

مروری بر کاربرد فناوری نانو در بهبود ماندگاری و کیفیت میوه‌ها و سبزیجات

سیده مهدیه اکبری، علیرضا مهرگان نیکو*

گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران

چکیده

ماهیت فسادپذیر میوه‌ها و سبزیجات، سبب محدودیت نگهداری پس از برداشت آن‌ها در شرایط طبیعی می‌گردد؛ بنابراین مدیریت پس از برداشت این محصولات، به‌منظور کاهش تلفات و تضمین عرضه جهانی آن‌ها، ضروری است. فناوری نانو از تکنیک‌های نوپهور نگهداری در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی بوده که تاکنون در بخش‌های مختلف صنعت غذا از جمله تولید، فرآوری و بسته‌بندی، کاربردهای نوآورانه‌ی گسترده‌ای داشته است. در این مطالعه روش‌های مرسوم نگهداری پس از برداشت و محدودیت‌های آن‌ها مطرح شده و به‌کارگیری نانو فناوری‌هایی مانند نانوذرات، نانوپوشش، نانولمینیت، نانوحسگر و نانوزیست حسگر جهت افزایش کیفیت و انبارمانی میوه‌ها و سبزیجات مورد بررسی قرار گرفته است. نانوذرات، به عنوان یک سامانه‌ی فعال، کاربرد گسترده‌ای داشته که از شاخص‌ترین آن‌ها می‌توان به خواص ضد میکروبی اشاره کرد. پوشش نانو و نانولمینیت‌ها با عملکرد مانعتی خود، سبب حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات غذایی می‌شوند و به‌منظور کنترل تغییرات کیفی و تشخیص عوامل بیماری‌زا، سموم، آفت‌کش‌ها و سایر مواد خارجی از نانوزیست و نانوزیست حسگر استفاده می‌شود. بنابراین، با توسعه فناوری نانو، می‌توان انتظار داشت که این دانش، در مراحل ذخیره‌سازی، حمل و نقل و فرآوری محصولات پس از برداشت، با ارائه قابلیت‌های منحصر به فرد و مشخص نسبت به روش‌های مرسوم، راه را برای رفع موانع متعدد در بخش کشاورزی هموارتر کند.

واژه‌های کلیدی: افزایش انبارمانی، نانوفناوری، نانومواد، نانوپوشش، نانوحسگر

ایمیل نویسنده مسئول: a.mehregan@guilan.ac.ir

شود. این اثرات در میوه‌های فرازگرا^۱ مانند موز، سیب و گوجه فرنگی به علت افزایش ناگهانی سرعت تنفس در طول رسیدن و تولید اتیلن، شدیدتر است [۲۳]. فساد و خرابی پس از برداشت میوه‌ها و سبزیجات، به علت صدمات فیزیکی در هنگام برداشت و حمل و نقل، چروکیدگی طبیعی به دلیل از دست دادن رطوبت، شرایط نامساعد آب و هوا، تخریب اکسیداتیو، تهاجم آفات، کپک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها است. در سراسر جهان، تقریباً ۲۰ تا ۴۰ درصد از محصولات تازه به‌دلیل حمل و نقل نامناسب، روش‌های مدیریتی ناکارآمد و نبود زیرساخت‌های پس از برداشت هدر می‌روند (شکل ۱) [۴]. بنابراین، میوه‌ها و سبزیجات محصولات بسیار فسادپذیری بوده و حفظ پایداری، ذخیره سازی مناسب و افزایش انبارمانی آن‌ها، تقاضا

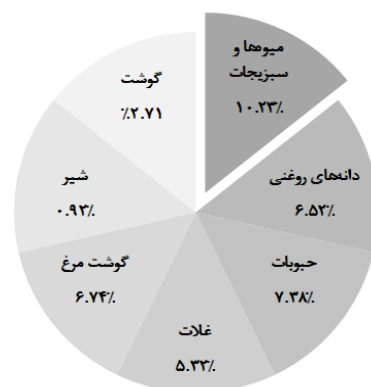
۱- مقدمه

۱-۱- مسائل پس از برداشت میوه‌ها و سبزیجات

میوه‌ها و سبزیجات منابع اصلی ویتامین‌ها، مواد معدنی، آنتی اکسیدان‌ها، فیبرهای رژیمی و سایر ترکیبات مغذی بوده و از این رو نقش مهمی در تغذیه انسان ایفا می‌کنند [۱]. این محصولات بافت‌های زنده‌ای هستند که فرایندهای متابولیکی آن‌ها حتی پس از برداشت نیز ادامه می‌یابد. یکی از عوامل کلیدی تعیین کننده در فعالیت متابولیکی میوه‌ها و سبزیجات، میزان تنفس آن‌ها است. افزایش سرعت تنفس سبب پیری زودرس، نرم شدن بیش از حد و کاهش طول عمر محصول می‌-

¹ Climacteric

برای فناوری‌های مناسب پس از برداشت را ایجاد کرده است. از این رو استفاده از راهکارهایی جهت به تأخیر افتادن فساد و افزایش ماندگاری آن‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۱- نمایش محصولات کشاورزی و تلفات جمعی آن‌ها

۲-۱- فناوری‌های مرسوم و فناوری‌های جدید در بهبود ماندگاری محصولات

ایمنی و سلامت میوه‌ها و سبزیجات از جمله مهم‌ترین مسائل علمی و فناوری در علوم غذایی است. پژوهش‌های بسیاری به‌منظور توسعه روشهای نگهداری و حفظ کیفیت محصولات پس از برداشت انجام شده است [۵]. از دیرباز، فناوری‌های مختلفی از جمله سردخانه گذاری، نگهداری شیمیایی و پرتودهی برای افزایش ماندگاری این محصولات تازه، توسعه یافته است [۶]. مکانسیم عمل این روش‌ها، غیر فعال نمودن رشد میکروبی، کنترل تنفس و به حداقل رساندن تبخیر است. با این حال، روشهای مرسوم افزایش انبارمانی، دارای محدودیت‌های بسیاری هستند که در جدول ۱ به پاره‌ای از آن‌ها اشاره شده است. در سردخانه گذاری، حفظ دمای پایین، به‌منظور طولانی کردن ماندگاری سبزیجات و میوه‌ها، عملیاتی هزینه بردار بوده و در صورت عبور دما از حد مجاز، ممکن است منتهی به آسیب‌های سرمایی شود. از زمان قدیم، حفاظت شیمیایی به دلیل اثربخشی بالاتر، هزینه پایین و روش عملیاتی آسان انجام می‌شده است؛ با این وجود، در حال حاضر، مصرف کنندگان از این روش به دلایل ایمنی و عوارض جانبی آن اجتناب می‌کنند. در روش پرتوتابی

(یونیزان و غیریونیزان) تخریب ساختار محصولات تازه به وقوع نمی‌پیوندد، با این وجود اعمال این فرآیند، به دوز تابش کنترل شده، زمان طولانی عملیات و هزینه سرمایه گذاری بالایی نیاز دارد [۷]. با وجود نتایج رضایت بخش مهندسی ژنتیک در کاهش پیری محصولات برداشت شده، این روش نیازمند هزینه بالا و تأیید مراجع ذی‌ربط جهت استفاده‌ی انسانی است. بنابراین، توسعه روش‌های نوینی که بتوانند تقاضای مصرف‌کنندگان را بدون به خطر انداختن ایمنی و کیفیت محصول برآورده کنند، بسیار حائز اهمیت است [۵].

۳-۱- نقش فناوری نانو در افزایش کیفیت و انبارمانی

تحقیق و توسعه‌ی فناوری نانو در بخش کشاورزی و صنایع غذایی در دهه‌های اخیر به گستردگی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از فناوری نانو یکی از رویکردهای نوین برای نگهداری مواد غذایی است؛ این فناوری، یک تکنیک علمی است که در آن موادی با اندازه ۱۰۰ نانومتر تولید، استفاده و بررسی می‌شوند. نقش نانوتکنولوژی از تولید تا توزیع محصول ادامه یافته و از دلایل موفقیت آن می‌توان به نتایج امید بخش، عدم انتشار آلاینده‌ها، صرفه جویی در انرژی، کاهش بهره‌وری از مواد شیمیایی سمی، کنترل عوامل بیماری‌زا و نیاز به فضای کمتر اشاره کرد [۸۹]. کاربردهای این فناوری در صنایع غذایی در برگیرنده‌ی استفاده از آن جهت افزایش ایمنی در تولید، فرآوری، بسته‌بندی و توزیع مواد غذایی، شناسایی مشکلات احتمالی و ارائه هشدار در رابطه آن‌ها در طول فرآوری، افزایش طعم و معرفی نانوذرات ضد-باکتریایی به غذا، استفاده از نانوبارکد در بسته‌بندی مواد غذایی و نیز نظارت بر توزیع محصولات غذایی، ترکیب نانو مکمل‌ها با مواد غذایی جهت افزایش اجزاء مغذی و کاربرد نانوحسگرها به-منظور نظارت بر مواد غذایی در تمامی مراحل (تولید، فرآوری، بسته‌بندی و توزیع) است [۱۰]. کاربردهای فناوری نانو ممکن است محدودیت‌ها و کاستی‌های روش‌های سنتی نگهداری سبزیجات و

بسته‌بندی فرآورده‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. این ذرات اثرات باکتری‌کشی مطلوبی در برابر باکتری‌های گرم

میوه‌ها را برطرف کند [۷]. استفاده‌ی روز افزون از فناوری نانو در صنعت کشاورزی راه حلی برای مرتفع نمودن چالش‌ها در امنیت غذایی و کشاورزی بوده که با ارائه پیشرفت‌های منحصر به فرد و مشخص نسبت به روش‌های قدیمی راه را برای رفع موانع متعدد در بخش کشاورزی هموار کرده است [۱۱]. در ادامه استفاده از فناوری‌های نانو شامل نانوذرات، نانوپوشش، نانولمینیت، نانوحسگر و نانوبیوسگر جهت افزایش کیفیت و انبارمانی میوه‌ها و سبزیجات مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲- نانوذرات

