

## اثر محلول‌پاشی برگ‌ی متیل‌جاسمونات بر برخی ویژگی‌های کیفی و ترکیب‌های

### فیتوشیمیایی میوه انار رقم رباب<sup>۱</sup>

## Effect of Methyl Jasmonate Foliar Application on Some Qualitative Attributes and Phytochemical Contents of 'Rabab' Pomegranate Fruit

محمد مریخی\*، محمدرضا اصغری و بیژن کاووسی<sup>۲</sup>

### چکیده

به‌منظور بررسی اثر متیل‌جاسمونات بر کیفیت انار رقم رباب، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. درختان با متیل‌جاسمونات در چهار غلظت صفر، ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار در چهار مرحله مختلف رشد و نمو میوه شامل مرحله تمام‌گل، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز بعد از مرحله تمام‌گل محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی درختان شاهد به‌وسیله آب مقطر انجام گردید. برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه شامل وزن تر میوه، مقدار ماده‌های جامد محلول، pH، اسیدیته کل میوه، فنول کل، آنتی‌اکسیدان کل، رنگ پوست و مقدار اسکوربیک‌اسید مورد بررسی قرار گرفت. متیل‌جاسمونات در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) سبب افزایش وزن تر میوه، فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مقدار اسکوربیک‌اسید و کاهش مقدار اسیدیته کل میوه شد. محلول‌پاشی در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات سبب افزایش معنی‌دار شاخصه‌های a و کروما گردید. اما در شاخصه‌های L، b و زاویه فام، تیمار شاهد بیشترین مقدار را نشان داد. براساس یافته‌های این پژوهش محلول‌پاشی با ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات می‌تواند به‌عنوان یک روش غیرشیمیایی برای افزایش کیفیت میوه انار و ترکیب‌های فیتوشیمیایی پیشنهاد شود. **واژه‌های کلیدی:** رنگ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنول کل، ماده‌های جامد محلول.

### مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum* L. از تیره Punicaceae و از درختچه‌های بومی ایران است. در سال‌های اخیر، به‌علت ارزش غذایی زیاد میوه انار و جایگاه ارزشمند آن در رژیم غذایی انسان‌ها، تولید و مصرف این محصول باغبانی با استقبال عمومی در سطح جهانی روبرو شده است (۱۲). کشور ایران به‌عنوان خاستگاه انار، در حدود ۹۰۹۵۸ هزار هکتار سطح زیر کشت با تولید سالیانه ۷۱۴۵۴۰ تن را دارد (۳). استان فارس بیشترین سطح زیر کشت و تولید را در کشور دارا بوده و شهرستان‌های نی‌ریز، شیراز، ارسنجان، کازرون، داراب، جهرم، فیروزآباد، ممسنی، فسا، مرودشت و سپیدان از مهمترین شهرستان‌های تولیدکننده انار می‌باشند (۱). این میوه منبع غنی از ترکیب‌های فنولی، آنتوسیانین‌ها و تانن‌های هیدرولیز شونده است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه را در پوست، آب میوه و غشا انجام می‌دهند (۲۰).

تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۶

۱- تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۵

۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد بخش علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه و استادیار پژوهش بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (mmerrikhi@gmail.com).

فیتوشیمیایی و کیفی میوه توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. متیل جاسمونات یکی از تنظیم کننده های رشد گیاهی می باشد که در رشد، خصوصیات کیفی و رسیدن میوه های فرازگرا و نافرازگرا مؤثر است (۲). این تنظیم کننده رشد گیاهی با تأثیر بر بیان ژن و فعالیت های آنزیمی سبب تولید ترکیب های دفاعی مانند پلی فنول ها، آلکالوئیدها و پروتئین های مقاومت به بیماری ها می شود (۸). کاربرد پیش از برداشت متیل جاسمونات در تمشک سبب افزایش ماده های جامد محلول، قند کل، گلوکز، فروکتوز، سوکروز، اسیدهای مالیک و سیتریک و هم چنین فلاونوئید و آنتوسیانین میوه شد (۲۹). افزون بر این، محلول پاشی با متیل جاسمونات در آلودگی ژاپنی سبب بهبود کیفیت میوه و افزایش اسیدهای فنولی شد (۱۴). هم چنین، تیمار پیش از برداشت با متیل جاسمونات در تمشک سیاه، سیب و انگور سبب افزایش مقدار ماده های فیتوشیمیایی مفید در این میوه ها گردید (۲۴). در انار رقم ملس یزد، کاربرد متیل جاسمونات به صورت محلول پاشی بر شاخه ها سبب بهبود کیفی رنگ پوست و آریل، اسیدپت، ماده های جامد محلول، مقدار فنول کل و آنتی اکسیدان کل شد (۱۹). این پژوهش با هدف بررسی اثرهای استفاده از متیل جاسمونات در مراحل مختلف رشد و نمو میوه بر ویژگی های کمی و کیفی میوه انار رقم رباب انجام گردید.

