مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

مروری بر کاربرد تکنولوژی‌های پیشرفته غیرحرارتی در صنایع غذایی

مروا حسینی[۱]، بیژن خورشیدپور[۲*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۹

کلمات کلیدی:

بهبود کیفیت،

فراوری مواد غذایی،

فراصوت،

میکروکپسولاسیون،

روش‌های غیر حرارتی

DOI:10.22034/FSCT.22.159.27.

* مسئول مکاتبات:

bijankhorshidpour@gmail.com

چکیده

صنعت فراوری مواد غذایی یکی از مهم‌ترین صنایع می‌باشد که امروزه با توجه به درخواست روز افزون مواد غذایی با کیفیت دچار تحولات بسیاری گشته است. توجه به حفظ مواد مغذی و عدم تغییر بافت و رنگ محصولات لزوم استفاده از فناوری‌هایی با دمای پائین‌تر را به خوبی مشخص می‌گرداند چرا که در فناوری‌های قدیمی‌تر معمولا از دمای بالا استفاده می‌گردید. امروزه اثرات سلامت بخشی غذاها از جمله مهم‌ترین فاکتورهای مقبولیت یک فراورده می‌باشد که در فراوری‌های جدیدتر می‌توان با حرارت کمتر، باعث حفظ انواع ویتامین‌ها و کیفیت و رنگ محصول نهایی گشت. از جمله این فراوری‌ها می‌توان به فیلتراسیون غشایی، باکتریوسین‌ها، میکروکپسولاسیون، فراصوت، پخت اکستروژن و پرتودهی اشاره نمود. روش‌های فوق علاوه بر حفظ کیفیت و مواد مغذی محصول، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط زیست نیز می‌باشد که لزوم توجه بیشتر به آن‌ها برای حفظ سلامتی و در کنار مسائل اقتصادی و زیست محیطی را به خوبی آشکار می‌سازد. کپسوله نمودن مواد مغذی باعث حفظ مواد در شرایط محیطی و دستگاه گوارش نیز می‌گردد که باعث شده امروزه این روش بیشتر مورد توجه متخصصین قرار گیرد. در این مقاله به بررسی انواع روش‌های نوین فراوری در صنعت غذا پرداخته شده است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

۱-مقدمه

امروزه در کشورهای توسعه یافته برای حفظ مواد مغذی، کاهش آسیب‌های زیست محیطی، کاهش و پیشگیری آلودگی و به حداقل رساندن ضایعات به دنبال روش‌های جایگزین فراوری رفته‌اند که با حداقل پردازش برای حفظ ظاهر تازه بتوان ایمنی محصول را حفظ کرد [۱،۲]. توسعه غذاهای کاربردی جدید نیازمند فناوری‌هایی است که بتوان مواد غذایی سلامت بخش و مغذی را حفظ کرده تا مواد غذیی سالمتری تولید نمود [۳]. روش‌های حرارتی که برای افزایش نگهداری مواد غذایی و نابودی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و غیر فعال سازی آنزیم‌ها استفاده می‌شوند بسیار زمان‌بر هستند و انرژی بالایی مصرف می‌کنند که باعث افزایش هزینه تولید می‌گردد. همچنین استفاده از روش‌های حرارتی اثرات مضری مانند کاهش کیفیت محصول، از دست دادن خواص تغذیه‌ای مانند ویتامین‌ها، اکسیداسیون، تاثیر نامطلوب در خواص حسی و دناتوره شدن پروتئین را به همراه دارند که لزوم استفاده از روش‌های غیر حرارتی را که سازگار با محیط زیست نیز هستند را بیشتر می‌کند[٤]. استفاده از تکنیک‌های جدید نیاز به زمان، انرژی و آب کمتری دارند. از روش های غیر حرارتی می‌توان به فیلتراسیون غشایی، باکتریوسین‌ها، میکروکپسولاسیون، فراصوت، پخت اکستروژن و پرتودهی را نام برد که باعث حفظ مواد مغذی و کاهش آسیب به محصول می‌گردند [٥،٦]. یکی از روش‌های نوین فیلتراسیون غشایی است که بیشتر در فراوری شیر، آبمیوه، آبجو و نوشابه کاربرد دارد. غشا از مواد طبیعی و مصنوعی ساخته شده و به عنوان یک مانع نفوذ پذیری انتخابی مواد را به دو بخش تحت فشار جدا می‌کند [۷]. از این روش در صنایع لبنی برای حذف باکتری‌ها و هاگ‌ها از شیر بدون چربی، جداسازی میسل‌های کازئین، جداسازی و متلاشی شدن گلبول‌های چربی از شیر کامل، تغلیظ آب پنیر، تفکیک پروتئین‌های آب‌پنیر و نمک زدایی فرآیندهای غشایی آب پنیر استفاده می‌شود. در صنعت آبجو سازی برای شفاف سازی، در صنعت قند برای تصفیه املاح معدنی کاربرد دارد[۸]. از آنجایی که مواد زیست فعال دارای خواص آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی و درمانی هستند امروزه به حفظ و نگهداری این مواد در صنایع غذایی توجه ویژه می‌شود و می‌توان با میکروکپسوله کرد این ترکیبات از تخریب آن‌ها جلوگیری نمود این ترکیبات اثرات خود را بر کیفیت و پایداری محصولات غذایی می‌گذارند [۸]. در میکروکپسولاسیون با آزادسازی هدفمند باعث پایداری ترکیبات در طول فراوری، نگهداری و هضم می‌شوند. همچنین با حفظ ارزش غذایی محصول می‌تواند در حفظ طعم، عطر و بوی مواد موثر باشد. موادی که داخل پوشش قرار می‌گیرند را هسته یا فاز داخلی گویند و مواد پوشاننده را غشا یا پوسته می‌نامند که از موادی چون کربوهیدرات‌ها، صمغ‌ها، چربی‌ها و مواد پلیمری استفاده می‌شود. از میکروکپسولاسیون برای باکتری‌های پروبیوتیک و ترکیبات زیست فعال مانند ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و ترکیبات فنلی استفاده قرار می‌گیرد [۱۰،۱۱]. همچنین از این روش برای پوشش دادن یا محصور کردن مواد دارای طعم نامطلوب، اسانس‌های روغنی، اسیدها، قلیاها و بافرها برای رها سازی هدفند در زمان مشخص برای محافظت آن‌ها از عوامل محیطی مانند اکسیژن، حرارت، عوامل بیولوژیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر این روش بین مواد فعال زیستی و محیط سدی ایجاد می‌کند که باعث محافظت آن‌ها می‌شود [۱۲]. از دیگر فراوری‌های جدید که برای مواد غذایی آماده مانند تنقلات و پاستا کاربرد دارد می‌توان به اکسترون اشاره