نانوذرات در فرآوری مواد غذایی کاربردهای فراوانی داشته و به بهبود خواص و ماندگاری غذا کمک می‌کنند. اثربخشی نانوذرات در غذا به دسترسی زیستی آن‌ها در سامانه وابسته است. از روش‌های تولید نانوذرات می‌توان به ساییدگی و پیرولیز اشاره نمود و برخی از آن‌ها ممکن است در طبیعت نیز وجود داشته باشند. این ذرات بر اساس اندازه، ریخت‌شناسی، خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی به اشکال مختلف گروه بندی می‌شوند. بر اساس شکل، آن‌ها را می‌توان به نقاط کوانتومی، نانولوله، نانوالیاف، نانومیل، نانورق، نانوگوشه و آنروژل طبقه‌بندی نمود [۱۲]. موارد کاربرد آن‌ها شامل توسعه‌ی محصولات از جمله مواد مغذی با اندازه نانو، نانوچندسازه‌های زیستی، کودهایی با پوشش نانو به همراه آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌های نانو برای حفاظت محیط زیست در برابر عوامل بیماری‌زای گیاهی است. تشخیص سریع بیماری، غنی سازی مواد مغذی، نظارت به موقع مزارع تحت کشت و کاهش ضایعات زیست محیطی در نتیجه‌ی استفاده از این ذرات در مزارع کشاورزی حاصل شده است. نانوذرات در فرآوری مواد غذایی نیز کاربردهای مختلفی داشته و به بهبود خاصیت جریان، رنگ و ثبات غذا کمک می‌کنند.

از نانوذرات بر پایه‌ی فلزات، به گستردگی در صنایع غذایی استفاده شده است. نانوذرات نقره با فعالیت ضد میکروبی بالا در برابر طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها، عموماً به عنوان یک سامانه‌ی فعال در

^۱ Bioavailability

جدول ۱- محدودیت‌های روش‌های متداول افزایش ماندگاری محصولات تازه [۷]

منابع	محدودیت‌ها/ معایب	روش‌های متداول
[۱۳]	کاهش کیفیت محصولات تازه، از دست دادن مواد مغذی، ویتامین‌ها و مواد معدنی	حرارت‌دهی
[۱۴]	خطر آسیب سرمایی و انجمادی، هزینه‌ی بالای سرمایه گذاری	سردخانه گذاری
[۱۵]	هزینه‌ی بالای سرمایه گذاری، مسئله کنترل فشار	فشار هیدرواستاتیک بالا
[۱۶]	مسئله کنترل دوز تشعشع، هزینه‌ی سرمایه گذاری بالا	پرتوتابی
[۱۷]	عملیات دشوار، هزینه‌ی بالا، مسئله ایمنی	بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده
[۱۸]	پس ماند و مسائل ایمنی، عوارض جانبی	حفاظت شیمیایی
[۱۹]	مسئله جذب رطوبت، مسئله ماندگاری، مشکل در کنترل ضخامت و غلظت پوشش	پوشش خوراکی

وزن گزارش شده مربوط به انگورهای تیمار شده با نانوذرات نقره و به دنبال آن انگورهای تیمار شده با نیترات نقره بود، در حالی‌که بیش‌ترین کاهش وزن در انگور شاهد رخ داد. نتایج کلی این بررسی گویای حفظ کیفیت خوشه‌های انگور تیمار شده تا ۳۰ روز بود، در حالی‌که خوشه‌های انگور شاهد، طی ۳۰ روز نگهداری در سردخانه، پژمرده و فاسد شدند [۲۳]. در مطالعه‌ی دیگری هدایتی و نیکو صفت، تأثیر پوشش نانوذرات نقره و صمغ عربی بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و میکروبی فلفل دلمه‌ای سبز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه بیانگر اثرات ضد میکروبی نانوذرات نقره و اثر بخشی پوشش صمغ عربی در ممانعت از نرم شدن بافت، از دست دادن آب و تجزیه ویتامین C بود و ترکیب این دو ماده سبب ارتقاء ارزش غذایی و بازارپسندی فلفل دلمه‌ای سبز شد [۲۴].

دی اکسید سیلیکون (SiO_2) و دی اکسید تیتانیم (TiO_2) رایج‌ترین نانوذرات مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی هستند. دی اکسید سیلیکون به عنوان رنگ خوراکی، عامل ضد انعقاد، خشک کننده و جاذب الرطوبه جهت نگهداری و بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. نانوذرات دی اکسید تیتانیم نیز دارای فعالیت‌های ضد میکروبی بوده، و نیز به عنوان رنگ و سفید کننده در محصولات لبنی همانند شیر و پنیر و عامل ضد عفونی کننده‌ی فوتوکاتالیستی^۲ به‌کار رفته‌اند. به‌طور کلی، دی اکسید تیتانیم حائلی برای محافظت در برابر پرتو فرابنفش^۳ در بسته‌بندی مواد غذایی

مثبت و گرم منفی نشان داده‌اند و بر اساس یافته‌ی محققان، در برابر باکتری‌های گرم منفی اثرگذارتر هستند [۱۱]. مکانیسم عمل ضد باکتریایی نقره، شامل چسبندگی سطحی، تجزیه غشاهای سلولی، آسیب به DNA و آزادسازی یون‌های نقره است. نانوذرات نقره به دلیل قدرت پراکندگی بالا و سطح وسیع‌تر، به راحتی یونیزه شده و از جنبه‌ی شیمیایی فعال هستند. همچنین، با جذب و تجزیه اتیلن توسط این ذرات، توانایی آن‌ها در افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات ثابت شده است [۲۰،۲۱]. در این زمینه طاه‌ها و همکاران تأثیر پوشش نشاسته حاوی نانوذرات نقره بر زمان ماندگاری توت فرنگی را مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌ی پوشش داده شده، اسیدیته‌ی کل و محتوای آنتوسیانین بالایی داشت و کم‌ترین میزان کاهش وزن، پوسیدگی و بار میکروبی در مقایسه با نمونه‌ی شاهد از آن گزارش شد. پوشش اعمال شده، موجب حفظ کیفیت توت فرنگی شده و ماندگاری آن را از ۲ به ۶ روز در دمای اتاق و از ۸ به ۱۶ روز در سردخانه، افزایش داد [۲۲]. در مطالعه‌ی دیگر، الیتقی و فن، بررسی اثرات نیترات نقره و نانوذرات این عنصر بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و کیفیت خوشه‌های انگور در یک دوره سردخانه گذاری را ارزیابی کردند. در این پژوهش غلظت‌های مختلفی از محلول‌ها به روش غوطه‌وری برای تیمار این محصول به‌کار گرفته شدند. بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های این آزمون، کم‌ترین میزان کاهش

² Photocatalyst

³ Ultraviolet

¹ Deoxyribonucleic Acid

شده در دمای ۴ درجه سانتی گراد را مورد بررسی قرار دادند. این پوشش‌ها تأثیر قابل توجهی بر پارامترهای کیفی در طول دوره نگهداری داشتند. میزان کاهش مواد جامد محلول، سفتی، غلظت اسید آسکوربیک و تغییرات pH پرتقال‌های پوشش داده شده در مقایسه با نمونه شاهد کمتر بود. افزون بر این، نمونه‌های تیمار شده فعالیت آنتی اکسیدانی بالایی داشته و فعالیت پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز به شکل قابل توجهی در آن‌ها کاهش یافت. این پوشش‌ها ماندگاری پرتقال را تا ۲۰ روز افزایش دادند [۳۰].

۳- پوشش نانو

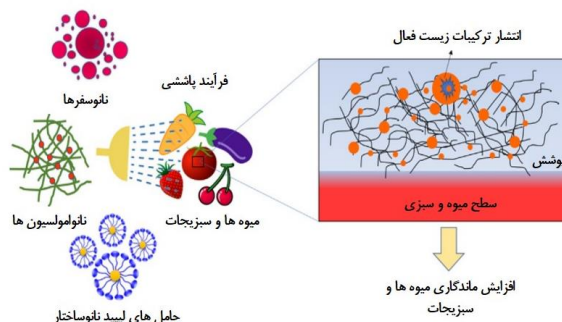
فناوری‌های پوشش‌دهی به گسترده‌گی برای حفاظت پس از برداشت میوه‌ها و سبزیجات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اخیراً از پوشش‌های نانو به‌منظور حفظ ارزش غذایی و کنترل کیفیت فرآورده‌های غذایی استفاده شده است. توجه به موادی با ساختار نانو برای پوشش‌ها، به علت خواص مکانیکی، الکتریکی، مغناطیسی و نوری قابل توجه آن‌ها، و نیز امکان دستیابی به موادی با خواص شیمیایی و فیزیکی منحصر به فرد است [۳۱]. پوشش نانو لایه‌ی نازکی با ضخامت ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است [۳۲]. کاربرد پوشش‌های نانو به صورت پوشاندن سطح با لایه‌ای در مقیاس نانومتر به روش مالش، پاشش و غوطه‌وری یا گنجاندن یک جزء در مقیاس نانو در ترکیب است. این نوع از پوشش‌ها به عنوان مانعی در برابر مواد خارجی بوده و به این ترتیب نه تنها مدت ماندگاری را می‌افزاید، بلکه به حفظ مواد مغذی، پایداری زیستی، حرارتی، مکانیکی و شیمیایی نیز کمک می‌کند [۴]. پوشش‌ها در محصولات فسادپذیر مانند میوه‌ها و سبزیجات سبب مسدود کردن منافذ مسئول از دست دادن آب، در سطح پوست می‌شوند [۳۳]. شکل ۲ نحوه برهمکنش سبزیجات و میوه‌ها با پوشش‌های مختلف بر پایه‌ی سامانه‌های نانو را نشان می‌دهد. ترکیبات زیست فعال آزاد شده از ساختارهای نانو، به بهبود ماندگاری این محصولات کمک می‌کنند [۳۴].