## مواد و روش ها

این پژوهش روی درختان انار رقم رباب به صورت طرح بلوک به طور کامل تصادفی در ۳ تکرار در منطقه ای به مختصات ۱۰ و ۲۹ شمالی و ۲۶ و ۵۲ شرقی (اطراف شهرستان شیراز در منطقه کهمره سرخی) در اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ انجام گردید. درختان ۸ ساله، با طرح کشت مربع و فاصله خطوط و ردیف ها ۶ متر بود. آبیاری به صورت قطره ای با دور آبیاری ۸ روزه بود. محلول پاشی درختان با متیل جاسمونات در چهار سطح (صفر، ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی مولار) و در چهار مرحله رشد و نمو میوه (مرحله تمام گل، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز بعد از مرحله تمام گل) انجام شد. همچنین، محلول پاشی درختان شاهد با آب مقطر همانند درختان تیمار شده در چهار مرحله انجام گردید. از هر درخت ۹ میوه به صورت تصادفی در مرحله رسیدن کامل تجاری (مقدار ماده های جامد محلول با بریکس ۱۵) برداشت شد و سپس برای انجام برخی آزمایش های کیفی به آزمایشگاه منتقل شدند. میوه ها از نظر رنگ، آفت و بیماری بررسی و میوه های یکنواخت برای انجام آزمون های کیفی انتخاب شدند. نتیجه های گزارش شده حاصل از میانگین نتیجه های میوه های برداشت شده می باشد.

### آزمون های کیفی

#### اندازه گیری وزن تر میوه

وزن تر میوه به وسیله ترازوی دیجیتال دو رقم اعشار مورد بررسی قرار گرفت.

#### pH

میزان pH آب میوه به وسیله پی اچ سنج دیجیتالی (Metrohm مدل ۶۹۱ ساخت سوئیس) اندازه گیری شد.

#### مقدار اسیدپت کل (TA) و ماده های جامد محلول (TSS)

آب میوه پس از آب گیری و صاف شدن به وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲ برای اندازه گیری مقدار ماده های جامد محلول و مقدار اسیدپت کل، استفاده شد. مقدار TSS به وسیله قندسنج دستی (ATAGO HSR-500 ساخت ژاپن) اندازه گیری و بر حسب درجه بریکس (°Brix) گزارش شد.

برای اندازه گیری TA مقدار ۱۰ میلی لیتر آب میوه با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر رقیق شد و به وسیله سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۱ تیتر گردید. درصد اسیدپت از فرمول زیر براساس میلی لیتر آب میوه محاسبه شد:

$$\% \text{Acid (wt/vol)} = \left[ \frac{(\text{mls NaOH used}) \times (0.1 \text{ N NaOH}) \times 0.064}{\text{mL of sample}} \right] \times 100$$

### غلظت اسکوربیک اسید

برای ارزیابی غلظت اسکوربیک اسید، ۰/۱ میلی لیتر آب انار با ۱۰ میلی لیتر متافسفوریک اسید ۱٪ آمیخته شد. سپس ۱ میلی لیتر از آمیخته حاصل در ۹ میلی لیتر ۱ و ۶ دی کلرو فنول ایندوفنول (۰/۰۰۲۵٪) مخلوط شد و به سرعت به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Milton roy Spectronic 20D ساخت آمریکا) در طول موج ۵۱۵ نانومتر خوانده شد (۵). برای محاسبه غلظت اسید از نمودار استاندارد L-اسکوربیک اسید استفاده و غلظت بر اساس میلی گرم اسکوربیک اسید در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه (mg AA 100 ml<sup>-1</sup> juice) گزارش شد.

### ظرفیت آنتی اکسیدانی کل میوه

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل آب میوه با اندازه گیری خاصیت خنثی کنندگی رادیکال DPPH<sup>۱</sup> تعیین گردید. میزان ۱۰۰ میکرولیتر از آب انار به نسبت ۱:۱۰۰ رقیق شده (۶:۴ آب/متانول) و به وسیله محلول متانولی ۰/۱ میلی مولار DPPH به حجم ۲ میلی لیتر رسانیده شد. مقدار جذب نمونه‌ها در با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر خوانده شد. ظرفیت آنتی اکسیدانی بر اساس فرمول زیر محاسبه و به صورت درصد بازدارندگی (DPPH%) بیان شد (۲۸):

$$DPPH\% = [(A_0/A_1)/A_1] \times 100$$

مقدار جذب DPPH همراه با نمونه = A<sub>1</sub>، مقدار جذب DPPH = A<sub>0</sub>، درصد بازدارندگی = DPPH%

### فنول کل میوه

مقدار فنول کل با استفاده از روش فولین-سیکالچو<sup>۲</sup> تعیین شد. ۳۰۰ میلی لیتر از آب انار به نسبت ۱:۱۰۰ رقیق شده (۶:۴ متانول/آب) و با ۱/۵ میلی لیتر از فولین-سیکالچو ۱۰ برابر رقیق شده مخلوط گردید. سپس به مخلوط حاصل ۱/۲ میلی لیتر کربنات سدیم ۷/۵٪ افزوده شد. آمیخته حاصل به مدت ۹۰ دقیقه در تاریکی و دمای محیط نگهداری شد و سپس مقدار جذب نمونه‌ها در سه تکرار با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت فنول کل از نمودار استاندارد گالیک اسید استفاده شد و غلظت بر اساس میلی گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه (mg GA 100 ml<sup>-1</sup> juice) گزارش شد (۲۸).

### اندازه گیری شاخص رنگ پوست میوه

برای ارزیابی شاخص‌های رنگ از دستگاه رنگ سنج (Lovibond Corp, ICEC-003 Model SP62 ساخت کانادا) استفاده شد. میزان L\* (درخشندگی یا روشنی نمونه)، a\* (قرمزی-سبزی) و b\* (زردی یا آبی بودن) نمونه‌ها اندازه گیری شد. افزون بر L\*، a\* و b\* میزان تغییر رنگ کلی نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (۱۶):

برای شاخص کروما<sup>۳</sup> و زاویه فام<sup>۴</sup> از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$$Hue^\circ = \tan^{-1} b^*/a^* \quad Chroma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

### واکاوای داده‌ها

برای واکاوی آماری داده‌ها از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح معنی داری ۵٪ انجام شد.

