width D) fruit weight of strawberry fruit (SNP, NP and control symbols abbreviate the words sodium-nitroprusside, nano-potassium and control, respectively).

به طوری که نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان اسیدیته با میزان ۳/۸۲ در میوه گیاهان شاهد و کمترین آن در میوه گیاهان تیمارشده با ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۲ گرم در لیتر نانوپتاسیم ثبت شد (نمودار A-۲). همچنین مطابق نمودار مقایسه میانگین داده‌های مربوط به مواد جامد محلول (نمودار B-۲) مشخص شد که بیشترین میزان غلظت مواد جامد محلول در نمونه محلول‌پاشی‌شده با ۲۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم بود. این نتایج مطابق با نتایج Economakis & Daskalaki (2003) بود، چرا که پتاسیم نه تنها عملکرد را افزایش می‌دهد بلکه سبب بهترشدن کیفیت میوه از طریق افزایش ویتامین ث، ماده خشک و همچنین افزایش میزان قند و اسید قابل تیتراسیون می‌شود. پتاسیم سبب افزایش فتوسنتز و کلروپلاست شده در نتیجه تولید قند در برگ‌ها افزایش یافته و قندها به منابع ذخیره‌ای مانند میوه‌ها منتقل می‌شوند (Barzegar-hafshjani *et al*., 2015).

**محتوای فنل کل (TPC)**

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فنل کل مشخص شد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین گیاهان تیمارشده و شاهد وجود داشت. نتایج نمودار مقایسه میانگین داده‌های مربوط به این شاخص بیانگر این نکته بود که تیمار ترکیبی ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۲ گرم در لیتر نانوپتاسیم با مقدار ۸/۶۴ میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه حاوی بیشترین مقدار ترکیبات فنلی بود، در حالیکه کمترین میزان آن در نمونه‌های مربوط به شاهد مشاهده شد (نمودار A-۳). ترکیبات فنلی جزئی از مواد محلول سلولی هستند که فعالیت رادیکال‌های فعال اکسیژن را کاهش داده و از غشاهای سلولی محافظت می‌کنند (Singh, 2004). نیتریک‌اکسید (NO) یکی از مولکول‌هایی است که اخیراً توسط محققان گیاهی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Fan *et al*., 2012) و یک رادیکال گازی و قابل انتشار است (Arasimowicz-Jelonek *et al*., 2009) که در بیان ژن‌های مرتبط با ترکیبات آنتی-اکسیدانی نقش دارد (Hayat *et al*., 2010). کاربرد سدیم‌نیتروپروساید به‌عنوان رهاکننده نیتریک اکسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تولید ترکیبات ثانویه و پرولین به گیاه مقاومت می‌بخشد (Tan *et al*., 2008; Fan *et al*., 2012).




شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم‌نیتروپروساید و نانوپتاسیم بر A) اسیدیته B) مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی (SNP، NP و Control به ترتیب مخفف کلمات سدیم‌نیتروپروساید، نانوپتاسیم و شاهد هستند).

Figure 2. Mean comparison interaction effect of sodium-nitroprusside and nano-potassium on A) pH B) total dsoluble soils of strawberry fruit (SNP, NP and Control symbols abbreviate the words sodium-nitroprusside, nano-potassium and control, respectively).

محققان طی مطالعه‌ای گزارش کردند که کاربرد سدیم‌نیتروپروساید تحت تنش میزان ترکیبات فنلی را در کلزا (Nikravesh *et al*., 2016) و سیب‌زمینی (Mohammadi *et al*., 2019) به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داده است. پتاسیم از عناصری است که نقش بسیار مهمی در کیفیت محصولات باغبانی دارد. این عنصر با فعال‌سازی بیش از ۸۰ آنزیم گیاهی از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش موثری ایفا می‌کند (Amtmann *et al*., 2008). Ge *et al*. (2019) در مطالعه خود نشان دادند که تیمار قبل از برداشت سدیم‌نیتروپروساید بر میزان تجمع ترکیبات ثانویه به ویژه پلی‌فنولیک‌ها موثر بوده و میزان محتوای کل فنل‌ها را افزایش داده است.

