

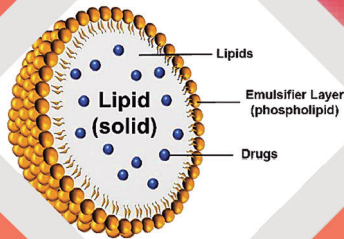
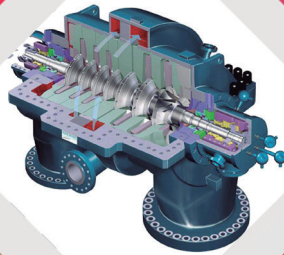


# فرآیند

فصلنامه علمی

سال چهارم / شماره ۱۰ / بهار ۹۹ / قیمت: ۱۵۰۰۰ تومان

نشریه انجمن علمی مهندسی شیمی دانشگاه اراک



Chemical engineering Scientific

# سازمان انجمن مهندسی شیمی

## فهرست مطالب



سخن سردبیر:	۱.....
سخن دبیر انجمن:	۱.....
معرفی دانشگاه انستیتوی فناوری کالیفرنیا (Caltech):	۲.....
معرفی دروس اختیاری و تخصصی مهندسی شیمی:	۶.....
نانوذرات لیپیدی و کاربرد آن‌ها در تحویل داروهای ضد سرطان:	۸.....
NEWS:	۲۰.....
رویدادهای آتی در مهندسی شیمی:	۲۲.....
پیش بینی مشاغل مهندسان شیمی در آینده:	۲۴.....
طیف سنجی جذب اتمی:	۲۷.....
کاربرد هیدرول‌ها به عنوان جاذب در حذف آلاینده‌ها:	۳۰.....
تقطیر ناپیوسته و تقطیر استخراجی:	۳۸.....
کمپوسورها:	۴۲.....

### صفحه آرایی و طراحی جلد:

 seyedi\_designer

سید محمد جواد سیدی

### اعضای هیئت تحریریه به ترتیب حروف الفبا:

فهیمة غفاری

ریحانه احمدی

سمانه مشهدی‌خان

عاطفه فتح الهی

### همکاران این شماره به ترتیب حروف الفبا:

حدیثه محمدی

سروین قاسمی

نیایش اورک

صهبا نادى

حدیث محمدی

زهرا زندی

ویراستار:

ریحانه احمدی

### صاحب امتیاز:

انجمن علمی مهندسی شیمی دانشگاه اراک

### تحت نظارت:

دکتر آبتین عبادی عموقین

### سردبیر:

ریحانه احمدی

### مدیر مسئول:

کیمیا حدادی

### دبیر انجمن علمی:

محمد حسین ترابی

### مدیر اجرایی:

نیایش اورک

## سخن سردبیر:

به نام خدایی که جان را حکمت آموخت  
با عرض سلام و درود خدمت همراهان همیشگی فصلنامه فرآیند  
بسیار خرسندیم که به لطف و عنایت خداوند و تلاش تمامی اعضا، توانستیم به دورقمی  
شدن چاپ این نشریه علمی برسیم و دهمین شماره نشریه را به سرانجام برسانیم.  
ضمن قدردانی و سپاسگزاری از تمام اعضای نشریه فرآیند، از تمامی اساتید و دانشجویان  
گروه مهندسی شیمی دانشگاه اراک دعوت می‌نمایم تا با ما در این نشریه علمی مشارکتی  
موثر داشته باشند. کارگروه این نشریه در تلاش است که با تمام مشغله‌های درسی و غیر  
درسی و با کمک شما عزیزان فعالیت‌های فرهنگی دانشجویی را زنده نگه دارد.  
آرزوی سلامتی برای تمامی عزیزان.

## ریحانه احمدی سردبیر فصلنامه فرآیند

## سخن دبیر انجمن:

با یاد حق  
با عرض سلام خدمت تمامی دوستانی که نشریه علمی فرآیند را  
مطالعه می‌کنند  
خوشبختانه با همکاری تمامی دوستان هیئت تحریریه در نشریه و با  
وجود ویروس منحوس کرونا که دردسرهای عظیمی در زندگی روزمره  
تمام مردم به وجود آورد، کار گروه نشریه فرآیند توانست همچنان با  
قدرت به فعالیت خود ادامه دهد و دهمین شماره نشریه را به سرانجام  
برساند. هدف اصلی نشریه علمی فرآیند این است که با مطالب مهم  
و بروز مهندسی شیمی که توسط دوستان جمع آوری می‌شود، باعث  
پیشرفت و افزایش اطلاعات مهندسان شیمی در زمینه‌های مختلف  
گردد.  
در آخر جا دارد از دکتر عبادی که در تمام شرایط حامی و پشتیبان  
نشریه علمی فرآیند هستند و تمامی دوستانی که برای به ثمر رسیدن  
این نشریه تلاش کردند تشکر ویژه کنم.

## محمد حسین ترابی دبیر انجمن علمی مهندسی شیمی





زهرا زندی و حدیث محمدی، دانشجویان کارشناسی مهندسی شیمی

## معرفی دانشگاه انستیتوی فناوری کالیفرنیا (Caltech)



انستیتو اجازه می‌دهند مرزهای فضا و علوم زمین را تحت فشار قرار دهد.

این دانشگاه دارای ۹۳۸ دانشجو در مقطع کارشناسی و ۱۲۹۹ نفر در مقطع تحصیلات تکمیلی می‌باشد. این موسسه در آغاز در سطح متوسط دانشگاهی بوده ولی امروزه در اوج قرار دارد، به طوری که ۳۸ نفر دریافت کننده جایزه نوبل، ۵۸ مدال ملی علوم، ۱۳ مدال ملی فناوری و ۱۳۰ عضو در اکادمی ملی دارد.

همچنین ۳۰۰ نفر از اعضای هیئت علمی آن دارای برنامه‌ی درسی دقیق و تحقیقات مفید برای ۱۰۰۰ دانشجو و ۱۲۵۰ دانشجوی فارغ تحصیل هستند و تعداد ۶۰۰ محقق در آن مشغول به کار هستند. تحقیقات و آموزش علمی در بخش‌های زیست‌شناسی و مهندسی بیولوژیک، شیمی و مهندسی شیمی، مهندسی و علوم کاربردی، علوم زمین‌شناسی و سیاره‌شناسی، علوم انسانی و اجتماعی، فیزیک، ریاضیات و نجوم در این دانشگاه صورت می‌گیرد.

آموزش و تحقیقات در این دانشگاه یکپارچه هستند، زیرا اعتقاد بر این است که هر دو یادگیری مبتنی بر تئوری و عملی برای رشد ذهن کنج‌کاو مورد نیاز می‌باشد. همیشه بخش بزرگی از تجربه کارشناسی در تحقیقات بوده است به همین دلیل بیش از ۵۰٪ دانشجویان در سال اول، تحقیق خود را در آزمایشگاه شروع می‌کنند و بیش از ۹۵٪ دانشجویان در فرصت‌های تحقیقاتی کارشناسی شرکت می‌کنند. از این رو این دانشگاه دارای امکانات تحقیقاتی در مقیاس بزرگ مانند آزمایشگاه زلزله‌شناسی و شبکه جهانی رصدخانه‌های نجومی، از جمله رصدخانه‌های Palomar و W. M. Keck است. دانشجویان همچنین می‌توانند تحقیقاتی را در آزمایشگاه پیشرانس جت (JPL) انجام دهند. امروزه، این مورد یکی از اصلی‌ترین دلایلی است که دانشجویان تصمیم می‌گیرند به Caltech بیایند.

از سال ۱۹۷۹، SURF به عنوان اولین روش برای شرکت دانشجویان در شرکت تحقیقاتی خدمت کرده است. بیش از ۷۰۰۰ فارغ التحصیلان SURF وجود دارند که بیش از ۸۳۰۰ پروژه تحقیقاتی

UNIVERSITY	QS RANK	ARWU RANK	TIMES RANK
General	۵	۹	۲
Chemical Engineering	۷	۸	۱

موسسه فناوری کالیفرنیا مشهور به Caltech یک موسسه مستقل و با حمایت خصوصی است که در سپتامبر سال ۱۸۹۱ توسط Amos G. Throop به عنوان یک آموزشگاه حرفه‌ای و با هدف گسترش دانش بشری و جامعه از طریق تحقیقات تلفیقی با آموزش تاسیس شد. در نوامبر همان سال، دانشگاه Throop با ۳۱ دانشجو آغاز به کار کرد. یکی از عوامل پیشرفت این دانشگاه را می‌توان ستاره‌شناسی به نام جورج الری هیل دانست. او اولین مدیر رصدخانه ی کوه ویلسون بود و در سال ۱۹۰۷ به عضویت هیئت امنای تروپ درآمد و قالب‌گیری این موسسه را به یک موسسه درجه یک مهندسی و تحقیقاتی، علمی و آموزشی تبدیل کرد. در سال ۱۹۲۱، هیل به شیمی دان آرتورا. نویز و فیزیکدان روبرت ا. میلکان پیوست. این سه فرد پس از تغییر نام به انستیتوی فناوری کالیفرنیا، قاطعانه در جهت پیشرفت آن تلاش کردند. میلکان و جانشینان وی (لی دوبریج، هارولد براون، ماروین گلدبرگر، توماس اورورارت، دیوید بالتیمور، ژان لو چامائو و اکنون توماس اف. روزنباوم) این موسسه را به سمت اولویت‌های علمی و فعلی خود سوق داده‌اند. بعد از آن محققان مؤسسه آزمایشگاه پیشرانس جت (JPL) را در سال ۱۹۳۶ تأسیس کردند و این دانشگاه مدیریت JPL آن را برای ناسا ادامه داد. پنج هزار کارمند JPL کاملاً به اعضای تحقیقاتی دانشگاه وصل هستند و در کنار هم به

را انجام داده‌اند. برای غنی‌سازی تجربه تحقیق، از همکاران SURF دعوت شده است تا درسمینارهای هفتگی توسط دانشکده Caltech و دانشمندان و مهندسين JPL، مجموعه‌های علمی و تخصصی در زمینه توسعه شغلی تحقیق، پذیرش مراکز تحصیلات تکمیلی و سایر مباحث مورد علاقه محققان آینده شرکت کنند. همچنین برای دانشجویان فارغ Caltech، تحقیقات لازم نیست فقط یک تجربه تابستانی باشد. دانشجویان باید، در طول سال تحصیلی با تحقیقات درگیر شوند. تعادل موجود در Caltech بین برنامه درسی سختگیرانه آکادمیک و فعالیت‌هایی که باعث پیشرفت شخصی می‌شود، باعث می‌شود زمان سپری شده در آن‌جا برای دانشجویان هم سازنده باشد و هم یک پست‌مقدماتی ارزشمند برای یک حرفه موفق. اگرچه ممکن است آن‌جا فاقد اعتبار دانشگاه‌های امثال آکسفورد و کمبریج باشد، اما بدون شک Caltech یکی از بهترین دانشگاه‌های جهان است، واقعیتی که در همه رتبه‌بندی‌های دانشگاه‌ها منعکس شده است. همچنین این دانشگاه یک مؤسسه مشهور علوم و مهندسی است که برخی از درخشان‌ترین ذهن‌های جهان و ابتکاری‌ترین ابزارها را برای پاسخگویی به سوالات اساسی علمی و فشار آوردن به چالش‌های اجتماعی، در پی دارد. دانشکده‌ها و دانشجویان فوق‌العاده این دانشگاه با علاقه‌های پژوهشی از علم و مهندسی کوانتومی گرفته تا بیوانفورماتیک و ماهیت زندگی خود، از رفتار و اقتصاد بشر گرفته تا انرژی و پایداری، درک ما را از جهان و اختراع فن‌آوری‌های آینده گسترش می‌دهند. دانشگاه Caltech بین ۱ دسامبر ۲۰۱۸ الی ۳۰ نوامبر ۲۰۱۹، در مجموع ۸۸۳ پژوهش که توسط Nature Index پیگیری شده‌اند،

منتشر کرده است. سهم دانشگاه در این پژوهش‌ها ۲۸۷/۵۳ می‌باشد (سهم، کسر درصد نویسندگان دانشگاه و تعداد نهادهای وابسته به آن را در نظر می‌گیرد. برای محاسبه ی سهم، درنظر گرفته می‌شود که همه ی نویسندگان به طور مساوی در مقاله نقش داشته‌اند. حداکثر سهم ترکیبی برای هر پژوهش، ۱/۰ می‌باشد). دانشکده‌ی شیمی و مهندسی شیمی (CCE Caltech)، در همین بازه ی زمانی در مجموع ۱۳۷ پژوهش منتشر کرده است و سهم آن ۷۰/۲۴ می‌باشد.

#### مهندسی شیمی در Caltech

دو رشته‌ی شیمی و مهندسی شیمی به طور مشترک در یک دانشکده در دانشگاه کلتک تدریس می‌شوند. بیش از ۴۰ عضو هیات علمی در بخش شیمی و مهندسی شیمی (CCE Caltech) در رشته‌های خود برای پیشرفت دانش در زمینه‌های شیمی، مهندسی شیمی، بیوشیمی و بیوفیزیک مولکولی فعالیت می‌کنند. در این دانشکده دانشجویان، فارغ التحصیلان و محققان با هم همکاری می‌کنند، ابتکاری‌ترین ایده‌های خود را در مورد فرآیندهای شیمیایی به کار می‌گیرند و از این طریق برخی از پیچیده‌ترین مشکلات شیمی را برطرف می‌کنند.

#### CCE در یک نگاه

لینوس پائولینگ، یکی از از فارق التحصیلان کلتک و برنده‌ی جایزه‌ی نوبل بود که در سال ۱۹۵۴ با بینش متفاوت خود به ماهیت پیوند شیمیایی این حوزه را دچار تحولات اساسی کرد. یکی دیگر از فارق التحصیلان دانشگاه، ادوین مک میلان (PhD '32, MS '29)، دانشگاه پرینستون) بود که جایزه نوبل شیمی را در سال ۱۹۵۱ به دلیل کشف نیترونیم، اولین عنصر شناخته شده سنگین‌تر از اورانیوم به دست آورد. همچنین فارغ التحصیل ویلیام لیپس کومب (PhD '46) در سال ۱۹۷۶ برای کار در زمینه‌ی

پیوندهای شیمیایی در مطالعات خود در مورد ساختار بورها، موفق به کسب جایزه نوبل شیمی شد. آرنولد بکمان (PhD '28)، مخترع پی‌اچ متر و سایر ابزارهای انقلابی را که منجر به اکتشافات جدید در بیوشیمی و پزشکی شده است، Beckman Instruments و آزمایشگاه Shockley Semiconductor (اولین شرکت ترانزیستور سیلیکونی که در سال ۱۹۵۵ بنا شد) را تاسیس کرد. گوردون مور (PhD '54) شرکت تراشه‌های نیمه هادی Intel را تأسیس کرده و قانون مور را ارائه کرد (که پیش بینی می‌کند تعداد ترانزیستورهای موجود در مدار یکپارچه هر دو سال دو برابر می‌شود).

#### برنامه های آموزشی

CCE در مقطع کارشناسی، مدارک BS (لیسانس) رشته های شیمی و مهندسی شیمی و در مقطع تحصیلات تکمیلی مدارک MS (فوق لیسانس) و PhD (دکتر) رشته های شیمی، مهندسی شیمی و رشته‌ی بیوشیمی و بیوفیزیک مولکولی را ارائه می‌دهد.

#### جوایز و افتخارات CCE

در چهار سال گذشته، CCE رتبه های اول شیمی (۲۰۱۶)، رتبه‌بندی مشترک، بهترین آموزشگاه‌های تحصیلات تکمیلی) و رتبه دوم در مهندسی (۲۰۱۶)، بهترین آموزشگاه‌های مهندسی) را در جدیدترین رتبه‌های ایالات متحده و گزارش‌های جهانی کسب نموده است. از جوایز و موفقیت‌های مهم این دانشکده می‌توان به دریافت ۵ جایزه نوبل، ۹ مدال (National Medal of Science Recipients، ۲ مدال National Medal of Technology and Innovation Wolf Prize in)، ۳ جایزه (Recipients Chemistry Recipients) و... اشاره کرد.

#### مهندسی شیمی در CCE

گروه مهندسی شیمی در ابتدا با نام شیمی کاربردی توسط Arthur Amos

Noyes شروع به کار کرد. این گروه هدایت پروژه معروف ۳۷ موسسه نفت آمریکا را در اختیار داشت که بخش عمده‌ای از اصول اولیه ترمودینامیک و تعادل فاز در سیستم‌های هیدروکربنی را فراهم آورد و در ادامه تحولاتی باعث شد تا این بخش به محلی برای پژوهش و تدریس مهندسی شیمی تبدیل شود. دانشکده مهندسی شیمی در کلتک یکی از برجسته‌ترین دانشکده‌ها در جهان است که به طور فعال تحقیقات مهندسی شیمی را در زمینه‌های جدید کاربرد و دخالت انجام می‌دهد. هدف این دانشکده آموزش پیشرفته‌ی دانش جویان و تبدیل آن‌ها به رهبرانی در عرصه مهندسی، آموزش، تجارت و خدمات عمومی می‌باشد که این امر با ارائه یک آموزش گسترده و دقیق در اصول مهندسی شیمی و در عین حال تعادل بین آموزش در کلاس و تجربه آن‌ها در آزمایشگاه محقق می‌شود. از نتایج مهم آموزش مهندسی شیمی، آماده سازی دانش جویان برای تلفیق بسیاری از موضوعات مورد مطالعه در طراحی سیستم، اجزاء، فرآیند یا آزمایش است.

#### برنامه ی دوره کارشناسی مهندسی شیمی

در طی سال‌های سوم و چهارم، دانشجویان در یکی از چهار رشته‌ی متمرکز در حوزه مهندسی شیمی (بیومولکولی، زیست محیطی، مواد یا سیستم‌های فرآیند) ادامه تحصیل می‌دهند. پایان نامه اختیاری سال آخر، فرصتی است تا دانش جویان تحقیقات خود را به طور مستقل در آزمایشگاه دنبال کنند. در حالی که همه گروه‌ها با ابزار اصلی یکسان شروع به کار می‌کنند، هر گروه برای دستیابی به یک هدف متفاوت، طراحی می‌شود و سپس سیستم خود را ساخته و ارزیابی می‌کند. دانشجویان در سیستم پردازش یک پروژه، با استفاده از ابزار شبیه سازی فرایندهای شیمیایی، طراحی این فرایندها را انجام می‌دهند. همه دانشجویان این

فرصت را دارند که به جای ارائه پایان نامه، در دوره دوم آزمایشگاه (دو ترم) ثبت نام کنند که حاوی حجم قابل توجهی از طراحی است.

#### برنامه ی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

این برنامه در مهندسی شیمی دانشجویان را آموزش می‌دهد تا از ریاضیات، مهندسی و علوم فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی استفاده کنند و درک خود را در مورد سیستم‌هایی که شامل واکنش‌های شیمیایی و پدیده‌های حمل و نقل هستند گسترش دهند و دانش خود را برای توسعه فرآیندها و مواد شیمیایی جدید به کار گیرند. همچنین برنامه بیوشیمی و بیوفیزیک مولکولی یک گزینه میان رشته‌ای است که با هماهنگی بخش زیست شناسی و مهندسی زیست شناسی اجرا می‌شود. برنامه درسی و فرصت‌های تحقیقاتی آن به گونه‌ای طراحی شده است که زمینه‌ای گسترده در بیوشیمی و بیوفیزیک ماکرومولکول‌ها و مجامع مولکولی در اختیار دانشجویان قرار دهد.

#### شرایط پذیرفته شدن در دانشگاه Caltech

این دانشگاه هرساله پاییز از حدود ۲۳۰ دانشجوی تازه وارد و ۱۰ تا ۱۵ دانشجوی انتقالی استقبال می‌کند که این دانشجویان از سراسر ایالات متحده و جهان به آن‌جا می‌آیند. این پذیرش در دوره‌های تحصیلات تکمیلی به تعداد مشخصی از دانشجویان دارای مهارت برتر اعطا می‌شود. متقاضیان بین المللی باید دوره‌های تحصیلی مورد نیاز Caltech را در طول دوره تحصیلات خود انجام دهند و قبل از درخواست جهت پذیرش بهتر است بایک مربی جهت کسب اطلاعات بیشتر تماس حاصل فرمایند. کلیه اسناد و مدارک لازم از جمله اطلاعات اساسی، تماس، شهروندی، تحصیلات و تجربه کاری، سابقه‌ی پژوهشی، و همچنین

مقالات چاپ شده و سایر دستاوردها باید از طریق سیستم آنلاین sfp ارسال شود. هزینه‌ی درخواست ۱۰۰ دلار آمریکا می‌باشد و معافیت مالی فقط به تعدادی از دانشجویان که نیاز مالی داشته باشند تعلق می‌گیرد. در این دانشگاه نمره‌ی تافل در زبان انگلیسی با اهمیت بوده و آیتلس و هیچ چیز دیگری نمی‌تواند جایگزین آن شود. این دانشگاه دو دوره پذیرش به نام‌های Regular Decision و Early Action دارد به این صورت که اگر در دوره پذیرش زود هنگام شرکت کنید کمک مالی به شهروندان بین المللی اعطا نمی‌شود و در صورت نیاز به کمک مالی دانشگاه باید در دوره‌ی دوم یعنی Regular Decision شرکت کنید. این دانشگاه برای دانشجویان بین المللی نیازمند کمک مالی معتمد است که صد درصد نیازهای مالی آن‌ها را برطرف کند. دانشجویی که سال اول این کمک مالی را دریافت کند در سال‌های بعد تحصیل خود نیز می‌تواند از این کمک استفاده کند. پس از گذراندن مراحل ثبت نام ابتدا با ارزیابی نمرات آزمون، نمرات و سابقه و توصیه‌نامه‌ها به دنبال کشف توانایی‌های افراد هستند. دانش آموزان Caltech در رشته‌های ریاضی و علوم تیزهوش هستند و همچنین آزمون دهنده‌های خوبی می‌باشند. به جای تست‌های استاندارد مانند SAT یا ACT، آن‌ها عملکرد متقاضیان را در آزمون‌های ورودی دانشگاه در ریاضیات و فیزیک بررسی می‌کنند. اگر فردی امتحانات ورودی Caltech Transfer خوبی داشته باشد، با داشتن نمرات و توصیه‌های اساتید این توانایی را تأیید خواهند کرد. همچنین دانشجویان با یکدیگر مقایسه نمی‌شوند، حتی اگر از یک موسسه باشند، زیرا هر دانشجویی مجموعه‌ای از شرایط زندگی متفاوت دارد.

نام و نام خانوادگی	تحصیلات	حوزه تدریس	زمینه های تحقیقاتی	مقالات چاپ شده	راه ارتباطی
Frances H. Arnold	کارشناسی (دانشگاه پرینستون، ۱۹۷۹) دکتر (دانشگاه کالیفرنیا، ۱۹۸۵)	مهندسی شیمی زیست مهندسی بیوشیمی	-بیوکاتالیز -مهندسی پروتئین -تکامل آنزیم ها -زیست شناسی مصنوعی	-Enantioselective C-H amination via directed evolution of cytochrome P450 enzymes, 2020. -Engineering new catalytic activities in enzymes Nature Catalysis, 2020.	Phone: ۴۱۶۲-۳۹۵-۶۲۶ Email: frances@cheme.caltech.edu
John F. Brady	کارشناسی (دانشگاه پنسیلوانیا، ۱۹۷۵) کارشناسی ارشد (دانشگاه استنفورد ۱۹۷۷) دکتر (۱۹۸۱)	استاد شون مهندسی شیمی مهندسی مکانیک	- مکانیک سیالات و فرایندهای حمل و نقل مایعات پیچیده و چند فاز-	-A hydrodynamic model for discontinuous shear-thickening in dense suspensions, 2020. -Nonlinear microrheology of active Brownian suspensions, 2020.	Phone: ۴۱۸۳-۳۹۵-۶۲۶ Email: jfb@cheme.caltech.edu
Mark E. Davis	کارشناسی (دانشگاه کنتاکی، ۱۹۷۷) کارشناسی ارشد (۱۹۷۸) دکتر (۱۹۸۱)	مهندسی شیمی	-سنتر ژئولیت ها و الک های مصنوعی -سنتر مواد کاتالیزوری -سنتر مواد بیولوژیکی -ژن درمانی	Fluoride-free Synthesis of Germanosilicate CIT-13 and Its Inverse Sigma Transformation To Form CIT-14, 2020 Nanoparticles containing a combination of a drug and an antibody for the treatment of breast cancer brain metastases	Phone: ۴۲۵۱-۳۹۵-۶۲۶ Email: mdavis@cheme.caltech.edu
Richard C. Flagan	کارشناسی (دانشگاه میشیگان، ۱۹۶۹) کارشناسی ارشد (دانشگاه می ای تی، ۱۹۷۱) دکتر (۱۹۷۳)	مهندسی شیمی علوم و مهندسی زیست	-ذرات معلق در هوا -فیزیک و شیمی اتمسفر	-The Spider DMA: A miniature radial differential mobility analyzer, 2020. -Molecular Composition and Volatility of Nucleated Particles from -Pinene Oxidation between -50 C and +25 C, 2019.	Phone: ۴۳۸۳-۳۹۵-۶۲۶ Email: flagan@caltech.edu
Konstantinos P. Giapis	دیپلم (دانشگاه ملی فن آتن، ۱۹۸۴) دکتر (دانشگاه مینیسوتا، ۱۹۸۹)	مهندسی شیمی	-دینامیک تعامل یون-سطح -پردازش پلاسما -مواد در محدوده نانو -فناوری نانو	-An Adaptable Device for Scalable Electrospinning of Low- and High-Viscosity Solutions, 2019. -Direct dioxygen evolution in collisions of carbon dioxide with surfaces, 2019.	Phone: ۴۱۸۰-۳۹۵-۶۲۶ Email: giapis@cheme.caltech.edu
Paul I. Barton	دکتری (کالج امپریال، دانشگاه لندن، ۱۹۹۲) مدرک (M. Eng) (کالج امپریال، دانشگاه لندن ۱۹۸۸)	مدل سازی دینامیکی، شبه سازی و بهینه سازی، تئوری والگوریتیم بهینه سازی کلی، طراحی و بهره برداری از فرآیندهای شیمیایی در مقیاس کوچک، بیولوژی سیستم ها	Convergence-order analysis for differential-inequalities-based bounds and relaxations of the solutions of ODEs, 2019. Generalized sensitivity analysis of nonlinear programs using a sequence of quadratic programs, 2019.	Journal of Global Optimization, Best Paper Award, 2012 Computing in Chem. Eng. Award of AIChE's CAST Division, 2011 Indo-American Frontiers of Engineering Award, 2008	pib@mit.edu

## References:

WWW.MIT.EDU

WWW.topuniversities.com

www.timeshighereducation

www.shanghairanking.com



# معرفی دروس اختیاری و تخصصی مهندسی شیمی

• سروین قاسمی، دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی

## کاربرد ریاضیات



از آنجایی که زبان‌های معمولی در بیان توصیف، تجزیه و تحلیل دانش و پدیده‌ها عاجز است، یادگیری ریاضیات یکی از نیازهای اساسی و از ضروری‌ترین مباحث مورد نیاز دانشجویان مهندسی است. در رشته‌ی مهندسی شیمی استفاده از ابزار ریاضیات به تجزیه و تحلیل فرآیندها کمک می‌کند. هدف اصلی این درس آشنایی دانشجویان با مبانی مدلسازی ریاضی پدیده‌های مختلف مثل پدیده‌های انتقال جرم، انتقال حرارت و انتقال مومتم در فرآیندهای مختلف مهندسی شیمی و روش‌های حل معادلات دیفرانسیل معمولی و پاره‌ای می‌باشد. یکی از منابعی که برای این درس مورد استفاده قرار می‌گیرد کتاب کاربرد ریاضیات در مهندسی شیمی به تالیف دکتر منوچهر نیک آذر می‌باشد

## کنترل فرآیند

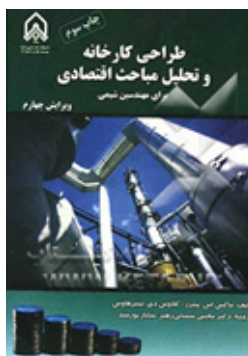
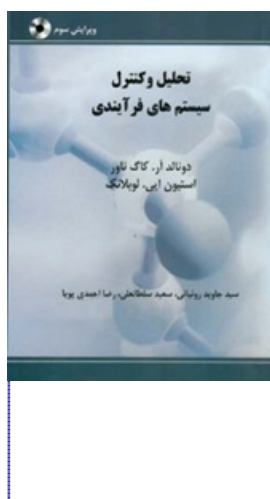
کنترل فرآیند قسمتی از علم مهندسی است که در آن تئوری کنترل برای ایجاد رفتار مناسب در دستگاه استفاده می‌شود. اگرچه فرآیندهای شیمیایی از بیرون کارخانه یک سیستم پایا به نظر می‌رسد، اما برخلاف این تصور این فرآیندها از پویایی خاصی برخوردارند. در درس کنترل فرآیندها بر روی بخش پویا و دینامیکی فرآیندها تمرکز می‌شود. به طور دقیق‌تر کنترل فرآیند در مطالعه‌ی دینامیک یک فرآیند جدید، از اصول ریاضی و مهندسی استفاده می‌کند. هدف از ارائه‌ی این درس آشنایی دانشجویان با مفاهیم مدل‌سازی دینامیکی فرآیند، کنترل فرآیندها در سامانه‌های مدار باز و بسته و مباحث پایداری و روش‌های مختلف طراحی کنترل کننده‌هاست. همچنین می‌توان از کاربرد دیگر این درس در مهندسی شیمی به کنترل دما در راکتورهای شیمیایی و کنترل فشار در برج تقطیر اشاره کرد.

## طرح و اقتصاد

این درس از دیگر دروس تخصصی مهندسی شیمی است که معمولاً ترم آخر مقطع کارشناسی ارائه می‌گردد چرا که دانشجویان در طی هفت ترمی که گذرانده‌اند، با اصول حاکم بر فرآیندها آشنا شده و نحوه‌ی طراحی واحدهای عملیاتی را آموزش دیده‌اند. حال در این درس آن‌ها با مفهوم طرح‌های فرآیندی، نحوه‌ی انتخاب فرآیند و تعیین مشخصات فنی مورد نیاز هر دستگاه آشنا می‌شوند و سپس اصول بررسی مقدماتی طرح‌های تولیدی را از نظر میزان سرمایه مورد نیاز، ظرفیت اقتصادی و سود و زیان فرا می‌گیرند.

## فرآیندهای پالایش نفت

این درس یکی از دروس تخصصی-اختیاری مهندسی شیمی است. هدف این درس ارائه‌ی فرآیندهای پالایشگاهی است که در آن دانشجویان با فرآورده‌های نفتی و روش‌های تولید آن‌ها در پالایشگاه نفت آشنا می‌شوند و انواع فرآیندهای تولید محصولات نفتی و مشخصات و عوامل موثر بر عملکرد آن‌ها را فرا می‌گیرند.





### فرآیندهای پتروشیمی



بهرتر است در ابتدا به معرفی واژه‌ی پتروشیمی بپردازیم. این واژه از دو کلمه‌ی "پترول" و "شیمی" ترکیب شده است و معنی لغوی آن مواد شیمیایی حاصله از نفت است. این درس که درسی تخصصی-اختیاری است هدف از آشنایی دانشجویان با صنایع و فرآیندهای پتروشیمی است و شامل مباحثی چون معرفی دانش تولید ماده‌ی مورد نظر، مشخصات اصلی راکتور، تجهیزات اصلی فرآیند و شرح مختصر فرآیند است.

### فرآیندهای گاز

یکی دیگر از دروس تخصصی-اختیاری درس فرآیندهای گاز است. همواره منابع نفتی و گازی جزو سرمایه‌های مهم یک کشور محسوب می‌شود که برای رساندن این منابع با ارزش به مرحله‌ی مصرف لازم است تغییراتی (به وسیله‌ی نیروهای انسانی، دستگاه‌ها و محاسبات) بر آن‌ها انجام گیرد. هدف این درس آشنایی دانشجویان مهندسی شیمی با صنعت گاز طبیعی از استخراج تا مصرف و روش‌های مختلف تصفیه‌ی گاز طبیعی است. جهت آشنایی بیشتر با محتوی این درس به معرفی بخشی از سر فصل‌های آن می‌پردازیم:

۱. تاریخچه‌ی صنعت گاز در ایران
۲. آشنایی با گاز طبیعی
۳. تصفیه‌ی گاز از مواد زائد
۴. تولید گوگرد
۵. آبیگری عمیق از گاز
۶. پالایش گازها و تراکم در دمای پایین
۷. جداسازی هیدروکربن‌های سنگین از گاز

### پروژه

در این درس دانشجویان باید آنچه را که در دوره‌ی تحصیلی خود به منظور ایجاد توانایی در انجام یک طرح پژوهشی، انتخاب تجهیزات، برآوردهای اقتصادی و شبیه سازی و طراحی تجهیزات فرآیندی کسب نموده اند، به کار گیرند.

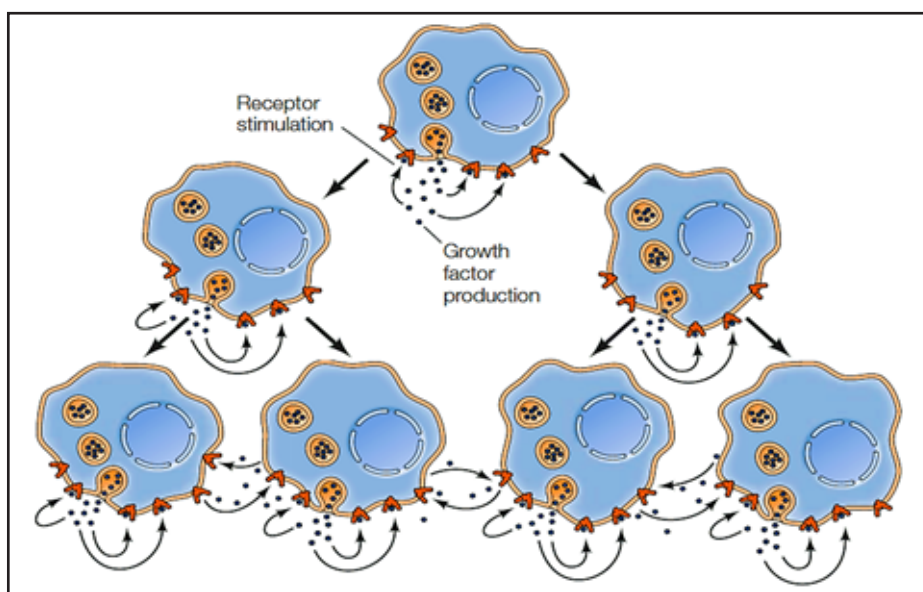
#### References:

- <http://ui۲.ui.ac.ir>  
<https://faradars.org>  
<https://sanjesh۳.org>

## مروری بر نانوذرات لیپیدی و کاربرد آنها در تحویل داروهای ضد سرطان

عاطفه فتح الهی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

**پیش زمینه:** سرطان ناشی از خرابی مکانیسم‌های نظارتی حاکم بر عملکرد طبیعی سلول است. تکثیر، تمایز و بقای سلول‌های فردی در موجودات چند سلولی با دقت تنظیم می‌شود تا نیازهای ارگانیسم به عنوان یک کل را برآورده کند. این تنظیم در سلول‌های سرطانی از بین می‌رود، که به شکلی کنترل نشده رشد کرده و تقسیم می‌شوند و در نهایت در سراسر بدن پخش می‌شوند که عملکرد بافت‌ها و اندام‌های طبیعی را مختل می‌کنند. از آنجایی که سرطان ناشی از نقص در مکانیسم‌های تنظیم کننده سلول بنیادی است، این بیماری در نهایت باید در سطح مولکولی و سلولی قابل درک باشد. در واقع، درک سرطان سال‌هاست که هدف زیست‌شناسان مولکولی و سلولی بوده است. مهم‌تر اینکه، مطالعات روی سلول‌های سرطانی مکانیسم‌هایی را روشن می‌کند که رفتار طبیعی سلول‌ها را تنظیم می‌کنند. در واقع، بسیاری از پروتئین‌هایی که نقش مهمی در سیگنالینگ سلولی، تنظیم چرخه سلولی و کنترل مرگ سلولی برنامه ریزی شده دارند، ابتدا شناسایی شدند، زیرا ناهنجاری در فعالیت‌های آنها منجر به تکثیر کنترل نشده سلول‌های سرطانی می‌شود. بنابراین مطالعه سرطان به طور قابل توجهی در درک ما از تنظیم عادی سلول و همچنین برعکس نقش داشته است [۱].



شکل ۱. تحریک رشد اتوکراین [۱].

سلول یک فاکتور رشدی را ایجاد می‌کند که سلول‌های همسایه نیز به آن پاسخ می‌دهند و باعث تحریک مداوم تکثیر سلولی می‌شود. سرطان یک بیماری است که با تقسیم سلول‌های غیر طبیعی بدون متوقف شدن و گسترش به سایر بافت‌های بدن آغاز می‌شود. با شیوع سرطان به روش‌های درمانی بهتری نیاز است. از معالجه جراحی، پرتودرمانی و داروهای ضد سرطان برای معالجه سرطان استفاده می‌شود. امروزه بیشتر داروهای ضد سرطان از طریق تزریق وریدی به بدن منتقل می‌شود. مسیر داخل وریدی، دوز کاملاً قابل دسترس زیستی و دقیق از دارو را بلافاصله به بدن منتقل می‌کند که برای از بین بردن سلول‌های سرطانی مفید است، اما غلظت بالای پلاسما و تحویل زیاد دارو به بافت‌های سالم باعث عوارض جانبی شدید می‌شود. عوارض جانبی اصلی آن عبارتند از: سمیت عصبی، سمیت کلیوی، سمیت سلولی، سمیت

قلبی، حالت تهوع، استفراغ، اسهال، ریزش مو و غیره. علاوه بر این، شیمی درمانی بسیار دردناک است و ممکن است باعث خونریزی و ترومبوز وریدی شود. به طور کلی، بیمار احساس راحتی نمی‌کند و زندگی روزمره وی تحت تأثیر برنامه دارویی قرار می‌گیرد. در مقایسه با مسیر تزریقی، شیمی درمانی از مسیر دهان پذیرفته شده‌ترین روش است و مزایایی مانند مطابقت بیمار و سهولت در مصرف آن را به همراه دارد. این می‌تواند باعث افزایش غلظت متوسط دارو در پلاسما شود و از غلظت بیش از حد قابل تحمل جلوگیری کند که باعث بهبود راندمان درمانی و کاهش عوارض جانبی می‌شود [۲]. با این وجود، اکثر داروهای ضد سرطان از نظر خوراکی بیولوژیکی نیستند، و کارایی تحویل داروی خوراکی توسط خصوصیات فیزیولوژیکی دستگاه گوارش (GI) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دارو محدود است. دارو باید در مایع معده خصوصاً وضعیت اسیدی معده پایدار باشد و از تعادل کافی آبگریزی-آبدوستی برای عبور از غشای اپیتلیوم روده برای دستیابی به سیستم گردش خون بدون تحریک دستگاه گوارش و سمیت برخوردار باشد. بیشتر این امر به دلیل ضعف حلالیت داروها در آب، نفوذ پذیری ضعیف روده، سطح بالای جریان P-glycoprotein و سوخت و ساز سیتوکروم P450 روده و کبد است [۲، ۳].

امروزه نانوذراتی مانند میسل‌های پلیمری، لیپوزوم‌ها، نانوذرات لیپیدی، نانولوله‌های کربن، نانوکریستال‌ها، دندیرم‌ها و غیره توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، زیرا می‌توانند از یک عامل مهم به نام سد اپیتلیال عبور کنند [۲].

سیستم‌های تحویل داروهای کنترل شده مختلفی نظیر سیستم‌های کنترل پلی‌اتیلن مبتنی بر پلیمر، هیدروژل‌ها و

همچنین میکرو ذرات نانو و مواد معدنی در سال‌های اخیر به منظور بهبود حلالیت، پایداری و فراهمی زیستی موجود در داروهای کم محلول در آب معرفی شده‌اند. در این زمینه، نانوذرات لیپیدی خواص جذاب و ایده‌آل را برای تحویل دارو یا ژن ارائه می‌دهند [۴].

#### اهداف این مقاله:

هدف اصلی این مقاله ارائه اطلاعات در مورد نانو ذرات لیپیدی جامد (SLNs) و حامل‌های لیپیدی نانوساختار (NLCs) به عنوان سیستم‌های حامل دارو است که این بررسی یک درمان گسترده از نانوذرات لیپیدی جامد و حامل‌های لیپیدی نانوساختار را در مورد اهداف، مراحل تولید، مزایا، محدودیت‌ها و داروهای احتمالی آنها ارائه می‌دهد. بنابراین برای تحقق این هدف اصلی می‌توان اهداف این مقاله را به شرح زیر خلاصه کرد:

- ۱) معرفی نانوذرات لیپیدی جامد و حامل‌های لیپیدی نانو ساختار
- ۲) مزایا و معایب نانوذرات لیپیدی
- ۳) اهداف و روش‌های تولید نانوذرات لیپیدی
- ۴) ویژگی و تصویر سازی نانوذرات لیپیدی
- ۵) ظرفیت بارگذاری دارو و رهایش دارو از نانوذرات لیپیدی
- ۶) کاربرد نانوذرات لیپید جامد برای تحویل داروهای ضد سرطان
- ۷) نتیجه گیری

#### چکیده:

امروزه نانوذرات لیپیدی جامد و حامل‌های لیپیدی نانوساختار به عنوان سیستم‌های حامل برای کاربردهای زیادی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نانوذرات لیپید جامد در خط مقدم توسعه سریع فناوری نانو با چندین کاربرد بالقوه در زمینه تحویل دارو، پزشکی بالینی و تحقیقات و همچنین سایر علوم متنوع قرار دارند. نانو ذرات لیپیدی جامد از چربی‌های خالص جامد تشکیل شده‌اند،

در حالی که حامل‌های لیپیدی نانوساختار از ماتریکس جامدی تشکیل شده‌اند که ذرات نانو چربی مایع را در خود جای داده‌اند. این سیستم‌ها در مقایسه با سایر سیستم‌های کلونیدی مزیت‌های بیشتری را شامل می‌شود. از جمله می‌توان به کنترل آزاد سازی دارو و افزایش در پایداری شیمیایی داروهای وارد شده به آن‌ها اشاره نمود. علاوه بر این حامل‌ها ایمنی بوده و می‌توانند به راحتی در مقیاس بالا تولید شوند. در این مقاله، مروری بر موارد رایج در تولید، روش تولید، ویژگی‌ها و پایداری فیزیکی این سیستم‌ها صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: سیستم‌های دارورسانی، سرطان، نانوذرات، حامل‌های دارویی،

#### نانوذرات لیپیدی جامد

##### ۱- مقدمه:

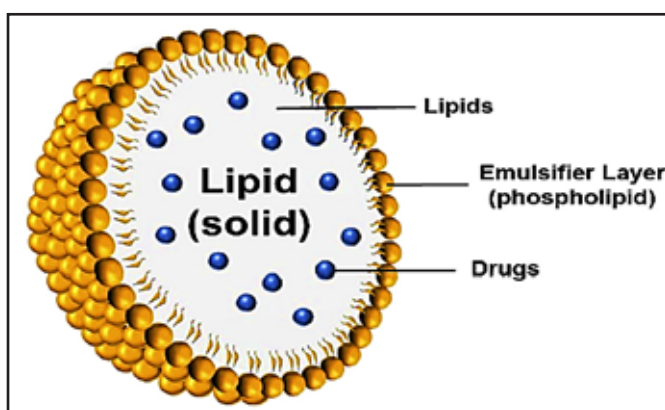
در اکتشاف مواد دارویی فعلی، بیش از ۷۵٪ از کاندیداهای بالقوه مواد دارویی، بسیار کم محلول در آب هستند و به کلاس‌های II و IV سیستم طبقه بندی بیو دارویی تعلق دارند. توسعه این موجودات شیمیایی جدید به محصولات دارویی تجاری، غالباً از لحاظ خاصیت آبگریزی ترکیبات مختل می‌شود و در نتیجه رسوب دارو و فراهمی زیستی کم مصرف داروها به وجود می‌آید. استراتژی‌های بالقوه برای غلبه بر چنین مشکلاتی اصلاح ساختار دارو یا ترکیب دارو در سیستم حامل است. سرنوشت داخل بدن یک دارو بستگی به سیستم دارویی دارد که در آن گنجانیده شده است. فرمولاسیون‌های مبتنی بر لیپید برای اولین بار در دهه ۱۹۵۰ تجاری شد. مزیت ویژه‌ای که توسط حامل‌های کلونیدی لیپیدی ارائه می‌شود افزایش در دسترس بودن فرآورده‌های دارویی است که حلالیت ضعیفی در آب دارند [۵]. کاربردهای زیست پزشکی نانوذرات لیپید متعدد هستند. در واقع، آنها می‌توانند به عنوان حامل‌های دارو و ژن و به عنوان ماده متقابل برای

تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گیرند. در سال‌های اخیر، مسیرهای مختلف مدیریت (به عنوان مثال دهانی، پوستی یا موضعی، ریوی، رکتال، چشم) برای استفاده از نانوذرات لیپیدی برای تحویل دارو بررسی شده است. اجزای نانوذرات لیپیدی (لیپیدها و سورفاکتانت‌ها) کیفیت محصول، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن و همچنین مسیر تجویز را تعیین می‌کنند در سال‌های اخیر، سیستم‌های مبتنی بر لیپید مانند نانوذرات لیپید جامد به دلیل توانایی حمل و انحلال داروهای لیپوفیلیک، علاقه بیشتری به فرمولاسیون دارو پیدا کرده‌اند [۴، ۶].

## ۲- نانوذرات لیپیدی جامد (SLNs):

در سال ۱۹۹۰، عصری از سیستم‌های حامل داروی کلوئیدی مانند امولسیون‌ها، لیپوزوم‌ها و نانوذرات پلیمری، برای تحویل داروی کنترل شده پدید آمد که از بین آن‌ها می‌توان به نانوذرات لیپید جامد اشاره کرد. در ابتدای راه، مطالعات به وسیله سه گروه از محققین به نام‌های مولر، وستسن و کاسکو توسعه یافت. مطالعات انجام شده توسط اسپایزر در مورد میکرو ذرات لیپید جامد در تاریخ SLN از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آنها اولین نانوذرات را برای اهداف دارویی و واکنش‌ناسیون در اواخر دهه ۱۹۶۰ ایجاد کردند. اسپایزر اولین دانشمندی بود که حامل مواد دارویی ذرات لیپید

جامد را توصیف کرد که در دهه ۱۹۸۰ تولید شد [۴، ۷، ۸]. نانوذرات لیپیدی، که به عنوان SLNs یا ناقل‌های چربی نانوساختار (NLCs) شناخته می‌شوند، دارای ویژگی‌های خاص ساختار و ترکیب هستند و در مقایسه با فرمولاسیون‌های معمولی فوایدی را نشان می‌دهند. نانوذرات لیپیدی جامد حامل نانوذرات کلوئیدی در محدوده ۱۰۰-۴۰۰ نانومتر است، که عمدتاً از یک ماتریس لیپید جامد و یک لایه سورفاکتانت ساخته شده‌اند که می‌توانند بسیار ضعیف در داخل آب حل شوند و آن‌ها را با نرخ‌های مشخص و با دسترسی فراهمی زیستی بهبود یافته تحویل دهند [۲، ۴، ۵، ۷، ۸].



شکل ۲. ساختار SLN [۹]

نانو ذرات لیپیدی به دلیل خاصیت منحصر به فرد خود از قبیل اندازه کوچک، مساحت بزرگ، بارگذاری زیاد مواد دارویی و تعامل فازها در رابط، که از مزایای خاصیت لیپوزوم‌ها و نانوذرات پلیمری محسوب می‌شوند، توسعه یافته‌اند. آن‌ها به عنوان سیستم‌های حامل داروهای لیپوفیلیک (چربی دوست-آبگریز)، غیر سمی، زیست تخریب پذیر، زیست سازگار، پایدار در برابر انعقاد، از نظر جسمی پایدار و عالی در نظر گرفته می‌شوند [۸]. ماتریس چربی جامد

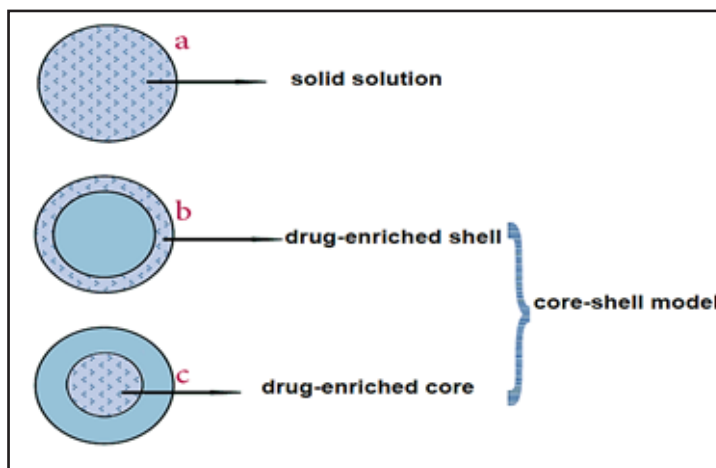
هسته حاوی زنجیره‌های آبگریز جاسازی شده فسفولیپیدها با توانایی حمل هر دو داروی لیپوفیلی (آبگریز) و هیدروفیل (آب‌دوست) است. ماتریس لیپید از یک لیپید جامد (یا ترکیبی از لیپیدهای جامد و مایع) در غلظت ۳۰٪-۱۰٪ (w/w) در محیط آبی پراکنده شده است و ثبات آن‌ها با حضور سورفاکتانت در غلظت ۵٪ - ۵٪ تضمین می‌شود و می‌تواند برای داروهای چربی دوست یا آبگریز مورد استفاده قرار گیرد [۷، ۹]. این سیستم‌های انتقال داروی کلوئیدی

دارو را در برابر تخریب شیمیایی محافظت می‌کنند و مشخصات انتشار آن را اصلاح می‌کنند، زیرا که این دارو در ماتریس لیپید جامد گرفتار شده است. علاوه بر این، آن‌ها برای تولید صنعتی مناسب هستند زیرا به راحتی قابل مقیاس بندی می‌باشند، در شرایط استریلیزاسیون پایدار هستند که از این مزیت جهت غیر سمی یا کم سمیت بودن استفاده می‌کنند. نانو ذرات لیپیدی جامد زیست تخریب پذیر و همچنین در خون پایدار هستند و عمر طولانی در جریان خون دارند.



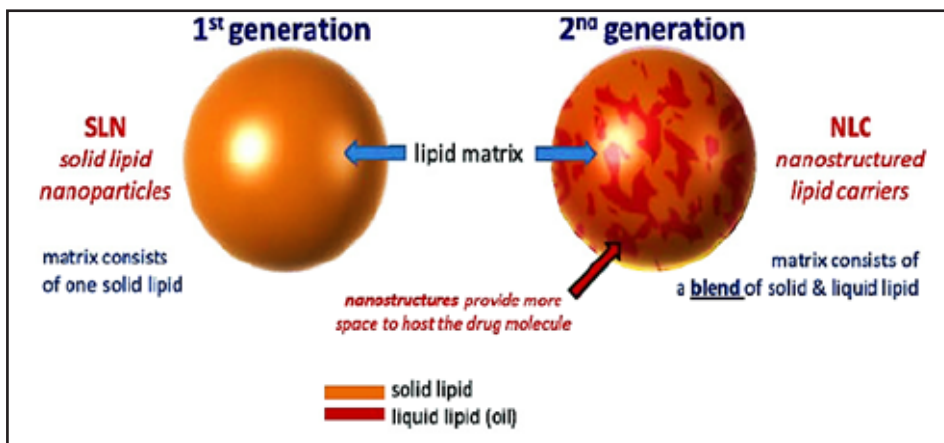
علاوه بر این، در مقایسه با لیپوزومها، این نانوذرات دارای بازده کپسول سازی بالا، پایدار در برابر نور و اکسیژن هستند، برای تهیه و از نظر ظرفیت بارگیری بالا (عمدتاً برای ترکیبات لیپوفیلیک) نیاز به حلال‌های آلی ندارند [۴]. سه نوع مدل ترکیب مواد دارویی برای SLN توسط مولر و همکاران توصیف شده است که به شرح زیر می‌باشد [۵، ۷، ۱۰]:

۱- مدل ماتریس همگن: که به آن مدل محلول جامد نیز گفته می‌شود. به توصیف ساختار SLN می‌پردازد که در آن دارو به صورت مولکولی در ماتریس لیپید پراکنده می‌شود (شکل ۳a).  
 ۲- مدل پوسته هسته - هسته غنی شده از دارو: به عنوان مدل‌های هسته‌ای غنی شده از مواد دارویی توصیف می‌شوند. برای به دست آوردن هسته غنی شده با دارو، به عنوان مثال داروی پردنیزولون در لیپید ذوب شده حل می‌شود. نانوامولسیون به دست آمده برای خنک شدن منجر به اشباع بیش از حد دارو در لیپیدهای ذوب شده و رسوب پس از آن می‌شود. خنک کردن بیشتر میکروامولسیون باعث ایجاد بارش چربی در تشکیل یک پوسته غشایی چربی در اطراف هسته غنی شده با دارو خواهد شد (شکل ۳c).  
 ۳- مدل پوسته هسته - پوسته غنی شده از دارو: این مدل با استفاده از روش‌های تولیدی مانند HPH در مولکول‌های آنها رخ می‌دهد. بدین ترتیب دارو با کاهش دمای پراکندگی به دمای اتاق، بر روی پوسته بیرونی نانوذرات لیپیدی متمرکز می‌شود. این مدل نرخ آزادسازی دارو را نسبتاً کندتر از مدل محلول جامد SLN را ارائه می‌دهد (شکل ۳b).



شکل ۳. مدل های ترکیب دارو در SLN [۱۰].

۱-۲- حامل های لیپیدی نانو ساختار (NLC):  
 حامل های لیپیدی نانو ساختار به علت توانایی بارگیری بالای دارو و پایداری مناسب در مقایسه با نانو ذرات لیپیدی جامد، در اواخر سال ۱۹۹۰ معرفی گردیدند. ناقل‌های چربی نانوساختار، نسل دوم SLN هستند که به منظور افزایش ظرفیت بارگیری دارو از SLN بسته به حلالیت دارو در لیپید جامد و جلوگیری از هدررفت دارو در حین ذخیره سازی به دلیل تبلور توسعه داده شده‌اند (شکل ۴) [۷، ۱۱].

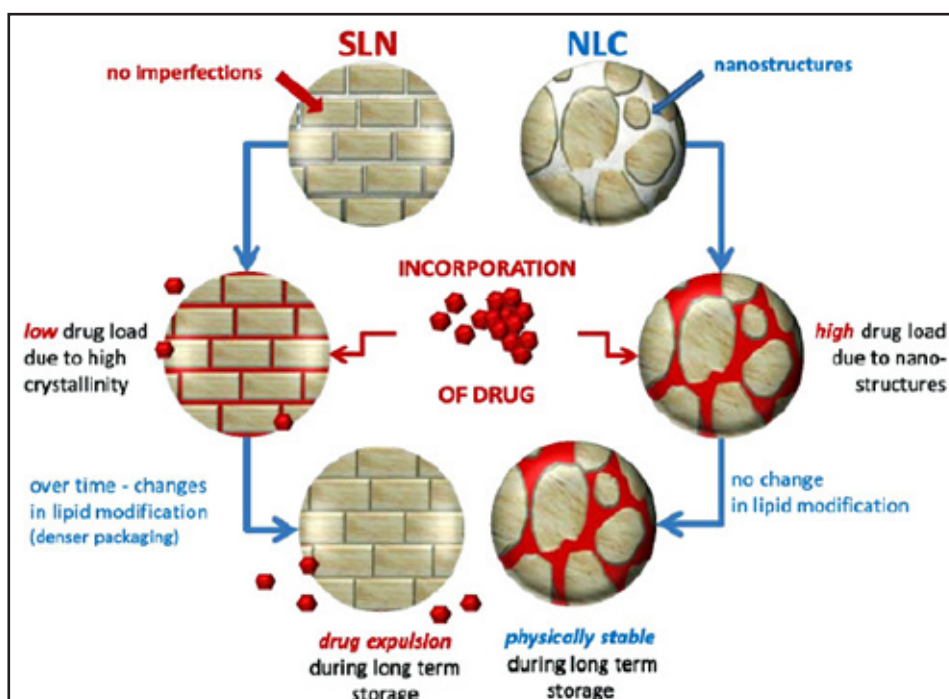


شکل ۴. تفاوت در SLN و NLC [۱۱].

مواد دارویی بین زنجیره‌های اسیدهای چرب و لایه‌های چربی در ساختار SLN قرار دارند. تبلور مجدد لیپید جامد با انتقال چند شکل بلافاصله پس از تولید SLN کامل نمی‌شود. با این حال، چربی جامد در نانوذرات تمایل دارد به موقع به یک ساختار شیمیایی مرتب‌تر تبدیل شود (شکل ۴). فرآیند تبلور مجدد لیپید جامد به فرم‌های چند شکل پایدارتر آن در SLN منجر به نشست دارو در حین ذخیره می‌شود زیرا دارو

نمی‌تواند در بین خوشه‌های نزدیک‌تر قرار بگیرد. در این میان، حلالیت دارو به طور مداوم کاهش می‌یابد و باعث خروج دارو از نانوذرات لیپیدی می‌شود، به ویژه هنگامی که غلظت دارو در فرمولاسیون خیلی زیاد باشد [۷]. برای غلبه بر این محدودیت‌ها NLC، که نوعی ساختار خاص SLN است، توسط مولر و همکاران تدوین شد [۱۲]. ترکیب لیپید مایع الهام بخش در ساختار لیپید جامد SLN به عنوان NLC پیشنهاد شد.

بدین ترتیب با افزایش بار مواد دارویی و فراهم آوردن محل اقامت بهتر دارو در نانوذرات حاصل می‌شود که مانع از خروج دارو در حین ذخیره سازی خواهد شد. حامل لیپیدی نانو ساختار همچنین می‌تواند ویژگی‌های کنترل شده دارو را با برخی از مزایا نسبت به SLN ترکیب کند. این حامل با استفاده از مخلوط لیپیدهای جامد و لیپیدهای مایع ترجیحاً با نسبت ۷۰:۳۰ تا نسبت ۹۹/۹:۱ تولید می‌شود (شکل ۵) [۷].



شکل ۵: تفاوت در SLN و NLC [۱۱].

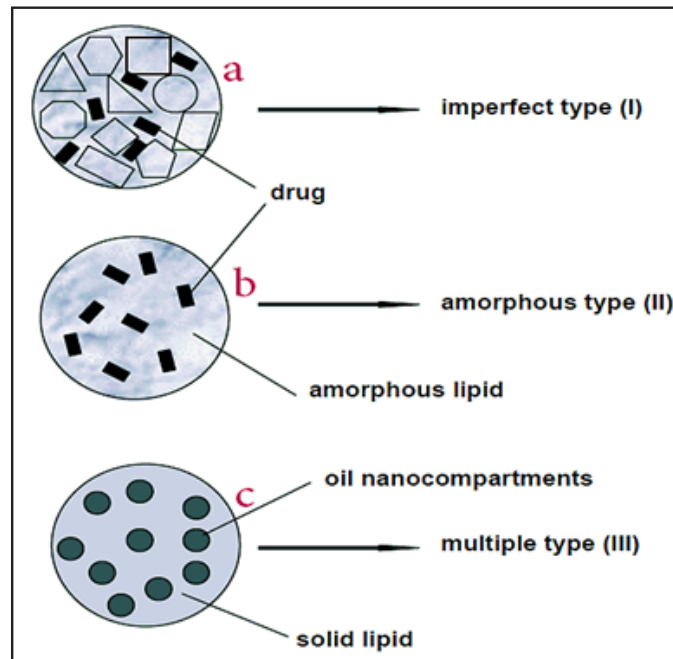
سه نوع NLC توسط مولر و همکاران شرح داده شده است [۷، ۱۰، ۱۲]:

۱- نوع ناقص (ماتریس جامد ناقص ساختار یافته): در این روش چربی‌هایی مانند گلیسریدها که از اسیدهای چرب مختلفی تشکیل شده‌اند با هم مخلوط می‌شوند. استفاده از چربی‌های مختلف منجر به فاصله بیشتر بین زنجیره‌های اسید چرب گلیسریدها در کریستال شده و بنابراین فضای بیشتری برای ورود مولکول‌های میهمان ایجاد می‌نمایند. مخلوطی از چربی‌های جامد و مقدار کمی از چربی‌های مایع سبب افزایش توان ورود

دارو به داخل ماتریکس خواهد شد. بیشترین ناسازگاری حاصل از اختلاط لیپیدهای جامد با مقادیر اندک لیپیدهای مایع منجر به بالاترین میزان بار دارو می‌شود (شکل ۶a).  
۲- نوع آمورف (ماتریس آمورف جامد بدون ساختار): این روش به نوع بی‌شکل معروف است و در آن نیز از ذرات جامد استفاده می‌شود. با اختلاط چربی‌های خاص (مانند هیدروکسی اکتا کوزانیل هیدروکسی استئارات و ایزوپروپیل مریستات) از ایجاد کریستال‌هایی که در اثر سرد شدن ایجاد می‌گردد جلوگیری می‌شود (شکل

۶b).  
۳- نوع چندگانه: چنانچه مقدار بالایی از روغن با چربی جامد مخلوط شود انواع مختلفی از نانو ساختار قابل دستیابی به دست خواهد آمد. در این موارد حلالیت مولکول‌های روغن در چربی جامد افزایش یافته که منجر به جدا شدن فازها و شکل‌گیری نانو ساختارهای روغنی درون ماتریکس چربی جامد خواهد شد. خیلی از داروها حلالیت بیشتری در روغن‌ها نسبت به چربی‌های جامد دارند که این امر به حل شدن آن‌ها در روغن و جلوگیری از دفع آن توسط چربی‌های جامد اطراف آن کمک خواهد

نمود. این مدل بسیار شبیه به امولسیون‌های روغن در جامد و هم چربی در آب رخ داده است. جمعیتی از ذرات کوچک خواهد شد که این امر به اضافه کردن چربی‌های مایع منجر به شکل‌گیری پویایی ماتریکس کمک خواهد کرد (شکل ۵۶).



شکل ۶: انواع مختلف NLC.

مزایا	۱-۱-۲ مزایا و معایب نانوذرات لیپیدی:	گذارهای چند شکل غیر منتظره	سیستم‌های حامل پیشرفته‌ای برای دستیابی به راندمان در سطح سلولی هستند.
• طیف گسترده‌ای از مسیر مدیریت (دهانی-ریوی-تنفسی- موضعی-تزریقی-چشمی)	• نیاز به تجهیزات پیشرفته	• تخریب حرارتی داروهای ضد گرما	• هدف قرار دادن عوامل فعال گنج‌انیده شده با اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و درمان شیمیایی.
• پایداری بدنی خوب	• توانایی کم در داروهای آبدوست به دلیل اثرات متنوع در طی مراحل تولید [۵، ۱۳]	• دلایل تولید SLN و NLC:	• فراهم کردن محافظت شیمیایی برای عوامل فعال و حساس به دام افتاده.
• محافظت در برابر تخریب داروهای شکننده ترکیب شده	• امکان رهایش دارویی کنترل شده و تمرکز بر روی داروها.	• استفاده به عنوان سیستم‌های مناسب برای فعالیت‌های نامحلول و محلول با حداکثر بار.	• ترکیب داروهای چربی دوست و آبدوست در دسترس.
• انتشار مدوله شده (سریع یا پایدار) از دارو	• استوف به عنوان سیستم‌های مناسب برای فعالیت‌های نامحلول و محلول با حداکثر بار.	• دامنه اندازه ۵۰-۱۰۰۰ نانومتر آن‌ها باعث می‌شود SLN و NLC ناقل‌های دارویی مناسبی باشند.	• افزایش از حلال‌های طبیعی.
• تحویل دارو هدفمند و بهبود ثبات دارویی	• عدم استفاده از حلال‌های آلی در هنگام تهیه	• قابلیت دسترسی عوامل فعال با اصلاح نرخ انحلال SLN و NLC، افزایش می‌یابد.	• افزایش قابلیت دسترسی زیستی مخلوط‌های فعال زیستی محاصره شده [۵، ۱۳].
• سهولت تولید در مقیاس بالا	• زیست سازگاری عالی	• بنابراین، انتشار کنترل شده از فعالیت‌های به دام افتاده طی چند هفته امکان پذیر است.	• افزایش امنیت بیشتر.
• بی‌نیاز به حلال‌های خاص	• دست‌یابی به ادغام هر دو روش آگریز و آبدوست	• آن‌ها توزیع بافتی عوامل فعال را بهبود می‌بخشند. بنابراین، SLN و NLC	• افزایش از حلال‌های طبیعی.
• استفاده از تکنیک‌های تولید امولسیون معمولی [۵، ۱۳]	• معایب		• افزایش از حلال‌های طبیعی.
• رشد ذرات	• گرایش به انعقاد یا ژل شدن		• افزایش از حلال‌های طبیعی.

گذشته، چندین دانشمند پتانسیل فناوری SLN را درک کرده‌اند و تلاش‌های تحقیقاتی آنها باعث بهبود سنتز SLN شده است. روش‌های مختلفی برای تهیه SLN وجود دارد که عبارت‌اند از: همگن سازی فشار بالا (همگن سازی داغ و همگن سازی سرد)، همگن سازی اولتراسونیک / سرعت بالا، روش تبخیر حلال، روش حلال امولسیون و انتشار، روش مایع فوق بحرانی، روش مبتنی بر میکروامولسیون، روش خشک کردن پاششی، روش امولسیون دوتایی و غیره (شکل ۸) [۴، ۵، ۷، ۱۳].

#### روش همگن سازی فشار بالا:

Muller و Lucks اولین کسانی بودند که SLN را با استفاده از تکنیک HPH (High Pressure Homogenization) تهیه کردند. هم‌وزن‌بازها چندین سال است که برای تولید نانوامولسیون بصورت تجاری استفاده می‌شوند. دو روش اصلی تولید HPH روش‌های همگن سازی گرم و سرد است. روش‌های همگن سازی گرم در دمای بالا انجام می‌شود و بنابراین نمی‌توان از این روش برای داروهای حساس به دما استفاده کرد. این روش همچنین برای داروهای آبدوست مناسب نیست. تکنیک همگن سازی سرد شانس تخریب داروها به علت دما را کاهش می‌دهد و بنابراین می‌توان از داروهای گرمازا استفاده کرد [۲، ۴، ۵].

فاز لیپیدی ایده‌آل باید به اندازه کافی چربی دوست باشد تا بتواند به راحتی داروهای لیپوفیلی را حل کند. برای مشاهده لیپیدهایی که بیشتر در تهیه SLN استفاده می‌شود به فرانس مراجعه شود [۵].

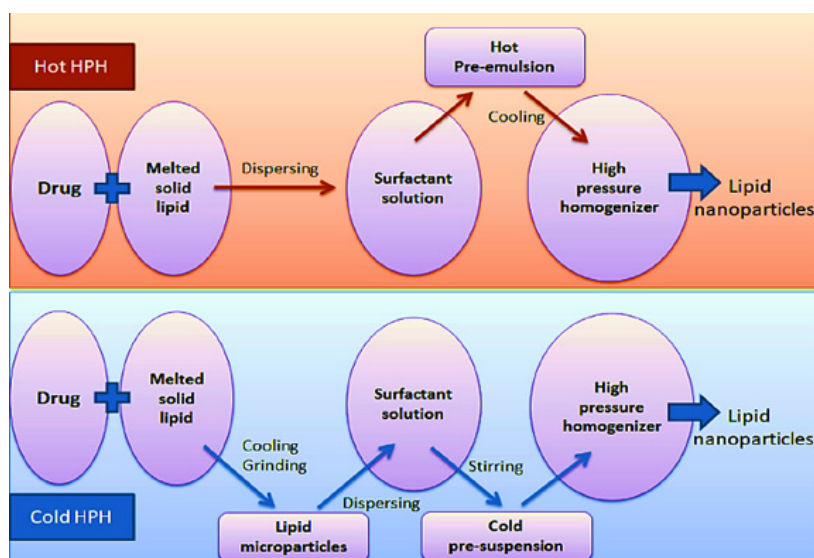
#### ۲-۲-۲- سورفکتانت:

سورفکتانت‌ها با کاهش کشش سطحی بین آب و لیپیدها، SLNs را تثبیت می‌کنند. انتخاب و غلظت سورفکتانت مورد استفاده بستگی به لیپیدها و مسیر مصرف دارد. سورفکتانت‌ها بسته به میزان بارگذاری آن‌ها به عنوان سورفکتانت‌های یونی، غیر یونی و آمفوتری (دو خصلتی یا دارای خاصیت اسیدی و بازی) به سه دسته تقسیم می‌شوند. سمیت سورفکتانت توجه زیادی را به خود جلب کرده است و از همه سورفکتانت‌ها برای تهیه انواع SLNs استفاده نمی‌شود. به عنوان مثال، سورفکتانت‌های غیر یونی مانند پلوکسامر ۱۸۸ (Poloxamer ۱۸۸) و لسیتین (Lecithin) برای مسیرهای تزریقی و چشمی ترجیح داده می‌شوند [۲، ۵].

#### ۲-۳- تکنیک‌های تولید نانوذرات لیپیدی:

چندین سال است که برای دستیابی به تأخیر در انتشار دارو، از لیپیدهای جامد به شکل گلوله استفاده می‌شود. در اوایل دهه ۱۹۸۰، اسپایزر و همکارانش نانوذرات لیپیدها را برای تجویز خوراکی ایجاد کردند. از دهه

گیرد. به طور کلی، چربی‌ها گروه بزرگ و متنوعی از مواد آلی هستند. با این حال، اجزای لیپیدهای مورد استفاده در تشکیل SLN خاصیت جامد بودن هم در دمای اتاق و هم در دمای بدن دارند. انواع مختلفی از لیپیدهای جامد رفتار متفاوتی دارند که در نتیجه بر خواص نانوذرات تأثیر می‌گذارد. انتخاب یک ترکیب مناسب چربی یا ترکیب چربی برای SLN به چندین عامل بستگی دارد: (۱) توانایی تولید ذرات در محدوده زیر میکرون، (۲) زیست تخریب‌پذیری، (۳) زیست سازگاری، (۴) ظرفیت بارگیری مناسب دارو و (۵) ثبات در هنگام ذخیره سازی [۵]. علاوه بر این، چربی‌ها را می‌توان براساس ماتریس لیپیدی تشکیل شده، یعنی ماتریس‌های منظم، با نظم کمتر و بی نظم طبقه بندی کرد [۱۴]. بنابراین انتخاب لیپیدها نقش مهمی در فرمولاسیون SLN پایدار دارند. خلوص و ترکیب چربی‌ها باید با استفاده از چندین تکنیک تحلیلی از جمله طیف سنجی جرم-کروماتوگرافی گاز، طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه و طیف سنجی رامان بررسی شود. تخریب ظاهری چربی‌ها می‌تواند با کمک طیف‌ها اندازه گیری شود. لیپوفیل‌سایته مواد دارویی با توجه به لیپید انتخابی جنبه مهمی برای فرمول پایدار در نظر گرفته شده است. یک



شکل ۷. روش همگن سازی فشار بالا (HPH سرد و گرم) [۲].



**روش مبتنی بر میکرومولسیون :**

Gasco و همکاران اولین کسانی بودند که SLN را براساس رقیق شدن میکرومولسیون‌ها توسعه دادند. میکرومولسیون‌ها مخلوط‌های ترمودینامیکی پایدار، شفاف و ایزوتروپیک هستند که معمولاً از روغن یا لیپید، امولسیفایر و آب تشکیل شده‌اند. لیپیدهای مورد استفاده برای تهیه SLN در دمای اتاق جامد هستند و از این رو میکرومولسیون در دمای بالاتر از نقطه ذوب چربی تهیه می‌شود. گرادیان دما و مقدار pH علاوه بر ترکیب میکرومولسیون، کیفیت محصول را نیز تعیین می‌کند. محدودیت عمده این تکنیک حساسیت آن به تغییرات جزئی در ترکیب یا متغیرهای ترمودینامیکی است که می‌تواند منجر به انتقال فاز شود [5].

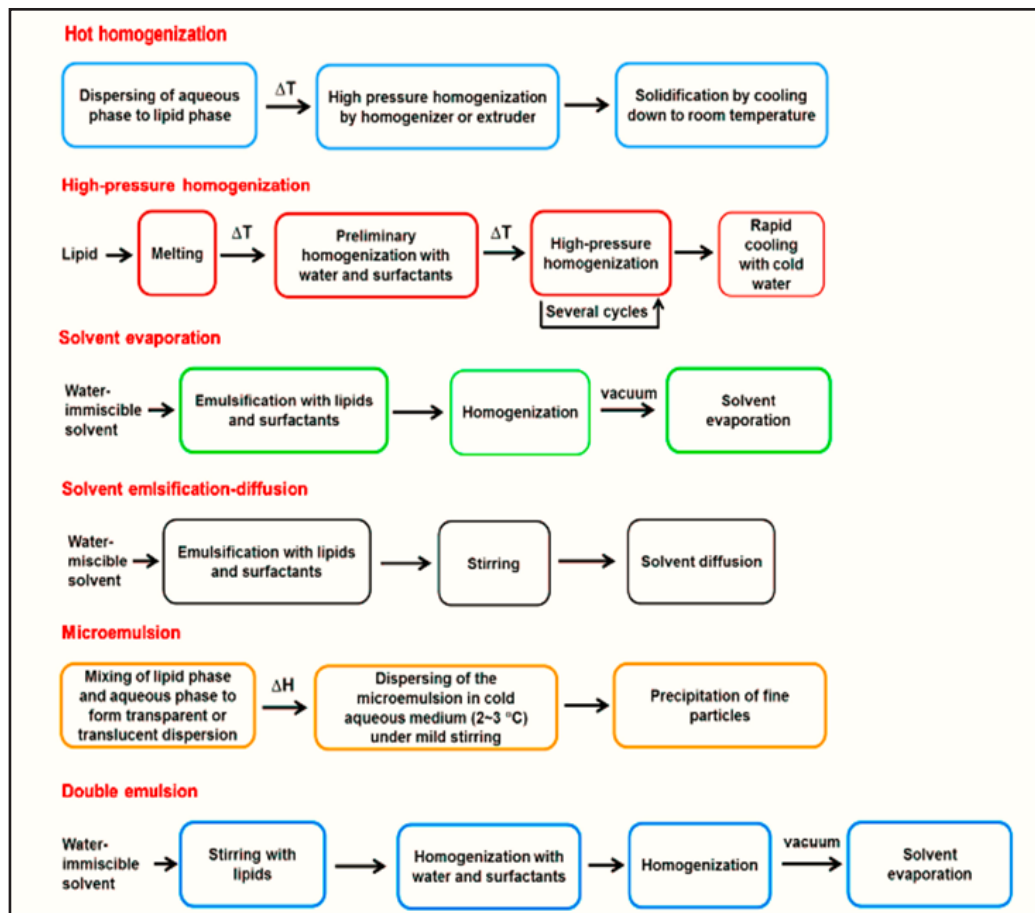
**روش امولسیون - تبخیر حلال:**

Sjöström و Bergenstahl اولین

کسانی بودند که تولید SLN را با استفاده از روش امولسیون- تبخیر حلال توصیف کردند. لیپید جامد در یک حلال آلی غیرقابل حل مانند سیکلوهگزان، کلروفرم، اتیل‌استات یا متیلن کلرید حل می‌شود و دارو در محلول حل شده یا پراکنده خواهد شد. با از بین بردن حلال با سرعت سریعتر می‌توان از تجمع ذرات در این روش جلوگیری کرد. از این روش می‌توان برای تهیه داروهای آبدوست با تهیه امولسیون آب / روغن / آب و حل کردن دارو در فاز داخلی استفاده کرد. داروهای حرارتی با استفاده از این روش می‌توانند ترکیب شوند و مقدار کمی از حلال آلی که در محصول نهایی باقی مانده است به طور بالقوه می‌تواند مشکلات سمیت ایجاد کند. علاوه بر این، افزایش محتوای چربی به دلیل گرانبوی بالای فاز پراکندگی، باعث کاهش راندمان همگن شدن می‌شود [4, 5, 7].

**هموژنیزاسیون با عملکرد بالا و اولتراسونیک کردن:**

هموژنیزاسیون با عملکرد بالا و روش اولتراسونیک دو تکنیک مجزا هستند که در آن‌ها از حلال‌های آلی، مقدار زیاد مواد افزودنی و سورفکتانت‌ها استفاده نمی‌شود. این تکنیک‌ها آسان بوده و نیازمند ابزاری هستند که در اغلب آزمایشگاه‌ها یافت می‌شود. پایین بودن کیفیت پراکندگی عیب این روش‌ها می‌باشد. کیفیت پراکنش این نانوذرات لیپیدی که به وسیله این روش‌ها تولید می‌شود اغلب تحت تأثیر حضور میکروذرات قرار می‌گیرد که منجر به ناپایداری فیزیکی طی زمان نگهداری می‌گردد. در این روش، غلظت چربی پایین (کمتر از ۱٪) و غلظت سورفکتانت به طور نسبی بالا می‌باشد. آلودگی فلزی مشکل دیگری است که در استفاده از اولتراسونیک به وجود می‌آید [4, 5, 7].



شکل ۷. روش همگن سازی فشار بالا (HPH) سرد و گرم [۲].

## ۴-۲- ویژگی و تصویر سازی نانو ذرات لیپیدی:

ثبات طولانی مدت دوز دارو، که پس از فرآیند تولید، از خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نظر برخوردار هستند، موضوعی مهم است و نشان می‌دهد که می‌توان آن‌ها را با خیال راحت در مقاصد پزشکی استفاده کرد. بنابراین، چندین روش توصیف و تصویربرداری با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف برای طراحی فرمولاسیون‌های مناسب انجام می‌شود. اندازه و بار ذرات، خصوصیات سطح،

خصوصیات کریستالوگرافی و ساختاری و مورفولوژی SLN و NLC بررسی می‌شود و از تکنیک‌های پیشرفته‌ای استفاده خواهد شد [۷].

### • پارامترهای محصورسازی:

تعیین مقدار داروی مرتبط با نانو ذرات یک پارامتر مهم برای توصیف SLN است. این کار به دلیل کوچک بودن ذرات دشوار است. ثبات داروی لود شده در نانو ذرات لیپیدی به ترکیب شیمیایی ماتریس لیپیدها (به عنوان مثال نوع لیپید و سورفاکتانت) و روش تولید بستگی دارد. [۴، ۵].

پایداری طولانی مدت نانو ذرات لیپیدی نسبت به ذخیره سازی بستگی به ترکیب لیپید و سورفاکتانت ذرات و عملکرد تولید دارد. بازده کپسول سازی داروهای آبگریز نیز در SLNs و NLCs نسبت به داروهای آبدوست بیشتر است. از تفاوت بین داروی کل و دارویی که در سوپرناتانت موجود است، غلظت دارو در ارتباط با نانوساختارها محاسبه می‌شود. بازده محصورسازی (EE) و ظرفیت بارگذاری (LC) با استفاده از معادلات زیر تعیین می‌شود [۴، ۵].

$$\text{Encapsulation efficiency (EE\%)} = \frac{\text{Amount(mg) of loaded drug determined experimentally}}{\text{Theoretied amount of drug(mg) in formulation}} \times 100$$

$$\text{Loading capacity (LC\%)} = \frac{\text{Amount(mg) of loaded drug determined experimentally}}{\text{Theoretied amount of lipid (mg) in formulation}} \times 100$$

### اندازه ذرات:

شاخص اندازه و پراکندگی پارامترهایی هستند که نشان دهنده پایداری نانو ذرات است. فرمول SLN بهینه سازی شده باید دارای اندازه ذرات کمتر از ۱ میکرومتر، همراه با یک شاخص مقاومت در برابر چگالی کوچک باشد. چندین پارامتر بر اندازه ذرات و پراکندگی ذرات تأثیر می‌گذارد، به عنوان مثال، ترکیب فرمولاسیون (مخلوط سورفاکتانت‌ها، خاصیت ساختاری چربی و همچنین داروی ترکیبی)، روش‌ها و شرایط تولید (زمان، دما، سرعت همزن، فشار، و غیره). بین نسبت سورفاکتانت/لیپید و اندازه ذرات رابطه وجود دارد. دمای مورد استفاده در روش HPH پارامتر دیگری است که در اندازه ذرات تداخل دارد. همگن سازی در دماهای پایین (یعنی زیر نقطه ذوب لیپید جامد) باعث افزایش اندازه ذرات می‌شود، اما درجه حرارت در نزدیکی نقطه ذوب باعث بهبود همگن شدن می‌شود و اندازه ذرات پایین‌تر حاصل می‌شود. معمولاً هنگام استفاده از لیپیدهای زنجیره اسیدهای چرب طولانی،

اندازه ذرات افزایش می‌یابد. طیف سنجی همبستگی فوتون (PCS) نیز معمولاً برای اندازه گیری ذرات در محدوده اندازه نانومتر استفاده می‌شود. PCS همچنین پراکندگی نور شبه الاستیک (QELS) یا پراکندگی نور پویا (DLS) نامیده می‌شود [۴، ۷].

### تعیین بار ذرات:

بار نانو ذرات یکی دیگر از پارامترهای مهم در تحویل سایت‌های خاص SLN و NLC است. تغییر جدی در بار ذرات مشاهده شده در آزمایشات ثبات طولانی مدت ممکن است نشانگر تجمع نانو ذرات باشد. بار ذرات به عنوان پتانسیل زتا (ZP) تعریف می‌شود، که مقدار بار در سطح ذرات است. با استفاده از لیپیدهای یونی، سورفاکتانت‌ها و/یا داروهای موجود در فرمولاسیون SLN و NLC، نانو ذرات مقدار ZP بالاتری را نشان می‌دهند. گاهی اوقات، سطح نانو ذرات به طور ترجیحی یون‌ها را جذب می‌کنند و ZP افزایش می‌یابد. ZP بیشتر از ۶۰ میلی ولت برای ثبات بدنی عالی نانو ذرات ذکر شده است، در حالی که بیشتر از ۳۰ میلی ولت به عنوان یک قاعده نشان دهنده

ثبات الکترواستاتیک خوبی است [۴، ۷].

### مورفولوژی ذرات:

برای کسب اطلاعات در مورد شکل و اندازه نانو ذرات معمولاً از اسکن (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده می‌شود. میکروسکوپ نیروی اتمی (ATM) تکنیکی دیگر است که اطلاعات را با وضوح بالا در سه بعد در مقیاس نانومتر (حتی جزئیات سطح در سطح اتمی) می‌دهد و همچنین برای درک مورفولوژی سطح نانو ذرات استفاده می‌شود [۴، ۷].

### ۴-۵- ظرفیت بارگذاری دارو در نانو ذرات لیپیدی:

داروهای مختلفی به عنوان عوامل بالقوه برای ترکیب در SLN مورد بررسی قرار گرفته است. برخی از نمونه‌ها عبارتند از: تیمولول داکسوروبیسین، دیازپام، رتینول، سیکلوسپورین، اگزازپام، دیازپام. ظرفیت بارگیری دارو یک پارامتر مهم برای بررسی مناسب بودن سیستم حامل مواد دارویی است. ظرفیت بارگیری دارو بسته به دارویی که در SLN درج شده است

۱ تا ۵۰ درصد متفاوت است. برخی از عواملی که بر ظرفیت بارگیری دارو در SLN تأثیر می‌گذارند شامل حلالیت دارو در چربی، اختلال در غلظت دارو و چربی، ساختار ماتریس لیپیدها و حالت پلیمری لیپیدهاست. ماهیت شیمیایی لیپید یک عامل مهم تعیین کننده ظرفیت بارگیری دارو در SLN است. تعیین تبلور چربی‌ها و سایر مواد تحریک کننده می‌تواند برای پیش بینی مصرف مواد دارویی مفید باشد. ترکیب بهینه دارو و توصیف فیزیکی لیپیدها و سایر مواد تحریک کننده با استفاده از تکنیک های تحلیلی مانند رزونانس مغناطیسی هسته ای، پراش پرتونگاری با پودر، کالری سنجی اسکن دیفرانسیل و طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه قابل تشخیص است [۵].

#### ۲-۶- رهایش دارو از نانوذرات لیپید:

رهاسازی داروی بارگذاری شده در SLN به شرح زیر است:

• رابطه معکوس بین ترشح دارو و ضریب پارتیشن دارو وجود دارد.

• اندازه ذرات کوچکتر سطح بالاتری را ارتقا می‌بخشد، در نتیجه منجر به رهاسازی بیشتر دارو می‌شود.

• پراکندگی همگن دارو در ماتریس لیپید باعث کندتر شدن دارو می‌شود.

• تبلور لیپیدها و تحرک زیاد دارو منجر به آزاد سازی سریع دارو از SLN می‌شود.

مطالعات زیادی در مورد تأثیر پارامترهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند در انتشار دارو از SLNs انجام شده است. یک مشکل اساسی در مورد SLNs انتشار اولیه دارو است. رها شدن دارو از SLN به اندازه ذرات و یا مساحت بستگی دارد. از مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که SLNs همراه با داروهای لیپوفیلک از الگوهای انتشار طولانی مدت پیروی می‌کنند. پارامترهای مؤثر بر آزادسازی دارو از SLN عبارتند از: دما، میزان داروی ترکیب شده،

ساختار لیپیدها و ساختار دارو، مدت زمان تولید، تجهیزات پردازش، فرآیند خشک کردن انجمادی و فرایند سترون سازی. در بین این‌ها دو پارامتر اصلی که بر آزادسازی دارو از SLN تأثیر می‌گذارد دما و حضور یک سورفاکتانت است. تحقیقات مربوط درباره انتشار دارو ثابت کرده است که بیشترین میزان رهایش دارو در بالاترین دما تولید مشاهده می‌شود. استفاده از درجه حرارت بالا، حلالیت دارو در فاز آبی را تسهیل می‌کند. از این رو، استفاده از دمای تولید پایین‌تر ممکن است باعث آزاد شدن ترکیدگی دارو شود. استفاده از سورفاکتانت‌ها باعث انحلال دارو در مرحله آبی می‌شود. از این رو، SLN هایی که دارای غلظت‌های کم سورفاکتانت می‌باشند و یا هیچ سورفاکتانتی ندارند ممکن است باعث کاهش انتشار پشت سر هم شوند [۵].

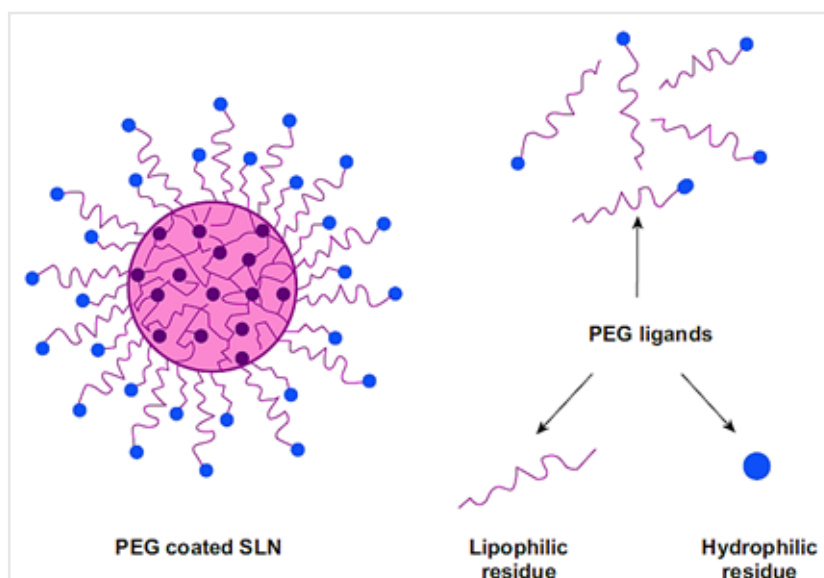
#### ۲-۷- نانوذرات لیپیدی به عنوان حامل بالقوه عوامل ضد سرطان:

بخش قابل توجهی از موارد جدید سرطان که هر ساله یافت می‌شود، مقاومت در برابر دارو است. مقاومت در برابر دارو به این دلیل رخ می‌دهد که سرطان‌ها یا ذاتاً غیرقابل درمان هستند یا در برابر طیف گسترده‌ای از داروهای ضد سرطان و ترکیبات آن‌ها مقاوم هستند. اگر سلول‌های تومور خاص مقاومت همزمان را در برابر تعدادی از شیمی درمانی و عملکردهای مختلف شیمی درمانی نشان‌دهند، گفته می‌شود که مقاوم به چند دارو هستند. استفاده از شیمی درمانی برای معالجه تومورهای جامد با چالش‌هایی روبرو بوده است و نتایج آن عمدتاً رضایت بخش نیست. در حال حاضر، بیش از ۸۵٪ از سرطان‌های انسانی تومورهای جامد هستند. به نظر می‌رسد سلول‌های تومور جامد دارای موانع نفوذ بیش از حد دارومی‌باشند، که مانع از رسیدن دارو به غلظت کافی در سلول‌های توموری می‌شود و از این رو سلول‌های سرطانی نسبت به

سلول‌های طبیعی نسبت به شیمی درمانی مقاوم‌تر هستند. داروهای مسموم کننده سلولی که به طور مرسوم تجویز می‌شوند، بسیار غیرقابل پیش بینی هستند، زیرا به طور گسترده‌ی به بافت‌های بدن و پروتئین‌های سرم متصل می‌شوند. تحویل ماده فعال به طور خاص به سلول‌های توموری برای فعالیت‌های درمانی مناسب بسیار مهم است. داروهای مسموم کننده سلولی حتی در سلول‌های غیر هدف سمی، به ویژه در تقسیم سریع سلول‌های مغز استخوان و دستگاه گوارش نیز از خود سمیت نشان می‌دهند. استفاده از داروهای شیمی درمانی باعث عوارض جانبی زیادی (حاد یا مزمن) مانند آلرژی، استفراغ، افسردگی، کم خونی، زخم دهان، حالت تهوع، ترومبوسیتوپنی و نوتروپنی به دلیل ویژگی نامناسب آنها می‌شود. آنها غالباً منجر به ناراحتی شده و در برخی موارد حتی ممکن است باعث مرگ نیز شوند. از نانوذرات لیپیدی برای ترکیب داروهای ضد سرطان مختلف استفاده شده است. اسن نانوذرات برای اثرات *in vitro* و *in vivo* مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش اثربخشی و زمان اقامت داروهای مسموم کننده سلولی نشان داده شده است که SLNs دارای عوارض جانبی کمتری هستند [۲، ۵، ۱۰].

#### ۲-۷-۱- کاربرد نانوذرات لیپید جامد برای تحویل داروهای آبدوست:

برای جلوگیری از جذب سلول‌های فاگوسیتیک و بهبود توزیع بیولوژیکی داروها برای مدت طولانی، اصلاح سطح SLNs با استفاده از پلیمر PEG گزارش شده است [۱۵]. پلیمر PEG از بقایای آبگریز و آبدوست تشکیل شده است و به صورت کووالانسی به SLN متصل می‌شود و با تشکیل یک لایه محافظ آبگریز آن‌ها را به صورت استریل تثبیت می‌کند. این از تجمع نانوذرات جلوگیری کرده و ثبات کلی فرمولاسیون را بهبود می‌بخشد (شکل ۹).



شکل ۹. نانوذرات لیپیدی جامد پوشش داده شده با پلی اتیلن گلیکول (PEG) [۱۰].

به طور کلی، اصلاح سطح ذرات کلئیدی با پوشش دادن با یک ماده آبگریزی مانند PEG دارای مزیت‌های زیر است:

- ایجاد ثبات بدنی خوب و پراکندگی کلئیدها
- بهبود حضور کلئیدها در استفاده سیستمیک در گردش خون
- افزایش پایداری کلئیدها در دستگاه گوارش
- تسریع حمل و نقل کلئیدی در سراسر اینتلیوم
- افزایش سازگاری زیست محیطی و کاهش ترومبوژن بودن ناقلین مواد دارویی
- تأمین عملکرد مخزن برای ذرات کلئیدی حامل داروهای آبگریز به دلیل پوشش آبدوست در اطراف [۱۰]

### ۲-۷-۲- اهمیت نانوذرات لیپید جامد به عنوان حامل ضد سرطان:

به نظر می‌رسد که SLNs دارای اثر "افزایش نفوذ و حفظ" (EPR) هستند. بافت‌های تومور ناقص‌های

پاتوفیزیولوژیکی و آناتومیکی دارند که در سلول‌های عادی وجود ندارد. نانوذرات، پروتئین‌ها، ترکیبات دارویی پلیمر و سایر ماکرومول‌ها به صورت انتخابی در این سلول‌های تومور جامد جمع می‌شوند. این پدیده برای هدف قرار دادن سلول‌های توموری استفاده می‌شود و اثر EPR نامیده می‌شود. عروق سلول‌های تومور با سلول‌های بافت طبیعی متفاوت است. سلول‌های تومور رگ‌های خونی شکل نامنظم، گشاد شده، نشتی و نقص دارند. این خصوصیات امکان عبور گسترده از اجزای پلاسما خون مانند ماکرومولکول‌ها، نانوذرات و ذرات لیپیدی را به بافت تومور می‌دهد. این ماکرومولکول‌ها به دلیل بازگشت آرام وریدی در بافت تومور و ترخیص لنفاوی ضعیف آن که منجر به EPR می‌شود در تومور حفظ می‌شوند. از SLNs می‌توان برای تغییر هدفمند تومورها در یک سایت خاص مانند تومورهای مغزی با تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

به طور کلی، اصلاح سطح ذرات کلئیدی با پوشش دادن با یک ماده آبگریزی مانند PEG دارای مزیت‌های زیر است:

- ایجاد ثبات بدنی خوب و پراکندگی کلئیدها
- بهبود حضور کلئیدها در استفاده سیستمیک در گردش خون
- افزایش پایداری کلئیدها در دستگاه گوارش
- تسریع حمل و نقل کلئیدی در سراسر اینتلیوم
- افزایش سازگاری زیست محیطی و کاهش ترومبوژن بودن ناقلین مواد دارویی
- تأمین عملکرد مخزن برای ذرات کلئیدی حامل داروهای آبگریز به دلیل پوشش آبدوست در اطراف [۱۰]

۲-۷-۲- اهمیت نانوذرات لیپید جامد به عنوان حامل ضد سرطان:

به نظر می‌رسد که SLNs دارای اثر "افزایش نفوذ و حفظ" (EPR) هستند. بافت‌های تومور ناقص‌های

سطح استفاده کرد و بدین ترتیب اصلاح توزیع بیولوژیکی نانوذرات لیپیدی را انجام داد [۵].

۳- نتیجه گیری:

نانو ذرات لیپیدی جامد (SLNs) و حامل‌های لیپیدی نانو ساختار (NLCs) در سال‌های اخیر به عنوان یک سیستم تحویل داروی امیدوارکننده مورد مطالعه‌ترین سیستم‌های تحویل داروی لیپیدی به دلیل زیست سازگاری، سمیت کم، ظرفیت بارگذاری بالا، سرعت رهایش آهسته و پایداری بالا، پتانسیل تحویل دارو و همچنین دارای چندین مسیر برای اداره مواد دارویی می‌باشند. بسیاری از داروهای دارای فعالیت درمانی از نظر طبیعت بسیار آبگریز هستند. ترکیب و تحویل چنین ترکیبات فعال آبگریز در سایت مورد نظر همواره مورد نگرانی بوده است. نشان داده شده است که SLNs دارای چندین ویژگی مطلوب برای تحویل چنین عوامل آبگریز به محل مورد نظر هستند. نانوذرات لیپیدی از



لیپیدهای زیست سازگار و زیست تخریب پذیر تشکیل شده‌اند و دارای نقطه ذوب بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد برای اطمینان از وضعیت جامد در اتاق و همچنین در دمای بدن هستند. تجویز SLN از طریق تزریق داخل وریدی چالش برانگیزترین مسیر است زیرا به کنترل مطلق اندازه ذرات نیاز دارد. به نظر می‌رسد کاربرد اصلی	SLNs مسیر تجویز پوستی است زیرا نتایج حاصل از چنین مطالعاتی امیدوار کننده است. برای نتیجه‌گیری، SLNs سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که با سایر ناقلین کلونیدی مقایسه می‌شوند. مطالعات بیشتری باید از نظر درک ساختار و پویایی SLNs در سطح مولکولی در شرایط <i>in vivo</i> و <i>in vivo</i> انجام شود. پیش	بینی می‌شود در آینده نزدیک، فرم‌های تغییر یافته SLNs بهینه شوند و در نتیجه عوارض جانبی را کاهش داده و باعث افزایش کارایی به عنوان حامل‌های بالقوه می‌شوند. رویکردهای تازه معرفی شده حاکی از مزایای آنها است. در نتیجه، SLN و NLC سیستم تقریباً امیدوار کننده دارو در زمینه نانو فناوری هستند.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Reference:

- Cooper, G.M., *The cell : a molecular approach*. eighth ed. 2019.
- Samira Nasirizadeh and B. Malaekheh-Nikouei, Solid lipid nanoparticles and nanostructured lipid carriers in oral cancer drug delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2020. 5: p. 1-12.
- Hsu, C.-Y., et al., Use of lipid Nanocarriers to improve Oral delivery of vitamins. *Nutrients*, 2019. 11(1): p. 68.
- Campos, J., et al., Solid lipid nanoparticles (SLN): prediction of toxicity, metabolism, fate and physicochemical properties, in *Nanopharmaceuticals*. 2020, Elsevier. p. 1-15.
- Deshpande, A., et al., Solid Lipid Nanoparticles in Drug Delivery: Opportunities and Challenges, in *Emerging Nanotechnologies for Diagnostics, Drug Delivery and Medical Devices*. 2017, Elsevier. p. 291-330.
- Sánchez-López, E., et al., Lipid nanoparticles (SLN, NLC): Overcoming the anatomical and physiological barriers of the eye- Part II-Ocular drug-loaded lipid nanoparticles. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2017. 110: p. 58-69.
- Özdemir, S., B. Çelik, and M. Üner, Properties and therapeutic potential of solid lipid nanoparticles and nanostructured lipid carriers as promising colloidal drug delivery systems, in *Materials for Biomedical Engineering*. 2019, Elsevier. p. 451-499.
- Bhat, A.H., et al., *Nanomaterials for Healthcare, Energy and Environment*. 2019: Springer.
- Lin, C.-H., et al., Recent advances in oral delivery of drugs and bioactive natural products using solid lipid nanoparticles as the carriers. *Journal of food and drug analysis*, 2017. 25(2): p. 219-234.
- Üner, M. and G. Yener, Importance of solid lipid nanoparticles (SLN) in various administration routes and future perspectives. *International journal of nanomedicine*, 2007. 2(3): p. 289.
- Patel, D., R. Kesharwani, and S. Gupta, Development & Screening Approach for Lipid Nanoparticle: A Review. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 2015: p. 1-7.
- Müller, R.H., M. Radtke, and S.A. Wissing, Solid lipid nanoparticles (SLN) and nanostructured lipid carriers (NLC) in cosmetic and dermatological preparations. *Advanced drug delivery reviews*, 2002. 54: p. S131-S155.
- Lingayat, V.J., N.S. Zarekar, and R.S. Shendge, Solid lipid nanoparticles: a review. *Nanoscience and Nanotechnology Research*, 2017. 2: p. 67-72.
- Pathak, K., L. Keshri, and M. Shah, Lipid nanocarriers: influence of lipids on product development and pharmacokinetics. *Critical Reviews<sup>TM</sup> in Therapeutic Drug Carrier Systems*, 2011. 28(4).
- Zhang, Y. and J. Zhang, Surface modification of monodisperse magnetite nanoparticles for improved intracellular uptake to breast cancer cells. *Journal of colloid and interface science*, 2005. 283(2): p. 352-357.

## News

### Nanosensor can alert a smartphone when plants are stressed

MIT engineers have developed a way to closely track how plants respond to stresses such as injury, infection, and light damage, using sensors made of carbon nanotubes. These sensors can be embedded in plant leaves, where they report on hydrogen peroxide signaling waves. Plants use hydrogen peroxide to communicate within their leaves, sending out a distress signal that stimulates leaf cells to produce compounds that will help them repair damage or fend off predators such as insects. The new sensors can use these hydrogen peroxide signals to distinguish between different types of stress, as well as between different species of plants.



“Plants have a very sophisticated form of internal communication, which we can now observe for the first time. That means that in real-time, we can see a living plant’s response, communicating the specific type of stress that it’s experiencing,” says Michael Strano, the Carbon P. Dubbs Professor of Chemical Engineering at MIT.

### Living drug factories” might treat diabetes and other diseases

Chemical engineers have developed a way to protect transplanted drug-producing cells from immune system rejection. One promising way to treat diabetes is with transplanted islet cells that produce insulin when blood sugar levels get too high. However, patients who receive such transplants must take drugs to prevent their immune systems from rejecting the transplanted cells, so the treatment is not often used. To help make this type of therapy more feasible, MIT researchers have now devised a way to encapsulate therapeutic cells in a flexible protective device that prevents immune rejection while still allowing



oxygen and other critical nutrients to reach the cells. Such cells could pump out insulin or other proteins whenever they are needed. “The vision is to have a living drug factory that you can implant in patients, which could secrete drugs as-needed in the patient. We hope that technology like this could be used to treat many different diseases, including diabetes,” says Daniel Anderson, an associate professor of chemical engineering, a member of MIT’s Koch Institute for Integrative Cancer Research and Institute for Medical Engineering and Science, and the senior author of the work.

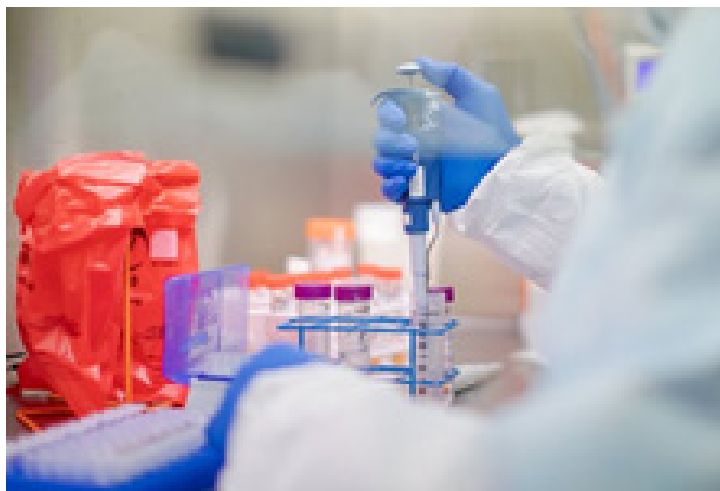
## ذخیره انرژی باتری با کمک ریزموجها



پژوهشگران آمریکایی، روش جدیدی برای ذخیره انرژی باتری ابداع کرده‌اند که در آن از قدرت ریزموجها استفاده می‌شود. به گزارش ایسنا و به نقل از فیز، پژوهشگران "دانشگاه پردو" (Purdue University)، روش جدیدی ابداع کرده‌اند که از ریزموجها به عنوان راهی برای ذخیره انرژی تجدیدپذیر استفاده می‌کند. این روش جدید می‌تواند "پلی اتیلن ترفتالات" (PETE) را که یکی از قابل بازیافت‌ترین پلیمرها است، به عناصر باتری تبدیل کند. ویلاس پل (Vilas Pol)، استادیار مهندسی شیمی دانشگاه پردو و از پژوهشگران این پروژه گفت: ما از یک روش فوق‌العاده سریع استفاده کردیم تا پلی اتیلن ترفتالات را به دی‌سدم ترفتالات تبدیل کنیم و آن را به عنوان ماده آند باتری به کار ببریم. ما سعی داریم به

پیشرفت تبدیل و ذخیره انرژی تجدیدپذیر که تحت تاثیر توجه جامعه و افزایش آگاهی در مورد تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع انرژی است، کمک کنیم. این گروه پژوهشی، فناوری جدید خود را هم با باتری‌های لیتیوم-یون و هم با باتری‌های سدیم-یون آزمایش کردند. این پژوهش در مجله "ACS Sustainable Chemistry & Engineering" به چاپ رسید.

## کیت تشخیص نارسایی‌های کبدی محققان کشور ثبت جهانی شد



محققان پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران اختراع کیت تشخیص زردی نوزادان را در اداره ثبت اختراعات آمریکا USPTO به ثبت رساندند. به گزارش ایسنا، محققان پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران با کمک فناوری‌های نانو و تلفن‌های هوشمند موفق به طراحی و ساخت کیت تشخیص طبی شدند که قادر به تشخیص بیماری زردی نوزادان و نارسایی‌های کبدی در کمتر از ۱۰ دقیقه و تنها با یک قطره خون است. این کیت به دلیل سهولت استفاده، ارزانی و عدم نیاز به تجهیزات پیچیده، کاربر پسند بوده و می‌توان به راحتی از آن به منظور تشخیص بیماری‌های زردی، هیپاتیت و نارسایی‌های کبدی در آزمایشگاه‌های تشخیص طبی و همچنین منازل استفاده کرد. این اختراع در سال ۲۰۲۰ در اداره ثبت اختراعات آمریکا USPTO به ثبت رسیده است.

### References:

[www.newsmitt.edu](http://www.newsmitt.edu)

[www.mehrnews.com](http://www.mehrnews.com)



## رویداد های آتی در مهندسی شیمی

# هفتمین کنفرانس بین المللی شیمی و مهندسی شیمی

تهران - تیر ۱۳۹۹

آخرین مهلت ارسال مقاله: ۱۵ خرداد ۱۳۹۹  
برگزاری کنفرانس: ۲۰ تیر ۱۳۹۹

# 14<sup>th</sup> International Seminar on Polymer Science & Technology

Tarbiat Modares University  
Tehran, Iran  
9-12 November 2020



**دومین هماهنگی بین المللی توسعه فناوری  
در نفت، گاز، بیالایتر و پترونتیم**  
2nd International Conference on  
Technology Development in Oil  
Gas, Refining and Petrochemicals



۲۲ خرداد ۱۳۹۹

کنفرانس علمی و ارائه دستاورد های تحقیقاتی  
کارگاه های آموزشی High tech  
نمایشگاه بین المللی  
نشست های تخصصی راهبردی

ان. میدان انقلاب اسلامی، خیابان کارگرشمالی، خیابان نصرت، پلاک ۸۸، واحد ۳  
شماره تماس: ۰۲۱۶۶۵۹۴۱۷۵

www.oil.bcnf.ir

**دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول**  
خاستگاه اولین دانشگاه جهان (جندی شاپور باستان)  
برگزار می کند




اولین کنفرانس ملی  
**بهینه سازی در  
انرژی های تجدید پذیر**

زمان برگزاری کنفرانس:  
۴ اردیبهشت ۱۳۹۹  
آخرین مهلت ارسال مقالات:  
۱۰ فروردین ۱۳۹۹

**NCCSE  
2020**



**دهمین کنفرانس ملی پژوهش های  
نوین در علوم و مهندسی شیمی**  
The 10th National Conference on New Research  
in Chemical Science and Engineering

تاریخ برگزاری کنفرانس: ۹۹/۰۶/۰۵  
محل برگزاری: مازندران

(سمانه مشهدی خان، دانشجوی دکتری مهندسی شیمی)

## پیش بینی مشاغل مهندسان شیمی در آینده

باشد تبدیل می‌شوند تا امکان بازدید از سیارات یا ایستگاه‌های فضایی دور دست فراهم شود. مهندسان شیمی در حال حاضر در تلاشند تا منابع جدید سوخت را تولید کنند به عنوان مثال آنان بر روی پالایشگاه‌های زیستی، مزارع بادی، سل‌های هیدروژن، کارخانه‌های جلبک و فناوری‌های تلفیقی مشغول به کار و تحقیق هستند. این تکنولوژی‌ها می‌توانند برای سوخت سفرهای فضایی در آینده مورد استفاده قرار گیرند.



### ۲) بازیافت کننده اورانیوم

در دنیای امروز انرژی‌های تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی، جزر و مد و انرژی هیدروژنی اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده‌اند. هرچند که در حال حاضر استفاده از انرژی هسته‌ای در پروژه‌های مختلف از اهمیت بیشتری نسبت به سایر انرژی‌ها برخوردار است. اما در مورد استفاده از انرژی هسته‌ای نگرانی‌هایی وجود دارد که این نگرانی‌ها به علت کمبود اورانیوم لازم برای تولید این انرژی است چراکه این کمبود به عملی شدن این طرح‌ها آسیب می‌زند. مهندسان شیمی در این باره به عنوان بازیافت کنندگان اورانیوم در آینده مورد نیاز خواهند بود، در واقع شغل آن‌ها تبدیل اورانیوم غنی شده‌ای که در ساخت بمب‌های هسته‌ای استفاده شده است می‌باشد به این نحو که آن را از کلاهک‌های هسته‌ای انتقال دهند و به اورانیوم با درجه کمتر غنی‌سازی تبدیل نمایند که برای استفاده در نیروگاه‌های هسته‌ای مورد نیاز می‌باشد تا به

حرفه‌ها و شغل‌های آینده به نظر می‌رسد که برخی از آن‌ها انتزاعی‌تر از سایرین هستند، که البته کاملاً با مهارت‌های مهندسان شیمی در آینده تطابق دارند و برخی از آن‌ها حتی هم اکنون هم توسط مهندسان شیمی انجام می‌شوند. در این مقاله به ده شغل که مهندسان شیمی در آینده آن‌ها را انجام خواهند داد پرداخته‌ایم:

### ۱) طراحان تولید سوخته‌های فضایی

با وارد شدن قریب‌الوقوع امکان سفرهای فضایی به عرصه تجاری، به عنوان مثال توسط کمپانی Virgin Galactic؛ این احتمال وجود دارد که رقابت با شرکت‌های دیگر باعث کاهش قیمت سفرهای فضایی شود و پروازهای فضایی متداول‌تر شود. البته گردشگری فضایی در ابتدا فقط شامل پروازهای زیرمداری که معمولاً دو تا سه ساعت طول خواهند کشید می‌شوند. اما به تدریج این پروازها به مسافرت‌های طولانی‌تر با پروازهایی که چند روز یا چند هفته ادامه داشته

### چکیده

در این بخش می‌خواهیم به پیش‌بینی این موضوع بپردازیم که چگونه مشاغل مربوط به رشته مهندسی شیمی ممکن است در آینده تکامل یابد. با بررسی‌های مختلف متوجه شدیم که غالباً مجلات به تولید مقالاتی که به ایده پردازی درباره اینکه ما در آینده چه مشاغل را انجام خواهیم داد، پرداخته‌اند و جالب اینکه اغلب اوقات همگی این شغل‌های آینده یک جنبه از رشته مهندسی شیمی را نیز شامل می‌شوند. این در حالیست که هر فردی که مدتی به عنوان یک مهندس شیمی کار کرده است می‌داند که ما به ندرت به عنوان یک "مهندس شیمی" شناخته می‌شویم و حتی به ندرت "مهندس شیمی" نامیده می‌شویم. ما تنها می‌توانیم مهندس فرآیند، مهندس ایمنی، مهندس محصولات بیولوژیکی، مهندس طراحی و یا مهندس محیط زیست باشیم و بعضی از ما حتی "مهندس" نیز نامیده نمی‌شویم! با مطالعه مقالات آنلاین درباره انواع

این ترتیب اطمینان حاصل شود که کمبود اورانیوم باعث ایجاد بحران انرژی نمی‌شود.

### ۳) داروسازان ژنتیکی

کشاورزان آینده نه تنها دام و محصولات کشاورزی را پرورش می‌دهند بلکه گیاهانی را نیز تولید می‌کنند که از نظر ژنتیکی برای رشد پروتئین‌های درمانی، داروسازی و مواد شیمیایی به صورت ژنتیکی دستکاری شده‌اند. از این رو آن‌ها داروسازان "ژنتیک" هستند! مهندسان شیمی در حال حاضر مشغول به تولید گیاهان حامل واکسن هستند که نمونه اخیر این مورد در اپیدمی بیماری ابولا انجام پذیرفت. به این نحو که گیاه تنباکو به نحوی مورد دستکاری ژنتیکی قرار گرفته است تا بتواند آنتی‌بادی‌هایی را تولید کند که برای تهیه سرم ابولا لازم است. به نظر می‌رسد این یک شغل کلیدی در آینده خواهد بود، جایی که مهندسان شیمی می‌توانند نقش بزرگی در پیشبرد این فرآیندها داشته باشند تا به نتایج بهتری برسند.

### ۴) تولید کنندگان نانو

با پیشرفت در فناوری نانو که در حال حاضر طیف گسترده‌ای از فرآیندهای نانو را ارائه می‌دهد، گروه جدیدی از مهندسان شیمی-نانو برای تولید این سیستم‌ها مورد نیاز خواهند بود. فناوری نانو در اصل فقط شامل کارکردن با مواد بسیار کوچک در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. برخی از کارشناسان فکر می‌کنند که دهه آینده شاهد افزایش تولید خواهیم بود. تیم پیج (Tim Page)، افسر ارشد سیاست گذاری در TUC انگلستان گفت: "انگلیس در آینده بخش‌هایی از سیستم تولید را خواهد ساخت که دارای مهارت

و دانش بالایی خواهند بود" و این کار با پیشرفت فناوری نانو انجام خواهد شد. این انفجار فناوری‌های پیشرفته در فناوری نانو منجر به ایجاد فرصت‌هایی برای مهندسان شیمی خواهد شد که بتوانند در این راه پیشرو باشند.

### ۵) مهندس مزارع شهری

این زمینه شغلی است که هم اکنون هم در حال انجام است. استفاده از مزارع عمودی در شرایطی که محدودیت‌هایی در مورد استفاده از اراضی در نظر گرفته می‌شود می‌تواند به ما این امکان را بدهد که تولید محصول را افزایش دهیم. مفهوم مزارع شهری یک مفهوم نوین است. مزارع شهری اکنون در برج‌ها یا در زیرزمین‌ها ایجاد شده‌اند، و با استفاده از محصولات آبیاری شده و نورپردازی مصنوعی روند ایجاد آن‌ها در حال افزایش است. مهندسان شیمی به خوبی با این سیستم‌ها مناسب هستند و می‌توانند بازده غذایی ما را به طرز چشمگیری افزایش دهند و بسیاری از آسیب‌های زیست محیطی را کاهش دهند. بدین نحو که با ارائه روش‌هایی که در آن می‌توان تمام غذاهای مورد نیاز شما را در مزرعه‌ای کنار هم جمع کند و بنابراین مسئله "انبارکردن غذا" را از میان بردارند.

### ۶) متخصص ساده سازی

این شغل کمی انتزاعی‌تر از مشاغل دیگر است، اما در واقع "ساده سازی" چیزی است که هر مهندس شیمی می‌خواهد به آن برسد. ساده‌سازی می‌تواند از طریق پالایش و بهینه‌سازی فرآیندها امکان پذیرد. بنابراین آیا نباید تمام مهندسان شیمی را متخصصین ساده سازی نامید؟ کارشناسان ساده سازی

روش‌هایی را برای ساده کردن و آسان سازی عملیات روزانه پیدا می‌کنند. در آینده برای صرفه‌جویی در وقت، مجبور خواهیم بود که سه روز کار را در غالب نیم ساعت کار متراکم کنیم و این کار به خوبی از عهده مهندسان شیمی که همزمان در زمینه ریاضیات عالی هستند، هم از طراحی سررشته دارند و هم برنامه ریزی دقیق دارند برخوردارند. دنیایی که امروزه در آن زندگی می‌کنیم پیچیده به نظر می‌رسد، بنابراین اغلب تصور می‌کنیم که دنیای ما در آینده می‌تواند پیچیده‌تر هم شود. مهندسان شیمی آینده تلاش خواهند کرد تا با پیدا کردن راه‌هایی برای ساده سازی فرآیندها، اطمینان حاصل کنند که پیچیدگی‌های دنیای ما بیش از این نخواهد شد.

### ۷) مهندس چاپگر سه بعدی غذا

در اغلب گزارش‌های خبری درباره پیشرفت در چاپ سه بعدی مطالبی منتشر می‌شود. پرینترها با اتصال ذرات مواد به صورت لایه به لایه عمل می‌کنند و این کار ادامه می‌یابد تا زمانی که یک محصول کامل شکل گیرد. در مطالعات در این زمینه پیشنهاد می‌شود این سیستم در مورد مواد غذایی نیز به کار گرفته شود. بسیاری از مهندسان شیمی با گرایش مواد در صنایع غذایی مشغول به کار بر روی بالا بردن کیفیت محصولات غذایی هستند به نحوی که بتوانند آن‌ها را در مقیاس‌های تولید جهانی ایجاد کرده و همزمان آن‌ها را سالم‌تر کنند. بنابراین برای استفاده از پرینترهای مواد غذایی سه بعدی به صورت تجاری و شخصی نیاز به مهندسان شیمی می‌باشد تا فرآیندهای لازم بر روی محصولات غذایی را انجام دهند تا آن‌ها برای استفاده



در چاپگرهای شخصی قابل استفاده شوند. تبدیل چاپگرهای سه بعدی به وسایلی با کارتریج‌های حاوی مواد غذایی، در چندین سطح نیازمند تخصص مهندسان شیمی خواهد بود. به عنوان مثال مهندسان شیمی می‌توانند در عرصه تولید مواد "کارتریج"هایی که می‌توانند در چاپگرهای سه بعدی غذا قرار گیرند، فعالیت کنند. ناسا قبلاً مطالعاتی را انجام داده است تا ببیند چگونه پرینترهای مواد غذایی سه بعدی در مأموریت‌های فضایی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

#### ۸) مهندس فرآیندهای سبز

محور کلیه مشاغل مهندسی شیمی این است که با تکنولوژی فرآیندهای پایدار کار کنند. همچنین شرکت‌های تولیدی و مصرف‌کنندگان در سراسر جهان به طور فزاینده‌ای از فناوری‌های سبز استقبال می‌کنند، به عنوان مثال در جوایز IChemE، شاهد درخشش‌هایی در زمینه فناوری‌های پایدار، مدیریت آب و بهره‌وری انرژی بودیم. البته این یک زمینه کاری جدید نیست، اما با استفاده از فرآیندهای جدید، این نقش‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. مهندسان فرآیندهای سبز، فرآیندهای شیمیایی و محصولات سازگار با محیط زیست را توسعه می‌دهند، بدین منظور آنان فرآیندهایی را انتخاب می‌کنند که آلودگی را به حداقل می‌رساند، همچنین از مواد کم ضررتر استفاده می‌کنند و واکنش‌های

جایگزین را ایجاد می‌کنند. البته لازم است تا در این زمینه مقررات و قوانین جدید نوشته شود تا این فرآیندها در غالب این قوانین انجام شوند.

#### ۹) مهندس کهکشانی

در ایالات متحده، در بوجه سال ۲۰۱۴ رئیس جمهور اوباما، ۱۰۵ میلیون دلار بودجه برای فضانوردان در نظر گرفته شد که به منظور رسیدن به یک سیارک در سال ۲۰۲۵ برنامه ریزی شده است. این به خودی خود فرصت‌های بسیاری را برای مهندسان شیمی فراهم می‌کند، اما در صورت موفقیت آمیز بودن طرح حتی می‌تواند به استخراج مواد معدنی با ارزش در فضا منجر شود. تخصص مهندسان شیمی کهکشانی برای توسعه فرآیندهای لازم برای استخراج مواد معدنی از سیارات یا سیارک‌های دوردست مورد نیاز خواهد بود. طراحی سیستم‌هایی که می‌توانند در شرایط بسیار سختی که در فضای خارج زمین وجود دارد کار کنند. توانایی ارزیابی و استفاده از این مواد جدید می‌تواند منابع، عناصر و مواد جدیدی را برای بهبود کیفیت زندگی روی زمین ارائه دهد.

#### ۱۰) مهندس معکوس کننده تغییرات اقلیمی

با افزایش تهدیدات اقلیمی و تأثیرات تغییرات آب و هوا، به نسل جدید مهندسان شیمی برای کاهش و معکوس کردن اثرات این تغییرات اقلیمی نیاز خواهد بود. آن‌ها باید بتوانند برای حل

طیف وسیعی از مشکلات، راه‌حلهایی را با بهره‌گیری از تخصص‌های چندرشته‌ای به کار گیرند. مهندسان شیمی در حال حاضر مشغول کار بر روی مدل‌هایی هستند که نتایج تغییرات آب و هوا را پیش بینی می‌کنند و راهکارهایی را برای مبارزه با آن تهیه می‌کنند. در آینده آن‌ها باید برای توسعه استراتژی‌های بلند مدت برای مداخله قبل از وقوع یک فاجعه پیش بینی شده از وضعیت آب و هوایی، برای مقابله با حوادث آب و هوایی که در حال حاضر اتفاق می‌افتند تلاش کنند و برای کمک به مکان‌هایی که با تغییرات آب و هوایی ویران شده‌اند، تلاش کنند.

این کار به طور معمول شامل توسعه استراتژی‌های به کار بردن انرژی‌ها، پالایش سیستم‌های انرژی و انرژی‌های جایگزین یا محافظت و بازسازی اکوسیستم‌ها است. تخصص مهندسان شیمی در بسیاری زمینه‌های دیگر نیز مورد نیاز خواهد بود به عنوان مثال در زمینه ذخیره انرژی، استراتژی‌های بدون آب (zero water)، طراحی جایگزین‌های مواد غذایی، طراحی منسوجاتی که در طبیعت پایدار نیستند، تصفیه زمین‌های آلوده شده و تولید مواد غذایی تراریخته و دستکاری ژنتیکی شده. با این حال، برخی از جنبه‌های مهندسی شیمی حتی بدون تغییر در آینده ما مورد نیاز خواهند بود چراکه ما همیشه به مهندسان باز یافت، سازندگان دارو، محققان و پردازنده‌های مواد غذایی احتیاج خواهیم داشت.

#### References:

Ichemeblog.org



## طیف سنجی جذب اتمی



داپلر بیان می‌کند که با توجه به اینکه ناظر به سمت چشمه حرکت می‌کند یا از آن دور می‌شود، فرکانس یا به عبارتی دیگر طول موجی که از منبع ساطع می‌شود را بیشتر یا کمتر دریافت می‌کند.

### ۲- تعریض فشاری:

برخوردهای بین اتم‌ها سبب تغییرات کوچکی در ترازهای انرژی حالت عادی می‌شوند و در نتیجه پیک‌ها پهن می‌گردند.

### کاربردهای طیف سنجی جذب اتمی

طیف سنجی جذب اتمی یک روش فوق العاده با کاربرد چند منظوره در شیمی تجزیه است. غلظت عناصر کمیاب سمی موجود در آب آشامیدنی و چند عنصر معمول دیگر مانند کلسیم، سدیم و همچنین مقادیر بسیار ناچیز فلزات دیگر، توسط این روش قابل اندازه‌گیری است. طیف‌سنج‌های جذب اتمی همچنین برای تعیین این که آیا سطح درمانی داروهایی نظیر لیتیم در خون تامین شده است یا خیر و همچنین برای تعیین تراکم آهن در هوای محیط کار، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای دیگر آن می‌توان به سنجش سرب یا کادمیوم در یک قطره خون، سنجش نقره در آب باران مصنوعی، جستجوی ناخالصی در آلیاژها و فعال کردن واکنش گرما،

### مقدمه

طیف سنجی، روش مطالعه برهم کنش بین نور و ماده است. از دیدگاه تاریخی نیز طیف سنجی به شاخه‌ای از علم گفته می‌شود که در آن امواج برای مطالعات نظری در ساختار ماده و آنالیزهای کیفی و کمی استفاده می‌شوند. در این میان طیف سنجی جذب اتمی یا به اختصار آنالیز AAS، یک روش برای اندازه‌گیری کمی عناصر شیمیایی، با استفاده از جذب اشعه نوری توسط اتم در حالت گازی است. در این روش با عبور پرتوی تک رنگ از نمونه مورد بررسی می‌توان غلظت یک عنصر خاص در یک نمونه را مشخص نمود.

### منظور از طیف جذب اتمی چیست؟

طیف جذبی یک عنصر در شکل گازی و اتمی آن یک سری خطوط باریک کاملاً مشخص است که از جهش‌های الکترونی بیرونی‌ترین الکترون‌ها به وجود می‌آیند. الکترون‌های لایه ظرفیت اتم، تابش الکترومغناطیس در گستره فوق بنفش و مرئی را جذب یا نشر می‌کنند. در اتم‌های آزاد، بر خلاف مولکول‌ها که دارای ترازهای انرژی ارتعاشی و چرخشی هستند، فقط جهش‌های الکترونی صورت می‌گیرد؛ به همین دلیل وقتی انرژی توسط اتم‌ها جذب یا نشر می‌شود، خطوط طیفی مجزا مشاهده می‌شود که اساس روش‌های طیف بینی اتمی است. مولکول‌ها و یون‌های چند اتمی دارای نوارهای جذبی پهن هستند؛ درحالی که اتم‌ها دارای خطوط جذبی باریک (معمولاً با پهنای  $0.01$  تا  $0.1$  نانومتر) هستند؛ بنابراین دو عامل زیر تمایل دارند که خطوط جذبی اتم‌ها را تا  $0.05-0.2$  انگستروم پهن کنند:

### ۱- تعریض داپلر:

از حرکت سریع ذرات جذب کننده نسبت به منبع نشر ناشی می‌شود. برای اتم‌هایی که به سمت منبع حرکت می‌کنند، طول موج تابش به طور موثری توسط اثر داپلر کم می‌شود. بنابراین، طول موج‌هایی که بلندتر هستند، جذب می‌شوند. عکس این مسئله، درباره اتم‌هایی که از منبع دور می‌شوند، نیز حاکم است. به زبان ساده، اثر

آنالیز آب، آنالیز مستقیم هوا، آنالیز مستقیم سنگ معدن فلزات و فلزهای تصفیه شده و سنجش عناصر آلیاژی در فولاد همانند منگنز، منیزیم، کروم، مس، نیکل، مولیبدن، وانادیم، کبالت، تیتانیوم، قلع، آلومینیوم و سرب اشاره کرد.

#### مراحل آنالیز AAS

برای تعیین غلظت ماده مورد نظر توسط طیف سنجی جذب اتمی باید مراحل زیر انجام شود:

- تهیه محلول بلانک ( محلولی که دارای تمامی گونه ها غیر از نمونه مورد نظر است)
- تهیه نمونه های استاندارد از گونه مورد نظر با غلظت های مشخص
- قرائت جذب محلول های استاندارد
- رسم جذب بر حسب غلظت های استاندارد و به دست آوردن نمودار کالیبراسیون
- اندازه گیری جذب محلول مجهول و به دست آوردن غلظت مجهول از روی نمودار

ابتدا بایستی محلول بلانک را در سلول قرار داد و شکاف منبع تابش را بست تا صد درصد جذب یا صفر درصد عبور را تنظیم کرد؛ سپس شکاف منبع تابش، باز شده تا صد درصد عبور یا صفر درصد جذب تنظیم شود. بعد از تنظیم صفر و صد، جذب محلول های استاندارد و همچنین محلول مجهول اندازه گیری می شود. به طور کلی دو روش در تجزیه کمی رایج است که عبارتند از:

#### ۱- روش نمودار کار:

ابتدا محلول های استاندارد با غلظت های مناسب و خطی از آنالیز تهیه می شود، سپس بعد از تنظیم

جذب صفر توسط محلول بلانک، جذب محلول های استاندارد به ترتیب از رقیق به غلیظ توسط دستگاه خوانده و ثبت می شود. در پایان، جذب محلول مجهول نیز در همان شرایط ثبت می شود و سپس نمودار جذب بر حسب غلظت، برای محلول های استاندارد رسم می گردد و جذب مربوط به محلول مجهول روی آن مشخص و غلظت آن تعیین می شود. در این حالت دقت نتایج بین دو الی پنج درصد و صحت آن ها در محدوده ۰/۱-۲ درصد است.

#### ۲- روش افزایش استاندارد متعدد:

روش دیگر که صحت بیشتری دارد افزایش استاندارد متعدد است. در روش افزایش استاندارد متعدد، به حجم معینی از محلول مجهول (با غلظت X) حجم های مختلفی از یک محلول استاندارد افزوده، سپس جذب این محلول ها بر حسب غلظت رسم می شود و از طریق آن غلظت محلول مجهول بدست می آید.

#### اجزای دستگاه آنالیز AAS

این دستگاه دارای چهار قسمت اساسی است که در ادامه به آن ها اشاره خواهیم کرد:

#### ۱- منبع تابش:

هر منبع تابش باید بتواند خط طیفی (طول موج) عنصر مورد نظر را نشر کند و از شدت طیفی بالایی در مرکز طیف خطی عنصر برخوردار باشد، هدایت نوری بالایی داشته باشد و شدت تابشی آن در زمان طولانی ثابت باشد. به عبارتی دیگر منبع تابشی باید توان تولید باریکه ای از تابش با توان کافی و پایدار برای آنالیز مورد نظر را داشته باشد.

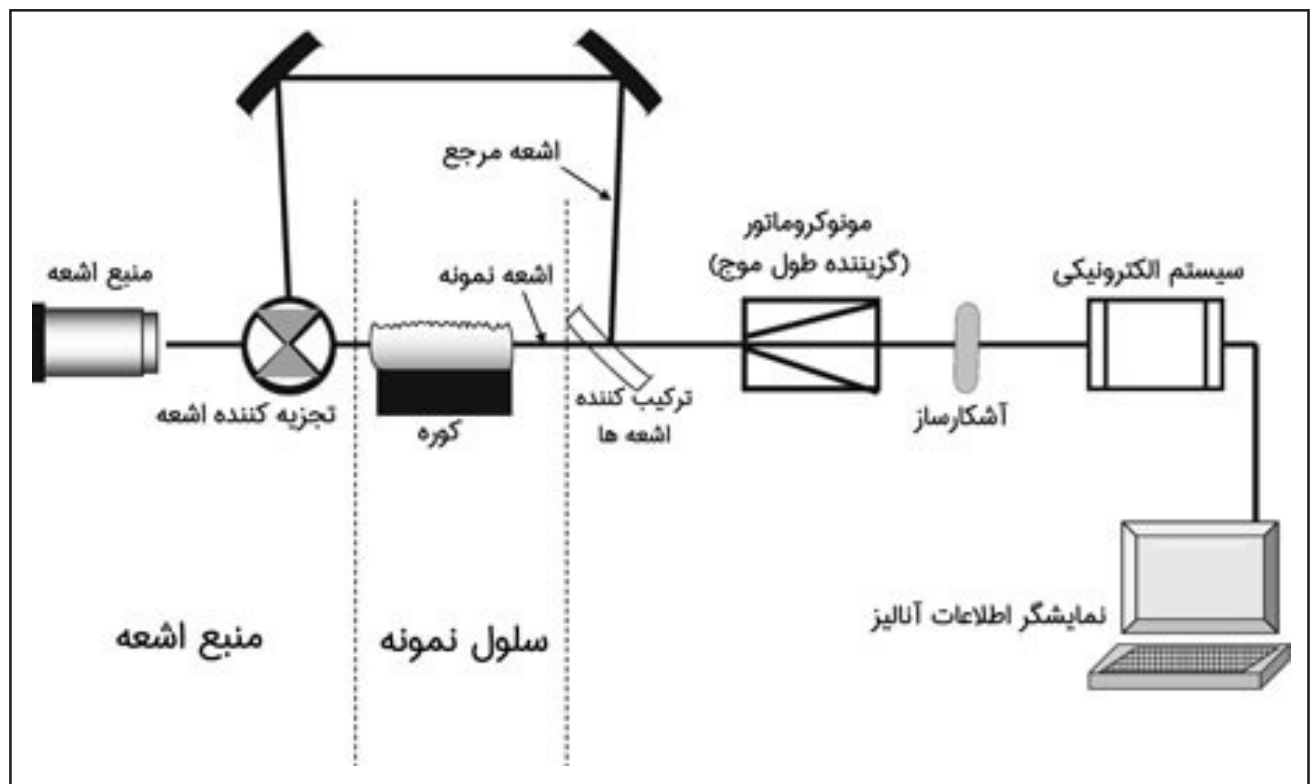
#### ۲- اتم ساز:

جذب نور نشر شده از منبع تابش توسط اتم های آزاد یک عنصر در حالت گازی صورت می گیرد. وظیفه اصلی یک اتم ساز (Atomizer) تولید اتم های آزاد مولکول ها یا یون های موجود در نمونه است. این قسمت برای دستگاه AAS بسیار با اهمیت است زیرا حساسیت اندازه گیری مستقیماً با اتمی شدن آنالیت در نمونه و در نتیجه کارایی اتم ساز متناسب است.

۳- مونوکروماتور (گزیننده طول موج): به طور کلی یک مونوکروماتور یا تک فام ساز، پرتو چندفام را به پرتو تک فام تبدیل می کند. این عمل معمولاً با استفاده از منشور و توری یا گریٹینگ صورت می گیرد. وظیفه اصلی مونوکروماتور در طیف سنجی جذب اتمی، جداسازی طول موج مورد نظر (تابش رزونانسی عنصر کاتدی) از بقیه خطوط نشری است که مواد موجود در کاتد یا گاز پرنکنده منبع تابشی از خود ساطع می کنند.

#### ۴- آشکارساز:

آشکارسازها سیگنال نوری را در یک طول موج ویژه اندازه گیری می کنند. به این صورت که شدت نور دریافت شده از مونوکروماتور را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. رایج ترین آشکارساز مورد استفاده در طیف سنجی جذب اتمی، لوله های فوتو تکثیرکننده یا PMT هستند. اساس کار PMT بهره گیری از پدیده فوتوالکتریک است که در آن الکترون بعد از جذب انرژی، یک پرتو الکترومغناطیس از خود گسیل می کند. توانایی آشکارسازی PMT در محدوده نور مرئی، ماورا بنفش و مادون قرمز نزدیک (۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر) قرار دارد.



شکل ۱. شماتیک دستگاه طیف سنجی جذب اتمی.

#### نتیجه گیری

امروزه طیف سنجی جذب اتمی یک روش فوق العاده با کاربرد چند منظوره در شیمی تجزیه و علم مواد است. تعیین غلظت عناصر کمیاب سمی موجود در آب آشامیدنی و چند عنصر معمول دیگر مانند کلسیم، سدیم و همچنین مقادیر بسیار ناچیز فلزات دیگر تنها تعدادی از کاربردهای پرشمار این دستگاه است که آن را به وسیله‌ای قدرتمند در شناسایی اتمها و آنالیز عنصری تبدیل کرده است.

#### References:

- [۱]. میانی طیف سنجی مولکولی، سی ان نیول ، ترجمه : دکتر رضا اسلامپور، دکتر مسعود حسن پور.
- [۲]. اصول تجزیه دستگاهی، جلد اول، اسکوک، هالر، نیمس.
- [3]. L. Ebdon, «An Introduction to Atomic Adsorption Spectroscopy», Heyden, 1982.
- [4]. Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation, W. Demtröder, springer, 1996.

## کاربرد هیدروژل‌ها به عنوان جاذب در حذف آلاینده‌ها از منابع آبی با استفاده از فرایند جذب سطحی

• فهیمه غفاری، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

### چکیده

آلاینده‌های آلی و معدنی موجود در پساب‌های صنعتی مثل رنگ‌ها و یون‌های فلزی سنگین از عوامل اصلی آلودگی منابع آبی هستند. روش‌های مختلفی برای حذف این آلاینده‌ها از سیستم‌های آبی وجود دارد، که از آن جمله می‌توان به انعقاد، رسوب گذاری شیمیایی، فیلتراسیون غشایی، اکسیداسیون و فرآیند جذب سطحی اشاره کرد. جذب سطحی یک روش اقتصادی، کارآمد و انعطاف پذیر برای حذف آلاینده‌هاست. هیدروژل‌ها شبکه‌های پلیمری سه بعدی انعطاف پذیر آبدوستی هستند که در زمینه‌های مختلفی مثل زیست پزشکی، بیوتکنولوژی، سیستم‌های رهایش دارو، مهندسی بافت و فرآیندهای جداسازی کاربردهای فراوانی دارند. هیدروژل‌ها به دلیل ویژگی‌هایی مثل ظرفیت جذب زیاد، آبدوستی و دارا بودن گروه‌های عاملی مختلف، جاذب‌های فوق‌العاده‌ای برای حذف آلاینده‌ها از پساب هستند.

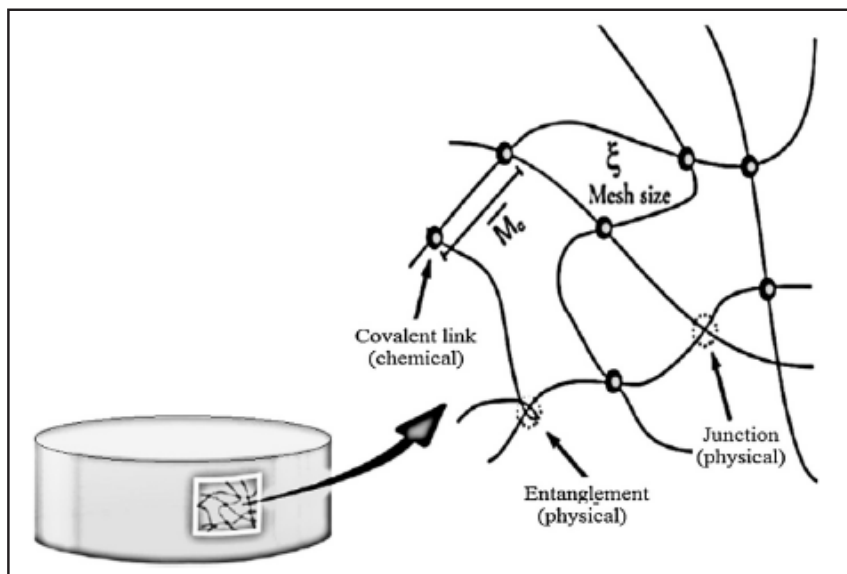
### معرفی هیدروژل‌ها

محققان در طی سال‌ها، هیدروژل‌ها را به روش‌های مختلفی توصیف کرده‌اند. رایج‌ترین آن این است که هیدروژل یک شبکه پلیمری انعطاف پذیر سه بعدی اتصال عرضی شده و متورم شده از آب است که توسط واکنش ساده یک یا بیش از یک مونومر تولید

می‌شود. تعریف دیگر بدین صورت است که هیدروژل یک ماده پلیمری است که قابلیت متورم شدن دارد، کسر قابل توجهی از آب درون ساختارش باقی می‌ماند اما در آب حل نخواهد شد. توانایی هیدروژل‌ها در جذب آب ناشی از حضور تعداد زیادی گروه‌های عاملی آبدوست در شبکه پلیمری است. در حالی که مقاومت آن در برابر حل شدن در آب ناشی از اتصال عرضی بین زنجیره‌های شبکه است [۱-۳]. در سال ۱۹۳۶ دانشمندان Dupont یک مقاله در زمینه پلیمرهای متکریلاتی سنتز شده منتشر کردند. در این مقاله پلی (۲- هیدروکسی اتیل متکریلات)، به صورت Poly HEMA ذکر شد. این پلیمر به عنوان یک پلیمر شیشه‌ای، شکننده و سخت توصیف شد و به وضوح از اهمیت برخوردار نبود. بعد از آن مقاله، Poly HEMA تا سال ۱۹۶۰ فراموش شد. سپس Wichterle و Lim پلیمریزاسیون HEMA و عوامل اتصال عرضی در حضور آب و سایر حلال‌ها را شرح دادند. آن‌ها به جای پلیمر شکننده، ژل نرم، متورم از آب، الاستیک و شفاف به دست آوردند. این نوآوری منجر به ایجاد زمینه جدیدی در هیدروژل‌های زیست پزشکی شد. بعد از آن تعداد فرمولاسیون هیدروژل‌ها در طی سال‌ها رشد کرد. مشکلاتی مثل انحلال پذیری پایین، تبلور بالا، زیست تخریب پذیری و خواص

حرارتی و مکانیکی نامطلوب، مونومرهای واکنش نداده و استفاده از اتصال عرضی دهنده‌های سمی از محدودیت‌های تکنولوژی هیدروژل‌ها هستند. بنابراین توسعه این خواص و ویژگی‌ها با ایده‌های جدید، با ترکیب پلیمرهای سنتزی و طبیعی با مشخصات از قبل تعیین شده مثل زیست تخریب پذیری، انحلال پذیری، تبلور و فعالیت‌های بیولوژیکی امکان پذیر می‌باشد همانطور که گفته شد هیدروژل‌ها در طی متورم شدن در آب متلاشی و تجزیه نمی‌شوند و این به دلیل ساختار اتصال عرضی شده آن‌هاست [۱]. اتصال عرضی در هیدروژل‌ها می‌تواند به صورت شیمیایی یا فیزیکی باشد. برای شروع اتصال عرضی شیمیایی، لازم است یک عامل اتصال عرضی دهنده با وزن مولکولی پایین همراه با یک پلیمر به درون مخلوط واکنش اضافه شود. در غیاب اتصال عرضی زنجیره‌های پلیمری خطی آبدوست، به دلیل سازگاری ترمودینامیکی زنجیره‌های پلیمری و آب، در آب حل می‌شوند در اتصال عرضی شیمیایی، زنجیره‌های پلیمری توسط یک عامل اتصال دهنده عرضی به صورت کووالانسی به یکدیگر متصل می‌شوند در حالی که در اتصال عرضی فیزیکی، زنجیره‌های پلیمری توسط پیوند هیدروژنی، برهم‌کنش‌های آبگریز، کمپلکس‌های یونی اتصال عرضی می‌شوند [۱،۲].

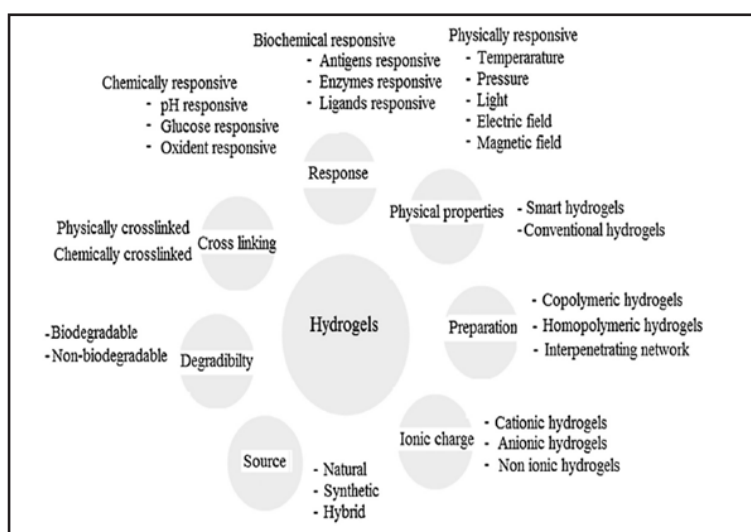




شکل ۱. ساختار شیمیایی هیدروژل [۱].

### دسته بندی هیدروژل‌ها

<p>و کریستالی • بلوری</p> <p>هیدروژل‌ها ممکن است بر مبنای حضور یا عدم حضور بار الکتریکی روی زنجیره‌های اتصال عرضی شده به ۴ دسته تقسیم شوند:</p> <p>• غیر یونی (خنثی) • یونی ( آنیونی یا کاتیونی) • الکترولیت آمفوتریک شامل هر دو گروه های اسیدی و بازی • یون دو قطبی شامل هر دو گروه‌های آنیونی و کاتیونی در هر واحد تکراری ساختاری [۱،۲]</p>	<p>طبقه‌بندی هیدروژل‌ها به خواص فیزیکی، ماهیت تورم، روش ساخت، منشاء، بار یونی، نرخ زیست تخریب پذیری و ماهیت اتصال عرضی وابسته است.</p> <p>دسته بندی بر اساس منشاء: هیدروژل‌ها بر مبنای منشاء به دو دسته هیدروژل‌های طبیعی و سنتزی تقسیم می‌شوند.</p> <p>دسته بندی بر اساس پیکربندی: هیدروژل‌ها را بسته به ساختار فیزیکی و ترکیب شیمیایی می‌توان به شرح زیر طبقه بندی کرد.</p> <p>• بی شکل • نیمه بلوری که شامل یک ترکیب پیچیده از فازهای آمورف</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



شکل ۲. دسته‌بندی هیدروژل‌ها مبتنی بر خواص مختلف آن‌ها [۱].

### ساخت هیدروژل‌ها

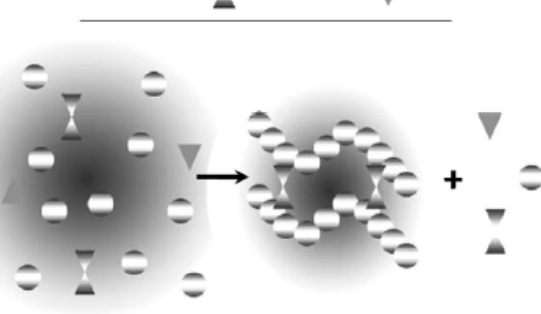
تشکیل هیدروژل دهند:

۱- اتصال زنجیره‌های پلیمری توسط واکنش شیمیایی  
 ۲- استفاده از تابش یون کننده برای تولید رادیکال‌های آزاد زنجیره اصلی که می‌توانند به عنوان اتصال عرضی متقابل، نو ترکیب شوند.  
 ۳- برهم کنش‌های فیزیکی مثل الکترواستاتیک، در هم تنیدگی و تشکیل بلورچه هر یک از تکنیک‌های مختلف پلیمریزاسیون مثل پلیمریزاسیون توده، محلول و سوسپانسیون می‌توانند برای تشکیل ژل استفاده شود. در کل، سه مؤلفه اصلی تولید هیدروژل مونومر، آغازکننده و اتصال دهنده عرضی هستند که برای کنترل گرمای حاصل از پلیمریزاسیون می‌توانند در آب یا هر حلال دیگری رقیق شوند. بنابراین لازم است توده پلیمر حاصل شده بعد از پلیمریزاسیون شسته شود تا ناخالصی‌های حاصل از فرآیند آماده‌سازی خارج شوند. این ناخالصی‌ها شامل مونومر واکنش نده، آغازکننده و اتصال دهنده عرضی و محصولات ناخواسته حاصل از واکنش‌های جانبی هستند (شکل ۴). تکنیک‌های پلیمریزاسیون مختلف در زیر شرح داده شده‌اند [۱،۲].

هیدروژل‌ها می‌توانند از پلیمرهای طبیعی مثل پلی‌ساکاریدها و پلی‌پپتیدها پلیمرهای سنتزی تهیه شوند. پلیمرهای سنتزی که از مشتقات نفتی به دست می‌آیند، در ماهیت خود آگریز هستند و در مقایسه با پلیمرهای طبیعی از نظر شیمیایی مستحکم‌تر هستند. استحکام مکانیکی آن‌ها منجر به سرعت تخریب پذیری پایین می‌شود اما از طرفی این استحکام مکانیکی پایداری خوبی را فراهم می‌کند. این دو ویژگی متضاد باید از طریق طراحی بهینه متعادل شوند. پلیمرهای طبیعی نیز می‌توانند برای ساخت هیدروژل‌ها استفاده شوند. این پلیمرها گروه‌های عاملی مناسبی دارند و یا می‌توانند توسط گروه‌های رادیکالی پلیمریزاسیون شونده عامل‌دار شوند. به طور خلاصه یک هیدروژل یک شبکه پلیمری آبدوست اتصال عرضی شده با ساختار الاستیک است. بنابراین تکنیکی که بتواند برای ایجاد یک پلیمر اتصال عرضی شده استفاده شود، می‌تواند برای تولید هیدروژل نیز استفاده شود. معمولاً از کوپلیمریزاسیون / پلیمریزاسیون رادیکال آزاد اتصال عرضی برای تولید هیدروژل‌ها توسط واکنش مونومرهای آبدوست با اتصال عرضی دهنده‌های

دسته‌بندی از نظر پاسخ به محرک ها: همانطور که قبلاً نیز اشاره شد هیدروژل‌ها به عنوان شبکه‌های پلیمری آبدوست اتصال عرضی شده سه بعدی می‌توانند به طور برگشت پذیر در آب متوم شوند و حجم بالایی از آب را در حالت متورم در خود نگه دارند. هیدروژل‌ها را می‌توان طوری طراحی کرد که با تغییر در شرایط محیطی خارجی یا محرک‌ها، پاسخ‌هایی قابل کنترل به صورت انقباض و انبساط از خود نشان دهند. این نوع هیدروژل‌ها به محرک‌های محیطی پاسخ می‌دهند و تغییرات ناگهانی در ساختار شبکه، استحکام مکانیکی و نفوذپذیری رخ می‌دهد. از این رو، هیدروژل‌های هوشمند یا حساس از نظر محیطی نامیده می‌شود. این محرک‌ها می‌توانند به سه دسته محرک‌های فیزیکی، محرک‌های شیمیایی و محرک‌های بیوشیمیایی تقسیم‌بندی شوند. محرک‌های فیزیکی شامل نور، دما، فشار، میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی و تنش مکانیکی هستند. محرک‌های شیمیایی مثل PH، فاکتورهای یونی و عوامل شیمیایی هستند که برهم‌کنش بین زنجیره‌های پلیمری و حلال و زنجیره‌های پلیمری با یکدیگر را در سطح مولکولی تغییر می‌دهند. دسته دیگر که هیدروژل‌های پاسخگوی دوگانه یا بیوشیمیایی نامیده می‌شوند از ترکیب دو مکانیزم پاسخگو به محرک در یک سیستم هیدروژل حاصل می‌شوند. یک محرک بیوشیمیایی شامل پاسخ به لیگاند، آنزیم، آنتی‌ژن و سایر عوامل بیوشیمیایی است. از این رو هیدروژل‌های پاسخگو به محرک‌ها مواد زیستی جذابی برای کاربردهای بیوتکنولوژی هستند [۱،۲].

● Monomer    ◻ Crosslinker    ◆ Initiator



چند عامله استفاده می‌شود. پلیمرهای خطی محلول در آب با هر دو منشاء طبیعی و سنتزی می‌توانند به چند طریق زیر به یکدیگر اتصال عرضی شده تا

شکل ۳. شماتیکی از آماده‌سازی هیدروژل‌ها [۲].

**پلیمریزاسیون توده**

هیدروژل‌های توده می‌توانند توسط یک یا دو نوع مونومر تشکیل شوند. محدوده وسیعی از مونومرها قادرند تا هیدروژل‌هایی با خواص فیزیکی مناسب برای کاربرد مورد نظر آماده کنند. معمولاً مقدار کمی عامل اتصال دهنده عرضی در هر فرمولاسیون هیدروژل اضافه شود. واکنش پلیمریزاسیون معمولاً با تابش، امواج ماوراء بنفش یا کاتالیزور شیمیایی آغاز می‌شود. انتخاب آغاز کننده مناسب به نوع مونومرها و حلال استفاده شده وابسته است. هیدروژل پلیمریزه شده ممکن است در اشکال متنوعی مثل فیلم، غشا، ذره و امولسیون تولید شود. پلیمریزاسیون توده ساده ترین تکنیک است که فقط شامل مونومر و آغازگرهای محلول در پلیمر است. درجه و سرعت بالای پلیمریزاسیون به دلیل غلظت بالای مونومرها رخ می‌دهد. با این حال، ویسکوزیته واکنش به طور قابل ملاحظه‌ای با تبدیل افزایش می‌یابد که باعث ایجاد حرارت در حین پلیمریزاسیون می‌شود. این مشکل توسط کنترل

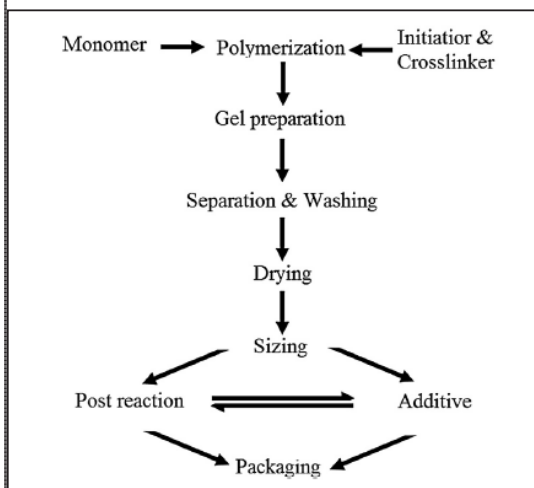
واکنش در تبدیل‌های پایین قابل اجتناب است. پلیمریزاسیون توده مونومرها یک هیدروژل همگن، ماتریکس پلیمری شفاف و شیشه‌ای تولید می‌کند که سختی زیادی دارد و زمانی که در آب غوطه ور می‌شود ماتریکس شیشه‌ای متورم شده و نرم و انعطاف پذیر می‌شود [۲].

**پلیمریزاسیون محلول**

در پلیمریزاسیون محلول مونومرهای خنثی یا یونی با یک عامل اتصال عرضی چند عامله در حضور اشعه UV، اکسایش و حرارت به عنوان آغازگر، اتصال عرضی می‌شوند. حضور جلال به

عنوان یک عامل افت حرارت ناشی از پلیمریزاسیون مزیت اصلی این روش نسبت به پلیمریزاسیون توده است. هیدروژل‌های آماده شده احتیاج دارند تا با آب مقطر شست و شو داده شوند تا مونومرها، الیگومرها، اتصال دهنده‌های عرضی، آغازگرها و سایر ناخالصی‌ها حذف شوند. زمانی که مقدار آب در حین

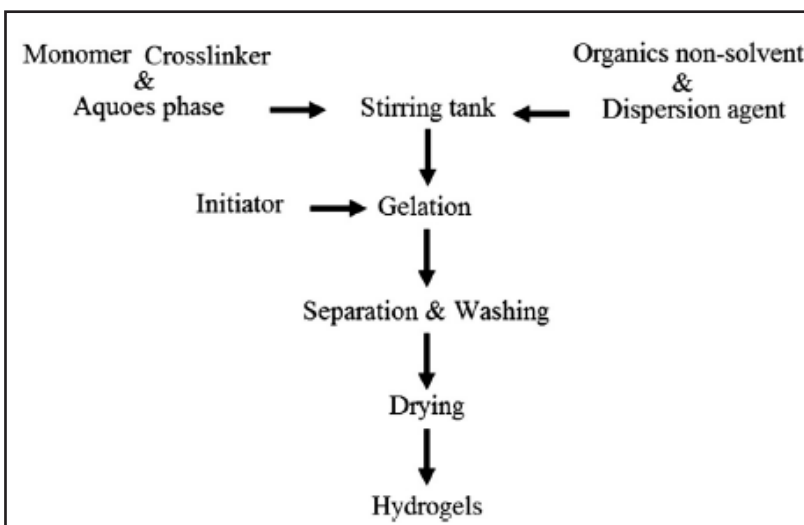
پلیمریزاسیون بیشتر از محتوی آب متناظر با تورم تعادلی باشد، جدایی فاز اتفاق می‌افتد و هیدروژل ناهمگن تشکیل می‌شود. حلال‌های رایج استفاده شده برای این نوع پلیمریزاسیون شامل آب، اتانول، مخلوط آب و اتانول و بنزن می‌باشد. این روش یک تکنیک ارزان‌تر، سریعتر، دارای خواص تورمی مناسب است و برای تولید در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی، همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است به سایر روش‌ها ترجیح داده می‌شود [۱،۲].



شکل ۴. سنتز هیدروژل با استفاده از پلیمریزاسیون محلول [۱].

**پلیمریزاسیون سوسپانسیون**

در این تکنیک مونومرها و آغازکننده در فاز هیدروکربنی به عنوان یک مخلوط همگن پراکنده می‌شوند. ویسکوزیته محلول مونومر، سرعت تلاطم، و نوع دیسپرسانت عمدتاً بر شکل و سای ذرات رزین حاکم‌اند. پراکندگی از نظر ترمودینامیکی ناپایدار است و به تحریک مداوم و اضافه کردن مقدار کمی عامل سوسپانسیون متعادل چربی دوست - آب دوست احتیاج دارد [۱،۲].



شکل ۵. سنتز هیدروژل با استفاده از پلیمریزاسیون سوسپانسیون [۱].

**پلیمری‌اسیون توسط تابش**

تابش یون کننده با انرژی بالا، مثل گاما و پرتوی الکترونی، به عنوان یک آغاز کننده برای آماده سازی هیدروژل استفاده شده است. تابش به محلول آبی پلیمری منجر به تشکیل رادیکال روی زنجیره پلیمری می‌شود. همچنین پرتوکافت مولکول‌های آب منجر به تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود که به زنجیره‌های پلیمری می‌چسبند و منجر به تشکیل ماکرورادیکال‌های آزاد می‌شود. باز آمیزی ماکرورادیکال‌ها روی زنجیره‌های مختلف منجر به تشکیل پیوندهای کووالانسی می‌شود و در نهایت یک ساختار اتصال عرضی شده شکل می‌گیرد. مزیت اصلی استفاده از تابش به عنوان آغازگر نسبت به آغازگرهای شیمیایی، تولید هیدروژل‌های نسبتاً خالص و عاری از آغازگر است [۲].

**کاربرد هیدروژل‌ها**

با تثبیت اولین هیدروژل سنتزی توسط Lim و Wichterle در سال ۱۹۵۴، آن‌ها در زمینه‌های مختلفی مثل علوم مهندسی، کاربردهای زیست پزشکی، سیستم‌های رهایش دارو، مهندسی بافت، داروسازی، چسب زخم، محصولات بهداشتی، صنایع کشاورزی و تکنولوژی جداسازی برای تصفیه آب و پساب کاربرد یافته‌اند [۱،۲].

**کاربرد زیست پزشکی**

هیدروژل‌ها قادراند رفتار اندام‌های انسان در پاسخ به تغییرات شرایط محیطی مثل PH، دما، آنزیم‌ها و میدان الکتریکی را تقلید کنند، که در نتیجه در ایمپلنت‌های پزشکی، اندام‌ها و عضلات پروتزی، دستگاه‌های تشخیصی عضلات مصنوعی و تثبیت سازی ایمپلنت استخوان کاربرد یافته‌اند [۱].

**کاربرد بایو تکنولوژی**

هیدروژل‌ها به عنوان غشا در سنسورها با الاستیسیته، سختی، نفوذ انتخابی

آنالیت و ضریب شکست نور مطلوب استفاده شده‌اند. هیدروژل‌های هوشمند برای تغلیظ محلول‌های آبی رقیق حاوی ماکرومولکول‌های حل شده شامل پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، بدون مختل کردن فعالیت آنزیم، توسط تنظیم دما یا PH محیط، استفاده شده‌اند. برای مثال، Yuan و همکارانش هیدروژل مبتنی بر poly(2-oxazoline)-cholesteryl methyl car-bonate (PEtOz-CHMC) مطالعه کردند و نشان دادند که PEtOz یک ماده زیستی امیدوارکننده برای اصلاح لیپوزوم‌ها در رهایش دارو است. این هیدروژل به PH های پایین اندوزومال پاسخ می‌دهد و مستقیماً ریباب فلوئورسنت درون سیتوپلاسم آزاد می‌کند [۱].

**کاربرد دارویی**

کاربردهای رایج آن‌ها شامل انسولین، معده، کبد، روده بزرگ، مغز، خون، سیستم عصبی و رهایش هدفمند به سمت تومور می‌باشد. رهایش داروی کنترل شده یک فاکتور مهم برای کاربرد هیدروژل‌ها در صنعت دارویی است. کیم و لی دانه‌های کامپوزیتی PVA را برای رهایش داروی کنترل شده با ساختار دولایه مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که زمان رهاسازی می‌تواند با افزایش PVA و درجه اتصال عرضی شدن افزایش یابد [۱].

**کاربرد در صنعت کشاورزی**

یک رویکرد جذابی که اخیراً مورد توجه محققان قرار گرفته است آزادسازی کنترل شده مواد مغذی از هیدروژل‌هایی است که کود شیمیایی درون آن‌ها بارگذاری شده است. بخش بزرگی از کودهای به کار گرفته شده در خاک، توسط شست و شو، فرآیندهای شیمیایی و بارش بیش از حد باران از بین می‌روند. تا کنون تعدادی از پلی

ساکاریدهای مختلف مثل کیتوسان، پکتین و سلولوز کربوکسی متیل برای ساخت هیدروژل به عنوان یک سیستم آزادسازی کود استفاده شده‌اند. در یک مطالعه محققان هیدروژل‌های مبتنی بر سلولوز را بررسی کردند. مزیت‌های اصلی این هیدروژل این است که می‌تواند آب ذخیره شده را به صورت کنترل شده آزاد کند و رطوبت خاک را برای مدت زمان نسبتاً طولانی حفظ کند. علاوه بر این، حضور هیدروژل تخلخل خاک را افزایش می‌دهد و اکسیژن رسانی بهتر به ریشه گیاهان را موجب می‌شود [۱].

**صنعت بسته بندی غذا**

گروه‌های تحقیقاتی و همچنین شرکت‌های صنعتی مختلفی در دنیا در حال توسعه بسته‌بندی‌های دوستدار محیط زیست برای بهره‌مندی از مزایای زیست محیطی پلیمرهای زیستی در کاربردهایی مثل بسته‌بندی مواد غذایی هستند. تا کنون پلیمرهای زیستی مثل پلی‌ساکاریدها برای بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که برخی معایب مثل هزینه زیاد، استحکام پایین و مقاومت در برابر آب ضعیف را از خود نشان داده‌اند. اخیراً برای غلبه بر این معایب روش‌های مختلفی ارائه شده است هیدروژل‌ها می‌توانند فرصت‌های جدیدی برای طراحی مواد بسته‌بندی زیست پلیمری کارآمد با خواص مطلوب ارائه دهند. زمانی که پلی‌ساکاریدهای خطی سفت و سخت مثل پکتین با پروتئین‌ها مخلوط شوند تمایل به تشکیل ترکیبی مناسب برای تشکیل ژل‌هایی در شکل ورقه، غشا و روکش دارند [۱].

**تکنولوژی جداسازی**

آلودگی آب یک مشکل بزرگ زیست محیطی است زیرا رنگ‌های متنوع



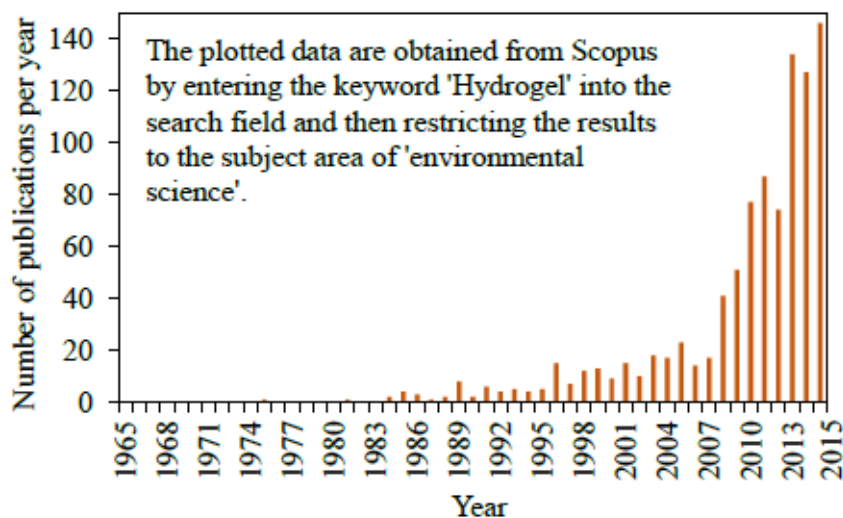
استفاده شده در صنایع نساجی، کاغذ، پلاستیک و آرایشی بهداشتی در مقادیر زیادی در طبیعت تخلیه می‌شوند و زیست تخریب ناپذیر و سرطان زا هستند. رویکردهای رایج مثل انعقاد، رسوب گذاری شیمیایی، استخراج با حلال، فیلتراسیون غشایی، اکسیداسیون برای حذف این رنگ‌ها از پساب‌های صنعتی استفاده شده که همیشه موثر نیستند. از این رو جذب سطحی به عنوان یک روش موثر و اقتصادی برای حذف این رنگ‌ها است. مشابها یون‌های فلزی سنگین که بسیار سمی، زیست تخریب ناپذیر و سرطان زا هستند نیز به عنوان آلاینده آب در نظر گرفته می‌شوند. استفاده از هیدروژل‌ها به عنوان یک جاذب با سرعت و ظرفیت جذب بالا یک رویکرد مناسب برای حذف آلاینده‌ها از آب است که در ادامه توضیح داده خواهد شد [۱].

**استفاده از هیدروژل‌ها به عنوان جاذب**

در سال‌های اخیر، علاقه محققان در توسعه هیدروژل‌های جدید و کاربرد آن‌ها در زمینه‌های مختلف مثل کنترل آلودگی‌ها و بازسازی زیست محیطی رو به رشد بوده است. شکل ۶ روند در حال رشد تمایل به پژوهش در زمینه استفاده از هیدروژل‌ها در کاربردهای

زیست محیطی را نشان می‌دهد. در رابطه با تصفیه آب و پساب، هیدروژل‌ها عملکرد فوق‌العاده‌ای در حذف جذبی انواع آلاینده‌های مختلف آلی و معدنی مثل یون‌های فلزی سنگین و رنگ‌های سمی از خود نشان داده‌اند. در مطالعات زیادی هیدروژل‌ها به طور کاملاً واضح بر جاذب‌های رایج پیروز شده‌اند، به خصوص در رابطه با ظرفیت جذب [۳]. هیدروژل‌ها از جنبه‌های زیادی شبیه به رزین‌های تبادل یون هستند، برای مثال آن‌ها از مواد پلیمری ساخته شده‌اند و اغلب از طریق برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک آلاینده‌ها را از محیط آبی حذف می‌کنند. اما برخلاف رزین‌ها که دارای ساختاری سفت و سخت هستند، ساختار هیدروژل‌ها انعطاف پذیر است و در مقایسه با رزین‌ها آب بیشتری می‌توانند جذب کنند. حضور گروه‌های عاملی ویژه مثل  $-SO_3H$ ،  $-NH_2$ ،  $-OH$ ،  $-COOH$ ،  $-CONH_2$  در شبکه هیدروژل قادر است آلاینده‌ها را از محیط آبی حذف جذبی و بازیابی کند. آلاینده‌ها می‌توانند روی سطح خارجی و همچنین درون شبکه سه بعدی پلیمری متورم شده‌ی هیدروژل جذب شوند. مطالعات نشان داده است که هیدروژل با خواص مطلوب می‌تواند

توسط کنترل پارامترهای سنتزی مثل نوع راکتور، دمای واکنش، زمان واکنش و نوع و مقدار نسبی مواد تشکیل دهنده به دست آید. علاوه بر ظرفیت جذب فوق‌العاده و اصلاح پذیری گسترده هیدروژل‌ها، امکان استفاده مجدد از آن‌ها نیز توسط برخی محققان به وسیله واجذب آلاینده‌ها و رسیدن دوباره به ظرفیت جذب در سیکل‌های تصفیه پی در پی، نشان داده شده است. این چنین یافته‌ها دلگرم کننده است، زیرا اگر یک هیدروژل قابلیت استفاده مجدد بالایی داشته باشد، کل فرآیند را اقتصادی‌تر و پایدارتر می‌کند. با این حال چالش‌های اصلی باقی مانده‌اند که احتیاج است به منظور تکامل سیستم‌های مبتنی بر هیدروژل، از مقیاس آزمایشگاهی تا کاربردهای عملی، حل شوند. یکی از این چالش‌های بزرگ بازیابی این هیدروژل‌ها از محلول بعد از تکمیل شدن فرآیند جذب یا واجذب (احیا) است، به خصوص زمانی که هیدروژل در فرم میکرو یا نانو اندازه باشد. حذف انتخابی و بازیابی یک آلاینده هدف نیز یک چالش است، زیرا حضور همزمان عناصر در پساب اغلب رقابت و تداخل‌های ناخواسته‌ای را ایجاد می‌کند [۳].



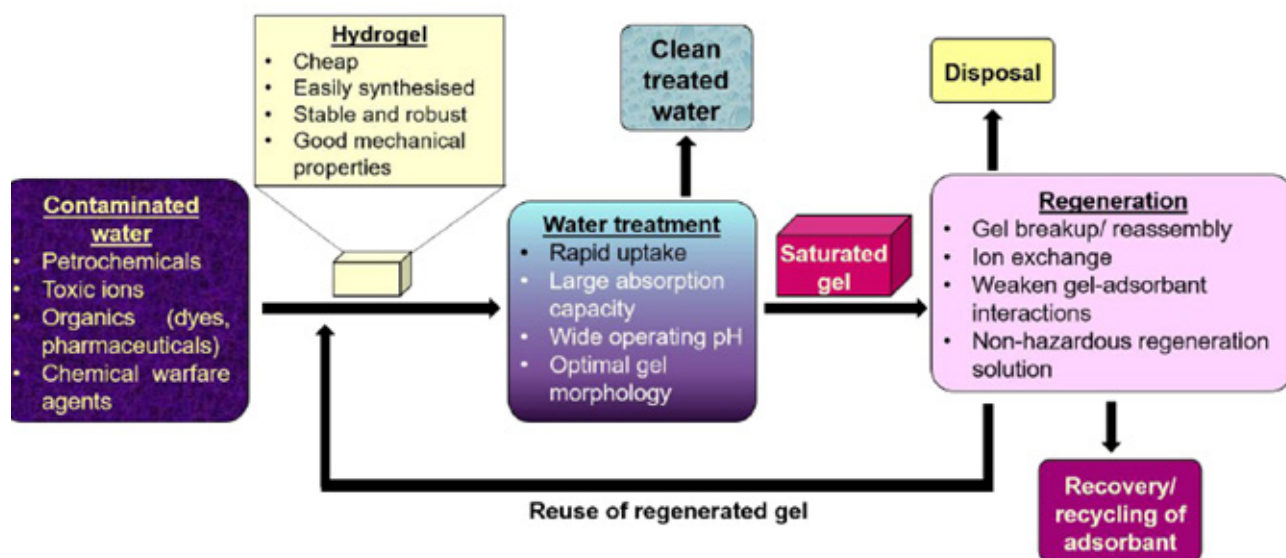
شکل ۶. مقالات منتشر شده در رابطه با استفاده از هیدروژل‌ها در زمینه محیط زیست.

## حذف جذبی آلاینده‌های آبی توسط هیدروژل‌ها

انواع مختلفی از هیدروژل‌ها برای حذف آلاینده‌های آبی و معدنی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و جنبه‌های مختلف آن‌ها مثل ظرفیت و سینتیک جذب، بازیابی، قابلیت استفاده مجدد مورد مطالعه قرار گرفته است. تعیین مرحله کنترل کننده سرعت در فرآیند جذب یک عامل کلیدی در تعیین مکانیزم جذب است. برای این منظور، مدل‌های سینتیکی مختلفی به کار گرفته شده و مقدار ضریب همبستگی رگرسیون خطی ( $R^2$ ) به عنوان یک نشانه برای انتخاب مناسب‌ترین مدل سینتیکی است. در اغلب مطالعات مدل سینتیکی شبه درجه دوم بهترین تطابق را با داده‌های سینتیک جذب دارد، که نشان می‌دهد گروه‌های عاملی در مقایسه با مشخصه ساختاری هیدروژل‌ها، از طریق برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک نقش اصلی را در فرآیند جذب ایفا می‌کنند. در رابطه با داده‌های ایزوترم جذب، در بیشتر مطالعات مدل لانگمویر بهترین تطابق را دارد. ایزوترم لانگمویر بر این فرضیات استوار است که سطح جاذب به دلیل وجود تعداد محدودی

سایت جذب تعادلی، از نظر توزیع انرژی همگن است و فقط یک لایه از مولکول‌ها می‌توانند روی سطح جذب شوند. مطالعات زیادی حذف جذبی آلاینده‌های معدنی مثل آرسنیک، کادمیم، کروم و سرب با استفاده از هیدروژل‌ها را بررسی کرده‌اند. با توجه به حضور گروه‌های عاملی خاص در مونومرها (دارای باری مخالف با یون‌های آلاینده)، تعدادی از مطالعات فرض کرده‌اند که برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک مکانیزم اصلی در حذف یون‌های آلاینده با استفاده از هیدروژل‌ها هستند. در مواردی که هیدروژل‌ها گروه‌های عاملی اسیدی یا بازی دارند، تبادل یون به عنوان مکانیزم حذف گزارش شده است [۳]. حذف جذبی آلاینده‌های آبی با استفاده از هیدروژل‌ها نیز توسط محققان زیادی بررسی شده است. در اغلب این مطالعات، رنگ‌ها به عنوان نماینده آلاینده آبی برای بررسی توانایی جذب هیدروژل‌ها استفاده شده‌اند. از آن جایی که هیدروژل‌ها قطبی هستند و با گروه‌های عاملی یونی دارند، رنگ‌هایی که در مقالات مورد بررسی قرار گرفته‌اند، کاتیونی یا آنیونی هستند. بسته به ماهیت شیمیایی رنگ و هیدروژل

اغلب سه نوع مکانیزم برای جذب رنگ روی هیدروژل گزارش شده است:  
 ۱- برهم‌کنش الکترواستاتیک بین گروه‌های عاملی هیدروژل و رنگ که باری مخالف یکدیگر دارند.  
 ۲- پیوند هیدروژنی  
 ۳- برهم‌کنش آبگریز بین ترکیبات غیر قطبی مولکول رنگ و هیدروژل در بسیاری از موارد نیز ترکیبی این برهم‌کنش‌ها مثل الکترواستاتیک و آبگریز گزارش شده است [۳]. برای اینکه هیدروژل‌ها عملاً قابل استفاده باشند، نیاز است که فاکتورهای متعددی در نظر گرفته شود. به غیر از تناسب سازی بین خواص هیدروژل و آلاینده هدف، ملاحظات عملی مثل هزینه ماده، زیست تخریب پذیری، پایداری فیزیکی شیمیایی، سرعت جذب آلاینده و پتانسیل استفاده مجدد در چند مرحله باید در نظر گرفته شود. پیش بینی شده است که استفاده احتمالی از هیدروژل به عنوان جاذب در تصفیه پساب، می‌تواند به صورت شماتیکی در شکل ۷ خلاصه شود [۴].



شکل ۷. شماتیکی از فرآیند تصفیه پساب با استفاده از هیدروژل [۴].

**بازیابی هیدروژل‌ها**

در طی فرآیند جذب، آلاینده‌ها به طور پیوسته درون هیدروژل انباشته می‌شوند تا زمانی که کامل اشباع شوند. این هیدروژل‌های اشباع شده می‌توانند در محل‌های دفن زباله سوزانده یا دفع شوند. اما این کار موجب نگرانی‌های زیست محیطی می‌شود. یک گزینه جایگزین که از نظر زیست محیطی بسیار ایمن و از نظر اقتصادی بسیار جذاب است، استفاده مجدد از این هیدروژل‌های اشباع شده بعد از بازیابی آن‌ها است. اغلب مطالعات، عملکرد جذب-واجذب را بیش از پنج چرخه متوالی بررسی نکرده‌اند. به صورت ایده‌آل، یک محلول احیا باید ارزان قیمت، غیر سمی بوده و آماده سازی و استفاده از آن آسان باشد. محلول‌های استفاده شده برای بازیابی هیدروژل‌ها اغلب مبتنی بر اسید و باز هستند. برخی از این محلول‌های احیا که بیشترین استفاده را دارند شامل  $\text{NaOH}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  می‌باشند [۳].

**استفاده مجدد از هیدروژل‌ها**

دو مورد از مهم‌ترین فاکتورها برای قابل استفاده مجدد بودن یک هیدروژل، پایداری هیدروژل و جذب برگشت

پذیر آن است. پایداری، به مقاومت هیدروژل در برابر شرایط محیطی معمولی اشاره دارد. هیدروژل‌ها باید از نظر شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی در طی دوره‌های متوالی جذب واجذب پایدار باشند. اطلاعات در مورد مقاومت مکانیکی، حرارتی و شیمیایی هیدروژل‌ها کمک می‌کند تا محدوده قابل قبول شرایط عملیاتی تعیین شود. به منظور دست یابی به ساختار هیدروژل مستحکم رویکردهای مختلفی از جمله انجام درجه بالاتری از اتصال عرضی، کوپلیمریزاسیون و آماده‌سازی کامپوزیت با اجزای معدنی، توسط مقالات پیشنهاد شده است. ویژگی‌های ساختاری هیدروژل می‌تواند با کنترل درجه اتصال عرضی بهبود پیدا کند. با این حال، درجه‌ی بالای اتصال عرضی، هیدروژلی با ساختار شکننده تر، توانایی تورم پایین و ظرفیت جذب کاهش یافته ایجاد می‌کند. از این رو، دست‌یابی به یک درجه اتصال عرضی برای برقراری تعادل بین استحکام ساختاری و ظرفیت جذب نیاز است. برای بهبود خواص مکانیکی هیدروژل آنیونی، اجزای معدنی مثل مونت موریلونیت و نانولوله‌های کربنی به عنوان نانوپرکننده‌های تقویت کننده

در فرمول‌بندی هیدروژل‌ها استفاده شده‌اند. باوجود پژوهش‌های فراوان در زمینه بررسی پایداری مکانیکی هیدروژل‌ها، به پایداری شیمیایی آن‌ها توجه چندانی نشده است [۳].

**نتیجه‌گیری**

هیدروژل‌ها به عنوان جاذب‌های پلیمری با ساختار سه بعدی اتصال عرضی شده عملکرد استثنایی در بازیابی و حذف جذبی محدوده وسیعی از آلاینده‌های آلی و معدنی از خود نشان داده‌اند. برای تهیه هیدروژل‌هایی با ساختار و گروه‌های عاملی مطلوب طراحی اصولی فرمول بندی و کنترل تولید ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه اندازه ذرات کوچکتر ذرات هیدروژل باعث افزایش ظرفیت جذب می‌شود، اما در این حالت جداسازی ذرات ریز هیدروژل از محلول چالش برانگیز می‌شود. تلاش‌های زیادی در زمینه تولید هیدروژل‌هایی با گزینش پذیری زیاد نسبت به آلاینده هدف نیاز است تا افزون بر حذف گزینشی آلاینده، بتوان آن را برای استفاده مجدد بازیابی کرد. علاوه بر داشتن عملکرد خوب در جذب و جداسازی آلاینده‌ها، هیدروژل باید دو ویژگی پایداری و قابلیت استفاده مجدد در چرخه‌های متوالی رانیزداشته باشد.

**References:**

- [1]. Faheem Ullah, Muhammad Bisyrul Hafi Othman, Fatima Javed, Zulkifli Ahmada, Hazizan Md. Akil, Classification, processing and application of hydrogels: A review, *Materials Science and Engineering C*, 57 (2015) 414–433.
- [2]. Enas M. Ahmed, Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review, *Journal of Advanced Research* (2015) 6, 105–121.
- [3]. Musharib Khan, Irene M.C. Lo, A holistic review of hydrogel applications in the adsorptive removal of aqueous pollutants: Recent progress, challenges, and perspectives, *Water Research* 106 (2016) 259e271.
- [4]. Jason Y. C. Lim,, Shermin S. Goh, Sing Shy Liow, Kun Xue and Xian Jun Loh, Molecular Gel Sorbent Materials for Environmental Remediation and Wastewater Treatment, *J. Mater. Chem. A*, 2019,7, 18759-18791.

# تقطیر ناپیوسته و تقطیر استخراجی

صهبا نادی، دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی



## چکیده

با توجه به رشد روز افزون علم و فناوری و توسعه صنایع شیمیایی و داروسازی، تصفیه و بازیابی مخلوط‌های چند جزئی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. معمولاً برای جداسازی مخلوط مایع با حجم بالا از فرآیند تقطیر ناپیوسته استفاده می‌شود. همچنین تقطیر استخراجی برای جداسازی مخلوط‌های غیرایده‌آل آزتروپ در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند تقطیر استخراجی به دو صورت پیوسته و ناپیوسته می‌تواند عمل کند. از طرفی فرآیند جداسازی وابسته به انرژی است که این مورد می‌تواند بر روی موضوعاتی از جمله هزینه سرمایه‌گذاری و محیط‌زیست تأثیرگذار باشد. بدین منظور برای طراحی فرآیند تقطیر ناپیوسته از جمله قراردادن ناو میانی و یا طراحی برج‌هایی با چند شناور از جمله پیشرفت‌هایی است که می‌توان در این زمینه نام برد. از جمله اقداماتی که برای اصلاح فرآیند استخراجی به منظور کاهش مصرف انرژی صورت گرفته‌است، کوپل حرارتی، برج دیوار تقسیم‌شده و یا فرآیندهایی با پیش‌تغلیظ را می‌توان نام برد. در این بخش از نشریه سعی شده که در ابتدا ضمن آشنایی با فرآیند تقطیر ناپیوسته و اقداماتی که در جهت اصلاح آن صورت گرفته است، به تقطیر استخراجی که یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تقطیر در صنعت از جمله تولید بیواتانول که به عنوان یک سوخت زیستی به‌شمار می‌رود، پردازیم.

## کلید واژه

تقطیر ناپیوسته، مخلوط‌های غیرایده‌آل آزتروپ، تقطیر استخراجی، برج‌هایی با چند شناور و بیواتانول

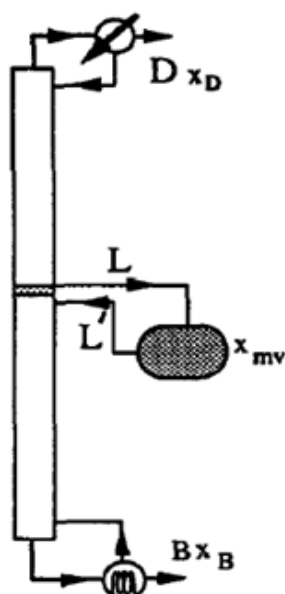
## مقدمه

فرآیند تقطیر ناپیوسته در صنایع شیمیایی برای جداسازی مخلوط‌های مایع با حجم بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند جداسازی نیز نیاز به انرژی دارد، از این رو حفظ انرژی و افزایش بازده سیستم از جمله عواملی است که مورد توجه پژوهشگران و مهندسان قرار گرفته است [۳،۴]. در ابتدا با مقایسه نتایج مشخص شد که برج تقطیر ناپیوسته با ناو میانی، عملکرد بهتری نسبت به برج تقطیر معمولی دارد و با گذشت زمان یک طرح جدید از برج تقطیر با چند شناور توسط Hasbe و همکارانش ارائه شد [۳]. عواملی از جمله طول برج، اثر ناو نگهدارنده و ساختار برج که باید در هنگام طراحی چنین سیستم‌هایی مورد توجه قرار گیرند، بر عملکرد سیستم، میزان هزینه سرمایه‌گذاری و مدت زمان فرآیند تأثیرگذار هستند [۳،۲]. یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تقطیر در صنعت، تقطیر استخراجی است. به جداسازی یک ماده از مخلوط به کمک حلال تقطیر استخراجی گفته می‌شود. از تقطیر استخراجی در جداسازی مخلوط غیرایده‌آل آزتروپ با فراربت نسبی خیلی کم استفاده می‌شود [۵،۴]. بر طبق مطالعات صورت گرفته، استفاده از تقطیر استخراجی به ویژه در دهیدراسیون الکل‌ها بسیار سودمندتر از تقطیر ناهمگن آزتروپ است و از این رو به دلیل علاقه رو به رشد تولید سوخت‌های زیستی، دهیدراسیون (حذف آب) اتانول، ایزوپروپیل الکل از دیگر الکل‌ها و اترها مورد مطالعه قرار گرفته است [۴].

## تقطیر ناپیوسته (Batch Distillation)

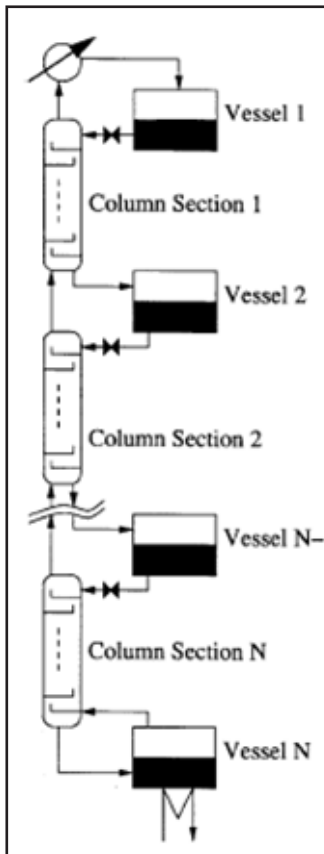
برای جداسازی و بازیابی مخلوط‌های مایع در حجم بالا از تقطیر ناپیوسته استفاده می‌شود. این تقطیر کاربرد بسیاری در صنایع شیمیایی و داروسازی

دارد. انعطاف‌پذیری بالا، شرایط عملیاتی مناسب و در عین حال مقرون به صرفه بودن از نظر اقتصادی از جمله دلایل استفاده از این نوع تقطیر است [۲،۱]. به منظور بهره‌برداری بیشتر و افزایش بازده سیستم، پژوهشگران درصدد ارائه طرح‌های جدید و ایجاد اصلاحات در سیستم تقطیر ناپیوسته هستند. با یک مقایسه بین عملکرد برج‌هایی از جمله برج یک‌سوکنده ناپیوسته (batch rectifier)، برج دفع ناپیوسته (batch stripper) و برج تقطیر با ناو میانی (column with a middle vessel) که مورد آخر اولین بار در دهه ۱۹۷۰ توسط Devyatikh و همکارانش پیشنهاد شد، نشان داده شده‌است که برج با ناو میانی دارای عملکرد بهتری در جداسازی مخلوط نسبت به دو نوع دیگر است. شکل ۱ یک برج تقطیر که دارای دو بخش جداسازی و یک ناو میانی است را نشان می‌دهد. این برج به منظور جداسازی مخلوط در ریویولر بارگذاری شده و به طور همزمان می‌توان محصولات را از بالا و پائین برج دریافت کرد.

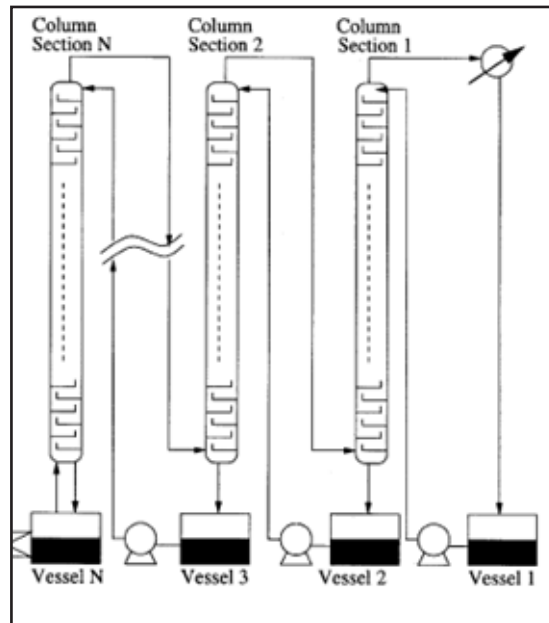


شکل ۱. برج تقطیر دارای دو ناو.

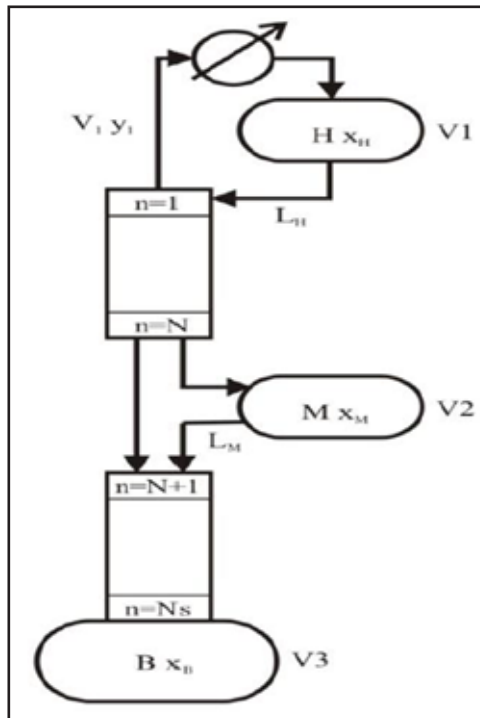




شکل ۲ [۲].



در ادامه برج‌های تقطیر با چند ناو طراحی شد که افزایش مؤثری در انعطاف‌پذیری و بازده فرآیند همراه با کاهش زمان فرآیند را ارائه داد. این طرح نیز نخستین بار توسط Hasebe و همکارانش پیشنهاد شد. این طرح یک تصویر کلی از برج وارونه و برجی با ناو میانه است و معروف به برج‌هایی با چندین عملکرد یا چندین ناو هستند [۲،۳]. ساختار سیستمی با چند ناو از مجموعه‌ای از بخش‌های برج متصل شده و ناوهای نگهدارنده ساخته می‌شود (شکل ۲) [۳]. همان طور که در این شکل نشان داده شده است، در نصب اولیه فقط ناوها در کف تأسیسات به منظور گرمایش مجدد یا سردسازی تعبیه می‌شوند [۳]. این طرح به شکل عمودی و افقی طراحی و اجرا می‌شود.



شکل ۳ [۲].

به عنوان نمونه شکل ۳ یک برج تقطیر ناپیوسته شامل ریویولر، دو شناور و ۲ برج برای جداسازی مخلوط سه جزئی اتانول، ۱-پروپانول و n-بوتانول طراحی شده است. عملیات در ابتدا با بارگذاری خوراک در ریویولر آغاز می‌شود. سه جز محصولات در دو شناور و ریویولر جمع‌آوری می‌شود و هنگامی که سیستم به حالت پایا می‌رسد برداشت محصول صورت می‌گیرد. تمام بخارهای ورودی به کندانسور به مایع متراکم تبدیل شده و جریان مایع ورودی هر شناور به برج تقطیر بازگردانده می‌شود. همان طور که می‌دانید سبک‌ترین اجزا، فرارترین جز که در بالای برج جمع‌آوری می‌شوند و سنگین‌ترین اجزا، دارای کمترین فراریت نسبی و از انتهای برج استخراج می‌شوند. معمولاً تصمیم‌گیری برای طراحی برج معمولی شامل طول برج یا تعداد مراحل می‌شود اما در برجی با چند ناو، تصمیم‌گیری‌هایی در رابطه با طول هر برج، توزیع خوراک اولیه در طول آن‌ها و اثر نگهدارنده ناو نیز باید در نظر گرفته شوند [۲،۳]. برج تقطیر ناپیوسته به طور ذاتی دارای خاصیت ناپایدار است و سختی مشکل بهینه‌سازی آن و پیچیدگی در صورت وجود ساختار ترکیبی از جمله عواملی است که برای ناقص بودن مطالعات درباره طراحی چنین سیستمی وجود دارد [۳،۴].

**تقطیر استخراجی (Extractive Distillation)**

جداسازی یک جز از مخلوط توسط حلال یا entrainer، تقطیر استخراجی گفته می‌شود که در جداسازی مخلوط آزتروپ و یا مخلوط‌هایی با فراریت نسبی کم، کاربرد بسیاری دارد [۴،۵]. آزتروپ‌ها، مخلوطی از ترکیباتی خاص با یک دمای جوش در ترکیبات مایع-بخار تحت یک فشار ثابت هستند و نقطه جوش آن می‌تواند کمتر یا بزرگتر از دمای جوش اجزا موجود در ترکیب باشد که این امر موجب می‌شود که نتوان به راحتی از تقطیرهای معمولی برای جداسازی استفاده کرد [۴]. عملیات تقطیر استخراجی به دو صورت پیوسته و ناپیوسته صورت می‌گیرد و از طرفی می‌توان این تقطیر را به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم طبقه‌بندی کرد. در تقسیم مستقیم، محصولات با دمای جوش بالا در تقطیر در بالای یک برج استخراجی و در تقسیم غیر مستقیم محصولات با نقطه جوش سنگین در کف برج جمع‌آوری می‌شوند [۴]. به طور معمول برای یک تقسیم، پس از بارگذاری خوراک اصلی در دیگ بخار، محصول از یک ستون با یک بخش تصحیح در بالای برج استخراجی، خارج خواهد شد و برای یک تقسیم غیرمستقیم پس از تقسیم‌کردن میزان خوراک اصلی بین یک بویلر و یک مخزن بزرگ در بالا، محصول از کف برج با یک بخش تخلیه، خارج خواهد شد.

در فرایند تقطیر استخراجی به صورت پیوسته، سیستم در شرایط پایا قرار دارد. به عنوان مثال یک ترکیب دو جزئی A و B به همراه حلال (E) وارد برج تقطیر می‌شوند و یکی از آن برج برای بازیابی حلال استفاده می‌شود و در انتها A یا B می‌تواند به عنوان محصول برج تقطیر استخراجی دریافت شود و سپس جریانی از E با ترکیب اولیه دوباره به برج به منظور بازسازی و احیا بازگردانده

می‌شود. در فرایند تقطیر استخراجی به صورت ناپیوسته، سیستم در شرایط ناپایدار عمل می‌کند و ترکیبات با زمان در حال تغییر است. همان ترکیب A و B ابتدا در دیگ بخار بارگذاری شده، درحالی‌که مخزن مربوط به E به طور مداوم در سینی بالاتر تغذیه می‌شود و عمل بازسازی درونی در همان برج انجام می‌شود [۴].

**فرایند تقطیر استخراجی ناپیوسته در مرحله انجام می‌شود [۴]:**

۱. پس از بارگذاری خوراک اولیه، فرایند بدون تغذیه entrainer و بدون برداشت محصول صورت می‌گیرد. گرمایش آغاز می‌شود و تا رسیدن به شرایط پایا ادامه می‌یابد. آزتروپ در بالا (تقسیم مستقیم) یا در پائین (تقسیم غیرمستقیم) به دست می‌آید.

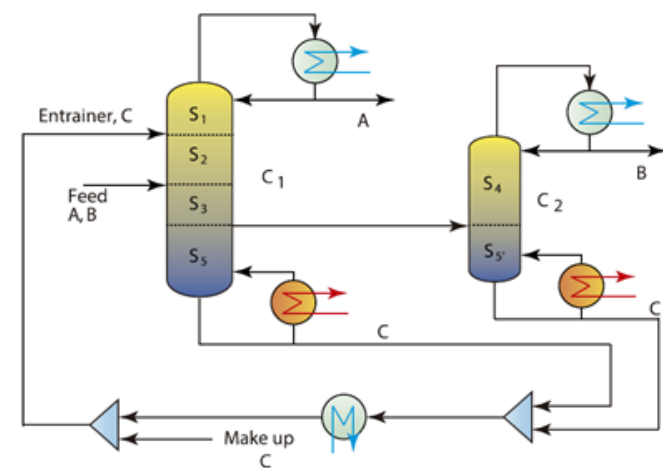
۲. مخزن entrainer به طور مداوم تغذیه می‌شود تا به سرعت محصول آزتروپ با یک ترکیبی با خلوص بالا جایگزین کند. دینامیک این جایگزینی معمولاً سریع و آسان و با تغییر دادن دمای بالای برج از تغییر دمای آزتروپ به دمای ترکیب خالص بدست می‌آید.

۳. یک محصول تحت تغذیه مداوم entrainer دریافت می‌شود.

۴. دیگر مخزن entrainer تغذیه نمی‌شود و تقطیر معمولی امکان تجمع entrainer را در دیگ بخار فراهم می‌کند.

بهینه سازی فرایند تقطیر استخراجی امری مهم در کاهش هزینه‌های عملیاتی و کاهش مصرف انرژی به شمار می‌آید. از

طرفی تغییر فشار بر روی فراریت نسبی تأثیرگذار است، پس می‌تواند سودمند باشد. می‌توان ساختارهای جدیدی از جمله کوپل حرارتی، برج دیواره تقسیم شده استخراجی یا فرایندهایی با پیش تغلیظ اجرا کرد [۴]. هرناندز در سال ۲۰۰۸ استفاده از سیستم‌های کوپل شده گرمایی با یکسو کننده‌ها و ستون‌های دیوار تقسیم کننده را پیشنهاد داد، که ثابت شد انرژی آن از طرح تقطیر استخراجی مرسوم کارآمدتر است [۵]. بنابراین یک سیستم تقطیر کوپل شده حرارتی با یک یکسوکننده جانبی که قبلاً برای جداسازی مخلوط‌های آزتروپیک پیشنهاد شده بود به عنوان پایه در نظر گرفته می‌شود، و یک سیستم جایگزین بدون جفت شدن حرارتی (شکل ۴) ایجاد می‌شود. برهم‌کنش بخارمایع با یک خوراک در ستون دوم جایگزین می‌شود، و یکسو کننده کناری با یک بخش تخلیه برای رسیدن به وظیفه جداسازی تکمیل می‌شود. ستون اول از توالی حاصل در حال حاضر یک ستون جانبی است، که از آن سبک‌ترین جز به عنوان محصول تقطیر خارج می‌شود، و ستون دوم محصول میانی را به عنوان جریان بالایی تولید می‌کند. جریان‌های کف از ستون‌های اول و دوم حاوی حلالی هستند که برای کمک به جداسازی بازیافت می‌شوند [۵].

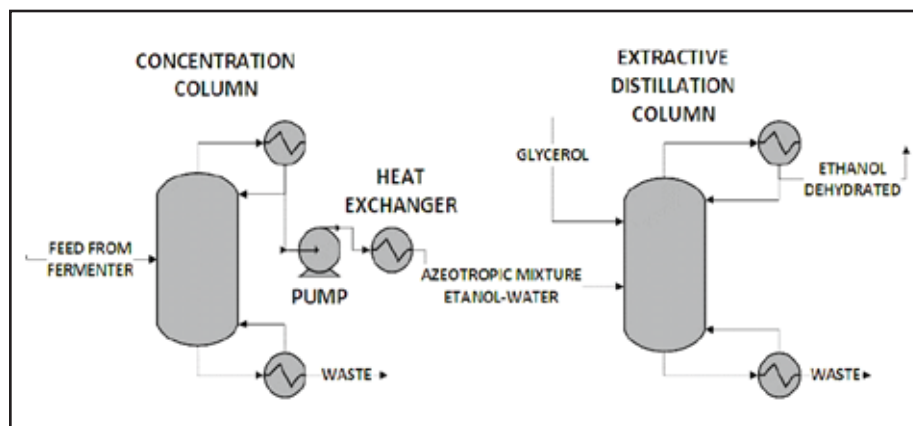


شکل ۴ [۵].

طبق مطالعات انجام شده در زمینه تقطیر استخراجی، میزان دهیدراسیون الکلها بسیار سودمندتر از تقطیر آزتروپ است. علاوه بر آن، تلاش‌هایی برای تولید سوخت‌های زیستی نظیر تولید به عنوان یک سوخت جایگزین سوخت‌های فسیلی صورت گرفته است [۴]. بیواتانول به عنوان یک سوخت زیستی شناخته شده است که به راحتی می‌تواند از بیومس (زیست‌توده) تهیه شود و به خاطر تجدیدپذیری آن به محیط زیست آسیب نمی‌رساند [۶]. تولید بیواتانول نیاز به انرژی بالایی دارد. این انرژی در بخش‌های تخمیر، آماده‌سازی و جداسازی مصرف می‌شود؛ لذا تولید این سوخت در حجم بالا محدود به چند کشور نظیر برزیل و ایالات متحده شده است. مجموعه‌ای که برای تولید بیواتانول طراحی می‌شود دارای ۵ مرحله است [۶]:

۱. آماده‌سازی
۲. Overliming (چسبناک کردن/قرار دادن در آب‌آهک)
۳. قندسازی
۴. تخمیر
۵. جداسازی

به عنوان نمونه در چنین سیستمی، در ابتدا پوشال گندم به عنوان خوراک اولیه در نظر گرفته می‌شود. در بخش آماده‌سازی، سلولز نمی‌تواند آب از دست دهد لذا در بخش قندسازی این سلولز به کمک آنزیم‌ها به گلوکز تبدیل می‌شود. در طول تخمیر، قندهای قابل تخمیر به اتانول تبدیل می‌شوند [۶]. خلوص اتانول باید بین ۹۹ تا ۹۹/۸ باشد تا به عنوان سوخت مورد استفاده قرار بگیرد [۵]. در شکل ۱۱ مجموعه‌ای از یک برج تقطیر نشان داده شده است. برج اول، برج غلظت نام دارد و به منظور افزایش غلظت اتانول در طول مسیر جریان استفاده می‌شود. جریان خروجی برج غلظت، شامل اتانول ۸۰٪ (برمبنا مولی) است. سپس یک برج استخراجی در آنجا تعبیه شده است که در آن، جریان‌های حلال برای برج بارگذاری می‌شود و آزتروپ بین آب و اتانول را با کاهش فراریت آب می‌شکند و موجب پیشرفت در فرایند جداسازی می‌شود.



شکل ۱۱ [۶]

### نتیجه‌گیری

با توجه به توسعه صنعت و استفاده آن از منابع انرژی، بهینه‌سازی فرآیند یک امر مهم به شمار می‌آید. در این جا با توجه به مطالعات انجام شده و مقایسه نتایج مشاهده شد که اثر طول برج، توزیع غلظت و طراحی برج‌هایی با چند ناو از جمله عواملی است که بر هزینه سرمایه گذاری، میزان ذخیره‌سازی انرژی و کاهش زمان فرآیند تأثیرگذار هستند.

### References:

1. Meski, G. A., & Morari, M. (1995). Design and operation of a batch distillation column with a middle vessel. *Computers & chemical engineering*, 19, 597-602.
2. Hazwani, S. N., Hisyam, A., & Aziz, B. (2017). Modelling and Simulation of Multi-vessel Batch Distillation Column. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1135-1140.
3. Low, K., & Sørensen, E. (2003). Simultaneous optimal design and operation of multivessel batch distillation. *AIChE journal*, 49(10), 2564-2576.
4. Gerbaud, V., Rodriguez-Donis, I., Hegely, L., Lang, P., Denes, F., & You, X. (2019). Review of extractive distillation. *Process design, operation, optimization and control. Chemical Engineering Research and Design*, 141, 229-271.
5. Tututi-Avila, S., Medina-Herrera, N., Hahn, J., & Jimenez-Gutiérrez, A. (2017). Design of an energy-efficient side-stream extractive distillation system. *Computers & chemical engineering*, 102, 17-25.
6. García-García, J. C., et al. (2018). Exergy Analysis of an Extractive Distillation Column for Reducing Energy Consumption in a Bioethanol Production Process. *Computer Aided Chemical Engineering*, Elsevier. 43: 513-518.

## کمپرسورها

### چکیده

کمپرسورها به طور معمول جهت افزایش فشار سیالات تراکم ناپذیر و انتقال آن از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر در طول فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند. نقش کمپرسور در زندگی بشر و گسترش صنایع انکارناپذیر بوده و در اهمیت آن همین کافیسست که بدانیم دامنه‌ی بکارگیری از آن در شاخه‌های مختلفی از جمله صنایع پزشکی، لوازم خانگی و... به سرعت در حال رشد است، به طوری که امروزه حضور آن در جوامع بشری به شدت به چشم می‌خورد. از جمله موارد مصرف آن می‌توان به استفاده در توربین‌های گازی تولید برق، توربوشارژهای موتور احتراق درونی، توربوجت موتور محرکه هواپیما، انتقال و ذخیره سازی گازها و میعانات گازی در پروسه‌های صنایع شیمیایی، صنایع کاغذسازی و غیره اشاره کرد. لذا نحوه‌ی انتخاب کمپرسور بسیار مهم و نقش بسزایی در کاهش هزینه‌های جاری در تاسیسات بالاخص زمین، خاک کننده، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و... را دارا می‌باشد. در ادامه به معرفی انواع کمپرسورهای مورد استفاده در صنعت، طرزکار و ویژگی‌های هر یک می‌پردازیم.

### مقدمه

کمپرسورها بی‌شک جزو ماشین آلاتی هستند که در اغلب واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دستگاه‌ها به منظور فشرده کردن یا همان افزایش فشار سیالات تراکم پذیر و انتقال آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالت کلی می‌توان آن را دستگاهی دانست که یک سیال را از یک

سطح انرژی به سطوح دیگر انرژی منتقل می‌کند. یک برآورد نسبی در زمینه‌ی نقش کمپرسورها در صنایع نشان داده است که حدود ده درصد انرژی مصرفی در صنایع صرف تراکم گازها می‌گردد و واحدهایی مانند واحدهای جداسازی هوا (تولید ازت و اکسیژن از هوا) بیش از ۷۰ درصد انرژی مصرفی آن‌ها در کمپرسورها می‌باشد. لذا انتخاب کمپرسور با راندمان بالا و استفاده از آن در بیشترین راندمان نقش مهمی در هزینه‌های یک واحد را می‌تواند داشته باشد. افزایش فشار در کمپرسورها می‌توانند به دلایل گوناگون صورت گیرند به عنوان مثال در خطوط لوله انتقال گاز، تامین فشار مورد نیاز مخزن تحت فشار، تزریق گاز به میدان‌های نفتی، موتورهای توربوجت، توربین گازی، توربوشارژها و بالابردن سرعت واکنش‌ها در فرآیندهای شیمیایی و غیره.

کمپرسورها بر اساس عملکرد خود به دو دسته‌ی زیرتقسیم می‌شوند:

- کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت
- کمپرسورهای دینامیکی

### کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت

این نوع کمپرسورها معمولاً در جریان‌های کم یا جریان‌هایی که وزن مولکول‌های گاز در آن‌ها پایین می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساس کار آن‌ها به صورت افزایش فشار همراه با کاهش حجم گاز محبوس می‌باشد. به این صورت که همواره مقدار معینی گاز بین دو قطعه به دام افتاده و با فشرده شدن گاز درون محفظه فشار آن افزایش می‌یابد و در نهایت به خروجی کمپرسور ارسال

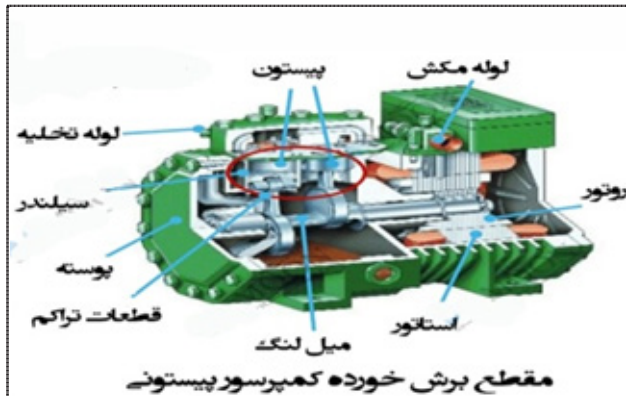
می‌شود. از مشخصه‌های اصلی این نوع کمپرسورها متناسب بودن مقدار گاز خروجی با تعداد کورس کمپرسور است. بدین معنا که برخلاف دیگر کمپرسورها، با دو برابر کردن دور کمپرسور، فلوی کمپرسور نیز دو برابر می‌شود. این کمپرسورها به دودسته‌ی زیرتقسیم می‌شوند که در ادامه آن‌ها را معرفی خواهیم کرد:

- رفت و برگشتی
- دورانی

### ۱- کمپرسورهای رفت و برگشتی

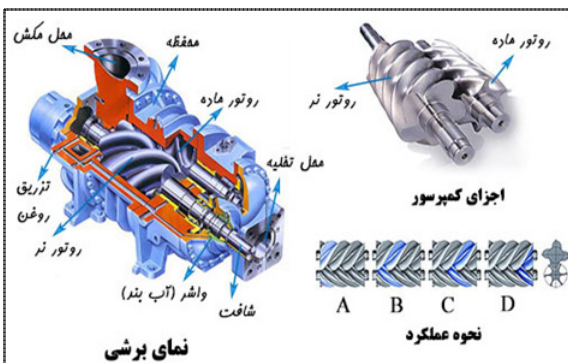
این کمپرسورها از قدیمی‌ترین نوع کمپرسور می‌باشند که اولین نمونه‌های آن با سیلندر چوبی ساخته شد بود و پیستون آن به وسیله‌ی نیروی انسانی حرکت داده می‌شد. امروزه طرز کار آن‌ها به نحوی می‌باشد که حرکت پیستون متحرک در سیلندری که ورودی آن دارای سوپاپ‌هایی می‌باشد، موجب کاهش حجم گاز و عمل فشرده سازی می‌گردد. پس از پایان عمل تراکم و فشرده سازی گاز تخلیه و سیکل مجدداً تکرار می‌گردد. همانطور که گفته شد این کمپرسورها عموماً در شدت جریان‌های پایین (از مقادیر کم تا ۲۰۰۰ مترمکعب در ساعت) و برای ایجاد فشارهای زیاد (حدوداً ۶۰۰ بار) به کار برده می‌شوند. همچنین در فشار و وزن‌های مولکولی متغیر، به راحتی کار می‌کنند. از خصوصیات قابل توجه آن‌ها می‌توان به استفاده از یک کمپرسور به منظور تراکم چند گاز اشاره کرد که در سایر کمپرسورها امکان پذیر نمی‌باشد. این کمپرسورها دارای قیمت اولیه و هزینه‌های تعمیر و نگهداری





مختلف استفاده می‌شود تا عمل تراکم هم در مسیر رفت و هم در مسیر برگشت انجام گیرد، بطوریکه یک پیستون در حال تراکم

بالایی می‌باشند و کاربردهای گسترده در مصارف صنعتی و خانگی، شامل نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، صنایع برودتی و ایستگاه‌های CNG دارد. کمپرسورهای رفت و برگشتی به سه نوع دیافراگمی، پیستونی و پلانجری تقسیم می‌شوند. کمپرسورهای پیستونی گاهی به صورت یک طرفه و یا دوطرفه می‌باشند. در نوع اول رفت و برگشت پیستون عمل تراکم را انجام داده و موتور فقط در نصف دوره تحت بار قرار می‌گیرد و در نیمه دوم بدون بار کار می‌کند. این روش مشکلاتی برای موتور ایجاد می‌کند و راندمان کاری را پایین می‌آورد. نوع دوم یا دوطرفه که دارای بیشترین بازده و قیمت در بین کمپرسورهای رفت و برگشتی است نحوه کار آن به این صورت است که در آن دو پیستون با دو جهت



## ۲- کمپرسورهای دورانی

کمپرسورهای دورانی برخلاف کمپرسورهای رفت و برگشتی فاقد سوپاپ بوده و از پره‌های چرخان و چرخنده‌ها و یا پره‌های لغزان جهت حبس حجم معینی از گازها در فضای بین خودشان و یک پوسته خارجی استفاده می‌کنند و حرکت آن‌ها موجب افزایش فشار گاز می‌گردد. این پره‌ها در یک رتور قرار داشته و همزمان با گردش رتور، گاز از ورودی به خروجی منتقل می‌شود. حذف سوپاپ‌ها باعث حل بسیاری از مشکلات نسبت به کمپرسورهای رفت و برگشتی شده است ولی فشار کاری آن‌ها حداکثر ۱۵ بار بوده و نسبت به فشار ایجاد

شده توسط کمپرسورهای رفت و برگشتی پایین است، اما با ساخت کمپرسورهای چندمرحله‌ای می‌توان دامنه‌ای افزایش فشار آن را بالا برد. این کمپرسورها از نظر سبک بودن وزن، هزینه، نسبت تراکم و ظرفیت بسیار به صرفه بوده و به علت حذف نیروهای لرزاننده نیاز به فوندانسیون سنگینی ندارند. از ویژگی‌های مهم آن می‌توان به زیاد نبودن سرعت گاز در طی فرآیند تراکم را عنوان کرد که این امر موجب جلوگیری از پدیده‌ی پلی تروپیک (نزدیک شدن سرعت گاز به سرعت صوت) که در کمپرسورهای چرخشی از مرکز صورت می‌گیرد، می‌گردد. انواع مختلفی از این نوع کمپرسور وجود دارد که از آن جمله می‌توان به دندانه‌ای، ماریچی، تیغه‌لغزنده، گوشواره‌ای، رینگ مایع، پیچکی، روتورپله‌ای و غیره اشاره کرد.

## کمپرسورهای دینامیکی

این کمپرسورها که معمولاً در صنایع پتروشیمی و نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند به صورت جریان پیوسته و براساس افزایش سرعت سیال و تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری کار می‌کنند به این صورت که در مرحله اول سرعت کل سیال ورودی به دلیل ممان رسیده به آن توسط پره‌های رتور (انرژی جنبشی رتور) افزایش یافته و در مرحله دوم توسط استاتور یا دیفیوزرها

## ۱- کمپرسورهای محوری

این انرژی جنبشی به فشاری تبدیل می‌شود. سپس این انرژی جنبشی گاز به دلیل کاهش سرعت در کانال‌های واگرا به انرژی پتانسیل و افزایش فشار تبدیل می‌گردد. این کمپرسورها معمولاً دارای جریان خروجی یکنواخت می‌باشند و دارای قطعات کمتری نسبت به کمپرسورهای دیگر می‌باشند. کمپرسورهای دینامیکی به دو دسته‌ی محوری و گریز از مرکز (جریان شعاعی) تقسیم می‌شوند.

همانطور که از نام این کمپرسور پیداست جریان در جهت محور وارد شده و در همان جهت کمپرسور را ترک می‌کند و در حجم زیاد، گاز متراکم ایجاد می‌کنند. این کمپرسورها راندمان بالایی دارا می‌باشند. کمپرسورهای محوری متشکل از یک روتور چرخنده (محور اصلی) با یک مجموعه از تیغه‌های گردنده که انرژی خود را در طی عمل فشرده سازی به گاز منتقل می‌کند، و یک پوسته‌ی مخروطی شکل

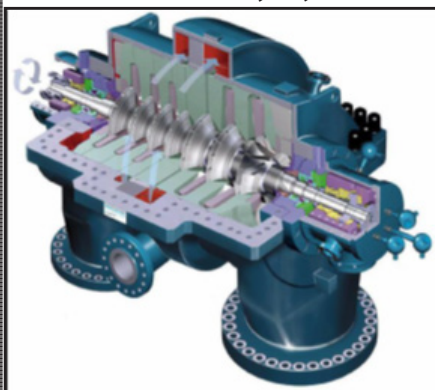
با پره‌های ثابت (استاتور) که وظیفه‌ی حفظ جریان در موازات محور و افزایش فشار را دارد، می‌باشد. طرز کار آن به این صورت است که سیال ورودی ابتدا توسط پره‌های روتور شتاب می‌گیرد و به سمت اولین پره‌ی استاتور حرکت می‌کند. پره‌ی استاتور جریان گاز را کاملاً در راستای پره‌های روتور می‌چرخاند. انرژی گاز در پره‌های روتور با افزایش سرعت گاز افزایش یافته و وارد ردیف بعدی پره‌های استاتور می‌شود. پره‌های استاتور مانند شیپوره عمل کرده و در مقابل گاز مقاومت ایجاد کرده و موجب کاهش سرعت و تبدیل انرژی جنبشی به فشار و افزایش فشار می‌گردد.

## ۲- کمپرسورهای گریز از مرکز

این کمپرسورها برخلاف کمپرسورهای محوری، جریان گاز کمپرسور را در جهت عمود از محور چرخش شفت ترک می‌کند و کاهش سرعت و افزایش فشار گاز در دیفیوزر را باعث می‌شود. این کمپرسورها از

نظر ظرفیت و توان مصرفی بالاترین سهم را در فرآیند تراکم گازها در صنایع به خود اختصاص می‌دهند. همچنین دارای حجم کوچک، نیاز به فوندانسیون کوچک، پایین بودن میزان لرزش و قابلیت اطمینان بالا هستند به نحوی که قادرند بدون نیاز به تعمیرات اساسی تا ۳ سال به طور پیوسته کار کنند. از اصلی‌ترین اجزای این کمپرسور محور چرخنده، پروانه (شامل ۳ دسته باز، بسته و نیمه بسته)، دیافراگم، یاتاقان و آب بندها می‌باشد که هرکدام وظایف منحصر به فردی دارند به این صورت که گاز از درون دریچه‌ی ورودی وارد کمپرسور شده و پروانه که از یک توبی گرد و تیغه‌هایی روی آن تشکیل شده گاز را از دریچه ورودی دریافت کرده و با چرخش خود، موجب ایجاد نیروی گریز از مرکز و افزایش انرژی گاز می‌گردد. در مرحله بعد انرژی جنبشی سیال به علت کم شدن سرعت در دیفیوزر به فشار تبدیل می‌شود. عملکرد پایدار یک کمپرسور

گریز از مرکز و یا محوری در سرعت بالا و پایین محدود است زیرا اجزای کمپرسور در این سرعت‌ها سبب خفگی و ایجاد شوک در آن می‌گردند، بدین معنا که کمپرسور در غلبه بر اغتشاشاتی که ممکن است پیرامون نقطه‌ی عملکرد آن رخ دهد، محدود می‌باشد. از طرف دیگر با کاهش جریان عبوری از کمپرسور، ناپایداری‌هایی در جریان رخ می‌دهد که از جمله این ناپایداری‌ها می‌توان به پدیده‌ی سرچ که در زیر به طور مختصر معرفی شده است، اشاره کرد.



## سرچ

عمدتاً نوسانات جریان در کمپرسور را سرچ می‌نامند که معمولاً در کمپرسورهای دینامیکی خصوصاً کمپرسورهای سانتریفیوژ رخ می‌دهد. این پدیده هنگامی رخ می‌دهد که کمپرسورها، قادر به تولید فشار کافی برای غلبه بر مقاومت پایین دست خود نمی‌باشد و یا به بیان دیگر فشار خروجی تولیدی توسط کمپرسور، کمتر از فشار پایین دست آن است. در این حالت یک رفت و برگشتی که به سیکل سرچ معروف است در جریان ایجاد خواهد شد که می‌تواند به دلایل مختلفی چون کاهش فلوی ورودی و خروجی، افزایش بار اعمال بر کمپرسور، کاهش وزن مولکولی گاز فشرده، افزایش دمای ورودی، کاهش دانسیته گاز ورودی، افزایش فشار در دهانه خروجی کمپرسور و... اتفاق بیافتد و موجب تخریب فیزیکی موتور و پوسته‌ی آن، ایجاد لرزش، سروصدا، خرابی قطعات و آسیب به فیلتر و تجهیزات ابزار دقیق و... گردد.

## جمع بندی

کمپرسورها جزو تجهیزات حساس و گران قیمت در صنایع، بخصوص صنایع نفت و گاز هستند و لذا انتخاب آن‌ها باید با توجه به فشار مورد نیاز، محدوده شدت جریان، وزن مولکولی گاز، قیمت و دیگر شرایط کمپرسور، صورت گیرد تا در نهایت با توجه به راندمان کمپرسور انتخابی نتیجه مطلوبی حاصل شود.

## References:

۱. کاویانی، کمپرسورها، (۱۳۹۱): تهران، انتشارات نصیر بصیر.
۲. نصرآزادانی، مهدی، کمپرسورهای گریز از مرکز (۱۳۸۴): اصفهان: انتشارات شرکت پالایش نفت اصفهان.
3. Hanlon, pual.C. Compressor Handbook. New York: McGraw-Hill Book Co. (2004).
4. J. T. Gravdahl, O. Egeland, S. O. Vatland, «Drive torque actuation surge control of centrifugal compressor», Journal of engineering 2002.



# جہش تولید مساوی است با شکوفایی اقتصادی، رفح بیکاری، رفاه اجتماعی و عدم وابستگی کشور



# Journal of Farayand

Fourth year / No.10 / Spring 2020



Association of Arak University

 farayand96@gmail.com

 @ceoau