## نتایج

### وزن تر میوه

کاربرد متیل جاسمونات (۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی مولار) بر وزن تر میوه‌ها در زمان برداشت اثر داشت (شکل ۱). بیشترین وزن تر میوه در غلظت ۰/۵ میلی مولار متیل جاسمونات به دست آمد، اما تفاوت معنی داری بین سطح‌های ۰/۱ میلی مولار متیل جاسمونات و

| Hue angle -۴ | Chroma -۳ | Folin-Ciocalteu -۲ | 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl -۱ |
|--------------|-----------|--------------------|----------------------------------|
|--------------|-----------|--------------------|----------------------------------|

شاهد مشاهده نشد. متیل جاسمونات در سطح‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش ۵۴/۱۴ و ۹۸/۸۳ درصدی در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱).

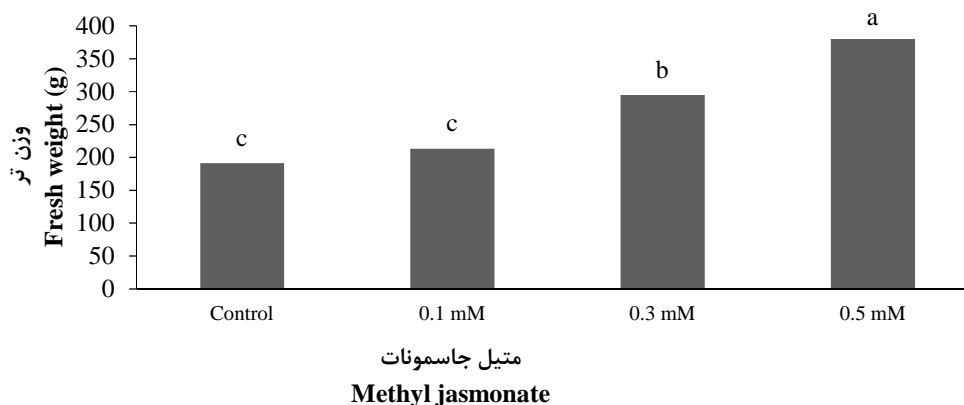


Fig 1. Effect of methyl jasmonate on fresh weight of 'Rabab' pomegranate. Columns with similar letters are not significantly different at 5% level of probability according to Duncan multiple range test.

شکل ۱- تأثیر متیل جاسمونات بر وزن تر میوه انار رقم رباب. ستون‌های با حرف‌های مشابه متفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

#### مقدار TA، TSS و pH

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات بر ویژگی‌های TA، TSS (جدول ۲) و pH (شکل ۲) در سطح احتمال ۵٪ تأثیر معنی‌داری داشت. غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد بیشترین افزایش را در مقدار TSS نشان داد. غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار به ترتیب افزایش ۶/۵۶ و ۷/۱۹ درصدی را نسبت به شاهد در TSS به دنبال داشت. هر چند از نظر TSS تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار وجود نداشت (جدول ۱).

کاربرد غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات تأثیر معنی‌داری بر کاهش مقدار TA میوه داشت. بیشترین مقدار اسیدیته در میوه‌های شاهد و کمترین مقدار در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری بین اثر غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۳ میلی‌مولار بر این شاخص مشاهده نشد. کاهش مقدار اسیدیته کل آب میوه در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار نسبت به شاهد به ترتیب ۱۳/۳۳، ۲۱/۸۷ و ۳۳/۷۵٪ بود.

جدول ۱- تأثیر متیل جاسمونات بر TSS، TA و TSS/TA در آب میوه انار.

Table 1. Effect of methyl jasmonate on TSS, TA, and TSS/TA of pomegranate juice.

| Parameter             | مقدار ماده‌های جامد محلول | اسیدیته کل | TSS/TA |
|-----------------------|---------------------------|------------|--------|
| متیل جاسمونات         | TSS                       | TA         |        |
| Methyl jasmonate (mM) | (°Brix)                   | (%)        |        |
| 0 (Control)           | 15.70 c <sup>†</sup>      | 4.80 a     | 3.28 c |
| 0.1                   | 16.27 b                   | 4.16 b     | 3.92 b |
| 0.3                   | 16.73 a                   | 3.75 b     | 4.48 b |
| 0.5                   | 16.83 a                   | 3.18 c     | 5.30 a |

<sup>†</sup>Means with different letters in each column for each parameter are significantly different at 5% probability level according to Duncan multiple range test.

<sup>‡</sup>میانگین‌های دارای حرف‌های متفاوت در هر ستون برای هر ویژگی در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن دارند.

مقایسه میانگین داده‌ها تأثیر معنی‌دار (سطح احتمال ۰/۵) محلول پاشی غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات را بر نسبت TSS به TA نشان داد. بیشترین مقدار نسبت TSS/TA در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات و کمترین این شاخص در شاهد مشاهده شد (جدول ۱). محلول پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات سبب افزایش ۳۸/۱۱٪ شد. (جدول ۱). مقدار pH در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات نسبت به شاهد به ترتیب ۶/۰۸ و ۱۲/۵۴٪ افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای شاهد و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مشاهده نشد (شکل ۲).

