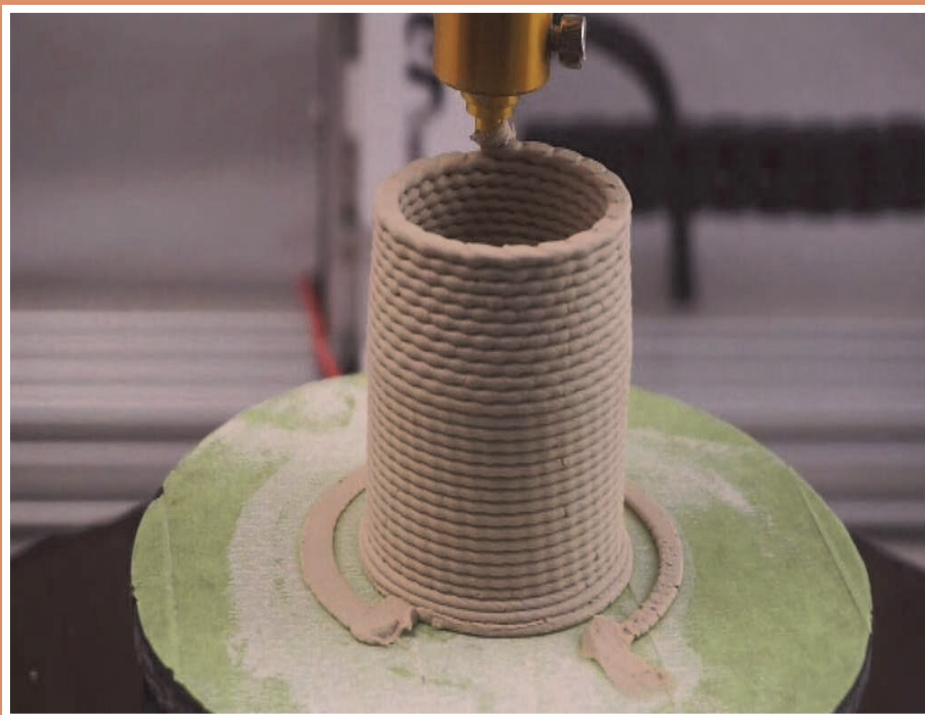


# فصل ۱

## تعیین پلاستیسیته



از جمله ویژگی‌های مهم برای شکل دهی و تولید انواع محصولات قابلیت شکل‌پذیری (پلاستیسیته) است؛ بنابراین پلاستیسیته مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف با توجه به نوع محصول و روش شکل‌دهی آن متفاوت است. برای تعیین پلاستیسیته آزمون‌های زیادی پیشنهاد شده است. متداول‌ترین این آزمون‌ها بر اساس اندازه‌گیری مقدار رطوبت لازم برای ایجاد پلاستیسیته است.

# واحد یادگیری ۱

## شایستگی تعیین پلاستیسیته

### شایستگی تعیین پلاستیسیته و یادگیری مهارت آن :

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت تعیین پلاستیسیته به روش های مختلف است که در تولید سرامیک ها به روش پلاستیک مورد توجه قرار دارد. بررسی عوامل موثر بر پلاستیسیته رس و همچنین تعیین پلاستیسیته با روش های متداول در این واحد در نظر گرفته شده است.

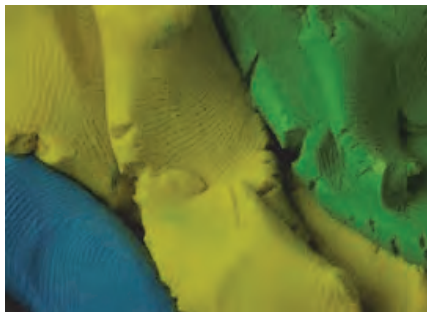
### استاندارد عملکرد:

در این واحد ابتدا مفهوم پلاستیسیته و سپس عوامل موثر بر پلاستیسیته را فراخواهید گرفت. هم چنین شیوه تعیین دقیق پلاستیسیته با روش های مختلف توضیح داده شده است. به منظور یادگیری مهارت درک و تعیین پلاستیسیته کارهای عملی متعددی در نظر گرفته شده است.

به تصاویر زیر نگاه کنید و به سوالات پاسخ دهید:  
- به نظر شما قابلیت شکل پذیری این خمیرهای بازی یکسان است؟



۲

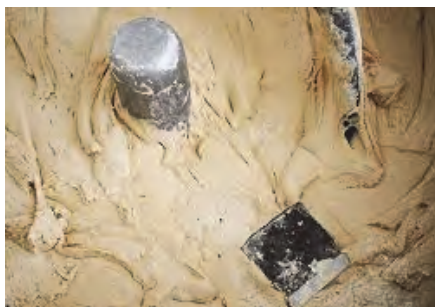


۱

- به نظر شما کدام حالت برای شکل دهی خمیر نان مناسبتر است؟



۴



۳

- برای تولید یک محصول سرامیکی به روش پلاستیک کدام گل مناسبتر است؟



۶



۵

در تمامی تصاویری که تاکنون دیدید قابلیت شکل پذیری یا پلاستیسیته اهمیت دارد.

## تعریف پلاستیسیته

پلاستیسیته<sup>۱</sup> ویژگی‌ای است که یک ماده را قادر می‌سازد تا در اثر یک نیروی خارجی تغییر شکل یافته به طوری که بعد از حذف یا کاهش نیرو هم چنان شکل خود را حفظ کند بدون آن که از هم گسیخته شود.

فکر کنید



آیا پلاستیسیته گل به کار رفته برای شکل‌دهی در شکل زیر مناسب بوده است؟



ب

الف

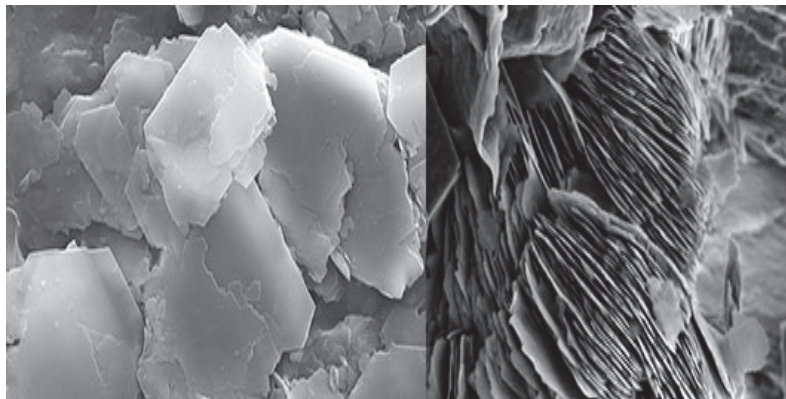
شکل ۱

مواد اولیه صنعت سرامیک را از نظر پلاستیسیته می‌توان به سه دسته پلاستیک، نیمه‌پلاستیک و غیرپلاستیک تقسیم‌بندی کرد که در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱- دسته‌بندی مواد اولیه صنعت سرامیک از نظر پلاستیسیته

دسته بندی براساس پلاستیسیته	ماده اولیه
پلاستیک	کائولن
	بالکلی
	رس‌های قرمز
	رس دیرگداز
	بنتونیت
نیمه‌پلاستیک	تالک
	پیروفیلیت
	سیلیس
غیرپلاستیک	آلومینا
	فلدسپات‌ها

مهم‌ترین ویژگی رس‌ها خاصیت پلاستیسیته است. در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی کائولن نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، شکل ذرات رس ورقه‌ای است که با افزودن آب به سهولت می‌توانند بر روی هم بلغزند.

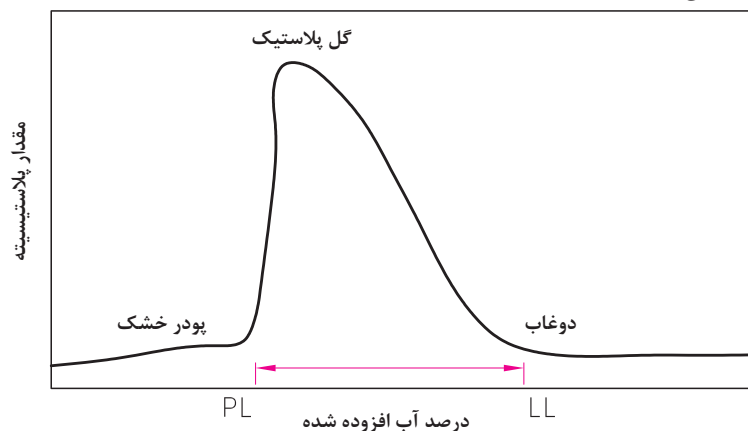


شکل ۲- تصویر میکروسکوپی کائولن

### آب پلاستیسیته

رطوبت رس با در نظر گرفتن میزان آب افزوده شده تغییر می‌کند. با افزودن آب، رس از حالت خشک به حالت نیمه‌خشک، پلاستیک و دوغاب تبدیل می‌شود.

مقدار آبی که باعث می‌شود گل خاصیت پلاستیسیته داشته باشد، آب پلاستیسیته نامیده می‌شود. مقدار آب پلاستیسیته محدوده مشخصی دارد که اصطلاحاً به آن «محدوده آب پلاستیسیته» گفته می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید، اگر مقدار آب مصرفی کم‌تر از این محدوده باشد پلاستیسیته کاهش می‌یابد و گل بسیار سفت می‌شود. هم‌چنین اگر مقدار آب مصرفی بیشتر از محدوده آب پلاستیسیته باشد، گل مورد نظر بیش از حد نرم شده و استحکام قطعه حاصل از آن مناسب نخواهد بود. در این شکل محدوده آب پلاستیسیته با  $PL_2$  نشان داده شده است.



شکل ۳- تغییرات پلاستیسیته رس با میزان آب افزوده شده

مقدار آب پلاستیسیته به نوع رس بستگی دارد. در جدول ۲ میزان آب پلاستیسیته رس‌های مختلف بیان شده است.

جدول ۲- آب پلاستیسیته رس‌های مختلف

نوع رس	درصد آب پلاستیسیته
کائولن شسته نشده	۳۶-۴۵
کائولن شسته شده	۴۴-۴۷
بال کلی	۳۵-۵۳
رس‌های نسوز	۵-۳۲/۳۸
رس‌های آجری	۵/۵-۱۴/۳۷

فکر کنید



چرا درصد آب پلاستیسیته در کائولن شسته شده بیشتر است؟

### پلاستی‌سایزر ۳

در صورتی که مواد اولیه تأمین کننده پلاستیسیته مورد نظر برای تولید بدنه سرامیکی نباشند، لازم است که مواد دیگری به مخلوط مواد اولیه افزوده شود. افزودنی‌ها، مواد اصلی تشکیل دهنده اجزای بدنه‌های سرامیکی نیستند اما برای ایجاد ویژگی مورد نظر در بدنه نقش بسزایی دارند. از جمله این افزودنی‌ها، پلاستی‌سایزرها هستند. پلاستی‌سایزرها با ایجاد لایه نازکی بین ذرات، پلاستیسیته را افزایش می‌دهند. انواع پلاستی‌سایزرها عمدتاً به صورت ترکیبات آلی هستند. البته پلاستی‌سایزرهای غیرآلی نظیر فسفات‌ها و سودا نیز کاربرد دارند. در جدول ۳ انواع پلاستی‌سایزرها معرفی شده است.

جدول ۳- برخی از پلاستی‌سایزرهای متداول در مقایسه با آب

پلاستی‌سایزر	نقطه جوش (°C)	پلاستی‌سایزر	نقطه جوش (°C)
آب	۱۰۰	گلیسرول	۲۹۰
اتیلن گلیکول	۱۹۷	ترا اتیلن گلیکول	۳۲۷
دی اتیلن گلیکول	۲۴۵	تری اتیل گلیکول	۲۸۸
دی متیل فنالات	۲۸۴	دی بوتیل فنالات	۳۴۰



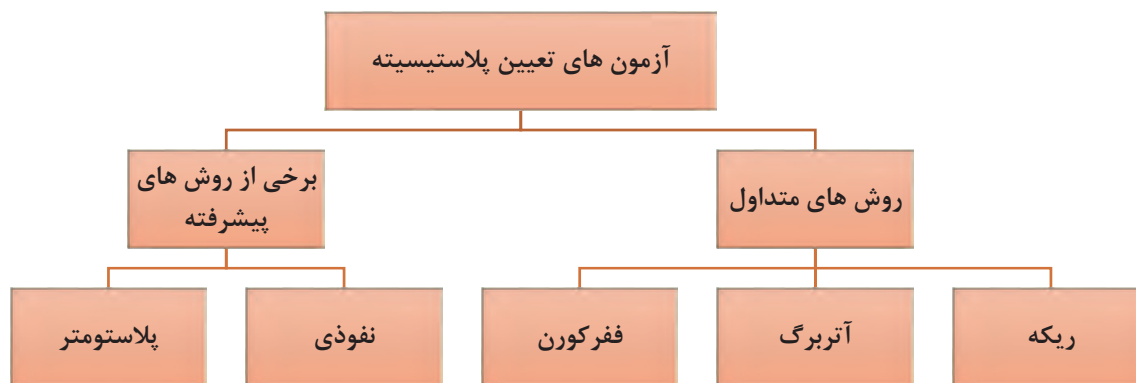
چرا نقطه جوش پلاستی سائزرها اهمیت دارد؟

## روش‌های تعیین پلاستیسیته



شکل ۴- دستگاه‌های کاربردی برای تعیین پلاستیسیته

- آیا تعیین دقیق پلاستیسیته دارای اهمیت است؟
- آیا پلاستیسیته گل را می‌توان به طور دقیق با دست و بررسی ظاهری گل تعیین کرد؟
- میزان پلاستیسیته برای تولید بدنه‌های مختلف به روش پلاستیک اهمیت دارد. روش‌های مختلفی برای تعیین پلاستیسیته مطرح شده است. انواع آزمون‌های تعیین پلاستیسیته در نمودار شکل ۵ بیان شده است.



شکل ۵- نمودار انواع روش‌های متداول و پیشرفته تعیین پلاستیسیته

در بین روش‌های متداول، ریکه و آتربرگ غیردستگاهی بوده و روش ففرکورن از جمله روش‌های دستگاهی است.

## ۱- تعیین پلاستیسیته به روش ریکه

در این روش میزان پلاستیسیته براساس بررسی گل با درصد رطوبت مختلف تعیین می‌شود و با بررسی ظاهر گل و لمس کردن آن و انجام محاسبات، عدد پلاستیسیته به دست می‌آید.



حالت اول و دوم ریکه به ترتیب زیر بررسی می‌شود:  
حالت اول ریکه: حالتی از گل پلاستیک است که در  
مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست است (شکل ۶).



شکل ۶ - حالت اول اریکه

حالت دوم ریکه: حالتی از گل پلاستیک است که در  
سطح گل ترک‌های واضح و مشخص باشد (شکل ۷).



شکل ۷ - حالت دوم اریکه

پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، عدد ریکه تفاضل  
درصد آب در دو حالت اول و دوم است.

کدام یک از نمونه‌های شکل ۸ برای تعیین نمونه حالت اول ریکه مناسب است؟

فکر کنید



ب



الف

شکل ۸

### شرح آزمون ریکه

➤ مرحله اول: تهیه دوغاب و تعیین حالت اول و دوم ریکه  
در ابتدا خاک مورد نظر در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده می‌شود؛ زمان خشک کردن باید  
به قدری طولانی شود تا خاک تغییر وزن نداشته باشد. سپس دوغاب همگنی تهیه و بر روی لوح گچی پهن  
می‌شود. پس از زیر و رو کردن و ورز دادن، گل یکنواختی حاصل می‌شود.  
دو حالت برای گل وجود دارد:



- ۱- در صورت چسبیدن گل به دست، شرایط برای تعیین حالت اول ریکه فراهم است. بنابراین در این حالت می‌توان گل را به قدری بر روی سطح لوح گچی ورز داد تا به حالت مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست برسد.
- ۲- هنگامی که گل به دست نچسبد، می‌توان حالت دوم ریکه را تعیین کرد. بنابراین در این حالت با ورز دادن گل بر روی سطوح گچی، بر روی گل ترک‌هایی به وضوح ظاهر خواهد شد.
- مرحله دوم: تعیین وزن تر و خشک حالت اول و دوم ریکه
- برای تعیین عدد ریکه باید جدولی مطابق جدول ۴ رسم کرده و وزن نمونه‌های مختلف را در آن یادداشت کرد. وزن‌های خشک پس از قرار دادن نمونه‌ها در خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس تعیین می‌شود.

جدول ۴- وزن تر و خشک نمونه در حالت اول و دوم ریکه

نمونه	$W_{R_1}$ : وزن تر در حالت اول ریکه (g)	$W_{R_f}$ : وزن خشک در حالت اول ریکه (g)	$W_{R_1}$ : وزن تر در حالت دوم ریکه (g)	$W_{R_f}$ : وزن خشک در حالت دوم ریکه (g)

- مرحله سوم: محاسبه درصد رطوبت بر مبنای خشک
- با توجه به جدول ۴ و رابطه ۱ و ۲، درصد رطوبت بر مبنای خشک برای حالت اول ریکه و حالت دوم ریکه محاسبه می‌شود.

$$M_{d_1} = \frac{W_{R_1} - W_{R_f}}{W_{R_f}} \times 100$$

رابطه ۱: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول ریکه (مرز چسبیدن و نچسبیدن گل به دست)

$$M_{d_f} = \frac{W_{R_f} - W_{R_f}}{W_{R_f}} \times 100$$

رابطه ۲: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت دوم ریکه (ظاهر شدن ترک بر روی سطح گل)

- مرحله چهارم: تعیین عدد پلاستیسیته ریکه
- در مرحله آخر عدد پلاستیسیته ریکه با توجه به درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه  $(M_{d_1}, M_{d_f})$  و مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$R = M_{d_1} - M_{d_f} \quad \text{رابطه ۳:}$$

نکته



برای اطمینان از نتایج به دست آمده، آزمون ریکه چند بار تکرار می‌شود و میانگین نتایج به عنوان عدد پلاستیسیته گزارش می‌شود.

هر چه عدد ریکه بالاتر باشد، گل مورد نظر پلاستیسیته بالاتری خواهد داشت. در جدول ۵ عدد ریکه خاک‌های مختلف بیان شده است.

جدول ۵- عدد ریکه رس‌های مختلف

خاک	عدد ریکه
کائولن	۷-۴
بالکلی	۱۱-۹
رس قرمز	۱۴-۱۰

#### فکر کنید



چه خطاهایی ممکن است در تعیین پلاستیسیته به روش ریکه ایجاد شود؟ روش‌های برطرف کردن آنها را بیان کنید.

#### فعالیت کارگاهی



کار عملی ۱: تعیین پلاستیسیته کائولن به روش ریکه  
مواد و ابزار: کائولن، آب، الک مش ۶۰، ترازو، ظرف، لوح گچی، کاردک، کولیس، خشک کن  
شرح فعالیت:

- ۱- ابتدا مقداری از کائولن را از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید. سپس ۵۰ گرم از کائولن خشک شده و ۳۰۰ سی سی آب بردارید و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید. دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با کاردک یا دست به خوبی آن را زیر و رو کنید تا گل همگنی ایجاد شود.
- ۲- پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، نمونه‌های استوانه‌ای شکل به طول تقریبی ۲ سانتی متر و قطر ۵۰ میلی‌متر تهیه کنید و نمونه‌ها را کدگذاری کنید ( $R_1$  و  $R_2$ : حالت اول و دوم ریکه).
- ۳- وزن تر نمونه بلافاصله پس از ساخت نمونه‌ها اندازه گیری شود.
- ۴- نمونه‌ها را در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید و وزن خشک آنها را یادداشت کنید.
- ۵- درصد رطوبت را بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه و عدد ریکه را محاسبه کنید.

#### نکته



- نکته ۱: همواره برای تهیه دوغاب، خاک را داخل آب بریزید.
- نکته ۲: از تمیز بودن لوح گچی و کاردک اطمینان حاصل کنید.
- نکته ۳: مراقب باشید که کاردک باعث کندن شدن سطح لوح گچی و ورود گچ به گل نشود.
- نکته ۴: برای جلوگیری از اشتباه در شناسایی نمونه‌ها، در کدگذاری آنها نام گروه خود را (با استفاده از نوک خودکار بی‌رنگ) نیز مشخص کنید.



کار عملی ۲: تعیین پلاستیسیته بالکلی به روش ریکه

مواد و ابزار: بالکلی، آب، الک مش ۶۰، ترازو، ظرف، لوح گچی، کاردک، کولیس، خشک کن  
شرح فعالیت:

۱- ابتدا مقداری از بالکلی را از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید. سپس ۵۰۰ گرم از بالکلی خشک شده و ۳۰۰ سی سی آب بردارید و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید. دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با کاردک یا دست به خوبی آن را زیر و رو کنید تا گل همگنی ایجاد شود.

۲- پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، نمونه های استوانه ای شکل به طول تقریبی ۲ سانتی متر و قطر ۵۰ میلی متر تهیه کنید و آنها را کدگذاری کنید ( $R_1$  و  $R_2$ : حالت اول و دوم ریکه).

۳- وزن تر نمونه بلافاصله پس از ساخت نمونه ها اندازه گیری شود.

۴- نمونه ها را در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید و وزن خشک آنها را یادداشت کنید.

۵- درصد رطوبت را بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه و عدد ریکه را محاسبه کنید.



کار عملی ۳: تعیین پلاستیسیته بنتونیت به روش ریکه

مواد و ابزار: بنتونیت، الک مش ۶۰، آب، لوح گچی، کاردک، ترازو، خط کش، خشک کن  
شرح فعالیت:

۱- ابتدا مقدار مناسبی از بنتونیت را از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار دهید. سپس ۵۰۰ گرم از بنتونیت خشک شده و ۳۰۰ سی سی آب بردارید و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید و دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با کاردک به خوبی زیر و رو کنید تا گل همگنی ایجاد شود.

۲- پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، نمونه های استوانه ای شکل به طول تقریبی ۲ سانتی متر و قطر ۵۰ میلی متر تهیه کنید و آنها را کدگذاری کنید ( $R_1$  و  $R_2$ : حالت اول و دوم ریکه).

۳- وزن تر نمونه بلافاصله پس از ساخت نمونه ها اندازه گیری شود.

۴- نمونه ها را در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید و وزن خشک آنها را یادداشت کنید.

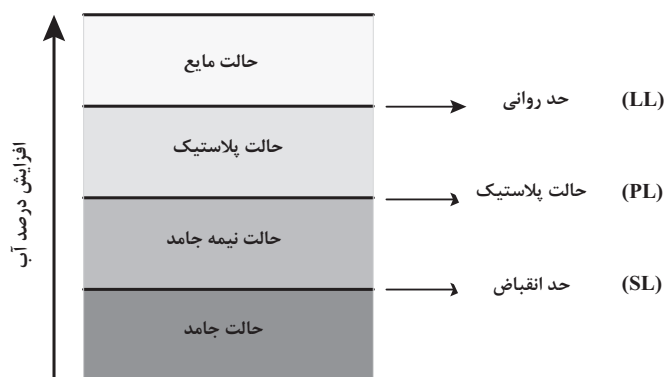
۵- درصد رطوبت را بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه و عدد ریکه را محاسبه کنید.

## ۲-تعیین پلاستیسیته به روش آتربرگ

روش آتربرگ مانند ریکه یک روش غیردستگاهی است و عدد پلاستیسیته آن معمولاً به روش ریکه نزدیک است.

سه محدوده برای مقدار رطوبت موجود در خاک می‌توان تعریف کرد: حد انقباض (SL)، حد پلاستیک (PL) و حد روانی (LL) (شکل ۹).

حد انقباض: میزان رطوبتی است که در آن رطوبت خاک رفتاری بین نیمه‌جامد و جامد دارد.  
حد پلاستیک: میزان رطوبتی است که در آن رطوبت خاک رفتاری بین پلاستیک و نیمه‌جامد دارد.  
حد روانی: میزان رطوبتی است که در آن رطوبت خاک رفتاری بین پلاستیک و دوغاب دارد.



شکل ۹- حالت‌های مختلف خاک براساس رطوبت

در سنجش پلاستیسیته به روش آتربرگ، درصد رطوبت در دو حد پلاستیک و حد روانی اندازه‌گیری می‌شود. برای همین منظور اختلاف درصد آب در دو حالت تعیین شود: حالت اول «مرز یکی شدن شیار» و حالت دوم «ظهور اولین ترکها» است.



شکل ۱۰- حالت اول و دوم آتربرگ



روش آتربرگ اولین بار توسط آلبرت آتربرگ کشف شد. او دریافت که پلاستیسیته از ویژگی‌های خاص مواد رسی است و محدوده شکل‌پذیری آتربرگ به خاطر تلاش‌های این دانشمند در این زمینه نامگذاری شده است.



### شرح آزمون آتربرگ

در این آزمون تعیین درصد آب برای دو حالت مرز یکی شدن شیار و ظهور اولین ترکها اهمیت دارد. بنابراین باید درصد آب این دو حالت با توجه به وزن تر و خشک آنها تعیین شود.

#### ➤ مرحله اول: تهیه گل

در ابتدا خاک مورد نظر در خشک‌کن به دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده می‌شود. زمان خشک کردن باید به قدری طولانی شود تا خاک تغییر وزن نداشته باشد. سپس دوغاب همگنی تهیه شده و بر روی لوح گچی پهن می‌شود و با زیر و رو کردن و ورز دادن گل یکنواختی به دست می‌آید (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تهیه گل یکنواخت با دوغاب

#### ➤ مرحله دوم: تعیین حالت اول آتربرگ

اگر گل پلاستیک به دست بچسبد باید ورز دادن تا حدی ادامه یابد که با کاهش رطوبت، گل به دست نچسبد؛ در این حالت امکان تعیین حالت «مرز یکی شدن شیار» فراهم شده است. در این حالت گل را به صورت دایره یا تخت درآورده و سطح آن را با کاردک صاف کنید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲

سپس با تیغه کاردک شیاری ایجاد کرده و چند ضربه بر روی آن وارد کنید. اگر شیار ایجاد شده کمی جمع شود ولی لبه دو نصفه گل به یکدیگر نرسد، در این حالت به مرحله اول آتربرگ (مرز



شکل ۱۳

یکی شدن شیار) به دست آمده است (شکل ۱۳). پس از رسیدن به مرحله اول آتبرگ، تکه‌ای از گل را برداشته و بعد از کدگذاری، وزن آن را یادداشت کنید. سپس آن تکه گل را داخل خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا خشک شود. سپس وزن خشک نمونه‌ها را یادداشت کنید.

نکته



اگر شیار ایجاد شده کاملاً به هم چسبید، حالت مرز یکی شدن شیار به دست نیامده است. در این صورت دوباره گل ورز داده می‌شود تا شیار بر روی گل ایجاد شود.

نکته



به منظور تعیین دقیق مرز یکی شدن شیار، از ظرف‌هایی معروف به جام کاساگرانده (Casagrande) و شیارزن استفاده می‌شود که در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴- جام کاساگرانده و شیارزن



شکل ۱۵- بررسی فتیله در روش آتبرگ

➤ مرحله سوم: تعیین حالت دوم آتبرگ  
برای تعیین حالت دوم آتبرگ، مقداری گل را برداشته و به قدری ورز داده می‌شود تا اولین ترک‌ها بر روی سطح آن ظاهر شود. در این حالت وزن آن با ترازو اندازه‌گیری و یادداشت می‌شود. سپس فتیله را داخل خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت تقریباً ۲۴ ساعت قرار داده تا خشک شود. در پایان، وزن خشک‌شده آن را یادداشت کنید (شکل ۱۵ را ببینید).

➤ مرحله چهارم: محاسبات و تعیین عدد پلاستیسیته آتبرگ  
برای تعیین عدد پلاستیسیته باید درصد رطوبت بر مبنای خشک محاسبه شود. روش محاسبه درصد رطوبت بر مبنای خشک مشابه روش ریکه است. در ابتدا جدول ۶ کامل می‌شود.

جدول ۶- وزن تر و خشک نمونه‌ها در حالت اول و دوم آتبرگ

نمونه	$W_{A_1}$ : وزن تر در حالت اول آتبرگ (g)	$W_{A_r}$ : وزن خشک در حالت اول آتبرگ (g)	$W_{A_r}$ : وزن تر در حالت دوم آتبرگ (g)	$W_{A_f}$ : وزن خشک در حالت دوم آتبرگ (g)

سپس با توجه به جدول ۶ و رابطه‌های شماره ۴ و ۵، درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول و دوم آتبرگ تعیین می‌شود.

$$M_{d_1} = \frac{W_{A_1} - W_{A_r}}{W_{A_r}} \times 100$$

رابطه ۴: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول آتبرگ  
(مرز یکی شدن شیار)

$$M_{d_2} = \frac{W_{A_r} - W_{A_f}}{W_{A_f}} \times 100$$

رابطه ۵: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت دوم آتبرگ  
(ظاهر شدن ترک)

برای محاسبه عدد پلاستیسیته آتبرگ از رابطه ۶ به‌دست می‌آید. در این رابطه  $M_{d_1}$  درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول آتبرگ و  $M_{d_2}$  درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت دوم آتبرگ است.

رابطه ۶: عدد پلاستیسیته به روش آتبرگ

$$A = M_{d_1} - M_{d_2}$$



نکته



برای تعیین دقیق تر عدد پلاستیسیته به روش آتبرگ باید این آزمون را چندین بار تکرار کرد و میانگین اعداد به دست آمده را به عنوان عدد پلاستیسیته گزارش کرد.

در آزمون آتبرگ هر چه عدد به دست آمده بزرگتر باشد، گل مورد نظر پلاستیسیته بالاتری خواهد داشت. در جدول ۷ عدد آتبرگ خاک‌های مختلف بیان شده است.

جدول ۷ - عدد آتبرگ رس‌های مختلف

عدد آتبرگ	خاک
۲۲-۱۰	کائولن
۵۵-۳۰	ایلیت
۱۰۰-۵۹	مونت موریونیت

فکر کنید



به نظر شما چه خطاهایی در آزمون آتبرگ ممکن است وجود داشته باشد؟

فعالیت  
کارگاهی



کار عملی ۴: تعیین پلاستیسیته کائولن به روش آتبرگ  
مواد و ابزار: کائولن، آب، الک مش ۶۰، لوح گچی، کاردک، ترازو، خط‌کش، کاساگرانده یا کفه الک، کاشی لعابدار، کاردک، خشک کن  
شرح فعالیت:  
ابتدا مقداری کائولن را از الک مش ۶۰ عبور داده و در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شود. سپس ۵۰ گرم کائولن خشک شده و ۳۰۰ سی سی آب برداشته و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید.  
پس از آن، مطابق شرح آزمون آتبرگ (مراحل ۱ تا ۴) عدد پلاستیسیته را محاسبه کنید.

نکته



مدت زمان قرارگیری خاک در خشک کن باید به قدری باشد که کاهش وزن نداشته باشد.

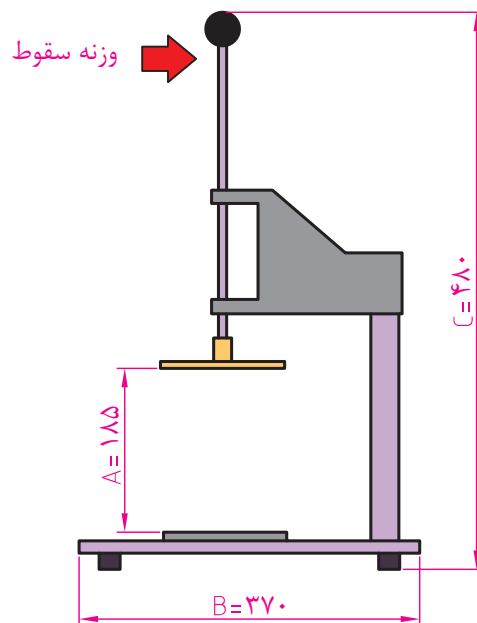


کار عملی ۵: تعیین پلاستیسیته بالکلی به روش آتبرگ  
مواد و ابزار: بالکلی، آب، الک مش ۶۰، لوح گچی، کاردک، ترازو، خط کش، کاساگرانده یا کفه الک، کاشی لعابدار، کاردک، خشک کن  
شرح فعالیت:

ابتدا مقداری بالکلی را از الک مش ۶۰ عبور داده در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شود. سپس ۵۰۰ گرم بالکلی خشک شده و ۳۰۰ سی سی آب برداشته و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید.  
پس از آن مطابق شرح آزمون آتبرگ (مراحل ۱ تا ۴) عدد پلاستیسیته را محاسبه کنید.

### تعیین عدد پلاستیسیته به روش ففرکورن

یکی از مهم‌ترین آزمون‌های اندازه‌گیری پلاستیسیته، آزمون ففرکورن است. در شکل ۱۶، تصویر و مشخصات دستگاه ففرکورن نشان داده شده است. در این روش، استوانه‌ای گلی با ابعاد مناسب به وسیله قالب مخصوص (نمونه‌ساز) ساخته می‌شود که بر روی آن یک وزنه به جرم ۱۱۹۲ گرم از ارتفاع استاندارد ۱۸۵ میلی‌متری (در شکل با A نشان داده شده) سقوط می‌کند.



شکل ۱۶- دستگاه ففرکورن (A: ارتفاع کف وزنه سقوط از محل قرارگیری نمونه)

### شرح آزمون ففرکورن

➤ مرحله اول: تهیه گل

در ابتدا دوغاب همگنی تهیه شده و بر روی لوح گچی پهن می‌شود. پس از زیر و رو کردن و ورز دادن، گل یکنواختی حاصل می‌شود. زمانی که گل به دست نجسبد، می‌توان نمونه‌های آزمون را تهیه کرد.

➤ مرحله دوم: ساخت نمونه

پس از آماده شدن گل با استفاده از قالب ففرکورن (یک استوانه به ارتفاع ۴۰ میلی‌متر و قطر ۳۳ میلی‌متر) حداقل ۶ نمونه ساخته شود.



شکل ۱۷- دستگاه ففرکورن و قالب نمونه‌ساز

➤ مرحله سوم: تعیین ارتفاع ثانویه

در این مرحله نمونه‌ها در دستگاه ففرکورن قرار داده شده و ضامن وزنه آزاد می‌شود تا روی استوانه گلی سقوط کند و ارتفاع ثانویه اندازه‌گیری می‌شود. سپس نمونه‌ها کدگذاری شده و بلافاصله وزن آنها یادداشت می‌شود. پس از آن، نمونه‌ها برای تعیین وزن خشک، درون خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار می‌گیرند و سپس وزن خشک نمونه‌ها به وسیله ترازو تعیین می‌شود. تمامی اطلاعات حاصل از این مرحله در جدولی مانند جدول ۸ یادداشت می‌شود.

جدول ۸- اطلاعات لازم برای تعیین پلاستیسیته به روش ففرکورن

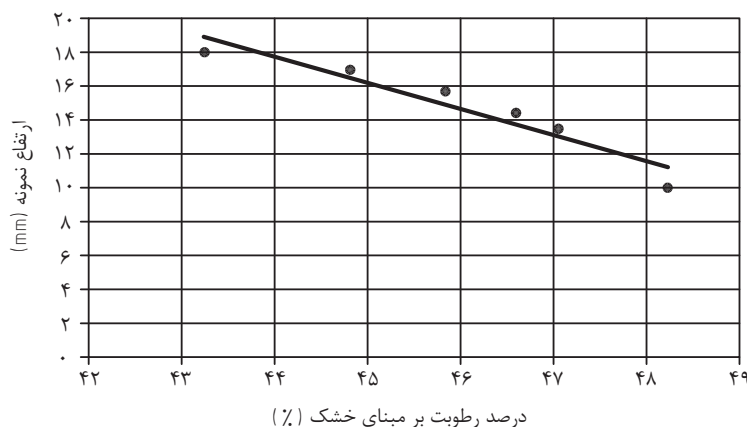
نمونه	$h_1$ : ارتفاع اولیه (mm)	$h_2$ : ارتفاع ثانویه (mm)	$W_1$ : وزن تر (g)	$W_2$ : وزن خشک (g)
۱	۴۰			
۲	۴۰			
۳	۴۰			
۴	۴۰			
۵	۴۰			
۶	۴۰			

➤ مرحله چهارم: تعیین عدد پلاستیسیته ففرکورن و درصد آب کارپذیری

با توجه به وزن تر و خشک نمونه‌ها، درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه‌ها محاسبه می‌شود. سپس در یک نمودار، ارتفاع نمونه بر حسب درصد رطوبت بر مبنای خشک را مشخص کرده و نزدیک‌ترین خط به نقاط مورد نظر ترسیم می‌شود. با توجه به این خط، درصد رطوبت بر مبنای خشک در ارتفاع ۱۶ میلی‌متر نشان دهنده عدد پلاستیسیته ففرکورن است و درصد رطوبت بر مبنای خشک در ارتفاع ۱۲ میلی‌متر درصد آب کارپذیری ففرکورن را نشان می‌دهد.

نکته

نمونه‌های آماده شده پس از آزمایش باید در همه محدوده‌های ارتفاع کمتر از ۱۲، بین ۱۲ و ۱۶ و بیشتر از ۱۶ میلی‌متر باشند.



شکل ۱۸- نمودار درصد رطوبت بر مبنای خشک و ارتفاع نمونه

در جدول ۹، عدد پلاستیسیته ففركورن و درصد آب‌کارپذیری رس‌های مختلف بیان شده است.

جدول ۹- عدد پلاستیسیته و درصد آب‌کارپذیری خاک‌های مختلف به روش ففركورن

خاک	عدد پلاستیسیته	درصد آب‌کارپذیری
کائولن (شسته شده)	۲۲-۱۴	۴۸-۴۳
بالکلی	۷۲-۳۲	۵۲-۳۰
زنوز	۴۷-۲۵	۳۲-۲۲

گفتگو کنید



دربارهٔ ارتباط عدد پلاستیسیته ففركورن و درصد آب‌کارپذیری رس‌های مختلف بحث کنید.

نکته



روش ففركورن برای تعیین پلاستیسیته بدنه‌های حاوی مواد غیر رسی که معمولاً برای تهیه مواد پیشرفته کاربرد دارند، مناسب نیست. دلیل این موضوع، پلاستیسیتهٔ کم این نمونه‌ها است که دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد.



کار عملی ۶: تعیین پلاستیسیته کائولن به روش ففرکورن

مواد و ابزار: کائولن، آب، الک مش ۶۰، لوح گچی، کاردک، ترازو، کولیس، کاشی لعابدار، خشک کن شرح فعالیت:

۱- مقداری خاک کائولن از الک مش ۶۰ عبور داده و در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شود.

۲- ۵۰۰ گرم کائولن خشک شده و ۳۰۰ سی سی آب اندازه‌گیری کرده و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه شود.

۳- دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با زیر و رو کردن آن، گل یکنواختی تهیه شود.

۴- با استفاده از نمونه ساز حداقل ۶ نمونه تهیه و هر یک کدگذاری شود.

۵- سپس وزنه و ارتفاع سقوط وزنه دستگاه ففرکورن ارزیابی شود.

۶- هر یک از نمونه‌ها را در دستگاه ففرکورن قرار داده و وزنه را آزاد کنید تا بر روی نمونه سقوط کند.

۷- ارتفاع ثانویه و وزن هر یک از نمونه‌ها را یادداشت کرده و سپس آنها را در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار دهید و سپس وزن خشک آنها را یادداشت کنید.

۸- با توجه به شرح آزمون، درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه‌ها را به دست آورده و نتایج را بر روی کاغذ شطرنجی رسم کنید و سپس عدد پلاستیسیته و درصد آب کارپذیری را تعیین نمایید.



نکته ۱: قبل از تهیه نمونه‌ها، داخل نمونه ساز را با مقدار کمی روغن چرب کنید.

نکته ۲: سطح زیرین وزنه را قبل از سقوط روغن‌کاری کنید (به مقدار بسیار کم).

نکته ۳: خشک کن را از لحاظ جریان هوا بررسی کنید. هم چنین خشک کن نباید از بخار آب اشباع شده باشد.

نکته ۴: گل روغنی شده را نباید به بقیه گل بازگرداند.



- کار عملی ۷: تعیین پلاستیسیته بالکلی به روش ففرکورن
- مواد و ابزار: الک مش ۶۰، بالکلی، آب، لوح گچی، کاردک، ترازو، کولیس، کاشی لعابدار، خشک کن
- شرح فعالیت:
- ۱- مقداری بالکلی را از الک مش ۶۰ عبور داده و در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید.
  - ۲- ۵۰۰ گرم بالکلی خشک شده و ۳۰۰ سی سی آب اندازه گیری کرده و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید.
  - ۳- دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با زیر و رو کردن آن گل یکنواختی تهیه کنید.
  - ۴- با استفاده از نمونه ساز حداقل ۶ نمونه تهیه و هر یک کدگذاری شود.
  - ۵- وزنه و ارتفاع سقوط وزنه دستگاه ففرکورن را ارزیابی کنید.
  - ۶- هر یک از نمونه‌ها را در دستگاه ففرکورن قرار داده و وزنه را آزاد کنید تا بر روی نمونه سقوط کند.
  - ۷- ارتفاع ثانویه و وزن هر یک از نمونه‌ها را یادداشت کرده و سپس آن‌ها را در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار دهید و سپس وزن خشک آن‌ها یادداشت کنید.
  - ۸- با توجه به شرح آزمون، درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه‌ها را به دست آورده و نتایج را بر روی کاغذ شطرنجی رسم کنید و سپس عدد پلاستیسیته و درصد آب کارپذیری را تعیین نمایید.



عدد پلاستیسیته که از فعالیت‌های کارگاهی ۱ تا ۷ به دست آورده‌اید را در جدول زیر یادداشت کنید و درباره نتایج گروه‌های مختلف بحث و گفت‌وگو کنید.

روش تعیین پلاستیسیته			
نوع خاک	روش ریکه	روش آتربرج	روش ففرکورن
کائولن			
بالکلی			

### عوامل مؤثر بر پلاستیسیته

آیا می‌توان بدون تغییر آمیز (مخلوط مواد اولیه) میزان پلاستیسیته را تغییر داد؟

برای تعیین پلاستیسیته مواد رسی عوامل مؤثر بر آنها باید بررسی شود. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پلاستیسیته در نمودار شکل ۱۹ بیان شده است.

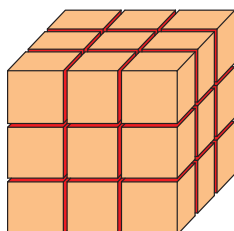


شکل ۱۹- عوامل مؤثر بر پلاستیسیته

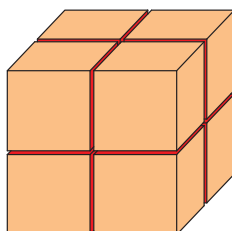
در این قسمت هر یک از عوامل مؤثر بر پلاستیسیته بررسی شده است:

۱- اندازه ذرات

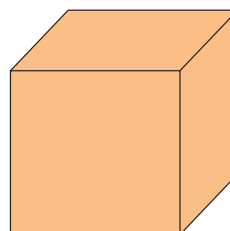
کدام یک از تصاویر شکل ۲۰ سطح بیشتری دارد؟



(ج)



(ب)



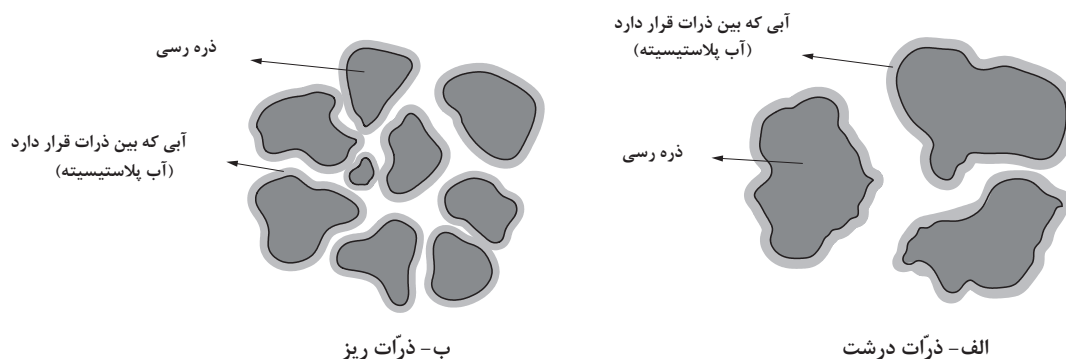
(الف)

شکل ۲۰



## تعیین پلاستیسیته

با ریز شدن، سطح ذرات افزایش می‌یابد و امکان قرارگیری آب بین ذرات بیشتر می‌شود. بنابراین ذرات راحت‌تر بر روی هم می‌لغزند و قابلیت پلاستیسیته افزایش می‌یابد (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- قرارگیری آب بین ذرات در دو حالت: الف- ذرات ریز ب- ذرات درشت

### نکته

کوارتز و فلدسپات با وجود اینکه خاصیت پلاستیک ندارند، اگر بیش از حد ریزدانه شوند، خاصیت پلاستیسیته بسیار کمی از خود نشان می‌دهند اما باید توجه داشت که خاصیت پلاستیسیته آنها قابل مقایسه با رس‌ها نیست.

### فعالیت کارگاهی



کار عملی ۸: مقایسه اثر اندازه ذرات بر پلاستیسیته

مواد و ابزار: دو عدد ظرف، کائولن، سیلیس، آب، الک مش ۴۰ و ۱۰۰، ترازو، خشک کن، دستگاه ففرکورن  
شرح فعالیت:

۱- مقداری خاک کائولن بردارید و از الک ۴۰ عبور دهید. سپس در خشک کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار دهید.

۲- مقداری سیلیس بردارید و مقداری از آن را از الک مش ۴۰ و مقداری از آن را از الک مش ۱۰۰ عبور دهید.

۳- دو ظرف جداگانه بردارید و هر یک را کدگذاری کنید. در ظرف شماره یک ۲۰۰ سی سی آب بریزید و با ۲۰۰ گرم کائولن خشک شده و ۱۰۰ گرم سیلیس عبور کرده از الک مش ۴۰ مخلوط کنید.

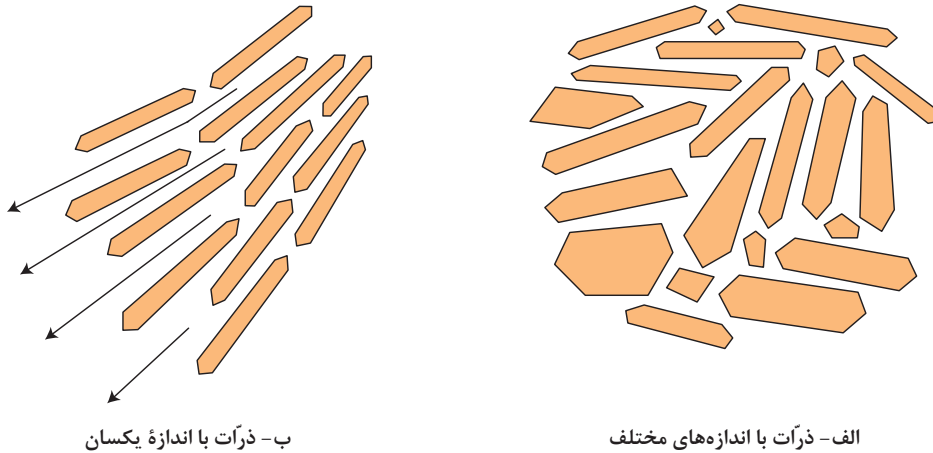
۴- در ظرف شماره ۲، ۲۰۰ سی سی آب بریزید و با ۲۰۰ گرم کائولن خشک شده و ۱۰۰ گرم سیلیس عبور کرده از الک مش ۱۰۰ مخلوط کنید.

۵- دوغاب‌های به دست آمده را به طور جداگانه بر روی لوح گچی پخش کنید و با زیر و رو کردن آن، گل‌های یکنواختی به دست آورید.

۶- سپس با توجه به شرح آزمون ففرکورن، عدد پلاستیسیته هر یک از گل‌ها را به دست آورید و نتایج را

## ۲- توزیع اندازه ذرات

هنگامی که محدوده اندازه ذرات بسیار ریز و نزدیک به هم باشد، مقدار پلاستیسیته افزایش می‌یابد. زیرا در این حالت اصطکاک بین آن‌ها بسیار کم می‌شود و راحت‌تر بر روی هم می‌لغزند (شکل ۲۲).



شکل ۲۲- توزیع اندازه ذرات

فکر کنید

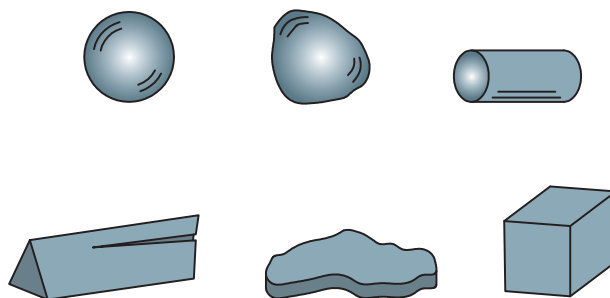


هنگامی که اندازه ذرات بسیار ریز و نزدیک به هم باشد، استحکام قطعه شکل‌دهی شده مناسب خواهد بود؟

## ۳- شکل ذرات

به تصویر زیر نگاه کنید:

سطح تماس ذرات در کدام شکل بیشتر می‌شود؟



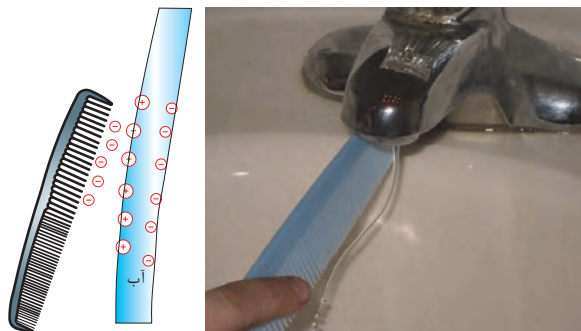
شکل ۲۳- اشکال مختلف ذرات

میزان سطح تماس ذرات با توجه به شکل آن‌ها تغییر می‌کند. هر چه شکل ذرات به کروی بودن نزدیک‌تر باشد، سطح تماس بین ذرات کاهش خواهد یافت و میزان آبی که در بین ذرات کروی قرار دارند کاهش می‌یابد، بنابراین خاصیت پلاستیسیته کم می‌شود.

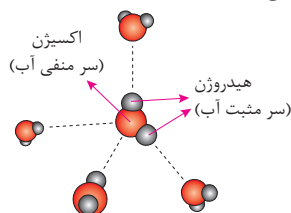
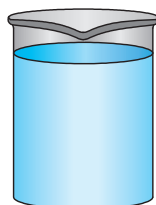
۴- نوع و درصد مایع افزوده شده

به تصویر زیر نگاه کنید:

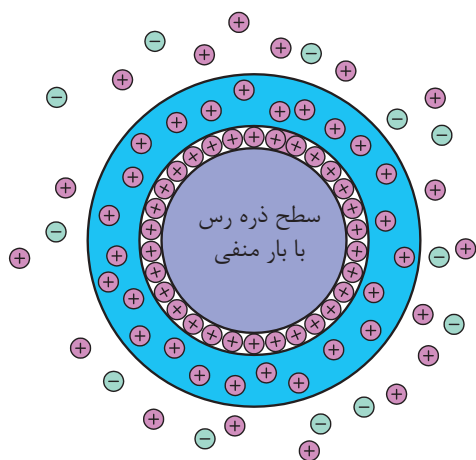
انحراف جریان آب در مقابل شانه باردار شده به کدام ویژگی آب مربوط می‌شود؟



نوع و میزان مایعی که در بین ذرات رس قرار می‌گیرد، از جمله عوامل مؤثر بر پلاستیسیته است. در مایعات قطبی، ذرات تشکیل‌دهنده قطبی بوده و دارای سر مثبت و منفی هستند که با نیروی جاذبه الکتروستاتیکی یکدیگر را جذب می‌کنند (شکل ۲۴).



شکل ۲۴- ذرات تشکیل‌دهنده مولکول‌های آب



شکل ۲۵- بارهای موجود در سطح ذره رس

همانطور که در شکل ۲۵ می‌بینید، در سطح ذرات رس بار منفی و در لبه‌ها بار مثبت وجود دارد که باعث جذب مولکول‌های مایعات قطبی می‌شود. اما در حلال‌های غیرقطبی، ذرات غیرقطبی هستند و تنها نیروی جاذبه ضعیف واندروالسی بین آن‌ها وجود دارد. بنابراین هنگامی که مولکول‌های مایعات قطبی مانند آب و الکل در بین ذرات رسی قرار می‌گیرند، باعث لغزش و سهولت حرکت صفحات رسی و ایجاد خاصیت پلاستیسیته می‌شوند؛ در حالی که مایعات غیرقطبی مانند تتراکلرید کربن<sup>۹</sup> یا بنزن<sup>۱۰</sup> خاصیت پلاستیسیته ایجاد نمی‌کنند.

#### گفتگو کنید



درباره تأثیر میزان آب افزوده شده بر پلاستیسیته رس بحث و گفتگو کنید.

#### فعالیت کارگاهی



کار عملی ۹: اثر نوع مایع افزوده شده بر پلاستیسیته

مواد و ابزار: دو عدد ظرف، الک مش ۶۰، بالکلی، آب، مایع غیرقطبی نظیر تولوئن، ترازو، خشک کن شرح فعالیت:

۱- مقداری بالکلی بردارید و از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن با دمای ۱۱۰ سلسیوس قرار دهید.

۲- دو ظرف جداگانه بردارید و هر یک را کدگذاری کنید.

۳- در ظرف شماره ۱، ۳۰۰ سی سی آب بریزید و داخل آن ۵۰۰ گرم بالکلی خشک شده بریزید و از آن دوغاب همگنی تهیه کنید.

۴- در ظرف شماره ۲، ۳۰۰ سی سی تولوئن بریزید و داخل آن ۵۰۰ گرم بالکلی خشک شده بریزید و از آن دوغاب همگنی تهیه کنید.

۵- هر یک از دوغاب‌ها را به طور جداگانه بر روی لوح گچی پهن کنید و به وسیله دست یا کاردک زیرورو کنید تا آب اضافی آن جذب شود و گل همگنی به دست آید.

۶- سپس با توجه به شرح آزمون ففركورن، عدد پلاستیسیته هر یک از گل‌ها را به دست آورید و نتایج به دست آمده را مقایسه کنید.

#### نکته



در صورت استفاده از کاردک، مراقب باشید سطح لوح گچی کنده نشود.

#### نکته ایمنی



در هنگام استفاده از مایعات غیرقطبی از دستکش و ماسک استفاده کنید. برخی از مایعات غیرقطبی مانند بنزن شدیداً سمی هستند؛ هیچ‌گاه از این مایعات استفاده نکنید.

۵- نحوه آماده سازی گل

برای تهیه گل، روش‌های مختلفی وجود دارد که متداول‌ترین آن‌ها شامل موارد زیر است: در روش اول، دوغابی از آب و رس تهیه شده و بر روی لوح گچی پهن می‌شود. سپس با زیر و رو کردن گل، رطوبت آن جذب لوح گچی می‌شود و گل یکنواختی به دست می‌آید (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

در روش دوم، گل پلاستیک با افزودن مقدار کمتری آب به خاک تهیه می‌شود. در این روش مقدار آب افزوده شده کمتر از دوغاب است و با زیر و رو کردن و ورز دادن می‌توان گل یکنواختی تهیه کرد (شکل ۲۷).



شکل ۲۷

گلی که از روش اول به دست می‌آید، از لحاظ توزیع رطوبت در قسمت‌های مختلف گل یکنواخت‌تر است؛ بنابراین پلاستیسیته بهتری خواهد داشت که برای شکل‌دهی مناسب‌تر است.

بالمیل کردن دوغاب باعث افزایش یکنواختی و پلاستیسیته گل می‌شود.

نکته



## ۲- مقدار و نوع کانی‌رسی

بدیهی است که با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای رس‌ها، مقدار بیشتر کانی‌های رسی خاصیت پلاستیسیته بیشتری را به همراه خواهد داشت؛ در حالی که وجود مواد غیرپلاستیک مانند فلدسپات‌ها خاصیت پلاستیسیته آمیز را کاهش می‌دهند. در نمودار شکل ۲۸ رایج‌ترین کانی‌های رسی معرفی شده است.



شکل ۲۸- رایج‌ترین کانی‌های رسی



خاک‌های حاوی کانی مونت مورینیت چه کاربردهایی در صنایع مختلف دارند؟ چرا؟



کار عملی ۱۰: تعیین جذب آب خاک‌های مختلف

مواد و ابزار: دو عدد ظرف، الک مش ۶۰، بالکلی، تالک، فلدسپات، آب، ترازو، خشک کن شرح فعالیت:

- ۱- مقداری بالکلی، تالک و فلدسپات بردارید و هر یک را جداگانه از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن بادمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید.
- ۲- سپس سه ظرف جداگانه بردارید و هر یک را کدگذاری کنید.
- ۳- در ظرف شماره ۱، ۳۰۰ سی سی آب بریزید و با ۵۰ گرم بالکلی خشک شده مخلوط کنید و به خوبی هم بزنید.
- ۴- در ظرف شماره ۲، ۳۰۰ سی سی آب بریزید و با ۵۰ گرم تالک خشک شده مخلوط کنید و به خوبی هم بزنید.
- ۵- در ظرف شماره ۳، ۳۰۰ سی سی آب بریزید و با ۵۰ گرم فلدسپات خشک شده مخلوط کنید و به خوبی هم بزنید.
- ۶- میزان ته نشین شدن هر یک از دوغاب‌ها و ارتباط آن‌ها را با جذب آب تعیین کنید.



هنگام الک کردن از ماسک استفاده کنید.  
از سالم بودن هواکش‌ها در محیط کارگاه اطمینان حاصل کنید.



شکل ۲۹- خواباندن گل

۳- مدت زمان خواباندن گل  
خواباندن گل باعث افزایش پلاستیسیته می‌گردد که دلیل آن نفوذ بیشتر آب به تمامی قسمت‌های گل و همچنین تجزیه مواد آلی به وسیله باکتری‌های موجود در رس است. باکتری‌ها با ایجاد کپک باعث لغزندگی ذرات رس می‌شوند که بوی نامطبوعی نیز ایجاد می‌کنند.



اندازه‌گیری دقیق پلاستیسیته کار دشواری است، بنابراین با توجه به سایر ویژگی‌ها مانند رطوبت، استحکام و فشار وارد شده بر قطعه می‌توان پلاستیسیته گل را تعیین کرد. پلاستیسیته در روش‌های ریکه، آتبرگ و ففرکورن براساس رطوبت تعیین می‌شود. در این قسمت سایر روش‌های پلاستیسیته نظیر روش نفوذی و روش پلاستومتر بیان شده است. تعیین پلاستیسیته در روش نفوذی و پلاستومتر با اندازه‌گیری میزان فشار وارد شده بر آمیز تعیین می‌شود.

### روش نفوذی

در این روش از یک ابزار برای نفوذ در گل استفاده می‌شود. این ابزار تحت نیروی مشخصی به درون نمونه مورد نظر وارد می‌شود. مقدار فشاری که برای نفوذ درون نمونه بکار می‌رود، به عنوان معیار پلاستیسیته در نظر گرفته می‌شود (شکل ۳۰).



شکل ۳۰- روش نفوذی

دستگاه‌های نفوذسنج به طور گسترده در صنایع سرامیک کاربرد دارند. در شکل ۳۱ انواع دستگاه‌های نفوذسنج نشان داده شده است.

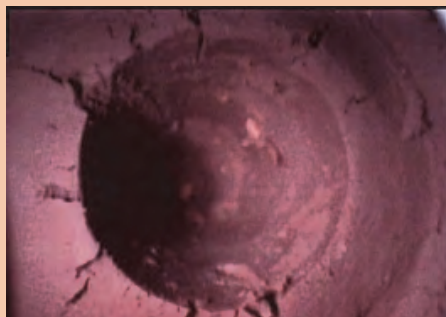


شکل ۳۱- انواع دستگاه‌های نفوذسنج





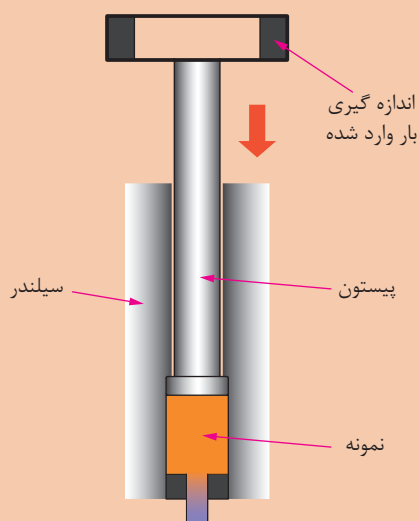
در شکل ۳۲ نمونه‌های روش نفوذی در دو حالتی که گل مقدار آب کم یا زیاد دارد، نشان داده شده است.



شکل ۳۲- محل اثر دستگاه نفوذسنج در گل در حالت مقدار کم

### روش پلاستومتر

در این روش با اعمال فشار، گل از یک نازل با شکل هندسی مشخص خارج شده و مقاومت آن در هنگام عبور از نازل توسط دستگاه اندازه‌گیری می‌شود که نشان‌دهنده مقدار پلاستیسیته است. در شکل ۳۳ اجزای دستگاه پلاستومتر نشان داده شده است. این دستگاه در صنایع مختلف از جمله سرامیک کاربرد دارد.



با جست‌وجو در منابع مختلف، سایر روش‌های پیشرفته تعیین پلاستیسیته را بیان کنید.

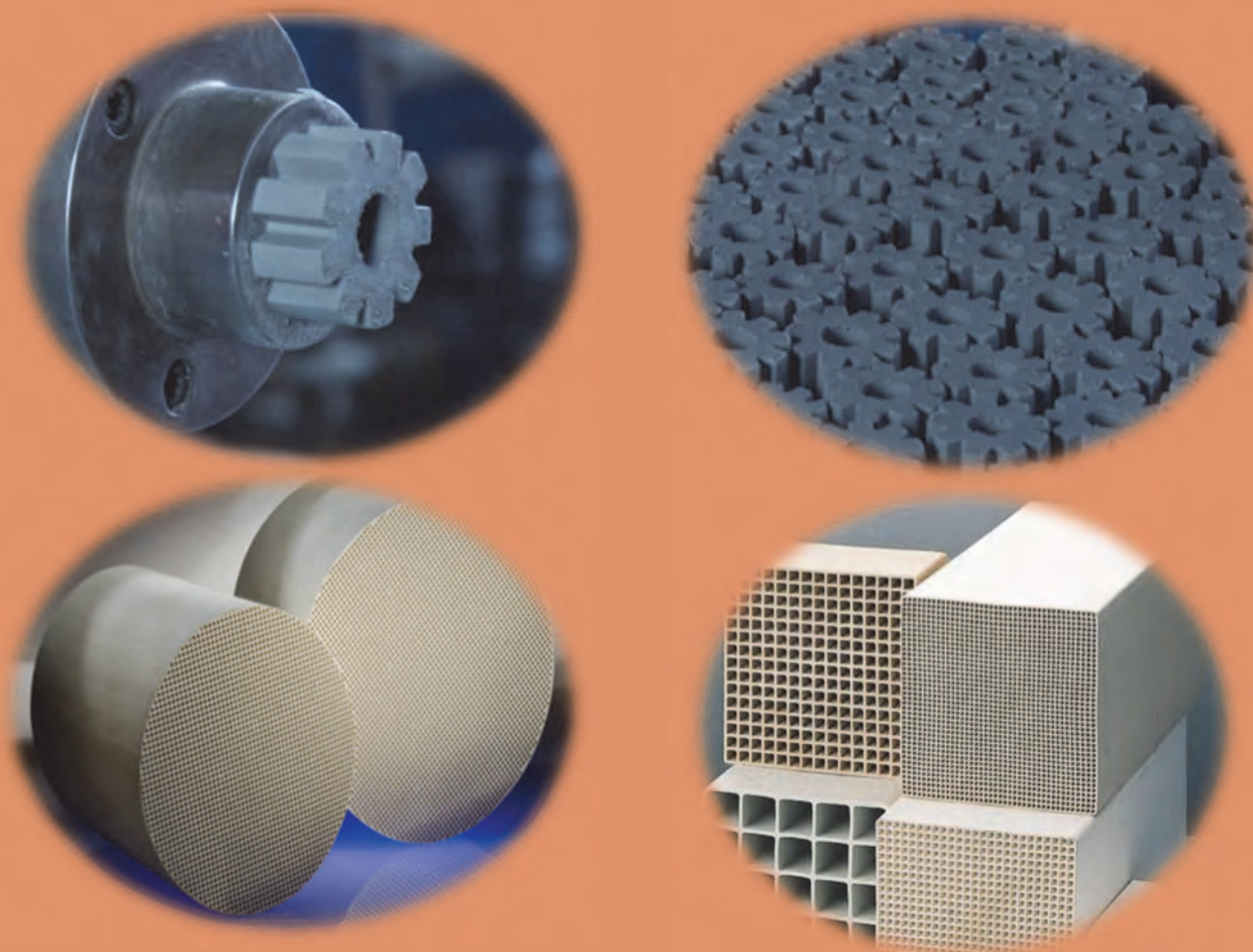
## ارزشیابی شایستگی تعیین پلاستیسیته

<p>شرح کار:</p> <p>درک مفهوم پلاستیسیته</p> <p>روش های تعیین پلاستیسیته</p> <p>بررسی عوامل موثر بر پلاستیسیته</p> <p>بررسی و تحلیل نتایج</p>																															
<p>استاندارد عملکرد:</p> <p>درک مفهوم پلاستیسیته و کسب مهارت تعیین پلاستیسیته</p> <p>شاخص ها:</p> <p>تعیین پلاستیسیته و توجه به عوامل تأثیرگذار در نتایج آن</p>																															
<p>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</p> <p>شرایط: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه، دستگاه ففرکورن، خشک کن، ترازو</p> <p>ابزار و تجهیزات: ظرف، کاردک، لوح گچی، دستگاه ففرکورن، کاسه گراند و شیارزن، الک، خشک کن، ترازو</p> <p>کولیس، کاغذ شطرنجی، روغن</p> <p>تجهیزات ایمنی: لباس کار مناسب، ماسک تنفسی، دستکش کار، تجهیزات اطفای حریق</p>																															
<p>معیار شایستگی:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ردیف</th><th>مرحله کار</th><th>حداقل نمره قبولی از ۳</th><th>نمره هنرجو</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>۱</td><td>آماده سازی گل پلاستیک</td><td>۱</td><td></td></tr> <tr> <td>۲</td><td>تعیین پلاستیسیته</td><td>۲</td><td></td></tr> <tr> <td>۳</td><td>ثبت گزارش</td><td>۱</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</td><td>۲</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت پذیری - رعایت موارد زیست محیطی</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">میانگین نمرات</td><td></td><td>*</td></tr> </tbody> </table> <p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>				ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو	۱	آماده سازی گل پلاستیک	۱		۲	تعیین پلاستیسیته	۲		۳	ثبت گزارش	۱		شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:		۲		دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت پذیری - رعایت موارد زیست محیطی				میانگین نمرات			*
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو																												
۱	آماده سازی گل پلاستیک	۱																													
۲	تعیین پلاستیسیته	۲																													
۳	ثبت گزارش	۱																													
شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:		۲																													
دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت پذیری - رعایت موارد زیست محیطی																															
میانگین نمرات			*																												



## فصل ۲

### شکل‌دهی به روش اکستروژن



در بین روش‌های شکل‌دهی، تعداد کمی از آنها مانند شکل‌دهی به روش اکستروژن وجود دارد که در زمینه‌های مختلف کاربرد بسیار وسیعی پیدا کرده است. اولین کاربرد شکل‌دهی اکستروژن در تولید لوله‌های سرامیکی بوده است که امروزه در صنایع مختلف مانند صنایع پلاستیک، غذایی و شیمیایی و صنایع وابسته کاربرد پیدا کرده است. این روش یکی از روش‌های شکل‌دهی پلاستیک به شمار می‌رود که به دلایلی مانند سهولت کاربرد، هزینه پایین و قابلیت بالا در زمینه تولید قطعات ظریف و پیچیده کاربرد زیادی دارد.

## واحد یادگیری ۲

### شایستگی شکل‌دهی به روش اکستروژن

#### شایستگی شکل‌دهی به روش اکستروژن و یادگیری مهارت آن :

هدف از این شایستگی، فراگیری دانش و مهارت شکل دادن گل پلاستیک با استفاده از روش اکستروژن است. آشنایی با مکانیزم روش اکستروژن و ایجاد توانایی برای انجام شکل‌دهی با آن در این واحد یادگیری در نظر گرفته شده است.

#### استاندارد عملکرد:

در این واحد ابتدا با مفهوم اکستروژن و کاربرد و ویژگی محصولات آن در صنایع مختلف آشنا خواهید شد. در ادامه، بعد از آشنایی با ابزار و تجهیزات اکستروژن، شکل‌دهی با این روش و انواع آن را فراخواهید گرفت. به منظور ایجاد تجربه عملی، فعالیت‌های کارگاهی برای شکل‌دهی با روش اکستروژن ارائه شده است. در انتها با عیوب احتمالی در قطعات اکستروژن شده آشنا خواهید شد.

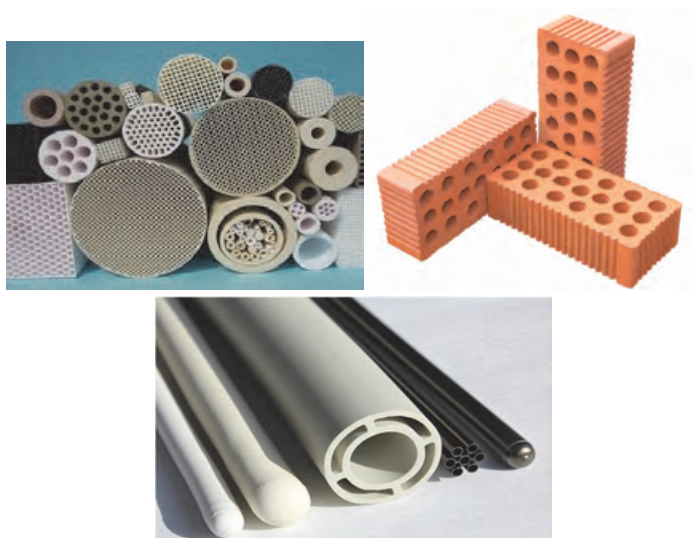
## مقدمه

آیا تاکنون به این فکر کرده‌اید که روکش سیم‌های مسی بلند و بدون درز یا ماکارونی چگونه شکل‌دهی می‌شوند؟



شکل ۱

به محصولات شکل ۲ نگاه کنید.  
به نظر شما قطعات تولیدشده با این روش دارای چه خصوصیات مشترکی هستند؟



شکل ۲

قطعات ساخته شده در شکل ۲ همگی حاصل یکی از روش های رایج شکل دهی پلاستیک به نام اکستروژن هستند. به محصولات تولید شده به روش اکستروژن، محصولات اکستروژن شده گفته می شود. با دقت کردن در شکل ۲ متوجه خواهید شد که محصولات اکستروژن شده، دارای ویژگی های زیر هستند:

- سطح مقطع یکنواخت و ثابت در امتداد طولی
  - بدون درز طولی
  - امکان تولید قطعات با جدار نازک و ساختار ریز و مشبک
- مثال های دیگری از محصولات اکستروژن شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



پایه کاتالیست لانه زنبوری، مبدل حرارتی



کاشی، آجر دیرگداز، بلوک ساختمانی



لوله و محافظ سرامیکی



خازن سرامیکی

شکل ۳- محصولات سرامیکی شکل دهی شده به روش اکستروژن

گفتگو کنید



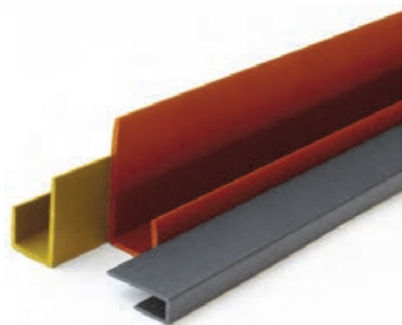
به فرآورده های حاصل از روش اکستروژن در شکل های ۱، ۲ و ۳ توجه کنید و در مورد سایر ویژگی های محصولات تولید شده با این روش بحث کنید.

تقریباً تمام مواد سرامیکی، فلزی، پلیمری و حتی مواد غذایی اگر پلاستیسیته لازم برای فشردن از روزنه قالب را داشته باشند، می توانند به روش اکستروژن شکل دهی شوند. ولی با توجه به تفاوت هایی که در ساختار

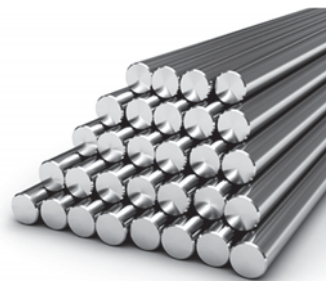


## شکل‌دهی به روش اکستروژن

و ویژگی‌های انواع مواد ذکر شده وجود دارد، در شکل‌دهی آنها با این روش تفاوت‌هایی جزئی وجود خواهد داشت.



محصولات اکستروژن شده پلیمری



محصولات اکستروژن شده فلزی



محصولات اکستروژن شده سرامیکی

شکل ۴



فهرستی از محصولات سرامیکی و کاربرد آنها در صنایع مختلف را که با روش اکستروژن شکل‌دهی و تولید می‌شوند، تهیه کنید.

تحقیق کنید



## ابزار و تجهیزات اکستروژن

در شکل‌دهی به روش اکستروژن، با اعمال نیرو، گل پلاستیک از داخل محفظه اکستروژن به طرف قالب با شکل مشخص هدایت شده و با تجهیزات برش، قطعه با اندازه مشخص برش داده می‌شود.

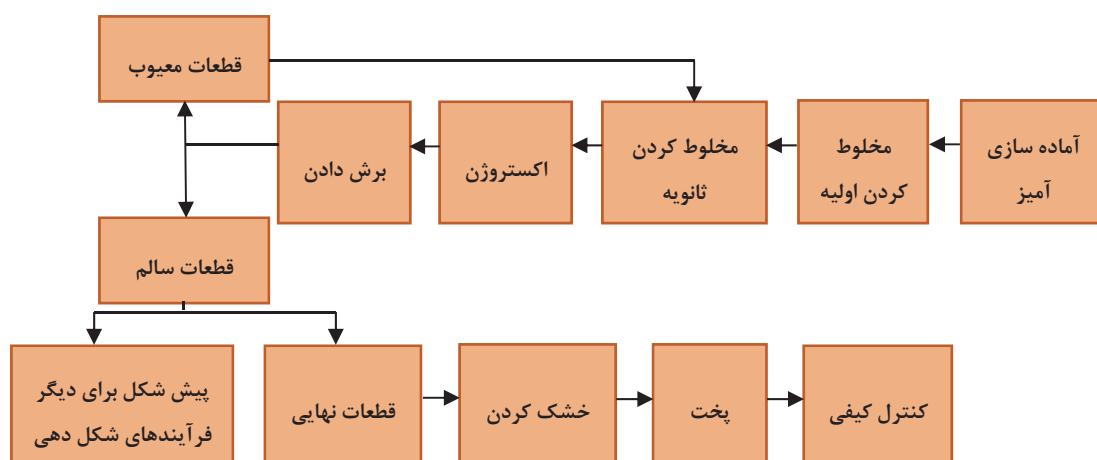
با توجه به موارد گفته شده، دستگاه‌های مورد استفاده در روش اکستروژن از سه بخش اصلی تشکیل شده‌اند:



شکل ۶- اجزاء ماشین اکسترودر

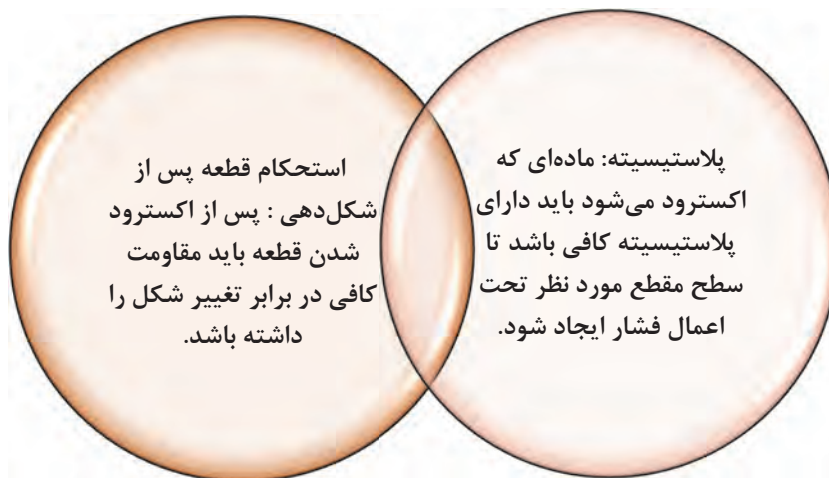
## روند ساخت قطعات سرامیکی به روش اکستروژن:

در نمودار زیر مراحل ساخت یک قطعه سرامیکی به روش اکستروژن را مشاهده می کنید.



## ۱- آماده‌سازی آمیز

موادی که قابلیت شکل‌دهی پلاستیک با روش اکستروژن را دارند، چه ویژگی‌هایی دارند؟ برای انجام شکل‌دهی به روش اکستروژن، لازم است در ابتدا گل ورودی به دستگاه آماده شود. بنابراین، باید گل کاملاً همگن شده و رطوبت در تمام قسمت‌های آن یکسان باشد و هواگیری شود. برای این منظور عملیات مخلوط‌سازی انجام می‌شود که ممکن است در یک یا دو مرحله (مخلوط‌سازی اولیه و ثانویه) انجام شود. موادی که دارای پلاستیسیته مناسب باشند، قابلیت شکل‌دهی با روش اکستروژن را دارند. رطوبت بدنه‌های اکستروژن شده با توجه به مواد اولیه می‌تواند از ۱۴ تا ۲۲ درصد باشد. مواد اولیه برای شکل‌دهی اکستروژن لازم است دارای دو ویژگی زیر باشند:



شکل ۵- قطعات سرامیکی اکستروژن شده

ممکن است این سؤال در ذهن ایجاد شود که آیا مواد فاقد پلاستیسیته نیز قابلیت شکل‌دهی به روش اکستروژن را دارند؟

موادی که پلاستیسیته کافی برای شکل‌دهی را نداشته باشند، می‌توان با افزودن مواد پلاستی‌سایزر و چسب، قابلیت اکستروژن شدن را در آنها ایجاد کرد. به طور مثال، در لوله‌های محافظ ترموکوپل از جنس نیتريد آلومینیوم، که پلاستیسیته کافی برای شکل‌دهی با اکستروژن را ندارند، با افزودن پلاستی‌سایزر و چسب، پلاستیسیته لازم در آنها ایجاد شده و اکستروژن می‌شوند (شکل ۵).



اکستروژن کردن قطعاتی از جنس آلومینا به عنوان یک مادهٔ سرامیکی، با اندازه ذرات ۵ میکرومتر را در نظر می‌گیریم. پودر اولیه آلومینا در آب یا حلال‌های دیگر دارای پلاستیسیته لازم نبوده و لذا عمل اکستروژن کردن به راحتی انجام نمی‌گیرد. با افزودن ذرات ریز بوهمیت ( $\text{Boehmite [AlOOH]}$ ) که از کانی‌های حاوی آلومینیوم است، با اندازه ذرات بسیار ریز، به ذرات آلومینای پودر اولیه، میزان پلاستیسیته افزایش می‌یابد. در واقع ذرات ریز بوهمیت بین ذرات آلومینای پودر اولیه قرار می‌گیرند و باعث پلاستیسیته بیشتر آنها می‌شوند. چند نمونه از چسب‌های مورد استفاده در آماده‌سازی آمیز در جدول زیر آمده است.

جدول ۱- چند نمونه از چسب‌های مصرفی در اکستروژن سرامیک‌ها

نام فارسی	نام لاتین
صمغ عربی	Gum Arabic
پلی وینیل الکل	Poly vinyl alcohol (PVA)
نشاسته	Starch
پلی اتیلن ایمین	Poly ethylene imine
متیل سلولز	Methylcellulose
کربوکسی متیل سلولز	Carboxymethyl cellulose (CMC)
اکریلات	acrylates
دکسترین	dextrin
آلژینات	alginates
صمغ‌های طبیعی	Natural gums

مخلوط‌سازی اولیهٔ گل مورد نیاز برای اکستروژن به دو روش انجام می‌شود:  
 الف- استفاده از مخلوط کن: در این روش خاک همراه با مقدار مشخصی آب در داخل مخلوط‌کن با یکدیگر مخلوط می‌شوند تا گل مورد نظر به دست آید.  
 ب- استفاده از فیلتر پرس: در این روش خاک با مقدار زیادی آب به صورت دوغاب درمی‌آید. به این دوغاب می‌توان مواد افزودنی لازم اضافه کرد و با هم‌زدن به صورت همگن درآورد. سپس دوغاب حاصل شده به دستگاه فیلتر پرس هدایت می‌شود تا آب آن گرفته شود. توده‌های گل خارج شده از بین صفحات فیلتر پرس، کیک نام دارند. این گل برای ادامه مراحل شکل‌دهی آماده است.



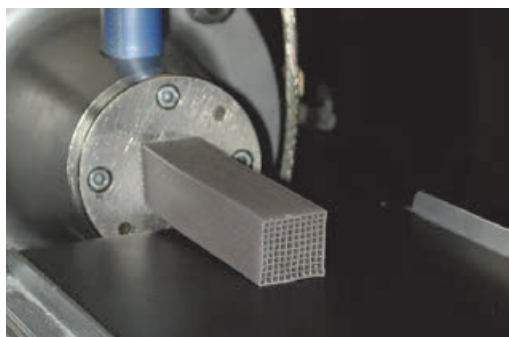
به نظر شما گل تهیه شده با کدام روش کاملاً همگن است؟



مخلوط سازی ثانویه در دستگاه اکسترودر حلزونی و پاگمیل انجام می شود.

## ۲- ساخت قطعات به روش اکستروژن

در شکل‌دهی اکستروژن، مواد اولیه با اعمال فشار وارد یک محفظه استوانه‌ای می‌شوند و با عبور از روزنه در انتهای دهانه اکسترودر (قالب)، پس از شکل‌گیری، از دستگاه خارج می‌شوند. (مانند خروج خمیر دندان از تیوپ آن). در شکل ۷ قطعه اکسترودر شده لانه زنبوری در حین خروج از اکسترودر نشان داده شده است.

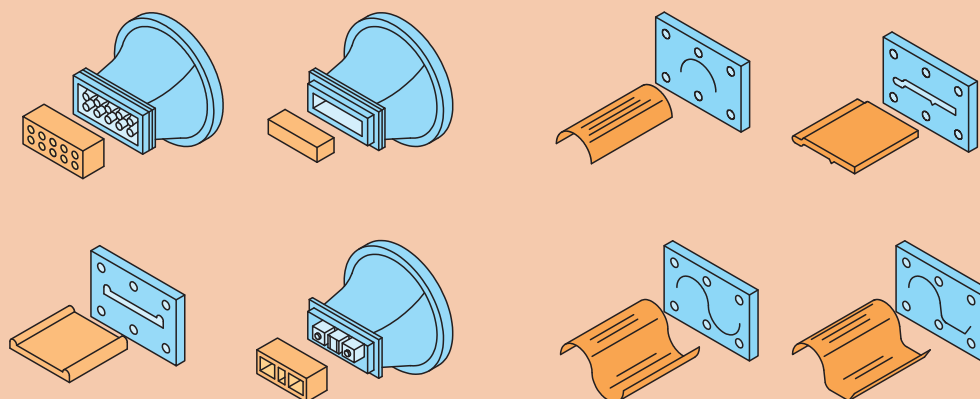


شکل ۷- خروج محصولات از دهانه اکسترودر (قالب)



شکل ۶- خروج خمیردندان از تیوپ

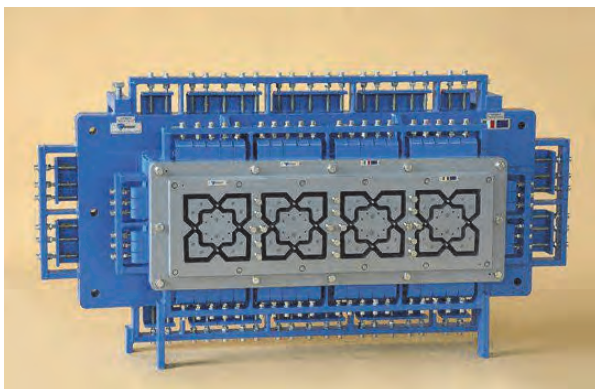
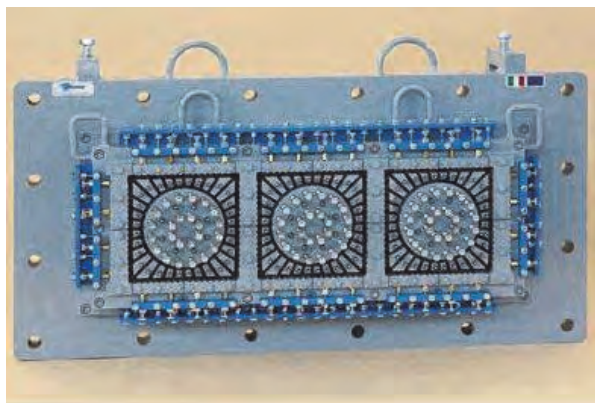
به تصاویر شکل ۸ نگاه کنید، به نظر شما شکل سطح مقطع قطعات اکسترودر شده چگونه تعیین می شود؟



شکل ۸



در قسمت خروجی محفظه اکسترودر قالب تعبیه می‌شود. قالب‌ها در ابعاد و شکل‌های متنوعی با توجه به شکل سطح مقطع قطعات مورد نیاز برای اکسترود شدن طراحی و ساخته می‌شوند. ساخت قالب به طراحی و محاسبات پیچیده‌ای نیاز دارد زیرا ابعاد دقیق و طراحی مناسب قالب، نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت قطعه اکسترود شده دارد. همچنین استحکام و طول عمر قالب و جنس آن از عوامل مهم در طراحی قالب است. چند نمونه از قالب‌های اکسترودر در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- قالب اکسترودر

لازم است بدانیم گاهی بدنه‌های اکستروود شده، محصول با شکل نهایی (به عنوان مثال: بلوک ساختمانی) نیست و اکستروژن به عنوان روشی برای آماده‌سازی و پیش‌شکل‌دهی قطعات به کار می‌رود که در نهایت شکل اصلی و نهایی با روش‌های دیگر مانند تراش و جیگر-جولی انجام می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰

در فرایند اکستروژن، تراکم به طور مستقیم به میزان رطوبت گل سرامیکی بستگی دارد و نسبت آب به خاک تعیین کننده نهایی تراکم محصول است؛ یعنی با کاهش میزان آب نسبت به مواد سرامیکی در گل ورودی به اکسترودر، تراکم محصول اکستروود شده بیشتر می‌شود. بنابراین برای گل اکستروود شده پیش شکل و آماده شده برای روش‌های شکل‌دهی دیگر مانند تراش و جیگر و جولی، لازم است مقدار رطوبت موجود در گل کم باشد تا تراکم گل آماده شده بالا باشد.

نکته



با استفاده از سرنگ معمولی یک نمونه سازی خلاقانه انجام دهید و ویژگی‌های حاصل از محصول به دست آمده را با نتایج سایر گروه‌ها مقایسه کنید.

فعالیت  
کارگاهی



نکته ایمنی



از سرنگ بدون سوزن استفاده کنید.

پرسش



در مورد ویژگی‌های گل مورد استفاده در این فعالیت با یکدیگر گفت‌وگو کنید.



شکل ۱۱

نکته



خامهریزی برای آراستن کیک نیز شباهتهایی با روش اکستروژن دارد.



شکل ۱۲- قالب برای خامهریزی کیک



### مراحل شکل‌دهی به روش اکستروژن

در شکل ۱۳ مراحل اکستروژن به صورت ساده و با ابزار دستی نشان داده شده است:

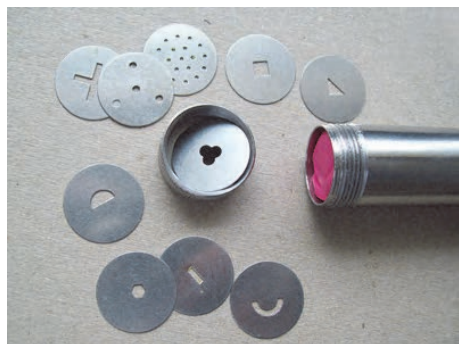
(۱) آماده‌سازی مواد اولیه با ترکیب و رطوبت مناسب، به طوری که ویژگی‌ها و شرایط لازم برای اکستروژن شدن را داشته باشد.

(۲) انتخاب شکل دهانه اکسترودر و پر کردن مخزن دستگاه با آمیز

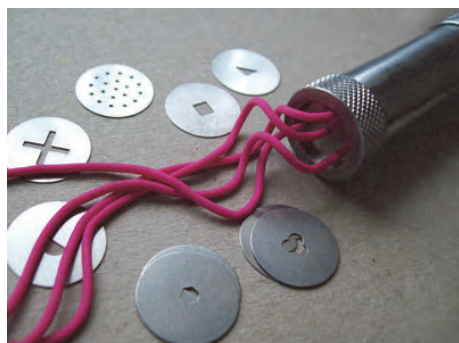
(۳) اعمال نیرو به منظور بیرون راندن آمیز اکستروژن شده از قالب و برش محصولات



مرحله ۱



مرحله ۲



مرحله ۳

شکل ۱۳- مراحل اکستروژن به صورت دستی

در شکل ۱۳، مراحل شکل‌دهی اکستروژن به صورت دستی مشاهده شد. این مراحل به صورت کارگاهی در شکل ۱۴ نشان داده شده است:

- (۱) آماده‌سازی گل با ترکیب مورد نظر، پر کردن مخزن دستگاه با گل
- (۲) اعمال نیرو به منظور هدایت کردن و بیرون راندن مواد اکستروود شده از قالب با شکل مشخص
- (۳) برش دادن محصولات
- (۴) آماده‌شدن قطعات شکل داده شده



مرحله ۱



مرحله ۲



مرحله ۴

مرحله ۳

شکل ۱۴ - مراحل اکستروژن به صورت کارگاهی

### ۳- برش دادن قطعات اکستروود شده

قطعات اکستروود شده باید در ابعاد طولی مورد نظر بریده شوند. برش دادن قطعات خروجی از اکستروودر لازم است با دقت بالایی انجام شود تا از ایجاد عیوب در لبه قطعات جلوگیری شود. برش طولی قطعات می‌تواند به صورت دستی یا اتوماتیک انجام شود. معمولاً عمل بریدن با استفاده از سیم‌های نازک انجام می‌شود. در شکل ۱۵ نمونه‌هایی از نحوه برش دادن قطعات و ابزارهای برش نشان داده شده است.



الف

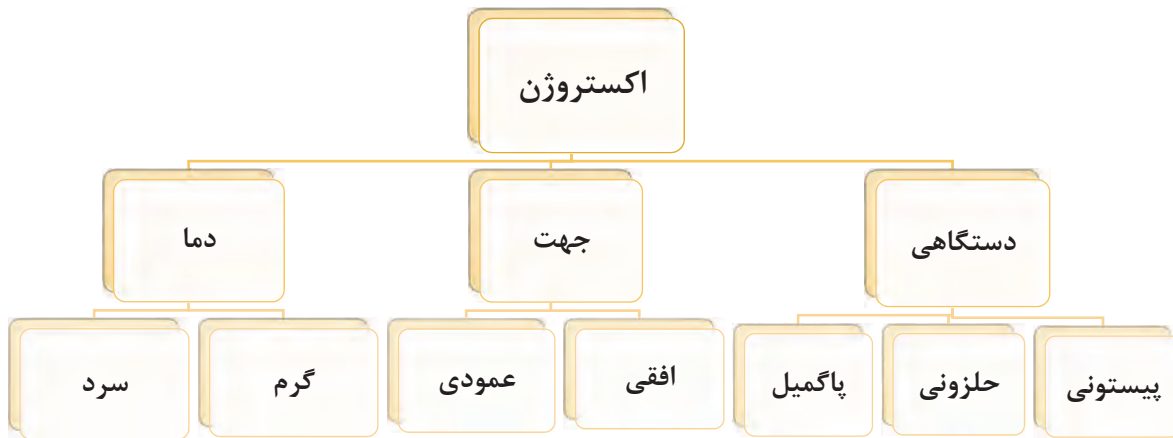


ب

شکل ۱۵- ابزار برش قطعات اکستروود شده (الف) به صورت دستی (ب) به صورت اتوماتیک

## دسته‌بندی روش‌های اکستروژن

به طور کلی روش شکل‌دهی اکستروژن تقسیم‌بندی متفاوتی دارد که روش‌های متداول آن در نمودار شکل ۱۶ نشان داده شده است:



شکل ۱۶ - روش‌های متداول شکل‌دهی به روش اکستروژن

### ۱- دسته‌بندی بر اساس تجهیزات دستگاهی

روش شکل‌دهی اکستروژن در تقسیم‌بندی از لحاظ تجهیزات و دستگاهی شامل سه نوع پیستونی و حلزونی و پاگمیل است.

#### اکسترودر پیستونی

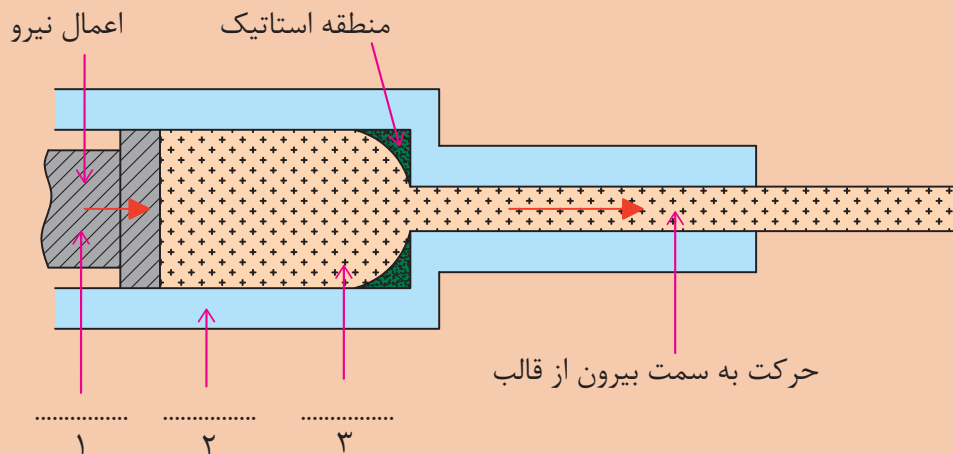
اکسترودر پیستونی ساده‌ترین نوع سیستم اکسترودر به شمار می‌رود که شامل محفظه (سیلندر)، پیستون و قالب است. در این سیستم، لازم است عملیات مخلوط‌سازی گل برای شکل‌دهی قبل از ریختن آن به داخل دستگاه به صورت کامل انجام گیرد.

گل جهت شکل‌دهی به محفظه اکسترودر ریخته می‌شود و سپس با اعمال فشار، پیستون در داخل محفظه استوانه‌ای به سمت دهانه قالب هدایت شده و با عبور از دهانه، به صورت شکل‌داده شده خارج می‌گردد. اکسترودر پیستونی دسته‌بندی‌های مختلفی دارد که از جمله این تقسیم‌بندی‌ها می‌تواند موارد زیر باشد:

- بر اساس میزان نیروی اعمالی
- نوع سیستم اعمال فشار برای جلو راندن پیستون داخل محفظه (هیدرولیکی یا مکانیکی)
- جهت اکسترودر (عمودی یا افقی و مستقیم یا غیرمستقیم)
- نحوه شارژ آمیز (دستی یا اتوماتیک)
- دمای سیستم (گرم یا سرد)



به شکل ۱۷ دقت کنید و با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد اکسترودر پیستونی، ضمن پرکردن جاهای خالی در شکل، توصیفی از عملکرد اجزای معرفی شده در شکل را در این دستگاه ارائه دهید.



شکل ۱۷- اکسترودر پیستونی



منطقه استاتیک: در این قسمت از قالب، گل فشرده شده و امکان خروج از انتهای اکسترودر وجود ندارد (شکل ۱۷).



برای رفع مشکل منطقه استاتیک چه راه حلی پیشنهاد می‌کنید؟

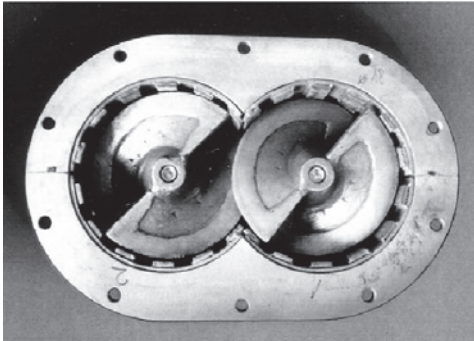
## اکسترودر حلزونی

در اکسترودر حلزونی که ساختار آن در مقایسه با اکسترودر پیستونی کمی پیچیده‌تر است، از یک یا چند حلزونی به جای پیستون استفاده می‌شود که این حلزونی‌ها با چرخش، گل ورودی را به سمت جلو و قالب هدایت می‌کنند. در این سیستم علاوه بر شکل‌دهی، تا حدودی عملیات مخلوط‌سازی ثانویه نیز توسط حلزونی‌ها انجام می‌شود. در شکل ۱۸ نمایی از حلزونی نشان داده شده است. اکسترودر حلزونی مانند اکسترودر پیستونی دارای دسته‌بندی‌های مختلفی است که از جمله این تقسیم‌بندی‌ها می‌تواند موارد زیر باشد:

- بر اساس میزان نیروی اعمال شده
- نوع سیستم اعمال فشار برای جلو راندن پیستون داخل محفظه (هیدرولیکی یا مکانیکی)
- جهت اکسترودر (عمودی یا افقی)



- نحوه شارژ آمیز (دستی یا اتوماتیک)
- دمای سیستم (گرم یا سرد)



ب- دو حلزونی



الف - تک حلزونی

شکل ۱۸

آیا می دانید

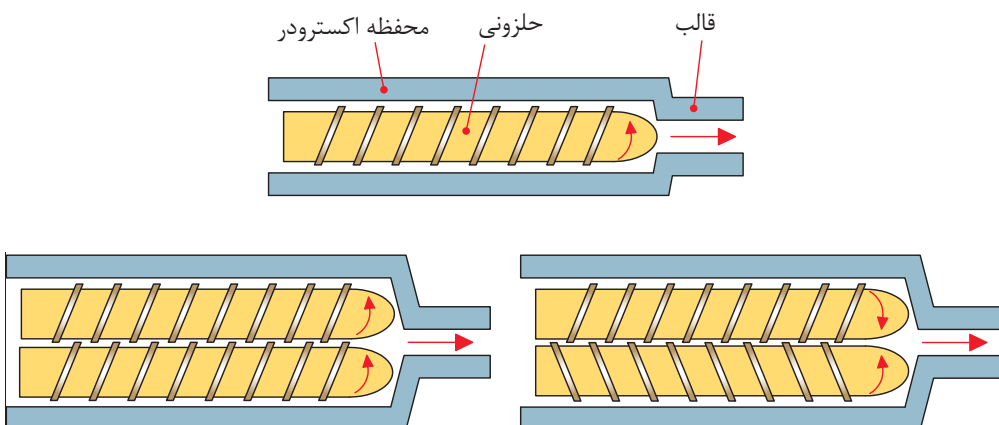


در صنایع سرامیک از اکسترودر با بیش از یک حلزونی استفاده می‌شود که تیغه‌های یک حلزون از بین تیغه‌های دیگری عبور می‌کند. حلزونی‌ها می‌توانند جهت چرخش متفاوتی نسبت به هم داشته باشند.

پرسش



به شکل‌های ۱۹ دقت کنید و با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمت اکسترودر حلزونی، توصیفی از عملکرد اجزای معرفی شده در شکل را در این دستگاه ارائه دهید.



شکل ۱۹



چه تفاوتی بین دو سیستم اکسترودر پیستونی و حلزونی وجود دارد؟  
این دو روش اکستروژن چه معایب و مزایایی نسبت به همدیگر دارند؟

در جدول ۳ مقایسه‌ای بین دو روش اکستروژن پیستونی و حلزونی آمده است. با توجه به این دو روش جدول را کامل کنید.

جدول ۳- مقایسه اکسترودر پیستونی و حلزونی

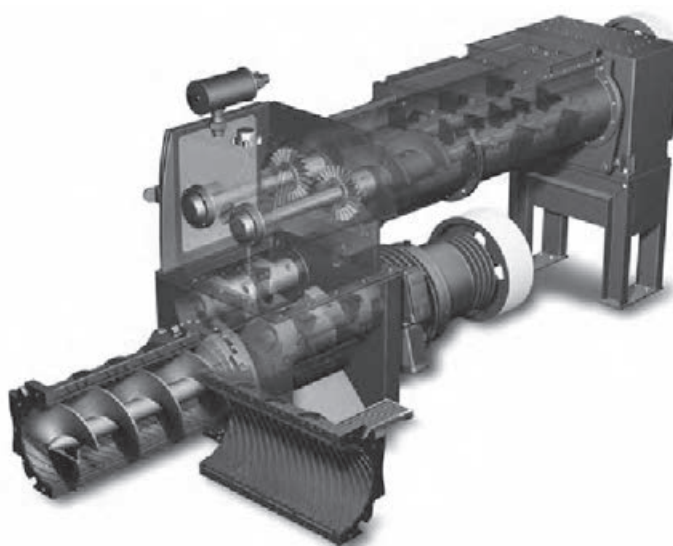
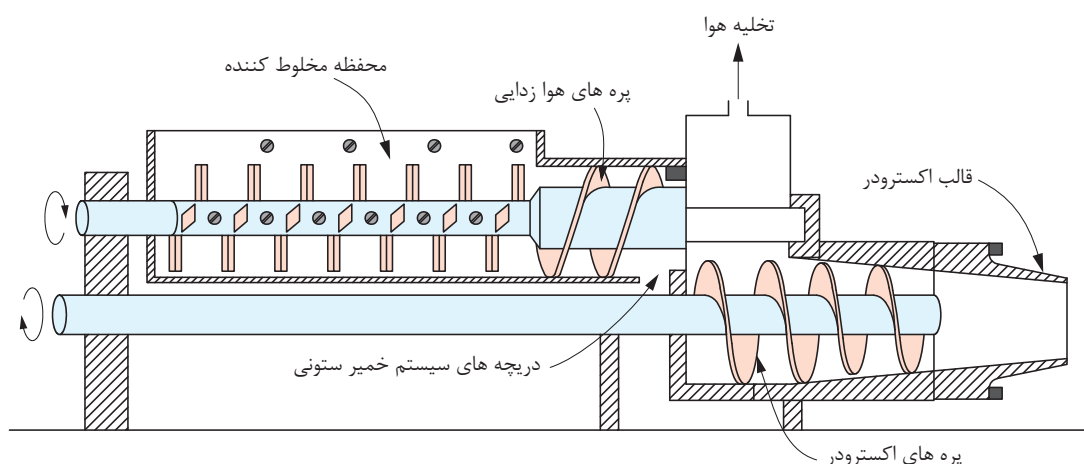
پیستونی	حلزونی
در اکسترودر پیستونی سرعت تولید قطعات در مقایسه با نوع حلزونی کمتر است؛ زیرا به صورت غیر-پیوسته کار می‌کند.	اکسترودر حلزونی به صورت پیوسته امکان انجام هم‌زمان مخلوط‌سازی و تولید قطعه را دارد؛ بنابراین سرعت تولید بالاست.
در استفاده از دستگاه پیستونی، تماس گل ورودی به اکسترودر، با محفظه و سایر اجزای دستگاه نسبت به نوع حلزونی کمتر است؛ بنابراین امکان آلودگی نیز کمتر می‌شود.	.....
در روش پیستونی لازم است عملیات مخلوط‌سازی قبل از هدایت گل به داخل محفظه اکسترودر انجام شود.	در اکسترودر حلزونی، ..... تا حدودی به عملیات مخلوط‌سازی و همگن کردن گل کمک می‌کند.
.....	.....



آیا ویژگی‌های قطعات حاصل از شکل‌دهی با اکسترودر پیستونی با قطعات حاصل از شکل‌دهی با اکسترودر حلزونی تفاوت دارند؟

## پاگمیل

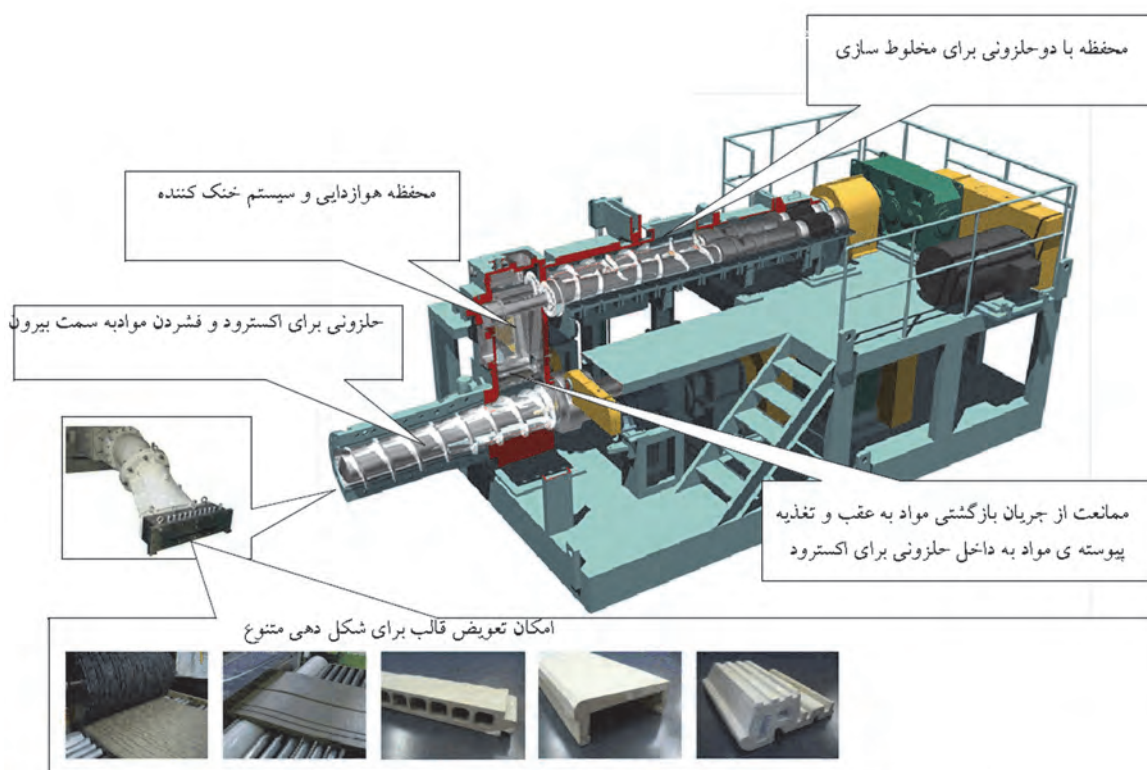
به منظور شکل‌دهی با روش اکستروژن به صورت پیوسته و عملیات هم‌زمان مخلوط‌سازی گل، یک دستگاه پاگمیل یا مخلوط‌کن دیگری که دارای سیستم هوازدایی نیز است به عنوان جزئی از سیستم اکستروژن در دستگاه طراحی می‌شود. پاگمیل دارای ردیف‌هایی از پره‌ها بر روی میله است که با چرخش آن، گل بین پره‌ها فشرده شده و با اعمال فشار به مخلوط شدن آن کمک می‌کند. به این ترتیب، با حرکت گل بین پره‌ها و فشرده شدن آن، تا حدودی هوای موجود در داخل گل خارج شده و مخلوط همگن می‌شود. همچنین با افزودن سیستم تخلیه هوا (ایجاد خلأ) به دستگاه اکستروژر، امکان هوازدایی مخلوط گل فراهم می‌شود. پس از این مرحله، گل آماده عملیات شکل‌دهی با روش اکستروژن می‌گردد. جزئیات بیان شده را می‌توانید در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ مشاهده کنید.



شکل ۱۹- پاگمیل



## شکل‌دهی به روش اکستروژن



شکل ۲۰- اجزای اکسترودر حلزونی همراه با پاکمیل

گل اکستروژن با ترکیب مشخص و پلاستیسیته مناسب به محفظه ورودی مواد ریخته می‌شود و با یک حلزونی به سمت تیغه چرخنده هدایت می‌شود. این تیغه ضمن گسیختن و تکه‌تکه کردن گل ورودی از هم-دیگر، هواگیری نیز انجام می‌دهد. به منظور جلوگیری از ورود هوا به داخل گل، لازم است شارژ و ریختن گل با سرعت انجام گیرد. بعد از هوازدایی و گسیختن (تکه‌تکه شدن) گل از هم توسط تیغه‌های چرخشی، گل به سمت حلزونی بعدی هدایت می‌شود تا کار مخلوط‌سازی و فشردن آن انجام شود و گل به صورت توده‌ای یکنواخت درآید. سپس گل به سمت قالب با شکل و اندازه مشخص فشرده و شکل‌دهی می‌شود.

### نکته



- ۱: اندازه قالب باید با سرعت ریختن گل به داخل دستگاه متناسب باشد، به ویژه در دستگاه‌های اکسترودر با ظرفیت کم باید دقت کافی شود تا گل بیش از حد ظرفیت به دستگاه ریخته نشود.
- ۲: در بعضی از دستگاه‌های اکسترودر، هنگام اکستروژن کردن قطعه، در قسمت‌هایی از دستگاه به گل حرارت اعمال می‌شود.
- ۳: در فرایند اکستروژن مخلوط کردن گل از مراحل حساس و مهم به شمار می‌رود.



آشنایی با اجزاء دستگاه اکسترودر

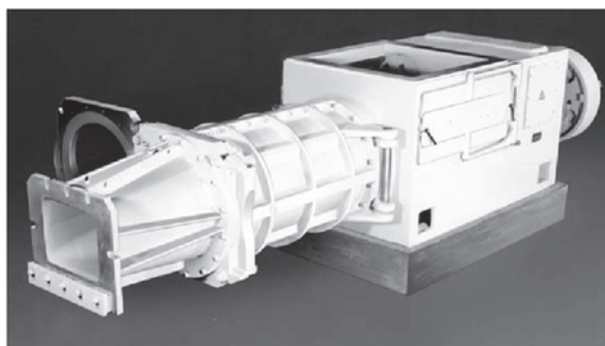
- در کارگاه قسمت‌های مختلف انواع دستگاه اکسترودر شامل نیروی محرکه مورد نیاز برای راه اندازی دستگاه، نحوه اعمال نیرو به گل جهت خارج کردن مواد آن از دستگاه و قالب دهانه اکسترودر را بررسی کنید.

- به صورت عملی بر روی تعویض قالب اکسترودر کار کنید.

- ۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
- ۲- حین بررسی اجزای دستگاه دقت کنید که برق دستگاه از تابلو مرکزی کارگاه قطع شده باشد.
- ۳- از نزدیک کردن دستان خود به داخل محفظه ورودی گل خودداری کنید.
- ۴- مراقب باشید تا حین تعویض قالب اکسترودر به خود آسیب نزنید.
- ۵- مواظب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال گردن و آستین لباس به دستگاه در حین کار باشید.

## ۲- دسته‌بندی اکسترودرها بر اساس جهت شکل‌دهی

اکسترودرها می‌توانند به صورت افقی و عمودی به کار گرفته شوند. نوع افقی در تولید انواع سرامیک‌ها کاربرد بیشتری دارد، ولی در ساخت برخی قطعات لوله‌ای شکل با جداره نازک و قطر بزرگ نوع عمودی ترجیح داده می‌شود. زیرا در اکسترودر عمودی، خارج کردن محصول اکسترودر شده بدون تغییر شکل سطح مقطع آن امکان‌پذیر است. در شکل ۲۱ نمونه‌ای از اکسترودر افقی و عمودی و خروج محصولات از اکسترودر افقی و عمودی نشان داده شده است.



ب- اکسترودر افقی

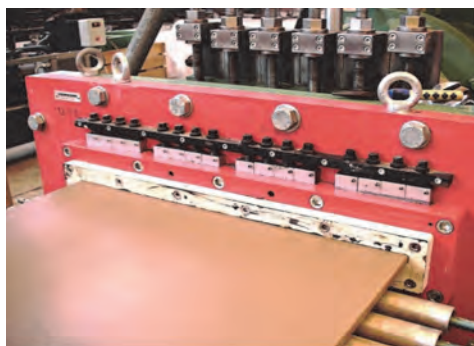


الف - اکسترودر عمودی

شکل‌دهی به روش اکستروژن



ج - محصولاتی از اکسترودر عمودی



د - محصولاتی از اکسترودر افقی

شکل ۲۱



شکل ۲۲

در مورد عملکرد دستگاه اکسترودر برای شکل‌دهی  
استوانه توخالی گفت‌وگو کنید.

پرسش



نمایش فیلم



مراحل شکل‌دهی قطعات با اکسترودر



قابلیت اکستروود شدن آمیز بالکلی و آلومینا

مواد و تجهیزات مورد نیاز :

۱۰ کیلوگرم آلومینا، ۱۰ کیلوگرم بالکلی، آب، دو عدد ظرف مناسب برای تهیه گل

شرح فعالیت:

مقدار ۱۰ کیلوگرم خاک بالکلی و به همان مقدار پودر آلومینا تهیه و با افزودن ۱۸٪ آب به هرکدام، گل آماده کنید. پس از آماده سازی گل، هر کدام را جداگانه داخل محفظه اکستروودر ریخته و عملیات شکل-دهی اکستروژن را انجام دهید.



۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.

۲- از نزدیک کردن دستان خود به داخل محفظه ورودی مواد اولیه خودداری کنید.

۳- حتماً از وسایل جانبی برای ریختن آمیز داخل دستگاه استفاده شود.

۴- مواظب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال گردن و آستین لباس به دستگاه در حین کار باشید.



گل‌های حاصل از بالکلی و آلومینا را از لحاظ قابلیت اکستروود شدن با هم مقایسه کنید.

فعالیت  
کارگاهی



قابلیت اکستروود شدن آمیز با درصدهای رطوبت مختلف  
مواد و تجهیزات مورد نیاز :  
۲۰ کیلوگرم کائولن، آب، دو عدد ظرف مناسب برای تهیه دوغاب  
شرح فعالیت:

مقدار ۲۰ کیلوگرم خاک کائولن را تهیه و با نیمی از آن در یک ظرف و با نیمی دیگر در ظرف دیگری جداگانه دوغاب آماده کرده و پس از آگیری، از هر کدام گل با پلاستیسیته‌های متفاوت تهیه کنید. پس از آماده‌سازی گل از هر آمیز، هر کدام را جداگانه داخل محفظه اکسترودر ریخته و عملیات شکل‌دهی اکستروژن را انجام دهید. مقدار پلاستیسیته و رطوبت دو گل حاصل را با یکی از روش‌های آموزش داده شده در فصل اول تعیین کنید.

نکته ایمنی



- ۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
- ۲- از نزدیک کردن دستان خود به داخل محفظه ورودی مواد اولیه خودداری کنید.
- ۳- حتماً از وسایل جانبی برای ریختن آمیز داخل دستگاه استفاده شود.
- ۴- مواظب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال‌گردن و آستین لباس به دستگاه در حین کار باشید.

پرسش



گل با درصدهای متفاوت رطوبت را از لحاظ قابلیت اکستروود شدن با هم مقایسه کنید.

تحقیق کنید

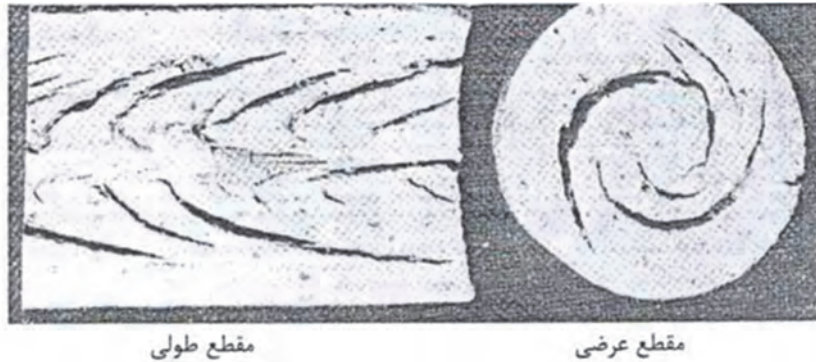


تقسیم بندی های دیگری از روش شکل‌دهی اکستروژن را بیان کنید.

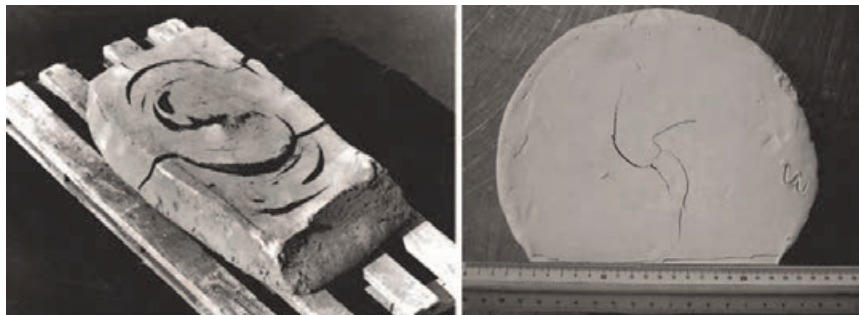


## عیوب اکستروژن

به شکل‌های زیر نگاه کنید، در این شکل‌ها نمایی از محصولات معیوب فرایند اکستروژن نشان داده شده‌اند که در هر یک از آنها یک سری عیوب قابل مشاهده است.



الف



ج

ب



د

شکل ۲۳- برخی از عیوب قطعات اکستروژن شده: الف) لایه‌لایه شدن در مقطع عرضی و طولی و دیواره قطعه، ب) ترک Y شکل، ج) ترک S شکل، د) پارگی لبه‌ها

در هر روش شکل‌دهی امکان به وجود آمدن یک سری از عیوب در قطعه است که با بررسی دقیق می‌توان عامل آنها را شناسایی کرد و راه‌حلهایی برای رفع آن ارائه داد. در تولید قطعه از اکستروژر، گروهی از عیوب در آنها ممکن است به وجود آید که در جدول ۴ بیان شده است.

به نظر شما چه عواملی باعث ایجاد این عیوب هستند؟  
در مورد عامل ایجاد هر یک از این عیوب فکر کنید و راه‌حلهایی برای هر کدام ارائه دهید:

جدول ۴- عیوب در قطعات اکستروژن شده و عامل ایجاد آنها و راه‌حل رفع عیوب

نوع عیب	عامل ایجاد عیب	راه‌حل برای رفع عیب
لایه‌لایه شدن	عملکرد اکسترودرهای حلزونی به گونه‌ای است که باعث ایجاد حالت لایه‌لایه‌ای در گل می‌شود و زمانی که مخلوط آمیز قبل از خروج از انتهای قالب به صورت کامل به هم تنیده نشده ایجاد می‌شود.	با انتخاب مواد رسی با پلاستیسیته مناسب و نیز طراحی درست قالب می‌توان عیب لایه‌دار شدن گل را از بین برد.
پارگی لبه‌های سطحی: ترک‌های سطحی که در هنگام خروج گل از اکسترودر ایجاد می‌شود.	۱- اصطکاک تماسی بین دیواره اکسترودر و آمیز از علل ایجاد این عیب است.	۱- با استفاده از مواد روانساز اصطکاک گل را در قالب کم کرد.
	۲- از مواد با دانه‌های درشت استفاده شده باشد.	۲-.....
	۳- درصد رطوبت گل کم شده باشد.	۳- درصد رطوبت گل را افزایش داد.
	۴- خاک رسی ما پلاستیسیته کافی نداشته باشد.	۴- با افزودن مواد کمکی چسبندگی گل را بهبود بخشید.
ترک S شکل	این عیوب در درون قطعات توپر مشاهده می‌شوند. با توجه به کاهش تدریجی قطر حلزونی به سمت قالب، در ناحیه انتهای حلزونی، گل‌های فشرده اطراف باید جای خالی آن را پر کنند، لذا گل فشرده شده برای پر کردن جای خالی حلزون از اطراف به مرکز هدایت می‌شود و در ناحیه میانی به هم وصل می‌شوند. در صورتی که گل آماده‌شده دارای خواص نامطلوب باشد، عدم پیوستگی گل در مرکز قطعه وجود دارد که بعد از خشک شدن به صورت S ظاهر می‌شود.	انتخاب گل با پلاستیسیته مناسب .....

نوع عیب	عامل ایجاد عیب	راه حل برای رفع عیب
ترک Y شکل (ستاره‌ای)	وجود ذرات غیرپلاستیک درشت (شاموت) که انقباض کمتری در هنگام خشک شدن دارند، در داخل گل پلاستیک با ایجاد تنش در اطراف آنها باعث ترک می‌شوند.	.....
اعوجاج قطعات اکسترودر شده	.....	.....
تخلخل در قطعات اکسترودر شده	.....	.....

به طور کلی کار کردن با اکسترودر با وجود مشکلات زیاد، به دلیل سرعت تولید بالا، از لحاظ اقتصادی دارای ارزش سرمایه‌گذاری است. در این روش شکل‌دهی با دقت و تجربه بالا و ارائه راه حل های مناسب می‌توان بر مشکلات آن غلبه کرد.



## ارزشیابی شایستگی شکل‌دهی به روش اکستروژن

شرح کار:

آماده سازی ابزار آلات و تجهیزات شکل دادن به روش اکستروژن  
شکل دادن به روش اکستروژن  
کنترل نهایی

استاندارد عملکرد:

سالم و تمیز بودن ابزار  
آماده کردن دستگاه اکسترودر  
تعویض قالب  
شکل دادن قطعه با اکسترودر - کنترل نهایی و بررسی عیوب  
شاخص‌ها:  
کار با دستگاه اکسترودر و تولید قطعه بدون عیب با اکسترودر

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه، انواع دستگاه اکسترودر

ابزار و تجهیزات: اکسترودر عمودی، اکسترودر حلزونی، پاگمیل، کولیس، خط کش، شابلون، مواد اولیه، پمپ  
خلاء، قالب دستگاه اکسترودر، خشک کن

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده سازی تجهیزات و آمیز مناسب برای اکسترودر	۱	
۲	شکل دهی به روش اکستروژن	۲	
۳	توانایی تشخیص عیوب قطعات اکسترودر شده و روش‌های رفع آنها	۱	
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی- مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی	۲	
	میانگین نمرات		*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.



## فصل ۳

### شکل دهی به روش تراش



یکی از روش های متداول برای شکل دهی قطعات سرامیکی (به ویژه قطعات سرامیکی مورد استفاده در صنایع برق و نساجی)، تراش می باشد. در این روش شمش گل بر روی دستگاه تراش نصب می شود و همزمان با چرخش، به وسیله شابلون تیز شکل نهایی قطعه تراشیده می شود.

## واحد یادگیری ۳

### شایستگی شکل دهی به روش تراش

#### شایستگی شکل دهی به روش تراش و یادگیری مهارت آن :

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت شکل دادن گل پلاستیک با استفاده از روش تراش می باشد. یکی از مصارف عمده قطعات شکل گرفته به روش تراش، در صنایع برق می باشد. آشنایی با دستگاه تراش و مکانیزم شکل دهی با این روش در این واحد یادگیری در نظر گرفته شده است.

#### استاندارد عملکرد:

در این واحد هنرجو ابتدا با محصولات مختلف تولید شده با روش تراش و کاربرد آنها آشنا خواهد شد و در ادامه دستگاه تراش و اجزاء آن را می شناسد. همچنین مکانیزم و مراحل شکل دهی با این روش به طور کامل شرح داده خواهد شد. به منظور کسب مهارت، کارهای عملی شکل دادن قطعات مختلف با استفاده از روش تراش در نظر گرفته شده است.

## شکل‌دهی به روش تراش

یکی از روش‌های متداول برای شکل‌دهی قطعات فلزی و چوبی، تراش یا خراطی است. در این روش تکه‌ای چوب یا فلز بر روی دستگاه تراش نصب می‌شود و همزمان با چرخش، به وسیله تیغه‌ای تیز شکل نهایی قطعه تراشیده می‌شود.

در شکل‌های ۱- الف و ب، قطعات فلزی و چوبی شکل داده شده با این روش را مشاهده می‌کنید.



ب



الف

شکل ۱- الف- تراشکاری فلز ب- خراطی چوب

قطعات شکل داده شده به روش تراش از جنس چوب و فلز از نظر ظاهری چه شباهتهایی دارند؟

پرسش



شکل ۲- قطعات چوبی شکل داده شده با تراش



شکل ۳- قطعات فلزی شکل داده شده با تراش

روش تراشکاری برای شکل‌دهی قطعات سرامیکی نیز استفاده می‌شود. امروزه قطعات سرامیکی شکل‌دهی شده به روش تراش با بازار مصرف قابل توجهی در صنایعی مانند نساجی، مخابرات و برق روبه‌رو است. بیشترین کاربرد این روش در ساخت مقره‌های صنعت برق و نساجی است. در شکل زیر قطعات سرامیکی مورد استفاده در صنعت برق و نساجی را مشاهده می‌کنید که به روش تراش شکل داده شده‌اند.



ب



الف

شکل ۴- قطعات شکل‌دهی شده به روش تراش در صنایع: الف- برق ب- نساجی

## شکل‌دهی قطعات به روش تراش

نمایش فیلم



### شکل‌دهی به روش تراش

در شکل‌دهی به روش تراش، ابتدا گلی که پیش شکل داده شده و سپس به صورت نیمه‌خشک درآمده، در دستگاه تراش به منظور شکل‌دهی نهایی قرار می‌گیرد. ستون گل پیش‌شکل داده شده پس از تنظیم رطوبت به صورت افقی و یا عمودی در دستگاه تراش قرار گرفته، چرخانده می‌شود و با تیغه یا شابلون فلزی تراشیده می‌شود. در این روش با انتخاب طرح و ابزار مناسب قطعات مختلفی را می‌توان شکل داد.



شکل ۵- شکل‌دهی قطعات سرامیکی به روش تراش



به تصاویر زیر نگاه کنید و به سؤالات پاسخ دهید:  
 - آیا شکل دهی این قطعات با روش تراش امکان‌پذیر است؟  
 - آیا شکل‌دهی با روش تراش برای تولید قطعات متقارن مناسب است؟



شکل ۶

## مراحل تراش گل

در شکل ۷ مراحل شکل‌دهی گل پلاستیک به روش تراش نشان داده شده است. قبل از شکل دهی بررسی ویژگی شمش گل و ابزارهای تراش اهمیت دارد.



شکل ۷- مراحل شکل‌دهی گل پلاستیک به روش تراش

## آماده‌سازی شمش گل

روش تراش از روش‌های شکل‌دهی گل پلاستیک است و رطوبت گل در این روش نیز اهمیت دارد و باید قبل از شکل‌دهی، میزان رطوبت گل بررسی شود.

آماده‌سازی شمش گل در پنج مرحله انجام می‌شود که به ترتیب عبارتند از:

۱- اکستروود کردن ۲- تولید شمش ۳- خواباندن گل ۴- بررسی درصود رطوبت ۵- بررسی قابلیت تراش شمش





آیا گل هواگیری نشده برای تراشکاری مناسب است؟



قبل از شکل‌دهی باید مقدار رطوبت و پلاستیسیته شمش گل براساس شکل نهایی محصول تعیین شود و پس از تنظیم رطوبت آن، طرح بر روی شمش اجرا شود. در جدول ۱ درصد رطوبت شمش برای محصولات مختلف بیان شده است.

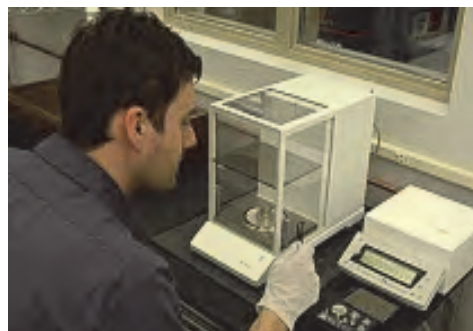
جدول ۱- درصد رطوبت شمش گل در قطعات مختلف سرامیکی

درصد رطوبت شمش گل	نوع بدنه
۱۷-۱۹	در مقره‌های کوچک دوشیاره و سه شیاره
۱۲-۱۵	در مقره‌های بزرگ پوشینگ
۱۲-۱۵	گلوله‌های سرامیکی
۱۰-۱۲	پایه‌های تزئینی سرامیکی

به نظر شما اگر درصد رطوبت شمش نامناسب باشد، در فرایند شکل‌دهی چه مشکلی پیش می‌آید؟



از دیگر عوامل مؤثر در شکل‌دهی به روش تراش، درصد رطوبت شمش گلی اکستروژده شده است.



شکل ۸- بررسی میزان رطوبت شمش

برای شکل‌دهی به روش تراش، ابتدا شمش گل به وسیله اکستروژده تهیه می‌شود. شمش گلی که از اکستروژده دست می‌آید، هواگیری شده و مقدار رطوبت آن مشخص است. رطوبت شمش مورد استفاده برای تراش، معمولاً بین ۱۲ تا ۱۸ درصد است. میزان رطوبت به روش تجربی با فشار دادن دست روی سطح تازه تراش‌خورده شمش بررسی می‌شود و یا میزان رطوبت لایه تراش داده شده با نمونه برداری و بررسی وزن تر و خشک آن تعیین می‌شود.





کار عملی ۱: بررسی شکل‌پذیری شمش گل با درصدهای مختلف رطوبت مواد و ابزار: تالک خام، تالک کلسینه شده، منیزیت، بالکلی، کوارتز، بنتونیت، خشک‌کن، ترازوی آزمایشگاهی، دستگاه تراش، سیم برش، کورنومتر  
شرح فعالیت:  
شمش گلی را با ترکیب داده شده در جدول زیر آماده کنید.

ماده اولیه	مقدار (%)
تالک خام	۴۰
تالک کلسینه شده	۱۵
منیزیت	۱۵
بالکلی	۲۰
کوارتز	۵
بنتونیت	۵

- شمش تهیه شده را به مدت یک هفته در محلی مرطوب و دور از نور خورشید بخوابانید.
- شمش گل را به چهار قسمت تقسیم کنید.
- وزن هر یک از قسمت‌ها را با ترازوی آزمایشگاهی به دست آورید.
- هریک از قسمت‌های بریده شده را داخل خشک‌کن ۶۰ درجه سلسیوس قرار دهید.
- هر یک از قسمت‌ها را پس از گذشت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه از خشک‌کن خارج کنید.
- در هر مرحله، وزن شمش‌های خارج شده از خشک‌کن را به دست آورید.
- درصد رطوبت شمش را در هر مرحله پس از خروج از خشک‌کن محاسبه کنید.
- با قرار دادن شمش در دستگاه تراش، شکل‌پذیری آن را بررسی کنید.
- شکل‌پذیری شمش‌ها با درصدهای مختلف رطوبت را با هم مقایسه کنید.



- ۱: با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
- ۲: مواظب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه در حین کار باشید.
- ۳: احتیاط کنید که دست‌هایتان بین حد فاصل شابلون و مقعره در حال تراش قرار نگیرد.

یکنواختی رطوبت سطح نسبت به عمق در شمش‌های بزرگ بیشتر مورد توجه قرار دارد. مثلاً در مقعره‌های کوچک چون اندازه شمش کوچک (با طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر و قطر ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر) است، بنابراین تفاوت درصد رطوبت سطح نسبت به عمق شمش هنگام آماده‌سازی شمش گل زیاد نیست و با خواباندن گل به مدت زمان کافی (پس از یک تا دو روز) رطوبت سطح و عمق شمش یکنواخت خواهد بود.



خواباندن گل باید در شرایط مناسب یعنی در محیط مرطوب و دور از نور خورشید باشد.



شکل ۹- شمش‌هایی با ابعاد مختلف

به شکل‌های زیر نگاه کنید. برای شکل‌دهی قطعات ۱، ۲ و ۳ شمش مناسب را پیدا کنید.



شمش	قطعه	ردیف
		۱
		۲
		۳

## شکل‌دهی به روش تراش

درصد رطوبت شمش‌های بزرگ باید به زیر ۱۵ درصد کاهش یابد تا شمش در حین تراش پایداری کافی داشته باشد. برای این کار تراش مرحله به مرحله انجام می‌شود تا شمش به شکل مورد نظر درآید. لایه‌برداری با ابزارهای تراش تا حدی انجام می‌شود که شمش پایداری مناسب داشته باشد. پایداری شمش باید متناسب با سرعت چرخش دستگاه باشد.

نکته



برای تراش قطعات بزرگ، مابین مراحل تراش دستگاه به مدت چند ساعت متوقف می‌شود تا رطوبت لایه‌ها کاهش یابد.

آیا می‌دانید



برای اینکه تمامی ضخامت شمش دارای رطوبت یکنواختی باشد، از روش عبور جریان برق مستقیم (AC) استفاده می‌شود.



شکل ۱۰- یک شمش گل دارای رطوبت و دانه‌های سرامیکی تحت جریان برق

فکر کنید



شمش گل مناسب برای تولید قطعات زیر را از لحاظ اندازه و درصد رطوبت با هم مقایسه کنید.



شکل ۱۱

## ۲- ابزارهای تراش گل و تجهیزات آن

برای تراش با توجه به شمش و طرح مورد نظر، ابزارهای مناسب انتخاب می‌شود. برخی از ابزارها مانند شابلون تراش گل را انجام می‌دهند که بر روی دستگاه تراش نصب می‌شود. همچنین برخی از ابزارها نیز برای پرداخت و جدا کردن قطعه از دستگاه به کار می‌رود.

عوامل مؤثر بر انتخاب ابزار تراش:

- درصد رطوبت
- سرعت چرخش شمش گل در دستگاه
- پیچیدگی طرح

مهم‌ترین ابزار و تجهیزات تراش گل در جدول ۲ بیان شده است.

جدول ۲

نوع ابزار	تعریف	تصویر
شابلون	ابزاری از جنس فولاد زنگ نزن که در برابر سایش مقاومت بالایی دارد و مطابق طرح مورد نظر به کار می‌رود.	
تیغه یا سیم برش	ابزاری از جنس فولاد زنگ نزن یا از جنس پلاستیک (پلیمر) محکم که دارای دسته فلزی است و برای برش قطعه پس از ساخت به کار می‌رود.	
ماشین تراش	دستگاهی است که کلیه ابزارهای تراش مطابق دستورالعمل بر روی آن نصب شده و به صورت دستی یا اتوماتیک طرح مورد نظر بر روی گل اجرا می‌شود.	

جنس شابلون‌های مورد استفاده از موادی با سختی بالا انتخاب می‌شود و باید در برابر زنگ‌زدگی مقاوم باشند.

گفتگو کنید



دربارهٔ سؤالات زیر با یکدیگر بحث و گفت‌وگو کنید:  
آیا تیز بودن لبهٔ شابلون‌ها بر کیفیت سطحی محصولات تولیدی تأثیری دارد؟  
شابلون مناسب برای تراشکاری علاوه بر فلز، چه جنس‌هایی می‌تواند داشته باشد؟

## طراحی و پیاده‌سازی شابلون

در روش تراش وظیفه اصلی شکل‌دهی به عهده شابلون است. برای شکل‌دهی مقوله‌ها به روش تراش، ابتدا طرح مورد نظر با توجه به مشخصاتی مانند ابعاد و جزئیات شکل تهیه شده و سپس برحسب شکل و پیچیدگی طرح، شابلون مناسب انتخاب می‌شود. ضخامت نهایی محصول، فقط براساس نصب صحیح شابلون تنظیم می‌شود. در شکل ۱۲ طراحی و پیاده سازی شابلون آمده است. همان طور که در شماره ۱۳ می بینید

## شکل‌دهی به روش تراش

پس از انتخاب، شابلون بر روی دستگاه تراش نصب و تنظیم می‌شود و تیزی و کیفیت تراش شابلون کنترل می‌شود.

نکته



با توجه به نوع و طرح قطعه تولیدی پس از کنترل دقیق شابلون و اطمینان از سالم بودن آن و با به-کارگیری ابزارهای اندازه‌گیری، شابلون مناسب انتخاب می‌شود.



ج- کنترل تیزی و کیفیت تراش شابلون



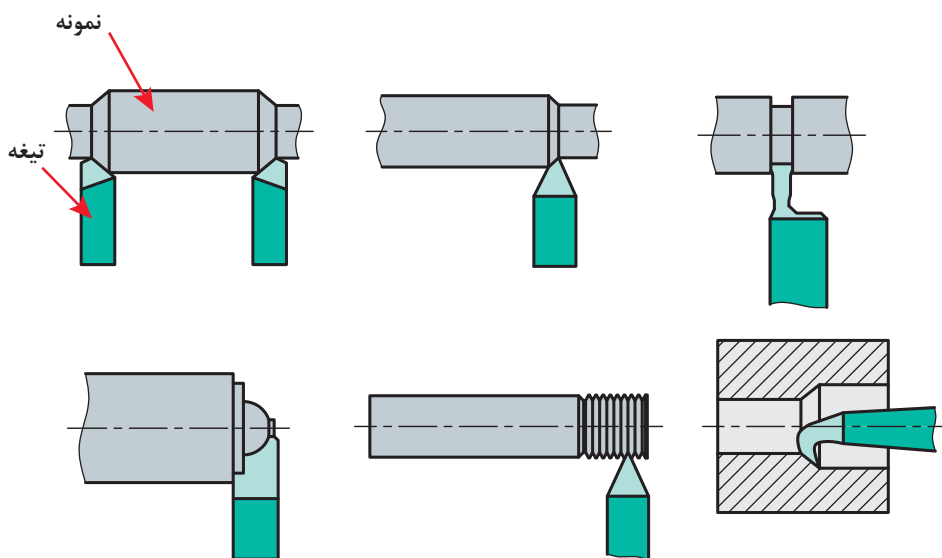
ب- نصب و تنظیم شابلون



الف- انتخاب شابلون

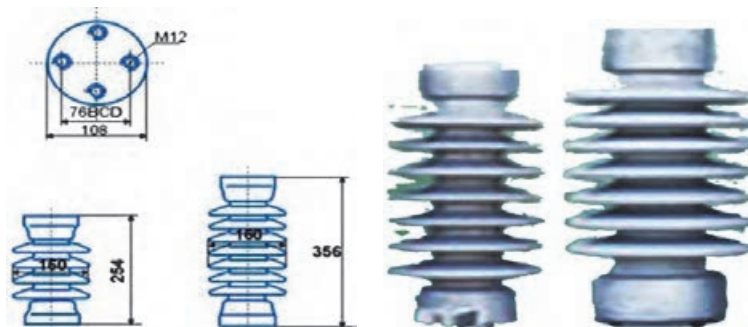
شکل شماره ۱۲- مراحل پیاده‌سازی شابلون

نمونه طرح‌هایی که از شابلون‌های مختلف ساخته می‌شود، در شکل شماره ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- شابلون‌های مختلف

همانطور که اشاره شد، برای انتخاب طرح مناسب شابلون با توجه به نقشه شکل نهایی ساخته می‌شود. نمونه‌ای از طرح مقره‌ها در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۴

مشخص کنید که هر یک از اعداد روی طرح شکل ۱۴ نشان‌دهنده چه چیزی است؟

فعالیت  
کلاسی:



فعالیت  
کارگاهی:



کار عملی ۲: نصب و تنظیم شابلون

مواد و ابزار: شابلون، دستگاه تراش

شرح فعالیت:

۱. طرح مورد نظر را انتخاب کنید.

۲. شابلون مناسب را انتخاب کنید.

۳. پس از کنترل دقیق و اطمینان از تیزی شابلون، آن را در دستگاه تراش قرار داده و نصب کنید.

به سوال زیر پاسخ دهید.

آیا می‌توان شابلون را بعد از قرار دادن نمونه روی دستگاه نصب کرد؟

نکته ایمنی



۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.

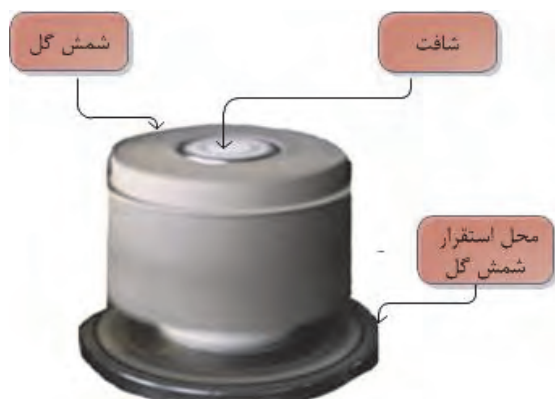
۲- مواظب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه در حین کار باشید.

۳- از جابه‌جایی و دست‌کاری بی‌مورد شابلون خودداری کنید.

۴- احتیاط کنید که دست‌هایتان بین حد فاصل شابلون و مقره در حال تراش قرار نگیرد.



### شکل‌دهی به روش تراش



شکل ۱۵- استقرار شافت و شمش گل

### ۳- استقرار شافت و شمش برای تراش

هدف از انتخاب شافت در روش تراش شمش گل، تولید قطعات کاملاً مدور است که با کمک دستگاه تراش ساخته می‌شوند. در شکل ۱۵ می‌توانید شافت و محل استقرار شمش گل را مشاهده کنید.

در حال حاضر امکان شکل‌دهی قطعات غیرمدور (غیرمقارن) به روش تراش فراهم شده است.

نکته



انتخاب شافت مناسب برای شکل‌دهی به عواملی مانند ابعاد قطعه (قطر، ارتفاع و ضخامت) و نوع قطعه تولیدی بستگی دارد.

در تصویر زیر شافت و شابلون را مشخص کنید.

فعالیت  
کلاسی:



شکل ۱۶- دستگاه تراش

قرارگیری صحیح شمش بر روی جایگاه بسیار مهم است، زیرا در هنگام تراش با اعمال فشار زیاد شابلون در اثر چرخش حول محور نیاز است که شمش در محل قرارگیری خود مستحکم و پایدار باشد.

نکته



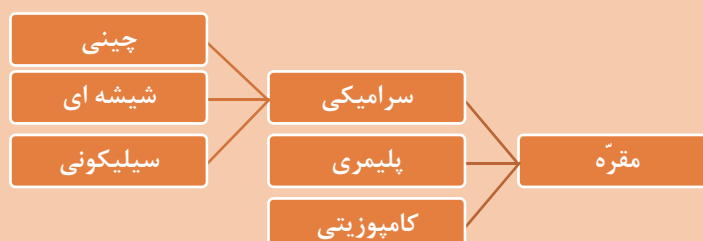




مهم‌ترین کاربرد روش شکل‌دهی تراش در تولید مقره‌ها است. مقره پایه عایقی است که در تمامی مناطقی که عبور جریان برق یا تجمع بار الکتریکی وجود داشته باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد، به عنوان مثال در هدایت‌گر نخ در صنایع نساجی و یا در دکل‌های برق که در محل اتصال کابل‌های برق با دکل به کار می‌روند. در خطوط انتقال نیرو به منظور محافظت از کابل‌های انتقال‌دهنده جریان برق از مقره‌ها استفاده می‌شود. شکل و جنس مقره‌ها بر حسب ولتاژ و شرایط محیطی نظیر آلودگی و رطوبت متفاوت است.



شکل ۱۷- مقره‌های سرامیکی



مقره‌های چینی از چهار ماده مختلف تشکیل شده است که در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳

ماده اولیه	مقدار مواد در ترکیب (%)
کائولن	۲۰-۳۰
بالکلی	۲۰-۳۰
سیلیس	۲۰-۳۰
فلدسپات	۲۵-۳۰

مهم‌ترین ویژگی‌های مقره‌ها شامل موارد زیر است:

- ۱- عایق‌بندی بین سیم‌ها، زمین و سیم‌ها
- ۲- توانایی تحمل وزن سیم‌های خطوط انتقال جریان برق حتی زمانی که ضخامت یخ و برف تشکیل شده روی سیم‌ها زیاد باشد.
- ۳- مقاومت کافی در شرایط متفاوت محیطی مانند بارندگی، برف، گرما، باد
- ۴- مقاومت الکتریکی بالا
- ۵- مقاومت شیمیایی بالا

## شکل‌دهی

در این قسمت مراحل شکل‌دهی تراش برای شکل‌دهی مقره دوشیاره و شکل‌دهی مقره بوشینگ و گلوله آسیاب بیان شده است.

نکته



قبل از شکل‌دهی، دستگاه از نظر سرعت چرخش و سالم بودن تسمه و نیروی محرکه کنترل شود.

## شکل‌دهی مقره دوشیاره به روش تراش



۱



۲



۳

در این قسمت مراحل شکل‌دهی مقره دوشیاره به روش تراش توضیح داده شده است که این مراحل برای ساخت دیگر قطعات با ابعاد کوچک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- انتخاب شمش گل مناسب و قرار دادن آن روی دستگاه

ابتدا شمش سوراخ دار با درصد رطوبت مناسب، با طول معین برش داده شده و بر روی شافت قرار داده می‌شود.

### ۲- اجرای طرح

با توجه به طرح و اندازه قطعه مورد نظر با حرکت شابلون به سمت شمش، ابتدا یک لایه نازک از روی شمش برداشته می‌شود. هدف از این کار کاهش اثرات فشار دست روی شمش و اختلاف رطوبت سطح با لایه داخلی است. سپس با حرکت دادن شابلون به سمت عمق، به تدریج لایه‌های سطحی برداشته می‌شود تا شکل نهایی ایجاد شود.

### ۳- پرداخت

به منظور حذف ناصافی‌های سطحی قطعه شکل داده شده از اسفنج مرطوب استفاده می‌شود.

نکته



پرداخت قسمت‌های با ضخامت کم با دقت بیشتری انجام شود.



۴

۴- برش

پس از شکل‌دهی قطعه با استفاده از ابزارهای برش مانند سیم برش، قطعه شکل داده شده از سطح جدا شود.

۵- جداکردن قطعه



۵

همانطور که در شکل ۱۸ می‌بینید، پس از اتمام تراش، با فشار کم دو دست، قطعه به آرامی به سمت بالا حرکت داده شده و با اندکی فشار بیرون آورده می‌شود. سپس قطعه را به داخل خشک‌کن انتقال داده می‌شود تا به آرامی خشک شود.

شکل ۱۸- مراحل تراشکاری مقره

نکته



پس از جدا کردن قطعه ممکن است برخی از سطوح نیاز به پرداخت داشته باشد.

نمونه‌هایی از مقره‌های شیاردار در شکل ۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۱۹- مقره‌های شیاردار سرامیکی

نمایش فیلم



شکل‌دهی مقره‌های دوشیاری به روش تراش



کار عملی ۳: ساخت مقرّه دوشیاره با دستگاه تراش  
مواد و ابزار: شمش آماده شده، دستگاه تراش، سیم برش  
شرح فعالیت:

۱. شمش مناسب برای شکل‌دهی را تهیه کنید.
۲. شمش را در دستگاه تراش قرار دهید.
۳. طرح مورد نظر را انتخاب کنید.
۴. شابلون مناسب را انتخاب کنید.
۵. با دستگاه تراش یک مقرّه دوشیاره را شکل دهید.



- ۱: با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی، دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
- ۲: مراقب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه در حین کار باشید.
- ۳: از جابه‌جایی و دست‌کاری بی‌مورد شابلون خودداری کنید.
- ۴: احتیاط کنید که دست‌هایتان بین حد فاصل شابلون و مقرّه در حال تراش قرار نگیرد.



شکل ۲۰- برش شمش با طول مناسب



شکل ۲۱- استقرار شمش

### شکل‌دهی مقرّه بوشینگ به روش تراش:

در این قسمت مراحل تراش مقرّه‌های بوشینگ بزرگ توضیح داده شده است. این مراحل برای دیگر قطعات با ابعاد بزرگ نیز به کار می‌رود.

- ۱- برش شمش با طول مناسب  
ابتدا شمش با طول مناسب بریده و روی شافت قرار داده شود.

### ۲- استقرار شمش

بعد از استقرار شمش، دستگاه روشن می‌شود تا از هم‌مرکز بودن و دوران صحیح شمش اطمینان حاصل شود.



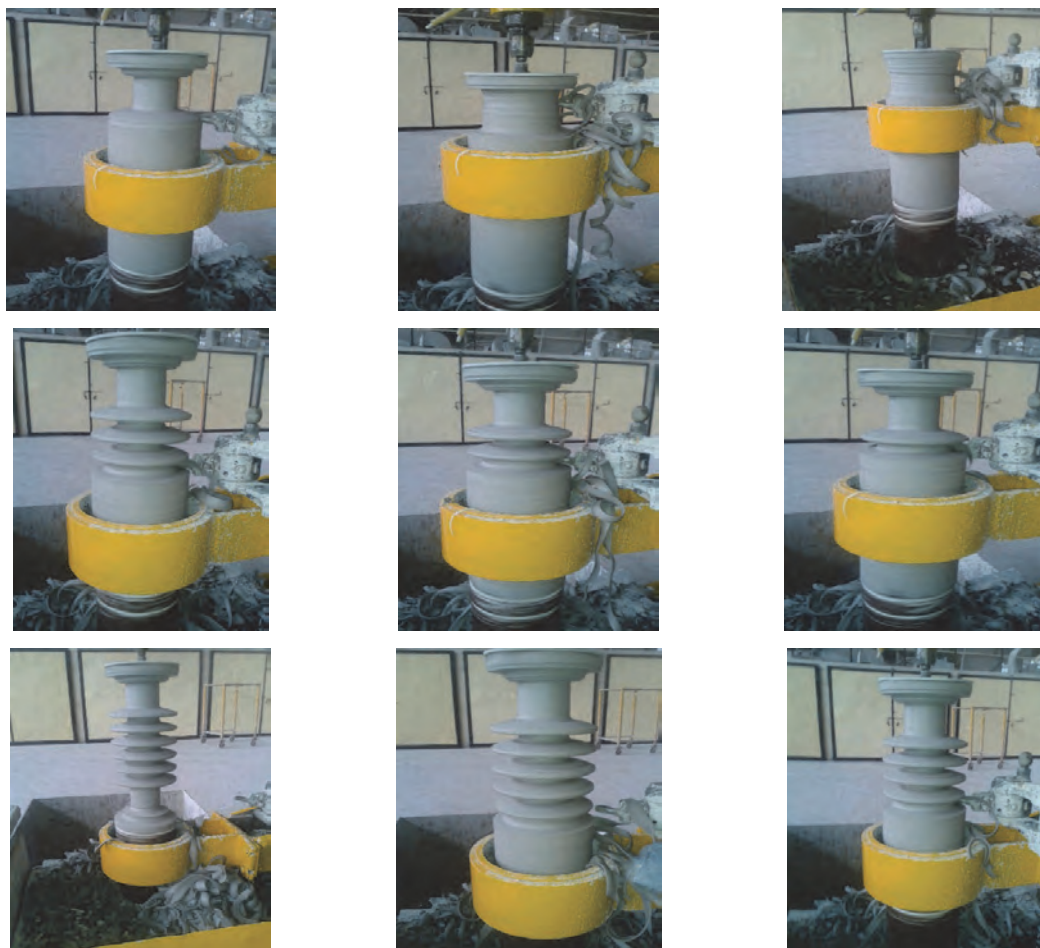
قرارگیری شمش‌های بزرگ به‌تنهایی امکان‌پذیر نیست و باید این کار به صورت چند نفره و یا با استفاده از جرثقیل صورت پذیرد.



شکل ۲۲- جابه‌جایی شمش‌ها به کمک جرثقیل

### ۳- تراش

با توجه به طرح و اندازه قطعه مورد نظر، شابلون ابتدا یک لایه کلی از روش شمش برداشته (مرکز نمودن شمش) سپس به وسیله ابزارهای تراش فرآیند تراش دادن شمش انجام می‌شود. فرآیند تراش قطعات کوچک در یک مرحله و قطعات بزرگ در چند مرحله انجام می‌شود.



شکل ۲۳- مراحل تراش مقره پوشینگ



## شکل‌دهی به روش تراش



شکل ۲۴- پرداخت

### ۴- پرداخت

به منظور حذف ناصافی‌های سطحی ناشی از ابزارهای تراش با اسفنج مرطوب پرداخت انجام می‌شود.

### ۵- بریدن

پس از فرآیند تراش و پرداخت قطعه برای مدتی روی شافت باقی می‌ماند تا با کاهش رطوبت، استحکام مناسبی پیدا کند. سپس به کمک تیغ قطعه شکل داده شده از سطح بریده می‌شود.



شکل ۲۵- جداکردن قطعه

### ۶- جداکردن قطعه

قطعه برش داده شده از سطح تکیه‌گاه از شافت جدا شده و در خشک‌کن با دمای کم و مدت زمان طولانی قرار داده می‌شود.

نمونه‌هایی از مقره‌های پوشینگ و مقره‌های تابلویی شکل گرفته به روش تراش در شکل ۲۶ نشان داده شده است.



شکل ۲۶- نمونه‌هایی از مقره‌های پوشینگ و تابلویی

بعضی از قطعات ابتدا با روش‌های دیگر شکل داده شده، سپس با تراش دادن مرحله شکل‌دهی کامل می‌شود.

نکته





کار عملی ۴: ساخت مقرّه ساده با دستگاه تراش  
مواد و ابزار: شمش آماده شده، دستگاه تراش، سیم برش، ابزار تراش  
شرح فعالیت:

۱. شمش مناسب برای شکل دهی را با استفاده از مقادیر داده شده در جدول تهیه کنید.

ماده اولیه	مقدار (%)
کائولن	۳۰
بالکلی	۱۵
فلدسپات	۳۰
سیلیس	۲۵

۲. شمش را در دستگاه تراش قرار دهید.

۳. طرح مورد نظر را انتخاب کنید.

۴. شابلون مناسب را انتخاب کنید.

۵. با دستگاه تراش یک مقرّه ساده را شکل دهید.



۱. با توجه به وجود خطرات احتمالی برق گرفتگی، دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.

۲. مواظب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه در حین کار باشید.

۳. از جابه جایی و دست کاری بی مورد شابلون خودداری کنید.

۴. احتیاط کنید که دست هایتان بین حد فاصل شابلون و مقرّه ی در حال تراش قرار نگیرد.



شکل ۲۷- گلوله های سرامیکی





در تصاویر زیر مراحل شکل‌دهی گلوله‌های سرامیکی به روش تراش نشان داده شده است. درباره هر یک از مراحل بحث و گفتگو کنید.

### شکل‌دهی گلوله‌های آسیاب بالمیل:



(۲)



(۱)



(۴)



(۳)



(۶)



(۵)



(۷)

شکل ۲۸- مراحل شکل‌دهی گلوله‌های سرامیکی



مراحل تراش گلوله سرامیکی



کار عملی ۵: ساخت گلوله سرامیکی با دستگاه تراش  
مواد و ابزار: شمش آماده شده، دستگاه تراش، سیم برش  
شرح فعالیت:

- شمش مناسب برای شکل‌دهی را تهیه کنید.
- شمش را در دستگاه تراش قرار دهید.
- شابلون مناسب را انتخاب کنید.
- با دستگاه تراش یک گلوله سرامیکی را شکل دهید.

## ارزشیابی شایستگی شکل‌دهی به روش تراش

<p><b>شرح کار:</b> تراش گل پلاستیک آماده سازی شمش گل انتخاب ابزار تراش استقرار شافت و شمش شکل‌دهی گل پلاستیک به روش تراش عملیات نهایی</p>																											
<p><b>استاندارد عملکرد:</b> کسب مهارت شکل‌دهی پلاستیک به روش تراش</p> <p><b>شاخص‌ها:</b> بررسی هریک از عوامل مؤثر بر تراش گل پلاستیک</p>																											
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b></p> <p><b>شرایط:</b> کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه، دستگاه تراش، شابلون شکل‌دهی</p> <p><b>ابزار و تجهیزات:</b> ترازو، ظرف، الک، تیغه برش، شافت، دستگاه تراش، خشک کن، تجهیزات پرداخت</p>																											
<p><b>معیار شایستگی:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ردیف</th><th>مرحله کار</th><th>حداقل نمره قبولی از ۳</th><th>نمره هنرجو</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>۱</td><td>آماده سازی شمش گل برای شکل‌دهی تراش</td><td>۱</td><td></td></tr> <tr> <td>۲</td><td>بررسی و انتخاب ابزار تراش</td><td>۱</td><td></td></tr> <tr> <td>۳</td><td>شکل‌دهی گل به روش تراش</td><td>۲</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی</td><td>۲</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="3">میانگین نمرات</td><td>*</td></tr> </tbody> </table>				ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو	۱	آماده سازی شمش گل برای شکل‌دهی تراش	۱		۲	بررسی و انتخاب ابزار تراش	۱		۳	شکل‌دهی گل به روش تراش	۲			شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی	۲		میانگین نمرات			*
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو																								
۱	آماده سازی شمش گل برای شکل‌دهی تراش	۱																									
۲	بررسی و انتخاب ابزار تراش	۱																									
۳	شکل‌دهی گل به روش تراش	۲																									
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی	۲																									
میانگین نمرات			*																								
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>																											

