اثر نانوذرات اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون بر مهار پوسیدگی انگور ناشی از قارچ‌های *Aspergillus niger* ،*Botrytis cinerea* Pers. Tiegh. و *Penicillium expansum* Link. در شرایط دمای اتاق

ABSTRACT

This study is completely randomized research aimed to investigate the effects of zinc oxide, copper oxide, and silicon dioxide nanoparticles on the control of grape (*Vitis vinifera* cv. Shahroodi) rot caused by *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, and *Penicillium expansum* fungi at room temperature. The results of this research showed that the rotting of grapes that were infected by *A. niger* and *B. cinerea* was greatly inhibited by spraying grape bunches with nano-zinc oxide and nano-silicon dioxide. The lowest rate of rotting in grapes infected with *P. expansum* was also obtained by spraying grape bunches with nano-zinc oxide and nano-copper oxide. Nano-zinc oxide also increased total soluble solids in grape fruits inoculated with *A. niger*, although it had no significant effect on grapes inoculated with other fungi. Also, the results showed that the berry and stem of the grapes which were infected with fungi and treated with nano-zinc oxide had a better appearance compared to the fruits treated with other nanoparticles and the control. Furthermore, fruits infected with *A. niger*, and sprayed with nano-zinc oxide and nano-silicon dioxide had higher phenol contents compared to the samples treated with other nanoparticles and control. Anthocyanin content in grapes infected with *B. cinerea* and treated with zinc oxide nanoparticles was significantly higher than in controls and samples treated with other nanoparticles. In grape fruits infected with *A. niger* and *P. expansum*, antioxidant activity was increased by spraying with nano-zinc oxide, and nano-zinc oxide, and nano-copper oxide, respectively.

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر نانوذرات اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون برای کنترل سه بیمارگر قارچی *Aspergillus niger*، *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum* روی انگور رقم شاهرودی در شرایط دمای اتاق در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. محلول‌پاشی خوشه‌های انگور با نانو اکسیدروی و نانو دی‌اکسیدسیلیکون منجر به بیشترین میزان مهار پوسیدگی انگورهای تلقیح شده با قارچ‌های *A. niger* و *B. cinereal* شد که تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد. کمترین میزان پوسیدگی نیز از محلول‌پاشی خوشه‌های انگور با نانو اکسیدروی و نانو اکسیدمس بر انگورهای تلقیح شده با *P. expansum* به‌دست آمد و بیشترین میزان پوسیدگی در انگورهای شاهد مشاهده شد. نانو اکسیدروی همچنین باعث افزایش مواد جامد محلول کل در میوه‌های انگور تلقیح شده با *A. niger* شد. حبه و ساقه انگورهای تلقیح شده با قارچ‌های مورد آزمایش پس از تیمار با نانوذرات اکسیدروی ظاهر بهتری نسبت به میوه‌های تیمار شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی و شاهد داشتند. علاوه‌براین، میوه‌های تلقیح شده با *A. niger* و محلول‌پاشی شده با نانو اکسیدروی و نانو دی‌اکسیدسیلیکون، محتوای فنل بیشتری نسبت به سایرین داشتند. محتوای آنتوسیانین میوه‌های انگور تلقیح شده با *B. cinerea* و تیمار شده با نانو اکسیدروی به‌طور معنی‌داری بیشتر از میوه‌های محلول‌پاشی شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی و شاهد بود. همچنین، در میوه‌های انگور آلوده شده با *A. niger* و *P. expansum*، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب از طریق محلول‌پاشی با نانواکسیدروی و محلول‌پاشی با نانو اکسیدروی و نانو اکسیدمس به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: اثر بازدارندگی، پس از برداشت، فعالیت ضدقارچی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل.

مقدمه

میوه انگور (*Vitis vinifera* L.) سرشار از ترکیبات فنلی است که دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی و پاکسازی رادیکال‌های آزاد می‌باشد (Krikorian *et al.*, 2012). انگور، میوه‌ای نافرازگرا[1] با میزان فعالیت فیزیولوژیکی نسبتاً کم است (Palou *et al.*, 2010). با این حال، به‌دلیل پریکارپ نازک، گوشت آبدار و pH نسبتاً پایین آن، نسبت به آلودگی به بیمارگرها آسیب‌پذیر می‌باشد (Tournas and Cappellini, 1986 ; Katsoudas, 2005). ضررهای اقتصادی ناشی از پوسیدگی‌های قارچی در میوه‌ها و سبزیجات در زنجیره پس از برداشت، معمولاً به ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌رسد و در برخی موارد می‌تواند منجر به از بین رفتن کل محصول شود (Youssef and Roberto, 2014).

کاهش خسارت ناشی از پوسیدگی قارچی هدف اصلی فناوری پس از برداشت انگورها است (Martínez-Romero *et al.*, 2007). پوسیدگی انگور عمدتاً به‌وسیله قارچ‌کش‌ها و دی‌اکسیدگوگرد کنترل می‌شود. از طرفی، به‌دلیل ایجاد مقاومت به قارچ‌کش در بیمارگرها و به‌علت اثرات منفی دی‌اکسیدگوگرد (سفید شدن، تشدید از دست دادن آب و قهوه‌ای شدن حبه یا ایجاد واکنش‌های نامطلوب در برخی افراد) و نگرانی برای سلامت انسان و محیط زیست، باید راه‌های ایمن، غیرسمی و مؤثر برای کنترل بیماری‌های پس از برداشت بررسی شود (Carvajal-Millán *et al.*, 2001 ;

1- Non-climacteric

(; Guo *et al.*, 2014; Martínez-Romero *et al.*, 2007Droby and Lichter, 2007). براساس آمار فائو، ایران رتبه چهاردهم تولید انگور را در بین کشورها دارد. امّا بخش قابل توجهی از این مقدار تولید، در فرآیند پس از برداشت از بین می‌رود که با کاهش این تلفات علاوه‌بر صرفه‌جویی و بهبود درآمد کشاورزان، کیفیت محصولات غذایی نیز تضمین می‌شود.

فناوری نانو به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در برابر بسیاری از عوامل تهدیدکننده سلامت گیاهان محسوب می‌شود. یکی از مزایای استفاده از فناوری نانو، کاهش ورود مواد شیمیایی فعال به زیست‌بوم کشاورزی است (Elmer *et al.*, 2018). نانوذرات به تمام موادی اطلاق می‌شود که حداقل یک بعد آن‌ها کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد (El-Moneim *et al.*, 2021). نانوذرات به‌دلیل اندازه کوچکشان، مساحت سطح بیشتر و در نتیجه، واکنش‌پذیری بیشتر و خواص متفاوتی نسبت به این ذرات در اندازه معمولی نشان می‌دهند (Garcia *et al.*, 2018). فرمولاسیون‌های مبتنی بر فناوری نانو، کیفیت و ماندگاری محصولات باغبانی را افزایش داده و راهکارهای بسیاری را برای جلوگیری از رشد و توسعه ریزجانداران ارائه می‌دهند (Upadhyay *et al.*, 2022). نانوذرات اکسید فلز، در مقایسه با این ذرات در مقیاس بزرگ‌تر، در شرایط سخت پایدارتر هستند و دارای سمیت کم یا فاقد سمیت برای انسان هستند (Król *et al.*, 2017). نانوذرات اکسیدروی، دی‌اکسیدسیلیکون و اکسیدمس از جمله نانوذرات اکسید فلزی هستند که به‌دلیل داشتن خواص ضدمیکروبی، توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند.

پیشینه پژوهش

از آغاز قرن بیستم، ترکیبات فلزی برای کنترل بیمارگرهای گیاهی استفاده شده است، امّا استفاده از آن‌ها در دوزهای بالا خطر سمیت را به همراه دارد. در آغاز قرن بیست و یکم و با پیشرفت علم و فناوری، فلزات به شکل نانویی خود تبدیل شدند و تنوع بسیار زیادی در اندازه، ترکیب شکل و غیره حاصل شد. این مواد جدید برای کاربرد در محیط‌های پزشکی برای غلبه بر عفونت‌ها مورد بررسی قرار گرفتند (Rajwade *et al.*, 2020). اکثر آزمایش‌های بررسی تأثیر نانوذرات فلزی روی باکتری‌ها انجام شده که بیشتر از آزمایش‌های انجام شده روی قارچها (Sardella *et al.*, 2019) است و معمولاً در شرایط *in vitro* انجام شده است. مطالعات اندکی در ارتباط با اثر ضدقارچی این ترکیبات روی میوه‌ها وجود دارد.

نتایج تحقیقات نشان داده‌اند که نانوذرات اکسیدروی دارای خواص ضدقارچی قابل‌توجهی روی *B. cinerea*، *P. expansum* (He *et al.*, 2011)، *Fusarium graminearum*، *Aspergillus flavus* Link. و *P. citrinum* Thom (Abd-Elsalam *et al.*, 2017) هستند. محققان گزارش کرده‌اند که استفاده از تیمارهای مبتنی بر نانواکسیدروی برای میوه‌های سیب، هلو و توت‌فرنگی، علاوه‌بر کاهش پوسیدگی میوه، باعث حفظ سطوح مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون (Li *et al.*, 2011a)، حفظ کیفیت میوه، به تأخیر افتادن کاهش وزن، سفتی، درصد پوسیدگی، pH و محتوای ویتامین ث شد و اثرات مثبتی بر حفظ غلظت‌های بالاتر آنتوسیانین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی داشت (Sogvar *et al.*, 2016). در پژوهشی روی انگور، فیلم پوششی ضدمیکروبی حاوی نانو اکسیدروی نه تنها رشد میکروبی را به‌طور مؤثری کنترل کرد، بلکه مصرف اسیدآلی را کاهش داده و پیری را به تأخیر انداخت، و به افزایش دوره انبار و حفظ طعم و کیفیت انگور کمک کرد (Li *et al.*, 2023). در میوه پرتقال نیز، پوشش‌های حاوی نانواکسیدروی نه تنها منجر به کاهش درصد پوسیدگی و افت وزن پرتقال شد، بلکه با کاهش تنفس و به تأخیر انداختن پیری، کیفیت میوه را نیز حفظ کرد. این پوشش باعث حفظ اجزای زیست فعال از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد و میزان تغییر در pH، مواد جامد محلول کل و اسیدیته کل را نیز کاهش داد (Dulta *et al.*, 2022).