ایجاد می‌کند. اما ماهیت فوتوکاتالیزه‌ی آن‌ها، کاربردشان در صنایع غذایی را محدود می‌کند [۱۱]. نانوذرات مختلف دیگری مانند اکسید روی (ZnO) و سیلیکات^۱ نیز در فیلم‌های پلاستیکی به‌منظور کاهش جریان اکسیژن در داخل ظرف بسته‌بندی استفاده شده‌اند. این نانوذرات، سبب حفظ تازگی غذا در مدت طولانی‌تری شده و به پیشگیری از نشت رطوبت از بسته‌بندی کمک می‌کنند [۲۵]. سایر فلزات و نانوذرات اکسید فلزی مانند آهن، مس، کربن، طلا، کادمیوم، سلنیوم، اکسید روی، منیزیم و اکسید منیزیم نیز به دلیل فعالیت‌های ضد میکروبی، به گسترده‌گی در صنایع غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۶].

در مطالعه‌ی لویز و همکارانش، تأثیر محلول‌پاشی نانوذرات مس بر حفظ کیفیت و محتوای ترکیبات زیست فعال گوجه فرنگی، بررسی شد. در این پژوهش، چهار تیمار با غلظت‌های مختلف (۵۰، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و قطر ۵۰ نانومتر) در طول کشت میوه اعمال شد. نتایج، گویای افزایش پارامترهای سفتی، محتوای ویتامین C، لیکوپن^۲، ظرفیت آنتی اکسیدانی و تجمع ترکیبات زیست فعال در میوه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌ی شاهد بود [۲۷]. در بررسی چودری و همکاران تأثیر فیلم بسته‌بندی پلی وینیل الکل حاوی نانوذرات طلا بر افزایش ماندگاری موز مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاکی از بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی محصول و افزایش مدت زمان ماندگاری آن بود [۲۸]. شریفان و همکارانش، کاربرد نانوذرات اکسید روی جهت افزایش کیفیت انبارمانی میوه گوجه فرنگی، تیمار شده از طریق اسپری، به مدت چهار هفته را بررسی کردند. فاکتورهای اصلی مؤثر بر کیفیت گوجه فرنگی در طول انبارمانی، از جمله فساد میکروبی، از دست دادن آب و تغییر رنگ مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج حاکی از مهار ۴۷ درصدی رشد میکروبی، افزایش ۶ درصدی محتوای لیکوپن و نیز افزایش محتوای فلز روی در این میوه تا میزان ۱۷ درصد بود [۲۹]. همچنین، دولت‌ا و همکارانش، تأثیر پوشش آلزینات سدیم (۱ درصد) و کیتوزان (۵/۰ درصد)، ترکیب شده با نانوذرات اکسید روی (۵/۰ گرم بر لیتر) بر کیفیت پرتقال‌های نگهداری

¹ Silicate

² Lycopene



شکل ۲- برهم‌کنش میوه‌ها و سبزیجات با پوشش‌های مختلف بر پایه‌ی نانو

طراحی نانوپوشش‌ها مستلزم کنترل بسیاری از عوامل مانند حجم فضای مشترک، اندازه ذرات، ضخامت تک لایه، انرژی سطحی، بافت سطح و بستر، انتخاب مواد، روش اعمال نانوپوشش و پارامترهای فرآوری است. اندازه، ضخامت لایه، توزیع ذرات در پوشش و نیز خواص سطحی زیرلایه، تأثیر بسیار مهمی بر ویژگی‌های نهایی دارد. نانوپوشش‌ها معمولاً به سه دسته از نانومواد نانوکریستال‌هایی شامل نانوذرات تک فلزی یا آلیاژی، پوشش‌های تک لایه یا چند لایه و نیز نانوکامپوزیت‌هایی که معمولاً متشکل از نانوذرات پراکنده در یک زمینه پلیمری هستند، اشاره دارند [۳۱]. اصطلاح پوشش‌های نانوکامپوزیتی برای تعریف پوشش‌های متشکل از دو یا چند جزء مختلف، که حداقل باید یک جزء در ابعاد نانو باشد، استفاده شده است. به این ترتیب، هم افزایی اجزاء مختلف، سبب بهبود خواص مواد نهایی می‌شود [۳۱]. متداول‌ترین نانومواد مورد استفاده در این بخش، نانوذرات نقره، اکسید روی، دی اکسید سیلیکون و دی اکسید تیتانیم هستند [۳۵]. این نانومواد، بی مزه، غیر سمی بوده و دارای فعالیت ضد باکتریایی، بو زدایی و ممانعت از نفوذ دی اکسید کربن هستند؛ همچنین نفوذپذیری کمی به رطوبت و اکسیژن داشته و ترکیب این نانومواد با محلول پوشش دهنده، می‌تواند پایداری مکانیکی، حرارتی و فعالیت ضد باکتریایی را افزایش دهد و در نتیجه عملکرد نگهداری را بهبود بخشد [۵]. در مطالعه‌ی لکشمی و همکارانش، تأثیر پوشش حاوی نانوذرات اکسید روی بیوسنتز شده بر پارامترهای کیفی میوه‌ی انجیر بررسی شد. میوه‌های تازه‌ی انجیر، در محلول پوششی حاوی

نانوذرات اکسید روی با ۸ غلظت مختلف در محدوده‌ی ۵۰ تا ۲۰۰ پی‌پی‌ام غوطه‌ور و در دمای اتاق نگهداری شدند. پوشش‌دهی انجیرها با غلظت ۱۷۵ پی‌پی‌ام اکسید روی، سبب تأخیر در رسیدن، کاهش وزن، کاهش تغییرات رنگ، افزایش سفتی میوه‌ها و مهار رشد میکروارگانیسم‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. از این رو، نتایج حاصل از این مطالعه نشان دهنده‌ی رویکرد امیدبخش این نوع از نانو پوشش‌ها، در افزایش زمان ماندگاری میوه‌ی انجیر بود [۳۶]. همین‌طور ویرا و همکاران اثر پوشش‌های فعال هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، حاوی نانوذرات نقره بر افزایش ماندگاری میوه‌ی پاپایا را مورد سنجش قرار دادند. پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی در طول ذخیره سازی آن‌ها به مدت ۷ روز، در دماهای ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد ارزیابی شد. وجود نانوپوشش نقره از کاهش وزن پاپایا در طول دوره‌ی نگهداری جلوگیری نموده و فرآیند رسیدن میوه را به تأخیر انداخت و منتهی به افزایش انبارمانی آن‌ها شد [۳۷]. در مطالعه دیگری، سامی و همکارانش، تأثیر فیلم پوشش دهنده نانوذرات دی اکسید سیلیکون بر پارامترهای کیفی طالبی تازه برش خورده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه، تأثیر به‌کارگیری این پوشش در کاهش بار میکروبی، افزایش کیفیت حسی و بهبود خواص شیمیایی را گزارش نمود [۳۸]. کیکلین و همکاران فیلم و نانوکامپوزیت‌های کیتوزانی حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیم را به روش قالب‌گیری تهیه و به‌منظور به تأخیر انداختن فرآیند رسیدن گوجه فرنگی گیلاسی استفاده کردند. تغییر در پارامترهای کیفی مختلف، در طول دوره‌ی نگهداری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تحت نظارت قرار گرفت. آن‌ها دریافتند که فیلم نانوکامپوزیت، با دارا بودن قابلیت فعالیت تخریب نوری اتیلن، در مواجهه با نور فرابنفش، فرآیند رسیدن و تغییرات کیفی گوجه‌فرنگی را به تأخیر می‌اندازد [۳۹]. ویجل و همکاران تأثیر بسته‌بندی‌های نوین در افزایش ماندگاری و جلوگیری از هدر رفت سبزیجات تازه برش خورده را مورد بررسی قرار دادند. به این منظور فیلم‌هایی از جنس پلی پروپیلن و پلی لاکتیک اسید به همراه نانوذرات اکسید روی را تولید و جهت بسته‌بندی سبزیجات به‌کار گرفتند. نتایج به‌دست آمده نشانگر تأثیرات ضد میکروبی فیلم‌های

صورت پذیرفت. پوشش اعمال شده دارای ظرفیت بازدارندگی در برابر رشد باکتری‌های/شرشیاکلی و *استافیلوکوکوس اورئوس* بود. همچنین، این تیمار سبب حفظ کیفیت، کنترل پوسیدگی و افزایش مدت زمان ماندگاری میوه‌ها شد [۴۱]. موارد دیگری از اثرات کاربرد نانومواد بر نمونه‌های غذایی مختلف در جدول ۲ اشاره شده است.

