

Effects of Foliar Application of Gibberellic Acid, Copper Sulphate and Potassium Sulphate on Quantitative and Qualitative Characteristics of Pomegranate Fruit

Fereshteh Pourshaip¹, Javad Erfani-Moghadam^{2*}, Abdolkarim Zarei³

1- Former M.Sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam (f.pourshaip@ilam.ac.ir)

2- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam (j.erfani@ilam.ac.ir)

3- Associate Professor in Department of Plant Production and Genetic (Biotechnology), Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran. (zareil4@gmail.com)

Received Date: 16/06/2022

Accepted Date: 19/10/2022

Abstract

Introduction: Pomegranate (*Punica granatum*) belongs to the Lythraceae family and is one of the most important fruit trees in Iran. Although pomegranate is considered as a low expectation fruit species and is relatively tolerant to various unfavorable conditions such as hot and dry climate, salty soil, and water deficit, however, commercial production of this fruit crop is faced with various challenges including different physiological disorders and biotic/abiotic stresses that can negatively affect pomegranate fruit yield, quality, and commercial acceptance. Fruit skin sunburn and fruit cracking are among the main physiological disorders that cause serious economic losses to the pomegranate growers all around the world and may account for losses of up to 40-50 % of the total fruit production in different pomegranate production areas.

Material and methods: To reduce physiological disorder of fruit cracking in pomegranate cultivar cv. Malase-Saveh, gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate treatments were utilized as a factorial design in the frame of randomized complete block design with three replications. Gibberellic acid (0 and 100 ppm), potassium sulfate (0 and 5000 ppm) and copper sulfate (0 and 2500 ppm) were sprayed in three stages of fruit development in the late spring and mid-summer. The fruit samples were harvested randomly from different sides of the pomegranate trees at the ripening stage of fruit and some characteristics of fruit were measured.

Results and discussion: Results of analysis of variance has illustrated that most of the evaluated parameters were significantly affected by foliar treatments. The number of fruit cracking was counted for each tree and results showed that fruit cracking was influenced by the application of gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate, as the percentage of fruit cracking was reduced significantly with application of these compounds. The fruit weight, peel thickness, moisture percentage of peel, TSS and titratable acidity was significantly increased by 100 ppm GA₃ compared to the control sample. The highest fruit weight (181.7 gr) was obtained in 100 mg gibberellic acid treatment, while this parameter was 160.75 gr in the control plant. The lowest level of fruit cracking was related to gibberellic acid treatments with levels of 100 mg/l with mean values of 14.10%. The highest amount of fruit cracking was observed in control plant (23.38%). Finally, fruit cracking percentage was reduced by the rise of peel thickness, moisture percentage of peel, and titratable acidity in fruit.

Conclusions: In this study, the effects of gibberellic acid, copper sulfate and potassium sulfate were investigated on the fruit cracking of pomegranate fruit. The overall results showed that the application of gibberellic acid and copper sulfate significantly affected some of the attributes of pomegranate fruit and finally led to the reduced fruit cracking in 'Malase-Saveh' cultivar. The results obtained from this research indicate that the fruit cracking of pomegranate is related to many physicochemical characteristics of the fruit and tree. The results of this investigation can enhance our knowledge about the major contributing factors on pomegranate fruit cracking, and will be beneficial for making sound horticultural practices to reduce the detrimental effects of pomegranate physiological disorders.

Keywords: Fruit cracking, Gibberellic acid, Nutrient elements, Pomegranate.

تأثیر محلول پاشی اسیدجیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم بر برخی شاخص‌های کمی و کیفی میوه انار

فرشته پورشیب^۱، جواد عرفانی مقدم^{۲*}، عبدالکریم زارعی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام
(f.pourshaip@ilam.ac.ir)

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام
(j.erfani@ilam.ac.ir)

۳- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم
(zareil4@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶

چکیده

انار با نام علمی (*Punica granatum* L.) متعلق به خانواده Lytraceae یکی از مهم‌ترین درختان میوه نیمه‌گرمسیری در ایران می‌باشد. در این تحقیق به منظور کاهش ترکیدگی و بهبود سایر صفات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه، از تیمار اسید جیبرلیک (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، سولفات مس (صفر و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سولفات پتاسیم (صفر و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. محلول‌پاشی ترکیبات مذکور در سه مرحله رشدی میوه در اواسط خرداد، تیر و مرداد صورت گرفت. نمونه‌های میوه به صورت تصادفی از بخش‌های مختلف درختان انار در زمان رسیدگی کامل جمع‌آوری شدند و برخی از خصوصیات کمی و کیفی میوه مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه واریانس نشان داد تفاوت معنی‌داری در برخی شاخص‌های مورد بررسی وجود دارد. تعداد میوه‌های ترک‌خورده در هر درخت شمارش شدند و نتایج نشان داد ترکیدگی میوه تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید جیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم قرار می‌گیرد و به طور معنی‌داری با محلول‌پاشی کاهش یافت. وزن میوه، ضخامت پوست میوه، درصد رطوبت پوست میوه، مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک به طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافت. بیشترین میزان وزن میوه (۱۸۱/۷ گرم) در تیمار اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم به‌دست آمد در حالیکه این شاخص در نمونه شاهد ۱۶۰/۷۵ گرم بود. نتایج کلی نشان داد درصد ترکیدگی میوه با افزایش ضخامت پوست میوه، درصد رطوبت پوست میوه و اسیدیته قابل تیتراسیون کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: انار، اسید جیبرلیک، ترکیدگی میوه، عناصر غذایی.