دی‌اکسیدسیلیکون یکی دیگر از نانوذرات اکسید فلزی، با ایمنی غذایی نسبتاً بالا و ساختاری کاملاً پایدار، به‌عنوان یک افزودنی غذایی تأیید شده است (USFDA, 2011). در پژوهشی روی انگور، استفاده از نانوذرات دی‌اکسیدسیلیکون، توانست کپک خاکستری را کاهش دهد. بر اساس نتایج این محققان، انگورهای تیمار شده با کیتوزان و نانوذرات دی‌اکسیدسیلیکون، بافت قوی‌تر و ظاهری تازه‌تر پس از دوره نگهداری نشان دادند (Hashim *et al.*, 2019). نانوکامپوزیت‌های کیتوزان/دی‌اکسیدسیلیکون در حبه‌های تلقیح شده با *B. cinerea* نیز به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بروز و شدت کپک خاکستری را کاهش داد و به‌طور معنی‌داری سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، فنل کل و فلاونوئید را در بافت‌های تیمار شده انگور افزایش داد. آن‌ها بیان داشتند که این پوشش به‌عنوان یک روش کنترل جایگزین امیدوارکننده در برابر کپک خاکستری انگور، می‌تواند به‌طور مستقیم بر بیمارگر تأثیر بگذارد و به‌طور غیرمستقیم مقاومت میزبان را از طریق سیستم آنتی‌اکسیدانی افزایش دهد (Youssef and Roberto, 2021). ترکیب کیتوزان و نانو دی‌اکسیدسیلیکون، کیفیت میوه لونگان (*Dimocarpus longan* Lour. cv Shijia) را نیز در طول مدت نگهداری در دمای محیط به میزان زیادی بهبود بخشید. این ترکیب هم‌چنین به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ماندگاری، کاهش شاخص قهوه‌ای شدن و مهار افزایش مقدار مالون دی آلدئید و فعالیت پلی فنول اکسیداز شد. علاوه‌براین، کاهش در محتوای مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون و اسیدآسکوربیک و تولید بیش از حد ROS و پراکسیداسیون لیپیدی نیز به‌طور معنی‌داری مهار شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که این پوشش می‌تواند جایگزین مناسبی برای بهبود کیفیت لونگان در نگهداری طولانی‌مدت باشد (Shi *et al.*, 2013). در پژوهشی دیگر، پوشش کیتوزان/نانو دی‌اکسیدسیلیکون به‌طور مؤثر قهوه‌ای شدن داخلی و اُفت وزن میوه ازگیل ژاپنی (*Eriobotrya japonica* Lindl.) را کاهش داد و سطوح بالای مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون، گلوکز و فروکتوز را حفظ کرد (Song *et al.*, 2016).

اکسید مس از دیگر نانوذرات اکسید فلزی است که به‌راحتی با پلیمرها مخلوط می‌شود و از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی، نسبتاً پایدار است (Stoimenov *et al.*, 2002). یون‌های مس تبادل الکترونی آسان دارند، پتانسیل اکسایش- کاهش بالایی را نشان می‌دهند و توانایی در هم گسیختن اجزاء سلول‌های میکروبی و از بین بردن آن‌ها را دارند (Garcia *et al.*, 2018). نانوذرات مس کروی روی قارچ‌های بیمارگر *Curvularia lunata* Wakker و *Alternaria alternate* Fr. فعالیت ضدقارچی بالایی را نشان داده‌اند (Abd-Elsalam *et al.*, 2017). در پژوهشی روی حبه های انگور، نانوذرات دی‌اکسید سیلیکون، کیتوزان، مس، دی‌اکسید سیلیکون- مس و دی‌اکسید سیلیکون- کیتوزان- مس، درصد حبه‌های پوسیده را به‌ترتیب به‌میزان ۵۶، ۵۰، ۸، ۵۷ و ۵۴ درصد کاهش دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نانوذرات دی‌اکسید سیلیکون و کیتوزان، ترکیبات امیدوارکننده‌ای برای مدیریت کپک خاکستری انگور فلیم سیدلس هستند (Ruffo Roberto *et al.*, 2019).

در بررسی روی ماهیان پرورشی گزارش شد که نانوذرات اکسیدمس و اکسیدروی رشد *Streptococcus iniae* را به‌طور معنی‌داری می‌تواند مهار کرده یا آن را از بین ببرد (Shiry & Akhlaghi, 2020). نتایج بررسی کیفیت پنیر چدار نیز نشان داد که بیشترین نمک و چربی و کمترین مقدار رطوبت مربوط به پوشش موسیلاژ حاوی ۰/۵ درصد نانواکسیدروی بود، علاوه‌براین پوشش‌های دارای نانواکسیدروی مانع رشد کپک‌ها در سطح پنیر شدند (Kheirkhah et al., 2021). تحقیقات روی انگور سیاه نیز نشان داد که پوشش‌های حاوی نانوذرات اکسیدروی در نمونه‌های انگور ضمن حفظ خصوصیات کیفی، باعث تأخیر در رشد میکروب‌ها شدند (Emamifar, 2018). با توجه به اطلاعات کمی که در ارتباط با استفاده از این نانوذرات روی کنترل میوه‌ها وجود دارد، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر نانوذرات اکسید روی، اکسید مس و دی‌اکسید سیلیکون در مهار پوسیدگی ناشی از گونه‌های *A. niger*، *B. cinerea* و *P. expansum* روی انگور رقم شاهرودی در دمای ۲۵ ℃ اجرا گردید.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ در آزمایشگاه‌های علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. بررسی اثر نانوذرات اکسید روی، اکسید مس و دی‌اکسید سیلیکون بر کنترل پوسیدگی ناشی از گونه‌های *A. niger*، *B. cinerea* و *P. expansum* روی انگور رقم شاهرودی در شرایط دمای اتاق انجام شد. گونه‌های *A. niger* و *P. expansum* از مجموعه قارچ‌های زنده گروه گیاهپزشکی دانشگاه فردوسی و جدایه *B. cinerea* IRAN 2619C از مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور تهیه گردید.

تهیه سوسپانسیون اسپور قارچ

جدایه‌ای از قارچ‌های *A. niger*، *B. cinerea* و *P. expansum* روی محیط PDA[۲] دورد تشتک پتری کشت شد. پس از رشد کامل قارچ و اسپورزایی (حدود یک یا دو هفته بسته به نوع قارچ)، پنج میلی‌لیتر آب مقطر استریل به کشت اضافه شد. سپس به‌وسیله یک تیغه شیشه‌ای استریل به آرامی روی سطح کشت کشیده و به‌منظور حذف میسلیوم‌ها، سوسپانسیون به‌دست آمده از چهار لایه گاز استریل عبور داده شد. غلظت اسپور سپوسپانسیون به‌وسیله لام هموسایتومتر تعیین شد و غلظت موردنظر (۱×۱۰^{۵} اسپور در هر میلی‌لیتر) به‌روش رقیق‌سازی به‌دست آمد (Shen and Yang, 2017).

آماده‌سازی نانوذرات اکسید فلزی:

نانوذرات اکسید روی، اکسید مس و دی‌اکسید سیلیکون با اندازه ذرات ۳۰-۲۰ نانومتر و سطح ویژه بالا از شرکت بین‌المللی پتروپلاستیک سهند تهیه شدند. با استفاده از دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک (HD-3200, Bandelin, Germany) و اعمال پالس با توان ۳۰۰ W به مدت ۱۵ دقیقه، سوسپانسیون نانوذرات اکسید فلزی تهیه شد. بر اساس یافته‌های حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی (انتشار نیافته)، برای انگورهای تلقیح شده با *A. niger*، سوسپانسیون نانو اکسید مس با غلظت ۰/۱۲۵ درصد و برای انگورهای تلقیح شده با *B. cinerea*، نانو دی‌اکسید سیلیکون با غلظت ۰/۲۵ درصد و برای سایر تیمارها و همچنین انگورهای تلقیح شده با *P. expansum*، سوسپانسیون نانوذرات اکسید فلزی با غلظت ۱ درصد تهیه گردید.

بررسی فعالیت ضدقارچی نانوذرات اکسید فلزی در شرایط دمای اتاق

در شرایط دمای اتاق، اثر نانوذرات اکسید فلزی در کنترل پوسیدگی میوه‌های انگور تلقیح شده با سه قارچ مورد بررسی قرار گرفت. میوه‌های انگور رقم شاهرودی در مرحله بلوغ تجاری برداشت و پس از انتقال، در یخچال با دمای ۴ ℃ به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. خوشه‌های انگور یکدست (از نظر اندازه، رنگ و شاخص رسیدگی) و بدون آلودگی‌های قارچی انتخاب شدند. سپس میوه‌ها توسط هیپوکلریت سدیم یک درصد به

۲- Potato Dextrose Agar

مدت دو دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر استریل کاملاً شسته شده و در مجاورت هوا قرار داده شدند تا خشک شوند. پس از آن، میوه‌ها به مدت پنج دقیقه در محلول نانوذرات اکسید فلزی با غلظت موردنظر و آب مقطر استریل (شاهد) غوطه‌ور شدند. پس از یک ساعت، خوشه‌های شاهد و تیمارشده از طریق محلول‌پاشی با سوسپانسیون ۱×۱۰^{۵} کنیدیوم بر میلی‌لیتر مایه‌زنی شدند (Youssef and Roberto, 2014) و به مدت یک ساعت در مجاورت هوا خشک شدند. میوه‌های تیمار شده در ظروف پلاستیکی یک بار مصرف بسته‌بندی شده و در شرایط دمای اتاق نگهداری شدند.

شاخص پوسیدگی

شدت پوسیدگی بر طبق شاخص‌های توصیف شده توسط منگ و همکاران (Meng *et al.*, 2008) اندازه‌گیری شد و شاخص پوسیدگی بر اساس معادله ۱ محاسبه گردید.