**محتوای فلاونوئید کل (TFC)**

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای فلاونوئید کل نیز همانند فنل کل نشان‌دهنده معنی‌داری آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بود. نتایج مربوط به مقایسات میانگین نیز میزان تغییرات مربوط به فلاونوئید کل را از بازه ۰/۴۹۰ میلی‌گرم کوئرسیتین در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه در تیمار ترکیبی ۶۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم تا ۰/۲۲۱ میلی‌گرم کوئرسیتین در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه در تیمار ۲۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۳ گرم در لیتر نانو پتاسیم نشان دادند (نمودار B-۳). امروزه با استفاده از فناوری نانو و نانوکودهای عنصرهای پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز گیاهان فرصت‌های جدیدی را به منظور افزایش بازدهٔ کاربرد عنصرهای غذایی و افزایش رشد گیاه و در نتیجه افزایش متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاهان می‌توان گشود (Chinnamuthu & Boopathi, 2009). پتاسیم به عنوان یک عامل محیطی در برگ است که به دلیل داشتن فعالیت فیزیولوژیک بالا در ساختمان گیاه و کاهش مصرف آب موجب افزایش فلاونوئیدها می‌شود (Restrepo *et al*., 2008). فلاونوئیدها، گروه بزرگی از ترکیبات فنولیک می‌باشند که دارای بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند (Martins *et al*., 2011; Fattahi *et al*., 2013). Zangeneh & Rasouli (2017) در مطالعات خود نشان دادند که نانوپتاسیم میزان فلاونوئید برگ‌ها و میوه‌های انگور رقم بیدانه سفید را به طور معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش داده است. محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی برگی عنصر پتاسیم میزان فلاونوئید را در زیتون (Restrepo *et al*., 2008) و عناب (Chen *et al*., 2013) افزایش داده است که با نتایج ما مطابقت دارد. مطالعات زیادی نشان داده که کاربرد سدیم‌نیترو پروساید میزان محتوای فلاونوئید گیاهان را افزایش می‌دهد که این موضوع در پژوهش Nikravesh *et al*. (2016) تایید شده است و سدیم‌نیتروپروساید میزان فلاونوئید کل گیاهان تحت تنش را افزایش داده است. در مطالعه حاضر نیز سدیم‌نیتروپروساید میزان فلاونوئید کل را افزایش داده است که با پژوهش‌های سایر محققان مطابقت دارد.

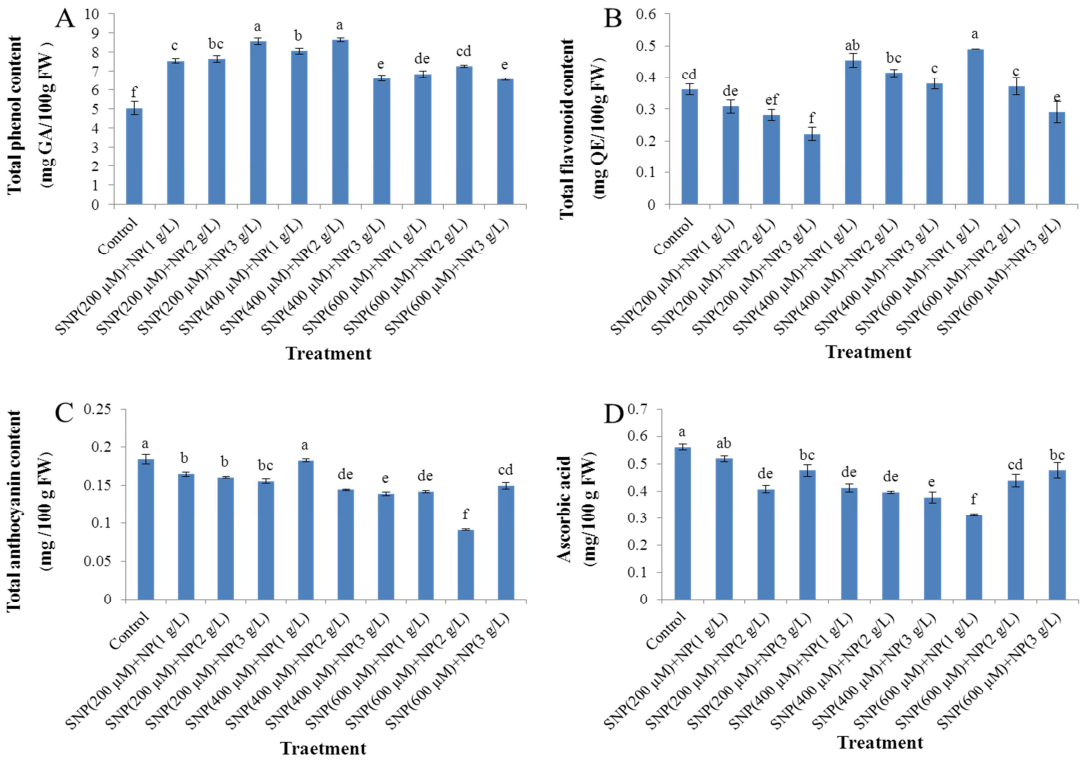
**محتوای آنتوسیانین کل (TAC)**

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای آنتوسیانین کل، بین نمونه‌های تیمارشده و شاهد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. همچنین بر اساس نمودار مقایسه میانگین مربوط به آنتوسیانین کل (نمودار C-۳) میزان آنتوسیانین نمونه‌ها بین بازه ۰/۱۸۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه تا ۰/۰۹۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه متغیر بوده که بالاترین میزان آن در تیمار شاهد و میوه‌های تیمارشده با ۶۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم مشاهده شد و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد. آنتوسیانین‌ها بسیار ناپایدار بوده و تحت تأثیر برخی عامل‌ها از جمله قندها و عنصرهای غذایی، پایداری آن‌ها افزایش می‌یابد. ازآنجاکه پتاسیم از راه تأثیر و تنظیم فشار اسمزی موجب افزایش قندها و انتقال بهتر عنصرها به نقاط مختلف گیاه می‌شود، هنگامی‌که میزان پتاسیم افزایش یابد میزان قند بالا رفته و در نتیجه میزان آنتوسیانین افزایش می‌یابد (Francis, 1989). پتاسیم در مسیر سنتز آنتوسیانین‌ها مهم بوده و به احتمال زیاد به‌عنوان کوفاکتور عمل می‌کند و

