

## استفاده از نانو دی اکسید تیتانیوم برای افزایش عمر ماندگاری و کاهش ضایعات

### گوجه‌فرنگی

فرزاد گودرزی\*

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، همدان، ایران

#### بیان مسئله و اهمیت موضوع

گوجه‌فرنگی دومین محصول مهم در گروه سبزی‌ها و صیفی‌ها است. ایران با سطح زیر کشت ۱۲۹ هزار هکتار و تولید سالانه ۵/۶ میلیون تن، هفتمین تولیدکننده بزرگ گوجه‌فرنگی جهان است. میزان تقریبی ضایعات گوجه‌فرنگی کشور حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد و معادل ۱/۲ تا ۱/۴ میلیون تن برآورد شده است که بیانگر حجم قابل توجه ضایعات این محصول است. با احتساب مبلغ ۱۵ هزار ریال برای هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی، ارزش سالانه محصول تلف شده حدود ۲۰ هزار میلیارد ریال برآورد می‌شود. این ارقام، لزوم توجه به روش‌های کاهش ضایعات محصول گوجه‌فرنگی را به‌خوبی نشان می‌دهد. در صورت کاهش ضایعات گوجه‌فرنگی به نصف مقدار فعلی، از خراب شدن سالانه ۶۰۰ میلیون کیلوگرم محصول جلوگیری می‌شود که این به معنای امکان افزایش صادرات گوجه‌فرنگی مازاد بر نیاز تا سطح ۶۰۰ هزار تن در سال و یا اختصاص حدود ۱۲ الی ۱۳ هزار هکتار از اراضی زیر کشت گوجه‌فرنگی کشور به کشت سایر محصولات کشاورزی مورد نیاز کشور خواهد بود.

در کنار آفات و بیماری‌های مزرعه‌ای و انباری، پیشرفت سریع روند رسیدگی گوجه‌فرنگی در مرحله بعد از برداشت، عامل اصلی ایجاد ضایعات گوجه‌فرنگی است. چنین میوه‌ای رسیده‌تر و بافت نرم‌تری داشته و در برابر آسیب‌های فیزیکی، حمله کپک‌ها و آفات مقاومت کمتری دارد. تولید زیاد اتیلن توسط گوجه‌فرنگی از علل اصلی کوتاه بودن دوره نگهداری و رسیدگی سریع این محصول است. گاز اتیلن که توسط اکثر میوه‌ها و سبزی‌ها تولید می‌شود در نقش یک هورمون گیاهی، شدت تنفس و سرعت روند پیری و رسیدگی آن‌ها را حتی در مراحل پس از برداشت نیز کنترل می‌کند. تجمع گاز اتیلن و دیگر مواد فرّار تولید شده توسط میوه، مانند استالدئید و اتانل در هوای انبار، یک مشکل عمده در مرحله انبارداری انواعی از محصولات کشاورزی مانند گوجه‌فرنگی، موز، سیب، گلابی و اغلب میوه‌های هسته‌دار (زردآلو و هلو) است که پس از برداشت نیز قادر به تکمیل مراحل رسیدن هستند. اتیلن، استالدئید و اتانل از طریق ایجاد بو و طعم نامطبوع در محصول در حال نگهداری، سبب کاهش کیفیت آن می‌شوند. بنابراین، حذف اتیلن موجود در انبار نگهداری گوجه‌فرنگی در بهبود وضعیت ماندگاری و کیفیت گوجه‌فرنگی بسیار مؤثر است.

تعویض مداوم هوای انبار، استفاده از پرمنگنات پتاسیم، ایجاد فشار هوای کم در انبار (اتمیسفر هیپوبار) و گاز ازن روش‌هایی هستند که برای حذف اتیلن در انبارها عمومیت دارند. البته کاربرد هر یک از این روش‌ها دارای مشکلاتی است. به عنوان مثال، هوادهی، علیرغم نیازمندی به ادوات زیاد، قادر به خارج کردن مقادیر اندک اتیلن از هوای انبار نیست. پرمنگنات پتاسیم، ماده‌ای سمی و نیازمند تعویض مداوم است. انبارهای هیپوبار، مؤثر بوده ولی بسیار گران هستند. گاز ازن هم اگرچه یک اکسنده بسیار پر قدرت است، اما به دلیل آن که به بافت گیاه و میوه آسیب می‌زند، بافت را مجدداً برای تولید اتیلن تحریک می‌کند. در کنار روش‌های مختلفی که برای حذف اتیلن در محیط انبارها وجود دارد، نانوفناوری و تولید ذرات در ابعاد نانو، راه‌های جدیدی پیش روی ما نهاده است. نانو دی‌اکسید تیتانیوم (شکل ۱) و نانو نقره از جمله این ذرات هستند. نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و نقره هم‌زمان از دو خاصیت ضد اکسندگی و ضد میکروبی با قابلیت ماندگاری طولانی برخوردارند. کاربرد هم‌زمان این دو نانو ذره در قالب فلز اکسید تیتانیوم پوشش داده شده با نقره، این امکان را پدید می‌آورد که خاصیت ضد میکروبی و ضد اکسندگی قدرتمندی را با کمترین غلظت از این دو فلز شاهد باشیم. مطالعات مستمر و طولانی نهادهای ناظر بر سلامت غذا در آمریکا و اروپا کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم در غذاها را به دلیل مقدار مصرف بسیار اندک آن در غذاها، ایمن قلمداد می‌کنند. درباره فرم نانویی این ترکیب نیز استفاده از آن در نگهداری محصولات کشاورزی و کرم‌های ضد آفتاب کماکان مجاز است. با این حال، اجتناب از استنشاق گرد این پودرها و اطمینان از عدم تماس مستقیم ماده غذایی با این ذرات ضرورت دارد. حد مجاز روزانه جذب نانو دی‌اکسید تیتانیوم توسط یک انسان بالغ، یک میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن تعیین شده است.