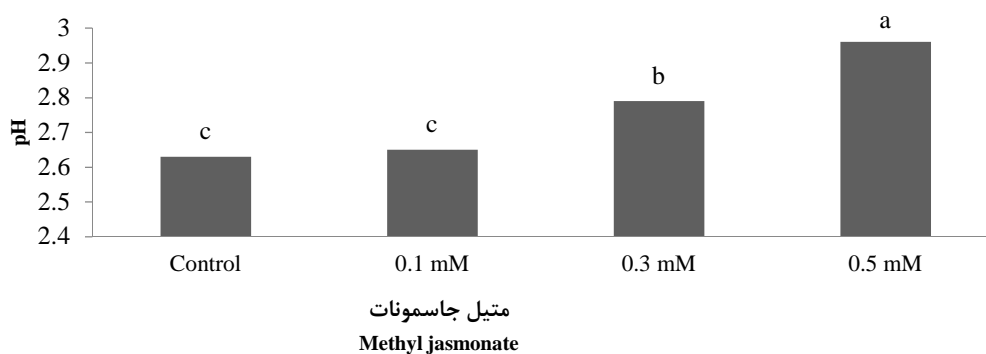


Fig. 2. Effect of Methyl jasmonate on pH of 'Rabab' pomegranate juice. Columns with similar letters are not significantly different at 5% level of probability according to Duncan multiple range test.

شکل ۲- تأثیر متیل جاسمونات بر pH آب میوه انار رقم رباب. ستون‌های با حرف‌های مشابه متفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۵ ندارند.

### فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل و محتوای اسکوربیک‌اسید میوه

متیل جاسمونات تأثیر معنی‌داری بر مقدار فنول کل، آنتی‌کسیدان کل و اسکوربیک‌اسید در مقایسه با شاهد داشت. تیمارهای ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات به ترتیب باعث افزایش ۱۰/۷، ۱/۱ و ۱/۲۹ برابری نسبت به فنول کل میوه در مقایسه با تیمار شاهد شد و بیشترین میزان آن در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آب میوه انار به ترتیب در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و شاهد به دست آمد (جدول ۲). هرچند تفاوت معنی‌داری بین غلظت ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده نشد، اما به ترتیب افزایش ۱۸/۳۶ و ۱۹/۴۳٪ در مقایسه با شاهد در فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شد.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار اسکوربیک‌اسید موجود در آب میوه با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات به دست آمد (جدول ۲). به گونه‌ای که میزان اسکوربیک‌اسید در این تیمار در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۱۶/۱۹٪ افزایش یافت. غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۳ میلی‌مولار تأثیر معنی‌داری بر افزایش مقدار اسکوربیک‌اسید در مقایسه با شاهد نداشتند.

جدول ۲- تأثیر متیل جاسمونات بر اسکوربیک‌اسید، فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آب میوه انار.

Table 2. Effect of methyl jasmonate on ascorbic acid, total phenol, and antioxidant activity of pomegranate juice.

| Parameter            | اسکوربیک‌اسید         | فنول کل             | فعالیت آنتی‌اکسیدانی |
|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| فراسنجه              | Ascorbic acid         | Total phenol        | Antioxidant activity |
| متیل جاسمونات        | (mg AA/100ml juice)   | (mg GA/100ml juice) | (%)                  |
| Methyl jasmonate(mM) |                       |                     |                      |
| 0 (Control)          | 210.27 b <sup>†</sup> | 212.71 c            | 69.36 c              |
| 0.1                  | 215.73 b              | 226.65 b            | 79.44 b              |
| 0.3                  | 220.27 b              | 233.11 b            | 82.10 a              |
| 0.5                  | 250.88 a              | 274.83 a            | 82.85 a              |

<sup>†</sup>Means with different letters in each column for each parameter are significantly different at 5% probability level according to Duncan multiple range test.

<sup>‡</sup>میانگین‌های دارای حرف‌های متفاوت در هر ستون برای هر ویژگی در سطح احتمال ۰/۵ تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن دارند.

## رنگ

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به شاخص‌های رنگ L, a, b, کروما و زاویه Hue تأثیر معنی‌دار محلول پاشی غلظت‌های متیل‌جاسمونات را نشان داد. شاخص‌های L, b و زاویه Hue در تیمارهای شاهد و ۰/۱ میلی‌مولار بیشترین مقدار را داشتند (جدول ۳). شاخص درخشندگی (L) در تیمارهای ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار به ترتیب ۱۲/۰۸ و ۱۴/۹۳٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد و تیمار ۰/۱ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات نداشت. همچنین مقدار شاخص b در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار به میزان ۲۱/۲۹ و ۴۵/۶۲٪ در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت (جدول ۳).  
مقایسه میانگین داده‌ها در شاخص زاویه Hue نشان داد که کاهش ۲/۳۱ و ۳/۱۷ برابری نسبت به تیمار شاهد در تیمارهای ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۳- تأثیر متیل‌جاسمونات بر رنگ پوست میوه انار.

Table 3. Effect of methyl jasmonate on peel color of pomegranate.

| متیل‌جاسمونات<br>Methyl jasmonate (mM) | فراسنجه<br>Parameter | درخشندگی<br>L*       | a*      | b*      | کروما<br>Chroma | زاویه هیو<br>Hue angle |
|--|----------------------|----------------------|---------|---------|-----------------|------------------------|
| 0 (Control)                            |                      | 54.96 a <sup>†</sup> | 12.14 b | 28.03 a | 30.61 b         | 66.49 a                |
| 0.1                                    |                      | 59.76 a              | 18.51 b | 28.86 a | 34.35 b         | 57.55 a                |
| 0.3                                    |                      | 48.32 b              | 40.35 a | 22.06 b | 45.99 a         | 28.72 b                |
| 0.5                                    |                      | 46.75 b              | 39.98 a | 15.24 c | 42.95 a         | 20.92 b                |

<sup>†</sup>Means with different letters in each column for each parameter are significantly different at 5% probability level according to Duncan multiple range test.