باعث فعال‌شدن آنزیم‌هایی مانند UDPگالاکتوز و فلاونوئید-۳-او-گلیکوزیل‌ترانسفراز می‌شود (Nava *et al.*, 2008). محققان گزارش کردند که تیمار پتاسیم میزان آنتوسیانین در انگور را به طور معنی‌داری افزایش داده است (Delgado *et al.*, 2004). Zangeneh & Rasouli (2017) تاثیر نانوکلات پتاسیم بر میزان آنتوسیانین را بررسی کرده و نشان دادند که این تیمار میزان آنتوسیانین را افزایش داده و غلظت‌های پایین‌تر نسبت به غلظت‌های بالاتر موثرتر بوده است. Nikravesh *et al.* (2016) در مطالعات خود نشان دادند که تیمار قبل از برداشت سدیم نیتروپروساید میزان آنتوسیانین را به طور معنی‌داری تغییر داده است. آن‌ها در پژوهش خود گزارش کردند که تیمار سدیم‌نیتروپروساید میزان محتوای آنتوسیانین کل در گیاه کلزا تحت تنش خشکی را به طور معنی‌داری افزایش داده است که غلظت ۲۵ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید نسبت به بقیه غلظت‌ها موثرتر بود.

**میزان اسید آسکوربیک**

میزان تغییرات این شاخص در نمونه‌های تیمارشده و شاهد در نمودار (۳-D) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص شده است بیشترین میزان اسید آسکوربیک نمونه‌ها در میوه‌های شاهد مشاهده شد، کمترین میزان اسید آسکوربیک نیز در میوه‌های تیمارشده با ۶۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم مشاهده شد. محتوای اسید آسکوربیک میوه‌های تیمار شده اختلاف معنی‌داری با شاهد در سطح احتمال یک درصد داشتند. یکی از ویتامین‌های مهم و ضروری موجود در میوه‌ها و سبزی‌ها، ویتامین ث یا اسید آسکوربیک می‌باشد که دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالایی می‌باشد.




شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم‌نیتروپروساید و نانوپتاسیم بر A) محتوای فنل کل B) محتوای فلاونوئید کل C) محتوای آنتوسیانین کل D) محتوای آسکوربیک اسید میوه توت‌فرنگی (SNP، NP و Control به ترتیب مخفف کلمات سدیم‌نیتروپروساید، نانوپتاسیم و شاهد هستند).

Figure 3. Mean comparison interaction effect of sodium-nitroprusside and nano-potassium on A) total phenol cantent B) total flavonoid content C) total anthocyanin content D) ascorbic acid of strawberry fruit (SNP, NP and control symbols abbreviate the words sodium-nitroprusside, nano-potassium and control, respectively).

یکی از آنزیم‌های کلیدی در کاهش و از دست رفتن اسیدهای آلی و تبدیل آن‌ها به ساکارز، ساکارزفسفات سنتتاز است، پژوهشگران نشان داده‌اند که تیمارهای قبل و بعد از برداشت به‌ویژه محلول‌پاشی‌های برگی باعث کاهش فعالیت آن آنزیم شده و باعث حفظ آسکوربیک‌اسید موجود در میوه و افزایش آن می‌شوند (Valero *et al*., 2006; Amal *et al*., 2010). Koushesh Saba & Moradi (2017) در مطالعه خود گزارش کردند که تیمار قبل از برداشت سدیم‌نیتروپروساید بر میزان اسید آسکوربیک در میوه هلو موثر بوده و باعث حفظ و افزایش آن در میوه می‌شود.

**فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH)**

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان‌دهنده معنی‌داری آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بود. نتایج مربوط به مقایسات میانگین (نمودار A-۴) نیز میزان تغییرات مربوط به فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از بازه ۹۳/۶۰ درصد در تیمار ترکیبی ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم تا ۸۹/۶۲ درصد در تیمار ۲۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۲ گرم در لیتر نانوپتاسیم نشان دادند (نمودار A-۴). برخی گیاهان سامانه دفاعی با کارایی بالا دارند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده یا خنثی کنند، این سامانه دفاعی شامل مواد پاداکسندگی از جمله ترکیب‌های فنلی است که در نتیجه کاربرد پتاسیم به دلیل کاهش مصرف آب و در دسترس قرار دادن عنصرها ایجاد می‌شود و کیفیت میوه را بالا برده، در نتیجه غلظت فنل افزایش می‌یابد (Karimi, 2006). بر اساس تحقیقات پژوهشگران تیمار نانوکلات پتاسیم بر روی میوه انگور رقم بیدانه سفید فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است، در حالیکه بین غلظت‌های پایین و بالای نانوکلات پتاسیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است (Zangeneh & Rasouli, 2017). Yavary *et al*. (2015) گزارش کردند محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم میزان فنل کل آلوئه‌ورا را افزایش داده و به این دلیل میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی هم افزایش یافته است. یافته‌های Ghasemizadeh & Jaafar (2011) در گیاه زنجبیل، موید این مطلب می‌باشد که تحت شرایط افزایش دهنده‌ی فتوسنتز، محتوی فلاونوئید و فنل در این گیاه افزایش یافته و این امر با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه همراه بود. اثر کاربرد سدیم‌نیتروپروساید در بهبود رشد گیاهان مختلف تحت تنش‌های محیطی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و متابولیت‌های ثانویه و به دنبال آن افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (Laspina *et al*., 2005; Li *et al*., 2008; Nasibi & Kalantari, 2009). محققان گزارش کردند سدیم‌نیتروپروساید یک ترکیب رهاکننده نیتریک اکساید بوده (Klessing *et al*., 2000) و مطالعات انجام شده روی گیاه گوجه فرنگی تحت تنش کم‌آبی نشان داد که نیتریک اکسید آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهد و همچنین بیان کردند که نیتریک اکساید سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود و سطح این آنزیم‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به طور معنی‌داری در تیمارهای بدون سدیم‌نیتروپروساید کمتر می‌باشد که نشان‌دهنده دخالت مستقیم نیتریک اکساید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان در کاهش سطح رادیکال‌های آزاد می‌باشد (Yoqi *et al*., 2009). Taheri *et al*. (2018) گزارش کردند تیمار سدیم‌نیتروپروساید، فعالیت آنتی‌اکسیدانی چایرمعمولی را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داده است.

