کاربرد نانو حسگرها در بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی و محصولات کشاورزی

مجتبی خالدی‌نیا[۱*]، بهرام قمری[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ایلام، m.khaledinia@ilam.ac.ir
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ایلام

چکیده

علم نانو به عنوان فناوری قرن ۲۱ توانسته است سایر علوم را تحت تاثیر خود قرار دهد و با توسعه‌ی بی‌نظیر خود منجر به ایجاد انقلاب عظیم در بخش‌های مختلف از جمله صنایع غذایی وکشاورزی گردد.حسگرهایی که درابعاد نانومتری ساخته شده‌اند، قادر به تشخیص وجود گاز، بو، آلودگی‌های شیمیایی، عوامل بیماری‌زا و تغییرات شرایط محیطی هستند. این نانو حسگرها توانایی کنترل کیفیت، تضمین تازگی محصولات کشاورزی و بهبود ایمنی مواد غذایی را دارا می‌باشند. هدف از این پژوهش بررسی کاربردهای مختلف نانو حسگرها در زمینه‌ی بسته‌بندی و تأمین ایمنی مواد غذایی و کشاورزی به منظور تشخیص آنالیت‌های مربوط به مواد غذایی مانند گازها، ویروس‌ها، باکتری‌ها و دیگر پاتوژن‌ها می‌باشد. دربخش نخست این مقاله، به معرفی انواع نانو حسگرها (شیمیایی، فیزیکی وبیولوژیکی) و اجزای اصلی تشکیل دهنده یک حسگر در مقیاس نانو پرداخته شده است. در بخش دوم نیز مروری کامل بر کاربردهای نانو حسگرها در زمینه بسته‌بندی و تأمین سلامت مواد غذایی و کشاورزی صورت گرفته است.

واژه های کلیدی: بسته‌بندی هوشمند ، صنایع غذایی ، نانو حسگر.

مقدمه

مصرف غذاهای آلوده یکی از مشکلات رایج در جوامع بشری می‌باشد. حدود ۳۰٪ از افراد در کشورهای صنعتی از بیماری‌های ناشی از مصرف غذاها و محصولات کشاورزی آلوده رنج می‌برند (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). از دیرباز دستیابی به مواد غذایی با کیفیت جزء مهم‌ترین اهداف بشر بوده است و ایمنی لازمه چنین کیفیتی می‌باشد. ایمنی مواد غذایی و محصولات کشاورزی به وجود یا فقدان مقدار قابل قبول آلودگی، سموم طبیعی یا بعضی موادی که ممکن است برای سلامتی انسان مضر باشد،اشاره می

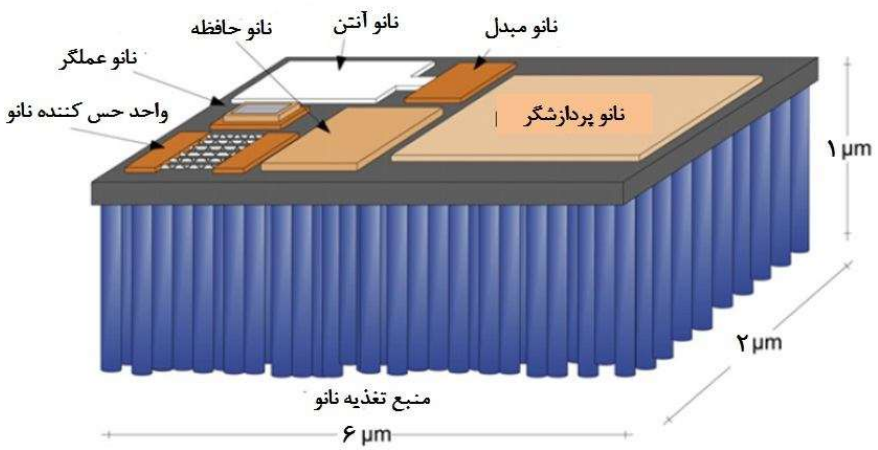
نماید. به منظور حفظ تازگی و ایمن بودن مواد غذایی و کشاورزی، بایستی در کلیه مراحل فرآوری و نگهداری مواد از فساد مواد غذایی و خطرات بهداشتی جلوگیری به عمل آورد، چرا که حتی در طول مدت تولید و نگهداری ماده غذایی بسته بندی شده در خلاء هم امکان تغییرات شیمیایی و فیزیکی آن وجود دارد. این تغییرات می تواند ضمن تأثیر در ایمن بودن ماده غذایی، منجربه تغییر در ذائقه‌پسند بودن غذا از حیث طعم گردند (فلسفی منش و عتیقه چیان، ۱۳۸۹). از آنجایی که مصرف کنندگان نیاز به محصولات غذایی مطلوب، مناسب و تازه دارند، امروزه فناوری‌های نوینی جهت بهبود ایمنی و بسته‌بندی مواد غذایی به کار گرفته می‌شوند. فناوری نانو از جمله‌ی این فناوری‌های نوین است. فناوری نانو شامل ساخت و دستکاری مواد، سیستم‌ها یا اجزایی است که حداقل دارای یکی از ابعاد با طول حدود ۱ – ۱۰۰ نانومتر هستند. تفاوت اصلی این فناوری با فناوری‌های دیگر مربوط به عناصر پایه یعنی نانو مقیاس‌ها است البته تنها کوچک بودن این مواد مد نظر نیست، بلکه زمانی که اندازه‌ی مواد در این مقیاس باشد خصوصیات ذاتی آن‌ها نسبت به مقیاس طبیعی آن مواد تغییر می‌کند و دلیل این تغییرات در مقیاس نانو افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه‌ی ذره به قلمرو اثرات کوانتمی است (رئیسی، ۱۳۸۹). کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی و صنایع غذایی را می‌توان به شش گروه : ۱– فرایندهای غذایی؛ ۲– سلامت غذا؛ ۳– تولید غذا؛ ۴– بسته‌بندی غذا؛ ۵– نگهداری غذا؛ ۶– بهبود طعم و رنگ غذا تقسیم کرد (Kermanshahi, 2008). یکی از پر کاربردترین ابزارهای فناوری نانو در بخش صنایع غذایی و کشاورزی، نانو حسگرها می‌باشند. امروزه صنعت غذایی نیازمند روش‌های سریع و ارزان کنترل کیفیت به صورت بی‌درنگ (On-line) می-باشد، که باعث کاهش ضایعات تولید و صرفه‌جویی در هزینه شود و به روشی غیر مخرب بیانگر اطلاعاتی از تازگی محصول باشد. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای ساخت حسگرها به منظور تشخیص میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا صورت گرفته است. با استفاده از فناوری نانو امکان ساخت نانو حسگرهایی وجود دارد که قابلیت استفاده در چرخه‌های تولید مواد غذایی، فرآوری محصولات کشاورزی و همچنین در بسته‌بندی مواد غذایی به منظور تشخیص میکروارگانیسم‌های مختلف مانند کامپیلوباکتر، اشرشیاکولای، سالمولنا و لیستریا را دارند. نانو حسگرها، حسگرهایی در ابعاد نانومتری هستند که به خاطر کوچکی و نانومتری بودن ابعادشان از دقت و واکنش‌پذیری بسیار بالایی برخوردارند به طوری که حتی نسبت به حضور چند اتم از یک گاز هم عکس‌العمل نشان می‌دهند (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). حساسیت بالا، کوچک بودن، زمان پاسخ‌دهی کوتاه و... (شکل۱) از جمله مزایای استفاده از حسگرهای نانو می‌باشند (Kumar Khanna, 2011).