شکل ۱- پودر و محلول نانو دی‌اکسید تیتانیوم

برای استفاده از این نانوذرات در حذف اتیلن انبارها، کافی است که هوای انبارها را مطابق با دستورالعمل ویژه‌ای از سطح محلول حاوی این ترکیبات عبور دهیم.

## معرفی دستورالعمل

برای اثربخشی بیشتر پودر دی اکسید تیتانیوم پیشنهاد می شود این دستورالعمل با رعایت نکات زیر به کار گرفته شود:

الف) بهتر است گوجه فرنگی ها در مرحله شکستگی رنگ (تغییر رنگ میوه از سبز به زرد مایل به نارنجی) برداشت شوند، تا پس از به کارگیری دستورالعمل، سرعت رسیدن محصول در انبار بهتر کاهش یابد (شکل ۲).



شکل ۲- گوجه فرنگی مناسب برای ورود به انبار نگهداری با رنگ زرد مایل به نارنجی

ب) گوجه فرنگی های برداشت شده بلافاصله به محل خنک با دمای ۱۰ تا ۱۶ درجه سلسیوس منتقل و از تابش مستقیم نور آفتاب محافظت شوند.

ج) بازرسی و جداسازی میوه های خراب و آسیب دیده انجام شود. میوه های سالم درون جعبه های تمیز چیده شده و جعبه ها به انبار نگهداری دارای سیستم تهویه و گردش هوا منتقل شود.

د) به ازای هر تن محصول ذخیره شده در انبار، بستر یا حوضچه هایی به مساحت ۰/۱ متر مربع در کف انبار تعبیه شود. به جای حوضچه می توان از تشتک های پلاستیکی با عمق کم (حدود ۸ سانتی متر) نیز استفاده کرد.

ه) پودر دی اکسید تیتانیوم با پوشش نانوقره و درجه خلوص بالاتر از ۹۹/۵ درصد و متوسط قطر ذرات ۵۰ نانومتر تهیه و به نسبت ۸ گرم در لیتر به آب حاوی ۵ میلی مول سود سوزآور اضافه شود. میزان pH محلول، توسط بافر فسفات به ۸ رسانده شود. برای پراکنش بهتر و یکنواخت تر پودر دی اکسید تیتانیوم در آب می توان از اسید پلی آکرلیک به میزان ۳ درصد وزنی- حجمی استفاده کرد. در ادامه، محلول سوسپانسیون به خوبی هم زده شده و به مدت ۱۵ دقیقه در معرض امواج فراصوت با فرکانس ۲۳ کیلوهرتز قرار گیرد.

و) تشتک ها از محلول سوسپانسیون که مطابق روش مذکور آماده شده، پر شود، به طوری که سطح آزاد مایع درون آن حدود ۲ سانتی متر از لبه ظرف پایین تر باشد.

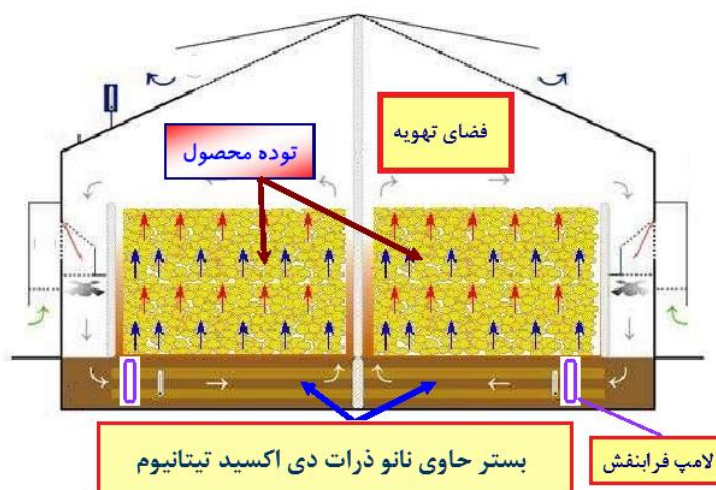
ز) در قسمت کناری یا فوقانی تشتک‌ها، لامپ‌های ماوراء بنفش با طول موج ۳۲۰ تا ۳۸۵ نانومتر قرار گیرد. فاصله لامپ از سطح سوسپانسیون دی‌اکسید تیتانیوم نباید بیشتر از یک متر باشد. شدت نور لازم ۵ وات بر متر مربع است.

