نانو و صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۲۸ صنایع غذایی

کاربردهای فناوری نانو در مواد غذایی و چشم‌انداز صنعتی آن

سال انتشار: ۱۴۰۰

INDnano.ir
ستاد ویژه توسعه فناوری نانو • www.nano.ir

شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهرویژن

نظارت: داود قرایلو

report@nano.ir

تهیه‌کننده: امید علیزاده

صندوق پستی: ۳۴۴-۱۴۵۶۵

پست الکترونیک: IND@nano.ir

تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰

نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

پایگاه اینترنتی: www.nano.ir

www.INDnano.ir

اینستاگرام نانو و صنعت: @INDnano.ir

فهرست مطالب

- چکیده ۳
- مقدمه‌ای بر فناوری نانو ۳
- اطلاعات کلی بازار کشاورزی و مواد غذایی ۵
- انواع نانوذرات در مواد غذایی ۶
  - نانوذرات معدنی ۶
  - نانوذرات آلی ۶
- مشخصات نانوذرات مورداستفاده در صنایع غذایی ۷
  - ترکیب ۷
  - ابعاد ۸
  - خواص فصل مشترک ۸
  - نحوه تجمع ۹
- محصولات تجاری حاوی نانوذرات ۹
  - Unilever ۹
  - Hershey ۱۰
  - MARS ۱۰
- چالش‌ها و محدودیت‌های فنی ۱۱
- پتانسیل تجاری‌سازی و چشم‌اندازهای آینده ۱۱
- نتیجه‌گیری ۱۳

چکیده

یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنعت تمام کشورها که با امنیت غذایی در ارتباط است؛ صنایع غذایی است. با کمبود منابع غذایی و افزایش جمعیت، توسعه این بخش از صنعت ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از فناوری‌های نوین در این بخش رویکرد جدیدی است که بسیار موردتوجه قرار می‌گیرد. کشور ما یکی از بزرگ‌ترین واردکننده‌های محصولات غذایی است؛ بنابراین در صورت بی‌توجهی به تولید و فراوری غذا، هر روز بر میزان واردات محصولات غذایی افزوده خواهد شد. فناوری‌نانو چندین روش جدید برای بهبود کیفیت، ماندگاری، ایمنی و سلامت مواد غذایی به صنایع غذایی ارائه می‌دهد. با این وجود، نگرانی مصرف‌کنندگان، سازمان‌های نظارتی و صنایع غذایی در مورد اثرات نامطلوب بالقوه احتمالی (سمیت) مرتبط با کاربرد فناوری‌نانو در غذاها وجود دارد. به‌طور خاص، یک نگرانی اصلی در مورد ترکیب مستقیم نانوذرات مهندسی شده در مواد غذایی است، مانند آن‌هایی که به‌عنوان طعم‌دهنده‌ها، مواد نگهدارنده، مواد مغذی یا آن‌هایی که برای اصلاح خواص نوری، رئولوژیکی[1] یا جریان‌پذیری مواد غذایی و یا در بسته‌بندی مواد غذایی مورداستفاده قرار می‌گیرند. این گزارش خلاصه‌ای از کاربرد نانوذرات معدنی (نقره، اکسید آهن، دی‌اکسید تیتانیوم، دی‌اکسید سیلیکون و اکسید روی) و آلی (لیپید[2]، پروتئین و کربوهیدرات) در صنایع غذایی را نشان می‌دهد، مهم‌ترین ویژگی‌های نانوذره را که بر رفتار آن‌ها تأثیر می‌گذارد برجسته می‌کند، در مورد اهمیت ماتریس غذا و اثرات دستگاه گوارش بر خواص نانوذرات بحث می‌کند. در انتها چالش‌های پیشرو برای تجاری‌سازی و همچنین محدودیت‌های استفاده از مواد نانو مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقدمه‌ای بر فناوری‌نانو

فناوری‌نانو انقلابی نوظهور است که در تمامی بخش‌ها از مکانیک تا پزشکی از جمله صنایع غذایی پتانسیل زیادی دارد. فناوری‌نانو در واقع مطالعه دستکاری و کنترل ماده در مقیاس اتمی و مولکولی است که حداقل یک بعد مشخصه در نانومتر دارد و عموماً در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است [۱]. به نظر می‌رسد نانوذرات به‌دلیل افزایش سطح (نسبت به حجم) و نرخ انتقال جرم دارای فعالیت شیمیایی و زیستی، واکنش آنزیمی، نفوذپذیری، رفتار کاتالیزوری و خواص کوانتومی بهتری در مقایسه با ذرات بزرگ دارند. مواد نانو بر اساس اندازه، ساختار و ویژگی‌های خود طبقه‌بندی می‌شوند. چنین مواد نانویی با نسبت سطح به حجم بالا می‌توانند از نظر حلالیت، نفوذپذیری، رنگ، اپتیک، استحکام، مغناطیس و ترمودینامیک دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار خوبی باشند [۲]. امروزه بازار غذا به چنین فناوری‌هایی نیاز دارد تا محصولات غذایی مناسب، معتبر و اشتهاآور تولید کند و بتواند در بخش بازاریابی و فراوری مواد غذایی پیشرو باشد. فناوری‌نانو یکی از مواردی است که در پردازش مواد غذایی کاربرد گسترده‌ای دارد. نانوذرات اغلب به‌عنوان مواد افزودنی غذایی استفاده می‌شوند تا مواد غذایی را از آلودگی محافظت کنند و در نتیجه باعث افزایش طول عمر آن‌ها شوند. مواد نانو و مواد افزودنی غذایی در مقیاس نانو به اشکال مواد نگهدارنده، حسگرهای ضدمیکروبی، طعم‌دهنده، مواد بسته‌بندی و... برای تأثیر بر ترکیب مواد مغذی و بهبود ماندگاری محصول، بافت، عطر، طعم و... استفاده می‌شوند [۳]. فناوری‌نانو همچنین به‌منظور مقابله با بیماری‌های مرتبط با غذا (به‌عنوان مثال دیابت و چاقی)، ایجاد رژیم‌های غذایی خاص برای گروه‌های مختلف هدف، افراد سالخورده و سبک زندگی، مورداستفاده قرار می‌گیرد [۴]. فناوری‌نانو به‌عنوان یک تحول صنعتی هم در کشورهای پیشرفته و هم در کشورهای درحال‌توسعه مطرح است و روی آن سرمایه‌گذاری می‌شود. در این گزارش به

انواع مختلف مواد نانو و کاربردهای آن‌ها در بخش‌های مختلف غذایی پرداخته می‌شود و در نهایت موارد مربوط به سلامت و جنبه‌های نظارتی مرتبط با فناوری نانو و همچنین چشم‌اندازهای آینده آن شرح داده می‌شود.

