



# عنوان: معرفی آئروژل‌ها (AERO GELS)

نویسندگان : ۱- خدیجه حاجی بابایی      ۲- محسن سروری

# سیستم جامع آموزش فناوری نانو

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو در راستای تأمین نیازهای آموزشی دانش آموزان و دانشجویان مقاطع و رشته‌های مختلف و سایر علاقه‌مندان به علوم و فناوری نانو اقدام به تدوین سیستم جامع آموزش فناوری نانو نموده است. فایل حاضر، فایل ارائه مقاله ای است که در سایت آموزش فناوری نانو با جانمایی:

## دوره؛ نانو ساختارها

### درس؛ نانو ساختارهای متخلخل جلسه؛ چهارم

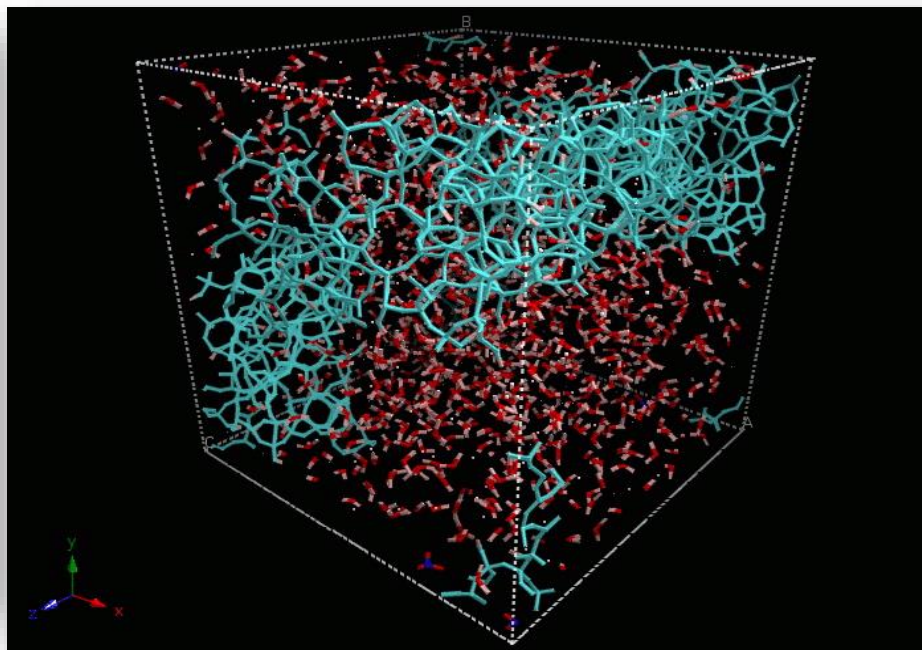
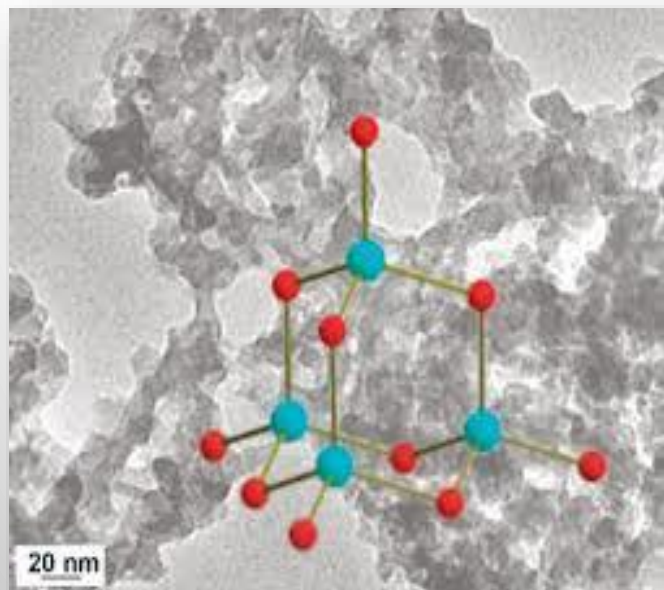
بارگذاری گردیده که به منظور کمک به یادگیری مطالب اصلی توسط کاربر و نیز روان شدن برگزاری کارگاه‌ها و سمینارهای آموزشی، طراحی شده که در اختیار علاقه‌مندان قرار گرفته است. استفاده از این فایل‌ها ضمن کمک به یادگیری بهتر مخاطبان، برگزاری سمینارها و کارگاه‌های تخصصی را برای نهادهای ترویجی آسانتر خواهد نمود.

# آئروژل

□ واژه آئروژل از دو کلمه هوا و ژل تشکیل شده است.

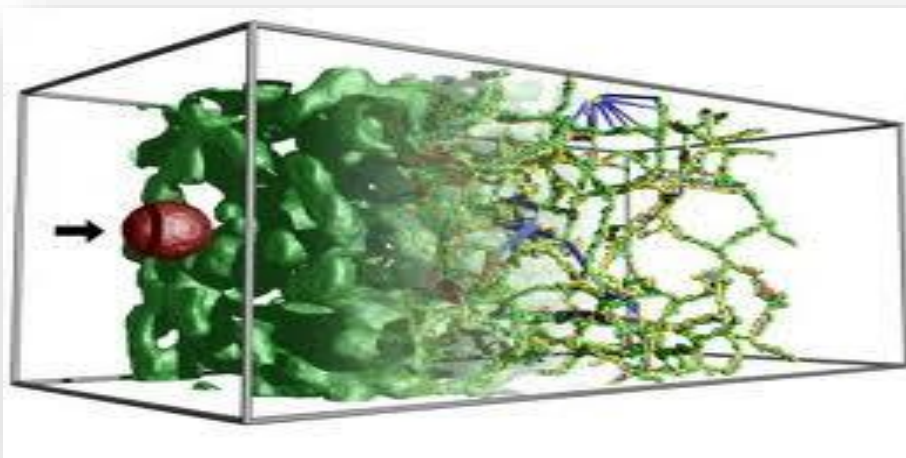
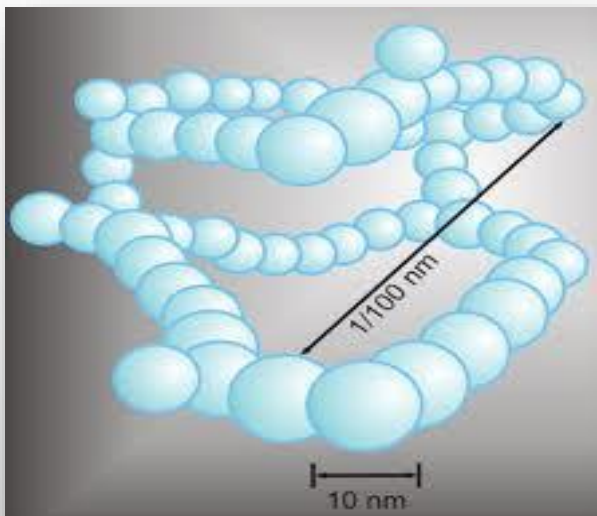
□ آئروژلها سبکترین و کم دانسیتهترین جامدهایی هستند که تاکنون شناخته شدهاند.

□ به طور عمده ۵۰-۹۹.۵ درصد حجم آنها را هوا تشکیل می دهد.



# آئروژل

- آئروژلها سطحی حدود  $250-3000$  مترمربع در هر گرم دارند، بطوریکه یک اینچ مکعب آن سطحی حدود یک زمین فوتبال دارد.
- در بسیاری مواد آئروژل، ساختارهایی بی شکل دارند که با روشهای مشخصه‌یابی X-Ray مشخص می‌شود.
- آئروژل اولین بار توسط استیون کیستلر در سال ۱۹۳۱ ساخته شد.



- اولین نوع آئروژلها از نوع سیلیکا آئروژلها بودند.

# خواص آئروژل‌ها

❑ خواص عایق بودن آئروژل‌ها:

❑ آئروژل‌ها بهترین مواد عایق حرارتی شناخته شده‌اند.

❑ آئروژل‌ها بسیار ترد هستند.

❑ می‌توانند بسیار شفاف ساخته شوند.

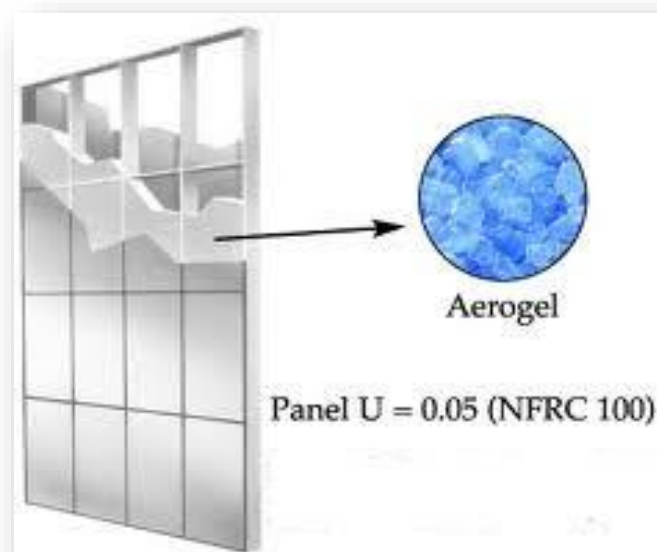


# خواص آئروژل‌ها

□ هدایت پایین آئروژل‌ها از بافت متخلخل آنها سرچشمه می‌گیرد.

□ سیلیکا آئروژل با دانسیته نزدیک ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب هدایتی حدود  $5 \text{ (mWm}^{-1}\text{K}^{-1})$  دارد.

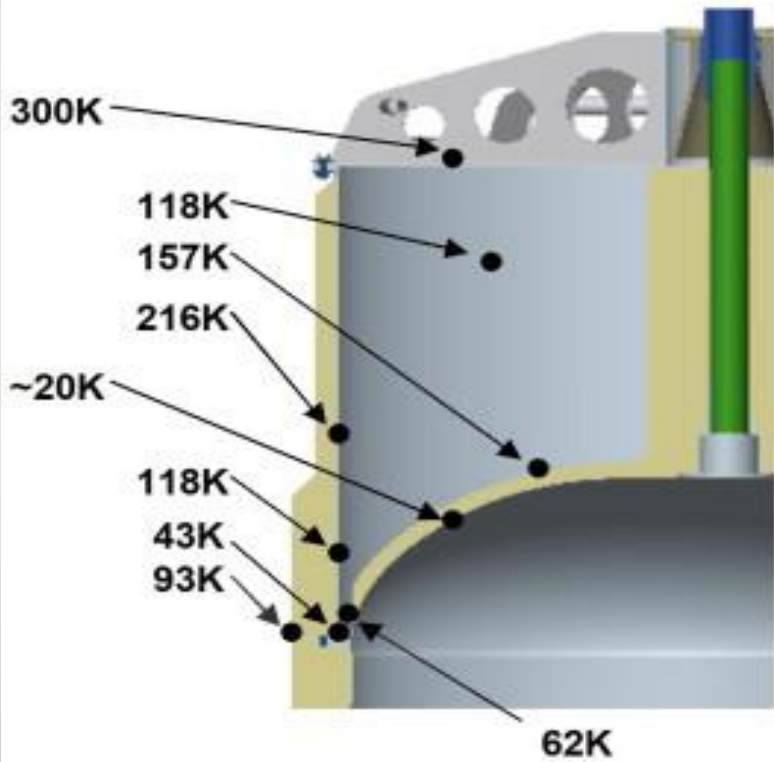
□ سیلیکا آئروژل در پنجره‌های عایق کاربرد دارد، مانع از ورود و خروج گرما می‌شوند.



# خواص آئروژل‌ها

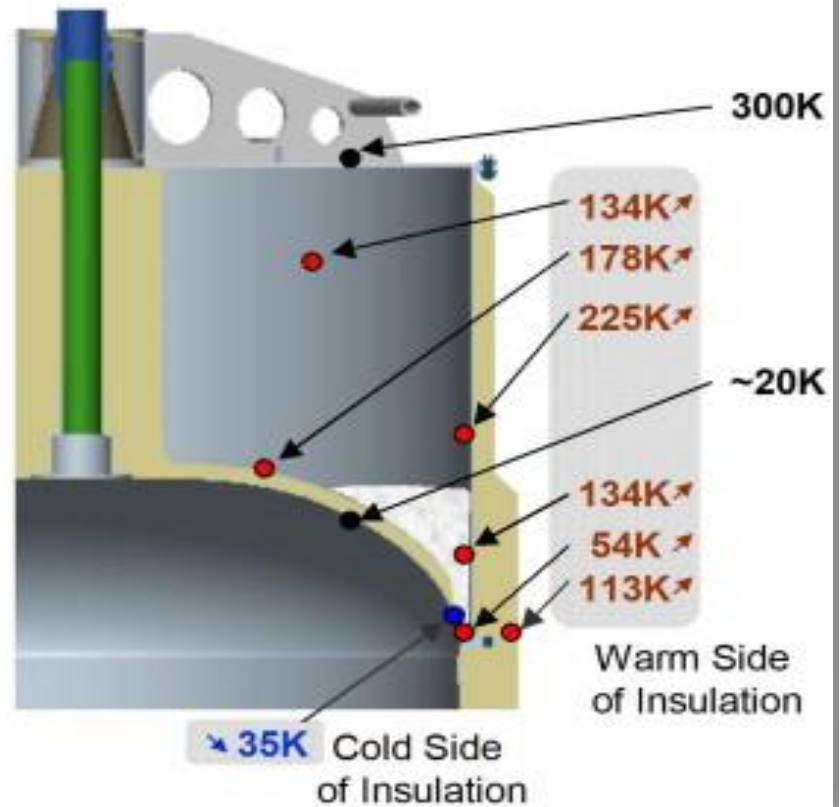
## Uninsulated

(Tests 7 and 8)



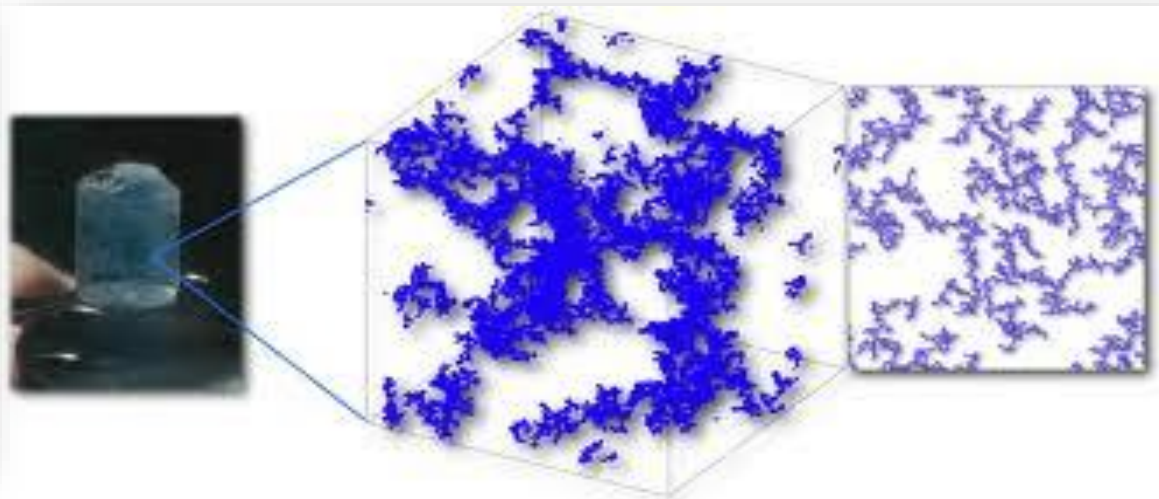
## 6" to 8" Aerogel Insulation

(Tests 6 and 10)



# خواص آئروژل‌ها

- شیمی یکپارچه آئروژل
- از نظر شیمی تقویت خواص فیزیکی سیلیکا آئروژل‌ها بدون از بین رفتن دیگر خواص آنها لازم و ضروری است.
- بویژه وقتی که از آئروژل در ابر عایق‌ها حرارتی و ... استفاده می‌شود.
- شفافیت سیلیکا آئروژل‌ها مزیت مهم آنها در کاربردهای مختلف است.





# خواص آئروژل‌ها

□ به منظور یکپارچگی آئروژل، دو فرایند قبل از خشکاندن آن صورت می‌گیرد:

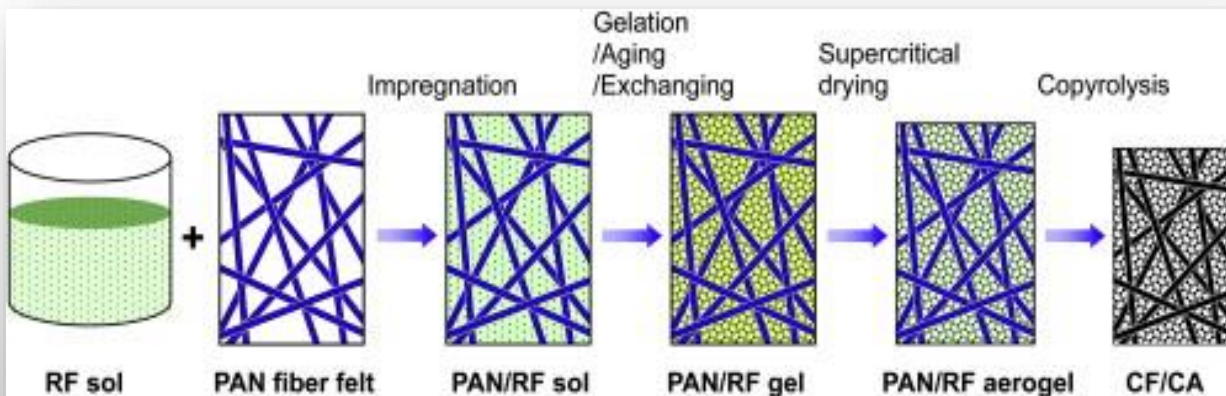
▪ شستن ژل مرطوب با محلول اتانول و آب

▪ مرحله پیرسازی (Aging)

▪ Aging، به معنای قرار دادن ژل شسته شده در تماس با محلول اتانولی است

که شامل پیش ماده سیلیکونی مثلاً تترا متیل ارتوسیلیکات است.

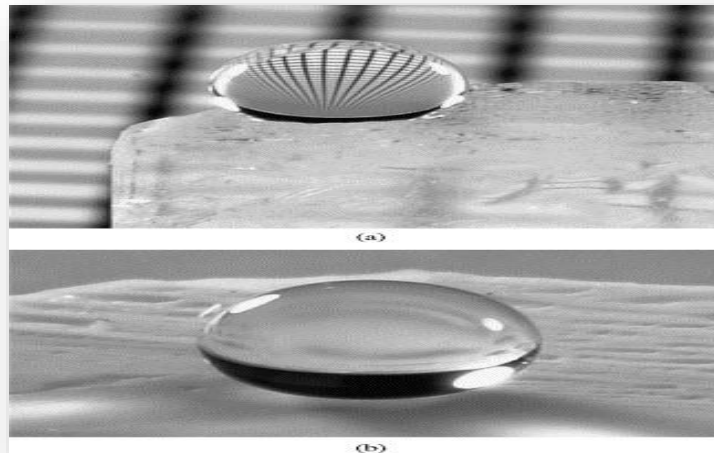
□ با این فرایندها بدون اینکه خواص تراوایی آئروژل از بین برود، سختی آن افزایش



می‌یابد.

# خواص آئروژل‌ها

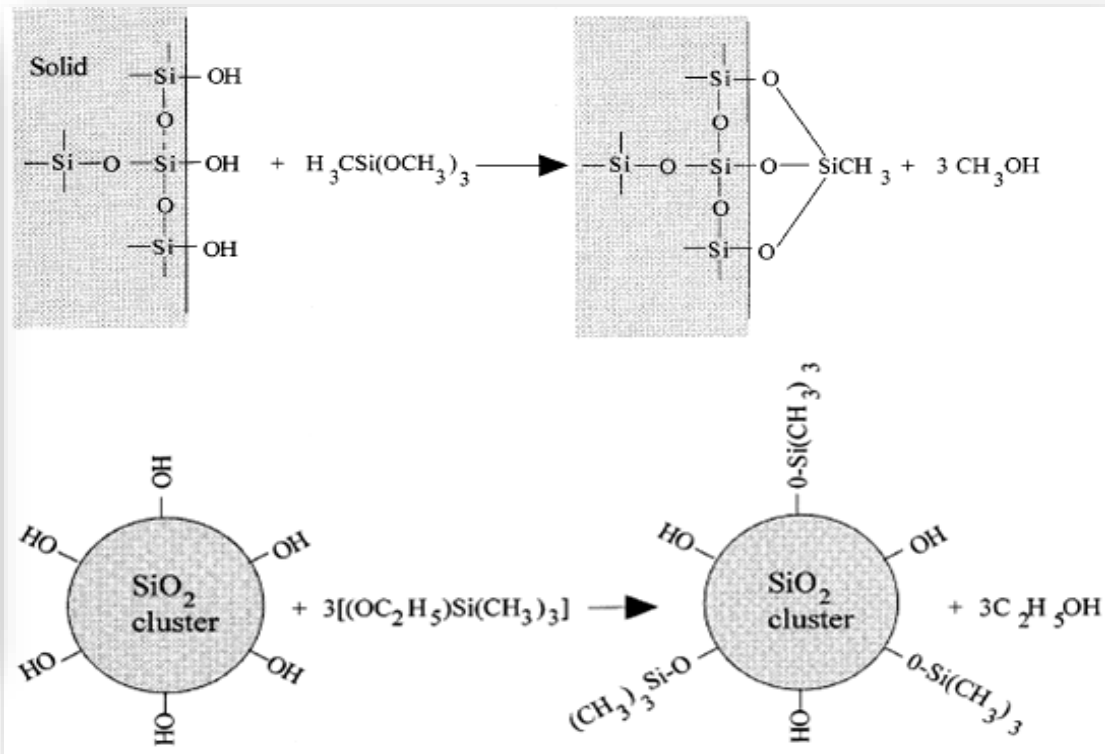
- ❑ شیمی آبگریزی آئروژل‌ها
- ❑ سیلیکا آئروژل واجد خواص آبگریزی (Hydrophobicity) زیادی است.
- ❑ ساختارهای آبگریز آئروژلی بوسیله Schwertfeger از متیل تری متوکسی سیلان و تترا متوکسی سیلان در شرایط بازی سنتز شده و در متانول فوق بحرانی خشک شدند.
- ❑ در این روش خشکاندن با حرارت بالا منجر به آب گریز شدن سطح آئروژل‌ها می‌شود.



# خواص آئروژل‌ها

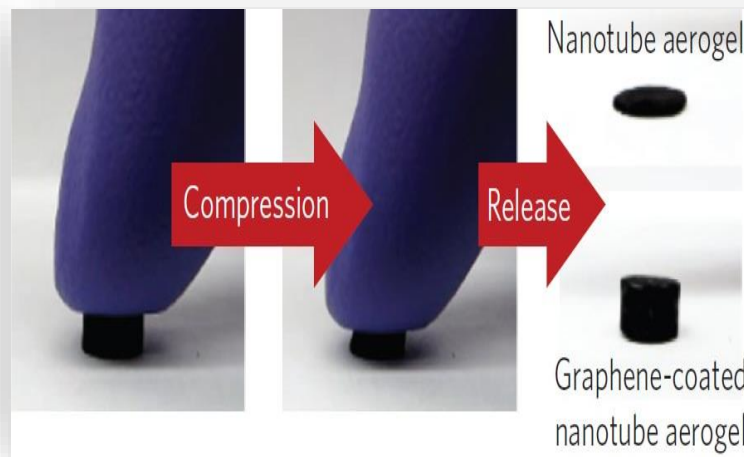
□ آئروژلهایی که از ۲۰ درصد متیل تری متوکسی سیلان تشکیل شده‌اند، روی آب شناور می‌مانند و بنابراین آبگریز هستند.

□ آبگریز کردن سیلیکا آئروژل بوسیله متیل تری متوکسی سیلان:



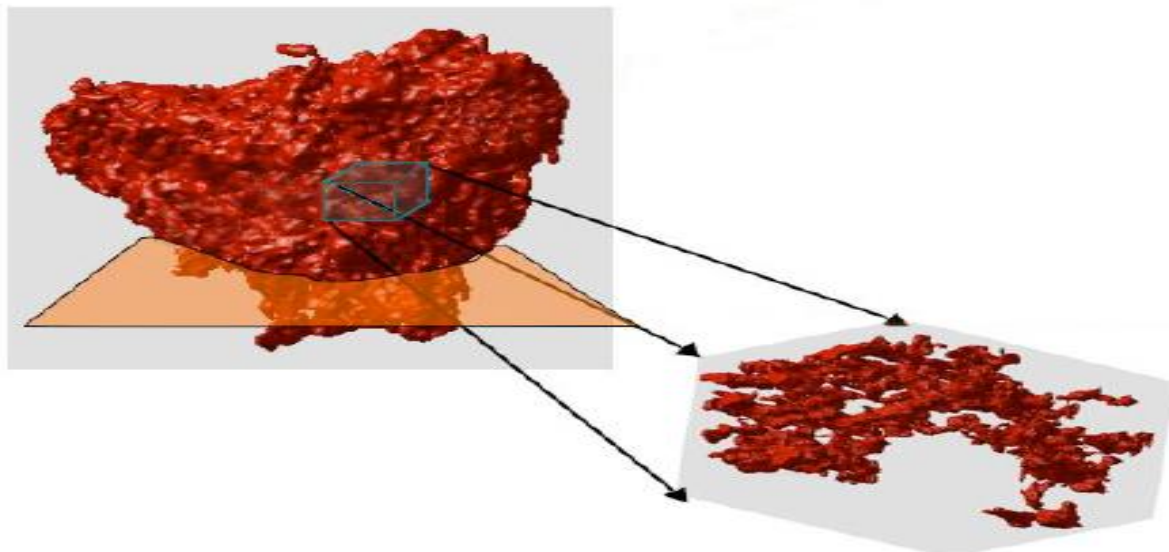
# خواص آئروژل‌ها

- خواص مکانیکی آئروژل‌ها
- از مشخصات بارز آئروژل‌ها، سبکی و شکنندگی آنهاست.
- با وجود سبکی و شکنندگی، این مواد به اندازه کافی محکم هستند و می‌توان آنها را با دست حمل کرد.
- قدرت فشردگی، قدرت کششی و الاستیسیته آنها بسیار پایین است.
- بزرگی این خواص وابسته به بهم پیوستگی شبکه آئروژل و دانسیته پایین آن است.



# خواص آئروژل‌ها

- طی فرایند پیرسازی (Aging)، ژل در محلولهای الکوکسید قرار می‌گیرد و از نظر شبکه محکمتر می‌شود.
- این فرایند، ژل‌ها را در مقابل فشار موئینگی مقاوم‌تر می‌سازد و خواص مکانیکی آنها را بهبود می‌بخشد.

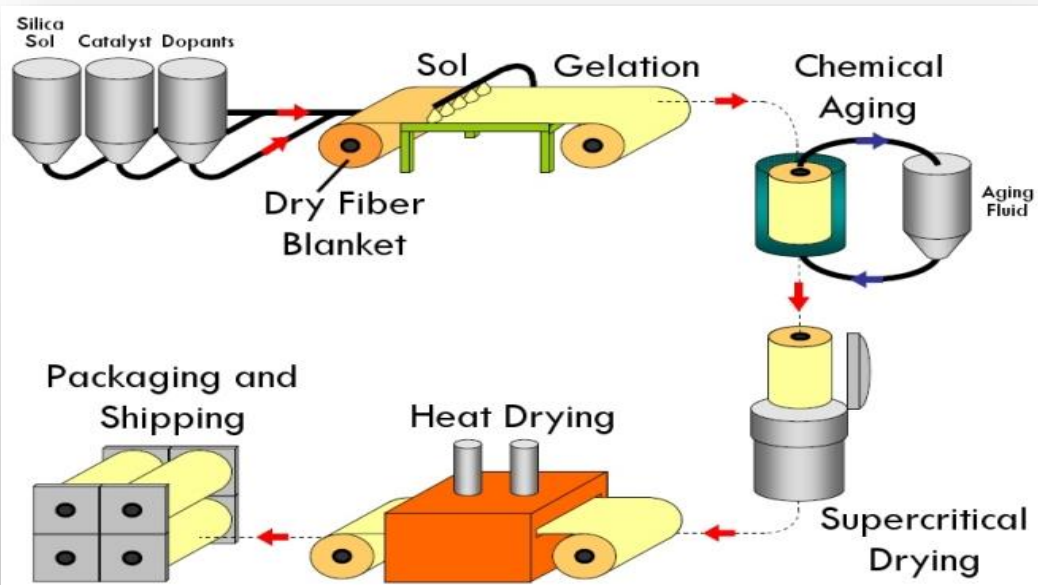


# روشهای ساخت آئروژل

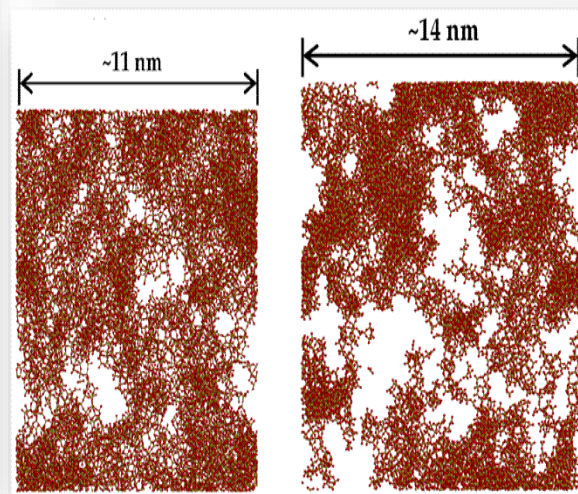
□ آئروژل ابتدا توسط واکنشهای پلیمریزاسیون ترکیبات مختلف، بصورت ژل تهیه می شود.

□ سپس این ژل مرطوب بوسیله روشهای مختلفی خشکانده می شود.

□ در نتیجه نمونه های خشک که موادی با بافت بسیار متخلخل و سبک هستند،



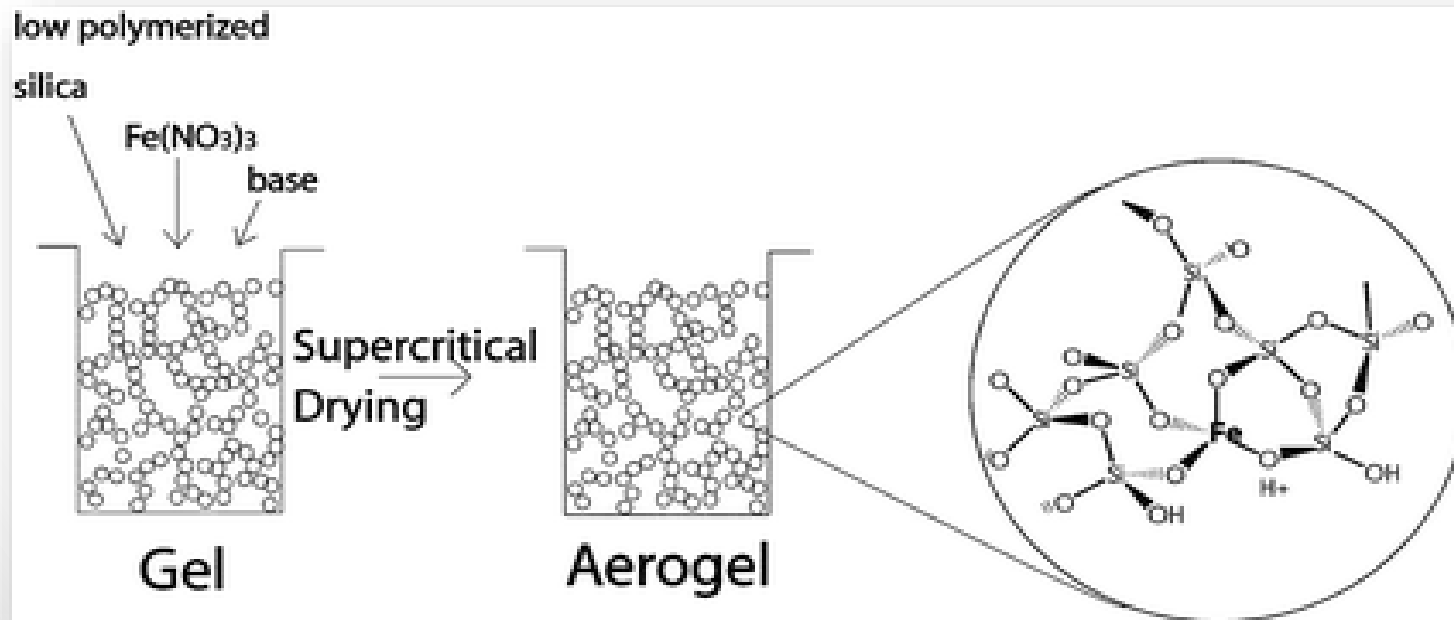
تولید می شوند.



# فرایند ساخت سل-ژل

□ در این فرایند که در حرارت پایین (معمولاً کمتر از  $100^{\circ}\text{C}$ ) و در مایع رخ می‌دهد، مواد جامدی بدست می‌آیند.

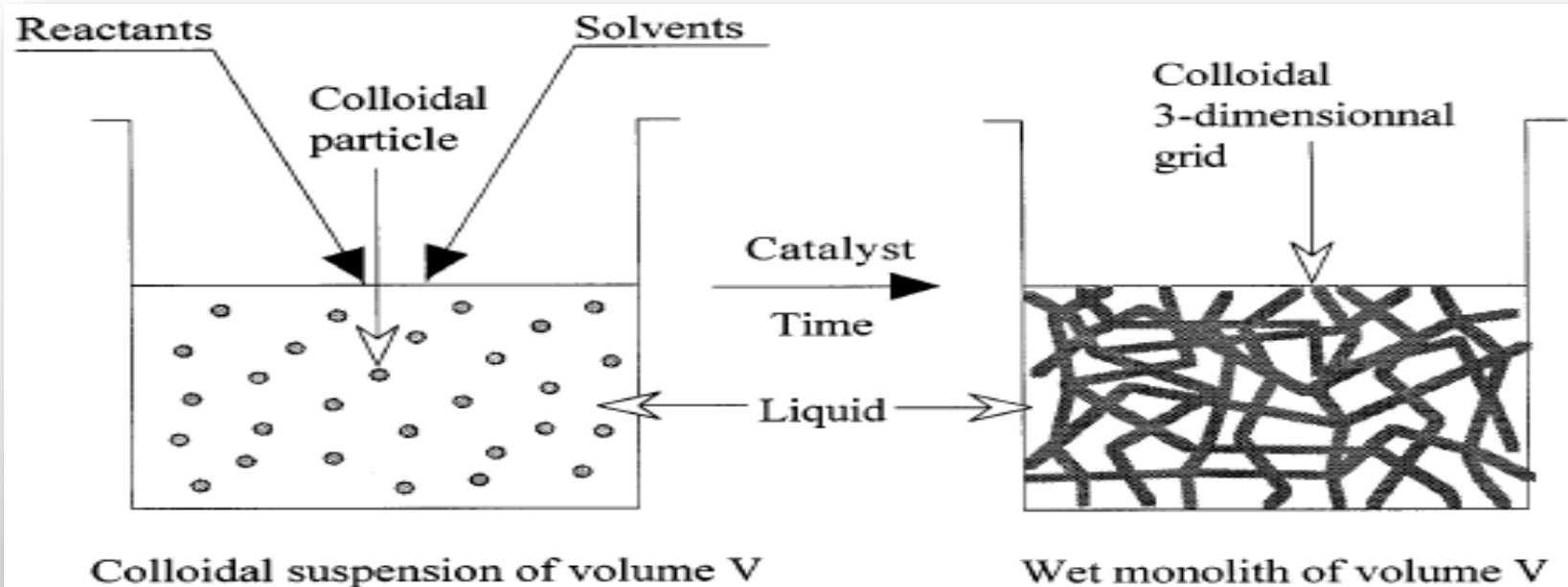
□ این مواد جامد در نتیجه فرایند پلیمریزه شدن که شامل برقراری پل‌های  $\text{M-OH}$ - $\text{M}$  یا  $\text{M-O-M}$  بین اتمهای فلز در مواد اولیه است، بوجود می‌آیند.



# فرایند ساخت سل-ژل

□ در اولین مرحله از این فرایند ذرات جامد کلوئیدی مستقل از هم بوجود می‌آیند که ابعاد آنها در حد نانومتر است.

□ در دومین مرحله این ذرات کلوئیدی در حالی که هنوز در حلال هستند، بهم پیوسته و تشکیل ژل می‌دهند.





# تبدیل ژل مرطوب به آئروژل

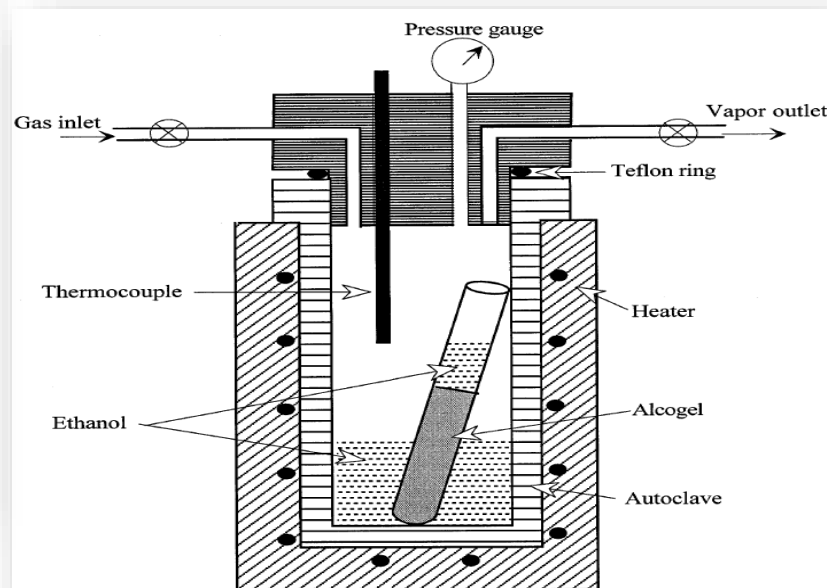
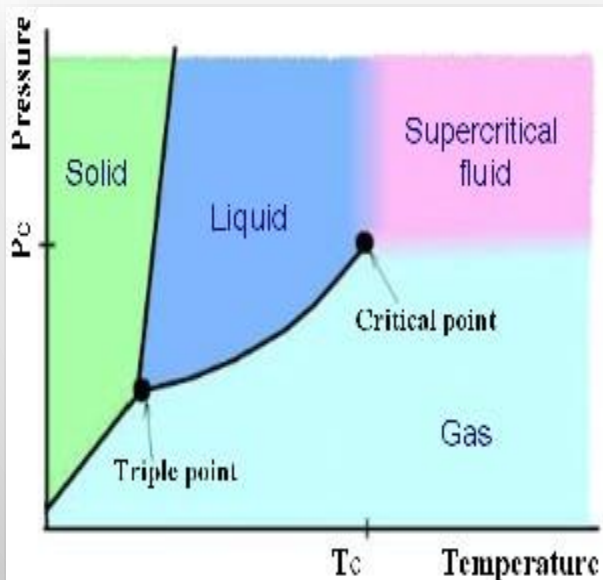
❑ خشکاندن به روش فوق بحرانی

❑ در این روش ژل مرطوب در فضایی بسته حرارت داده می‌شود.

❑ درجه حرارت و فشار این محیط برای مایعی که در خلل و فرج‌های ژل به دام افتاده

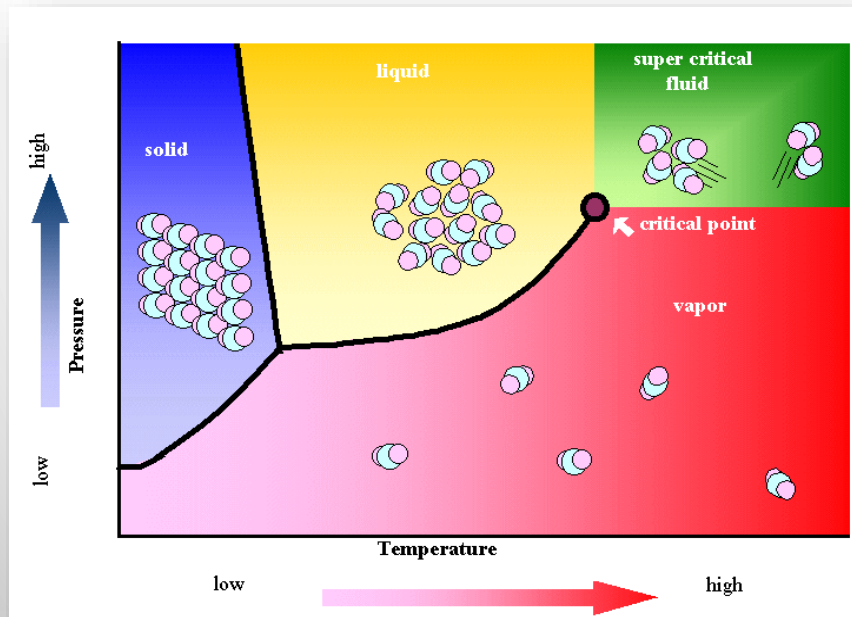
است، در ناحیه بحرانی است.

❑ در نتیجه حلال بصورت گاز خارج می‌شود.



# تبدیل ژل مرطوب به آئروژل

- حلال فوق بحرانی همزمان شبیه مایعات و گازها بوده، فشار و حرارت بالایی دارد.
- سیالهای فوق بحرانی مثل گازها پخش می‌شوند، اما دانسیته و هدایت گرمایی آنها شبیه مایعات است.
- حلال فوق بحرانی کشش سطحی کمی نسبت به مایع دارد.



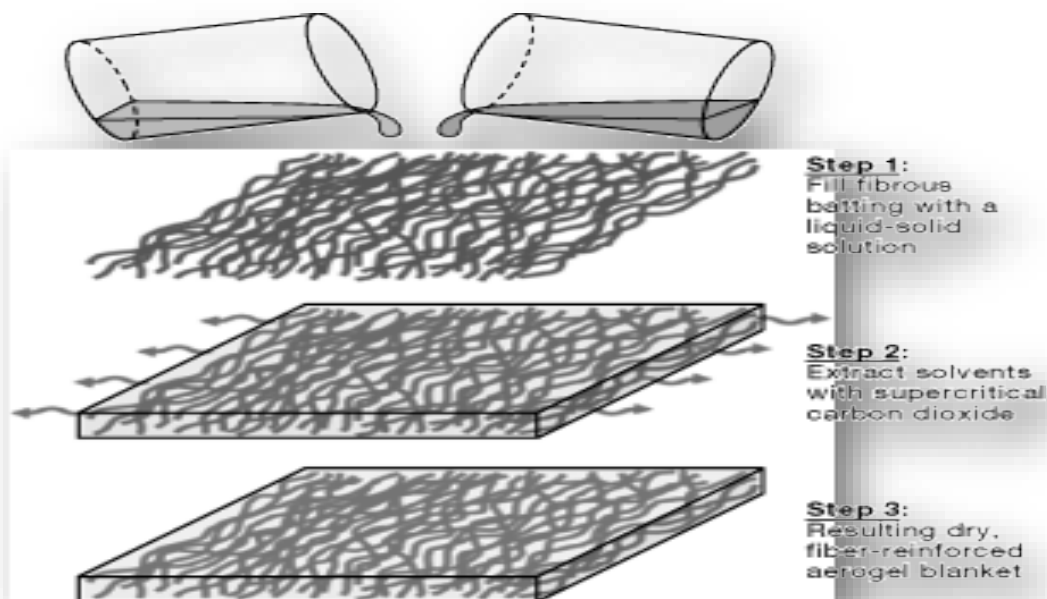
- این حالت باعث ..
- حفظ ساختار متخلخل آئروژل
- جلوگیری از فروپاشی ساختار آن در هنگام خشکاندن می‌شود.

# مشخصات سیالهای فوق بحرانی

fluid	$T_c$ (°C)	$P_c$ (MPa)
water	۳۷۴/۱	۲۲/۰۴
Carbon dioxide	۳۱/۰	۷/۳۷
Freon 16	۱۹/۷	۲/۹۷
acetone	۲۳۵/۰	۴/۶۶
Nitrous oxide	۳۶/۴	۷/۲۴
methanol	۲۳۹/۴	۸/۰۹
ethanol	۲۴۳	۶/۳

# تبدیل ژل مرطوب به آئروژل

- دیگر تکنیکهای خشک کردن
- ژلهای آلی مرطوبی را، که در حلالهای آلی ساخته شدهاند، می توان بوسیله تبخیر حلال در فشار محیط با یک انقباض ملایم خشک کرد.
- برای کاهش فشار موئینگی به سیستم، سورفکتانت افزوده می شود.

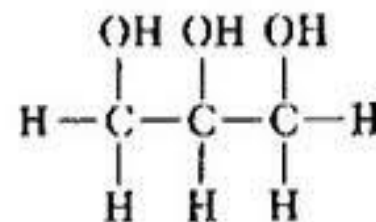
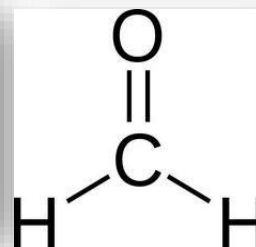
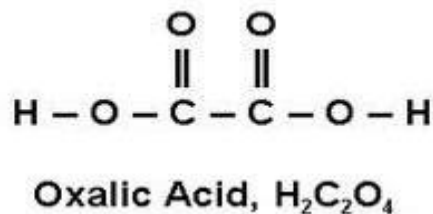
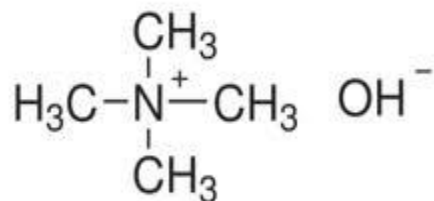


# تبدیل ژل مرطوب به آئروژل

□ روشهای دیگر خشک کردن:

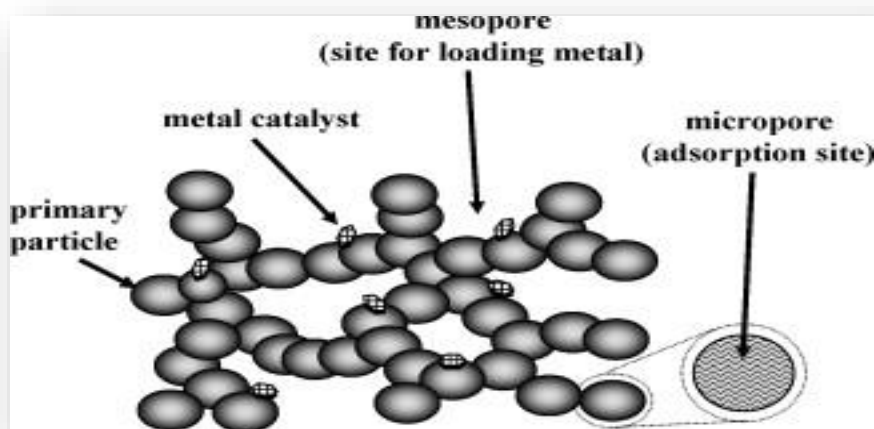
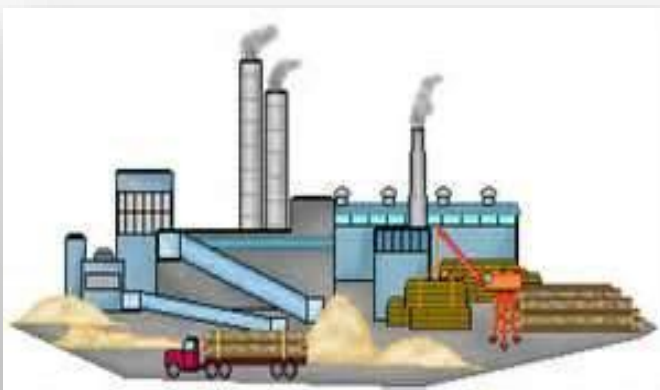
▪ استفاده از افزودنی‌های شیمیایی کنترل کننده خشک کردن از قبیل...

▪ گلیسرول، فرمالدهید، اگزالیک اسید و تترامتیل آمونیوم هیدروکسید



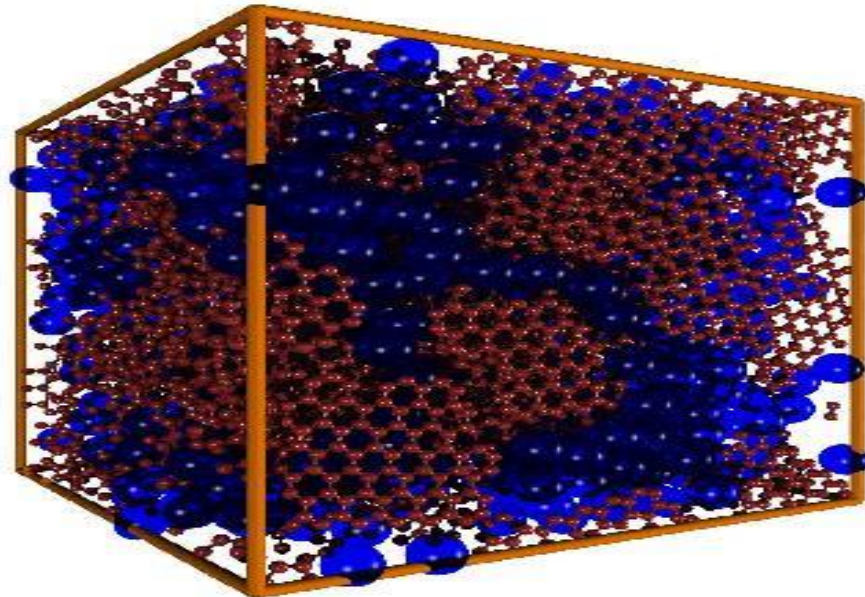
# تبدیل ژل مرطوب به آئروژل

- روشهایی که در مقیاس صنعتی استفاده می‌شوند و شامل خشک کردن در فشار محیط است.
- خشک کردن انجمادی:
- در این روش ابتدا مایع درون ژل، منجمد شده و سپس بوسیله تصعید خشکانده می‌شود.
- موادی که به این ترتیب بدست می‌آیند، کریوژل (Cryogel) نامیده می‌شوند.

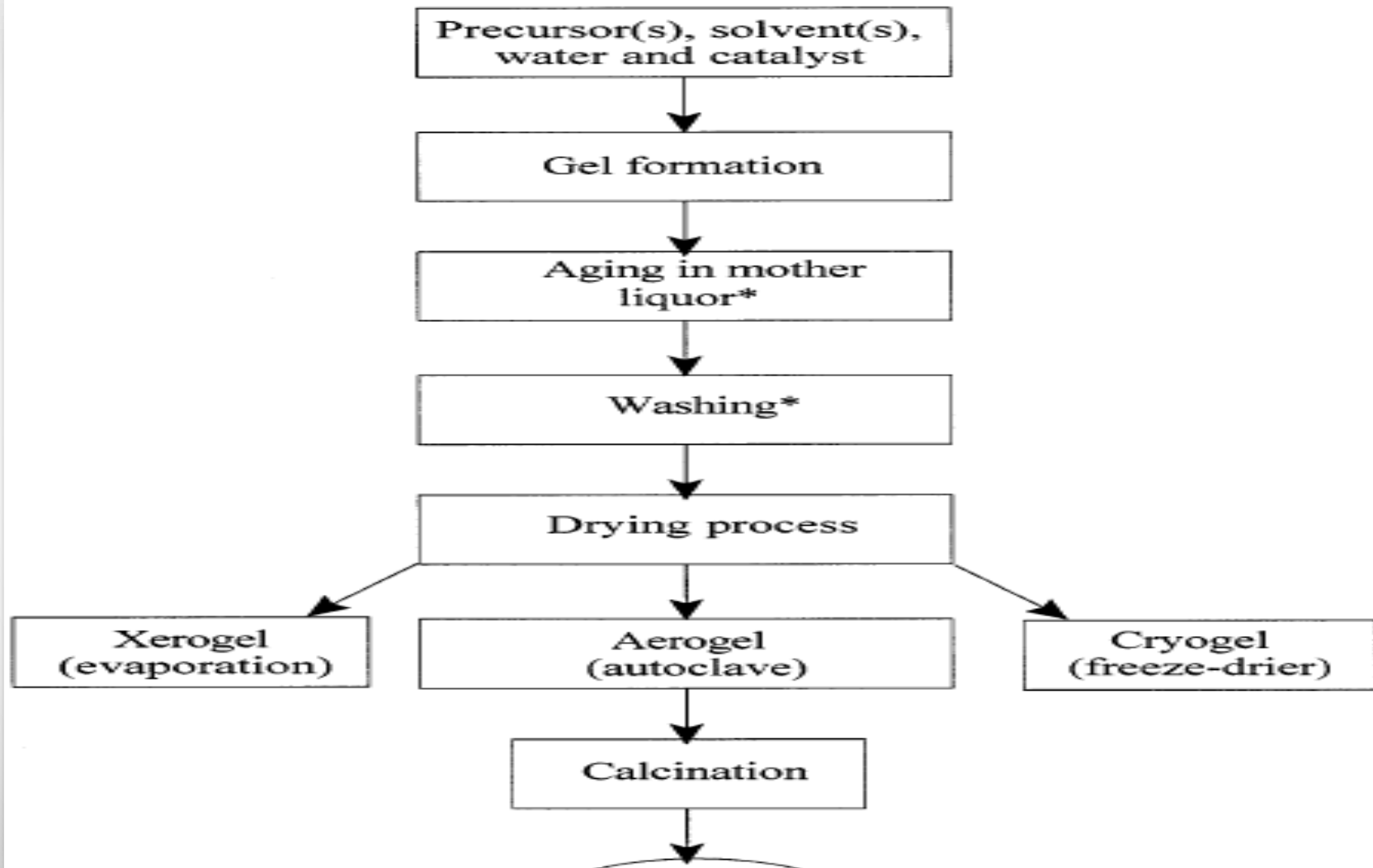


# تبدیل ژل مرطوب به آئروژل

- زیروژلها (Xerogel) ترکیباتی هستند که در شرایط معمول خشک شده‌اند.
- این مواد با آئروژلها تفاوت چندانی ندارند، فقط آئروژلها به این دلیل که به روش فوق بحرانی خشک می‌شوند، حفرات بیشتر و بزرگتری دارند.
- ساخت و بافت آئروژلها آنها را برای بسیاری کاربردها مناسب می‌سازد.



# مراحل انجام شده برای تهیه آئروژل





# انواع آئروژل

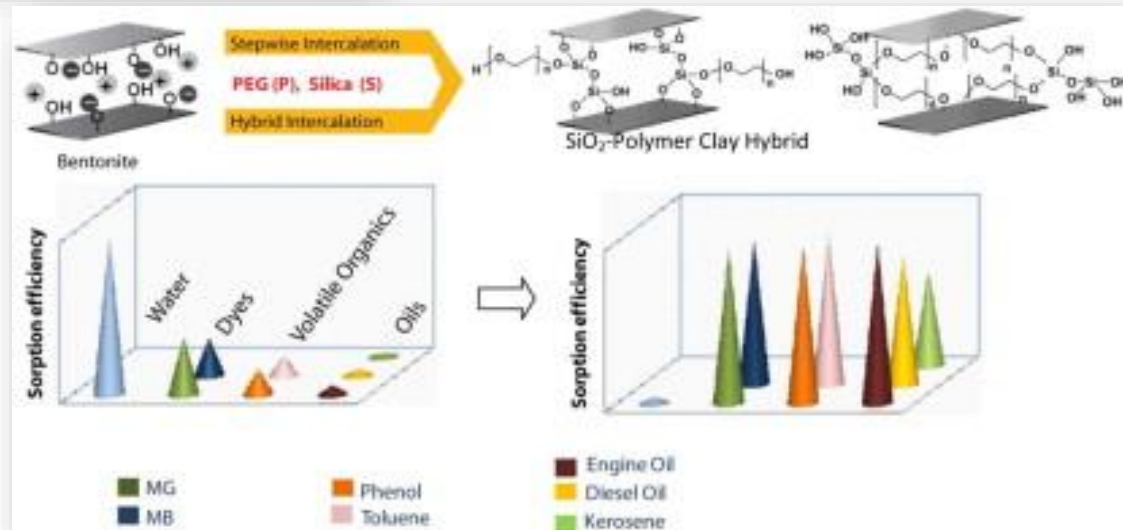
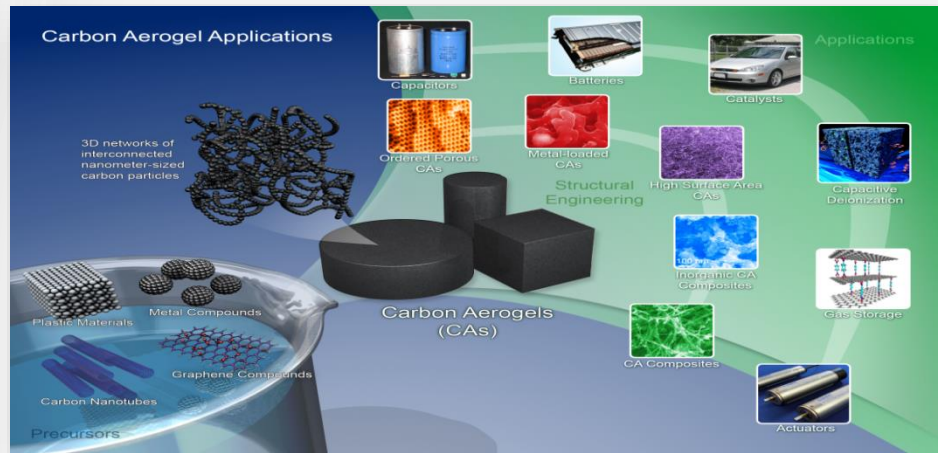
□ آئروژل‌های معدنی که شامل موارد زیر است:

▪ سیلیکا آئروژل

▪ آلومینا آئروژل

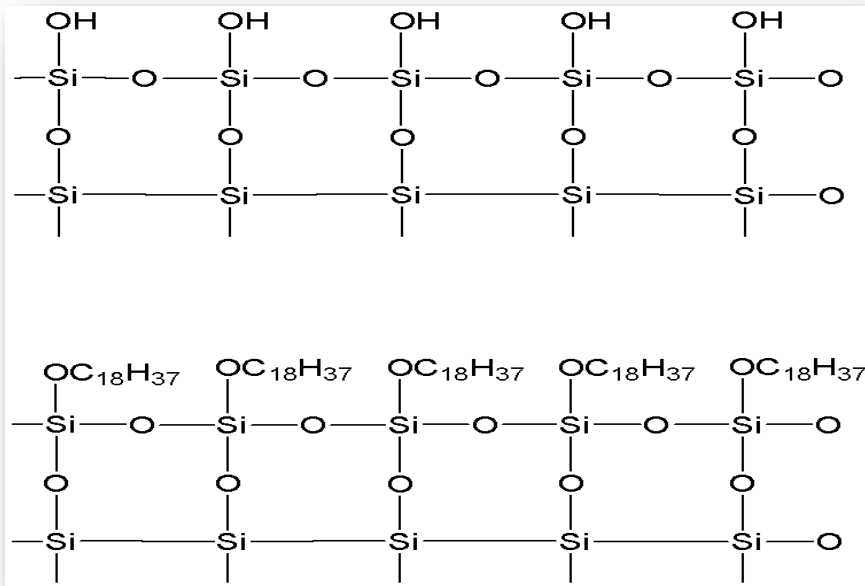
□ آئروژل‌های آلی

□ کربن آئروژل‌ها

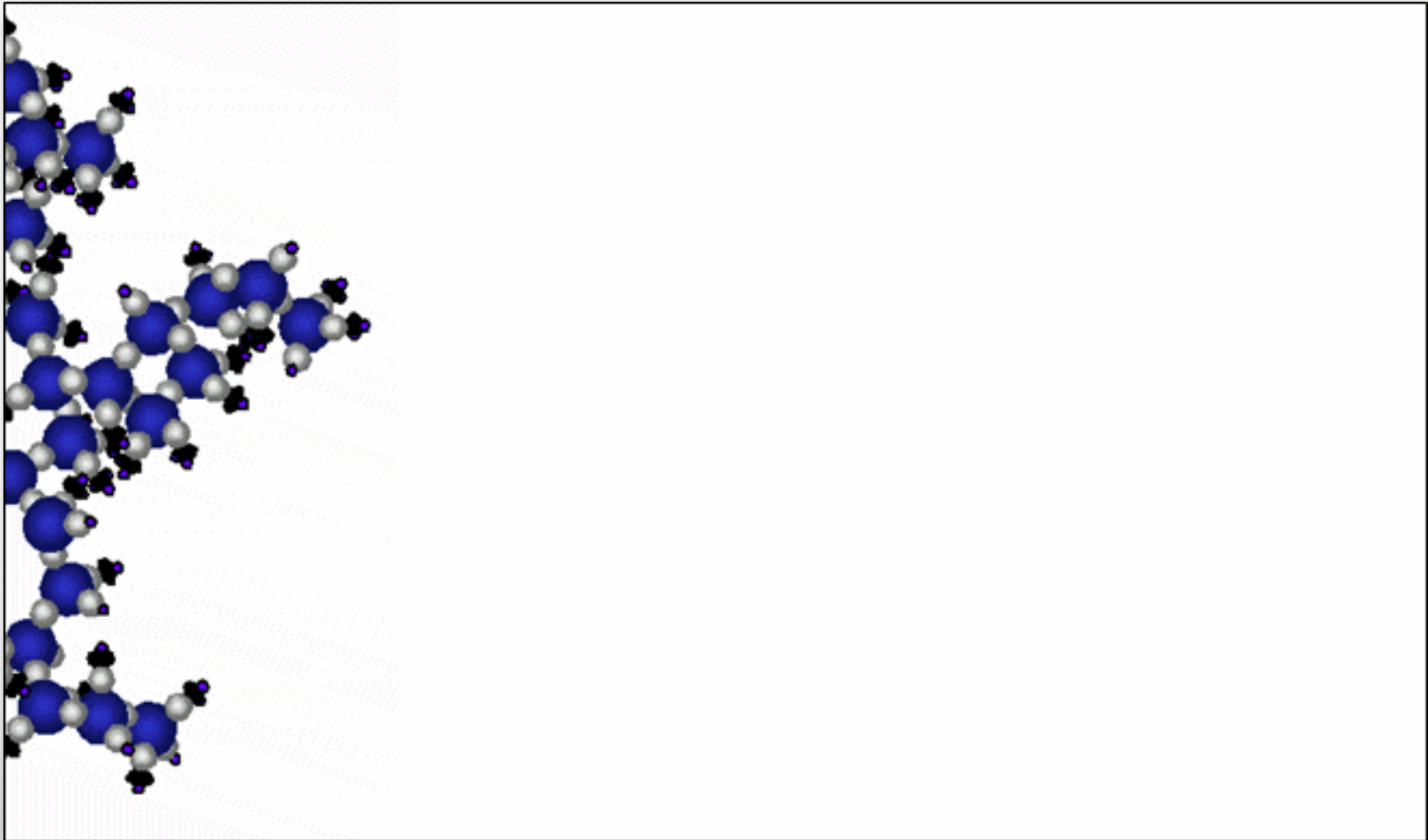


# آئروژل‌های معدنی

- اولین ژل‌های معدنی که در شرایط اسیدی سنتز شدند، سیلیکاژل‌ها بودند.
- سیلیکاژل بوسیله ایلمین در سال ۱۸۴۶ تهیه شد.
- ژل‌های طبیعی با ماهیت آلی در دنیای امروز معمولترند.
- تقریباً همه فلزات یا اکسیدهای نیمه‌هادی می‌توانند به فرم ژل تبدیل شوند.



# آئروژل‌های معدنی



# آئروژل‌های معدنی

□ علاوه بر آئروژل سیلیکا، آئروژل معدنی بر پایه فلزات زیر سنتز می‌شود:

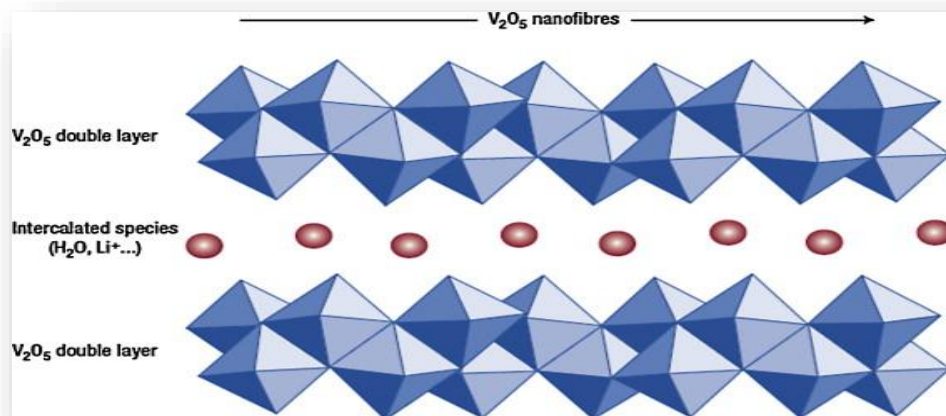
▪ تیتانیوم، زیرکونیوم، قلع، آلومینیوم، وانادیم، کروم، آهن، تانتالیم، مولیبدن،

و نئوبیوم (Nb)

□ آئروژل اکسید دوتایی یا سه تایی نیز ساخته شده‌اند.

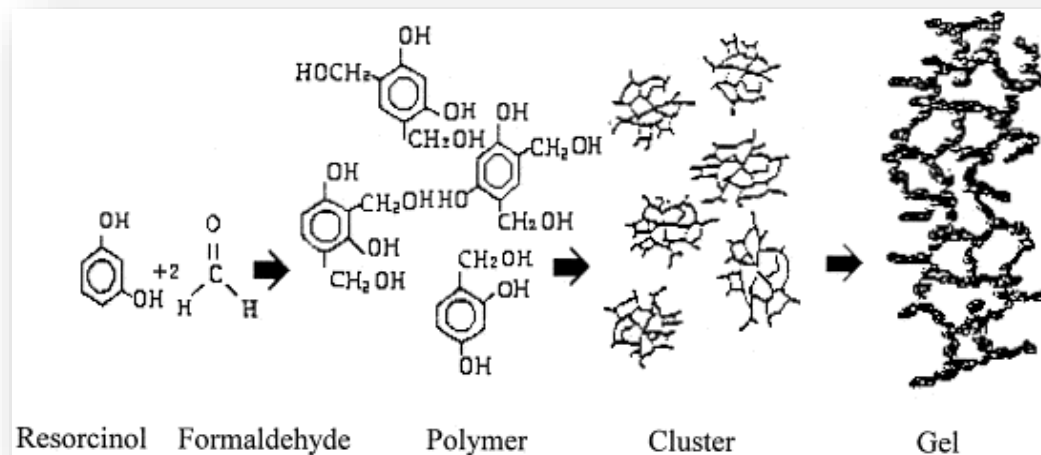
▪ یکی از معایب این ترکیبات شکننده بودن آنها است.

▪ این شکنندگی به دلیل طبیعت سرامیکی آنها است.



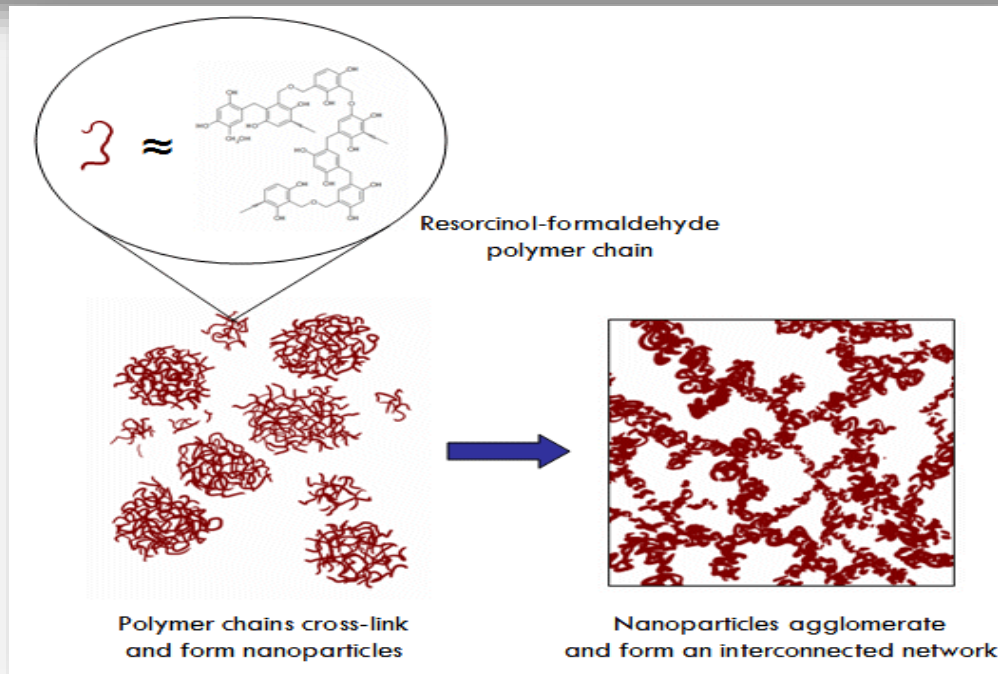
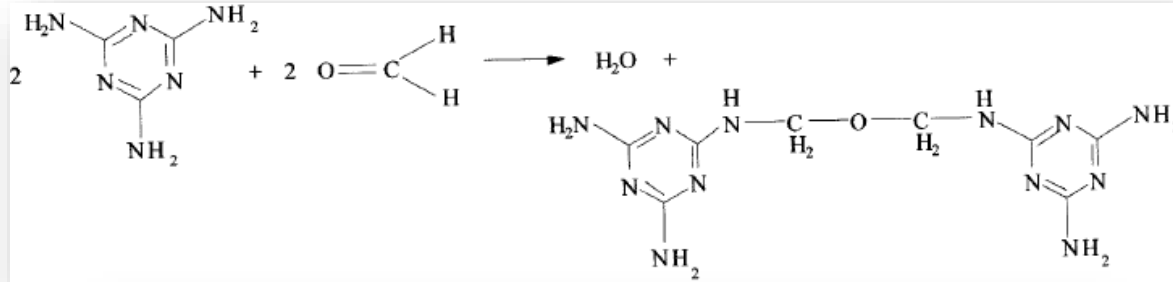
# آئروژل‌های آلی

- پیش ماده‌های آلی که می‌توانند پلیمرهای آلی با پیوند کوالانسی قوی (C-C) تولید کنند، سنتز دسته جدیدی از آئروژل‌ها یکپارچه را ممکن ساخته است.
- بیشترین موادی که برای تهیه این آئروژل‌ها استفاده می‌شوند...
  - رزورسینول-فرمالدهید یا ملامین-فرمالدهید هستند.
- این آئروژل‌ها از تراکم (Condensation) رزورسینول یا ملامین یا فرمالدهید در محلول آبی قلیایی تهیه می‌شوند.



# آئروژل‌های آلی

واکنش تراکم ملامین با فرمالدهید به این صورت است: □



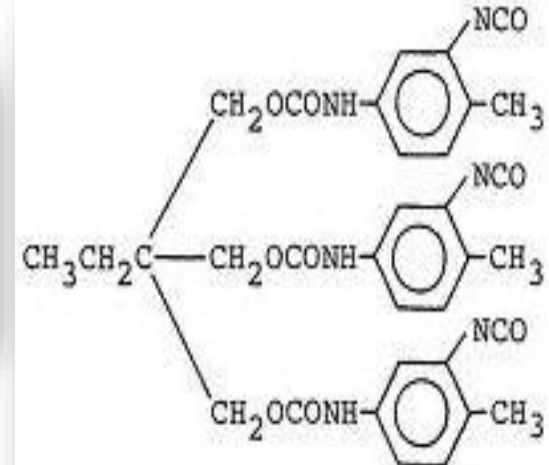
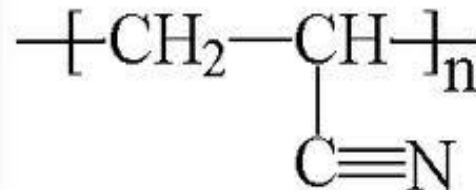
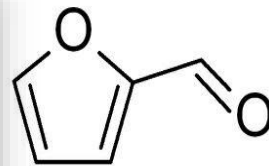
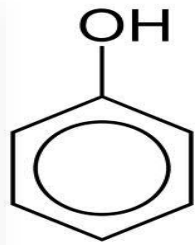
# آئروژل‌های آلی

□ دیگر مواد مورد استفاده در، سنتز آئروژل‌های آلی:

▪ فنول و فورفورال مخلوط شده با پلی دی متیل سیلوکسان

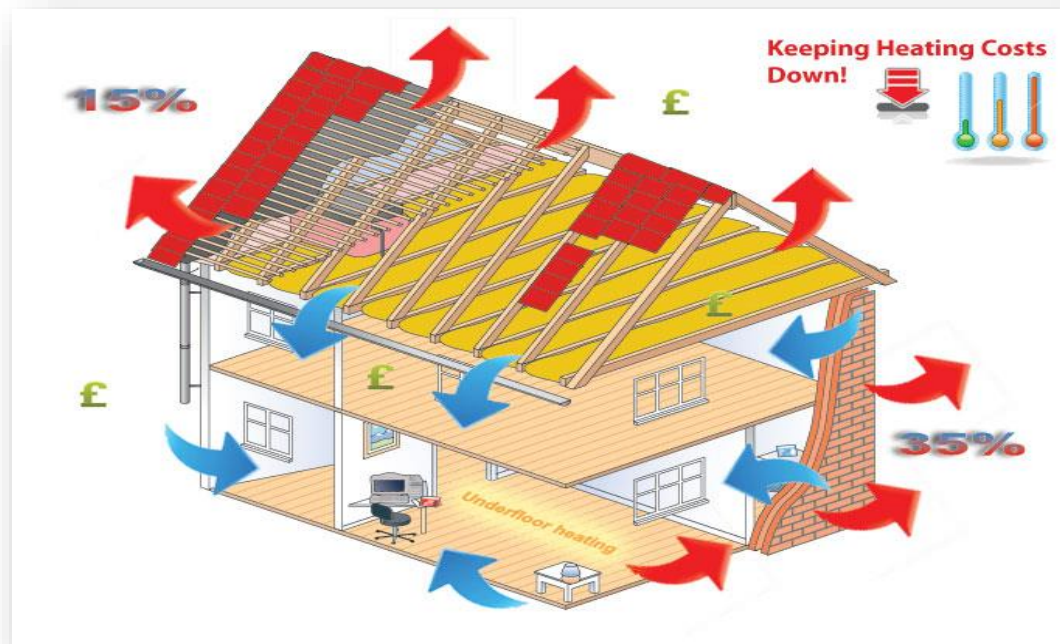
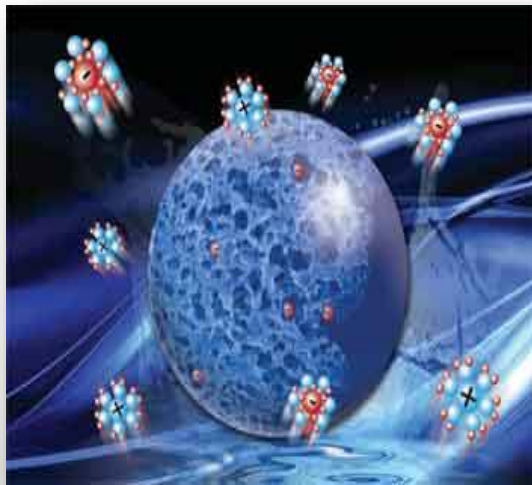
▪ پلی آکریلو نیتریل

▪ پلی ایزوسیانات‌ها



# آئروژل‌های آلی

- آئروژل‌های آلی کاربردهای بسیار سودمندی دارند.
- آنها می‌توانند با پلی اورتان بهم پیوسته، به پلی اوره و ... تبدیل شوند.
- از این آئروژلها در مواد عایق هم در خلا و هم در شرایط محیط استفاده می‌شود.
- این آئروژلها شفاف نیستند اما عایق‌های حرارتی خوبی هستند.





# آئروژل‌های آلی

۰/۱-۰/۶	دانسته (گرم بر سانتیمتر مکعب)
۴۰۰-۱۰۰۰	مساحت سطح (متر مکعب بر گرم)
۴-۳۰	متوسط سایز حفره‌ها (نانومتر)

# آئروژل‌های کربن

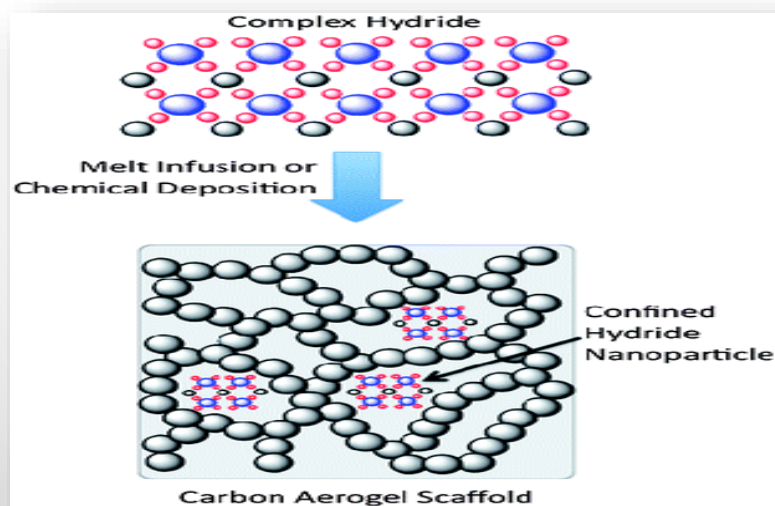
□ کربن آئروژل‌ها اولین بار در سال ۱۹۹۰ ساخته شدند.

□ این آئروژل‌ها اغلب از گرماکافت (Pyrolysis) آئروژل‌های آلی در درجه حرارت‌های بالاتر از  $500^{\circ}\text{C}$  بدست می‌آیند.

□ با این روش، آئروژل‌های آلی به شبکه کربن هادی الکتریسته تبدیل می‌شوند.

□ کربن آئروژل بدست آمده در طول گرماکافت، مساحت سطح و حجم بالای خلل و

فرج‌های خود را حفظ می‌کنند.



# آئروژل‌های کربن

□ طی پیرولیز در دمای زیر  $1000^{\circ}\text{C}$ ، تعداد میکروپورها بسیار افزایش می‌یابد.

▪ بزرگترین مساحت سطح در حدود دمای  $600^{\circ}\text{C}$  بدست می‌آید.

□ در دمای بالاتر از  $2100^{\circ}\text{C}$  حجم حفرات به صفر می‌رسد، که بیانگر تشکیل حفرات بسته است.



# آئروژل‌های کربن

□ کربن آئروژل‌ها به شکل‌های متفاوتی می‌توانند ایجاد شوند:



▪ به شکل یکپارچه

▪ به شکل پودر

▪ به شکل فیلم

▪ به شکل دانه دانه

□ کربن آئروژل‌های قرارداده شده (Supported) روی سطح پلاتین هم تولید

شده‌اند که در تهیه الکتروود در پیل سوختی کاربرد دارند.



# ویژگی‌های کربن آنروزل

۰/۱-۰/۶	دانسته (گرم بر سانتیمتر مکعب)
۴۰۰-۱۰۰۰	مساحت سطح (متر مکعب بر گرم)
۴-۳۰	متوسط سایز حفره‌ها (نانومتر)
۱-۱۰	هدایت الکتریکی

# ویژگیهای کربن آتروژلهای ساپورت شده روی پلاتین

۰/۱ - ۰/۶	دانسته (گرم بر سانتیمتر مکعب)
۴۰۰ - ۱۰۰۰	مساحت سطح (متر مکعب بر گرم)
۴ - ۳۰	متوسط سایز حفرهها (نانومتر)
۱ - ۱۰	هدایت الکتریکی
۱-۵۰	مقدار پلاتین

# آئروژل‌های هیبریدی

- آئروژل‌های هیبریدی ترکیبی از مواد آلی - معدنی هستند.
- وارد کردن ساختار آلی به زمینه سیلیکا آئروژل باعث بهبود خواص آبگریزی و الاستیکی آن می‌شود.
- سنتز این قبیل هیبریدها غالباً از طریق سل-ژل است.
- آئروژل‌های یکپارچه آلی در دمای اتاق هدایت گرمایی به بزرگی سیلیکا آئروژل دارند.
- مزیت مهم آئروژل‌های هیبریدی در مقایسه با سیلیکا آئروژلها این است که شکنندگی کمتری دارند.

# معرفی کاربردهای آئروژل

□ ساختار نانو و درجه تخلخل بالای آئروژل باعث القا خصوصیت بسیار جالبی می شود که کاربردهای ویژه ای به آن می بخشند.

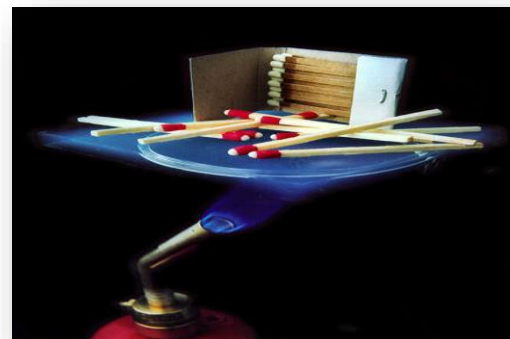
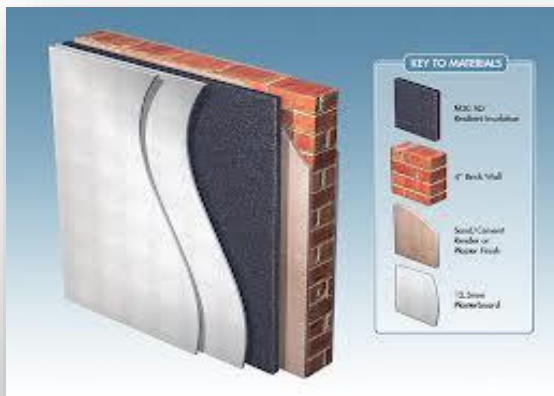
□ کاربردهای زیر از جمله کاربردهای برجسته و ویژه آئروژل است:

□ استفاده به عنوان عایق حرارتی

▪ سیلیکا آئروژل خاصیت عایق حرارتی و گرمایی بسیار خوبی دارد.

▪ عایق حرارتی آئروژل نسبت به عایق های دیگر مثل پلی استایرن منبسط شده

کارآیی بهتری دارد.

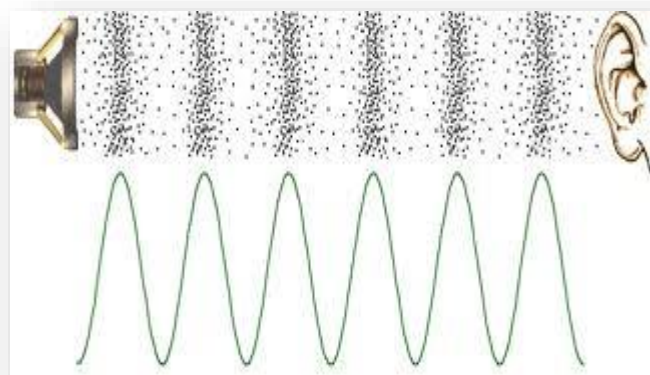




# معرفی کاربردهای آئروژل

□ استفاده به عنوان عایق صوتی

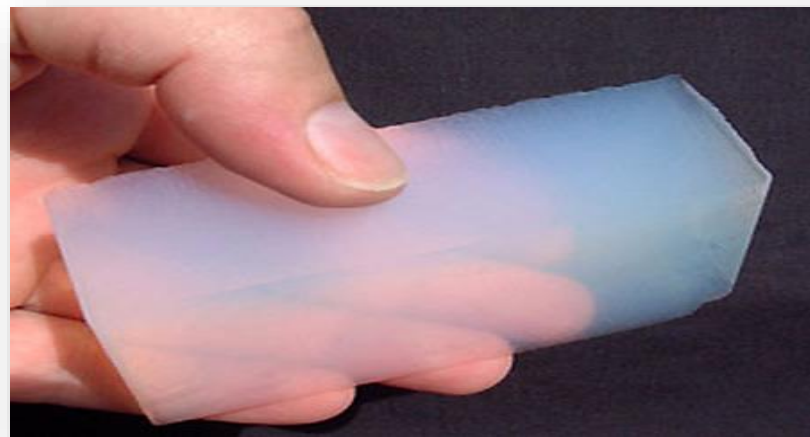
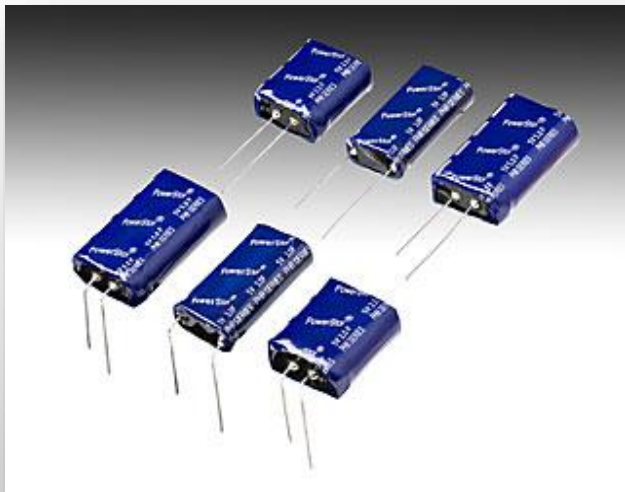
- آئروژل عایق صوتی بسیار خوبی است.
- انتقال صوت در آئروژل به نوع گاز درون شبکه‌ای، دانسیته و به طور عمده به بافت ماده اولیه بستگی دارد.



# معرفی کاربردهای آئروژل

□ استفاده در الکترونیک و تجهیزات انرژی

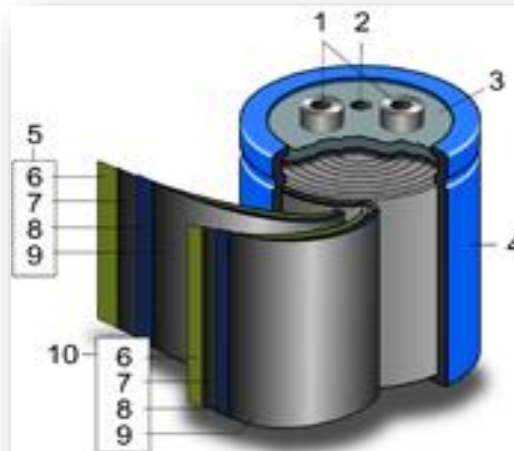
- استفاده در باتری‌ها
- به دلیل تخلخل بالای اکسید آئروژل، بسیاری از یونهای کوچک را می‌توان در شبکه آنها جای داد.
- این دسته از آئروژلها عایقهای حرارتی خوبی هستند که می‌توانند در باتری‌های الکتریکی با حرارت بالا استفاده شوند.



# معرفی کاربردهای آئروژل

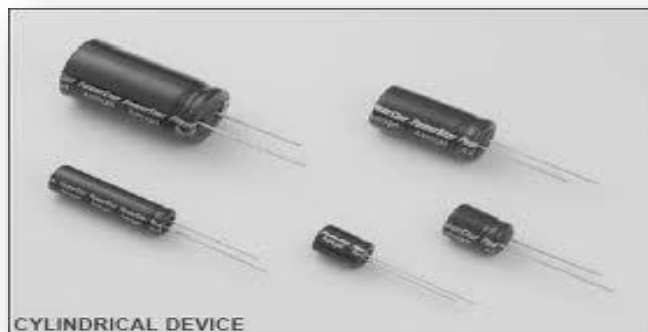
## □ الکترو خازن

- آئروژل به عنوان الکترو دولا یه ای (Double Layer) در ابر خازن ها کاربرد دارند.
- آئروژل مقاومت الکتریکی کمی در حد  $10^{-3}$  اهم دارد.
- ظرفیت ویژه کربن آئروژل های مشتق شده از آئروژل های رزورسینول- فرمالدهید حدود ۴۵ فاراد بر گرم در هر الکترو لیت آبی است.



# معرفی کاربردهای آئروژل

- استفاده در صفحه نمایش
- آئروژل بر پایه مغناطیس شفاف می تواند...
- در ساخت حافظه‌های غیرفعال یا در ساخت صفحه نمایش‌های تخت که پیکسل آنها به صورت مغناطیستی کنترل شوند، استفاده شود.
- به عنوان نیمه‌هادی
- برخی از آئروژل‌ها مخصوصاً آئروژل‌هایی از نوع کامپوزیت‌های فلزی-کالکوزید در صنعت نیمه‌هادی دارای کاربرد هستند.



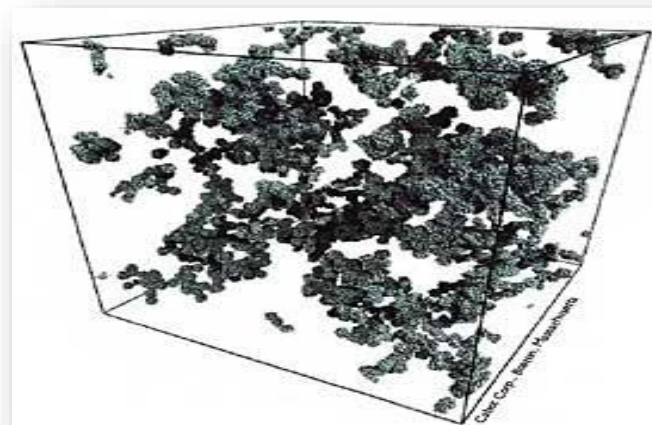
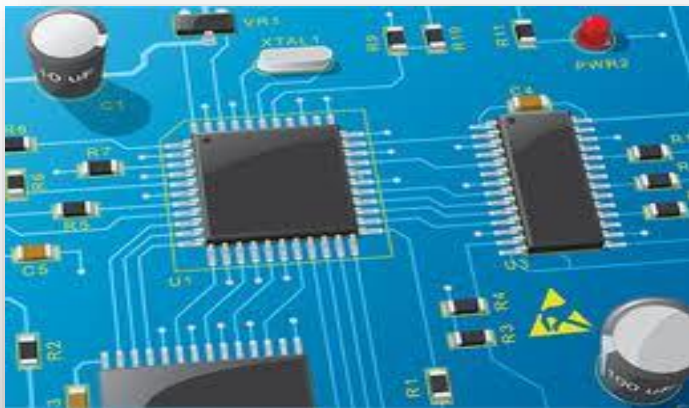
# معرفی کاربردهای آئروژل

## □ مواد دی الکتریک

- فیلم نازک سیلیکا آئروژل به عنوان مواد با ثابت دی الکتریک بسیار کم شناخته شده است که کاربرد آن در مدار مجتمع بسیار بزرگ است.

## □ ذخیره کننده انرژی

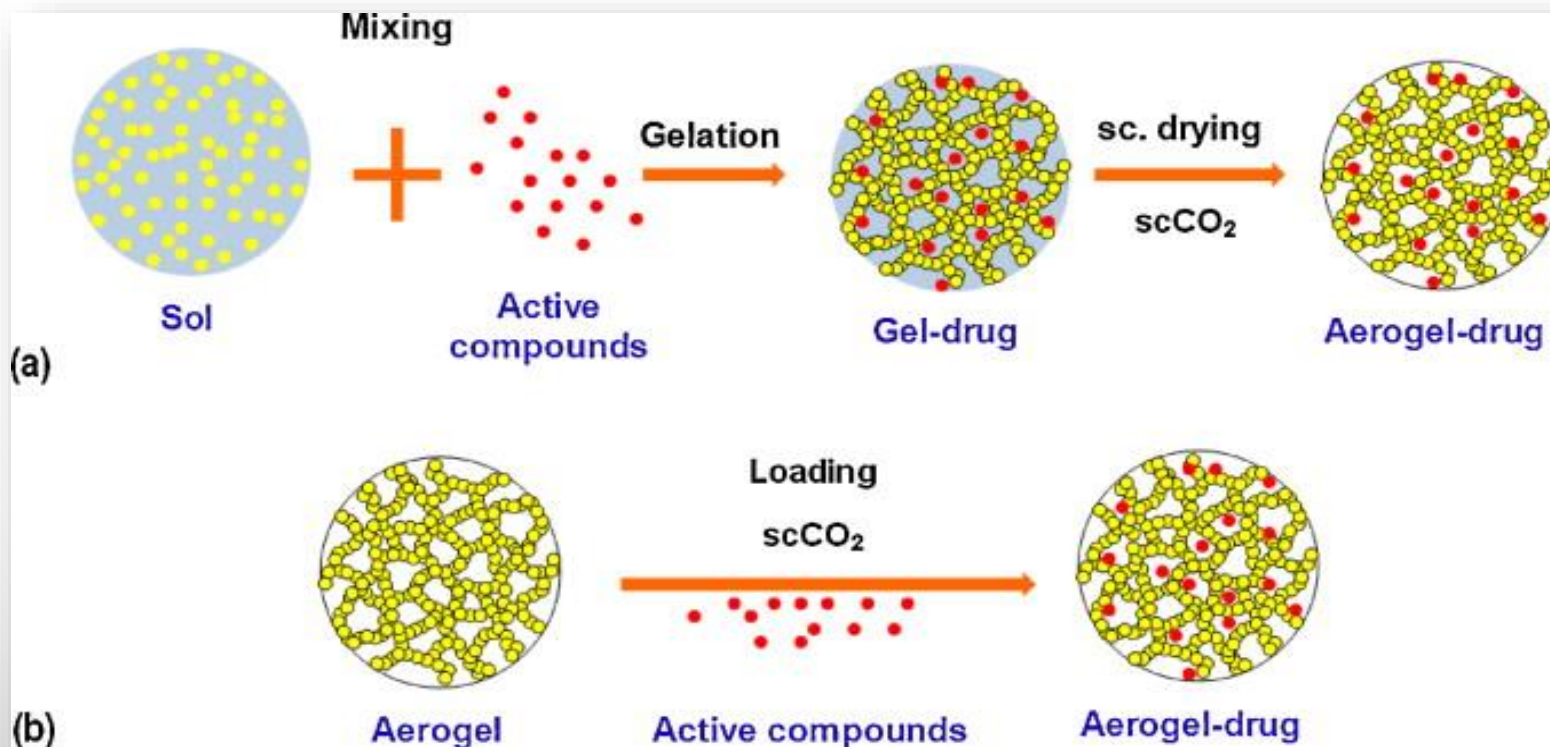
- آئروژل با دارا بودن مساحت داخلی بالا می تواند بارهای الکتریکی یونها را به سرعت در فضا کوچک ذخیره کرده و به سرعت آنها را آزاد کند.



# معرفی کاربردهای آئروژل

□ کاربرد آئروژل به عنوان حامل مواد مختلف

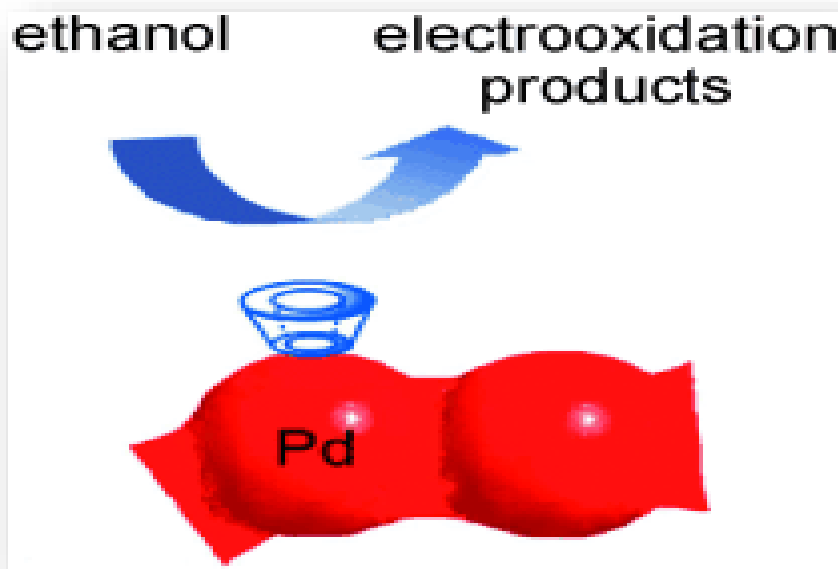
▪ آئروژل می تواند به عنوان حامل ترکیبات مختلف (رنگدانه ها)، در داروسازی و کشاورزی استفاده شوند.



# معرفی کاربردهای آئروژل

□ کاربرد آئروژل در کاتالیست‌ها

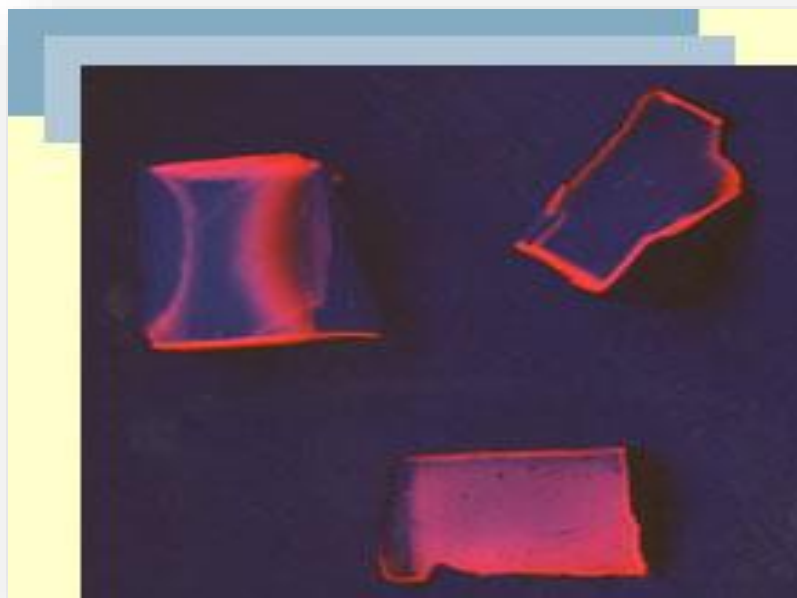
- آئروژل سیلیکا-آلومینا با  $ZnCl_2$  به عنوان کاتالیست در واکنش‌های آلکیله کردن فریدل کرافتس بکار می‌رود.



# معرفی کاربردهای آئروژل

## □ حسگر

- آئروژل به دلیل داشتن مساحت سطح داخلی بالا می‌تواند در ساختار سنسورهای شیمیایی زیستی به کار گرفته شوند.
- آئروژل باعث افزایش سطح فعال و حساسیت حسگر می‌شود.





# معرفی کاربردهای آئروژل

## □ مواد ساختمانی

- آئروژل چگالی بسیار پایینی دارد و مستعد برای ساخت مواد سبک است.
- با این وجود پایداری مکانیکی آئروژل همچنان مسئله ساز است.
- برای رفع این مشکل اصلاح پلیمرها با الیاف طبیعی مانند سلولز صورت گرفته است.



# معرفی کاربردهای آئروژل

## □ ضربه گیرها

- شکنندگی آئروژل از معایب این مواد در کاربردهای مهندسی و ساختمانی است.
- این خاصیت آئروژل در جذب انرژی سنتیکی بسیار عالی است و در کاربردهای مانند ضربه گیر مفید است.



# بحث و نتیجه گیری

□ آئروژل حفره یا تخلخل‌های فراوانی دارد که از هوا پر شده است.

□ فرایند ساخت آئروژل شامل دو مرحله می‌باشد.

▪ مرحله ساخت ژل که حلال در آن نفوذ می‌کند و مرحله دوم حذف حلال یا خشک کردن می‌باشد.

□ آئروژل به علت چگالی پایین حائز خصوصیت ویژه‌ای است که آنها را برای عایق حرارتی و عایق صوتی مستعد می‌سازد.

□ به دلیل هدایت الکتریکی بالا و پایداری بالای آئروژل، این مواد به عنوان الکتروود در پیل سوختی و ابرخازن‌ها (Supercapacitors) استفاده می‌شوند.

# مشارکت در توسعه سیستم جامع آموزش فناوری نانو

سیستم جامع آموزش فناوری نانو با مشارکت دانشجویان و علاقه مندان در مقاطع دکتری و کارشناسی ارشد گرایش های مختلف فناوری نانو و سایر رشته های مرتبط با این فناوری نوین در حال توسعه است. لذا از تمامی اساتید، دانشجویان، متخصصین و علاقه مندان تقاضا می گردد نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را به منظور توسعه هر چه بهتر این سیستم با سایت آموزش فناوری نانو در میان بگذارند.



Edu@nano.ir

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو  
کارگروه ترویج و فرهنگ سازی عمومی

| پایان |



Edu@nano.ir