هدف از این پژوهش بررسی کاربردهای مختلف نانو حسگرها در زمینه‌ی بسته‌بندی و تأمین ایمنی مواد غذایی و محصولات کشاورزی به منظور تشخیص آنالیت‌های مربوط به مواد غذایی و کشاورزی مانند گازها، ویروس‌ها، باکتری‌ها و دیگر پاتوژن‌ها می-باشد. در بخش نخست این مقاله، به معرفی انواع نانو حسگرها (شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی) و اجزای اصلی تشکیل دهنده یک حسگر در مقیاس نانو پرداخته شده است. در بخش دوم نیز مروری کامل بر کاربردهای نانو حسگرها در زمینه بسته‌بندی و تأمین سلامت مواد غذایی صورت گرفته است.

شکل ۱ . مزایای نانو حسگرها.

نانوحسگر

یک نانو حسگر وسیله‌ای هوشمند با ابعادی در حدود ۱۰ – ۱۰۰ میکرومتر مربع می‌باشد، که علاوه بر دریافت (حس کردن) پارامترهای محیطی توانایی پردازش و فرمان‌دهی را نیز دارد. شکل ۲ ساختمان و اجزای سازنده یک نانو حسگر را نشان می‌دهد (Akyildiz and Jornet, 2010).



با وجود شباهت‌های یک نانو حسگر با حسگرهای در مقیاس میکرو و ماکرو، باید به این نکته توجه داشت که، نانو حسگر تنها یک حسگر کوچک و ساده نیست بلکه توانایی‌ها و کاربردهای آن به نسبت زیادی به ابعاد آن بستگی دارد. نانو موادهایی از قبیل نانو ذرات فلز (مس، طلا، نقره و...)، گرافن و مشتقات آن یعنی نانو نوارهای گرافن[1] (GNRs) و نانو لوله‌های کربنی[2] (CNTs) با قابلیت بالا در دریافت (حس کردن) پارامترهای محیطی، اصلی ترین واحد سازنده‌ی بسیاری از حسگرهای نانو می-باشند. براساس نوع کمیت مورد اندازه‌گیری، نانو حسگرها به سه دسته‌ی نانو حسگرهای فیزیکی، نانو حسگرهای شیمیایی و نانو حسگرهای بیولوژیکی تقسیم می‌شوند (Akyildiz and Jornet, 2010).

