

# اثر فوتوکاتالیک ذرات اکسیدتیتانیوم پوشش یافته با ذرات نانونقره بر ایجاد تأخیر در رسیدگی پس از برداشت گوجه‌فرنگی

فرزاد گودرزی\*

\* نویسنده مسئول: مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان (goodarzfzarzad@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۵

## چکیده

گوجه‌فرنگی یک محصول باغی فرازگرا، با ظرفیت تولید اتیلن بالا است. حدود ۳۰ درصد محصول تولیدی در فاصله برداشت تا مصرف از بین می‌رود. تجمع اتیلن در انبار باعث تسریع روند رسیدن گوجه‌ها می‌شود و می‌تواند مشکلاتی را انبارداری آن ایجاد کند. در این مطالعه که طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان انجام گرفت غلظت‌های صفر، ۴، ۸ و ۱۲ گرم در لیتر محلول دی‌اکسید تیتانیوم پوشش یافته با ذرات نانونقره همراه با پرتو UV برای ایجاد تأخیر در رسیدن گوجه‌فرنگی رقم هلیل (که در مرحله شکستگی رنگ برداشت شده بود) به کار رفت. بر اساس نتایج، دی‌اکسیدتیتانیوم پوشش یافته با ذرات نانونقره در غیاب پرتو فرابنفش و متناسب با غلظت محلول، قادر به تجزیه ۲۶ تا ۹۰ درصدی اتیلن تولید شده توسط گوجه‌فرنگی بود. کاهش این گاز، افزایش ۱۶ تا ۷۲ درصدی سفتی بافت، کاهش ۱۲ تا ۲۴ درصدی قرمزی رنگ و ایجاد تأخیر ۲ هفته‌ای در زمان رسیدن گوجه برداشت شده نسبت به نمونه‌های شاهد را به دنبال داشت. اثر غلظت ۱۲ گرم در لیتر دی‌اکسیدتیتانیوم در حضور پرتو فرابنفش با شدت ۵ وات بر متر مربع، بر پارامترهای تجمع اتیلن، سفتی بافت و تغییرات رنگ گوجه‌فرنگی‌ها، اختلاف معنی‌داری با اثرات ناشی از کاربرد نوع پوشش یافته آن با نانو ذرات نقره و در غیاب پرتو فرابنفش، نشان نداد. مطابق نتایج این مطالعه فعال شدن واکنش فوتوکاتالیستی دی‌اکسیدتیتانیوم و تجزیه اتیلن توسط آن، نیازمند تابش پرتو فرابنفش یا وجود نانو ذرات نقره است.

**کلید واژه‌ها:** اتیلن، دی‌اکسیدتیتانیوم، رسیدن، گوجه‌فرنگی، نانو نقره.

## مقدمه

برنامه ضایعات محصولات کشاورزی باید تا ۵۰ درصد رقم فعلی کاهش یابد (Anon, 2013). این تکلیف، لزوم یافتن روش‌های کارآمدتر کاهش ضایعات محصولات کشاورزی را نشان می‌دهد. گاز اتیلن در نقش یک هورمون گیاهی، تنفس و مراحل پیری و رسیدگی گیاهان را تنظیم می‌کند. اندک اتیلن موجود در هوای یک انبار، باعث تسریع رسیدن میوه‌ها و بروز واکنش‌های ناخواسته مانند افزایش طعم

گوجه‌فرنگی یکی از محصولات باغی مهم ایران است. این محصول مانند دیگر محصولات فرازگرا<sup>۱</sup> به علت توانایی تولید مقادیر بالای اتیلن، دوره نگهداری محدودی دارند و تقریباً ۳۰ درصد محصول تولیدی در فاصله برداشت تا مصرف از بین می‌رود (Mirmajidi, 2009). بر اساس برنامه پنجم توسعه کشور تا پایان این

قرار می‌گیرد، دچار برانگیزش الکترونی در لایه‌های والانس و هدایت خود شده، که این قطبیدگی<sup>۲</sup> لحظه‌ای تیتان را به همراه خواهد داشت. این قطبیدگی مسئول بروز خواص کاتالیستی تیتان است. در این حالت نیز تیتان در مجاورت با موادی مانند اکسیژن و آب، رادیکال‌های فعال هیدروکسیل و آنیون سوپراکسید را که به ترتیب یک احیاکننده و اکسیدکننده قوی هستند تولید می‌کند. این رادیکال‌ها، اکسیدکننده مناسبی برای تبدیل آلودگی‌های آلی به بخار آب و دی‌اکسیدکربن بوده و آسیبی به بافت محصول وارد نمی‌کنند (Akiyama and Togeda, 2000).

اثر  $TiO_2$  و ازن در کنترل آلودگی‌های قارچی میوه کیوی در مرحله پس از برداشت، مطالعه و نشان داده شد که کاربرد همزمان اکسیدتیتانیوم و ازن با نسبت‌های مولی ۲ به ۳ به خوبی روند گسترش آلودگی‌های قارچی و بیماری انباری را به تأخیر می‌اندازد، به طوری که تا ۹۵ درصد اندام غیرجنسی<sup>۳</sup> قارچ‌های موجود در محیط غیرفعال شدند. هم‌چنین تا ۸۵ درصد ماده پرکاربرد و ضدقارچ فلوسیلازول<sup>۴</sup> توسط این مخلوط تجزیه شد (Seoun Hur et al., 2005).