معادله (۱) $$DI = \sum(df)/ND$$

در این معادله، DI، شاخص پوسیدگی؛ d، درجه شدت پوسیدگی حبه؛ *f*، تعداد حبه‌های با درجه شدت پوسیدگی مشابه؛ N، تعداد کل حبه‌ها و D، بالاترین درجه شدت پوسیدگی می‌باشد.

تعیین ظاهر حبه‌ها بر اساس معیارهای ذکر شده توسط ژو و همکاران (Xu *et al.*, 2007) انجام شد. وضعیت ظاهری ساقه خوشه بر اساس مشاهدات ظاهری و اختصاص امتیازی بین یک تا چهار بر اساس توصیف کریسوستو و همکاران (Crisosto *et al.*, 2002) به‌دست آمد. مجموع تعداد حبه‌هایی که با زدن سه ضربه متوسط به پشت دست نگهدارنده خوشه ریزش می‌کنند و حبه‌های جدا شده طی دوره انبارداری، به‌عنوان ریزش حبه ثبت شد. مقدار مشخصی از میوه، وزن و سپس آبگیری شده و درصد آب میوه محاسبه گردید. مقدار pH آب میوه توسط pH متر دیجیتالی و مواد جامد محلول کل (TSS)[۳] توسط رفراکتومتر اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری ویتامین ث (اسید آسکوربیک) نمونه‌ها به‌روش یدومتری (Cioroi, 2006) انجام شد. اسیدیته کل به‌روش پتانسیل‌سنجی تیتراسیون اندازه‌گیری و بر حسب اسید تارتاریک بیان شد.

محتوای فنل کل

استخراج ترکیبات فنلی از انگورها به‌روش توصیف شده توسط ملگارجو و همکاران (Melgarejo-Flores *et al.*, 2013) با کمی تغییر انجام شد. به اختصار، ۱۰ گرم انگور در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ v/v درصد با استفاده از هموژنایزر با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه هموژنیزه شد. سپس استخراج در حمام اولتراسونیک به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق (۱ ± ۲۵) انجام شد. عصاره با سرعت دور در دقیقه ۳۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی برای تجزیه و تحلیل محتوای فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌کار رفت.

محتوای فنل کل نمونه‌ها به‌روش فولین سیکالتیو تعیین شد. ابتدا ۲۰ میکرولیتر عصاره و ۱/۵۸ میلی‌لیتر آب مقطر به لوله‌ها اضافه شد. سپس، ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین- سیکالتیو اضافه و فوراً هم زده شد. پس از هشت دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر محلول سدیم کربنات (۷/۵ w/v درصد) اضافه و هم زده شد. سپس محلول‌ها در تاریکی به مدت دو ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. جذب هر نمونه در ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (CE9500, Cecil, UK) اندازه‌گیری شد. در نهایت، فنل کل به صورت میلی‌گرم معادل اسیدگالیک در هر کیلوگرم میوه تازه با استفاده از منحنی استاندارد اسیدگالیک محاسبه شد (Slinkard and Singleton, 1977).

فعالیت مهارکنندگی DPPH[۴]

مقدار ۳/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره متانولی انگورها افزوده شد. این مخلوط با استفاده از گردابه هم زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری گردید. سپس جذب‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (CE9500, Cecil, UK) در طول موج ۵۱۵ nm خوانده شد. نتایج به‌صورت درصد بازداری DPPH بیان شدند (Sánchez-Moreno *et al.*, 1998).

محتوای آنتوسیانین کل (TAC)

محتوای آنتوسیانین کل (TAC) عصاره‌های انگور با استفاده از روش pH افتراقی کمیت‌سنجی شد. هر نمونه و استاندارد، با بافر پتاسیم کلراید رقیق شدند و جذب آن‌ها در ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (CE9500, Cecil, UK) در برابر شاهد (آب مقطر) اندازه‌گیری شد. قسمت

3- Total soluble solids

۴- 1,1- Diphenyl-2- picryl- hydrazyl (DPPH)

دوم هر نمونه با همان مقدار بافر سدیم استات رقیق شد و جذب آن‌ها در ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. محتوای آنتوسیانین کل به صورت معادل سیانیدین ۳- گلوکوزید در هر گرم بافت تازه انگور (میلی‌گرم بر گرم) بیان شد (Moyer *et al.*, 2002).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش توسط نرم‌افزار jmp 8 صورت گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD مقایسه شدند و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Sigma plot 11 رسم شدند.

یافته‌های پژوهش و بحث

مشخصه‌های کیفی میوه‌های انگور تلقیح شده با قارچ‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد (جدول ۱) که اثر نانوذرات اکسید روی، اکسید مس و دی‌اکسید سیلیکون بر صفات ریزش حبه، درصد آبمیوه، اسیدیته قابل تیتراسیون و ویتامین ث در میوه‌های تلقیح شده با هر سه قارچ، معنی‌دار نبود. در پژوهش دیگری روی انگور نیز مواد جامد محلول کل و اسیدیته قابل تیتراسیون، هیچ تفاوت آماری در بین تمام تیمارها (نانوذرات دی‌اکسیدسیلیکون، کیتوزان، مس، دی‌اکسیدسیلیکون- مس و دی‌اکسیدسیلیکون کیتوسان- مس) در مقایسه با شاهد یافت نشده است (Hashim *et al.*, 2019).

شاخص پوسیدگی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس حاصل از این بررسی، شاخص پوسیدگی میوه‌های محلول‌پاشی شده با هر سه قارچ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نانوذرات اکسید فلزی در سطح ۰/۱ درصد قرار گرفت (جدول ۱). نتایج این پژوهش نشان داد که در خوشه‌های آلوده شده به *A. niger* و *B. cinerea*، بهترین نتایج کاهش پوسیدگی به‌ترتیب در تیمارهای نانواکسیدروی (به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۱۱) و نانو دی‌اکسید سیلیکون (به‌ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۴۳) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند (به‌ترتیب ۷/۶۸ و ۶/۷۵) ($P\leq$ ۰/۰۰۱). علاوه‌براین، محلول‌پاشی خوشه‌های انگور تلقیح شده با *P. expansum* به‌ترتیب با نانو اکسید روی، نانو اکسید مس و نانو دی‌اکسید سیلیکون (به‌ترتیب ۰/۱۶، ۰/۲۵ و ۰/۹۹) به‌طور معنی‌داری میزان پوسیدگی آن‌ها را در مقایسه با شاهد بدون تیمار (۴/۷۶) کاهش داد ($P\leq$ ۰/۰۰۱).

نتایج بررسی توانایی نانوذرات دی‌اکسید سیلیکون، کیتوزان و مس روی کپک خاکستری انگور، نشان داد که استفاده از کیتوزان یا نانوذرات دی‌اکسیدسیلیکون توانست کپک خاکستری انگور را کاهش دهد (Hashim *et al.*, 2019). نتایج تحقیقات همچنین نشان داده است که استفاده از نانوکامپوزیت‌های کیتوزان دی‌اکسید سیلیکون ۱ درصد می‌تواند به‌طور کامل از بروز بیماری کپک خاکستری در حبه انگور جلوگیری کند (Youssef and Roberto, 2021). نتایج بررسی میزان بروز بیماری پوسیدگی ناشی از کپک خاکستری نیز نشان داد که نانوذرات دی‌اکسید سیلیکون در ترکیب با کیتوزان در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد، بروز پوسیدگی را در مقایسه با شاهد کاهش دادند (Youssef *et al.*, 2019). روی میوه هلو، بسته‌بندی LDPE[5] (پلی‌اتیلن با چگالی پایین) و بسته‌بندی NZLDPE[6] (پلی‌اتیلن با چگالی بالا و مبتنی بر نانوذرات اکسیدروی) وقوع پوسیدگی را در مقایسه با شاهد تقریباً هشت روز به تعویق انداختند. هر دو بسته‌بندی پوسیدگی را کاهش دادند و بسته‌بندی مبتنی بر نانو اکسیدروی اثرات بهتری داشت (Li *et al.*, 2017) که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مطابقت داشت. این میزان پوسیدگی کمتر به‌دلیل خاصیت ممانعتی نسبتاً بالاتر مواد بسته‌بندی نانو در برابر O_2 و H_2O در مقایسه با بسته‌بندی معمولی گزارش شد، زیرا میوه را در محیطی با رطوبت کم نگه می‌دارد، که این شرایط برای رشد قارچ‌ها مساعد نیست (Yang *et al.*, 2010). در پژوهشی دیگر، بروز پوسیدگی عناب پوشش داده شده با نانو دی‌اکسید سیلیکون تنها، بیشتر از شاهد در طول زمان انبار بود (Yu *et al.*, 2012). آن‌ها بیان داشتند که پوشش متشکل از نانو دی‌اکسیدسیلیکون تنها ممکن است با لایه مومی طبیعی در سطح عناب برهم‌کنش داشته باشد که لایه محافظ طبیعی را از بین می‌برد و در نتیجه، بروز پوسیدگی افزایش می‌یابد. با این حال، در پوشش کامپوزیت (کیتوزان + نانو دی‌اکسید سیلیکون)، نانو دی‌اکسیدسیلیکون ممکن است با کیتوزان برهمکنش داشته باشد و خاصیت محافظت را بهبود داده، و بنابراین بروز پوسیدگی کمتر از شاهد بود (Yu *et al.*, 2012).