نانو حسگرهای فیزیکی (Physical Nanosensors) : این نانو حسگرها برای اندازه‌گیری کمیت‌هایی از قبیل جرم، فشار، نیرو یا جابجایی استفاده می‌شوند. اساس کار این نوع حسگرها بر مبنای تغییر در خواص الکتریکی نانو نوارها و نانو لوله‌ها، در اثر خم شدن و تغییر شکل است. برای مثال یک نانو لوله کربنی می‌تواند در ساخت یک ترانزیستور اثر میدانی[3] (FET) در مقیاس نانو استفاده شود، که اساس کار آن بر مبنای تغییر در ابعاد، شکل و دمای نانو لوله کربنی است. تغییر شکل نانو لوله باعث تغییر در خواص الکتریکی آن می‌شود و در نتیجه ولتاژ خروجی ترانزیستور متناسب با این تغییر شکل تغییر می‌یابد. براساس همین اصل ساده انواع مختلفی از سیستم‌های نانو الکترومکانیکی[4] (NEMS) با کاربردهای مختلف به عنوان نانو حسگرهای جرم، نانو حسگرهای جابجایی، نانو حسگرهای نیرو و نانو حسگرهای فشارساخته شده‌اند (Stampfer *et al*,. 2006).

نانو حسگرهای شیمیایی (Chemical Nanosensors):این نانو حسگرها برای اندازه‌گیری کمیت‌هایی از قبیل غلظت یک گاز و شناسایی گونه‌ای خاص از مولکول‌ها یا تشخیص ترکیب مولکولی یک ماده استفاده می‌شوند. هنگامی که انواع مختلف مولکول‌ها بر روی نانو نوارهای گرافن یا نانو لوله‌های کربنی جذب می‌شوند، خواص الکتریکی این نانو مواد تغییر می‌کند. یعنی متناسب با مقدار مولکول جذب شده تعداد الکترون‌هایی که از شبکه کربنی این نانو مواد عبور می‌کنند، کاهش یا افزایش می‌یابند. همانند نانو حسگرهای فیزیکی در یک حسگر شیمیایی نیز وقتی که یک نانو لوله یا نانو نوار در ساختمان ترانزیستور اثر میدانی به کار گرفته می‌شود، متناسب با میزان جذب مولکول‌ها ولتاژ خروجی آن ترانزیستور تغییر می‌کند. براساس همین اصل ساده امروزه انواع نانو حسگرهای شیمیایی با کاربردهای مختلف ساخته می‌شوند (Bondavalli *et al*,. 2009).

نانو حسگرهای بیولوژیکی (Biological Nanosensors):این نانو حسگرها به منظور پایش فرآیندهای بیومولکولی مانند بر هم کنش‌های بین پادتن و پادگن، بر هم کنش‌های DNA، واکنش‌های آنزیمی، فرآیندهای سلولی و غیره استفاده می‌شوند. یک

1- Graphene Nanoribbons
2 - Carbon Nanotubes
3 - Field-effect transistor
4 - Nano-electromechanicalsystem

نانو حسگر بیولوژیکی معمولاً از یک واحد شناساگر بیولوژیکی یا گیرنده زیستی[1] مانند یک پادتن، آنزیم، پروتئین یا DNA و یک مکانیزم مبدل مانند یک آشکارساز الکترومکانیکی، مبدل نوری و آشکارساز ولتائیک یا مغناطیسی ساخته می‌شود. نانو حسگرهای بیولوژیکی براساس اصول عملکردشان به دو گروه نانو حسگرهای بیولوژیکی الکترومکانیکی و نانو حسگرهای بیولوژیکی فوتومتریک تقسیم می‌شوند (Vo-Dinh *et al,*. 2001).

نانو حسگرهای بیولوژیکی الکترومکانیکی عملکردی شبیه به نانو حسگرهای شیمیایی دارند با این تفاوت که در این نوع حسگرها تغییر در خواص الکتریکی نانو نوار یا نانو لوله ناشی از یکی از موارد زیر می‌باشد:

۱- پروتئین یا هر گونه ترکیب شیمیایی که به نانو نوار یا نانو لوله حسگر متصل می‌شود (Liu,. 2008).

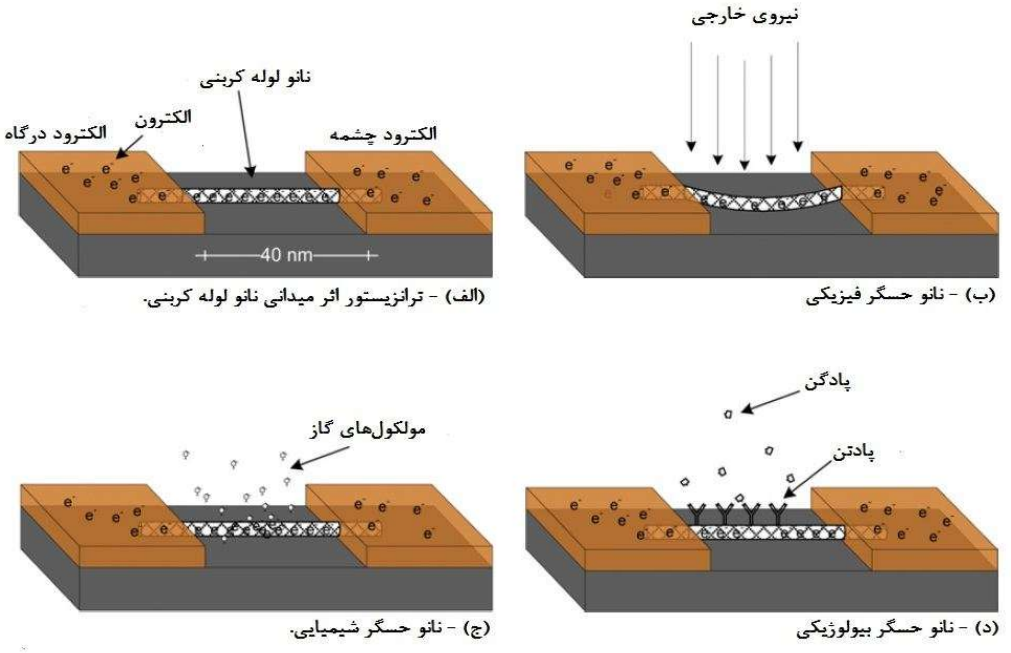
۲- یک نوع پادگن خاص که به پادتن کاشته شده بر روی نانو لوله یا نانو نوار متصل می‌شود (Katz and Willner., 2004).