Zorn و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه‌ای اثر قابل توجه دی‌اکسیدتیتانیوم بر افزایش ماندگاری کاهو را طی دوره انبارداری نشان دادند. در این تحقیق، پاشش محلول نانو دی‌اکسیدتیتانیوم روی برگ کاهو با غلظت ۷ گرم در لیتر، زرد شدن آن‌ها را تا ۲ هفته به تأخیر انداخت. Park و همکاران (۱۹۹۹) و Fu و همکاران (۱۹۹۶) وجود اکسیژن کافی، رطوبت نسبی ۴۵ تا ۵۵ درصد و دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس را در عملکرد اکسایشی دی‌اکسیدتیتانیوم مؤثر دانستند. Obee and Hay (۱۹۹۷) با بررسی واکنش تجزیه اتیلن به آب و دی‌اکسیدکربن در حضور دی‌اکسیدتیتانیوم، این واکنش را گرماگیر و انرژی فعال‌سازی آن را معادل ۳/۴

تلخ، زرد شدن سبزی‌های برگ‌گی و افزایش حساسیت محصول به بیماری‌های انباری می‌شود (Abeles and Morgan, 1992؛ Pesis, 2005). بنابراین تجمع این گاز در هوای انبار یک مشکل عمده در نگهداری این قبیل محصولات به حساب می‌آید. تهویه هوای انبار، استفاده از پرمنگنات پتاسیم، اتمسفر کم‌فشار<sup>۱</sup>، اکسندهای کاتالیتیک و گاز ازن روش‌هایی هستند که در حال حاضر برای حذف اتیلن انبارها به کار می‌رود (OSHA, 1994؛ Nakajima et al., 2001). البته کاربرد هر یک از این روش‌ها دارای مشکلاتی است. مثلاً هوادهی علی‌رغم نیازمندی به ادوات زیاد، قادر به خارج کردن مقادیر اندک اتیلن از هوای انبار نیست. پرمنگنات سمی و نیازمند تعویض مداوم است.

اکسیدکننده‌های کاتالیتیک نیازمند گرم‌کننده هستند تا اتیلن و اکسیژن را به آب و دی‌اکسیدکربن تجزیه و هوای گرم شده انبار را دوباره سرد کند. انبارهای هیپوباریک مؤثر ولی بسیار گران هستند. ازن هم اگرچه یک اکسند پر قدرت است، اما به دلیل آن‌که به بافت گیاه و میوه آسیب می‌زند، بافت را مجدداً برای تولید اتیلن تحریک می‌کند (Graham et al., 1998؛ El Blidi et al., 1993).

در کنار این روش‌ها، ظهور فناوری نانو، راه‌های جدیدتری را پیش رو نهاده است. نانو فناوری، دستیابی به فناوری کار روی ذراتی با ابعاد نانومتری است که به نانوذرات موسومند. دلیل انتخاب این مقیاس، خواص ویژه‌ای است که در ذراتی با این اندازه ظاهر می‌شود. نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم و نقره از جمله این نانو ساختارها هستند. نانو ذرات اکسیدتیتانیوم از خاصیت ضد اکسندگی و ضد میکروبی بسیار بالایی برخوردار بوده و به دلیل غیرسمی بودن و سازگاری با محیط زیست به‌عنوان یک تصفیه‌کننده آب و هوا از آلودگی‌های آلی مصرف می‌شود (Suzuki, 1993). هنگامی که این ماده در معرض اشعه با طول موج کمتر از ۴۰۰ نانومتر

2- Polarization  
3- Conidia  
4- Flusilazole

1- Hypobaric Atmosphere

نانو نصب پارس) و نوع بدون پوشش آن ساخت شرکت Wako Pure Chemical ژاپن بود. بر اساس ادعای شرکت‌های سازنده قطر متوسط ذرات نانو دی‌اکسیدتیتانیوم ۵۰ و برای ذرات نانوقره ۵ نانومتر و درجه خلوص آن‌ها ۹۹/۹ درصد بود. نور فرابنفش با طول موج ۳۲۰ تا ۳۸۵ نانومتر با به کارگیری ۲ عدد لامپ ۲۰ وات (مدل FL20S-BLB-A ساخت ژاپن)، به مدت ۱۸ ساعت در روز تامین شد. پس از قرار دادن مقدار ۱۰۰ سی‌سی محلول کلئیدی دی‌اکسیدتیتانیوم پوشش یافته با ذرات نانو نقره با غلظت‌های صفر، ۴، ۸ و ۱۲ گرم در لیتر در کف جارهای پلاستیکی ۵ لیتری، گوجه‌فرنگی‌ها در دسته‌های ۲ کیلوگرمی درون آن‌ها قرار گرفت، به شکلی که محصول و محلول اکسیدتیتانیوم با هم تماس نداشته باشند. سپس دهانه هر ظرف با یک لایه پوشش پلی‌پروپیلن به ضخامت ۰/۰۴ میلی‌متر مسدود شد (شکل ۱).

۲ نمونه نیز با همان ویژگی‌ها، با محلول کلئیدی نانو اکسیدتیتانیوم با غلظت ۱۲ گرم در لیتر و بدون پوشش ذرات نانو نقره آماده شد. در طول آزمایش، یکی از این دو ظرف به مدت ۱۸ ساعت در روز در معرض پرتو فرابنفش با شدت تابش ۵ وات بر متر مربع و نمونه دیگر در کنار ۴ ظرف قبلی و بدون حضور نور فرابنفش نگهداری شد (Maneerat et al., 2003).