مقدمه

ایران به عنوان مبدا اصلی پیدایش و یکی از مراکز تنوع انار محسوب می‌شود (Zarei et al., 2020). شکافتن یا ترک خوردن میوه یک اختلال فیزیولوژیکی عمده است که بر تولید و کیفیت انار تأثیر منفی می‌گذارد (Singh et al., 2020). عارضه ترک‌خوردگی میوه تقریباً در تمام مناطق انارکاری دنیا خصوصاً در مناطق گرم و خشک رواج دارد و یکی از راهکارهای موثر برای کاهش ترک‌خوردگی میوه، مدیریت مناسب باغ و کاربرد برخی عناصر غذایی می‌باشد (Karami et al., 2021; Olyaie Torshiz et al., 2017). نتایج بسیاری از تحقیقات علمی نشان بیانگر این است که آبیاری نامنظم، آبیاری یا بارندگی بعد از یک دوره خشکی، کاهش ناگهانی دما و تاخیر در برداشت محصول در ترکیب میوه انار نقش موثری دارند و تغذیه مناسب و کاربرد برخی از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی مانند اسید جبرلیک می‌توانند شدت این عارضه را تحت تأثیر قرار دهند (Mercure, 2007).

عناصر غذایی نقش مهمی در رشد، نمو و افزایش عملکرد کمی و کیفی میوه انار دارد (Hamouda et al., 2015). کمبود مواد مغذی به ویژه بور، کلسیم، روی و پتاسیم (Ghariesheikhbayat, 2006; Saei et al., 2014) به طور مستقیم با ترک خوردن میوه در انار مرتبط است. مواد مغذی مانند پتاسیم، کلسیم، روی، مس، مولیبدن و منگنز در برخی فرایندهای فیزیولوژیکی در طول دوره رشد میوه نقش مهمی دارند و کمبود آنها منجر به ترک خوردن میوه می‌شود (Sheikh and Manjula, 2006). همچنین پیشنهاد شده که استفاده از کودهای حاوی پتاسیم و مس می‌تواند جایگزینی برای قارچ‌کش‌های مصنوعی باشد و به تولید میوه با کیفیت بدون ایجاد اثرات نامطلوب بر محیط زیست کمک کند (Sajid et al., 2022). در پژوهشی، محلول پاشی نترات پتاسیم به طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد و کیفیت میوه در درختان میوه هسته‌دار شد (Lester et al., 2006). محلول پاشی پتاسیم در هلو باعث

بهبود قابل توجهی در محتوای مواد جامد محلول و ظاهر میوه گردید (Mimoun et al., 2008). پتاسیم همچنین با ایجاد انبساط سلولی و افزایش وزن میوه با تنظیم پدیده اسمز باعث افزایش اندازه میوه می‌شود (Ruiz, 2005). پتاسیم نقش مهمی در آماده‌سازی جذب عناصر و انتقال آن به بافت‌های مختلف گیاه دارد و از این رو مستقیماً به میوه‌دهی کمک می‌کند (Khayyat et al., 2012). عنصر مس بعنوان کوفاکتور عملکرد برخی آنزیم‌ها را بهبود بخشیده و نقش مهمی در فتوسنتز و تولید لیگنین ایفا می‌کند و باعث افزایش استحکام سلولی می‌شود (Ram and Bose, 2000).

بهبود صفات کمی و کیفی میوه انار تحت تیمارهای مختلف و کاربرد برخی عناصر غذایی از اهمیت بالایی در تحقیقات مربوط به انار برخوردار است. با توجه به اینکه میوه انار بیشتر در حاشیه مناطق کویری و قسمت‌های خشک با تابستان‌های گرم و خشک پرورش داده می‌شود، تحت تاثیر تنش‌های مختلف دچار عارضه‌های فیزیولوژیکی از جمله ترکیدگی و آفتاب سوختگی و کاهش عملکرد می‌گردد. تقویت درخت بوسیله محلولپاشی با برخی عناصر غذایی و تنظیم کننده‌های رشد بعنوان راهکاری برای مقابله با اثرات تاثیرات منفی اقلیم و کاهش عارضه‌های فیزیولوژیکی در درختان میوه مد نظر می‌باشد. در این پژوهش محلول پاشی عناصر غذایی از جمله مس و پتاسیم به همراه اسید جبرلیک مورد استفاده قرار گرفت تا تاثیر این ترکیبات در کاهش عارضه ترکیدگی و افزایش خصوصیات کمی و کیفی میوه انار بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در یک باغ تجاری انار در روستای چم جنگل از توابع شهر لومار در شهرستان سیروان استان ایلام انجام شده است. منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی ($33^{\circ} 50' 14''$) و عرض جغرافیایی ($46^{\circ} 87' 77''$) و در ارتفاع ۷۵۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. حداکثر

مطلق دما در این منطقه ۶/۶± و حداقل مطلق دما ۲- درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دما در منطقه ۱/۲۷± درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل آن، ۵/۱۳± درجه سانتی‌گراد با متوسط بارندگی ۵۰۸ میلی‌متر در سال می‌باشد.

