



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

Fahimeh Feyzi Laeen¹ , Bahram Abedy² , Gholam Hossein Davarynejad³ ,
Parissa Taheri⁴ 

1. Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: fmfeizi@mail.um.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: abedy@um.ac.ir
3. Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: davarynej@um.ac.ir
4. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: p-taheri@um.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	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 (<i>Vitis vinifera</i> cv. Shahroodi) rot caused by <i>Aspergillus niger</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , and <i>Penicillium expansum</i> fungi at room temperature. The results of this research showed that the rotting of grapes that were infected by <i>A. niger</i> and <i>B. cinerea</i> was greatly inhibited by spraying grape bunches with nano-zinc oxide and nano-silicon dioxide. The lowest rate of rotting in grapes infected with <i>P. expansum</i> 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 <i>A. niger</i> , 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 <i>A. niger</i> , 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 <i>B. cinerea</i> and treated with zinc oxide nanoparticles was significantly higher than in controls and samples treated with other nanoparticles. In grape fruits infected with <i>A. niger</i> and <i>P. expansum</i> , antioxidant activity was increased by spraying with nano-zinc oxide, and nano-zinc oxide, and nano-copper oxide, respectively.
Article history: Received: 23 April 2024 Revised: 8 June 2024 Accepted: 30 June 2024 Published online: Spring and Summer 2024	
Keywords: <i>Antifungal activity,</i> <i>antioxidant activity,</i> <i>inhibitory effect,</i> <i>phenol,</i> <i>post-harvest.</i>	

Cite this article: Feyzi Laeen, F., Abedy, B. Davarynejad, Gh. H. & Taheri, P. (2024). 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. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 55 (1), 23-42. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2024.375464.1007059>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2024.375464.1007059>

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 Shahroodi 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.

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

فهیمة فیضی لائین^۱ | بهرام عابدی^۲ | غلامحسین داوری نژاد^۳ | پریسا طاهری^۴

۱. گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: fmfeizi@mail.um.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: abedy@um.ac.ir
۳. گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: davarynej@um.ac.ir
۴. گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: p-taheri@um.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این پژوهش به منظور بررسی تأثیر نانوذرات اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون بر کنترل سه بیمارگر قارچی <i>Aspergillus niger</i> ، <i>Botrytis cinerea</i> و <i>Penicillium expansum</i> روی انگور رقم شاهرودی در شرایط دمای اتاق در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. نتایج نشان داد که محلول پاشی خوشه‌های انگور با نانو اکسیدروی و نانو دی‌اکسیدسیلیکون منجر به بیشترین مهار پوسیدگی انگورهای تلقیح شده با قارچ‌های <i>A. niger</i> و <i>B. cinerea</i> شد که تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. کمترین پوسیدگی نیز از محلول پاشی خوشه‌های انگور با نانو اکسیدروی و نانو اکسیدمس بر انگورهای تلقیح شده با <i>P. expansum</i> به دست آمد، بیشترین پوسیدگی نیز در انگورهای شاهد مشاهده شد. نانو اکسیدروی همچنین باعث افزایش مواد جامد محلول کل در میوه‌های انگور تلقیح شده با <i>A. niger</i> 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. علاوه بر این، میوه‌های تلقیح شده با <i>A. niger</i> و محلول پاشی شده با نانو اکسیدروی و نانو دی‌اکسیدسیلیکون، محتوای فنل بیشتری نسبت به سایرین داشتند. محتوای آنتوسیانین میوه‌های انگور تلقیح شده با <i>B. cinerea</i> و تیمار شده با نانو اکسیدروی به طور معنی‌داری بیشتر از میوه‌های محلول پاشی شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی و شاهد بود. همچنین، در میوه‌های انگور تلقیح شده با <i>A. niger</i> و <i>P. expansum</i> ، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب از طریق محلول پاشی با نانو اکسیدروی و محلول پاشی با نانو اکسیدروی و نانو اکسیدمس به دست آمد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰ تاریخ انتشار: بهار و تابستان ۱۴۰۳	
کلیدواژه‌ها: اثر بازدارندگی، پس از برداشت، فعالیت ضدقارچی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل.	