تولید شده و اثربخشی آن‌ها در افزایش ماندگاری محصولات تازه برش خورده بود [۴۰]. در مطالعه‌ی دیگری همام و همکاران سنتز نانوذرات اکسید روی و تأثیر پوشش دهی آن به همراه آلزینات بر میوه‌های انبه را مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های پوشش داده شده در دمای ۱۳ درجه سانتی گراد نگهداری شدند و سپس ارزیابی‌های کمی و کیفی آن‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد

جدول ۲- کاربرد نانومواد در فرآوری مواد غذایی

منابع	کاربرد نانومواد	نمونه غذایی	نانومواد
[۴۲]	خواص ضد باکتریایی	گوجه فرنگی	فیلم سلولزی حاوی نانوذرات نقره
[۳۷]	بهبود خواص فیزیکی و افزایش ماندگاری	پاپایا	پوشش هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی نانوذرات نقره
[۴۳]	خواص آنتی اکسیدانی و آنتی باکتریایی	انگور سیاه، سیب، انبه و گوجه فرنگی	پوشش کیتوزان حاوی نانوذرات اکسید روی
[۴۴]	حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری پس از برداشت	انبه	پوشش کیتوزان حاوی نانوذرات اکسید تیتانیم
[۴۵]	پیشگیری از آلودگی قارچی و تأخیر در رسیدن	گوجه فرنگی و سیب	نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات نقره
[۴۶]	کاهش میزان قهوه‌ای شدن، سرعت تنفس، فعالیت آنزیمی و کاهش وزن	قارچ	نانوپوشش کیتوزان، زئین و آلفا توکوفرول
[۴۷]	ممانعت از نرمی بافت و کاهش سرعت تنفس	خربزہ	پوشش کیتوزان حاوی نانوذرات نقره
[۴۸]	کاهش کپک، مخمر و کاهش وزن	انار	پوشش کربوکسی متیل سلولز حاوی نانوذرات اکسید روی
[۴۹]	اثرات ضد میکروبی و افزایش ماندگاری	بلوبری	نانوپوشش کیتوزان، سیلیس و نیسین
[۵۰]	افزایش سختی، حفظ محتوای فلاونوئید و کاهش زوال وزن	انبه	نانوپوشش آلزینات
[۵۱]	جلوگیری از پوسیدگی و حفظ کیفیت	ازگیل ژاپنی	نانوذرات دی اکسید سیلیکون
[۵۲]	بهبود کیفیت و بازدهی	گوجه فرنگی	نانوذرات مس و سلنیوم
[۵۳]	خاصیت جاذب اتیلن	گوجه فرنگی	نانوذرات اکسید تیتانیم
[۵۴]	کنترل بیماری و کمک به رشد گیاه	بادمجان	نانوذرات اکسید روی
[۴۶]	کنترل عوامل بیماری‌زا و افزایش زمان ماندگاری	هویج	نانوذرات اکسید روی

تشکیل پوشش‌های نانولمینیت استفاده می‌شود [۵۵]. نانولمینیت‌ها فیلم‌هایی نازک، متشکل از دو یا چند لایه مواد حاوی ارزش غذایی بوده که به صورت لایه به لایه روی یک بستر قرار گرفته‌اند و از نظر فیزیکی یا شیمیایی به یکدیگر پیوند دارند [۵۶]. ضخامت این لایه‌ها از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، به شرایط جذب و خواص مواد متغیر است. با این

۴- نانولمینیت

از دیگر روش‌های مورد بررسی و استفاده در مقیاس نانو، رسوب لایه به لایه^۱ است که به‌منظور

^۱ Layer-by-Layer (LBL)

۱۰ تا ۲۸ روزه، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از تأثیر قابل توجه پوشش‌های اعمال شده بر کیفیت میوه‌های نارنگی ذخیره شده در دمای اتاق و سردخانه بود [۵۸]. سالس مندوز و همکاران نانولمینیت‌هایی از محلول‌های پلی الکترولیت آلزینات و کیتوزان ترکیب شده با عصاره‌ی *Flourensia cernua* جهت افزایش ماندگاری گوجه فرنگی را استفاده کردند. این پوشش در میوه‌ی گوجه فرنگی سبب کاهش نفوذ پذیری آب و اکسیژن در دوره‌ی نگهداری ۱۵ روزه، در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نسبت به میوه‌های بدون پوشش شد. افزون بر آن، مشخص شد که این تیمار، موجب تعدیل کاهش وزن، سفتی و رنگ شده و نیز تبادل گاز و تولید اتیلن را کاهش می‌دهد؛ که به نوبه خود سبب تأخیر در رسیدن میوه و اثرات ضد میکروبی در طول ذخیره سازی شد [۵۹]. در مطالعه‌ی دیگری ادیکاری و همکارانش، از پوشش نانولمینیت حاوی زیست پلیمرهای کیتوزان و پکتین، جهت افزایش انبارمانی توت فرنگی به‌کار بردند. پوشش کیتوزان (۲ درصد وزنی-حجمی) و پکتین (۰/۲۵ درصد وزنی-حجمی) کمترین میزان نفوذپذیری به بخار آب را داشته و سبب افزایش ۳ روزه‌ی مدت ماندگاری میوه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد گشت [۶۰]. چن و همکاران، پوشش‌های لایه به لایه بر پایه کیتوزان و کریوکسی متیل سلولز را در میوه لیمو به‌کار بردند. نتایج نشان دهنده‌ی تأثیر پوشش به‌کار برده شده در حفظ سفتی و محتوای ویتامین C، همین‌طور پیشگیری از کاهش وزن و قهوه‌ای شدن میوه‌های تیمار شده، بود [۶۱].

۵- نانوحسگر

نانوحسگرها ابزاری کارآمد جهت تشخیص کیفیت تغذیه‌ای، عوامل بیماری‌زا، مواد شیمیایی و سموم در سبزیجات و میوه‌ها بوده که در طول زنجیره‌ی فرایند غذایی، شامل فرآوری، بسته‌بندی و حمل و نقل به‌کار برده می‌شوند. نانوحسگرها بر شرایط داخلی و محیطی فرآورده‌های غذایی نظارت نموده و در تشخیص تغییرات دما، رطوبت، گازها، آلرژن‌ها و کمبودهای تغذیه‌ای مؤثراند [۶۲]. به‌طور معمول، نانوحسگرها از بخش الکترونیکی (دستگاه‌های پردازش داده) و بخش حسگر (الکتروود یا لایه‌ی فعال نانو ساختار) تشکیل شده‌اند که آن‌ها را قادر می‌سازند تا کمیت‌های فیزیکی و شیمیایی را به

حال، ضخامت نهایی فیلم بر اساس تعداد لایه‌های قرار گرفته تنظیم می‌شود. پوشش‌های چند لایه ترکیبیات کارآمد را به شکل نانوذرات ترکیب می‌کنند؛ این‌ها واکنش‌پذیری شیمیایی بیشتری داشته و زیست فعال‌تر^۱ از ذرات بزرگ‌تر هستند، زیرا اندازه‌ی آن‌ها امکان دسترسی بهتر به هر ساختاری را فراهم نموده است. علاوه بر آن، وجود نانوذرات در لمینیت‌ها، هدف دوگانه دارند؛ بدین مفهوم که علاوه بر نقش آفرینی به‌عنوان حامل مواد افزودنی، سبب بهبود خواص مکانیکی و ممانعتی می‌شوند [۵۵]. خواص عملکردی این فیلم‌های چند لایه، به ویژگی‌های مواد مورد استفاده در تهیه آن‌ها بستگی دارد. از مواد مختلفی مانند پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها می‌توان جهت ایجاد این لایه‌ها استفاده نمود. این مواد می‌توانند به طریق پیوندهای کووالانسی، هیدروژنی، الکترواستاتیکی و جفت شدن بازهای مکمل، با یکدیگر بر هم کنش ایجاد نمایند [۵۵]. نانولمینیت‌های پروتئینی و پلی ساکاریدی ممانعت خوبی در برابر اکسیژن و دی-اکسید کربن داشته اما عملکرد مناسبی در برابر رطوبت از خود نشان نمی‌دهند. درحالی‌که انواع لیپیدی آن‌ها، در زمینه‌ی محافظت از مواد غذایی در برابر رطوبت عملکرد مطلوبی دارند، مقاومت محدودی در برابر گازها داشته و استحکام مکانیکی ضعیفی از خود نشان می‌دهند [۱۱'۵۷]. پوشش-دهی با نانولمینیت‌ها به روش‌های غوطه‌وری، پاششی و یا برس زنی صورت می‌گیرد [۳۳]. گنجاندن ترکیباتی چون رنگ‌ها، طعم دهنده‌ها، عوامل ضد میکروبی، ضد قهوه‌ای شدن، آنتی اکسیدان‌ها و آنزیم‌ها در این پوشش‌ها، در افزایش ماندگاری محصول مؤثر است [۳۲]. سبزیجات و میوه‌های تازه، با محتوای رطوبتی بالا، از فعالیت زیستی قابل توجهی برخوردارند. نانولمینیت‌ها در این محصولات حائلی در برابر رطوبت، گاز و چربی بوده، از این رو، جهت کاهش تلفات پس از برداشت، کنترل فعالیت زیستی و افزایش ماندگاری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵۵].

در این زمینه جوری و همکاران به‌منظور حفظ ترکیبیات زیست فعال و اسیدهای آلی میوه نارنگی، پوشش‌های خوراکی لایه به لایه مبتنی بر کیتوزان را مورد استفاده قرار دادند. ویژگی‌های کیفی میوه-ی تیمار شده در دماهای ۵ و 20 ± 2 و دوره‌های

^۱ Bioactive

نگهداری و فساد پیاز، با استفاده از محلول کلونییدی نانوذرات نقره، به صورت بصری قابل تشخیص بود. به این ترتیب که در مجاورت پیاز سالم، تغییر رنگ نداشته اما در دوره‌ی ماندگاری ۱۰ روزه، محلول زرد رنگ نانوذرات نقره، ابتدا نارنجی و سپس صورتی شده و در نهایت با افزایش روزافزون فساد بی رنگ شد [۶۷]. لیان و همکاران، با هدف تشخیص سم مالاتیون^۱ در کلم، نانوحسگرهایی بر پایه‌ی نانوذرات طلا و نقاط کوانتومی کربن را مورد استفاده قرار داده و قابلیت بالایی آن‌ها در تشخیص سریع و دقیق سموم را گزارش کردند [۶۸]. جین و همکاران به بررسی حسگرهای اتیلن بر مبنای نانوصفحات متخلخل اکسید روی، پوشش داده شده توسط نانوذرات پالادیوم پرداختند. به دلیل ساختار منحصر به فرد نانوصفحات و خواص کاتالیستی بسیار خوب نانوذرات، حسگرهای تهیه شده حساسیت بالایی در تشخیص اتیلن و سنجش میزان رسیدن میوه‌ها از خود نشان دادند [۶۹]. در مطالعه‌ی دیگری هوین و همکارانش، نانوحسگرهای الکتروشیمیایی بر پایه‌ی کبالتیت روی ($ZnCo_2O_4$) را جهت شناسایی بقایای سم کارباریل^۲ در نمونه‌هایی از میوه‌ها و سبزیجات شامل کاهو، گوجه فرنگی و انگور مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از تسهیل تعیین باقیمانده سم و کارآمدی استراتژی ارائه شده بود [۷۰]. در مطالعه‌ی سینجین و همکاران، آماده سازی و عملکرد فیلم نشانگر هوشمند دما-زمان بر پایه‌ی نانوذرات نقره، پلی دی استیلن و کربوکسی متیل سلولز، جهت سنجش کیفی میوه‌ها و سبزیجات مورد بررسی قرار گرفت. وجود نانوذرات نقره به دلیل رسانایی حرارتی بالا در بهبود عملکرد حسگر تأثیر به‌سزایی داشت و تغییرات دما و زمان منجر به تغییر رنگ نشانگر از آبی مایل به ارغوانی به بنفش و سپس قرمز مایل به ارغوانی شد [۷۱]. در مطالعه دیگری گاندی و همکاران، نانوحسگرهای الکتروشیمیایی مبتنی بر اکسید قلع و نانوذرات طلا را با هدف تشخیص بقایای آفت‌کش کلرپیریفوس^۳ مورد بررسی قرار دادند. وجود نانوذرات طلا، در رسانایی الکتریکی و مقاومت بالایی حسگر تأثیرگذار بود. کاربرد موفقیت آمیز نانوحسگر