برای اندازه‌گیری و تنظیم شدت تابش نور فرابنفش از یک دستگاه نورسنج دستی دیجیتال (مدل UV365 ساخت شرکت Lutron تایوان) استفاده شد. طی یک ماه درون بافت و رنگ میوه‌های هر تیمار اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سفتی بافت از یک دستگاه بافت‌سنج دستی دیجیتال (مدل CT3 ساخت شرکت TR ایتالیا) با قطر پروب ۵ میلی‌متر استفاده شد. روی هر گوجه‌فرنگی ۴ اندازه‌گیری انجام و میانگین آن به عنوان سفتی بافت بر حسب نیوتن گزارش شد (Batu, 2004). برای سنجش اتیلن تجمعی درون هر ظرف، از یک دستگاه اتیلن‌سنج دستی (مدل S8001 ساخت شرکت Bioconservation اسپانیا) استفاده شد.

کیلوکالری بر مول گزارش نمودند.

مطابق مطالعات آزمایشگاهی هنگامی که نانو ذرات نقره روی پایه‌های نیمه‌هادی  $TiO_2$  قرار داده می‌شود، ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم دوباره می‌توانند مانند یک پیل الکتروشیمیایی عمل کنند. پایه‌های نیمه‌هادی می‌توانند بدون نیاز به انرژی نور فرابنفش و به دلیل کاهش سرعت الکترون‌ها بین لایه ظرفیت و لایه هدایت اتم، به حالت پایداری از حضور حفره‌های با بار مثبت و نقاط منفی با تراکم بالای الکترون برسند (Fujishima et al., 1999). مطالعات پیشین اثر نانو اکسیدتیتانیوم بر تجزیه اتیلن، عمدتاً در شرایط بهینه و کنترل شده دما، رطوبت نسبی و اکسیژن و با استفاده از نوع پوشش نیافته این نانو ذره و در حضور نور فرابنفش انجام شده است (Sirisak and Anderson, 1999). این در حالی است که انبارهای نگهداری محصولات می‌مانند گوجه‌فرنگی معمولاً از دمای کم (حدود ۱۲ درجه سلسیوس)، دی‌اکسیدکربن بالا، و حداقل رطوبت نسبی ۸۵ درصد برخوردارند، ضمن آن‌که استقرار منابع مولد نور فرابنفش در سراسر این انبارها آسان نیست. این مطالعه که در سال ۱۳۹۲ در واحد صنایع غذایی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان انجام شد به بررسی کارایی ذرات نانو اکسیدتیتانیوم پوشش یافته با نانو نقره در تجزیه اتیلن و برخی ویژگی‌های گوجه‌فرنگی در شرایط عملی نگهداری آن پرداخته است.

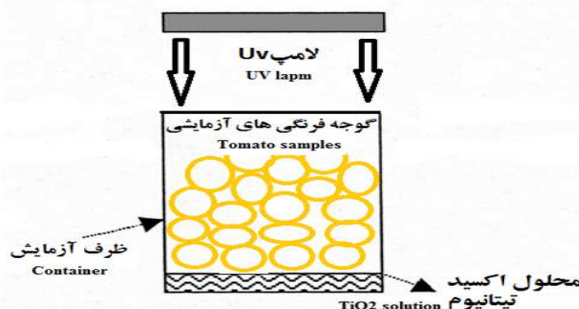
## مواد و روش‌ها

گوجه‌فرنگی رقم هلیل<sup>۱</sup> در حالت شکستگی رنگ<sup>۲</sup> (در این مرحله از رسیدگی گوجه‌فرنگی، بخش‌هایی به رنگ صورتی یا زرد با مرز مشخص در حداکثر ۱۰ درصد سطح گوجه‌فرنگی مشاهده می‌شود) از مزرعه آزمایشی ایستگاه تحقیقاتی اکباتان همدان انتخاب و برداشت شد. فرم آنا تا ز<sup>۳</sup> پودر نانو دی‌اکسیدتیتانیوم پوشش‌یافته با ذرات نانو نقره ساخت ایران (شرکت

1- Solanum lycopersicum CV:Halil

2- Breaker

3- Anatase Form



شکل ۱- طرح شماتیک ظروف آزمایش همراه با نمونه‌های گوجه‌فرنگی و محلول دی اکسید تیتانیوم

Fig 1. The schematic of the experiment containers with fruit samples and  $TiO_2$  solutions

(شکل ۲). مقایسه اتیلن تیلن تجمعی تیمارهای مختلف نانو اکسید تیتانیوم نشان داد که با افزایش غلظت این محلول، مقدار اتیلن تیلن تجمعی تیمارها به شکل معنی‌داری کاهش یافته است. این کاهش برای محلول‌های با غلظت ۴، ۸، ۱۲ و ۲۶ گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۶، ۸۶ و ۹۱ درصد بود (شکل ۳). نگهداری نمونه‌ها در دمای ۱۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $85 \pm 5$  درصد، پارامترهای، مقدار اتیلن تیلن تجمعی یافته هر ظرف، سفتی در حضور پرتو فرابنفش، سطح تجزیه اتیلن در تیمار ۱۲ گرم در لیتر نانو اکسیدتیتانیوم بدون پوشش، تفاوت معنی‌داری با محلول متناظر واجد پوشش نانونقره نشان نداد؛ حال آن که محلول نانو اکسیدتیتانیوم بدون ذرات نانونقره، در شرایط فقدان پرتو فرابنفش در غلظت‌های مورد مطالعه، قادر به حذف و تجزیه اتیلن محیط نبود و اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد (غلظت صفر)، نشان نداد. این نتایج نشان داد که بین قدرت فعال‌سازی اثر اکسیدکنندگی ذرات فوتوکاتالیک نانو اکسید تیتانیوم توسط ذرات نانونقره یا پرتو فرابنفش اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳).