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

نمود. در این روش با اعمال عملیات‌های مختلفی مانند مخلوط کردن، پخت، ورز دادن، برش، قالب گیری و شکل دهی محصولات متنوعی تولید می‌گردد. این روش به دلیل حفظ درشت مغذی‌ها و ریز مغذی‌ها، ترکیبات فعال زیستی که باعث بهبود خواص تغذیه‌ای و عملکردی محصول نهایی می‌گردد محبوبیت پیدا کرده است. این روش با استفاده از دمای بالا و در زمان کوتاه محصولات کشاورزی را که به صورت دانه‌ای یا پودری هستند را به محصولات غذایی کاملا پخته تبدیل می‌کند و با بیرون راندن آن از انتهای دستگاه به اشکال مختلفی تبدیل می‌کند [۱۳]. روش دیگر مورد استفاده در صنایع غذیی که توسط پرتوهای یونیزه برای بهبود ایمنی، سالم سازی و افزایش نگهداری مورد استفاده است پرتودهی نام دارد. در این روش مواد غذایی در معرض مقدار دقیقی از انرژی تابشی قرار می‌گیرند. این پرتوها کاربرد گسترده‌ای دارند که می‌توان به توانایی شکستن پیوندهای شیمیایی، از بین بردن باکتری‌های مضر و میکروارگانیسم‌های موجود در غذاهای دریایی، مرغ و گوشت، ضد عفونی کردن ادویه‌ها، افزایش ماندگاری میوه و سبزیجات تازه و جلوگیری از جوانه زنی پیاز و سیب‌زمینی اشاره نمود [١٤]. سازمان بهداشت جهانی (WHO) نیز پرتودهی را روشی بی‌خطر و مناسب برای بهبود ایمنی، حفظ کیفیت و ماندگاری محصولات غذایی عنوان نموده است. این روش به عنوان روشی جایگزین برای افزایش ماندگاری، سازگار با محیط زیست، آسان و مناسب برای صرفه جویی در انرژی است [۱۵،۱٦،۱۷]. در این مقاله به بررسی پیشرفت‌های اخیر در خصوص روش‌های نوین فراوری، نوع مکانیسم عمل، کاربرد، مزایا و معایب و تاثیر آن‌ها بر کیفیت و حفظ ارزش غذایی پرداخته شده است.

۲- فیلتراسیون غشایی

فیلتراسیون غشایی در سال ۱۹٦۰ با کاربردهای وسیع به وجود آمد و از قدیمی‌ترین و شناخته شده ترین این روش‌ها می‌توان به نمک‌زدایی و تصفیه آب با اسمز معکوس اشاره نمود. فیلتراسیون غشایی روشی ملایم برای تفکیک و شفاف‌سازی است. در فیلتراسیون از غشا متخلخل آنیونی، کاتیونی و غیر یونی استفاده می‌شود که نسبت به اجرای مختلف یک سیال به صورت انتخابی عمل می‌کند. این جدا سازی به اندازه ملکول‌ها، نوع ماده غذایی و جنس غشا و فشار بستگی دارد [۲]. فیلتراسیون غشایی یک فناوری در حال تکامل است و بیشتر در فراوری شیر، آبمیوه و نوشابه کاربرد دارد. غشا از مواد طبیعی و مصنوعی ساخته شده و به عنوان یک مانع نفوذ پذیری انتخابی مواد را به دو بخش تحت فشار جدا می‌کند [۷]. فازها شامل، فاز جامد مانند جامدات معلق، جامدات آلی، جامدات معدنی فاز مایع مانند آب، اتانول، کلروفرم و فاز گاز مانند هوا، نیتروژن، اکسیژن هستند. فرایندهای غشایی به پنج دسته تقسیم می‌شوند که شامل ۱. میکروفیلتراسیون(MF) [1] که فرایند فیلتراسیون تحت فشار برای جداسازی جامدات معلق به ذرات بین ۰/۰۸ تا ۱۰ میلی متر و فشار هیدرولیک اعمال شده در این روش ۱-۲ بار یا ۲۰-۱۵ است. بیشترین کاربرد این روش برای جدا سازی جامدات از آب و اندازه جامدات است ۲. اولترافیلتراسیون(UF) [2] که برای جدا سازی جامدات ماکرومولکولی تحت فشار است که اندازه ذرات ۰/۰۰۱ تا ۰/۱ میلی متر و فشار حدود ۱-۷ بار است ۳.

1 -Microfiltration

2 -Ultrafiltration

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

نانوفیلتراسیون(NF) [3] که غشاها در این گروه کامپوزیت‌های لایه پلیمری هستند که از گروه‌های شیمیایی با بار منفی تشکیل شده و برای حفظ جامدات ملکولی مانند شکر و نمک های چند ظرفیتی مانند سولفات منیزیم استفاده می‌شود که اندازه جامدات بین ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۷ میلی متر هستند ٤. اسمز معکوس(RO) [4] این غشاها عمدتا از استات سلولز و با اندازه منافذ ۵ تا ۲۰ واحد آنگستروم ساخته شده‌اند و برای دفع نمک‌ها و مواد آلی استفاده می‌شود که اندازه ذرات بین ۰/۰۰۰۲۵ تا ۰/۰۰۳ میلی متر هستند ۵. الکترودیالیز(ED) [5] که از ولتاژ یا جریان به عنوان نیروی محرکه برای جداسازی املاح یونی استفاده می‌کند و اندازه املاح بین ۰/۰۰۰۲۵ تا ۰/۰۸ میلی متر است [۲]. تقاضای مصرف کنندگان برای نوشیدنی‌های سالم و با کیفیت مانند آب میوه و سبزیجات به دلیل وجود ترکیباتی چون کربوهیدرات، ویتامین‌ها و مواد معدنی رو به افزایش است و باعث گشته تولید کنندگان به دنبال روش‌های جایگزین برای حفظ ارزش غذایی وکیفیت حسی آن‌ها باشند. روش‌های فراوری حرارتی باعث کاهش کیفیت، از دست دادن عطر، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، کاهش پلی فنل‌ها و اسید اسکوربیک است. استفاده از روش‌های جایگزین غیر حرارتی مانند فیلتراسیون غشایی برای حفظ ویژگی غذایی و حسی، شفاف سازی و نگهداری آبمیوه مورد بسیار پر کاربرد است. یکی از مشکلات عمده در فیلتراسیون آبمیوه رسوب غشایی است که رسوب تشکیل شده توسط اجزای آبمیوه روی منافذ غشا جمع می‌شود و فشار نفوذی را کاهش و باعث کاهش راندمان می‌شود. رسوب باعث کاهش طول عمر غشا، کاهش کیفیت آبمیوه، افزایش زمان و انرژی می‌شود [۷]. شفاف سازی نوشیدنی‌های گازدار با روش MF و UF، تغلیظ برای کنسانتره آب میوه با روش RO و اسید زدایی برای کاهش اسیدیته آب میوه با روش ED انجام می‌شود. رسوب‌ها شامل پنج نوع پوسته پوسته شدن غشا، رسوب اکسیدهای فلزی، رسوب کلوئیدی، رسوب بیولوژیکی و رسوب عامل تمیز کننده هستند. از مهمترین کاربردهای فیلتراسیون غشایی می‌توان به تولید محصولات لبنی مانند تولید خامه پر چرب و شیر بدون چربی با استفاده از روشMF، تولید پنیر با روش UF، تولید شیر خشک و شیر فله، پاستوریزاسیون، هموژنیزاسیون، آبنبات، آبمیوه، نوشابه و جدا سازی املاح از آب اشاره نمود. در صنعت لبنیات برای حذف کردن باکتری، شکسته شدن چربی شیر و جداسازی کازئین میسلی شیر بدون چربی و پروتئین‌های حامل از میکروفیلتراسیون استفاده می‌شود [۲،۷].