سیگنال‌های الکتریکی قابل شناسایی و تجزیه و تحلیل تبدیل کنند [۶۳]. به این ترتیب، با قابلیت تشخیص سریع و غیر مخرب، حساسیت بالا و هزینه‌ی کم، توجه بسیاری را به خود جلب نموده‌اند [۱۱'۶۳]. حساسیت بالای این حسگرها، امکان برهمکنش سریع با آنالیت‌ها را فراهم می‌کند. ادغام انواع مختلف نانومواد همانند نانوذرات (فلزی، غیر فلزی و اکسید فلزی)، نانومیله‌ها، نانوسیم‌ها، نانولوله‌ها و نانوفیبرها در توسعه‌ی نانوحسگرها، سبب افزایش نسبت سطح به حجم، خواص نوری و الکتریکی آن‌ها شده است [۱۱]. عموماً از نانوذرات فلزی مانند نقره، طلا، مس، پلاتین و روی جهت تشکیل حسگرها استفاده می‌شود. از این حسگرها می‌توان به عنوان نشانگر، برچسب یا پوشش، به‌منظور افزودن عملکرد هوشمند به بسته‌ی مواد غذایی، مانند تشخیص تغییرات رنگ، تغییرات pH، ترکیب گاز و ترکیبات آزاد شده‌ی ناشی از فساد غذایی نیز استفاده نمود. مشاهده شده است که نانوحسگرها به گازهای مختلف همانند آمونیاک، هیدروژن، سولفید هیدروژن، دی اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن بسیار حساس هستند [۱۱'۶۴]. مزیت نانوحسگرها نسبت به حسگرهای معمولی، حساسیت و ویژگی‌های بهبود یافته‌ی آن‌هاست که قادر به تشخیص مقادیر بسیار اندک از هر گونه طعم یا بوی نامطلوب، آلاینده‌های شیمیایی، آفت‌کش‌ها، پاتوژن‌ها و سایر مواد شیمیایی مضر در سامانه‌های غذایی هستند؛ بنابراین نقشی حیاتی در صنعت غذا، به ویژه در ارائه‌ی مواد غذایی تازه، سالم و ایمن به مصرف کنندگان را می‌کنند [۶۵].

در رابطه با استفاده از نانوحسگرها در نگهداری سبزیجات و میوه‌ها پژوهش‌های متعددی صورت پذیرفته است. از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه صورت گرفته توسط بیجیانی و همکاران اشاره کرد که به‌منظور نظارت بر رسیدن میوه‌ها، حسگرهای گازی بر پایه‌ی نانوذرات اکسید منگنز را طراحی کردند. از این حسگرها جهت تشخیص اتیلن در غلظت‌های کم استفاده شد. حساسیت بالا، سبب کاربرد آن‌ها جهت نظارت بر فرآیند رسیدن و پیری سبزیجات و میوه‌ها شد [۶۶]. همین‌طور ساکدو و همکاران از نانوحسگرهایی بر پایه‌ی نانوذرات نقره به عنوان ابزار تشخیص فساد پیاز استفاده کردند. ترکیبات گوگردی آزاد شده در حین

^۱ Malathion

^۲ Carbaryl

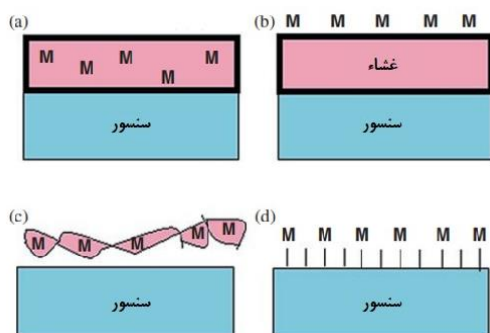
^۳ Chlorpyrifos

پیشنهادی در سیب، کاهو و انار، منتهی به تبیین قابلیت آن به عنوان ابزاری با حساسیت بالا و قدرت تشخیص سریع شد [۷۲].

۶- نانوزیست حسگر

وجود آلاینده‌هایی مانند سموم، آفت‌کش‌ها، پاتوژن‌ها و افزودنی‌های غیر مجاز در فرآورده‌های غذایی، خطرات جدی برای سلامتی ایجاد می‌نمایند؛ بنابراین، معرفی تکنیکی نوین و پیشرفته، مانند فناوری حسگرهای زیستی، جهت تعیین آنالیت‌های مختلف، ضروری به نظر می‌رسید [۷۳]. از دهه‌های اخیر، ترکیب نانومواد با انواع مختلف حسگرهای زیستی، به طور مداوم در حال توسعه بوده است [۷۴]. اضافه شدن پیشوند نانو در حسگرهای معمولی و زیستی پس از ترکیب جزء حسگر با ساختارهای نانو صورت پذیرفته که منجر به افزایش کارایی حسگر می‌شود. نحوه‌ی برهمکنش مواد زیستی با حسگرها در شکل ۳ قابل مشاهده است. این ادغام، انقلابی در زمینه‌ی سنجش مواد غذایی ایجاد کرده و جایگزینی مناسب برای روش‌های مرسوم ارزیابی کیفیت، ارائه نموده است [۷۵]. بیوحسگرها بسیار شبیه به حسگرها هستند و از یک سامانه‌ی تشخیص به نام گیرنده، مبدل و سامانه‌ی بازخوانی تشکیل شده‌اند؛ با این تفاوت که بخش حسگر اساساً یک جزء زیستی مانند آنزیم، آنتی بادی، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و دئوکسی ریبونوکلئیک اسید (DNA) است که به روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی روی مبدل تثبیت می‌شوند [۷۵]. کارایی بیوحسگرها تا حد زیادی به نحوه‌ی تثبیت شدن این لایه‌ی زیستی حساس، روی مبدل بستگی دارد. هدف اصلی، ایجاد رابطه‌ی نزدیک بین عنصر زیستی و سطح حسگر (مبدل)، در عین حفظ و حتی بهبود پایداری جزء زیستی است [۷۶]. حسگرها با چندین ویژگی مهم ارزیابی می‌شوند؛ گزینش‌پذیری از خواص مهم آن‌ها است که نشان دهنده‌ی قابلیت تشخیص آنالیت از سایر مواد موجود در نمونه است. به عبارت دیگر، با افزایش گزینش‌پذیری، توانایی شناسایی و اندازه‌گیری آنالیت از مواد دیگر، با کمترین تداخل در نمونه، بیش‌تر است. ویژگی مهم بعدی، حساسیت است. حساسیت بالا به این معنی است که با حداقل تغییرات در غلظت آنالیت، تغییر قابل توجهی در سیگنال خروجی از حسگر مشاهده می‌شود. تکرارپذیری نتایج اندازه‌گیری، از دیگر ویژگی‌

های مهم بوده که با واژه‌ی دقت تعریف شده است. دقت بالا، نشانگر نزدیک بودن نتایج اندازه‌گیری-های مکرر به یکدیگر است [۷۷]. این حسگرها کاربرد فراوانی داشته و به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد نانومواد، که منجر به تولید نانوحسگرهای زیستی با کارایی و حساسیت بالا، کم هزینه و کاربر پسند جهت کاربردهای آنالیز مواد غذایی می‌شوند، بسیار متنوع هستند. استفاده از آن‌ها در تجزیه و تحلیل مواد غذایی از جمله تشخیص پاتوژن و سم، تشخیص باقیمانده‌ی آفت-کش‌ها، فلزات سنگین، افزودنی‌های غیر قانونی و شناسایی داروها بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۷۳].