<sup>‡</sup>میانگین‌های دارای حرف‌های متفاوت در هر ستون برای هر ویژگی در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارند.

بیشترین میزان شاخص‌های a و کروما مربوط به تیمار ۰/۳ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات بود. شاخص a در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار افزایش ۳/۳۲ و ۳/۲۹ برابری نسبت به شاهد داشت. این مقدار افزایش در شاخص کروما در همین تیمارها به میزان ۵۰/۲۴ و ۴۰/۳۱٪ بود (جدول ۳).

## بحث

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن انار رقم رباب داشت و بیشترین میزان وزن تر میوه در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد. شمار و اندازه یاخته‌ها با تأثیر بر ماده‌های خشک دیواره یاخته‌ای و ویژگی‌های کیفی محصول از جمله سفتی، اندوخته کربوهیدراتی و اسیدهای آلی، آب میوه و عمر پس از برداشت، شکل و اندازه میوه‌ها را تعیین می‌کند (۹). وزن زیاد میوه بیشتر ناشی از یاخته‌های بزرگتر در ناحیه فرابر و شمار زیادتر یاخته‌ها می‌باشد (۲۱). بررسی‌ها نشان می‌دهد که متیل‌جاسمونات در طول دوره رشد میوه و نیز بعد از برداشت آن بر تغییرهای فیزیکی و زیست‌شیمیایی مانند وزن، رنگ و سفتی مؤثر است (۸). پژوهش‌های محدودی روی تأثیر پیش از برداشت متیل‌جاسمونات بر وزن و اندازه میوه انجام شده است. در درختان آلو رقم‌های بلک اسپلندور<sup>۱</sup> و روزا رویال<sup>۲</sup> تیمار با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات سبب افزایش وزن و اندازه میوه شد (۱۷). با این وجود کاربرد غلظت ۰/۸ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات در مرحله دوم نمو میوه هلو تأثیری بر قطر و وزن این میوه نداشته است (۳۵). با وجود نتیجه‌های متفاوت بررسی‌های پیشین در وزن میوه، در پژوهش حاضر

‘RosaRoyal’ -۲

‘Black Splendor’ -۱

مشاهده شد که کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات تأثیر مثبتی بر وزن میوه انار ایجاد نمود که این امر در توجه مشتری و قیمت بالاتر بازار اهمیت دارد.

فنول‌های گیاهی و پلی‌فنول‌ها به عنوان اجزاء اصلی سیستم آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های ثانویه گیاهی، به‌طور مستقیم از مسیر فنیل پروپانوییدی تولید می‌شوند (۱۷). گزارش شده است که کاربرد پیش از برداشت و پس از برداشت متیل جاسمونات فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در زیست‌ساخت فنول‌ها و به‌ویژه فنیل آلانین آمونالیاز را افزایش داده و منجر به زیست‌ساخت فنول‌ها، افزایش ترکیب‌های فنولی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود (۲۶). در تمشک کاربرد متیل جاسمونات سبب افزایش ترکیب‌های فنولی مانند الازیکاسید، کوئرستین و میرسیتین شد (۱۱). محلول پاشی متیل جاسمونات در میوه سیب و لوکوات سبب انباشت ترکیب‌های فنولی شد. (۲۷، ۶). پژوهش حاضر نیز منطبق با نتیجه‌های بررسی‌های پیشین در خصوص اثرهای مثبت جاسمونات‌ها بر افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه می‌باشد. در این بررسی کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات در انار رقم رباب در طول دوره رشد میوه سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار فنول کل گردید.

اسکوربیک‌اسید (ویتامین C) در گیاهان به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل می‌کند و به‌عنوان کوفاکتور برای فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها نیز به‌کار می‌رود. این ترکیب مهم با حفاظت مسیرهای متابولیت‌های ثانویه از اکسیداسیون، فرایند تولید متابولیت‌های ثانویه را کنترل می‌کند (۳۴). تأثیر متیل جاسمونات بر مسیرهای تولید اسکوربیک‌اسید ناشناخته است (۳۲). با این وجود پژوهش‌ها نشان داده‌اند که جاسمونات‌ها باعث افزایش ساخت اسکوربیک‌اسید در کشت درون یاخته‌ای و حفظ آن در پس از برداشت شده است (۳۲). در تنباکو نشان داده شد که متیل جاسمونات با افزایش ژن‌های کدکننده آنزیم‌های کلیدی مسیر تولید ویتامین C سبب افزایش اسکوربیک‌اسید گردید (۳۴). در آلوهای ژاپنی تیمار شده با متیل جاسمونات، افزایش اسکوربیک‌اسید مشاهده شد (۱۴). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین مقدار اسکوربیک‌اسید در تیمار با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات بود. احتمال می‌رود کاربرد متیل جاسمونات خارجی با تحریک آنزیم‌های مسیر زیست‌ساخت اسکوربیک‌اسید سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شود. این اتفاق با افزایش غلظت متیل جاسمونات بیشتر دیده شد.

تأثیر مثبت متیل جاسمونات بر ویژگی‌های کیفی مهم میوه مانند TSS، TA و pH در پژوهش‌های گذشته نشان داده شده است (۳۳). افزایش ماده‌های جامد محلول و کاهش مقدار اسیدیته کل در هلو و تمشک‌های<sup>۲</sup> تیمار شده با متیل جاسمونات مشاهده شده است (۳۲، ۱۸). در میوه‌های بلک‌بری (۳۰) و توت‌فرنگی (۷) نیز کاربرد متیل جاسمونات سبب افزایش نسبت TSS/TA گردید. نتیجه‌های پژوهش حاضر نیز در خصوص مقدار TA و نسبت TSS/TA با بررسی‌های مشابه انطباق داشت.