**غلظت مهار ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد ($IC_{50}$)**

تغییرات غلظت مهار ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد در میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با سدیم‌نیتروپروساید و نانوپتاسیم و نیز توت‌فرنگی‌های شاهد در نمودار B-۴ نشان داده شده است، که میزان این تغییرات از بازه ۴۴/۹۸ میکرولیتر تا ۲۸/۲۹ میکرولیتر متغیر بود. بالاترین میزان غلظت مهار ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد در اثر متقابل نمونه‌های تیمارشده با ۲۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم و کمترین میزان آن در اثر متقابل نمونه‌های تیمار شده با ۴۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۲ گرم در لیتر نانوپتاسیم مشاهده شد (نمودار B-۴). نتایج تجزیه

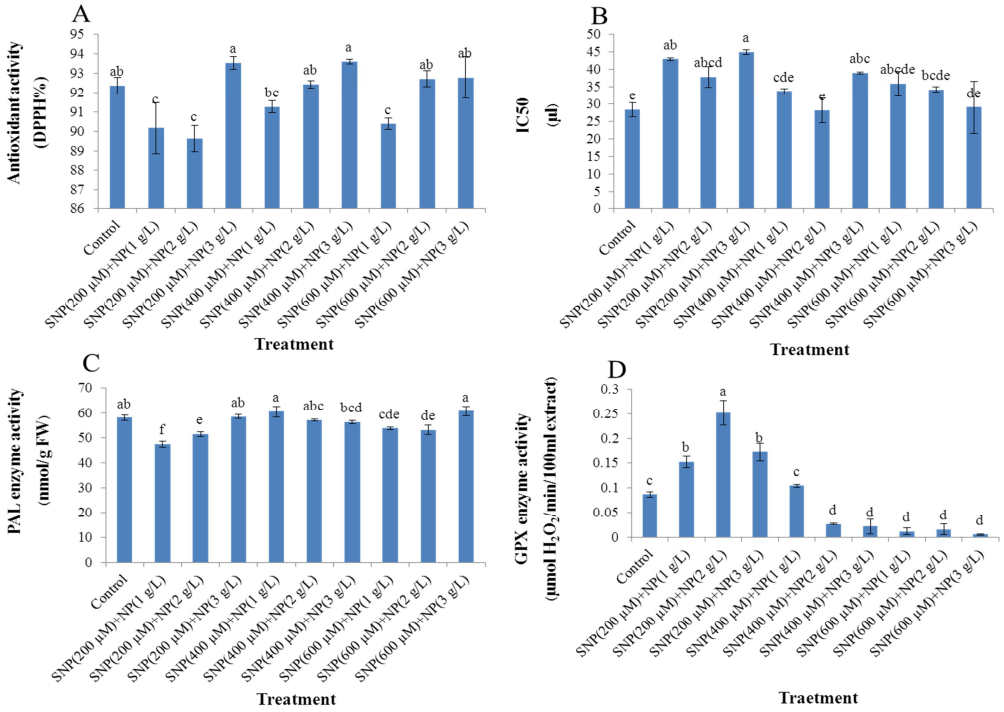
واریانس داده‌های مربوط به غلظت مهار ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد نشان‌داد تفاوت معنی‌داری در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های شاهد و تیمارها در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که بری‌ها یک منبع خوبی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند (Hassanpour, 2014).

**فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL)**

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز نشان داد که بین داده‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. نتایج مربوط به مقایسات میانگین (نمودار A-۴) نیز میزان تغییرات مربوط به فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز از بازه ۶۰/۶۸ نانومول بر گرم وزن تر در تیمار ترکیبی ۶۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم تا ۴۷/۳۳ نانومول بر گرم وزن تر در تیمار ۲۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم نشان دادند (نمودار C-۴). بیوسنتز فنل‌ها و فلاونوئیدها در گیاهان از طریق مسیر شیکمات - فنیل پروپانوئید - فلاونوئیدها انجام می‌گیرد (Tsai *et al*., 2006). PAL یک آنزیم کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئیدهاست که فنیل آلانین را به ترنس سینامیک-اسید تبدیل می‌کند (Pérez-Balibrea *et al*., 2011). پیشنهاد شده است که فعالیت آنزیم PAL یک مسئولیت کلیدی تنظیم کنندگی در متابولیسم فنیل پروپانوئیدها دارد (Jahangir *et al*., 2009). پتاسیم یکی از عناصر مهم در متابولیسم گیاه است و بیشتر نقش کاتالیزوری دارد و در فعال‌سازی آنزیم‌های زیادی نقش دارد (Zheng *et al*., 2008). Soarcs *et al*. (2006) گزارش کردند که کاربرد پتاسیم ارتباط زیادی با فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز، پراکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیالیاز دارد، که احتمالاً کاربرد پتاسیم باعث افزایش ترکیبات فنلی و آنتوسیانین و در نتیجه افزایش شدت رنگ عصاره میوه شده است. نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای عمومی به‌دلیل آزادشدن تدریجی و کارایی بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته و مطالعات زیادی نشان داده که در غلظت‌های پایین‌تر کاراتر هستند. محققان گزارش کردند سدیم‌نیتروپروساید از طریق نیتریک اکساید با القاء بیان ژن‌ها (Hayat *et al*., 2010) باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Tan *et al*., 2008). Sadeghi Feragheh *et al*. (2016) نشان دادند که محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید میزان فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز را به طور معنی‌داری افزایش داده است. تحقیقات زیادی در مورد تاثیر سدیم‌نیتروپروساید روی ریزمیوه‌ها انجام شده است که Ge *et al*. (2019) گزارش کردند که محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید بر روی Blueberry، میزان فعالیت تعداد زیادی آنزیم‌های دخیل در فرایند تولید ترکیبات ثانویه را افزایش داده که این آفزایش در آنزیم PAL هم مشاهده شده است.

**آنزیم گایاکول‌پراکسیداز (GPX)**

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز نشان داد که بین داده‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. نتایج مربوط به مقایسات میانگین (نمودار A-۴) نیز میزان تغییرات مربوط به فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز از بازه ۰/۲۵۱ میکرومول پراکسیدهیدروژن بر دقیقه بر ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره تا ۰/۰۰۵ میکرومول پراکسیدهیدروژن بر دقیقه بر ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره بوده که بیشترین میزان فعالیت آنزیم در تیمار ترکیبی ۲۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۲ گرم در لیتر نانوپتاسیم و کمترین میزان فعالیت آن نیز در تیمار ترکیبی (۶۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم) مشاهده شد (نمودار D-۴). آنزیم گایاکول پراکسیداز که یک پروتئین آهن‌دار می‌باشد، گایاکول پراکسیدازها به طور گسترده‌ای به عنوان آنزیم آنتی‌اکسیدانی در تنش‌های اکسیداتیو پذیرفته شده‌اند. در پژوهش‌های مختلف مشخص شده است که تیمارهای نانوکلات پتاسیم و سدیم‌نیتروپروساید سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان می‌شود (Mohammadi *et al*., 2019; Sadeghi Feragheh *et al*., 2016; Zangeneh & Rasouli, 2017; Li *et al*., 2008; Nasibi & Kalantari, 2009; Hosseini & Rezaei Nejad, 2016).

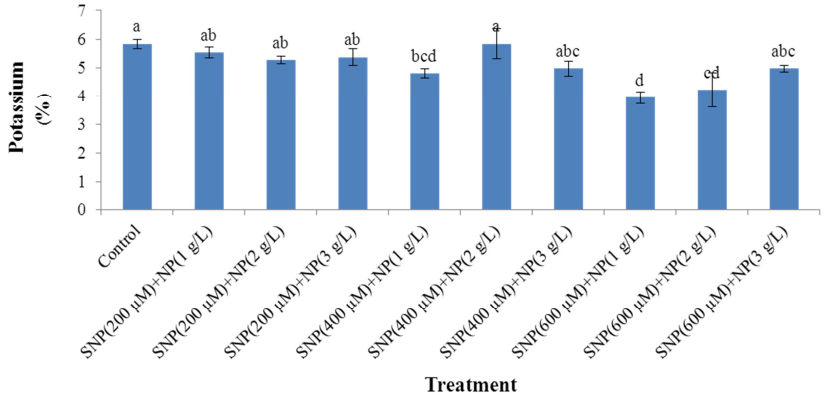



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم‌نیتروپروساید و نانوپتاسیم بر A) فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) B) غلظت مهار ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد C) فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز D) فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز میوه توت‌فرنگی (SNP، NP و Control به ترتیب مخفف کلمات سدیم‌نیتروپروساید، نانوپتاسیم و شاهد هستند).

Figure 4. Mean comparison interaction effect of sodium-nitroprusside and nano-potassium on A) antioxidant activity B) $IC_{50}$ C) PAL enzyme activity D) GPX enzyme activity of strawberry fruit (means with the same letters are not significantly different at the %1 level based of dancan test), and the SNP, NP and Control symbols abbreviate the words sodium-nitroprusside, nano-potassium and control, respectively.