شکل ۳- برهمکنش مواد زیستی با حسگرها. (a) به دام انداختن غشاء (b) جذب فیزیکی (c) به دام انداختن ماتریس (d) پیوند کووالانسی

در مطالعه‌ی ویلسن و همکاران از حسگرهایی بر پایه‌ی نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن جهت شناسایی *اشرشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سالمونلا تیفی موریوم* در آب سیب استفاده شد. این نانوحسگرها به عنوان روشی سریع و مقرون به صرفه، جهت تشخیص مسمومیت مرتبط با باکتری-ها در این محصول عمل می‌نمایند [۷۸]. یاسین و همکارانش، از بیوحسگرهایی بر پایه‌ی نانوذرات پوشش داده شده با نقره، به‌منظور شناسایی بقایای آفت‌کش‌ها در میوه‌ی هلو استفاده کردند. در مقایسه با روش‌های شناسایی سنتی، رویکرد فعلی، سریع، ارزان و بدون نیاز به پیش تیمار طولانی بود [۷۹]. در مطالعه‌ی شرایوس و همکاران نیز کاربرد نانوذرات نقره جهت شناسایی آفت‌کش دیازینون در نمونه‌هایی از سبزیجات و میوه‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. مکانیسم مورد استفاده جهت تشخیص،

^۱ Diazinon

حاضر، تمرکز عمده‌ی پژوهشگران بر کاربرد نانومواد مانند نانوذرات، پوشش‌ها و حسگرهای نانو در حفظ محصولات تازه است. از مزایای استفاده از نانوذرات در حیطه‌ی کشاورزی می‌توان به کاهش آلاینده‌های زیست محیطی، تشخیص سریع بیماری‌ها، فرآیند آماده‌سازی ساده، سمیت پایین و مقرون به صرفه بودن آن‌ها اشاره نمود. فناوری نانو، نه تنها در توسعه نانوپوشش و نانولمینیت جهت کاربرد روی سبزیجات و میوه‌ها، بلکه در طراحی حسگرهای زیستی به‌منظور شناسایی تعیین کمیت بیماری‌ها، باقیمانده‌های مواد شیمیایی کشاورزی و اصلاح ترکیب مواد غذایی، گسترش یافته است. بنابراین، انتظار می‌رود که فناوری حفاظتی نانو، جایگزینی مناسب و نوین برای روش‌های مرسوم ذخیره‌سازی و حمل و نقل پس از برداشت سبزیجات و میوه‌ها در آینده باشد. لازم به ذکر است استراتژی‌های یاد شده، هنوز در مرحله‌ی تحقیقات آزمایشگاهی بوده و چالش‌های زیادی در مقابل آن‌ها وجود دارد که ضروری است قبل از کاربردهای صنعتی در مقیاس بزرگ، مرتفع شوند. به‌منظور تحقق این امر، اطمینان از ایمنی فناوری نانو جهت مصارف انسانی و مقرون به صرفه بودن تولید آن‌ها، اجتناب ناپذیر است.

تغییر رنگ بود. نانوذرات نقره با موفقیت جهت تعیین کمی دیازینون در نمونه‌های انتخابی، مانند سیب، انگور، لوبیا و سیب زمینی مورد استفاده قرار گرفت [۸۰]. در مطالعه‌ی زان و همکاران از بیوحسگرهایی بر مبنای نانوذرات طلا جهت تشخیص پاتوژن زنگ دیررس یا بادنزدگی سیب زمینی *Phytophthora infestans*، استفاده شد. نتایج حاصله، حاکی از کارایی این گونه از حسگرها در شناسایی پاتوژن ذکر شده به همراه سه *Phytophthora* و دو قارچ بیماری‌زای دیگر بود و جهت پیش‌بینی اولیه‌ی این بیماری و اتخاذ اقدامات پیشگیرانه به‌کار گرفته شد [۸۱]. مفتون آزاد و رامسوامی، تهیه نانوالیاف الکتروریسی شده بر پایه‌ی پلی وینیل الکل و آنتوسیانین عصاره کلم قرمز به عنوان حسگر زیستی pH و کاربرد آن جهت ارزیابی کیفی میوه‌ی تازه‌ی خرما (رطب) را مورد بررسی قرار دادند. ارزیابی‌های صورت گرفته بیانگر همبستگی پاسخ‌های حسگر، با تغییرات pH در خرما‌ی بسته‌بندی شده بود. بنابراین امکان به‌کارگیری حسگرهای تهیه شده جهت نظارت کیفی محصول را فراهم آورد [۸۲]. در مطالعه‌ی فو و همکارانش، کاربرد بیوحسگرهایی متشکل از اکسید گرافن و نانوذرات مس، برای تشخیص وجود آفت‌کش در سبزیجات مورد بررسی قرار گرفت. افزودن نانوذرات مس، رسانایی بیوحسگر الکتروشیمیایی را افزایش داد و سبب بهبود عملکرد آن شد. حسگر تهیه شده به دلیل فرآیند آماده‌سازی ساده، پایداری خوب، حساسیت و گزینش پذیری بالا با موفقیت برای تجزیه و تحلیل بقایای سموم در سبزیجات استفاده شد [۸۳]. برخی دیگر از کاربردهای نانوحسگرهای معمولی و زیستی در جدول ۳ ارائه شده است.

۷- نتیجه گیری

کاربرد استراتژی‌های حفاظتی مرتبط با فناوری نانو، در تضمین کیفیت میوه‌ها و سبزیجات در زمان ذخیره‌سازی و نیز افزایش ماندگاری آن‌ها به اثبات رسیده است. علاوه بر این، فناوری نانو این قابلیت را دارد که تحولی اساسی در جنبه‌های مختلف سامانه‌ی غذایی در مراحل کشت تا تولید، فرآوری، بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارمانی و نیز زیست‌دسترسی مواد مغذی ایجاد کند. در حال

جدول ۳- کاربرد تشخیصی نانومواد

منابع	کاربرد	نمونه	نوع نانوحسگر
[۸۴]	تعیین سریع باقیمانده‌ی آفتکش	سیب و کلم	بیوحسگر حاوی نانوذرات نقره
[۸۵]	تعیین آفتکش کارباریل	اسفناج و کلم	بیوحسگر حاوی نانوذرات اکسید گرافن
[۸۶]	شناسایی آفتکش‌های کلرپیریفوس و متامیدوفوس ^۱	سبزیجات تازه	نانوبیوحسگر بر پایه‌ی کربن
[۷۹]	شناسایی بقایای آفتکش‌ها مانند کاربامات ^۲ ارگانوفسفات ^۳ و اکسامیل ^۴	هلو	حسگر حاوی نانوذرات طلا با پوشش نقره
[۸۷]	افزایش حساسیت تشخیص عوامل بیماری‌زا	سیب زمینی	حسگر حاوی نانوذرات طلا
[۸۸]	سنجش وضعیت کیفی میوه‌ها	سیب و پرتقال	حسگر الکتروشیمیایی بر پایه‌ی اکسید نیتریک، نانوذرات طلا و نانو ورقه-های اکسید تنگستن

- Frontiers. 2023;4[1]:100–130.
<https://doi.org/10.1002/fft2.201>
- [6] Sagar NA, Pareek S. Safe storage and preservation techniques in commercialized agriculture. *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control*. 2019;221–234. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819304-4.00019-1>
- [7] Sagar NA, Kumar N, Choudhary R, Bajpai VK, Cao H, Shukla S, Pareek S. Prospecting the role of nanotechnology in extending the shelf-life of fresh produce and in developing advanced packaging. *Food Packag Shelf Life*. 2022;34:100955. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100955>
- [8] Sridhar A, Ponnuchamy M, Senthil P. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review. *Environ Chem Lett*. 2020; 19:1715-35. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01126-2>
- [9] Nile SH, Baskar V, Selvaraj D, Nile A. Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. *Nano-Micro Letters*. 2020;12:1–34. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-0383-9>
- [10] Manik BS, Kadam S. Applications of Nanotechnology in Fruits and Vegetables. *Food Agri Spectrum*. 1959;1–6.
- [11] Mohammad ZH, Ahmad F, Ibrahim SA, Zaidi S. Application of nanotechnology in different aspects of the food industry. *Discover Food*. 2022; 2[1]:12 <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00013-9>
- [12] Iderawumi AM, Yusuf MA. Effects of Nanoparticles on Improvement in Quality and Shelf Life of Fruits and
- [1] Azlan A, Sultana S, Huei CS, Razman MR. Antioxidant, Anti-Obesity, Nutritional and Other Beneficial Effects of Different Chili Pepper: A Review. *Molecules*. 2022; 27[3]:898. <https://doi.org/10.3390/molecules27030898>
- [2] Basumatary IB, Mukherjee A, Katiyar V, Kumar S. Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: recent advances in shelf-life improvement of fruits and vegetables. *Critical Review in Food Science and Nutrition*. 2022;62[7]:1912-35. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848789>
- [3] Jafarzadeh S, Mohammadi Nafchi A, Salehabadi A, Oladzad-abbasabadi N, Jafari SM. Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2021;291:102405. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102405>
- [4] Kumar S, Mukherjee A, Dutta J. Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;97:196–209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>
- [5] Shan Y, Li T, Qu H, Duan X, Farag MA, Xiao J, Gao H, Jiang Y. Nanopreservation: An emerging postharvest technology for quality maintenance and shelf life extension of fresh fruit and vegetable. *Food*



- Chemometric Analysis. International Journal of Analytical Chemistry. 2017;3: 1–9.
- <https://doi.org/10.1155/2017/3084359>
- [19] Bonilla J, Atarés L, Vargas M, Chiralt A. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. J Food Eng. 2012;110[2]:208–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.034>
- [20] Alves C, Ingle AP, Rai M. The emerging role of metallic nanoparticles in food. 2020;104:2373–83. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10372-x>
- [21] Hoque M, Biswas R, Alam M, Hasan MM, Haque MI. Application of nanotechnology in food: A comprehensive review on processing, preservation, packaging, and safety assessment. SSRN Electron J. 2021;1–65. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11795>
- [22] Taha IM, Zaghlool A, Nasr A, Nagib A, El Azab IH, Mersal GA, Ibrahim MM, Fahmy A. Impact of Starch Coating Embedded with Silver Nanoparticles on Strawberry Storage Time. Polymers. 2022;14[7]:1439. <https://doi.org/10.3390/polym14071439>
- [23] Elatafi E, Fang J. Effect of Silver Nitrate [AgNO₃] and Nano-Silver [Ag-NPs] on Physiological Characteristics of Grapes and Quality during Storage Period. Horticulturae. 2022;8[5]:419. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050419>
- [24] Hedayati S, Niakousari M. Effect of Vegetables. Med Docs. 2021;4:2-7.
- [13] Fadavi A, Youse S, Darvishi H, Mirsaeedghazi H. Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality of tomato concentrate. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2018; 47:225-30. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.004>
- [14] Tian S, Shao S, Liu B. Investigation on transient energy consumption of cold storages: Modeling and a case study. Energy. 2019;180:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.217>
- [15] Wang C, Xue Y, Yousaf L, Hu J, Shen Q. Effects of high hydrostatic pressure on swelling behavior of rice starch. J Cereal Sci. 2020; 93:102967. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102967>
- [16] Liu W, Zhang M, Bhandari B. Nanotechnology – A shelf life extension strategy for fruits and vegetables. Crit Rev Food Sci Nutr. 2019; 60[10]:1706-21. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1589415>
- [17] Belay ZA, Caleb OJ, Linus U. Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging [MAP] systems for fresh produce: A review. Food Packag Shelf Life. 2016;10:1–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.08.001>
- [18] Mazdeh FZ, Sasanfar S, Chalipour A, Pirhadi E, Yahyapour G, Mohammadi A, et al. Simultaneous Determination of Preservatives in Dairy Products by HPLC and

