



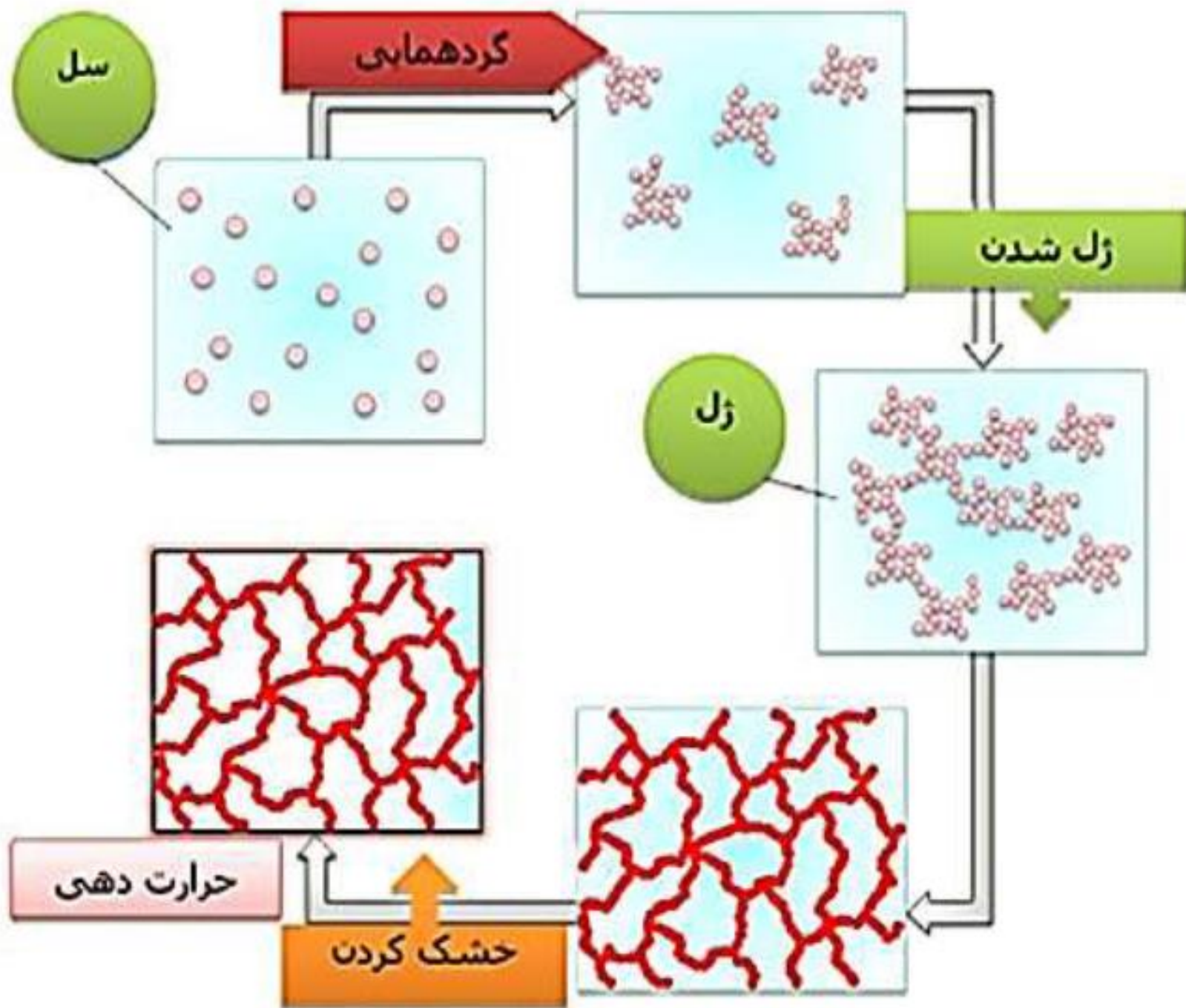
جلسه دهم  
رشد بلور از سل - ژل



- بطور کلی سل عبارت است از مخلوطی کلوئیدی که ذرات جامد آن بصورت معلق در مایع قرار دارند. کلوئید نیز مخلوطی است که ماده توزیع شده در آن بسیار کوچک (۱-۱۰۰ نانومتر) است. بین ذرات موجود در کلوئید نیروی ضعیف و کوتاه بردی وجود دارد که باعث حرکت براونی و تصادفی ذرات در محلول می‌شود.

- روش سل-ژل از دو مرحله هیدرولیز و متراکم سازی تشکیل شده است

- حرکت براونی نوعی از حرکت تصادفی ذرات غوطه ور در سیال (مایع یا گاز) است که بر اثر برخورد این ذرات با اتمها یا مولکولهای سیال به وجود می آید.
- این پدیده را رابرت براون در سال ۱۸۲۷ کشف کرد

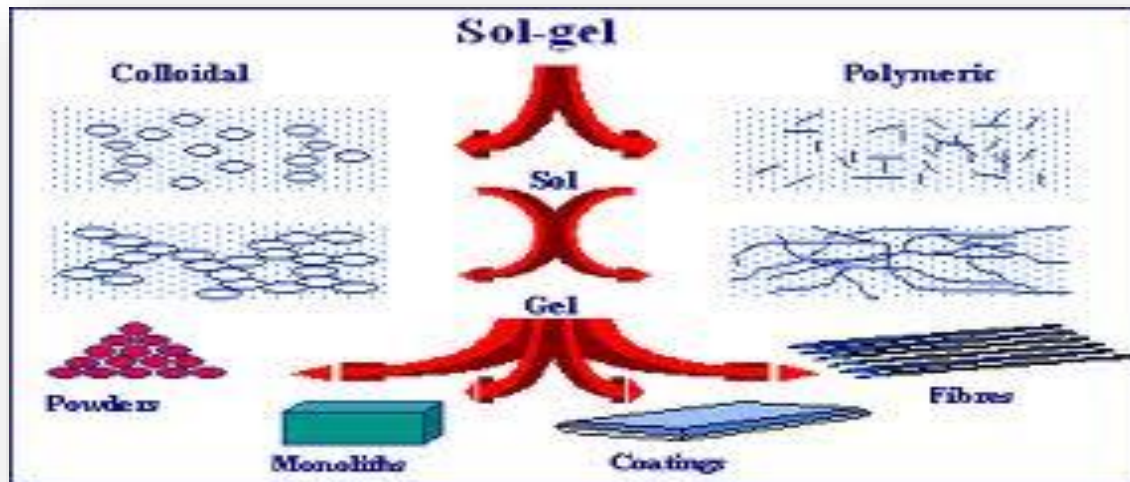


# اهمیت سل ژل

□ از میان روش‌های تولید ذرات...

■ روش سل - ژل دارای محبوبیت و کاربرد صنعتی بالاتری نسبت به روش‌های موجود است.

■ سل - ژل هم اکنون می‌تواند ذراتی با کیفیت بالا (تولید ذرات با اندازه یکسان) را در حجمی زیاد تولید کند.



# اهمیت سل ژل

- روش سل - ژل قادر است همزمان دو یا چند نوع ذره را با هم تولید کند.
- با این روش با مخلوط کردن پیش ماده‌های سنتز دو یا چند فلز (یا اکسید فلز) مختلف با نسبت‌های معین قادر خواهیم بود که محصولات آلیاژی را در یک مرحله سنتز کنیم.
- در مقیاس صنعتی هیچ کدام از روشها قادر به رقابت با روش سل - ژل نیستند.

# اهمیت سل ژل

- روش سل-ژل امکان ساخت کامپوزیتهای (سرامیکی-فلزی) بسیار همگن و با خلوص بسیار بالا (با ۹۹.۹۹ درصد خلوص) را فراهم می کند.
- این روش قادر است مواد سرامیکی و فلزی را در دماهای بسیار پایین تری تولید کند:
- حدود ۷۰ تا ۳۲۰ درجه سانتیگراد

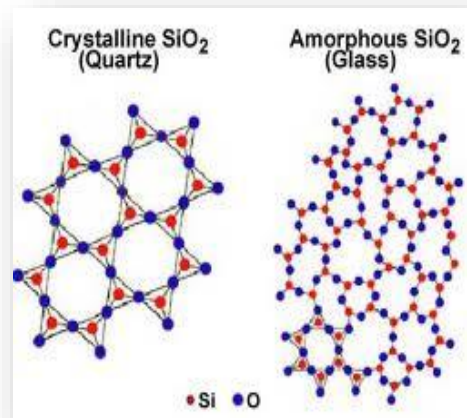


# اهمیت سل ژل

- از دیگر دلایل محبوبیت روش سل - ژل:
- سنتز در دمای پائین
- ساده بودن ابزار انجام آن
- تهیه محصولاتی با خلوص بالا
- راندمان تولید بسیار بالا
- سنتز ترکیبات یکنواخت
- امکان طراحی ترکیب شیمیایی و به دست آوردن ترکیب همگن

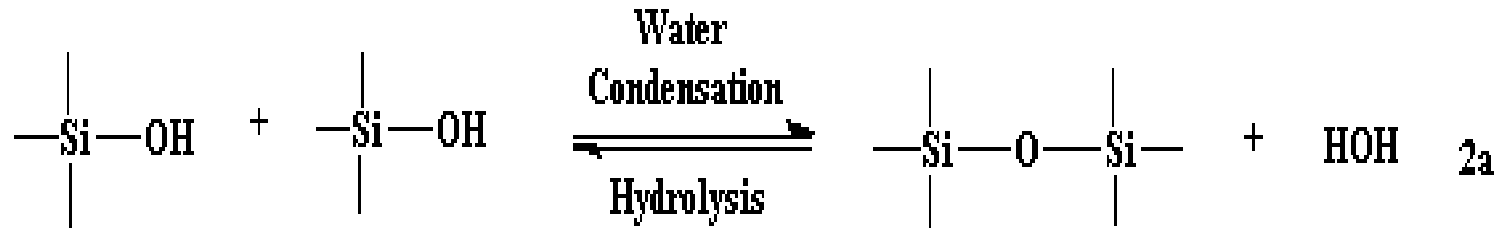
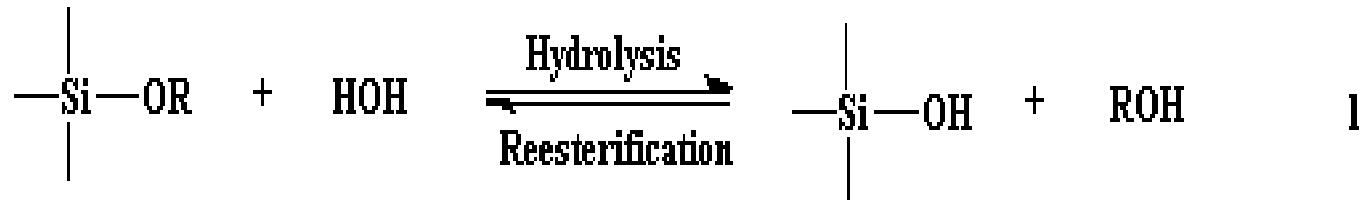
# روش سل-ژل

- فرآیند سل-ژل روش جدیدی نیست.
- در سال ۱۸۰۰ «ابل من» به طور اتفاقی مشاهده کرد که تتراکلرید سیلیکون ( $\text{SiCl}_4$ ) که در ظرفی رها شده بود، ابتدا هیدرولیز و سپس به ژل تبدیل شد.
- در سال ۱۹۵۰ مطالعات گسترده‌ای در زمینه سنتز سرامیک‌ها با استفاده از این روش آغاز شد.
- با این روش، بسیاری از اکسیدهای غیرآلی مانند  $\text{TiO}_2$  ،  $\text{SiO}_2$  ،  $\text{ZrO}_2$  سنتز شدند.



# روش سل-ژل

واکنش‌های شیمیایی درگیر در روش سل ژل: □



# مراحل فرآیند سل ژل

تهیه محلول همگن

تشکیل سل

تشکیل ژل

# پیش ماده های روش سل ژل

□ پیش ماده های آلکوکسیدی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند.

□ آلکوکسیدهای فلزی به عنوان پیش ماده روش سل-ژل یک دسته از خانواده

ترکیبات آلی فلزی می باشند که شامل...

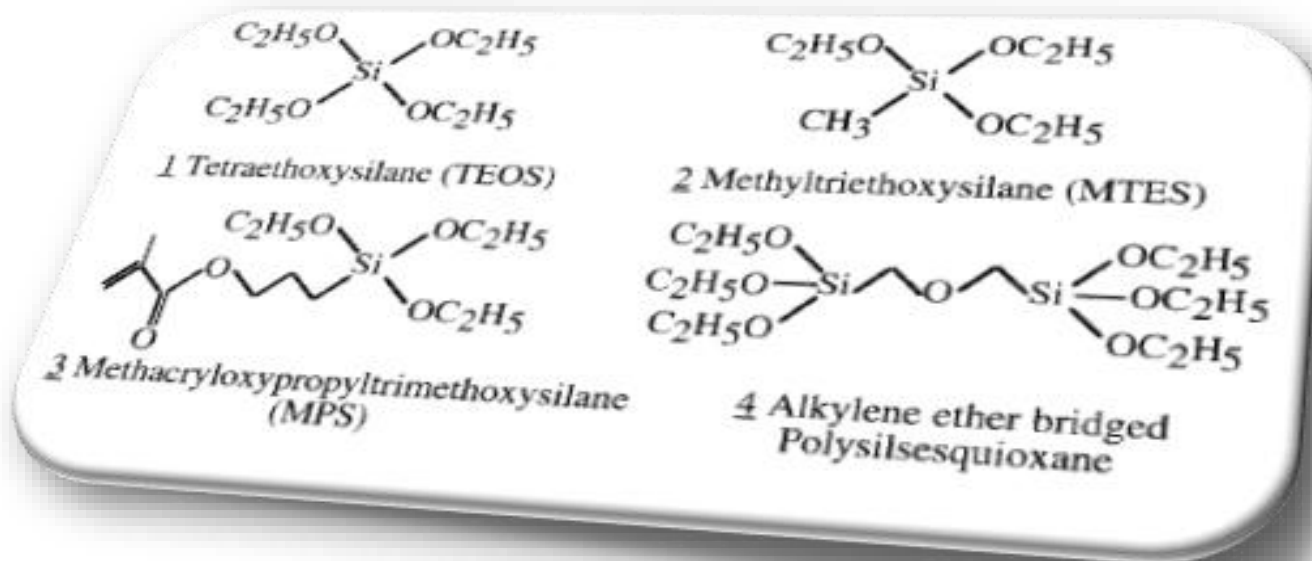
▪ یک بنیان آلی متصل به یک عنصر فلزی یا شبه فلزی می باشند .

# پیش ماده های روش سل ژل

□ مثالی که اخیراً بسیار مورد مطالعه قرار گرفته تترا اتوکسید سیلسیم یا  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$  می باشد.

■ این پیش ماده با نام تترا اتوکسی سیلان (TEOS) نیز شناخته می شود.

■ در شکل زیر چند نمونه از آغازگرها متدوال برای سنتز اکسید سیلسیم آورده شده است.

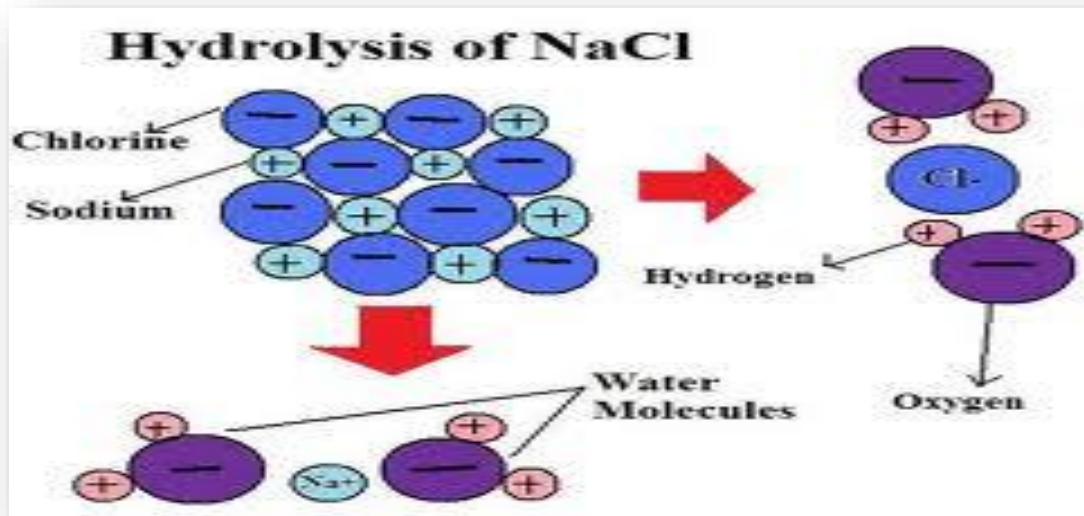


# مفهوم هیدرولیز

□ واکنش هیدرولیز (Hydrolysis) پایه این مرحله است.

■ کلمه هیدرولیز از ترکیب دو کلمه هیدرو + لیز تشکیل شده و مفهوم آن تجزیه بوسیله آب است.

■ اصطلاح تجزیه به هر موردی اطلاق می‌شود که یک حالت پیچیده به حالتی ساده‌تر تبدیل گردد.



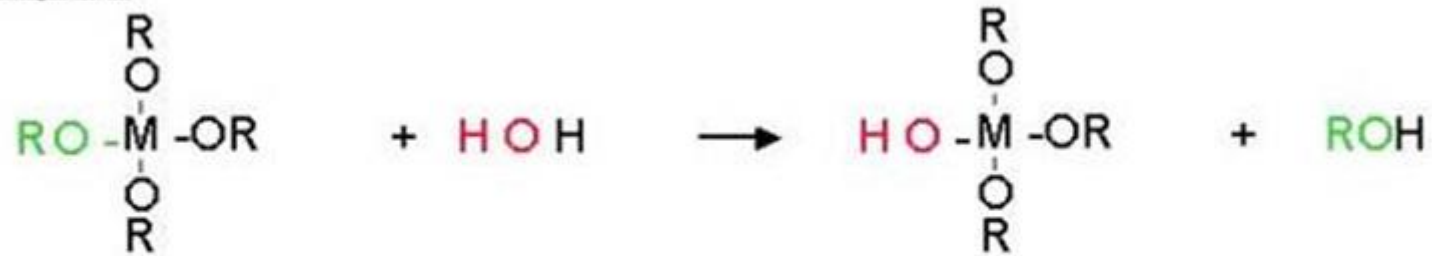
# تشکیل سل (Sol)

- برای آغاز این فرآیند کمی آب به محیط واکنش افزوده می شود.
- حضور آب باعث خواهد شد تا واکنش هیدرولیز بر روی پیش ماده صورت گیرد.
- با فعال شدن پیش ماده، ذرات اکسید فلزی گرد هم آمده و تشکیل ذرات ریز و جامدی می دهند که در حلال پراکنده هستند.
- به چنین ترکیبی، سل (به عنوان یک محصول میانی فرآیند) اطلاق می شود.

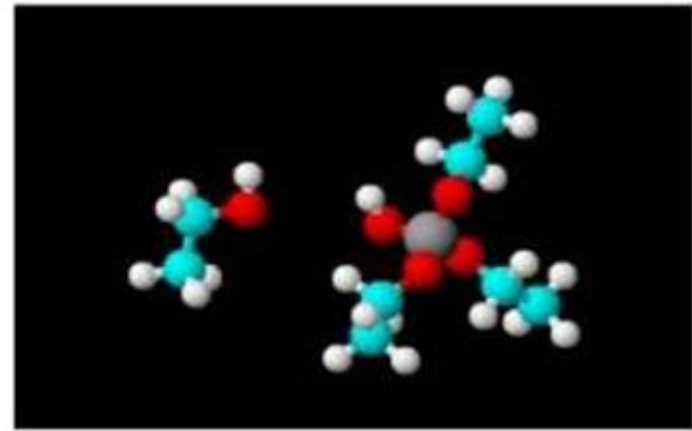
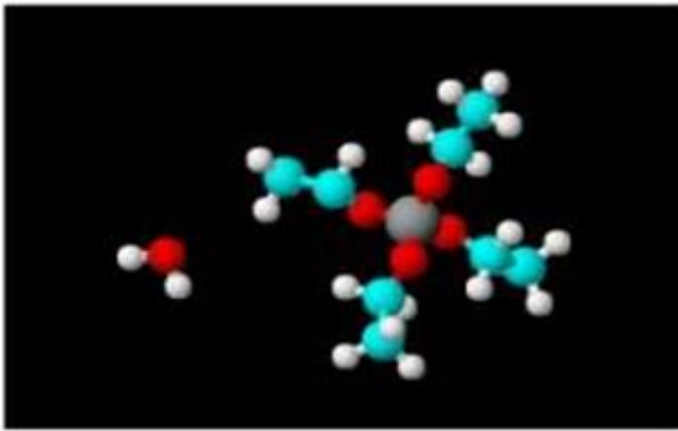


# تشکیل سل (Sol)

Hydrolysis:



M: Si, Zr, Ti, Ce, ...  
Al, Y, B, ...



# فرق سل با محلول

□ سل از کلمه انگلیسی Solution به معنای محلول گرفته شده است.

- سل محلولی است کلوئیدی از واکنش دهنده‌های مختلف، (مثل پیش ماده‌ها، حلال، کاتالیزورهای اسیدی یا بازی و سایر افزودنی‌ها مورد نیاز) که قرار است در ادامه واکنش طی مراحل هیدرولیز و تراکم به ژل تبدیل شوند.
- سل‌ها کمی با محلول‌های حقیقی متفاوت هستند.
- در محلول حقیقی جسم حل شونده به صورت اتم، مولکول و یا یون در حلال به طور یکنواخت پراکنده شده و اندازه ذرات از  $1\text{ nm}$  تجاوز نمی‌کند..

□ اگر اندازه ذرات بین ۱ تا حدود ۱۰۰ نانومتر متغیر باشد، معمولاً به صورت پراکنده در همه جای مخلوط باقی می ماند که به این گونه مخلوط ها کلویید می گویند.

□ سل را اینگونه می توان تعریف کرد:

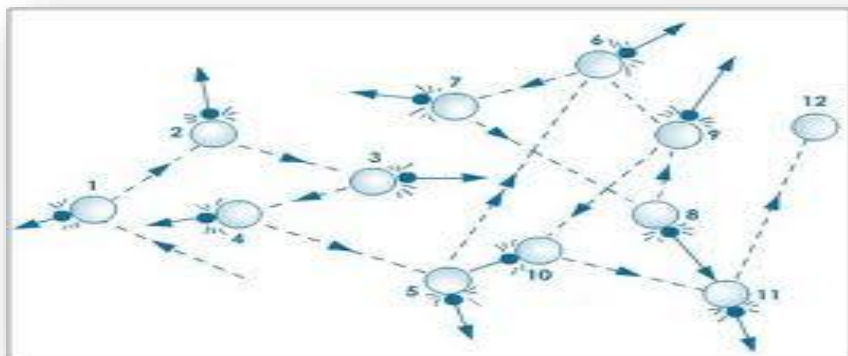
■ " سل مخلوط جامد پراکنده شده (کلویید) در مایعی است که به علت کوچکی ذرات جامد قادر است برای مدت بسیار طولانی ( ماه ها ) پایدار بماند و ته نشین نشود. "

# مهمترین نکات راجع به یک سل خوب و قابل قبول

- سل حاصل باید به گونه‌ای تهیه شود که برای ماه‌ها پایدار بوده و رسوب نکند.

- به عبارت دیگر باید اندازه ذرات آنقدر کوچک باشد که حرکات براونی (Brownian Motion) ذرات بر نیروی جاذبه زمین غلبه کرده و ذرات ته نشین نشوند و برای مدت طولانی همگن باقی بمانند. (حرکت براونی - بر اثر برخورد این ذرات با اتم‌ها یا مولکول‌های سیال ایجاد می‌شود).

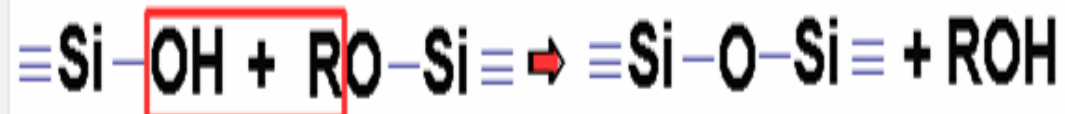
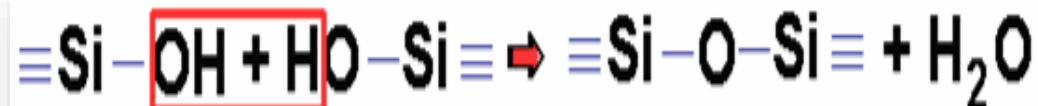
- اگر سل حاصل دارای چنین ویژگی باشد می‌توان امیدوار بود تا محصولی همگن، خالص و با بازده بالا تولید شود.



# تشکیل ژل

□ به منظور تشکیل ژل:

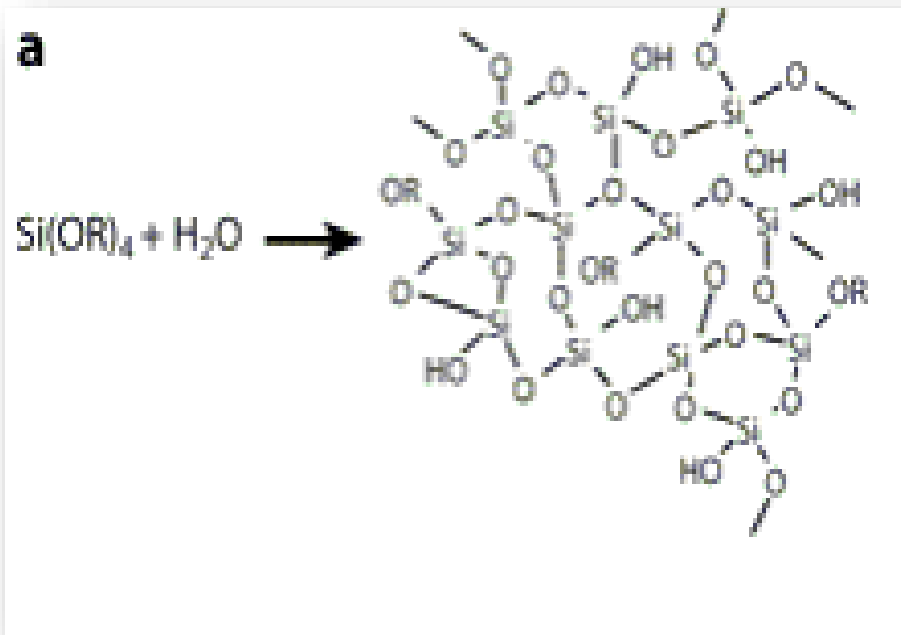
- محلول ساخته شده به نوعی تحریک می شود، تا ذرات ریز پراکنده شده، شروع به گردهمایی کنند.
- میان ذرات معلق پراکنده شده در محلول سل، بر همکنش‌هایی (فیزیکی و شیمیایی) ایجاد می شود.
- این ذرات به صورت واحدهایی متشکل از چند ده هزار مولکول کنار هم جمع شده و تشکیل یک مولکول سه بعدی بی نهایت بزرگ می دهند.



# تشکیل ژل

□ این مولکولهای سه بعدی نوعاً تمام حجم ظرف واکنش را به خود اختصاص می‌دهند.

□ این مولکول غول پیکر که دارای خلل و فرج بسیار فراوانی است تمام حلال را در درون خود به دام می‌اندازد و ژل خیس (Wet Gel) نام دارد.



# تشکیل ژل

□ برای تولید ژل خیس نیازمند تحریک محلول سل هستیم.

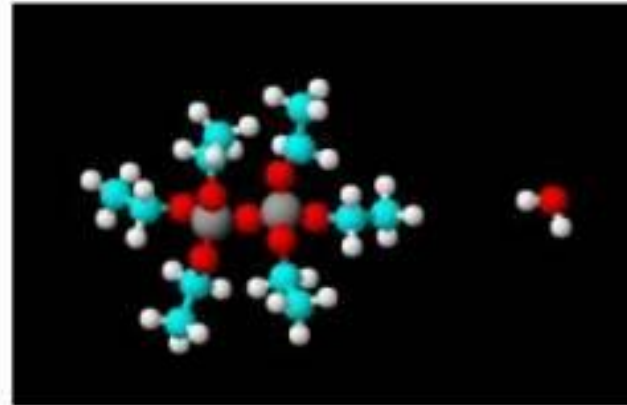
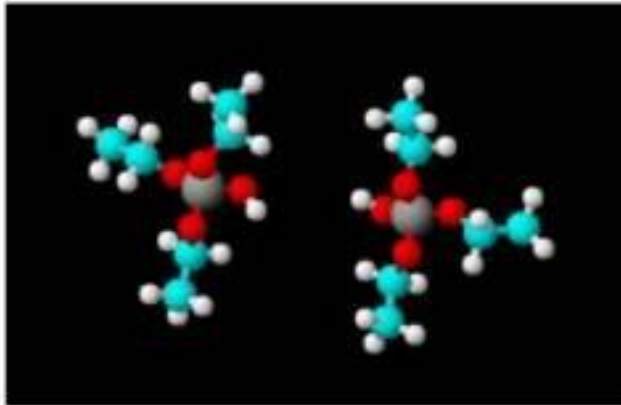
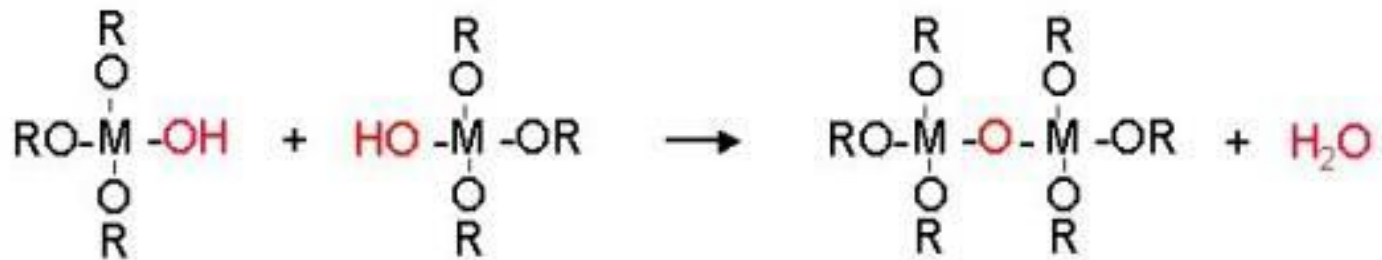
□ این تحریک می تواند با استفاده از معرف مناسب (آب خالص یا آب به همراه  $\text{NaOH}$  و  $\text{HCl}$ ) انجام شود.

□ مرحله تبدیل سل به ژل که توسط واکنشهایی موسوم به تراکم کنترل می شوند، که برای تشکیل مواد اکسیدی، واکنش پلیمریزاسیون معدنی (  $\text{Inorganic Polymerization}$ ) به شمار می رود.

□ محصول نهایی شبکه اکسیدی حاوی خوشه های اکسید فلزی  $\text{M-O-M}$  است.

# تشکیل ژل

Condensation:





# تشکیل ژل

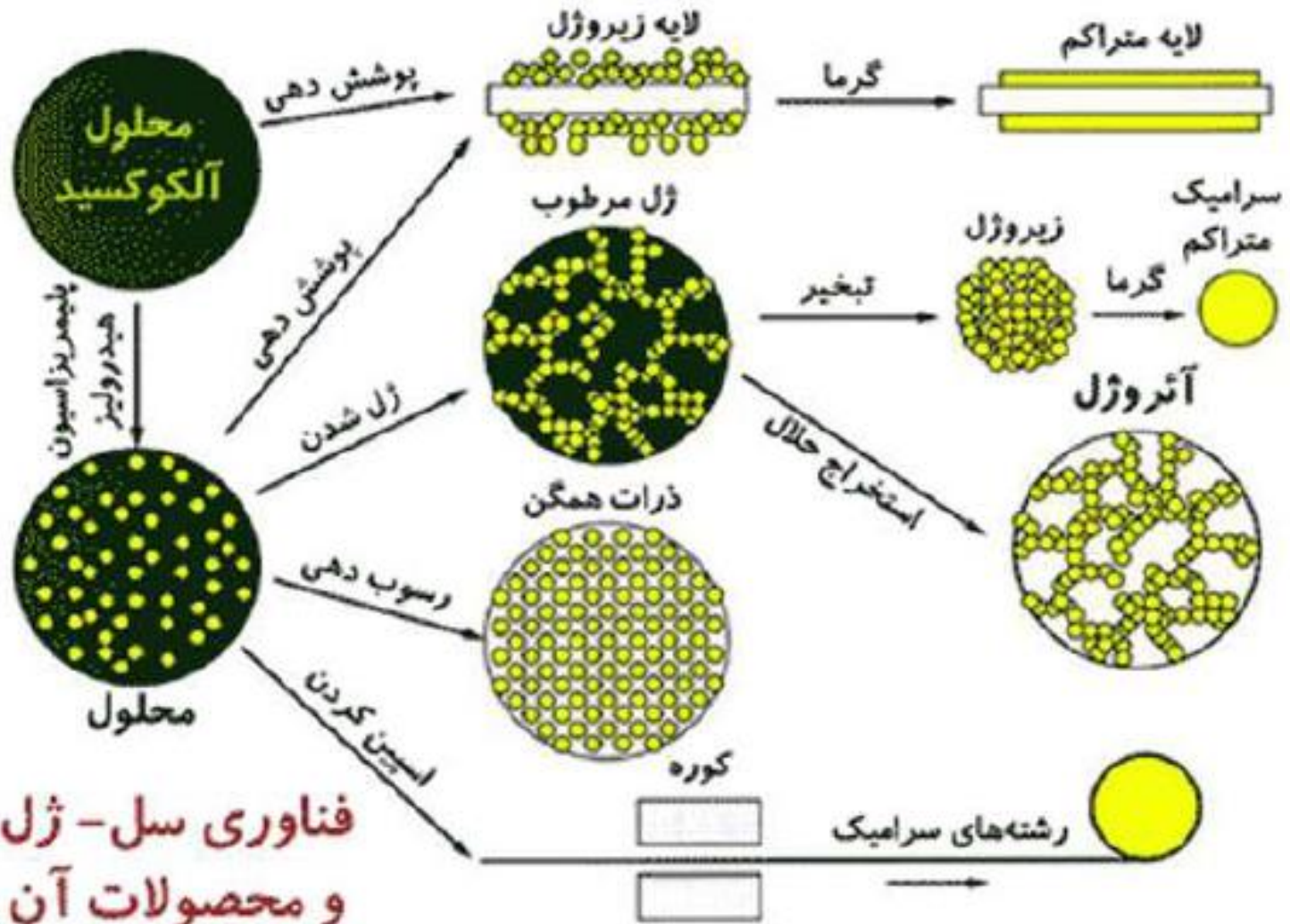
□ واکنش تراکم دقیقاً عکس واکنش هیدرولیز است.

- در هیدرولیز، مولکولی درشت با مصرف آب به اجزاء ساده‌تر تبدیل می‌شود.
- در تراکم، دو مولکول ساده به هم پیوسته و تشکیل مولکول پیچیده‌تر می‌دهند.

# تشکیل ژل

- ژل در نهایت به شکل محلول ساخته می شود.
- در مرحله بعد می بایست حلال از ژل جدا شود تا فرآیند تکمیل شود.
- ژل ها انواع مختلفی دارند، که هر کدام خصوصیات و کاربردهای مخصوص به خود را دارند.
- اسامی، ویژگی ها و کاربردهای ژلها بسته به موارد زیر متفاوت خواهد بود:
  - نوع حلال مورد استفاده
  - نوع روش خشک کردن

# سل-ژل



# نتیجه گیری

□ روش سل ژل، روش ارزان و قابل دسترس برای تولید در حجم صنعتی است.

□ در این روش...

▪ یک محلول سل شفاف و پایدار ساخته می شود.

▪ طی فرآیند هیدرولیز به ژل تبدیل می شود.

▪ در پی تراکم به محصول ژل خیس می رسیم.

▪ با یکی از روشهایی که برای خشک کردن ژل خیس وجود دارد، ژل را خشک کرده

و به محصول نهایی که یک ساختار جامد متخلخل است، می رسیم.

□ نحوه خشک کردن بستگی مستقیم به نوع محصول و ویژگی های آن دارد.

- <https://www.aparat.com/v/q8u4h>