

The Effect of Foliar Spraying of Iron, Zinc and Calcium in the Stages of Fruit Maturity on the Incidence and Severity of Pomegranate Aril Paleness

Soraya Karami*¹, Sakine Faraji*²

*¹Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran, <https://orcid.org/0000-0002-9692-3533>

*²Crop and Horticulture Science Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Arak, Iran, <https://orcid.org/0000-0002-8402-6771>

Corresponding Author's e-mail: soraya.karami@pnu.ac.ir; s.faraji@areeo.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89090.1366>

Introduction

Mineral nutrients (macro and micro) and polyphenolic compounds are natural components of many fruits and play an important role in maintaining the quality and nutritional value of the fruit. Therefore, optimal management of plant nutrition in order to increase the quantity and quality of the product and improve the synthesis of secondary metabolites, especially during fruit growth, is necessary and unavoidable. Nevertheless, in the last decade, the occurrence of pomegranate aril paleness has been reported as a new and pervasive factor in reducing the quality of pomegranate fruit in many countries, including Iran. Therefore, the present research was conducted with the aim of comparing mineral (concentration of iron, zinc and calcium) and biochemical (anthocyanin content) in pomegranates affected by aril paleness and healthy pomegranates of "Malas Saveh" cultivar (year 2022) and then investigating the effect of foliar application of the mineral elements mentioned on the incidence and severity of the aril paleness complication (year 2023).

Materials and Methods

This study was carried out during two years (2022 and 2023) and two independent trials. First, based on the introduced factors affecting the occurrence of pomegranate paleness (temperature, irrigation water and soil salinity), two orchards with medium and high percentage of pomegranate aril paleness (orchard number 9 and 17, respectively) were selected based on the results of Faraji & Karami (2024a). The first trial in 2022 (orchard No. 9): At harvest and after splitting fruits, twenty healthy fruits and affected fruits by the aril paleness disorder were randomly selected and were used for determination of mineral nutrient (Fe, Zn and Ca) and anthocyanin content in the laboratory. The second trial in 2023 (orchard No. 17): In the first phase, 70 trees were selected and labeled, then at the end of September (2022), percent and severity aril paleness of each tree was calculated. In the second phase (2023), based on the results of the first year, 54 trees as experimental unit (with aril paleness percentage >85 and paleness severity of high/very high) were selected from previous trees. Afterwards, a factorial experiment (3×3×2) in a randomized complete block design with three replications and two stages (the beginning of fruit set and the beginning of fruit ripening) were implemented. Experimental treatments included foliar spraying with three concentrations of iron sulfate (0, 2 and 4 per thousand respectively F₀, F₂ and F₄), three concentrations of zinc sulfate (0, 3 and 6 per thousand respectively Zn₀, Zn₃ and Zn₆) and two concentrations of calcium chloride (0 and 4 per thousand respectively Ca₀ and Ca₄). Then at harvest, the percentage and severity of aril paleness each treatment was calculated.

Results and Discussion

Data analysis using the independent t-test ($\alpha=0.05$, $df=38$) for the first trial (2022) showed that, the nutritional value of the affected fruit by aril paleness is anticipated to be far less than that of the healthy fruit; so that except for the Zn concentration, the concentration of Fe, Ca and anthocyanin content in affected fruits were lower than in healthy fruits. Besides, the results of variance analysis for the second trial (2023) showed that foliar spraying with iron sulfate, zinc sulfate and calcium chloride individually or in combination was effective in reducing the occurrence and severity of aril paleness. Comparison the means percentage of aril paleness between the two groups (before and after foliar spraying regardless of the type of treatment combination) based on the dependent t-test ($\alpha=0.05$, $df=16$) also showed that foliar spraying was effective in reducing the percentage of aril paleness. On the other hand, the effect of the participation of calcium element in reducing the incidence and severity of aril paleness was significant. In the absence of calcium element, the incidence of paleness was

recorded in the range of 60.17-75.00%, and with the inclusion of calcium in the treatment compounds, the percentage of paleness was recorded in the range of 21.83-0.53%. Also, the mean comparison of the double interaction and main effects of elements indicated the synergistic effect of calcium element with Fe and Zn element in reducing the aril paleness disorder. So that, the combination of Fe-Ca and Zn-Ca has been more successful in reducing the aril paleness disorder than the pure application of each element of iron, zinc and calcium.

Conclusion

Overall, the simultaneous application of Zn-Fe in combination with Ca was more effective in reducing of the mentioned traits than other treatments. Therefore, in order to simultaneously reduce the occurrence and severity of aril paleness, spraying with $Fe_4Zn_6Ca_4$ and $Fe_4Zn_3Ca_4$ is recommended in two stages of pomegranate fruit development, including the beginning of fruit set and the beginning of fruit ripening.

Keywords: Anthocyanin, Foliar nutrition, Nutritional elements, Pomegranate orchards

تأثیر محلول پاشی آهن، روی و کلسیم در مراحل بلوغ میوه بر بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار

ثریا کریمی^{۱*}، سکینه فرجی^{۲*}

۱- *استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیک: soraya.karami@pnu.ac.ir

۲- *استادیار، گروه تحقیقات علوم زراعی و باغی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی (AREEO)، اراک، ایران، پست الکترونیک: s.faraji@areeo.ac.ir

چکیده

پژوهش حاضر با هدف مقایسه ترکیبات معدنی (غلظت عناصر آهن، روی و کلسیم) و بیوشیمیایی (محتوای آنتوسیانین) در انارهای مبتلا به عارضه سفیدشدگی آریل و انارهای سالم رقم ملس ساوه (سال ۱۴۰۱) و بررسی اثر محلول پاشی عناصر معدنی اشاره شده در بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل (سال ۱۴۰۲)، طراحی گردید. در سال ۱۴۰۲، آزمایشی به صورت فاکتوریل (۳×۲×۲) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار و دو مرحله (شروع تشکیل میوه و شروع رسیدگی میوه) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول پاشی با سه غلظت سولفات آهن (۰ و ۲ و ۴ در هزار به ترتیب F₀، F₂ و F₄)، سه غلظت سولفات روی (۰، ۳ و ۶ در هزار به ترتیب Zn₀، Zn₃ و Zn₆) و دو غلظت کلرید کلسیم (۰ و ۴ در هزار به ترتیب Ca₀ و Ca₄) بودند. بر اساس آزمون $t(a=.05, df=38)$ مستقل، به استثناء غلظت Zn، غلظت عناصر Ca، Fe و محتوای آنتوسیانین در میوه‌های سالم بیشتر از میوه‌های آسیب دیده بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی با سولفات آهن، سولفات روی و کلرید کلسیم به صورت جداگانه یا ترکیبی در کاهش وقوع و شدت سفیدشدگی آریل مؤثر بود. از سوی دیگر، تاثیر مشارکت عنصر کلسیم در کاهش بروز عارضه سفیدشدگی آریل قابل ملاحظه و حاکی از اثر هم افزایی عنصر کلسیم با عنصر آهن و روی بود؛ به طوری که کاربرد همزمان Fe-Zn در ترکیب با Ca کارایی بیشتری نسبت به سایر تیمارها برای کاهش صفات مورد اشاره داشت. از این رو، به منظور کاهش همزمان در وقوع و شدت عارضه سفیدشدگی آریل، محلول پاشی با سولفات آهن ۴ در هزار- سولفات روی ۶ یا ۳ در هزار- کلرید کلسیم ۴ در هزار (Fe₄Zn₃Ca₄، Fe₄Zn₆Ca₄) در دو مرحله شروع تشکیل میوه و شروع رسیدگی میوه انار توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عناصر غذایی، آنتوسیانین، تغذیه برگ، باغات انار

مقدمه

انار (*Punica granatum L.*) یکی از مهم‌ترین میوه‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری شناخته شده در دنیا است که متابولیت‌ها و ترکیبات زیست فعال متعددی از جمله تری‌پنویئیدها، توکوفرول، پلی‌فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از میوه این گونه گیاهی گزارش شده است (Bedigian, 2007). از بین متابولیت‌های ثانویه، آنتوسیانین به‌عنوان یک ترکیب فلاونوئیدی محلول در آب (ساخته شده در سیتوزول و ذخیره شده در واکوئل) علاوه بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی، عامل رنگ قرمز، نارنجی، ارغوانی، بنفش، آبی و سیاه در بسیاری از بافت‌های گیاهی می‌باشد (Aizza et al., 2011). اطلاعات موجود نشان می‌دهند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ارزش غذایی و تجاری قابل ملاحظه‌ی میوه انار به سبب محتوای بالای آنتوسیانین‌های پوست و آب میوه آن است (Gil et al., 2000)؛ به طوری که هر چه مشتقات گلوکوزیدی آنتوسیانین‌ها در آریل بیشتر باشد، میوه‌ها از کیفیت و بازار پسندی بالاتری برخوردار می‌باشند (Borochoy-Neori et al., 2009).

علاوه بر اهمیت متابولیت‌های ثانویه، میوه انار یک منبع غنی از مواد معدنی است که محتوای این عناصر غذایی (ماکرو: پتاسیم، نیتروژن، کلسیم، فسفر، منیزیم و سدیم و میکرو: بور، آهن، مس، روی و منگنز) در طی مراحل رشد و رسیدگی میوه تغییر می‌کند (Al-Maiman & Ahmad, 2002; Mirdehghan & Rahemi, 2007). از بین عناصر معدنی، ارتباط و نقش عناصر کلسیم، آهن و روی با سنتز آنتوسیانین در بسیاری از میوه‌ها و بافت‌های گیاهی به اثبات رسیده است (Gerami et al., 2024; Davarpanah et al., 2013; Song et al., 2015).

کلسیم یکی از عناصر ضروری و پر مصرف برای گیاهان است که نقش کلیدی در استحکام دیواره سلولی، حفظ انسجام و پایداری غشاء، کنترل تبادلات و انتخاب پذیری یون‌ها و همچنین رشد، توسعه و کیفیت عمومی میوه‌ها ایفا می‌کند (Moradinezhad et al., 2018). مطالعات Koushesh- Saba (2016) نشان داد که محلول پاشی میوه زردآلو با استفاده از کلسیم منجر به افزایش غلظت کلسیم میوه و تاخیر در تولید اتیلن، نرمی و تغییر

رنگ بافت داخلی و خارجی میوه می‌شود. همچنین از کلسیم در مراحل قبل و بعد از برداشت برای به تاخیر انداختن رسیدن و جلوگیری از اختلالات فیزیولوژیکی میوه‌های مختلف استفاده می‌شود، زیرا تحرک کم عنصر کلسیم در بافت‌های گیاهی ثابت شده است (Cheour *et al.*, 1990). از سوی دیگر بروز عوارضی همچون قهوه‌ای شدن درون کلم و سیاه شدن مغز در کرفس به کمبود کلسیم نسبت داده شده است (Rahemi *et al.*, 2011). ارتباط بین محلول‌پاشی کلسیم بر افزایش کمی و کیفی بسیاری از میوه‌ها توسط پژوهشگران مختلف نیز گزارش شده است (Abdollahi *et al.*, 2024; Ahmadi *et al.*, 2023; Roshdy, 2014; Prasad *et al.*, 2015).

آهن عنصری ضروری در فرآیند رشد و نمو گیاهان است که نقش آن در متابولیسم سلولی، سنتز کلروفیل، زنجیره انتقال الکترون، فتوسنتز و تنظیم فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوبین اثبات شده است (Schaart *et al.*, 2013; Marschner, 2011). مطالعات نشان داده است که آهن در تولید و ذخیره متابولیت‌های ثانویه از جمله فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها نقش دارد (Landi *et al.*, 2014; Amaliotis *et al.*, 2002). همچنین Hamouda *et al.* (2015) نشان دادند که تیمار میوه‌های گلابی از طریق محلول‌پاشی با آهن (غلظت 250 ppm) منجر به افزایش کیفیت و عملکرد میوه‌های گلابی گردید. از سوی دیگر کاهش شدید محتوای فنولیکی و آنتوسیانینی میوه‌های هلو ناشی از کمبود آهن نیز به اثبات رسیده است (Alvarez-Fernandez *et al.*, 2011).

روی به‌عنوان یکی دیگر از ریزمغذی‌هایی موثر در افزایش کیفیت و کمیت بافت میوه در تنظیم متابولیسم پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها و همچنین در واکنش‌های آنزیمی نقش دارد (Hasani *et al.*, 2012). عنصر روی باعث کاهش سطح تولید اکسیژن فعال در شرایط تنش و آسیب‌های ناشی از آن می‌شود (Amiriy Nejad *et al.*, 2016). همچنین مطالعات نشان داد که استفاده از کود آهن و روی به افزایش آنتوسیانین در انگور قرمز منجر گردید (Abed-El-Razek *et al.*, 2015).

با توجه به اهمیت کیفی میوه انار از نظر تجاری، غذایی و دارویی، متأسفانه در یک دهه اخیر عارضه سفیدشدگی آریل انار با تاثیرگذاری مستقیم بر رنگ، طعم، شفافیت، ساختار ظاهری و محتوای آنتوسیانین آریل به‌عنوان عامل جدید و فراگیر در کاهش کیفیت میوه انار در بسیاری از کشورها و از جمله ایران، گزارش شده است (Faraji & Karami, 2024a; Meighani *et al.*, 2014). در بسیاری از مطالعات دمای محیط به‌عنوان مهم‌ترین عامل در بروز و شدت پدیده سفیدشدگی آریل انار و تغییر رنگ بافت آریل‌ها از قرمز تیره به سفید کرمی تا قهوه‌ای گزارش شده است (Meighani *et al.*, 2024a; Faraji & Karami, 2024a; Ghasemi-Solokhtni *et al.*, 2023; Mohseni *et al.*, 2014). در همین راستا استفاده از پوشش سایبان به‌عنوان یک راه حل در کاهش دمای سطح برگ، کاهش تنش گرمایی و کم آبی و کاهش سطح تبخیر و تعرق درختان و در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز، تولید بیشتر کربوهیدرات، محتوای آنتوسیانین و در نتیجه افزایش کیفیت محصول در مدیریت باغ‌های انار توصیه شده است (Sedaghat *et al.*, 2006; Shahak, 2010; Amarante *et al.*, 2010; Treder *et al.*, 2016; Narjesi *et al.*, 2021; *et al.*, 2021). از سوی دیگر نتایج مطالعات نشان داده است که مواد مغذی معدنی و ترکیبات پلی‌فنولیک که جزء طبیعی بسیاری از میوه‌ها هستند، نقش مهمی در حفظ کیفیت و ارزش غذایی میوه ایفا می‌کنند (Mirdehghan & Rahemi, 2007) و مدیریت بهینه تغذیه گیاه در راستای افزایش کمیت و کیفیت محصول و بهبود سنتز متابولیت‌های ثانویه به‌خصوص در دوران رشد و نمو میوه امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (Rajpal *et al.*, 2002). با این وجود، علیرغم اهمیت عناصر معدنی در میوه انار در کنار ترکیبات بیوشیمیایی، در خصوص تاثیر عارضه سفیدشدگی آریل بر محتوای عناصر معدنی میوه انار و به دنبال آن توصیه‌های مدیریتی کارآمد در این خصوص اطلاعات مدون و مکفی وجود ندارد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف: (۱) بررسی تفاوت میزان عناصر آهن، روی، کلسیم و محتوای آنتوسیانین در میوه‌های سالم و آسیب‌دیده با عارضه سفیدشدگی آریل انار رقم ملس ساوه و (۲) بررسی تاثیر محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و کلسیم بر بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار رقم ملس ساوه به‌منظور معرفی بهترین ترکیب تیماری در کاهش عارضه (شدت و درصد وقوع)، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر طی دو سال (۱۴۰۱-۱۴۰۲) در باغ‌های انار منطقه ساوه (درختان انار نه ساله رقم ملس ساوه با فاصله کشت ۵ × ۵) اجرا گردید. شهرستان ساوه در شمال استان مرکزی، بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است. منطقه ساوه به‌دلیل مجاورت با کویر و ارتفاع کم در شرق دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک و در غرب به‌دلیل مشرف بودن به مناطق کوهستانی دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است. میانگین دمای سالانه در ایستگاه ساوه ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی کم و حدود ۲۱۶ میلی‌متر در سال می‌باشد و بیشتر بارش به‌صورت باران است. متوسط رطوبت شهر ساوه ۳۹ درصد می‌باشد که ماه دی با میانگین ۵۸ درصد مرطوب‌ترین ماه و ماه‌های تیر و مرداد با میانگین ۲۶ درصد خشک‌ترین ماه‌های سال می‌باشند.

با توجه به اینکه از نظر ظاهری بین میوه آسیب دیده (مبتلا به عارضه سفیدشدگی آریل انار) و سالم تا پایان مرحله بلوغ میوه، تفاوتی وجود ندارد؛ لذا انتخاب واحدهای آزمایشی بر اساس نتایج مطالعه Faraji & Karami (2024a) انجام شد. Faraji & Karami (2024a) در طی یک دوره دو ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۹) میزان پراکنش عارضه سفیدشدگی آریل انار رقم ملس ساوه در ۱۹ باغ در منطقه ساوه را تعیین نمودند. از این رو برای آزمایش سال اول و دوم مطالعه حاضر، به ترتیب باغ شماره ۹ با میانگین ۴۴/۵ درصد عارضه سفیدشدگی آریل انار و باغ شماره ۱۷ با بیشترین درصد سفیدشدگی در طی دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (۷۸/۰۰ و ۹۴/۰۰ درصد) انتخاب گردیدند.

آزمایش اول (سال ۱۴۰۱): به منظور بررسی تاثیر عارضه سفیدشدگی آریل بر میزان برخی عناصر غذایی ماکرو و میکرو میوه‌های انار، در پایان شهریور ماه ۱۴۰۱ و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی میوه‌ها (بلوغ تجاری)، کلیه میوه‌های باغ شماره ۹ برداشت و پوست میوه‌ها در ناحیه استوایی با یک چاقوی تیز به دقت بریده و میوه‌های آسیب دیده (با شدت آسیب زیاد و خیلی زیاد، شکل ۱) و سالم از یکدیگر جدا و به دو گروه (به ترتیب گروه ۱ و گروه ۲) تقسیم شدند. در ادامه به منظور اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین و مقدار عناصر آهن (Fe)، روی (Zn) و کلسیم (Ca)، از هر گروه بیست میوه به طور تصادف انتخاب گردید و پس از جداسازی آریل از میوه‌های انتخابی، آبیگری از آریل‌ها با استفاده از دستگاه آبیومتری دستی انجام شد. سپس عصاره حاصل با سرعت دوران ۶۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ و محلول روشناور جدا گردید. مقدار عناصر آهن، روی و کلسیم در محلول روشناور حاصل از عصاره آب میوه انار در هر دو گروه با استفاده از طیف سنج اتمی (Perkin-Elmer 400) آنالیز و اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین، ابتدا عصاره با استفاده از متانول و مطابق دستورالعمل Siegelman & Hendricks (1958) رقیق‌سازی گردید. سپس محتوای آنتوسیانین موجود در عصاره با استفاده از روش تفاوت pH دو سیستم بافری کلرید پتاسیم (KCl, 0.025M) با pH=۱ و استات سدیم (CH₃COONa, 0.4M) با pH=۴/۵ مطابق دستورالعمل Giusti & Wrolstad (2001) و در طول موج‌های ۵۳۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. نتایج طبق فرمول زیر و بر اساس میلی‌گرم سیانیدین-۳-گلوکوزاید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه (mgCyd.100ml⁻¹J) گزارش گردید.

$$A = (A530 - A700)_{pH 1.0} - (A530 - A700)_{pH 4.5}$$

$$Cyd-3-glu [mg.100ml^{-1}] = (A \times MW \times DF \times 1000) / (\epsilon \times 1)$$

MW: وزن مولکولی Cyd-3-glu (۴۴۹/۲ g.mol⁻¹); DF: فاکتور رقت؛ ε: ضریب خاموشی برابر ۲۶۹۰۰؛ ۱۰^۳: فاکتور برای تبدیل گرم به میلی‌گرم

و ۱: ارتفاع کریستال استفاده شده بر حسب سانتی‌متر.

آزمایش دوم (سال ۱۴۰۲): به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سولفات آهن، سولفات روی و کلرید کلسیم بر بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار، آزمایشی به صورت فاکتوریل (۳×۳×۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل سه غلظت سولفات آهن (۰ و ۲ و ۴ در هزار به ترتیب F₀، F₂ و F₄)، سه غلظت سولفات روی (۰، ۳ و ۶ در هزار به ترتیب Zn₀، Zn₃ و Zn₆) و دو غلظت کلرید کلسیم (۰ و ۴ در هزار به ترتیب Ca₀ و Ca₄) بود. این آزمایش در طی دو فاز شامل فاز مقدماتی (سال ۱۴۰۱) به منظور انتخاب واحدهای آزمایشی مناسب و سپس فاز اصلی (سال ۱۴۰۲) به منظور محلول‌پاشی در باغ شماره ۱۷ اجرا گردید.

فاز مقدماتی: در سال ۱۴۰۱ از باغ شماره ۱۷ به دلیل بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار با میانگین ۸۶ درصد در طی دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ بر اساس نتایج مطالعه Faraji & Karami (2024a)، ۷۰ درخت انتخاب و پلاک‌گذاری گردید و در پایان شهریورماه پس از برداشت میوه، درصد و شدت سفیدشدگی آریل انار هر درخت بر اساس دستورالعمل Kavand et al. (2020) محاسبه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده و به منظور انتخاب واحدهای آزمایشی (درخت) برای اجرای آزمایش سال دوم (۱۴۰۲)، ۵۴ درخت از ۷۰ درخت پلاک‌گذاری شده، مجدداً انتخاب و پلاک‌گذاری گردید. مبنای انتخاب، درخت‌هایی با بیش از ۸۵ درصد سفیدشدگی آریل انار و میوه‌های آسیب دیده با شدت آسیب زیاد تا خیلی زیاد بود.

فاز اصلی: در سال ۱۴۰۲، محلول‌پاشی درختان انتخابی با ۱۸ ترکیب تیماری (هر کرت آزمایشی شامل سه درخت بود) دو بار در طی فصل رشد انجام گردید. مرحله اول محلول‌پاشی در پایان گل‌دهی و شروع تشکیل میوه (اوایل خرداد) و مرحله دوم دو ماه پس از محلول‌پاشی اولیه (پایان مرحله رشد سریع میوه و شروع مرحله رسیدگی میوه) انجام شد. قبل از محلول‌پاشی، برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک باغ شماره ۱۷ اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌برداری تصادفی از برگ‌های میانی درختان انتخابی انجام و غلظت عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس اندازه‌گیری شد. در پایان شهریورماه (سال ۱۴۰۲)، میوه‌های هر تیمار در مرحله بلوغ تجاری (باغبانی) برداشت و به آزمایشگاه بخش علوم باغبانی موسسه تحقیقات علوم باغبانی، مرکز تحقیقات، آموزش ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی انتقال و پس از شکافتن میوه‌ها، شدت و درصد عارضه سفیدشدگی آریل انار بر اساس دستورالعمل Kavand et al. (2020) اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار در تیمارهای اعمال شده، پس از شکافتن میوه و بررسی ظاهری آریل یک مقیاس ۵ رتبه‌ای (۱-۵) در نظر گرفته شد (شکل ۱) و سپس متوسط درصد سفیدشدگی در هر تیمار بر اساس رابطه زیر تعیین گردید (Kavand et al., 2020):

$$PP = \frac{\sum (n \times b) \times 100}{\sum (N \times Maxb)}$$

PP: درصد سفید شدگی؛ N: تعداد کل میوه‌های هر ژنوتیپ؛ n: تعداد میوه‌های هر ژنوتیپ که که امتیاز ثبت شده مشابهی دارند؛ b: رتبه داده شده بر اساس شدت عارضه؛ Maxb: حداکثر رتبه داده شده به شدت عارضه که برابر با ۵ بود.



شکل ۱- شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار در رقم ملس ساوه با مقیاس ۱ (سالم و بدون عارضه)؛ ۲ (عارضه با شدت کم)؛ ۳ (عارضه با شدت متوسط)؛ ۴ (عارضه با شدت زیاد)؛ ۵ (عارضه با شدت بسیار زیاد)

Figure 1- Severity of pomegranate aril paleness complication in "Malaes Saveh" variety with scale 1 (healthy and without complications); 2 (complication with low intensity); 3 (complication with moderate intensity); 4 (complication with high intensity); 5 (complication with very high intensity)

تجزیه و تحلیل آماری

آزمون نرمال بودن داده‌های کمی بر اساس روش Kolmogorov-Smirnov انجام گردید. تجزیه داده‌های مربوط به آزمایش اول با استفاده از آزمون پارامتری t مستقل انجام گردید و برای تجزیه داده‌های سال دوم از روش تجزیه واریانس (ANOVA)، رویه GLM استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین تیمارهای محلول‌پاشی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و آزمون پارامتری t وابسته در سطح احتمال $P < 0.05$ با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش اول: نتایج آزمون $t (a=0.05, df=38)$ مستقل نشان داد که بین میوه‌های سالم و آسیب دیده از نظر میانگین محتوای عناصر آهن، روی و کلسیم و همچنین محتوای آنتوسیانین تفاوت معنی‌داری ($p < 0.05$) وجود دارد (جدول ۱)؛ به طوری که کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده به استثناء میزان عنصر روی در میوه‌های تحت تاثیر عارضه سفیدشدگی آریل انار کاهش چشم‌گیری داشته‌اند.

جدول ۱- مقایسه عناصر معدنی و محتوای آنتوسیانین در انارهای سالم و آسیب دیده (عارضه سفیدشدگی آریل انار) با استفاده از آزمون پارامتری مستقل $t (a=0.05, df=38)$ (سال ۱۴۰۱-باغ شماره ۹)

Table 1- Comparison of mineral elements and anthocyanin content in healthy and damaged pomegranates (pomegranate aril paleness) using parametric t-test independent ($a=0.05; df=38$) (Year 2022-Orchard No. 9)

پارامتر Parameter	آماره آزمون t t-test statistic	میوه‌های سالم Healthy fruits	میوه‌های آسیب دیده Damaged fruits
آهن (میلی‌گرم/کیلوگرم) Fe (mg.kg ⁻¹)	5.81*	39.98 ^a	26.25 ^b
روی (میلی‌گرم/کیلوگرم) Zn (mg.kg ⁻¹)	3.76*	21.41 ^b	25.63 ^a
کلسیم (گرم/کیلوگرم) Ca (g.kg ⁻¹)	12.10*	1.59 ^a	0.62 ^b
آنتوسیانین (میلی‌گرم سیانیدین-۳-گلیکوزاید/۱۰۰ میلی‌گرم آب میوه) Anthocyanin (mgCyd.100ml ⁻¹ J)	8.38*	26.84 ^a	4.79 ^b
شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار	-	-	شدت زیاد-شدت خیلی زیاد

در هر ردیف میانگین‌هایی با حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند

In each row, means with a common letter do not statistically have a significant difference at the 5% probability level

نتایج آزمایش دوم: بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ شماره ۱۷ (جدول ۲) نشان دهنده فقیر بودن خاک مورد آزمایش به خصوص از نظر عناصر غذایی میکرو، میزان ماده آلی و همچنین کیفیت نامطلوب از نظر ضریب هدایت الکتریکی (EC) بود. از سوی دیگر نتایج بررسی غلظت عناصر غذایی برگ درختان انتخابی قبل از محلول‌پاشی (جدول ۳) نیز حاکی از پائین بودن میزان عناصر غذایی از حد بحرانی عمومی برای درختان میوه بود (Ankerman, 1974).

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش (باغ شماره ۱۷)

Table 2- Physicochemical properties of soil used in the experiment (Orchard No. 17)

کربن آلی (درصد)	آهک معادل (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	مس (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	روی (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	منگنز (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	آهن (میلی گرم در کیلوگرم خاک)	ضریب هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بد متر) EC (ds.m ⁻¹)	اسیدیته pH
Organic carbon (%)	Lime (%)	N (%)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)		
0.34	28.3	0.02	9.10	3.2	0.21	0.97	4.63	4.41	4<	8.93

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد

Physicochemical properties of soil was measured at two depths: 0-30 and 30-60 cm

جدول ۳- غلظت عناصر غذایی برگ درختان انتخابی قبل از محلول‌پاشی (باغ شماره ۱۷)

Table 3- The concentration of nutrients in the leaves of selected trees before spraying (Orchard No. 17)

عناصر ماکرو Macro elements				عناصر میکرو Micro elements				
نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	کلسیم (درصد)	آهن (میکرو گرم در گرم)	منگنز (میکرو گرم در گرم)	روی (میکرو گرم در گرم)	مس (میکرو گرم در گرم)	بور (میکرو گرم در گرم)
N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Fe (μg.g ⁻¹)	Mn (μg.g ⁻¹)	Zn (μg.g ⁻¹)	Cu (μg.g ⁻¹)	B (μg.g ⁻¹)
1.95	0.10	1.21	2.45	108	28	16	7	15

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تیمارهای مختلف محلول‌پاشی (جدول ۴) نشان داد که اثر کاربرد خالص تیمار سولفات آهن، سولفات روی و کلرید کلسیم بر درصد و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار معنی‌دار بود ($p < 0.01$). همچنین اثرات محلول‌پاشی میوه با استفاده از ترکیب آهن-روی، آهن-کلسیم و کلسیم-روی (اثرات متقابل دوگانه از نظر آماری) و ترکیب سولفات آهن-سولفات روی-کلرید کلسیم (اثرات متقابل سه‌گانه از نظر آماری) بر پارامترهای مورد اشاره معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج آزمون t ($\alpha=0.05, df=2$) وابسته نشان داد که میانگین درصد سفیدشدگی هر ترکیب تیماری قبل و بعد از آزمایش تفاوت معنی‌داری داشته و بعد از محلول‌پاشی درصد سفیدشدگی کاهش یافته است (جدول ۵). همچنین نتایج آزمون مقایسه میانگین درصد سفیدشدگی آریل انار قبل و بعد از محلول‌پاشی صرف نظر از نوع ترکیب تیماری بر اساس آزمون t ($\alpha=0.05, df=16$) وابسته نیز نشان داد که محلول‌پاشی در کاهش وقوع درصد سفیدشدگی موثر بوده است.

در ادامه نتایج مقایسه میانگین تیمارها پس از محلول‌پاشی بر اساس آزمون LSD نشان داد که، اعمال هر یک از تیمارهای محلول‌پاشی منجر به کاهش معنی‌دار بر درصد سفیدشدگی آریل انار گردید (جدول ۵). با این وجود در خصوص ترکیب‌های تیماری اعمال شده، تاثیر مشارکت عنصر کلسیم در کاهش بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار قابل ملاحظه بود. به‌طوریکه، در غیاب عنصر کلسیم در ترکیبات تیماری

بروز عارضه سفیدشدگی در محدوده ۷۵/۰۰-۶۰/۱۷ درصد و با ورود عنصر کلسیم در ترکیبات تیماری (خالص-ترکیبات دوتایی یا سه تایی با دو عنصر روی و آهن) درصد عارضه سفیدشدگی در محدوده ۵۳/۳۰-۲۱/۸۳ درصد ثبت گردید (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی سولفات آهن، سولفات روی و کلرید کلسیم بر درصد سفیدشدگی آریل انار رقم ملس ساوه (سال ۱۴۰۲-باغ شماره ۱۷)

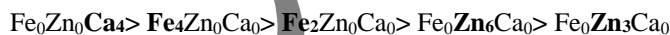
Table 4- Variance analysis of the effect of foliar spraying of iron sulfate, zinc sulfate, and calcium chloride on the percentage of paleness of pomegranate arils of Malas Saveh variety (Year 2023-Orchard No. 17)

میانگین مربعات منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares سفیدشدگی آریل انار Pomegranate aril paleness
تکرار Rep.	2	20.28
آهن Fe	2	485.1**
روی Zn	2	1117.6**
کلسیم Ca	1	2147.2**
آهن × روی Fe×Zn	4	577.6**
آهن × کلسیم Fe×Ca	2	855.4**
کلسیم × روی Zn×Ca	2	1526.6**
آهن × روی × کلسیم Fe×Zn×Ca	4	1118.2**
خطا Error	34	60.62
ضریب تغییرات C.V.(%)	-	13.05

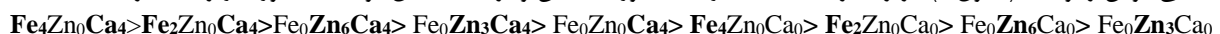
** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

** : significant at the 1% probability level

در ادامه، بررسی اثرات ساده هر یک از عناصر در کاهش درصد سفیدشدگی آریل انار نشان داد که کاربرد کلرید کلسیم به صورت خالص $(Fe_0Zn_0Ca_4)$ و سولفات آهن با غلظت ۴ در هزار $(Fe_4Zn_0Ca_0)$ به ترتیب با ۴۸/۸۰ و ۶۴/۷۵ درصد بیشترین تاثیر در کاهش درصد سفیدشدگی انار را ثبت نمودند. اثر بخشی سایر عناصر در غلظت‌های مورد استفاده به صورت خالص به صورت زیر ثبت گردید (جدول ۵):



بررسی اثرات متقابل دوگانه عناصر مورد استفاده نیز نشان داد که ترکیب سولفات آهن - کلرید کلسیم (۳۸/۰۰ و ۳۰/۳۳ درصد عارضه سفیدشدگی) و سولفات روی - کلرید کلسیم (۴۵/۳۳ و ۴۱/۸۳ درصد عارضه سفیدشدگی) در مقایسه با ترکیب سولفات آهن-سولفات روی (۷۵/۰۰، ۷۰/۱۶، ۶۴/۰۰ و ۶۰/۱۷ درصد عارضه سفیدشدگی) در کاهش عارضه سفیدشدگی موفق‌تر عمل نمودند (جدول ۵). از سوی دیگر مقایسه اثرات متقابل دوگانه با اثرات ساده، حاکی از اثر هم‌افزایی عنصر کلسیم با عنصر آهن و روی در کاهش عارضه سفیدشدگی بود؛ به طوری که ترکیب سولفات آهن-کلرید کلسیم و سولفات روی-کلرید کلسیم نسبت به کاربرد خالص هر یک از عناصر به صورت سولفات آهن، سولفات روی و کلرید کلسیم در کاهش عارضه سفیدشدگی موفق‌تر بوده‌اند (جدول ۵). برتری ترکیب‌های تیماری به صورت خالص و ترکیب متقابل دوگانه به صورت زیر ثبت گردید:



بررسی اثرات متقابل سه گانه نشان داد که حضور عنصر Ca در ترکیب با آهن و روی منجر به اثر بخشی هر چه بیشتر این دو عنصر در کاهش بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار گردید (جدول ۵). در اثرات متقابل سه گانه به نظر می‌رسد که اثر هم افزایی کلسیم تحت تاثیر غلظت آهن بوده و از بین چهار ترکیب سه گانه، ترکیب‌های $Fe_4Zn_3Ca_4$ و $Fe_4Zn_6Ca_4$ به ترتیب با $21/83$ و $22/80$ درصد سفیدشدگی آریل انار موفق‌ترین ترکیب تیماری (از ۱۸ ترکیب تیماری) در کاهش عارضه سفیدشدگی انار بودند و در مقایسه با تیمار شاهد ($Fe_0Zn_0Ca_0$) با $89/85$ درصد سفیدشدگی آریل انار به ترتیب منجر به کاهش ۷۶ و ۷۵ درصدی در بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار شدند (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین درصد و شدت سفیدشدگی آریل تحت تیمارهای محلول پاشی آهن، روی و کلسیم در غلظت‌های مختلف بر اساس آزمون

LSD و آزمون t وابسته

Table 5- Comparison of the means percentage and intensity of pomegranate aril paleness under the treatments of iron, zinc and calcium in different concentrations based on LSD test and dependent t- test

تیمار Treatment	درصد سفیدشدگی آریل انار بعد از محلول پاشی (سال دوم) Pomegranate aril paleness percentage after foliar application (second year)	درصد سفیدشدگی آریل انار قبل از محلول پاشی (سال اول) Pomegranate aril paleness percentage after foliar application (first year)	اختلاف درصد سفیدشدگی آریل انار قبل و بعد از محلول پاشی The difference in the paleness percentage of pomegranate arils before and after foliar spraying	شدت سفیدشدگی آریل انار بعد از محلول پاشی (سال دوم) Severity of pomegranate aril paleness after foliar application (second year)	شدت سفیدشدگی آریل انار قبل از محلول پاشی (سال اول) Severity of pomegranate aril paleness before foliar application (second year)
$Fe_0Zn_0Ca_0$	89.85 ^a	88.91	0.94	High-Very high	High-Very high
$Fe_2Zn_3Ca_0$	75.00 ^b	86.71	-11.71*	Moderate	High-Very high
$Fe_2Zn_6Ca_0$	70.16 ^c	86.05	-15.89*	Low-Moderate	High-Very high
$Fe_0Zn_3Ca_0$	72.00 ^c	85.91	-13.91*	Moderate	High-Very high
$Fe_0Zn_6Ca_0$	69.50 ^c	86.71	-17.21*	Low-Moderate	High-Very high
$Fe_2Zn_0Ca_0$	65.33 ^d	89.03	-23.81*	Low	High-Very high
$Fe_4Zn_0Ca_0$	64.75 ^d	88.91	-24.16*	Low	High-Very high
$Fe_4Zn_3Ca_0$	64.00 ^d	88.71	-24.71*	Low	High-Very high
$Fe_4Zn_6Ca_0$	60.17 ^d	87.05	-26.88*	Low	High-Very high
$Fe_2Zn_3Ca_4$	53.30 ^e	88.92	-35.61*	Low	High-Very high
$Fe_2Zn_6Ca_4$	50.33 ^{e*}	86.42	-36.19*	Low	High-Very high
$Fe_0Zn_0Ca_4$	48.80 ^f	87.10	-38.30*	Low	High-Very high
$Fe_0Zn_3Ca_4$	45.33 ^g	87.32	-42.10*	Low	High-Very high
$Zn_6Ca_4 Fe_0$ n	41.83 ⁱ	86.85	-45.02*	Low	High-Very high
$Fe_2 Zn_0Ca_4$	38.00 ^j	87.22	-49.22*	Low	High-Very high
$Fe_4 Zn_0Ca_4$	30.33 ^k	87.56	-57.34*	Low	High-Very high
$Fe_4Zn_3Ca_4$	22.80 ^l	86.43	-63.63*	Low	High-Very high
$Fe_4Zn_6Ca_4$	21.83 ^l	87.94	-66.11*	Low	High-Very high
اختلاف میانگین سفیدشدگی آریل قبل و بعد از محلول پاشی The difference in the average of aril paleness before and after foliar spraying	-34.98*	-	-	-	-

میانگین‌هایی با حرف مشترک بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD)، از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند؛ *: تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بین میانگین درصد سفیدشدگی آریل انار قبل و بعد از محلول پاشی بر اساس آزمون t وابسته

Means with a common letter based on the LSD test are not statistically significant at the 5% probability level; *: significant difference at the 5% probability level between the means paleness percentage of pomegranate arils before and after foliar spraying based on the dependent t- test

علاوه بر درصد سفیدشدگی آریل انار، بررسی شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار تحت تاثیر تیمارهای محلول پاشی صرف نظر از نوع ترکیب تیماری نشان داد که شدت عارضه سفیدشدگی ۵۴ درصد درخت انتخابی در سال ۱۴۰۱ در محدوده زیاد تا خیلی زیاد بود و پس از اعمال محلول پاشی، ۷۲ درصد درختان انتخابی دارای عارضه سفیدشدگی با شدت کم و ۲۶ درصد دارای شدت عارضه کم-متوسط بودند. جزئیات مربوط به درصد و شدت عارضه سفیدشدگی درختان انتخابی قبل و بعد از محلول پاشی در جدول ۵ نشان داده شده است.

تغذیه در دوران رشد میوه یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر خصوصیات کمی و کیفی میوه است (Rajpal *et al.*, 2002). نتایج آزمایش سال اول (۱۴۰۱) گویای این واقعیت است که با وقوع عارضه سفیدشدگی کیفیت میوه‌های انار از نظر ارزش غذایی مرتبط با عناصر معدنی و آنتوسیانین به شدت کاهش یافت. هم راستا با نتایج مطالعه حاضر، (Meighani *et al.*, 2014) نیز گزارش داد که مقدار کلسیم، آهن و محتوای آنتوسیانین در میوه‌های آسیب دیده انار ناشی از عارضه دانه سفیدی در مقایسه با میوه‌های سالم کمتر بود؛ اما میزان روی در میوه‌های آسیب دیده بالاتر بود. همچنین Shete (2005) و Waskar، کاهش در مقدار عنصر کلسیم در میوه‌های دچار عارضه سفیدشدگی انار را تایید نمودند.

آنتوسیانین یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کیفی انار است و رنگ آب انار را به این ترکیب نسبت می‌دهند (Zaouay *et al.*, 2012). هم راستا با نتایج مطالعه حاضر، (Shivashankar *et al.*, 2004) گزارش داد که محتوای آنتوسیانین در آریل میوه‌های دچار عارضه دانه سفیدی کمتر از آریل‌های سالم است. کاهش محتوای آنتوسیانین در میوه‌های آسیب دیده می‌تواند منعکس کننده کاهش همزمان در نرخ سنتز آنتوسیانین به دلیل مهار رونویسی mRNA ژن‌های بیوسنتتیک آنتوسیانین (Oren-Shamir, 2009) از یک سو و تسریع تخریب شیمیایی رنگ دانه‌ها از سوی دیگر (Mori *et al.*, 2007) تحت شرایط محتمل در بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار باشد. از سوی دیگر نقش عناصر آهن، روی و کلسیم در الگوی بیان برخی ژن‌های دخیل در بیوسنتز و انباشت آنتوسیانین تایید شده است (Rezaei *et al.*, 2022; Gould *et al.*, 2009)؛ با این وجود غلظت این عناصر در بافت‌های گیاهی به شدت بر نقش این عناصر بر فعالیت ژن‌های مسیر بیوسنتز آنتوسیانین و سایر ژن‌های دخیل در فرایند رشد و نمو گیاه موثر است. به عنوان مثال، فعالیت آنزیم آنتوسیانین ۳-O- گلوکوزیل ترانسفراز به عنوان یک آنزیم کلیدی در بیوسنتز آنتوسیانین در بافت‌های گیاهی، در حضور عناصر روی، منگنز و مس با غلظت یک میلی مولار به طور کامل مهار می‌شود. اثر مهارکنندگی این عناصر آزاد در محیط *in vitro* احتمالاً ناشی از تخریب پیش ماده‌های بیوسنتز آنتوسیانین باشد (Groud *et al.*, 2009). در مطالعه حاضر نیز در میوه‌های آسیب دیده با آریل‌هایی به رنگ قهوه‌ای در مقایسه با میوه‌های سالم با رنگ آریل قرمز شفاف، غلظت بالای از عنصر روی مشاهده شد.

علیرغم وجود گزارشات مبنی بر وجود ارتباط بین غلظت عناصر فلزی و سنتز آنتوسیانین، اطلاعات کمی در مورد نقش یون‌های فلزی در تجزیه آنتوسیانین وجود دارد. اما ارتباط بین یون‌های فلزی با عوامل اکسیداسیون ترکیبات پلی فنلی مشارکت کننده در بیوسنتز آنتوسیانین تایید شده است. از نظر شیمیایی، آنتوسیانین‌ها گلیکوزیدهایی از مشتقات پلی هیدروکسی و پلی متوکسی نمک‌های ۲- فنیل بنزو پیریلیوم یا فلاویلیوم هستند (دو حلقه بنزوئیل A و B توسط حلقه C هتروسیکلیک جدا می‌شوند) (Pojer *et al.*, 2013). گلیکوزیده شدن ترکیبات فنلی و به خصوص فلاونوئیدی منجر به بیوسنتز حلقه فلاویلیوم آنتوسیانین‌ها می‌گردد (Kulkarni & Aradhya, 2005). یون‌های فلزی کوفاکتورهای رایج در فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) هستند (Mayer, 2006). اکسیداسیون مستقیم ترکیبات پلی فنلی بوسیله آنزیم PPO، یکی از عوامل موثر در قهوه‌ای شدن بافت میوه و تخریب آنتوسیانین عنوان شده است (Tomas-Barberan & Espin, 2001). در انگور فرنگی (*Phyllanthus emblica*) یون‌های فلزی مس و روی به عنوان فعال کننده آنزیم PPO عمل می‌کنند (Latha *et al.*, 2013)؛ در حالی که در نیشکر (*Saccharum officinarum*) فعالیت آنزیم PPO به طور قابل توجهی توسط یون‌های فلزی مس، آلومینیوم و منیزیم مهار می‌گردد (Zhao *et al.*, 2011).

بر اساس نتایج مطالعه حاضر (آزمایش اول-۱۴۰۱) تاثیر منفی عارضه سفیدشدگی آریل انار بر محتوای عناصر میکرو و ماکرو بخصوص کلسیم، آهن و روی میوه انار تایید گردید؛ از این رو فرضیه کاربرد عناصر آهن، روی و کلسیم به صورت محلول پاشی به منظور بررسی تاثیر در بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار قوت پذیرفت و آزمایش دوم با این هدف طراحی و اجرا گردید. در تایید فرضیه فوق چندین پژوهشگر از جمله Zareh *et al.* (2012) تاثیر مثبت محلول پاشی درختان انار با استفاده از سولفات روی را در افزایش غلظت و محتوای عنصر روی در آب میوه انار گزارش

دادند. همچنین Ghayekhloo & Sedaghatpour (2015) اظهار داشتند که استفاده از کود روی منجر به افزایش مقدار عنصر روی در میوه نارنگی (*Citrus reticulata* L.) شد و بیشترین مقدار در تیمار ترکیبی روی-آهن به دست آمد.

دو موضوع مهم در اجرای آزمایش سال دوم (۱۴۰۲)، انتخاب روش کوددهی و زمان مناسب کوددهی بود. نتایج بررسی ویژگی‌های خاک محل آزمایش و همچنین شرایط تغذیه گیاه پیش از اجرای آزمایش نشان از فقر غذایی خاک محل آزمایش و درختان داشت. یکی از دلایل وضعیت نامطلوب خاک محل آزمایش و به تبع آن انتقال و جذب پائین عناصر در برگ درختان انتخابی، حاکمیت شرایط آهکی، بالا بودن اسیدیته خاک و شوری خاک منطقه مورد آزمایش بود (جدول‌های ۲ و ۳). در خاک‌های آهکی به دلیل وجود pH قلیایی و غلظت بالای یون بی‌کربنات، برخی از عناصر غذایی که قابلیت جذب آن‌ها توسط میزان اسیدیته خاک کنترل می‌شود، به ترکیباتی غیرمحلول و غیرقابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌گردند (Ramazanian *et al.*, 2009). نتایج دیگر محققان نیز نشان داده است که کمبود آهن و روی بیشتر در گیاهانی دیده می‌شود که در خاک‌های آهکی با اسیدیته بالاتر از ۷/۵ رشد می‌کنند. یون بی‌کربنات تولید شده در خاک‌های آهکی خاصیت بافبری دارد و تا حدی از ایجاد محیط اسیدی در اطراف ریشه جلوگیری می‌نماید و بدین ترتیب از حلالیت بیشتر ترکیب‌های آهن دار، قابلیت جذب آهن از سیستم آپوپلاست برگ به داخل سیتوپلاسم از طریق پلاسمالما و نهایتاً انتقال و توزیع آهن توسط برگ‌ها کاسته می‌شود (Han *et al.*, 1998). از این رو روش محلول‌پاشی برگ برای اجرای آزمایش دوم انتخاب گردید. محلول‌پاشی به دلیل در اختیار قرار دادن سریع و مستقیم عناصر غذایی به بافت‌های گیاهی از جمله برگ، شاخه و میوه، به عنوان روشی کارآمد در بهبود و ارتقا عملکرد کمی و کیفی درختان میوه شناخته شده است (Hassan *et al.*, 2010).

در خصوص زمان مناسب محلول‌پاشی، بر اساس نتایج مطالعه Faraji & Karami (2024b) مبنی بر بررسی اثر عارضه سفیدشدگی آریل انار بر محتوی متابولیت‌های ثانویه در مراحل مختلف رشد و نمو میوه، از بین چهار مرحله (تشکیل میوه، فندقی شدن میوه، رشد سریع میوه و رسیدگی کامل میوه)، حساس‌ترین مرحله‌ای که بیشترین تغییرات در محتوای متابولیت‌های ثانویه رخ می‌دهد، فاصله بین مرحله رشد سریع میوه تا رسیدگی کامل میوه (حد فاصل مرحله ۳ تا ۴) عنوان شد. لذا بر اساس نتایج مطالعه (Faraji & Karami (2024b)، در مطالعه حاضر محلول‌پاشی طی دو نوبت شامل پایان گل‌دهی-شروع تشکیل میوه و پایان مرحله رشد سریع میوه-شروع رسیدگی میوه انجام گردید.

نتایج محلول‌پاشی برگ در درختان در آزمایش دوم (۱۴۰۲) نشان داد که محلول‌پاشی درختان با کلرید کلسیم به صورت خالص ($Fe_0Zn_0Ca_4$)، سولفات آهن و روی در ترکیب با کلرید کلسیم (ترکیب دوتایی) ($Fe_4Zn_0Ca_4$, $Fe_2Zn_0Ca_4$, $Fe_0Zn_6Ca_4$, $Fe_0Zn_3Ca_4$) و به خصوص ترکیب سه‌گانه این عناصر شامل $Fe_4Zn_3Ca_4$ و $Fe_4Zn_6Ca_4$ ، تأثیر مثبتی بر کاهش درصد سفیدشدگی آریل انار در رقم ملس ساوه داشت. با توجه به نتایج بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک منطقه مورد آزمایش و وضعیت تغذیه‌ای برگ درختان انتخابی، موثر بودن محلول‌پاشی برگ درختان می‌تواند به دلیل جذب کمتر این عناصر در خاک‌های آهکی باشد (Mirzapour & Khosh-Goftarmanesh, 2013). همچنین وجود عنصر پتاسیم در خاک منطقه مورد نظر می‌تواند جذب کلسیم را کاهش دهد (Hepaksoy *et al.*, 2000). عنصر آهن و کلسیم جز عناصر کم تحرک می‌باشند. تحرک کم آهن در گیاه به دلیل رسوب این عنصر به فرم اکسید و فسفات‌های نامحلول یا تشکیل کمپلکس با پروتئین در برگ (فیتوفریشن) است که حرکت آهن را به آوندهای آبکش و در نتیجه کل گیاه محدود می‌کند (Taiz & Zeiger, 2010). کلسیم نیز عنصری نسبتاً غیر متحرک است که بیشتر از طریق آوند چوبی انتقال پیدا می‌کند و غالباً برای حرکت به سمت برگ‌ها که میزان تیخیر و تعرق بالایی دارند، گرایش دارد. با این وجود انتقال کند کلسیم از برگ‌ها منجر به کاهش نسبی غلظت کلسیم میوه در دوره رشد آن می‌گردد (Tabatabaei, 2013). در تایید اثر بخشی محلول‌پاشی بر کیفیت میوه در مطالعه حاضر، در سایر مطالعات نیز محلول‌پاشی کلسیم، آهن و روی بر سطح میوه‌ها به عنوان روشی مؤثر برای افزایش عناصر معدنی درونی میوه‌ها و در نتیجه بهبود کیفیت میوه گزارش شده است (Tabatabaei, 2013; Taiz & Zeiger, 2010). مطابق با نتایج مطالعه حاضر Zabihi & Rezaeian (2019) گزارش دادند که محلول‌پاشی سولفات آهن (۳٪) و سولفات روی (۶٪) منجر به افزایش رنگ آریل‌های انار با عارضه دانه سفیدی (رقم شیشه کپ) گردید. Asadi *et al.* (2019) نیز محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن ۱ درصد به صورت جداگانه یا ترکیبی و کلات آهن مایع ۱ درصد را به عنوان تیمارهای برتر برای بهبود اختلال فیزیولوژیکی آریل‌های سفید انار در رقم خزر و شیشه کپ توصیه کردند. اما در خصوص استفاده از کلسیم در کاهش عارضه سفیدشدگی یا دانه سفیدی آریل انار اطلاعات مدونی وجود ندارد. با این وجود (Abdollahi *et al.*, 2024) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیلیس و نیترات کلسیم در طول فصل رشد نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبی/انفرادی با استفاده از کلرید کلسیم و سیلیس در کاهش ترکیدگی و آفتاب سوختگی، دو عارضه مهم با اثرات منفی بر کیفیت و بازاریابی میوه انار، موثر بوده و منجر به بهبود کمیت و کیفیت میوه انار گردید.

نتایج مطالعه حاضر (آزمایش دوم) نشان داد که محلول‌پاشی درختان انار منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار گردید. در عارضه سفیدشدگی، رنگ آریل‌های انار از قرمز شفاف با توجه به شدت عارضه، به سفید کرمی تا قهوه‌ای سوخته تغییر می‌نماید (Meighani *et al.*, 2014). با توجه به نقش کلسیم در متابولیسم، کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه گیاهان (Badihi *et al.*, 2021)؛ در بسیاری از مطالعات

به حصول بیشترین محتوای آنتوسیانین در بافت (میوه، برگ) گیاه بعد از محلول‌پاشی گیاه با استفاده از ترکیبات کلسیمی اشاره شده است (Gerami et al., 2018; Ghesmati et al., 2018; Khani et al., 2018; Basiri & Zeraatgar, 2023; Ahmadi et al., 2023; et al., 2024). همچنین، نتایج مطالعه Davarpanah et al. (2013) نشان داد که تامین آهن مورد نیاز درختان انار کیفیت میوه آن را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد؛ به‌طوری که آهن به‌طور مستقیم در تولید آنتوسیانین از طریق مداخله در ساختار کلروفیل و افزایش فتوسنتز نقش دارد. در همین راستا (Rezaie et al., 2022) نشان دادند که در میوه توت فرنگی محلول‌پاشی کلات آهن با غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر منجر به افزایش بیان ژن‌های دخیل در سنتز آنتوسیانین شامل *FaPAL*، *FaCHS*، *FaMYB1*، *FaMYC1*، *FaSUT1* و بهبود کیفیت میوه توت فرنگی گردید. در خصوص عنصر روی نیز گزارش شد که استفاده از سولفات روی باعث افزایش فتوسنتز برگ و همچنین محتوای جامدات محلول کل، تانن‌ها، فنل کل، فلاونول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین در میوه توت و پوست انگور قرمز شد (Song et al., 2015).

در مطالعه حاضر (آزمایش دوم) با توجه به اثربخشی قابل ملاحظه در کاهش بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار با محلول‌پاشی ترکیبات دوتایی عناصر، بخصوص سولفات آهن-کلرید کلسیم و سولفات روی-کلرید کلسیم در مقایسه با محلول‌پاشی به‌طور جداگانه، فرضیه اثر هم افزایی عنصر کلسیم با آهن و روی مطرح می‌باشد. در سایر مطالعات نیز تاثیر متقابل و هم افزایی عناصر در کنار یکدیگر از جمله آهن-روی، کلسیم-سیلیس در مقایسه با کاربرد خالص عناصر در افزایش کیفیت میوه انار تایید شده است (Asadi et al., 2019; Abdollahi et al., 2024). اثر هم افزایی روی و آهن، به تاثیر عنصر روی بر بهبود و افزایش رشد گیاهان نسبت داده می‌شود؛ به‌طوری‌که در گیاهان رشد یافته، جذب آهن به‌طور قابل ملاحظه ای افزایش یافت (Asadi et al., 2019). اثر هم افزایی عنصر کلسیم در مطالعه حاضر احتمالاً به نقش کلسیم در ساخت میتوکندری و جذب فعال دیگر عناصر مرتبط باشد؛ به‌طوری‌که کلسیم با جذب بیشتر عناصر میکرو نظیر روی و آهن در شرایط محتمل در بروز عارضه سفیدشدگی آریل از جمله تنش گرمایی، شوری و آفتاب سوختگی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده (Rachappanavar et al., 2021) و در مجموع منجر به کاهش در بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار گردید.

نتیجه‌گیری کلی

عارضه سفیدشدگی آریل یکی از اختلالات فیزیولوژیکی مهم میوه انار می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای کیفیت میوه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر (سال اول)، با توجه به اثر منفی عارضه سفیدشدگی بر محتوای عناصر آهن، روی (عناصر میکرو) و کلسیم (عنصر ماکرو)، محلول‌پاشی با سولفات آهن، سولفات روی و کلرید کلسیم به‌عنوان یکی از راهکارهای احتمالی در مقابله با این عارضه در رقم ملس ساوه در مراحل رشد میوه مورد بررسی قرار گرفت (سال دوم). نتایج کلی نشان داد که، محلول‌پاشی با این عناصر به‌صورت جداگانه یا ترکیبی در کاهش وقوع و شدت سفیدشدگی آریل انار مؤثر بوده؛ با این وجود کاربرد همزمان آهن-روی در ترکیب با کلسیم کارایی بیشتری نسبت به سایر تیمارها برای بهبود صفات مورد اشاره داشت. از این رو، به‌منظور دستیابی به کاهش همزمان در وقوع و شدت عارضه سفیدشدگی انار محلول‌پاشی با سولفات آهن ۴ درهزار-سولفات روی ۶ یا ۳ در هزار-کلرید کلسیم ۴ در هزار ($Fe_4Zn_3Ca_4$ ، $Fe_4Zn_6Ca_4$) در دو مرحله پایان گل‌دهی-شروع تشکیل میوه و پایان رشد سریع میوه-شروع رسیدگی کامل میوه انار توصیه می‌شود. با این وجود ذکر دو نکته حائز اهمیت است؛ اول آنکه در مرحله دوم محلول‌پاشی (پایان مرحله رشد سریع میوه و شروع مرحله رسیدگی میوه) به دلیل تنش گرمایی معمول در محیط اطراف درختان (دما بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) محلول‌پاشی ترکیب سولفات روی به تنهایی توصیه نمی‌گردد چون سبب سوزندگی برگ درختان خواهد شد لذا باید به‌صورت ترکیب با اسیدآمینه مصرف گردد و دوم آنکه اثر بخشی ترکیبات توصیه شده بر سایر خصوصیات کمی و کیفی انار رقم ملس ساوه در شرایط محتمل و غیر محتمل در بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار باید مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر در قالب طرح تحقیقاتی مصوب به شماره ۹۳۲۰۷-۰۳-۶۱-۴، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی مرکز تحقیقات، آموزش ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی انجام گردید.

References

- Abdollahi, F., Erfani-Moghadam, J., Zarei, A. & Rostaminia, M. (2024). Effect of foliar application of silica and calcium nitrate on cracking, quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55(1), 123-134. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.362286.2116>
- Ahmadi, M. A., Daghighi, S., Azarmi-Atajan, F., & Bayat, H. (2023). Effects of foliar application of calcium chloride and potassium sulfate on physical and biochemical properties of jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.). *Journal of Horticultural Science*, 37(3), 769-786. <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79367.1204>

- Aizza, L. C. B., & Dornelas, M. C. (2011). A genomic approach to study anthocyanin synthesis and flower pigmentation in passionflowers. *Journal of Nucleic Acids*, 2011(1), 371517. <https://doi.org/10.4061/2011/371517>
- Al-Maiman, S. A., & Ahmad, D. (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit maturation. *Food Chemistry*, 76(4), 437-441. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00301-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00301-6)
- Amaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S., & Karapetsas, N. (2002). Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. *Acta Horticulturae*, 567, 447-450. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.567.93>
- Amarante, C. D., Steffens, C. A., & Argenta, L. C. (2010, August). Radiation, yield, and fruit quality of Gala apples grown under white hail protection nets. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 934* (pp. 1067-1074). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.934.143>
- Amirinejad, M., Akbari, G., Baghizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M., & Naimi, M. (2015). Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. *Journal of Crops Improvement*, 17(4), 855-866. <https://doi.org/10.22059/jci.2015.55136>
- Ankerman, D. (1974). *Soil and Plant Analysis*, Agricultural Laboratories Inc., New York, USA. pp: 82.
- Asadi, E., Ghehsareh, A. M., Moghadam, E. G., Hodaji, M., & Zabihi, H. R. (2019). Improving of pomegranate aril paleness disorder through application of Fe and Zn elements. *Indian Journal of Horticulture*, 76(2), 279-288. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2019.00043.4>
- Badihi, L., Gerami, M., Akbarinodeh, D., Shokrzadeh, M., & Ramezani, M. (2021). Physio-chemical responses of exogenous calcium nanoparticle and putrescine polyamine in Saffron (*Crocus sativus* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27, 119-133. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00923-x>
- Basiri, S., & Zeraatgar, H. (2023). Effect of calcium chloride, cultivar and maturity on shelf life of fresh jujube fruits. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(6), 1375-1370. <https://doi.org/10.22034/jast.25.6.1357>
- Bedigian, D. (2007). Pomegranates. Ancient roots to modern medicine. Medicinal and aromatic plants—Industrial profiles 43. *Economic Botany*, 61(1), 107-108. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2007\)61\[107b:PARTMM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2007)61[107b:PARTMM]2.0.CO;2)
- Borochoy-Neori, H., Judeinstein, S., Tripler, E., Harari, M., Greenberg, A., Shomer, I., & Holland, D. (2009). Seasonal and cultivar variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(3), 189-195.
- Cheour, F. U. L. Q., Willemot, C., Arul, J., Desjardins, Y., Makhoulouf, J., Charest, P. M., & Gosselin, A. (1990). Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(5), 789-792. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.10.011>
- Davarpanah, S., Akbari, M., Askari, M. A., Babalar, M., & Naddaf, M. E. (2013). Effect of iron foliar application (Fe-EDDHA) on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate CV. "Malas-e-Saveh". *World of Sciences Journal*, 4, 179-187.
- El-Razek, E. A., Yousef, A. R. M., & Abdel-Hamed, N. (2015). Effect of chelated Fe, Zn and Mn soil application with spraying GA3 and ascorbic acid on growth, yield and fruit quality of Flame seedless grapevines under calcareous soil conditions. *International Journal of ChemTech Research*, 8(6), 441-451.
- Faraji, S., & Karami, S. (2024a). Spatial distribution of pomegranate aril paleness and its relationship with some environmental and non-environmental factors using geographic information system (GIS). *Iranian Journal of Horticultural Science*. (in Persian) <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.372626.2156>
- Faraji, S., & Karami, S. (2024b). The effect of complication of pomegranate aril paleness on the secondary metabolites content and activity of phenylalanine amonialyase (PAL) at different stages of fruit ripening. *Iranian Journal of Horticultural Science*. (in Persian)
- Gerami, M., Akbari Nodehi, D., Amiri, M., & Darvakh, E. (2024). Effects of calcium nano-paticle on some physiologic and biochemical characteristics of *Ocimum basilicum* L. under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 40(2), 415-400. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2024.131551>
- Ghasemi-Soloklui, A. A., Kordrostami, M., & Gharaghani, A. (2023). Environmental and geographical conditions influence color, physical properties, and physiochemical composition of pomegranate fruits. *Scientific Reports*, 13(1), 15447. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42749-z>