در تحقیق حاضر، اثرات محلول‌پاشی اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس بر کنترل ترکیدگی و برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه بررسی شد. درختان انار ۱۱ ساله با فاصله کشت ۳ متر روی ردیف و ۴ متر بین ردیف بودند و باغ مورد مطالعه مجهز به سیستم آبیاری به شکل قطره‌ای بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار انجام شد. در هر تکرار، برای هر تیمار دو نمونه درخت انار وجود داشت. تیمارها شامل عنصر مس در دو غلظت (صفر و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، سولفات پتاسیم در دو غلظت (صفر و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و اسید جیبرلیک در دو غلظت (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و در سه مرحله در اواسط خرداد، تیر و مرداد بر روی درختان محلول‌پاشی شدند. برای تیمار شاهد از آب معمولی استفاده شد. در هر نوبت محلول‌پاشی تا شستشوی کامل تاج درخت ادامه می‌یافت، بطوریکه قطرات آب از سطح

رابطه ۱:

$$\text{درصد رطوبت پوست میوه} = \frac{(\text{وزن خشک پوست میوه} - \text{وزن تر پوست میوه})}{\text{وزن تر پوست میوه}} \times 100$$

$$100 \times (\text{درصد رطوبت پوست میوه} - 1) = \text{درصد ماده خشک پوست میوه}$$

درخت شروع به چکیدن می‌کرد. در زمان رسیدن میوه، تعداد کل میوه و همچنین میوه ترک‌خورده از هر درخت شمارش شدند و از هر درخت تعداد ۱۰ میوه سالم و ترک‌خورده به صورت تصادفی انتخاب و برای ارزیابی صفات به آزمایشگاه دانشگاه ایلام منتقل شدند. برای اندازه‌گیری درصد ترکیدگی و آفتاب سوختگی میوه از نسبت تعداد میوه‌های ترک‌خورده یا آفتاب سوخته به تمام میوه‌های روی درخت استفاده شد (Hegazi et al., 2014). وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت یک صدم گرم برآورد شد و میانگین وزن حاصل به عنوان وزن میوه در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک پوست میوه از ترازوی دقیق الکترونیکی تا دقت یک صدم گرم استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن تر پوست میوه، تکه‌ای از پوست توزین گردید و برای تعیین وزن خشک، نمونه مورد نظر در پاکت کاغذی گذاشته شد و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از خشک شدن دوباره توزین شد. درصد رطوبت و ماده خشک پوست از رابطه ۱ برآورد گردید.

بریکس اندازه‌گیری شد. اسیدیته کل عصاره میوه به روش تیتراسیون با تیترا کردن ۵ میلی‌لیتر عصاره میوه با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن به پی‌اچ ۸/۲ اندازه‌گیری شد. pH عصاره میوه‌ها توسط دستگاه pH متر قرائت شد (Zarei, 2017). هم‌چنین نمونه‌برداری از خاک برای ارزیابی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ مورد آزمایش انجام شد. بدین منظور سطح خاک از

ضخامت پوست در همه میوه‌های جمع‌آوری شده در چند نقطه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. میانگین اعداد حاصل به عنوان ضخامت پوست در نظر گرفته شد. تعداد صد آریل از هر میوه شمارش و با ترازوی دقیق الکترونیکی با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری گردید. بعد از توزین آریل‌ها، عصاره تهیه گردید و درصد مواد جامد محلول به وسیله رفراکتومتر دستی بر حسب درجه

بلوک تهیه شد و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه ایلام اندازه‌گیری شد (جدول ۱). تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱/۳) انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

بقایای گیاهی پاک شد و نمونه‌برداری در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر و در سایه‌انداز درخت صورت گرفت (Shahid et al., 2014). نمونه‌برداری از چند قسمت مختلف در باغ و برای هر بلوک به شکل جداگانه انجام شد و در نهایت نمونه‌های هر بلوک مخلوط و یک نمونه مرکب برای هر

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ مورد بررسی

Table 1. Some of the physical and chemical properties of soil in the experimental orchard

Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	Soil EC (ds/m)	SOC (Soil Organic Carbon) (%)	Soil pH	Nitrogen (%)	Phosphor (%)	Potassium (%)	TNV (Total Neutralizing Value) (%)
37	34	29	Sandy loam	0.52	1.90	7.21	0.19	12.7	244	0.37

کاهش درصد ترکیب میوه انار با کاربرد جیبرلیک اسید، سولفات پتاسیم و سولفات مس به تنهایی یا ترکیب آنها می‌تواند ناشی از نقش جیبرلیک اسید در کشسانی و انعطاف پذیری پوست میوه باشد و دانشمندان بسیاری به این نقش جیبرلیک اسید اشاره نموده‌اند (Rouhi and Esmailzadeh, 2013). در مورد نقش اسید جیبرلیک در افزایش خاصیت کشسانی به دیواره سلولی چندین فرضیه به شرح زیر وجود دارد. کاربرد اسید جیبرلیک برون زاد می‌تواند با تغییراتی که در الگوی بیان ژنها ایجاد می‌کند، پروسه‌های متابولیسمی، اجزای کیفی و عملکردی محصولات را تحت تاثیر قرار دهد (Shah et al., 2023). مطالعات بررسی بیان ژن حاکی از این است که کاربرد برون زاد GA3 باعث القاء تغییراتی در سطوح رونوشت‌های ژن‌های درگیر در مسیر بیوسنتز و سیگنالینگ GA، و همچنین ژنهای وابسته به بیوسنتز اکسین، سیتوکین و دیواره سلولی ثانویه می‌گردد (Qian et al., 2018). این نتایج پیشنهاد می‌کند که اسید جیبرلیک ممکن است با هورمونهای دیگر از قبیل اکسین و سیتوکین برهمکنش داشته باشد و تنظیم مجدد بیان ژنهای دخیل در بیوسنتز دیواره سلولی ثانویه و فرایند ساخته شدن آوندهای چوبی (xylogenesis) گردد (El-Tohamy et al., 2023)، که در نهایت این تغییرات می‌توانند علاوه بر تغییر خاصیت کشسانی سلولی منجر به هدایت بهتر آب و مواد غذایی از