- Somvir T, Parveen S, Chauhan CPK. 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*. 2022;30[8]:3293-306.
<https://doi.org/10.1007/s10924-022-02411-7>
- [31] Yilmaz O, Yorgancioglu A. Nanocoatings: Preparation, Properties, and Biomedical Applications. *InPolymeric Nanomaterials in Nanotherapeutics*. 2019:299–332.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-813932-5.0008-X>
- [32] Fathima A, Chiome TJ, Catherine AA, Egbuna C, Achar RR, Srinivasan A. Smart Use of Nanomaterials as Sensors for Detection and Monitoring of Food Spoilage. *Application of Nanotechnology in Food Science, Processing and Packaging*. 2022:169–188.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-98820-3_11
- [33] Singha K, Regubalan B, Pandit P, Maity S, Ahmed S. Introduction to Nanotechnology-Enhanced Food Packaging Industry. *Nanotechnology-Enhanced Food Packaging*. 2022;31:1–17.
<https://doi.org/10.1002/9783527827718.ch1>
- [34] Alghuthaymi M, Abd-elsalam KA, Paraliker P, Rai M. Mono and hybrid nanomaterials: Novel strategies to manage postharvest diseases. *Multifunctional Hybrid Nanomaterials for Sustainable Agri-food and Ecosystems*. 2020:287–317
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-821354-4.00>
- Coatings of Silver Nanoparticles and Gum Arabic on Physicochemical and Microbial Properties of Green Bell Pepper [*Capsicum annuum*]. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2015;39[6]:2001-7.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12440>
- [25] Chaudhary P, Fatima F, Kumar A. Relevance of Nanomaterials in Food Packaging and its Advanced Future Prospects. *Journal of inorganic and organometallic polymers and materials*. 2020;30:5180-92.
<https://doi.org/10.1007/s10904-020-01674-8>
- [26] Saravanan A, Kumar PS, Karishma S, Vo DN, Jeevanantham S, Yaashikaa PR, et al. Chemosphere A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications. *Chemosphere*. 2021;264:128580.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128580>
- [27] L ER, Ortega-ort H, Id GC. Foliar Application of Copper Nanoparticles Increases the Fruit Quality and the Content of Bioactive Compounds in Tomatoes. *applied sciences*. 2018; 8[7]:1020
<https://doi.org/10.3390/app8071020>
- [28] Chowdhury S, Lynn Y, Mang K, Syaliani N, Zaidi R, Mah SK. Poly [vinyl] alcohol crosslinked composite packaging film containing gold nanoparticles on shelf life extension of banana. *Food Packag Shelf Life*. 2020;24:100463.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100463>
- [29] Sharifan H, B AN, C MB, A JMM. Postharvest spraying of zinc oxide nanoparticles enhances shelf life qualities and zinc concentration of tomato fruits. 2020.
<https://doi.org/10.1071/CP21191>
- [30] Dulta K, Koşarsoy G, Arti A,

- JVA, Ortega-Fernández F. Sustainability analysis of active packaging for the fresh cut vegetable industry by means of attributional & consequential life cycle assessment. Sustainability. 2020;12[17].
- <https://doi.org/10.3390/su12177207>
- [41] Hmam I, Ali MA-S, Abdellatif A. Alginate-Based Zinc Oxide Nanoparticles Coating Extends Storage Life and Maintains Quality Parameters of Mango Fruits “cv. Kiett”. Coatings. 2023; 13[2]:362.
- <https://doi.org/10.3390/coatings13020362>
- [42] Gu R, Yun H, Chen L, Wang Q, Huang X. Regenerated Cellulose Films with Amino-Terminated Hyperbranched Polyamic Anchored Nanosilver for Active Food Packaging. ACS Applied Bio Materials. 2019; 3[1]:602-10.
- <https://doi.org/10.1021/acsabm.9b00992>
- [43] Yadav S, Mehrotra GK, Dutta PK. Chitosan based ZnO nanoparticles loaded gallic-acid films for active food packaging. Food Chemistry. 2021;334:127605.
- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127605>
- [44] Chi H, Song S, Luo M, Zhang C, Li W, Li L, Qin Y. Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO₂ nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes. Scientia Horticulturae. 2019;249:192-8.
- <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.059>
- [45] Nisha V, Monisha C, Ragunathan R, John J. Use of Chitosan as Edible Coating on Fruits and in Micro biological Activity-An Ecofriendly 013-3
- [35] Maringgal B, Hashim N, Sya I, Amin M, Tengku M, Mohamed M. Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. Trends in Food Science & Technology 2020;96:253-67.
- <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024>
- [36] Lakshmi SJ, Rs RB, Sharanagouda H. Effect of biosynthesized zinc oxide nanoparticles coating on quality parameters of fig [Ficus carica L .] fruit. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2018;7[3]:10-4.
- [37] Vieira ACF, de Matos Fonseca J, Menezes NMC, Monteiro AR, Valencia GA. Active coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and silver nanoparticles to extend the papaya [Carica papaya L.] shelf life. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;164:489-98.
- <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.130>
- [38] Sami R, Almatrafi M, Elhakem A, Alharbi M, Benajiba N, Helal M. Effect of Nano Silicon Dioxide Coating Films on the Quality Characteristics of Fresh-Cut Cantaloupe. Membranes. 2021; 11[2]:140.
- <https://doi.org/10.3390/membranes11020140>
- [39] Kaewklin P, Siripatrawan U, Suwanagul A, Lee YS. Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. International Journal of Biological Macromolecules. 2018;112:523-9.
- <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.124>
- [40] Vigil M, Pedrosa-Laza M, Cabal

- of mango fruit. *Journal of food biochemistry*. 2019;43[11]:1–10.
<https://doi.org/10.1111/jfbc.12990>
- [51] Wang L, Shao S, Madebo MP, Hou Y, Zheng Y, Jin P. Effect of nano-SiO₂ packing on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit under ambient temperature storage. *Food Chemistry*. 2020;315:126295.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126295>
- [52] Hernández-Hernández H, Quiterio-Gutiérrez T, Cadenas-Pliego G, Ortega-Ortiz H, Hernández-Fuentes AD, Cabrera de la Fuente M, Valdés-Reyna J, Juárez-Maldonado A. Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants*. 2019;8[10]:355.
<https://doi.org/10.3390/plants8100355>
- [53] Zhiwei Z, Ying L, Da-wen S. Developments of Mathematical Models for Simulating Vacuum Cooling Processes for Food Products – A Review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019;59[5]:715-27.
<http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2018.1490696>
- [54] Abdelaziz AM, Salem SS, Khalil AMA, El-Wakil DA, Fouda HM, Hashem AH. Potential of biosynthesized zinc oxide nanoparticles to control Fusarium wilt disease in eggplant [*Solanum melongena*] and promote plant growth. *BioMetals*. 2022;35[3]:601–16. <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00391-8>
- [55] Flores-López ML, Cerqueira MA, de Rodríguez DJ, Vicente AA.. Perspectives on Utilization of Edible Coatings and Nano-laminate Coatings for Extension of Approach. *International Journal of Pharmaceutical Science Invention*. 2016;5[8]:7-14.
- [46] Jicheng Xu, Min Zhang, Bhesh Bhandari RK. ZnO nanoparticles combined radio frequency heating: A novel method to control microorganism and improve product quality of prepared carrots. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017;44:46-53.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.025>
- [47] Ortiz-duarte G, Pérez-cabrera LE, Artés-hernández F, Martínez-hernández GB. Postharvest Biology and Technology Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon. *Postharvest Biology and Technology*. 2019;147:174–84.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.021>
- [48] Saba MK, Amini R, Science H, Box PO. Nano-ZnO/carboxymethyl cellulose-based active coating impact on ready-to-use pomegranate during cold storage. *Food Chemistry*. 2017; 232:721-6.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.076>
- [49] Sami R, Soltane S, Helal M. Microscopic Image Segmentation and Morphological Characterization of Novel Chitosan / Silica Nanoparticle / Nisin Films Using Antimicrobial Technique for Blueberry Preservation. *Membranes*. 2021;11[5]:303.
<https://doi.org/10.3390/membranes11050303>
- [50] Rastegar S, Hassanzadeh H, Mahsa K. Effectiveness of alginate coating on antioxidant enzymes and biochemical changes during storage