جدول ۱- نمونه‌هایی از انواع مختلف مواد در مقیاس نانو که ممکن است در غذاها و منشأ آن‌ها وجود داشته باشد [۵]

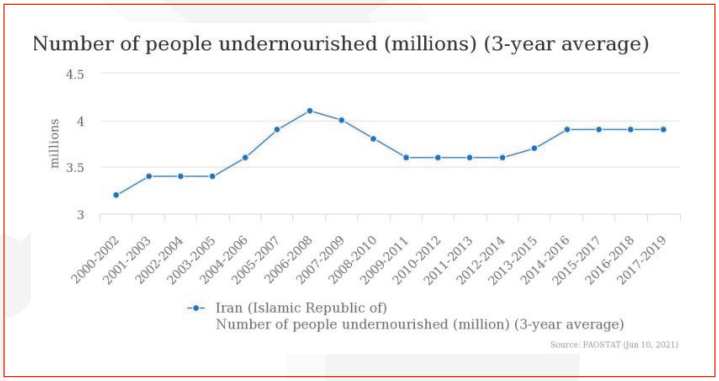
مواد در مقیاس نانو	منشأ	مشخصات	محصول
میسل کازئین[۳] (آلی)	طبیعی	خوشه‌های پروتئینی - معدنی[۴]	شیر - خامه
ارگانل‌های سلولی[۵] (آلی)	طبیعی	لیزوزم[۶]، واکوئل[۷]، ریبوزوم[۸] و...	گوشت قرمز، ماهی، میوه و سبزیجات
چربی‌های بدن[۹] (آلی)	طبیعی	قطرات تری‌گلیسیرید پوشش داده شده با فسفولیپید / پروتئین	گیاهان، دانه‌ها
اکسید آهن (معدنی)	مهندسی شده	نانوذرات FeO برای غنی‌سازی غذاها با آهن استفاده می‌شود.	مکمل‌های غذایی، پوسته سوسیس
اکسید تیتانیوم (معدنی)	مهندسی شده	نانوذرات TiO_2 به‌عنوان عوامل سفیدکننده استفاده می‌شوند	آب‌نبات، آدامس، محصولات نانوایی، پودر شیر
دی‌اکسید سیلیکون (معدنی)	مهندسی شده	نانوذرات SiO_2 که برای کنترل روان بودن پودر استفاده می‌شود	نمک، مایه قند، ادویه‌ها، شیر خشک و مخلوط‌های خشک
نقره (معدنی)	مهندسی شده	نانوذرات Ag به‌عنوان ضدمیکروب در غذاها، پوشش‌ها و بسته‌بندی استفاده می‌شود	گوشت، بسته‌های غذایی، ظروف، پوشش‌ها

فناوری نانو در مواد غذایی به بسیاری از جنبه‌های محصولات مشتریان از جمله بسته‌بندی مواد غذایی، مواد افزودنی و نگهداری مواد غذایی نفوذ کرده است. به رسمیت شناختن این فناوری جدید، پردازش، ذخیره‌سازی و تضمین ایمنی مواد غذایی را بهبود بخشیده است. بسیاری از مواد شیمیایی معمولی که به‌عنوان افزودنی‌های غذایی یا مواد بسته‌بندی اضافه شده‌اند در مقیاس نانو نیز یافت می‌شوند. به‌عنوان مثال در حال حاضر نانوذرات (اکسید تیتانیوم) TiO_2 با درجه مواد غذایی تقریباً ۴۰٪ در محدوده نانومتر یافت شده است. اگرچه مواد نانو مانند TiO_2 به‌طور کلی در شرایط محیطی با سمیت کم شناخته می‌شوند، قرار گرفتن در معرض طولانی‌مدت چنین موادی ممکن است صدمات نامطلوبی ایجاد کند. استفاده از فناوری‌های جدید نانو در مواد غذایی، به‌علت وجود مواد شیمیایی در

مقیاس نانو، توجه عموم مردم را به‌دلیل خطرات احتمالی به خود جلب کرده است. سازمان غذا و داروی ایالات‌متحده (U.S. FDA[۱۰]) و کمیسیون اروپا (EC[۱۱]) منابع اصلی قانون‌گذاری و مقررات مربوط به فناوری نانومواد غذایی هستند [۶].