مطابق تفسیر Fujishima و همکاران (۱۹۹۹) با قرارگیری ذرات نانونقره بر پایه‌های نیمه هادی  $TiO_2$ ، این پایه‌ها قادر بودند به دلیل کاهش سرعت الکترون‌ها بین لایه ظرفیت و لایه هدایت اتم، به حالت پایداری از حضور حفره‌های با بار مثبت و نقاط منفی با تراکم بالای الکترون رسیده و بدون نیاز به انرژی نور فرابنفش

اندازه‌گیری رنگ توسط یک دستگاه رنگ‌سنج (مدل DP-9000 ساخت شرکت Hunterlab امریکا) انجام شد. قرائت رنگ در این آزمایش بر اساس رنگ نمونه‌های همگن شده هر تیمار انجام گرفت (Pesis, 2005). در پایان اثر تیمارهای آزمایش بر رسیدگی نمونه‌های گوجه‌فرنگی توسط یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در قالب آزمایش فاکتوریل و به وسیله نرم‌افزار رایانه‌ای تجزیه آماری داده‌ها (Release 11.0.0@SPSS Inc, 2001) مورد تجزیه آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### تجزیه اتیلن

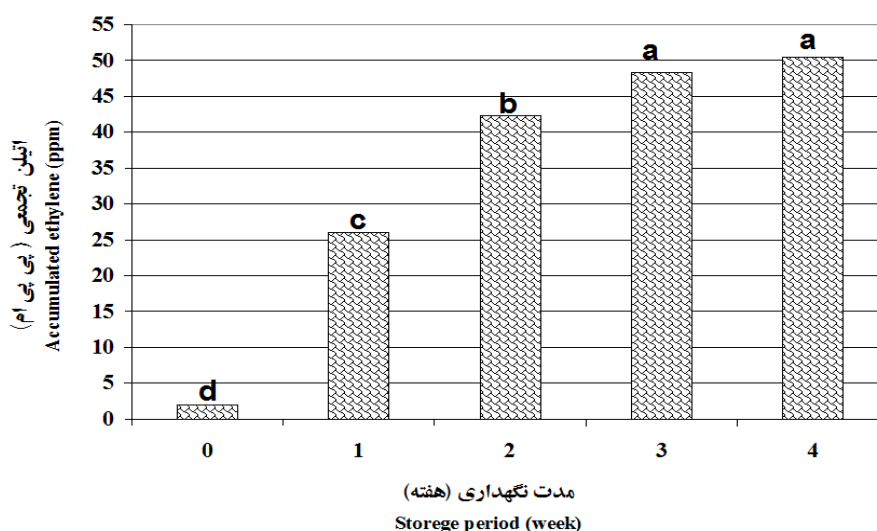
با افزایش زمان نگهداری، مقدار اتیلن تجمعی یافته در ظروف تیمارهای مختلف افزایش یافت. کمترین مقدار اتیلن محاسبه شده به زمان برداشت مربوط بود. در هفته دوم، سوم و چهارم نگهداری، متوسط اتیلن تجمعی در تیمارهای مختلف به ترتیب به حدود ۴۲/۱، ۴۸ و ۵۰/۷ رسید که ۲۳، ۲۷ و ۲۹ برابر مقدار اولیه اتیلن بود. اتیلن تجمعی تیمارها در هفته سوم و چهارم اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، با این حال، مقدار مطلق اتیلن تجمعی در هفته چهارم نگهداری به بیشترین مقدار خود یعنی ۵۰/۷۱ ppm رسید. بر این اساس تولید اتیلن گوجه‌فرنگی در هفته دوم نگهداری، دارای بیشترین نرخ بود و پس از آن تولید اتیلن با شیب کمتری افزایش یافت

پوشش داده شده با همان غلظت تفاوت معنی داری نشان نداد. این در حالی بود که سفتی بافت میوه‌های تیمار شده با محلول ۱۲ گرم در لیتر نانو اکسید تیتانیوم بدون پوشش، در غیاب پرتو فرابنفش، با تیمار شاهد (غلظت صفر) فاقد اختلاف معنی دار بود. این نتایج با آنچه در مورد میزان تجمع اتیلن در ظروف تیمارهای مختلف ارائه شد دارای ارتباط منطقی بوده و یکدیگر را تأیید کردند. در واقع کاهش سفتی بافت یکی از نتایج مستقیم افزایش سطح اتیلن در محیط نگهداری میوه‌ها بوده و حاکی از تسریع روند رسیدگی آنهاست. در هفته‌های دوم، سوم و آخر نگهداری، میانگین سفتی بافت تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی به ترتیب به مقدار ۱۸/۲، ۱۱/۹ و ۸/۵ نیوتن رسید که نسبت به زمان برداشت به ترتیب ۴۷، ۶۳ و ۷۴ درصد کاهش را نشان دادند. به این ترتیب در هفته چهارم نگهداری، سفتی بافت میوه به کمترین مقدار خود رسید. به این ترتیب، طی ۲ هفته نخست نگهداری گوجه‌فرنگی‌ها، شیب کاهش سفتی بافت در بیشترین مقدار خود بوده و پس از آن، سفتی بافت گوجه‌فرنگی با شیب کمتری کاهش یافت (جدول ۱).

عکس‌العمل اکسایشی ذرات پایه نیمه‌هادی را فعال کنند. پرتو فرابنفش به تنهایی قادر به حذف مقادیر قابل توجه و معنی‌دار اتیلن از محیط نبود (Zorn et al., 2000). مطابق این نتایج تیمار ۱۲ گرم در لیتر نانو اکسید تیتانیوم همراه با پرتو فرابنفش یا پوشش نانوقره قادر به کاهش اتیلن جمعی در ظروف نگهداری نمونه‌های کاهش اتیلن جمعی در ظروف نگهداری نمونه‌های گوجه‌فرنگی بود. Muggli and Ding (۲۰۰۱) نیز بر اساس مطالعات خود نتایج مشابهی را گزارش کردند.