**میزان پتاسیم**

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان پتاسیم نشان دادند که بین داده‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. نتایج مربوط به مقایسات میانگین (نمودار A-۴) نیز میزان تغییرات مربوط به میزان پتاسیم از بازه ۵/۸۳ درصد تا ۳/۹۳ درصد بوده که بیشترین میزان پتاسیم در تیمار ترکیبی ۴۰۰ میکرومول سدیم نیتروپروساید و ۲ گرم در لیتر نانوپتاسیم و کمترین میزان آن نیز در تیمار ترکیبی ۶۰۰ میکرومول سدیم‌نیتروپروساید و ۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم مشاهده شد (نمودار ۵). همانطور که اشاره شد یکی از عناصر معدنی مهم برای محصولات باغبانی، پتاسیم است. پتاسیم جزو عناصر متحرک محسوب می‌شود و ممکن است در جابه‌جایی هیدرات‌های کربن نقش داشته باشد. قسمت اعظم پتاسیم یافت شده در میوه‌ها، از خاک جذب می‌شود که محلول‌پاشی برگی به عنوان مکمل برای افزایش کارایی پتاسیم در داخل گیاه کارایی بالایی دارد. همچنین پتاسیم مهمترین عنصر در کیفیت محصولات کشاورزی بوده و همه گیاهان باید تغذیه مناسبی از پتاسیم داشته باشند (Kumar *et al.*, 2005). مطالعات قبلی نشان داده که تیمارهای نانوکلات پتاسیم میزان پتاسیم میوه را افزایش داده است که در پژوهش Norastehnia & Valeh (2016) گزارش شده که محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم میزان پتاسیم برگ گیاهچه‌های توتون تحت خشکی را به طور معنی‌داری افزایش داده است اما در مطالعه حاضر با وجود این که در برخی تیمارها میزان پتاسیم افزایش نشان داده ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌داری نبود که ممکن است به دلیل نرمال بودن شرایط کشت باشد.




شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم‌نیتروپروساید و نانوپتاسیم بر پتاسیم میوه توت‌فرنگی (SNP، NP و Control به ترتیب مخفف کلمات سدیم‌نیتروپروساید، نانوپتاسیم و شاهد هستند).

Figure 5. Mean comparison interaction effect of sodium-nitroprusside and nano-potassium on potassium of strawberry fruit (SNP, NP and control symbols abbreviate the words sodium-nitroprusside, nano-potassium and control, respectively).

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد، برهمکنش نانوپتاسیم ۱ گرم در لیتر و سدیم نیترو پروساید۴۰۰ میکرومول در لیتر باعث تولید میوه‌هایی با بیشترین طول، وزن، و تعداد میوه توت‌فرنگی رقم کامارزا شد و خصوصیات موفولوژیک میوه توت‌فرنگی را که با شاخص بازارپسندی آن رابطه مستقیم دارد را بهبود بخشید. بالاترین میزان ترکیبات فیتوشیمیایی از جمله محتوای فنل، فلاونوئید و آنتوسیانین کل به‌ترتیب در تیمارهای ترکیبی (۲ گرم در لیتر نانوپتاسیم و ۴۰۰ میکرومول در لیتر سدیم نیتروپروساید)، (۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم و ۶۰۰ میکرومول در لیتر سدیم نیتروپروساید) و (۱ گرم در لیتر نانوپتاسیم و ۴۰۰ میکرومول در لیتر سدیم نیتروپروساید) شاهده گردید و به دنبال آن باعث افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید. در این پژوهش تیمار اثر متقابل ترکیبی ۳ گرم در لیتر نانوپتاسیم و ۲۰۰ میکرومول در لیتر سدیم نیتروپروساید علاوه بر افزایش میزان مواد جامد محلول باعث افزایش غلظت مهار ۵۰ درصد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی شد. سدیم‌نیتروپروساید به‌عنوان آزادکننده نیتریک اکساید و نانوپتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با ترکیبات فنلی از جمله آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز، میزان ترکیبات ثانویه مانند فنل، فلاونوئید کل و آنتوسیانین را افزایش داده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها را افزایش داده است بنابراین نقش بسزایی در ارتقای کیفیت میوه‌ها داشته‌اند.

## REFERENCES


1. Aghaee Fard, F., Babalar, M. & Ahmadi, A. (2015). The effect of salicylic acid foliar spraying on qualitative characters of strawberry fruit (*Fragaria* x *ananassa* cv. Camarosa). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(4), 325-334. (In Farsi).
2. Ahmad, P., Abdel Latef, A.A., Hashem, A., Abd Allah, E.F., Gucel, S. & Tran, L.S. (2016). Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in Plant Science*, 7, 347-353.
3. Akbari, M. & Dehghanisanij, H. (2017). Principles of design, planning and management of operation of micro-irrigation system in greenhouse plants. *Technical Workshop to Improve Water Use Efficiency by Cultivating Greenhouse Crops,* 18 Oct., Iranian Congress on Soil and Water Enginreeing and Management, Teharn. (In Farsi).
4. Amal, S.H.A., El-Mogy, M.M., Aboul-Anean, H.E. & Alsanius, B.W. (2010). Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 2, 88-97.