استناد: فیضی لائین، فهیمة؛ عابدی، بهرام؛ داوری نژاد، غلامحسین و طاهری، پریسا (۱۴۰۳). اثر نانوذرات اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون بر مهار پوسیدگی انگور ناشی از قارچ‌های *Aspergillus niger* Tiegh.، *Botrytis cinerea* Pers. و *Penicillium expansum* Link. در شرایط دمای اتاق. نشریه دانش گیاهپزشکی ایران، ۵۵ (۱)، ۴۲-۲۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2024.375464.1007059>



© نویسنده‌گان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2024.375464.1007059>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

میوه انگور (*Vitis vinifera* L.) سرشار از ترکیبات فنلی و دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی و پاکسازی رادیکال‌های آزاد می‌باشد (Krikorian et al., 2012). انگور، میوه‌ای نافرازگرا با فعالیت فیزیولوژیکی نسبتاً کم است (Palou et al., 2010). با این حال، به دلیل پریکارپ نازک، گوشت آبدار و pH نسبتاً پایین آن، نسبت به آلودگی به بیمارگرها آسیب‌پذیر می‌باشد (Cappellini, 1986; Tournas and 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 به وسیله قارچ‌کش‌ها و دی‌اکسیدگوگرد کنترل می‌شود. از طرفی، به دلیل ایجاد مقاومت به قارچ‌کش در بیمارگرها و به علت 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; Droby and Lichter, 2007; Martínez-Romero et al., 2007; Guo et al., 2014). براساس آمار فائو، ایران رتبه چهاردهم تولید انگور را در بین کشورها دارد، اما 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 به دلیل اندازه کوچکی که دارند، 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 فلزی، 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 به دلیل داشتن خواص ضد میکروبی، توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند.

پیشینه پژوهش

از آغاز قرن بیستم، ترکیبات فلزی برای مهار بیمارگرهای گیاهی استفاده شده است، اما کاربرد 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 صورت گرفته است که بیشتر از آزمایش‌های انجام شده روی قارچ‌ها (Sardella et al., 2019) می‌باشد و معمولاً در شرایط *in vitro* انجام شده است و مطالعات اندکی در ارتباط با اثر ضدقارچی این ترکیبات روی میوه‌ها وجود دارد.

نتایج تحقیقات نشان داده‌اند که نانوذرات اکسیدروی دارای خواص ضدقارچی قابل توجهی روی *P. B. cinerea* و *P. citrinum* Thom و *Aspergillus flavus* Link. *Fusarium graminearum* (He et al., 2011) *expansum*

(Abd-Elsalam *et al.*, 2017) هستند. محققان گزارش کرده‌اند که استفاده از تیمارهای مبتنی بر نانو اکسیدروی برای میوه‌های سیب، هلو و توت‌فرنگی، علاوه بر 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 ضد میکروبی 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 نانو اکسیدروی 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 (Dultra *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). نانو کامپوزیت‌های 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 دی‌آلدئید و فعالیت پلی‌فنول اکسیداز شد. علاوه بر این، کاهش 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 افت وزن میوه از گیله 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).

اکسیدمس 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. ضدقارچی بالایی را نشان داده‌اند (Abd-Elsalam *et al.*, 2017). در پژوهشی روی حبه‌های انگور، نانوذرات دی‌اکسیدسیلیکون، کیتوزان، مس، دی‌اکسیدسیلیکون - مس و دی‌اکسیدسیلیکون - کیتوزان - مس، درصد حبه‌های پوسیده را به‌ترتیب به‌میزان ۵۶، ۵۰، ۸، ۵۷ و ۵۴ درصد کاهش دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نانوذرات دی‌اکسیدسیلیکون 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 می‌تواند رشد *Streptococcus iniae* را به‌طور معنی‌داری 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 نانو اکسیدروی بود، علاوه‌براین پوشش‌های دارای نانو اکسیدروی 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 اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون در مهار پوسیدگی ناشی از گونه‌های *A. niger*، *B. cinerea* و *P. expansum* روی انگور رقم شاهرودی در دمای ۲۵°C 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 اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون بر مهار 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 درون 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 میسلوم‌ها، سوسپانسیون به‌دست آمده از چهار لایه گاز استریل عبور داده شد. غلظت اسپور سوسپانسیون به‌وسیله لام هموسایتومتر تعیین شد و غلظت موردنظر (1×10^5 اسپور در هر میلی‌لیتر) به‌روش رقیق‌سازی به‌دست آمد (Shen and Yang, 2017).