### سفتی بافت

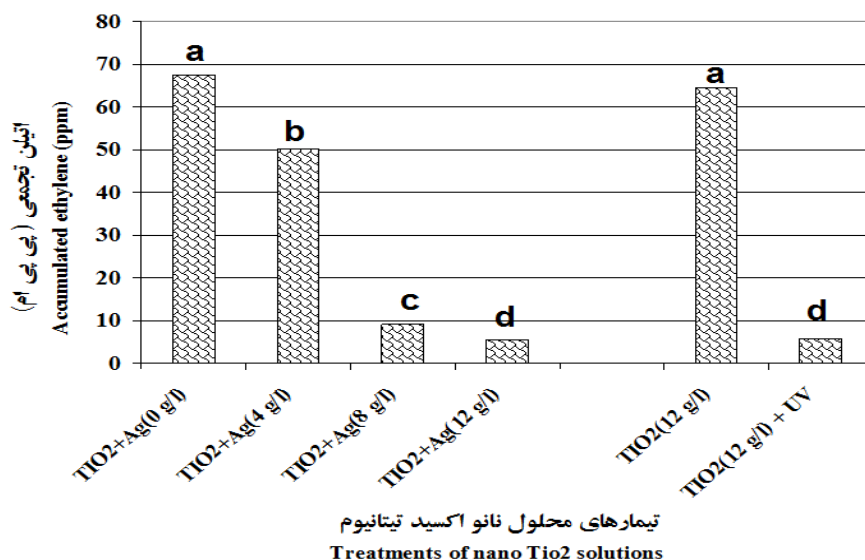
مطابق نتایج این تحقیق، با افزایش زمان نگهداری و همزمان با توسعه فعالیت‌های آنزیمی و پیشرفت مراحل رسیدگی، سفتی بافت میوه به شکل معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) کاهش یافت. بیشترین مقدار سفتی بافت میوه مربوط به زمان برداشت بود که نسبت به متوسط سفتی بافت تیمار شاهد (۱۶/۸ نیوتن) به ترتیب ۱۵، ۶۶ و ۷۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۱). سفتی بافت میوه‌های تیمار شده با محلول نانو اکسید تیتانیوم بدون ذرات نانو قره در حضور پرتو فرابنفش، با نمونه



شکل ۲- متوسط مقدار اتیلن قابل اندازه‌گیری در ظروف آزمایش در دوره نگهداری\*

Fig 2. The average amount of measurable ethylene in containers during the storage

\* در کلیه شکل‌های این مقاله، ستون‌هایی که حروف لاتین متفاوت در کنار آنها نمایش داده شده است، از نظر آماری و در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بوده و در یک گروه آماری قرار نمی‌گیرند.



شکل ۳- متوسط مقدار اتیلن تجمع یافته در ظروف آزمایش  
 Fig 3. The average amount of accumulated ethylene in experimental containers

جدول ۱- میانگین سفتی بافت نمونه‌های گوجه فرنگی (نیوتن) تیمار شده با محلول‌های نانو اکسید تیتانیوم، طی نگهداری

Table 1. Average firmness of tomato samples (N) treated by TiO<sub>2</sub> solutions during the storage

محلول‌های آزمایشی Solution treatments				مدت نگهداری (هفته) Storage Period (week)		
نانو اکسید تیتانیوم پوشش یافته با نانو نقره Nano TiO <sub>2</sub> coated with nano silver particles				نانو اکسید تیتانیوم بدون پوشش No coated nano TiO <sub>2</sub>		
شاهد Control 0 g/l	TiO <sub>2</sub> +Ag 8 g/l	TiO <sub>2</sub> +Ag 8 g/l	TiO <sub>2</sub> +Ag 12 g/l	TiO <sub>2</sub> 12 g/l	TiO <sub>2</sub> +UV 12 g/l	
40	40	40	40.1	40	40.1	0
23	29	36.5	38	23.8	38.8	1
10.2	16	28	29.6	10.3	30.7	2
6.3	7.5	21.8	22.5	6.3	22.8	3
4.8	5	15.2	16	4.6	16.6	4
9.8	9.71	9.82	10.05	9.63	8.76	C.V

0.911=LSD

مطابق جدول (۱) سفتی بافت گوجه‌های هر یک از ۳ تیمار منتخب در هفته سوم، با سفتی بافت نمونه شاهد یا نمونه تیمار شده با نانو اکسید تیتانیوم در غیاب پرتو فرابنفش در پایان هفته اول نگهداری، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند. این نتیجه بیانگر به تعویق افتادن نرم شدن بافت گوجه‌های تیمار منتخب برای مدت حدود ۳ هفته است.

این نتایج با داده‌های حاصل از تحقیق Seoun Hur و همکاران (۲۰۰۵) روی میوه کیوی و نتایج مطالعه Maneerat و همکاران (۲۰۰۳) که روی گوجه فرنگی انجام شد همخوانی داشته و آن‌ها را تأیید می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده گوجه‌فرنگی‌های تیمار

اثر محلول‌های مختلف نانو اکسید تیتانیوم بر تغییرات سفتی بافت میوه‌ها نیز معنی‌دار بود. با افزایش غلظت محلول‌های نانو اکسید تیتانیوم پوشش داده شده با ذرات نانو نقره، سفتی بافت تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی نسبت به سفتی زمان برداشت به شکل معنی‌داری کاهش یافت. به این ترتیب که در پایان هفته سوم نگهداری، کاهش سفتی بافت برای محلول‌های آزمایشی با غلظت صفر، ۴، ۸ و ۱۲ گرم در لیتر نسبت به سفتی میوه در زمان برداشت به ترتیب ۸۴، ۷۲، ۵۲ و ۴۷ درصد برآورد شد (جدول ۱). متوسط سفتی بافت گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با غلظت ۴، ۸ و ۱۲ گرم در لیتر محلول آزمایشی در طول دوره نگهداری مقدار ۱۹/۵، ۲۸/۳ و ۲۹/۲۲ نیوتن

