

## مروری بر روش‌ها، عملکرد و کاربردهای میکروانکپسولاسیون در صنایع غذایی

سمیرا یزدان خواه<sup>۱</sup>، مرضیه صالحی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی بصیر، آبیک، قزوین، ایران

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی بصیر، آبیک، قزوین، ایران

### چکیده

ریزپوشانی تکنولوژی است که در آن ترکیبات هدف، توسط ترکیبات دیواره پوشش داده می شود تا ذرات میکروکپسول به وجود آید. در این تکنیک انواع رنگ های طبیعی، ویتامین ها، طعم ها، اسانس ها، روغن ها، آنزیم ها، میکروارگانیزم ها و... می توانند توسط ترکیبات بیوپلیمر مانند کربوهیدرات ها، پروتئین ها، چربی ها پوشش داده شوند. میکروکپسولاسیون تکنیکی است که به طور گسترده در صنایع غذایی و دارویی استفاده می شود. از این تکنیک می توان برای کاهش هزینه های تولید، افزایش پایداری ترکیبات، پوشاندن طعم های نامطلوب و بهبود خواص آزادسازی ترکیبات در صنایع غذایی استفاده کرد و از واکنش های نامطلوب این ترکیبات با سایر مواد جلوگیری کرده و بدین صورت پایداری آن ها را تضمین می کند. عوامل زیادی بر کیفیت میکروکپسول ها تأثیر می گذارد، که شامل تکنیک های آماده سازی، انواع مواد هسته و انواع مواد دیوار می باشد. کپسول یا مواد دیواره عموماً شامل نشاسته، مشتقات نشاسته، پروتئین ها، صمغ ها، لیپیدها یا هر ترکیبی از آن ها می باشد. میکروانکپسوله کردن مواد می تواند به روش های مختلفی انجام شود که انتخاب روش و مواد تشکیل دهنده دیواره به عوامل مختلفی مانند کاربرد محصول نهایی و فرآیند تولید بستگی دارد. از جمله روش های مورد استفاده می توان به روش کواسرواسیون ساده و پیچیده، خشک کردن پاششی، روش بستر سیال، اکستروژن و غیره اشاره کرد. در این تحقیق مروری بر روش ها و تکنیک های ریزپوشانی، ترکیبات مورد استفاده در دیواره، مکانیسم های رهاسازی و کاربردهای میکروانکپسولاسیون در صنایع غذایی پرداختیم.

**کلید واژه:** ریزپوشانی، میکروانکپسولاسیون، خشک کردن پاششی، کاربردها

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر تکنولوژی هایی در عرصه صنایع غذایی ظهور یافته است که منجر به ایجاد محصولاتی با کیفیت و عمر نگهداری بالا می شود. از همین رو یکی از تکنولوژی های موثر و کار آمد در حفظ خواص مواد غذایی میکروانکپسولاسیون یا ریزپوشانی است. (احمدی و اوسری و همکاران، ۱۳۹۲). ریزپوشانی یا میکروانکپسولاسیون (داخل کپسول کردن) فرایندی است که طی آن پوشش نازک و پیوسته ای به دور ترکیبات مختلف تشکیل می شود. به طوری که دیواره کپسول (دانک)، مواد کپسوله شده را در بر می گیرد (پرنودی و همکاران، ۱۳۹۴). انکپسولاسیون (ریزپوشانی) به عنوان یک تکنولوژی برای قرار دادن مواد جامد، مایع و گاز در کپسول های کوچک شناخته می شود تا محتویات خود را در سرعت کنترل شده و تحت شرایط خاص رها سازند (بهرامی زاده، ۱۳۹۵)، (نوربخش و صادقی ماهونک، ۱۴۰۰). این تکنولوژی با حفاظت مواد در برابر اکسیداسیون در طول مدت تولید و نگهداری، از ایجاد بو و طعم نامطلوب جلوگیری کرده و مانع از دست رفتن ارزش تغذیه ای و متابولیکی آن ها می شود. در صنعت غذا این تکنیک تقریباً موارد مصرف زیادی پیدا کرده است. محافظت و نگهداری مواد مغذی و تحویل آنها در عضوهای مورد نظر در بدن عاملی است که این روش را پر طرفدار کرده است (بهرامی زاده، ۱۳۹۵). این فناوری در صنایع مختلفی مانند آرایشی و بهداشتی و همچنین در صنایع دارویی، کشاورزی، صنایع شیمیایی و غذایی، در طعم دهنده ها، اسیدها، روغن ها، ویتامین ها، میکروارگانیزم ها و سایر موارد استفاده می شود (نوربخش و صادقی ماهونک، ۱۴۰۰). امروزه از تکنیک های مختلفی جهت انجام فرایند ریزپوشانی استفاده می شود که از آن جمله می توان به خشک کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، اکستروژن و خشک کردن با بستر سیال اشاره نمود (پرنودی و همکاران، ۱۳۹۴).

مهم ترین نکته در استفاده از این فناوری انتخاب صحیح مواد دیواره، فرم آزادسازی هسته و از همه مهم تر روش کپسوله سازی است، که نتیجه آن انتشار در زمان و مکان مناسب، که یک ویژگی بسیار مهم در فرایند کپسوله سازی است، می باشد (نوربخش و صادقی ماهونک، ۱۴۰۰). در تکنیک انکپسولاسیون از انواع مختلف کربوهیدرات هایی نظیر صمغ ها (عربی، آکاسیا، زانتان، آلژینات سدیم، پکتین، HPMC و ...)، انواع نشاسته، مالتودکسترین ها، شربت جامد ذرت به دلیل دارا بودن تنوع و قیمت ارزان و به علاوه خصوصیات نظیر ویسکوزیته پایین در غلظت های بالا و حلالیت مطلوب، به عنوان ماده دیواره یا حامل استفاده می شود (بهرامی زاده، ۱۳۹۵). صمغ عربی به دلیل داشتن خاصیت امولسیفایری، رایج ترین ماده پوششی مورد استفاده در ریزپوشانی ترکیبات حساس از جمله کاروتنوئیدها می باشد. گروه زیادی از ترکیبات را می توان به عنوان ماده ی دیواره در فرایند ریزپوشانی مورد استفاده قرار داد اما در صنایع غذایی موادی را می توان استفاده نمود که از لحاظ کاربرد مجاز باشند (پرنودی و همکاران، ۱۳۹۴). ریزپوشانی کردن، یکی از روش های موثر به منظور محافظت از انواع مواد موثر، نظیر اسانس ها، داروها و مواد اولیه آن ها، پپتیدهای زیست فعال، آنزیم ها، انواع آروما و طعم ها و همچنین رنگدانه های طبیعی است. از مزایای این روش می توان به موارد زیر اشاره کرد. ۱- افزایش طول عمر و پایداری ترکیبات فعال (هسته) و در عین حال به حداقل رساندن تأثیر عوامل محیطی مانند pH، نور و اکسیژن ۲- کنترل رهاسازی مواد محصور شده در داخل دیواره برای به حداکثر رساندن کیفیت مواد غذایی (صنایع غذایی) و کارایی سلول های هدف (صنعت دارو) ۳- تسهیل حمل و نقل ترکیبات حساس ۴- حفظ نوع ترکیبات فرآورده های غذایی و دارویی حین نگهداری و جلوگیری از برهم کنش های نامطلوب آن ها با سایر ترکیبات برای افزایش عمر مفید آن ها. ۵- آزادسازی هوشمند ترکیبات فعال مورد استفاده در غذا و دارو همه از مزایای این فناوری است (Yan et al, 2014) (Machado et al, 2014). به دلیل اهمیت و کاربرد صنعتی ریزپوشانی در این مقاله به بررسی تحقیقات انجام شده در مورد ریزپوشانی، مواد مورد استفاده در میکروانکپسولاسیون، روش های رایج ریزپوشانی و سپس مروری بر کاربردهای ریزپوشانی در صنایع غذایی خواهیم پرداخت.

## ۲- دلایل انکپسولاسیون در صنعت غذا

از جمله دلایل اصلی کپسولاسیون عبارتند از: ۱- جداسازی اجزای ناسازگار ۲- تبدیل مایعات به جامدات با جریان آزاد ۳- افزایش پایداری (محافظت از مواد محصور شده در برابر اکسیداسیون یا غیرفعال شدن در اثر واکنش در محیط ۴- پوشاندن بو، طعم و فعالیت مواد محصور شده ۵- حفاظت از محیط اطراف ۶- آزادسازی کنترل شده ترکیبات فعال (رهاسازی پایدار یا تاخیری) ۷- رهاسازی هدفمند مواد محصور شده (Dubey et al, 2009). همچنین کاهش واکنش هسته در ارتباط با عوامل محیطی (مثل نور، اکسیژن و آب)، کاهش سرعت تبخیر یا انتقال مواد به هسته به محیط خارج، کنترل رها سازی مواد هسته به منظور دستیابی به تاخیر مناسب تا زمان ایجاد ماده‌ی اصلی زمانی که مقدار این ماده ناچیز باشد، حفظ طعم و مزه هسته، جابجایی آسان‌تر، افزایش ماندگاری (کپسولاسیون باعث تاخیر در واکنش بین مواد سوبسترا در فرمولاسیون ماده غذایی می‌شود) (قائیدیان و همکاران، ۱۳۹۲) (حکم آبادی، ۱۳۹۲).

### ۳- مراحل میکروانکپسولاسیون

تشکیل دیواره یا پوسته اطراف هسته، نگهداری مواد هسته داخل پوسته به طوریکه این مواد از پوسته خارج نشوند و جلوگیری از ورود مواد ناخواسته، آزاد شدن به موقع و تحت کنترل مواد هسته در زمان معین و در یک نسبت کنترل شده (قائیدیان و همکاران، ۱۳۹۲).

### ۴- مواد مورد استفاده برای میکروانکپسولاسیون (ریزپوشانی)

کپسولاسیون ممکن است به عنوان فرآیندی برای به دام انداختن یک ماده (عامل فعال) در ماده دیگر (مواد دیواره) تعریف شود. ماده محصور شده به جز عامل فعال را می‌توان فاز هسته، پر، فعال، داخلی یا محموله نامید. ماده ای که در حال کپسوله شدن است اغلب پوشش، غشاء، پوسته، کپسول، ماده حامل، فاز خارجی یا ماتریس نامیده می‌شود (Nedovic et al, 2011). بسیاری از مواد ممکن است برای پوشش دادن یا محصور کردن مایعات جامد یا گازهایی با انواع و خواص مختلف استفاده شوند. با این حال، مقررات مربوط به افزودنی های غذایی نسبت به مواد دارویی، سخت تر است. ترکیبات مختلف که به طور گسترده برای کپسولاسیون دارو پذیرفته شده اند، برای استفاده در صنایع غذایی تایید نشده اند، زیرا بسیاری از این مواد برای کاربردهای غذایی به عنوان مواد (GRAS) به طور کلی به عنوان مواد ایمن شناخته شده تایید نشده اند. در واقع، کل فرآیند غذا باید به گونه ای طراحی شود که الزامات ایمنی سازمان های دولتی مانند سازمان ایمنی غذای اروپا (EFSA) یا سازمان غذا و دارو (FDA) در ایالات متحده را برآورده کند. اولین قدم در ریزپوشانی ترکیبات، انتخاب مواد دیواره مناسب می باشد. یک پوشش ایده آل باید: قابلیت کارکردن آسان، قابلیت امولسیون کنندگی بالا، ویسکوزیته پایین در غلظت بالا، قابلیت حفاظت از مواد داخل کپسول ها، قابلیت آزادسازی آسان مواد هسته هنگام انحلال در آب، جلوگیری از تخریب شیمیایی و آزاد شدن ترکیبات فرار در طول تولید، نگهداری و حمل و نقل را دارا باشد. پلی ساکاریدها بیشترین کاربرد را در فرایند ریزپوشانی دارند. کربوهیدرات ها به دلیل دارا بودن خصوصیات فیزیکیوشیمیایی مطلوبی چون حلالیت و ذوب شدن، اندازه های مختلف، قیمت پایین بهترین انتخاب جهت کاربردهای ریزپوشانی هستند. همچنین جزء اصلی بسیاری از سیستم های غذایی را تشکیل می دهند. به طور مثال صمغ عربی دارای قدرت امولسیون کنندگی بسیار خوبی است و باعث حفظ بهتر طعم ها می شود اما در برابر اکسیداسیون ضعیف است. مالتودکسترین و شربت گلوکز جامد دارای مقاومت بالایی در برابر اکسیداسیون هستند اما نمی توانند به خوبی از مواد فرار حفاظت کنند. موم ها به عنوان پوشش های لیپیدی در کپسوله کردن ترکیبات غذایی به ویژه در کپسوله کردن ترکیبات محلول در آب استفاده می شوند. پروتئین ها به عنوان مواد مغذی مهم در غذا خواص عملکردی بسیار عالی را دارا می باشند. این خواص موجب تامین یک ماده ی پوششی خوب برای کپسوله کردن ترکیبات غذایی می باشد. مخلوطی از پروتئین و کربوهیدرات برای فرآیند کپسوله کردن موادروغنی به کار برده می شود (حکم آبادی، ۱۳۹۲). در بین تمام مواد، پلی ساکاریدها بیشترین کاربرد را برای کپسوله کردن در مصارف غذایی دارند. نشاسته و مشتقات آن ها، آمیلوز، آمیلوپکتین، دکسترین، مالتودکسترین، پلی دکستروز، شربت و سلولز و مشتقات آن ها معمولاً استفاده می شود. ترشحات و



از این ترکیب می توان در کپسوله کردن ترکیبات غذایی محلول در آب، آنزیم ها یا سلول ها استفاده کرد (حدادی، ۱۳۹۴).

#### ۴-۲- صمغ ها

این ترکیبات پلیمرهای طویل زنجیری هستند که برای ایجاد قوام، ایجاد بافت، کپسوله کردن، تثبیت امولسیون، کنترل کریستالیزاسیون و ممانعت از آب اندازی استفاده می شود. بیش تر این مواد از منابع گیاهی هستند و شامل آلژینات، آگار، کاراگینان و صمغ های تراوشی می باشند.

#### ۴-۲-۱- صمغ تراوشی آگاسیا

در کپسوله کردن متداول ترین استفاده را دارد. یک صمغ سنتی در کپسوله کردن طعم از طریق خشک کردن پاششی است. ویژگی آن ویسکوزیته پایین آن در محلول های آبی است (حدادی، ۱۳۹۴).

#### ۴-۳- لیبیدها

#### ۴-۳-۱- موم

این ترکیبات در کپسوله کردن ترکیبات محلول در آب به طور متداول تری استفاده می شوند.

#### ۴-۳-۲- استوگلیسیریدها

این مونوگلیسرید استیله شده نشان دهنده یک ویژگی بی نظیر جامد کردن و تبدیل از حالت ذوب به یک جامد مومی شکل قابل انعطاف می باشد.

#### ۴-۳-۳- لسیتین ها

وزیکول های لسیتین اخیرا برای کپسوله کردن آنزیم های غذا استفاده شده اند. زیرا تشکیل کپسول های لسیتین در دمای نسبتا پایین می تواند در دسترس باشد.

#### ۴-۳-۴- لیپوزوم ها

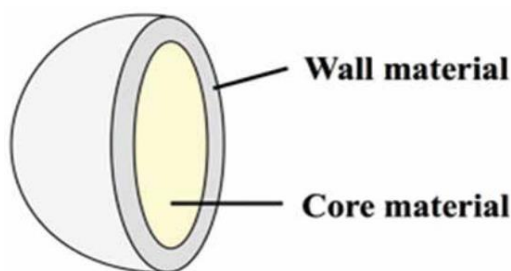
در حد تجاری از آن ها برای کپسوله کردن استفاده می شود (حدادی، ۱۳۹۴).

#### ۴-۴- پروتئین ها

پروتئین ها به عنوان مواد مغذی مهم در غذا، خواص عملگرای بسیار عالی را دارا می باشند. این خواص موجب تامین یک ماده پوششی خوب برای کپسوله کردن ترکیبات غذایی می باشد. متداول ترین پروتئین کاربردی برای کپسوله کردن ژلاتین است. ژلاتین خاصیت تشکیل فیلم خوب و کارآمد و همچنین سایر ویژگی های شیمیایی و فیزیکوشیمیایی ایده آل در فرایند کپسوله کردن است. استفاده از مخلوطی از پروتئین و کربوهیدرات برای یک فرایند کپسوله کردن مواد روغنی به کار می رود (حدادی، ۱۳۹۴).

#### ۴-۵- مواد تشکیل دهنده هسته

هسته به معنای هر ترکیب یا ماده فعال می باشد که در میکروانکپسولاسیون توسط دیواره احاطه می شود. موادی که به عنوان هسته یا قسمت داخلی در ریزپوشانی محافظت می شوند، می توانند در فرم جامد، مایع یا گاز باشند که اغلب به شکل محلول امولسیون هستند. از جمله موادی که ریزپوشانی می شوند می توان به موارد زیر اشاره کرد: مواد ضد میکروبی، ویتامین ها، مواد معدنی، آنتی اکسیدان ها، رنگ ها، موادمغذی، آنزیم ها، اسیدها، مخمرها (حدادی، ۱۳۹۴). شکل ۱ سطح مقطع شماتیک میکروکپسول را نشان می دهد.



شکل ۱. سطح مقطع شماتیک میکروکپسول (Peanparkdee et al, 2016)

## ۵- روش های مورد استفاده در ریزپوشانی

به طور کلی روش های ریز پوشانی شده به دو گروه فیزیکی و شیمیایی طبقه بندی می شوند. از آنجا کپسوله کردن ترکیبات اغلب در شکل مایع صورت میگیرد، بسیاری از تکنیک ها بر پایه خشک کردن استوار است. در روش های فیزیکی از خشک کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، پوشش دهی بستر سیال، اکستروژن، سرد کردن پاششی و در روش های شیمیایی از روش کوآسرواسیون (تکنیک تفکیک فازها) و روش تبلور (کوکریستالیزاسیون) استفاده می شود (رحمانی بایگی، ۱۳۹۳) (نیکجوی و صفی جهانشاهی، ۱۳۹۳). در ادامه در جدول ۱ به مزایا و معایب برخی از این روش ها اشاره شده است.

جدول ۱. مزایا و معایب برخی از روش های رایج در ریزپوشانی (میکروانکپسولاسیون)

روش ریزپوشانی	مزایا	معایب	منابع
خشک کردن پاششی	نرخ تولید بالا و بهره وری	برای ترکیبات حرارت پذیر ذرات غیریکنواخت توصیه نمی شود می تواند سنگدانه ها را تشکیل دهد.	(Gul, 2017) (Ezhilarasi et al, 2014)
	جابجایی آسان پودرهای محصول تکرارپذیری		
	هزینه عملیات کم		
	درطیف گسترده ای استفاده می شود		
	ترکیبات، با قطبیت ها و ترکیبات متنوع		

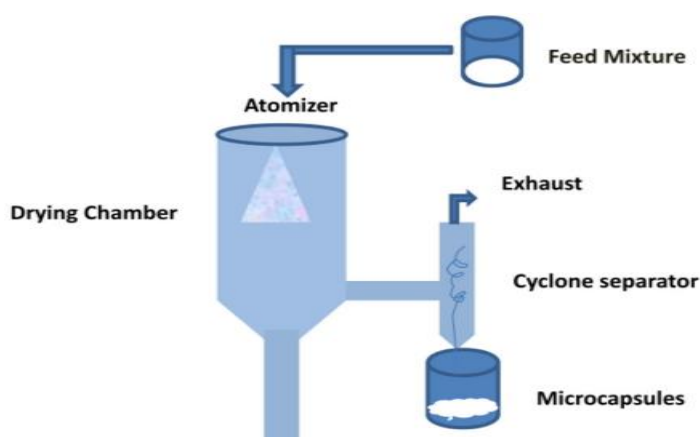
## فرآیند کوتاه مدت

(Habibi et al, 2017)	اشکال مختلف بسته به مواد گران راندمان کپسولاسیون متغیر استفاده از حلال های آلی	مقاوم در برابر گرما، می توان از ترکیبات اصلی مختلف در محصولات پایدار استفاده کرد	کوآسرواسیون پیچیده
(Arslan-Tontul et al, 2019)	پارامترهای مقیاس بندی (ذوب، دما وفشار هوای اتمایزر، دمای خنک کننده، جریان خوراک) انتشار سریع مواد فعال ذرات غیر یکنواخت راندمان کپسوله سازی متغیر	هزینه عملیات کم مناسب برای موافعال حساس به حرارت	خنک کردن پاششی
(Siew et al, 2019)	اندازه ها و اشکال مختلف محصولات مشکلات با محلول های چسبناک	روش مقرون به صرفه نیازی به دماهای بالا و استفاده از حلال های آلی یا شرایط pH خاصی نیست.	اکستروژن
(Gul, 2017) (Ezhilarasi et al, 2014)	روند کند بافت استایروفوم هزینه محصول	گزینه خوبی برای ترکیبات حساس به دما	خشک کردن انجمادی

## ۵-۱- خشک کردن پاششی یا افشانه ای (Spray Drying)

خشک کردن با اسپری به دلیل مزیت نسبی آن نسبت به سایر روش های کپسوله سازی، یک تکنیک کپسوله سازی بسیار مؤثر و پرکاربرد در صنایع غذایی و دارویی است. بسیار خودکار و مقرون به صرفه است و محصولی با کیفیت خوب تولید می کند (Prasad Timilsena et al, 2020). این روش معمول ترین و قدیمی ترین روش جهت میکروانکپسولاسیون مواد غذایی می باشد. همچنین برای مولکول های غذایی فعال و پروبیوتیک های زنده به کار می رود. خشک کردن پاششی فرآیندی ارزان و سریع است. مراحل در این روش آماده سازی امولسیون یا دیسپرسیون برای فرآیند، هموژنیزاسیون دیسپرسیون و سپس اتمایز آن به اتاقک خشک کن است. این مسئله به حذف سریع حلال (آب) کمک می کند. ذرات پودری در دهانه خروجی و دمای پایین تر از هوای خشک کننده جدا می شود. این روش جهت انکپسولاسیون ترکیبات غذایی فعال مانند ویتامین ها، مواد معدنی، طعم ها، روغن های اشباع نشده و آنزیم ها استفاده می شود. تنها دیسپرسیون های بر پایه آب در فرآیند خشک کردن پاششی به کار می روند. بنابراین ماتریکس باید حلالیت بالایی در آب داشته باشد. اصلی ترین عامل محدود کننده این روش شمار محدود مواد دیواره است که لزوماً باید در آب حلالیت خوبی داشته باشد، همچنین عیب دیگر آن این است که پودر

میکروکپسول حاصله بسیار ریز بوده و نیازمند فرآیند همانند آگلومریزاسیون است (خبر و مجد، ۱۳۹۵). خشک کردن پاششی در مقایسه با خشک کردن انجمادی ۳۰-۵۰ برابر ارزانتر می باشد. میکروکپسوله کردن توسط خشک کن پاششی به طور موفقیت آمیزی برای چندین دهه در صنایع غذایی در حال استفاده است و یکی از قدیمی ترین روشهایی است که از ۱۹۳۰ برای کپسوله کردن چاشنی ها توسط صمغ آفاقیا استفاده شده است. در گذشته اغلب از این روش برای پوشانیدن طعم نامطبوع برخی از مواد افزودنی در غذاها و یا تغییر شکل مواد از حالت مایع به جامد استفاده می شد. اما اخیراً متخصصان صنعت غذا بیشتر از رهایی کنترل شده مواد کپسوله شده در مکان و زمان تعیین شده استفاده می کنند (بهرامی زاده، ۱۳۹۵). شکل ۲ شماتیکی از خشک کردن پاششی را نشان می دهد.



شکل ۲. خشک کردن پاششی (Choudhury et al, 2021)

## ۵-۲- خشک کردن انجمادی (لیوفیلیزاسیون) (Freeze drying)

خشک کردن با یخ، که به لیوفیلیزاسیون نیز معروف است، یک فرایند چند مرحله ای است که شامل انجماد، تصعید (خشک شدن اولیه)، دفع (خشک شدن ثانویه) و در نهایت مراحل ذخیره سازی و خشک شدن مواد است. ترکیب و ساختار مواد دیواره تأثیر عمیقی بر حفاظت و آزادسازی کنترل شده مواد اصلی دارد. تا به امروز، مقدار زیادی آنتی اکسیدان غذایی با روش لیوفیلیزاسیون بسته بندی شده است. با این حال، تأثیر فرآیند لیوفیلیزاسیون بر روی آنتی اکسیدان های غذایی از نظر ظرفیت آنتی اکسیدانی در مطالعات کمی مورد بررسی قرار گرفت (Laokuldilok and Kanha, 2015). خشک کردن انجمادی نسبت به سایر روش ها کم تر به منظور انکپسولاسیون مورد توجه قرار گرفته است، زیرا هزینه های این روش گاه تا ۴۱ برابر بیش تر از سایر تکنیک ها از جمله خشک کردن پاششی است و هزینه های نگهداری و انتقال ذرات تولید شده طی این روش نیز بسیار گران می باشد. همچنین، چندی است که کاربرد صنعتی تکنیک خشک کردن انجمادی به دلیل زمان طولانی فرآیند محدود شده است (صفری و همکاران، ۱۴۰۱). از دیگر معایب این روش می توان به زمان طولانی (بیش از ۲۰ ساعت)، سرما یه و هزینه های عملیاتی بالا در مقایسه با سایر روش ها اشاره کرد. ساختار متخلخل این پودرها به دلیل تصعید یخ در طی فرآیند نیز یکی از محدودیت های اصلی در استفاده از این روش است. از آنجا که پودرهای تولید شده با استفاده از روش لیوفیلیزاسیون باید پس از خشک شدن خرد شوند یا به پودرهای ریز تبدیل شوند، مشکلات مربوط به عدم کنترل در اندازه ذرات نیز ممکن است ایجاد شود. علاوه بر این، مواد فعال درون کپسول، از منافذ روی سطح ذرات، در معرض جو قرار می گیرند در نتیجه، به نظر می رسد



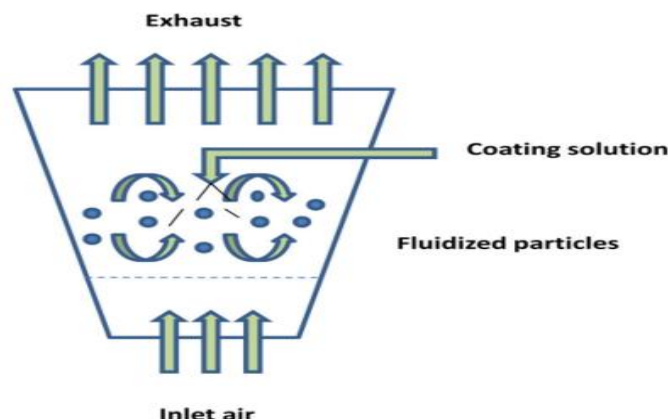
ماهیت ماده‌ای که باید محصور شود ساختار متخلخل آن، مهمترین عاملی است که علاوه بر هزینه آن، برای استفاده از این تکنیک بسیار با اهمیت است (نوربخش و صادقی ماهونک، ۱۴۰۰).

### ۵-۳- خنک کردن پاششی و سرد کردن پاششی (chilling Spray & cooling Spray)

در این روش مواد هسته در یک پوشش مایع پراکنده شده و سپس اتمایز می‌شود. با این تفاوت که دماهای مورد استفاده پایین‌تر از دماهای خشک کردن پاششی است. برخلاف خشک کردن پاششی خنک کردن پاششی و سرد کردن پاششی شامل انتقال جرم (تبخیر آب) نمی‌شود. بنابراین فرآیند کارآمدتر انرژی است. در خنک کردن پاششی، مواد پوششی معمولاً برخی از انواع روغن‌های گیاهی یا مشتقات آن از جمله چربی و استئارین با نقطه ذوب ۴۵ درجه سانتیگراد تا ۷۲ درجه سانتیگراد و همچنین مونو و دی آسیل گلیسرول‌های سخت با نقطه ذوب ۴۵ تا ۶۵ درجه سانتیگراد هستند. در سرد کردن پاششی، مواد پوششی معمولاً یک روغن نباتی هیدروژنه با نقطه ذوب در محدوده ۳۲ تا ۴۲ درجه سانتیگراد است. در این فرآیندها، یک لیپید ذوب شده، بالاتر از نقطه ذوب آن، بر روی مواد هسته اسپری می‌شود و اجازه می‌دهد تا خنک شود. انجماد فوری لیپید با تولید پودرهای میکروکپسول‌کروی و با جریان آزاد تقریباً کامل صورت می‌گیرد (Prasad Timilsena et al, 2020). همچنین در خنک کردن پاششی دمای محیط و در سرد کردن پاششی دمای یخچال استفاده می‌شود. میکروکپسول‌های تولید شده دلیل پوشش لیپیدی نامحلول در آب است آن‌ها است. در نتیجه این روش برای محصولات خشک مانند مخلوط سوپ خشک شده، غذاهایی با محتوای چربی بالا و فرآورده‌های پخت و نیز به منظور نگهداری آنزیم، طعم‌ها، مواد معدنی و پروتئین‌ها به کار می‌رود (حدادی، ۱۳۹۴).

### ۵-۴- پوشش بستر سیال (coating bed Fluid)

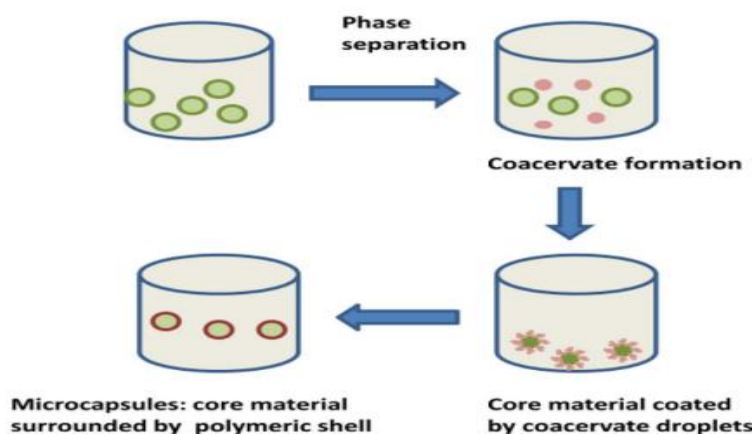
پوشش بستر سیال یک روش کپسوله سازی است که در آن مواد پوشش بر روی مواد هسته سیال پاشیده می‌شود. در اینجا، مواد هسته با اعمال هوا سیال می‌شود، که روی آن یک ماده پوششی پاشیده می‌شود. روش‌های مختلف پوشش بستر سیال عبارتند از: (الف) اسپری بالا (ب) اسپری پایین و (ج) اسپری مماسی (Coronel-Aguilera & San Martín-González, 2015). این فرآیند توسط معلق شدن ذرات جامد مواد هسته در هوای در حال حرکت رو به بالا انجام می‌شود که می‌تواند گرم با خنک شود. به محض این‌که بستر سیال ذرات به دمای مورد نظر رسید از قسمت بالا توسط اتمایزر ذرات مواد دیواره اسپری می‌شود. مواد دیواره ممکن است در وضعیت ذوب شده باشد یا اینکه در یک حلال قابل تبخیر شدن حل شده باشد. مواد دیواره ذوب شده توسط جامد شدن در هوای خنک سفت می‌شود و پوشش‌هایی که دارای حلال هستند از طریق تبخیر حلال در هوای گرم سفت تر می‌شوند (خبر و مجد، ۱۳۹۵). انواع مواد برای پوشش بستر سیال عبارتند از پلیمرهای نامحلول در آب و محلول در آب، لیپیدها و موم‌ها. ذرات/گرانول‌ها با محلول پوششی در دمای مشخصی پاشیده می‌شوند. (Prasad Timilsena et al, 2020) همچنین ممکن است از مشتقات سلولز، دکسترین، امولسیفایرها، لیپیدها و مشتقات پروتئینی و نشاسته ای انتخاب شود (احمدی واوسری و همکاران، ۱۳۹۲). در این روش کپسوله‌سازی، راندمان پوشش مواد دیوار به پارامترهای مختلفی مانند نرخ تغذیه مواد دیوار، فشار اتمیزه شدن نازل، دمای هوای ورودی و سرعت و غیره بستگی دارد (Coronel-Aguilera & San Martín-González, 2015). شکل ۳ شماتیکی از پوشش بستر سیال در فرایند ریزپوشانی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. پوشش بستر سیال (Choudhury et al, 2021)

## ۵-۵- کوآسرواسیون (جداسازی فازها) یا توده سازی (Coacervation)

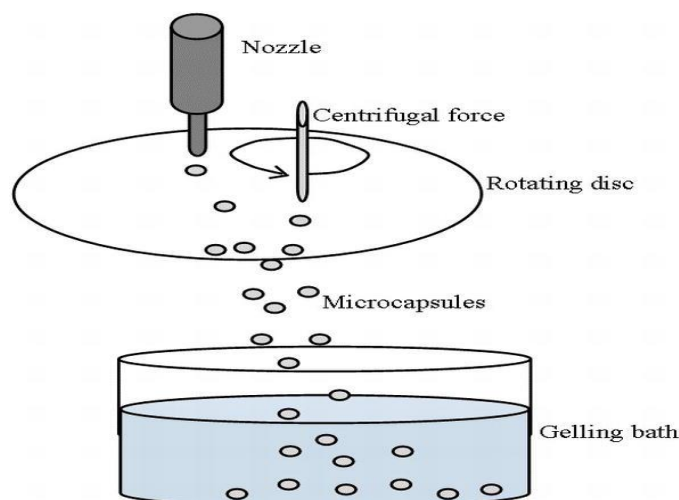
این فرآیند تحت عنوان جدا شدن فازها نامیده می‌شود و فرآیند بسیار گرانی است. جداسازی فاز مایع مواد پوششی یا مواد دیواره از محلول پلیمری و پوشاندن آن فاز به صورت یک لایه یکنواخت به اطراف ذرات معلق هسته می‌باشد. دو روش ساده و پیچیده برای این فرآیند وجود دارد: در روش ساده یک ماده حل شده مانند ژلاتین و در نوع پیچیده دو نوع کلئوید آبدوست مانند ژلاتین و صمغ عربی و یا ژلاتین و پلی ساکارید وجود دارد (احمدی و اوسری و همکاران، ۱۳۹۲). کوآسرواسیونی که تنها شامل یک ماده پلیمری است، کوآسرواسیون ساده نامیده می‌شود. یک نمونه از چنین پلیمری می‌تواند آلژینات سدیم باشد. در کوآسرواسیون ساده، آلژینات سدیم در آب حل می‌شود و ترکیب فعالی که نیاز به کپسوله شدن دارد، که معمولاً یک روغن است، در آن مخلوط می‌شود و امولسیون تشکیل شده به صورت قطره‌ای در محیطی ژل ساز مانند کلرید کلسیم آزاد می‌شود. برهمکنش یونی بین آلژینات سدیم و کلرید کلسیم منجر به تشکیل پلیمرهای نامحلول، آلژینات کلسیم می‌شود. چندین مطالعه گزارش شده است که استفاده موفقیت آمیز از این تکنیک را در ریزپوشانی نشان می‌دهد. روغن پرتقال شیرین توسط Jun-Xia و همکاران کپسوله شد (Choudhury et al, 2021) (Jun-Xia et al, 2011). مراحل اساسی در کوآسرواسیون پیچیده عبارتند از: (۱) تهیه محلول دو پلیمر (۲) مخلوط کردن هسته چربی دوست با محلول پلیمری برای تشکیل امولسیون (۳) مخلوط کردن محلول پلیمری دیگر (۴) تغییر pH یا دما برای القای تشکیل دو فاز غیر قابل امتزاج (۵) رسوب coacervates در اطراف هسته. این روش قادر به تولید ذرات با اندازه‌های کوچکتر از ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر است (Prasad Timilsena et al, 2020). نقطه ضعف اصلی فناوری ریزپوشانی مبتنی بر کوآسرواسیون پیچیده این است که کوآسرواتها در محدوده بسیار باریکی از pH و قدرت یونی پایدار هستند. این امر محدوده پلیمرهایی را که می‌توانند به عنوان مواد پوسته در فرآیند پیچیده coacervation استفاده شوند، محدود می‌کند. یکی دیگر از معایب غلظت املاح است که می‌توان از آن برای تشکیل کوآسرواتها‌های پیچیده به شکل محلول استفاده کرد. بنابراین استفاده از این روش محدود است، زیرا بهترین کار را فقط در یک محدوده خاص و با محلول‌های الکترولیت و کلئویدی خاص دارد (Choudhury et al, 2020) (Prasad Timilsena et al, 2020). (2021) شکل ۴ به فرایند انجام کوآسرواسیون می‌پردازد.



شکل ۴. کواسرواسیون (Choudhury et al, 2021)

#### ۵-۶- اکستروژن (Extrusion)

این تکنولوژی شامل تولید قطرات کوچک مواد کپسوله توسط عبور با فشار محلول از نازل تجهیزات تولید کننده این قطرات می باشد. هر چه قطر داخلی سوراخ یا نازل کوچکتر باشد کپسول ریزتر می شوند (خبر و مجد، ۱۳۹۵). برای استفاده از این روش، هسته و مواد دیوار باید غیر قابل اختلاط باشد. در اینجا، هسته و مواد دیوار به گونه ای عبور داده می شوند که مواد دیوار، هسته را احاطه کرده و از نازل های متحدالمرکز عبور می کنند، بنابراین، قطرات حاوی هسته های احاطه شده توسط مواد دیوار را تشکیل می دهند. سپس انجماد یا با سرد کردن یا با استفاده از یک حمام ژل کننده مناسب که در آن قطرات می ریزند و به دلیل تشکیل کمپلکس جامد می شوند، انجام می شود. کپسول های تشکیل شده با این روش از نظر اندازه نسبتاً بزرگتر از هر روش دیگری هستند و همچنین این فناوری با مصالح دیواری محدود مفید است (Choudhury et al, 2021). وسیله اکستروژن باید در کابینت های استریل که در آن اکسیژن جایگزین نیتروژن شده است، قرار گیرد. دو روش اکستروژن عبارتند از: ۱- اتمایزر صفحه ای چرخشی: در این روش با افزایش سرعت چرخش صفحه می توان کپسول های کوچک تولید کرد. ۲- سیستم های نازل چندگانه: در این روش با افزایش جریان هوا و یا با استفاده از منافذ کوچک نازل ها می توان کپسول های کوچک تولید کرد (بهرامی زاده، ۱۳۹۵). این تکنولوژی برای انکپسولاسیون میکروب ها مزایای زیادی دارد. این روش حلال های زیان آور ندارد و تحت شرایط هوایی و بی هوایی قابل انجام است این فرآیند برای موادی که در مقابل گرما ناپایدارند مانند طعم، آنزیم ها، پروتئین ها، رنگ ها و ویتامین ها به کار می رود. طعم های کپسوله شده مورد استفاده در نوشیدنی، دسرهای ژله ای و مخلوط با این روش تولید می شوند (خبر و مجد، ۱۳۹۵). در شکل ۵ به تکنیک اکستروژن در ریزپوشانی اشاره شده است.



شکل ۵. اکستروژن (Choudhury et al, 2021)

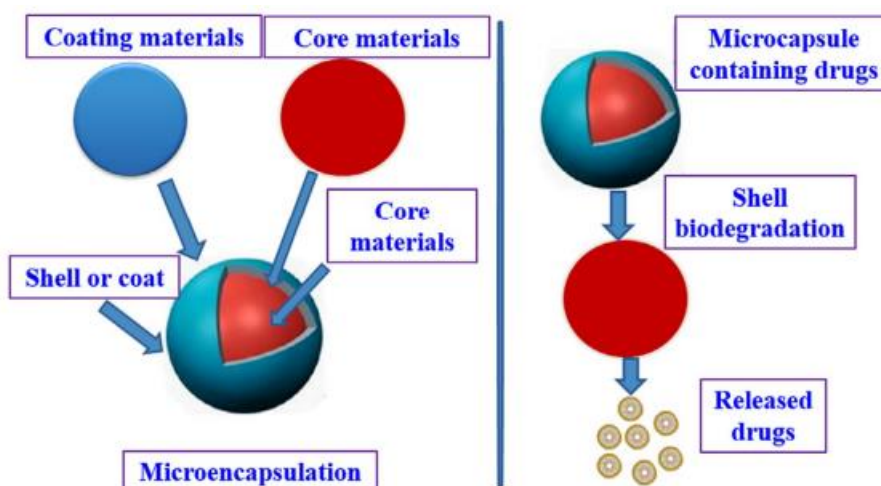
## ۶- مکانیسم ریزپوشانی (مکانیسم آزادسازی، رهایش اجزای ریزپوشانی شده)

مواد موثر غذایی ریزپوشانی شده یکی از مسائل مهم می باشد. کپسول های تولیدی به روش ریزپوشانی کردن شامل دوبخش، مواد دیواره و مواد هسته می باشند. باقرار گرفتن کپسول ها در شرایط محیطی مختلف، دیواره ی آن ها شروع به متلاشی شدن می کند و مواد هسته به محیط انتشار می یابد. دیواره و مواد هسته می باشند. با قرار گرفتن کپسول ها در شرایط محیطی مختلف، دیواره ی آن ها شروع به متلاشی شدن می کند و مواد هسته به محیط انتشار می یابد. رهایش ثابت، مکانیسمی است که برای ثابت نگه داشتن غلظت ماده فعال در محل نهایی اش طراحی شده است. مثل رهایش شیرین کننده های پوشش دار در آدامس (حکم آبادی، ۱۳۹۲). یک ترکیب فعال زمانی که طی فرایند ریزپوشانی توسط دیواره احاطه می گردد، به وسیله مکانیسم های فیزیکی - شیمیایی مختلف آزاد می شود. در ذیل به برخی از این مکانیسم ها به اختصار اشاره شده است (صفری و همکاران، ۱۴۰۱).

Diffusion controlled release جزء فعال از طریق انتشار از میان پلیمر یا خلل و فرج موجود در آن آزاد می شود. Barrier controlled release رهایش جزء فعال بستگی به تفاوت غلظت میکروکپسول با بیرون، ضخامت دیواره، نفوذ پذیری از میان دیواره و ضریب انتشار جزء فعال در محیط پیرامون دارد. Pressure activated release جزء فعال در اثر اعمال فشار بر روی دیواره میکروکپسول آزاد می شود. Osmotically controlled release جزء فعال به علت فشار اسمزی بالای به وجود آمده در درون میکروکپسول ها آزاد می شود. Solvent activated release جزء فعال در اثر تماس ماده غذایی با یک حلال آزاد می شود. pH controlled release درمورد pH جزء فعال مانند یک آنزیم دریک pH ویژه آزاد می شود. Temperature controlled release جزء فعال به علت تغییر در درجه حرارت آزاد می شود. Melting activated release در اثر حرارت دادن محصول، چربی یا موم استفاده شده به عنوان پوشش دهنده ذوب شده و جزء فعال آزاد می گردد. Combined systems جزء فعال در نتیجه ترکیب مکانیسم های مختلف آزاد می گردد (نیکجوی و صفی جهانشاهی، ۱۳۹۳).

کل فرایند میکروکپسولاسیون از سه مرحله تشکیل شده است: مرحله اول شامل تشکیل یک دیواره در اطراف مواد هسته می باشد. مرحله دوم شامل نگه داشتن هسته در داخل دیواره ها، به طوری که آزاد نشوند و همچنین دیواره ها باید از ورود مواد

نامطلوب به داخل هسته که ممکن است به هسته آسیب برسانند جلوگیری کند. مرحله نهایی این که ، مواد داخل هسته در زمان مناسب و به میزان مناسب بتوانند از کپسول خارج شوند (حکم آبادی، ۱۳۹۲). در شکل ۶ فرایند میکروانکپسولاسیون و رها سازی در دارو اشاره شده است.



شکل ۶. ریزپوشانی و رها سازی در دارو (Peng et al, 2018).

## ۷- کاربردهای میکروانکپسولاسیون (ریزپوشانی)

صنایع غذایی از ترکیبات کاربردی برای بهبود طعم، رنگ و خواص بافت و افزایش ماندگاری محصولات استفاده می کنند. علاوه بر این، موادی که دارای مزایای سلامتی عملکردی هستند، مانند آنتی اکسیدان ها و پروبیوتیک ها، بسیار مورد توجه هستند با این حال، اکثر این مواد دارای ثبات پایینی هستند و به راحتی توسط عوامل محیطی تجزیه می شوند. بنابراین، تهیه ترکیبات زیست فعال با پایداری بالا مهم است. ریزپوشانی یکی از راه های رفع این مشکلات است. در سال های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه تولید میکروکپسول های با راندمان بالا و کاربردهای آن در صنایع غذایی انجام شده است. ریزپوشانی کاربردهای زیادی دارد زیرا می تواند حلالیت، افزایش پایداری و بهبود خواص آزادسازی کنترل شده ترکیباتی مانند اسانس، آنتی اکسیدان ها، آنزیم ها، داروها و غیره را بهبود بخشد (Peaparkdee et al. 2016). از جمله افزودنی های غذایی، اسیدها و بازها (اسید لاکتیک)، عوامل طعم دهنده (شیرین کننده ها، ادویه ها، اسانس ها) رنگ دهنده ها، چربی ها (چربی شیر، روغن ماهی، روغن زیتون) ویتامین ها و پیش ساز آن، آنتی اکسیدان ها، موادمعدنی، آنزیم ها، میکروارگانیسم ها (پروبیوتیک ها) و گازهایی مثل دی اکسید کربن را به شکل پوشینه دار در صنعت غذا به کار برد (نیکجوی و صفی جهانشاهی، ۱۳۹۳). در ادامه به کاربرد میکروانکپسولاسیون در برخی از این موارد اشاره می کنیم.

### ۷-۱- میکروانکپسولاسیون ویتامین C

ویتامین ها برای سلامت انسان ضروری هستند. آن ها مواد مغذی ضروری هستند و درمان مشکلات پوستی را در بدن تسهیل می کنند. ویتامین ها به راحتی اکسید می شوند و همین امر باعث ناپایداری آن ها می شود. بهبود پایداری فیزیوشیمیایی آن ها و همچنین افزایش قدرت فیزیولوژیکی آن ها توسط نانو و میکروکپسوله سازی انجام می شود. ویتامین C که به طور گسترده در

محصولات غذایی، دارویی و آرایشی استفاده می‌شود، مستعد تخریب است و ناپایدار می‌باشد پس برای حفظ پایداری آن، فرمولاسیون‌های جدید ضروری است و می‌توان از ریزپوشانی (میکروانکپسولاسیون) استفاده کرد. ویتامین C (اسید آسکوربیک) ویتامینی محلول در آب است. این ویتامین برای تولید پروتئین کلاژن، معالجه زخم، ایمنی و سلامتی سیستم ایمنی و به عنوان یک آنتی اکسیدان برای جلوگیری از بیماری کمک می‌کند. این ویتامین به صورت پودر پایدار است ولی وقتی در آب حل شود پایداری کاهش می‌یابد. عوامل محیطی مانند دما، pH، اکسیژن، یون فلز، اشعه X و UV بر روی پایداری تاثیر می‌گذارد. آسکوربیک اسید اکسیدکننده قوی است که منجر به ایجاد اشکال در سیستم‌های غذایی می‌شود. در مرحله فرآوری از سفید به زرد تغییر رنگ می‌دهد که بر روی رنگ‌های غذا موثر است. از طرف دیگر با مواد دیگر واکنش شده و تغییرات نامطلوبی در رنگ و مزه غذا ایجاد می‌کند. میکروانکپسولاسیون روشی برای تثبیت ویتامین C می‌باشد. چهار روش برای میکروانکپسولاسیون ویتامین C پیشنهاد شده است که شامل جداسازی حرارتی فاز، پراکندگی بر اساس ذوب، تبخیر حلال، خشک کردن پاششی می‌باشد (قمری و صالحی، ۱۴۰۲).

#### ۷-۲- میکروانکپسولاسیون کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها رنگدانه های طبیعی هستند که دارای چندین خاصیت زیست فعال از جمله فعالیت های آنتی اکسیدانی، ضد سرطان زا و پروویتامین A هستند. با این حال، این ترکیبات زمانی که در معرض تعدادی از شرایط (مانند نور، گرما، اکسیژن) قرار می گیرند، مستعد تخریب هستند که منجر به از دست دادن فواید و اختلال در کاربرد آن‌ها در محصولات غذایی می‌شود. آب‌گریز بودن آن‌ها همچنین ادغام با غذاهای مبتنی بر آب را دشوارتر می‌کند. تکنیک های میکروانکپسولاسیون ده ها سال است که برای ایجاد پایداری عصاره های غنی از کاروتنوئید در شرایط معمولی پردازش و ذخیره سازی غذاها، علاوه بر ارائه چندین مزیت دیگر برای استفاده و کاربرد این مواد استفاده می‌شود. در مورد روش کپسوله‌سازی، برای رنگ های آب‌گریز، مانند کاروتنوئیدها، امولسیون سازی ضروری است، چه به عنوان تکنیک کپسوله سازی اصلی و چه به عنوان مرحله مقدماتی برای تکنیک اصلی. امولسیون کردن بهترین پوشش رنگ توسط مواد دیواره را فراهم می‌کند و به ریزذرات اجازه می‌دهد تا در آب حل شوند (قمری و صالحی، ۱۴۰۲).

#### ۷-۳- میکروانکپسولاسیون گوشت

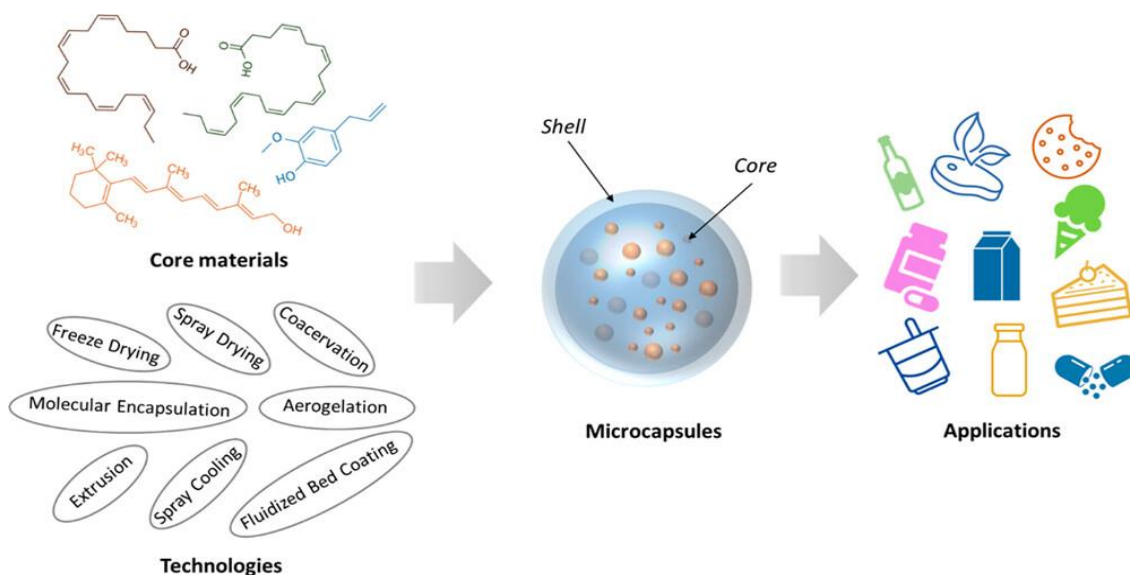
میکروانکپسولاسیون اسیدهای چرب امگا ۳، ۶ و ۹ پایداری آن‌ها را با کاهش اکسیداسیون و افزایش عمر مفید و همچنین ارائه ارزش غذایی افزوده به محصولی که در آن اضافه می‌شود، بهبود می‌بخشد. دلیل این امر افزودن روغن ماهی با محتوای بالای اسیدهای چرب امگا ۳ به ناگت مرغ است. هنگامی که با روش امولسیون چندلایه به دنبال خشک کردن پاششی کپسوله می‌شود. روغن ماهی دیگر در سطح حسی کپسوله شده تشخیص داده نمی‌شود، مشاهده نمی‌شود. علاوه بر این، در طول نگهداری محصول هیچ گونه ترشی رخ نمی‌دهد. حتی اگر این میکروکپسول ها در محصولات از قبل سرخ شده یا محصولات منجمد استفاده شوند. با این حال، ذکر این نکته ضروری است که افزودن محتوای اسید چرب بالاتر به یک محصول، حتی اگر ریزپوشانی شده باشد، باعث حساسیت بیشتر به فرآیند اکسیداسیون می‌شود. بنابراین، مهم است که روش کپسوله سازی و ماده ای که باید محصور شود در نظر گرفته شود (Calderón-Oliver & Ponce-Alquicira, 2022).

#### ۷-۴- میکروانکپسولاسیون نان

علی‌رغم تلاش‌ها برای تولید نان‌های کاربردی حاوی میکروارگانیزم‌های زنده، به دلیل دمای بالا در حین پخت، این کار هنوز انجام نشده است اما نتایج نشان می‌دهد که ریزپوشانی (میکروانکپسولاسیون) مورد استفاده در تولید نان سین‌بیوتیک می‌تواند زنده‌مانی و مقاومت حرارتی باکتری‌های پروبیوتیک را افزایش دهد (Seyedain-Ardabili et al, 2016). مثال دیگر در نان شامل ترکیب روغن بذر کتان محصور در سلول های مخمر است که علاوه بر تقویت نان، از اکسید شدن اسیدهای چرب



جلوگیری می‌کند. میکروکپسول‌های منبع خوبی برای ترکیب پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها در نان است. به عنوان مثال، دانه‌های آلزینات و نشاسته پوشش داده شده با کیتوزان، زنده ماندن را حفظ می‌کنند ریزپوشانی مواد معدنی مانند آهن باعث افزایش مقاومت در برابر پردازش مواد غذایی و فراهمی زیستی در شیر می‌شود. در فرآیند پخت نان نیز این اتفاق می‌افتد. با افزودن میکروکپسول‌های آهن به نشاسته اصلاح شده، فراهمی زیستی آهن بدون کپسوله سازی از ۱۴ درصد به ۹۹ درصد افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد میکروکپسول‌ها از آهن در برابر مهارکننده‌هایی مانند عوامل کیلیت، اسیدفیتیک و مشتقات آن در طول فرآیند هضم محافظت می‌کنند. این مثال از این جهت جالب است که میکروکپسول‌ها در فرآیند تخمیر محصول تداخلی ایجاد نمی‌کنند و موادی که به جذب آهن کمک می‌کنند مانند اسید اسکوربیک نیز می‌توانند در میکروکپسول گنجانده شوند (Bryszewska et al, 2019).



شکل ۷. میکروکپسول، تکنولوژی‌ها و کاربردهای ریزپوشانی (Yan et al, 2022).

## ۸- نتیجه گیری

تکنیک ریزپوشانی از جمله روش‌های پرکاربرد، موثر و کارآمدی است که استفاده از آن در سال‌های اخیر رشد چشم‌گیری داشته است و به طور گسترده در غذاها استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین دلایل میکروانکپسول‌سازی، ایجاد پایداری بهبود یافته در محصولات نهایی و در طول فرآوری است. یکی دیگر از مزایای کپسول‌سازی تبخیر و تخریب کم‌تر مواد فعال فرار مانند عطر است. علاوه بر این، کپسول‌سازی برای پوشاندن احساسات ناخوشایند در هنگام غذا خوردن مانند طعم تلخ و به حداقل رساندن تأثیر عوامل محیطی مانند pH، نور و اکسیژن استفاده می‌شود. با توجه به مزایای زیادی که به آن‌ها اشاره شد، می‌توان بیان داشت، که تحول جدیدی در صنعت غذا به وجود آمده است. مواد مورد استفاده برای طراحی پوسته محافظ کپسول‌ها باید از نظر مواد غذایی، زیست تخریب پذیر و قادر به ایجاد مانعی بین فاز داخلی و محیط اطراف آن باشند. در بین تمام مواد، پلی‌ساکاریدها بیشترین کاربرد را برای کپسوله کردن در مصارف غذایی دارند. مالتودکسترین پرمصرف‌ترین عامل کپسوله شده بوده و خواهد بود. پروتئین‌ها و لیپیدها نیز برای کپسول‌سازی مناسب هستند. جهت انکپسول‌سازی ترکیبات فعال و حساس از روش‌های مختلف نظیر خشک کردن پاششی، سرد کردن پاششی، پوشش دهی بستر سیال، اکستروژن، خشک کردن

انجمادی، اکستروژن، کواسرواسیون و ... استفاده می‌شود. هر کدام از روش‌های مذکور معایب و مزایای خاص خود را دارند. انتخاب یک تکنیک خاص به ویژگی‌های مواد هسته، مواد دیواره و خواص و مورفولوژی متفاوت کپسول‌های مورد نظریستگی دارد. در بین این روش‌ها خشک کردن پاششی گسترده‌ترین تکنیک ریزپوشانی در صنایع غذایی است زیرا آسان‌تر و پیوسته می‌باشد. اکثر کپسول‌ها آن‌هایی هستند که با خشک کردن پاششی تهیه می‌شوند، بقیه آن‌ها با سرد کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، اکستروژن مذاب و ... تهیه می‌شوند. میکروانکپسولاسیون کاربردهای فراوانی در ریزپوشانی کردن ویتامین‌ها مانند اسید آسکوربیک، رنگ‌های طبیعی از جمله کاروتنوئیدها، گوشت، آنزیم‌ها، آنتی اکسیدان‌ها و پروبیوتیک‌ها در نان دارد که از این میان پروبیوتیک‌ها به منظور افزایش قابلیت حیات آن‌ها در هنگام تخمیر، فرایند و استفاده در محصولات تجاری کپسوله می‌شود. در نتیجه همه موارد ذکر شده فرایند میکروانکپسولاسیون (ریزپوشانی) را به ابزاری قدرتمند و نوین در صنایع غذایی و دارویی تبدیل نموده است.

## Abstract

Microencapsulation is a technology in which target compounds are coated by wall compounds to form microcapsule particles. In this technique, all kinds of natural colors, vitamins, flavors, essences, oils, enzymes, microorganisms, etc. can be covered by biopolymer compounds such as carbohydrates, proteins, fats. Microencapsulation is a technique widely used in the food and pharmaceutical industries. This technique can be used to reduce production costs, increase the stability of compounds, mask unpleasant flavors and improve the release properties of compounds in the food industry, and prevent adverse reactions of these compounds with other substances, thus ensuring their stability. Many factors affect the quality of microcapsules, including preparation techniques, types of core materials, and types of wall materials. Capsule or wall materials generally include starch, starch derivatives, proteins, gums, lipids or any combination of them. Microencapsulation of materials can be done in different ways, and the selection of the method and wall composition depends on various factors such as the application of the final product and the production process. Among the methods used, we can mention the simple and complex coaxation method, spray drying, fluid bed method, extrusion, etc. In this research, we reviewed microencapsulation methods and techniques, compounds used in the wall, release mechanisms, and applications of microencapsulation in the food industry.

## ۹- منابع

- احمدی واوسری، فهیمه و باقری، مهسا و داوری کتی لته، مرجان، ۱۳۹۲، میکروانکپسولاسیون و کاربرد آن در صنعت غذا، بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، شیراز.
- بهرامی زاده، عیسی، ۱۳۹۵، ریزپوشانی Encapsulation یک فناوری نوین در صنعت غذایی، اولین کنگره بین المللی و بیست و چهارمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، تهران.
- پرندی، احسان و پورجواهر، سیمین و اسماعیلی، جواد و خادام، معصومه، ۱۳۹۴، ریزپوشانی یا میکروانکپسولاسیون در صنایع غذایی، بیست و سومین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، قوچان.
- حدادی، طحیه، ۱۳۹۴، روش‌های متداول میکروانکپسولاسیون مواد غذایی، دومین کنگره سراسری فناوری‌های نوین ایران با هدف دستیابی به توسعه پایدار، تهران.
- حکم آبادی، فرشته، ۱۳۹۲، ریزپوشانی و کاربرد آن در صنایع غذایی، سومین همایش ملی امنیت غذایی، سواد کوه.
- خبر، ایمان، و مجد، هژبر، ۱۳۹۵، کاربرد تکنولوژی پیشرفته میکروانکپسولاسیون در صنایع غذایی، کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی.



رحمانی بایگی، تکت، ۱۳۹۳، ریزپوشانی مواد غذایی و کاربرد آن در صنعت غذا، همایش ملی علوم و فناوری‌های نوین در صنایع غذایی، تربت حیدریه.

صفری، رضا و ریحانی پول، سهیل و یگانه، سکینه، ۱۴۰۱، تکنیک‌های مختلف ریزپوشانی ترکیبات فعال در صنعت غذا - دارو و مکانیسم‌های آزادسازی هسته از پوشش، ششمین همایش بین‌المللی مطالعات میان رشته‌ای در صنایع غذایی و علوم تغذیه ایران، تهران.

قائدیان، سارا و قائدیان، زهرا و صوتی خیابانی، محمود و رضایی مکرم، رضا، ۱۳۹۲، انکپسولاسیون و کاربرد آن در صنایع غذایی، بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، شیراز.

قمری، مهدیه و صالحی، مرضیه، ۱۴۰۲، کاربرد بیوپلیمرها در ریزپوشانی رنگ‌های خوراکی، هفتمین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در علوم و مهندسی کشاورزی (با رویکرد آب، خاک و هوا)، ایران، تهران.

قمری، مهدیه و صالحی، مرضیه، ۱۴۰۲، مروری بر ریزپوشانی ترکیبات در غذاهای عملگرا، ششمین همایش ملی توسعه علوم فناوری‌های نوین در گیاهان دارویی، شیمی و زیست‌شناسی ایران، تهران.

نوربخش، فاطمه و صادقی ماهونک، علیرضا، ۱۴۰۰، مروری بر روش‌های ریزپوشانی، بررسی مزایا و معایب آن‌ها، هشتمین کنفرانس بین‌المللی علوم صنایع غذایی، کشاورزی ارگانیک و امنیت غذایی.

نیکجوی، ثنا و صفی جهان‌شاهی، شیما، ۱۳۹۳، بررسی تکنیک‌های نوین ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال و کاربرد آن در صنعت غذا، نخستین کنفرانس ملی توسعه کیفیت راهبردی فراگیر در سلامت غذا، تهران.

Arslan-Tontul, S., Erbas, M., & Gorgulu, A. (2019). The Use of probiotic-loaded single-and double-layered microcapsules in cake production. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 11, 840-849.

Bryszewska, M. A., Tomás-Cobos, L., Gallego, E., Villalba, M., Rivera, D., Saa, D. L. T., & Gianotti, A. (2019). In vitro bioaccessibility and bioavailability of iron from breads fortified with microencapsulated iron. *LWT*, 99, 431-437.

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

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

Coronel-Aguilera, C. P., & San Martín-González, M. F. (2015). Encapsulation of spray dried  $\beta$ -carotene emulsion by fluidized bed coating technology. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 187-193.

Dubey, R., Shami, T.C. and Bhasker Rao, K.U, Microencapsulation Technology and Applications. *Defence Science Journal*, 59, 2009, 82-95.

Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., Jena, B. S., & Anandharamakrishnan, C. (2014). Microencapsulation of Garcinia fruit extract by spray drying and its effect on bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1116-1123.

Gul, O. (2017). Microencapsulation of Lactobacillus casei Shirota by spray drying using different combinations of wall materials and application for probiotic dairy dessert. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13198.

Habibi, A., Keramat, J., Hojjatoleslami, M., & Tamjidi, F. (2017). Preparation of fish oil microcapsules by complex coacervation of gelatin-gum arabic and their utilization for fortification of pomegranate juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12385.

Jun-xia, X., Hai-yan, Y., & Jian, Y. (2011). Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. *Food Chemistry*, 125(4), 1267-1272.

Laokuldilok, T., Kanha, N., 2015. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT - Food Sci. Technol.* 64, 405-411

Machado, A. R., Assis, L. M., Costa, J. A. V., Badiale-Furlong, E., Motta, A. S., Micheletto, Y. M. S., & Souza-Soares, L. A. (2014). Application of sonication and mixing for nanoencapsulation of the cyanobacterium *Spirulina platensis* in liposomes. *International Food Research Journal*, 21(6), 2201.

Peanparkdee, M., Iwamoto, S., & Yamauchi, R. (2016). Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*, 4, 56-65.

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B, An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia food science*, 1, 2011, 1806-1815.

Peanparkdee, M., Iwamoto, S., & Yamauchi, R, Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*, 4, 2016, 56-65.

- Peng, H., Zhang, D., Ling, X., Li, Y., Wang, Y., Yu, Q., She, X., Li, Y., & Ding, Y. (2018). N-alkanes phase change materials and their microencapsulation for thermal energy storage: A critical review. *Energy & Fuels*, 32(7), 7262–7293.
- Seyedain-Ardabili, M., Sharifan, A., & Ghiassi Tarzi, B. (2016). The production of synbiotic bread by microencapsulation. *Food technology and biotechnology*, 54(1), 52-59.
- Siew, L. N., Ka, W. L., Kar, L. N., & Liew, P. P. (2019). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* 299v incorporated with oligofructose in chitosan coated-alginate beads and its storage stability in ambarella juice. *Malaysian journal of microbiology*, 15(5), 408-418.
- Timilsena, Y. P., Haque, M. A., & Adhikari, B. (2020). Encapsulation in the food industry: A brief historical overview to recent developments. *Food and Nutrition Sciences*, 11(06), 481.
- Yan, C., Kim, S. R., Ruiz, D. R., & Farmer, J. R. (2022). Microencapsulation for Food Applications: A Review. *ACS Applied Bio Materials*, 5(12), 5497-5512.
- Yan, M., Liu, B., Jiao, X., & Qin, S. (2014). Preparation of phycocyanin microcapsules and its properties. *Food and Bioproducts Processing*, 92(1), 89-97.