آماده‌سازی نانوذرات اکسید فلزی

نانوذرات اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون با اندازه ذرات ۲۰-۳۰ نانومتر و سطح ویژه بالا از شرکت بین‌المللی پتروپلاستیک سه‌مهند 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 اکسیدمس با غلظت ۰/۱۲۵ درصد و برای انگورهای تلقیح شده با *B. cinerea*، نانو دی‌اکسیدسیلیکون 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 بر مهار پوسیدگی میوه‌های انگور تلقیح شده با سه قارچ مذکور مورد بررسی قرار گرفت. میوه‌های انگور رقم شاهرودی در مرحله بلوغ تجاری برداشت و پس از انتقال، در یخچال با دمای ۴°C 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 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 تیمار شده، از طریق محلول پاشی با سوسپانسیون 1×10^5 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.

$$DI = \sum(df)/ND \quad (1) \text{ معادله}$$

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 آبیگیری شده و درصد آب میوه محاسبه گردید. مقدار pH آب میوه توسط pH متر دیجیتالی و مواد جامد محلول کل (TSS) توسط رفاکتومتر 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 ملگارچو و همکاران (Melgarejo-Flores *et al.*, 2013) با کمی تغییر انجام شد. به اختصار، ۱۰ گرم انگور در ۱۰ میلی‌لیتر متانول v/v ۸۰ 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 ($1 \pm 25^\circ\text{C}$) انجام شد. عصاره با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه 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^۱

مقدار ۳/۹ میلی لیتر محلول DPPH^۱ به ۰/۱ میلی لیتر 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 نانومتر خوانده شد. نتایج به صورت درصد بازدارگی DPPH^۱ بیان شدند (Sanchez-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 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 (میلی گرم 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

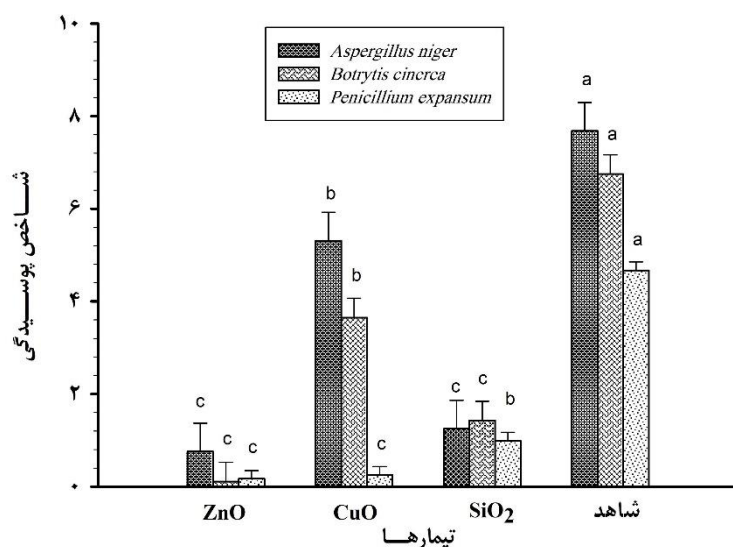
مشخصه‌های کیفی میوه‌های انگور تلقیح شده با قارچ‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد (جدول ۱) که اثر نانوذرات اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون 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 نانو اکسیدروی (به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۱۱) و نانو دی‌اکسیدسیلیکون (به ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۴۳) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند (به ترتیب ۶/۶۸ و ۶/۷۵) ($P \leq 0/001$). علاوه بر این، محلول‌پاشی خوشه‌های انگور تلقیح شده با *P. expansum* به‌ترتیب با نانو اکسیدروی، نانو اکسیدمس و نانو دی‌اکسیدسیلیکون (به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۲۵ و ۰/۹۹) به‌طور معنی‌داری میزان پوسیدگی آن‌ها را در مقایسه با شاهد بدون تیمار (۴/۷۶) کاهش داد ($P \leq 0/001$).