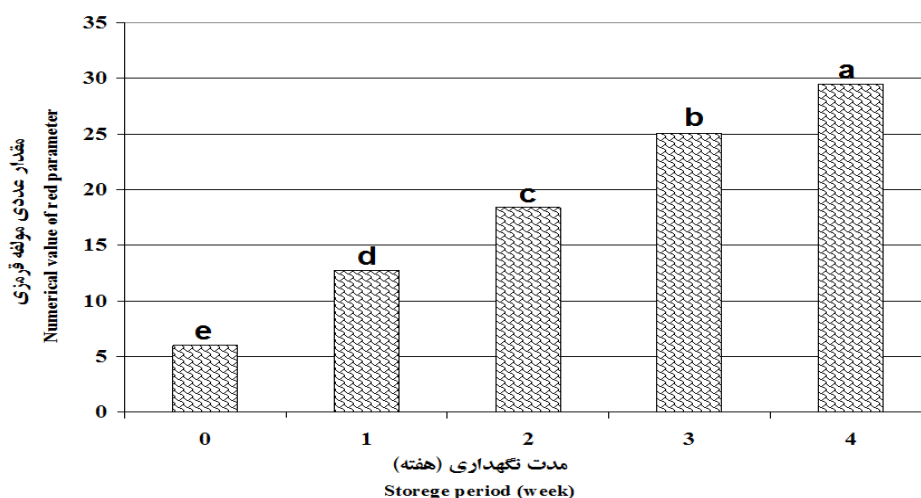
با غلظت ۴، ۸ و ۱۲ گرم در لیتر نانو دی اکسید تیتانیوم پوشش یافته با نانونقره به مقدار ۲۲/۷، ۱۳/۷ و ۱۲/۵ رسید که نسبت به مقدار این مؤلفه برای تیمار شاهد، به ترتیب ۶، ۴۳ و ۴۸ درصد کاهش یافت (شکل ۵). رنگ میوه‌های تیمار شده با محلول نانو اکسید تیتانیوم پوشش داده شده با ذرات نانو نقره، با نوع بدون پوشش در حضور پرتو UV تفاوت معنی‌داری نداشت. این پارامتر برای گوجه‌های تیمار شده با محلول ۱۲ گرم در لیتر نانو اکسید تیتانیوم بدون پوشش نانونقره و در غیاب پرتو فرابنفش با افزایش معنی‌داری مواجه شد (شکل ۵).

اختلاف با افزایش زمان نگهداری و طی هفته چهارم اختلاف میزان قرمزی رنگ بین تیمارها کمتر و به ۲۵ درصد کاهش یافت. با این حال این اختلاف کم‌کم معنی‌دار بود (شکل ۶). این نتایج با آنچه در مورد میزان تجمع اتیلن در ظروف مختلف و سفتی بافت نمونه‌های تیمارها ارائه شد همبستگی داشته و یکدیگر را تأیید می‌کنند. تیمارهایی که قادر به حذف اتیلن بیشتری از هوای محیط بودند، توانایی به تعویق انداختن قرمز شدن رنگ گوجه‌فرنگی را نیز بهتر نشان دادند. زیرا کاهش سفتی بافت و توسعه رنگ قرمز میوه از نتایج افزایش تجمع اتیلن در محیط نگهداری میوه‌ها و پیشرفت مراحل رسیدگی آن‌ها بود.

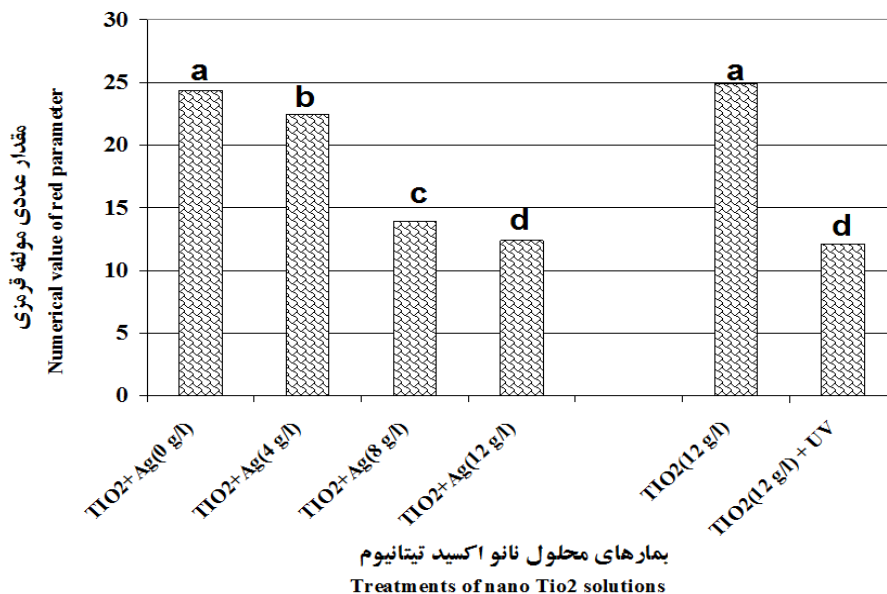
شده با غلظت ۸ و ۱۲ گرم در لیتر نانو اکسید تیتانیوم همراه با پرتو فرابنفش یا پوشش نانونقره قادر بودند نرم شدن بافت نمونه‌های گوجه‌فرنگی را به شکل معنی‌داری به تأخیر بیندازند.