- Ghayekhloo, S., & Sedaghatoor, S. (2015). Changes in quantitative and qualitative traits of miagava tangerine (*Citrus reticulata* L.) as affected by Fe, Zn and Mn micronutrients foliar application. *International Journal of Bioscience*, 6(1), 218-226. <https://dx.doi.org/10.12692/ijb/6.1.218-227>
- Ghesmati, M., Moradinezhad, F., & Khayat, M. (2018). Efficacy of some calcium salts foliar spray on growth and biochemical parameters of jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.). *Plant Productions*, 41(3), 25-36. <https://doi.org/10.22055/ppd.2017.21173.1447>
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4581-4589. <https://doi.org/10.1021/jf000404a>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, 1-13.
- Gould, K., Davies, K. M., & Winefield, C. (Eds.). (2008). *Anthocyanins: biosynthesis, functions, and applications*. Springer Science & Business Media, LLC. Pp. 8, 174.
- Hamouda, H. A., El-Dahshouri, M. F., Hafez, O. M., & Zahran, N. G. (2015). Response of leconte pear performance, chlorophyll content and active iron to foliar application of different iron sources under the newly reclaimed soil conditions. *International Journal of Chemistry Technology Research*, 8(4), 1446-1453.
- Han, Z. H., Shen, T., Korcak, R. F., & Baligar, V. C. (1998). Iron absorption by iron-efficient and-inefficient species of apples. *Journal of Plant Nutrition*, 21(1), 181-190. <https://doi.org/10.1080/01904169809365392>
- Hasani, M., Zamani, Z., Savaghebi, G., & Fatahi, R. (2012). Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(3), 471-480. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000009>
- Hassan, H. S. A., Sarrwy, S. M. A., & Mostafa, E. A. M. (2010). Effect of foliar spraying with liquid organic fertilizer, some micronutrients, and gibberellins on leaf mineral content, fruit set, yield, and fruit quality of "Hollywood" plum trees. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 638-643.
- He, F., Mu, L., Yan, G. L., Liang, N. N., Pan, Q. H., Wang, J., ... & Duan, C. Q. (2010). Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules*, 15(12), 9057-9091. <https://doi.org/10.3390/molecules15129057>
- Hepaksoy, S., Aksoy, U., Can, H. Z., & Ui, M. A. (2000). Determination of relationship between fruit cracking and some physiological responses, leaf characteristics and nutritional status of some pomegranate varieties. In Melgarejo P., Martínez-Nicolás J.J., & Martínez-Tomé J. (Eds.), *Production, processing and marketing of pomegranate in the Mediterranean region: Advances in research and technology*. (pp.87-92). *Options Méditerranéennes Série A. Séminaires Méditerranéens*.
- Kavand, M., Arzani, K., Barzegar, M., & Mirlatifi, M. (2020). Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit quality attributes in relation to aril browning disorder. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(4), 1053-1065. <https://doi.org/20.1001.1.16807073.2020.22.4.7.9>
- Khani, A., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Nikbakht, J. (2019). The effect of calcium lactate foliar spray on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv. New Red Fire under water deficit stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33), 187-202. (in Persian) <https://doi.org/20.1001.1.23222727.1398.8.33.9.9>
- Koushesh Saba, M., Arzani, K., & Barzegar, M. (2016). Impact of postharvest calcium treatments on storage life, biochemical attributes and chilling injury of apricot. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1355-1366.
- Kulkarni, A. P., & Aradhya, S. M. (2005). Chemical changes and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit development. *Food Chemistry*, 93(2), 319-324. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.029>
- Landi, L., Feliziani, E., & Romanazzi, G. (2014). Expression of defense genes in strawberry fruits treated with different resistance inducers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(14), 3047-3056. <https://doi.org/10.1021/jf404423x>
- Latha, K., Dhanya, K. J., & Swapna, K. R. (2013). Isolation and characterization of polyphenol oxidase from *Phyllanthus emblica* (Indian gooseberry). *International Journal of Science Inventions Today*, 2, 311-318.
- Marschner, H. (2011). Mineral nutrition of higher plants. *Academic press*. New York, 889 p.
- Mayer, A. M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318-2331. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.08.006>

- Meighani, H., Ghasemnezhad, M., & Bakshi, D. (2014). Evaluation of biochemical composition and enzyme activities in browned arils of pomegranate fruits. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(1), 53-65. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2014.50518>
- Mena, P., García-Viguera, C., Navarro-Rico, J., Moreno, D. A., Bartual, J., Saura, D., & Martí, N. (2011). Phytochemical characterisation for industrial use of pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(10), 1893-1906. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4411>
- Mirdehghan, S. H., & Rahemi, M. (2007). Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 111(2), 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.001>
- Mirzapour, M. H., & Khoshgoftarmansh, A. H. (2013). Effect of soil and foliar application of iron and zinc on quantitative and qualitative yield of pomegranate. *Journal of Plant Nutrition*, 36(1), 55-66. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.733049>
- Mohseni, A., Farazmand, H., Tabatabai Ardakani, S. D., Askari, M., Asgari Khakzad, S., Eshghi, M., Ghazanfari, S., Hasanpour Onji, S. R., Angabi, H. (2020). Pomegranate guide (Planting, Growing, Harvesting). Institute of Agricultural Education and Extension, Tehran, Iran, p:268. (in Persian)
- Moradinezhad, F., Hassan Pour, S., & Sayyari Zahan, M. H. (2018). Influence of preharvest spray of calcium chloride and salicylic acid on physicochemical and quality properties of fresh seedless barberry fruit. *Journal of Horticultural Science*, 32(1), 61-74. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i1.60331>
- Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M., & Hashizume, K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, 58(8), 1935-1945. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm055>
- Narjesi, V. (2021). Effects of different shade netting treatments on some quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruits cv. Malas-e-Saveh. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 275-293. (in Persian) <https://doi.org/10.22034/saps.2021.12815>
- Oren-Shamir, M. (2009). Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants?. *Plant Science*, 177(4), 310-316. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.06.015>
- Pojer, E., Mattivi, F., Johnson, D., & Stockley, C. S. (2013). The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science And Food Safety*, 12(5), 483-508. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12024>
- Prasad, B., Dimri, D. C., & Bora, L. (2015). Effect of pre-harvest foliar spray of calcium and potassium on fruit quality of Pear cv. Pathernakh. *Scientific Research and Essays*, 10(11), 376-380. <https://doi.org/10.5897/SRE2015.6246>
- Rachappanavar, V., Padiyal, A., Sharma, J. K., Gupta, S. K., & Negi, N. (2021). Efficient Exploration of Silicon Derived Benefits to Combat Biotic and Abiotic Stresses in Fruit Crops. Preprint from Research Square, 13 Dec 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1052525/v1>
- Rahemi, M. (2011). Post-harvest physiology: An introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornamental. Shiraz University Press. Page 460.
- Rajpal, S., Godara, N. R., & Ahlawat, V. P. (2002). Qualitative attributes affected by foliar spraying of nutrients and growth regulators in ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) cv. Umran. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*, 31(1/2), 23-25.
- Ramezani, A., Rahemi, M., & Vazifehshenas, M. R. (2009). Effects of foliar application of calcium chloride and urea on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae*, 121(2), 171-175. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.039>
- Rezaei, S., Amiri, M., Bahari, A., Razavi, F., Soleimani Aghdam, M., & Beyrami, H. (2022). Effect of foliar iron application on anthocyanin genes expression during of developmental stages in strawberry fruit. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(4), 745-762.
- Roshdy, K. A. (2014). Effect of spraying silicon and seaweed extract on growth and fruiting of grandnaine banana. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 92(3), 979-991. <https://doi.org/10.21608/ejar.2014.156427>
- Schaart, J. G., Dubos, C., Romero De La Fuente, I., van Houwelingen, A. M., de Vos, R. C., Jonker, H. H., ... & Bovy, A. G. (2013). Identification and characterization of MYB-b HLH-WD 40 regulatory complexes controlling proanthocyanidin biosynthesis in strawberry (*F. ragaria* × *ananassa*) fruits. *New phytologist*, 197(2), 454-467. <https://doi.org/10.1111/nph.12017>

- Sedaghat, S., Rahemi, M., & Jafari, M. (2021). Effects of soil and water salinity on aril whitening in pomegranate. *Research in Pomology*, 6(1), 121-128. (in Persian) <https://doi.org/10.30466/rip.2021.121091>
- Shahak, Y. (2006). Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. In *XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Cultivation and Utilization of Asian*, 770 (pp. 161-168). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>
- Shete, M. B., & Waskar, D. P. (2005). Internal breakdown of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits-a review. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 30, 59-61.
- Shivashankara, K. S., Subhas, C. M., Laxman, R. H., Vijayalaxmi, G. P., & Bujjibabu, C. S. (2004). Physiological and biochemical changes associated with aril browning of pomegranate (*Punica granatum* cv. Ganesh). *Journal of Plant Biology*, 31, 149-152.
- Siegelman, H. W., & Hendricks, S. B. (1958). Photocontrol of anthocyanin synthesis in apple skin. *Plant Physiology*, 33(3), 185. <https://doi.org/10.1104/pp.33.3.185>
- Song, C. Z., Liu, M. Y., Meng, J. F., Chi, M., Xi, Z. M., & Zhang, Z. W. (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. *Molecules*, 20(2), 2536-2554. <https://doi.org/10.3390/molecules20022536>
- Tabatabaei, J. (2013). *Principles of plant mineral nutrition*. Tabriz University Press. pp. 562. (In Persian)
- Taiz, L. & E. Zeiger. 2002. Mineral nutrition, P. 67-86. *Plant Physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. Publishers.
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Treder, W., Mika, A., Buler, Z., & Klamkowski, K. (2016). Effects of hail nets on orchard light microclimate, apple tree growth, fruiting and fruit quality. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 15(3), 17-27.
- Zabihi, H. R., & Rezaeian, S. (2019). The Effect of Iron and Zinc Sulfate Foliar Application on the Reduction of Seed Whitening of Shisheh-Cap Cultivar for Pomegranate Fruit. *Journal of Horticultural Science*, 33(2), 323-333. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.76011>
- Zaouay, F., Mena, P., Garcia-Viguera, C., & Mars, M. (2012). Antioxidant activity and physico-chemical properties of Tunisian grown pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products*, 40, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.045>
- Zareh, M., Adhami, E., Owliaie, H., & Ramezani, A. (2012). Effects of foliar applications of iron and zinc on yield, fruit quantitative and qualitative characteristics and mineral composition of pomegranate (*Punica granatum* L.) leaf. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 13, 189-198. (in Persian)
- Zhao, Z., Zhu, L., Yu, S., & Saska, M. (2011). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Zuckerindustrie-Sugar Industry*, 136(5), 296.