5- low-Density Polyethylene (LDPE)

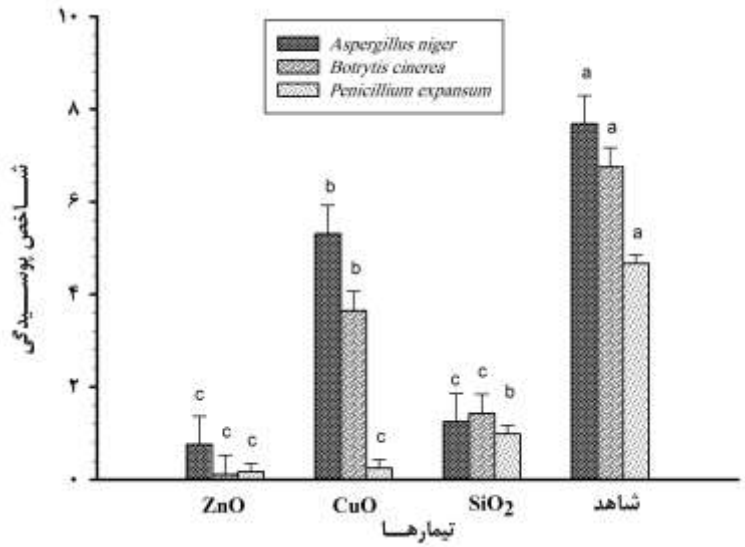
6- Nano-ZnO-based Low-Density Polyethylene (NZLDPE)-

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نانوذرات اکسید فلزی روی انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با قارچ‌های *Aspergillus niger*، *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum* در شرایط دمای اتاق.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ریزش حبه	درصد آبمیوه	شاخص پوسیدگی	pH	مواد جامد محلول کل	اسیدیته قابل تیتراسیون	ویتامین ث	ظاهر چوب	ظاهر حبه	محتوای فنل کل	محتوای آنتوسیانین کل	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
A. niger													
نانوذرات اکسید فلزی (اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسید سیلیکون)	۳	۳/۱۹۴ ns	۱۰/۷ ns	۳۳/۰۴***	۰/۳۰۵***	۱۸/۵۳***	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۲/۹۷*	۵/۶۴**	۱۷۳۰/۳۳*	۰/۵۶ ns	۲۳۰/۵۳**
خطا	۸	۳/۰۸۳	۶/۸۸	۱/۱۳	۰/۰۱۱	۱/۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۴۲	۰/۴۲	۳۴۱/۸۳	۰/۱۵	۱۷/۶۷
B. cinerea													
نانوذرات اکسید فلزی (اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسید سیلیکون)	۳	۰/۴۴۴ ns	۴۷/۲۱ ns	۲۵/۳۲***	۰/۰۰۳ ns	۷/۰۶ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۳ ns	۳/۲۲**	۵/۴۴*	۱۳۴۹/۷۸ ns	۱/۴۱**	۲۰۱/۴۲ ns
خطا	۸	۰/۴۱۷	۱۴/۶۲	۰/۵۲	۰/۰۰۸	۲/۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۰۴	۰/۴۲	۱/۳۳	۷۲۲/۴۲	۰/۱۱	۹۲/۸۳
P. expansum													
نانوذرات اکسید فلزی فلزی (اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسید سیلیکون)	۳	۰/۷۵ ns	۸/۲۸ ns	۱۳/۶۳***	۰/۰۳۴ ns	۸/۵۲ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۰۳ ns	۲/۳۱**	۳**	۳۵۷۱/۶۴ ns	۱/۷ ns	۳۷۹/۱۹*
خطا	۸	۰/۵۸۳	۲۱/۱	۰/۱	۰/۰۱۲	۲/۳۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۱۰۸۳/۰۰	۰/۹۹	۷۶/۶۷

*، **، *** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱، ۰/۱ درصد و غیرمعنی‌دار

ویراستاری نشده

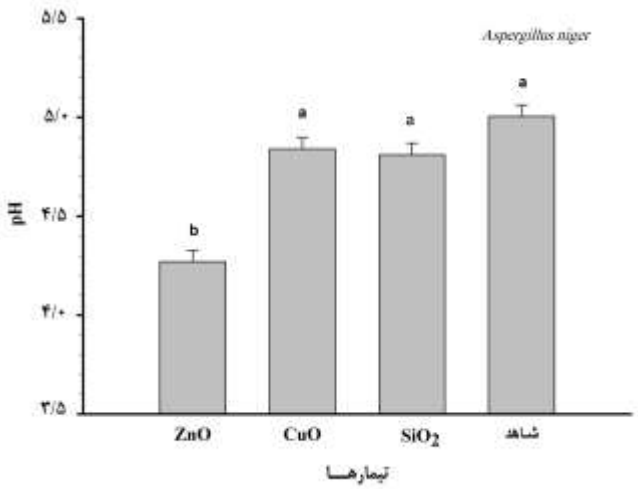


شکل ۱. اثر نانوذرات ااکسید فلزی بر شاخص پوسیدگی انگور رقم شاهرودی ناشی از گونه‌های *Aspergillus niger*، *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum*.

pH

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد (جدول ۱) که اثر نانوذرات اکسید فلزی بر pH در میوه‌های تلقیح شده با *A. niger* در سطح ۰/۱ درصد و بر محتوای قند در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، امّا در میوه‌های تلقیح شده با دو قارچ دیگر معنی‌دار نبود (جدول ۱). در خوشه‌های تلقیح شده با *A. niger* کمترین میزان pH در خوشه‌های محلول‌پاشی شده با نانو اکسیدروی به‌دست آمد (۴/۲۷) که نسبت به شاهد که دارای بیشترین مقدار pH بود (۵) تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۲). در پژوهشی دیگر روی پرتقال نیز هیچ‌گونه تغییرات عمده‌ای در میزان pH بین نمونه‌های پوشش داده شده با نانوذرات اکسیدروی و شاهد یافت نشد (Dulta *et al.*, 2022). در پژوهشی، pH میوه توت فرنگی در میوه‌های شاهد، تیمار شده با ۰/۰۳، ۰/۰۷ و ۰/۵ درصد نانواکسیدروی پس از ۱۸ روز نگهداری در انبار افزایش یافت (Sogvar *et al.*, 2016). تغییرات pH توت‌فرنگی در شرایط سردخانه روند نامنظمی داشت، با این حال، این تغییرات، کمترین مقدار را در دمای محیط و در نمونه پوشش داده شده با کیتوزان که با فیلم حاوی نانوذرات رس یک درصد و نانو دی‌اکسیدسیلیکون ۰/۰۷ درصد بسته شده بود، داشت (Barikloo and Ahmadi, 2018).

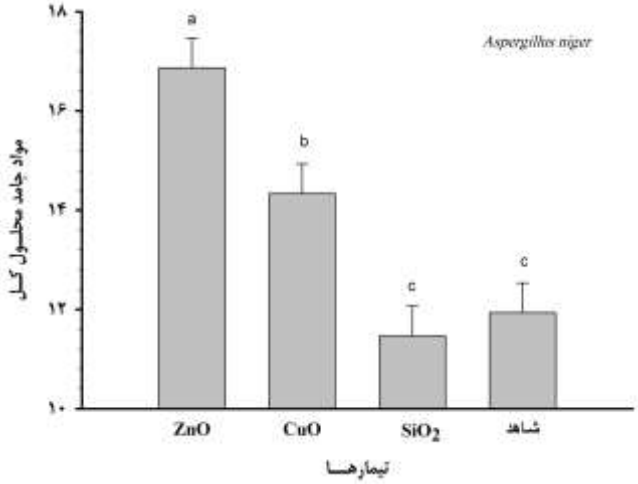
ویرایشاری نشده



شکل ۲- اثر نانوذرات اکسید فلزی بر pH انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با *Aspergillus niger*

مواد جامد محلول کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس به‌دست آمده از مطالعه حاضر، اثر نانوذرات اکسید فلزی بر مواد جامد محلول کل در میوه‌های تلقیح شده با *A. niger* در سطح ۰/۱ و بر محتوای فنل در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، امّا در میوه‌های تلقیح شده با دو قارچ دیگر معنی‌دار نبود (جدول ۱). خوشه‌های انگور آلوده شده با *A. niger* که با تیمارهای نانواکسیدروی محلول‌پاشی شده بودند، بیشترین میزان مواد جامد محلول را داشتند (۱۶/۸۷)، کمترین میزان مواد جامد محلول نیز در خوشه‌های تیمار شده با نانو دی‌اکسید سیلیکون و شاهد به‌دست آمد (به‌ترتیب ۱۱/۴۷ و ۱۱/۹۳) (شکل ۳). برخلاف نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، در میوه ازگیل ژاپنی گوشت سفید رقم Baiyu، میوه تیمار شده با کیتوزان/نانو دی‌اکسیدسیلیکون (دی‌اکسیدسیلیکون) دارای محتوای مواد جامد محلول بیشتری بود (Song *et al.*, 2016). نتایج پژوهش روی انگور نشان داد که میوه‌های دارای پوشش فیلم ضدمیکروبی حاوی نانو اکسیدروی دارای محتوای مواد جامد محلول کل بیشتری نسبت به شاهد و سایر تیمارها بود. بنابراین، آن‌ها اعلام کردند که این پوشش می‌تواند به‌طور مؤثری زمان نگهداری انگور را افزایش داده و از دست دادن مواد مغذی آن را کاهش دهد (Li *et al.*, 2023). میوه‌های لونگان پوشش داده شده با کامپوزیت کیتوزان/نانو دی‌اکسیدسیلیکون، به‌طور معنی‌داری محتوای مواد جامد محلول کل بیشتری در مقایسه با سایر نمونه‌های میوه داشتند، اگرچه تفاوت معنی‌داری بین میوه‌های تیمار شده با کیتوزان و نانو دی‌اکسید سیلیکون وجود نداشت. آن‌ها بیان داشتند که اثر این پوشش بر کاهش غلظت مواد جامد محلول کل احتمالاً به‌دلیل کاهش سرعت تنفس و فعالیت متابولیکی بوده که در نتیجه، فرآیند پیری را به تأخیر انداخته است (Shi *et al.*, 2013).