### توسعه رنگ قرمز سطح میوه

میانگین نتایج سنجش رنگ نمونه‌های همگن شده شامل بافت و پوست گوجه‌فرنگی‌های هر یک از تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که با افزایش زمان نگهداری و همزمان با پیشرفت مراحل رسیدگی میوه، رنگ سبز محصول توسط طیفی از رنگ‌های نارنجی تا قرمز جایگزین می‌شود. میزان عددی مؤلفه a حاصل از سنجش رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه‌ها نترلب، نشانگر گسترش رنگ قرمز در نمونه‌ها بود. کمترین مقدار این مؤلفه به زمان برداشت مربوط می‌شد. در هفته‌های ۲، ۳ و ۴ نگهداری، میانگین مؤلفه رنگ a، در گوجه‌فرنگی‌های تحت آزمایش به ترتیب به مقدار ۱۸/۳، ۲۵ و ۲۹/۹ رسید که ۳، ۴/۱ و ۴/۹ برابر مقدار اولیه بود (شکل ۴). تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم بر گسترش رنگ قرمز میوه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. با افزایش غلظت محلول‌های نانو اکسید تیتانیوم پوشش داده شده با ذرات نانونقره، متوسط قرمزی رنگ در تیمارهای آزمایش نسبت به رنگ میوه تیمار شاهد، کاهش یافت؛ به طوری که میانگین مؤلفه a برای محلول‌های آزمایشی

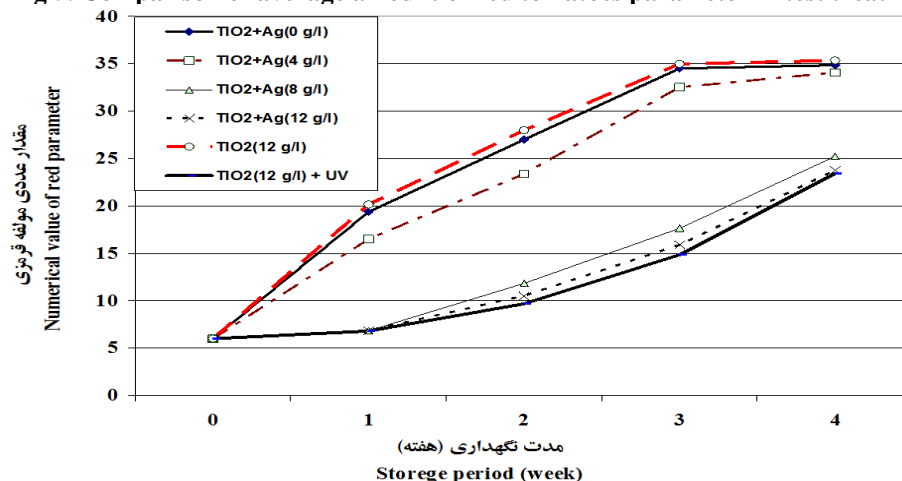


شکل ۴- اثر زمان نگهداری بر توسعه رنگ قرمز در نمونه‌های گوجه‌فرنگی  
Fig 4. Effect of storage time on red tomato samples development



شکل ۵- مقایسه متوسط مقدار مؤلفه رنگ قرمز گوجه‌فرنگی‌ها در تیمارهای آزمایش

Fig 5. Comparison of average amount of red tomatoes parameter in test treatments



شکل ۶- تغییرات مؤلفه قرمزی رنگ تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی در دوره نگهداری

Fig 6. Red parameter Changes in different tomato treatments during the storage

### نتیجه‌گیری

مطابق مجموعه نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری پارامترهای مختلف، تیمار ۱۲ و پس از آن ۸ گرم در لیتر محلول نانو اکسید تیتانیوم دارای پوشش نانونقره توانست به شکل مناسبی اتیلن موجود در هوای ظروف نگهداری گوجه‌فرنگی را تجزیه و روند رسیدگی این محصول را بدون ایجاد آسیب در بافت محصول، با تاخیری دو تا سه هفته‌ای مواجه کند. این تأخیر برای طولانی کردن

با توجه به نتایج به دست آمده تیمارهای ۸ و ۱۲ گرم در لیتر نانو اکسید تیتانیوم همراه با پوشش نانو نقره، قرمزی و تکمیل دوره رسیدگی میوه گوجه‌فرنگی را با تأخیر دو هفته‌ای مواجه کردند. مانیرات و هاتا یا (۲۰۰۳) نیز تاخیری معادل ۱۳ روز را در روند قرمز شدن گوجه فرنگی به کمک ترکیبات نانو دی اکسیدتیتانیوم و پرتو فرابنفش گزارش کرده‌اند.

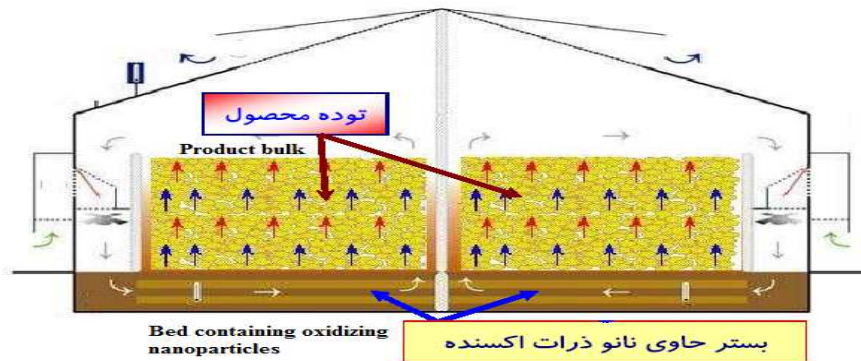


محصول با مواد نانو ساختار به حداقل برسد. بر این اساس توصیه می‌شود ساختار شکل (۷) برای استفاده از اثر تجزیه‌کنندگی نانو اکسید تیتانیوم بر اتیلن انبارها، مبنای عمل قرار گیرد.