نتایج بررسی توانایی نانوذرات دی‌اکسیدسیلیکون، 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 نانو کامپوزیت‌های کیتوزان دی‌اکسیدسیلیکون یک 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 دی‌اکسیدسیلیکون در ترکیب با کیتوزان در غلظت‌های ۵/۰ و ۱ درصد، بروز پوسیدگی را در مقایسه با شاهد کاهش دادند (Youssef *et al.*, 2019). در میوه هلو نیز، بسته‌بندی LDPE (پلی‌اتیلن با چگالی پایین) و بسته‌بندی NZLDPE (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 به دلیل 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 دی‌اکسیدسیلیکون 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 و لایه محافظ طبیعی را از بین می‌برد و در نتیجه، بروز پوسیدگی افزایش می‌یابد. با این حال، در پوشش کامپوزیت (کیتوزان + نانو دی‌اکسیدسیلیکون)، 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).



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

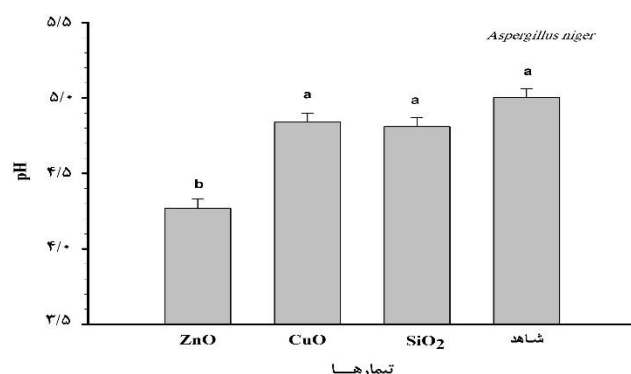
جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نانوذرات اکسید فلزی روی انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با قارچ‌های *Aspergillus niger*، *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum* در شرایط دمایی اتاق.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ریش حبه	درصد آمیوه	پوسیدگی شاخص	pH	مواد جامد محلول کل	تیتراسیون اسیدیته قابل	ویتامین ث	ظاهر چوب	ظاهر حبه	محتوای فنل کل	آنتوسیانین کل	محتوای فعالیت آنتی اکسیدانی
<i>A. niger</i> نانوذرات اکسید فلزی (اکسیدروی، اکسیدمس و دی اکسیدسیلیکون) خطا	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 ^{**}
	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
<i>B. cinerea</i> نانوذرات اکسید فلزی (اکسیدروی، اکسیدمس و دی اکسیدسیلیکون) خطا	۳	۰/۴۴۴ ^{ns}	۴۷/۲۱ ^{ns}	۲۵/۳۳ ^{***}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۷/۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۳/۲۲ ^{**}	۵/۴۴ [*]	۱۳۴۹/۷۸ ^{ns}	۱/۴۱ ^{**}	۲۰۱/۴۲ ^{ns}
	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
<i>P. expansum</i> نانوذرات اکسید فلزی (اکسیدروی، اکسیدمس و دی اکسیدسیلیکون) خطا	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 [*]
	۸	۰/۵۸۳	۲/۱	۰/۱	۰/۰۱۲	۲/۳۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۱۰۸۲/۰۰	۰/۹۹	۷۶/۶۷

*، **، *** و ^{ns}: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵، ۱، ۰/۱ درصد و غیرمعنی دار