5. Arasimowicz-Jelonek, M., Floryszak-Wieczorek, J. & Kubis, J. (2009). Interaction between polyamine and nitric oxide signaling in adaptive responses to drought in cucumber. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 177-186.
6. Ayub, M., Ullah, J., Muhammad, A., & Zeb, A. (2010). Evaluation of strawberry juice preserved with chemical preservatives at refrigeration temperature. *International Journal of Nutrition and Metabolism*, 2, 027-032.
7. Barzegar hafshjani, M., Mobli, M. & Abdossi, V. (2015). Comparison of different culture media on growth and yield of bell peppers (*Capsicum annuum*). *Journal of Novel Applied Sciences*. 4, 900-904.
8. Bor, J.Y., Chen, H.Y. & Yen, G.C. (2006). Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(5), 1680-1686.
9. Chen, J., Li, Z., Maiwulanjiang, M., Zhang, W.L., Zhan, J.Y.X. & Lam, C.T.W. (2013). Chemical and biological assessment of *Ziziphus jujuba* fruits from China: Different geographical sources and developmental stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 7315-7324.
10. Delshad, M., Alfatahi, R., Taghavi, T.S. & Parsinejad, M.H. (2011). Improvement of water use efficiency by management of irrigation time in soilless culture of strawberry. *Journal of Horticulture Science, 25*(1), 18-24. (In Farsi).
11. Dodman, M. & Amiri, M.E. (2013). Effect of N, K and Mg on yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria×ananasa* cv. Sun Rise) in hydroponic culture conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4, 111-118. (In Farsi).
12. Eastin, E.F. (2018). Plant growth regulators in rice. *In Plant Growth Regulating Chemicals*, 149-160.
13. Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., Hamidinia, A. & Jafari, M. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activity of *Feijoa sallowiana* fruits peel and leaves. *Pharmacologyonline*, 1, 7-14.
14. Economakis, C. & Daskalaki, A. (2003). Effect of potassium nutrition on yield and quality of tomato plants grown with nutrient film technique under sodium chloride saline conditions. *Acta Horticulturae*, 609, 337-339.
15. Esmaeilzadeh, B.S., Rezaei, A. & Najafi, S. (2015). Nitric oxide effect on growth and some physiological parameters of *in vitro* cultured lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Cell & Tissue (JCT)*, 6(2), 195-203. (In Farsi).
16. Fan, H., Du, C. & Guo, S. (2012). Effect of nitric oxide on proline metabolism in cucumber seedlings under salinity stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 137, 127-133.
17. Farzamnia, M., Miranzadeh, M. & Jahadakbar, M. (2015). Irrigation scheduling for greenhouse tomato production using class A pan evaporation. *Soil and Plant Interactions*, 6(1), 15-29. (In Farsi).
18. Fattahi, M., Nazeri, V., Torras-Claveria, L., Sefidkon, F., Cusido, R.M., Zamani, Z. & Palazon, J. (2013) Identification and quantification of leaf surface flavonoids in wild-growing populations of *Dracocephalum kotschyi* by LC–DAD–ESI-MS. *Food Chemistry*, 141, 139–146.
19. Ge, Y., Li, X., Li, C., Tang, Q., Duan, B., Cheng, Y., Hou, J. & Li, J. (2019). Effect of sodium nitroprusside on antioxidative enzymes and the phenylpropanoid pathway in blueberry fruit. *Food Chemistry*, 295, 607-612.
20. Hassanpour, H. (2015). Effect of Aloe vera gel coating on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit. *LWT-Food Science and Technology*, *60*(1), 495-501.
21. Hosseini, H. & Rezaei Nejad, A. (2016). Effects of foliar application of sodium nitroprusside on drought tolerance of garigold. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 17, 285-298. (In Farsi).
22. Karthikeyan, M., Radhika, K., Mathiyazhagan, S., Bhaskaran, R., Samiyappan, R. & Velazhahan, R. (2006). Induction of phenolics and defense-related enzymes in coconut (*Cocos nucifera* L.) roots treated with biocontrol agents. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 367-377.
23. Koushesh Saba, M. & Moradi, S. (2017). Sodium nitroprusside (SNP) spray to maintain fruit quality and alleviate postharvest chilling injury of peach fruit. *Scientia Horticulturae*, 216(14), 193-199.
24. Kumar, K., Gupta, S.C., Baidoo, S.K., Chander, Y. & Rosen, C.J. (2005). Antibiotic uptake by plants from soil fertilized with animal manure. *Journal of Environmental Quality*, 34, 2082-2085.
25. Li, Q.Y., Niu, H.B., Yin, J., Wang, M.B., Shao, H.B., Deng, D.Z., Chen, X.X., Ren, J.P. & Li, Y.C. (2008). Protective role of exogenous nitric oxide against oxidative stress induced by salt stress in barley (*Hordeum vulgare*). *Colloids and Surfaces B: Biointerfa*. 56, 220-225.
26. Lolaei, A., Hashemabadi, D. & Sedaghathour, Sh. (2013). The effects of calcium, zinc and nitrogen on the vegetative and reproductive sexual growth and fruit shelf life of strawberry (var. Selva). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 2, 31-40. (In Farsi).
27. Martins, S., Mussatto, S.I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C.N. & Teixeira, J.A. (2011). Bioactive phenolic compounds: production and extraction by solid-state fermentation. *Biotechnology Advances*, 29, 365-373.

