کاربرد نانوحسگرها در بسته‌بندی و نگه‌داری مواد غذایی

طیبه شاهی [1*]، محمد قربانی [2]،

تاریخ دریافت مقاله: دی ماه ۱۳۹۰
تاریخ پذیرش مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۰

چکیده

فنّاوری نانو با ساخت حسگرها در ابعاد کوچک، بسیاری از شاخص‌ها را با دقّت بیشتری ارزیابی می‌کند. نانوحسگرها کاربردهای بسیاری در سه حوزه مهم نانوبیوتکنولوژی(پزشکی، کشاورزی و صنایع غذایی) دارند. فنّاوری نانوحسگرها به عنوان یک علم نوین، جایگزین قدرتمندی برای روش‌های آنالیز مرسوم، در عرصه علوم کشاورزی می‌باشد. حساسیت و انتخاب‌گری نانوحسگرها، امکان توسعه‌ی ابزارهای مخصوص برای آنالیز آنی مخلوط‌های پیچیده بدون نیاز به آماده‌سازی، با مقدار کم نمونه را می‌دهد. تحقیق و توسعه‌ی این قبیل از نانوحسگرها، بیشتر در زمینه‌ی سلامت، کاربردهای محیطی و صنعت غذاست. بسته‌بندی‌های مجهّز به نانو سنسورها دسته دیگری از کاربرد فنّاوری‌نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد. این بسته‌بندی‌ها می‌توانند دما و رطوبت را در زمان‌های مختلف ارزیابی کنند و برحسب شرایط، پاسخ های متناسبی را به مصرف کننده بدهند. برای مثال: با تغییر رطوبت، رنگ بسته‌بندی تغییر می‌کند. این مواد می‌توانند به مصرف‌کننده هشدار بدهند که غذا یا محصولات کشاورزی فاسد شده است. با توجّه به اهمیت فنّاوری نانو در صنایع غذایی، در این مقاله مروری بر کابردهای نانوحسگرها در زمینه‌ی بسته‌بندی مواد غذایی(تشخیص عوامل بیماری‌زای غذایی و ترکیبات سمی آن‌ها و شناسایی آلودگی‌های شیمیایی در مواد غذایی) صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی

فنّاوری نانو، نانوحسگر و بسته‌بندی.

۱- مقدمه

نانومواد، ماتریس‌هایی هستند که حداقل یکی از ابعادشان ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. این مواد، به دلیل نسبت سطح به حجم بالا، خواص فیزیکی و شیمیایی منحصربه فردی از خود نشان می‌دهند. حساسیت و ویژگی‌های نانوحسگرها باعث انقلابی در زمینه‌های آنالیز شیمیایی و زیستی شده است که امکان آنالیز سریع مواد چندگانه را در شرایط زنده نیز فراهم می‌کند. نانوحسگرها می‌توانند نقش مهمی را به عنوان ابزارآنالیزی دقیق در زمینه صنایع غذایی، برای سنجش سریع و با هزینه‌ی پایین (مانند: تشخیص باکتری‌ها در مواد غذایی بسته‌بندی شده) فراهم کنند. نانوسنسورها از کاربردی‌ترین موارد فنّاوری نانو در صنایع غذایی می‌باشند(۱).

بسته‌بندی یکی از مسائل اساسی در زمینه‌ی ایمنی غذا است. استفاده از دانش نانو می‌تواند سبب بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته‌بندی و در نتیجه اطمینان از امنیت غذایی گردد. بسته‌بندی‌های دارای نانوذرّات می‌توانند هوشمندانه به شرایط محیطی(دما و رطوبت) پاسخ دهند و یا

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(* نویسنده مسئول: T_shahi2009@yahoo.com)
۲- عضو هیئت علمی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مصرف‌کننده را در زمینه‌ی آلودگی‌ها ویا حضور مـواد سـمّی آگاه سازند(۲).

فنّاوری نانو با توسعه نانوحسگرها که با عنـوان برچـسب یا پوشش به بسته‌بندی مواد غذایی اضـافه مـی‌شـوند، باعـث حصول اطمینان مصرف‌کننده از لحاظ یکپارچگی بسته‌بنـدی از طریق تشخیص نشت(برای مواد غـذایی بـسته‌بنـدی شـده تحت خلأ یا هوای بی‌اثر)، شناساگرهای تغییرات دما- زمـان (منجمد شدن- خروج از انجماد- انجماد دوباره) و یا ایمنـی میکروبی(فساد مواد غذایی) می‌شود.