pH

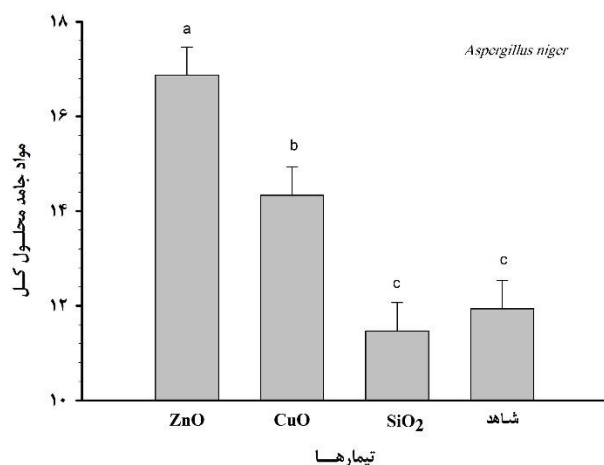
نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد (جدول ۱) که اثر نانوذرات اکسید فلزی بر pH در میوه‌های تلقیح شده با *A. niger* در سطح ۰/۱ درصد و بر محتوای فنل در سطح پنج درصد معنی دار بود، اما در میوه‌های تلقیح شده با دو قارچ دیگر معنی دار نبود (جدول ۱). در خوشه‌های تلقیح شده با *A. niger* کمترین میزان pH در خوشه‌های محلول‌پاشی شده با نانو اکسیدروی به دست آمد (۴/۲۷) که نسبت به شاهد که دارای بیشترین مقدار pH بود (۵) تفاوت معنی داری 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 نانو اکسیدروی پس از ۱۸ روز نگهداری در انبار افزایش یافت (Sogvar et al., 2016). تغییرات pH توت فرنگی 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 دی اکسیدسیلیکون ۰/۰۷ درصد بسته شده بود، داشت (Barikloo and Ahmadi, 2018).



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 به دست 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 معنی دار بود، اما در میوه‌های تلقیح شده با دو قارچ دیگر معنی دار نبود (جدول ۱). خوشه‌های انگور آلوده شده با *A. niger* که با تیمارهای نانو اکسیدروی محلول پاشی شده بودند، بیشترین میزان مواد جامد محلول را داشتند (۱۶/۸۷)، کمترین میزان مواد جامد محلول نیز در خوشه‌های تیمار شده با نانو دی‌اکسیدسیلیکون و شاهد به دست آمد (به ترتیب ۱۱/۴۷ و ۱۱/۹۳) (شکل ۳). برخلاف نتایج به دست 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 ضد میکروبی 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 به طور 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، به طور 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 دی‌اکسیدسیلیکون وجود نداشت. آن‌ها بیان داشتند که اثر این پوشش بر کاهش غلظت مواد جامد محلول کل احتمالاً به دلیل کاهش سرعت تنفس و فعالیت متابولیکی بوده که در نتیجه، فرآیند پیری را به تأخیر انداخته است (Shi et al., 2013).

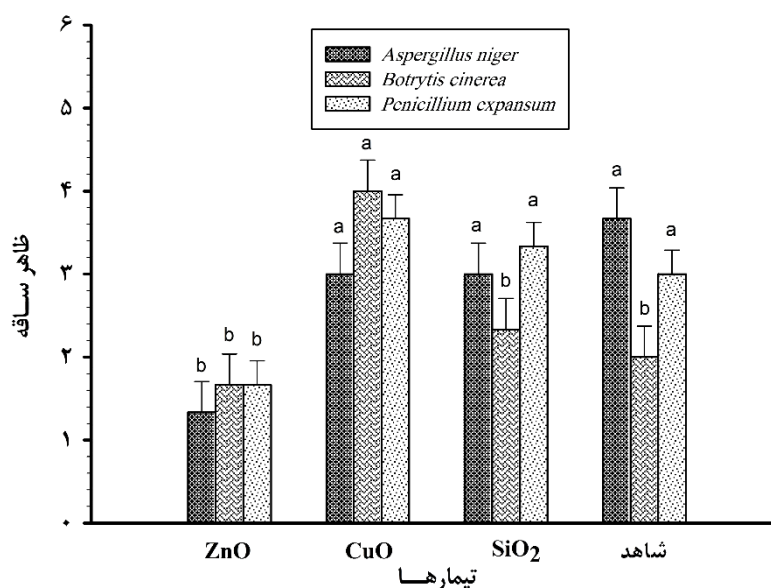


شکل ۳. اثر نانوذرات اکسید فلزی بر مواد جامد محلول کل انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با *Aspergillus niger*

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 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 به‌عنوان غیر جذاب 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 (به ترتیب 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.



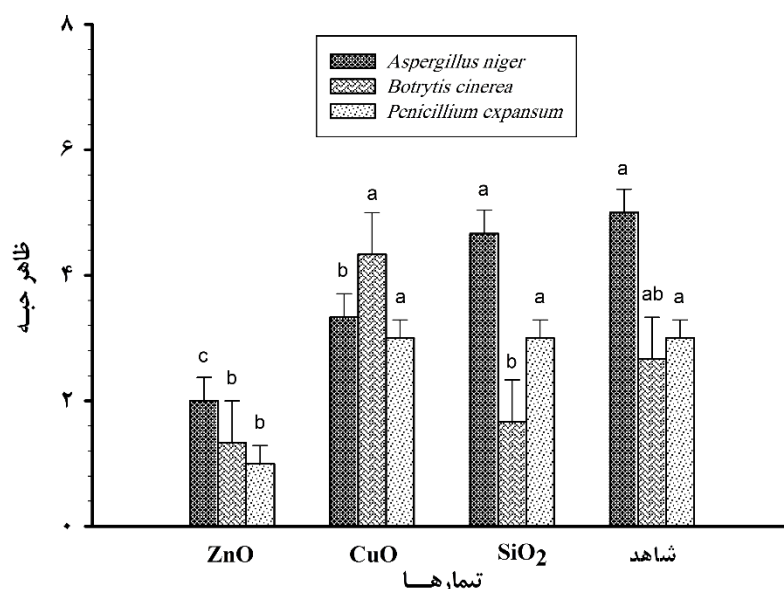
شکل ۳. اثر نانوذرات اکسید فلزی بر ظاهر چوب انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با گونه‌های *Aspergillus niger*، *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum*

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 نانو اکسیدروی 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 دی‌اکسیدسیلیکون و شاهد به ترتیب بهترین ظاهر حبه مشاهده شد (به ترتیب ۱/۳۳، ۱/۶۷ و ۲/۶۷). بدترین ظاهر حبه نیز به ترتیب در خوشه‌های تیمار شده با نانو اکسیدمس به دست آمد (۴/۳۳). همچنین بر اساس نتایج این بررسی، خوشه‌های تلقیح شده با *P. expansum* و تیمار شده با نانو اکسیدروی 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-SiO₂/KC/KGM توانایی حفظ رنگ قارچ‌های خوراکی سفید را دارند که احتمالاً می‌تواند به سرعت انتقال اکسیژن (OTR^۲) و سرعت انتقال دی‌اکسیدکربن (CDTR^۳) 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 بررسی‌های ظاهری میوه لونگان نیز میوه‌های تیمار شده با نانو کامپوزیت کیتوزان و دی‌اکسیدسیلیکون نسبت به میوه شاهد، قهوه‌ای شدن و ایجاد ضایعه خفیف‌تری داشتند، آن‌ها اعلام کردند که علت این امر را می‌توان به سرعت آهسته تنفس و کاهش تولید اتیلن نسبت داد که منجر به تغییر محیط داخلی میوه می‌شود (Shi et al., 2013).



شکل ۴. 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 فنلی محسوب می‌شود که عمدتاً مسئول خواص آنتی‌اکسیدانی هستند (Baiano and Terracone, 2011). بر اساس تجزیه واریانس

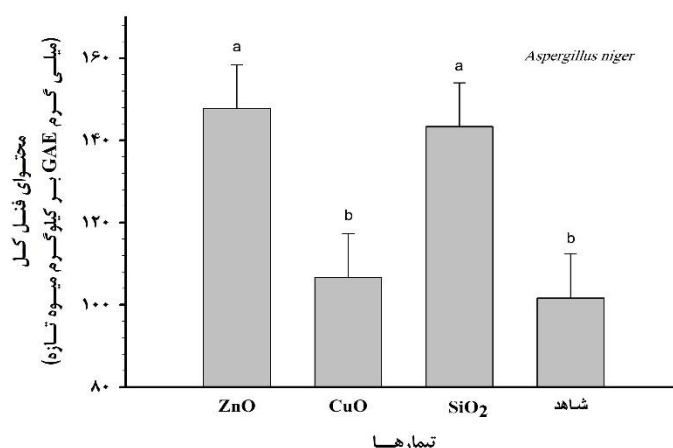
1 Nano-SiO₂/carrageenan (KC)/konjac glucomannan (KGM)