اطلاعات کلی بازار کشاورزی و مواد غذایی

- بخش کشاورزی وظیفه تأمین نیاز غذایی با اتکا بر تولید ملی و استفاده بهینه و کارآمد از منابع تولید (آب‌وخاک، اقلیم و...) و حفاظت از منابع طبیعی تجدیدشونده و افزایش درآمد کشاورزان را بر عهده دارد. این بخش با برخورداری از حدود ۶٫۶درصد تولید ناخالص داخلی، ۱۷٫۷درصد اشتغال و ۵٫۹درصد صادرات غیرنفتی و تأمین‌کننده حدود ۸۰درصد مواد غذایی و نیز ۹۰ - ۸۰درصد مواد اولیه صنایع موردنیاز کشور، جایگاه مهمی در اقتصاد کلان کشور دارد (گزارش اقتصاد کشاورزی مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب، ۱۳۹۹).
- طبق بانک اطلاعات محصولات فناوری‌نانو[۱۲] در بخش محصولات غذایی ۳۵۷ محصول از ۵۱ نوع مختلف توسط ۱۴۲ شرکت از ۲۶ کشور مختلف به ثبت رسیده است. ۵ بخش اصلی محصولات غذایی نانویی شامل حسگرهای غذایی، غذا، بسته‌بندی، تغذیه‌های ورزشی و مکمل‌هاست.
- برآورد تولید جهانی غلات در سال ۲۰۲۰ به‌شدت افزایش یافته است، درحالی‌که چشم‌انداز اولیه برای تولید غلات در سال ۲۰۲۱ مثبت است.
- طبق اطلاعات سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو[۱۳]) ایران جزو برترین تولیدکنندگان گندم با میانگین ۱۴٫۳میلیون تن به‌صورت میانگین در ۵ سال اخیر است. این سازمان پیش‌بینی کرده است در سال ۲۰۲۱ این میزان حدود ۱۴میلیون تن خواهد بود.
- گزارش معاونت بررسی‌های اقتصادی اتاق بازرگانی تهران در بهار سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که برنج سفید، ذرت دامی، لوبیای سویا، کنجاله و کره بسته‌بندی، ۵ قلم عمده صادراتی کشور بوده‌اند. همچنین بررسی آمار روزانه گمرک نشان می‌دهد که ۵ مبدأ عمده صادراتی ایران در بهار ۱۳۹۸ کشورهای عراق، چین، امارات، افغانستان و ترکیه و ۵ مبدأ عمده وارداتی نیز چین، امارات، ترکیه، هند و آلمان بوده‌اند.
- طبق اطلاعات FAO، در ایران نزدیک به ۴ میلیون نفر در گرسنگی و عدم امنیت غذایی به سر می‌برند.



شکل ۱- تعداد افراد دچار سوءتغذیه (یک میلیون) (متوسط سه‌ساله) در ایران

انواع نانوذرات در مواد غذایی

به‌طور کلی، نانوذرات موجود در غذاها را می‌توان به‌راحتی بر اساس ترکیب آن‌ها، به دو دسته آلی یا معدنی تقسیم‌بندی کرد؛ زیرا این عامل تأثیر زیادی در سرنوشت نانومواد در دستگاه گوارش و سمیت بالقوه آن‌ها دارد.

نانوذرات معدنی

بسیاری از انواع نانوذرات مورداستفاده در غذاها عمدتاً از مواد معدنی مانند نقره، اکسید آهن، دی‌اکسید تیتانیوم، دی‌اکسید سیلیسیم یا اکسید روی تشکیل شده‌اند. این ذرات به‌صورت جامدات بلوری یا آمورف در دمای محیط وجود دارند که ممکن است کروی یا غیرکروی باشند، همچنین دارای مشخصات سطحی متفاوتی هستند و بسته به مواد اولیه و شرایط آماده‌سازی مورداستفاده در ساخت آن‌ها در اندازه‌های مختلف وجود دارند. نانوذرات معدنی همچنین از نظر تمایل به حل‌شدن تحت شرایط متفاوت محلول (مانند pH و استحکام یونی) و همچنین از نظر فعالیت‌های شیمیایی متفاوت هستند که تأثیر زیادی در سرنوشت آن‌ها در دستگاه گوارش (GIT[۱۴]) و متعاقباً ایجاد سمیت دارد [۷]

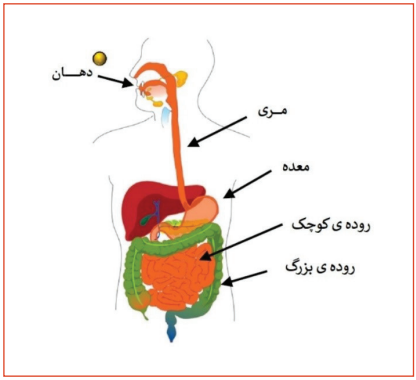
یکی از معروف‌ترین نانوذرات معدنی که در محصولات غذایی و بهداشتی مورداستفاده قرار می‌گیرد دی‌اکسید تیتانیوم است. دی‌اکسید تیتانیوم یک پودر سفید است که از مواد معدنی موجود در طبیعت استخراج می‌شود؛ گاهی اوقات به‌عنوان TiO_2، تیتانیوم سفید یا CI 77891 شناخته می‌شود، سال‌هاست که در انواع محصولات مختلف از جمله غذاها، داروها و مواد آرایشی مورداستفاده است. در غذاها، دی‌اکسید تیتانیوم معمولاً E171 نامیده می‌شود. در واقع دی‌اکسید تیتانیوم در دو درجه نانویی و رنگ‌دانه استفاده می‌شود. دی‌اکسید تیتانیوم در درجه رنگ‌دانه در اندازه ذرات بسیار بزرگ‌تر از درجه نانو تولید می‌شود و برای سفیدکردن و درخشندگی فرمولاسیون محصول استفاده می‌شود. دی‌اکسید تیتانیوم با درجه نانو به‌صورت ذرات بسیار ریز (نانو) ساخته شده و شفاف و بی‌رنگ است. این ماده معمولاً در محصولات غذایی و ضدآفتاب‌ها برای محافظت مؤثر در برابر اشعه ماورای‌بنفش مضر استفاده می‌شود [۸].

دی‌اکسید تیتانیوم توسط متخصصان در سراسر جهان، از جمله کمیته علمی ایمنی مصرف‌کننده اروپا (SCCS[۱۵])، کمیته تخصصی مشترک مواد افزودنی غذایی (JECFA[۱۶]) و سازمان غذا و داروی ایالات‌متحده (FDA) برای استفاده در محصولات آرایشی و بهداشتی و محصولات غذایی بی‌خطر تلقی می‌شود. دی‌اکسید تیتانیوم درجه نانو توسط SCCS ارزیابی شده است و برای استفاده به‌عنوان فیلتر UV توسط کمیسیون اروپا تأیید شده است.