### سپاسگزاری

از شرکت نانو نصب پارس برای تامین بخشی از مواد آزمایش قدردانی می‌شود.

دوره رسیدگی و تنظیم بازار مصرف محصول حائز اهمیت بوده و فرصت جلوگیری از اتلاف بخشی از محصول را فراهم می‌کند. با این حال موضوع سلامت مصرف‌کنندگان ایجاب می‌کند که کاربرد این روش در سیستم‌های سردخانه‌ای یا انبارهای محصولات کشاورزی با احتیاط کامل انجام شود. توصیه می‌شود که این کاربرد ترکیبات همراه با ایجاد اصلاحات در سیستم تهویه و گردش هوای انبارها انجام گیرد تا هرگونه تماس



شکل ۷- طرح پیشنهادی برای استفاده از نانو ذرات اکسید کننده اتیلن در انبارهای محصولات کشاورزی  
Fig 7. The proposal for the use of ethylene oxidizing nanoparticles at the agricultural products Storage

### References

1. Abeles, F.B. and P.W. Morgan. 1992. Ethylene in plant biology. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego, Cal. Academic Press.
2. Akiyama, S. and H., Togeda. 2000. Photo catalytic reaction of TiO<sub>2</sub> to decompose ethylene in fruit. Japan's Manufacturing Technology. Tokyo, Japan: Nikkan kogyo Shimbun.
3. Anon. 2013. Statistical yearbook of agricultural waste reduction office. Ministry of agriculture, Tehran, Iran. [In Farsi]
4. Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. Journal of food Engineering, 61(3): 471-475.
5. El Blidi, A., Rigal, L., Malmay, G., Mlinier, J., and Toress, L. 1993. Ethylene removal for long- term conservation of fruits and vegetables. Food Quality & Pref, 4(3): 199-126.
6. Fu, X., Clark, L.A., Seltzer, W.A., and Anderson, M.A. 1996. Effects of reaction temperature and water vapor content on the heterogeneous photo catalytic oxidation of ethylene. Journal of Photochemistry & Photobiology, 97(3): 181-186.

7. Fujishima, A., Hashimoto, K., and Watanabe, T. 1999. *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications*. 1 ed. BKC Inc. Tokyo, Japan. 176 p.
8. Graham, T.K., Veenstra, J.N., and Armstrong, P.P. 1998. Ethylene removal in fruit and vegetables storage using a plasma reactor. *Trans. ASAE*, 41(6): 1767-1773.
9. Maneerat, C., Hayata, Y., Egashira, N. Sakamoto, K., Hamai, Z., and Kuroyanagi, M. 2003. Photo catalytic reaction of tio<sub>2</sub> to decompose ethylene in fruit and vegetable storage. *Transaction of ASAE*, 46(3): 725-730.
10. Mirmajidi, A. 2009. Research strategic plan report to reduce postharvest waste of agricultural products. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj, Iran. [In Farsi]
11. Muggli, D.S. and Ding, L. 2001. Photo catalytic performance of sulfated TiO<sub>2</sub> and Degussa P-25 TiO<sub>2</sub> during oxidation of organics. *Applied Catalysis B: Environmental* 32(3): 181-194.
12. National Institute for Environmental Studies. 2001. Generation of ozone-resistant plants with an anti-sense DNA for ACC Synthase. <http://www.nies.go.jp/kenko/biotech/ito/ito.html> (accessed July 2002).
13. Obee, T. and Hay, S.O. 1997. Effects of moisture and temperature on the photo-oxidation of ethylene on titanium. *Environmental Science & Technology*, 31: 2034-2038.
14. OSHA. 1994. Occupational safety and health administration's regulations for ozone. Standard No. 1910.1000, 1910.1200. Washington, D.C.
15. Park, D.R., Zhang, J., Ikeue, K., Yamashita, H., and Anpo, M. 1999. Photocatalytic oxidation of ethylene to CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O on ultra fine powdered TiO<sub>2</sub> photo catalysts in the presence of O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. *Journal of Catalysis*, 185(1): 114-119.
16. Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, ethylene, and ethanol in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology & Technology*, 37(1): 1-19.
17. Seoun Hur, J., Mi Lim, K., and Ok Oh, S. 2005. Novel effects of TiO<sub>2</sub> photocatalytic ozonation on control of postharvest fungal spoilage of kiwifruit. *Postharvest Biology & Technology*, 35(1): 109-113.
18. Sirisak, A. and Anderson, M.A. 1999. Photo catalytic degradation of ethylene over thin films of titanic supported on glass rings. *Catalysis Today*, 54(1): 159-164.
19. Suzuki, K.I. 1993. Photo catalytic air purification on TiO<sub>2</sub> coated honeycomb support. In *Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*, 421-434. D.F. Ollis and H. Al-Ekabi, eds. Oxford, U.K: Elsevier Science.
20. Zorn, M.E., Tompkins, D.T., Zeltern, W.A., and Anderson, M.A. 2000. Catalytic and photocatalytic oxidation of ethylene on titanic-based thin films. *Environmental Science & Technology*, 34(24): 5206-5210.