نتایج

نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص ترکیب‌دگی و آفتاب سوختگی میوه نشان داد که تفاوت معنی‌داری در کاهش میزان ترکیب‌دگی و آفتاب سوختگی پوست میوه انار در برخی از تیمارهای مورد بررسی وجود دارد (جدول ۲). کاربرد اسید جیبرلیک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش معنی‌داری در شاخص ترکیب‌دگی میوه (۱۰/۱۴٪) در مقایسه با شاهد (۲۳/۳۸٪) شده است. همچنین ترکیب اسید جیبرلیک با سولفات مس در کاهش ترکیب‌دگی میوه (۱۴/۴۵٪) تاثیر مثبت داشته است (شکل ۱). شاخص آفتاب سوختگی میوه در اثر کاربرد اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس کاهش یافت. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها، تفاوت معنی‌داری در وزن میوه بین محلول پاشی اسید جیبرلیک و شاهد در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین میزان وزن میوه با میانگین ۱۸۱/۷۰ گرم مربوط به تیمار اسید جیبرلیک در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم و کمترین میزان این صفت در مورد نمونه‌های شاهد ۱۶۰/۷۵ گرم حاصل شد. نتایج نشان داد سایر تیمارهای مورد بررسی در افزایش وزن میوه تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند. همچنین تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مورد بررسی در صفت وزن صد آریل مشاهده نشد.

ریشه‌ها به اندامهای هوایی گردد. تیمار جو دو سر با اسید جیبرلیک منجر به افزایش ۱۷ برابری در اسیدیته دیواره سلولی در مقایسه با شاهد شده است که این میزان در مقایسه با تاثیر در خاصیت کشسانی با کاربرد اکسین که به میزان ۱۰ برابر استفاده بسیار ناچیز است. همچنین افزایش خاصیت کشسانی دیواره سلولی می‌تواند به دلیل تغییر در ترکیبات این دیواره باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اسید جیبرلیک سنتز دیواره سلولی را افزایش می‌دهد (Rouhi

and Esmacilzadeh, 2013). نتایج برخی گزارش‌ها نشان داد اسید جیبرلیک سبب هیدرولیز نشاسته و سوکروز به گلوکز و فروکتوز می‌شود. این قندهای ۶ کربنه علاوه بر تامین انرژی لازم برای تشکیل دیواره سلولی در نتیجه تنفس، سبب کاهش موقتی پتانسیل آب سلولی شده که در نتیجه آن آب به سرعت وارد سلول شده و افزایش حجم سلول می‌شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس بر خصوصیات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه

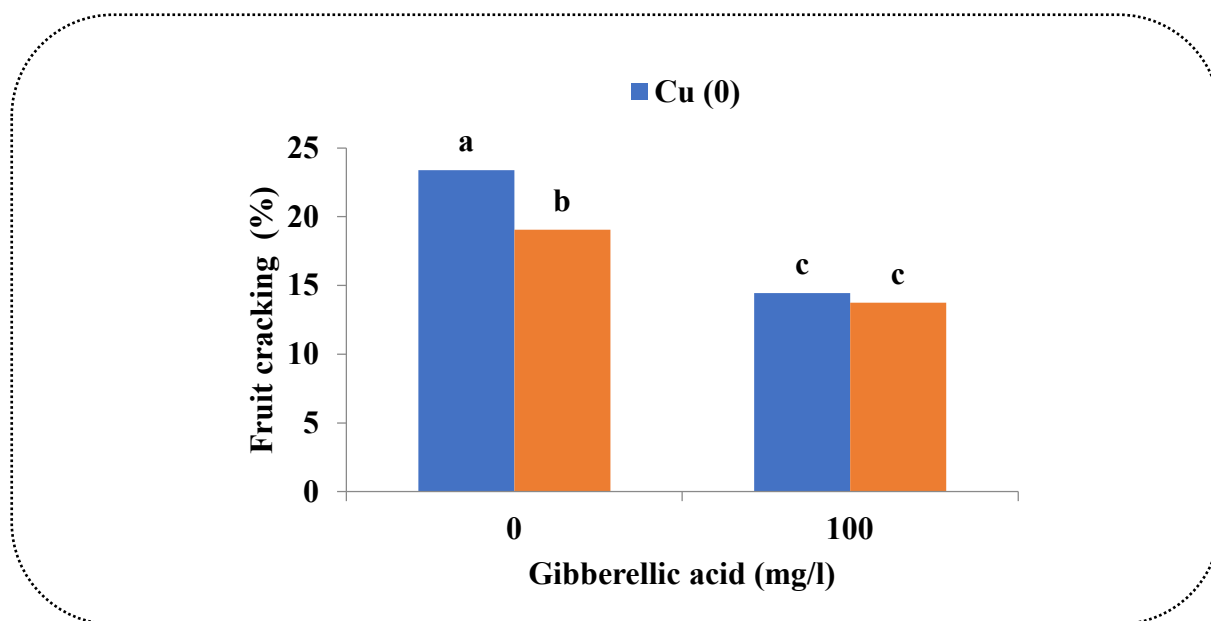
Table 2. Variance analysis of gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate treatments on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate cv. Malase-Saveh