نانوذرات آلی

این نوع نانوذرات عمدتاً از مواد آلی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و یا کربوهیدرات‌ها تشکیل شده‌اند. این مواد در دمای محیط بسته به ترکیب و شرایط فراوری، مایع، نیمه‌جامد (ژل) یا جامد (کریستالی یا آمورف) هستند. اکثر نانوذرات آلی که معمولاً در غذاها استفاده می‌شوند کروی هستند، اما ممکن است تحت برخی شرایط (مانند نانوالیاف) کروی نباشند. مواد آلی از نظر رفتار در مناطق مختلف دستگاه گوارش انسان بسیار متفاوت هستند؛ به‌عنوان مثال، بسته به ترکیب و ساختار ممکن است در دهان، معده، روده کوچک یا روده بزرگ هضم شوند.

به‌طور کلی تصور می‌شود که نانوذرات آلی نسبت به نانوذرات معدنی کم‌تر سمیت دارند؛ زیرا غالباً به‌طور کامل در دستگاه گوارش انسان هضم شده و ماندگار نیستند. با این وجود، ممکن است شرایط خاصی وجود داشته باشد که منجر به سمیت نانوذرات آلی نیز شود.



شکل ۲- طرح‌واره مناطق مختلف دستگاه گوارش انسان که نانوذرات باید از آن عبور کنند [۹]

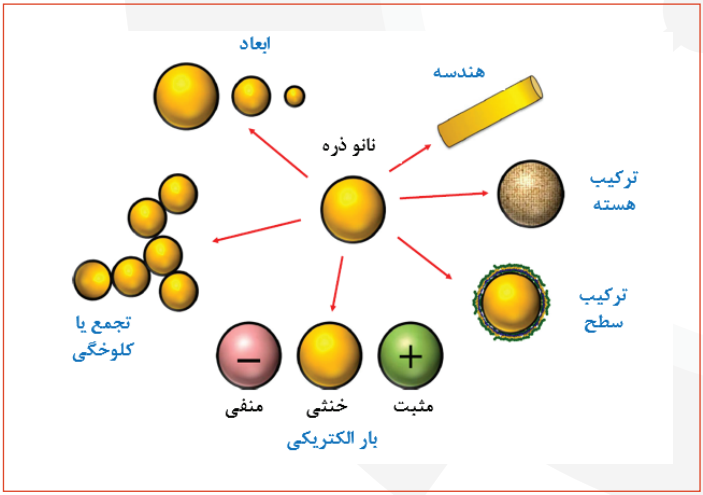
مشخصات نانوذرات مورداستفاده در صنایع غذایی

نانوذرات موجود در محصولات غذایی و آشامیدنی از نظر خصوصیات فیزیکی شیمیایی و ساختاری بسیار متفاوت هستند که این خصوصیات سرنوشت آن‌ها را در دستگاه گوارش و تمایل آن‌ها به ایجاد سمیت را تعیین می‌کند. در نتیجه، برای توصیف خصوصیات نانوذرات ابزارهای تحلیلی مناسبی موردنیاز است [۱۰]. در ادامه متغیرهای مهمی که روی سرنوشت نانوذرات و ایجاد سمیت آن‌ها در بدن مؤثر هستند، بررسی خواهند شد.

ترکیب

نانوذرات موجود در غذاها ممکن است از مواد غیرآلی (به‌عنوان مثال نقره، دی‌اکسید تیتانیوم، دی‌اکسید سیلیسیم، اکسید آهن و اکسیدروی) و یا اجزای آلی (به‌عنوان مثال لیپیدها، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها) تشکیل شده باشند. ترکیب نانوذرات نقش اصلی را در تعیین سرنوشت آن‌ها در دستگاه گوارشی دارد. لیپیدها، پروتئین‌ها و نشاسته‌ها توسط پروتئازها[۱۷]، لیپازها[۱۸] و آمیلازها[۱۹] در دهان، معده، روده کوچک یا روده بزرگ هضم می‌شوند. با این حال، برخی از مواد آلی مورداستفاده برای ساخت نانوذرات غذایی (مانند فیبرهای رژیم غذایی[۲۰] و روغن‌های معدنی) ممکن است در دستگاه گوارش فوقانی هضم نشوند. نانوذرات معدنی نیز در دستگاه گوارش هضم نمی‌شوند؛ اما برخی از آن‌ها ممکن است در اثر تغییر در PH یا رقت به‌طور کامل یا جزئی حل شوند [۱۱]. توانایی نانوذرات معدنی در تولید سمیت اغلب با واکنش شیمیایی آن‌ها در ارتباط است که به ترکیب آن‌ها بستگی دارد. به‌عنوان مثال برخی از نانوذرات معدنی یون‌هایی را حل کرده و آزاد می‌کنند که واکنش‌های شیمیایی یا

بیوشیمیایی نامطلوبی ایجاد می‌کنند (به‌عنوان مثال نانوذرات نقره)، در حالی که برخی دیگر نسبتاً بی‌اثر هستند (به‌عنوان مثال نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم) [۱۲].



شکل ۳- نانوذرات غذا دارای تنوع در مشخصات ذره‌ای هستند [۱۳]

ابعاد

ابعاد نانوذرات غذایی بسته به مواد و فرایندهای استفاده شده برای ایجاد آن‌ها به‌صورت قابل‌توجهی متفاوت است؛ از چند نانومتر (میسل سورفاکتانت[۲۱]) تا چند صد نانومتر (لیپید، پروتئین یا نانوذرات کربوهیدرات). ابعاد نانوذرات بر سرنوشت آن‌ها در دستگاه گوارش و سمیت آن‌ها از طریق مکانیزم‌های مختلف تأثیرگذار است. اول اینکه نانوذرات کوچک‌تر معمولاً با سرعت بیشتری نسبت به ذرات بزرگ‌تر با ترکیبات مشابه در مایعات دستگاه گوارش حل یا هضم می‌شوند. دوم اینکه توانایی تعامل اجزای دستگاه گوارش (مانند آنزیم‌های گوارشی[۲۲]، فسفولیپیدها[۲۳]، نمک‌های صفراوی[۲۴] یا یون‌های معدنی) با ذرات نانو احتمالاً با کاهش اندازه آن‌ها به‌دلیل افزایش سطح ویژه افزایش می‌یابد. مورد سوم اینکه نفوذ نانوذرات از طریق لایه مخاطی که سلول‌های اپیتلیوم را پوشش می‌دهند، معمولاً با کاهش اندازه آن‌ها نسبت به اندازه منافذ شبکه بیوپلیمر افزایش می‌یابد. چهارمین مورد اینکه جذب نانوذرات توسط سلول‌های اپیتلیوم روده از طریق اتصالات تنگ[۲۵]، انتقال فعال[۲۶] یا مکانیسم‌های انتقال غیرفعال[۲۷] به اندازه ذرات بستگی دارد [۱۴]، [۱۵]