۳- یک زنجیره استاندارد DNA که به زنجیره DNA متصل بر نانو لوله یا نانو نوار متصل می‌شود (Daniel *et al.,* 2007).

بر اساس موارد ذکر شده نانو حسگرهای بیولوژیکی الکترومکانیکی می‌توانند در صنایع غذایی، کشاورزی و علوم پزشکی استفاده شوند. به عنوان مثال این نانو حسگرها در علوم پزشکی به منظور تشخیص سرطان ریه، تنگی نفس، ویروس های رایج مانند ویروس آنفلوانزا، انگل مالاریا و غیره استفاده می‌شوند. نوع دیگر نانو حسگرهای بیولوژیکی بر اساس استفاده از نانوذرات فلز و تحریک پلاسمون‌های سطحی توسط امواج نوری عمل می‌کنند. به بیان ساده‌تر فرکانس تشدید پلاسمون‌های سطحی که در اثر تابش نور ایجاد شده است، با جذب مواد مختلف بر روی نانو ذرات فلز تغییر می‌کند. این روش به روش تشدید پلاسمون‌های سطحی محلی[2] (LPSR) معروف است. وجود یک منبع نور خارجی و دستگاهی که بتواند فرکانس‌های تشدید ذرات فلز را مقایسه و اندازه‌گیری کند در مکانیزم این نوع نانوحسگرهای بیولوژکی ضروری است. در شکل۳ اساس کار سه نوع اصلی نانو حسگرها رسم شده است. شکل (۳- الف) یک ترانزیستور اثر میدانی نانو لوله کربنی را نشان که در ساختمان بیش‌تر نانو حسگرها به کار گرفته می‌شود. در این ترانزیستور یک نانو لوله کربنی در بین دو الکترود چشمه[3] و درگاه[4] قرار دارد. الکترون‌ها تنها در صورتی از الکترود چشمه به الکترود درگاه شارش می‌کنند، که نانو لوله کربنی تحت تأثیر پارامترهای محیطی تغییر شکل پیدا کند.این تغییر شکل می‌تواند ناشی از یک نیروی خارجی (شکل ۳- ب)، مولکول‌های یک گاز (شکل ۳- ج) یا برهم کنش پادتن- پادگن (شکل ۳- د) باشد (Akyildiz and Jornet, 2010).

1 - Bioreceptor
2 - Localized Surface Plasmon Resonance
3 - Source
4 - Drain

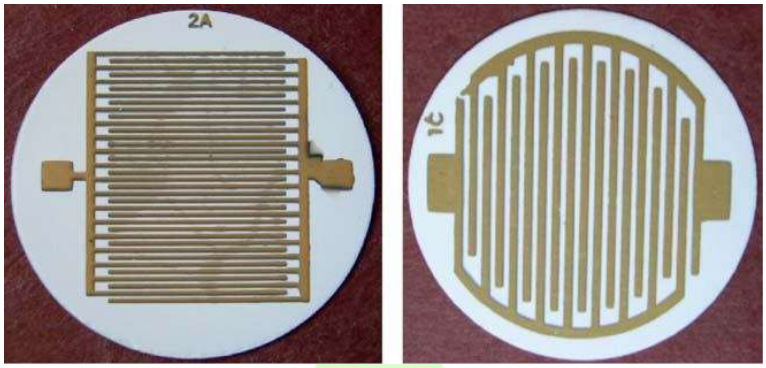
شکل ۳. نانو حسگرهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بر مبنای نانو لوله‌های کربنی



نانو حسگرها در بسته‌بندی مواد غذایی و کشاورزی، برای کنترل شرایط داخلی و خارجی محصولات طراحی شده‌اند.این نانو حسگرها به دو گروه نانو حسگرهای تشخیص دهنده اثرات اتمسفری (شرایط خارجی) و نانو حسگرهای تشخیص دهنده میکروارگانیسم‌ها و مواد شیمیایی در داخل بسته (شرایط داخلی) تقسیم می‌شوند (Iles *et al.*, 2011).