۳- باکتریوسین‌ها [6]

باکتریوسین‌ها پپتیدهایی هستند که به صورت ریبوزومی سنتز می‌شوند و از رشد باکتری‌های عامل فساد در غذا جلوگیری می‌کنند و روشی مناسب برای افزایش ماندگاری مواد غذایی است [۱]. باکتریوسین‌ها ترکیبات ضد میکروبی هستند که توسط گونه‌های مختلف باکتریایی به ویژه باکتری‌های اسید لاکتیک به صورت ریبوزومی سنتز می‌شوند [۱۸]. برخی از باکتری‌های گرم مثبت و منفی در زمان رشد خود موادی با ساختار پروتئینی و دارای فعالیت ضد میکروبی به نام باکتریوسین تولید می‌کنند که به عنوان نگهدارنده طبیعی در صنایع غذایی کاربرد دارند. علیرغم تصور بر آنتی بیوتیک بودن باکتریوسین‌ها به علت فعالیت و تاثیر بر سویه‌های

3-Nanofiltration
4- Reverse osmosis
5- Electrodialysis
6 -Bacteriocins

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

نزدیک به خود و به علت سنتز و تولید به صورت ریبوزومی نمی‌توان آن‌ها را در زمره آنتی‌بیوتیک‌ها دانست. باکتریوسین‌ها وزن ملکولی پایینی دارند که به ندرت به بیش از ۱۰ کیلو دالتون می‌رسند و به راحتی توسط آنزیم‌های پروتئولیتیک تجزیه می‌شوند. به علت داشتن مقدار زیادی باقی‌مانده لیزین و آرژنیل جزء ملکول‌های کاتیونی و آمفی پاتیک هستند. آن‌ها در ترکیب با محلول‌های آبی بدون ساختار هستند اما با قرار گیری در مجاورت حلال‌هایی مانند تریوفلورواتانول که ساختار را تقویت می‌کنند، ساختار مارپیچی تشکیل می‌دهند [۱۹]. تولید باکتریوسین‌ها آسان است و عموما بی‌خطر هستند [۲۰]. از روش‌های جدا سازی آن می‌توان به کروماتوگرافی و جدا سازی دو فاز آبی[۷] (ATPS) اشاره نمود [۲۱]. بیشتر باکتریوسین‌های اسید لاکتیک دارای پپتیدهای کاتیونی کوچک، مقاوم در برابر حرارت، نفوذ پذیر غشایی و در pH پائین‌تر فعالیت ضد باکتری بیشتری دارند. بعضی از باکتریوسین‌ها ویژگی جذب کمی دارند اما دیواره سلولی باکتری گرم مثبت اجازه عبور ملکول‌های نسبتا بزرگ را می‌دهد. باکتریوسین‌ها به سه گروه تقسیم می‌شوند که شامل لانتی‌بیوتیک‌ها، باکتریوسین‌های کوچک مقاوم به حرارت و باکتریوسین‌های بزرگ و حساس به حرارت هستند که لانتی‌بیوتیک‌ها دسته‌ای از مواد پپتیدی که حاوی اسیدآمینه چند حلقه‌ای تیواتر لانتیونین با متیل لانتیونین و اسیدهای آمینه غیر اشباع دهیدروآلانین و اسید۲ آمینو ایزوبوتیریک هستند. لانتی‌بیوتیک بر اساس شباهت ساختاری دو نوع هستند که A از ملکول‌های نسبتا کشیده تشکیل شده و پیچدار، با بار مثبت، آمفی پاتیک، انعطاف پذیر و با جرم ملکولی ۲ تا ٤ کیلو دالتون است که از طریق تشکیل منافذ و غشا عمل می‌کنند. نوع B دارای ساختار کروی و با واکنش‌های آنزیمی سلولی تداخل دارند. جرم ملکولی آن‌ها ۲ تا ۳ کیلو دالتون است و با بار منفی خالص یا فاقد بار خالص است [۱۲،۱۸،۱۹]. از معایب این روش می‌توان به هزینه جداسازی و خالص سازی بالا، فعالیت محدود، قابل تجزیه با آنزیم و پایداری و حلالیت کم اشاره نمود. از مهمترین آن‌ها می‌توان به نایسین و پدیوسین اشاره نمود [۱].

٤-میکروکپسولاسیون[۸]

میکرو کپسولاسیون یکی از تکنیک‌های حفظ کیفیت مواد حساس و روشی مناسب برای تولید موادی با حفظ خواص مغذی و ارزش‌های آن است [۲۲]. امروزه از این روش پردازش بسیار استفاده می‌شود و به ماده فعالی که کپسوله می‌شود هسته یا فاز داخلی و مواد پوشاننده را پوسته یا غشا می‌گویند که برای حفاظت از ترکیبات حساس و اطمینان از تحویل ایمن آن‌ها استفاده می‌شود [۲۳]. میکروکپسولاسیون یک روش موثر برای ترکیبت زیست فعال حساس و حفظ آن‌ها در کپسول‌های کوچک برای افزایش پایداری و حفظ خواص مورفولوژیکی است [۲٤]. از این روش برای بهبود انتقال ترکیبات زیست فعال، حفاظت و کنترل رها سازی ترکیبات غذایی استفاده می‌شود. همچنین برای انتقال بهتر ترکیباتی مانند ویتامین‌ها، اسیدهای چرب، آنتی‌اکسیدان‌ها، فیبرها، غذا داروها، باکتری‌های پروبیوتیک، طعم دهنده‌ها، رنگ‌ها، آنزیم‌ها، مواد مغذی و مواد معدنی موجود در ماده غذایی استفاده می‌شود که عموما در برابر دما، اسید معده،pH و نور حساس می‌باشند که با این روش می‌توان از آن‌ها

7 -Aqueous two-phase separation

8 -Microencapsulation

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

محافظت نمود [۲۵،۲۶،۲۷]. از متداولترین روش‌های بهبود ارزش غذایی افزودن مواد فعالی مانند باکتری‌های پروبیوتیک، ویتامین B، اسید لینولئیک و پروتئین‌ها است که در مواجهه با گرما، اسید، اکسیژن و نور بی ثبات هستند که با میکروکپسولاسیون می‌توان از آن‌ها محافظت نمود [۲۸]. این روش کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی و بیوتکنولوژی دارد که توسط آن می‌توان ذرات و قطرت جامد، مایع و گاز را در غشایی به دام انداخت و با سرعت کنترل شده و در زمان مشخص رها کرد [۲۹،۳۰]. ویتامین‌های محلول در آب و محلول در چربی را می‌توان با استفاده از فناوری‌های مختلف کپسوله کرد. از مهم‌ترین علل کپسوله کردن ویتامین‌ها افزایش عمر مفید و محافظت در مقابل اکسیداسیون است [۳۱]. از این روش برای توسعه محصولات غذایی کاربردی، کاهش میزان چربی و بهبود خواص حسی در مواد غذایی مختلفی مانند گوشت، لبنیات، آبمیوه و غلات استفاده می‌شود [۲۶]. این روش برای به حداقل رساندن تلفات مواد حساس و موادی که پایداری کمی نسبت به تخریب، حرارت، انتشار یا نشت مواد هسته دارند، مناسب است. در محصولات لبنی که مستعد اکسیداسیون هستند ریزپوشانی می‌تواند موثر باشد یا برای پوشاندن طعم نامطلوب و عطر برخی از ترکیبات قبل از ترکیب آنها در هر غذایی استفاده می‌شود [۳۲]. موادی که قرار است کپسوله شوند جامد یا مایع بوده و شامل موادی مانند دارو یا ماده فعال افزودنی مانند رقیق کننده و تثبیت کننده است و مواد پوشش دهنده ماده‌ای بی اثر است که روی هسته را با ضخامت مورد نظر و سازگار با مواد اصلی می‌پوشاند که می‌تواند انعطاف پذیر، شکننده، سخت و یا نازک باشد [۳۳]. مواد پوشش در ریزپوشانی باید به گونه ای باشد که بتواند یک لایه منسجم بر روی هسته ایجاد کند و به آن انسجام دهد. همچنین باید غیر قابل نفوذ، واکنشی با هسته نداشته باشد، طعم خاصی ایجاد نکند و قابلیت آزاد سازی هسته در یک نقطه خاص و زمان خاص را داشته باشد که باعث محافظت مواد هسته شوند [۲۲،۳۵]. استفاده از نانوکپسول‌ها منجر به بهبود ویژگی حسی و شفافیت بیشتر می‌شود و در صنعت نوشیدنی بسیار کاربرد دارد [۳٤]. مواد تشکیل دهنده دیواره می‌تواند ۱. موم‌ها و لیپیدها که شامل موم زنبور عسل، موم‌های کندلیله، کارنوبا، دی‌استئارات گلیسرول، فسفولیپیدها، اسید استئاریک ۲.پروتئین‌ها که شامل ژلاتین، پروتئین آب پنیر، زئین، پروتئین سویا، گلوتن، آلبومین ۳.کربوهیدرات‌ها که انواع نشاسته، مالتودکسترین، کیتوزان، ساکارز، گلوکز، اتیل سلولز، استات سلولز، کربوکسی متیل سلولز، متی سلولز، انواع آلژینات، کاراگینان یا ٤.پیلمرها که شامل پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل استات، پلی‌استایرن، پلی‌بوتادین باشد [۳۳]. از مهمترین فواید ریزپوشانی می‌توان به تثبیت آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌ها، محافظت در برابر اشعه ماورا بنفش، حرارت، اکسیداسیون، اسیدها، بازها، بهبود ماندگاری به دلیل پیشگیری واکنش های تخریبی، پوشش طعم و بو، بهبود پردازش، کاهش هدر دادن مواد تشکیل دهنده، استفاده از مایعات به صورت جامد، کاهش واکنش هسته در ارتباط با عوامل محیطی (نور، اکسیژن و آب) ، افزایش تقاضا برای غذاهای مغذی، افزایش بازاریابی با بهبود جنبه بصری و توانایی مخلوط کردن ترکیبات ناهنجار اشاره نمود[۳۳،۳۵]. ذرات میکروکپسول‌ها بسته به خواص فیزیکی و شیمیایی هسته، ترکیبات دیواره و روش کپسولاسیون مورد استفاده می‌توانند به شکل کره ساده، کره با پوشش با ضخامت یکنواخت، هسته با شکل بی قاعده، کپسول‌های چند دیواره‌ای و چندین هسته با کپسول یکسان باشند[۲۳]. برای تشکیل کپسول‌ها از تکنیک‌های مختلفی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

استفاده می‌شود که می‌توان به خشک کردن با اسپری، سرمایش اسپری یا خنک کننده اسپری، اکستروژن پوشش، پوشش بستر سیال، به دام افتادن لیپوزوم و اکستروژن اشاره نمود [۱۰]. از مورد استفاده ترین روش می‌توان به خشک‌کن پاششی اشاره نمود که به دلیل هزینه پایین در میکروکپسوله کردن مواد غذیی و تولید میکروکپسول‌های کارآمد و باکیفیت، یکی از رایج‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌ها است. این روش مبتنی بر کاهش فعالیت آب، کاهش رشد میکروبی محصول، افزایش کیفیت محصول، کاهش هزینه ذخیره سازی و حمل و نقل و باعث محافظت از محصول می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به مقرون به صرفه بودن، استفاده برای عوامل کپسوله کننده مختلف، انعطاف پذیری و قابلیت استفاده از آن برای مواد غذایی مختلف را اشاره نمود [۲۳]. از معایب این روش می‌توان به تخریب بعضی مواد به دلیل پایداری حرارتی، عدم کنترل اندازه ذرات و نیازمند بودن این روش به فرایندهای جانبی مانند توده‌ای کردن اشاره کرد [۳٦]. این روش به دلیل تولید بالا و هزینه عملیاتی پایینی که دارد در صنایع مختلفی مانند صنایع غذایی، دارویی و شیمیایی به طور گسترده کاربرد دارد. این روش برای کپسوله کردن عطر، رنگ، روغن‌ها، ملکول‌های غذایی فعال و پروبیوتیک‌ها بسیار کاربرد دارد. در سال‌های اخیر مصرف کنندگان به غذاهای طبیعی روی آورده‌اند. استفاده از رنگدانه‌های طبیعی به دلیل اینکه رنگ یکی از محبوب‌ترین شاخص‌های کیفیت و مقبولیت مواد غذایی است و مصرف کننده با مشاهده و ارزیابی محصول آن را خریداری می‌کند بسیار مورد توجه است. کاروتنوئیدها رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز هستندکه در میوه، سبزی، قارچ و جلبک یافت می‌شوند و دارای عملکرد سلامتی بسیاری هستند. کاروتنوئیدها ناپایدارند و مقاومت کمی نسبت به گرما، نور و pH دارند از این رو نیاز به محافظت دارند که می‌توان با میکروکپسوله کردن به روش خشک‌کن پاششی از آن محافظت نمود [۳۷]. در این روش مواد هسته و دیواره اتمیزه می‌شوند و در داخل محفظه با هوای داغ به غبار تبدیل می‌شوند [۲۳]. در روش خشک‌کن پاششی در یک محفظه گرم ذرات هسته در محلول پلیمری پراکنده می‌شوند و انحلال اولیه و امولسیون سازی پراکنده ترکیب هسته در محلول‌های مواد حامل صورت می‌گیرد که در یک محفظه داغ اسپری می شوند سپس با تبخیر حلال و پوشش مواد دیواره اطراف هسته منجر به تشکیل میکروکپسول‌هایی از نوع چند هسته‌ای یا ماتریس می‌شود. بنابراین این تکنیک شامل اتمیزه کردن یک امولسیون که حامل هسته و بازیابی میکروکپسول‌های خشک شده است می‌باشد [۹]. از تکنیک‌های مورد استفاده دیگر برای کپسولاسیون می‌توان به امولسیون سازی اشاره نمود که در این روش یک فاز ناپیوسته به فاز پیوسته اضافه می‌شود. برای ایجاد امولسیون آب در روغن همگن سازی به کمک یک سورفاکتانت انجام می‌گردد و دانه‌های ژل نامحلول تشکیل شده در فاز روغن، توسط فیلتراسیون یا سانتریفیوژ از محلول مایع جدا می‌شوند [۳٦و ۳۸]. همانطور که گفته شد یکی از کاربردهای میکروکپسولاسیون برای محافظت از پروبیوتیک‌هاست که میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که با مصرف کافی آن‌ها می‌توان در درمان اختلالات عملکرد روده مانند عدم تحمل لاکتوز، یبوست و پیشگیری از سرطان قدم بزرگی برداشت [۳۹،٤۰]. همچنین پروبیوتیک می‌تواند به عنوان آنتی‌بیوتیک عمل کنند و در کنترل عفونت‌ها، جلوگیری از اختلالات آلرژیک، بیماری‌های التهابی و تنفسی را درمان کند [٤۱]. از مهمترین میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی می‌توان به باکتری‌های اسید

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

لاکتیک (LAB) [9] اشاره نمود که محصول نهایی تخمیر قند است و میله‌ای شکل، گرم مثبت، غیر اسپور ساز، فاقد سیتوکروم، غیر هوازی و مقاوم به هوا و تخمیر کننده هستند. از مهمترین آن‌ها می‌توان به لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس، لاکتوباسیلوس آمیلوروس، لاکتوباسیلوس کازئی، لاکتوباسیلوس دلبروکی، لاکتوباسیلوس رامنوسوس و لاکتوباسیلوس کریسپاتوس اشاره نمود. از دیگر میکروارگانیسم‌های رایج پروبیوتیک می‌توان به بیفیدوباکتری‌ها اشاره نمود که گرم مثبت، میله‌ای شکل و بی‌هوازی هستند [٤٢]. میکروکپسولاسیون یک فناوری مهم و جدید برای حفظ زنده‌مانی در طول ذخیره سازی، مصرف مواد غذایی و برای توسعه حامل‌های جدید مواد غذایی است و پتانسیل آن برای محافظت از پروبیوتیک‌ها در دستگاه گوارش اثبات شده است [٤٣]. به دلیل حساسیت پروبیوتیک‌ها به pH، اکسیژن، دما و عوامل فیزیکی، برای زنده مانی و بهبود عملکرد می‌توان از روش‌هایی مانند میکروکپسولاسیون و نانوذرات استفاده نمود تا بتوانند از آن‌ها در مقابل شرایط سخت دستگاه گوارش و مدت زمان نگهداری محصول محافظت نمود و از آسیب به پروبیوتیک جلوگیری نمود [٤٤،٤٥]. در پژوهشی که افشاری و همکاران(١٤٠٢) بر روی بیاتی و خصوصیات ارگانولپتیکی نان باگت انجام دادند عنوان کردند نانوکپسول‌های حاوی عصاره هسته خرما با غلظت ٤٠٪ و به میزان ١٪ باعث افزایش رطوبت، افزایش حجم، افزایش ترکیبات فنلی و کاهش بیاتی گردید [١٢]. شعاعی و همکاران (٢٠٢٢) به بررسی زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم کپسوله شده با آلژینات سدیم و صمغ عربی در مربای گل رز و نگهداری آن در مدت زمان ٩٠ روز پرداختند. نتایج نشان داد در شرایط شبیه سازی شده گوارشی بقای باکتری‌های پروبیوتیک افزایش داشت و در تمامی نمونه‌های حاوی کپسول، تعداد باکتری‌ها بیشتر از حد مجاز (10^6 CFU/g) مشاهده شد [٤٦].

٥-فراصوت[10]

از روش‌های دیگر پایدار نوظهور که سرعت فرایند و کارایی را افزایش می‌دهد و باعث حفظ کیفیت و ایمنی محصول می‌شود فراصوت است. این فناوری پایدار، سریع، غیر حرارتی، کم هزینه و غیر مخرب، با حفظ کیفیت، حفظ مواد فرار، افزایش ماندگاری، بهبود کیفیت حسی و ظاهری است و مزایای بسیاری برای تولید کننده و مصرف کننده دارد [١١،٤٧،٤٨،٤٩،٥٠]. به امواجی که بیش از محدوده‌ی قابل شنیدن در انسان باشد را اولترسوند یا فراصوت گویند که شامل اموج بیشتر از ٢٠ کیلوهرتز می‌شوند. برای کارایی بیشتر می‌توان این امواج را با دما (صوت حرارتی) و یا با فشار (مانوسونیکسیون) ترکیب کرد. این اموج بر اساس شدت و فرکانس به دو دسته اولتراسوند با شدت پائین و با شدت بالا تقسیم می‌شوند. امواج با شدت کم یا فرکانس بالا به امواجی با فرکانس ١٠٠ کیلوهرتز و شدت کمتر از١ W/cm^2 است [٥١]. از این روش می‌توان در فرایندهای تخمیر، امولسیون سازی، استخراج، سینتیک واکنش‌ها و امولسیون سازی استفاده کرد. استخراج با اولتراسوند بر اساس اصل کاویتاسیون و با آسیب به دیواره سلولی گیاه و

9 -Lactic acid bacteria

10 -Ultrasound

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

آزاد سازی ترکیبات فعال زیستی صورت می‌گیرد [٦،٥٢]. مکانیسم عمل در امواج فراصوت بر دو حالت ایجاد حفره و تشکیل رادیکال آزاد است. هنگامی که امواج فراصوت از طریق محیط نوسان می‌کنند انبساط و تراکم زیادی را در محیط ایجاد و با افزایش فاطله بین ملکول‌ها و غلبه بر چسبندگی، مایع شکسته و حفره ایجاد می‌شود و در تجزیه صوتی، رادیکال‌های آزاد با واکنش پذیری بالا تولید می‌شوند. امواج اولتراسوند با شدت بالا و فرکانس پائین دارای فرکانس بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز و شدت آن‌ها در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰۰ وات بر سانتی متر مربع است و می‌تواند بر خواص فیزیکی، بیوشیمیایی و مکانیکی محصولات اثر گذارند. کاربرد آن در کف سازی، امولسیون سازی، خواص عملکردی پروتئین، کریستالیزاسیون صوتی، اصلاح ویژگی بافت در محصولات چرب و تنظیم ریز ساختارها است. همچنین از این روش در انجماد، خشک کردن، نرم کردن، ذوب، پختن، استریل کردن، ضد عفونی و غلظت استفاده می‌شود. در اولتراسوند با فشار بالا با القای کاویتاسیون صوتی و به دلیل تولید، رشد و ترکیدن حباب‌ها انرژی آزاد می‌شود [٥١،٥٣،٥٤]. با کمک امواج فراصوت امکان تسریع انجماد با افزایش هسته‌زایی یخ و بهبود سرعت انتقال جرم و حرارت فراهم می‌شود. استفاده از امواج فراصوت در انجماد موجب حفظ ریزساختار، کاهش افت قطره، حفظ ویژگی‌های کیفی ، کاهش تغییرات رنگ و بافت مواد غذایی می‌گردد. در فرآیند ذوب، اثرات فیزیکی ناشی از امواج فراصوت، انرژی صوتی را به گرما تبدیل می‌کند و موجب تشکیل جت‌های پرسرعت می‌گردد. این روش سرعت انتقال حرارت ذوب شدن را افزایش می‌دهد و از فساد ناشی از میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند و موجب حفظ ویژگی‌های ماده غذایی می‌گردد [٥٥]. پژوهش انجام شده بر روی امواج فراصوت در ذرت نشان داد، استفاده از این امواج موجب حفظ کیفیت محصول و تخریب آفلاتوکسین B1[11] (AFB1) و زیرالنون [12] (ZEA) می‌گردد [٥٦]. در پژهشی Hernández-Falcón و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثر امواج فراصوت بر میزان آفلاتوکسین M1، خواص فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی شیر پرداختند. آزمایش‌ها در روزهای ۱، ۷ و ١٤ و امواج با سرعت ۲۰ کیلو هرتز به مدت ۱۰ یا ۱۵ دقیقه و دامنه ۹۵ ٪ بر روی شیر هموژن و غیر هموژن انجام شد. نتایج نشان داد امواج فراصوت بدون تغییر در رنگ شیر، موجب حفظ ترکیبات فنلی، حفظ کیفیت فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی می‌گردد و می‌تواند میزان آفلاتوکسین را در شیر کاهش دهد. کمترین میزان AFM1 در شیر غیر هموژن ، تیمار شده به مدت ۱۰ دقیقه و یک روز پس از ذخیره سازی با ۰/۰۵ pg AFM1E/mL ± ۰/۱۵ مشاهده شد [٥٧].

٦-پخت اکستروژن

اکستروژن از کلمه لاتین Extrudere که به معنی هل دادن یا بیرون راندن است به وجود آمده است. امروزه حبوبات به دلیل اینکه منبع مهمی از غذاهای بدون گلوتن هستند و برای رژیم غذایی سالم با منبع پروتئین، فیبر، مواد معدنی و ویتامین بسیار مورد توجه است که می‌توان با فراوری درست و ایجاد تنوع و اشکال گوناگون جایگاهشان را در سبد غذایی خانوارها افزایش داد. از طرف دیگر مطالعات نشان داده که مصرف بالای گوشت و فراورده‌های گوشتی باعث ایجاد مشکلاتی مانند دیابت نوع دوم، افزایش فشار خون، چاقی و بیماری قلبی عروقی می‌گردد که با مصرف حبوبات بیشتر به

11 -Aflatoxin B1

12 -Zearalenone

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

عنوان ماده غذایی با مزایای تغذیه‌ای و سازگار با محیط زیست می‌توان از بروز بیماری‌ها جلوگیری نمود [۱۳،۵٦].
اکستروژن یک سیستم پردازش است که در آن از یک یا مجموعه‌ای از پیچ‌ها برای ایجاد فشار بر روی مواد غذایی و فرستادن آن‌ها به داخل دهانه کوچکی استفاده می‌شود. هنگامی که ماده غذایی با فشار وارد اکسترودر می‌گردد، توسط فشار بالا، برش بالا و دمای بالا پخته می‌شود و در هنگام خروج اغلب به دلیل آزاد شدن فشار و تبدیل شدن آب به بخار پف می‌کنند. به دلیل پیوسته بودن این فرایند در زمان کوتاهی انجام می‌شود و از متداول‌ترین اکسترودها می‌توان به سیستم تک پیچ و دو مارپیچ که دارای انعطاف پذیری بیشتری است اشاره نمود [۵۷]. در این روش با استفاده از فرایندهای فیزیکی و شیمیایی و با بیرون راندن مواد از داخل دهانه کوچک دستگاه برای شکل دادن به محصولات صورت می‌گیرد. با استفاده از برش مکانیکی، حرارت و فشار مواد غذایی که دارای رطوبت، پروتئین و نشاسته‌ای هستند را می‌توان پردازش نمود. پخت کستروژن روش HTST می‌باشد که با استفاده از دمای بالا، در مدت زمان کوتاه صورت می‌گیرد و بیشتر برای غلات صبحانه، تنقلات مبتنی بر غلات، ماکارونی، فیبر رژیمی، غذای کودک، آردهای از پیش پخته شده و غذای حیوانات خانگی استفاده می‌شود. این روش به دو صورت اکستروژن کم فشار که در دمای زیر ۱۰۰ درجه سانتی گراد و تحت فشار بالا و دمای حدود ۲۰۰ درجه سنتی گراد می‌باشد. غلات و نشاسته طی پخت اکستروژن دچار تغییرات فیزیکی و شیمیایی می‌شوند که میزان تخریب ملکولی به پارامترهایی چون دما، رطوبت، سرعت و ترکیب ماده غذایی بستگی دارد. در محصولاتی که بر پایه غلات هستند درجه فراوری نشاسته برای حفظ کیفیت، طعم، بافت، ظاهر و قابلیت هضم بسیار حائز اهمیت است. از مهمترین فواید این روش می‌توان به کیفیت بالای محصول، متنوع بودن شکل محصول، تولید محصولات جدید، غیر فعال شدن عوامل ضد تغذیه‌ای، چند منظوره بودن، هزینه پائین، بهره وری بالا و به سازگاری آن با محیط زیست اشاره نمود [۵۸،۵۹،٦۰،٦۱]. امروزه به دلیل اینکه در پخت اکستروژن از کاربرد همزمان عملیات واحد که شامل مخلوط شدن، ورز دادن، پختن و شکل دادن با استفاده از دمای بالا در مدت زمان کوتاه و برش بالاست برای استفاده بهینه از ضایعات مواد غذایی برای مدیریت مواد خام و جلوگیری از هدر رفت مواد و همچنین در راستای کمک به محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مهمترین مزیت‌های اکستروژن به حداقل رساندن تلفات تغذیه‌ای است که به دلیل زمان کوتاه مورد استفاده در این روش است. در روش اکستروژن با دمای بالا ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند فیتات‌ها و مهارکننده‌هایی مثل تریپسین و آنزیم‌هایی مانند لیپاز و لیپاکسیدازها از بین می‌روند [٦۲]. در کنار فوایدی مانند ژلاتینه شدن نشاسته، از بین رفتن عوامل ضد تغذیه‌ای، افزایش فیبر محلول، کاهش یافتن اکسیداسیون لیپیدها و میکروارگانیسم‌های آلوده کننده، حفظ رنگ و طعم محصولات غذایی، این روش دارای معایبی چون واکنش میلارد که باعث کاهش ارزش غذایی پروتئین می‌گردد و همچنین از بین رفتن ویتامین‌های حساس به حرارت می‌باشد [٦۳].

۷-پرتودهی[۱۳]

13 -Irradiation

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

پرتودهی به عنوان یک روش جایگزین برای غیر فعال کردن میکروب‌ها و افزایش عمر مفید محصول کاربرد دارد. پرتودهی از پردازش مواد غذایی با استفاده از اعمال امواج الکترومغناطیسی است و توانایی از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را به دلیل آسیب به DNA آن‌ها را دارد. پرتودهی را می‌توان بر روی طیف گستره‌ای از مواد غذایی خشک مانند ادویه و چاشنی‌ها، مواد غذایی با رطوبت بالا مانند گوشت و مرغ و همچنین مواد غذایی تازه، یخچالی و منجمد استفاده نمود. میوه و سبزیجات به دلیل غنی بودن مواد مغذی ضروری برای سلامت بسیار مفید هستند و باعث کاهش بیماری‌های مزمن مانند چاقی و دیابت می‌شوند که می‌توان با این روش بدون استفاده از مواد شیمیایی و حرارت آن‌ها را ضدعفونی کرد. در پرتودهی مواد غذایی در معرض دوز خاصی از تابش‌های غیر یونیزاسیون مانند UV، نور مرئی، مادون قرمز و امواج رادیویی یا تشعشعات یونیزان مانند پرتوهای گاما، ایکس و الکترون قرار می‌گیرند. واحد دوز مصرف شده، گری(GY) با کیلو گری(KGY) است و به مقدار انرژی جذب شده در واحد جرم محصولات غذایی گفته می‌شود. بر اساس دوز مورد استفاده، نوع ماده غذایی و هدف از انجام این روش، پرتودهی را به سه نوع رادیسیداسیون، رادوریزاسیون و راداپرتیزاسیون تقسیم می‌کنند. از مهمترین مزایای این روش می‌توان به غیر حرارتی بودن، حفظ ارزش تغذیه‌ای، تاخیر در رسیدن میوه‌جات، توقف جوانه‌زنی محصولات کشاورزی مانند سیب‌زمینی و پیاز، عدم تولید پسماند، از بین بردن میکروارگانیسم‌ها، به تاخیر انداختن رشد قارچ، قابلیت استفاده برای مواد تازه، منجمد و بسته بندی شده و همچنین نابودی حشرات و آفات در محصولات کشاورزی را نام برد. این روش باعث ایجاد معایبی چون نرم شدن بعضی میوه و سبزیجات، اکسیداسیون و تند شدن در چربی‌ها، ایجاد طعم نامطلوب در شیر به علت حساسیت بالا به اکسیداسیون و ایجاد طعم و رنگ نامطلوب در گوشت می‌شود. همچنین این روش به تنهایی توانایی جلوگیری از فعالیت آنزیمی را ندارد و باید قبل از پرتودهی بلانچینگ انجام گیرد [٥،١٥،١٧،٦٤].

۸-نتیجه گیری

توجه روز افزون مصرف کنندگان مواد غذایی به استفاده از غذای سالم و مغذی باعث شده که تولید کنندگان در صدد جایگزین کردن روش‌های جدیدتر می‌باشند. مزیت روش‌های جدید که عموما در دمای پائین انجام می‌گیرند حفظ مواد مغذی و ویتامین‌ها، حفظ رنگ و طعم می‌باشد. این روش‌ها علاوه بر سالم سازی محصولات و عاری از میکروب نمودن آن‌ها، دارای مزایای فوق نیز می‌باشد که عموما در روش‌های قدیمی‌تر به علت دمای فراوری بالا دچار افت می‌گردد، لذا توجه تولید کنندگان به استفاده فراوری‌های جدید و توسعه تجهیزات مرتبط با آن‌ها در راستای سلامت عمومی جامعه به خوبی درک می‌گردد. با توجه به مزیت‌های فراوان روش‌های نوین در کنار هزینه پایین‌تر و سازگاری با محیط زیست این روش‌ها، توسعه و تحقیقات بیشتر به منظور جایگزینی این روش‌ها با روش‌های مرسوم حائز اهمیت است.

۹-منابع

[1] Liu, G., Nie, R., Liu, Y., & Mehmood, A. (2022). Combined antimicrobial effect of bacteriocins with

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

other hurdles of physicochemic and microbiome to prolong shelf life of food: A review. *Science of the Total Environment*, *825*, 154058.

[2] Wang, L. K., Shammas, N. K., Cheryan, M., Zheng, Y. M., & Zou, S. W. (2011). Treatment of food industry foods and wastes by membrane filtration. *Membrane and Desalination Technologies*, 237-269.

[3] Poshadri, A., & Aparna, K. (2010). Microencapsulation technology: a review. *Journal of Research ANGRAU*, *38*(1), 86-102.

[4] Dehnad, D., Emadzadeh, B., Ghorani, B., & Rajabzadeh, G. (2023). High hydrostatic pressure (HHP) as a green technology opens up a new possibility for the fabrication of electrospun nanofibers: Part I-improvement of soy protein isolate properties by HHP. *Food Hydrocolloids*, *140*, 108659.

[5] Bisht, B., Bhatnagar, P., Gururani, P., Kumar, V., Tomar, M. S., Sinhmar, R., ... & Kumar, S. (2021). Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables–a review. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 372-385.

[6] Singla, M., & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *73*, 105506.

[7] Lu, C., Bao, Y., & Huang, J. Y. (2021). Fouling in membrane filtration for juice processing. *Current Opinion in Food Science*, *42*, 76-85.

[8] Charcosset, C. (2021). Classical and recent applications of membrane processes in the food industry. *Food Engineering Reviews*, *13*(2), 322-343.

[9] Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., ... & Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a noble technique for the application of bioactive compounds in the food industry: A comprehensive review. *Applied Sciences*, *12*(3), 1424.

[10] Furuta, T., & Neoh, T. L. (2021). Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Drying Technology*, *39*(12), 1800-1831.

[11] Ghadiri Amrei S M H, ahmadi M, Shahidi S, Ariaii P, Golestan L. Study of the physicochemical, microbial and sensory properties of hamburgers enriched with turmeric and omega-3 loaded nanoliposomes. FSCT 2023; 20 (134) :71-86

[12] Afshari K, Javanmard Dakheli M, Ramezan Y, Bassiri A, Ahmadi Chenarbon H. (2024). Effect of microencapsulated date pit (Phoenix dactylifera L.) extract on staling and organoleptic properties of Baguette bread. FSCT, 20 (144) :227-241

[13] Cotacallapa-Sucapuca, M., Vega, E. N., Maieves, H. A., Berrios, J. D. J., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2021). Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption. A review. *Foods*, *10*(5), 1096.

[14] Joshua Ajibola, O. (2020). An overview of irradiation as a food preservation technique. *Novel Research in Microbiology Journal*, *4*(3), 779-789.

[15] Farkas, J., & Mohácsi-Farkas, C. (2011). History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, *22*(2-3), 121-126.

[16] Indiarto, R., Pratama, A. W., Sari, T. I., & Theodora, H. C. (2020). Food irradiation technology: A review of the uses and their capabilities. *Int. J. Eng. Trends Technol*, *68*(12), 91-98.

[17] Indiarto, R., & Qonit, M. A. H. (2020). A review of irradiation technologies on food and agricultural products. *Int. J. Sci. Technol. Res*, *9*(1), 4411-4414.

[18] Saeed, M., Khan, W. A., Shabbir, M. A., Khan, M. I., Randhawa, M. A., & Yasmin, I. (2014). Bacteriocins as a natural antimicrobial agent in food preservation: A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, *24*(4), 244-255.

[19] Zacharof, M. P., & Lovitt, R. W. (2012). Bacteriocins produced by lactic acid bacteria a review article. *Apcbee Procedia*, *2*, 50-56.

[20] Todorov, S. D., Popov, I., Weeks, R., & Chikindas, M. L. (2022). Use of bacteriocins and bacteriocinogenic beneficial organisms in food products: benefits, challenges, concerns. *Foods*, *11*(19), 3145.

[21] Yap, P. G., Lai, Z. W., & Tan, J. S. (2022). Bacteriocins from lactic acid bacteria: purification strategies and applications in food and medical

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

industries: a review. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, *11*(1), 1-18.

[22] Jyothi, N. V. N., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., & Srawan, G. Y. (2010). Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of microencapsulation*, *27*(3), 187-197.

[23] Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, *2*(4), 426-442.

[24] Huang, K., Yuan, Y., & Baojun, X. (2023). A critical review on the microencapsulation of bioactive compounds and their application. *Food Reviews International*, *39*(5), 2594-2634.

[25] Saberi M, Saremnezhad S, Soltani M, Faraji A. (2023). Evaluation of the quality properties of grape pomace and flaxseed oil microcapsules stabilized with different ratios of maltodextrin and gum tragacanth. FSCT, 20 (139) :201-219

[26] Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2022). The role of microencapsulation in food application. *Molecules*, *27*(5), 1499.

[27] Trilokia, M., Bandral, J. D., Chib, A., & Choudhary, P. (2022). Microencapsulation for food: An overview. *Pharma Innov. J*, *11*, 1174-1180.

[28] Ye, Q., Georges, N., & Selomulya, C. (2018). Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*, *78*, 167-179.

[29] Emami S, Ahmadi M, Roozbeh Nasiraie L, Shahidi S, Jafarizadeh-Malmiri H. (2023). The effect of free and encapsulated essential oil and extract of cinnamon with nanoliposome on Listeria monocytogenes and Escherichia coli inoculated into ground beef. FSCT, 19 (133) :1-16

[30] Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current opinion in biotechnology*, *23*(2), 182-186.

[31] Schrooyen, P. M., van der Meer, R., & De Kruif, C. G. (2001). Microencapsulation: its application in nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society*, *60*(4), 475-479.

[32] Kwak, H. S., Mijan, M. A., & Ganesan, P. (2014). Application of nanomaterials, nano-and microencapsulation to milk and dairy products. *Nano-and Microencapsulation for Foods*, 273-300.

[33] Jyothi, S. S., Seethadevi, A., Prabha, K. S., Muthuprasanna, P., & Pavitra, P. (2012). Microencapsulation: a review. *Int. J. Pharm. Biol. Sci*, *3*(2), 509-531.

[34] Gruskiene, R., Bockuviene, A. and Sereikaite, J., 2021. Microencapsulation of bioactive ingredients for their delivery into fermented milk products: A review. *Molecules*, *26*(15), p.4601.

[35] Bhosale, S., Desale, R. J., & Fulpagare, Y. G. (2020). Microencapsulation: applications in the different dairy products. *Int J Pharm Biomed Eng*, *6*, 7-11.

[36] BÜYÜKGÜMÜŞ, E., ÖZCAN, M., & BULCA, S. (2022). USE OF MICROENCAPSULATION AND NANOENCAPSULATION TECHNIQUES IN DAIRY TECHNOLOGY. *Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies*, *26*(2).

[37] Janiszewska-Turak, E. (2017). Carotenoids microencapsulation by spray drying method and supercritical micronization. *Food research international*, *99*, 891-901.

[38] Frakolaki, G., Giannou, V., Kekos, D., & Tzia, C. (2021). A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. Critical reviews in food science and nutrition, 61(9), 1515-1536.

[39] Das, A., Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2014). Microencapsulation of probiotic bacteria and its potential application in food technology. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, *7*(1), 47-53.

[40] Kailasapathy, K. (2002). Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications. *Current issues in intestinal microbiology*, *3*(2), 39-48.

[41] da Silva, S. Â. D., Batista, L. D. S. P., Diniz, D. S., Nascimento, S. S. D. C., Morais, N. S., de Assis, C. F., ... & de Sousa Júnior, F. C. (2023). Microencapsulation of Probiotics by Oil-in-Water Emulsification Technique Improves Cell Viability

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

under Different Storage Conditions. Foods, 12(2), 252.

[42] Anal, A. K., & Singh, H. (2007). Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends in food science & technology*, *18*(5), 240-251.

[43] De Prisco, A. and Mauriello, G., 2016. Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool. *Trends in food science & technology*, *48*, pp.27-39.

[44] Pech-Canul, A. D. L. C., Ortega, D., García-Triana, A., González-Silva, N., & Solis-Oviedo, R. L. (2020). A brief review of edible coating materials for the microencapsulation of probiotics. *Coatings*, *10*(3), 197.

[45] Sbehat, M., Mauriello, G., & Altamimi, M. (2022). Microencapsulation of probiotics for food functionalization: An update on literature reviews. *Microorganisms*, *10*(10), 1948.

[46] Shoaei, F., Heshmati, A., Mahjub, R., Garmakhany, A. D., & Taheri, M. (2022). The assessment of microencapsulated Lactobacillus plantarum survivability in rose petal jam and the changes in physicochemical, textural and sensorial characteristics of the product during storage. Scientific reports, 12(1), 6200.

[47] Ahmadi A, Shahidi S, Safari R, Motamedzadegan A, Ghorbani-HasanSaraei A. Comparison of antioxidant properties of chlorophyll extracted from alfalfa (Medicago sativa L.) using enzymatic and ultrasonic extraction methods. FSCT 2023; 20 (134) :99-108

[48] Xu, B., Azam, S. R., Feng, M., Wu, B., Yan, W., Zhou, C., & Ma, H. (2021). Application of multi-frequency power ultrasound in selected food processing using large-scale reactors: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *81*, 105855.

[49] Lauteri, C., Ferri, G., Piccinini, A., Pennisi, L., & Vergara, A. (2023). Ultrasound Technology as Inactivation Method for Foodborne Pathogens: A Review. *Foods*, *12*(6), 1212.

[50] Heydarian M, Heydarian A, Mortazavi S A. (2023). The effect of ultrasound treatment on the physicochemical, rheological and structural properties of starches extracted from different legumes. FSCT, 20 (137) :156-190

[51] Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, *70*, 105293.

[52] Inanloodoghouz M, Salehi F, Karami M, Gohari Ardabili A. The effect of ultrasound pretreatment at different powers and temperatures on the drying process of cornelian cherry. FSCT 2023; 20 (134) :109-118

[53] Chen, F., Zhang, M., & Yang, C. H. (2020). Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, *63*, 104953.

[54] Hosseiny, Morva. Khorshidpour, Bijan (1402). An overview of new food processing methods in the food industry. In the national conference of applied research on food security, food safety and health (pp. 102-97). Research Institute of Science and Food Industry, Mashhad, Mehr 1402.

[55] Qiu, L., Zhang, M., Chitrakar, B., & Bhandari, B. (2020). Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effect on process efficiency and product quality. *Ultrasonics sonochemistry*, *68*, 105230.

[56] Liu, Y., Liu, Y., Zhao, W., Li, M., Liu, N., & Bian, K. (2022). Reduction of aflatoxin B1 and zearalenone contents in corn using power ultrasound and its effects on corn quality. *Toxins*, *14*(12), 834.

[57] Hernández-Falcón, T. A., Monter-Arciniega, A., del Socorro Cruz-Cansino, N., Alanís-García, E., Rodríguez-Serrano, G. M., Castañeda-Ovando, A., ... & Jaimez-Ordaz, J. (2018). Effect of thermoultrasound on aflatoxin M1 levels, physicochemical and microbiological properties of milk during storage. *Ultrasonics sonochemistry*, *48*, 396-403.

[58] Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., & Summo, C. (2020). Use of legumes in extrusion cooking: A review. *Foods*, *9*(7), 958.

[59] Gu, B. J., Kowalski, R. J., & Ganjyal, G. M. (2017). Food extrusion processing: An overview.

[60] Shah, M. A., Mir, S. A., & Dar, B. N. (2021). Advances in extrusion technologies. *Food*

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

Formulation: Novel Ingredients and Processing Techniques, 147-163.

[61] Choton, S., Gupta, N., Bandral, J. D., Anjum, N., & Choudary, A. (2020). Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation Journal*, *9*(2), 162-168.

[62] Shelar, G. A., & Gaikwad, S. T. (2019). Extrusion in food processing: An overview. *The Pharma Innovation Journal*, *8*(2), 562-568.

[63] Navale, S. A., Swami, S. B., & Thakor, N. J. (2015). Extrusion cooking technology for foods: A review. *Journal of Ready to Eat Food*, *2*(3), 66-80.

[64] Dey, D., Richter, J. K., Ek, P., Gu, B. J., & Ganjyal, G. M. (2021). Utilization of food processing by-products in extrusion processing: A review. Frontiers in sustainable food systems, 4, 603751.

[65] Dendegh, T. A., Enefola, O. S., Akpapunam, S. O., Yelmi, B. M., & Abdullahi, M. J. B. (2022). Extrusion Technology and its Application in Food Processing-An Overview. *TROPICAL JOURNAL OF ENGINEERING, SCIENCE AND TECHNOLOGY*, *1*(2), 25-53.

[66] Arapcheska, M., Spasevska, H., & Ginovska, M. (2020). Effect of irradiation on food safety and quality. *Current Trends in Natural Sciences*, *9*(18), 100-106.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

An overview of the application of advanced non-thermal technologies in the food industry

Morva Hosseiny[1], Bijan Khorshidpour[2*]

1- PhD student, Department of Food Science and Technology, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2024/2/19

Accepted:2024/11/19

Keywords:

quality improvement,

food processing,

ultrasound,

microencapsulation,

non-thermal methods

DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27.

*Corresponding Author E-bijankhorshidpour@gmail.com

ABSTRACT

Food processing is one of the most important industries, and it has undergone many changes due to the increasing demand for high-quality food. Attention to preserving nutrients and not changing the texture and color of products indicates the need to use technologies with lower temperatures because older technologies usually use high temperatures. Today, the health effects of food are among the most important factors in the acceptability of a product. In newer processes, it is possible to preserve all kinds of vitamins and the quality and color of the final product with less heat. Among these processes, we can mention membrane filtration, bacteriocins, microencapsulation, ultrasound, extrusion cooking, and irradiation. In addition to maintaining the quality and nutrients of the product, the above methods are also cost-effective and environmentally friendly, which clearly shows the need to pay more attention to them to maintain health, along with economic and environmental issues. Encapsulating nutrients also preserves the substances in ecological conditions and the digestive tract, which has led to this method receiving more attention from specialists today. In this article, various types of modern processing methods in the food industry have been investigated.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-03-12]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.159.27]