شکل ۳- اثر نانوذرات اکسید فلزی بر مواد جامد محلول کل انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با *Aspergillus niger*

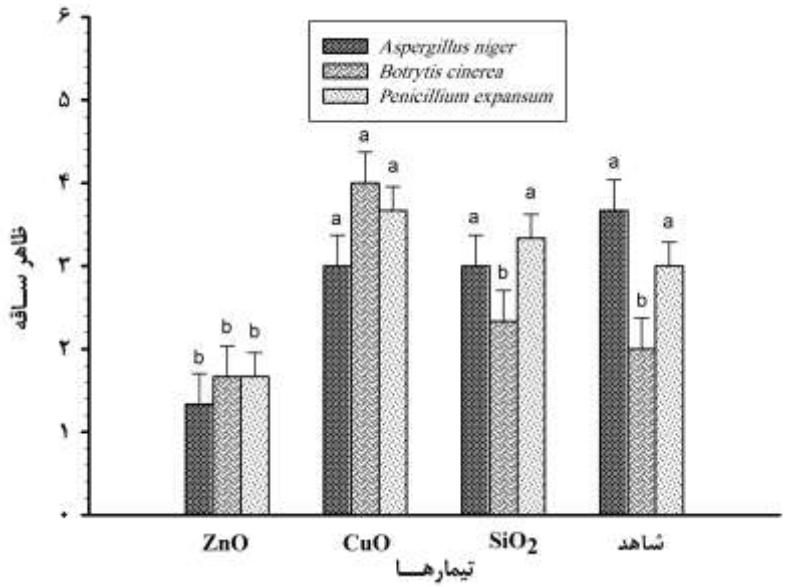
ظاهر ساقه

نتایج تجزیه واریانس حاصل از این بررسی بیانگر اثر معنی‌دار نانوذرات اکسید فلزی بر ظاهر ساقه میوه‌های تلقیح شده با *A. niger* در سطح پنج درصد و در میوه‌های تلقیح شده با سایر قارچ‌ها در سطح یک درصد بود (جدول ۱). اکثر تولیدات جهانی انگور در بازارهای محلی توزیع می‌شود

ویرایش شده

که احتمالاً بیشتر آن‌ها ظرف چند روز بعد از برداشت، به بازار عرضه می‌شوند. ساقه این انگورها عمدتاً به‌سرعت در طول زنجیره توزیع قهوه‌ای شده و منجر به ظاهر ناخوشایند خوشه‌ها می‌شود. در حالی که مصرف‌کنندگان به‌طور ناخودآگاه ساقه سبز را با تازگی مرتبط می‌دانند، و هنگامی که با خوشه‌هایی با ساقه قهوه‌ای مواجه می‌شوند، نمی‌توانند تشخیص دهند که انگور یک هفته یا دو ماه قبل، برداشت شده است، و احتمالاً انگور را به عنوان غیرجذاب دسته‌بندی می‌کنند. بنابراین، قهوه‌ای شدن ساقه به‌عنوان یک نشانگر تازگی میوه عمل می‌کند و احتمالاً نقش مهمی در ترجیح مصرف‌کنندگان و ضایعات مواد غذایی ایفا می‌کند (Sortino *et al.*, 2016).

بر اساس نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی تیمارهای نانو اکسیدروی بر خوشه‌های انگور تلقیح شده با *A. niger*، باعث حفظ بهتر ظاهر ساقه خوشه‌ها (۱/۳۳) نسبت به شاهد و سایر نانوذرات اکسید فلزی شد (به‌ترتیب ۳/۶۷ و ۳). در بین خوشه‌های انگور تلقیح شده با *B. cinerea*، ساقه خوشه‌های تیمار شده با نانو اکسیدمس بدترین ظاهر (۴) را داشتند (شکل ۴). در حالی که سایر نانوذرات اکسید فلزی منجر به ظاهر بهتر حبه‌ها و مشابه با شاهد (۲) شدند. در خوشه‌های انگور تلقیح شده با *P. expansum* و پوشش داده شده با نانو اکسیدروی، بهترین ظاهر ساقه مشاهده شد (۱/۶۷) که نسبت به شاهد و سایر نانوذرات اکسید فلزی تفاوت معنی‌داری داشت.



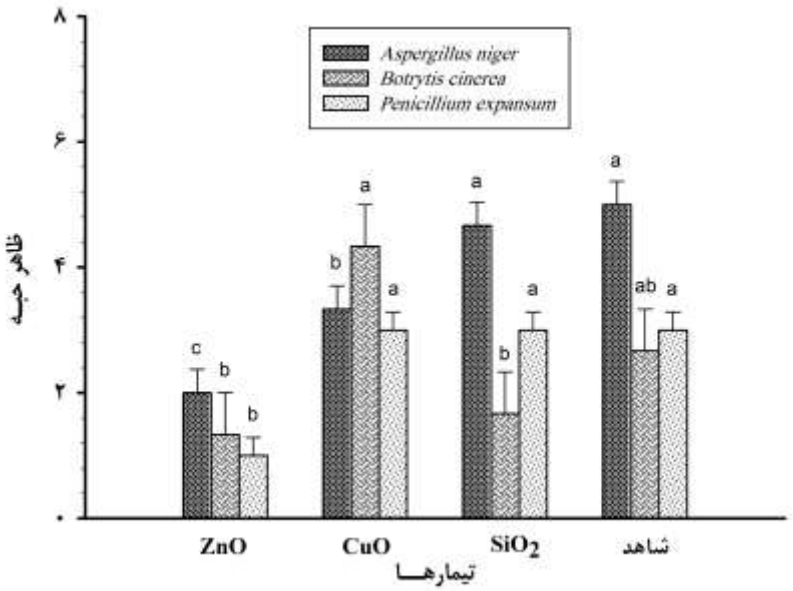
شکل ٤– اثر نانوذرات اکسید فلزی بر ظاهر چوب انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با گونه‌های *Aspergillus niger*، *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum*.
در محور عمودی اعداد ۱: ساقه سالم، ۲: قهوه‌ای شدن ناچیز ساقه، ۳: قهوه‌ای شدن متوسط ساقه و ۴: قهوه‌ای شدن شدید ساقه هستند.

ظاهر حبه

مطابق نتایج تجزیه واریانس به‌دست آمده از این پژوهش، اثر نانوذرات اکسید فلزی بر ظاهر حبه‌های تلقیح شده با *B. cinerea* در سطح پنج درصد و در حبه‌های محلول‌پاشی شده با دو قارچ دیگر در سطح یک درصد معنی‌دار بود (شکل ۱). حبه‌های انگوری که با *A. niger* تلقیح شده بودند و سپس با نانواکسیدروی محلول‌پاشی شدند، بهترین ظاهر را داشتند (۲). بدترین ظاهر حبه نیز مربوط به خوشه‌های انگور شاهد، و نانو دی‌اکسیدسیلیکون بود (۵ و ۴/۶۷) (شکل ۵). در خوشه‌های تلقیح شده با *B. cinerea*، و محلول‌پاشی شده با نانو اکسیدروی، نانو دی‌اکسید سیلیکون و شاهد به‌ترتیب بهترین ظاهر حبه مشاهده شد (به‌ترتیب ۱/۳۳، ۱/۶۷ و ۲/۶۷). بدترین ظاهر حبه نیز به‌ترتیب در خوشه‌های تیمار شده با نانو اکسید مس به‌دست آمد (۴/۳۳). همچنین بر اساس نتایج این بررسی، خوشه‌های تلقیح شده با *P. expansum* و تیمار شده با نانواکسیدروی بهترین ظاهر حبه را داشتند (۱) که نسبت به شاهد و سایر نانوذرات اکسید فلزی (۳) تفاوت معنی‌داری نشان دادند. نتایج نشان داده است که پوشش‌های nano-SiO_2/KC/KGM[7] توانایی حفظ رنگ قارچ‌های خوراکی سفید را دارند که احتمالاً می‌تواند به سرعت انتقال اکسیژن (OTR[8]) و سرعت انتقال دی‌اکسیدکربن (CDTR[9]) مناسب این پوشش نسبت داده شود. این احتمال وجود دارد که سرعت تنفس کمتر، کاهش کیفیت قارچ خوراکی و همچنین پیری آن را به تعویق می‌اندازد، و در نتیجه، رنگ آن برای مدت طولانی‌تری حفظ می‌شود (Zhang *et al.*, 2019). در بررسی های ظاهری میوه لونگان نیز میوه‌های تیمار شده با نانوکامپوزیت کیتوزان و دی‌اکسیدسیلیکون نسبت به میوه شاهد، قهوه‌ای شدن و ایجاد ضایعه

7- Nano-SiO_2/carrageenan (KC)/konjac glucomannan (KGM)
8- Oxygen transmission rate
9- Carbon dioxide transmission rate

خفیف‌تری داشتند، آن‌ها اعلام کردند که علت این امر را می‌توان به سرعت آهسته تنفس و کاهش تولید اتیلن نسبت داد که منجر بـه تغییـر محـیط داخلی میوه می‌شود (Shi *et al.*, 2013).

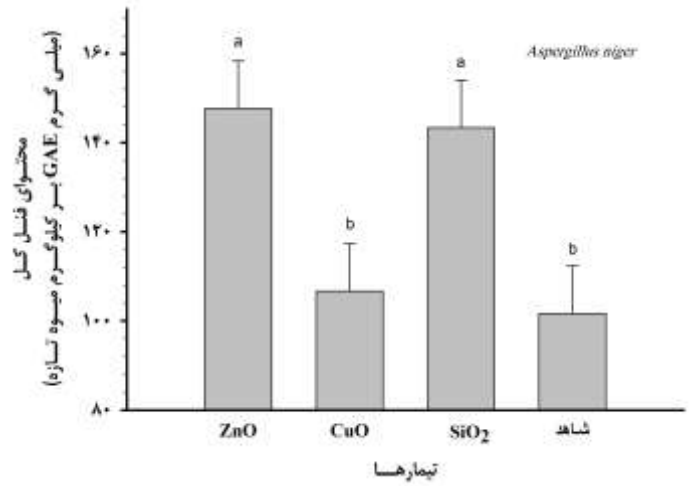


شکل ۵– اثر نانوذرات اکسید فلزی بر ظاهر حبه‌های انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با گونه‌های *Aspergillus niger*، *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum*. در محور عمودی اعداد ۱: ظاهر عالی، ۲: ظاهر خوب، ۳: ظاهر اندکی متأثر، ۴: قهوه‌ای و نرم شدن کمتر از ۵۰ درصد حبه‌ها و ۵: قهوه‌ای و نرم شدن بیش از ۵۰ درصد حبه‌ها هستند.