خواص فصل مشترک

سرنوشت نانوذرات در دستگاه گوارش با کیفیت مواد غذایی و بنابراین پتانسیل آن‌ها برای داشتن اثرات سو بر سلامت، اغلب تحت تأثیر ویژگی‌های فصل مشترک آن‌ها قرار دارد. نانوذرات در غذاها و درون دستگاه گوارش به‌طور معمول توسط مواد جاذب پوششی احاطه می‌شوند (گاهی به آن تاج یا کرونا[۲۸] نیز گفته می‌شود)

که بار الکتریکی، آب‌گریزی، ضخامت، قابلیت هضم و واکنش شیمیایی فصل مشترک را تعیین می‌کنند. این خصوصیات سطحی مانند توانایی آن‌ها در نفوذ به موانع زیستی (مانند لایه مخاط یا سلول‌های اپیتلیوم روده)، تعامل آن‌ها با سایر اجزای موجود در دستگاه گوارش (مانند موسین[۲۹]، آنزیم‌های گوارشی، نمک‌های صفراوی، یون‌های معدنی یا پروتئین‌ها) و حالت‌های تجمع آن‌ها (مانند ذرات منفرد یا خوشه‌ها) رفتار نانوذرات را در دستگاه گوارش تعیین می‌کند.[۱۶] [۱۷].

نحوه تجمع

نانوذرات با درجه غذایی ممکن است به‌صورت ذرات تک و جداگانه وجود داشته باشند یا ممکن است خوشه‌هایی را تشکیل دهند که در اندازه، شکل و استحکام متفاوت هستند. به‌طور معمول، نانوذرات موجود در خوشه‌ها توسط نیروهای فیزیکی مانند واندروالس[۳۰]، الکترواستاتیک[۳۱]، پیوند هیدروژنی و نیروهای آب‌گریز در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند؛ بنابراین وضعیت تجمع نانوذرات اغلب وابسته به شرایط محیطی مانند PH، استحکام یونی، فعل‌وانفعالات مواد تشکیل‌دهنده و نیروهای مکانیکی است. ابعاد خوشه‌های نانوذرات ممکن است بسیار بیشتر از ابعاد نانوذرات تک و منفرد باشد که تأثیر زیادی در سرنوشت آن‌ها در دستگاه گوارش، مانند توانایی حرکت آن‌ها در مایعات دستگاه گوارش، لایه مخاطی یا سلول‌های اپیتلیوم دارد. در نتیجه، تعیین ابعاد واقعی نانوذرات در موضع موردنظر، نسبت به ابعاد نانوذرات اصلی موجود در غذاها مهم‌تر است [۵].

محصولات تجاری حاوی نانوذرات

هم‌اینک شاهد یک گستره محدود از محصولات غذایی بر پایهٔ فناوری‌نانو در بازار هستیم که در مقایسه با محصولات دیگری که با استفاده از فناوری‌نانو، فراوری شده‌اند ناچیز هستند؛ اما با توجه به کارایی و تأثیرات فناوری‌نانو در آینده شاهد حضور گسترده و متنوع از این محصولات در بازار خواهیم بود. در ادامه بازارهای جهانی و شرکت‌هایی که در حال حاضر از فناوری‌نانو در تولید محصولات خود استفاده می‌کنند؛ بررسی خواهند شد.

Unilever

یونیلیور یک شرکت چند ملیتی بریتانیایی - هلندی است که مالک شمار زیادی از نام‌های تجاری بین‌المللی بوده و بیش از ۱۰۰ سال قدمت دارد [۱۸]. این شرکت یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های کالاهای مصرفی در جهان است که به‌خاطر برندهای بزرگ خود، در بازارهای جهانی نامی آشناست. به‌طور مثال برند مگنوم[۳۲] از زیرمجموعه‌های این شرکت است. این شرکت در سه بخش زیبایی و مراقبت شخصی، مواد غذایی و نوشیدنی و مراقبت خانگی فعالیت دارد که گردش مالی بخش غذایی این شرکت ۱۹٫۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ بوده است. از مهم‌ترین نانوذراتی که این شرکت در محصولات خود استفاده می‌کند دی‌اکسید تیتانیوم است. این شرکت از دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان ماده رنگی در برخی از محصولات مراقبت در منزل از جمله در مواد شوینده لباس، قرص ماشین ظرفشویی و قرص‌های تمیزکننده توالت استفاده می‌کند. همچنین از این نانوذره به‌عنوان رنگ‌دهنده در تعداد محدودی از محصولات غذایی به‌عنوان مثال در برخی از چاشنی‌ها و بستنی‌های خود استفاده می‌کند.

Hershey

هرشی شرکت صنایع غذایی آمریکایی است که تمرکز اصلی آن بر تولید و توزیع انواع شکلات، فرآورده‌های قندی، کارامل، بادام‌زمینی، پرتزل و چیپس سیب‌زمینی معطوف است. این شرکت در حال حاضر بزرگ‌ترین تولیدکننده انواع شکلات در آمریکای شمالی است؛ همچنین در رتبه ششم از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان شکلات در جهان قرار دارد و محصولاتش را در ۶۰ کشور جهان عرضه می‌کند [۱۹]. در بعضی از محصولات این شرکت مانند شکلات تلخ تخته‌ای و شربت شکلات از دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شده است.