2 Oxygen transmission rate

3 Carbon dioxide transmission rate

داده‌های حاصل از این پژوهش، اثر نانوذرات اکسید فلزی بر 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 نانوذرات قرار نگرفتند (جدول ۱). بیشترین محتوای فنل در میوه‌های انگور تلقیح شده با *A. niger*، در میوه‌های پوشش داده شده با نانو اکسیدروی و نانو دی‌اکسیدسیلیکون به‌دست آمد (به ترتیب ۱۴۷/۶۷ و ۱۴۳/۳۳ میلی گرم اسیدگالیک بر کیلوگرم میوه تازه) که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها و شاهد داشت (به ترتیب ۱۰۶/۶۷ و ۱۰۱/۶۷ میلی گرم اسیدگالیک بر کیلوگرم میوه تازه) (شکل ۶).

در بررسی حبه‌های انگور تلقیح شده با کپک خاکستری نیز نانوکامپوزیت‌های کیتوزان/دی‌اکسیدسیلیکون باعث افزایش فنل کل شد (Youssef and Roberto, 2021). تفاوت معنی‌داری از نظر از دست دادن محتوای پلی فنل کل بین نمونه‌های عناب شاهد و نمونه‌های پوشش داده شده با کیتوزان + نانو دی‌اکسیدسیلیکون مشاهده نشد که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش روی انگورهای تلقیح شده با *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 تیمار نشده، میوه تیمار شده با ۰/۰۳، ۰/۰۷ و ۰/۵ درصد نانو اکسیدروی به ترتیب ۳۰۶، ۳۲۰/۹، ۳۱۲/۲ و ۳۲۵ میلی گرم اسیدگالیک بر گرم وزن تازه بود. این پوشش ممکن است یک سد محافظ روی سطح میوه ایجاد کند و اکسیژن‌رسانی را برای اکسیداسیون آنزیمی کاهش دهد. لی و همکاران (Li et al., 2011b) پتانسیل بسته‌بندی نانو حاوی نانوذرات اکسیدروی را در طول انبار برش‌های سیب فوجی تأیید کردند؛ و در نتیجه، حفظ بهتر شاخص‌های کیفی مانند محتوای اسیدآسکوربیک و پلی فنل و تعداد کمتر میکروارگانیسم‌ها را نشان دادند (Llorens et al., 2012).

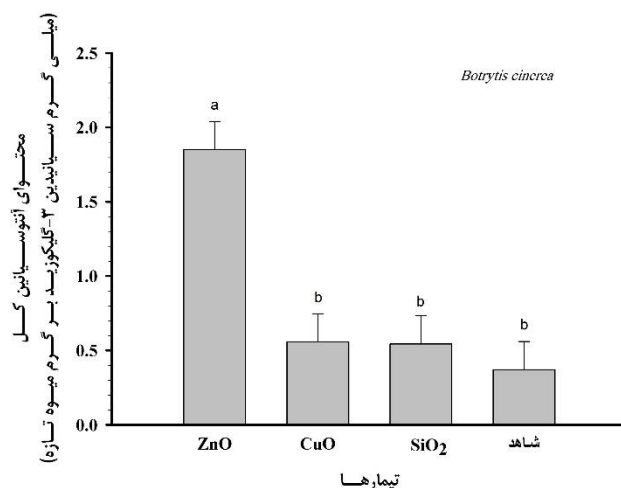


شکل ۵. اثر نانوذرات اکسید فلزی بر محتوای فنل انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با *Aspergillus niger*

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 ($P \leq 0/01$)، اما نانوذرات اکسید فلزی بر محتوای آنتوسیانین انگورهای تلقیح شده با سایر قارچ‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). در بین تیمارهای مورد آزمایش، محلول‌پاشی نانو اکسیدروی بر انگورهای تلقیح شده با *B. cinerea* بیشترین محتوای آنتوسیانین را به همراه داشت (۱/۸۵ میلی گرم 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 میلی گرم 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 نانو اکسیدروی 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 نانو اکسیدروی بود (Sogvar et al., 2016).

