

## تأثیر نانوذرات سبز سیلیس و نقره، اپی‌براسینولید و متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم‌های دفاعی و ماندگاری سیب رقم فوجی

سارا جلوداریان<sup>۱</sup>، وحید عبدوسی<sup>۲</sup>، وحید زرین نیا<sup>۳\*</sup>، علیرضا طلایی<sup>۴</sup> و کامبیز لاریجانی<sup>۵</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۱)

### چکیده

نانو پوشش‌های سبز و هورمون‌های گیاهی می‌توانند ضمن حفظ ترکیبات مفید و کاهش ضایعات محصولات باغی باعث بهبود عملکرد چرخه تولید و مصرف در فرآیند پس از برداشت شوند. در این راستا، اثرات دو نانوذره زیست سازگار سیلیس و نقره با غلظت‌های (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام) و (۱۰، ۳۰ و ۵۰ پی‌پی‌ام)، اپی‌براسینولید (۴، ۷ و ۱۰ میکرومول در لیتر) و متیل جاسمونات (۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ میکرومول در لیتر) بر کیفیت نگهداری میوه سیب فوجی به مدت چهار ماه بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گردید. نانوسیلیس سبز از خاکستر سبوس برنج و نانونقره سبز از عصاره آبی پوست پرتقال تولید گردید. در مقایسه با میوه‌های شاهد، نانوذرات به طور مؤثری کاهش وزن را در طول دوره نگهداری به تأخیر انداختند. افزایش مواد جامد محلول و کاهش اسیدیت کل با تیمار نانوذرات نقره و متیل جاسمونات مهار شد. میزان فنل کل در میوه‌های سیب تیمار شده با نانوپوشش‌ها، بسیار بیشتر از شاهد بود. در میوه‌های تیمار شده، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز بالا بود، به ویژه اپی‌براسینولید و متیل جاسمونات تأثیر قابل توجهی بر فعالیت پراکسیداز داشتند. درصد پوسیدگی سیب‌ها در طول زمان نگهداری، افزایش یافت اما این افزایش در نمونه‌های تیمار شده با نانونقره به طور چشمگیری پائین‌تر از نمونه‌های شاهد بود. در مجموع نانوذرات سبز سیلیس، نقره و همچنین هورمون‌های اپی‌براسینولید و متیل جاسمونات در حفظ کیفیت و افزایش عمر پس از برداشت میوه سیب فوجی موثر بود.

**کلمات کلیدی:** آنتی‌اکسیدان، پس از برداشت، فیتوهورمون، کیفیت، نانوپوشش

۱- دانشجوی سابق دکتری علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۵- استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\* پست الکترونیک: zarrinnia.v@gmail.com

## مقدمه

ثمربخش در جهت افزایش عمر نگهداری مواد غذایی پیش روی بشر قرار داده است (واعظی‌هریس و همکاران، ۱۳۹۹). تولید نانوذرات به روش‌های فیزیکی و شیمیایی، مستلزم استفاده از تجهیزات پیشرفته و مواد خطرناک است که تأثیر منفی نیز بر محیط زیست دارد. بنابراین در دهه اخیر، فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه نانوتکنولوژی به سمت سنتز سبز سازگار با محیط زیست و صرفه اقتصادی در صنایع مختلف سوق داده شده است. سنتز سبز، به‌عنوان بخشی از پروتکل‌های الهام گرفته شده از طبیعت، روش‌های قابل اعتماد و پایداری را برای بیوسنتز نانوذرات توسط طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها به جای فرآیندهای مصنوعی فعلی ارائه می‌دهد (بحرالعلوم<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). سیستم‌های سبز تولید نانوذرات، دارای حداقل خطرات زیست محیطی و سمی بوده که روش‌های تولید ساده و کم‌هزینه با عملکرد بالا دارند (سوتو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). پرکاربردترین روش برای استعمال نانوذرات، روش غوطه‌وری است. به این صورت که میوه‌ها را در محلول پوششی، غوطه‌ور کرده تا لایه‌ای نازک روی سطح آنها تشکیل شود و سپس آن را در دمای سرد یا دمای محیط نگهداری می‌کنند (اودی‌تایو<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۲).

نانوسیلیس به‌دلیل کاربردهای بسیار گسترده یکی از محصولات استراتژیک در صنایع مختلف به حساب می‌آید (کارانده<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). از نانوذرات سیلیس به‌عنوان محرک رشد، الیستور گیاهی و افزایش‌دهنده ماندگاری استفاده شده است (آئیناریانان<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ صدیق و الوهبی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۴؛ یو<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). تحقیقات پیشین، پوشش نانودی‌اکسید سیلیکون را در جهت کاهش قهوه‌ای شدن میوه‌های طالبی تازه، عناب، پاپایا، لونگان و سیب ثابت کردند (سامی<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۱؛ کو<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ تاپیا<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ شی<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ روجاس-گرو<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر این، نانوذرات نقره در مقایسه با دیگر نانوذرات، فعالیت ضد میکروبی قویتری دارند. این ذرات دارای نسبت

سیب با نام علمی *Malus domestica* Borkh. از خانواده رزاسه و یکی از مهم‌ترین میوه‌های مناطق معتدله و سردسیری است (دهقانی‌پوده و همکاران، ۱۳۹۸). سیب یکی از رایج‌ترین میوه‌های مصرفی در سراسر جهان است که منبع غنی از فیتوکمیکال‌ها می‌باشد و فواید فراوانی برای سلامتی دارد (جلوداریان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵) بر اساس آخرین آمار سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد (فائو) در سال ۲۰۱۷ ایران با تولید سالانه ۲,۰۹۶,۷۴۹ میلیون تن در رتبه ششم تولید سیب در دنیا قرار داشت. سیب‌ها، طی دوره پس از برداشت در معرض ضایعات کمی و کیفی می‌باشند، زیرا نسبتاً فاسد شدنی هستند. شناسایی و پیش‌بینی کامل کیفیت میوه نه ممکن است و نه ضروری اما اگر صنعت تولید سیب بتواند این میوه را از لحاظ برخی ویژگی‌های کیفی پس از برداشت، پیش‌بینی و طبقه‌بندی کند سودده خواهد بود (تاناکا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). "فوجی" به‌دلیل ویژگی‌های برتر، یکی از محبوب‌ترین گونه‌های سیب محسوب می‌شود. این رقم در کشور ایران، تقریباً از ارقام جدید به شمار می‌آید که به جهت عملکرد و کیفیت عالی، مورد توجه قرار گرفته است (بابالار و همکاران، ۱۳۹۴). اگرچه سیب فوجی بسیار حساس به قهوه‌ای شدن داخلی پس از نگهداری طولانی مدت می‌باشد (تاناکا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). گیاهان برای مقابله با آسیب‌های اکسیداتیو که بر اثر فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد می‌شود، دارای یک مکانیسم دفاعی با عملکرد بالا هستند که شامل انواع آنزیم‌ها مانند کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و دیگر آنزیم‌ها می‌باشد (بلوخینا<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). سوپراکسیددیسموتاز می‌تواند رادیکال سوپراکسید را به اکسیژن و پراکسید هیدروژن تبدیل کند و کاتالاز یا پراکسیداز می‌توانند پراکسید هیدروژن را حذف کنند. عملکرد متحد این آنزیم‌ها می‌تواند آسیب غشای سیتوپلاسمی را کاهش دهد (ایسامه<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۰). نانوفناوری در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، راه‌حلی

10. Athinarayanan  
11. Siddiqui and Al-Wahaibi  
12. Yu  
13. Sami  
14. Kou  
15. Tapia  
16. Shi  
17. Rojas-Grati

1. Jelodarian  
2. Tanaka  
3. Tanaka  
4. Blokhina  
5. Isamah  
6. Bahrulolum  
7. Soto  
8. Odetayo  
9. Karande

و متیل‌جاسمونات در افزایش زمان ماندگاری میوه سیب فوجی (۲) بررسی عملکرد آنزیم‌های دفاعی و خواص کیفی میوه.

### مواد و روش‌ها

میوه‌های تازه سیب رقم فوجی، ۱۷۰ روز پس از شکوفایی تمام‌گل‌ها از باغات تجاری منطقه دماوند (استان تهران) در سال ۱۳۹۸ برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران منتقل شد. میوه‌ها از نظر شکل، اندازه و یکنواختی رنگ انتخاب شده و نمونه‌های عاری از آفت، لک و آسیب مکانیکی، گزینش شدند. در مرحله بعد، تعداد ۲۷۳ میوه به‌طور تصادفی انتخاب و به مدت ۲ دقیقه با آب مقطر شسته شدند و در هوا خشک شدند. سپس در غلظت‌های مختلف تیمارها شامل نانوسیلیس سبز (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام)، نانونقره سبز (۱۰، ۳۰ و ۵۰ پی‌پی‌ام)، اپی‌براسینولید (۴، ۷ و ۱۰ میکرومول در لیتر)، متیل‌جاسمونات (۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ میکرومول در لیتر) و شاهد (شسته شده با آب مقطر) غوطه‌ور شدند. در نهایت، سیب‌ها داخل سبدهای میوه پلاستیکی (فانتزی) کوچک قرار گرفتند و در شرایط محیطی (دمای اتاق) به مدت چهار ماه نگهداری شدند. اندازه‌گیری‌های آنزیمی و کیفی در پایان هر چهار ماه انجام شد. تمام تیمارها در سه تکرار و هفت میوه انجام شد.

### آماده‌سازی تیمارها

#### نانو ذرات سیلیس

نانوسیلیس مورد نیاز از منبع گیاهی سبوس برنج گونه هاشمی طبق روش پیشنهادی سانکار<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۶) با برخی تغییرات، به عنوان یک فرآیند دوستدار محیط زیست به دست آمد. به‌طور خلاصه، برای حذف مواد محلول، گردوغبار و سایر آلاینده‌ها، سبوس برنج خام با آب مقطر چندین بار شسته شد و به مدت ۴ ساعت تحت دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد. دودم گرم خاکستر سبوس برنج با ۲۰۰۰ میلی‌لیتر کلریدریک اسید ۱ نرمال در دمای اتاق به مدت ۴ ساعت هم زده شد و تحت عملیات رفلکس قرار گرفته شد و اجازه داده شد تا یک‌شب در آون معمولی بماند تا یون‌های فلزی از خاکستر سبوس برنج جدا

سطح به حجم بالایی هستند (استنسبرگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). تحقیقات نشان داد که استفاده از بسته‌بندی نانونقره، ماندگاری محصولات آجیلی را افزایش داد (توکلی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین این نانوذره تأثیر مثبتی بر کیفیت فیزیولوژیکی توت‌فرنگی داشت (امامی‌فر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰).

علاوه بر نانوذرات، به نظر می‌رسد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سازگاری با محیط و کنترل واکنش‌های دفاعی گیاهان دخیل هستند. از میان آنها براسینواستروئیدها هورمون‌هایی هستند که عملکرد استروئیدی چشمگیری دارند و در بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی به‌ویژه افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی و زیستی مؤثرند (لی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). تحقیقات اخیر نشان داده است که براسینواستروئیدها در رسیدن میوه‌ها نقش دارند و مقاومت به تنش پس از برداشت را افزایش می‌دهند. برخی از محققان اثرات براسینواستروئیدها را بر روی نگهداری و کیفیت پس از برداشت محصولات باغبانی ثابت کرده‌اند (گائو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). یکی دیگر از هورمون‌های حیاتی، متیل‌جاسمونات است که جزء تنظیم‌کننده‌های طبیعی رشد گیاهان محسوب می‌شود. متیل‌جاسمونات، فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌هایی همچون آسکوربات‌پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، گلووتاتیون‌پراکسیداز و گایاکول‌پراکسیداز را افزایش می‌دهند (مودستی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). گزارش‌های بسیاری، اثرات تیمار متیل‌جاسمونات را بر تغییرات فیزیکی کیفیت میوه و محتوای فنلی آن نشان داده‌اند (ساودرا<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).

یکی از مهمترین راهکارهای موجود در کاهش ضایعات میوه‌ها، کاربرد تیمارهای شیمیایی در دوره پس از برداشت محصول می‌باشد و از آنجا که اطلاعات منتشر شده کافی در مورد اثرات تیمارهای ذکر شده در میوه سیب، به‌ویژه تحت شرایط نگهداری در دمای محیطی وجود ندارد، این پژوهش بر آن است تا با بکارگیری نگهدارنده‌های طبیعی و گیاهی به ارزیابی اثرات آنها بپردازد. با توجه به اهمیت افزایش زمان نگهداری سیب، هدف این مطالعه عبارت بود از (۱) ارزیابی پتانسیل نانوسیلیس، نانونقره، اپی‌براسینولید

5. Gao  
6. Modesti  
7. Saavedra  
8. Sankar

1. Stensberg  
2. Tavakoli  
3. Emamifar  
4. Li

جاسمونات نیز با غلظت ۰/۲ میلی‌مول در لیتر در اتانول ۹۵٪ حل و با آب مقطر اتوکلاو شده به حجم دو لیتر رسانیده شد. سپس رقیق‌سازی در سه غلظت مورد نظر، صورت گرفت نهایتاً نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه در غلظت‌های مختلف این دو هورمون، غوطه‌ور گردیدند.

#### ارزیابی صفات کیفی

برای ارزیابی میزان کاهش وزن، هفت میوه از هر تیمار که پس از توزین در داخل سبدهای پلاستیکی قرار داده شده بودند، مجدداً در پایان هر ماه توزین شدند. کاهش وزن در طول نگهداری، نسبت به وزن اولیه قبل از نگهداری، طبق رابطه ذکر شده و به صورت درصد برآورد و تعیین گردید (کوئین<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷).

$$\text{وزن ثانویه - وزن اولیه} \times 100 = \frac{\text{وزن ثانویه}}{\text{وزن ثانویه}} (\%) \text{درصد کاهش وزن}$$

مواد جامد محلول (SSC) آب سیب با استفاده از یک رفاکتومتر دیجیتالی (Atago Co. Ltd., Japan) تعیین شد و در مقیاس درجه بریکس بیان گردید (باربوسا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). اسیدهای قابل تیتراسیون با استفاده از تیتراسیون آب میوه با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن اسیدیته نمونه به ۸/۱، مقدار سود مصرفی برآورد گردید و مقدار آن به صورت گرم اسید مالیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر بیان شد (سیسه<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

جهت اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل از معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد (مک‌دونالد<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). ۰/۵ میلی‌لیتر از این معرف به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره استخراج شده گیاهی و استانداردهای گالیگ‌اسید اضافه و سپس به مخلوط حاصل، ۴ میلی‌لیتر سدیم کربنات ۱ مولار اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه نگهداری در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. نتایج به صورت میلی‌گرم هم عرض گالیگ‌اسید در گرم وزن خشک گزارش شد.

#### اندازه‌گیری فعالیت‌های آنزیمی

##### کاتالاز

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش چان و تیان<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) با برخی تغییرات انجام شد. ۰/۲ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی خام به ۲/۸ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ میلی

شوند. سپس، خاکستر سبوس برنج به کروزه‌ها منتقل و در ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت در کوره الکتریکی قرار داده شد. در پایان، محصولی به نام پودر سفید نانوسیلیس به دست آمد که پس از رقیق‌سازی در آب دیونیزه، غلظت‌های مورد نظر تهیه شد. آزمون پراش اشعه ایکس، ماهیت نانوذرات سیلیس را نشان داد و ویژگی‌های مورفولوژیکی آنها، توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری تعریف گردید (شکل ۱). نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در نانوذرات سیلیس غوطه‌ور شدند.

#### نانو ذرات نقره

پرتقال تامسون‌ناول از منطقه رامسر استان مازندران تهیه شد. پوست پرتقال‌ها با آب مقطر شستشو شد و در سایه خشک گردید. سپس ۵ گرم از پودر توزین و با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر (دیونیزه) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه داخل حمام آب گرم (بن ماری) قرار گرفت. عصاره به دست آمده به مدت ۱۲ دقیقه با دستگاه سانتریفیوژ صاف گردید و روشن‌ترین آن جهت آزمون‌های بعدی در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. محلول آبی ۰/۰۰۱ مولار نیترات نقره از نمک نیترات نقره با ۹۸ درصد خلوص برای به دست آمدن نانوذرات نقره مورد استفاده قرار گرفت. ۲۰ میلی‌لیتر عصاره به ۸۰ میلی‌لیتر محلول آبی برای احیای یون  $Ag^+$  به ذرات  $Ag^0$  اضافه شد و پس از پوشاندن در کاغذ فویل در انکوباتور به مدت ۵ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. سپس نانوذرات نقره حاصل، رقیق‌سازی و در غلظت‌های مورد نظر تهیه شد. از روش طیف‌سنجی، جهت تعیین ترکیب و ماهیت نانوذرات و از میکروسکوپ الکترونی عبوری جهت تعیین اندازه و شکل آنها استفاده گردید (شکل ۱). نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در نانوذرات نقره غوطه‌ور شدند (فقیهی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷).

#### اپی‌براسینولید و متیل‌جاسمونات

اپی‌براسینولید و متیل‌جاسمونات از شرکت آمریکایی Aldrich Chemical (Milwaukee) تهیه شدند. ابتدا ۰/۰۱ گرم اپی‌براسینولید در مقدار کمی اتانول حل و سپس با آب مقطر اتوکلاو شده به حجم دو لیتر رسانیده شد. سپس رقیق‌سازی در سه غلظت مورد نظر صورت گرفت. متیل

4. Cissé  
5. McDonald  
6. Chan and Tian

1. Faghihi  
2. Qin  
3. Barbosa

### پوسیدگی

در طول ۴ ماه نگهداری میوه‌ها در پایان هرماه نمونه‌ها از منظر درصد پوسیدگی مورد بررسی قرار گرفتند و بدین منظور تعداد ۷ میوه از هر تکرار آزمایش شدند. مطابق روش ارائه شده توسط کیم<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، بروز پوسیدگی با نسبت سطح پوسیدگی به سطح کل سیب تخمین زده شد. چهار سطح شاخص پوسیدگی شامل: ۱- بدون پوسیدگی ۲- پوسیدگی کمتر از ۱/۳، ۳- پوسیدگی بین ۱/۳ و ۲/۳ و ۴- پوسیدگی بیش از ۲/۳ در نظر گرفته شد. درصد پوسیدگی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد پوسیدگی} = \frac{\sum (\text{تعداد} \times \text{سطح پوسیدگی})}{\text{تعداد میوه} \times \text{تعداد سطوح}} \times 100$$

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از انجام تجزیه‌های آماری، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام و پس از اطمینان، تجزیه داده‌ها صورت گرفت. تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۰ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با توجه به آزمون دانکن در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ صورت پذیرفت. نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excell رسم شد.

### نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) برای هریک از شاخص‌ها، اثر ساده زمان نگهداری و تیمار مورد استفاده از لحاظ آماری معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل زمان و تیمار، به جز در مورد پوسیدگی در سایر شاخص‌ها معنی‌دار بود.

### کاهش وزن

طبق شکل ۲، درصد کاهش وزن، طی چهار ماه روند افزایشی داشت و این سیر صعودی در پایان ماه چهارم به بیشترین و بالاترین حد خود رسید. این گراف نشان می‌دهد که کاهش وزن در ماه سوم و چهارم اوج می‌گیرد به طوری که با ماه‌های اولیه نگهداری میوه‌ها قابل قیاس نیست. همچنین شکل ۲ نشان داد که کاهش وزن در میوه‌های تیمار شده با نانو پوشش‌ها کمتر از سایر نمونه‌ها بود. به طور کلی، بیشترین میزان کاهش وزن در نمونه‌های شاهد و کمترین میزان در سیب‌های تیمار شده با نانونقره ۳۰ پی‌پی‌ام و

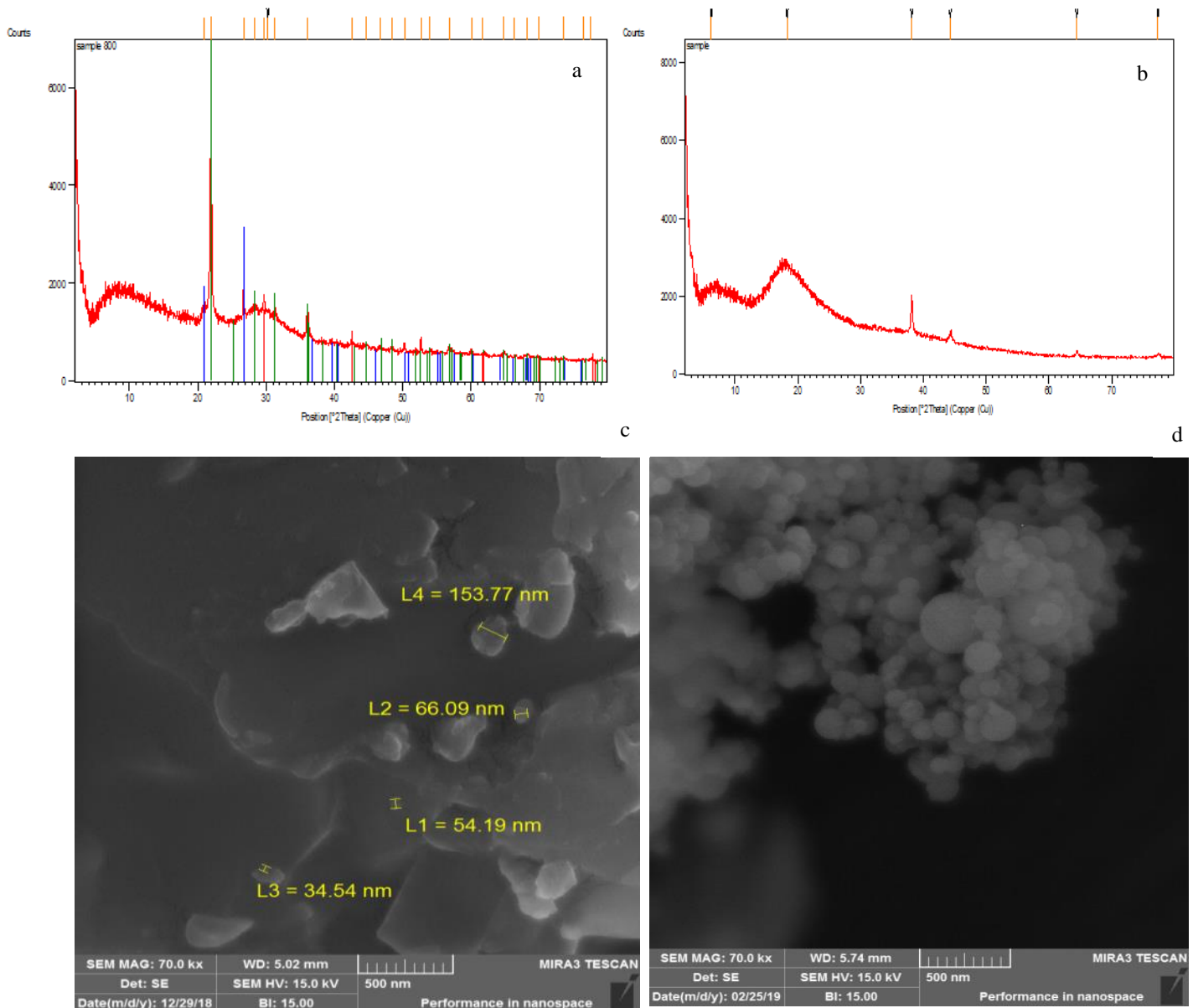
مولار اضافه شد و پس از ۱۰ ثانیه، سرعت جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه، هر ۱ دقیقه یکبار اندازه‌گیری شد، فعالیت آنزیم در ۶۰ ثانیه با افزایش جذب ۰/۰۱ به‌عنوان یک واحد آنزیمی و نتیجه برحسب واحد آنزیمی در گرم وزن تر بیان شد.

### پراکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با تغییرات جزئی بر اساس روش آند و واتسون<sup>۱</sup> (۲۰۰۱)، تعیین شد. به ۰/۲ میلی‌لیتر از آنزیم، ۲/۲ میلی‌لیتر گایاکول ۰/۳٪ در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه اضافه شد و سپس ۰/۶ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۰/۳٪ در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد اضافه گردید. جذب در ۴۷۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه، هر ۱ دقیقه یکبار قرائت شد. فعالیت آنزیم در ۶۰ ثانیه با افزایش جذب ۰/۰۱ به‌عنوان یک واحد آنزیمی محاسبه شد و نتیجه برحسب واحد آنزیمی در گرم وزن تر بیان گردید.

### سوپراکسید دیسموتاز

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، مطابق روش ژائو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹) با تغییرات جزئی، انجام شد. حدود ۲ گرم از بافت میوه از هفت میوه با ۱۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مول (pH=۷/۸) همگن شد و در ۸۰۰۰ گرم به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دستگاه سانتریفیوژ Eppendorf 5417R (Germany) و آنزیم خام سوپراکسید دیسموتاز جمع‌آوری شد. محلول واکنش (۳ میلی‌لیتر) حاوی: ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی، ۵۰ میلی‌مول در لیتر بافر فسفات سدیم با pH=۷/۸، ۱۳ میلی‌مول در لیتر متیونین، ۷۵ میکرومول بر لیتر NBT، ۱۰ میکرومولار EDTA و ۲۰ میکرومولار ریبولوین بود. محلول واکنش به مدت ۲۰ دقیقه در معرض نور فلورسانس قرار گرفت. واکنش با انتقال به شرایط تاریکی متوقف شد و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد. برای سنجش فعالیت این آنزیم علاوه بر کووت‌های نمونه و بلانک از کووت شاهد نیز استفاده شد. جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV-1100, Shanghai Meipuda Instrument Co., Ltd., Shanghai, China) در ۵۶۰ نانومتر ثبت شد. نتیجه برحسب واحد آنزیمی در گرم وزن تر بیان گردید.



شکل ۱- آزمون‌های شناسایی نانوذرات. (a) XRD نانوسیلیس (b) XRD نانونقره (c) SEM نانوسیلیس (d) SEM نانونقره

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات جداگانه و متقابل زمان و تیمارهای مورد استفاده بر برخی شاخص‌های ارزیابی شده

میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	کاهش وزن	مواد جامد محلول	اسیدیته کل	فنل کل	آنزیم کاتالاز	آنزیم پراکسیداز	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	پوسیدگی
اثر زمان	۳	۱۳۲/۰۳۳**	۳۴/۱۰۴**	۷/۸۹۵**	۵۱/۹۲**	۱۷۴/۹۸۰**	۱۰۸/۵۷۴**	۱۸۶/۴۵۶**	۴۱۱۴/۸۵۸**
اثر تیمار	۱۲	۲/۱۸۲**	۴/۷۰۹**	۵/۵۰۸**	۱۲/۷۶۲**	۶/۷۲۰**	۴/۰۹۵۰**	۳/۹۵۱**	۵۲۸/۳۰۱**
اثر زمان*تیمار	۳۶	۰/۲۷۲**	۰/۱۳۹**	۰/۶۸۹**	۰/۷۷۳**	۱/۱۲۴**	۱/۴۳۰**	۰/۳۲۴*	۲۴/۱۲۷ <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی	۱۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۲۶/۱۷۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۰/۷۷	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۲

ns, \*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪.

داشت. این مطلب ثابت می‌کند که میوه‌های سیب تیمار شده با نانوذرات طی چهار ماه نگهداری، افزایش کمتری در مواد جامد محلول داشتند (شکل ۳). بیشترین تغییرات در هنگام رسیدن میوه، مربوط به شکستن پلی‌ساکاریدها می‌باشد که منجر به پیشرفت پیری، تخریب سلولی و افزایش مواد قابل حل می‌شود (سالوکا<sup>۸</sup> و همکاران، ۱۹۷۴). نانوکامپوزیت‌ها خاصیت عدم عبوردهی خوبی دارند و به‌عنوان مانعی در برابر گازهای تنفسی عمل می‌کنند (روبینسون و موریسون<sup>۹</sup>، ۲۰۱۰) و به این صورت باعث کاهش تنفس و عدم مصرف فندها شده و از افزایش مواد جامد محلول طی نگهداری محصول جلوگیری می‌کنند. لیچانپورن<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، الاتفی و فنگ<sup>۱۱</sup> (۲۰۲۲) و سونگ<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶)، گزارش دادند که افزایش مواد جامد محلول در میوه‌های لانگ‌کونگ، انگور و لوکوات تیمار شده با نانوقره و نانوسیلیس نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بود. این نتایج را می‌توان به این صورت توضیح داد که غوطه‌ور شدن در محلول نانوقره با تشکیل یک لایه نیمه تراوا، جو داخلی میوه را تنظیم می‌کند در نتیجه، سرعت تنفس و مقدار مواد جامد محلول، به‌دلیل هیدرولیز کندتر کربوهیدرات‌ها به فندها کاهش می‌یابد. تحقیقات نشان داد که در نمونه‌های شاهد، مقدار مواد جامد محلول به‌دلیل میزان بالاتر تبخیر و تنفس از سطح میوه انگور افزایش یافت (موتلیکا<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

#### اسیددیده کل

به‌طور کلی میزان اسیددیده در طول زمان نگهداری میوه‌ها به دلیل فرآیند تنفس، کاهش می‌یابد. طی این تحقیق، تفاوت معنی‌داری در مقدار اسیددیده کل سیب در میوه‌های تیمار شده (به‌جز با غلظت‌های مختلف نانوسیلیس) و نمونه‌های شاهد طی ۱۲۰ روز نگهداری مشاهده شد. اسیددیده به‌طور قابل‌توجهی در نمونه‌های شاهد کاهش یافت درحالی‌که میوه‌های تیمار شده با نانوقره و متیل جاسمونات و اپی براسینولید، اسیددیده را در بالاترین سطح، حفظ کردند (شکل ۴). این نتایج با یافته‌های چی<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۱۹)؛

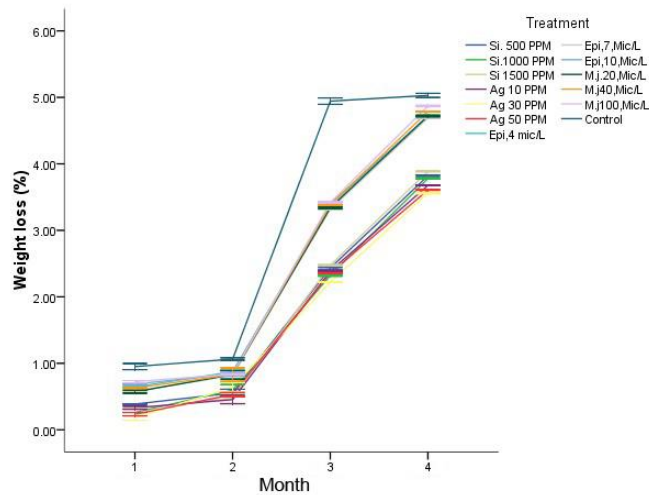
نانوسیلیس ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد که این نتایج به ترتیب با یافته‌های علی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، ژو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۱) و جی‌یونگ‌هونگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۸) بر روی میوه لوکوات تیمار شده با نانوذرات نقره، قطعات تازه بریده سیب فوجی تیمار شده با نانوذرات سیلیس و هلوی تیمار شده با اپی‌براسینولید مطابقت داشت. تحقیق دیگری نشان داد میوه‌های سیب که به مدت دو هفته در شرایط اتاق نگهداری شدند و روزانه ۸ ساعت در معرض میدان مغناطیسی قرار گرفتند کاهش وزن کمتر، خصوصیات کیفی بهتر و ماندگاری بالاتری داشتند (سالتینیک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش وزن، حین نگهداری در اثر تبخیر آب از سطح میوه، تنفس و فعالیت‌های متابولیکی اتفاق می‌افتد (شفیعی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). احتمالاً وجود نانوذرات، مانعی در برابر نفوذ اکسیژن و رطوبت می‌باشد و با تحریک تولید کوتیکول‌ها یا پوشاندن آنها، موجب کاهش شدت تنفس میوه و سبزی‌ها می‌گردد و در نتیجه مانع از کاهش وزن می‌شود. نانوذرات می‌توانند به‌عنوان سدی میان رطوبت میوه و محیط اطراف آن، عمل کنند و مانع از دست دادن آب و در نتیجه کاهش وزن میوه شوند (همام<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در عین حال، مطالعات گاردش<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که حفظ وزن تازه میوه‌های سیب تیمار شده با نانوذرات، افزایش یافته است.

#### مواد جامد محلول

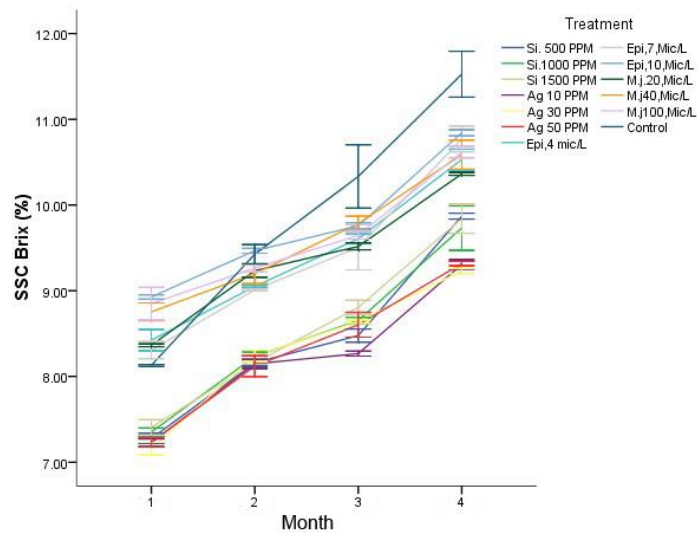
میزان این متغیر به‌دلیل واکنش‌های متابولیکی که شیرینی را در طول ماندگاری افزایش می‌دهد با درجه بلوغ میوه‌ها، مرتبط است. طبق شکل ۳، مقدار مواد جامد محلول به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر مدت زمان نگهداری قرار گرفت که در میوه‌های شاهد تا پایان نگهداری به‌شدت افزایش یافت اما این سیر صعودی در نمونه‌های تیمار شده با شیب ملایم بود. نقطه اوج مقدار این متغیر، مربوط به نمونه‌های شاهد (۸۷/۹۶٪) و اپی‌براسینولید ۱۰ میکرومول در لیتر (۸۳/۸٪) در پایان ماه چهارم مشاهده شد. بین شاهد و نانوذرات تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار مواد جامد محلول، وجود

8. Salunkhe  
9. Robinson and Morrison  
10. Lichanporn  
11. Elatafi and Fang  
12. Song  
13. Motelica  
14. Chi

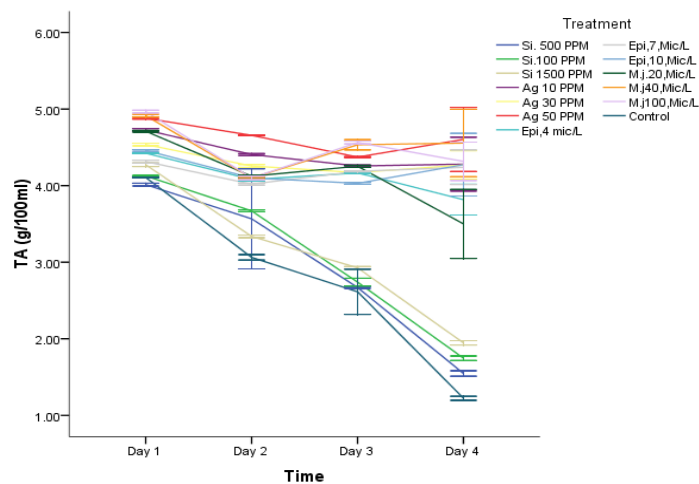
1. Ali  
2. Zhou  
3. Ge YongHong  
4. Saletnik  
5. Shafiee  
6. Hmam  
7. Gardesh



شکل ۲- تأثیر زمان و میانگین غلظت‌های مختلف تیمارها بر درصد کاهش وزن سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۱ انجام شد.



شکل ۳- تأثیر زمان و میانگین غلظت‌های مختلف تیمارها بر میزان مواد جامد محلول سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۱ انجام شد.



شکل ۴- تأثیر زمان و میانگین غلظت‌های مختلف تیمارها بر اسیدهای آلی سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۱ انجام شد.



نانوذرات سیلیس، سلنیوم و نقره همخوانی داشت. در مقابل، گزارش شد که در میوه‌های عناب تحت تأثیر نانو دی‌اکسید سیلیکون، تفاوت معنی‌داری از لحاظ فنل کل بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده وجود نداشت (یو و همکاران، ۲۰۱۲).

یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش ترکیبات فنلی، اکسیداسیون آنزیمی و عملکرد آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز است که این پدیده باعث تجزیه ساختارهای سلولی و کاهش کیفیت میوه می‌شود (دینگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۱۹۹۸) و (ژانگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). احتمالاً، نانوذرات می‌توانند با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و حفظ ثبات غشای سلولی از افزایش فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز در میوه‌های تیمار شده جلوگیری کنند که منجر به حفظ مقادیر بالاتری از فنل کل می‌شود (کاسم<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۲).

### فعالیت آنزیم کاتالاز

کاتالاز به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدانی برای سم‌زدایی اولیه سلول عمل می‌کند. در این تحقیق، فعالیت کاتالاز پس از ۶۰ روز به اوج رسید و سپس کاهش یافت. همچنین تفاوت قابل توجهی بین نمونه‌های شاهد و نانوذرات وجود نداشت. به‌طور کلی بالاترین میزان فعالیت کاتالاز در تیمارهای نانوذرات نقره و سیلیس مشاهده شد (شکل ۶).

محققان ثابت کردند که بسته‌بندی نانوسیلیس، می‌تواند فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه‌های لوکوات نگهداری شده تحت شرایط دمای محیطی را افزایش دهد (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین نتایج حاصل با گزارشات شارما<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در خصوص اثرات نانوذرات بر روی خردل‌چینی همخوانی داشت. یو و همکاران (۲۰۱۲) نیز با بررسی تأثیر نانوذرات سیلیس و کیتوزان بر روی عناب، یافته‌های مشابهی را گزارش کردند. یون نقره تحریک‌کننده سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی است (رای<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین سیلیس و نانو ذرات مشتق از آن می‌توانند به‌عنوان یک عامل استرس‌زا در گیاهان عمل کرده و در نتیجه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهند (وان بروسیگم<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۹). میوه‌ها و سبزیجات به‌دلیل واکنش‌های بیوشیمیایی، رادیکال‌های

اصغری<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) و ژو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در خصوص تیمار نانوذرات نقره و متیل‌جاسمونات و اپی‌براسینولید بر روی میوه‌های انبه، توت‌سبز و عناب در راستای کاهش چشمگیر میزان اسیدیتته در دوره پس از برداشت مطابقت داشت. شاید یکی از دلایل این امر، تأثیر نانوکامپوزیت‌ها در تغییر ساختار داخلی میوه باشد (عباسی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

اسیده‌های آلی یک منبع اندوخته انرژی برای میوه هستند که در هنگام رسیدن میوه با افزایش سوخت و ساز طی اکسایش اسیده‌ها در چرخه کربس مصرف می‌شوند. یکی از دلایل اثر تیمار براسینواستروئیدها بر میزان اسیده‌های قابل تیتراسیون، احتمالاً مربوط به فعالیت سیستم آنزیمی گلیکولیتیک (آنزیم‌های اکسیدکننده قند) می‌باشد که تولید اسیده‌های مختلف را تحت تأثیر قرار داده است (اصغری و زاهدی‌پور<sup>۴</sup>، ۲۰۱۶). به‌دلیل تأثیر متیل‌جاسمونات در کاهش میزان تنفس است که منجر به کاهش استفاده از اسیده‌های آلی به‌عنوان سوبسترای تنفسی می‌شود. در نتیجه متیل‌جاسمونات باعث حفظ اسیده‌های آلی در سطح بالاتر در مقایسه با شاهد می‌گردد (ژو و همکاران، ۲۰۲۲).

### فنل کل

تنوع ترکیبات فنلی در میوه‌ها به عوامل متعددی بستگی دارد و کاهش این ترکیبات معمولاً در طول رشد میوه تأیید شده است. در این تحقیق، محتوای فنلی کل در طول نگهداری میوه‌ها تا پایان ماه دوم، افزایش یافت و سپس کاهش آن‌ها آغاز شد. در مجموع، می‌توان گفت که از لحاظ میزان فنل تام، میان شاهد و نانوذرات تفاوت معنی‌دار و میان شاهد و فیتوهورمون‌ها تفاوت غیرمعنی‌دار بود. کمترین مقدار، فنل کل در نمونه‌های شاهد و بیشترین مقدار در میوه‌های تیمار شده با نانوذرات نقره و سیلیس مشاهده شد (شکل ۵). این یافته‌ها با نتایج وانگ<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، زاهدی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۰) و هو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر حفظ سطوح بالاتری از فنل تام در میوه‌های لوکوات، توت‌فرنگی و کیوی تحت درمان با

8. Ding  
9. Zhang  
10. Kassem  
11. Sharma  
12. Rai  
13. Van Breusegem

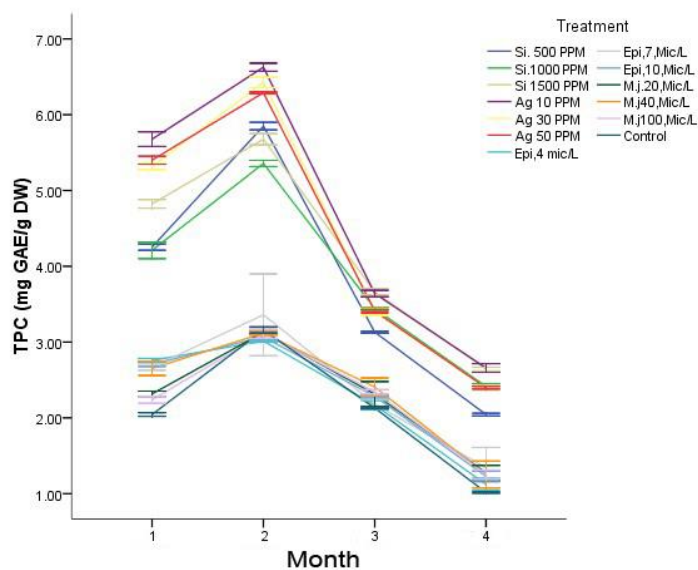
1. Asghari  
2. Zhu  
3. Abbasi  
4. Asghari and Zahedipour  
5. Wang  
6. Zahedi  
7. Hu

یکی از عوامل اصلی ایجاد مقاومت در برابر اکسیداسیون باشد و در نتیجه پیری را به تأخیر بیندازد (سونگ و همکاران، ۲۰۱۶).

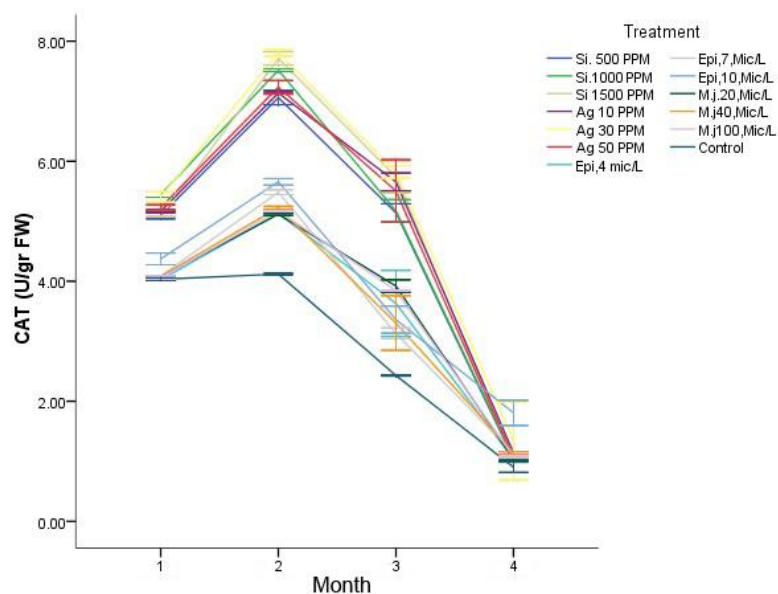
#### فعالیت آنزیم پراکسیداز

پراکسیداز به‌عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدان نقش کلیدی در به تأخیر انداختن پیری در گیاهان دارد (اصغری و زاهدی پور، ۲۰۱۶). در این آزمایش، فعالیت پراکسیداز تا پایان ماه

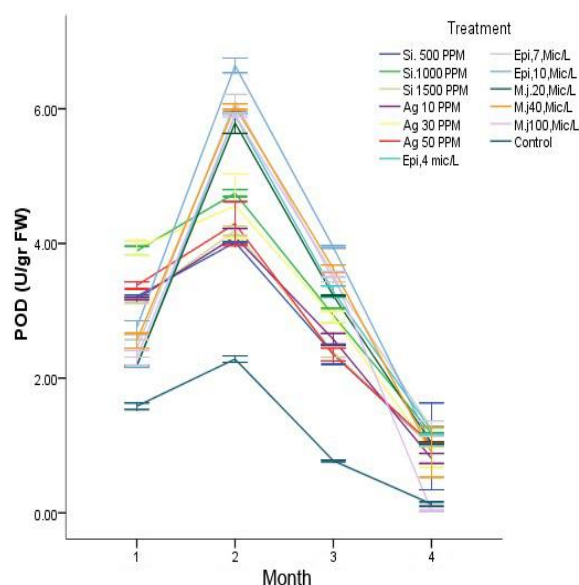
آزاد مانند  $O_2^-$  و  $H_2O_2$  را تولید می‌کنند. رادیکال‌های آزاد می‌توانند غشای سیتوپلاسمی را اکسید کرده و از بین ببرند و در نتیجه پیری را تسریع کنند. سیستم‌های آنزیمی دفاعی از گیاهان در برابر آسیب‌های رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند (فنگ و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، می‌توان گفت که بسته‌بندی نانو بر کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن اثر گذاشته و منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی می‌گردد. عملکرد این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ممکن است



شکل ۵- تأثیر زمان و میانگین غلظت‌های مختلف تیمارها بر محتوی فنل کل سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۱ انجام شد.



شکل ۶- تأثیر زمان و میانگین غلظت‌های مختلف تیمارها بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۱ انجام شد



شکل ۷- تأثیر زمان و غلظت‌های مختلف تیمارها بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۱ انجام شد.

فعالیت آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهد و آسیب پروتئین‌های اکسیداتیو را کاهش می‌دهد. فعالیت این آنزیم تا اواخر ماه دوم نگهداری سیب‌ها، صعودی و در ماه‌های بعد، نزولی بود. کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مربوط به شاهد و بیشترین میزان فعالیت آن مربوط به نانوذرات نقره ۳۰ پی‌پی‌ام و نانوذرات سیلیس ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام بود (شکل ۸). سونگ و همکاران (۲۰۱۶)، گزارش کردند که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در میوه لوکوات تیمار شده با نانوسیلیکا، بسیار بالاتر از میوه شاهد به‌خصوص از روز ۱۰ تا ۴۰ انبارداری بود. سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز با ایفای نقش حیاتی در حذف گونه‌های اکسیژن فعال، تحریک بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد هماهنگ آن‌ها در فعال کردن مکانیسم مرتبط با تأخیر در پیری گیاهان موثر است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). از آنجایی که انواع مختلف ROS عملکردهای متفاوتی دارند و اثرات مختلفی بر اندامک‌های سلولی گیاهی می‌گذارند، می‌توان آن‌ها را با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خاص، متعادل یا حذف کرد. به عنوان مثال، سه نوع سوپراکسید دیسموتاز در سلول‌های گیاهی وجود دارد که می‌توانند به سرعت ROS بسیار سمی ( $O_2^-$ ) را به گونه‌های کمتر سمی ( $H_2O_2$ ) تبدیل کنند. پس از قرار گرفتن در

دوم نگهداری سیب‌ها، صعودی و سپس سیر نزولی داشت. طبق شکل ۷، بین تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد وجود داشت (به‌جز با متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میکرومول در لیتر). کمترین میزان فعالیت این آنزیم در نمونه‌های شاهد و بالاترین میزان در تیمارهایی شامل اپی‌براسینولید و متیل‌جاسمونات (۱۰ و ۴۰ میکرومول در لیتر) مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های اسلام و همکاران (۲۰۲۲) طی بررسی اثرات اپی‌براسینولید بر روی ویژگی‌های پس از برداشت میوه انار مطابقت داشت. براسینولیدها از طریق تأثیر بر بیان ژن و فعالیت برخی آنزیم‌های دفاعی همچون پراکسیداز، متابولیسم ترکیبات فنلی را تنظیم و به‌طور غیرمستقیم سیستم‌های دفاعی گیاهان را تحریک می‌کنند (احمد<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

در همین حال، محققان دیگری بیان کردند که فعالیت پراکسیداز تحت تأثیر متیل‌جاسمونات در دوره پس از برداشت میوه سیب افزایش یافت. پراکسیداز، جزء آنزیم‌های کاتالیزوری مهم میوه‌ها می‌باشد که می‌تواند در سنتز هورمون‌های خاص شرکت کند، مکانیسم دفاعی را بهبود بخشد و در نتیجه مقاومت به بیماری‌ها را افزایش دهد (هی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

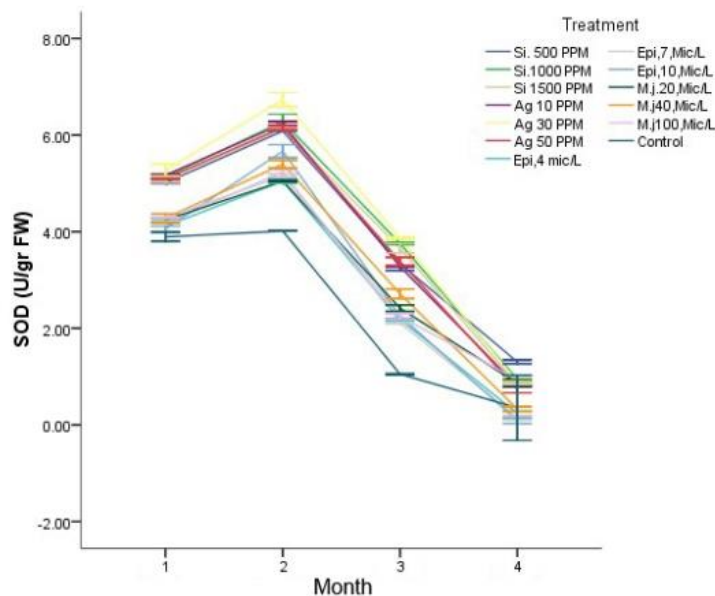
#### فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

پوشش‌ها تا ۴۳ درصد از پوسیدگی سیب‌ها را جلوگیری می‌کنند. بیشترین میزان پوسیدگی در نمونه‌های شاهد در پایان ماه چهارم و کمترین میزان در نانونقره ۳۰ پی‌پی‌ام نقره مشاهده شد (شکل ۹). به‌عبارت دیگر، میزان پوسیدگی در نمونه‌های شاهد به‌طور چشمگیری بیشتر از تمامی تیمارها بود و همه تیمارها به‌جز اپی‌براسینولید ۴ میکرومول بر لیتر، نانونقره ۱۰ پی‌پی‌ام و و نانوسیلیس ۵۰۰ پی‌پی‌ام، تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند. این نتایج نشان داد که هر چهار تیمار، اثرات مفید زیادی بر حفظ کیفیت سیب در طول عمر انباری داشتند و توانستند ماندگاری سیب فوجی را افزایش دهند. احتمالاً این تیمارها، مانعی بر روی سطح سیب ایجاد کنند تا از آن‌ها در برابر بیماری‌زایی میکروارگانیسم‌ها محافظت کند. در واقع، ایجاد این موانع، باعث بروز مقاومت در برابر بیماری‌ها و کاهش بروز پوسیدگی می‌شود. همان‌طور که در مقالات مشابه برای سایر میوه‌ها همچون اثر نانونقره بر روی سیب، اثر متیل جاسمونات بر روی نارنگی، اثر اپی‌براسینولید بر روی انگور و اثر نانوسیلیکا بر روی ذغال‌اخته گزارش شده است (مادبولی، ۲۰۲۱؛ باسوال<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱؛ چامپا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ لی و همکاران، ۲۰۲۱).

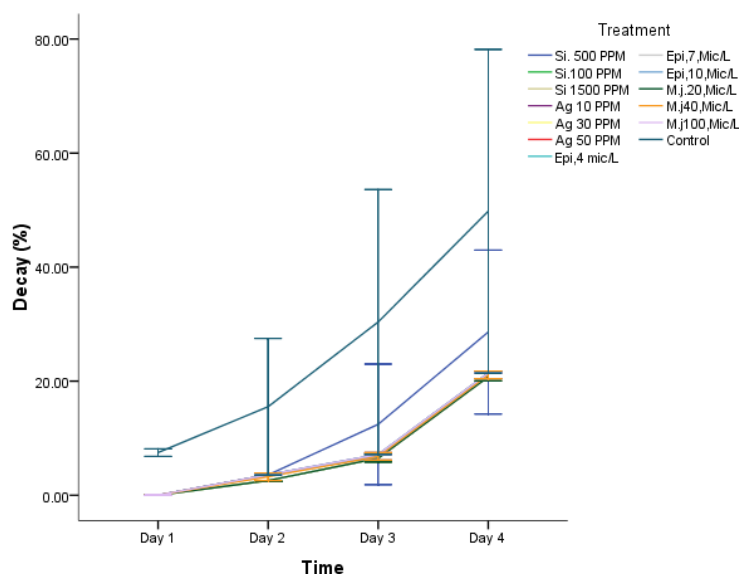
معرض نانوذرات نقره، فعالیت این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان افزایش می‌یابد تا از سلول‌ها در برابر استرس اکسیداتیو محافظت شود (یان و چن<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹). محققان گزارش کردند که فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در میوه خرمالو، طی مدت انبارداری و تحت تیمار با ظروف حاوی نانوسیلیکات و پلی‌اتیلن افزایش یافت. این ظروف، باعث کاهش تبادلات گازی و تنفس میوه خرمالو و کاهش سرعت پیری و سرعت تولید رادیکال‌های آزاد و در نهایت باعث کاهش مصرف آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شوند (نصر و همکاران، ۱۳۹۶).

### پوسیدگی

پوسیدگی، عامل اصلی محدودکننده کیفیت پس از برداشت در اکثر میوه‌هاست. نتایج نشان داد که درصد پوسیدگی نمونه‌ها با گذشت زمان نگهداری سیب‌ها افزایش می‌یابد اما سطح پوسیدگی برای تیمارهای مختلف، متفاوت است. در روز ۳۰، میوه‌های شاهد ۱۰ درصد پوسیدگی را نشان دادند در حالی که میوه‌های تیمار شده پوسیدگی بسیار جزئی نشان دادند. به همین ترتیب، در روز ۱۲۰، میوه‌های شاهد ۶۴ درصد بروز پوسیدگی را نشان دادند، اما میوه‌های تیمار شده تقریباً ۲۱ درصد را نشان دادند که به این معنی است که



شکل ۸- تأثیر زمان و غلظت‌های مختلف تیمارها بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۱ انجام شد.



شکل ۹- تأثیر زمان و میانگین غلظت‌های مختلف تیمارها بر میزان پوسیدگی سیب فوجی طی چهارماه نگهداری. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

جایگزین امیدوارکننده‌ای به‌عنوان نگهدارنده‌های ایمن و زیست سازگار به‌جای مواد شیمیایی و مضر در صنعت نگهداری محصولات باغبانی باشند. با این حال، اظهارات فوق نیاز به بررسی وسیع‌تر در تحقیقات آینده دارد.

#### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از پروفیسور اسماعیل فلاحی، استاد برجسته و مدیر تحقیقات برنامه میوه‌کاری دانشگاه آیداهو، ایالات متحده آمریکا برای پیشنهادات ارزشمندشان و همچنین از زحمات کارکنان مجتمع آزمایشگاهی زکریای رازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

#### نتیجه‌گیری کلی

این آزمایش، نشان داد که تقریباً تمامی تیمارها کاهش وزن را تقلیل داده، اسیدپته را حفظ نموده و افزایش مواد جامد محلول را به آرامی در طول عمر مفید تعدیل می‌کنند. به‌علاوه، هر یک از تیمارها باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی و همچنین محتوای فنل کل می‌شوند و فرآیند پوسیدگی را در طول نگهداری به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهند. در یک کلام، این نانوذرات بیولوژیک و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و فعالیت‌های آنزیمی و ماندگاری و خواص کیفی میوه سیب فوجی را بهبود بخشیدند. لذا با توجه به ماهیت سلامت محوری و طبیعت دوستی، می‌توانند

#### منابع

- بابالار، م.، محبی، م.، عسگری سرچشمه، م. و طلایی، ع. ۱۳۹۴. اثر مقادیر مختلف آهن و نیتروژن بر عملکرد و برخی از خصوصیات کیفی محصول سیب رقم فوجی (*Malus Domestica cv. Fuji*). مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۳): ۳۹۹-۴۰۷.
- دهقانی پوده، ص.، عسگری سرچشمه، م.، طلایی، ع. و بابالار، م. ۱۳۹۸. تأثیر تغذیه نیتروژن و آهن بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی سیب رقم گرانی اسمیت. دو فصلنامه پژوهش‌های میوه‌کاری، ۴(۱): ۱۳-۲۳.
- واعظی هریس، س.، اصغری، م.ر.، فرخزاد، ع. و یوسفی، ز. ۱۳۹۹. تأثیر بسته‌بندی نانوکامپوزیت نقره و سیلیکا بر خواص کیفی و فعالیت آنزیمی میوه تازه بریده شلیل رقم ردگلد. مجله پژوهش‌های میوه‌کاری، ۶(۱): ۱-۹.
- نصر، ف.، ربیعی، و.، رضوی، ف. و خادمی، ا. ۱۳۹۶. تأثیر بسته‌بندی نانوسیلیکات و پلی‌اتیلن بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری میوه خرمالو (*Diospyros kaki Thunb*). علوم باغبانی ایران، ۴۸(۱): ۲۰۳-۲۱۷.

- Abbasi, N.A., Iqbal, Z., Maqbool, M. and Hafiz, I.A. 2009. Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. *Pakistan Journal of Botany*, 41(1): 343-357.
- Ahammed, G.J., Zhou, Y.H., Xia, X.J., Mao, W.H., Shi, K. and Yu, J.Q. 2013. Brassinosteroid regulates secondary metabolism in tomato towards enhanced tolerance to phenanthrene. *Biologia Plantarum*, 57(1): 154-158.
- Ali, M., Ahmed, A., Shah, S.W.A., Mehmood, T. and Abbasi, K.S. 2020. Effect of silver nanoparticle coatings on physicochemical and nutraceutical properties of loquat during postharvest storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10): p. e14808.
- And, O.L. and Watson, M.A. 2001. Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, 66(9): 1283-1286.
- Asghari, M. 2019. Impact of jasmonates on safety, productivity and physiology of food crops. *Trends in Food Science & Technology*, 91: 169-183.
- Asghari, M. and Zahedipour, P. 2016. 24-Epibrassinolide acts as a growth-promoting and resistance-mediating factor in strawberry plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35: 722-729.
- Athinarayanan, J., Periasamy, V.S., Alhazmi, M., Alatah, K.A. and Alshatwi, A.A. 2015. Synthesis of biogenic silica nanoparticles from rice husks for biomedical applications. *Ceramics international*, 41(1): 275-281.
- Bahrulolum, H., Nooraei, S., Javanshir, N., Tarrahimofrad, H., Mirbagheri, V.S., Easton, A.J. and Ahmadian, G. 2021. Green synthesis of metal nanoparticles using microorganisms and their application in the agrifood sector. *Journal of Nanobiotechnology*, 19(1): 1-26.
- Barbosa, A.A.T., de Araújo, H.G.S., Matos, P.N., Carnelossi, M.A.G. and de Castro, A.A. 2013. Effects of nisin-incorporated films on the microbiological and physicochemical quality of minimally processed mangoes. *International journal of food microbiology*, 164(2-3): 135-140.
- Baswal, A.K., Dhaliwal, H.S., Singh, Z. and Mahajan, B.V.C. 2021. Post-harvest application of methyl jasmonate, 1-methylcyclopropene and salicylic acid elevates health-promoting compounds in cold-stored 'kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* Lour x *C. deliciosa* Tenora) Fruit. *International Journal of Fruit Science*, 21(1): 147-157.
- Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K.V. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany*, 91(2): 179-194.
- Champa, H., Gill, M., Mahajan, B.V.c., Aror, N.K., Bedi, S. 2015. Brassinosteroids improve quality of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. flame seedless. *Tropical Agricultural Research*, 26: 368.
- Chan, Z. and Tian, S. 2006. Induction of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-metabolizing enzymes and total protein synthesis by antagonistic yeast and salicylic acid in harvested sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 39(3): 314-320.
- Chi, H., Song, S., Luo, M., Zhang, C., Li, W., Li, L. and Qin, Y. 2019. Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO<sub>2</sub> nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes. *Scientia Horticulturae*, 249: 192-198.
- Cissé, M., Polidori, J., Montet, D., Loiseau, G. and Ducamp-Collin, M.N. 2015. Preservation of mango quality by using functional chitosan-lactoperoxidase systems coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 101: 10-14.
- Ding, C.K., Chachin, K., Ueda, Y. and Imahori, Y. 1998. Purification and properties of polyphenol oxidase from loquat fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10): 4144-4149.
- Donglu, F., Wenjian, Y., Kimatu, B.M., Xinxin, A., Qihui, H. and Liyan, Z. 2016. Effect of nanocomposite packaging on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism of mushrooms (*Flammulina velutipes*). *Postharvest Biology and Technology*, 119: 49-57.
- Elatafi, E. and Fang, J. 2022. Effect of silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>) and nano-silver (Ag-NPs) on physiological characteristics of grapes and quality during storage period. *Horticulturae*, 8(5): 419.
- Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M. and Soleimani-Zad, S. 2010. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(4): 742-748.
- Faghihi, R., Larijani, K., Abdossi, V. and Moradi, P. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles by grapefruit 's peel and effect on superoxide dismutase enzyme activity and growth of cucumber plants inoculated with *Rhizoctonia solani*. *Oriental Journal of Chemistry*, 33: 2810-2820.
- FAO. 2017. Production: Apple production in FAO. [http:// faostat.fao.org](http://faostat.fao.org).

- Gao, H., Zhang, Z., Lv, X., Cheng, N., Peng, B. and Cao, W. 2016. Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms. *Postharvest Biology and Technology*, 111: 390-397.
- Gardesh, A.S.K., Badii, F., Hashemi, M., Ardakani, A.Y., Maftoonazad, N. and Gorji, A.M. 2016. Effect of nanochitosan based coating on climacteric behavior and postharvest shelf-life extension of apple cv. Golab Kohanz. *LWT Food Science and Technology*, 70: 33-40.
- Ge YongHong, G.Y., Li CanYing, L.C., Sun RuiHan, S.R. and Lv JingYi, L.J. 2018. Effect of dipping treatment with brassinolide on postharvest storage quality of peach fruit at room temperature. *Storage and Process*: 18(5): 1-4.
- He, F., Zhao, L., Zheng, X., Abdelhai, M.H., Boateng, N.S., Zhang, X. and Zhang, H. 2020. Investigating the effect of methyl jasmonate on the biocontrol activity of *Meyerozyma guilliermondii* against blue mold decay of apples and the possible mechanisms involved. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 109: 101454.
- Hmmam, I., Zaid, N.M., Mamdouh, B., Abdallatif, A., Abd-Elfattah, M. and Ali, M. 2021. Storage behavior of "Seddik" mango fruit coated with CMC and guar gum-based silver nanoparticles. *Horticulturae*, 7(3): 44.
- Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N. and Zhao, L. 2011. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food research international*, 44(6): 1589-1596.
- Isamah, G.K., Asagba, S.O. and Thomas, A.E. 2000. Lipid peroxidation, o-diphenolase, superoxide dismutase and catalase profile along the three physiological regions of *Dioscorea rotundata* Poir cv Omi. *Food chemistry*, 69(1): 1-4.
- Islam, M., Ali, S., Nawaz, A., Naz, S., Ejaz, S., Shah, A.A. and Razzaq, K. 2022. Postharvest 24-epibrassinolide treatment alleviates pomegranate fruit chilling injury by regulating proline metabolism and antioxidant activities. *Postharvest Biology and Technology*, 188: 111906.
- Jelodarian, S., Ebrahimabadi, A., Khalighi, A., and Batooli, H. 2015. Evaluation of antioxidant activity of *Malus domestica* fruit extract from Kashan area. *African Journal of Agricultural Research*, 10(20): 2136-2140.
- Karande, S.D., Jadhav, S.A., Garud, H.B., Kalantre, V.A., Burungale, S.H. and Patil, P.S. 2021. Green and sustainable synthesis of silica nanoparticles. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 6(2): 29.
- Kassem, H.S., Tarabih, M.E., Ismail, H. and Eleryan, E.E. 2022. Influence of nano-silica/chitosan film coating on the quality of 'Tommy Atkins' mango. *Processes*, 10(2): 279.
- Kim, S.M., Lee, S.M., Seo, J.A. and Kim, Y.S. 2018. Changes in volatile compounds emitted by fungal pathogen spoilage of apples during decay. *Postharvest Biology and Technology*, 146: 51-59.
- Kou, X., He, Y., Li, Y., Chen, X., Feng, Y. and Xue, Z. 2019. Effect of abscisic acid (ABA) and chitosan/nano-silica/sodium alginate composite film on the color development and quality of postharvest Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *Food Chemistry*, 270: 385-394.
- Li, T., Yun, Z., Wu, Q., Zhang, Z., Liu, S., Shi, X., Duan, X. and Jiang, Y. 2018. Proteomic profiling of 24-epibrassinolide-induced chilling tolerance in harvested banana fruit. *Journal of Proteomics*, 187: 1-12.
- Li, Y., Rokayya, S., Jia, F., Nie, X., Xu, J., Elhakem, A., Almatrafi, M., Benajiba, N. and Helal, M. 2021. Shelf-life, quality, safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nano-material films. *Scientific Reports*, 11(1): 55.
- Lichanporn, I., Techavuthiporn, C. and Wongs-Aree, C. 2020. Effect of silver particle-longkong peel extract coating on postharvest decay and browning in longkong fruit. *The Horticulture Journal*, 89(3): 328-336.
- McDonald, S., Prenzler, P.D., Antolovich, M. and Robards, K. 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food chemistry*, 73(1): 73-84.
- Modesti, M., Petriccione, M., Forniti, R., Zampella, L., Scortichini, M. and Mencarelli, F. 2018. Methyl jasmonate and ozone affect the antioxidant system and the quality of wine grape during postharvest partial dehydration. *Food Research International*, 112: 369-377.

- Motelica, L., Fikai, D., Oprea, O.C., Fikai, A. and Andronescu, E. 2020. Smart food packaging designed by nanotechnological and drug delivery approaches. *Coatings*, 10(9): 806.
- Odetayo, T., Tesfay, S. and Ngobese, N.Z. 2022. Nanotechnology-enhanced edible coating application on climacteric fruits. *Food Science and Nutrition*, 10(7): 2149-2167.
- Qin, Y., Li, W., Liu, D., Yuan, M. and Li, L. 2017. Development of active packaging film made from poly (lactic acid) incorporated essential oil. *Progress in Organic Coatings*, 103: 76-82.
- Rai, M., Yadav, A. and Gade, A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, 27(1): 76-83.
- Robinson, D.K.R. and Morrison, M.J. 2010. Nanotechnologies for food Packaging. Report for the Observatory NANO.
- Rojas-Graü, M.A., Tapia, M.S. and Martín-Belloso, O. 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT-Food Science and Technology*, 41(1): 139-147.
- Saavedra, G.M., Figueroa, N.E., Poblete, L.A., Cherian, S. and Figueroa, C.R. 2016. Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. *Food chemistry*, 190: 448-453.
- Saletnik, B., Zagała, G., Saletnik, A., Bajcar, M., Słysz, E. and Puchalski, C. 2022. Method for prolonging the shelf life of apples after storage. *Applied sciences*, 12(8): 3975.
- Salunkhe, D.K., Jadhav, S.J. and Yu, M.H. 1974. Quality and nutritional composition of tomato fruit as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Qualitas plantarum*, 24: 85-113.
- Sami, R., Almatrafi, M., Elhakem, A., Alharbi, M., Benajiba, N. and Helal, M. 2021. Effect of nano silicon dioxide coating films on the quality characteristics of fresh-cut cantaloupe. *Membranes*, 11(2): 140.
- Sankar, S., Sharma, S.K., Kaur, N., Lee, B., Kim, D.Y., Lee, S. and Jung, H. 2016. Biogenerated silica nanoparticles synthesized from sticky, red, and brown rice husk ashes by a chemical method. *Ceramics International*, 42(4): 4875-4885.
- Shafiee, M., Taghavi, T.S. and Babalar, M. 2010. Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1): 40-45.
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M.G.H., Saradhi, P.P., Khanna, P.K. and Arora, S. 2012. Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167: 2225-2233.
- Shi, S., Wang, W., Liu, L., Wu, S., Wei, Y. and Li, W. 2013. Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature. *Journal of Food Engineering*, 118(1): 125-131.
- Siddiqui, M.H. and Al-Whaibi, M.H. 2014. Role of nano-SiO<sub>2</sub> in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(1): 13-17.
- Song, H., Yuan, W., Jin, P., Wang, W., Wang, X., Yang, L. and Zhang, Y. 2016. Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 119: 41-48.
- Soto, K.M., Quezada-Cervantes, C.T., Hernández-Iturriaga, M., Luna-Bárceñas, G., Vazquez-Duhalt, R. and Mendoza, S. 2019. Fruit peels waste for the green synthesis of silver nanoparticles with antimicrobial activity against foodborne pathogens. *Lwt*, 103: 293-300.
- Stensberg, M.C., Wei, Q., McLamore, E.S., Porterfield, D.M., Wei, A. and Sepúlveda, M.S. 2011. Toxicological studies on silver nanoparticles: challenges and opportunities in assessment, monitoring and imaging. *Nanomedicine*, 6(5): 879-898.
- Tanaka, F., Tatsuki, M., Matsubara, K., Okazaki, K., Yoshimura, M. and Kasai, S. 2018. Methyl ester generation associated with flesh browning in 'Fuji' apples after long storage under repressed ethylene function. *Postharvest Biology and Technology*, 145: 53-60.
- Tapia, M.S., Rojas-Graü, M.A., Carmona, A., Rodríguez, F.J., Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2008. Use of alginate-and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*, 22(8): 1493-1503.



- Tavakoli, H., Rastegar, H., Taherian, M., Samadi, M. and Rostami, H. 2017. The effect of nano-silver packaging in increasing the shelf life of nuts: An *in vitro* model. Italian journal of food safety, 6(4): 6874.
- Van Breusegem, F., Slooten, L., Stassart, J.M., Moens, T., Botterman, J., Van Montagu, M. and Inzé, D. 1999. Overproduction of Arabidopsis thaliana FeSOD confers oxidative stress tolerance to transgenic maize. Plant and Cell Physiology, 40(5): 515-523.
- Wang, L., Shao, S., Madebo, M.P., Hou, Y., Zheng, Y. and Jin, P. 2020. Effect of nano-SiO<sub>2</sub> packing on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit under ambient temperature storage. Food Chemistry, 315: 126295.
- Yan, A. and Chen, Z. 2019. Impacts of silver nanoparticles on plants: a focus on the phytotoxicity and underlying mechanism. International Journal of Molecular Sciences, 20(5): 1003.
- Yu, Y., Zhang, S., Ren, Y., Li, H., Zhang, X. and Di, J. 2012. Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide. Journal of Food Engineering, 113(3): 408-414.
- Yu, Y., Zhang, S., Ren, Y., Li, H., Zhang, X. and Di, J. 2012. Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide. Journal of Food Engineering, 113(3): 408-414.
- Zahedi, S.M., Moharrami, F., Sarikhani, S. and Padervand, M. 2020. Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. Scientific Reports, 10(1): 17672.
- Zhang, C., Li, W., Zhu, B., Chen, H., Chi, H., Li, L., Qin, Y. and Xue, J. 2018. The quality evaluation of postharvest strawberries stored in nano-Ag packages at refrigeration temperature. Polymers, 10(8): 894.
- Zhao, Y., Tu, K., Su, J., Tu, S., Hou, Y., Liu, F. and Zou, X. 2009. Heat treatment in combination with antagonistic yeast reduces diseases and elicits the active defense responses in harvested cherry tomato fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(16): 7565-7570.
- Zhou, L., Lv, S., He, G., He, Q. and Shi, B.I. 2011. Effect of pe/ag<sub>2</sub>o nano-packaging on the quality of apple slices. Journal of Food Quality, 34(3): 171-176.
- Zhu, L., Yu, H., Dai, X., Yu, M. and Yu, Z. 2022. Effect of methyl jasmonate on the quality and antioxidant capacity by modulating ascorbate-glutathione cycle in peach fruit. Scientia Horticulturae, 303: 111216.
- Zhu, Z., Zhang, Z., Qin, G. and Tian, S. 2010. Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage. Postharvest Biology and Technology, 56(1): 50-55.