

## فرآیند تولید ذرات در سیالات فوق بحرانی

### Supercritical fluid particles in the manufacturing process

اسحاق بازدان ، مریم فره وشى

Eshagh Bazhdan , Maryam Farahvashi

eshaqbazhdan@yahoo.com

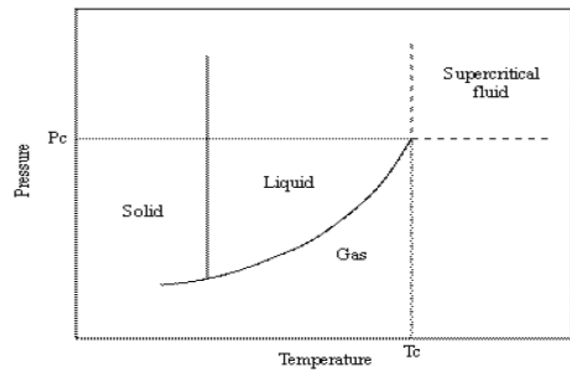
#### چکیده

با وجود آن که حدود چند دهه از ورود سیالات فوق بحرانی به چرخه صنعت می گذرد ، اما کاربردهای متعددی از این سیالات در مجلات مهندسی و شیمیایی گزارش شده است. در این کاربردها فشار بیش از فشار بحرانی می باشد و برخلاف فرآیندهای انجام شده در فاز مایع فشار متغیر ، مؤثر در کنترل فرآیند است. سیالات فوق بحرانی از نظر خواص انتقالی مانند گازها (نفوذپذیری بالا و وسکوزیته کم) از نظر قدرت شبیه حلال های مایع هستند. با توجه به این خواص سیالات فوق بحرانی برای گستره وسیعی از مواد خالص سازی ، استخراج ، تفکیک و جزء به جزء کردن و کریستالیزه کردن استفاده می شود. در این مقاله کاربردهای مختلف سیالات فوق بحرانی در استخراج ، صنایع شیمیایی ، غذایی ، دارویی ، صنایع نفت ، پتروشیمی و پلیمر بیان شده است.

کلمات کلیدی : تولید ذرات ، سیالات فوق بحرانی ، کاربرد سیالات فوق بحرانی

#### (۱) مقدمه

سیال فوق بحرانی ، حالتی از ماده است که دما و فشار آن بزرگتر از دما و فشار نقطه بحرانی آن باشد. منطقه کاربردی سیالات فوق بحرانی محدوده  $1 < T_r < 1$  و  $1 < P_r < 2$  می باشد. در دمای بالاتر از دمای بحرانی ، سیال نه تبخیر می شود نه مایع می گردد، بلکه با افزایش فشار ویژگی های مشابه با گاز، به ویژگی های مشابه با مایع تغییر می کند. در حالت کلی خواص این سیال حدواسط خواص گاز و مایع می باشد. در این حالت تشخیص حالت ماده به صورت مایع یا گاز غیر ممکن است و سیال در این حالت نمی تواند تا مدت طولانی با افزایش فشار تبدیل به مایع گردد یا با افزایش دما تشکیل گاز دهد. لذا می توان به آسانی و بدون مشاهده تغییر فاز در سیال، برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آن از قبیل چگالی ، ثابت دی الکتریک و وسکوزیته را با تغییر فشار دما کنترل کرد. دیاگرام فازی ماده خالص در شکل ۱ مشاهده می شود.