Mean of Squares											
S. O. V.	df	Fruit cracking	Fruit sunburn	Fruit weight	100 arils weight	Peel thickness	Fruit peel moisture	Fruit peel dry matter	Total soluble solids	Titrateable acidity	pH
Block	2	0.21 ^{ns}	21.31 ^{ns}	397 ^{ns}	6.94 ^{ns}	0.15 ^{ns}	53.69 ^{ns}	53.69 ^{ns}	1.5 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.10 ^{ns}
GA ₃	1	303.8 ^{**}	319.7 ^{**}	2635 ^{**}	39.3 ^{ns}	1.26 [*]	733 ^{**}	733 ^{**}	12.4 ^{**}	0.7 ^{**}	0.0 ^{ns}
K ⁺	1	4.16 [*]	102.5 [*]	189 ^{ns}	4.65 ^{ns}	1.76 [*]	7.39 ^{ns}	7.39 ^{ns}	3.76 [*]	0.0 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Cu ²⁺	1	38 ^{**}	64 ^{**}	10.01 ^{ns}	2.34 ^{ns}	1.5 [*]	129.2 [*]	129.2 [*]	0.07 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.13 ^{ns}
GA ₃ × K ⁺	1	9.17 ^{ns}	11.8 ^{ns}	1211 ^{ns}	23.03 ^{ns}	0.04 ^{ns}	5.77 ^{ns}	5.77 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.03 ^{ns}
GA ₃ × Cu ²⁺	1	19.87 ^{**}	6.4 ^{ns}	41.34 ^{ns}	0.55 ^{ns}	0.26 ^{ns}	60.1 ^{ns}	60.1 ^{ns}	2.22 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.0 ^{ns}
Cu ²⁺ × K ⁺	1	0.55 ^{ns}	1.72 ^{ns}	46.76 ^{ns}	8.51 ^{ns}	0.09 ^{ns}	16.17 ^{ns}	16.17 ^{ns}	2.1 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}
GA ₃ × Cu ²⁺ × K ⁺	1	4.5 ^{ns}	10.14 ^{ns}	396 ^{ns}	7.46 ^{ns}	0.0 ^{ns}	8.2 ^{ns}	8.2 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.75 ^{ns}
Error	14	2.15	6.78	313	9.97	0.27	23.74	23.74	0.67	0.0	0.07
C.V. (%)	-	8.31	13.8	10.13	12.34	20.73	6.68	6.68	5.15	4.78	8.74

ns, *, **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns, *, **: Non significantly difference, significantly difference at 5% and 1% of probability level, respectively.

به عقیده دانشمندان عنصر مس در فرآیندهای فیزیولوژیکی در طول دوره رشد میوه انار درگیر است و کمبود آن باعث خشکی اندام می‌شود (Sheikh and Majula, 2012) و محلول‌پاشی با سولفات مس ترکیب می‌شود میوه را کاهش می‌دهد. بعنوان یک کوفاکتور، عنصر مس مرکز فعال آنزیمهای مختلفی می‌باشد که در فعالیتهای بیولوژیکی متعددی از قبیل انتقال پروتئین، متابولیسم دیواره سلولی، انتقال الکترون در تنفس/فتوسنتز، و انتقال سیگنال هورمون دخیل می‌باشند (Chen et al., 2022).

علاوه بر تاثیرات مخربی که بر رشد و نمو و ساختار مریستم و برگ گیاه دارد، کمبود مس می‌تواند با کاهش تشکیل دیواره سلول و فرایند چوبی شدن (لیگنیفیکاسیون) در برخی بافت‌ها باعث کاهش انتقال آب گردد و کاهش تولید چوب در درختان جنگلی را به همراه داشته باشد (Chen et al., 2022). بنابراین به نظر می‌رسد بهبود سیستم انتقال آب و به همراه آن عناصر مغذی که در اثر کاربرد اسید جیبرلیک و سولفات مس حاصل شده است در کاهش ترکیب میوه انار موثر بوده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید جیبرلیک و سولفات مس بر درصد ترکیدگی میوه انار رقم ملس ساوه.

Figure 2- Mean comparison interaction effect of gibberellic acid and copper sulfate on fruit cracking in pomegranate fruit cv. Malase-Saveh.

و سولفات مس به ترتیب ۲/۷۹ و ۲/۷۷ میلی متر ثبت شد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، تفاوت معنی داری در درصد رطوبت و ماده خشک پوست میوه انار بین کاربرد اسید جیبرلیک و سولفات مس با تیمار شاهد در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مشاهده شد. بیشترین درصد رطوبت پوست میوه در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید جیبرلیک (۷۸/۴۰ درصد) مشاهده شد، در حالیکه این شاخص در تیمار فاقد اسید جیبرلیک ۶۷/۳۴ درصد ثبت شد. همچنین کاربرد سولفات مس و پتاسیم باعث افزایش درصد رطوبت پوست میوه در انار گردید. بر اساس نتایج حاصله اثر کاربرد اسید جیبرلیک در دو شاخص مواد جامد محلول و اسیدیته کل معنی دار شد ولی بین سایر تیمارها تفاوت معنی داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین اثرات ساده اسید جیبرلیک در این دو شاخص نشان داد کاربرد اسید جیبرلیک باعث افزایش درصد مواد جامد محلول و اسیدیته کل در مقایسه با شاهد شده است. مشابه با نتایج این پژوهش، افزایش میزان مواد جامد محلول با کاربرد اسید جیبرلیک در میوه های دیگر هم گزارش شده است (Kappel and MacDonald, 2007; El-Tohamy et al.,)

آفتاب سوختگی یکی از مهم ترین عوامل مشکل زا و چالش برانگیز در تولید میوه های انار می باشد که موجب کاهش قابل توجهی در کمیت و کیفیت محصول انار گردیده و هر ساله خسارت زیادی را به باغداران تحمیل می کند. از آنجایی که به طور معمول میوه های آفتاب سوخته، دچار عارضه های دیگر بخصوص ترکیدگی هم می شوند، کنترل و کاهش میزان این عارضه در میوه ها دارای اهمیت فراوان می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر مشخص شد محلول پاشی درختان میوه انار با جیبرلیک اسید، سولفات پتاسیم و سولفات مس میزان این عارضه را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری کاهش می دهد. ضخامت پوست تحت تاثیر سه تیمار اسید جیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم قرار گرفت و تفاوت معنی داری در اثر کاربرد و عدم کاربرد این ترکیبات مشاهده شد، اما اثرات متقابل بین آنها معنی دار نبود. ضخامت پوست میوه با کاربرد اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، ۲/۷۵ میلی متر بود در حالیکه در تیمار شاهد ۲/۲۹ میلی متر ثبت شد. همچنین این شاخص در تیمارهای ۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات پتاسیم

(Ramezani and Shekafandeh, 2009) و در نهایت افزایش طول و یا قطر میوه باشد. نتایج برخی تحقیقات نشان داده محلول‌پاشی اسید جیبرلیک در انار از طریق افزایش طول و قطر میوه اثرات مثبتی در بهبود وزن میوه دارد (Hosein-Beigi et al., 2019). اسید جیبرلیک می‌تواند با افزایش تخلیه آوند آبکش و یا متابولیسم جذب کربن در میوه باعث افزایش تقاضای سینک در این اندام گردد و در نهایت منجر به افزایش اندازه و وزن میوه گردد و این بزرگتر شدن‌ها همبستگی بالایی با تغییر در فعالیت آنزیم‌های متابولیزه کننده قند داشته‌اند (Ramezani and Shekafandeh, 2009). همچنین با توجه به مطالب ذکر شده در ابتدای این بخش، نقش اسید جیبرلیک در تغییر بیان ژنهای دخیل در بیوسنتز دیگر هورمون‌ها و عناصر سازنده آوند چوبی (Qian et al., 2018) می‌تواند منجر به هدایت بهتر آب و عناصر غذایی به اندامهای هوایی گردد، که این تغییر می‌تواند در افزایش وزن و حجم میوه مؤثر باشد. در اصل برخی از تاثیرات مفید اسید جیبرلیک در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیر زنده از جمله خشکی و خاکهای ضعیف (El-Tohamy et al., 2023) را می‌توان به نقش این تنظیم کننده رشد در بهبود جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از ریشه‌ها به اندامهای هوایی نسبت داد.

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق افزایش رطوبت پوست میوه با کاهش ترکیدگی میوه همراه بوده است و نتایج این پژوهش نشان داد تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری در افزایش درصد رطوبت پوست میوه داشتند. برخی از محققان نشان دادند که استفاده از پوشش و یا اسپری کائولین شدت آسیب آفتاب سوختگی در میوه انار را کاهش می‌دهد (Khalil and Aly, 2013). براساس نتایج Abd El-Rhman (2010) محلول‌پاشی با سولفات مس باعث افزایش رطوبت پوست میوه می‌شود. بر اساس سایر مطالعات انجام شده توسط برخی از محققین رطوبت پوست در میزان ترکیدگی پوست میوه مؤثر است و مقدار

افزایش در محتوی قند در اثر کاربرد اسید جیبرلیک را می‌توان به نقش این تنظیم کننده رشد گیاهی در سنتز آلفا آمیلاز نسبت داد، آنزیمی که پس از تولید در سلول می‌تواند نشاسته را به قندهای احیاء کننده تبدیل کند (El-Tohamy et al., 2023). بنابراین تسریع در تبدیل نشاسته به قند و تجمع بیشتر قندها می‌تواند منجر به افزایش محتوی مواد جامد محلول گردد. ترکیدگی میوه در ارقام مختلف بسیار متغیر و تابع شرایط رشد پوست میوه است. انتخاب برنامه زمان‌بندی مناسب محلول‌پاشی مواد مغذی و تنظیم کننده‌های رشد قبل از ترکیدگی به کنترل ترک‌خوردگی، افزایش ضخامت پوست، افزایش مقاومت مکانیکی پوست و کاهش میزان شکاف خوردن پوست کمک می‌کند (Khehra and Bal, 2014). براساس مطالعات انجام گرفته ضخامت پوست میوه در ارقام مقاوم به ترکیدگی به طور معنی‌داری نسبت به ارقام حساس بیشتر است (Shiravand, 2014) و می‌توان نتیجه گرفت صفت ضخامت پوست میوه در عارضه ترکیدگی مهم بوده و هر چه ضخامت پوست میوه بیشتر باشد، مقاومت آن در برابر ترکیدگی بیشتر است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس باعث افزایش ضخامت پوست میوه انار می‌شوند.

نتایج این پژوهش نشان داد که وزن میوه هم تحت تاثیر تیمار با اسید جیبرلیک قرار گرفت، بطوریکه تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلیک اسید باعث افزایش قابل توجهی در وزن میوه انار گردید (جدول ۳). این نتایج منطبق با گزارشات قبلی مبنی بر تاثیر مثبت اسید جیبرلیک بر وزن میوه در گونه‌های مختلف از جمله گیلاس (Kappel and MacDonald, 2007)، زیتون (Ramezani and Shekafandeh, 2009)، مرکبات (Garmendia et al., 2019) و انار (Hosein-Beigi et al., 2019) می‌باشد. افزایش وزن میوه با محلول‌پاشی اسید جیبرلیک می‌تواند ناشی از نقش این تنظیم کننده در افزایش طول سلولها

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اسید جیبرلیک، سولفات پتاسیم و سولفات مس بر خصوصیات کمی و کیفی میوه انار رقم ملس ساوه