در سـال‌هـای اخیـر تـلاش‌هـای زیـادی بـرای سـاخت حـسگرها بـرای تـشخیص میکروارگانیـسم‌هـای بیمـاری‌زا صورت گرفته است. با استفاده از فنّاوری نانو، امکان سـاخت نانوحسگرهایی وجود دارد که قابلیت استفاده در چرخه‌هـای تولید مواد غذایی و همچنین در بسته‌بندی غذایی بـه منظـور تشخیص میکروارگانیسم‌هـای مختلـف ماننـد کامپیلوبـاکتر[1]، اشرشیا کلی[2]، سالمونلا[3] و لیستریا[4] را دارنـد. ایـن حـسگرها علاوه بر حساسیت بالا زمان تشخیص را نیز کاهش می‌دهند. نانوحسگرها همچنین قادر به تشخیص ویروس قبل از تکثیـر آن می‌باشـد. برخـی از کاربردهـای بـالقوه‌ی نانوحـسگرهای زیستی عبارتند از: تشخیص آلودگی‌هـای بیمـاری‌زا، شـرایط محیطـی(روشـنایی و تـاریکی، سـردی و گرمـی، خـشکی و رطوبت) و ترکیبات حساسیت‌زا می‌باشد(۲).

اهدافی که از ترکیب فنّاوری نانوحسگرهـا بـا فـیلم‌هـای بسته‌بندی دنبال می‌شود عبارتند از : یافتن اکسیژن، ارائه زمان و تاریخ، عمل آنتی‌میکروبیال[5]، نمایش رشد میکروب، یـافتن اتیلن، نمایش شوک‌های فیزیکی، گرمایش و سـرمایش مـاده غذایی، نمایش نشت یا فساد میکروبی، جذب بـو و طعـم یـا افزایش آن‌ها و جذب رطوبت.

محققان تلاش بسیاری برای استفاده از فنّاوری‌های نـوین در بسته‌بندی انجام داده‌اند تا از این طریق بتـوان محـصول را در فروشگاه کنترل کرد و اگر صـدمه‌ای بـه محـصول وارد شد یا محصول فاسد گشت، مسئولین فروشگاه بتواننـد بـه موقع به آن رسیدگی کنند. به همین دلیل نانوحـسگرهـا در بسته‌بندی از آنچه پیش‌بینـی شـده بـود جلـوتر رفتـه و بـا استقبال گسترده‌ای همراه شده است.

آلودگی‌های مواد غذایی می‌تواند، ناشی از آلودگی هوا، آب و خاک، فلزات سمّی، سـموم ضـد قـارچ و همچنـین سموم طبیعـی ماننـد مایکوتوکـسین‌هـا[6] و گلیکوزیـدهای سیانوژنیک[7] باشد. بـا توجّـه بـه ضـرورت تـشخیص ایـن ترکیبات در مواد غذایی، فنّاوری نانو می‌تواند ابزاری دقیـق در این زمینه باشد.

استفاده از نانوحسگرها برای کنتـرل کیفیـت و تـازگی مواد غذایی در هنگام ذخیره‌سازی و فروش دارای مزایـای سلامتی بخش زیادی اسـت. بـا ایـن حـال هنـوز سـمیت نانوذرات به طور کامل شناخته‌شـده نیـست. نـانوذرات در تماس مستقیم بـا مـواد غـذایی نیـستند، بنـابراین آلـودگی مستقیم بعید خواهد بود؛ اما بـا ایـن حـال امکـان آلـودگی بسته به نانوذرّات در اثر صـدمه بـه بـسته وجـود دارد. در سال‌های اخیر توسعه حـسگرهای زیـستی اهمیـت زیـادی پیدا کرده‌است. در طول چند سال گذشته پیشرفت در ایـن زمینه، بررسی چشم انداز برنامه، بحـث در مـورد مـسائل، روش‌ها و چالش‌ها با هدف توسعه گسترده‌تر حـسگرهای زیستی و بهبود کاربردهای آن در زمینه تشخیص بیماری‌ها و بررسی ایمنی موا د غذایی صورت گرفته است(۷).

در سال‌هـای اخیـر، انـواع گونـاگونی از نانوحـسگرها توسعه یافته‌اند که کنترل کیفیت در فرایند تهیـه غـذا را بـا تشخیص عوامل بیماری‌زا در عرض چند دقیقه امکان‌پـذیر می‌کنند. اگر عوامل بیماری‌زا بـه وسـیله‌ی نانوحـسگرهای نزدیک به محل تشخیص داده شوند، در طـی فراینـد تهیـه غذا، می‌توان تصمیم سریعی را بـرای بـه حـداقل رسـاندن مواد آلوده اتخاذ کرد(۱). با استفاده از نانوحسگرهای قابـل حمل، دیگر نیازی به فرستادن نمونه‌های مـواد غـذایی بـه

1- Campylobacter
2- Escherichia coli
3- Salmonella
4- Listeria monocytogenes
5- Antimicrobial
6- Mycotoxin
7- Cyanogenic glycoside

آزمایشگاه برای تشخیص سلامت و کیفیت محصولات در کشتزارها و کشتارگاه‌ها نیست.

۲- طبقه‌بندی نانوحسگرها

نانوحسگرها به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- حسگرهای فیبر نوری(اپتیکی[1])؛

۲- حسگرهای مکانیکی؛

۳- حسگرهای الکترونیکی.

در(شکل ۱) جزئیات بیشتری در مورد طبقه‌بندی نانوحسگرها بیان شده‌است. به طور کلی کاربرد نانوحسگرها در بسته‌بندی مواد غذایی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- تولید حسگرهای خیلی کوچک سیلیکونی[2] برای تشخیص سریع ویروس‌ها، باکتری‌ها و دیگر پاتوژن‌ها[3]؛

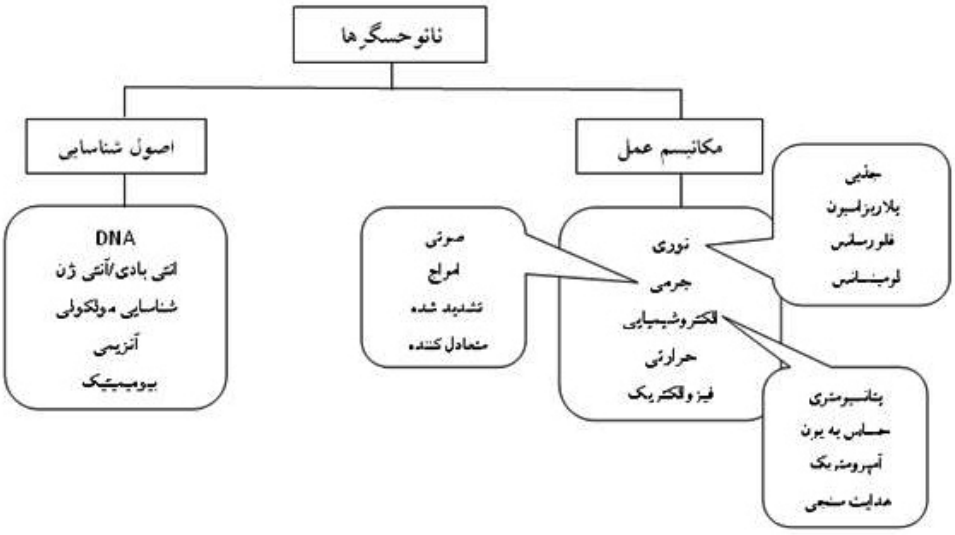
۲- توسعه هدفمند سنتز[4] DNA با استفاده از پروب‌های[5] کدرنگی که به عنوان یک نانو بارکد، تشخیص پاتوژن‌های غذایی را مقدور می‌سازند؛

۳- تشخیص همزمان توکسین‌ها[6]، پاتوژن‌ها و مواد شیمیایی در مواد غذایی به وسیله یک حسگر تشخیص‌دهنده قابل حمل، با استفاده از نانو سیم‌های مختلف، آنتی‌بادی‌های پاتوژنی مخصوص و آنتی‌بادی‌های فلورسنت[7]؛

٤- آنالیز و شناسایی آفت‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها و ژن‌های مختلف در محصولات کشاورزی به وسیله تراشه‌ها یا نانوحسگرها.

۳- تشخیص سالمونلا و اشرشیاکلی با استفاده از نانوحسگرهای آنتی‌بادی[8]-آنتی‌ژن[9]

فیو[10] و همکاران در سال ۲۰۰۸، روش جدید و مؤثری برای شناسایی باکتری‌های موجود در غذا ارائه دادند. آن‌ها از یک ساختار نانو لوله ناهمگن سیلیکون- طلا که بر اساس آنتی‌بادی- آنتی ژن و مولکول‌های رنگی آلی است،



شکل ۱- طبقه‌بندی نانوحسگرها

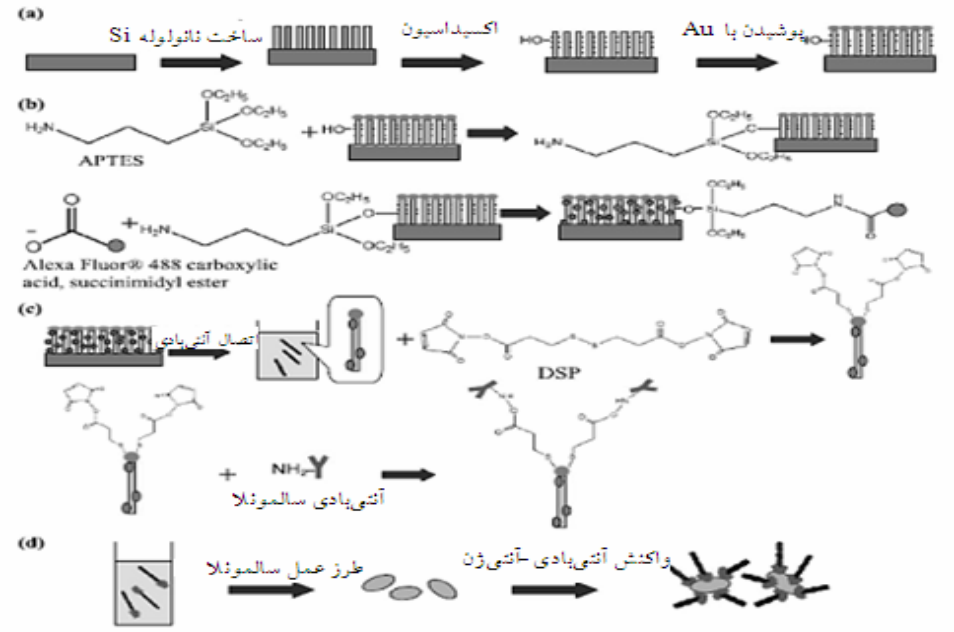
1- Optic
2- Siliceous
3- Pathogen
4- Synthesis
5- Probe

6- Toxin
7- Fluorecsent
8- Antibody
9- Antigen
10- Fu

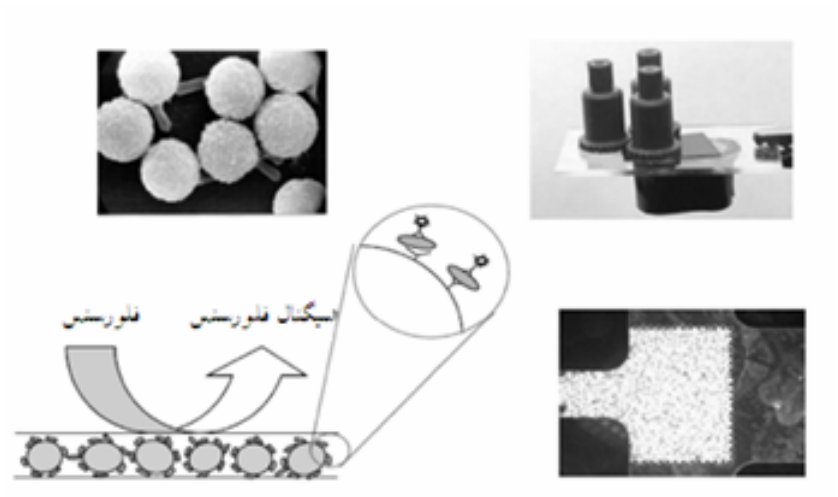
استفاده کردند. همان‌طور که در(شکل ۲) مشاهده می‌شود، برای ساخت این نوع نانوحسگر ابتدا نانو لوله‌های سیلیکون[1] ساخته شده و با نانو ذرّات طلا پوشانده می‌شوند(a).

سپس یک مولکول رنگی آلی بر روی آن تثبیت شده که باعث ایجاد خاصیت فلورسانس[2] کرده و از همین خاصیت در شناسایی سالمونلا استفاده می‌شود(b).

در مرحله بعد آنتی بادی باکتری سالمونلا به این حسگر متصل می‌شود (c). در مرحله پایانی وجود سالمونلا در محیط باعث واکنش آنتی‌ژن- آنتی‌بادی می‌شود(d) که این اتصال باعث تغییرات فلورسانس شده که توسط نانوحسگر قابل اندازه‌گیری است. این نانوحسگر در ایمنی مواد غذایی بسته‌بندی شده و تشخیص باکتری‌ها کاربرد زیادی دارد. از این روش برای شناسایی باکتری اشرشیاکلی نیز استفاده می‌شود (شکل ۳)(۳).



شکل ۲- نحوه عمل نانوحسگر آنتی‌بادی- آنتی‌ژن



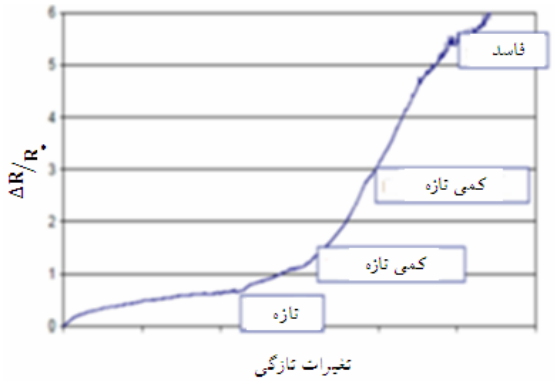
شکل ۳- شناسایی اشرشیاکلی با استفاده از نانوحسگر آنتی‌بادی- آنتی‌ژن

1- Silicon
2- Fluorecsence

٤- تشخیص فساد فراورده‌های ماکیان

در سال ۲۰۰۲ اسمُلندر[1] و همکاران تشخیص فساد محصولات گوشتی با استفاده از تغییرات رنگی میوگلوبین[2] در اثر هیدروژن سولفید[3](H_2S) را با استفاده از نانوحسگرها مورد بررسی قرار دادند که از این روش برای کنترل کیفیت بسته‌بندی فراورده‌های ماکیان استفاده کردند. اساس کار این حسگرها بر اساس واکنش بین هیدروژن سولفید و نانوذرّات نقره است. در ابتدا لایه نازک نقره به رنگ قهوه‌ای مات است که با ترکیب سولفید(سولفید نقره) ایجاد رنگ قهوه‌ای شفاف می‌کند که ایجاد چنین برچسب‌هایی بر روی محصولات گوشتی و تغییرات رنگی حاصل از آن می‌تواند در تشخیص تازگی یا فساد ماده غذایی کمک کند.

در سال ۲۰۰۳ نیز استفاده از این حسگرها همراه با بسته‌بندی مواد غذایی مطرح شد که در این مورد، هدف اندازه‌گیری تغییرات هدایتی در اثر واکنش بین نقره و سولفید هیدروژن است که با استفاده از تغییرات امواج رادیویی، قابل اندازه‌گیری است، در نمودار(شکل ٤) میزان تغییرات امواج رادیویی و ارتباط آن با فساد و تازگی محصول نشان داده شده است (٤).



شکل٤- اندازه‌گیری تغییرات امواج رادیویی با نانوحسگر

1- Smolander
2- Myoglobin
3- Hydrogen Sulfate

٥- شناسایی سالمونلا تیفی‌موریوم[4] بر روی سطح گوجه‌فرنگی با استفاده از بیوحسگر الکتریسیته القایی[5]

بیوحسگر الکتریسیته القایی روشی برای شناسایی پاتوژن‌ها بر روی میوه‌ها و سبزیجات تازه می‌باشد. اخیراً افزایش در مصرف میوه‌های تازه ممکن است باعث بیماری‌های ناشی از مصرف محصولات تازه گردد (هیتن و جونز[6]، ۲۰۰۸). محصولا تازه بالقوه می‌تواند با پاتوژن‌های ناشی از مواد غذایی از جمله، شیگلا[7]، سالمونلا، اشرشیا کلی O157:H7، کمپیلوباکتر،لیستریا مونوسایتوژنز، باسیلوس سرئوس[8] و کلستریدیوم بوتولینوم[9] آلوده شود.

شیوع سالمونلا در طیف وسیعی از میوه‌ها و سبزیجات تازه مانند، کاهو، گوجه‌فرنگی، یونجه، جوانه‌ها، کنگر فرنگی، جعفری، گشنیز، کلم و غیره رخ داده است. ایالت متحده یکی از پنج تولید کننده گوجه می‌باشد (گوا[10] و همکاران، ۲۰۰۱). سالمونلا تیفی‌موریوم در سطح گوجه فرنگی با حداقل مواد غذایی شد می‌کند. غالب‌ترین مکانی که سالونلا بر روی سطح آن رشد می‌کند سطح گوجه‌فرنگی می‌باشد (۸۳٪). همان طور که در(شکل ٥) نشان داده‌شده است، ابتدا بیوحسگر الکتریسیته القایی بر روی فاژها[11] با تشخیص مخصوص سالمونلا تثبیت می‌شود.(لی[12] و همکاران، ۲۰۱۰). صفحه تشدید کننده[13] این بیوحسگر از مواد مغناطیسی[14] سخت ساخته شده

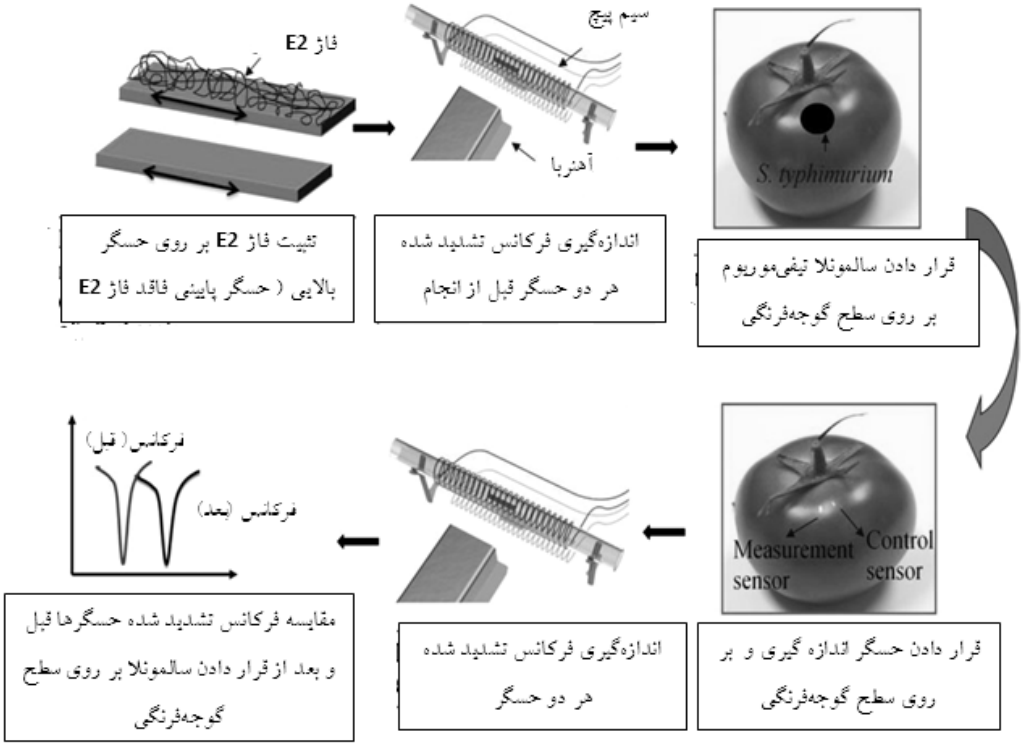
4- Salmonella typhimurium
5- Magnetoelastic Biosensors (ME)
6- Heaton and Jones
7- Shigella
8- Bacillus cereus
9- Clostridium Botulinum
10- Guo
11- Phage
12- Li
13- Resonator platform
14- Magnetic

است. تحت تأثیر اعمال مغناطیسی متناوب، صفحه تشدید کننده بیوحسگر دارای نوسانات برابر می‌شود. فرکانس رزونانس[1] وابسته به خصوصیات، شکل و ابعاد صفحه حسگر و همچنین هر گونه جرم متصل به سطح تشدید کننده دارد(شن[2] و همکاران، ۲۰۰۹، لی و همکاران، ۲۰۱۰). فاژ رشته‌ای[3] E2 یه عنوان عنصر زیست مولکولی برای شناسایی سالمونلا تیفی‌موریوم استفاده می‌شود. با قرار دادن حسگر بر روی سطح گوجه‌فرنگی باعث اتصال تیفی‌موریوم به فاژ E2 خواهد شد، در نتیجه باعث تغییر فرکانس رزونانس می‌شود. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که افزایش تغییر فرکانس رزونانس در ارتباط با افزایش جمعیت سالمونلا تیفی‌موریوم می‌باشد (۸).

ساده بوده و در مقیاس وسیع کاربرد داشته و به طور خاص برای شناسایی سالمونلا تیفی‌موریوم بر روی محصولات تازه مناسب می‌باشد. استفاده از این بیوحسگرها باعث ایمنی مواد غذایی تازه نیز خواهد شد.