28. Mohammadi, Z., Motallebi Azar, A., Zaare-Nahandi, F., Tarinejad, A. & Gohari, G. (2019). Effect of sodium nitroprusside on growth, physiological and biochemical characters of *Solanum tuberosum* cv. Agria under salinity stress on in vitro condition. *Journal of Plant Production Research*, 1, 155-167. (In Farsi).
29. Nakajima, J.i., Tanaka, I., Seo, S., Yamazaki, M. & Saito, K. (2004). LC/PDA/ESIMS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *BioMed Research International*, 5, 241-247.
30. Nasibi, F. & Kalantari, K.M. (2009). Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. *Physiologia Plantarum*, 31, 1037-1044.
31. Nguyen, P.M., Kwee, E.M. & Niemeyer, E.D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, 123, 1235-1241.
32. Nikravesh, M., Kholdebarin, B., Nejadsattari, T. & Najaf, F. (2016). Effect of sodium nitroprusside (SNP) on some physiological parameters in oilseed rape (*Brassica napus* L.) seedlings under drought stress. *Journal of Plant Research*, 3, 644-658. (In Farsi).
33. Pérez-Balibrea, S., Moreno, D.A. & García-Viguera, C. (2011). Improving the phytochemical composition of broccoli sprouts by elicitation. *Food Chemistry*, 129, 35-44.
34. Pfluger, R. & Mangel, K. (1972). The photochemical activity of chlotoplasts from various plant with different potassium nutririon. *Plant and Soil*, 417-425.
35. Rahemi, M. (2003). *Postharvest physiology: An introduction to fruit and vegetable physiology*. (1th ed.). Shiraz University Publication. (In Farsi).
36. Restrepo-Diaz, H., Benlloch, M. & Fernández-Escobar, R. (2008). Plant water stress and K starvation reduce absorption of foliar applied K by olive leaves. *Scientia Horticulturae*, 116, 409-413.
37. Roy, S., Sen, C.K. & Hänninen, O. (1996). Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons using 'moss bags': Bioaccumulation and responses of antioxidant enzymes in *Fontinalis antipyretica* Hedw. *Chemosphere*, *32*(12), 2305-2315.
38. Sadeghi Feragheh, J., Farahmand, H., Nasibi, F. & Hosseyni Torbati, F.A. (2016). Effect of exogenous nitric oxide application on physiological and antioxidant responses and scape bending reduction in Gerbera cut flower. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 17, 193-208. (In Farsi).
39. Shahinrokhsar, P., Davari, K., Peivast, G., Ghahreman, B. & Nemati, H. (2007). Influence of irrigation interval and substrates on production of tomato (cv. hamra) in soilless (bag) culture. *Agricultural Engineering Research*, 8(1), 31-46. (In Farsi).
40. Soarcs A.G., Trugo L.C., Botrl N. & Souza L.F.S. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by per-harvest soil application of potassium. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 201-207.
41. Taheri, S., Arghavani, M. & Mortazavi, S.N. (2018). Effects of sodium nitroprusside and salicylic acid on morpho-physiological characteristics of common Bermuda grass under water deficit stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 19, 63-74. (In Farsi).
42. Tamagnone, L., Merida, A., Parr, A., Mackay, S., Culianez-Macia, F.A., Roberts, K. & Martin, C. (1998). The AmMYB308 and AmMYB330 transcription factors from antirrhinum regulate phenylpropanoid and lignin biosynthesis in transgenic tobacco. *The Plant Cell*, 10, 135-154.
43. Tan, J., Zhao, H.Y. Hong, Y., Li, H. & Zhao, W. (2008). Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedling subjected to osmotic stress. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4, 307-313.
44. Tehranifar, A. & Tabar, S.M. (2009). Foliar application of potassium and boron during pomegranate (*Punica granatum*) fruit development can improve fruit quality. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 50, 191-196.
45. Tsai, C.J., Harding, S.A., Tschaplinshi, T.J., Lindroth, R.L. & Yuan, Y. (2006). Genome wide analysis of the structural genes regulating defense phenylpropanoid metabolism in Populus. *New Phytologist*, 172, 47-62.
46. Valero, D., Valverde, J.M., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castillo, S. & Serrano, M. (2006). The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety andfunctional properties of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 317-327.
47. Yadollahi, P., Asgharipour, M., Bagheri, A., Jabbari, B. & Sheikhpour, S. (2013). Effects of sodium nitroprusside and arsenic on quantitive traits of bitter squash (*Momordica charantia* L.) Medicinal plant. *Journal of Crop Production Research*, 5(3), 215-225. (In Farsi).
48. Yavary, Z., Moradi, H., Barzegar Golchini, B. & Sadeghy, H. (2015). Evaluation of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) antioxidant activity and some of morphological characteristics in different of vermicompost and nano-potassiom particles amounts. *Journal of Plant Process and Function*, 4, 95-104. (In Farsi).

49. Yuqi, G., Zengyuan, T., Daoliang, Y., Jie, Z. & Pei, Q. (2009) Effects of nitric oxide on salt stress tolerance in Kosteletzkya virginica. *Life Science Journal*, 6, 67-57.
50. Zangeneh, N. & Rasouli, M. (2017). Effect of potassium fertilizers and humic acid on the pigments and activity of antioxidants in grape 'Bidaneh Sefid. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(3), 701-714. (In Farsi).
51. Zaree, E., Javadi, T., Ghaderi, N. & Davari, M. (2015). Effect of potassium sulphate foliar application on some quantitative and qualitative traits of grape (*Vitis vinifera* L.) Cv. Rashe. *Plant Products Technology (Agricultural Research)*, 15(2), 179-190. (In Farsi).
52. Zheng, Y., Yang, Z. & Chen, X. (2008). Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in chiness bayberries, strawberries and blueberries. *Food Control*, 19, 470- 474.