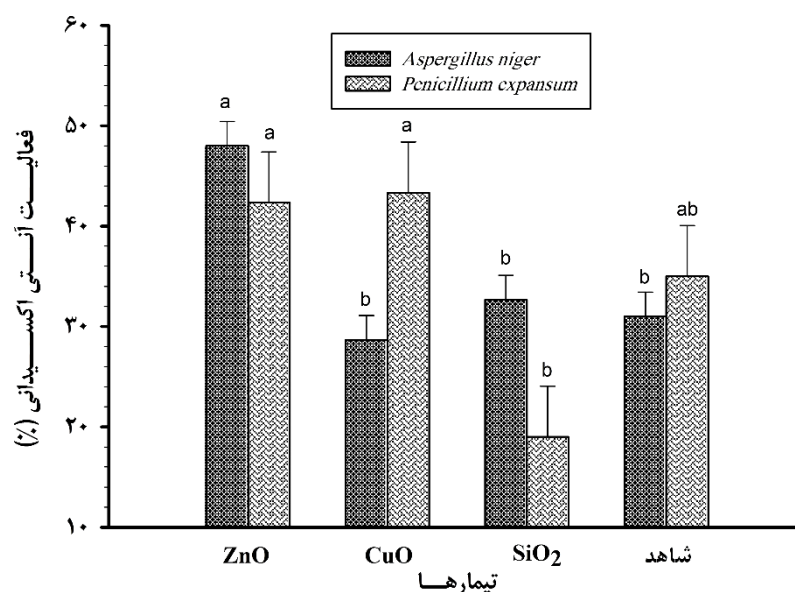


شکل ۶. اثر نانوذرات اکسید فلزی بر محتوای آنتوسیانین انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با *Botrytis cinerea*.

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، اما نانوذرات اکسید فلزی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های تلقیح شده با *B. cinerea* تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۸). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های انگور تلقیح شده با *A. niger* در خوشه‌های پوشش داده شده با نانو اکسیدروی به‌دست آمد (۴۸ درصد). خوشه‌های انگور تیمار شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی و شاهد نیز کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشتند (شکل ۸). در خوشه‌های انگور تلقیح شده با *P. expansum* بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب در میوه‌های تیمار شده با نانو اکسیدمس و نانو اکسیدروی (۴۳/۳۳ درصد و ۴۲/۳۳ درصد) مشاهده شد. خوشه‌های انگور محلول‌پاشی شده با نانو دی‌اکسیدسیلیکون نیز کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشتند (۱۹ درصد).

در پژوهشی، میزان کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی پس از ۱۸ روز انبار در میوه توت‌فرنگی 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. معمولاً 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 از گیل ژاپنی را در طی انبار سرد به میزان زیادی بهبود بخشید.



شکل ۷. اثر نانوذرات اکسید فلزی بر فعالیت آنتی اکسیدانی انگور رقم شاهرودی تلقیح شده با گونه‌های *Aspergillus niger* و *Penicillium expansum*

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که نانوذرات اکسیدروی، اکسیدمس و دی‌اکسیدسیلیکون 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. اما شاخص پوسیدگی انگورها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر این نانوذرات قرار گرفت ($P \leq 0/001$). 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 اکسیدروی ظاهر بهتری نسبت به انگورهای محلول‌پاشی شده با سایر نانوذرات اکسید فلزی داشتند. علاوه‌براین، محلول‌پاشی نانوذرات اکسیدروی 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 نانو اکسیدروی و محلول‌پاشی با نانو اکسیدمس به‌دست آمد. به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از نانوذرات اکسیدروی برای مهار پوسیدگی‌های ناشی از *B. cinerea*، *A. niger* 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 ارقام دیگر 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 اکسیدروی 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 میکروبی‌شناسی مواد غذایی، ۲(۸)، ۸۸-۱۰۱. شیر، نیما و اخلاقی، مصطفی (۱۳۹۸). بررسی خاصیت ضدباکتریایی نانو اکسیدروی و نانو اکسیدمس 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 Administration. (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](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-SiO₂ 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>