

## اثر کاربرد سیلیکون بر مقدار فنل، سیستم آنتی اکسیدانی و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز در میوه های آلوئی شابلون انبار شده قادر حبیبی<sup>۱\*</sup> - معصومه عابدینی<sup>۱</sup>

۱- استادیار، گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

### چکیده

**سابقه و هدف:** از آنجایی که در سال های اخیر نقش عنصر کم مصرف سیلیکون در انبارمانی مورد توجه قرار گرفته است، در این تحقیق، از سیلیکون برای افزایش طول دوره انبارمانی رقم شابلون آلو ('Prunussalicina' 'Shablon') استفاده شد.

**مواد و روش ها:** میوه ها بلافاصله پس از برداشت در دو گروه آزمایشی تقسیم بندی و گروه اول به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۵ گرم در لیتر سیلیکات و گروه دوم (شاهد) در آب مقطر قرار گرفتند. سپس نمونه ها به دمای ۴ درجه سانتی گراد و رطوبت حدود ۸۰ درصد انتقال یافتند.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که هر چند تیمار سیلیکون فعالیت آنزیم کاتالاز را در میوه آلو متاثر نکرد ولی باعث کاهش افت وزن میوه ها، افزایش معنی دار غلظت فنل ها و هم چنین افزایش فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز و فنیل آلانین آمونیا لیاز نسبت به شاهد شد. بحث: سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز باعث کاهش معنی دار مقدار مالون دی آلدئید و با افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز باعث زیاد شدن غلظت فنل ها در میوه آلو شد و در نهایت توانست باعث بالا رفتن مقاومت میوه ها در برابر تنش سرما شود.

**نتیجه گیری:** سیلیکون از یک طرف با افزایش توان سیستم آنتی اکسیدانت باعث بالا رفتن مقاومت میوه ها در برابر تنش سرما شد و از طرف دیگر با افزایش غلظت فنل ها بر کیفیت و ارزش غذایی آنها افزود.

**کلمات کلیدی:** فنیل آلانین آمونیا لیاز، آلو، سیلیکات، سوپراکسید دیسموتاز، فنل کل

### مقدمه

امروزه بیشتر باغداران ایرانی بخاطر عملکرد بالای رقم شابلون، قسمت عمده ای از سطح زیر کشت باغ ها آلوئی خود را به کشت این رقم اختصاص می دهند. یکی از مشکلات نگهداری آلو آسیب پذیری آن در برابر آلودگی قارچی و کاهش محتوی نسبی آب آن در طی دوره انبارمانی می باشد. از جمله راه کارهای مناسب برای حفظ کیفیت میوه ها، ذخیره آنها در دمای پایین است ولی در کنار سرمادهی افزودن مواد شیمیایی حفاظت کننده ضروری به نظر می رسد (۲۹). زمانی که بافت های گیاهی در معرض سرما قرار می گیرند، تولید رادیکال های آزاد اکسیژن در سلول های آنها افزایش می یابد. این مولکول ها می توانند باعث تخریب پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک سلول ها

و در نهایت غشاهای زیستی شوند (۱۵). سلول های گیاهی برای کاهش اثرات تخریبی این مولکول ها، فعالیت سیستم آنتی اکسیدانت خود از جمله آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) را افزایش می دهند (۲). ارقام آلوئی ژاپنی (Prunussalicina) نسبت به دما حساس هستند و دمای بهینه برای ذخیره آنها در انبارداری صفر درجه سانتی گراد می باشد (۲۳، ۸). دماهای ۵-۰ درجه و رطوبت ۸۰-۹۵ درصد باعث حفظ آب این میوه، ممانعت از افت وزن و کاهش شاخص آلودگی آن می شود. ولی دماهای پایین هر چند باعث حفظ آب میوه و کیفیت آن می شوند ولی در دراز مدت باعث بروز صدمات سرما در بافت های این میوه شده و در نهایت منجر به انباشت رنگدانه های سیاه و از بین رفتن طعم میوه خواهد شد (۶، ۲۰). برای کاهش صدمات ناشی از تنش سرما در طی دوره انبارمانی از مواد شیمیایی مختلف از قبیل هورمون ها استفاده می شود که اسید سالیسیلیک یک نمونه از آنها محسوب می شود. اسید سالیسیلیک در غلظت های ۱

نویسنده مسئول: گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران  
پست الکترونیکی: gader.habibi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۷

میوه) تقسیم بندی و در آب مقطر شستشو و در هوا خشک شدند. گروه اول به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۵ گرم در لیتر سدیم سیلیکات ( $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ ) و گروه دوم (شاهد) در آب مقطر حاوی مقدار مولی سدیم مساوی با تیمار سیلیکون به شکل سدیم کلرید، قرار گرفتند. پس از خشک شدن آب سطحی، نمونه‌ها به دمای ۴ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹۰-۸۰ درصد انتقال یافتند. کاهش وزن میوه‌ها نسبت به وزن اولیه و تعداد میوه‌های فاسد و خراب شده نسبت به تعداد کل میوه‌ها، هر ۱۰ روز یکبار سنجش شدند. برای رعایت مدت زمان توقف میوه‌ها در بازار داخل جعبه‌ها، قبل از هر بار سنجش، میوه‌ها به مدت ۴ روز به دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) منتقل شدند (۳۰). سنجش فعالیت آنزیم‌ها و متابولیت‌های سیستم آنتی‌اکسیداتیو فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) بر اساس درصد ممانعت از احیاء نیتروبلوتترازولیوم (NBT) به ترکیب ارغوانی رنگ دی فورمازان بوسیله رادیکال سوپراکسید ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) حاصل از فتولیز ریپوفلاوین، توسط آنزیم موجود در عصاره و بر اساس روش جیانوپولیتیس و همکاران (۱۱) مورد اندازه گیری قرار گرفت. نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت در ازت مایع پودر شده و عصاره آنزیمی در بافر mM ۲۵ بافر mM ۲۵ از هیدروکسی اتیل پیرازین اتان سولفونیک اسید (HEPES) با pH=۷/۸ و حاوی اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) با غلظت mM ۰/۱ استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰ g سانتریفوژ شده و روشنای برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل mM ۲۵ HEPES، pH=۷/۶، mM ۰/۱ EDTA،  $\mu\text{M}$  ۷۵  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (pH=۱۰/۲)، mM ۱۲ L-متیونین،  $\mu\text{M}$  ۷۵ NBT و  $\mu\text{M}$  ۱ ریپوفلاوین اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در شدت نور تقریباً ۸۰۰۰ لوکس به منظور انجام واکنش قرار گرفت. برای تهیه نمونه‌های شاهد مخلوط فوق بدون افزودن عصاره آنزیمی تهیه گردید و جذب نمونه‌ها در nm ۵۶۰ توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم بر اساس مقدار پروتئین آنزیمی لازم برای القاء ۵۰ درصد ممانعت از احیاء NBT در مقایسه با نمونه‌های شاهد بدون عصاره آنزیمی محاسبه شده و به صورت  $\text{Unit mg}^{-1}$  protein بیان گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) مطابق روش Simon و همکاران (۲۶) و بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) در nm ۲۴۰ مورد اندازه گیری قرار گرفت. عصاره آنزیمی پس از پودر شدن نمونه‌ها در ازت مایع، در بافر فسفات با غلظت mM ۵۰ و pH=۷ استخراج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در g ۱۰۰۰۰

تا ۲ میلی مول بر لیتر می تواند شاخص‌های آلودگی قارچی و تخریب میوه‌ها را کاهش دهد (۳). البته پاسخ میوه‌های مختلف به سرما در طول انبارداری به عوامل مختلفی از قبیل زمینه‌های ژنتیکی و دمای دوره انبارمانی بستگی دارد (۹).

در سال‌های اخیر نقش دو عنصر کم مصرف سلنیم و سیلیکون نیز در انبارمانی مورد توجه قرار گرفته است. این دو عنصر از یک طرف باعث تحریک رشد در اغلب گیاهان شده و از طرف دیگر باعث افزایش مقاومت بافت‌های گیاهی در برابر انواع تنش‌های محیطی می شوند. عنصر سیلیکون نقش بسزایی در مقاومت میوه‌ها به آلودگی قارچی ایفاء می‌کند. اولین بار Bi و همکاران (۴) کاهش آلودگی قارچی در Cucumismelo را در طی دوره انبارمانی نشان دادند. افزایش مقاومت به قارچ توسط سیلیکون احتمالاً بخاطر تحریک فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) توسط این عنصر می باشد (۱۳). نقش سلنیم در تخفیف تنش‌های محیطی از قبیل شوری، خشکی و سرما از طریق افزایش توان سیستم آنتی اکسیدانت و فعالیت آنزیم‌هایی از قبیل سوپراکسید دیس موتاز و پراکسیداز در گیاهان مختلف به خوبی نشان داده شده است (۲۷،۱).

درباره اثر سیلیکون در انبارمانی تحقیقات کمی انجام گرفته است (۳۰). در نتیجه سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اثر این عنصر در افزایش طول دوره انبارمانی ناشناخته مانده است. تلاش‌هایی برای افزایش طول دوره انبارمانی آلو از طریق کاربرد مواد شیمیایی مختلف از قبیل ۱-متیل سیکلوپروپن (1-Methylcyclopropene) انجام گرفته است (۲۲). از آنجایی که درباره اثر سیلیکون در انبارمانی گونه‌های جنس Prunus تحقیقی انجام نگرفته است، برای اولین بار در این تحقیق، از سیلیکون برای افزایش طول دوره انبارمانی آلو استفاده شد. بنابراین در تحقیق حاضر تلاش می‌شود تا اثر تیمار سیلیکون بر تحمل سرما از طریق تغییر در مقدار فنل‌ها، ظرفیت آنتی اکسیدانی، مقدار مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های SOD و CAT در طی دوره انبارمانی بررسی شود تا بتوان در کنار شناخت مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تحمل سرما، میوه‌هایی را که در پاسخ به تیمار سیلیکون شاخص خرابی آنها کاهش می یابد را شناسایی و در انبارداری مد نظر قرار داد.

## روش کار

### برداشت و اعمال تیمار

میوه‌های رقم شابلون که از نظر رسیدگی، رنگ، اندازه و شکل ظاهری یکنواخت بودند، از یک باغ آلو در نزدیکی شهرستان میان‌دوآب در دهه آخر مردادماه ۱۳۹۱ برداشت شدند و بلافاصله پس از برداشت در دو گروه آزمایشی (هر گروه به تعداد ۴۰ عدد

۱۰ گرم میوه در ۱۰۰ میلی لیتر متانول با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت ۸ ساعت در دمای آزمایشگاه استخراج شد. مقدار ۲۵۰ میکرولیتر از غلظت‌های مختلف عصاره (رقیق شده بین ۰/۱ تا ۲ میلی گرم در میلی لیتر) با ۴۵۰ میکرولیتر بافر تریس-اسید کلریدریک (pH=۷/۴) و یک میلی لیتر محلول متانولی دی فنیل پیکریل هیدرازین (۰/۱ میلی مولار) مخلوط شد. نمونه‌های شاهد بجای عصاره، متانول دریافت کردند. پس از گذشت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه در تاریکی، جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر اندازه گیری شد و فعالیت آنتی اکسیدانتهی عصاره‌ها بر اساس درصد مهار رادیکال‌های دی فنیل پیکریل هیدرازین با رابطه زیر به دست آمد (۱۹):

$$\text{جذب شاهد} / (\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}) \times 100 = \text{درصد مهار (I\%)}$$

#### سنجش فنل کل در عصاره میوه

از آنجایی که بیشترین ترکیبات فنلی گیاهان از نوع پلی فنل‌ها می باشد (۱۸)، از روش معرف فنلی فولین-سیوکالتوبرای سنجش فنل کل استفاده شد. برای این منظور ۵ گرم میوه پس از پودر شدن توسط هاون در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده شد و با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف گردید. مقدار ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین با ۲۵ میکرولیتر عصاره و ۵۰۰ میکرولیتر محلول آبی کربنات سدیم ۲۰ درصد مخلوط شد. نمونه‌های شاهد فاقد عصاره بودند. پس از قرار دادن نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه به مدت ۳۰ دقیقه جذب آنها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار فنل کل بر اساس منحنی استاندارد اسیدگالیک (GAE) به دست آمد. برای هر عصاره این سنجش ۴ بار تکرار شد و میانگین فنل کل موجود در عصاره تیمارها به صورت میلی گرم اسید گالیک در گرم عصاره بیان شد (۲۱).

آزمایش‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی طرح ریزی و به اجرا در آمد. هر تیمار دارای ۴ تکرار مستقل بود. میانگین و انحراف ( داده ها و هم چنین رسم نمودارها بوسیله نرم افزار

سانتریفوژ گردید. برای سنجش فعالیت آنزیم مقدار مناسبی از عصاره به محلول واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ mM (pH=۷) و ۱۰ mM از  $H_2O_2$  افزوده شده و تغییرات جذب به مدت دو دقیقه توسط اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت فعالیت آنزیم بر اساس ضریب خاموشی  $H_2O_2$  ( $mm^{-1} \mu M$   $H_2O_2 \text{ mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ ) بر حسب  $cm^{-1} (0.41)$  محاسبه گردید.

سنجش مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به عنوان معیاری برای بررسی میزان پراکسیداسیون لیپیدها بر اساس روش Boominathan و Doran (۵) صورت گرفت. عصاره میوه در محلول ۰/۱٪ (w/v) تری کلرواستیک اسید (TCA) استخراج شده و به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ گردید. نسبت ۱ به ۴ از روشناور با محلول ۲۰٪ از TCA حاوی ۰/۵٪ تیوباربیتوریک اسید در لوله آزمایش با هم مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس لوله‌ها سریعاً در یخ سرد شده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ شدند. همزمان با عصاره‌های انگور محلول‌های استاندارد در محدوده صفر تا ۱۰۰ نانومول از ۱،۳،۳۱،۱- تترا اتوکسی پروپان تهیه شده و جذب نمونه‌ها در ۵۳۲ nm توسط اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت مقدار MDA نمونه‌ها بر حسب واحد  $nmol g^{-1} FW$  محاسبه شد.

#### سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز

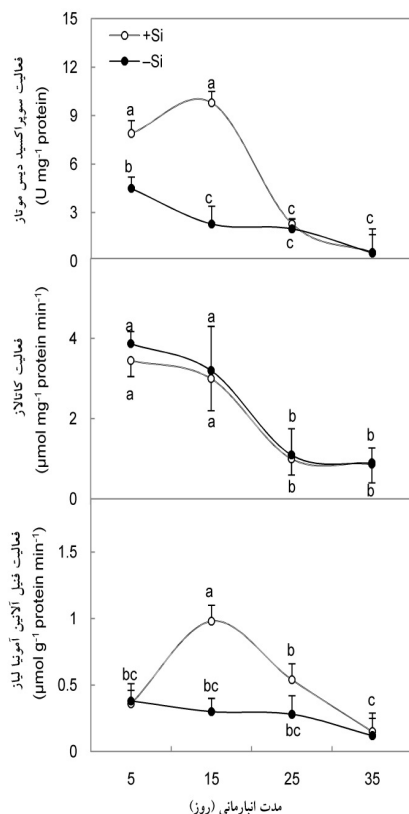
فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) مطابق روش Zucker (۳۴) در عصاره میوه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. ابتدا عصاره آنزیمی در بافر ۵۰ mM بافر سدیم فسفات با pH=۷/۸ و حاوی اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) با غلظت ۲ mM، ۱۸ mM مرکاپتواتانول و ۰/۱ درصد تریتون X-۱۰۰ استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰g سانتریفوژ شده و روشناور برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل ۵۰ mM بافر سدیم پورات (pH=۸/۸) و ۵ L-فنیل آلانین اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه به منظور انجام واکنش قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در ۲۹۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم بر اساس مقدار پروتئین آنزیمی لازم برای تولید یک نانومول سینامیک اسید محاسبه شد.

سنجش مهار رادیکال‌های دی فنیل پیکریل هیدرازین توسط

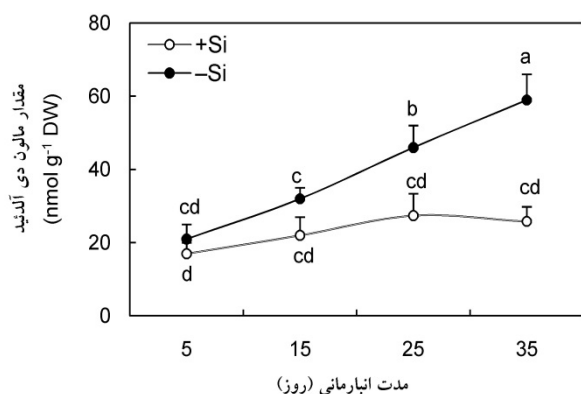
#### عصاره میوه

برای سنجش فعالیت آنتی اکسیدانتهی عصاره به روش مهار ۲، ۲-دی فنیل-۱- پیکریل هیدرازین (DPPH)، ابتدا عصاره

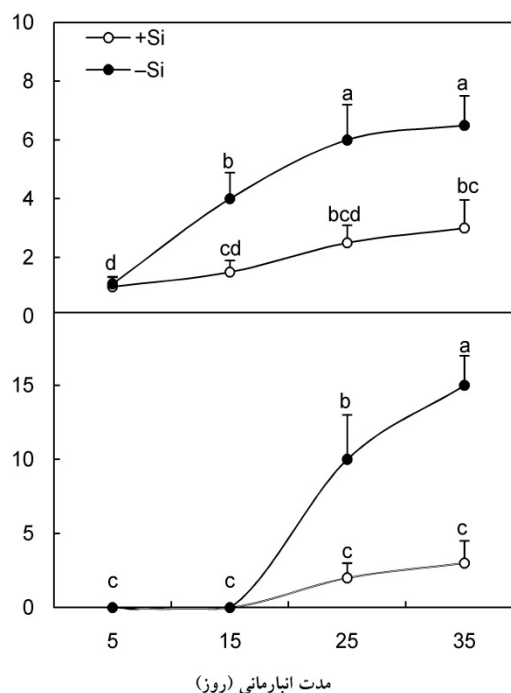
سیلیکون توانست تا روز ۲۵ از افت وزن میوه‌ها جلوگیری کند. با افزایش مدت زمان انبارمانی، یک افزایش در شاخص درصد خرابی میوه‌ها (تا ۱۵ درصد) در نمونه‌های که سیلیکون دریافت نکرده بودند، قابل مشاهده بود. ولی تیمار سیلیکون باعث توقف خرابی میوه‌ها در اثر سرما و گذشت زمان انبارمانی شد.



شکل ۲- اثر کاربرد سیلیکون بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و فنیل آلانین آمونیا لیاز در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین‌ها که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0.05$ ).



شکل ۳- اثر کاربرد سیلیکون بر مقدار مالون دی آلدئید در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین‌ها که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0.05$ ).



شکل ۱- اثر کاربرد سیلیکون بر درصد کاهش وزن میوه‌ها و درصد خرابی آنها در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین‌ها که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0.05$ ).

نگهداری بلند مدت (۲۵ تا ۳۵ روز) میوه‌های آلو در دمای ۴ درجه سانتی گراد منجر به افت معنی دار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز نسبت به روز ۵ و ۱۵ شد (شکل ۲). پس از گذشت ۵ و ۱۵ روز از انبارمانی، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار سیلیکون نسبت به تیمار فاقد سیلیکون یک افزایش معنی‌دار نشان داد. هر چند فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تاثیر اعمال سیلیکون قرار نگرفت. با افزایش طول دوره سرما مقدار مالون دی آلدئید افزایش یافت ولی در تیمار دارای سیلیکون، این عنصر توانست جلوی افزایش این متابولیت را بگیرد (شکل ۳).

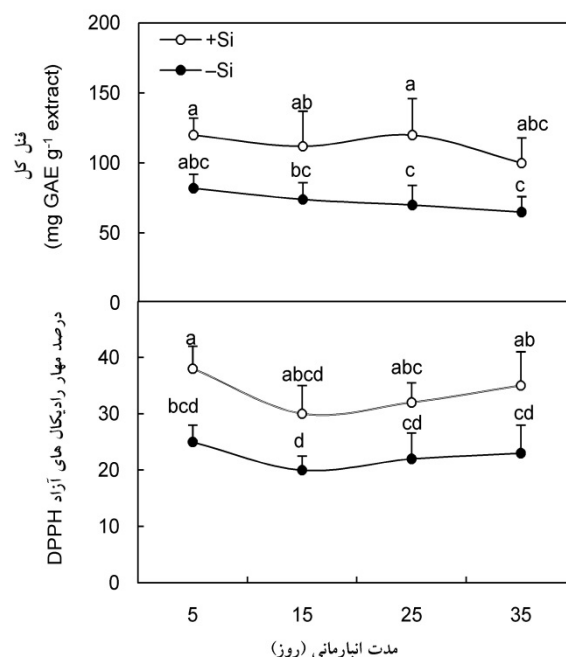
نقش موثر سیلیکون در کاستن از آلودگی میکروبی میوه ها بود. این یافته با یافته های Epstein و همکاران (۱۰) و یافته های Cooke و Lishman (۷) در تطابق است. آنها نشان دادند که رسوب سیلیکون بین غشاء و دیواره سلول های گیاهی باعث استحکام آنها در برابر حمله های میکروبی می شود. بر اساس نتایج Tesfay و همکاران (۳۰) سیلیکون موجود در محلول سیلیکون پیش تیمار به راحتی از طریق مزوکارپ میوه جذب می شود و با رسوب بین غشاء و دیواره باعث افزایش تمامیت غشاء شده و از خروج محتویات سلول ها در شرایط تنش سرما ممانعت می کند.

نتایج ما نشان داد که سیلیکون در شرایط تنش باعث افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز می شود ولی بر فعالیت کاتالاز بی اثر است. این نتایج با یافته های Zhu و همکاران (۳۳) در تطابق است. آنها نشان دادند که اعمال سیلیکون در شرایط تنش باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در خیار می شود ولی بر فعالیت کاتالاز بی اثر است. هم چنین در پژوهش اخیر ما (۱۴) نیز کاربرد سیلیکون در شرایط خشکی باعث افزایش معنی دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه پسته شد. در این تحقیق سیلیکون از طریق افزایش توان سیستم آنتی اکسیدانت به ویژه سوپراکسید دیسموتاز در نمونه های دارای سیلیکون باعث حذف رادیکال های آزاد حاصل از تنش سرما و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و مقدار مالون دی آلدئید نسبت به میوه های تیمار نشده با سیلیکون شد. این امر با اندازه گیری مقدار مالون دی آلدئید که شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء محسوب می شود، به خوبی نشان داده شد (شکل ۳). کاهش شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء یعنی مقدار مالون دی آلدئید در شرایط تنش توسط Shen و همکاران (۲۵) نیز گزارش شده است.

ترکیبات فنلی در سیستم آنتی اکسیدانتیو گیاهان دخیل هستند. این ترکیبات فیتوشیمیایی با تغییر در بیان ژن ها و فعالیت پروتئین ها بر فعالیت آنزیم های سیستم آنتی اکسیدانتیو اثرگذار هستند (۳۲). نتایج این تحقیق نشان داد که سیلیکون در افزایش غلظت فنل ها دخیل است. این یافته با یافته های Tesfay و همکاران (۳۱،۳۰) که افزایش غلظت فنل ها را تحت تاثیر سیلیکون در میوه های اوکادو در طی دوره انبارمانی نشان داده بودند در انطباق است. افزایش ترکیبات فنلی علاوه بر افزایش فعالیت آنتی اکسیدانت میوه ها (۲۸،۱۷) که باعث افزایش کیفیت آن می شود، در بهبود پاسخ های سلول ها در برابر آلودگی های میکروبی نیز نقش دارد (۳۰).

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز نقش مهمی در بیوسنتز مواد

پس از ۱۵ و ۲۵ روز از اعمال سیلیکون، آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در میوه های تیمار شده با سیلیکون بیشترین فعالیت را نشان داد (شکل ۲). ولی با افزایش مدت زمان انبارمانی فعالیت این آنزیم نیز در همه تیمارها افت کرد.



شکل ۴- اثر سیلیکون بر مقدار فنل کل و درصد مهار رادیکال های آزاد دی فنیل پیکریل هیدرازین (DPPH) در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین ها که با حروف متفاوت نشان داده شده اند معنی دار می باشد ( $p < 0.05$ ).

مهار رادیکال های آزاد دی فنیل پیکریل هیدرازین به عنوان معیاری برای فعالیت و ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره میوه محسوب می شود. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش درصد مهار رادیکال های آزاد دی فنیل پیکریل هیدرازین از طریق افزایش میزان فنل ها انجام گرفته است و تا روز ۳۵ انبارمانی نیز حفظ شده است (شکل ۴).

## بحث

اثر سیلیکون در جلوگیری از افت وزن میوه ها احتمالاً به خاطر حفظ ذخیره آب میوه هاست. سیلیکون با رسوب در دیواره سلول ها از تبخیر و تعرق آب جلوگیری می کند و باعث حفظ تمامیت ساختاری غشاء و دیواره سلول ها می شود. افزایش حفظ آب از طریق حفظ تمامیت ساختاری غشاء و دیواره سلول ها توسط سیلیکون در طی تنش ها توسط Gong و همکاران (۱۲) و هم چنین Sonobe و همکاران (۲۷) به خوبی نشان داده شده است. اثر سیلیکون در کاهش شاخص درصد خرابی میوه ها به علت

شیمیایی دفاعی مسیر فنیل پروپانوئیدی دارد. افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاژ در این تحقیق با افزایش مقدار فنلها که در سیستم دفاعی میوهها موثرند، مرتبط می باشد. به عبارت دیگر افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاژ با افزایش ترکیبات فنلی و تحریک سیستم دفاعی میوهها باعث کاهش خرابی میوهها در تیمار سیلیکون شد (۱۶ و ۲۴).

### نتیجه گیری

این تحقیق مشخص کرد که سیلیکون حداقل از دو طریق باعث حفظ کیفیت میوهها شده و از خرابی آنها کاسته است: (الف) سیلیکون از طریق افزایش توان سیستم آنتی اکسیدانت به ویژه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نمونه های دارای سیلیکون باعث حذف رادیکال های آزاد حاصل از تنش سرما و در نتیجه کاهش مقدار مالون دی آلدئید و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء نسبت به میوه های تیمار نشده با سیلیکون شد، (ب) افزایش فنلها از طریق فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاژ در میوه های تیمار شده با سیلیکون منجر به افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانت عصاره میوه و در نتیجه افزایش کیفیت و ارزش غذایی میوهها گردید. تاکنون گزارشی درباره اثرات مضر سیلیکون بر سلامتی انسان ارایه نشده است و از آنجایی که کاربرد این عنصر از نظر اقتصادی به صرفه تر و ارزان تر می باشد و علاوه بر افزایش طول دوره انبارمانی باعث افزایش کیفیت میوهها از طریق افزایش غلظت فنلها می گردد، توصیه می شود در کنار کاربرد مواد معمول مثل اسید سالیسیلیک، سیلیکون نیز برای افزایش طول دوره انبارمانی مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

1. Ahmed M, Hassen F, Khurshid Y. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agric Water Manage*, 2011. 98 (12): p. 1808-1812.
2. Apel K, Hirt H. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. ***Ann Rev Plant Biol*, 2004.55 (1): p. 373-399.**
3. Asghari M, Aghdam MS. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends Food Sci Technol*, 2010. 21 (10): p. 502-509.
4. Bi Y, Tian SP, Guo YR, Ge YH, Qin GZ. Sodium silicate reduces postharvest decay on Hamamelons: induced resistance and fungistatic effects. *Plant Dis*, 2006. 90 (3): p. 279-283.
5. Boominathan R, Doran PM. Ni induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, *Alnus incana*. *New phytol*, 2002. 156 (24): p. 202-205.
6. Candan AP, Graell J, Larrigaudiere C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums. *Postharvest Biol Technol*, 2008. 47 (1): p. 107-112.
7. Cooke J, Leishman MR. Is plant ecology more siliceous than we realise? *Trends Plant Sci*, 2011; 16 (2): 61-68.
8. Crisosto CH, Garner D, Crisosto GM, Bowerman E. Increasing 'Blackamber' plum (*Prunus salicina* Lindell) consumer acceptance. *Postharvest Biol Technol*, 2004. 34 (2): p. 237-244.
9. Crisosto CH, Crisosto GM, Day KR. Market life update for peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. *Adv Hort Sci*, 2008. 22 (3): p. 201-204.
10. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants. *Ann Appl Biol*, 2009. 155 (10): p. 155-160.
11. Giannopolitis CN, Ries SK. Superoxide dismutase: occurrence in higher plants. *Plant Physiol*, 1977. 59 (2): p. 309-314.
12. Gong H, Zhu X, Chen K, Wang S, Zhang C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Sci*, 2005. 169 (28): p. 313-321.
13. Guo Y, Liu L, Zhao J, Bi Y. Use of silicon oxide and sodium silicate for controlling *Trichothecium roseum* postharvest rot in Chinese cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *Int J Food Sci Technol*, 2007. 42 (2): p. 1012-1018.
14. Habibi G, Hajiboland R. Alleviation of drought stress by silicon supplementation in pistachio (*Pistacia vera* L.) plants. *Folia Hort*, 2013. 25 (1): p. 21-29.
15. Habibi G. Hydrogen Peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Generation, Scavenging and Signaling in Plants. In Ahmad, P., ed., *Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling*. Elsevier, USA, 2014. P. 557-574.
16. Kalt W, Lawand C, Ryan DAJ, MacDonald JE, Donner H, Forney CF. Oxygen radical absorbing capacity, anthocyanin and phenolic content of high bush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during ripening and storage. *J Amer Soc Hort Sci*, 2003. 128 (3): p. 917-923.
17. Kang KW, Oh SJ, Ryu SY, Song GY, Kim BH, Kang JS, Kim SK. Evaluation of the total oxy-radical scavenging capacity of catechins isolated from green tea. *Food Chem*, 2010. 121 (11): p. 1089-1094.
18. Kogure K, Yamauchi I, Tokumura A. Novel antioxidants isolated from plants of the genera *Ferula*, *Inula*, *Prangos* and *Rheum* collected in Uzbekistan. *Phytomed*, 2004. 11 (8): p. 645-651.
19. Lee SK, Mbawambo ZH, Chung HS. Evaluation of the antioxidant potential of natural products. *Comb Chem High Throughput Screen*, 1998. 1 (2): p. 35-46.
20. Manganaris GA, Vicente AR, Crisosto CH, Labavitch JM. Cell wall modifications in chilling-injured plum fruit (*Prunus salicina*). *Postharvest Biol Technol*, 2008. 48 (1): p. 77-83.
21. Mavi A, Terzi Z, Ozgen U. Antioxidant properties of some medicinal plants: *Prangos ferulacea* (Apiaceae), *Sedum sempervivoides* (Crassulaceae), *Malva neglecta* (Malvaceae), *Cruciatatarica* (Rubiaceae), *Rosa pimpinellifolia* (Rosaceae), *Galium verum* subsp. *Verum* (Rubiaceae), *Urtica dioica* (Urticaceae). *Biol Pharmc Bulletin*, 2004. 27 (1): p. 702-705.
22. Minas IS, Crisosto GM, Holcroft D, Vasilakakis M, Crisosto CH. Postharvest handling of plums (*Prunus salicina* Lindl.) at 10°C to save energy and preserve fruit quality using an innovative ap-

- plication system of 1-MCP. *Postharvest BiolTechnol*, 2013. 76 (3): p. 1-9.
23. Mitchell FG, Thompson JF, Crisosto CH, Kasmire RF. The commodity. In: Thompson, J.F., Mitchell, F.G., Rumsey, T.R., Kasmire, R.F. & Crisosto, C.H., *Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers*. University of California Press, CA, USA, 2008. p. 1-7.
  24. Rekika D, Khanizadeh S, Deschênes M, Lévasseur A, Charles MT, Tsao R, Yang R. Antioxidant capacity and phenolic content of selected strawberry genotypes. *HortSci*, 2005. 40 (6): p. 1777-1781.
  25. Shen X, Zhou Y, Duan L, Li Z, Eneji AE, Li J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *J Plant Physiol*, 2010. 167 (5): p. 1248-1252.
  26. Simon LM, Fatrai Z, Jonas DE, Matkovic B. Study of peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus vulgaris*. *BiochPhysiolPflanzen*, 1974. 166 (17): p. 387-392.
  27. Sonobe K, Hattori T, An P, Tsuji W, Eneji AE, Kobayashi S, Kawamura Y, Tanaka K, Inanaga S. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *J Plant Nutr*, 2011. 34 (1): p. 71-82.
  28. Sun B, Spranger I, Yang J, Leandro C, Guo L, Canario S, Zhao Y, Wu C. Red wine phenolics complexes and their in vitro antioxidant activity. *J Agric Food Chem*, 2009. 57 (18): p. 8623-8627.
  29. Tao L, Hong F, Xin S, Lin DQ, Fan Z, Guo LH, Hui LH. The alternative pathway in cucumber seedlings under low temperature stress was enhanced by salicylic acid. *Plant Growth Regul*, 2010. 60(1): p. 35-42.
  30. Tesfay SZ, Bertling I, Bower JP. Effects of postharvest potassium silicate application on phenolics and other antioxidant systems aligned to avocado fruit quality. *Postharvest BiolTechnol*, 2011. 60 (2): p. 92-99.
  31. Tesfay SZ, Bertling I, Bower JP. Levels of antioxidants in various tissues during maturation of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). *J HortSci Biotech*, 2010. 85 (2): p. 106-112.
  32. Vatter DA, Ghaedian R, Shetty K. Review article: enhancing health benefits of berries through phenolic antioxidant enrichment: focus on cranberry. *AsiaPacific J ClinNutr*, 2005. 14 (2): p. 120-130.
  33. Zhu Z, Wei G, Li J, Qian Q, Yu J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci*, 2004. 167 (7): p. 527-533.
  34. Zucker M. Induction of phenylalanine deaminase by light, its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. *Physiologia Plantarum*, 1965. 40 (1): p. 779-784.