نانو حسگرها در پایش شرایط خارجی: این نانو حسگرها پتانسیل کنترل تمام اثرات اتمسفری (خارجی) بر روی محصول، از مرحله تولید تا مرحله مصرف را دارا می‌باشند. اگر این نانو حسگرها برای اندازه‌گیری دما و رطوبت به یک میوه تازه متصل شوند، می‌توانند اطلاعاتی در مورد رسیدگی و تازگی میوه، شرایط نگهداری و حمل و نقل آن در اختیار ما قرار دهند. این نانو حسگرها بسیار کوچک، انعطاف پذیر و تقریباً نامرئی هستند. شکل ۴ دو نوع نانو حسگر پایش شرایط خارجی محصولات کشاورزی را نشان می‌دهد. این نانو حسگرها به منظور اندازه‌گیری رطوبت استفاده می‌شوند(Ivanov *et al.*, 2007).

شکل۴. تصویری از دو نوع نانو حسگر به منظور پایش رطوبت محصولات کشاورزی ساخته شده بر پایه پلی‌کربناتی بسیار نازک.



نانو حسگرها در پایش شرایط داخلی: این نوع نانو حسگرها در واقع همان نانو حسگرهای شیمیایی و بیولوژیکی هستند. واحد حس‌کننده در این نوع حسگرها مجهز به یک گیرنده شیمیایی یا زیستی است، که با المان هدف واکنش می‌دهد.این واکنش باعث تغییر در پارامترهای خروجی نانو حسگر می‌شود (Göpel., 1996).

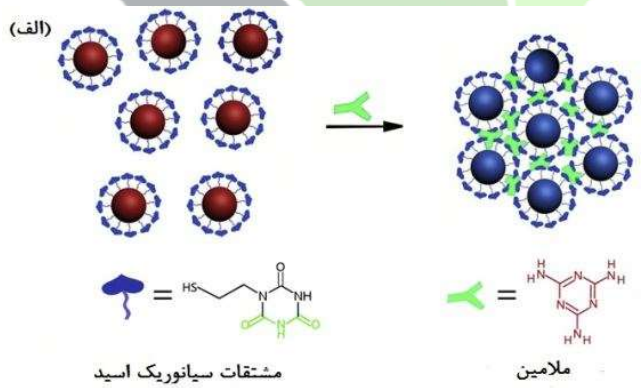
شرکت تولید کننده موادغذایی کرافت[1] فیلم های بسته‌بندی شامل رشته‌ای از نانو حسگرها را تولید می کندکه حسگرهای هوشمندی موسوم به زبان الکترونیکی در آن‌ها تعبیه شده است که می‌توانند میزان بسیار کم پاتوژن را تشخیص داده و تغییر رنگی را در بسته بندی ایجاد نمایند تا مصرف کنندگان را از فساد مواد غذایی داخل بسته آگاه کنند. از نانوحسگرهایی که به رهایش مواد شیمیایی ناشی از فساد غذاها حساس هستند می‌توان در بسته‌بندی هوشمنداستفاده کرد، تا به محض شروع خراب شدن غذا، رنگ بسته‌بندی تغییر کرده به مشتری هشدار داده شود.این سیستم به مراتب دقیق‌تر و مطمئن‌تر از فروش با تاریخ مصرف است. محققان اتحادیه اروپا در پروژه غذای خوب[2] از نانو حسگرهای قابل حمل برای یافتن مواد شیمیایی مضر، پاتوژن‌ها و سم‌ها در مواد غذایی استفاده می‌کنند. با استفاده از این روش دیگر نیازی به ارسال نمونه‌های مواد غذایی به آزمایشگاه برای تشخیص سلامت و کیفیت محصولات نیست. همچنین این پروژه در حال توسعه به کارگیری زیست تراشه‌های DNA برای کشف پاتوژن‌ها است. این روش می‌تواند در تشخیص باکتری‌های مضر و متفاوت در گوشت، ماهی یا قارچ‌های میوه مؤثر باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰).

1 - Kraft
2 - Good Food

کاربرد نانو حسگرها در شناسایی مولکول‌های آلی کوچک

نانوحسگرها دارای پتانسیل لازم برای ایجاد انقلاب در افزایش سرعت و دقت اندازه‌گیری هستند که به کمک آن سازمان‌های نظارتی می‌توانند حضور آلاینده‌های مولکولی را در مواد غذایی تشخیص دهند. اساس کار نانو حسگرها در این حالت بر مبنای تغییر رنگ محلول نانو ذرات فلز در حضور آنالیت‌ها می‌باشد. برای مثال نانو ذرات طلا توسط گروه‌های عامل سیانوریک اسید خود به صورت انتخابی به ملامین متصل می‌شوند(شکل۵). به منظور بررسی این روش در غذاهای حیوان خانگی و نوزاد، یک ماده تقلبی (ملامین) به طور عمدی مورد استفاده قرار گرفت. تجمع ملامین سبب می‌شود تا نانوذرات طلا در یک تغییر رنگ وابسته به غلظت آنالیت از قرمز به آبی برسند. به این تربیت می‌توان با چشم غیر مسلح میزان ملامین را در شیر خام و غذای کودک اندازه‌گیری کرد. شکل ۵- (الف) نحوه شناسایی ملامین در یک محلول را با استفاده از نانو ذرات طلا نشان می‌دهد. نانو ذرات طلا به مشتقات سیانوریک اسید ملحق می‌شوند، که خود با پیوند هیدروژنی به ملامین متصل هستند. با اتصال نانو ذرات طلا به ملامین، نانو ذرات پیوند دهنده به ملامین (آبی) خواص متفاوتی نسبت به نانو ذرات طلای آزاد (قرمز) نشان می‌دهند.