- electrostatic layer-by-layer deposition of chitosan and pectin enhances shelf life of fresh strawberries. *International Journal of Food Science & Technology*. 2023 Feb;58[2]:871-9.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.15704>
- [61] Chen F, Zhang J, Chen C, Kowaleguet MG, Ban Z, Fei L, Xu C. Chitosan-based layer-by-layer assembly: Towards application on quality maintenance of lemon fruits. *Advances in Polymer Technology*. 2020 Feb 18;2020:1-0.
<https://doi.org/10.1155/2020/7320137>
- [62] Bhardwaj S, Lata S, Garg R. Application of nanotechnology for preventing postharvest losses of agriproducts. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2023 Jan 2;98[1]:31-44.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2022.2091488>
- [63] Ojeda GA, Gorman AM, Sgroppo SC. Nanotechnology and the application in the food industry. *Characterization and Application of Nanomaterials*. 2022;5[2]:1-8.
<https://doi.org/10.24294/can.v5i2.1480>
- [64] Jafarizadeh H, Sayyar Z, Anarjan N, Berenjian A. Nano-Sensors in food nanobiotechnology. *Nanobiotechnology in food: concepts, applications and perspectives*. 2019:81-94.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-05846-3_6
- [65] Patel G, Pillai V, Bhatt P, Mohammad S. Application of nanosensors in the food industry. *In Nanosensors for Smart Cities*. 2020:355–368.
[https://doi.org/10.1007/s12393-015-9135-x](http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-Postharvest Storage of Fruits and Vegetables. Food Engineering Reviews. 2016:292-305.
<a href=)
- [56] Thirumalai A, Harini K, Pallavi P, Gowtham P, Girigoswami K, Girigoswami A. Nanotechnology driven improvement of smart food packaging. *Materials Research Innovations*. 2023 Jun 7;27[4]:223-32.
<https://doi.org/10.1080/14328917.2022.2114667>
- [57] Ameta SK, Rai AK, Hiran D. Use of Nanomaterials in Food Science. *Biogenic nano-particles and their use in agro-ecosystems*. 2020:457-88.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-2985-6_24
- [58] Jurić S, Bureš MS, Vlahoviček-Kahlina K, Stracenski KS, Fruk G, Jalšenjak N, Bandić LM. Chitosan-based layer-by-layer edible coatings application for the preservation of mandarin fruit bioactive compounds and organic acids. *Food Chemistry: X*. 2023;17:100575.
<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100575>
- [59] de Jesús Salas-Méndez E, Vicente A, Pinheiro AC, Ballesteros LF, Silva P, Rodríguez-García R, Hernández-Castillo FD, Díaz-Jiménez MD, Flores-López ML, Villarreal-Quintanilla JÁ, Peña-Ramos FM. Application of edible nanolaminate coatings with antimicrobial extract of *Flourensia cernua* to extend the shelf-life of tomato [*Solanum lycopersicum* L.] fruit. *Postharvest biology and technology*. 2019 Apr 1;150:19-27.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.008>
- [60] Adhikari M, Koirala S, Anal AK. Edible multilayer coating using

- into the Effect of Cation Distribution at Tetrahedral Sites in ZnCo₂O₄ Spinel Nanostructures on the Charge Transfer Ability and Electrocatalytic Activity toward Ultrasensitive Detection of Carbaryl Pesticide in Fruit and Vegetable Samples. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2023;127[25]:12262–75.
- <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c02039>
- [71] Saenjaiban A, Singtisan T, Suppakul P, Jantanasakulwong K, Punyodom W, Rachtanapun P. Novel color change film as a time–temperature indicator using polydiacetylene/silver nanoparticles embedded in carboxymethyl cellulose. *Polymers*. 2020;12[10]:2306.
- <https://doi.org/10.3390/polym12102306>
- [72] Talan A, Mishra A, Eremin SA, Narang J, Kumar A, Gandhi S. Ultrasensitive electrochemical immuno-sensing platform based on gold nanoparticles triggering chlorpyrifos detection in fruits and vegetables. *Biosens Bioelectron*. 2018;105:14–21.
- <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.01.013>
- [73] Gila G. Application of nanomaterials-based sensor for food analysis. 2021:213–235.
- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820591-4.00011-6>
- [74] Pandit S, Dasgupta D, Dewan N, Prince A. Nanotechnology based biosensors and its application. *The Pharma Innovation*. 2016;5[6]:18.
- [75] Manoj D, Shanmugasundaram S, Anandharamakrishnan C. Nanosensing and nanobiosensing: 12-819870-4.00020-7
- [66] Bigiani L, Zappa D, Comini E, Maccato C, Gasparotto A, Barreca D. Manganese Oxide Nanoarchitectures as Chemoresistive Gas Sensors to Monitor Fruit Ripening. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2020;20[5]:3025–30.
- <https://doi.org/10.1166/jnn.2020.17479>
- [67] Sachdev D, Kumar V, Maheshwari PH, Pasricha R, Baghel N. Silver based nanomaterial, as a selective colorimetric sensor for visual detection of post harvest spoilage in onion. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2016;228:471-9.
- <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.01.049>
- [68] Liang N, Hu X, Li W, Mwakosya AW, Guo Z, Xu Y, Huang X, Li Z, Zhang X, Zou X, Shi J. Fluorescence and colorimetric dual-mode sensor for visual detection of malathion in cabbage based on carbon quantum dots and gold nanoparticles. *Food Chemistry*. 2021;343:128494.
- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128494>
- [69] Jin Z, Wang D-C, Xie W-J, Ding Y, Li J. Highly Sensitive Ethylene Sensors Based on Ultrafine Pd Nanoparticles-Decorated Porous ZnO Nanosheets and Their Application in Fruit Ripeness Detection. *Processes*. 2023;11[6]:1686.
- <https://doi.org/10.3390/pr11061686>
- [70] Huyen NN, Tung LM, Nguyen TA, Huong Phung TL, Thang PD, Vinh NT, Van Nguyen Q, Oanh Vu TK, Lam VD, Le VK, Dinh NX. *Insights*

- detection of phosphorus pesticide containing π -conjugated pyrimidine nitrogen and sulfur moieties through non-covalent interactions. *Journal of Molecular Liquids*. 2019 Feb 1;275:297-303.
- <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.11.071>
- [81] Zhan F, Wang T, Iradukunda L, Zhan J. A gold nanoparticle-based lateral flow biosensor for sensitive visual detection of the potato late blight pathogen, *Phytophthora infestans*. *Analytica chimica acta*. 2018;1036:153–61.
- <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.06.083>
- [82] Maftoonazad N, Ramaswamy H. Design and testing of an electrospun nanofiber mat as a pH biosensor and monitor the pH associated quality in fresh date fruit [Rutab]. *Polymer Testing*. 2019;75:76–84.
- <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.01.011>
- [83] Fu J, An X, Yao Y, Guo Y, Sun X. Electrochemical aptasensor based on one step co-electrodeposition of aptamer and GO-CuNPs nanocomposite for organophosphorus pesticide detection. *Sensors Actuators, B Chemical*. 2019;287:503–9.
- <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.02.057>
- [84] Chen J, Huang M, Kong L, Lin M. Jellylike flexible nanocellulose SERS substrate for rapid in-situ non-invasive pesticides detection in fruits/vegetables. *Carbohydrate Polymers*. 2018.
- <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.059>
- [85] Li Y, Shi L, Han G, Xiao Y, Zhou W. Electrochemical biosensing of carbaryl based on Concepts, methods, and applications for quality evaluation of liquid foods. *Food Control*. 2021;126:108017.
- <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108017>
- [76] Huang X, Zhu Y, Kianfar E. Nano Biosensors: Properties , applications and electrochemical techniques. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021;12:1649-72.
- <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.048>
- [77] Bin Z, Shawon Z, Hoque E, Roy S. Nanosensors and nanobiosensors: Agricultural and food technology aspects In Nanofabrication for smart nanosensor applications. 2020:135–161
- <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-820702-4.0006-4>
- [78] Wilson D, Materón EM, Ibáñez-Redín G, Faria RC, Correa DS, Oliveira ON. Electrical detection of pathogenic bacteria in food samples using information visualization methods with a sensor based on magnetic nanoparticles functionalized with antimicrobial peptides. *Talanta*. 2019;194:611–8.
- <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.10.089>
- [79] Yaseen T, Pu H, Sun DW. Fabrication of silver-coated gold nanoparticles to simultaneously detect multi-class insecticide residues in peach with SERS technique. *Talanta*. 2019;196:537–45.
- <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.12.030>
- [80] Shrivastava K, Sahu S, Sahu B, Kurrey R, Patle TK, Kant T, Karbhal I, Satnami ML, Deb MK, Ghosh KK. Silver nanoparticles for selective

acetylcholinesterase immobilized onto electrochemically inducing porous graphene oxide network. *Sensors Actuators B Chemical*. 2016 ;238:945-53.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.07.152>

- [86] Hou W, Zhang Q, Dong H, Li F, Zhang Y, Guo Y, Sun X. Acetylcholinesterase biosensor modified with ATO/OMC for detecting organophosphorus pesticides. *New Journal of Chemistry*. 2019;43[2]:946-52.

<https://doi.org/10.1039/C8NJ03429J>

- [87] Panferov VG, Safenkova IV, Byzova NA, Varitsev YA, Zherdev AV, Dzantiev BB. Silver-enhanced lateral flow immunoassay for highly-sensitive detection of potato leafroll virus. *Food and Agricultural Immunology*. 2018 Jan 1;29[1]:445-57.

<https://doi.org/10.1080/09540105.2017.1401044>

- [88] Patra DC, Mondal SP. Gold Nanoparticle-Modified Tungsten Oxide Flakes as Nitric Oxide Sensor Electrodes for Fruit Quality Monitoring. *ACS Applied Nano Materials*. 2023 Feb 13;6[4]:3111-20.

<https://doi.org/10.1021/acsanm.3c00321>

Application of Nanotechnology in Improving Shelf life and Quality of Fruits and Vegetables: A Review

Seyede Mahdie Akbari, Alireza Mehregan Nikoo*

Department of Food Science and Technology, Agriculture Faculty, University of Guilan, Iran.

Abstract

The perishable nature of fruits and vegetables limits their postharvest storage in natural conditions; therefore, postharvest management of these products is necessary in order to reduce losses and ensure their global supply. Nanotechnology is one of the emerging preservation techniques in various industries, including the food industry, which has had extensive innovative applications in various sectors of the food industry, including production, processing, and packaging. In this study, the conventional techniques of postharvest storage and their limitations are discussed, and the use of nanotechnologies such as nanoparticles, nanocoating, nanolaminate, nanosensor and nanobiosensor to increase the quality and shelf life of fruits and vegetables is examined. Nanoparticles, as an active system, have been widely used, the most important of which are antimicrobial properties. Nanocoating and nanolaminates, with their barrier function, maintain the quality and increase the shelf life of food products, and nanosensors and nanobiosensors are used to control quality changes and detect pathogens, toxins, pesticides, and other foreign substances. Therefore, with the development of nanotechnology, we can expect that this