٦- کاربرد نانوحسگرهای حساس به یون در گوشت

گسترش نانوحسگرهای هوشمند برای شناسایی پاتوژن‌های گوشت نه تنها باعث گسترش و توسعه صنعت کشاورزی می‌شود، بلکه در مقیاس بزرگ‌تر در فرآوری گوشت نیز اهمیت زیادی دارد. با فنّاوری‌های در حال



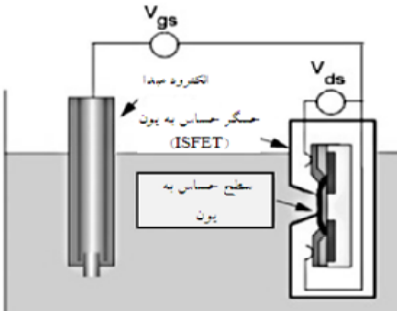
شکل ۵- شناسایی سالمونلا تیفی‌موریوم روی سطح گوجه‌فرنگی با استفاده از بیوحسگر الکتریسیته القایی

در این روش برای شناسایی سالمونلا رشد کرده در سطح گوجه نیازبه آماده‌سازی نمونه ندارد. استفاده از بیوحسگر الکتریکی القایی از نظر هزینه و وقت مناسب بوده و همچنین

حاضر آزمایش آلودگی میکروبی گوشت ۲ تا ۷ روز به طول می‌انجامد و برخی حسگرها آنقدر بزرگ هستند که به راحتی انتقال نمی‌یابند. چندین گروه از پژوهشگران در ایالت متحده آمریکا در حال توسعه حسگرهای زیستی هستند که می‌توانند پاتوژن را به سرعت و به آسانی

1- Resonant frequency
2- Shen
3- Filamentous

تشخیص دهند.بوردی[1] و همکاران در سال ۲۰۰۳ موفق به ساخت حسگرهای سازگار با محیط زیست و با بسته‌بندی سبک شدند(٦). یکی از انواع این نانوحسگرها[2] ISFET می‌باشد. اساس کار این نوع حسگرها، جریان بین دو الکترود نیمه رسانا می‌باشد(شکل٦).



شکل ٦- نانوحسگر حساس به یون

این حسگرها برای اندازه‌گیری pH گوشت کشتار شده به کار می‌رود. اندازه‌گیری pH گوشت یکی از راه‌های مناسب برای کنترل کیفیت گوشت می‌باشد. این نانوحسگرها بر روی گوشت قرار گرفته و عدد pH بر روی یک صفحه دیجیتال[3] ثبت می‌شود.

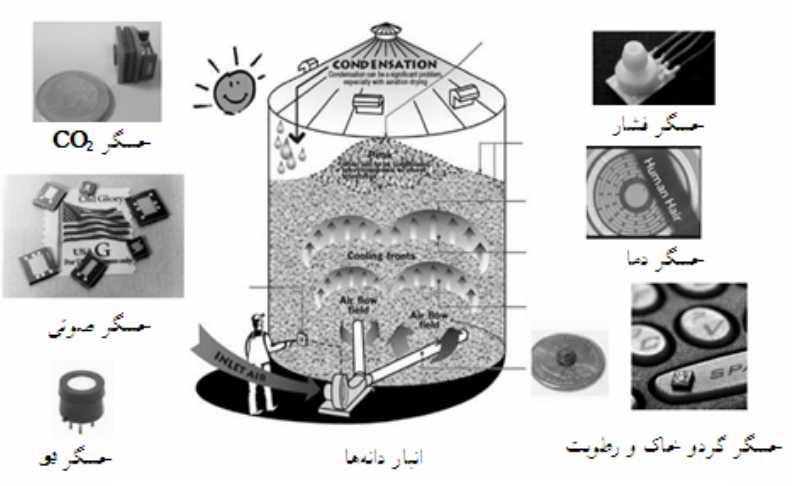
به طور کلی مزایای استفاده از فنّاوری نانو در بسته‌بندی گوشت شامل:

- پایداری حرارتی و ثبات شیمیایی
- مقاومت در برابر حرارت
- مانع گاز، اکسیژن، آب و غیره،
- ثبات ابعادی و انعطاف پذیری.
- حسگرها (دما، رطوبت، نور، پوسیدگی)
- مقاومت مکانیکی بالا
- چگالی نوری خوب

۷- کاربرد نانوحسگرها در نگه‌داری دانه‌ها

دانه‌ها یکی از منابع مهم کشورها می‌باشند. از این رو سالانه ضایعات پس از برداشت دانه‌ها، خسارات مالی زیادی را به کشاورزان و صنایع وارد می‌کند. این خسارت‌های ناشی از فساد غلّات به دلیل وجود حشرات، قارچ‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. در حال حاضر سیستم‌های کنترل کیفت کافی و قابل دسترس برای کشاورزان بخش غلّات وجود ندارد. استفاده از فنّاوری‌های جدید مانند فنّاوری نانو کمک شایانی به تولیدکننده‌ها کرده است. اخیراً دیگویر جیس[4] و همکارانش در دانشگاه مینی توبا[5] در کانادا موفق به طراحی نانوحسگرهای هوشمند برای تشخیص فساد در انبارهای دانه‌ها شده‌اند. این حسگرها که به نام نیترجن[6] نامیده می‌شوند، اطّلاعات خاص در مورد منبع فساد و اندازه‌گیری‌های مربوط به کنترل کیفیت را نشان می‌دهند. به عنوان مثال این نانوحسگر هوشمند اگر علت فساد را، حشرات تشخیص دهد نیاز به ضدعفونی کردن انبار و اگر علت قارچ‌ها باشند نیاز به هوادهی دارند. این حسگر به راحتی و بدون نیاز به رایانه و نرم‌افزار قابل استفاده می‌باشد. این فنّاوری به دلیل حساسیت بالا، مصرف انرژی کم، قیمت کم و کنترل به صورت آن لاین[7] در حال گسترش می‌باشد. شاخص‌های مختلف مانند بو، کربن دی اکسید، رطوبت و دما برای تشخیص فساد در انبارهای دانه‌ها به کار می‌روند. در(شکل ۷) نانوحسگرهای بر پایه‌ی این شاخص‌ها، نشان داده شده است(۵).

1- Bordy
2- Ion-sensitive field effect transistor (ISFET)
3- Digital
4- Digvir jayas
5- Manitoba
6- Neethirajan
7- On line



شکل ۷- انواع نانوحسگرهای مورد استفاده در نگه‌داری دانه‌ها

۸- نتیجه‌گیری

صنعت بسته‌بندی به عنوان یکی از مهم‌ترین و تعیین‌کننده‌ترین عوامل مؤثر در بازارهای جهانی هم اکنون توجّه تمامی فعالیت‌های تولیدی و بازارگانی را جهانی را متوجّه خود کرده‌است. در حال حاضر، نظر به کاربردهای نانوحسگرها در زمینه‌های مختلف علمی این نانو ساختارها توجّه بسیاری از دانشمندان و محققان را به خود معطوف کرده‌است. بیشترین کاربرد فنّاوری نانو در زمینه بسته‌بندی و تشخیص عوامل بیماری‌زای غذایی می‌باشد. نانوحسگرها علاوه بر نگهداری صحیح در جلب مشتری، دادن اطّلاعات مورد نیاز و تسهیل استفاده برای مصرف‌کننده کاربرد دارند و منجر به توجّه‌های فراوانی در بازارهای رقابتی شده است.

با وجود کارایی بالای نانوحسگرها برای اندازه‌گیری و شناسایی ترکیبات مختلف، کاربرد آن‌ها به صورت صنعتی به دلیل استفاده از ترکیبات بیولوژیکی مانند آنتی‌ژن و آنزیم‌ها و در نتیجه عدم پایداری با مشکلاتی مواجه است. درضمن قابل ذکراست که تحقیقات در مورد استفاده از نانوحسگرها در کشورمان کمتر صورت گرفته است که با ایجاد بسترهای مناسبی جهت تحقیق و توسعه در این زمینه می‌توان در جنبه‌های مختلف آن فعالیت نمود.

۹- منابع

۱. دهناد، حاجی زاده. «نانوبیوحسگر و کاربرد آن در علوم کشاورزی». ماهنامه فنّاوری نانو. شماره٤. تیر ۱۳۸۹.

۲. فتحی، محبی. «افزایش امنیت مواد غذایی با استفاده از فنّاوری نانو». ماهنامه فنّاوری نانو. شماره٤. تیر ۱۳۸۹.

3. Kerry, J. Butler, P., “Smart packaging technologies for fast moving consumer Goods”. Illustrated edition, Ireland: John, Wiley and Sons. 2008.

4. Fu, J and et al., “An Au/Si hetero-nanorod-based biosensor for Salmonella detection”. Nanotechnology 19, 2008.

5. Inc & Haywire., “Smart nanosensors improve grain quality monitoring”. Science & innovation, (August 2007).

6. Rajkumar, R. S and et al. “Nanotechnology for safe meat packaging”. processed food industry. 11. 2009.

7. Zhang, Z. Guo, Q. Cui, D., “Recent Advances in Nanotechnology Applied to Biosensors”.Sensors,*9*:1033-1053, 2009.

8. Park, M. K., Li, S. Chin, B. A., **“**Detection of Salmonella typhimurium Grown Directly on Tomato Surface Using Phage-Based Magnetoelastic Biosensors**”.** Food Bioprocess Technol, 2011.

آدرس نویسنده

خراسان جنوبی- فردوس- روستای بغداده- خیابان معلم- معلم ۱.