MARS

به‌عنوان تولیدکننده برخی از محبوب‌ترین برندهای شکلات، شیرینی‌سازی، آدامس و مواد غذایی در جهان مانند M&M's (شکل ۵) شناخته می‌شود. محصول M&M's دارای کد E171 است و همان طور که ذکر شد نشان‌دهنده حضور TiO_2 است. در این محصول ذرات در مقیاس نانو توسط TEM[۳۳] مشاهده شده و تجزیه‌وتحلیل نقطه‌ای با استفاده از EDX[۳۴] نیز حضور اکسیژن و تیتانیوم را تأیید کرده است.

شکل ۴- شکلات شرکت Hershey حاوی تیتانیوم و دی‌اکسید تیتانیوم [۲۰]

شکل ۵- شکلات شرکت M&M [۲۰]

در ادامه به دیگر محصولات غذایی فعال در این حوزه که با جدیت زیاد به‌دنبال کشف قابلیت فناوری‌نانو برای مواد مغذی بهتر و ایمنی غذا هستند، اشاره شده است [۲۱].

- مکمل‌های ویتامین Spray for Life®، تولید شده توسط Health Plus International که نوشیدنی‌های غنی شده با ویتامین را به‌صورت نانوانکپسوله تولید می‌کنند.
- تقویت‌کننده‌های روزانه[۳۵] تولید شده توسط شرکت Jamba Juice Hawaii که ویتامین یا اجزای زیست فعال نوشیدنی‌های غنی شده را به‌صورت نانوکپسول تولید می‌کند.
- رنگ‌های امولسیونی[۳۶]، تولید شده توسط شرکت Wild Flavors که نانوامولسیون‌های بتا کاروتنال[۳۷]، آپوکاروتنال[۳۸] یا پاپریکا تولید می‌کند.
- شیک‌های شکلات، تولید شده توسط RBC Life Science Inc که از نانوکپسول‌کردن خوشه‌های نانویی برای افزایش عطر و طعم این نوشیدنی بدون اضافه‌کردن قند استفاده می‌کند.
- Nanotea تولید شده توسط Qinhuangdao Taiji Ring Nano-Products Co. Ltd از چین است که نانو چایی‌ها را به‌صورت انکپسوله تولید می‌کند.
- در حقیقت انکپسوله‌کردن مواد غذایی، اسانس‌های غذایی و ویتامین‌ها، به‌منظور افزایش فعالیت ضدمیکروبی در برابر عوامل بیماری‌زا ناشی از غذا، بهبود مدت‌زمان نگهداری غذا، بهبود حلالیت، پایداری فیزیکی، کاهش تعاملات با مواد غذایی و افزایش/کاهش طعم و عطر مواد استفاده می‌شود.

چالش‌ها و محدودیت‌های فنی

اگرچه فناوری‌نانو پتانسیل زیادی برای ساخت محصولات و فرایندهای نوآورانه در بخش مواد غذایی دارد، اما موانع زیادی وجود دارد. چالش اصلی تولید سیستم‌های خوراکی، استفاده از فرایندهای تولید مقرون‌به‌صرفه با فرمولاسیون مؤثر برای مصرف و ایمنی انسان است [۲۲]. رفتار مواد در مقیاس نانو کاملاً متفاوت است و دانش فنی محدودی در مورد تجزیه‌وتحلیل آن وجود دارد. درک کامل از ویژگی‌ها و سمیت‌های مواد نانو، کاربرد عملی و مقررات ایمنی آن را بیشتر می‌کند. پیامدهای نامطلوب نانوذرات، ریسک‌های بالقوه و مسمومیت‌های مرتبط با نانوذرات باید برطرف شود تا بتواند به گزینه مناسبی در صنایع غذایی تبدیل شود. به‌طور مثال گزارش شده است که نانوذرات از سد زیستی عبور کرده و وارد سلول‌ها و ارگان‌ها شده‌اند که این مورد می‌تواند یکی از اثرات نامطلوب نانوذرات در بدن و در نتیجه ایجاد سمیت بالقوه باشد [۲۳]. همچنین گزارش شده است سنتز نانوذرات با استفاده از روش‌های مختلف شیمیایی نیز اثرات سوئی دارد و محصولات جانبی خطرناکی را برای محیط‌زیست ایجاد کرده که باعث آلودگی شدید محیط می‌شود [۲۴]؛ بنابراین جدا از محبوبیت و تقاضای عمومی، یک برنامه ارزیابی ریسک فراگیر، سیاست نظارتی، ایمنی زیستی و نگرانی‌های عمومی باید در هنگام پردازش، بسته‌بندی و مصرف انسانی محصولات غذایی مبتنی بر نانو در نظر گرفته شود. علاوه بر این مطالعات درون‌تن[۳۹] و برون تن[۴۰] شامل تعاملات نانوذرات با موجودات زنده قبل از کاربرد تجاری و تولید نانوذرات موردنیاز است [۲۵].

پتانسیل تجاری‌سازی و چشم‌اندازهای آینده

در علوم و تحقیقات غذایی پیشرفت‌های چشمگیری در کاربردهای فناوری‌نانو حاصل شده است. فناوری‌نانو

به شناسایی مواد سمی، عوامل بیماری‌زا و سموم دفع آفات کمک می‌کند که می‌تواند کیفیت غذا را حفظ کند. در دسترس بودن نیروی انسانی آموزش‌دیده، هزینه تجزیه‌وتحلیل و تهیه تجهیزات پیشرفته فنی، مانعی در راه پیشرفت فناوری‌نانو نیست. با این حال، برخی از سیستم‌های نانو هنوز در مرحله نخستین خود و یا در حال توسعه هستند.

غذاهای تولید شده از طریق فناوری‌نانو احتمالاً دامنه فرمولاسیون و تولید غذاهای کاربردی را در سال‌های آینده گسترش می‌دهند. اگر قوانین و مقررات خاص فناوری‌نانو برای غلبه بر چالش‌های مختلف ایمنی مرتبط با این فناوری وضع شود، این مهم می‌تواند بر کل حوزه پردازش مواد غذایی حاکم شود. طبق ارزیابی‌های جدید، پیش‌بینی می‌شود که فناوری‌نانو تا سال ۲۰۵۰ به فناوری پیشرفته با سرعت رشد بی‌نهایت تبدیل شود تا اکثر مشکلات صنعتی و اجتماعی را به‌دلیل توانایی یافتن راه‌حل‌های دوستانه در سطح خرد و کلان، از بین ببرد.

نتیجه‌گیری

تحقیقات و کاربردهای تجاری در زمینه فناوری‌نانو به تدریج دامنه خود را از یک طیف به طیف دیگر افزایش می‌دهند. فناوری‌نانو پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای پیشرفت علوم غذایی در سراسر جهان دارد. از سرعت بخشیدن به ماندگاری محصول گرفته تا ذخیره بهتر مواد غذایی، ردیابی آلاینده‌ها و ورود مکمل‌های غذایی یا بهداشتی به بدن از طریق مواد غذایی.

فناوری‌نانو نقش امیدوارکننده‌ای در حوزه فناوری غذایی دارد. جایگزینی روش‌های معمول جداسازی میکروبی با کاربردهای مبتنی بر فناوری‌نانو می‌تواند خطرات بیماری‌های منتقل شده از طریق غذا را از بین ببرد که حتی در آلودگی‌های کوچک نیز کشنده است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه کاربردهای مبتنی بر علوم نانو، منعکس‌کننده فرصت‌هایی برای طراحی مجدد پردازش، بازسازی چرخه تولید، تأیید حفاظت از منابع طبیعی و حتی تعریف مجدد عادات غذایی مصرف‌کنندگان است. چنین فناوری‌هایی منجر به توسعه سیستم‌های زراعی می‌شوند و مسیر توسعه پایدار کشاورزی را هموار می‌کنند. فناوری‌نانو به‌عنوان ابزاری ضروری برای غلبه بر چالش‌های موجود زیست‌محیطی به‌خاطر بسته‌بندی محصولات غذایی عمل می‌کند. توسط فناوری‌نانو (در صورتی که سازگار با محیط زیست و از نظر اقتصادی مناسب باشد) می‌توان به یک راه‌حل قابل‌اطمینان حتی در بسته‌بندی مواد غذایی دست یافت. چنین پیشرفتی در نهایت تأثیر مهمی بر کیفیت، ذخیره‌سازی، ایمنی و امنیت مواد غذایی خواهد داشت که این امر به سود تولیدکنندگان و همچنین مصرف‌کنندگان خواهد بود. با این حال به‌خاطر رفتارهای مهاجرتی نانوذرات در زمینه مواد غذایی، سمیت سلولی نانوذرات در انسان و تأثیرات احتمالی آن‌ها بر سلامتی و محیط زیست مصرف‌کنندگان، تحقیقات بیشتری لازم است.

پی‌نوشت‌ها

۱ rheological
۲ lipid
۳ Casein micelles
۴ Protein–mineral clusters
۵ Cell organelles
۶ lysosome
۷ vacuoles
۸ Ribosomes
۹ Oil bodies
۱۰ United State Food and Drug Administration
۱۱ European Commission
۱۲ Nanotechnology Products Database
۱۳ FAO
۱۴ gastrointestinal tract
۱۵ Scientific Committee on Consumer Safety
۱۶ Joint Expert Committee on Food Additive
۱۷ proteases
۱۸ lipases
۱۹ amylases
۲۰ dietary fibers
۲۱ surfactant micelles
۲۲ digestive enzymes
۲۳ phospholipids
۲۴ bile salts
۲۵ tight junctions
۲۶ active transport
۲۷ passive transport
۲۸ corona
۲۹ mucin
۳۰ Van der Waals
۳۱ electrostatic
۳۲ magnum
۳۳ Transmission electron microscopy
۳۴ Energy-dispersive X-ray spectroscopy
۳۵ Daily Boost
۳۶ Color Emulsion
۳۷ Beta-carotenal
۳۸ apocarotenal
۳۹ in vivo
۴۰ in vitro

مراجع

۱ C. Chellaram et al., "Significance of Nanotechnology in Food Industry," APCBEE Procedia, vol. 8, pp. 109–113, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.apcbee.2014.03.010.

۲ A. Abaee, M. Mohammadian, and S. M. Jafari, "Whey and soy protein-based hydrogels and nano-hydrogels as bioactive delivery systems," Trends in Food Science and Technology, vol. 70. Elsevier Ltd, pp. 69–81, Dec. 01, 2017, doi: 10.1016/j.tifs.2017.10.011.

۳ N. Aher et al., "Poly(ethylene glycol) versus dendrimer prodrug conjugates: Influence of prodrug architecture in cellular uptake and transferrin mediated targeting," J. Biomed. Nanotechnol., vol. 9, no. 5, pp. 776–789, May 2013, doi: 10.1166/jbn.2013.1582.

۴ M. Sahoo, S. Vishwakarma, C. Panigrahi, and J. Kumar, "Nanotechnology: Current applications and future scope in food," vol. 2, no. 1, pp. 3–22, Mar., doi: 10.1002/fft2.58.

۵ D. McClements, H. X. S. of Food, and undefined 2017, "Is nano safe in foods?

Establishing the factors impacting the gastrointestinal fate and toxicity of organic and inorganic food-grade nanoparticles," nature.com, Accessed: Jun. 01, 2021. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/s41538-017-0005-1.

۶ X. He, H. Deng, and H. min Hwang, "The current application of nanotechnology in food and agriculture," Journal of Food and Drug Analysis, vol. 27, no. 1. Elsevier Taiwan LLC, pp. 1–21, Jan. 01, 2019, doi: 10.1016/j.jfda.2018.12.002.

۷ A. Pietroiusti, A. Magrini, and L. Campagnolo, "New frontiers in nanotoxicology: Gut microbiota/microbiome-mediated effects of engineered nanomaterials," Toxicol. Appl. Pharmacol., vol. 299, pp. 90–95, May 2016, doi: 10.1016/j.taap.2015.12.017.

۸ "Titanium dioxide | All brands | Unilever global company website." https://www.unilever.com/brands/Our-products-and-ingredients/Your-ingredient-questions-answered/titanium-dioxide.html (accessed Jun. 06, 2021).