ناحیه سیال فوق بحرانی محدوده ای از نقاط بحرانی است که در این ناحیه، برای هر ماده خالص دمای بالاتراز دمای بحرانی (بالاترین فشاری که یک مایع توسط افزایش دما تبدیل به گاز شود) می باشد. در این ناحیه فقط یک فاز وجود دارد و خصوصیات مایع و گاز یکسان است. سیال فوق بحرانی، مانند گازها تراکم پذیر بوده و ظرف را پر می کند. ضریب نفوذ و ویسکوزیته سیال فوق بحرانی به ضریب نفوذ گازها نزدیک تر است تا مایعات، اما چگالی آن بین چگالی گاز و مایع، به مایعات نزدیک تر است. چگالی این سیالات قدرت حلالیت قابل ملاحظه ای را برای آن ها فراهم می آورد. این مزیت سبب کاربرد وسیع این مواد در انواع فرآیندهای جداسازی و تفکیک می گردد. ضریب نفوذ بالاتر، و ویسکوزیته و کشش سطحی پایین تر سیال فوق بحرانی، نسبت به حلال مایع باعث انتقال جرم بهتری می گردد. در واقع یک رابطه بسیار نزدیک میان چگالی سیال، قدرت حل شونده و انتقال جرم وجود دارد و این امر موجب می شود که سیالات فوق بحرانی واسطه مفیدی برای تکنیک های استخراج و تفکیک باشند. سیال فوق بحرانی می تواند درحلال غیر فرار حل شود درحال حاضر به علت تمایل به کاهش هزینه انرژی فرآیندها، فرآیندهای فوق بحرانی اهمیت پیدا کرده اند. تصور بر این است که روش های سیال فوق بحرانی راه های دیگر مقرون به صرفه ای را برای تقطیر و استخراج مایع ارائه می دهند. در طی سال های اخیر کاربرد این سیالات جهت تهیه داروهای پودری با ویژگی مشخص، مانند توزیع اندازه ذره بوده است. این بررسی، پیشرفت هایی را برای تولید توسط سیالات فوق بحرانی به ویژه در زمینه داروسازی و سیستم های ارسال دارو ایجاد کرده است. تمام گازها می توانند سیالاتی فوق بحرانی بالای شرایط خاص بحرانی خود تشکیل دهند. گرچه دماهای بسیار بالا و یا فشارهای بسیار بالا ممکن است لازم باشد، با این وجود انتخاب سیال موردنظر جهت تولید ذره امری بسیار مهم است. متداولترین موادی که دما و فشار بحرانی دارد کربن دی اکسید هست که به علت داشتن برخی خصوصیات ویژه، در بسیاری از صنایع به دیگر سیالات ترجیح داده می شود کربن دی اکسید از نقطه نظر کاربردهای دارویی یا استفاده در صنایع غذایی حلال بسیار خوبی است زیرا غیر رسمی، غیر قابل اشغال و ارزان می باشد و می تواند به آسانی از محصول نهایی جدا شود و دما و فشار بحرانی آن پایین می باشد. این ویژگی ها این سیال را برای استخراج ترکیبات خاصی مثل ترکیبات بیواکتیو که هم غیر قطبی هستند و هم از لحاظ حرارتی تغییر پذیر می باشند، مناسب می سازد. زیرا کربن دی اکسید خود ماهیت غیر قطبی دارد و از این رو نمی توان آن را در جهت حل کردن مولکول های قطبی به کاربرد. حلالیت ترکیبات قطبی در کربن دی اکسید فوق بحرانی و ایجاد یک گزینش پذیری مطلوب را می توان توسط افزودن مقداری از حلال های دیگر، مانند اتانول افزایش داد. این عمل مزایای دیگری چون کاهش دادن

زمان فرآیند و افزایش بازده فرآیندی را نیز در پی دارد، ولی از سوی دیگر افزودن یک حلال دیگر می تواند موجب افزایش هزینه های سرمایه گذاری و پیچیده شدن ترمودینامیک سیستم شود. (۱)

استخراج به وسیله سیال فوق بحرانی یک تکنیک قدرتمند و جالب در فرآیند های جداسازی به شمار می آید در چند دهه اخیر به آن توجه شده است. از مزایای این روش می توان به قدرت حلالیت بالا، گزینش پذیری، پاکیزگی، کاهش مصرف حلال های سمی و سرعت انجام فرآیند اشاره کرد. در بیشتر فرآیندهای فوق بحرانی از گاز دی اکسید کربن به عنوان سیال استفاده شده است. که به علت دما و فشار بحرانی نسبتاً پایین برای استخراج موادی که به دما حساس می باشند مناسب است. با گسترش تحقیقات در زمینه استخراج مواد طبیعی از گیاهان به کمک سیال فوق بحرانی در مقیاس آزمایشگاهی و لزوم صنعتی کردن این تحقیقات محققان را به انجام مدل سازی فرآیند سوق می دهد. مدل سازی به ما این امکان را میدهد تا نتایج به دست آمده در مقیاس آزمایشگاهی را به مقیاس صنعتی گسترش دهیم. از کاربرد های مدل سازی می توان به این مثال اشاره کرد که می توان با استفاده از واحد های آزمایشگاهی یا پایلوت، سنتیک واکنش ها و همچنین شرایط بهینه فرآیند را تعیین کرد. مدل سازی در بحث طراحی به منظور تعیین اندازه و آرایش فرآیند، بررسی اثر بخش های مختلف فرآیند بر یک دیگر، تعیین راهبرد کنترل و شبیه سازی فرآیند کمک می کند، این موضوع ما را در رفع معضلات کنترل فرآیند و بهینه سازی شرایط عملیاتی کمک می کند. مدل سازی ریاضی فرآیند استخراج فوق بحرانی از ماتریس های طبیعی به علت عدم وجود اطلاعات کافی درباره بافت گیاه و اجزای موجود در گیاه و اینکه جزء یا اجزای حل شونده در کدام قسمت از ماتریس گیاهی قرار دارد کار نسبتاً پیچیده ای است. محققان برای پیش بینی استخراج مواد گوناگون از گیاهان مدل های را پیشنهاد کردند این مدل ها در سه گروه عمده قرار می گیرند که عبارت اند از:

۱\_ مدل های تجربی ۲\_ مدل های که بر اساس موازنه جرمی به دست آمده است ۳\_ مدل های که بر اساس تشابه بین حرارت و جرم نوشته شده است.

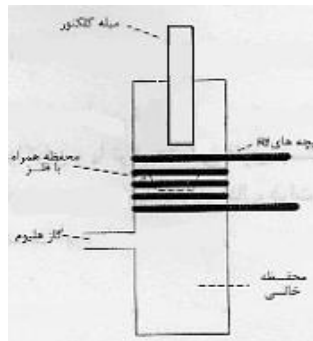
هر یک از مدل های فوق استخراج مواد از ماتریس های طبیعی را به خوبی پیش بینی کرده اند و تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشته اند. (۲)

## ۲) سنتز سیال فوق بحرانی

سیالات فوق بحرانی یا گازهای فشرده بعنوان یک محیط مناسب برای کریستالیزاسیون و تولید نانو پودرها پیشنهاد شده اند. سیالات فوق بحرانی دارای خواص شبه گازی و شبه مایع میباشند که علاوه بر ارزان بودن، اثر آلوده کنندگی نیز ندارند و موجب کنترل دقیق فرآیند کریستالیزاسیون شده و توانایی تولید ذرات بسیار ریز با مورفولوژی و توزیع اندازه ذرات مناسب را فراهم میآورند. فرایندهای مختلف تولید نانو پودرها بر پایه سیال فوق بحرانی شامل انبساط سریع سیالات فوق بحرانی، آنتی حلال فوق بحرانی (۱)، ذرات حاصل از محلول اشباع گازی و کاهش فشار محلول آلی مایع منبسط شده میباشند. انبساط سریع سیالات فوق بحرانی یک روش کریستالیزاسیون است که از خواص یک سیال فوق بحرانی مانند  $CO_2$  بعنوان یک حلال برای تسهیل تولید نانو پودر استفاده میکند. فرآیند در دو مرحله صورت میگیرد



که عبارتند از: انحلال پذیری و تشکیل ذره. نیروی محرکه فرآیند از طریق کاهش سریع فشار محلول فوق بحرانی توسط نازل تأمین میشود و منجر به هسته زایی سریع و تولید ذرات ریز میشود. فرآیند دارای مزایای متعددی است. هر چند این فرآیند در فشارهای بالا اتفاق میافتد اما دمای مورد نیاز نسبتاً پایین است، در نتیجه هزینه های انرژی پایین میباشد. مزیت دیگر این فرآیند عدم وجود خطرات محیطی است. البته بزرگترین مزیت این فرآیند قابلیت ساخت ذرات بسیار کوچک در مقیاس میکرو و نانو با توزیع اندازه ذرات مناسب و عاری از حلال است. با وجود این مزایا، این روش دارای برخی از معایب نیز می باشد. از معایب اصلی این فرآیند میتوان به نسبت بالای گاز به ماده بواسطه حلالیت پایین ماده، نیاز به فشار بالا و مشکل جدایش ذرات زیر میکرون از حجم بزرگی از گاز در مقیاس صنعتی اشاره کرد.



شکل ۲ طرحی از دستگاه سنتز نانوذرات با استفاده از پلاسمای تولید شده بوسیله ی RF

یکی دیگر از روشهای تولید نانوپودرها مبتنی بر سیال فوق بحرانی، فرآیند آنتی حلال فوق بحرانی (SAS) ۱ است که از سیستمهای دوتایی حلال، آنتی حلال برای تولید میکروپودرها و نانوپودرها استفاده میکند. در این روش، سیال فوق بحرانی (بطور مثال  $CO_2$ )

به عنوان یک آنتی حلال عمل می کند و باعث متبلور شدن جسم حل شونده میشود. نیروی محرکه اصلی برای این فرآیند تشکیل قطره است که از طریق برهم کنش حلال آنتی حلال بوجود میاید.

فرآیند PGSS برای ساخت ذرات با توانایی کنترل توزیع اندازه ذرات به کار برده میشود. نیروی محرکه فرایند PGSS یک افت دمای ناگهانی محلول در دمای زیر نقطه ذوب حلال است. در نتیجه این عمل، محلول از فشار کاری به شرایط اتمسفری تغییر وضعیت میدهد و در نتیجه میتوان اثر ژولتامسون را مشاهده کرد. سرمایش سریع محلول موجب تبلور جسم حل شده میشود و هسته زایی هموزن برای تشکیل ذرات بهوجود می آید. مزیت مهم فرآیند PGSS نیاز آن به فشار پایینتر در مقایسه با RESS، مصرف پایینتر گاز به خاطر نسبتهای کمتر مایع به گاز و توانایی تشکیل نانوپودرها بدون نیاز به حلال میباشد که هزینه های عملیاتی را در دو حالت کاهش میدهد. اولاً اینکه نیاز به حلال های شیمیایی گران، کاهش مییابد. ثانیاً به دلیل عدم بهکارگیری حلال ها، محصول از خلوص بالایی برخوردار است و نیاز به حذف باقی مانده حلال نمیباشد. روش کاهش فشار یک محلول آلی مایع منبسط شده، فرآیندی است که از یک سیال فوق بحرانی به عنوان کمک حلال برای تشکیل نانوپودرها استفاده میکند. فرآیند DELOS برای حل شونده های آلی در حلالهای آلی و مخصوصاً برای تولید پلیمرها، رنگها و ذرات دارویی مفید است. زیرا در روشها متداول کاهش اندازه ذره به دلیل محدودیت فیزیکی و شیمیایی غیر ممکن میباشد. نیروی محرکه برای فرآیند DELOS افت دمای بزرگ و سریع می باشد. (۳)

### ۳) کاربرد های سیالات فوق بحرانی

سیالات فوق بحرانی از نظر خواص انتقالی، مانند گازها (نفوذ پذیری بالا و ویسکوزیته کم) و از نظر قدرت حلالیت، شبیه حلال های مایع هستند. دلایل گسترش استفاده از این سیالات را می توان به شرح زیر توضیح داد :

در اوایل دهه ۷۰، قیمت انرژی بر اثر اتفاقات جهانی به طور غیر قابل پیش بین افزایش پیدا کرد که این مشکل بزرگی برای کشورهای صنعتی بود. در نتیجه بیشتر مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی به جایگزینی فرایندهایی با مصرف انرژی کمتر توجه کردند، استفاده از سیالات فوق بحرانی برای جداسازی مخلوط ها یکی از این فرایندها بود. در فرایند (*Supercritical Flow SCFE Extraction*) برخلاف عملیات استخراج مایع-مایع، بازیابی حلال به روش انبساط ناگهانی انجام می شود و برای بازیابی حلال نیازی به عملیات تقطیر نیست؛ این موضوع باعث کاهش مصرف انرژی می شود. دلیل دیگر گسترش سیالات فوق بحرانی این است که فرایندهای غذایی، آرایشی و دارویی و ... نیازمند رسیدن به درجه خلوص در حد استاندارد هستند. برای مثال بازیابی کامل حلال در صنایع دارویی و غذایی ضروری است. در حالی که در روش های معمول مانند تقطیر و استخراج مایع-مایع، بازیابی کامل حلال میسر نیست.

دلیل دیگر گسترش سیالات فوق بحرانی این است که حلال های آلی به ویژه حلال های کلردار برای محیط زیست مضر هستند. به طوری که امروزه ثابت شده که حلال های کلردار و بعضی از حلال های آلی مورد مصرف در صنایع، از قبیل کلروفلوروکربن برای لایه اوزون زیان آورند. بنابراین با جایگزینی گاز دی اکسیدکربن به عنوان حلال در فرایندهای فوق بحرانی این مشکل حل شده است. گاز دی اکسید کربن دارای خواص بی اثر بر روی محیط زیست است .

بنا به دلایل یاد شده امروزه فرایند سیالات فوق بحرانی در بخش های مختلف علم و فن، گسترش یافته و کاربردهای متنوعی در منابع علمی برای آن گزارش شده است. در بیشتر اوقات دی اکسیدکربن فوق بحرانی سیالات فوق بحرانی دیگر ترجیح داده می شود چون دمای بحرانی آن پایین بوده و گاز دی اکسیدکربن غیرسمی و غیرقابل اشتعال است. در ادامه این مقاله تعدادی از کاربردهای سیالات فوق بحرانی در زمینه های صنایع شیمیایی، صنایع غذایی، صنایع دارویی، صنایع نفت و پتروشیمی و صنایع پلیمر توضیح داده می شود.

#### ۳\_۱) کاربردهای سیالات فوق بحرانی در صنایع شیمیایی

سیالات فوق بحرانی در صنایع شیمیایی به دو صورت حلال و محیطی برای انجام واکنش استفاده می شوند. از جمله کاربردهای سیالات فوق بحرانی به عنوان حلال، می توان به استخراج قیر از سنگ نفت، استخراج مواد پایه رنگ (*C.I. Disperse Red & C.I. Disperse Red*) و استخراج مشتقات نیتروفلنل به وسیله دی اکسید کربن فوق بحرانی اشاره کرد. به علاوه بسیاری از واکنش های هیدروژناسیون در محیط آب فوق بحرانی قابل انجام است. در ادامه چندین کاربرد دیگر برای سیالات فوق بحرانی در صنایع شیمیایی بیان می شود.



## ۳\_۱\_۱) تجزیه آنیلین در آب فوق بحرانی

آنیلین یک ماده سمی است که به طور گسترده در صنایع شیمیایی، لاستیک، پلاستیک و صنایع دارویی به عنوان یک ماده اولیه استفاده می شود. در پساب این صنایع مقداری آنیلین باقی می ماند. به عنوان مثال در کشور چین هر سال ۸۰ هزار تن آنیلین به صورت پساب از صنایع مختلف خارج می شود. آنیلین و بیشتر مشتقات آن به صورت بیولوژیکی، یا قابل تجزیه نیستند و یا تجزیه آن ها بسیار مشکل و طولانی است. روش های الکترولیز و جذب سطحی به وسیله رزین و اکسیداسیون به وسیله ازن، از روش های سنتی تجزیه آنیلین هستند. در حین تجزیه آنیلین در روش های سنتی یاد شده، ممکن است محصولات میانی مانند پارامتیل فنل و اسید کربوکسیل نیز تولید شود که مواد مضر برای محیط زیست هستند. اکسیداسیون آبی توسط آب اکسیژنه در آب فوق بحرانی یک روش مفید و موثر برای تجزیه کامل آنیلین است که توسط کی (Xin-Hua qi) در سال ۲۰۰۱ پیشنهاد شده است.

## ۳\_۱\_۲) استخراج مواد شیمیایی به وسیله دی اکسید کربن فوق بحرانی

یکی از کاربردهای سیالات فوق بحرانی در صنایع شیمیایی، استخراج دی اتیل آمونیوم کربامیت است. از این ماده در استخراج حلال های مایع و برای استخراج یون های فلزی سمی از جریان های آلوده استفاده می شود. حلالیت دی اتیل آمونیوم دی اتیل تیوکربامیت در دی اکسید کربن فوق بحرانی در محدوده فشار ۱۰ تا ۳۰ مگاپاسکال و در محدوده دمای 308/2 تا 328/2 درجه کلوین و در حضور اتانل به عنوان کمک حلال و به صورت دینامیک توسط وانگ (tao wang) در سال ۲۰۰۲ بررسی شده است کاربرد دیگر سیالات فوق بحرانی در صنایع شیمیایی، استخراج ایزومرهای دی هیدروکسی بنزن است.

## ۳\_۲) کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنایع غذایی

سیالات فوق بحرانی نسبت به حلال های مایع از مزایای زیادی برخوردارند. از جمله این مزایای می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- ۱- فرایند استخراج بیشتر سیالات فوق بحرانی در دمای پایین انجام می شود. بنابراین، این فرایند برای مواد حساس به دما مناسب است .
- ۲- در فرایند سیالات فوق بحرانی حلال به طور کامل از محصول قابل بازیابی است و به دلیل کاهش مصرف حلال و استفاده مجدد از آن، از نظر اقتصادی با صرفه است.
- ۳- عدم حضور حلال در محصول نهایی که باعث بالا رفتن کیفیت محصول نهایی می شود. در ادامه، چندین کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنایع غذایی بیان می شود.

## ۳\_۲\_۱) استخراج کلاسترول (C27H45OH) از چربی گاو به وسیله دی اکسید کربن فوق بحرانی



اگر چه چربی و گوشت گاو یک ماده غذایی پرمصرف است اما وجود مقدار زیاد کلسترول در آن باعث شده که برای اکثر مردم غیرقابل استفاده باشد. روش سنتی استخراج کلسترول، به وسیله مقدار زیادی حلال های کلردار (مانند DCE (Dichloroethane)) بوده است که سرطان زا هستند. وادارامن (*N.vadaraman*) و همکارانش در سال ۲۰۰۵ استخراج کلسترول از چربی گاو را با استفاده از دی اکسیدکربن فوق بحرانی بررسی کرده اند. مقدار کلسترول استخراج شده با افزایش فشار یا افزایش شدت جریان دی اکسیدکربن افزایش می یابد.

### ۳\_۳ کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنایع دارویی

یکی از جدیدترین کاربردهای سیالات فوق بحرانی، استفاده از آنها به منظور بلورسازی مواد است. در صنایع پلیمری، دارویی و تولید مواد منفجره برای تولید محصول با توزیع اندازه مناسب، از فرایند باز تبلور استفاده می شود؛ به ویژه در صنایع دارویی، تولید کریستال های یکنواخت از نظر توزیع اندازه ذرات، در داروهای تزریقی بسیار مهم است. بررسی های انجام شده نشان داده است در فشار ۹۰ بار، بعد از گذشت ۱۵۰ دقیقه و در فشار ۱۷۰ بار، بعد از گذشته ۶۰ دقیقه، تقریباً تمام اسیدهای چرب استخراج می شوند.

### ۳\_۴ کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنایع نفت و پتروشیمی

خواصی مانند انتقال جرم، زمان استخراج کم و جداسازی آسان حلال از مواد استخراج شده، باعث شده که سیالات فوق بحرانی در صنایع نفت و پتروشیمی کاربرد زیادی داشته باشند. از سیالات فوق بحرانی برای استخراج بسیاری از ترکیبات نفتی مانند پارافین ها، آروماتیک ها و ترکیبات گوگردی استفاده می شود. همچنین از سیالات فوق بحرانی برای تبدیل ترکیبات سنگین نفتی به ترکیبات سبکتر و برای بازیابی بسیاری از کاتالیست های غیرفعال شده استفاده می شود.

در سال ۱۹۹۲ آژانس محافظت محیط زیست آمریکا (EPA) (Environmental Protection Agency) استخراج هیدروکربن های مورد نیاز صنعت پتروشیمی از نفت خام به وسیله سیال فوق بحرانی را به عنوان بهترین تکنولوژی در دسترس، اعلام کرده اند.

### ۳\_۴\_۱ بازیابی کربن فعال به وسیله دی اکسیدکربن فوق بحرانی

باتوجه به گران بودن کربن فعال و باتوجه به اینکه از بین بردن کربن فعال اشباع شده باعث آلودگی محیط زیست می شوند، بازیابی آن اهمیت خاصی دارد. روش های مختلفی برای بازیابی کربن فعال وجود دارد. روش های حرارتی، شیمیایی، الکتروشیمیایی، کتالیزوری، بیولوژیکی، مافوق صوت و استفاده از سیال فوق بحرانی از جمله این روش ها هستند. صفر بودن کشش سطحی سیالات فوق بحرانی باعث می شود که این سیالات به سادگی داخل تخلخل ریز مواد جامد نفوذ کرده و آلاینده ها را در خود حل کنند. در نتیجه بازیابی با سیال فوق بحرانی روش مؤثر با بازده بالا بوده و کربن فعال بازیابی شده دارای کیفیت بسیار مطلوبی است. تن و همکارانش در سال ۱۹۸۹ بازیابی کربن فعال اشباع از تولوئن و بنزن به وسیله دی اکسیدکربن فوق بحرانی را بررسی کرده و مدل ریاضی برای آن ارائه کردند.

### ۳\_۵) کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنایع پلیمر

در صنایع پلیمر توزیع اندازه ذرات پلیمر تولید شده بسیار مهم است. در روش های معمول برای تغییر توزیع اندازه، ذرات را خرد می کنند یا می ساینند، اما بسیاری از مواد را نمی توان به آسانی توسط فرایند خرد کردن به اندازه دلخواه درآورد. یکی از روش ها برای تولید پلیمر با توزیع اندازه مطلوب روش باز تبلور است. از سیالات فوق بحرانی می توان برای گستره وسیعی از مواد به عنوان عامل باز تبلور استفاده کرد. چندین روش برای استفاده از سیالات فوق بحرانی در باز تبلور مواد جامد پلیمری وجود دارد که فرایند گاز ضد حلال (GAS) و فرایند انبساط سریع محلول فوق بحرانی (RESS) از جمله آنهاست. کاربرد دیگر سیالات فوق بحرانی در صنایع پلیمر، جداسازی منومر از پلیمر است. در زیر یکی از کاربردهای سیالات فوق بحرانی در صنعت پلیمر بیان می شود.

### ۳\_۵\_۱) پودر کردن پلی اتیلن گلیکول به وسیله دی اکسید کربن فوق بحرانی

در گذشته پودر کردن پلی اتیلن گلیکول (Poly Ethylene Glycol) به وسیله حلال های آلی مانند آلکان ها، آلکن (C1-C5) و (CFCs) (Chlorofluorocarbons) انجام می گرفت. در سال های اخیر تلاش های زیادی برای کاهش تخلیه گازهای مضر به اتمسفر و یا جایگزینی حلال های بی ضرر انجام شده است. فرایند RESS با حلال دی اکسید کربن فوق بحرانی، روشی مناسب برای پودر کردن پلی اتیلن گلیکول است. (۴)

### ۴) نتیجه گیری

سیال فوق بحرانی حالتی از ماده است که دما و فشار آن بالاتر از دما و فشار بحرانی است. خواص آن حد واسط بین مایع و گاز است. کاربردهای زیادی دارد که در این مقاله به بعضی از آن ها از جمله جداسازی اجزاء مخلوط، سنتز سیال، استخراج و تولید انرژی بیان شده است. اما پتانسیل این روش بیشتر از کاربرد های محدود بیان شده در این مقاله است. از مزایای این محصولات صرفه جویی در انرژی، بازیابی کامل حلال، انتخاب پذیری در جداسازی مخلوط و قدرت حلالیت می باشد. نکته مهم دیگر در این فرآیند ها امکان کنترل فرآیند با تنظیم پارامتر فشار است. در سال های اخیر در دانشگاه های مختلف کشور پروژه های متعدد تحقیقاتی درباره سیالات فوق بحرانی اجرا شده است با توجه به نتایج به دست آمده در داخل کشور و حجم قابل توجه نتایج و مقالات منتشره در منابع علمی خارج کشور، زمان آن رسیده که بررسی های لازم برای اجرای این فرآیند در مقیاس صنعتی انجام شود.

### منابع

- ۱\_ ساره بی بی هژبر " مدل سازی ترمودینامیکی حلالیت نانو ذرات در سیال فوق بحرانی " پایان نامه کارشناسی ارشد فرآیند های جداسازی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی گروه مهندسی شیمی.



۲\_ سید علی سجادیان ، محمد خرم ، عبدالرضا صمیمی و بیژن هنرور " مدل سازی استخراج روغن از دانه روغن کنجد با استفاده از فرآیند فوق بحرانی " .

۳\_ تولید نانو ذرات با روش میکانیکی \_ فصل دوم : نانو ذرات و انواع روش های تولید آن .

۴\_ سید سعید احمد پناه ، محمد نادر لطف اللهی و علی حقیقی اصل " کاربرد های سیالات فوق بحرانی " .