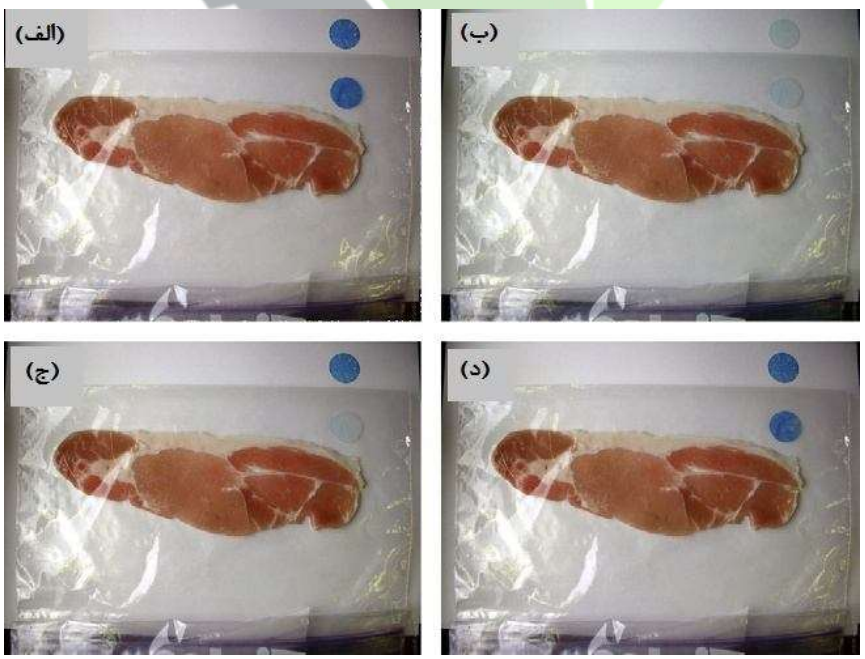
شکل ۵ . (الف) – شناسایی ملامین در محلول با استفاده از نانو ذرات طلا. نانو ذرات طلا به مشتقات سیانوریک اسید ملحق می‌شوند، که خود با پیوند هیدروژنی به ملامین متصل هستند. با اتصال نانو ذرات طلا به ملامین، نانو ذرات پیوند دهنده به ملامین (آبی) خواص متفاوتی نسبت به نانو ذرات طلای آزاد (قرمز) نشان می‌دهند. (ب) – تغییرات رنگی قابل رؤیت حسگر ملامین- نانو ذرات طلا در نمونه-های واقعی شیر به ترتیب شامل : (۱)- محلول نانو ذرات طلا بدون افزودن شیر. (۲)- با افزودن شیر خام شاهد. (۳)، (۴) و (۵)- به ترتیب با افزودن عصاره محتوی ۱، ۲/۵ و ۵ ppm ملامین.



کاربرد نانو حسگرها در تشخیص گازها

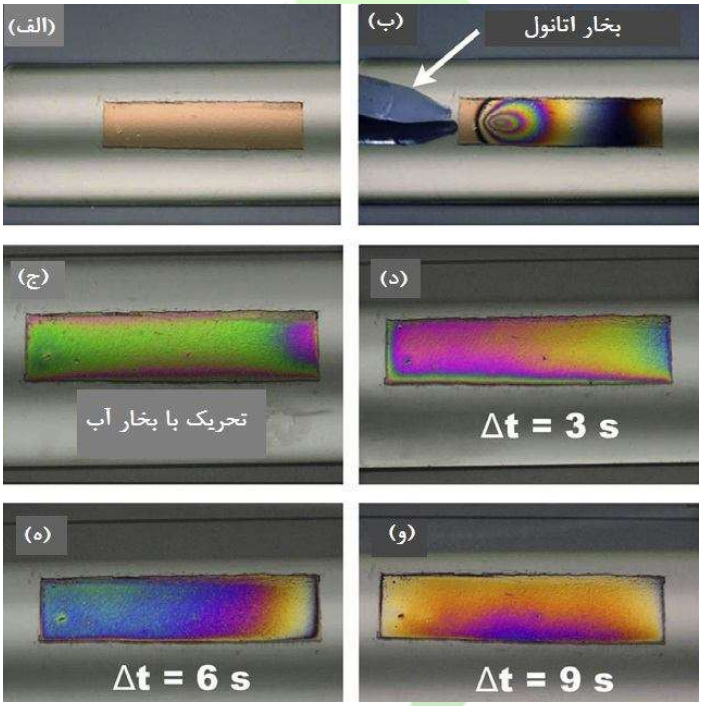
افزایش میزان اکسیژن و رطوبت باعث فساد ماده غذایی می‌شود و این در حالی است که هنوز برای تعیین میزان گاز یا بخار موجود در بسته‌بندی مواد غذایی از روش‌های مخرب استفاده می‌شود. معمولاً در خطوط فرآوری، غذاهای بسته‌بندی شده به صورت تصادفی مورد آزمایش قرار می‌گیرند (یک بسته از ۳۰۰ – ۴۰۰ بسته). این روش پرهزینه و زمان‌گیر است و از طرفی کیفیت و ایمنی بسته‌های دیگر را تضمین نمی‌کند. روش‌های غیر مخرب سنجش گاز مبتنی بر فناوری نانو ابزاری بسیار ارزشمند برای حل این مشکل محسوب می‌شوند. به عنوان مثال میلز و همکارانش یک جوهر آشکارساز فعال‌شونده در نور را برای تشخیص اکسیژن موجود در بسته براساس نانو ذرات اکسید تیتانیوم یا اکسید روی توسعه دادند. این آشکارساز در حضور مقادیر بسیار کم اکسیژن تغییر رنگ می‌دهد. شکل ۶ تصاویری از حسگر اکسیژن که در آن از نانو ذرات اکسید تیتانیوم فعال شده با ماوراء بنفش و آشکار ساز رنگی استفاده شده است، را نشان می‌دهد. یک آشکار ساز داخل بسته‌بندی و دیگری خارج از بسته گذاشته می‌شود. در شکل۶- (الف) بسته به تازگی بسته شده و هر دو آشکارساز آبی هستند. در شکل ۶- (ب) آشکارسازها توسط نور ماوراء بنفش فعال‌سازی شده‌اند. شکل۶- (ج) نشان می‌دهد که پس از مدت زمانی کوتاه آشکارساز خارج از بسته به رنگ آبی بر می‌گردد در حالی که آشکارساز موجود در اتمسفر بدون اکسیژن داخل بسته سفید باقی می‌ماند. در نهایت در شکل ۶- (د) بسته باز می‌شود و هجوم اکسیژن به داخل بسته موجب می‌شود رنگ آشکارساز داخلی نیز آبی گردد. این سیستم می‌تواند برای تشخیص غیرمخرب و آسان وجود نشت در بسته‌بندی‌ها مورد استفاده قرار گیرد (شهبازی زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

شکل ۶. نانو حسگر تشخیص دهنده گاز اکسیژن.



شکل ۷- (الف) یک نانو حسگر رطوبت را نشان می دهد. در این حسگر نانو ذرات مس پوشیده شده با کربن در یک فیلم نواری سورفکتانت پراکنده شده‌اند. در محیط‌های مرطوب افزایش حجم شبکه پلیمری باعث پراکندگی بیش‌تر نانو ذرات می‌شود. این تغییرات سبب می‌شوند که این نانو حسگرهای نواری نور با رنگ‌های مختلف را بازتاب یا جذب کنند. این نانو حسگرها می-توانند در پایش سریع، آسان، دقیق و غیر مخرب رطوبت بسته‌بندی‌ها استفاده شوند. در شکل ۷- (ب) تزریق بخار اتانول سبب ایجاد یک رنگ آمیزی و برگشت پذیر می‌شود. در شکل ۷- (ج) با تزریق بخار آب حجم پلیمر افزایش می‌یابدکه این امر سبب می‌شود نانوذرات با فواصل بیش‌تری از هم دیگر پخش شوند، در نتیجه نورهای رنگی مختلفی ایجاد می‌شوند. در شکل‌های ۷- (د) تا ۷- (و) پس از اتمام پخش شدن رطوبت، حسگر به حالت اولیه خود بر می‌گردد (Luechinger *et al,*. 2007).

شکل ۷ . نانو حسگر تشخیص رطوبت.



نتیجه گیری کلی

امروزه بسیاری ازکشورهای جهان به توانایی‌های فناوری نانو در صنایع مختلف پی برده‌اند و در حال سرمایه گذاری قابل توجهی در این راه هستند.پیوستگی‌هایی که فناوری نانو می‌تواند با سایر علوم داشته باشد، آن را برای به کارگیری بهتر و تأثیرات بیش‌تر آماده کرده است. در این میان صنایع غذایی و کشاورزی نیز درزمینه‌های مختلف از جمله ایمنی و بسته‌بندی مواد غذایی از این علم به نفع بشر استفاده‌های فراوانی را برده است. به همین منظور در این مقاله مروری بر انواع نانو حسگرهاو کاربردهای آن‌ها در زمینه پایش کیفیت و بسته‌بندی مواد غذایی صورت گرفت.به کار گیری نانو مواد در ساختار حسگرها آن‌ها را به ابزاری تبدیل کرده که قادر به شناسایی مقادیر بسیار کم آلودگی شیمیایی، ویروس و پاتوژن در سیستم‌های کشاورزی، غذایی و دارویی می‌باشند. انتظار می‌رود که استفاده از نانو حسگرها و نانو مواد در زمینه افزایش ایمنی و بسته‌بندی صنایع غذایی، باعث کاهش مصرف مواد خام مفید، کاهش خطر آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی، افزایش بازده اقتصادی، کاهش هزینه‌ها و کاهش تولید زباله‌ها گردد.

منابع

۱- رئیسی، م.، ۱۳۸۹. نمونه‌ای از کاربرد نانوتکنولوژی در صنایع غذایی. اولین کنفرانس علوم و فناوری نانو، یزد، دانشگاه پیام نور.