۹ "Gastrointestinal tract - Wikipedia." https://en.wikipedia.org/wiki/Gastrointestinal_tract (accessed Jun. 01, 2021).

۱۰ G. Singh, C. Stephan, P. Westerhoff, D. Carlander, and T. V. Duncan, "Measurement methods to detect, characterize, and quantify engineered nanomaterials in foods," Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, vol. 13, no. 4. Blackwell Publishing Inc., pp. 693–704, Jul. 01, 2014, doi: 10.1111/1541-4337.12078.

۱۱ E. E. Fröhlich and E. Fröhlich, "Cytotoxicity of nanoparticles contained in food on intestinal cells and the gut microbiota," International Journal of Molecular Sciences, vol. 17, no. 4. MDPI AG, p. 509, Apr. 06, 2016, doi: 10.3390/ijms17040509.

۱۲ T. Pradeep and Anshup, "Noble metal nanoparticles for water purification: A critical review," Thin Solid Films, vol. 517, no. 24. Elsevier, pp. 6441–6478, Oct. 30, 2009, doi: 10.1016/j.tsf.2009.03.195.

۱۳ D. J. Mcclements and H. Xiao, "Is nano safe in foods? Establishing the factors impacting the gastrointestinal fate and toxicity of organic and inorganic food-grade nanoparticles," vol. 1, p. 6, 2017, doi: 10.1038/s41538-017-0005-1.

۱۴ S. Bellmann et al., "Mammalian gastrointestinal tract parameters modulating the integrity, surface properties, and absorption of food-relevant nanomaterials," Wiley Interdiscip. Rev. Nanomedicine Nanobiotechnology, vol. 7, no. 5, pp. 609–622, Sep. 2015, doi: 10.1002/wnan.1333.

۱۵ L. M. Ensign, R. Cone, and J. Hanes, "Oral drug delivery with polymeric nanoparticles: The gastrointestinal mucus barriers," Advanced Drug Delivery Reviews, vol. 64, no. 6. Elsevier, pp. 557–570, May 01, 2012, doi: 10.1016/j.addr.2011.12.009.

۱۶ J. J. Powell, N. Faria, E. Thomas-McKay, and L. C. Pele, "Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract," J. Autoimmun., vol. 34, no. 3, pp. J226–J233, May 2010, doi: 10.1016/j.jaut.2009.11.006.

۱۷ B. A. Magnuson, T. S. Jonaitis, and J. W. Card, "A brief review of the occurrence, use, and safety of food-related nanomaterials," Journal of Food Science, vol. 76,

no. 6. John Wiley & Sons, Ltd, pp. R126–R133, Aug. 01, 2011, doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02170.x.

۱۸ "Unilever - Wikipedia." https://en.wikipedia.org/wiki/Unilever (accessed Jun. 06, 2021).

۱۹ "The Hershey Company - Wikipedia." https://en.wikipedia.org/wiki/The_Hershey_Company (accessed Jun. 06, 2021).

۲۰ "Center for Food Safety | Nanotechnology in Food | | Nanotechnology in Food Interactive Tool." https://www.centerforfoodsafety.org/nanotechnology-in-food (accessed Jun. 01, 2021).

۲۱ N. Pradhan et al., "Facets of nanotechnology as seen in food processing, packaging, and preservation industry," Biomed Res. Int., vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/365672.

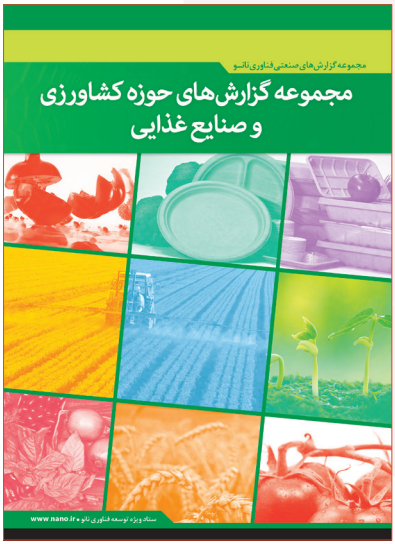
۲۲ "Nanoscience: Nanotechnologies and Nanophysics - Google Books." https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=Vm3sQuFcLD0C&oi=fnd&pg=PA2&dq=Dupas,+C.,+%26+Lahmani,+M.+(Eds.).+(2007).+Nanoscience:+Nanotechnologies+and+nanophysics.+Berlin,+Germany:+Springer+Science+%26+Business+Media.&ots=SFWajhmtqs&sig=_W9eiTcQY3gJk7qfvN7PcP-SJ7k#v=onepage&q=Dupas%2C C.%2C%26 Lahmani%2C M. (Eds.). (2007). Nanoscience%3A Nanotechnologies and nanophysics. Berlin%2C Germany%3A Springer Science%26 Business Media.&f=false (accessed Jun. 01, 2021).

۲۳ X. Su, Y. L.-A. chemistry, and undefined 2004, "Quantum Dot Biolabeling Coupled with Immunomagnetic Separation for Detection of Escherichia coli O157:H7," ACS Publ., Accessed: Jun. 01, 2021. [Online]. Available: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac049442+.

۲۴ D. S. Cha and M. S. Chinnan, "Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review," Crit. Rev. Food Sci. Nutr., vol. 44, no. 4, pp. 223–237, 2004, doi: 10.1080/10408690490464276.

۲۵ S. Shi, W. Wang, L. Liu, S. Wu, Y. Wei, and W. Li, "Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature," J. Food Eng., vol. 118, no. 1, pp. 125–131, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.03.029.

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری‌نانو در صنایع غذایی منتشر شده است



- مجموعه گزارش‌های حوزه کشاورزی و صنایع غذایی
- نانوحسگرهای تشخیص‌دهنده پاتوژن‌های میکروبی در مواد غذایی
- کاربرد فناوری‌نانو در صنایع غذایی
- نانوحسگرهای مورداستفاده در صنایع غذایی و آشامیدنی
- نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی