

به نام خدا

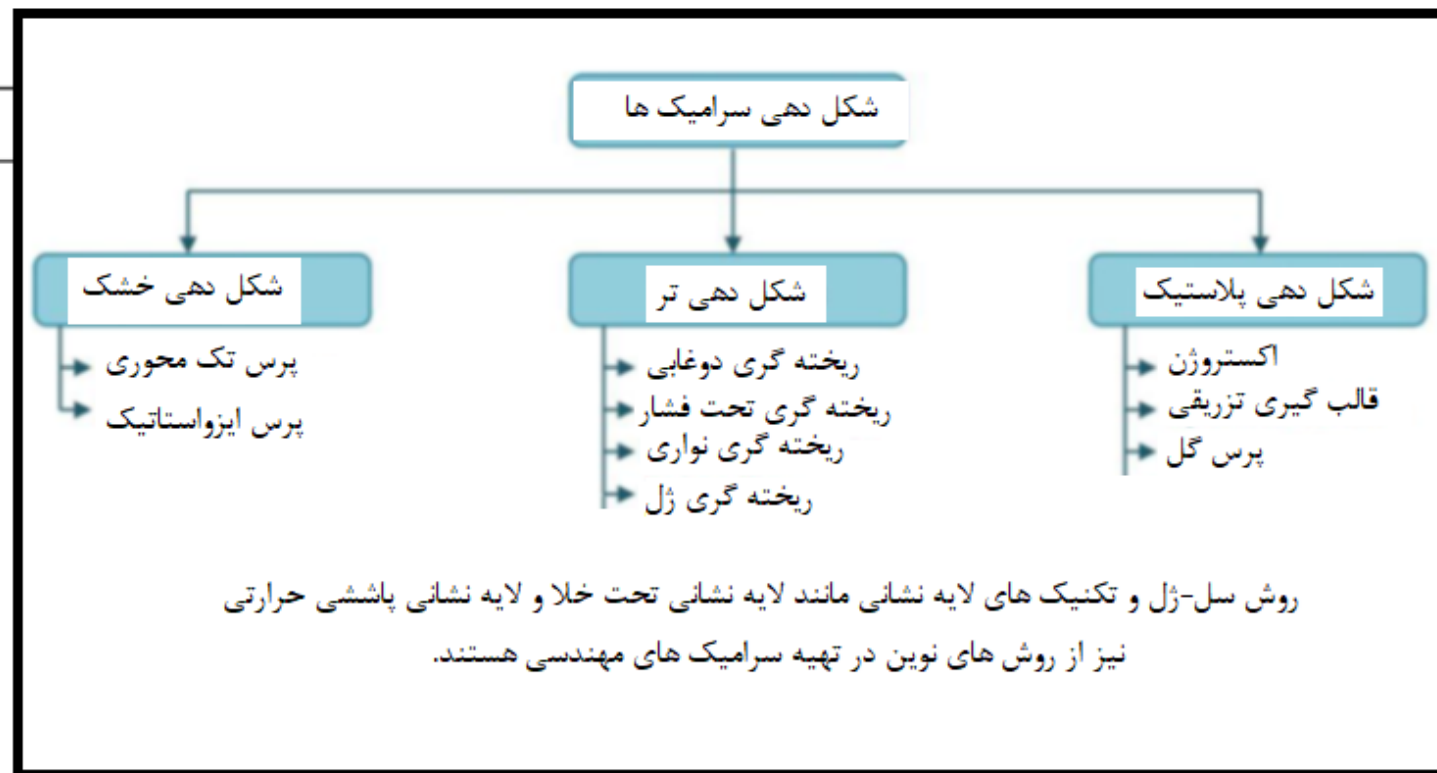
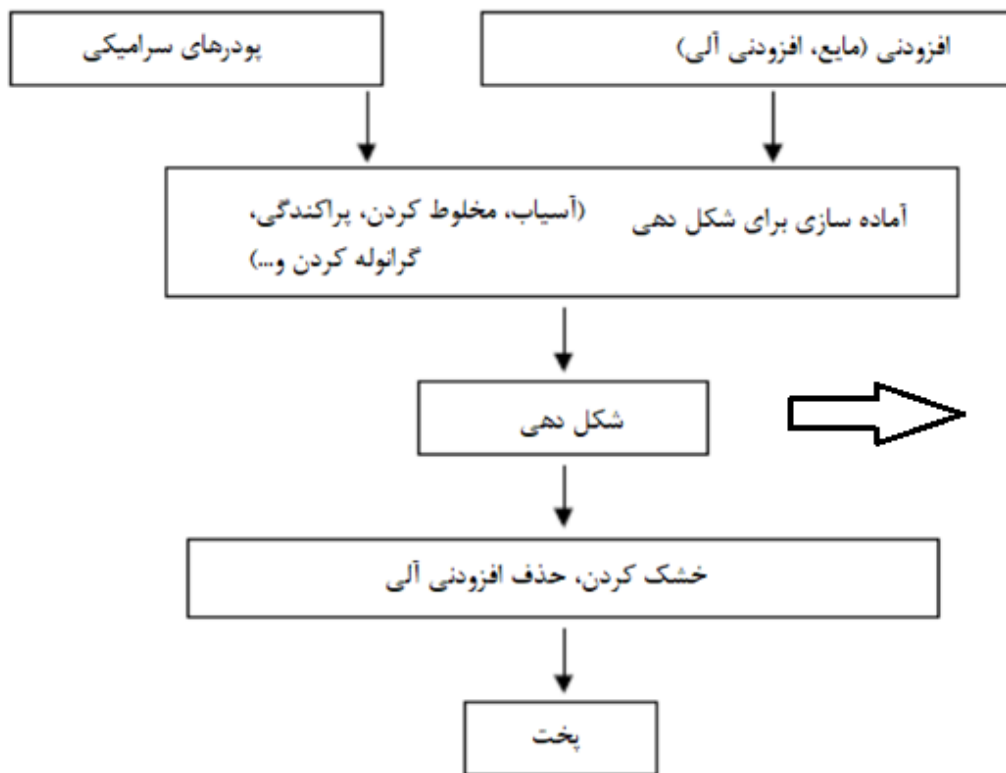


دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

# درس فرایند ساخت سرامیک ها

**دکتر موسوی کاشی**

## مراحل تولید قطعه سرامیکی؟



# مواد اولیه مورد مصرف در بدنه های سرامیک های سنتی:

سرامیک های سنتی: سرامیک هایی که شرایط کاربردشان سخت نیست و در زمان کار نیروهای مکانیکی، حرارتی و الکتریکی زیادی به آن ها وارد نمی شود. مانند سفال، چینی آلات، کاشی، شیشه، دیرگدازها، سیمان، گچ، قطعات تزئینی

مواد رسی: مانند کائولن - بالکلی

مواد پر کننده: مانند سیلیس - آلومینا

مواد گداز آور: مانند فلدسپار سدیم - فلدسپار پتاسیم

به همراه

آب

افزودنی ها

## روش شکل دهی مرسوم سرامیک های سنتی:

ریخته گری دوغابی، پرس گل، تهیه گرانول و پرس پودر

# بدنه های سرامیک های پیشرفته (مهندسی):

این سرامیک ها هم از نظر فناوری ساخت و هم از نظر خواص و کاربرد دارای شرایط سخت تری هستند. دارای کاربردهای الکتریکی، مکانیکی و زیستی هستند. آن ها را می توان به ۳ دسته تابعی، ساختاری و زیستی تقسیم بندی کرد.

سرامیک های تابعی: الکتروسرامیک ها (ابرسیان، نیمه هادی ها، عایق ها)، مغناطیس های سرامیکی  
سرامیک های ساختاری: سرامیک های مهندسی با خواص مکانیکی و حرارتی برتر (اکسیدی، غیر اکسیدی، کامپوزیت)  
سرامیک های زیستی: سرامیک ها و نانو سرامیک های زیستی

## خصوصیات سرامیک ها؟

دمای ذوب بالا

سختی زیاد

نداشتن انعطاف پذیری در دماهای کم

تردی، چقرمگی کم

دلیل این خصوصیات چیست؟

وجود پیوندهای یونی-کووالانسی

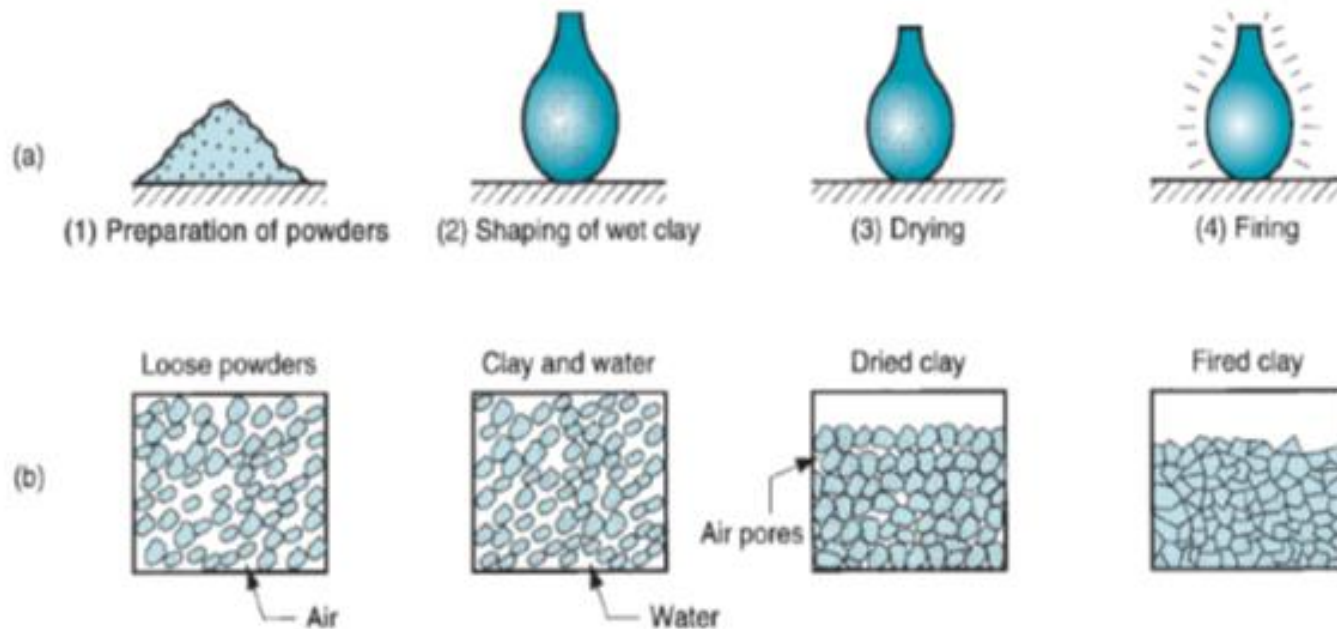
# روش های شکل دهی سرامیک ها:

## پودرهای سرامیکی

- مشخصات شیمیایی:
- خلوص پودرها و ماهیت سطح ذرات

## خصوصیات فیزیکی:

- آگلومره شدن
- اندازه و شکل ذرات
- دانسیته و سطح ویژه



Usual steps in traditional ceramics processing: (1) preparation of raw materials, (2) shaping, (3) drying, and (4) firing. Part (a) shows the workpart during the sequence, whereas (b) shows the condition of the powders.

# بهبود کیفیت مواد اولیه:

## انواع ناخالصی ها

- آهن و ترکیبات آن (آهن آزاد، اکسیدهای آهن، سولفیدهای آهن، سولفات های آهن)
- ترکیبات تیتانیوم
- کربنات کلسیم
- نمک های محلول (سولفات کلسیم، سولفات منیزیم، سولفات آهن، سولفات پتاسیم و سولفات سدیم)
- اکسیدهای رنگی (اکسید کروم، اکسید منگنز، اکسید مس، اکسید آهن، اکسید تیتانیوم)
- عناصر و ترکیبات قلیایی

## ناخالصی های کائولن:

کوارتز، میکای سدیم دار، میکای پتاسیم دار، آهن و ترکیبات آن، اکسید تیتانیوم، ترکیبات کلسیم، ترکیبات منیزیم، مونت موری لونیت

## ناخالصی های بالکلی:

مواد آلی، سولفات ها

## ناخالصی های سیلیس:

آهن و ترکیبات آن، عناصر قلیایی و قلیایی خاکی و ترکیبات آن ها، سنگ آهک

## ناخالصی های فلدسپارها:

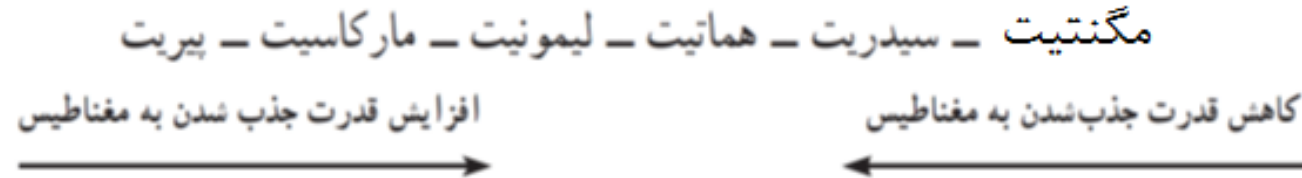
کوارتز، میکا، آهن و ترکیبات آن، اکسید تیتانیوم

# اثرات منفی حضور ناخالصی ها در مواد اولیه چیست؟

- کاهش آهن و ترکیبات آن در کائولن

- کاهش نمک های محلول

- آهن آزاد و بعضی از مینرال های آهن می تواند جذب آهنربا شده و حذف شوند.



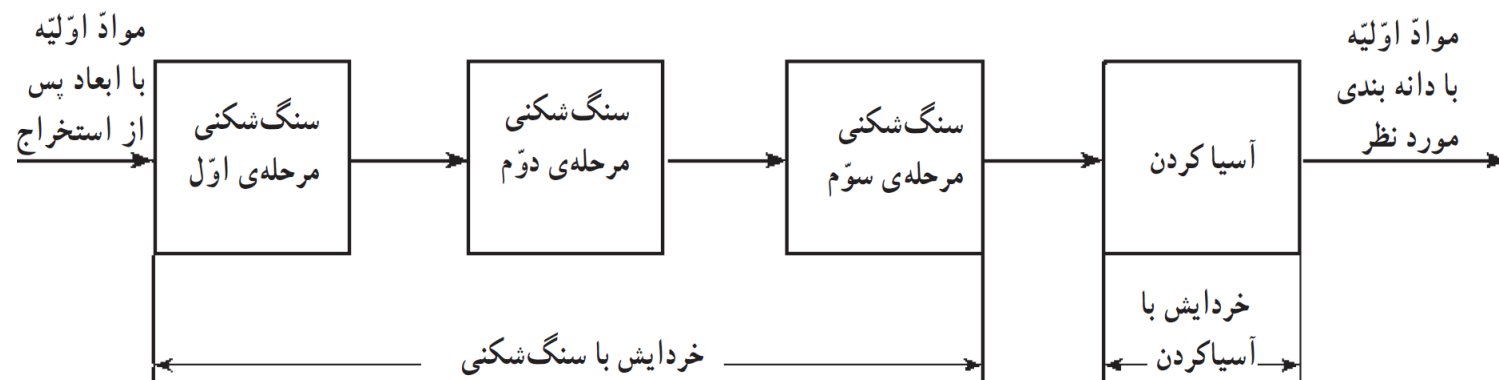
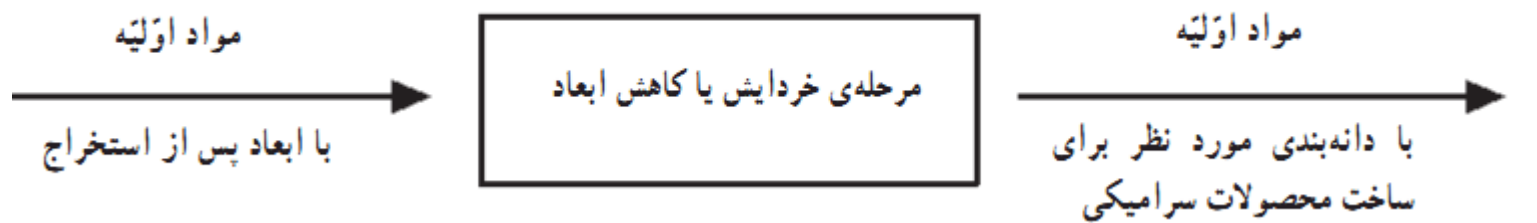
- کربنات باریوم با سولفات های محلول واکنش کرده و سولفات باریوم بسیار نامحلول و مقدار کمی کربنات های محلول (کربنات کلسیم) تشکیل می دهد.



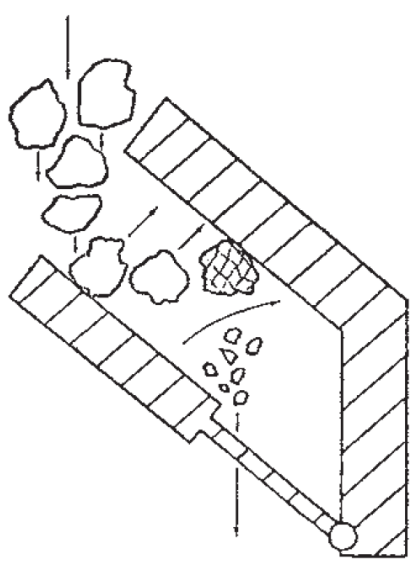
# خردایش:

کلیه مراحل کاهش ابعاد مواد اولیه پس از استخراج تا دانه بندی مورد نیاز برای ساخت محصولات سرامیکی را خردایش گویند. کاهش ابعاد و خردایش دارای اهمیت می باشد چون موجب:

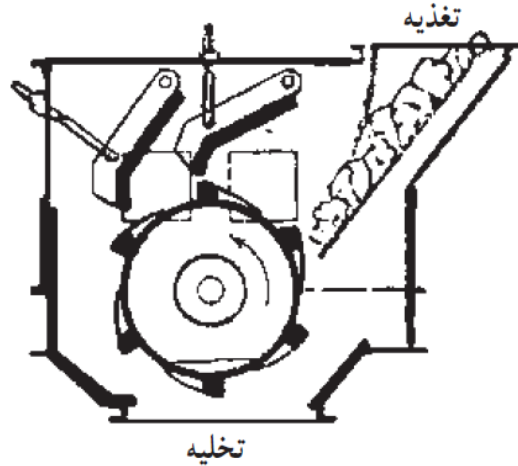
- سهولت و سادگی شکل دادن قطعات و محصولات سرامیکی می شود.
- دانسیته و دیگر خواص بدنه بهبود می یابد.



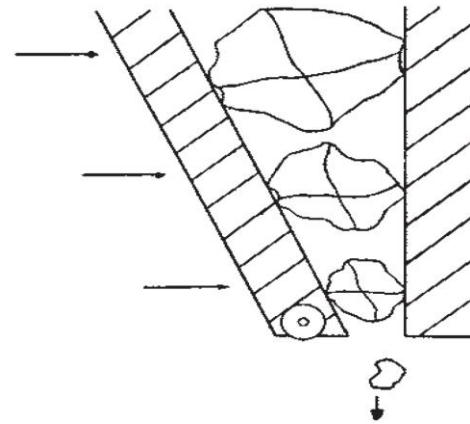




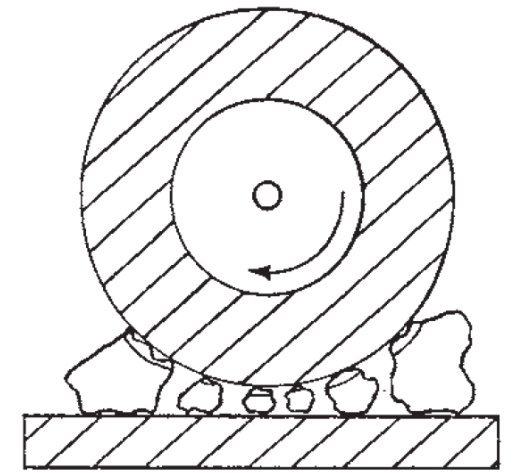
سنگ شکن ضربه ای



سنگ شکن چکشی



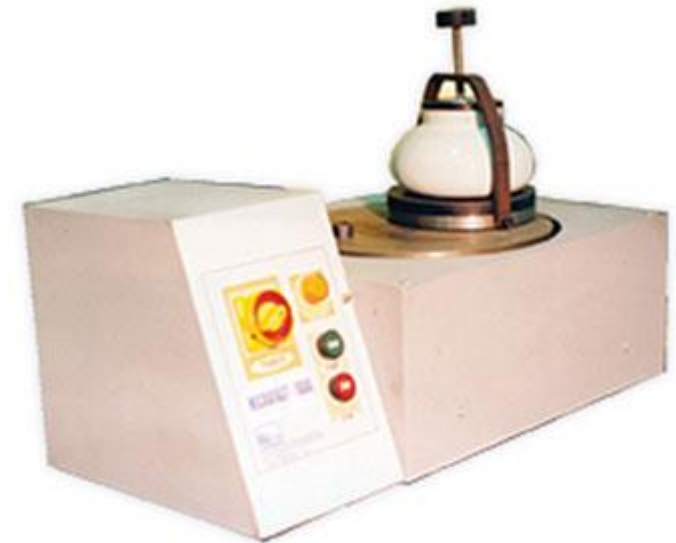
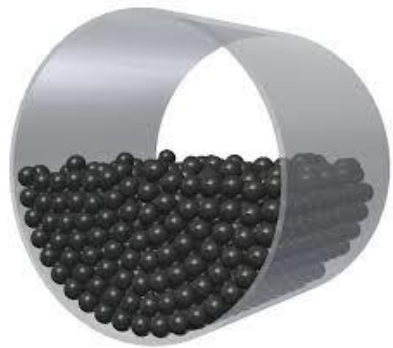
سنگ شکن فکی



سنگ شکن غلطکی



بالمیل



آسیاب سیاره ای  
Fast mill

# پایداری سوسپانسیون های کلوئیدی:

نیروهای جاذبه بین ذرات باعث چسبیدن آن ها به یکدیگر می شود و فلکوله شدن اتفاق می افتد، اما اگر بتوان بین ذرات نیروی دافعه ایجاد کرد و این نیروی دافعه بر نیروی جاذبه غلبه کند سوسپانسیون پایدار می شود.

## راه های ایجاد نیروی دافعه:

۱- پایداری الکترواستاتیک

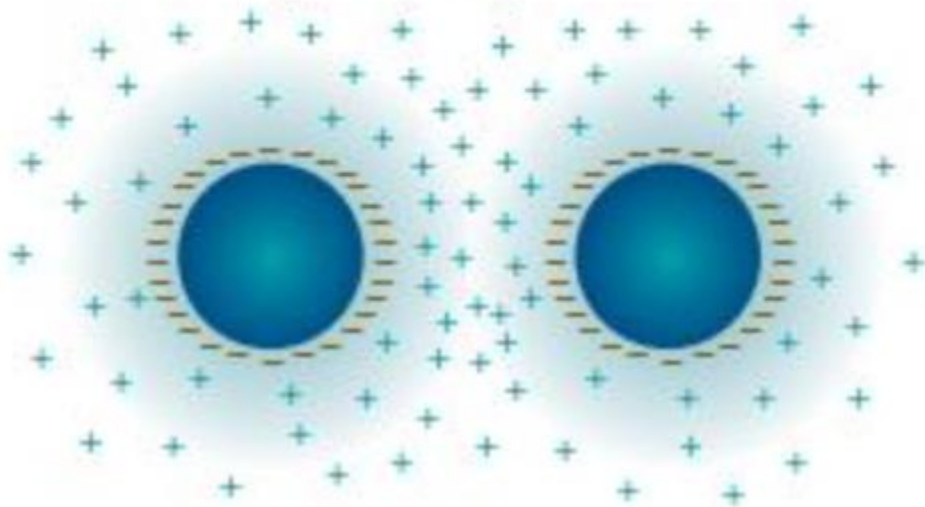
۲- پایداری استریک

۳- پایداری الکترواستریک

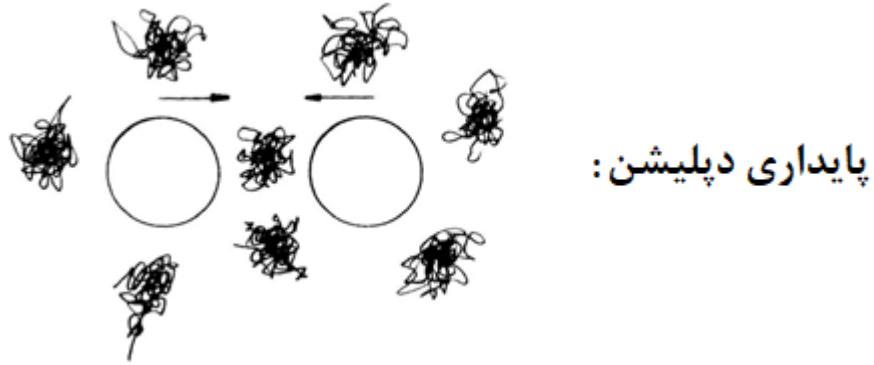
پایداری الکترواستاتیک یعنی دافعه بین ذرات به دلیل بارهای الکترواستاتیک که روی ذرات تشکیل می شود. لایه مضاعف الکتریکی اطراف هر ذره ایجاد می شود و دافعه به عنوان نتیجه برهم کنش لایه های مضاعف است.

-الکترواستاتیک  
-استریک  
-الکترواستریک  
-دپلیشن

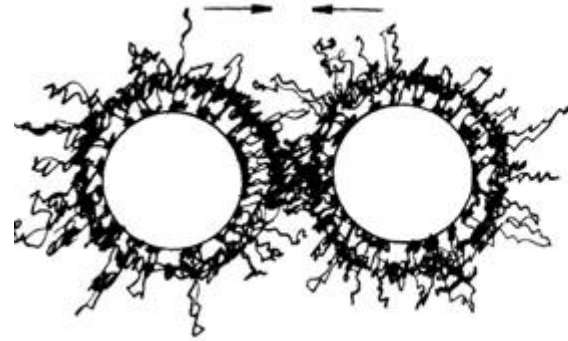
## پایداری الکترواستاتیک ذرات دارای بار منفی



لایه مضاعف الکتریکی نقش اساسی  
در مکانیزم پایداری الکترواستاتیک کلوئیدها دارد.

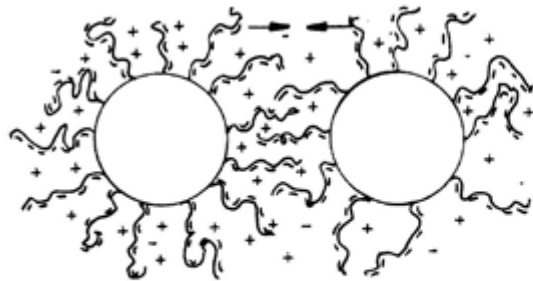


پایداری دپلیشن:



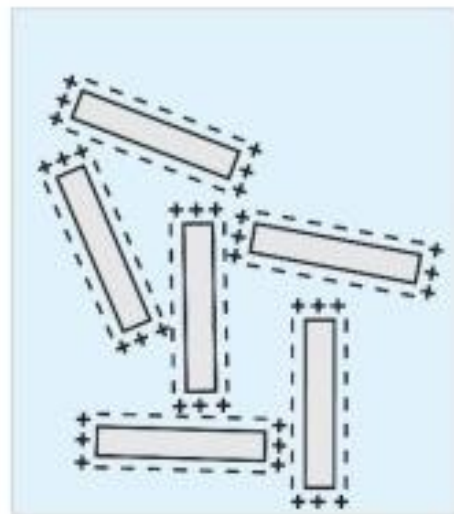
پایداری استریک:

## پایداری الکترواستریک:



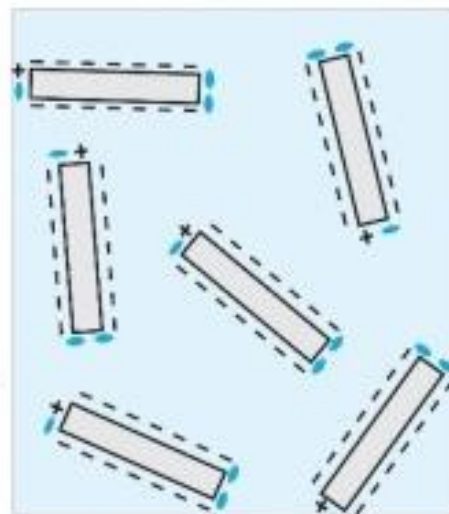
پلی الکترولیت های متصل شده  
به ذرات بدون بار

پلی الکترولیت ها در سوسپانسون باردار می شوند.

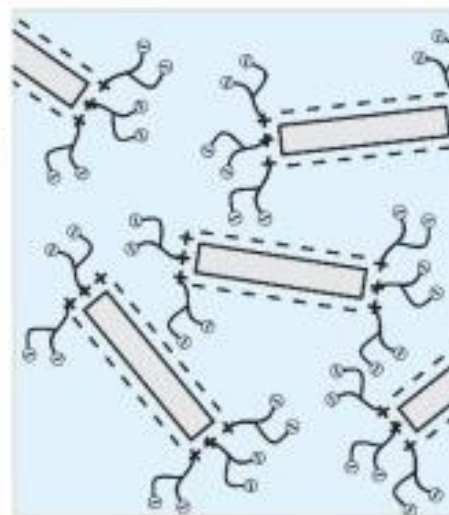


ذرات رسی و نیروهای جاذبه  
بین سطح و لبه های ذرات

نیروهای دافعه  
الکترواستاتیک



نیروهای دافعه  
الکترواستریک



# سوسپانسیون ذرات سرامیکی:

شکستن آگلومره ها و پخش کردن ذرات سرامیکی مراحل اصلی در شکل دهی (در روش دوغابی، پلاستیک و خشک) هستند.

پخش شدن پودر در حلال شامل ۳ مرحله می باشد:

- تر شدن سطح پودر
- شکسته شدن آگلومره ها
- پایدار شدن پخش ذرات

مواد افزودنی تحت نام dispersant یا عامل فعال کننده سطحی می تواند در انجام این ۳ مرحله موثر باشد.

ایجاد بار سطحی اکسیدها در آب به دلیل موارد زیر است:

- ۱- جذب ترجیحی یون ها
- ۲- تفکیک گروه های سطحی
- ۳- جانشینی ایزومورفی
- ۴- جذب پلیمرهای باردار (پلی الکترولیت ها)

بنابراین به طور خلاصه می توان مکانیزم های متعددی که بارهای سطحی ذرات اکسیدی را ایجاد می کند به دلیل:

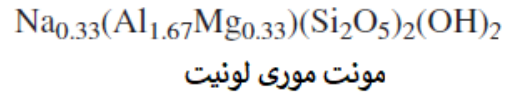
- ۱- واکنش **گروه های هیدروکسل** موجود در سطح اکسیدها
- ۲- جذب یون های خاص، پراکنده کننده ها **dispersant** یا دی فلوکولانت
- ۳- آزاد شدن یون ها در آب، مانند آزاد شدن یون های قلیایی مانند یون سدیم یا یون پتاسیم از سطح رس که باعث ایجاد سطح منفی در ذرات رس می شود.

## چند نکته:

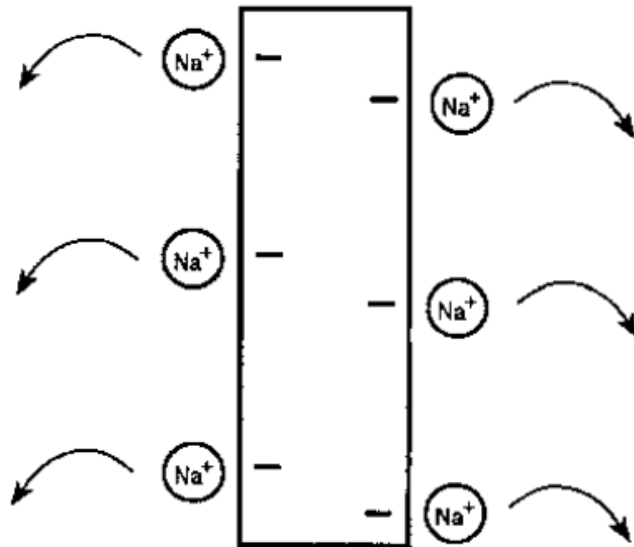
جذب ترجیحی یون ها از محلول، معمول ترین پروسه ایجاد بار در ذرات اکسیدی در آب است. در حالیکه جانشینی ایزومورفی در رس ها مکانیزم غالب است.

در شبکه کریستالی کانی های رسی بعضی از کاتیون ها با کاتیون های دیگر با ظرفیت کمتر بدون تغییر ساختار کریستالی جابجا می شوند. برای مثال یون های  $Si^{+4}$  با  $Al^{+3}$  یا یون های  $Mg^{+2}$  جابجا می شود. این جانشینی منجر به کاهش بارهای مثبت می شود که تعادل با جذب سایر یون های مثبت مانند  $Na^+$ ،  $K^+$  یا  $Ca^{+2}$  که جذب سطح ذرات پولکی شکل رس (سطوح پهن بزرگتر می شوند) ایجاد می شود. این پروسه به طور طبیعی در هوازگی رس ها اتفاق می افتد.

به عنوان مثال: در کانی رس پیروفیلیت  $Al_2(Si_2O_5)_2(OH)_2$  جانشینی ایزومورفی که  $Mg^{+2}$  جایگزین یون های  $Al^{+3}$  در شبکه می شوند و مونت موری لونیت ایجاد می شود. در این کانی کمبود بار روی سطح ذرات با یون های سدیم متعادل می شود. وقتی کانی مونت موری لونیت در آب پخش شود یون های سدیم آزادانه وارد محلول می شوند و باعث بار دار شدن سطوح (بار منفی) می شوند.

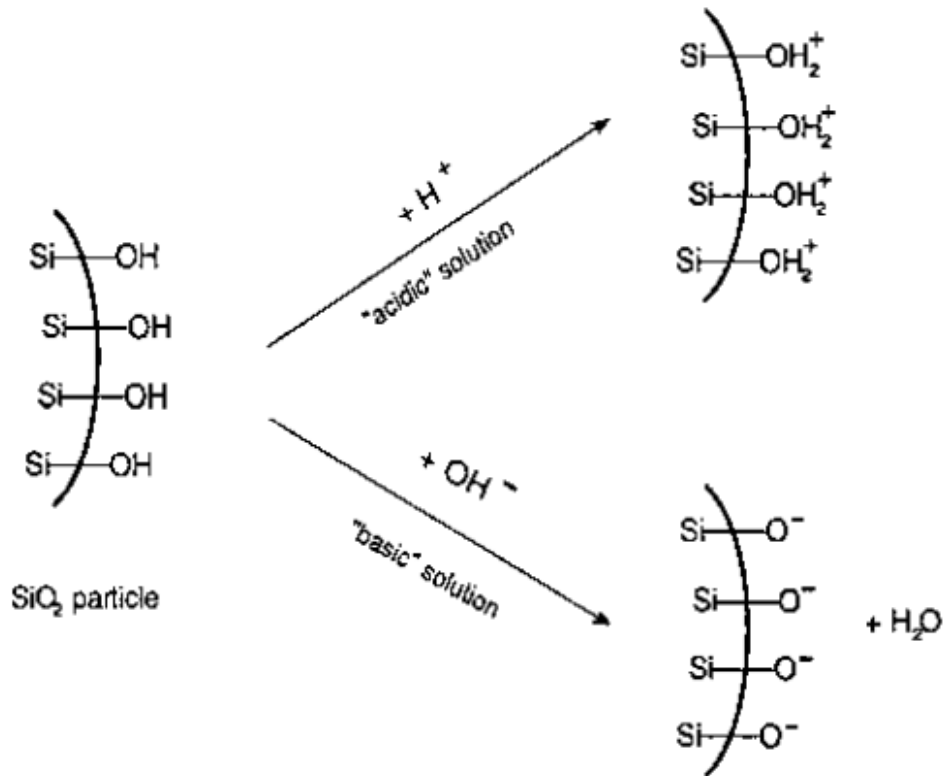


لبه های ذرات رسی جایی که نقص ها به علت پیوندهای شکسته شده ایجاد شده اند در آب در pH کم بار مثبت ایجاد می شود و اگر pH به ۷ افزایش یابد بار مثبت به صفر می رسد.



جذب پلی الکترولیت ها مکانیزم اصلی باردار شدن در پایداری الکترواستریک است. تفکیک گروه های سطحی قابل یونیزه شدن مانند سولفات، سولفونیت، کربوکسیل و گروه های آمینو

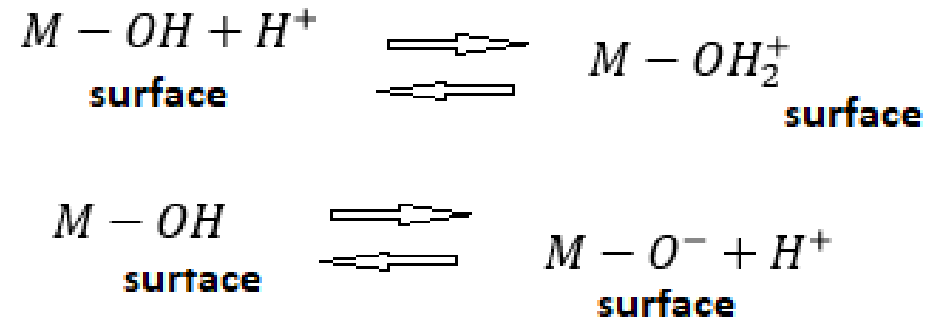
اغلب سطوح اکسیدی هیدراته می شوند، برای اکسید فلز M گروه های MOH روی سطح ایجاد می شوند. در محلول اسیدی جذب یون های  $H^+$  سطح با بار مثبت ایجاد می کند. در محلول بازی جذب یون های  $OH^-$  سطوح با بار منفی ایجاد می کند. در pH متوسط جذب یون های  $H^+$  و  $OH^-$  متعادل می شوند و سطح ذره خنثی می شود. مقدار pH که سطح ذره صفر شود به عنوان نقطه با بار صفر PZC است. اکسیدهای اسیدی مانند  $SiO_2$  دارای PZC کم و اکسیدهای بازی مانند  $MgO$  یا  $Al_2O_3$  PZC زیاد دارند.



PZC: Point of Zero Charge

IEP: Iso Electric Point

در اغلب اکسیدها PZC= IEP است.



## تئوری لایه مضاعف الکتریکی:

طبق این تئوری هنگامی که رس در داخل آب ریخته شود دو لایه حول آن تشکیل می شود.

۱- تک لایه کاتیونی

۲- لایه پراکنده متشکل از کاتیون ها و مولکول های قطبی آب

کاتیون ها موجب خنثی شدن و کاهش بار الکتریکی سطح ذرات رس می شود، اگر این کاهش بار الکتریکی تا حدی باشد که نیروهای دافعه ضعیف تر از نیروهای جاذبه شوند، ذرات رس یکدیگر را جذب کرده و دوغاب ناپایدار و ویسکوز می شود.

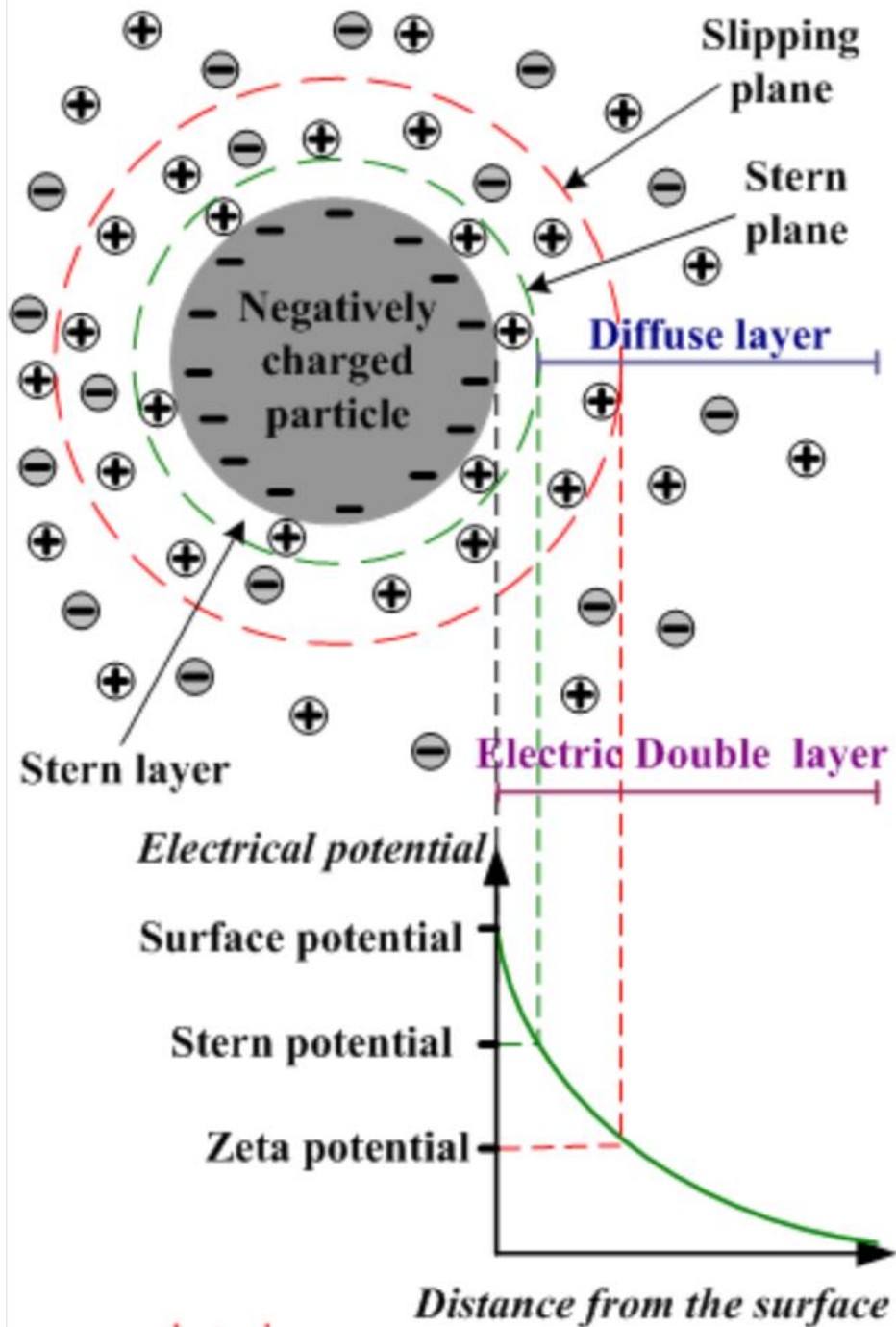
در این شرایط حضور روانسازها مشکل را بر طرف می سازد.

کاتیون هایی مانند هیدروژن که شدت میدان بیشتری دارند را با کاتیون های سدیم که شدت میدان کمتری دارد جایگزین می کنیم.

برای روانسازها یک مقدار بهینه وجود دارد اگر از این مقدار کمتر باشد نیروی دافعه عمل نمی کند و اگر بیش از مقدار بهینه به سیستم اضافه شود لایه مضاعف بزرگ تر می شود فاصله ذرات افزایش یافته و نیروی دافعه کاهش می یابد.



# لايه مضاعف الكترىكى پتانسىل زتا:

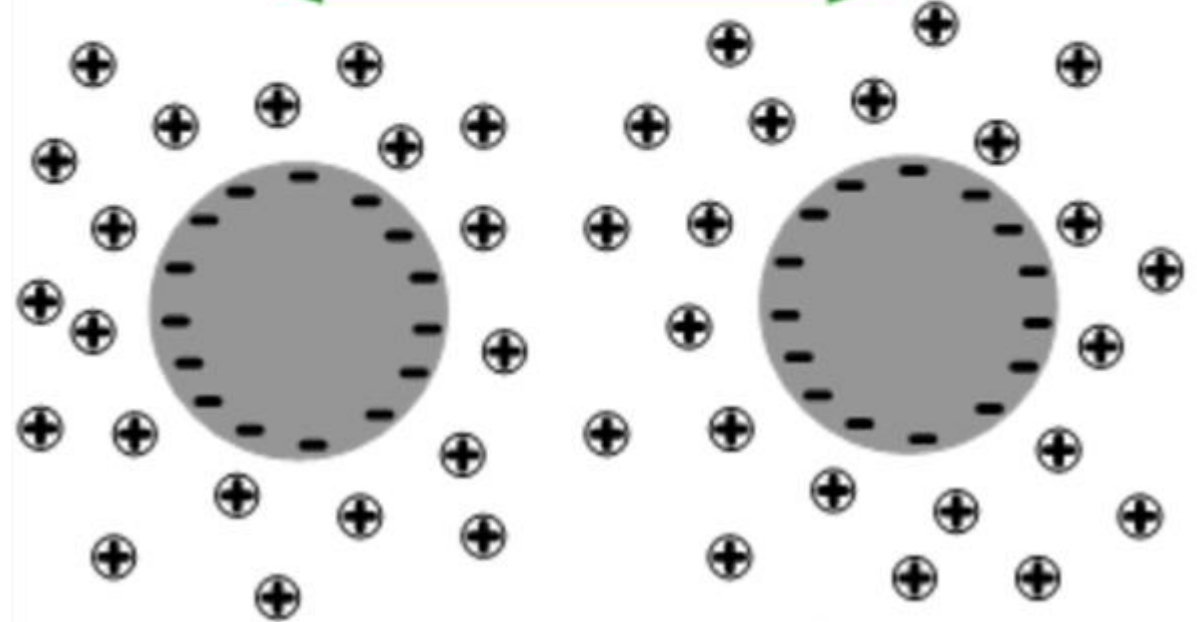


## DLVO theory

جاذبه واندروالس

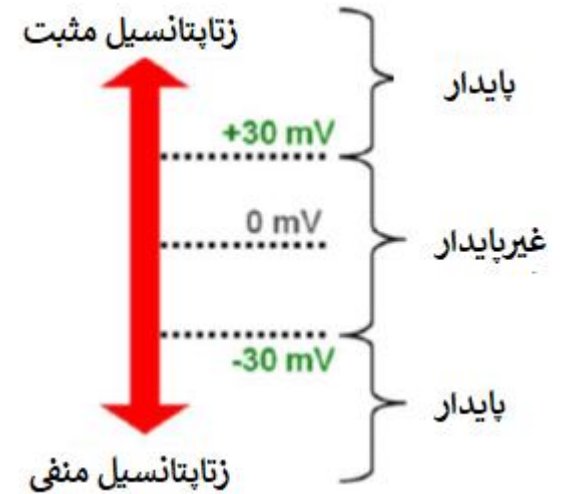
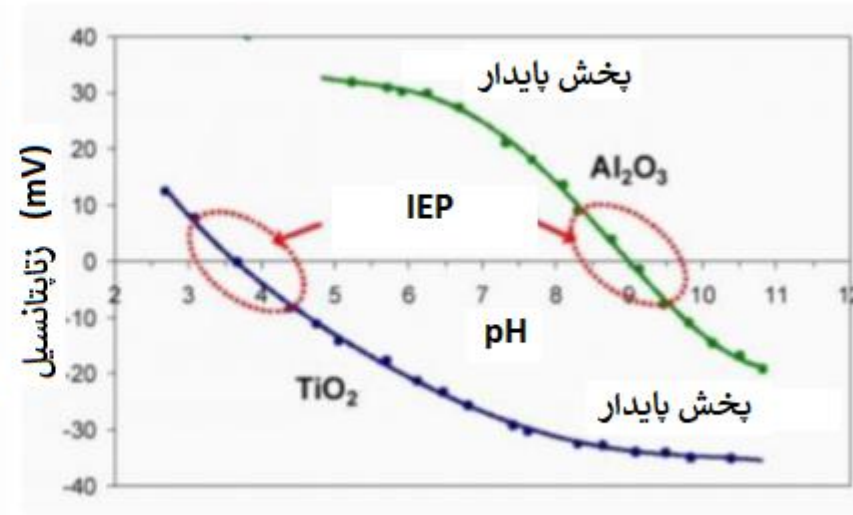
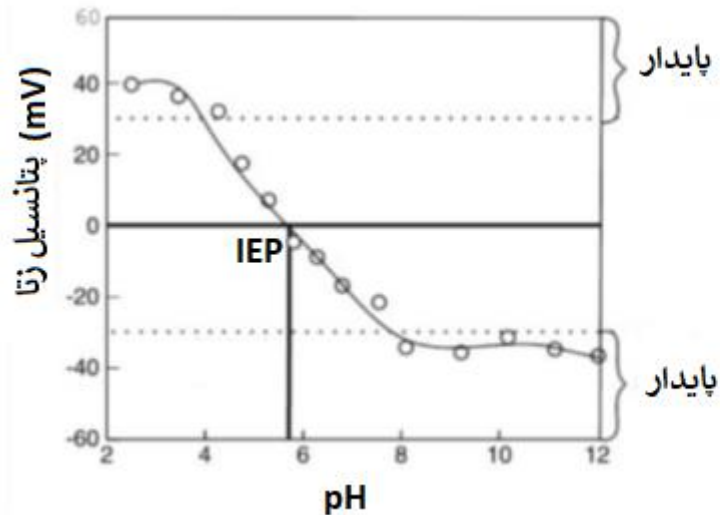


دافعه الكترىك



# اثر pH بر پتانسیل زتا:

پتانسیل زتا نقش مهمی در اندازه گیری پایداری سوسپانسیون های کلوئیدی دارد. سوسپانسیون های تهیه شده در مقادیر pH نزدیک به نقطه ایزوالکتریک به راحتی و سریع به هم می چسبند و فلوکوله می شوند زیرا دافعه به اندازه کافی برای غلبه بر نیروهای جاذبه و اندروالس قوی نیست. دورتر از IEP فلوکوله شدن آهسته تر می شود. در عمل برای پایداری خوب سوسپانسیون ها اغلب در مقادیر pH که زتاپتانسیل بیشتر از ۳۰ میلی ولت باشد تهیه می شوند.



چنانچه قدر مطلق پتانسیل زتا از حدود ۳۰ میلی ولت کمتر باشد، نیروی دافعه ضعیف بوده و نیروی جاذبه و اندروالس عمل می کند و سوسپانسیون ناپایدار می شود.

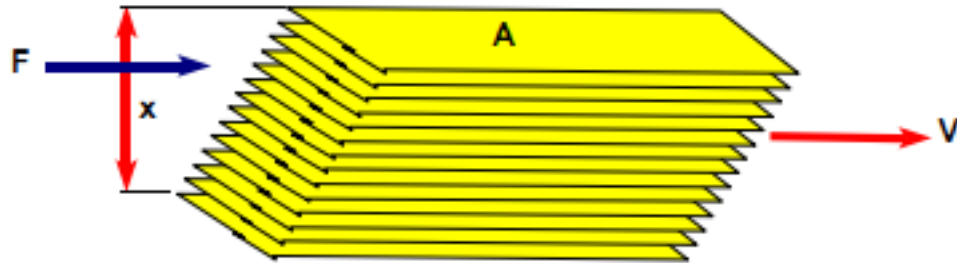
# رئولوژی سیستم های سرامیکی:

رئولوژی: علم بررسی رفتار جریانیه یک سیال در اثر همزدن مکانیکی یا رها کردن برای مدت زمان خاصی ویسکوزیته (گرانروی): عبارت است از مقاومت یک سیال (اصطکاک داخلی بین ذرات) در برابر جاری شدن و ویسکوزیته عکس سیالیت می باشد. واحد آن پواز است. یک پواز برابر نیروی است که دو صفحه به ابعاد ۱cm و فاصله ۱cm را با سرعت ۱cm/s حرکت دهد.

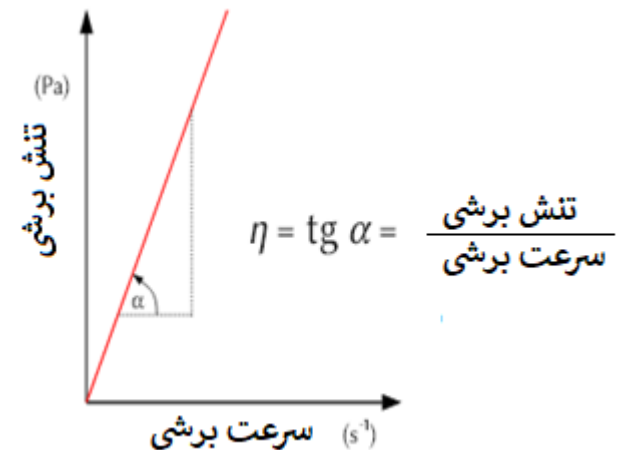
$$1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ Poise} = 10P$$

گرانروی را می توان نسبت تنش برشی به سرعت برشی نیز تعریف کرد. برای تعیین گرانروی می توان دوغاب را با سرعت های برشی مختلف هم زد و تنش برشی که همان نیروی مقاومت دوغاب در برابر همزدن است اندازه گیری نمود. دانستن رفتار رئولوژیکی سیستم های سرامیکی نکته مهم در شکل دهی است و اغلب رفتارهای پیچیده نشان می دهند که بستگی به شکل و غلظت ذرات، توزیع اندازه ذرات و البته به نیروهای برهم کنش بین ذرات دارد.

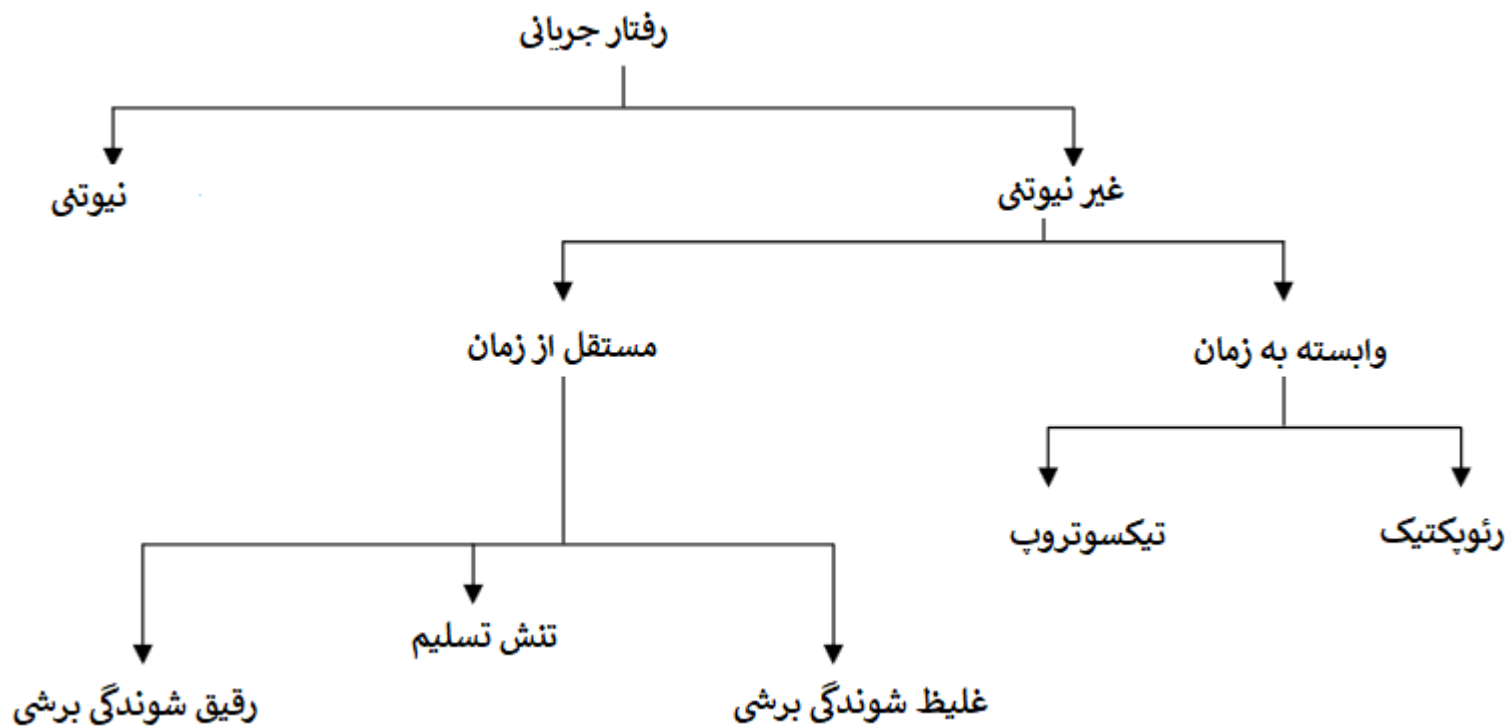
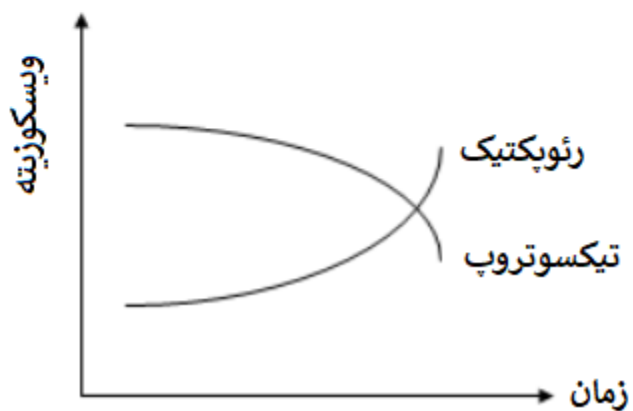
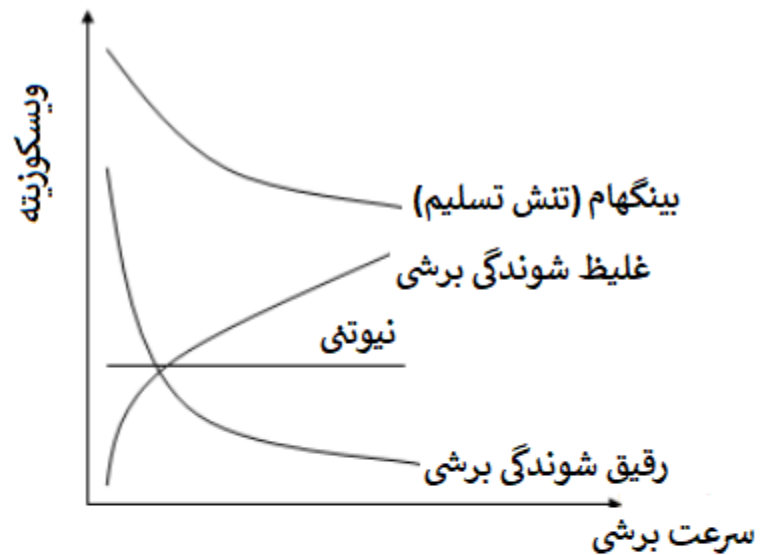
برای اندازه گیری گرانروی از ویسکومتر (رئومتر) استفاده می شود.



$$\text{گرانروی} = \frac{\text{تنش برشی}}{\text{سرعت برشی}} \text{ (Pa.s)}$$



- Shearing Stress = Force/Area (Newton/Square Meters)
- Shearing Rate = Change in Velocity/Distance (1/Seconds)
- Must Control One of these and Measure the other usually with well defined conditions



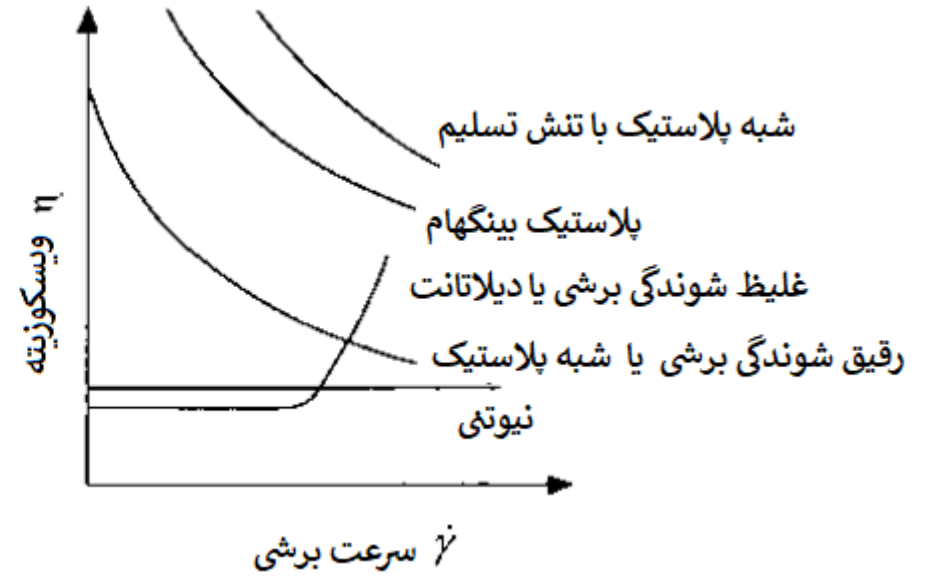
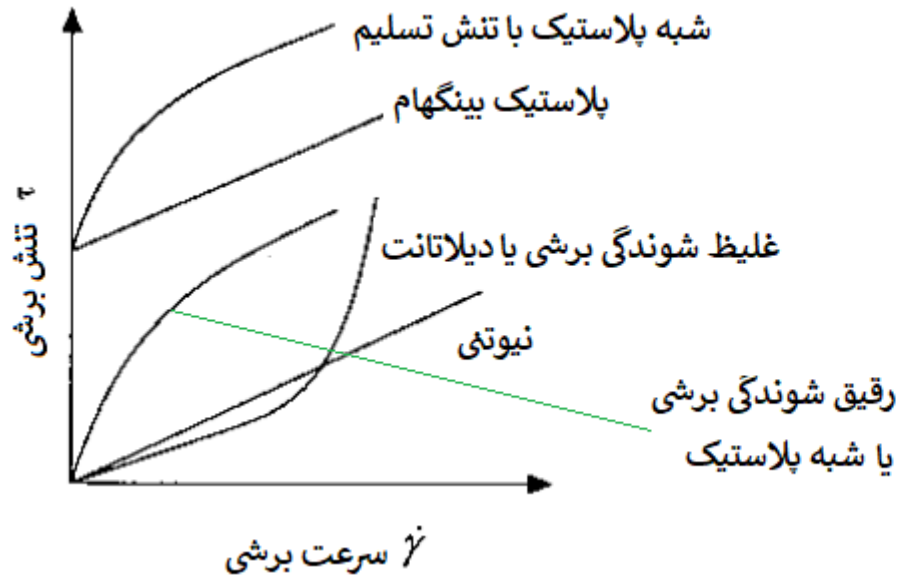
رفتار رئولوژیک دوغاب‌ها شامل رفتارهای زیر می‌باشد:

نیوتنی

جریان‌های رقیق شوندگی برشی یا شبه پلاستیک

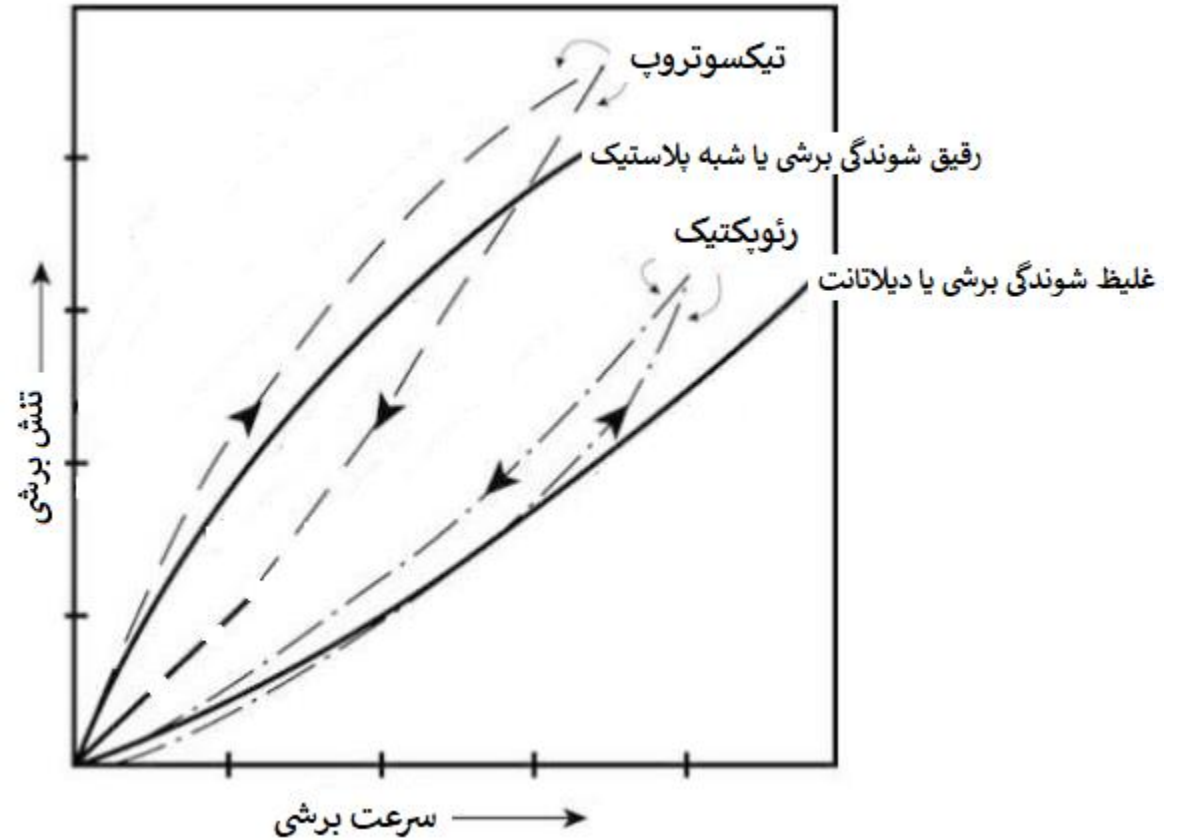
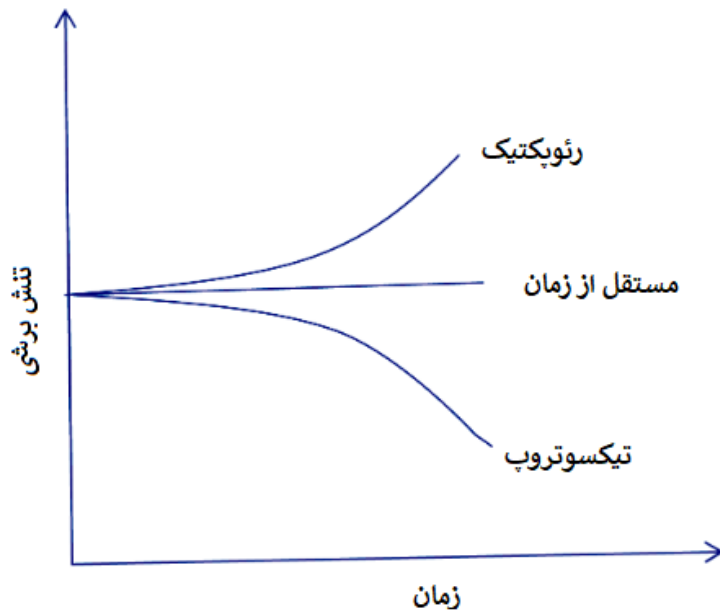
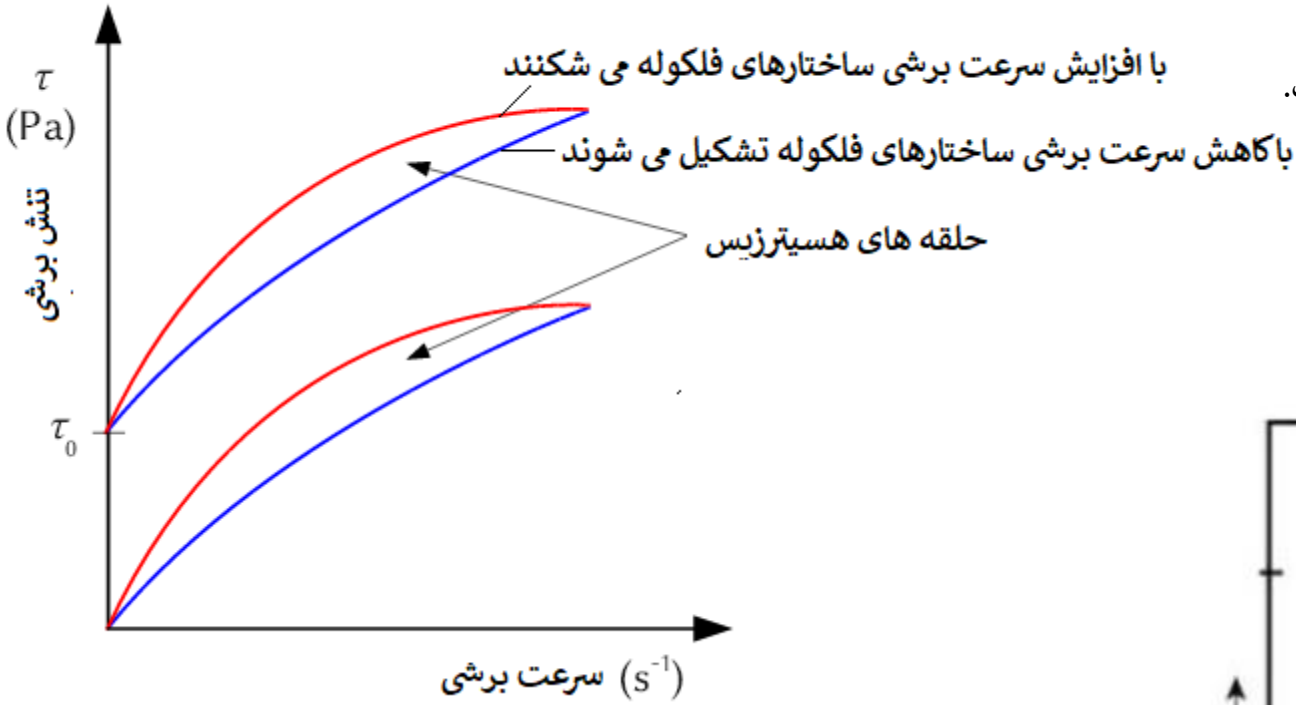
جریان‌های غلیظ شوندگی برشی یا دیلاتانت

پلاستیک: سیال‌های بینگهام



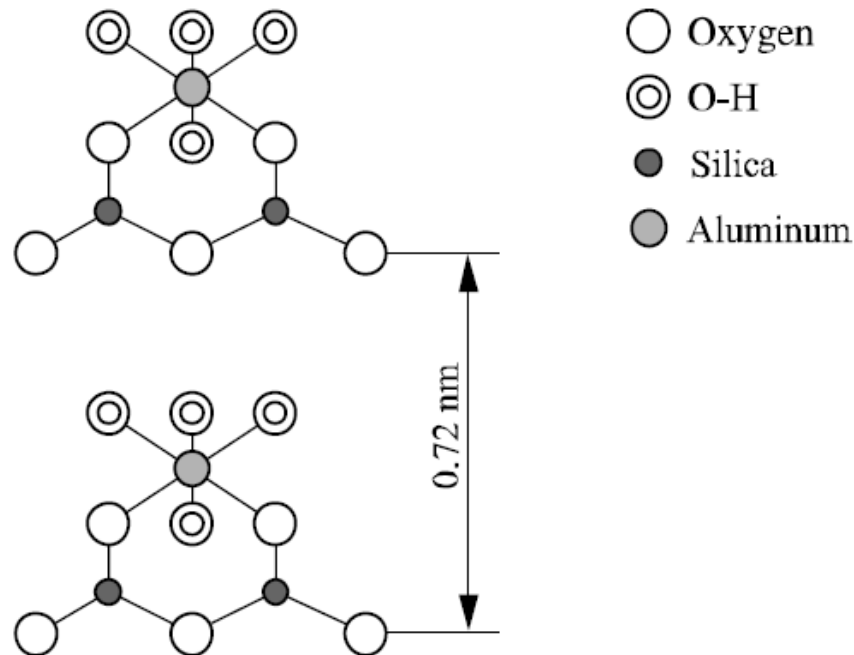
## تیکسوتروپ:

رفتار رئولوژیکی سوسپانسیون ها که علاوه بر سرعت برشی به زمان هم وابسته است. رفتار متضاد تیکسوتروپی یعنی ویسکوزیته با سرعت برشی افزایش می یابد و بستگی به زمان نیز دارد، این رفتار رئوپکتیک گفته می شود.



**رس ها:** کانی های آلومینوسیلیکاتی آبدار هستند که ساختار آن ها از قرار گرفتن دو نوع لایه شامل آلومینیوم در فضای اکتاهدرال و سیلیکون در فضای تتراهدرال ساخته می شوند. سطح ویژه بزرگ آن ها (۱۰ تا ۱۰۰ m<sup>2</sup>/g)، ساختار پولکی شکل و ماهیت فیزیکوشیمیایی سطح آن ها رس ها را قادر به شکل پذیری با آب می کند، به صورت سوسپانسیون های کلوئیدی و خمیرهای پلاستیک

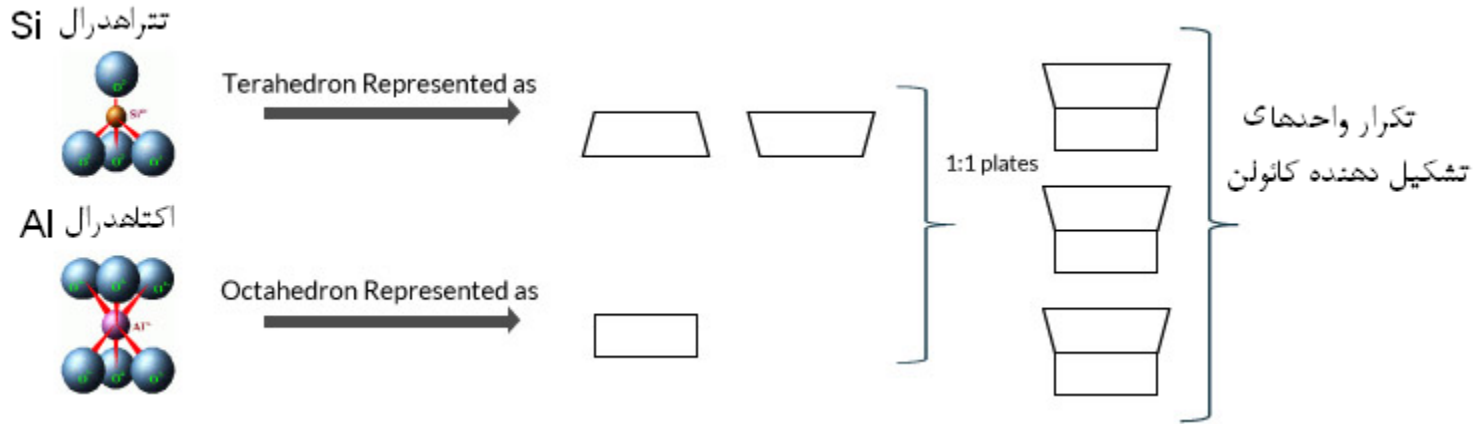
این مشخصات رس، برای تهیه سوسپانسیون های همگن و پایدار در ریخته گری دوغابی مناسب است و همچنین ساخت خمیر با استحکام بالا را ممکن می کند.



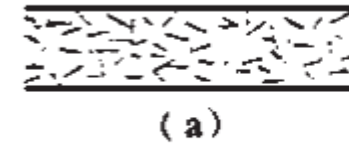
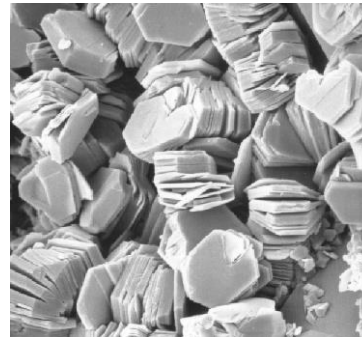
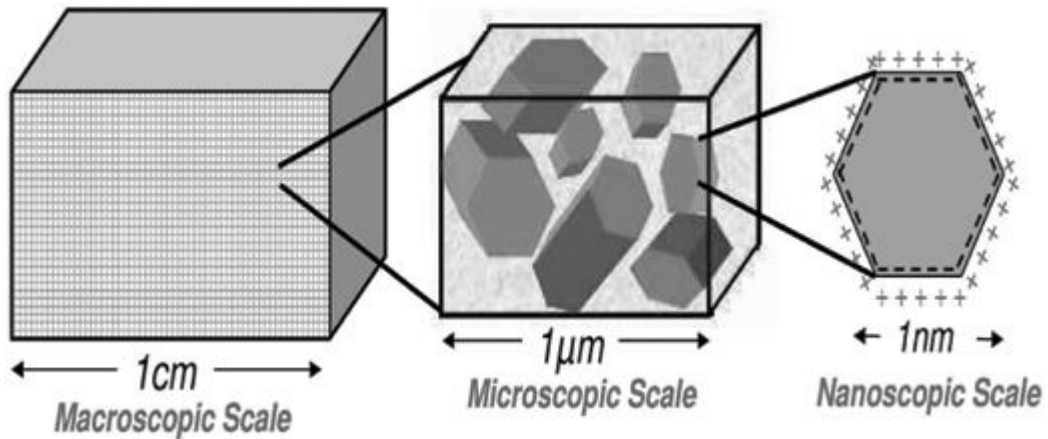
ساختار کائولن

## خواص ذرات رسی:

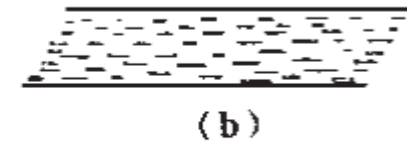
کائولینیت مینرال رسی است که دارای ترکیب شیمیایی  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  می باشد. لایه تتراهدرال سیلیکا ( $SiO_4$ ) از طریق اتم های اکسیژن به لایه اکتاهدرال آلومینا ( $AlO_6$ ) متصل می شود.



جهت گیری ترجیحی ذرات رسی: رس ها به دلیل شکل صفحه ای خود در راستای نیرو به طور موازی جهت گیری می کنند.



(a) قبل از شکل دهی



(b) بعد از شکل دهی



## آماده سازی مخلوط مواد اولیه برای ساخت قطعات سرامیکی:

الف- حذف ناخالصی ها، آهن و ترکیبات آن، ترکیبات تیتانیوم، کربنات کلسیم، نمک های محلول، اکسیدها ی رنگی و عناصر قلیایی

ب- اضافه کردن بعضی مواد مفید تحت نام افزودنی ها جهت بهبود برخی خواص، مانند روان سازها، لخته کننده ها، چسب ها، پلاستی سایزرها و غیره

ج- عملیات کلسینه کردن، خردایش،

تهیه دوغاب ← ریخته گری دوغابی

آماده سازی گل پلاستیک ← شکل دهی پلاستیک

آماده سازی پودر برای پرس ← پرس پودر

# افزودنی ها:

بعضی از خواص مورد نظر برای بدنه های سرامیکی به کمک مواد افزودنی فراهم می شود. بعضی از این افزودنی ها در مراحل مختلف ساخت محصولات سرامیکی از بدنه خارج می شوند و نهایتا از ترکیب نهایی بیرون می روند.

تعدادی از چسب های آلی و معدنی

معدنی	آلی
کائولین	سلولز (C.M.C)
بال کلی	صمغ عربی
بنتونیت	نشاسته
سیلیکات سدیم	دکسترین
سیلیکات اتیل	آلژینات سدیم
فسفات های قلبایی	آلژینات آمونیوم
آلومینات سدیم	اترهای سلولز
	پلی وینیل الکل
	پلی وینیل بوتیرال
	پلی اتیلن گلیکول
	پارافین
	امولسیون های موم
	ملاس ها
	کازئین
	آرد ذرت
	ژلاتین
	گلوکز
	گلیسرین
	سولفونات لیگنین
	اسید تانیک
	اوره

روان سازها **Deflocculants**: موادی که با حداقل آب سیالیت مطلوب دوغاب را تامین می کنند.

لخته کننده ها **Flocculants**

چسب ها **Binders**

روان کننده ها **Lubricants**

پلاستی سایزرها **Plasticizers**

عوامل تسریع کننده خشک شدن قطعات سرامیکی

کف سازها **Foaming agents**

ضد کف **Antifoaming**

آلی	معدنی
پلی‌آکریلات سدیم	هیدروکسید سدیم
پلی‌آکریلات آمونیوم	سیلیکات سدیم
نیتрат سدیم	کربنات سدیم
سوسینات سدیم	پروفسفات سدیم
تارتارات سدیم	تترافسفات سدیم
پلی‌سولفونات سدیم	آلومینات سدیم
نیترات آمونیوم	اگزالات سدیم
دی‌اتیل‌آمین	گالات سدیم
تری‌اتیل‌آمین	تانات سدیم
پیریدین	اگزالات آمونیوم
پیریدین	هیدروکسید لیتیم
اتیل‌آمین	کربنات لیتیم
پلی‌وینیل‌آمین	آلومینات لیتیم
	سیترات لیتیم

## مزایای استفاده از روان‌سازها:

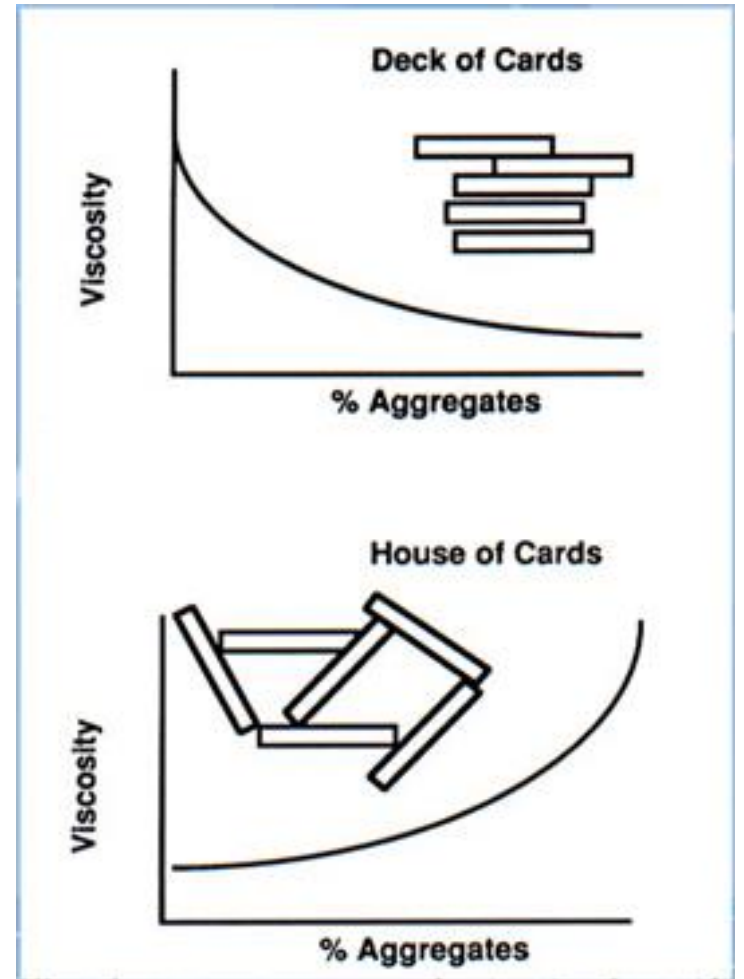
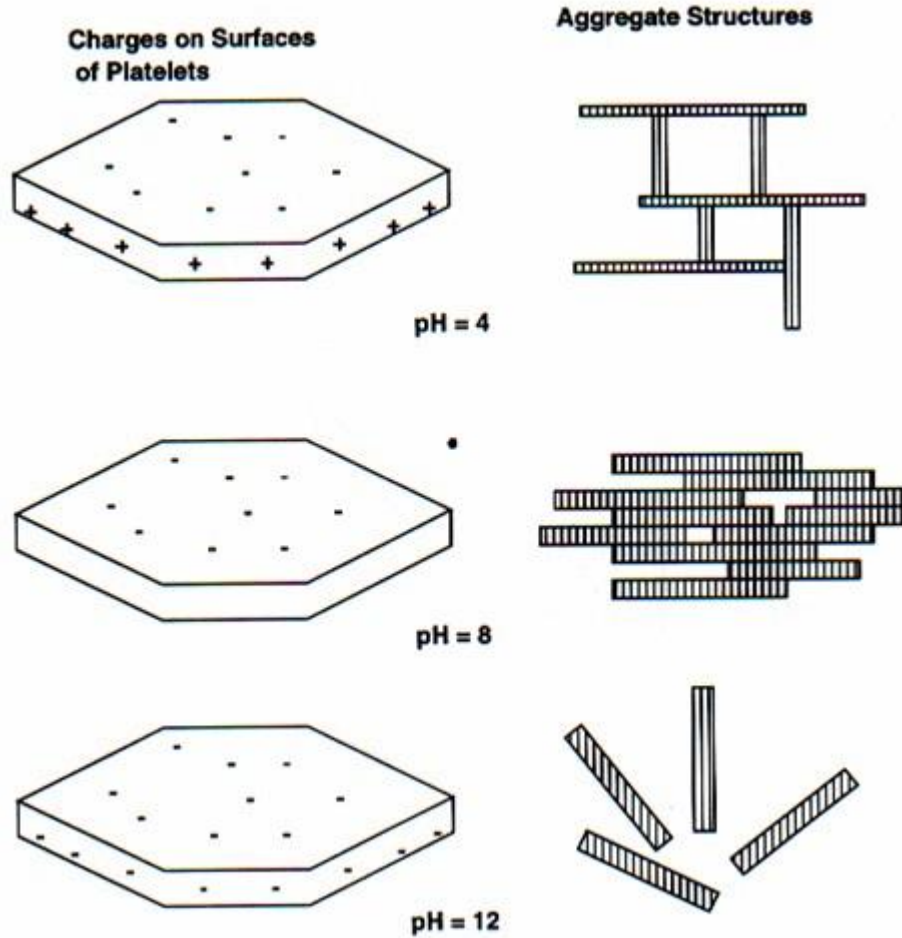
- کاهش مصرف آب و کاهش گرانی
- کاهش زمان آسیاب
- افزایش دانسیته دوغاب
- کاهش تخلخل بدنه
- جلوگیری از ته نشینی مواد

## مقایسه روان‌سازهای معدنی و آلی:

آلی: عدم چسبندگی به قالب  
 نداشتن اثر منفی بر روی قالب  
 عدم ورود ترکیباتی مانند سدیم که باعث شیشه‌ای شدن می‌شود  
 خروج از بدنه در هنگام حرارت دهی  
 گران قیمت  
 بوی نامطلوب

# پولک های رسی در محیط های مختلف:

# تأثیر طرز قرار گیری پولک ها بر گراندروی:



# ریخته گری دوغابی:

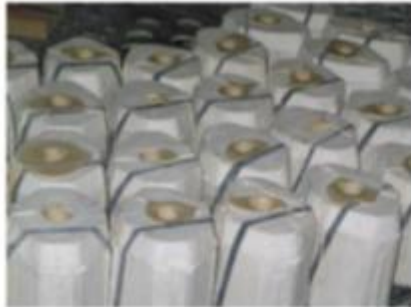
روشی سنتی برای تولید قطعات با شکل های پیچیده، مانند ظروف پخت و پز، بهداشتی، دیرگداز و سرامیک های تکنیکی

## تهیه دوغاب:

پس از ریز و نرم کردن مواد اولیه برای ساخت بدنه های سرامیکی، آن ها را با نسبت های مشخص با هم مخلوط می کنیم. یک بدنه سرامیکی سنتی عمدتاً از مواد رسی، فلدسپار و کوارتز تشکیل شده است. مواد اولیه رسی معمولاً در داخل آب باز شده و مواد اولیه غیر رسی به آن وارد می شود.

## اهداف تهیه دوغاب:

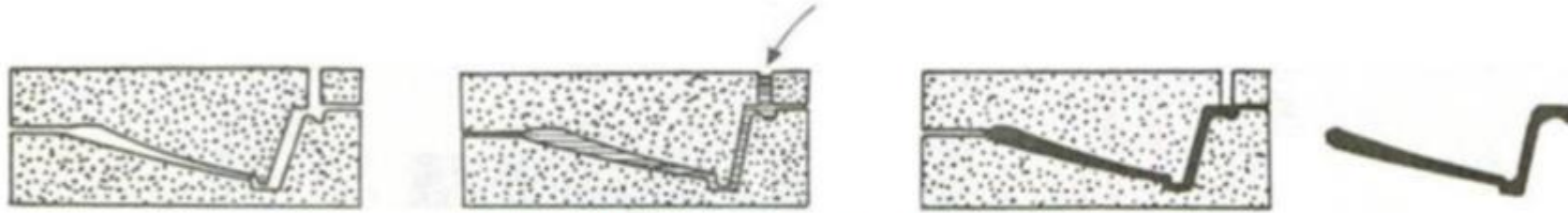
- برای شکل دادن قطعات سرامیکی به روش ریخته گری دوغابی
- تهیه گل پلاستیک مورد مصرف در شکل دادن قطعات سرامیکی
- دوغاب مناسب برای تهیه گرانول مناسب پرس



# انواع ریخته گری:



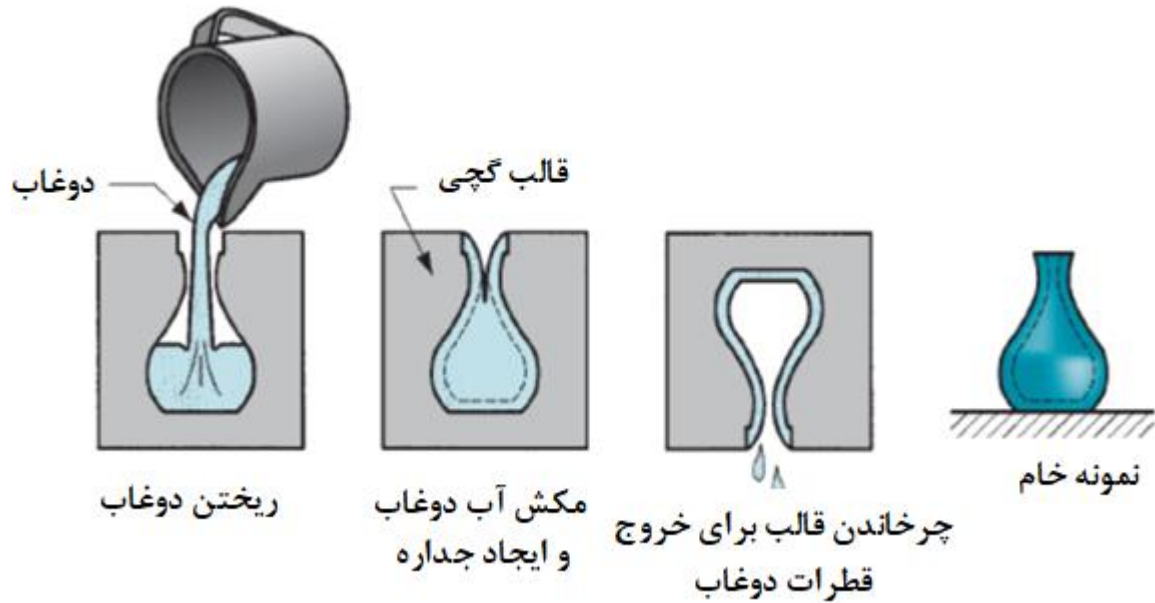
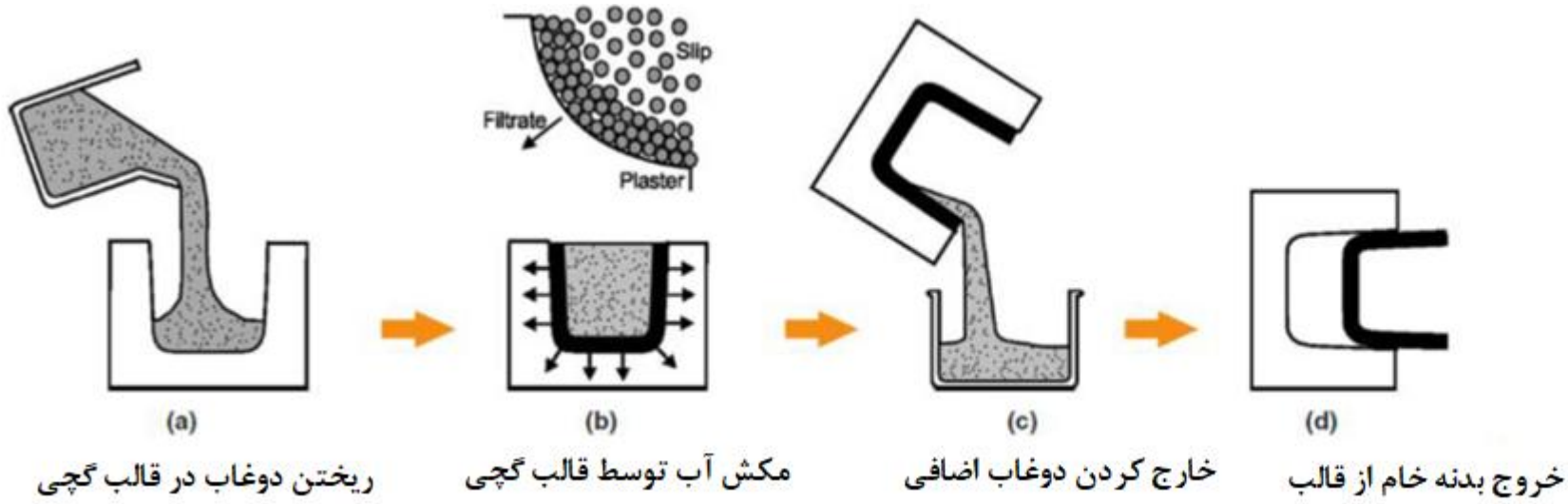
ریخته گری توخالی Drain Casting



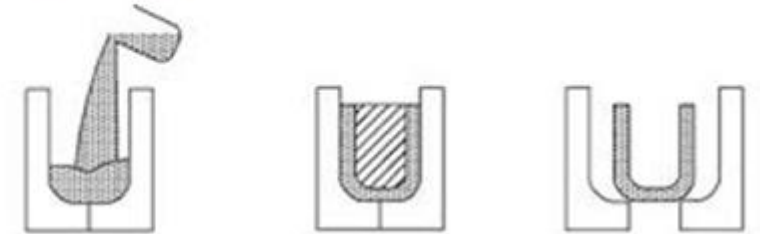
ریخته گری تو پر Solid Casting



## مراحل ریخته گری دوغابی:



ریخته گری دوغابی در قالب دو تکه ای



# ریخته گری تحت فشار:

ریخته گری دوغابی تحت فشار، مشابه کار یک فیلتر پرس است. در فیلتر پرس، آب دوغاب با فشار از میان یک فیلتر پارچه ای عبور کرده و ذرات جامد به شکل کیک بین صفحات فیلتر پرس باقی می ماند. در ریخته گری دوغابی تحت فشار، دوغاب به داخل یک قالب یک یا چند تکه پمپ می شود و قالب به عنوان یک فیلتر عمل می کند.

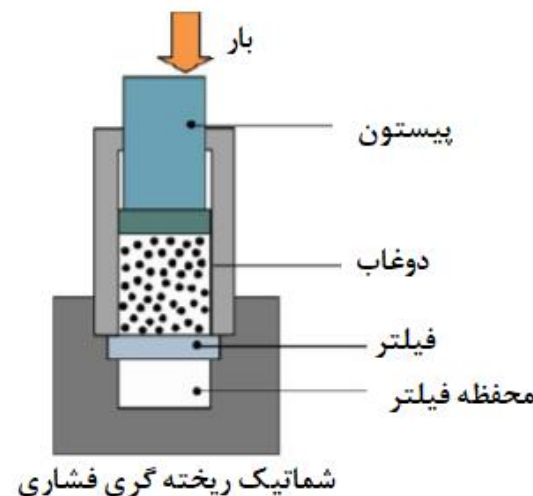
ریخته گری دوغابی تحت فشار به دو دسته تقسیم می شود:

**ریخته گری دوغابی تحت فشار کم:** در این روش از قالب های گچی برای ریخته گری استفاده می شود، بنابراین فشار اعمال شده نمی تواند خیلی بالا باشد. این روش برای صنایعی مانند چینی بهداشتی یا ظروفی که از سرعت تولید کمتری برخوردار باشند کاربرد دارد.

**ریخته گری دوغابی تحت فشار بالا:** ریخته گری دوغابی تحت فشار بالا در قالب های رزینی انجام می شود. در این روش، از رزین هایی که مانند گچ، متخلخل بوده و در ضمن استحکام بالایی دارند استفاده می شود. رزین ترکیبی طبیعی یا مصنوعی است که گرانروی بالایی داشته و تحت شرایط خاص سخت می شود. با به کارگیری قالب های رزینی می توان فشار وارد شده به دوغاب را افزایش داد، بنابراین سرعت تشکیل جداره در این روش بیشتر است. این نوع قالب ها به گونه ای ساخته می شوند که با تغییر میزان فشار از کم به زیاد، سرعت تشکیل جداره بیشتر و در نهایت پس از رسیدن به فشار معینی، ریخته گری متوقف می شود. پس از تکمیل فرایند شکل گیری، آب جذب شده توسط هوای فشرده به بیرون منتقل شده و به جداشدن قطعه از قالب کمک می کند.



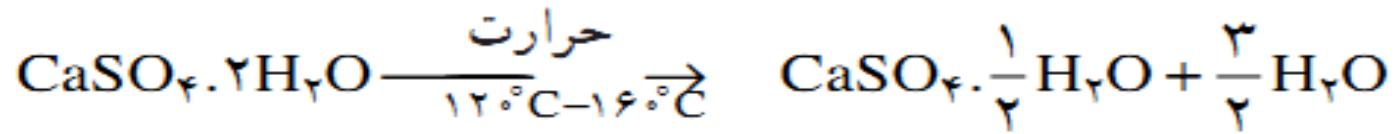
ریخته گری تحت فشار در تولید چینی بهداشتی





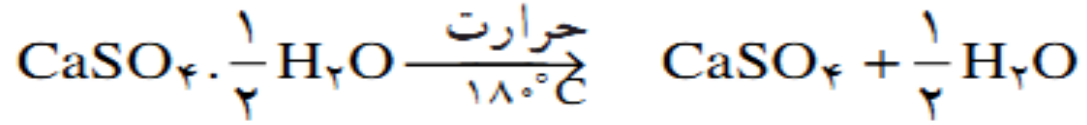
# قالب گچی:

واکنش کلسینه شدن

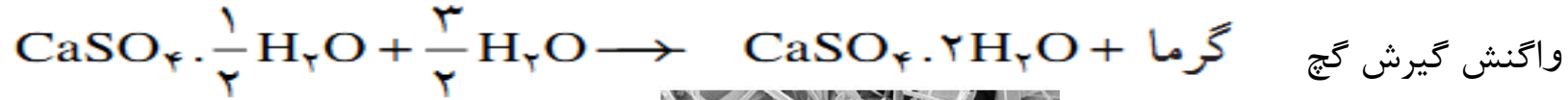


سنگ گچ

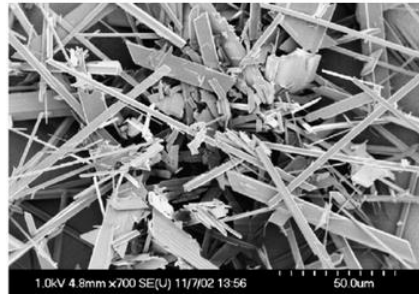
گچ نیمه هیدرات



گچ انیدرید



واکنش گیرش گچ

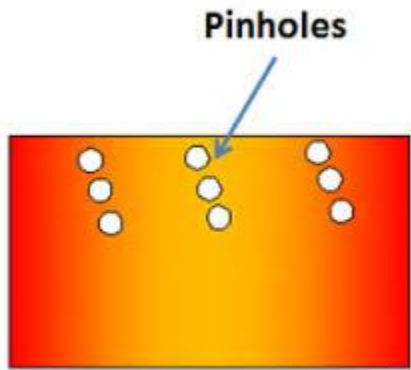


تصویر کانی ژپس

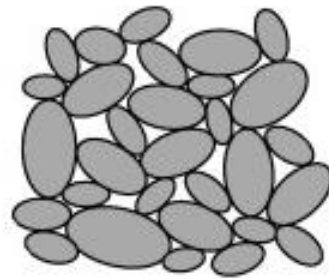
## انواع فازهای گچ

ردیف	نام فاز	فرمول شیمیایی	دمای تشکیل	دانسیته
۱	کلسیم سولفات دی‌هیدرات	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	کم‌تر از $40^\circ\text{C}$	$2/31 \text{ g/cm}^3$
۲	کلسیم سولفات نیمه‌هیدرات	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	$\beta$ محیط خشک $45-200^\circ\text{C}$ $\alpha$ محیط خیس زیر $45^\circ\text{C}$	$\beta$ $2/619-2/637$ $\alpha$ $2/757$
۳	انیدرید III	$\text{CaSO}_4$	$\alpha$ هوا $100^\circ\text{C}$ $\beta$ خلأ $50^\circ\text{C}$	$2/58$
۴	انیدرید II	$\text{CaSO}_4$	$200-1180^\circ\text{C}$	$2/93-2/98$
۵	انیدرید I	$\text{CaSO}_4$	$+1180^\circ\text{C}$	تعیین نشده

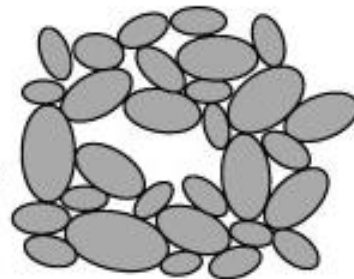
### ۳ دلیل عمده عیوب در ریخته گری:



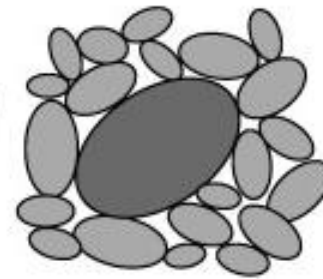
- عیوب در بدنه های ریخته گری شده به دلیل
- حضور حفره های بزرگ (پین هول)
- جهت گیری ترجیحی ذرات غیر همسان (مانند پولک های رسی، میکا) در ضخامت کم روی سطح قطعه که باعث انقباض مخالف و ایجاد تنش در پروسه خشک شدن و پخت می شود.
- ریزساختار غیر هموزن مثلاً به علت رسوب ذرات درشت



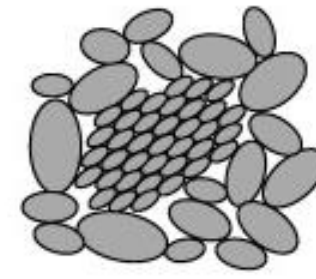
ساختار ایده آل



حفره



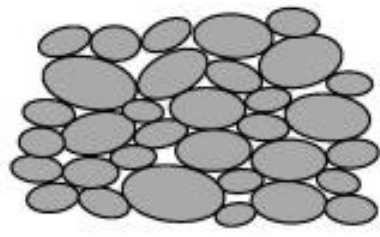
ذره درشت



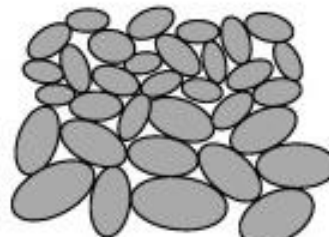
اگریت



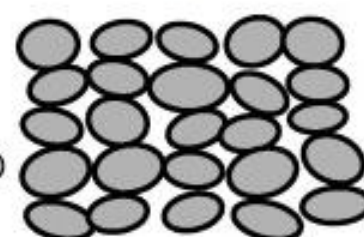
اختلاف دانسیته



ذرات منظم



جدایش اندازه



فشردگی ناهمسان



پس زدن قطعه ناشی از تیکسوتروپی بسیار زیاد دوغاب  
دفرمه شدن



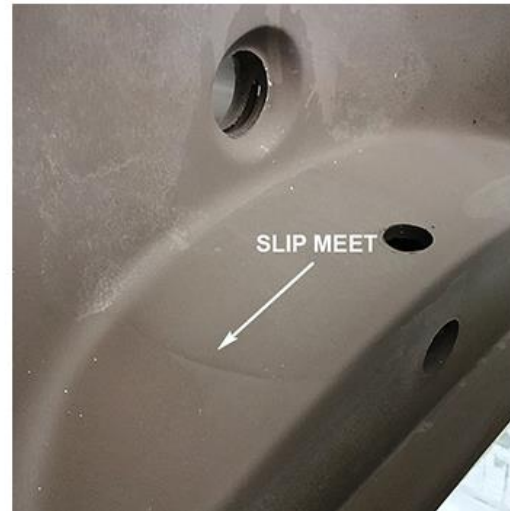
ممانعت از انقباض قطعه یا انقباض غیر یکنواخت  
و ایجاد ترک

تردی و شکنندگی قطعه ناشی از تیکسوتروپی بیسار کم دوغاب

ترک ها در طی خروج قطعه از قالب:  
نبود پلاستیسیته در قطعه  
انقباض بسیار زیاد در قالب

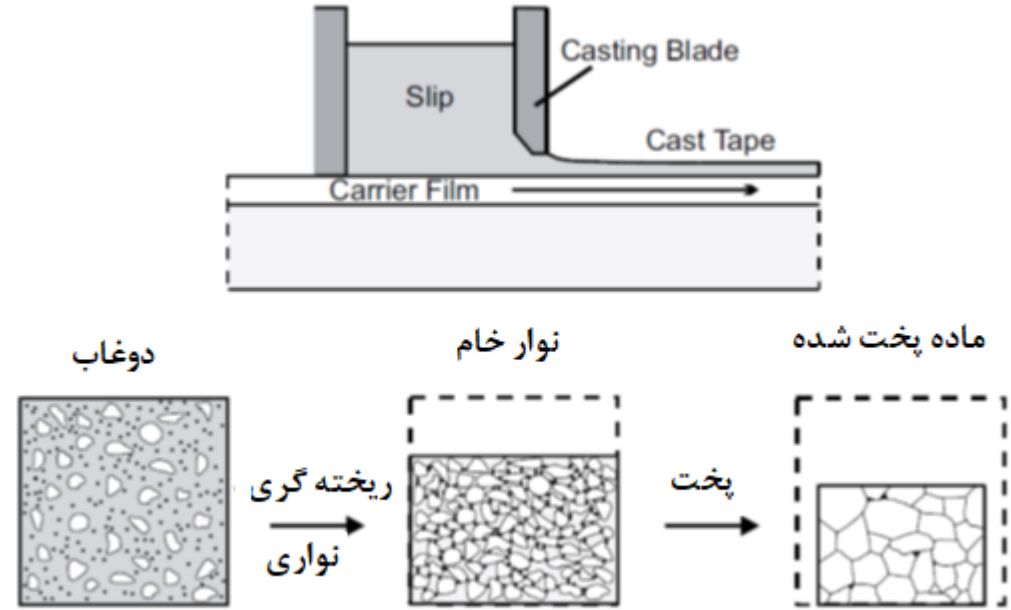
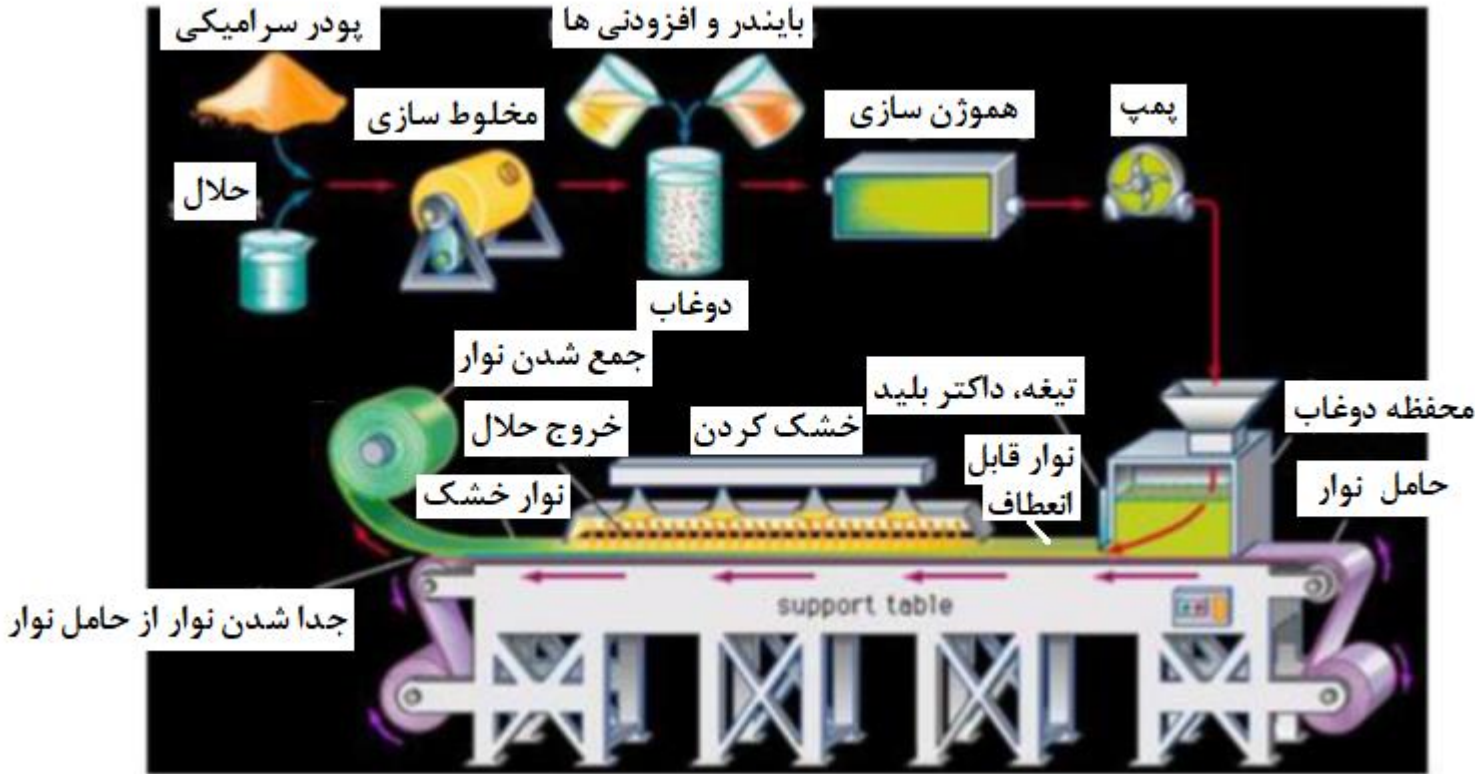


ایجاد سوراخ به دلیل گرانیروی زیاد دوغاب و گیر افتادن حباب های هوا در  
دیواره مجاور قالب



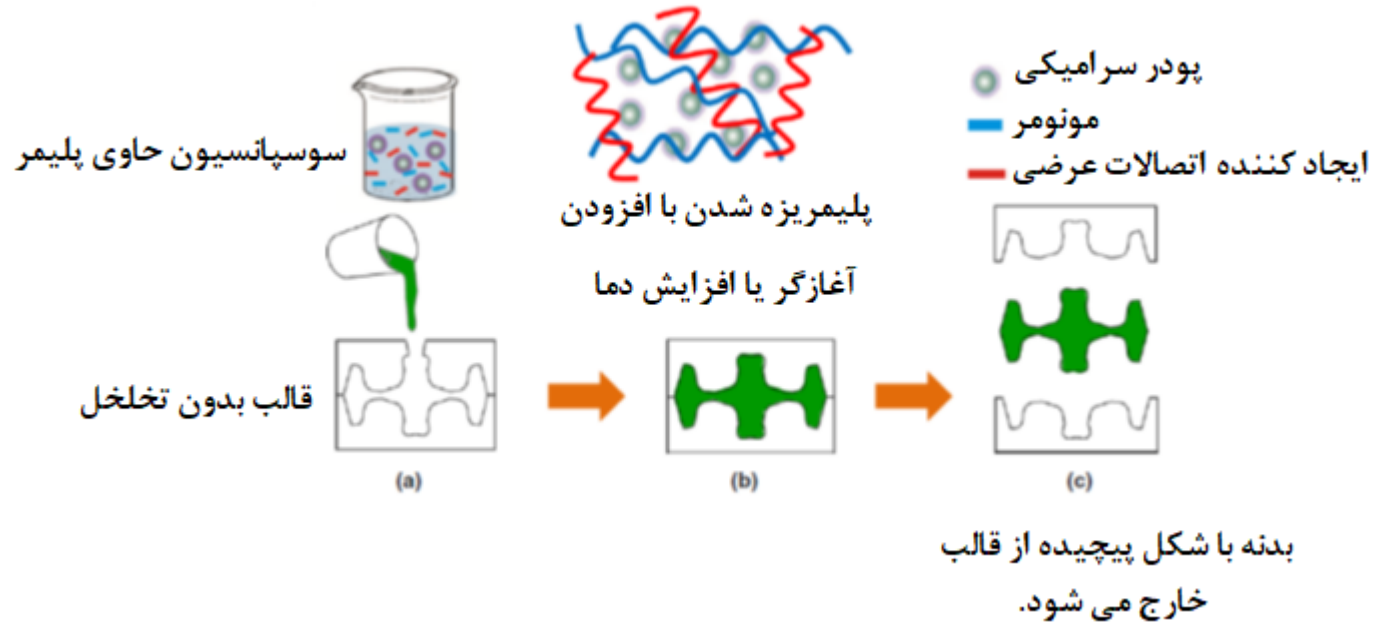
خط و رگه ناشی از پر شدن آهسته یا مکث در هنگام ریختن دوغاب در قالب

**ریخته گری نواری:** برای تولید ورق های سرامیکی با ضخامت کم (۲۵ تا ۱۰۰۰ میکرومتر) و سطوح بزرگ استفاده می شود. در ساخت قطعات با کاربرد های الکترونیکی مانند پایه ها و خازن های چند لایه روش مناسبی است.



سوسپانسیون های این روش، مخلوط های پیچیده از پودرهای سرامیکی به همراه مواد پخش کننده dispersant در سیستم حاوی حلال، بایندها و پلاستی سایزر است.

# ریخته گری ژلی:



ایجاد شبکه سخت به کمک مواد پلیمری در اطراف ذرات سرامیکی و ایجاد ویسکوزیته مناسب برای ریخته گری. با استفاده از آغازگر زمان ریخته گری کنترل می شود.

## نکته:

درصد حجمی ذرات در سوسپانسیون بیشتر از ۶۰ درصد حجمی، انقباض همسان ۱ تا ۲ درصد است. غلظت های کم افزودنی پلیمری (۱ تا ۳ درصد جرمی) که خروج آن ها در مرحله پخت را آسان می کند.

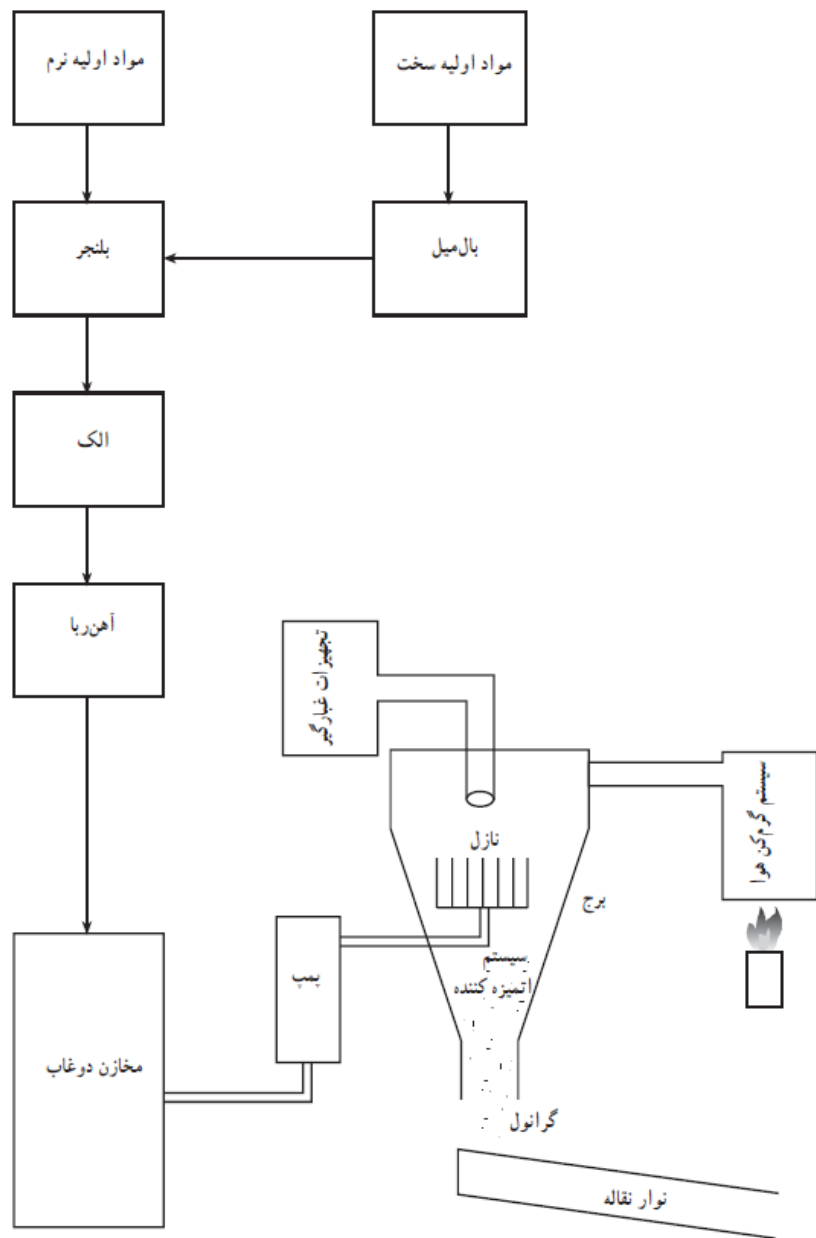
## روش پرس پودر:

یکی از روش‌های شکل دادن محصولات سرامیکی روش پرس پودر است و برای استفاده از این روش نیاز به تهیه‌ی گرانول داریم. «گرانول، دانه‌های کروی شکل و یا توده‌ای شکل است که از به هم چسبیدن تعداد زیادی ذرات ریزدانه‌تر تشکیل شده است.»

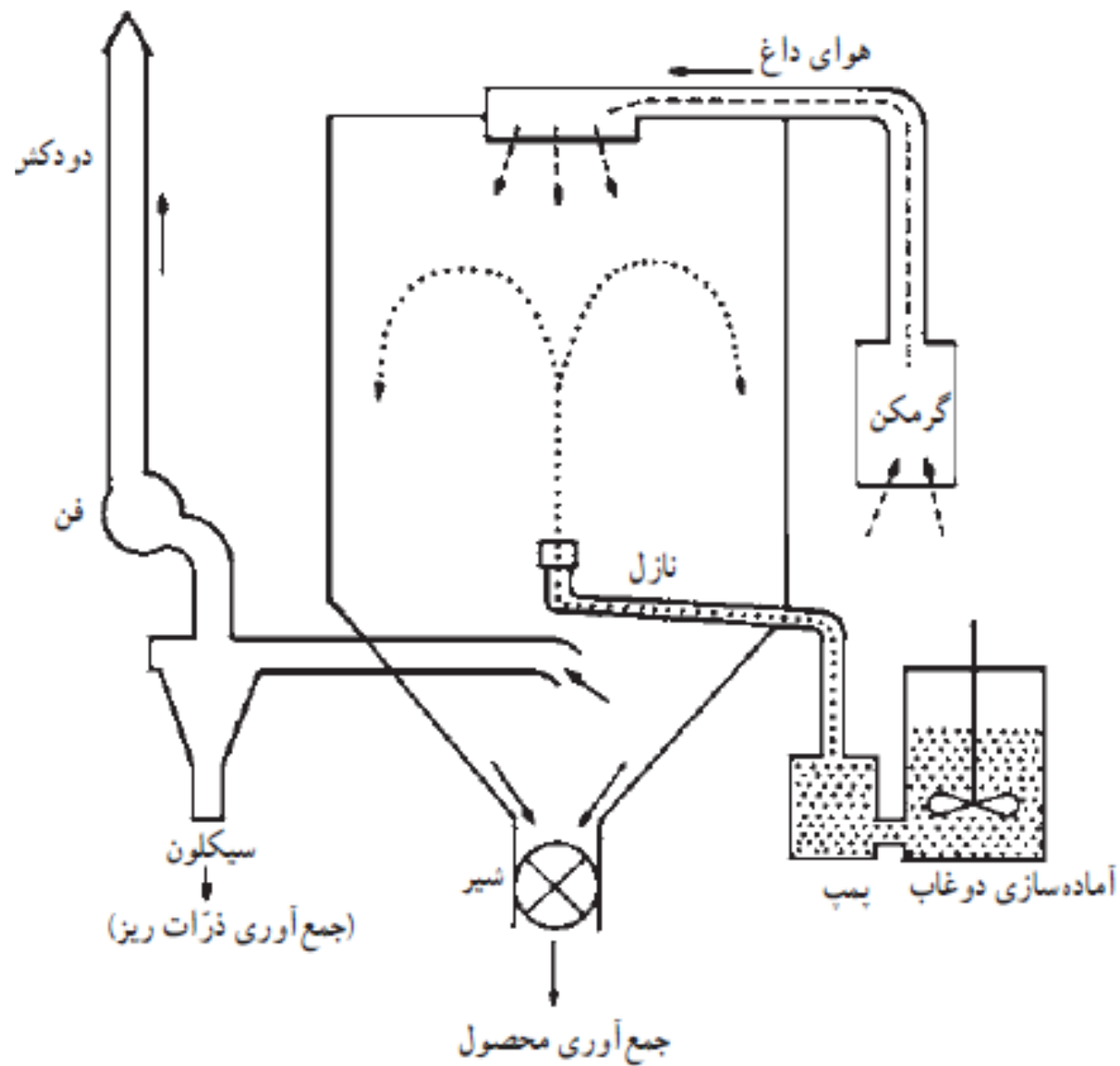
برخی از مزایایی که به کارگیری پرس پودر را مقرون به صرفه می‌کند، عبارتند از:  
– امکان استفاده از مواد خام غیرپلاستیک (نظیر مواد مورد مصرف در ساخت بسیاری از سرامیک‌های مدرن).

- دقت ابعادی بالا (به دلیل انقباض خشک ناچیز)
- کاهش زمان خشک شدن (به دلیل رطوبت کم)
- نیاز به حضور آب کمتر
- صرفه‌جویی قابل ملاحظه در مصرف انرژی، برای خشک کردن
- سرعت تولید بالا
- کاهش ضایعات تولید
- راندمان بالای سیستم
- تراکم بالای بدنه، در نتیجه کاهش انقباض پخت، زنیتر بهتر، کاهش انرژی پخت و...
- کاهش جهت‌گیری ذرات رسی

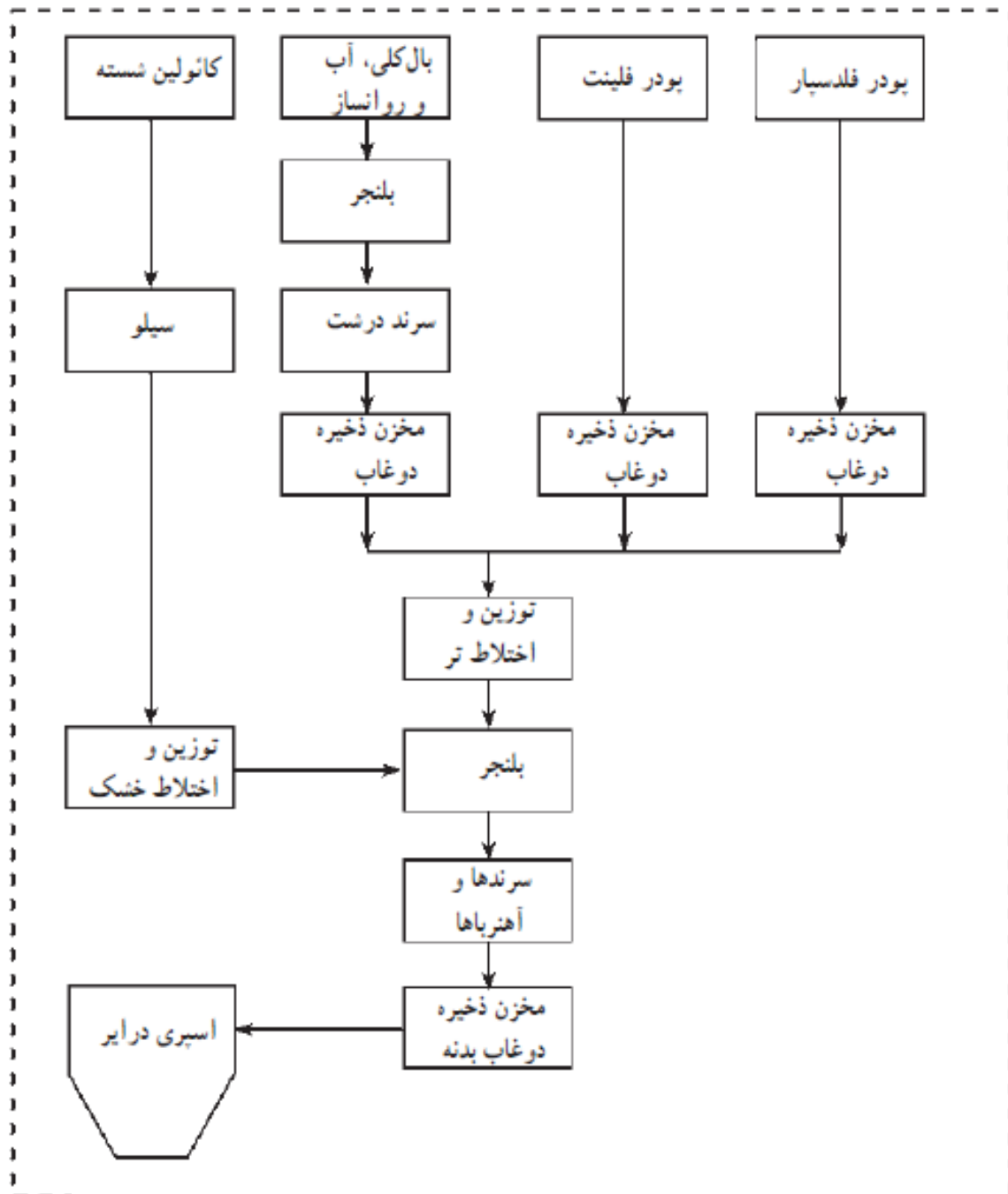
# اسپری درایر:



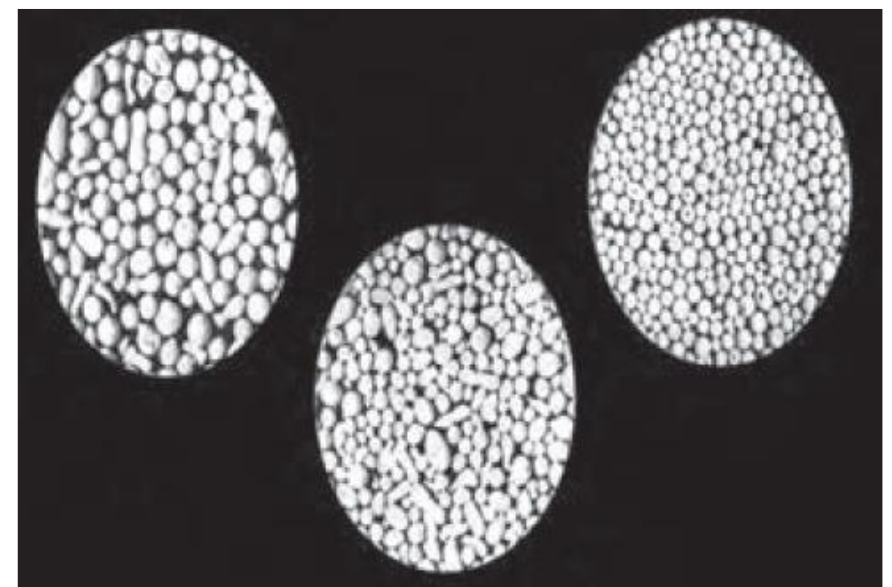
شکل شماتیک از فرآیند اسپری درایینگ







یک واحد آماده‌سازی مرکزی برای آماده‌سازی گرانول انواع بدنه‌های سرامیکی، با استفاده از سیستم اسپری درایر



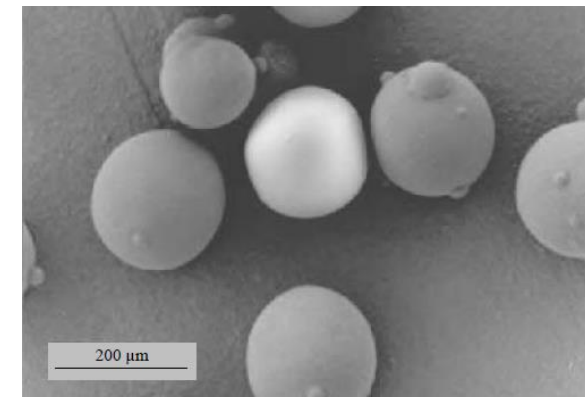
چند نمونه گرانول تولید شده توسط اسپری درایر



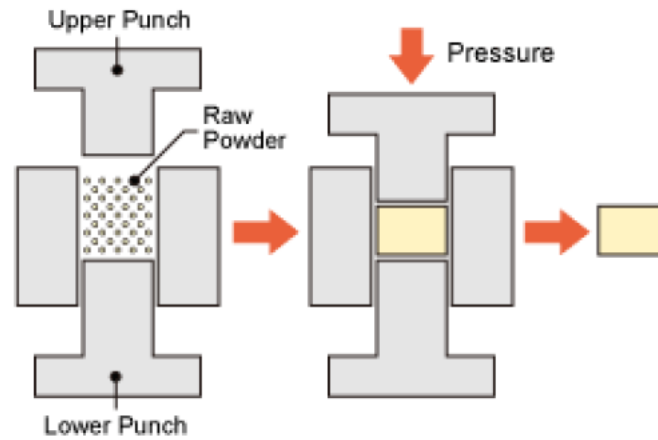
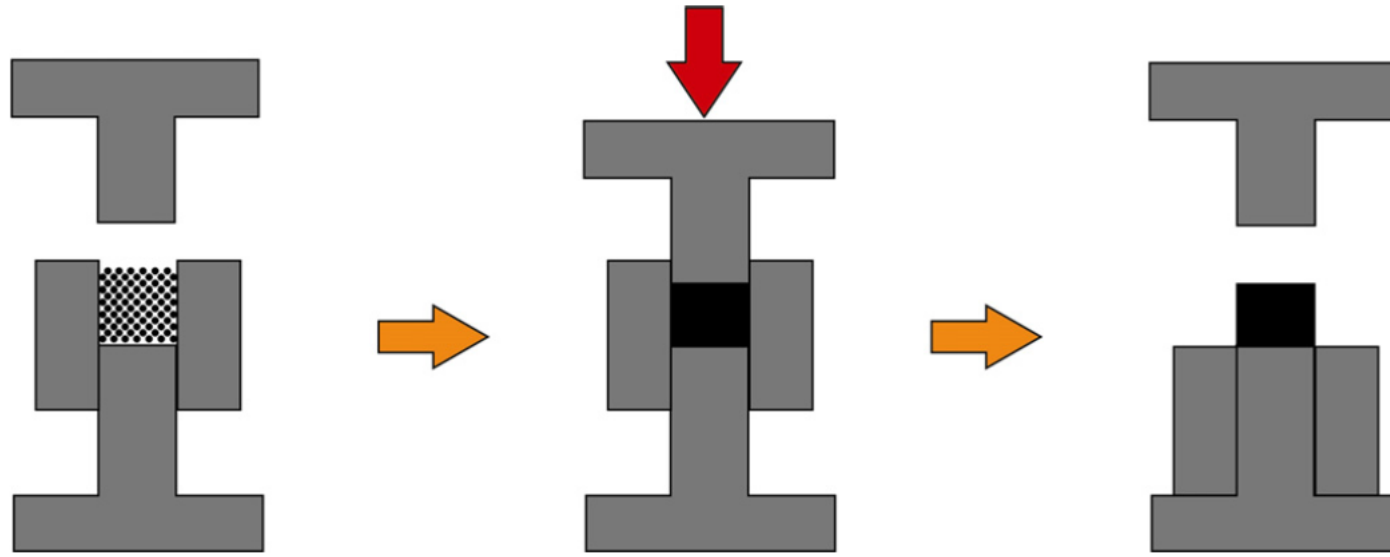
FIG. 1 Spray-dried grain



FIG. 2 Dry ground grain



# پرس تک محوره



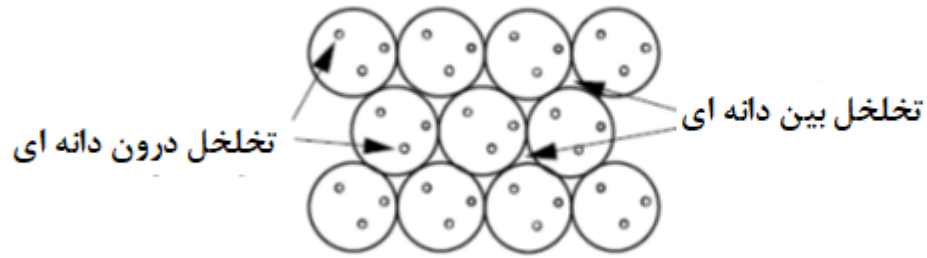
# شکل دهی با پرس

- با پرس کردن قادر خواهیم بود که قطعاتی با ابعاد متفاوت و اشکالی با ابعاد بسیار دقیق و بدون انقباض خشک تهیه نماییم.
- معمولاً از پرس خشک برای شکل دادن قطعاتی با ضخامت بیشتر از ۵/۰ میلی متر استفاده می شود.
- مراحل پرس کردن عبارتند از: ۱- پرس شدن قالب، ۲- فشردن و شکل دهی و ۳- خروج قطعه از قالب

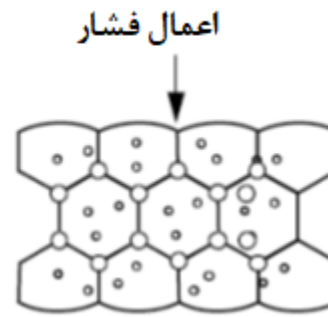
Processing Additives Used in Industrial Pressing Powders

Product	Binder	Plasticizer	Lubricant
Alumina	Polyvinyl alcohol	Polyethylene glycol	Aluminum stearate
MnZn ferrite	Polyvinyl alcohol	Polyethylene glycol	Zinc stearate
Barium titanate	Polyvinyl alcohol	Polyethylene glycol	Stearic acid
Alumina substrates/ spark plug insul.	Microcrystalline wax emulsion	KOH: tannic acid	Wax, talc, and clay
Steatite insulator	Microcrystalline wax and clay	Water	Colloidal talc and wax
Refractories	Ca/Na ligno sulfonate	Water	Stearic acid
Tile	Clay	Water	Colloidal talc and clay
Hotel china	Clay and polysaccharides	Water	Colloidal clay

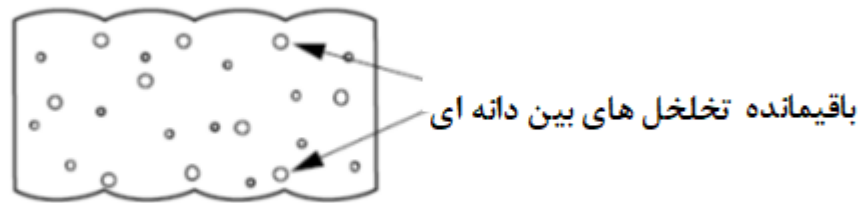
# بهم فشردن گرانول ها:



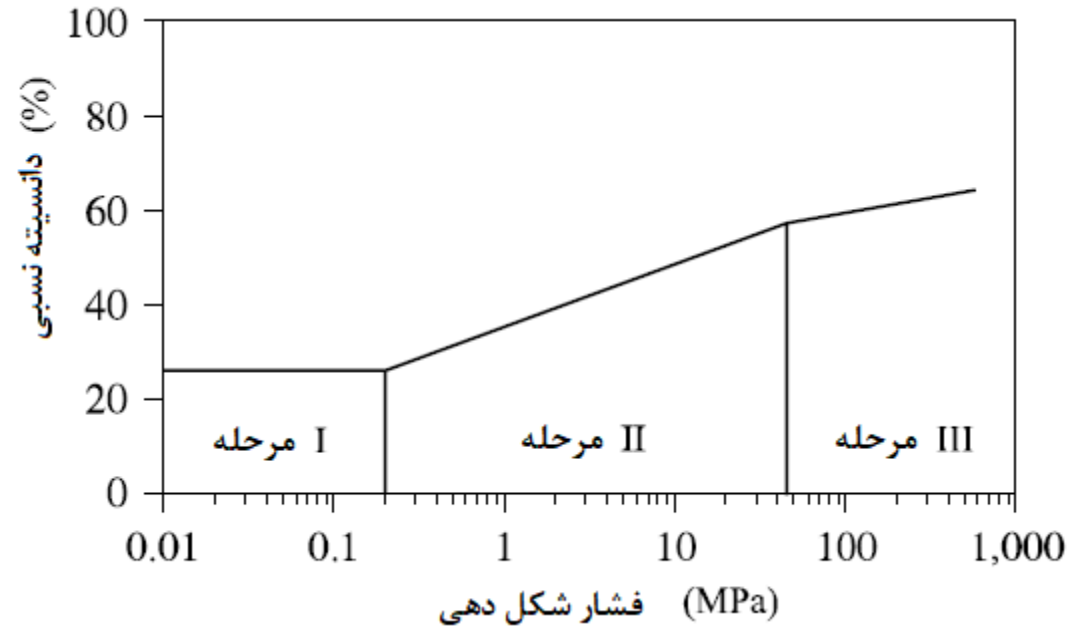
(۱) کنار هم قرار گرفتن دانه های کروی



(۲) تغییر شکل گرانول ها



(۳) از بین رفتن تخلخل های درون دانه ای



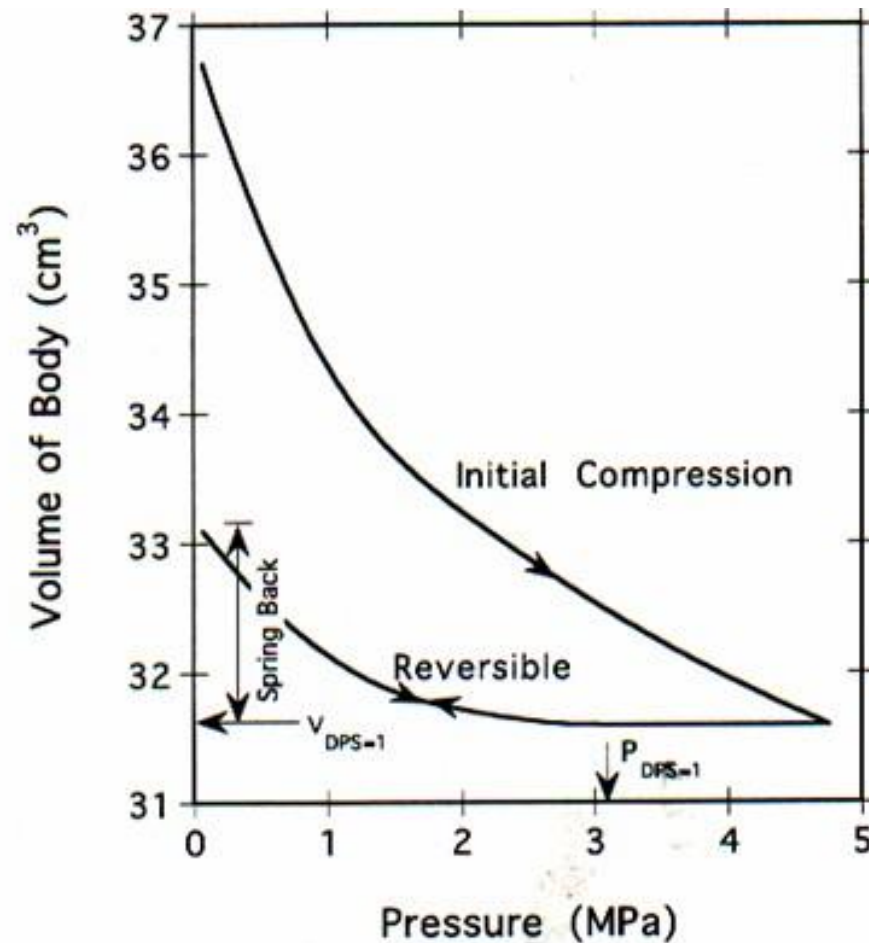
سه مرحله فشردگی هنگام پرس کردن عبارتند از:

۱- فشردگی آرام بالاتراز دانسیته پرس شدن، ناشی از لغزش و تغییر آرایش گرانول ها. فضاهای خالی بین گرانولی بسیار بیشتر از فضاهای درون گرانولی است.

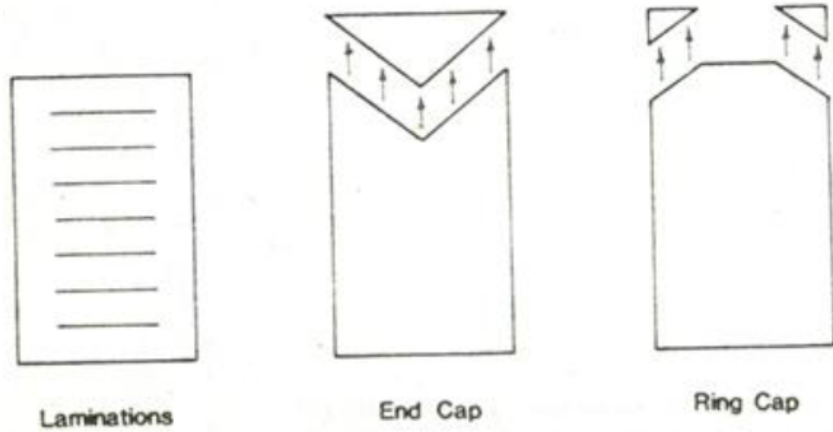
۲- تغییر فرم یا شکست گرانول ها که موجب کاهش حجم فضای خالی نسبتا بزرگ بین گرانولی می شود.

۳- مرحله سوم زمانی شروع می شود که عمده حفرات بزرگ موجود بین گرانول های تغییر شکل داده ناپدید شده اند و اعمال فشار های بیشتر موجب لغزش و تغییر آرایش ذرات و شکست اجزاء درون گرانول می شود.

فشردگی الاستیک گرانول ها در مرحله دوم شروع و تا مرحله سوم افزایش می یابد. انرژی الاستیک ذخیره شده در قطعه موجب افزایش ابعاد قطعه پرس شده در هنگام خروج قطعه از قالب می شود که **spring back** نامیده می شود.

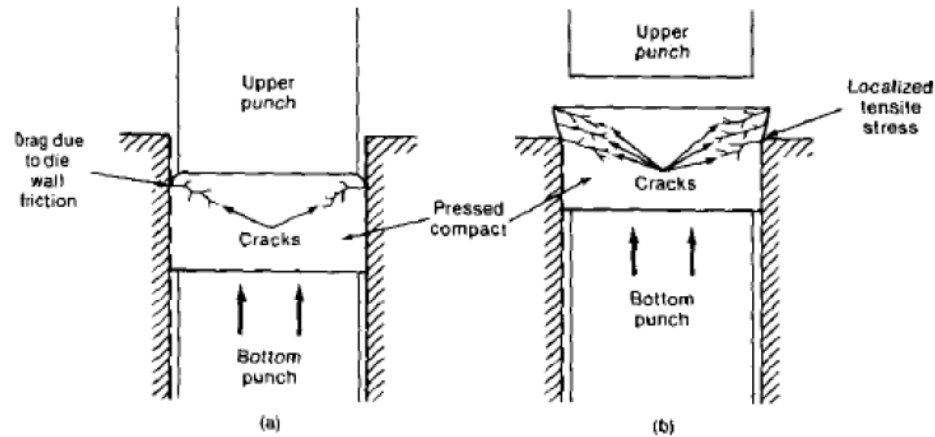


# عیوب پرس:



Common defects in pressed compacts.

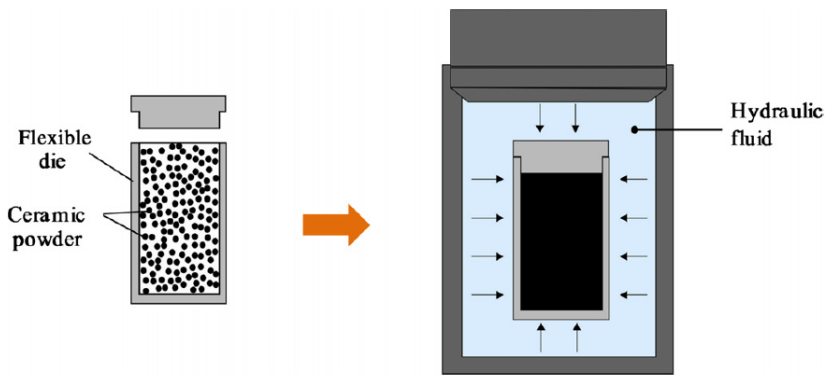
اثرات ناشی از دیواره قالب  
• دو عیب معمول هوادار شدن و end cap  
• ناشی از تنش های حاصل از s.b اختلافی در  
طی خروج قطعه از قالب حاصل می شوند.  
• هوادار شدن گوشه ها وقتی بوقوع می پیوندد  
که فاصله فضایی بین قالب و پانچ بزرگتر از  
ابعاد کوچکترین گرانول موجود می باشد.



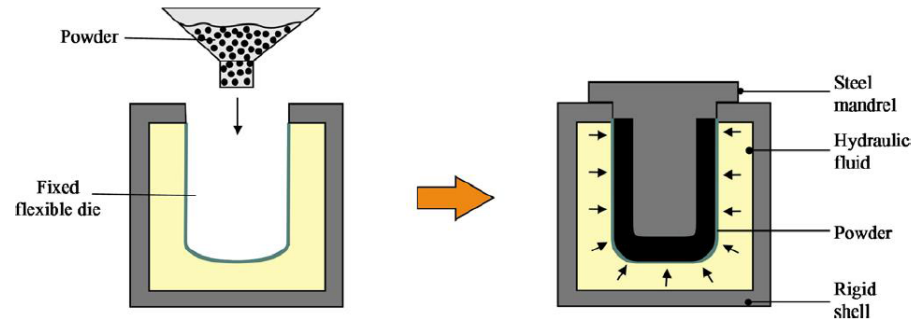
## End Capping

# پرس ایزواستاتیک:

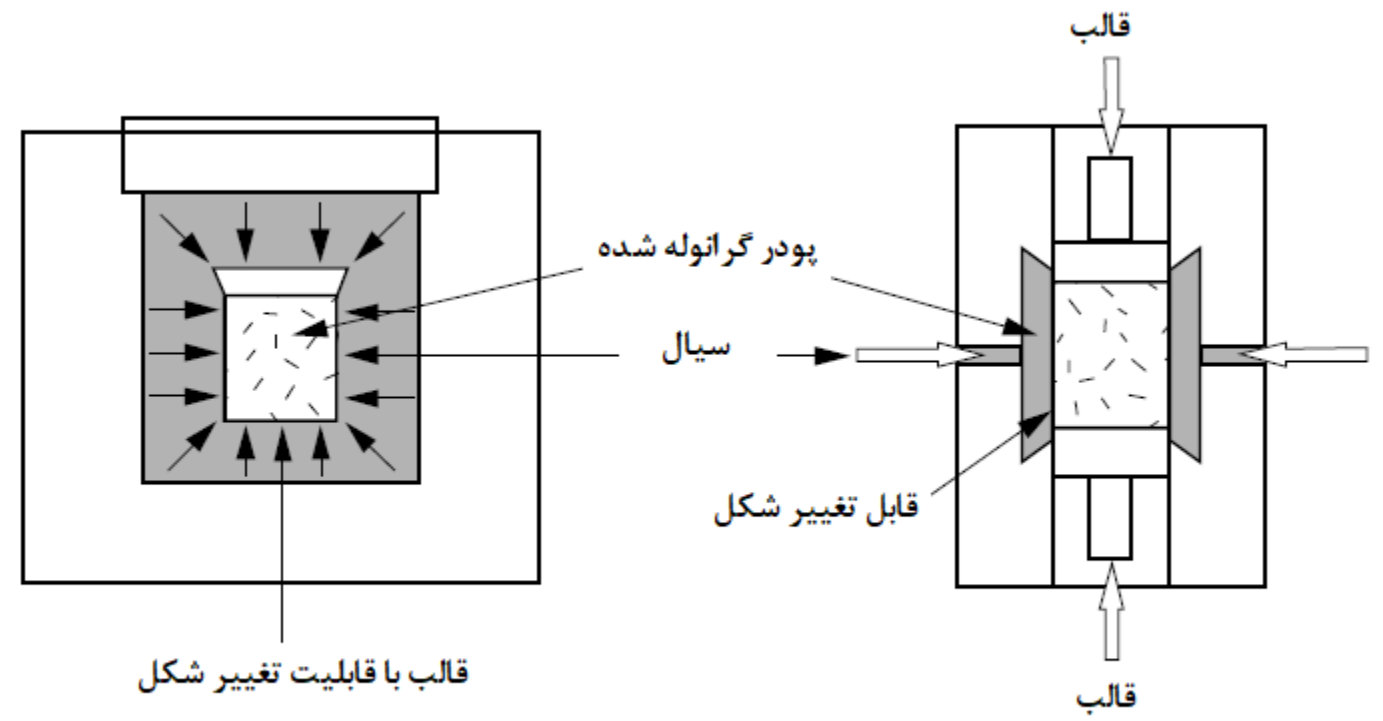
پرس کردن قطعاتی با طول بزرگ، شکل پیچیده یا حجم زیاد براحتی با روش پرس خشک امکان پذیر نمی باشد و برای این منظور باید از پرس ایزواستاتیک استفاده کرد.



wet-bag isostatic pressing system



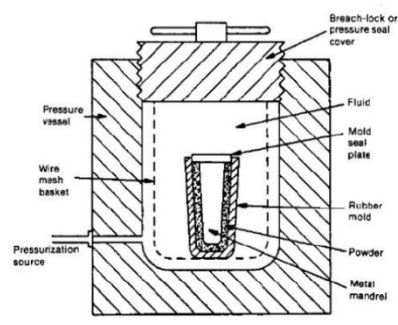
dry-bag isostatic pressing system



قالب با قابلیت تغییر شکل

Wet bag

Dry bag



پرس ایزواستاتیک سرد

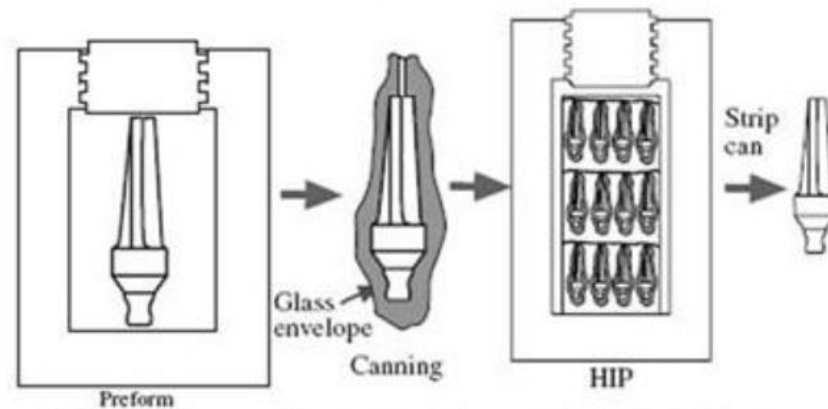
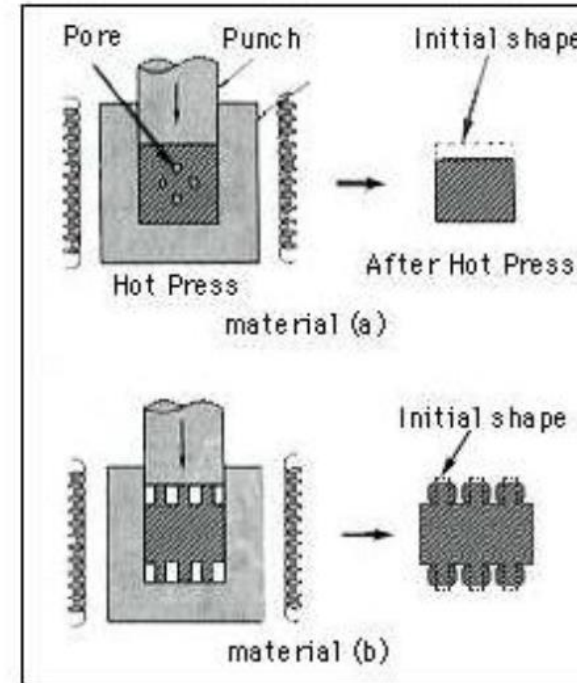
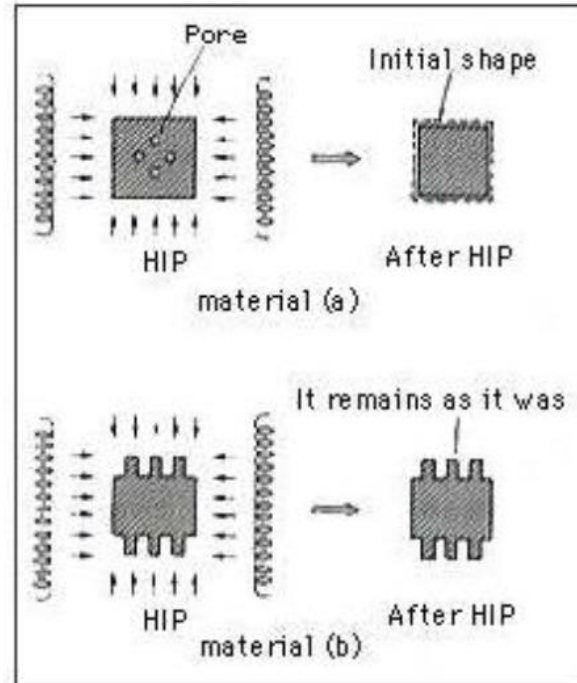


قالب های پلیمری

پرس گرم

HP

(HIP)



شماتیک ایجاد کپسول بر روی قطعه در طی فرایند پرس ایزواستاتیک گرم



## مراحل کپسوله کردن در فرایند HIP

با استفاده از محفظه شیشه سیلیسی (آمپول)

نمونه سیلیکون نایتراید با ۱ درصد وزنی ایتریا به عنوان افزودنی از روش پرس ایزواستاتیک سرد به صورت استوانه شکل داده شده است (سمت چپ).

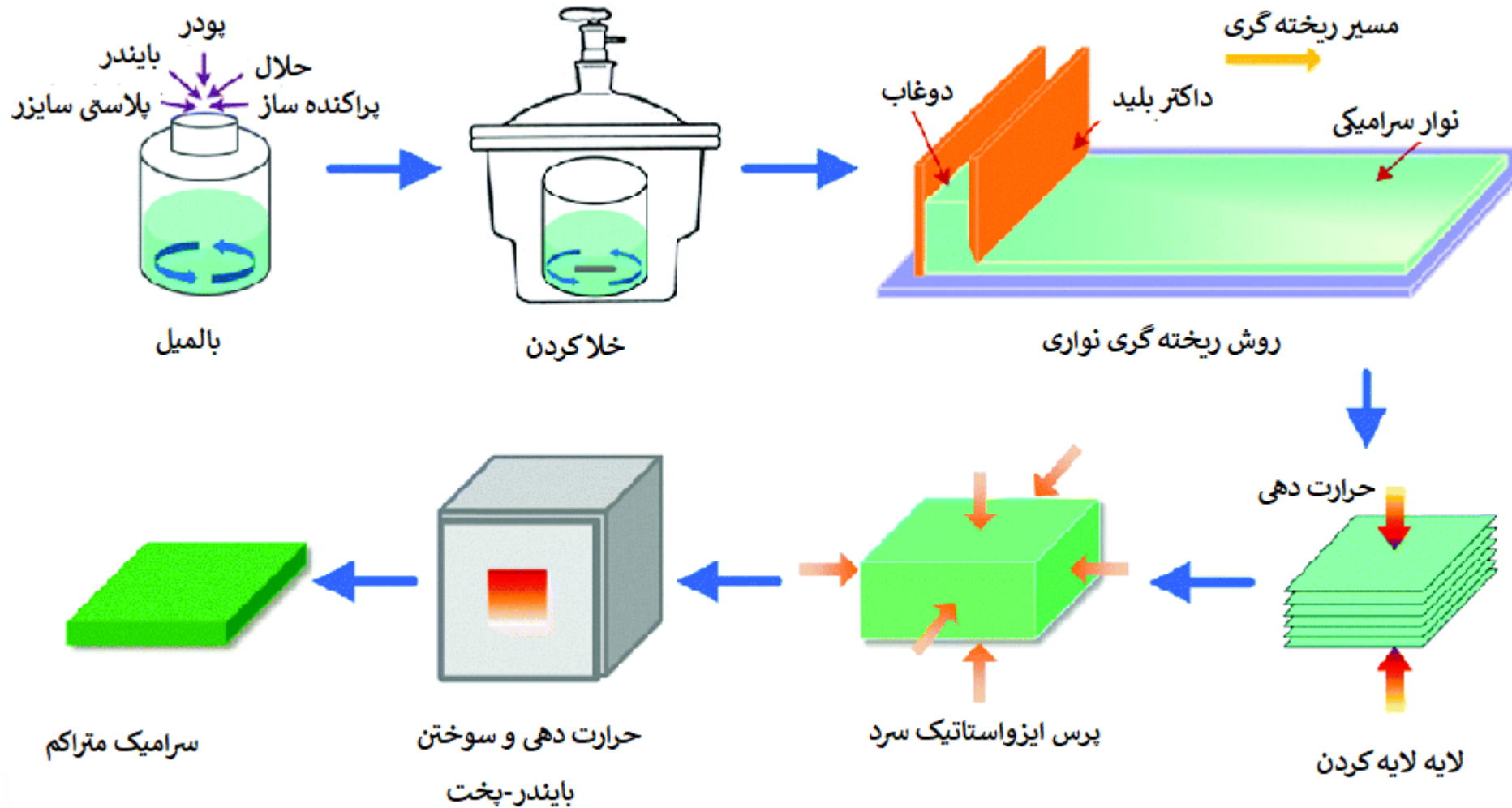
به کمک کپسول شیشه ای کپسوله و برای پرس ایزواستاتیک گرم آماده می شود. در دمای ۱۳۰۰ درجه شیشه نرم و فشرده می شود تا شکل بدنه خام را بگیرد. بدنه متراکم شده بعد از انجام فرایند پرس در دمای ۱۷۵۰ درجه و فشار ۲۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱ ساعت با پاشش ماسه پرداخت سطحی می شود.



قطعات با دقت بالا از سیلیکون نایتراید برای ماشین های پارچه بافی پیشرفته که ابتدا با روش قالب گیری تزریقی شکل دهی شده سپس کپسوله شدن با شیشه و به کمک روش پرس ایزواستاتیک گرم تراکم و استحکام نهایی گرفته اند.



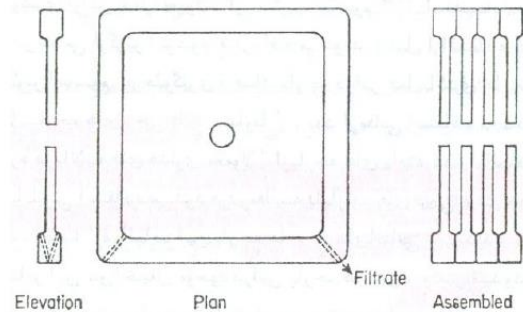
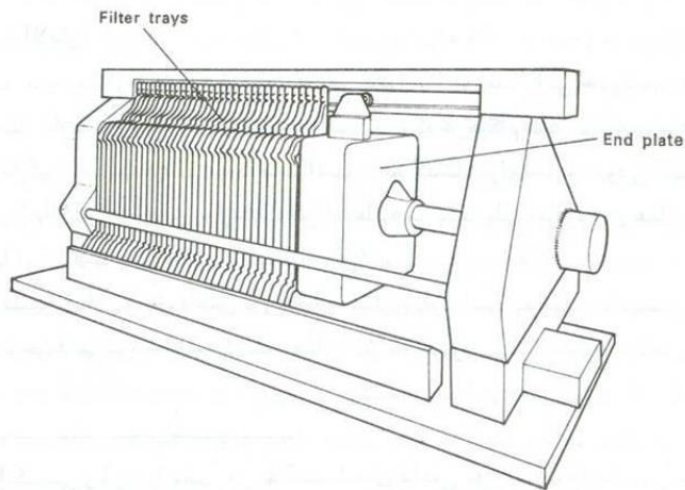
# تهیه قطعات سرامیکی چند لایه:



# آماده سازی و شکل دهی به روش گل پلاستیک:

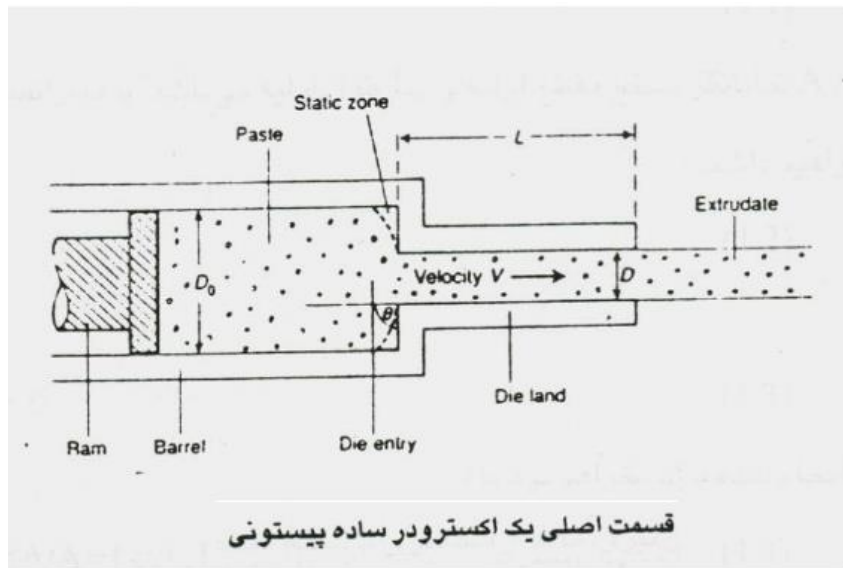
یکی از روش‌هایی که برای شکل دادن قطعات سرامیکی به کار می‌رود استفاده از گل پلاستیک است. نحوه‌ی تبدیل دوغاب به بدنه‌ی پلاستیک را مورد بررسی قرار می‌دهیم، که شامل مراحل زیر خواهد بود:

- آب‌زدایی
- یک‌نواخت‌سازی گل (هموژن کردن)
- هوازدایی
- اکستروژن
- خواباندن گل (کهنه کردن گل)

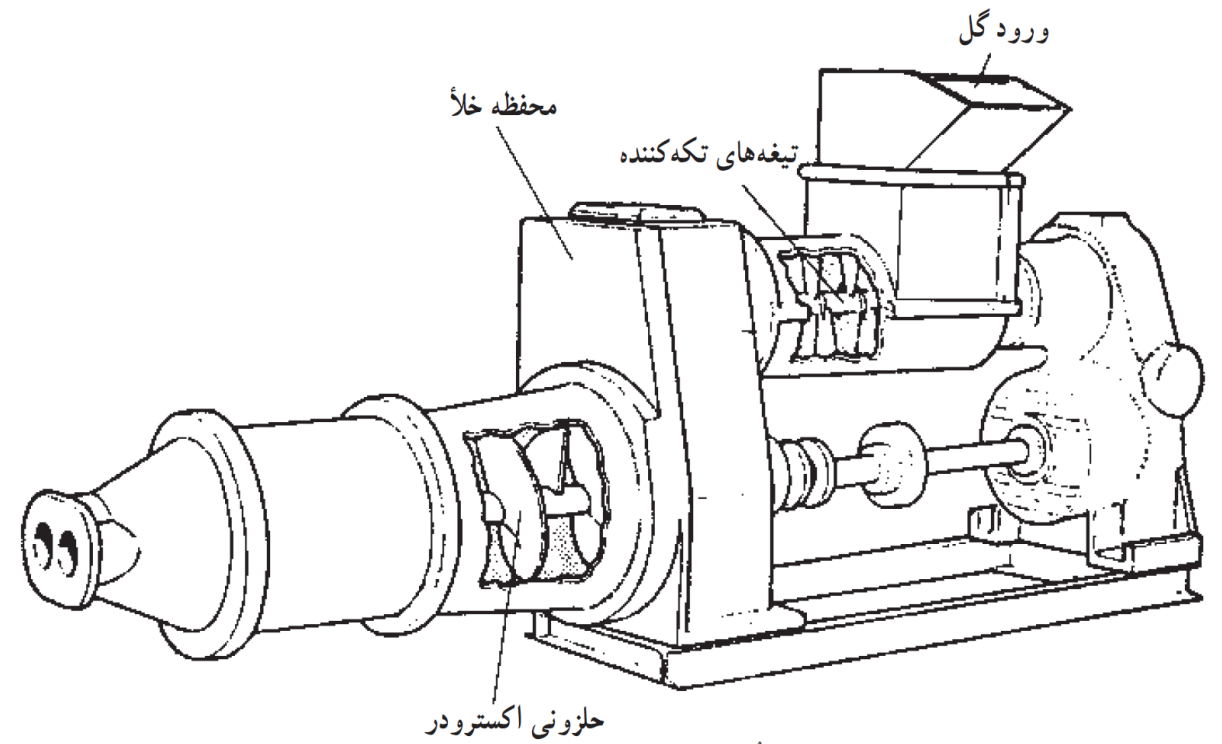


شکل ۵۸: سینی پالایه فشاری

فیلتر پرس



قسمت اصلی یک اکسترودر ساده پیستونی

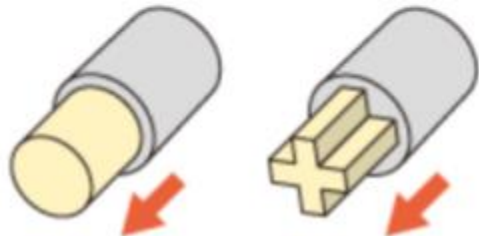


دستگاه پاگمیل (اکسترودر هوازدا)

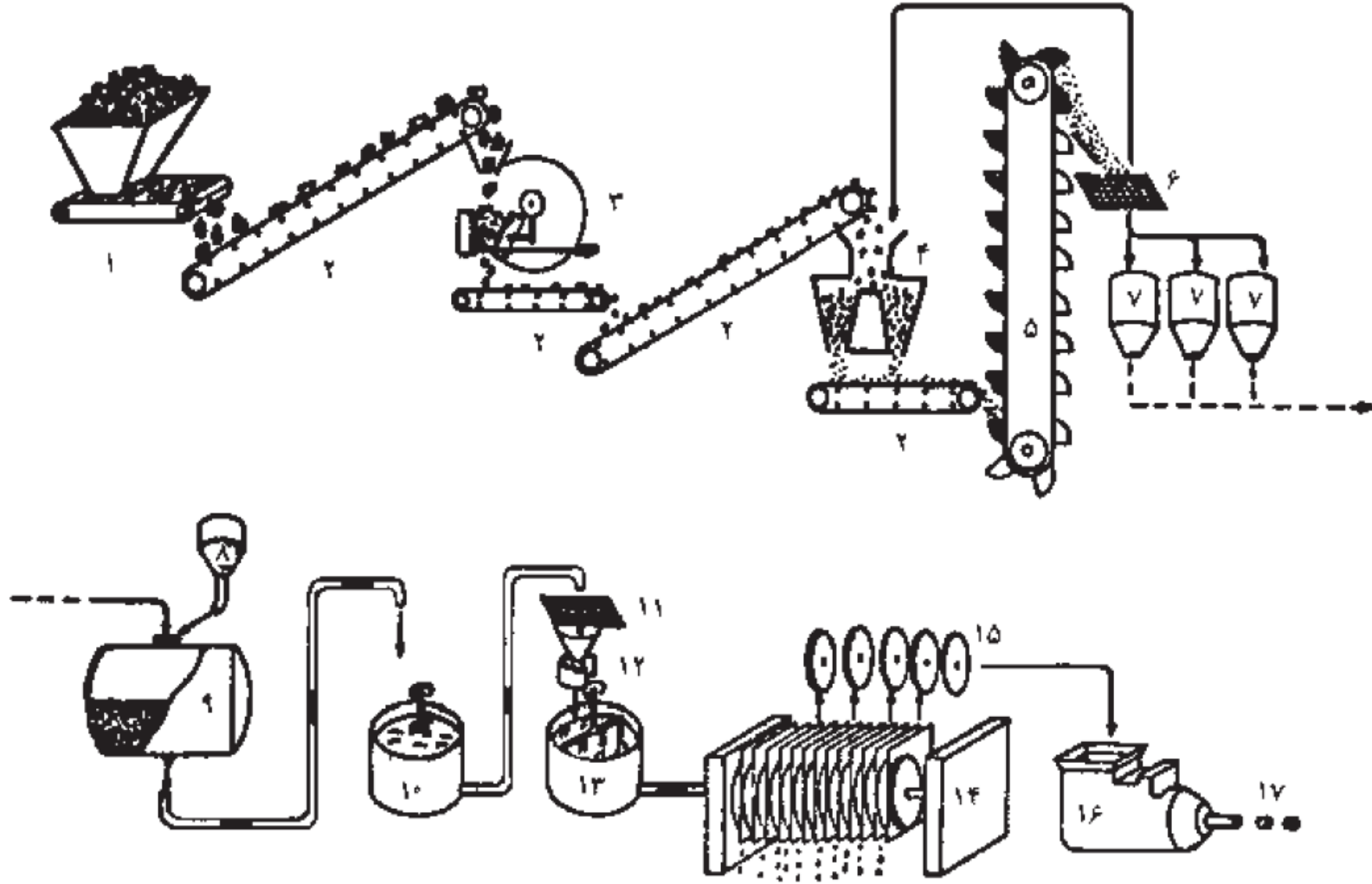
### اکستروژن:

در این روش شکل دهی، مواد اولیه به صورت خشک و گرانوله شده با آب، بایندر، پلاستی سایزر و پراکنده ساز مخلوط می شود. نتیجه خمیری پلاستیک گون است که تحت فشار اکستروژن شده و به شکل مطلوب درمی آید.

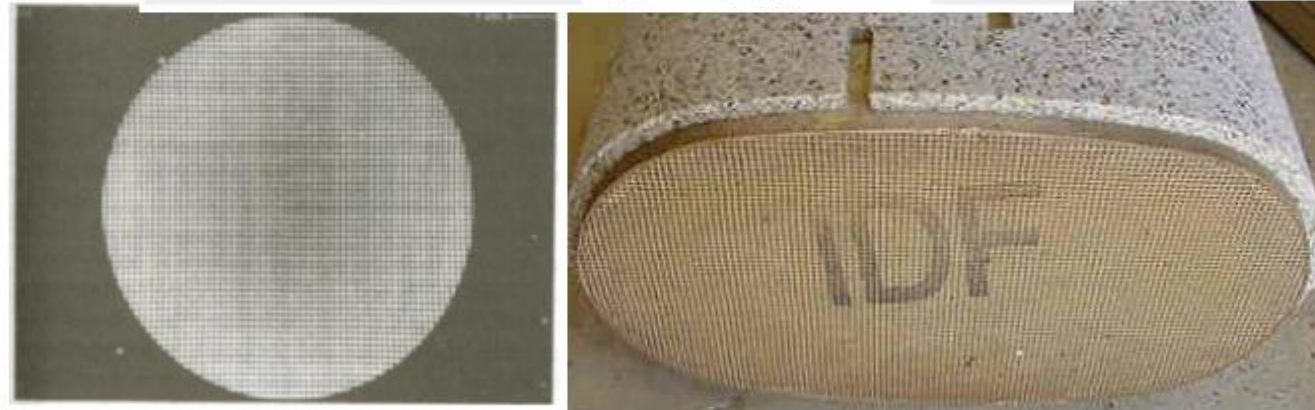
این روش برای تولید محصولات بلند با سطح مقطع مختلف مطلوب است.



شکل شماتیک از فرآیند آماده‌سازی متداول مواد برای تولید گل پلاستیک



- ۱- تغذیه‌کننده ۲- نوار نقاله ۳- سنگ شکن فکی ۴- سنگ شکن زیراتوری ۵- بالابر ۶- سرند ۷- سیلوی مواد  
 ۸- مخزن آب ۹- آسیای گلوله‌ای ۱۰- همزن پروانه‌ای ۱۱- الک ۱۲- آهن ربا ۱۳- همزن پارویی ۱۴- فیلتر پرس  
 ۱۵- کیک ۱۶- پاکمیل ۱۷- خمیر بدنه



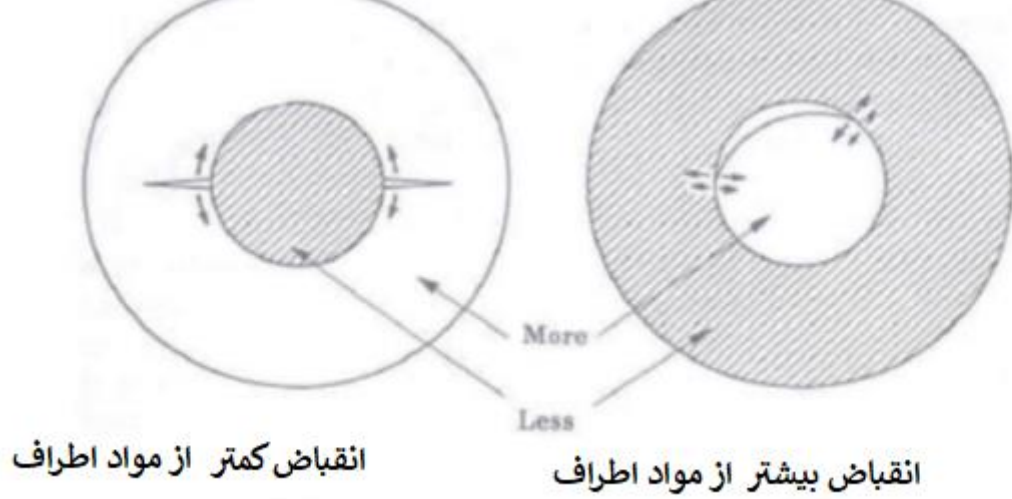
سطح مقطع بدنه کوردیپیتی لانه زنبوری اکستروژن شده به عنوان پایه کاتالیست در آگروز خودرو

برخی از مشخصه های کلیدی که در هنگام اکستروژن می بایست مد نظر قرار داد:

- ۱- مخلوط می بایست به اندازه کافی پلاستیک باشد که در اثر فشار دستگاه به داخل قالب جریان یابد و از سوی دیگر به اندازه کافی سفت باشد که در طی حمل و نقل تغییر شکل ندهد.
- ۲- مخلوط نباید به قالب یا دیگر ابزار آلات بچسبد و باید پس از اکستروژن سطح صافی بدهد
- ۳- مایع مصرفی و مواد جامد نباید در طی شکل دادن از یکدیگر جدا شوند.
- ۴- مخلوط می بایست از میزان تخلخل قابل تکراری برخوردار باشد تا در طی خشک شدن و پخت از انقباض تکرار پذیری برخوردار باشد.
- ۵- مواد آلی مصرفی می بایست خاکستر کمی داشته باشد.

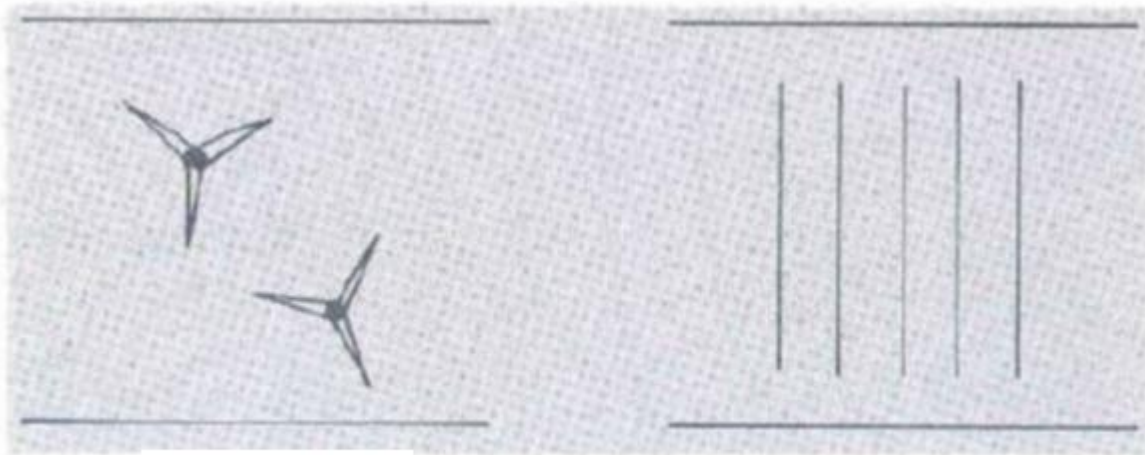
## عیوب در روش اکستروژن:

شکل ترک



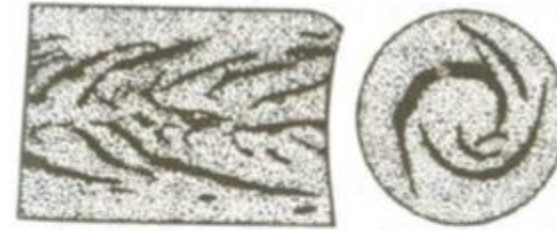
انقباض کمتر از مواد اطراف

انقباض بیشتر از مواد اطراف



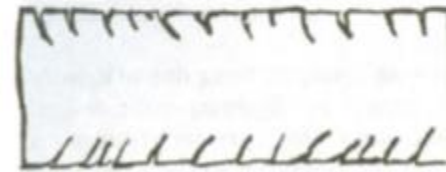
ترک های پای پرنده

لایه لایه شدن روی سطح



سطح مقطع بدنه اکستروود شده:

حضور عیب لایه لایه شدن



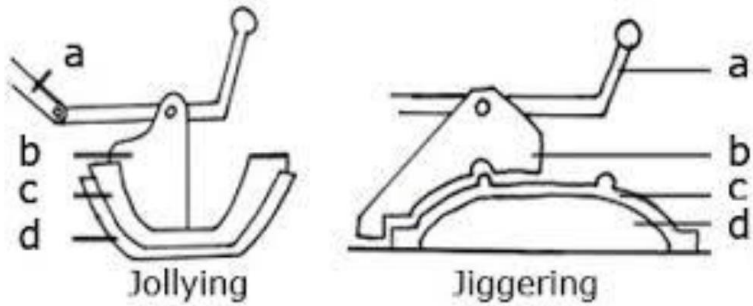
سطح مقطع بدنه اکستروود شده:

ایجاد بریدگی در لبه ها

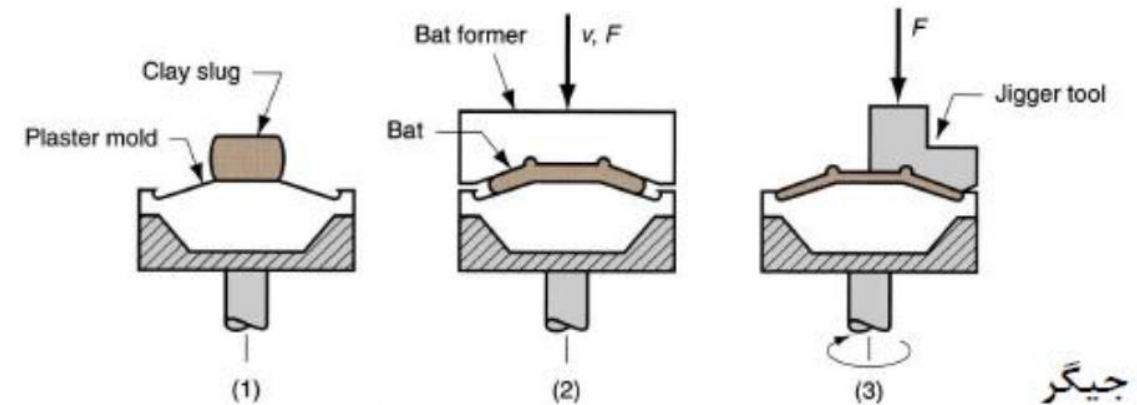
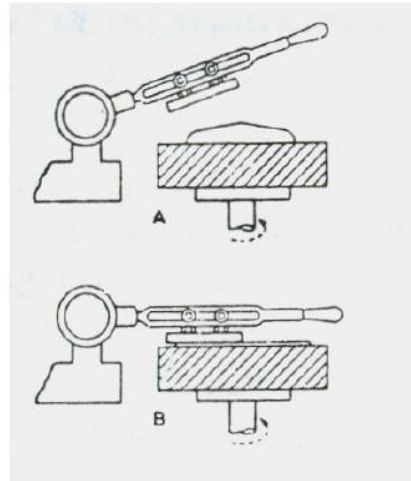
- عیوب ماکروسکپی:
- تاب برداشتن و کج و معوج شدن
- لایه لایه شدن
- قاچ دار شدن سطح
- جدایش ذرات جامد و مایع
- عیوب میکروسکپی:
- حفره ( ناشی از هوای حبس شده، آگلومراسیون پودر، سوختن گلوله های چسب) و
- ذرات ناخالصی

## روش جیگر و جولی

- از روش های جیگر و جولی در گذشته های نزدیک به ترتیب برای شکل دادن ظروف تخت و توگود استفاده می شد.
- ساخت ظروف تخت شامل دو مرحله است: الف- ابتدا ورقه گل با استفاده از **batting machine** پهن می گردد.

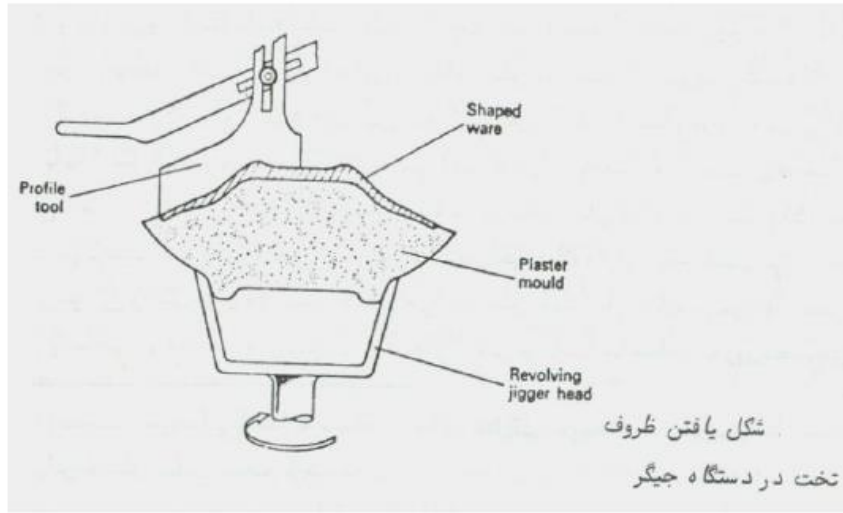


a) Handle, b) Template, c) Clay, d) Mold



جیگر

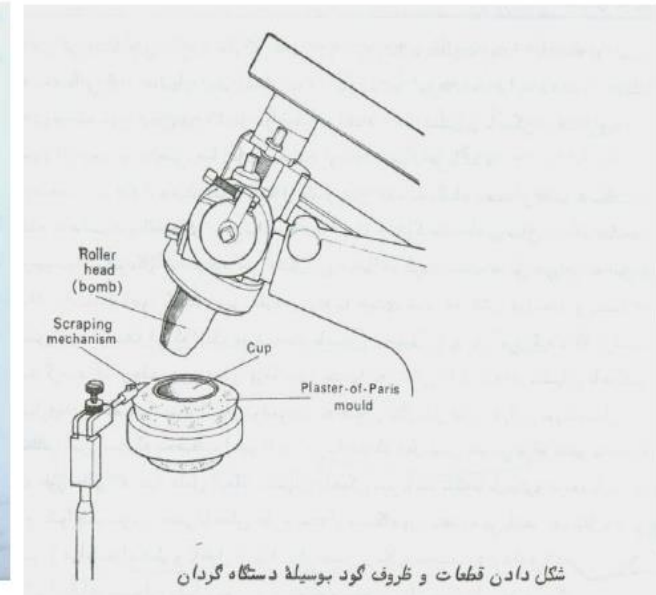
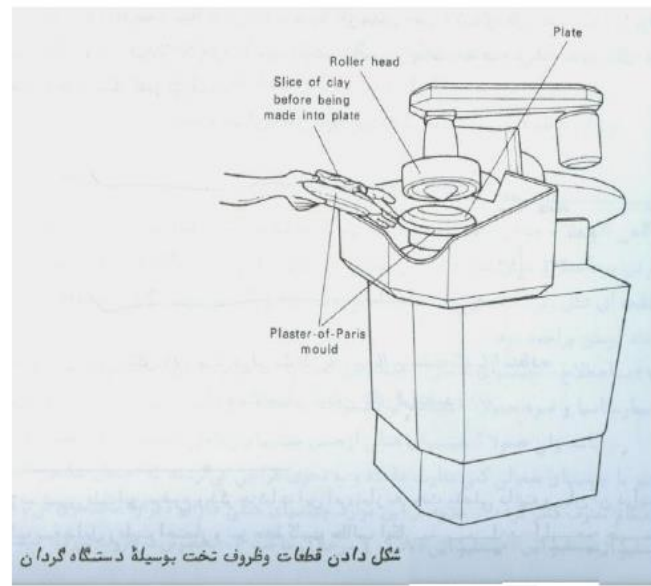
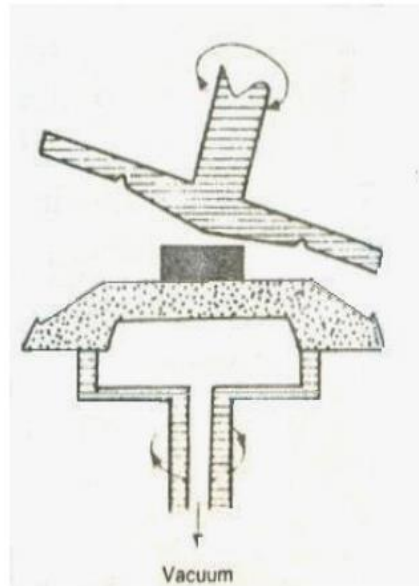




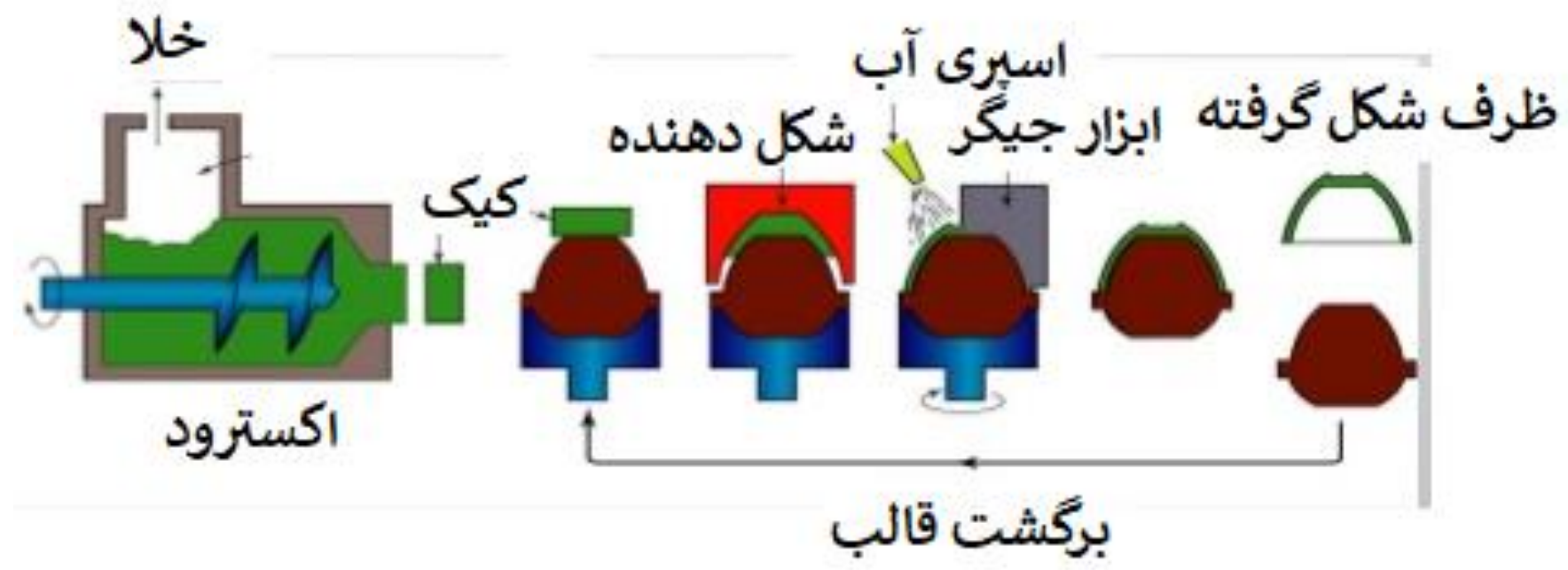
- شکل دادن نهایی بوسیله دستگاه جیگر انجام می شود.
- میزان رطوبت مناسب برای گل در این روش در حدود ۲۴٪ می باشد.
- حرکت ابزار بسمت خمیر موجب شکل گرفتن پشت بشقاب شده و قالب گچی شکل داخلی آن را ایجاد می کند.
- در هنگام شکل دهی در حدود ۲۰ درصد گل بصورت مازاد قطعه خارج می گردد که به پاگمیل یا اکسترودر بازگردانده می شود.
- اعمال اسپری آب در هنگام شکل دهی به بهبود سطح تمام شده کمک می کند.
- بعد از آنکه ۸ تا ۱۰ درصد از آب قطعه از آن خارج شد، قالب را جدا کرده و در خشک کن قرار می دهند.
- در دستگاه های اتوماتیک میزان تولید به ازای هر کله گی ۱۵ تا ۲۰ عدد در دقیقه می باشد و هر دستگاه می تواند تا ۸ کله گی داشته باشد.

## شکل دادن بوسیله ماشین های گردان

- در این روش قالب گچی توخالی است و زمانیکه در کلاگی چرخان قرار می گیرد می تواند تحت خلا قرار گیرد.
- قالب و کله گی هر دو در یک جهت می چرخند و سرعت چرخش قالب اندکی بیشتر است.
- رطوبت خمیر در این روش در حدود ۱۸٪ می باشد.
- حذف **batting out** و کیفیت بهتر قطعه از مزایای روش اخیر نسبت به جیگر می باشد.

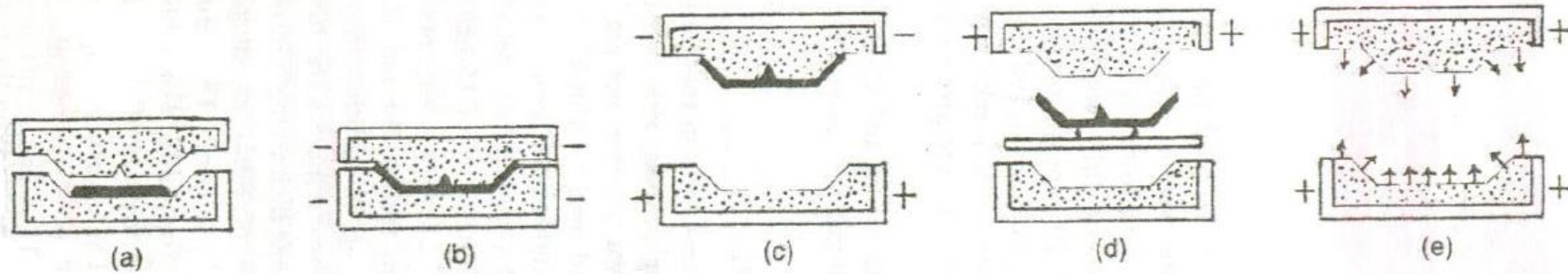


# شکل دهی پلاستیک:



## پرس گل

- ۱- برشی از خمیر در زیر قالب قرار می گیرد.
- ۲- فشار اعمال می شود.
- ۳- قالب بالایی بالا می رود. فشار به قالب زیر اعمال می گردد تا قالب رها شود و قالب بالایی تحت خلا قرار می گیرد تا قطعه را رها نکند.
- ۴- عامل نقاله به زیر قطعه می رود و قطعه بدلیل نیروی وزن و یا فشار اندک به قالب بالایی روی آن رها می شود.
- ۵- با اعمال فشار بر روی قالب ها آب جذب شده در آنها خارج می گردد.



Stages in the Ram pressing process. + = pressure; - = vacuum..

# روش شکل دهی اکستروژن و قالب گیری تزریقی:

قالب گیری تزریقی و اکستروژن شامل فاز مینرالی (فاز سرامیکی)، آب و یا فاز آلی هستند.

فاز سرامیکی از یک یا بیشتر پودر سرامیکی تشکیل می شود. شکل و توزیع اندازه ذرات آن‌ها همچنین ماهیت شیمیایی سطح ذرات آن‌ها مهم است. انتخاب این مشخصات در پروسه شکل دهی اهمیت دارد که موجب فشرده شدن ذرات و چسبیدن کافی قطعه خام به منظور کاهش مقدار آب یا بایندر در فرایند خشک شدن و کاهش ریسک تغییر شکل می شود.

فاز آبی یا آلی برای ایجاد رفتار رئولوژیکی مناسب و ایجاد شرایط بهینه برای تشکیل بدنه متراکم و آرایش همگن ذرات سرامیکی در فرایند شکل دهی مهم هستند.

۴ نوع اصلی افزودنی استفاده می شود که به صورت زیر است:

**پراکنده ساز:** کاهش ویسکوزیته مخلوط و افزایش غلظت حجمی ذرات سرامیکی

**بایندر:** برای چسباندن ذرات بهم و ایجاد بدنه خام استفاده می شود و روی رفتار رئولوژیکی مخلوط تاثیر دارد. در سیستم سرامیک‌های سنتی خاک رس نقش بایندر دارد، در حالیکه مواد پلیمری برای سرامیک‌های مهندسی استفاده می شوند.

**پلاستی سائزر:** برای متعادل کردن رفتار رئولوژیکی ذاتی بایندر استفاده می شود. آب پلاستی سائزر رس‌ها است. مولکول‌های آلی با وزن مولار کم دمای انتقال به شیشه پلیمرها را کاهش می دهند و آن‌ها را در دمای شکل دهی انعطاف پذیرتر می کنند.

**لوبریکانت:** اصطکاک بین مخلوط و ابزار شکل دهی را کم می کنند. معمولاً روغن‌ها، پارافین یا استئارات استفاده می شوند.

رفتار رئولوژیکی خمیر اجازه جریان یافتن ماده پلاستیک درون قالب اکستروژن و به دست آوردن شکل دلخواه را ممکن می کند. در قالب گیری تزریقی نیز پر شدن قالب را تضمین می کند. رفتار رئولوژیکی باید استحکام مکانیکی کافی برای بدنه خام شکل دهی شده نیز ایجاد کند که در حمل و نقل تغییر شکل ندهد. رفتار رقیق شوندگی برشی با تنش تسلیم این شرایط را می تواند ایجاد کند.

افزودنی ها در روش اکستروژن



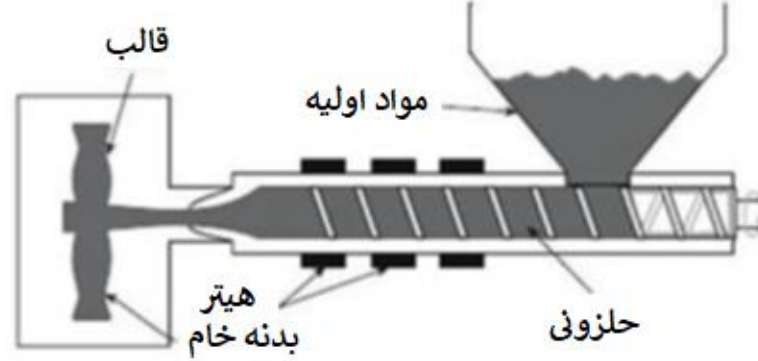
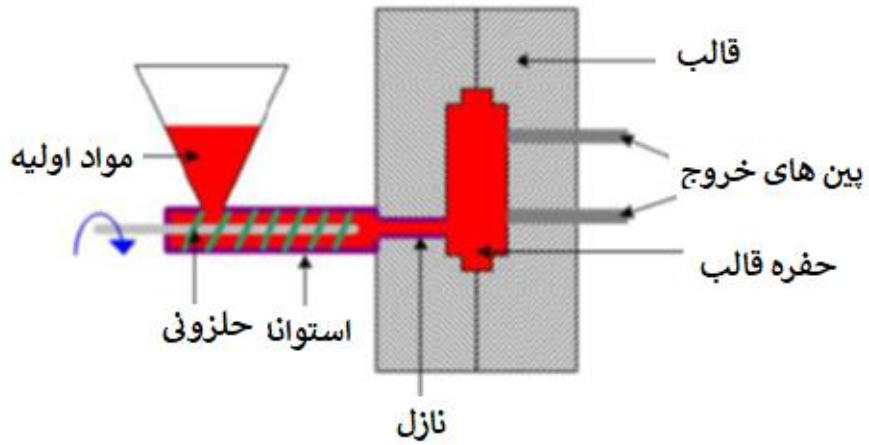
سیستم های آبی	Binder	Polyethylene glycol with high molar weight, cellulose derivatives (methyl cellulose, ethyl cellulose, hydroxyethyl cellulose), polyvinyl alcohol
	Plasticizer	Glycols with low molar weight, polyethylene oxide, traditional pastes: water
	Dispersant	Polyelectrolytes, sodium carbonate, sodium silicate, stearates
سیستم های غیر آبی	Binder	Polyethylene polypropylene, polystyrene, waxes
	Plasticizer	Vegetable waxes, beeswax, dibutyl phthalate
	Dispersant	Fatty acid, octadecanoic acid, stearic acid, oleic acid, fatty amines

افزودنی ها در روش قالب گیری تزریقی

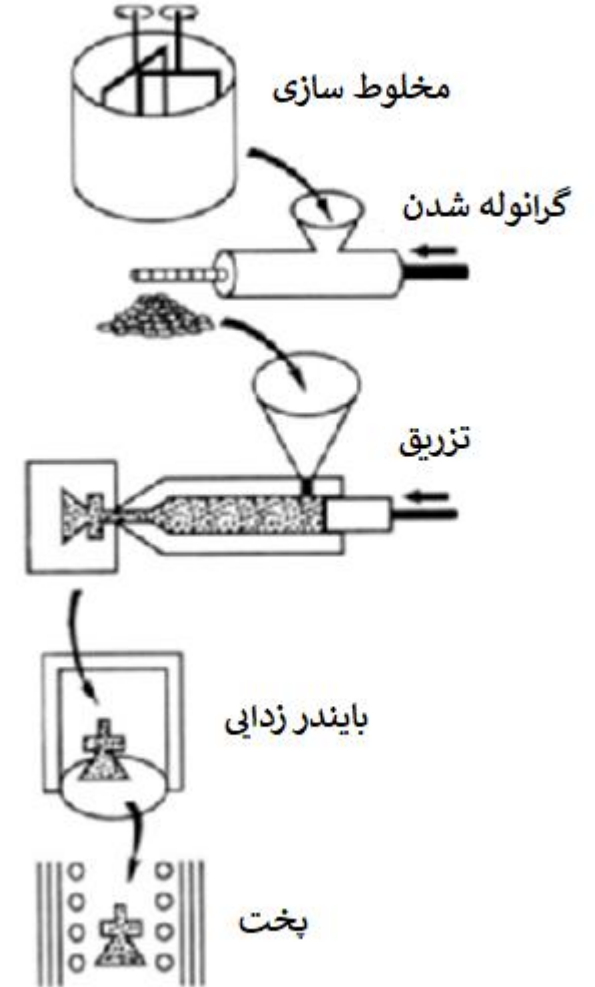


<b>Binder</b>	High pressure	Polyethylene, polypropylene, polystyrene, polyvinyl alcohol, polyethylene glycol, ethyl vinyl acetate, polyacetal, paraffins, microcrystalline waxes
	Low pressure	Paraffins, microcrystalline waxes, ethyl vinyl acetate, emulsified waxes.
<b>Plasticizer</b>		Vegetable waxes, beeswax, dibutyl phthalate
<b>Dispersant</b>		Fatty acids, octadecanoic acid, stearic acid, oleic acid, fatty amines

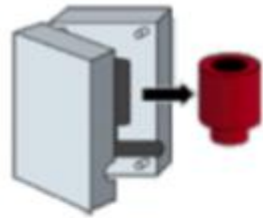
# قالب گیری تزریقی:



شماتیک دستگاه قالب گیری تزریقی



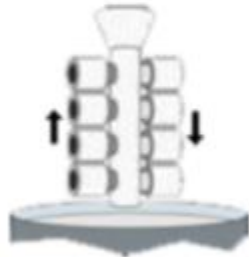
# ریخته گری دقیق:



مدل های مومی که از روش قالب گیری تزریقی تولید می شوند.



چندین مدل روی پایه مومی سرهم بندی (مونتاز) می شوند.



ایجاد پوسته سرامیکی با فرو بردن مدل در دوغاب سرامیکی و اسپری ماسه بسیار ریز برای ایجاد لایه با ضخامت مناسب



خشک شدن بدنه ، خروج موم و پخت بدنه سرامیکی



پر کردن پوسته سرامیکی با مذاب فلز ، خروج اضافه مذاب برای بدنه های توخالی قبل از پروسه انجماد مذاب

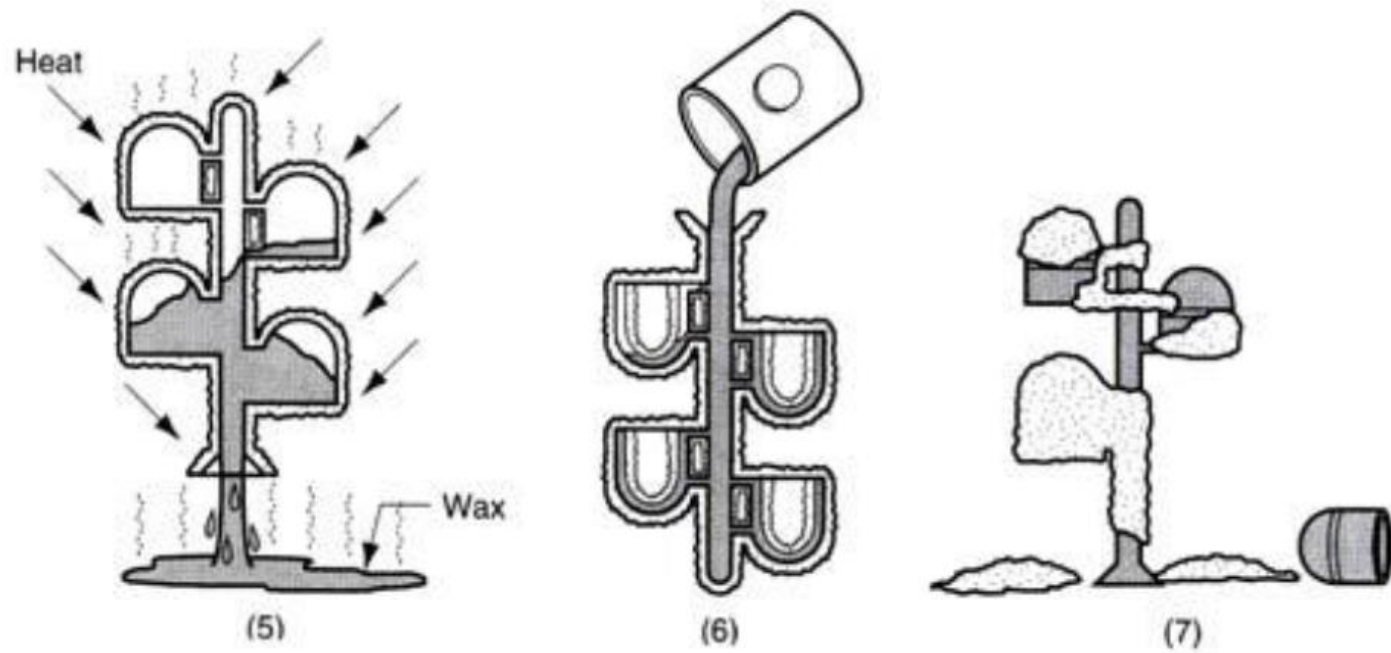
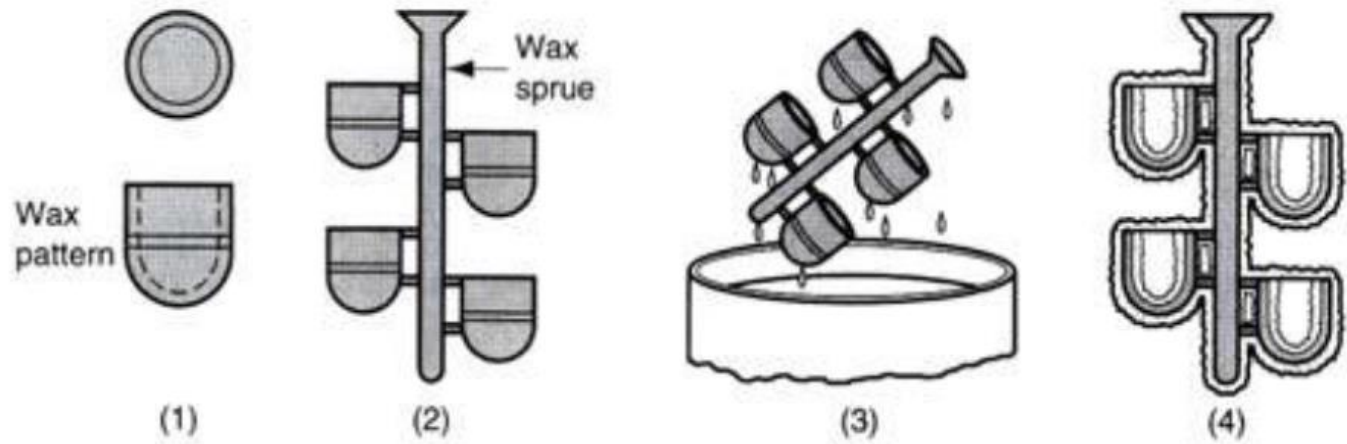


بعد از انجماد فلز ، پوسته سرامیکی با لرزش یا فشار آب شکسته می شود.



قطعات از پایه جدا شده و پرداخت نهایی می شوند.

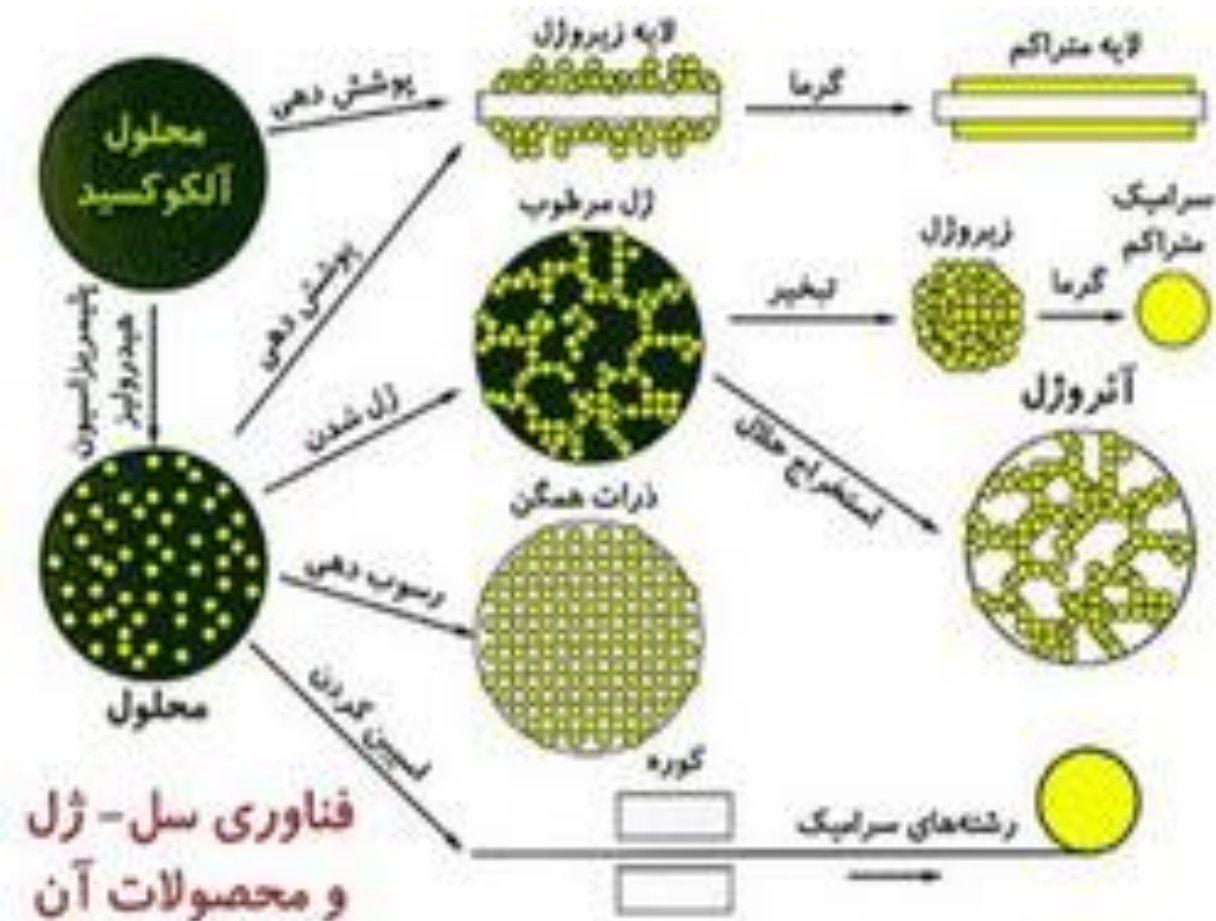




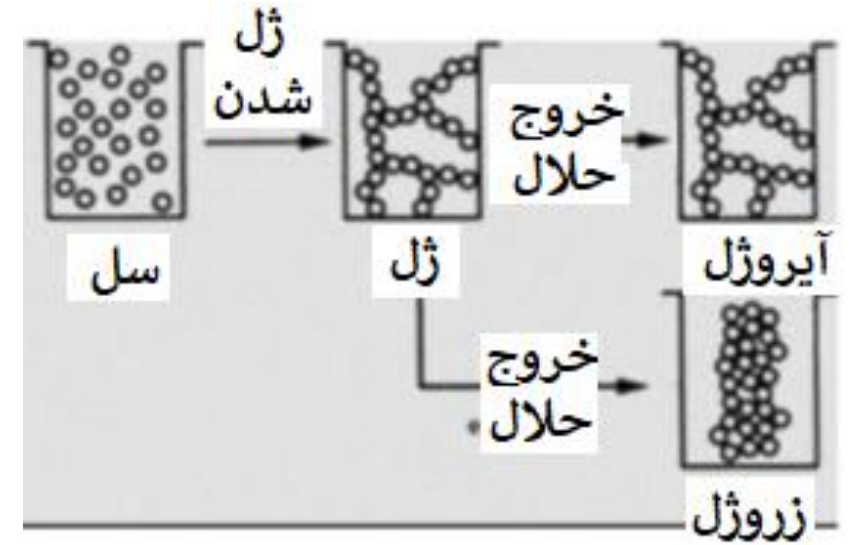
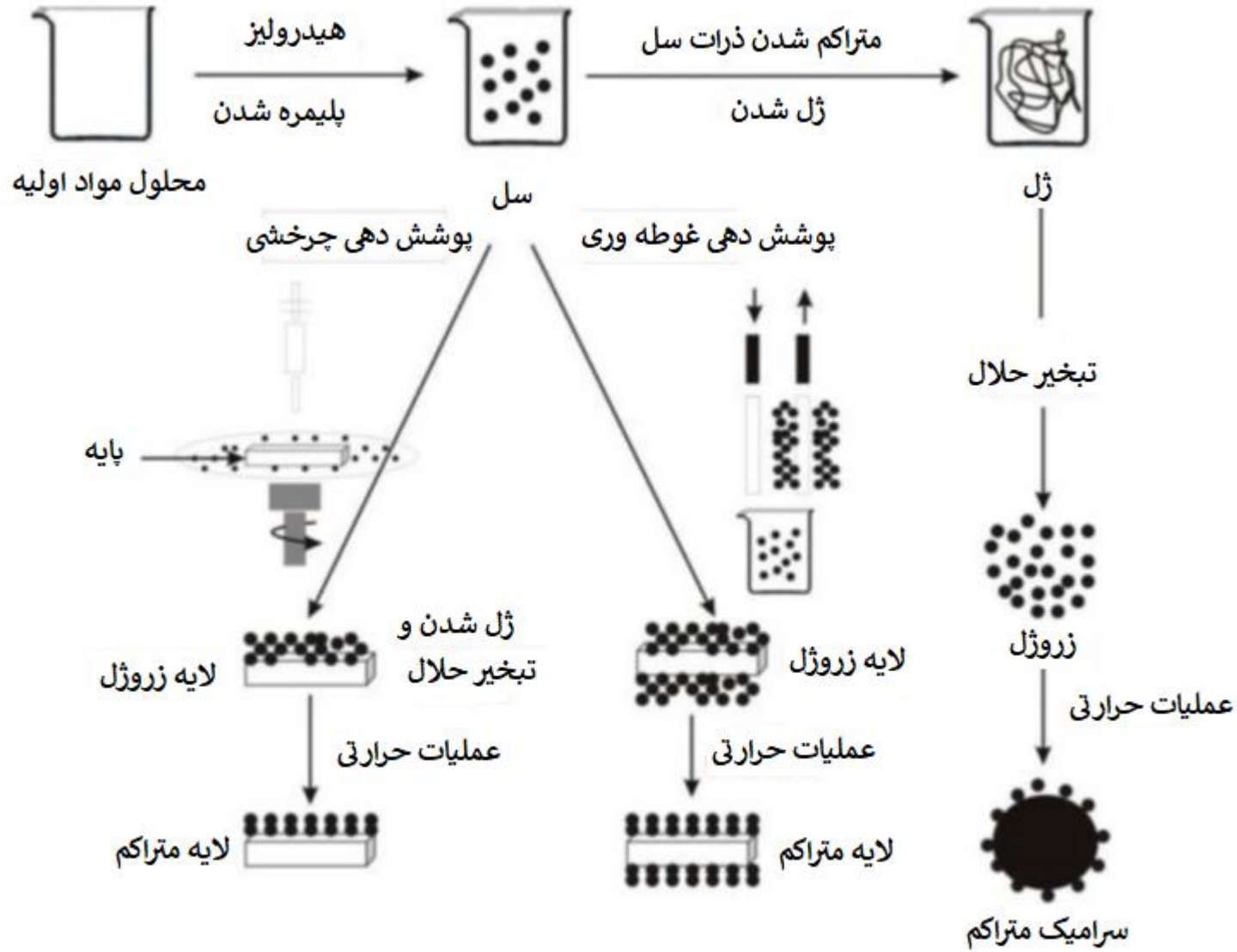
# روش سل-ژل:

روش سل-ژل یک روش شیمیایی تر برای سنتز انواع نانوساختارها به ویژه نانوذرات اکسید فلزی است. در این روش پیش ماده مولکولی معمولا آلکوکسید فلزی در آب یا الکل حل شده و با حرارت دهی و هم زدن در اثر فرایند هیدرولیز یا الکلیز به ژل تبدیل می شود. چون ژل حاصل خیس است با استفاده از روش های مناسب که بستگی به خواص مورد نظر و کاربرد ژل دارد خشک می شود. بعد از خشک شدن، ژل های به دست آمده به صورت پودری در می آیند و سپس تکلیس می شوند. روش سل-ژل یک روش اقتصادی، دارای دمای پایین واکنش و دارای کنترل مناسبی روی ترکیب شیمیایی محصولات می باشد.

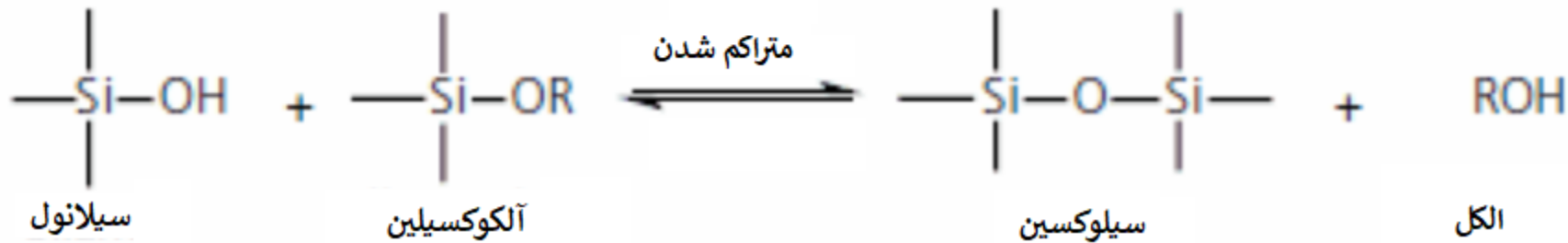
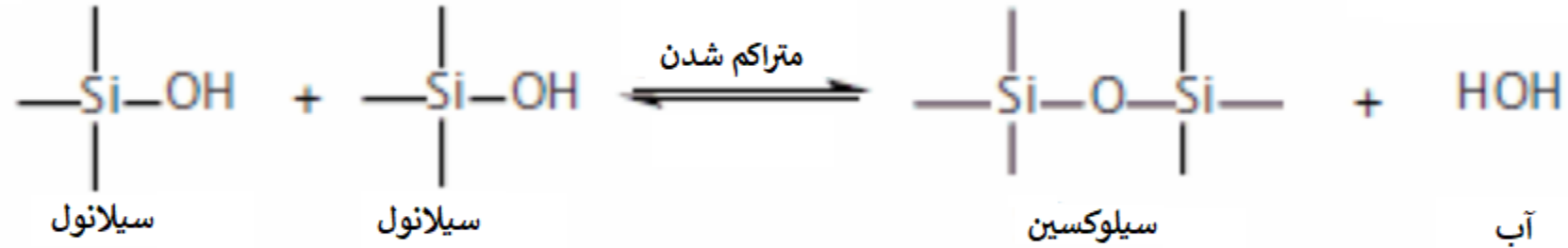
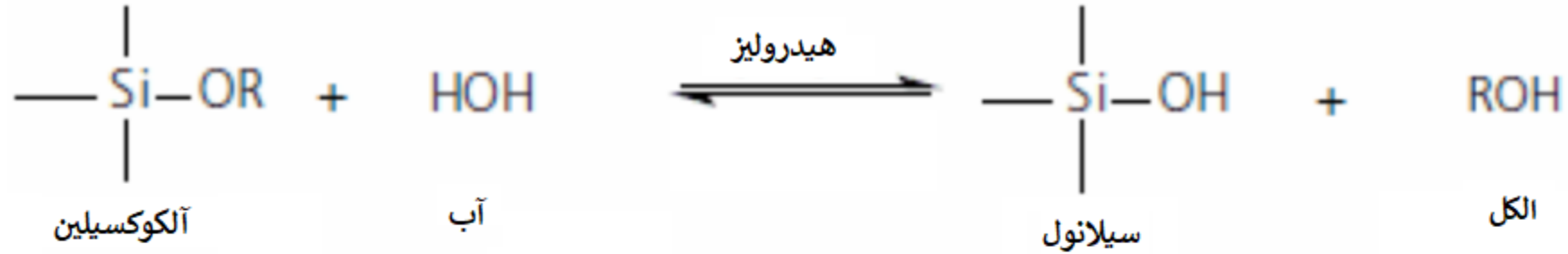
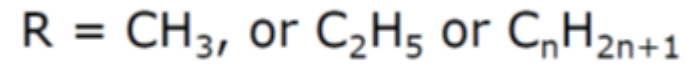
این روش برای پوشش دهی سطوح، عایق کاری و تولید قطعات کاربرد دارد. مواد حاصل از روش سل-ژل در کاربردهای مختلف نوری، الکترونیکی، مهندسی سطح، حسگرهای زیستی، دارویی و فناوری جداسازی به کار می روند.



# روش سل-ژل:



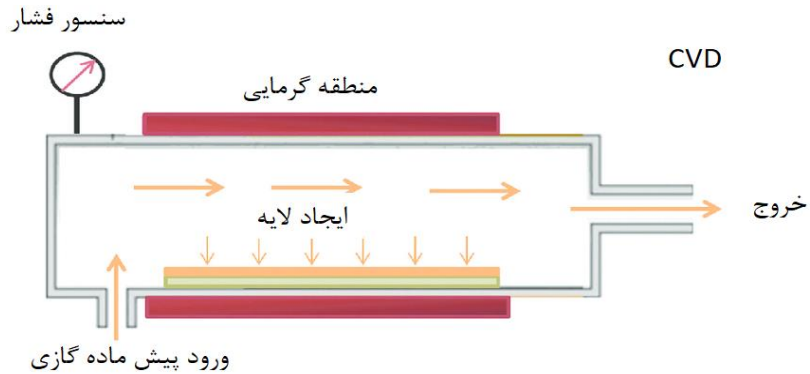
# واکنش های سل-ژل:



# تکنیک های لایه نشانی:

## لایه نشانی در خلا:

لایه نشانی (رسوب دهی) بخار شیمیایی  
لایه نشانی (رسوب دهی) فیزیکی بخار



## رسوب دهی شیمیایی بخار CVD:

روش رسوب دهی شیمیایی از فاز بخار به دلیل ویژگی های منحصر به فرد خود به عنوان روشی برای تولید قطعات سرامیکی و نیمه رسانا استفاده می شود. همچنین این روش از فرایندهای قدیمی ساخت لایه های نازک است. پوشش دهی سطوح با هدف بهبود مقاومت به خوردگی، سایش، اکسیداسیون، تنش های حرارتی، ارتقا خواص مکانیکی استفاده می شود. در این روش از محفظه ای به نام راکتور استفاده می شود که فشاری از ۱ تور تا ۱ اتمسفر دارد و دمای آن از ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد است. پیش ماده با ورود به راکتور و رسوب کردن به صورت لایه نازک روی سطح زیر لایه (پایه) در حالی که دچار یک سری تغییرات شیمیایی می شود، پوششی با ترکیب و خواص مورد نظر ایجاد می کند. بنابراین هدف از انتخاب یک فرایند خاص CVD ایجاد پوششی با اتصال مناسب به زیر لایه، یکنواختی ضخامت، ترکیب و خواص فیزیکی مورد نظر است. در این فرایند رسوب پوشش از فاز گاز رخ می دهد. پیش ماده باید به اندازه کافی فرار (دارای فشار بخار زیاد) باشد و در عین حال به قدر کافی پایدار باشد تا قابلیت وارد کردن به محفظه را داشته باشد. پیش ماده می تواند هالیدی ( $TiCl_4$ ) هیدریدی ( $SiH_4$ ) و ترکیبات آلی-فلزی باشد. از این روش برای تولید انواع مواد مانند فلزات و سرامیک ها ( $SiO_2, Al_2O_3, ZrO_2, SiC, B_4C, TiC, \dots$ ) استفاده می شود. جریانی از گاز یا گازهای حاوی ترکیب شیمیایی پیش ماده در یک محفظه جریان می یابد. محفظه شامل یک یا چند زیر لایه داغ است و با وقوع واکنش های شیمیایی در نزدیکی یا روی سطح داغ رسوبی از پوشش مورد نظر روی آن ها می نشیند. پس از تمام شدن واکنش شیمیایی مقداری محصول جانبی در کنار پوشش تشکیل می شود. در این روش معمولاً از یک گاز خنثی مانند آرگون به عنوان رقیق کننده استفاده می شود. در این روش نیازی به خلا نیست و کنترل مناسبی روی ساختار بلوری، مورفولوژی سطح و استوکیومتری پوشش وجود دارد.

برخی از پیش ماده های گازی آتش زا، گران قیمت و خطرناک هستند بنابراین آن ها را با استفاده از یک گاز نجیب مانند آرگون رقیق می کنند.

## رسوب دهی فیزیکی از فاز بخار PVD:

برای ایجاد لایه های نازک در بخش های مختلف صنعت استفاده می شود. این روش از روش های لایه نشانی در خلا بوده و دارای انواع مختلفی است. این روش دارای مراحل شامل تبخیر ماده منبع، انتقال بخار از منبع به زیر لایه و تشکیل لایه نازک روی زیر لایه است. روش کند و پاش یکی از این روش ها می باشد، در کند و پاش بخار ماده به وسیله گرما تولید نمی شود بلکه کندن اتم ها از روی سطح به صورت مکانیکی است. عموماً از گاز آرگون برای تهیه یون های پر انرژی استفاده می شود. ماده هدف که به ولتاژ منفی متصل است نقش کاتد را دارد، با برخورد ذرات پر انرژی به سطح ماده هدف، اتم ها یا مولکول های آن از سطح جدا شده و به بیرون پرتاب می شوند و در میدان ایجاد کننده پلاسما شتاب می گیرند. بدین ترتیب لایه ای از جنس ماده هدف روی زیر لایه (آند) که به ولتاژ مثبت متصل است ایجاد می شود.

### انواع روش های لایه نشانی فیزیکی:

