

# میکرو کپسول‌ها و کاربرد آن در صنعت نساجی

محمود بحر العلوم طباطبایی<sup>۱\*</sup> منصور بیدکی<sup>۲\*</sup> محمد میرجلیلی<sup>۱</sup>

## چکیده:

نوشته حاضر مروری بر روش‌های تولید میکرو کپسول در صنعت می‌باشد که به بررسی اجمالی این روش‌ها در دو بخش شیمیایی و فیزیکی پرداخته است. در هر یک از این روش‌ها مراحل آماده‌سازی میکرو کپسول، خواص و کاربردهای آن بیان شده و همچنین به بیان مکانیسم آزادسازی هسته از درون دیواره میکرو کپسول می‌پردازد. در آخر به بررسی مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد میکرو کپسول حاصل از آن در صنعت نساجی می‌پردازد.

## مقدمه

به این ترتیب مایع هسته که در محلول پلیمری حل و یا پراکنده شده است به سرعت بوسیله فیلم نازکی از لخته پلیمری پوشیده و احاطه می‌شود. با سرد کردن فرآیند لخته مایع تشکیل شده منعقد شده و به لخته‌ای جامد و ژله‌ای شکل تبدیل شده و به این ترتیب میکرو کپسول حاصل می‌شود. در آخر برای سفت شدن ایجاد کراسلینگ از محلول گلوتر آلدهاید یا گلاسی اکسال و یا فرمالین استفاده می‌کنیم. شماتیک این روش در شکل شماره ۱ آورده شده است [۲].

## انتقال میکرو کپسول‌ها روی الیاف

برای انتقال میکرو کپسول به روی پارچه از دو روش پدینگ و کوتینگ استفاده می‌کنیم. به عنوان مثال در روش پدینگ، پارچه از طریق یک تکمیل آبرزی حمام آب محتوی میکرو کپسول همراه و بدون اضافه شدن مواد کمکی در غلظت‌های مختلف پد می‌شوند. پیک آپ تر در حدود ۱۰۰٪ بوده و سپس پارچه‌ها را در ۱۰۰°C برای ۵ min خشک می‌کنیم. اگر محصولات کمکی در حمام اضافه شود؛ پارچه‌ها را در ۱۳۰°C برای ۳۵ ثانیه پخت

میکرو کپسول دار کردن به عنوان فرآیند پوشاندن و احاطه کردن یک جسم توسط جسمی دیگر در یک مقیاس بسیار کوچک تعریف شده است؛ که حاصل این فرآیند، کپسول‌هایی در محدوده‌ی اندازه‌ی کوچکتر از یک میکرون تا چند صد میکرون است. میکرو کپسول‌ها می‌توانند دارای یک دیواره‌ی پیوسته‌ی کروی شکل باشند که هسته را احاطه می‌کند، اما برخی دیگر دارای اشکال گوناگون و نامتقارن هستند که در بردارنده‌ی قطرات کوچکی از مواد هسته می‌باشند که در میان میکرو کپسول‌ها جاسازی شده‌اند.

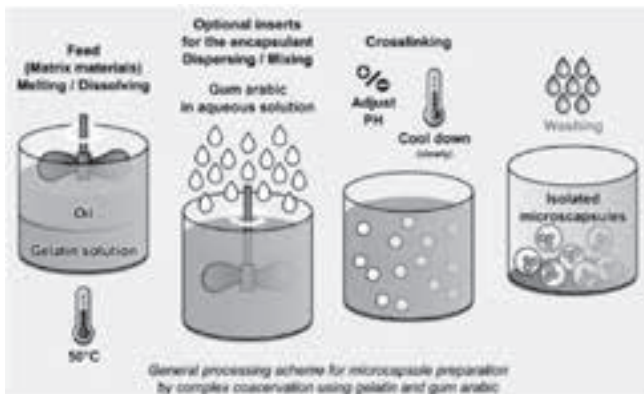
هر سه حالت ماده یعنی جامد، مایع، گاز می‌تواند کپسول گذاری شود و شکل و اندازه کپسول‌ها را تغییر دهد. پوسته، بسته به صنعت و شرکتی که با آن کار می‌کند نام‌های زیادی خواهد داشت. این پوسته به عنوان غشا، دیواره، کاور و یا پوشش نامیده می‌شود. مواد هسته داخلی هم تحت اصطلاحاتی چون پیلود، هسته، کپسولانت، پرکن، اجزای فعال، فاز داخلی، یا اجزای داخلی نامیده می‌شوند. در این مقاله، به روش‌های میکرو کپسول دار کردن در دو بخش شیمیایی و فیزیکی پرداخته شده است [۱].

## میکرو کپسول دار کردن

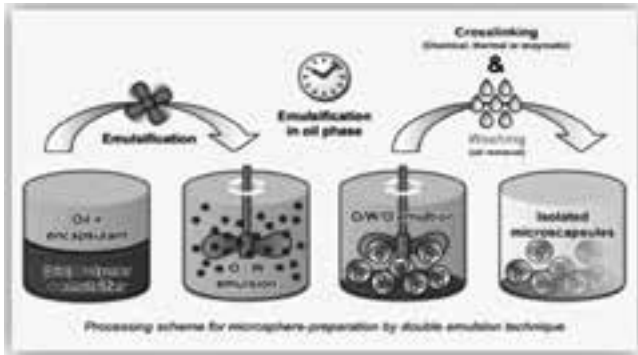
### روش توده‌شدگی

اساس این روش شیمیایی، تشکیل کمپلکس و سپس ایجاد رسوب دو ماده با شارژهای مخالف و به دنبال آن حبس شدن مایع هسته بین رسوب‌های تشکیل شده می‌باشد. در این روش معمولاً از ژلاتین که در آب دارای شارژ مثبت می‌باشد و نیز از صمغ عربی یا آلجینات سدیم که در آب دارای شارژ منفی می‌باشد به عنوان مواد تشکیل دهنده پوسته (خارجی و داخلی) استفاده می‌شود.

در این روش ابتدا مایع هسته با ژلاتین بصورت امولسیون درآمده و به مخلوط حاضر صمغ عربی و یا آلجینات را اضافه می‌کنیم. تبادل بارهای الکترواستاتیکی بین ژلاتین و صمغ عربی یا آلجینات باعث ایجاد لخته یا توده شده که در سراسر هسته می‌نشیند.



شکل ۱- فرآیند میکرو کپسول دار کردن به روش توده‌ای شدن [۳]



شکل ۴- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش سیستم دوامولسیون [۳].

سپس فاز روغنی از طریق شستشو با حلال‌هایی نظیر هگزان برداشته و ذرات جامد جداسازی می‌شوند. این ذرات می‌توانند از طریق خشک کردن به صورت پودر درآیند یا به شکل یک محلول آبی به کار روند [۴].

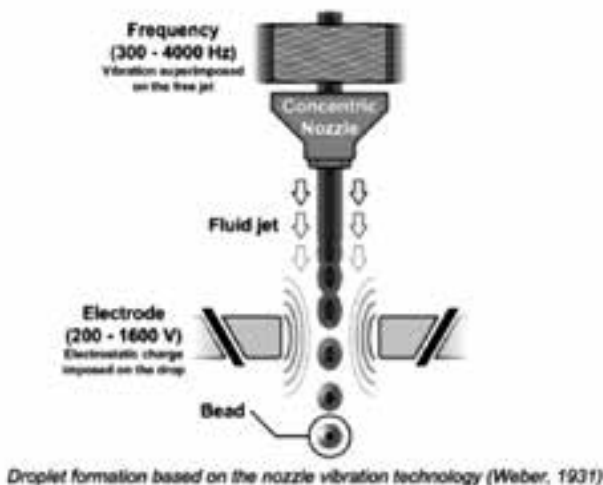
### تثبیت دوامولسیون

امولسیون‌های دوتایی «آب-روغن-آب» (O/W/O) اگر اجزای فعال هیدروفوب باشند می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. اجزای فعال ابتدا به یک فاز روغنی اضافه می‌شوند. سپس این فاز روغنی در فاز بیوپلیمری آبی به حالت تعلیق درآورده می‌شوند تا یک امولسیون ۲تایی O/W/O را تشکیل دهند. چالش معمول تثبیت امولسیون برای اجزای هیدروفوب، نگهداری از هسته است.

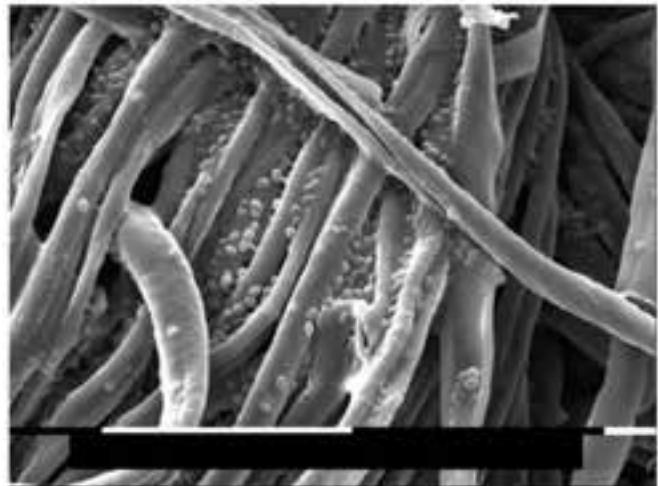
از دست رفتن هسته اغلب در طول فرآیند کپسول کردن رخ می‌دهد. مزیت اصلی این تکنولوژی، انعطاف‌پذیری درجه‌ی کنترل تثبیت و اندازه‌ی کوچک ذراتی است که می‌توان بدست آورد. معایب شامل قیمت بالا و تلاش مربوط به رفع فازهای روغنی و از دست رفتن محتویات کپسول، حین پردازش است [۴].

کاربرد روش تثبیت امولسیون در موارد زیر است:

- سیستم آزادسازی دارو
- کپسوله کردن عطرها برای کاربرد در رخت‌شویی
- کپسوله کردن ترکیبات برای کاربرد در غذاها



شکل ۵- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش خرد کردن جت (تکنولوژی لوزشی) [۳].



شکل ۲- میکروکپسول‌های پد شده روی یک پارچه پنبه‌ای با بزرگنمایی ۵۰۰ [۲].

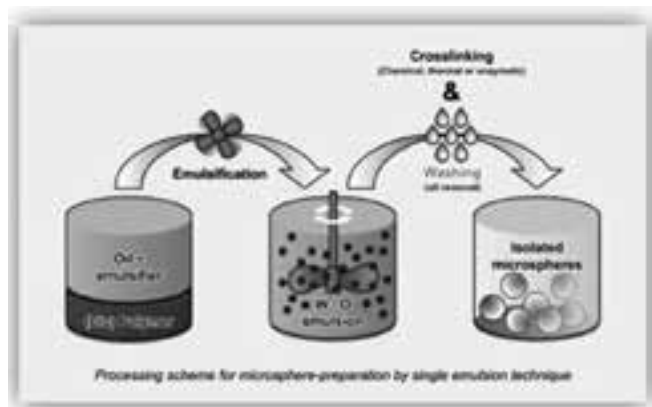
می‌دهیم، سپس پارچه‌ها را بر روی یک میز معمولی چاپ کوتینگ می‌کنیم. خشک شدن و پخت در یک استنتر سوزنی انجام شده است [۲].

### روش تثبیت امولسیون

در این تکنیک، فاز تشکیل شده از محلول پلیمری که حاوی مواد هسته می‌باشد به داخل فاز حاوی عامل امولسیون کننده غیر قابل امتزاج با فاز اول، پراکنده می‌شود. در مرحله بعد، حلال درون قطرات امولسیون با به کارگیری گرما، ایجاد خلأ یا تبخیر حلال در دمای اتاق از میکروکپسول‌های تشکیل شده خارج می‌شود و پوسته کپسول سخت می‌شود. امولسیون‌سازی با توجه به امتزاج‌پذیری ماده هسته با آب به دو نوع تک‌امولسیون (امولسیون‌های روغن در آب O/W و آب در روغن W/O) و دو امولسیون آب در روغن در آب (W/O/W) تقسیم می‌شود [۴].

### تثبیت تک‌امولسیون

امولسیون‌های منفرد «آب در روغن» (W/O)، اگر اجزای فعال در آب محلول باشند، به کار گرفته می‌شوند. در این مورد یک محلول بیوپلیمر آبی، محتوی مواد فعال در یک فاز هیدروفوب مانند روغن گیاهی یا حلال آلی به حالت تعلیق درآورده می‌شود. هنگامی که اندازه مطلوب قطرات به دست آمد، مواد ماتریکس از طریق پیوندشدگی، تثبیت می‌شوند.



شکل ۳- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش سیستم تک‌امولسیون [۳].

• کپسوله کردن آفت کش ها [۴].

### روش های فیزیکی تولید میکروکپسول

#### روش فیزیکی خرد کردن جت:

این روش که با دو تکنولوژی لرزشی و جت-کاتر انجام می شود برای تولید دانه های کروی و مونودیسپرس، مورد توجه صنایع مختلف مانند داروسازی، صنایع غذایی و شیمیایی یا بیوتکنولوژی قرار گرفته است که در زیر هر یک از این دو روش به طور خلاصه بیان می شود.

#### تکنولوژی لرزشی

این تکنولوژی بر مبنای یک اصل قدیمی است؛ (لرد رابلی، در اواخر قرن نوزدهم) که نشان می دهد یک جریان مایع لامینار به واسطه ی یک لرزش فوق تحمیلی، به قطراتی با اندازه های مساوی شکسته می شود.

شکل ۵- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش خرد کردن جت (تکنولوژی لرزشی) [۳]. در این روش، قطره ها از یک میدان الکترواستاتیک باردار شده عبور می کنند. در نتیجه این قطرات در طول عبور به یکدیگر برخورد نمی کنند و بر روی یک سطح بزرگ حمام ژلاتین گسترده خواهند شد؛ بنابراین دانه های مونودیسپرس حاصل می شوند. با استفاده از تکنولوژی لرزشی، تولید کپسول های قابل بازیابی با قطر و شکل کروی یکسان و در محدوده ی قطر ۰/۱ تا ۳ میلی متر امکان پذیر است [۳].

#### تکنولوژی جت کاتر

جت کاتر یک تکنولوژی ساده برای تولید دانه ها است که نیاز به تولید دانه های مونودیسپرس را با یک توان عملیاتی بالا، از سیالات دارای ویسکوزیته ی کم تا زیاد، برآورده می سازد. سیال با یک سرعت زیاد فشرده می شود و خارج از نازل به صورت یک جریان جامد درمی آید.

درست در زیر نازل، جریان توسط یک ابزار برش چرخشی که از سیم های کوچک نصب شده در یک نگهدارنده ساخته شده است، به قطعات استوانه ای برش داده می شود. به علت کشش سطحی قطعات استوانه ای به شکل دانه های کروی درمی آیند.

شکل ۶- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش خرد کردن جت (تکنولوژی جت کاتر) [۳]. یکی از تفاوت های اساسی با تکنولوژی لرزشی آن است که تنها یک برش مکانیکی و شکل دهی دانه های بعدی، ناشی از کشش سطحی مسئول تولید دانه ها هستند، بنابراین ویسکوزیته ی سیال هیچ تأثیر مستقیمی بر شکل دهی دانه ها ندارد. پس، جت کاتر، یک تکنولوژی مساعد برای پردازش سیالات با ویسکوزیته ی بسیار بالایی است.

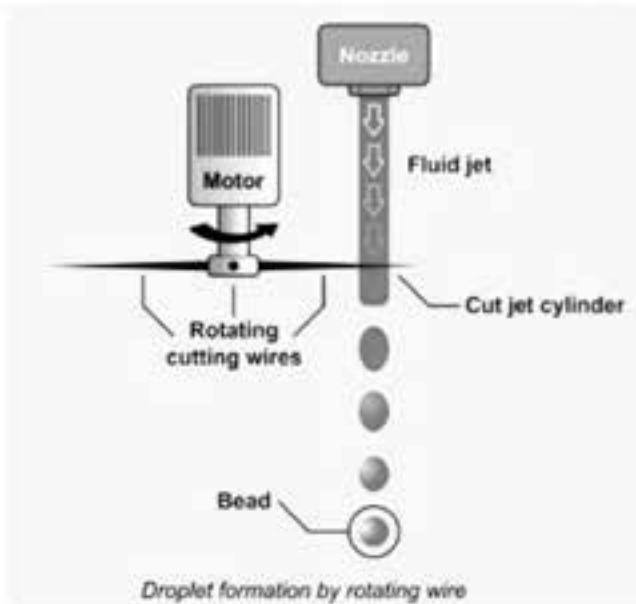
شکل ۷- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش خرد کردن جت (تکنولوژی جت کاتر) [۳].

#### تولید میکروکپسول به روش فیزیکی با استفاده از سیال های فوق بحرانی

استفاده از حلال های فوق بحرانی در ساخت میکروکپسول ها، روش جدیدی در صنایع دارویی محسوب می شود که در آن اندازه ذرات میکروکپسول قابل کنترل است و از حلال های آلی و یا مواد امولسیون کننده سمی استفاده نمی شود.

همچنین در این روش دفع مایعات مضر محیط زیست، به حداقل می رسد. در صورتی که یک سیال در شرایط دما و فشار بالاتر از دمای بحرانی و فشار بحرانی قرار داده شود سیال به عنوان سیال فوق بحرانی شناخته می شود.

سیال در این شرایط که در حالتی بین گاز و مایع قرار دارد از نفوذپذیری بالایی در مقایسه با شرایط دما و فشار پایین تر برخوردار است. اختلاف فشار بخار و اختلاف قطبیت بین



شکل ۶- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش خرد کردن جت (تکنولوژی جت کاتر) [۳].

ماده فعال و سیال بحرانی از پارامترهای مهم ترمودینامیکی در فرآیند میکروکپسول سازی محسوب می شود. در بین سیال ها، دی اکسید کربن، به علت قیمت پایین و غیرقابل اشتعال بودن و نیز قدرت انحلال بالا در مقایسه با سایر سیال ها در شرایط بحرانی، از کاربرد گسترده تری جهت میکروکپسول سازی برخوردار است. دی اکسید کربن دارای شرایط دما و فشار بحرانی دست یافتنی است. ( $T = 31^{\circ}\text{C}$  و  $C = 7.37\text{mPa}$ ) [۳].

روش های فوق بحرانی به دو روش زیر تقسیم می شود:

#### ۱- انبساط سریع محلول فوق بحرانی (RESS)

پلیمرهای مرسوم در ساخت میکروکپسول ها، از محدودیت انحلال پذیری در  $\text{CO}_2$  در دماهای پایین تر از  $80^{\circ}\text{C}$  برخوردار می باشند. این محدودیت، با افزایش دما و فشار (دما و فشارهای بسیار بالا) مرتفع خواهد شد. اما دستیابی به دما و فشارهای بسیار بالا جهت فرآیند میکروکپسول سازی ممکن نیست. از این رو در فرآیند RESS جهت افزایش انحلال پذیری پلیمر در  $\text{CO}_2$  در دما و فشار عملیاتی، از یک کمک حلال مانند اتانول، متانول و ۱- پروپانول استفاده می شود. این کمک حلالها با کاهش کشش در فصل مشترک بین پلیمر و حلال و افزایش دانسیته انرژی هم چسبی  $\text{CO}_2$  سبب افزایش انحلال پذیری پلیمر در  $\text{CO}_2$  می شوند.

اتانول به عنوان حلال غیرسمی، در مقایسه با کمک حلال های دیگر از بازدهی بالایی



شکل ۷- فرآیند ساخت میکروکپسول به روش خرد کردن جت (تکنولوژی جت کاتر) [۳].

از کارهای صنعتی از فرآیند اسپری از ته بدون ستون و رستر استفاده می‌کنند. در فرآیند ورستر، ذرات ریز به علت قدرت پیوندی بالای مواد پوشش‌دهنده و شارژ الکترواستاتیکی، تمایل به تجمع دارند و در اثر آن به دیواره مخزن می‌چسبند.

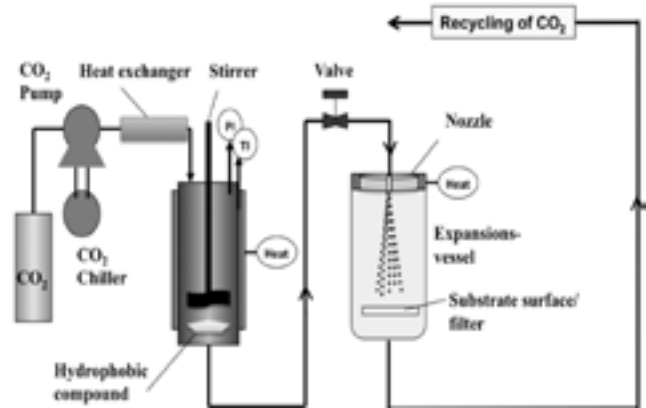
در این روش اندازه ذرات بزرگ است و رهايش هسته به سرعت انجام می‌شود. در فرآیند اسپری از بالا، مواد تشکیل‌دهنده پوسته، به سمت پایین اسپری می‌شوند. در این روش ذرات ریزی تولید می‌شود [۸]. بطور خلاصه از روش امولسیون‌سازی و بخصوص تکنیک امولسیون‌سازی آب در روغن در آب اغلب برای میکروکپسول‌سازی محصولات استریل و مورد مصرف موجودات زنده استفاده می‌شود، زیرا استفاده از فعال در سطح و حلالهای آلی، مشکلاتی را ممکن است برای مواد هسته در این روش ایجاد نماید [۹]. در بین روش‌های فیزیکی، روش خشک کردن افزایش‌های قدیمی‌ترین و باصرفه‌ترین روش در تولید میکروکپسول‌ها می‌باشد. این روش، نسبتاً ساده و دارای توان عملیاتی بالا می‌باشد، اما معایب آن، بازدهی کم بعلت چسبندگی ذرات به دیواره خشک‌کن و تجمع ذرات در هنگام خروج از سیستم، استفاده از حلالهای آلی و دمای عملیاتی بالا (تخریب‌کننده پایداری حرارتی و گزینش‌پذیری مواد دارویی) می‌باشد [۸].

از روش پوشش‌دهنده بستر سیال در مقایسه با سایر روش‌های فیزیکی بطور گسترده‌ای در مقیاس تجاری استفاده می‌شود که استفاده از، بعلت بازدهی بالاتر کاربرد گسترده‌تری در صنایع غذایی دارد. در روش‌های مختلف پاشش، ذرات با توزیع اندازه باریکی بدست می‌آیند.

بطور کلی، در اغلب روش‌های فوق، تولید میکروکپسول‌ها مبتنی بر تولید امولسیون‌هایی شامل فازهای آبی و آلی می‌باشد که در نتیجه آن نیاز به استفاده از حلالهای آلی حداقل در یکی از مراحل تولید را کاهش می‌دهد. باقیمانده حلال آلی می‌بایست پس از تهیه میکروکپسول‌ها در مرحله خشک کردن خارج شود، زیرا در بسیاری از موارد حضور حلال می‌تواند فعالیت ماده فعال میکروکپسول را کاهش دهد. از این رو جهت مرتفع کردن اغلب مشکلات فوق، استفاده از سیالات فوق بحرانی در ساخت میکروکپسول‌ها در سال‌های اخیر توسعه قابل توجهی یافته است. در این روش بجای استفاده از حلال آلی از  $CO_2$  به عنوان سیال فوق بحرانی و یک حلال مایع کمکی که مواد پلیمر را در  $CO_2$  حل می‌کند استفاده می‌شود. پس از تماس  $CO_2$  با محلول مایع حاوی مواد پلیمری، مواد پلیمری بر سطح ذرات، رسوب می‌کنند [۸].

#### کاربردهای نساجی میکروکپسول‌ها

میکروکپسول‌ها در صنعت نساجی با بکار بردن مواد مختلفی چون آنتی‌باکتریال، تغییر فازدهنده، دافع حشره، اسانس و ... به عنوان هسته کپسول کاربرد وسیعی در این صنعت دارند. به طور نمونه کاربرد میکروکپسول‌های معطر در فرش و قالی و موکت، میکروکپسول‌های دافع حشره در لباس زیر، میکروکپسول‌های تغییر فازدهنده در



شکل ۸- فرآیند RESS برای ساخت میکروکپسول [۵].

جهت افزایش انحلال‌پذیری پلیمرها در  $CO_2$  برخوردار است. از طرفی کمک حلالهایی که سبب انحلال‌پذیری مواد پلیمری در  $CO_2$  می‌شوند، حلالهای خوبی برای اجزای هسته محسوب نمی‌شوند. در نتیجه اجزای هسته که شامل مواد دارویی می‌باشند در محلول حاوی سیال فوق بحرانی به صورت معلق باقی می‌مانند. در شکل ۸ تصویری از فرآیند RESS نشان داده شده است. در RESS محلول حاوی حلال فوق بحرانی به همراه ذرات جامد پس از عبور از یک نازل، بر اثر افت فشار زیاد، منبسط می‌شود و به علت ایجاد شرایط محلول فوق‌اشباع، مواد پلیمری بر روی ذرات معلق رسوب می‌کنند و پوسته‌ای بر روی ذرات تشکیل می‌دهند [۶].

۲- فرآیند GAZ (بکارگیری یک غیر حلال گازی)

این فرآیند جهت بلوری کردن مواد پلیمری که به مقدار بسیار کمی در سیالات بحرانی حل می‌شوند بکار می‌رود. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در ابتدای فرآیند ماده پلیمری در حلال آلی حل می‌شود. سپس با افزودن یک سیال فوق بحرانی (بعنوان یک غیرحلال پلیمر که با حلال آلی امتزاج‌پذیر است) به محلول، حلال آلی تبخیر و در سیال فوق بحرانی حل می‌گردد و در نتیجه این عمل، ماده پلیمری بر روی ذرات معلق هسته رسوب می‌کند. اساس این فرآیند، انبساط حجمی حلال آلی در اثر تماس با سیال فوق بحرانی است [۶].

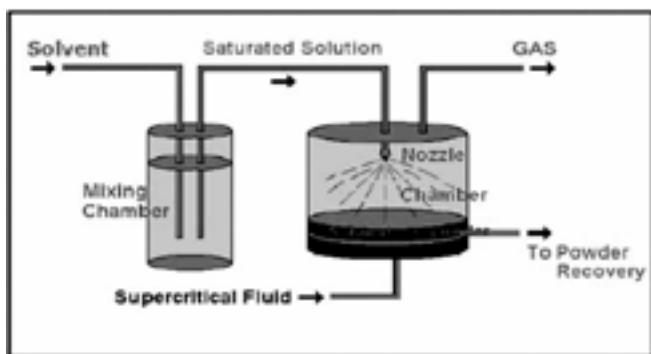
کاربرد میکروکپسول با تکنولوژی سیال فوق بحرانی در موارد زیر می‌باشد:

- مواد آرایشی (ویتامین‌ها، رنگدانه‌ها، رنگ‌ها، نانو ذرات و...)
- داروسازی (پروتئین‌های درمانی)
- غذا (چاشنی‌های فرار، ویتامین‌ها و ...)

#### تکنولوژی فیزیکی پوشش‌دهنده بستر سیال

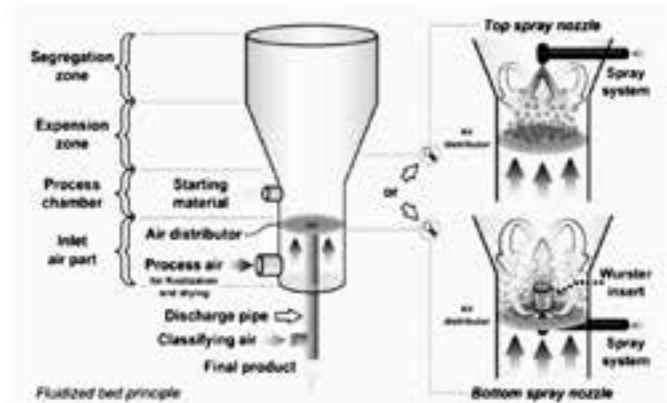
از این تکنیک معمولاً در مقیاس‌های بزرگ و تجاری استفاده می‌شود. این تکنیک برای میکروکپسول‌دار کردن ذرات جامد و متخلخل استفاده می‌شود. در این تکنیک ذرات جامد یا متخلخل بصورت معلق در یک جریان گازی (معمولاً هوا) به حرکت درمی‌آید. سپس مواد تشکیل‌دهنده پوسته (پلیمرهای طبیعی و یا مصنوعی) در این جریان افشاندن می‌شوند و اطراف ذرات را می‌پوشانند و در اثر تبخیر سریع به تشکیل لایه‌ای بیرونی بر روی ذرات کمک می‌کند.

نازلی که ماتریکس را به پودر تبدیل می‌کند، می‌تواند هم در ته (فرآیند اسپری از ته) و هم از بالای (فرآیند اسپری از بالا) ذرات اسپری کند. برای اسپری از ته، با استفاده از ستون ورستر (یک اتاقک تفکیک مخروطی شکل در داخل اتاقک تبدیل به مایع) به ذرات فشار وارد می‌شود تا در نازل به یکدیگر نزدیک شوند؛ بنابراین آنها مقادیر مساوی از مواد پوشاننده را دریافت خواهند کرد. اما از آنجا که فرآیند را دچار افت می‌کند، بسیاری



شکل ۹- فرآیند ساخت میکروکپسول با به کارگیری یک غیر حلال گازی (GAZ) [۷].

ایجاد می‌کند. [۱۱]. همچنین نکته مهم دیگر اینکه محصول تولید شده در کدام قسمت از بدن کاربرد دارد زیرا اطراف سر و تنه بدن ماده‌ای با دمای تغییر فاز بالاتر و برای پایین تنه ماده‌ای با دمای تغییر فاز کمتر سفارش شده است. جهت مصارف پوشاکی ماده تغییر فاز دهنده‌ای ایده‌آل است که دمای تغییر فازش کمتر از دمای پوست بدن (به طور متوسط  $33/2^{\circ}\text{C}$ ) باشد. در چنین حالتی اگر دمای محیط بالاتر از این مقدار باشد، احساس خنکی و در پایین‌تر از این دما احساس گرمی ایجاد می‌کند. اگر هدف خنک کردن باشد بهتر است دمای تغییر فاز کمی بالاتر باشد تا در محیط با دماهای بالاتر دوباره شارژ شود. کاربردهای دیگر پوشاکی مواد تغییر فاز دهنده شامل ژاکت و جلیقه، دستکش، پوشش داخل کفش یا چکمه، وسایل محافظتی چون کلاه موتورسواری و لایه‌های محافظتی گردن و آرنج و همچنین کاربردهای غیرنساجی می‌باشد [۱۲].



شکل ۱۰- فرآیند تشکیل میکروکپسول به روش پوشش دهنده بستر سیال [۳].

#### پی‌نوشت

۱. دانشکده نساجی، دانشگاه آزاد یزد، یزد
۲. دانشکده نساجی، دانشگاه یزد، یزد

لباس‌های نظامی، تحول بزرگی در صنعت نساجی ایجاد کرده است [۹]. در اینجا به خاطر کاربرد و همچنین اهمیت مواد تغییر فاز دهنده به طور خلاصه اشاره‌ای به این دسته از مواد و میکروکپسول حاصل از آن خواهیم داشت.

#### مراجع

- [1] Microtech, laboratories, Inc, "Technical Overview: Microencapsulation.
- [2] Mari A m. Miro Specos, Germa N escobar, Patricia marino, Cesar puggia, M. Victoria, Defain Tesoreiro and Laura Hermida, " Aroma Finishing of Cotton Fabrics by Means of Microencapsulation Techniques", Journal of Industrial Textiles OnlineFirst, published on April 13, 2010.
- [3] Internet web site <http://www.gate2tech.org>
- [4] Karsa, D.R, "Encapsulation and controlled release", Royal society of chemistry, (1993).
- [5] <http://www.organic.lu.se/people/Charlotta%20Turner/SuperSurface/index.html>
- [6] Kumar Ghosh, S., functional coatings, Pages (e.g. 22-25), 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [7] <http://eng.ege.edu.tr/~otles/SupercriticalFluidsScienceAndTechnology/bolumb/Wce80fa75b05ce.htm>
- [8] Benita, S., Microencapsulation Methods and Industrial Applications, Second Edition, Pages (e.g. 16-18), 2006 2006 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group,
- [9] Naresh M. Saraf, Deepak V. Alat and Ruma Chakrabarti, of Sarex Overseas, India, " Microencapsulation at an Affordable Price".
- [10] Nelson, G. " Application of microencapsulation in textile "International journal of pharmaceutics, (2002).
- [11] Nihal Sarier, Emel Onder, " The manufacture of microencapsulated phase change materials,
- [12] Nelson, G. "Microencapsulation in textile coloration and finishing". Rev. proy (1991).

#### مواد تغییر فاز دهنده

مواد تغییر فاز دهنده (PCM) به موادی گفته می‌شود که می‌تواند در یک محدوده دمایی مشخص تغییر فاز بدهد. جهت این تغییر فاز لازم است که انرژی از محیط اطراف جذب یا به آن بازگردانده شود. این مواد انرژی لازم را از محیط بصورت حرارت جذب کرده و در اثر شکسته شدن پیوندهای ساختارشان به آرامی ذوب می‌شوند. در طول فرآیند ذوب شدن، دما ثابت می‌ماند و حرارت به صورت گرمای نهان ذوب جذب می‌گردد. پس از اینکه ماده کاملاً ذوب گردید، دمای آن افزایش می‌یابد. فرآیند انجماد برعکس حالت فوق بوده و زمانی که دمای محیط اطراف کمتر از دمای مواد تغییر فاز دهنده باشد، با آزاد شدن حرارت از حالت مایع به جامد تغییر فاز داده و تا انجماد کامل، آن دما ثابت می‌ماند. به دلیل بالا بودن ظرفیت حرارتی مواد تغییر فاز دهنده، با استفاده از میکروکپسول آنها می‌توان ظرفیت حرارتی سایر مواد را افزایش داد.

انتخاب مواد تغییر فاز دهنده مناسب به فاکتورهای زیادی بستگی دارد که مهمترین آن دمای تغییر فاز آن ماده است. عملکرد مناسب مواد تغییر فاز دهنده باعث می‌شود که جریان حرارتی از محیط به بدن یا بالعکس افت نموده، لذا دمای پوست بدن ثابت مانده و یک سطح مناسبی از راحتی فراهم می‌شود. پوشاک حاوی مواد تغییر فاز دهنده در مقابل تغییر حرارت بدن یا دمای محیط حساس بوده و دمای بدن را در یک محدوده زمانی مشخص به حالت پایدار می‌رساند [۱۰].

#### فاکتورهای فیزیولوژیکی در مواد تغییر فاز دهنده

مهمترین مسأله این است که تفاوت‌های فیزیولوژیکی چه تأثیری بر عملکرد مواد تغییر فاز دهنده خواهند داشت؟ علاوه بر اختلاف دمای زن و مرد، نقاط مختلف بدن هر زن و مردی هم دارای اختلاف می‌باشد. به طور متوسط به دلیل پاسسن بودن سرعت سوخت و ساز در بدن زنان، دمای پوست بدنشان کمتر از مردان است. لذا جهت تهیه پوشاک زمستانی مناسب برای زنان، مواد تغییر فاز دهنده‌ای که دمای تغییر فاز آن نسبتاً پایین باشد، بهتر است.

در مورد دستکش مناسب زنان، اگر از موادی با دمای تغییر فاز  $28/3^{\circ}\text{C}$  استفاده شود ممکن است ظرفیت حرارتی اش کاملاً پرنگردد، در حالیکه اگر از موادی با دمای تغییر فاز  $18/3^{\circ}\text{C}$  استفاده شود، به دلیل توان جذب حرارت تولید شده احساس راحتی بیشتری