محتوای فنل

فنل‌ها، متابولیت‌های ثانویه موجود در میوه‌ها و سبزیجات هستند که از طریق جذب رادیکال‌های آزاد که در طی تنش اکسیداتیو تولید می‌شوند، دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند (Peretto *et al.*, 2017). انگور منبع مهمی از ترکیبات فنلـی محسـوب مـی‌شـود کـه عمـدتاً مسـئول خـواص آنتی‌اکسیدانی هستند (Baiano and Terracone, 2011). بر اساس تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش، اثر نانوذرات اکسید فلـزی بـر محتوای فنل کل میوه‌های تلقیح شده با *A. niger* در طرح پنج درصد معنی‌دار بود، اما میوه‌های تلقیح شده با سایر قارچ‌ها تحت تأثیر این نـانوذرات قرار نگرفتند (جدول ۱). بیشترین محتوای فنل در میوه‌های انگور تلقیح شده با *A. niger*، در میوه‌های پوشش داده شده بـا نـانو اکسـیدروی و نـانو دی‌اکسیدسیلیکون به‌دست آمد (به‌ترتیب ۱۴۷/۶۷ و ۱۴۳/۳۳ میلی‌گرم اسیدگالیک بر کیلوگرم میوه تازه) که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها و شاهد داشت (به ترتیب ۱۰۶/۶۷ و ۱۰۱/۶۷ میلی‌گرم اسیدگالیک بر کیلوگرم میوه تازه) (شکل ۶).

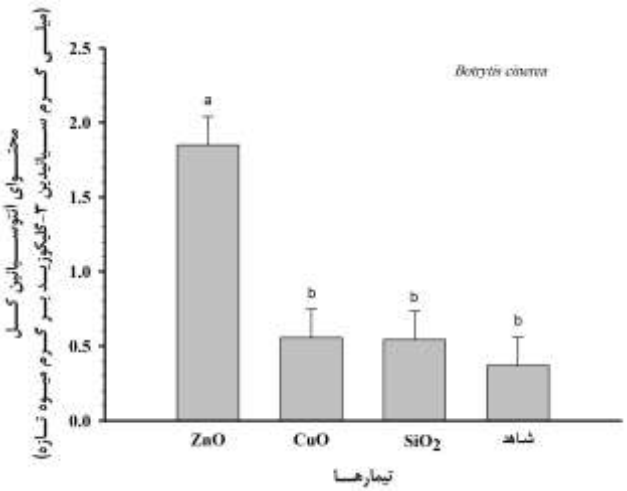
در بررسی حبه‌های انگور تلقیح شده با کپـک خاکسـتری نیـز نانوکامپوزیت‌هـای کیتوزان/دی‌اکسیدسـیلیکون باعـث افـزایش فنـل کـل شـد (Youssef and Roberto, 2021). تفاوت معنی‌داری از نظر از دست دادن محتوای پلی فنل کل بین نمونه‌های عناب شاهد و نمونـه‌های پوشـش داده شده با کیتوزان + نانو دی‌اکسیدسیلیکون مشاهده نشد که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش روی انگورهـای تلقـیح شـده بـا *B. cinerea* و *P. expansum* مطابقت داشت (Yu *et al.*, 2012). اثرات تیمارها بر فنل کل میوه توت فرنگی معنی‌دار نبود، اما فنل کل میوه تیمـار نشـده، میـوه تیمار شده با ۰/۰۳، ۰/۰۷ و ۰/۵ درصد نانواکسیدروی به ترتیب ۳۰۶، ۳۲۰/۹، ۳۱۲/۲ و ۳۲۵ میلی‌گرم اسـیدگالیک بـر گـرم وزن تـازه بـود. پوشـش ممکن است یک سد محافظ روی سطح میوه ایجاد کند و اکسیژن‌رسانی را برای اکسیداسـیون آنزیمـی کـاهش دهـد. لـی و همکـاران (Li *et al.*, 2011b) پتانسیل بسته‌بندی نانو حاوی نانوذرات اکسید روی را در طول انبار برش‌های سیب فوجی تأیید کردند؛ و در نتیجه، حفظ بهتر شـاخص‌های کیفی مانند محتوای اسیدآسکوربیک و پلی‌فنل و تعداد کمتر میکروارگانیسم‌ها را نشان دادند (Llorens *et al.*, 2012).



شکل ٦– اثر نانوذرات اکسید فلزی بر محتوای فنل انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با *Aspergillus niger*.

محتوای آنتوسیانین

حبه‌های قرمز یا ارغوانی سرشار از آنتوسیانین هستند، در حالی که حبه‌های سفید سبز دارای تانن به‌خصوص کاتچین هستند. این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به‌شدت در پوست و دانه‌ها متمرکز شده‌اند (Sonker *et al.*, 2016). بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های این بررسی، محتوای آنتوسیانین انگورهای تلقیح شده با *B. cinerea* به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نانوذرات اکسید فلزی قرار گرفت ($P\leq$ ۰/۰۱)، امّا نانوذرات اکسید فلزی بر محتوای آنتوسیانین انگورهای تلقیح شده با سایر قارچ‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). در بین تیمارهای مورد آزمایش، محلول‌پاشی نانواکسیدروی بر انگورهای تلقیح شده با *B. cinerea* بیشترین محتوای آنتوسیانین را به همراه داشت (۱/۸۵ میلی‌گرم سیانیدین ۳- گلیکوزید بر گرم میوه تازه) که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد (۰/۵۶، ۰/۵۴ و ۰/۳۷ میلی‌گرم سیانیدین ۳- گلیکوزید بر گرم میوه تازه) (شکل ۷). در میوه توت فرنگی نیز محتوای آنتوسیانین کل در طول ذخیره‌سازی صرف نظر از تیمارها کاهش یافت، اما در میوه توت‌فرنگی تیمار شده با غلظت بالاتر نانواکسیدروی کندتر کاهش یافت. اثرات تیمارهای ۰/۰۷ و ۰/۵ درصد نانو اکسیدروی بر حفظ آنتوسیانین کل بیشتر از میوه‌های تیمار نشده یا میوه‌های تیمار شده با ۰/۰۳ درصد نانواکسیدروی بود (Sogvar *et al.*, 2016).



شکل ۷– اثر نانوذرات اکسید فلزی بر محتوای آنتوسیانین انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با *Botrytis cinerea*.

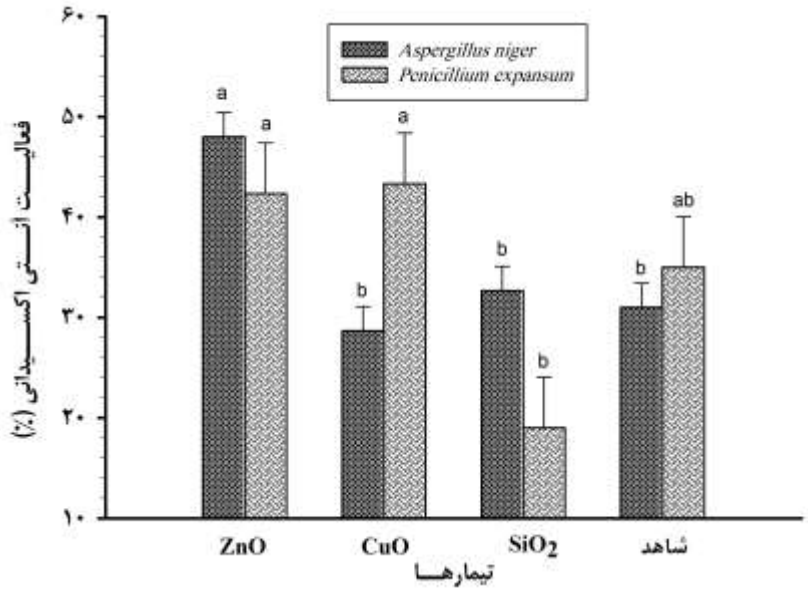
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس به‌دست آمده از این پژوهش نشانگر اثر معنی‌دار نانوذرات اکسید فلزی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های انگور تلقیح شده با *A. niger* و *P. expansum* به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد بود، امّا نانوذرات اکسید فلزی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های تلقیح شده با *B. cinerea* تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های انگور تلقیح شده با *A. niger* در خوشه‌های پوشش داده شده با نانواکسیدروی به‌دست آمد (۴۸ درصد). خوشه‌های انگور تیمار شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی و شاهد نیز کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را

ویراستاری نشده

داشتند (شکل ۸). در خوشه‌های انگور تلقیح شده با *P. expansum* بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب در میوه‌های تیمار شده با نانو اکسید مس و نانواکسیدروی (۴۳/۳۳ درصد و ۴۲/۳۳ درصد) مشاهده شد. خوشه‌های انگور محلول‌پاشی شده با نانو دی‌اکسید سیلیکون نیز کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشتند (۱۹ درصد).

در پژوهشی، میزان کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی پس از ۱۸ روز انبار در میوه توت فرنگی تیمار نشده بیشتر از تیمار شده با ۰/۵ درصد نانو اکسیدروی بود که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت داشت (Wang *et al.*, 1996). در میوه پرتقال نیز، فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های شاهد ۳/۵ برابر بیشتر از نمونه‌های دارای پوشش حاوی نانوذرات اکسیدروی کاهش یافت (Dulta *et al.*, 2022). در آزمایشی ثابت شد که حذف ROS و بهبود مقاومت در برابر بیماری برای گیاهان یک فرآیند پیچیده است. تنظیم مناسب نسبت و غلظت مس، روی، آهن، منگنز و سایر عناصر فلزی که نقش مهمی در سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارند، می‌تواند عملکرد آنزیم‌ها و مواد آنتی‌اکسیدانی گیاه را تغییر داده و باعث تولید و حذف ROS در گیاهان شود. همیشه یک ترکیب فلزی وجود دارد که می‌تواند به‌طور مؤثر آسیب‌های ناشی از تنش‌های خارجی از جمله بیمارگرهای گیاهی را کاهش دهد و در نتیجه، میزان بروز و شاخص بیماری‌ها را در گیاهان کاهش دهد (Pan and Du, 2017). برخلاف نتایج حاصل از این پژوهش، سانگ و همکاران (Song *et al.*, 2016) نشان دادند که کیتوزان/نانو دی‌اکسیدسیلیکون، کیفیت پس از برداشت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه ازگیل ژاپنی را در طی انبار سرد به میزان زیادی بهبود بخشید.



شکل ۸– اثر نانوذرات اکسید فلزی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با گونه‌های *Aspergillus niger* و *Penicillium expansum*.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که نانوذرات اکسید روی، اکسید مس و دی‌اکسید سیلیکون تأثیر معنی‌داری بر ریزش حبه، درصد آبمیوه، اسیدیته قابل تیتراسیون و ویتامین ث انگور تلقیح شده با گونه‌های *A. niger*، *B. cinerea* و *P. expansum* نداشتند. امّا شاخص پوسیدگی انگورها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر این نانوذرات قرار گرفت ($P\leq$ ۰/۰۰۱). در بین نانوذرات اکسید فلزی مورد آزمایش، نانوذرات اکسیدروی توانایی زیادی در کنترل پوسیدگی‌های ناشی از گونه‌های *A. niger*، *B. cinerea* و *P. expansum* روی میوه‌های انگور رقم شاهرودی نشان دادند. هم‌چنین، حبه و ساقه انگورهای تیمار شده با نانوذرات اکسید روی ظاهر بهتری نسبت به انگورهای محلول‌پاشی شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی داشتند. علاوه‌براین، محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی منجر به محتوای فنل و آنتوسیانین بیشتر انگورهای تلقیح شده با *A. niger* و *B. cinerea* در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی و شاهد شد. در انگورهای تلقیح شده با *A. niger* و *P. expansum*، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب از طریق محلول‌پاشی با نانواکسیدروی و محلول‌پاشی با نانواکسیدروی و نانو اکسید مس به‌دست آمد. به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از نانوذرات اکسید روی برای کنترل پوسیدگی‌های ناشی از *A. niger*، *B. cinerea* و *P. expansum* روی انگور رقم شاهرودی توصیه می‌گردد. علاوه‌براین، با توجه به اینکه اطلاعات اندکی در این زمینه وجود دارد، پیشنهاد می‌گردد تحقیقات بیشتری به‌منظور بررسی تأثیر این نانوذرات روی مهار سایر گونه‌های قارچی در سایر ارقام انگور و همچنین سایر میوه‌ها صورت گیرد.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد جهت تأمین هزینه‌های این رساله قدردانی می‌نمایند.

منابع

امامی فر، آریو (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر پوشش خوراکی نانوذرات اکسید روی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی انگور سیاه طی انبارداری. فناوری‌های جدید در صنعت غذا، ۵(۴)، ۶۶۳-۶۸۰. https://doi.org/10.22104/jift.2018.2704.1644

خیرخواه فقرا، سحر؛ جعفریان، سارا؛ زمردی، شهین؛ روزبه، لیلا و خسروشاهی اصل، اصغر (۱۴۰۰). تأثیر ضد میکروبی پوشش موسیلاژ دانه ریحان حاوی نانوذرات اکسیدروی بر کیفیت پنیر چدار در طول رسیدن. مجله میکروب‌شناسی مواد غذائی، ۲(۸)، ۸۸-۱۰۱.

شیری، نیما و اخلاقی، مصطفی (۱۳۹۸). بررسی خاصیت ضدباکتریایی نانواکسیدروی و نانواکسیدمس بر برخی عوامل باکتریایی بیماری‌زا در ماهی و تعیین درجه سمیت آن‌ها برای قزل‌آلای رنگین‌کمان. علوم و فنون شیلات، ۹(۱)، ۲۱-۲۹.

Abd-Elsalam, K.A., Hashim, A.F., Alghuthaymi, M.A., & Said-Galiev, E. (2017). Nanobiotechnological strategies for toxigenic fungi and mycotoxin control. In *Nanotechnology in the Agri-Food Industry, Food Preservation*. edited by Mihai Grumezescu, A., Academic Press, 337-364. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804303-5.00010-9

Baiano, A., & Terracone, C. (2011). Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant activities of seven table grape cultivars grown in the south of Italy based on chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(18), 9815-9826. https://doi.org/10.1021/jf203003c

Barikloo, H., & Ahmadi, E. (2018). Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging. *Scientia Horticulturae*, *240* 496-508. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.012

Cappellini, R. (1986). Disorders in table grape shipments to the New York market, 1972-1984. *Plant Disease*, *70*(11), 1075. https://doi.org/10.1094/PD-70-1075

Carvajal-Millán, E., Carvallo, T., Orozco, J., Martínez, M., Tapia, I., Guerrero, V., Rascón-Chu, A., Llamas, J., & Gardea, A. (2001). Polyphenol oxidase activity, color changes, and dehydration in table grape rachis during development and storage as affected by N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(2), 946-951. https://doi.org/10.1021/jf000856n

Cioroi, M. (2006) .Study on L-ascorbic acid contents from exotic fruits .

Crisosto, C.H., Garner, D., & Crisosto, G. (2002). High carbon dioxide atmospheres affect stored 'Thompson seedless' table grapes. *HortScience*, *37*(7), 1074-1078. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.7.1074

Droby ,S., & Lichter, A. (2007). Post-harvest *Botrytis* infection: Etiology, development and management. *Botrytis*: Biology, Pathology and Control. *Springer*, 349-367.

Dulta, K., Koşarsoy Ağçeli, G., Thakur, A., Singh, S., Chauhan, P., & Chauhan, P. (2022). Development of alginate-chitosan based coating enriched with ZnO nanoparticles for increasing the shelf life of orange fruits (*Citrus sinensis* L.). *Journal of Polymers and the Environment*, *30*(8), 3293-3306.

El-Moneim, D.A., Dawood, M.F., Moursi, Y.S., Farghaly ,A.A., Afifi, M., & Sallam, A. (2021). Positive and negative effects of nanoparticles on agricultural crops. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, *6*(2), 21.

Elmer, W., Ma, C., & White, J. (2018). Nanoparticles for plant disease management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *6* 66-70. https://doi.org/j.coesh.2018.08.002

Emamifar, A. (2018). Evaluation of nano ZnO edible coating effect on microbial, physicochemical and sensorial characteristics of black table grape during storage. *Innovative Food Technologies*, *5*(4), 663-680. https://doi.org/10.22104/jift.2018.2704.1644

U.S. Food and Drug Adminastration. (2011). Food additive status list. http://www.fda.gov/Food/FoodIngredientsPackaging/FoodAdditives/ucm191033.htm#ftnS.12.

Garcia, C.V., Shin, G.H., & Kim, J.T. (2018). Metal oxide-based nanocomposites in food packaging: Applications, migration, and regulations. *Trends in Food Science & Technology*, *82*, 21-31. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.021

Guo, J., Fang, W., Lu, H., Zhu, R., Lu, L., Zheng, X., & Yu, T. (2014). Inhibition of green mold disease in mandarins by preventive applications of methyl jasmonate and antagonistic yeast *Cryptococcus laurentii*. *Postharvest Biology and Technology*, *88*, 72-78. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.09.008

Hashim, A.F., Youssef, K., & Abd-Elsalam, K.A. (2019). Ecofriendly nanomaterials for controlling gray mold of table grapes and maintaining postharvest quality. *European Journal of Plant Pathology*, *154*, 377-388.

He, L., Liu, Y., Mustapha, A., & Lin, M. (2011). Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiological Research*, *166*(3), 207-215. https://doi.org/10.1016/j.micres. 2010.03.003

Kheirkhah Foghara, S., Jafarian, S., Zomorodi, S., Roozbeh, L., Khosrowshahi Asl, A. (2021). The antimicrobial effect of basil seed mucilage-ZnO nanocomposite coating on the quality of cheddar cheese during ripening. *Journal of Food Microbiology*, *2*(8), 88-101 (*in Persian*).

Krikorian, R., Boespflug, E.L., Fleck, D.E., Stein, A.L., Wightman, J.D., Shidler, M.D., & Sadat-Hossieny, S. (2012). Concord grape juice supplementation and neurocognitive function in human aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(23), 5736-5742. https://doi.org/10.1021/jf300277g

Król, A., Pomastowski, P., Rafińska, K., Railean-Plugaru, V., & Buszewski, B. (2017). Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Advances in Colloid and Interface Science*, *249* 37-52. https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.07.033

Li, D., Li, L., Luo, Z., Lu, H., & Yue, Y. (2017). Effect of nano-ZnO-packaging on chilling tolerance and pectin metabolism of peaches during cold storage. *Scientia Horticulturae*, *225* 128-133. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.003

L, J., Zhang, G., Zhang, Z., Zhang, Y., & Zhang, D. (2023). Synergistic microbial inhibition and quality preservation for grapes through high-voltage electric field cold plasma and nano-ZnO antimicrobial film treatment. *Foods*, *12*(23), 4234.

Li, X., Li, W., Jiang, Y., Ding, Y., Yun, J., Tang, Y., & Zhang, P. (2011a). Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji'apple. *International Journal of Food Science & Technology*, *46*(9), 1947-1955. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02706.x

Li, X.H., Li, W.L., Xing, Y.G., Jiang, Y.H., Ding, Y.L., & Zhang, P.P. (2011b). Effects of nano-ZnO power-coated PVC film on the physiological properties and microbiological changes of fresh-cut" Fuji" apple. *Advanced Materials Research*, *152* 450-453. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.152-153.450

Llorens, A., Lloret, E., Picouet, P.A., Trbojevich, R., & Fernandez, A. (2012). Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, *24*(1), 19-29. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.001

Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J.M., Bailén, G., Zapata, P., Serrano, M., Castillo, S., & Valero, D. (2007). Influence of carvacrol on survival of *Botrytis cinerea* inoculated in table grapes. *International Journal of Food Microbiology*, *115*(2), 144-148. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.10.015

Melgarejo-Flores, B., Ortega-Ramírez, L., Silva-Espinoza, B., González-Aguilar, G., Miranda, M., & Ayala-Zavala, J. (2013). Antifungal protection and antioxidant enhancement of table grapes treated with emulsions, vapors, and coatings of cinnamon leaf oil. *Postharvest Biology and Technology*, *86* 321-328. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.027

Meng, X., Li, B., Liu, J., & Tian, S. (2008). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, *106*(2), 501-508. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.012

Moyer, R.A., Hummer, K.E., Finn, C.E., Frei, B., & Wrolstad, R.E. (2002). Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: Vaccinium, Rubus, and Ribes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(3), 519-525. https://doi.org/10.1021/jf011062r

Palou, L., Serrano, M., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2010). New approaches for postharvest quality retention of table grapes. *Fresh Produce*, *4*(1), 103-110.

Pan, C., & Du, X. (2017). A study on the effects of the best combination of copper, zinc, iron, and manganese on the relationship of lettuce resistance to *Botrytis cinerea* and its antioxidant system. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 330-338. https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-07-840

Peretto, G., Du, W.-X., Avena-Bustillos, R.J., De J. Berrios, J., Sambo, P., & McHugh, T.H. (2017). Electrostatic and conventional spraying of alginate-based edible coating with natural antimicrobials for preserving fresh strawberry quality. *Food and Bioprocess Technology*, *10* 165-174. https://doi.org/10.1007/s11947-016-1808-9

Rajwade, J.M., Chikte, R., & Paknikar, K. (2020). Nanomaterials: New weapons in a crusade against phytopathogens. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *104* 1437-1461.

Rana, R.A., Siddiqui, M.N., Skalicky, M., Brestic, M., Hossain, A., Kayesh, E., Popov, M., Hejnak, V., Gupta, D.R., & Mahmud, N.U. (2021). Prospects of nanotechnology in improving the productivity and quality of horticultural crops. *Horticulturae*, *7*(10), 332.

Ruffo Roberto, S., Youssef, K., Hashim, A.F., & Ippolito, A. (2019). Nanomaterials as alternative control means against postharvest diseases in fruit crops. *Nanomaterials*, *9*(12), 1752.

Sardella, D., Gatt, R., & Valdramidis, V.P. (2019). Metal nanoparticles for controlling fungal proliferation: quantitative analysis and applications. *Current Opinion in Food Science*, *30*, 49-59.

Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., & Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *76*(2), 270-276. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199802)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9

Shen, Y., & Yang, H. (2017). Effect of preharvest chitosan-g-salicylic acid treatment on postharvest table grape quality, shelf life, and resistance to *Botrytis cinerea*-induced spoilage. *Scientia Horticulturae*, *224* 367-373 .

Shi, S., Wang, W., Liu, L., Wu ,S., Wei, Y., & 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. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.029

Shiry, N., & Akhlaghi, M. 2020. Assessment of nano zinc oxide and nano copper oxides' bactericidal effect on some bacterial pathogens in fish and determination of their toxicity degree in rainbow trout. *Journal of Fisheries Science and Technology, 9*(1), 21-29 (*in Persian*).

Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, *28*(1), 49-55. https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49

Sogvar, O.B., Saba, M.K., Emamifar, A., & Hallaj, R. (2016). Influence of nano-ZnO on microbial growth, bioactive content and postharvest quality of strawberries during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *35* 168-176. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.005

Song, H., Yuan, W., Jin, P., Wang, W., Wang, X., Yang, L & ,.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. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.015

Sonker, N., Pandey, A.K., & Singh, P. (2016). Strategies to control post-harvest diseases of table grape: A review. *Journal of Wine Research*, *27*(2), 105-122. https://doi.org/10.1080/09571264.2016.1151407

Sortino, G., Farina, V., Gallotta, A., & Allegra, A. (2016). Effect of low SO2 postharvest treatment on quality parameters of 'Italia' table grape during prolonged cold storage. VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits-Ethical and Technological Issues 1194.

Stoimenov, P.K., Klinger, R.L., Marchin, G.L & ,.Klabunde, K.J. (2002). Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir*, *18*(17), 6679-6686. https://doi.org/10.1021/la0202374

Tournas, V., & Katsoudas, E. (2005). Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits. *International journal of food microbiology*, *105*(1), 11-17. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.05.002

Upadhyay, T.K., Kumar, V.V., Sharangi, A.B., Upadhye, V.J., Khan, F., Pandey, P., Kamal, M.A., Baba, A.Y., & Hakeem, K.R. (2022). Nanotechnology-based advancements in postharvest management of horticultural crops. *Phyton-International Journal of Wxpeimental Botany* .

Wang, H., Cao, G., & Prior, R.L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *44*(3), 701-705. https://doi.org/10.1021/jf950579y

Xu, W-.T., Huang, K.-L., Guo, F., Qu, W., Yang, J.-J., Liang, Z.-H., & Luo, Y.-B. (2007). Postharvest grapefruit seed extract and chitosan treatments of table grapes to control *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, *46*(1), 86-94. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.019

Yang, F., Li, H., Li, F., Xin, Z., Zhao, L., Zheng, Y., & Hu, Q. (2010). Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during storage at 4 °C. *Journal of Food Science*, *75*(3), C236-C240. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01520.x

Youssef, K., de Oliveira, A.G., Tischer, C.A., Hussain, I., & Roberto, S.R. (2019). Synergistic effect of a novel chitosan/silica nanocomposites-based formulation against gray mold of table grapes and its possible mode of action. *International Journal of Biological Macromolecules*, *141*, 247-258.

Youssef, K., & Roberto, S.R. (2014). Applications of salt solutions before and after harvest affect the quality and incidence of postharvest gray mold of 'Italia' table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, *87*, 95-102. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.011

Youssef, K., & Roberto, S.R. (2021). Chitosan/silica nanocomposite-based formulation alleviated gray mold through stimulation of the antioxidant system in table grapes. *International Journal of Biological Macromolecules*, *168*, 242-250 .

Yu, Y., Zhang, S., Ren, Y., Li, H., Zhang, X., & Di, J. (2012). Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide. *Journal of Food Engineering*, *113*(3), 408-411 . https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.021

Zhang, R., Wang, X., Li, L., Cheng, M., & Zhang, L. (2019). Optimization of konjac glucomannan/carrageenan/nano-SiO_2 coatings for extending the shelf-life of *Agaricus bisporus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, *122*, 857-865. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.165

Evaluation of the effects of zinc oxide, copper oxide, and silicon dioxide nanoparticles on the control of grape rot caused by *Aspergillus niger* Tiegh., *Botrytis cinerea* Pers. and *Penicillium expansum* Link. at room temperature

Extended Abstract

Introduction

One of the most important problems in the postharvest quality of fruits is the control of fungal rot, which leads to economic losses every year by decreasing fruit quality. Grapes (*Vitis vinifera*) are among the fruits that are very sensitive to fungal rot after harvest. On the other hand, due to the risks of using synthetic fungicides and chemicals, consumer demands for healthy, fresh, and organic foods have increased. Therefore, researchers are seeking safe, effective, and economical alternative methods. Recently, metal oxide nanoparticles have been proposed as an alternate due to their strong antimicrobial effects on a wide range of microorganisms. The present study was conducted to investigate the effect of nanoparticles of zinc oxide, copper oxide, and silicon dioxide on the control of decay caused by fungi *A. niger*, *B. cinerea*, and *P. expansum* on grape fruit of Shahroudi cultivar at room temperature.

Materials and Methods

This study aimed to investigate the effects of zinc oxide, copper oxide, and silicon dioxide nanoparticles on the control of grape rot caused by *A. niger*, *B. cinerea*, and *P. expansum* fungi at room temperature. This study was done during 2019-2022 at the laboratories of the Horticultural Sciences Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Samples of *A. niger* and *P. expansum* were obtained from the Fungal Collection of the Department of Plant Protection, Ferdowsi University, and the *B. cinerea* sample (IRAN 2619C) was obtained from the Iranian Research Institute of Plant Protection.

Results and Discussion

The results of this research showed that the rotting of grapes that were infected by *A. niger* and *B. cinerea* was greatly inhibited by spraying grape bunches with nano-zinc oxide and nano-silicon dioxide. The lowest rate of rotting in grapes infected with *P. expansum* was also obtained by spraying grape bunches with nano-zinc oxide (0.16) and nano-copper oxide (0.25). Nano-zinc oxide also increased total soluble solids in grape fruits inoculated with *A. niger* (16.87), although it had no significant effect on grapes inoculated with other fungi. Also, the results showed that the berry and stem of the grapes which were infected with fungi and treated with nano-zinc oxide had a better appearance compared to the fruits treated with other nanoparticles and the control. Furthermore, Fruits infected with *A. niger* and sprayed with nano-zinc oxide and nano-silicon dioxide had higher phenol contents (147.66 and 143.33 mg GAE.kg^{-1} fresh fruit, respectively) compared to the samples treated with other nanoparticles and control (106.66 and 101.66 mg GAE.kg^{-1} fresh fruit, respectively). Anthocyanin content in grapes infected with *B. cinerea* and treated with zinc oxide nanoparticles was significantly higher (1.85 mg cyanidin 3-glucoside.g^{-1} fresh fruit) than in controls and samples treated with other nanoparticles. In grape fruits infected with *A. niger* and *P. expansum*, antioxidant activity was increased by spraying with nano-zinc oxide (48%), and nano-zinc oxide, and nano-copper oxide (43.33% and 42.33%, respectively). Researchers reported that treatments based on nano-zinc oxide on apple, peach, and strawberry fruits, in addition to reducing fruit rot, maintaining levels of soluble solids and titratable (Li *et al.*, 2011a), maintaining fruit quality, significantly delaying weight loss, firmness, decay percentage, pH and vitamin C content and had positive effects on maintaining higher total anthocyanin concentrations and antioxidant capacity (Sogvar *et al.*, 2016). Nano silicon dioxide in combination with chitosan greatly improved the quality of longan fruit during storage at room temperature (Shi *et al.*, 2013). Chitosan/nano-silica coating effectively reduced internal browning and weight loss of loquat fruit and maintained high levels of total soluble solids, titratable acidity, glucose, and fructose (Song *et al.*, 2016).

Conclusion

In general, the results of this study reveal that among the examined metal oxide nanoparticles, zinc oxide nanoparticles have the great capability to control fruit rots caused by *A. niger*, *B. cinerea*, and *P. expansum* fungi. Also, the grape berries and the stems which are sprayed with zinc oxide nanoparticles have a better appearance. In addition, zinc oxide nanoparticles spray led to higher phenolic and anthocyanin content in grapes inoculated with *A. niger* and *B. cinerea* compared to samples treated with other metal oxide nanoparticles and controls. In grapes inoculated with *A. niger* and *P. expansum*, the highest antioxidant activity was obtained by spraying with nano zinc oxide and spraying with nano zinc oxide and nano copper oxide, respectively.

Keywords: Antifungal activity, antioxidant activity, inhibitory effect, phenol, post-harvest