۲- شهبازی زاده، س.، صداقتی، م.ص.، موقتی مقدم، م.، خسروی دارانی، ک.، ۱۳۹۲. بررسی کاربردهای فناوری نانو در پایش کیفیت مواد غذایی: حسگرها. دومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان.

۳- فلسفی منش، م.، عتیقه چیان، ا. ح.، ۱۳۸۹. فناوری نانو ابزاری در خدمت غذا یا تهدیدی برای ایمنی صنایغ غذایی. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، اصفهان.

۴- مهدوی، ا.، شاکریان، ا.، بیگدلیان، ا.، علی اکبرنیا، ع.، حاجیان، س.، علیپور، م.،۱۳۹۰. مقایسه روش PCR و استفاده از نانو حسگرها در تشخیص سریع آلاینده‌های غذایی. اولین سمینار ملی امنیت غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سواد کوه.

5- Akyildiz, I.F., and J.M. Jornet. 2010. Electromagnetic wireless nanosensor networks. Nano Communication Networks, 1:3-19.

6- Bondavalli, P., P. Legagneux, and D. Pribat. 2009. Carbon nanotubes based transistors as gas sensors: state of the art and critical review. Sensors and Actuators B: Chemical, 140: 304 -318.

7- Daniel, S., T.P. Rao, K.S. Rao, S.U. Rani, G. Naidu, H.Y. Lee, and T. Kawai. 2007. A review of DNA functionalized/grafted carbon nanotubes and their characterization. Sensors and Actuators B: Chemical, 122: 672-682.

8- Duncan, T. V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. Journal of Colloid and Interface Science, 363: 1-24.

9- Göpel, W. 1996. Nanosensors and molecular recognition. Microelectronic Engineering, 32:75-110.

10- Heo, J., and S.Z. Hua. 2009. An Overview of Recent Strategies in Pathogen Sensing. Sensors, 9:4483-4502.

11- Katz, E., and I. Willner. 2004. Biomolecule-functionalized carbon nanotubes: applications in nanobioelectronics. Chemical Physics Chemistry, 5: 1084-1104.

12- Kermanshahi, k. 2008. Application of nanotechnology in various industries. Isfahan University Publications, Isfahan.

13- Kumar Khanna, V. 2011.Nanosensors: Physical, Chemical, and Biological. CRC Press, pp.637.

14- Liu, A. 2008. Towards development of chemosensors and biosensors with metal-oxide-based nanowires or nanotubes. Biosensors and Bioelectronics, 24: 167-177.

15- Liu, S., L. Yuan, X. Yue, Z. Zheng, and Z. Tang. 2008. Recent Advances in Nanosensors for Organophosphate Pesticide Detection. Advanced Powder Technology, 19: 419-441.

16- Luechinger, N.A., S. Loher, E.K. Athanassiou, R.N. Grass, and W.J. Stark. 2007. Highly sensitive optical detection of humidity based on liquid condensation on nano-particulate metal films. Langmuir, 23, 3473-2477.

17- Stampfer, C., T. Helbling, D. Obergfell, B. Schoberle, M.K. Tripp, A. Jungen, S. Roth, V.M. Bright, and C. Hierold. 2006. Fabrication of single-walled carbon-nanotube-based pressure sensors. Nano Letters, 6: 233-237.

18- Vamvakaki, V., and N.A. Chaniotakis. 2007. Pesticide detection with a liposome-based nano-biosensor.Biosensors and Bioelectronics, 22: 2848-2853.

19- Vergara, A., E. Llobet, J.L. Ramírez, P. Ivanov, L. Fonseca, S. Zampolli, A. Scorzoni, T. Becker, S. Marco, and J. Wöllenstein. 2007.An RFID reader with onboard sensing capability for monitoring fruit quality. Sensors and Actuators B: Chemical, 127: 143-149.

20- Vo-Dinh, T., B.M. Cullum, and D.L. Stokes. 2001. Nanosensors and biochips: frontiers in biomolecular diagnostics. Sensors and Actuators B: Chemical, 74: 211.

21- Yang, B., B. Aksak, Q. Lin, and M. Sitti. 2006. Compliant and low-cost humidity nanosensors using nanoporous polymer membranes. Sensors and Actuators B: Chemical, 114: 254-262.

Application of Nanosensors in Smart Packaging of Food and Agricultural Products

M. Khaledinia[1]*, B.Ghamari[2]

1- M.Sc. Student, Department of Agricultural Machinery, University of Ilam
m.khaledinia@ilam.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, University of Ilam

Abstract

Nano-science as the technology of the 21st century has influenced other sciences and its unique development has led to a great revolution in different sectors including food and agricultural industries. Sensors with nanometer dimensions can detect any gas, odor, chemical pollution, pathogens and any other changes in environmental conditions. These nanosensors have qualities such as quality control, insurance of crops freshness, and improvement of food safety. The present study aims to investigate various applications of nanosensors in terms of packaging and providing the safety of food and agricultural products in order to detect analysts related to food products such as gases, viruses, bacteria, and other pathogens. In the first part of this paper, a variety of nanosensors (chemical, physical and biological) and the main constituents of a nano-scale sensor are introduced. In the second section, there is a complete overview of the applications of nanosensors in packaging and providing food and agricultural products health.

Key Words: Food, Nanosensor, Smart Packaging.