ح) سیستم تهویه و گردش هوای انبار مطابق شکل ۳ اصلاح شود، به طوری که هوا هنگام به گردش درآمدن در فضای انبار الزاماً از سطح تشتک یا حوضچه‌ها عبور کند. در این شرایط و هنگام عبور هوا از سطح محلول، گاز اتیلن همراه آن توسط محلول دی‌اکسید تیتانیوم تجزیه شده و به این ترتیب، مقدار کل اتیلن موجود در هوای انبار تا ۹۰ درصد کاهش می‌یابد. این مایع سوسپانسیون تا یک ماه نیاز به تعویض ندارد.

ط) علیرغم بی‌خطر بودن دی‌اکسید تیتانیوم، توصیه می‌شود استفاده از این ترکیب با رعایت حداکثر اصول ایمنی شامل دوری از تماس مستقیم محلول یا پودر با بدن و عدم استنشاق گرد آن‌ها و بدون تماس مستقیم محلول با میوه‌ها اجرا شود.

ی) این دستورالعمل، سرعت رسیدن کامل گوجه‌فرنگی برداشت شده را تا ۴ هفته به شکل مناسبی کاهش می‌دهد. یک هفته قبل از زمان برنامه‌ریزی شده برای تخلیه انبار و ارسال گوجه‌فرنگی‌ها به بازار مصرف، محلول نانو دی‌اکسید تیتانیوم از انبار خارج شود تا میوه مراحل رسیدگی خود را سریع‌تر سپری کرده و آماده عرضه به بازار شود.

از پاشیدن محلول دی‌اکسید تیتانیوم بر سطح گوجه‌فرنگی پرهیز شود. تماس محلول دی‌اکسید تیتانیوم با گوجه‌فرنگی می‌تواند به ایجاد آسیب در سطح میوه و در نتیجه فساد سریع‌تر آن منجر شود (شکل ۴).



شکل ۳- طرح پیشنهادی برای کاربرد نانو دی‌اکسید تیتانیوم در انبار گوجه‌فرنگی

استفاده از نانو دی اکسید تیتانیوم برای افزایش عمر...



شکل ۴- آسیب سطحی ناشی از تماس مستقیم گوجه‌فرنگی با محلول نانو دی‌اکسید تیتانیوم



شکل ۵- میزان رسیدگی گوجه‌فرنگی پس از ۳ هفته نگهداری در:

تصویر سمت چپ: انبار با دمای ۱۲ درجه سلسیوس حاوی بستر نانو دی‌اکسید تیتانیوم

تصویر سمت راست: انبار با دمای ۱۲ درجه سلسیوس بدون بستر نانو دی‌اکسید تیتانیوم

### فرآیند به‌کارگیری / نحوه اجرایی شدن

توصیه می‌شود که دی‌اکسید تیتانیوم در انبارها با ایجاد اصلاحات در سیستم تهویه و گردش هوای انبارهای ذخیره‌سازی به‌کار گرفته شود تا احتمال هرگونه تماس گوجه‌فرنگی‌ها با مواد نانوساختار کاملاً منتفی شود. برای این منظور، لازم است انبارداران و سردخانه‌داران از طریق شبکه نظام نوین ترویج با کلیات این فناوری آشنا شوند. پیشنهاد می‌شود که پیاده‌سازی این فرآیند و ایجاد تغییرات اصلاحی در



سیستم گردش هوای انبار از طریق شرکت‌های ارائه دهنده خدمات فنی و مهندسی آشنا به این فناوری اجرا شود.

### مزایا و اثر بخشی

به‌کارگیری دقیق این دستورالعمل در انبارهای نگهداری گوجه‌فرنگی مزایای زیر را به دنبال دارد:

- ✓ کاهش ۱۰ تا ۱۵ درصدی ضایعات پس از برداشت گوجه فرنگی
- ✓ کاهش سرعت رسیدگی گوجه فرنگی برداشت شده
- ✓ اضافه شدن حداقل ۱۵ روز به مدت عمر ماندگاری گوجه‌فرنگی در انبار
- ✓ حفظ کیفیت محصول بدون ایجاد بو یا مزه نامطبوع در میوه یا فضای انبار
- ✓ تنظیم بهتر بازار عرضه و تقاضای محصول گوجه‌فرنگی
- ✓ ایجاد فرصت زمانی بیشتر برای صادرات گوجه‌فرنگی
- ✓ قابلیت استفاده در همه انواع انبارها و سردخانه‌های نگهداری گوجه‌فرنگی