Table 3. Mean comparison of gibberellic acid, potassium sulfate and copper sulfate treatments on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate cv. Malase-Saveh

Gibberellic acid	Fruit cracking (%)	Fruit sunburn (%)	Fruit weight (gr)	100 arils weight (gr)	Peel thickness (mm)	Fruit peel moisture (%)	Fruit peel dry matter (%)	Total soluble solids (Brix)	Titrateable acidity (%)	pH
0	23.38	22.50a	160.75b	24.29a	2.29b	67.34b	32.65a	15.19b	1.84b	3.23a
100 (mg/l)	14.10b	15.20b	181.70a	26.8a	2.75a	78.40a	21.59b	16.63a	2.16a	3.02a
Copper sulfate	Fruit cracking (%)	Fruit sunburn (%)	Fruit weight (gr)	100 arils weight (gr)	Peel thickness (mm)	Fruit peel moisture (%)	Fruit peel dry matter (%)	Total soluble solids (Brix)	Titrateable acidity (%)	pH
0	18.91a	20.48a	171.87a	25.88a	29.44a	70.55b	2.27b	15.85a	1.99a	3.29a
2500 (mg/l)	16.4b	17.21b	170.58a	25.2a	24.8b	75.19a	2.77a	15.96a	2.01a	3.14a
Potassium sulfate	Fruit cracking (%)	Fruit sunburn (%)	Fruit weight (gr)	100 arils weight (gr)	Peel thickness (mm)	Fruit peel moisture (%)	Fruit peel dry matter (%)	Total soluble solids (Brix)	Titrateable acidity (%)	pH
0	18.07a	20.91a	174a	26.01a	2.25b	72.32a	27.68a	15.51b	2a	3.18a
5000 (mg/l)	14.24b	16.78b		25.13a	2.79a	168.4a	26.56a	16.3a	1.98a	3.25a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

plant responses to copper stress. *International Journal of Molecular Science*, 26;23(21):12950. doi: 10.3390/ijms232112950.

El-Tohamy, W.A., Dasgan, H.Y., and N.S. Gruda. 2023. Impact of gibberellic acid on water status, growth, and development of cape gooseberry in newly reclaimed sandy lands within arid regions. *Horticulturae*, 9(12):1283. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121283>

Garmendia, A., Beltrán, R., Zornoza, C., García-Breijo, F.J., Reig, J., and H. Merle. 2019. Gibberellic acid in *Citrus* spp. flowering and fruiting: A systematic review. *PLoS One*, 26;14(9):e0223147. doi: 10.1371/journal.pone.0223147.

Gharesheikhabayat, R. 2006. Anatomical study of fruit cracking in pomegranate Cv. Malas-e-Torsh. *Pajohesh Sazandegy*, 69:10–14.

Hamouda, H.A., Elham, Z.A.M., and N.G. Zahran. 2015. Nutritional status and improving fruit quality by potassium, magnesium and manganese foliar application in pomegranate shrubs. *International Journal of ChemTech Research*, 8:858–867.

Hegazi, A., Samra, N.R., El-Baz, E.E.T., Khalil, B.M., and M.S. Gawish. 2014. Improving fruit quality of manfaloty and wonderfull pomegranates by using bagging and some spray. *Journal Plant Production*, 5: 779-792. (In Persian).

Hosein-Beigi, M., Zarei, A., Rostaminia, M., and J. Erfani-Moghadam. 2019. Positive effects of foliar application of Ca, B and GA3 on the qualitative and quantitative traits of pomegranate (*Punica granatum* L.) cv. 'Malase-Torshe-Saveh'. *Scientia Horticulturae*, 254, 40-47.

Kappel, F., and R. MacDonald. 2007. Early gibberellic acid sprays increase firmness and fruit size of 'Sweetheart' sweet cherry. *Journal of the American Pomological Society*, 61: 38-43.

Karami, K., Erfani-Moghadam, J., Bazgir, M., and O. Khademi. 2021. Effect of gibberellic acid and zinc sulfate spraying on fruit cracking and quantitative and qualitative characteristics of pomegranate cv. 'Malase Saveh'. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52: 317-328. (In Persian).

Khalil, H.A., and H.S.H. Aly. 2013. Cracking and fruit quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by pre-harvest sprays of some growth regulators and mineral nutrients. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 5: 71-76.

Khayyat, M., A. Tehranifar, M. Zaree, Z. Karimian,

آن در ارقام مقاوم بیشتر است (Shiravand, 2014). نتایج نشان داد که اسید جیبرلیک به طور جداگانه و به طور معناداری باعث افزایش درصد مواد جامد محلول و اسیدیته در عصاره میوه می‌گردند. افزایش مواد جامد محلول در عصاره میوه انار در اثر محلول پاشی با اسید جیبرلیک قبلاً توسط برخی از دانشمندان بیان گردیده است. افزایش مواد جامد محلول در میوه انار باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی میوه و در نهایت جذب آب بیشتر به میوه که منجر به افزایش رطوبت در پوست میوه و کاهش ترکیدگی میوه می‌شود (Shiravand, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش اثرات اسیدجیبرلیک، سولفات مس و سولفات پتاسیم در ترکیدگی میوه انار بررسی شد. نتایج کلی نشان داد کاربرد اسید جیبرلیک و سولفات مس از طریق تحت تاثیر قرار دادن برخی از صفات باعث کاهش ترکیدگی در میوه انار شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق حاکی از این است که ترکیدگی میوه انار با بسیاری از ویژگی‌های فیزیوشیمیایی میوه در ارتباط بوده و با شناسایی کامل این عوامل می‌توان مطالعات کامل‌تری برای کنترل این عارضه انجام داد. همچنین میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاه و انتقال آن به میوه ارتباط زیادی با کاهش ترکیدگی میوه انار دارد. متعادل بودن وضعیت عناصر معدنی در خاک، برگ و میوه احتمالاً از راه‌های کاهش ترک خوردگی میوه است. اسید جیبرلیک از طریق تأثیر بر مجاری آوند و افزایش کارایی انتقال ترکیبات درون گیاه باعث افزایش انتقال کربوهیدرات‌ها به میوه و در نتیجه افزایش محتوای مواد جامد محلول می‌شود.