جاسمونات‌ها می‌توانند با تحریک تولید اتیلن سبب تأثیرهای مثبت بر کیفیت میوه گردند. جاسمونات‌ها با افزایش فعالیت آنزیم سوکروز فسفات سنتاز سبب تبدیل اسیدهای آلی به قندهای محلول می‌شوند. هم‌چنین جاسمونات‌ها نقش مثبتی در افزایش کارایی فتوسنتز در برخی گیاهان داشته که در نتیجه آن افزایش مقدار ماده‌های جامد محلول ایجاد می‌گردد (۲). در این پژوهش غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات سبب کاهش مقدار اسیدیته میوه و افزایش مقدار ماده‌های جامد محلول گردید و همین امر سبب بهبود طعم و کیفیت خوراکی میوه می‌گردد.

در مطالعه انجام شده روی میوه بای‌بری<sup>۳</sup> کاربرد متیل جاسمونات سبب افزایش pH آب میوه شد. این افزایش همبستگی مثبتی با مقدار اسیدیته کل در این میوه داشت (۲۹) که با بررسی حاضر مطابقت دارد. نتیجه‌ها نشان داد که مقدار pH با افزایش غلظت متیل جاسمونات، افزایش یافت. بیشترین مقدار pH در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد.

رنگ یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ارزیابی عمر پس از برداشت و کیفیت میوه‌ها است. شاخص L به عنوان شاخص درخشندگی، a به عنوان نسبت اجزاء سبز به قرمز و b به عنوان شاخص نسبت آبی به زرد شناخته می‌شود و به عنوان شاخصه‌هایی جهت ارزیابی اختلاف رنگ کل محسوب می‌گردند. شاخص کروما به‌عنوان مقدار اشباع شدگی و شدت رنگ و مقدار زاویه Hue به‌عنوان شاخصه‌ای

از رنگ محسوب می‌گردد که مقادیر آن از زاویه صفر یا ۳۶۰ درجه نشان‌دهنده رنگ قرمز و زاویه‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ به ترتیب بیانگر رنگ‌های زرد، سبز و آبی می‌باشد (۴). بررسی‌های متعددی نشان می‌دهند که کاربرد پیش از برداشت متیل جاسمونات سبب بهبود رنگ میوه از راه انباشت فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها در پوست میوه، بدون تأثیر نامطلوب بر کیفیت میوه در زمان برداشت، می‌شود (۲۷). جاسمونات‌ها با تحریک و فعال نمودن مسیرهای متابولیت‌های ثانویه و انباشت رنگزه‌هایی مانند آنتوسیانین‌ها و کاروتنوئیدها این امکان را ایجاد می‌نمایند که از آن‌ها برای رنگ‌گیری بهتر میوه‌های رنگی، گل‌ها و گیاهان زینتی در طول دوره رشد استفاده شود (۲). کاربرد متیل جاسمونات در میوه‌های سیب سبب بهبود رنگ، افزایش ساخت بتاکاروتن و تجزیه کلروفیل گردید (۲۷، ۲۳، ۲۲). در انبه نیز گزارش شده است که کاربرد متیل جاسمونات در بهبود رنگ پوست در این میوه‌ها تأثیر داشت (۱۵). تیمار با متیل جاسمونات با تحریک تولید اتیلن و افزایش رسیدن، سبب بهبود رنگ و ساخت آنتوسیانین‌ها و کاروتن می‌گردد (۲۳، ۱۳، ۱۰). مقایسه میانگین داده‌های مرتبط با رنگ پوست انار در بررسی حاضر، نشان داد که بیشترین مقدار شاخصه‌های a و کروما مربوط به تیمارهای حاوی ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات بود. افزایش مقدار a نشان‌دهنده قرمزی بیشتر می‌باشد. احتمال می‌رود که کاربرد متیل جاسمونات با فعال نمودن ترکیب‌های متابولیت ثانویه و هم‌چنین با تأثیر بر سایر هورمون‌ها سبب بهبود رنگ و افزایش آنتوسیانین و قرمزی بیشتر در پوست انار شد. بیشترین میزان شاخص‌های L، b و درجه Hue در تیمار ۰/۱ میلی‌مولار و شاهد در این پژوهش مشاهده شد و در تیمارهای با غلظت بالاتر متیل جاسمونات مقدار b، L و Hue در زمان برداشت کاهش یافت. در میوه‌های آلو، کاربرد متیل جاسمونات به طور معنی‌داری سبب کاهش شاخصه‌های Hue و L گردید (۱۴). کاربرد متیل جاسمونات در سیب‌های رقم فیجی باعث افزایش رنگ قرمز پوست و کاهش مقدار زاویه Hue رشد (۲۳). نتایج پژوهشی روی انار رقم ملس یزد نشان داد که در هیچ یک از شاخص‌های رنگی بین شاهد و محلول‌پاشی متیل جاسمونات در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (۱۹). احتمال می‌رود در پژوهش حاضر با افزایش شمار بارهای محلول‌پاشی به ویژه در طی دوران نمو میوه، ساخت آنتوسیانین میوه تحریک و در نتیجه رنگ قرمز پوست بیشتر شده است. با توجه به اینکه آنتوسیانین‌ها دسته‌ای از ترکیب‌های فنولی می‌باشند و در این پژوهش نیز افزایش فنول در مقادیر بالاتر متیل جاسمونات مشاهده شد، به نظر می‌رسد متیل جاسمونات با تحریک فنول‌ها سبب بهبود رنگ و افزایش رنگ قرمز شده است.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتیجه‌های این پژوهش می‌توان بیان کرد که محلول‌پاشی با متیل جاسمونات در غلظت مناسب می‌تواند به‌عنوان راهکاری عملی برای بهبود کیفی میوه انار رقم رباب مورد استفاده قرار گیرد. تأثیر تیمار متیل جاسمونات بر افزایش کمیت و کیفیت میوه انار رقم رباب فارس را می‌توان به دلیل افزایش اندازه و حجم نهایی میوه و تأثیر بر مسیر ساخت متابولیت‌های ثانویه مرتبط دانست. متابولیت‌های ثانویه نیز سبب بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی، اسکوربیک‌اسید و فنول کل و هم‌چنین ماده‌های جامد محلول و اسیدیته کل میوه می‌گردند. هم‌چنین غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات سبب بهبود رنگ میوه انار شد. از این رو، غلظت مناسب متیل جاسمونات مطابق با نتیجه‌های این پژوهش، ۰/۵ میلی‌مولار می‌باشد که منجر به بهبود ویژگی‌های کیفی میوه می‌شود.

### References

### منابع

۱. احمدی، ک.، ح. قلیزاده، ح. عبادزاده، ف. حاتمی، ر. حسینی پور، ر. کاظمی فرد و ه. عبدشاه. ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۴، جلد سوم: محصولات باغی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۲۴۰ ص.
۲. اصغری، م.ر. ۱۳۹۴. هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جدید (غیر کلاسیک): کلید مدیریت رشد و نمو گیاه و تولید پایدار محصول سالم در کشاورزی (جاسمونات‌ها، سالیسیلات‌ها،...). انتشارات دانشگاه ارومیه. ۳۵۲ ص.

۳. بی نام. ۱۳۹۶. گزارش اطلاعات سطح، تولید و عملکرد در هکتار محصولات باغبانی کل کشور در سال ۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۸۶ ص.
۴. قربانی، ر.، ج. دهقان نیا، س.ص. سیدلو هریس و ب. قنبرزاده. ۱۳۹۲. مدل سازی پارامترهای رنگی در طی خشک کردن آلوی پیش تیمار شده با اولتراسوند و آبگیری اسمزی. نشریه فرآوری و نگهداری ماده‌های غذایی. ۵: ۲۷-۵۹
5. Barros, L., M.J. Ferreira, B. Queiros, I.C. Ferreira and P. Baptista. 2007. Total phenols, ascorbic acid,  $\beta$ -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chem.* 103:413-419.
  6. Cao, S., Y. Zheng, Z. Yang, K. Wang and H. Rui. 2009. Effect of methyl jasmonate on quality and antioxidant activity of postharvest loquat fruit. *J. Sci. Food Agr.* 89 (12):2064-2070.
  7. Concha, C.M., N.E. Figueroa, L.A. Poblete, F.A. Oñate, W. Schwab and C.R. Figueroa. 2013. Methyl jasmonate treatment induces changes in fruit ripening by modifying the expression of several ripening genes in *Fragaria chiloensis* fruit. *Plant Physiol. Biochem.* 70:433-444.
  8. Creelman, R.A. and J.E. Mullet. 1995. Jasmonic acid distribution and action in plants: regulation during development and response to biotic and abiotic stress. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 92(10):4114-4119.
  9. Czerednik, A., M. Busscher, G.C. Angenent and R.A. Maagd. 2015. The cell size distribution of tomato fruit can be changed by overexpression of CDKA1. *Plant Biotechnol. J.* 13(2):259-268.
  10. Fan, X. and J.P. Mattheis. 1999. Methyl jasmonate promotes apple fruit degreening independently of ethylene action. *HortScience*, 34(2):310-312.
  11. Flores, G. and M.L.R. Del Castillo. 2014. Influence of preharvest and postharvest methyl jasmonate treatments on flavonoid content and metabolomic enzymes in red raspberry. *Postharvest Biol. Technol.* 97:77-82.
  12. Holland, D., K. Hatib and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *Hort. Rev.* 35(2):127-191.
  13. Kondo, S., N. Tsukada., Y. Niimi and H. Seto. 2001. Interactions between jasmonates and abscisic acid in apple fruit, and stimulative effect of jasmonates on anthocyanin accumulation. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 70(5):546-552.
  14. Kucuker, E., B. Ozturk, S.M. Celik and H. Aksit. 2014. Pre-harvest spray application of methyl jasmonate plays an important role in fruit ripening, fruit quality and bioactive compounds of Japanese plums. *Sci. Hort.* 176: 162-169.
  15. Lalel, H., Z. Singh and S. Tan. 2003. The role of methyl jasmonate in mango ripening and biosynthesis of aroma volatile compounds. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 78(4):470-484.
  16. Maftoonazad, N. and H.S. Ramaswamy. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT-Food Sci Technol.* 38(6):617-624.
  17. Martínez-Esplá, A., P.J. Zapata, S. Castillo, F. Guillén, D. Martínez-Romero, D. Valero and M. Serrano. 2014. Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 1. Improvement of fruit growth and quality attributes at harvest. *Postharvest Biol. Technol.* 98:98-105.
  18. Meng, X., J. Han, Q. Wang and S. Tian. 2009. Changes in physiology and quality of peach fruits treated by methyl jasmonate under low temperature stress. *Food Chem.* 114(3):1028-1035.
  19. Mirdehghan, S., G. Vatanparast, H. Karim and M. Vazifeshenas. 2012. Preharvest foliar application of methyl jasmonate, salicylic acid and potassium sulfate on improving the quality of pomegranate fruit. *Options Méditerranéennes*, 103:183-189.
  20. Mphahlele, R.R., O.A. Fawole., M.A. Stander and U.L. Opara. 2014. Preharvest and postharvest factors influencing bioactive compounds in pomegranate (*Punica granatum* L.)—A review. *Sci Hort.* 178:114-123.
  21. Nafie, E., T. Hathout., A. Mokadem and A. Shyma. 2011. Jasmonic acid elicits oxidative defense and detoxification systems in *Cucumis melo* L. cells. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(2):161-174.
  22. Pérez, A.G., C. Sanz., D.G. Richardson and J. M. Olías. 1993. Methyl jasmonate vapor promotes  $\beta$ -carotene synthesis and chlorophyll degradation in Golden Delicious apple peel. *J Plant Growth Regul.* 12(3):163-167.
  23. Rudell, D.R., J.K. Fellman and J.P. Mattheis. 2005. Preharvest application of methyl jasmonate to 'Fuji' apples enhances red coloration and affects fruit size, splitting, and bitter pit incidence. *HortScience*, 40(6):1760-1762 .
  24. Reyes-Díaz, M., T. Lobos, L. Cardemil, A. Nunes-Nesi, J. Retamales, L. Jaakola, M. Alberdi and A. Ribera-Fonseca. 2016. Methyl Jasmonate: an alternative for improving the quality and health properties of fresh fruits. *Molecules*, 21(6):567-585.
  25. Rohwer, C. and J. Erwin. 2008. Horticultural applications of jasmonates. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 83(2):283-304.

26. Saracoglu, O., B. Ozturk, K. Yildiz and E. Kucuker. 2017. Pre-harvest methyl jasmonate treatments delayed ripening and improved quality of sweet cherry fruits. *Sci. Hort.* 226:19-23.
27. Shafiq, M., Z. Singh and A.S. Khan. 2013. Time of methyl jasmonate application influences the development of 'Cripps Pink' apple fruit colour. *J. Sci. Food Agr.* 93(3) 611-618.
28. Tehranifar, A., M. Zarei, Z. Nemati, B. Esfandiyari and M.R. Vazifeshenas. 2010. Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Sci. Hort.* 126(2):180-185.
29. Wang, K., P. Jin, S. Cao, H. Shang, Z. Yang and Y. Zheng. 2009. Methyl jasmonate reduces decay and enhances antioxidant capacity in Chinese bayberries. *J. Agr. Food Chem.* 57(13):5809-5815.
30. Wang, S.Y., L. Bowman and M. Ding. 2008. Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (*Rubus* sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells. *Food Chem.* 107(3):1261-1269.
31. Wang, S.Y. and W. Zheng. 2005. Preharvest application of methyl jasmonate increases fruit quality and antioxidant capacity in raspberries. *Int. J. Food Sci. Technol.* 40(2):187-195.
32. Wasternack, C. 2014. Action of jasmonates in plant stress responses and development—applied aspects. *Biotechnol. Adv.* 32(1):31-39.
33. Wills, R.B.H. and J. Golding. 2016. *Advances in Postharvest Fruit and Vegetable Technology*: CRC Press. 245 p.
34. Wolucka, B.A., A. Goossens and D. Inzé. 2005. Methyl jasmonate stimulates the de novo biosynthesis of vitamin C in plant cell suspensions. *J. Exp. Bot.* 56(419):2527-2538.
35. Ziosi, V., C. Bonghi, A.M. Bregoli, L. Trainotti, S. Biondi, S. Sutthiwal, S. Kondo, G. Costa and P. Torrigiani. 2008. Jasmonate-induced transcriptional changes suggest a negative interference with the ripening syndrome in peach fruit. *J. Exp. Bot.* 59(3):563-573.

## Effect of Methyl Jasmonate Foliar Application on Some Qualitative Attributes and Phytochemical Contents of ‘Rabab’ Pomegranate Fruit

M. Merikhi\*, M.R. Asghari and B. Kavooosi<sup>1</sup>

In order to evaluate the effects of methyl jasmonate on quality of ‘Rabab’ pomegranate, an experiment was conducted as a completely randomized design with 3 replications. Trees were sprayed with different concentrations of methyl jasmonate (0, 0.1, 0.3, and 0.5 mM) at four different stages of fruit development including full bloom, 30, 60, and 90 days after full bloom. Control trees were sprayed with distilled water. Some quality attributes of the fruit including fruit fresh weight, soluble solids content, pH, total acidity, total phenolics, total antioxidant activity, color index, and ascorbic acid content were evaluated. Methyl jasmonate at a concentration-dependent manner enhanced fruit quality attributes including phytochemical compounds. methyl jasmonate at 0.5 mmol L<sup>-1</sup> significantly ( $P \leq 0.05$ ) enhanced fruit fresh weight, pH, total phenolics, antioxidant activity, and ascorbic acid content and reduced total acidity of fruit juice. Fruits sprayed with 0.5 mmol L<sup>-1</sup> caused a significant increase of ‘a’ and chroma indexes. The higher values of L, b value and Hue angle were observed in fruits pretreated with 0.1 mmol L<sup>-1</sup> methyl jasmonate and control fruit. According to the findings of this study, foliar spraying with 0.5 mmol L<sup>-1</sup> methyl jasmonate may be considered as an effective nonchemical method for enhancing pomegranate fruit quality attributes and phytochemical compounds.

**Keywords:** Antioxidant activity, Color, Soluble solids content, Total Phenol.

---

1. Ph.D. Student and Professor of Horticulture Science, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, and Assistant Professor of Horticulture Crops Research Department, Fars Agricultural Research and Natural Resource and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran, respectively.

\* Corresponding author, Email: (mmerrikhi@gmail.com).