منابع

Abd El-Rhman, I. E. 2010. Physiological studies on cracking phenomena of pomegranates. *Journal of Applied Sciences Research*, 6: 696–703.

Chen, G., Li, J., Han, H., Du, R., and X. Wang. 2022. Physiological and molecular mechanisms of

- biomechanical forces and physiological parameters of fruit cracking in pomegranate. *Scientia Horticulture*, 178:224–230.
- Sajid, M., Haq, S.U., Jan, A., Noor, F., Ali, Q.S., Alam, M., and H.S. Abada. 2022. Effect of foliar application with potassium nitrate and copper sulfate on fruit yield and quality of pear (*Pyrus communis* L.) trees. *International Journal of Fruit Science*, 22: 759-768.
- Shah, S.H., Islam, S., Mohammad, F., and M.H. Siddiqui. 2023. Gibberellic acid: a versatile regulator of plant growth, development and stress responses. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42: 7352–7373.
- Shahid, S.A., Abdelfattah, M.A., Wilson, M.A., Kelley, J.A. and J.V. Chiaretti. 2014. United Arab Emirates keys to soil taxonomy. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Sheikh, M. K., and N. Manjula. 2012. Effect of chemicals on control of fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.) var. Ganesh. In II International symposium on the pomegranate, 35: 1-133.
- Shiravand, N. 2014. The study of relationship between pomegranate fruit cracking with physiochemical characteristics of fruit and tree. Thesis Submitted to the School of Graduate Studies in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master Science (Msc.), Horticulture Science in Ilam University. pp:1-92.
- Singh, A., Shukla, A.K., and P.R. Meghwal. 2020. Fruit cracking in pomegranate: extent, cause, and management—A Review. *International Journal of Fruit Science*, 20: 1234-1253.
- Singh, M.B., Kumar, P., Kundu, M., Sahay, S., V. Kumar. 2022. Split application of GA3: effective to improve growth, yield and quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Ecology, Environment and Conservation*, 28, 863–868.
- Zarei, A. 2017. Biochemical and pomological characterization of pomegranate accessions in Fars province of Iran. *SABRAO Journal of Breeding and Genetic*, 49 (2): 155-167.
- Zarei, A., Zamani, Z., and A. Sarkhosh. 2020. Biodiversity, germplasm resources and breeding methods. in: Sarkhosh A, Yavari AM, Zamani Z, (Eds), *The Pomegranate: Botany, Production and Uses*, CABI publication, 94: 596 PP.
- M.H. Aminifard, M.R. Vazifeshenas, S. Amini, Y. Noori, and M. Shakeri. 2012. Effects of potassium nitrate spraying on fruit characteristics of ‘Malas Yazdi’ pomegranate. *Journal Plant Nutrition*, 35:1387-1393. (In Persian).
- Khehra, S., and J.S. Bal. 2014. Influence of foliar sprays on fruit cracking in lemon. *International Journal of Plant and Environmental Science*, 4: 124–28.
- Lester, G.E., Jifon, J.L., and D.J. Makus. 2006. Supplemental foliar potassium applications with or without a surfactant can enhance netted muskmelon quality. *HortScience*, 41:741–744.
- Mercure, E.M. 2007. The pomegranate: A new look at the fruit of paradise. *Horticultural Science*, 42: 1088-1092.
- Mimoun, M.B., Ghrab, M., Ghanem, M., and O. Elloumi. 2008. III effects of potassium foliar spray on olive, peach and plum. Part 2: Peach and Plum experiments. *Optimizing Crop Nutrition*, 19:14-17.
- Olyaie Torshiz, A., Goldansaz, S. H., Motesharezadeh, B., Asgari-Sarcheshmeh, M. A., and A. Zarei. 2017. Effect of organic and biological fertilizers on pomegranate trees: yield, cracking, sunburning and infestation to pomegranate fruit moth *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal Crop Protection*, 6: 327-340.
- Ram, R.A., and T.K. Bose. 2000. Effect of foliar application of magnesium and micro-nutrients on growth, yield and fruit quality of mandarin Orange (*Citrus reticulata* Blanco). *Indian Journal of Horticulture*, 57: 215–220.
- Ramezani, S., and A. Shekafandeh. 2009. Roles of gibberellic acid and zinc sulphate in increasing size and weight of olive fruit. *African Journal of Biotechnology*, 8 (24), 6791-6794.
- Rouhi, V., and A. Esmaeilzadeh. 2013. Effect of gibberellin concentrations and spraying time on cracking of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) cv. “Malas Esfahan”. *Journal of Horticultural Science*, 27: 310-317. (In Persian).
- Ruiz, R., 2005. Effects of different potassium fertilizers on yield, fruit quality and nutritional status of Fairlane nectarine trees and on soil fertility, in: V International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Plants, 721: 185-190.
- Saei, H., Sharifani, M.M., Dehghanic, A., Esmaeil, S., and A. Vahid. 2014. Description of