

### شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود:

- ۱- شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد و انواع آن را تقسیم‌بندی کند.
- ۲- محصولاتی را که به روش ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌شوند نام ببرد.
- ۳- روان‌سازی و اهمیت آن را بنویسد و چند روان‌ساز معروف را نام ببرد.
- ۴- ویژگی دوغاب روان‌سازی شده را بیان کند.
- ۵- روش اندازه‌گیری ویسکوزیته را شرح دهد.
- ۶- فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب را نام ببرد.
- ۷- نحوه‌ی تشکیل جداره در قالب گچی را توضیح دهد.
- ۸- معایب روش ریخته‌گری دوغابی و راه برطرف کردن آن‌ها را بیان کند.
- ۹- کاربرد گچ قالب‌سازی را شرح دهد.
- ۱۰- کاربردهای مختلف روش ریخته‌گری دوغابی را بیان کند.
- ۱۱- کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی را در سرامیک‌های نوین بیان کند.
- ۱۲- مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد.

#### مقدمه

شکل دادن قطعات سرامیکی به روش ریخته‌گری دوغابی از حدود ۲ قرن پیش آغاز شده است. در این روش مخلوط مواد اولیه به‌صورت دوغاب آماده می‌شود؛ سپس دوغاب حاصل شده، درون یک قالب متخلخل که عموماً از جنس گچ است، ریخته می‌شود. در نتیجه، آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب جذب می‌شود و جداره‌ی نازکی از گل بر روی آن ایجاد می‌گردد. با گذشت زمان، این جداره ضخیم‌تر می‌شود و سپس دوغاب اضافی تخلیه می‌گردد.

قالب و جداری ساخته شده مدتی به حال خود گذاشته می‌شوند تا به تدریج آب بیش‌تری از جداره جذب قالب گچی شود. به موازات، درصد رطوبت قطعه نیز کاهش می‌یابد و استحکام آن بیش‌تر می‌شود. هم‌چنین با از دست دادن آب، جداری تشکیل‌شده‌ی درون قالب (محصول) انقباض می‌یابد و به راحتی از قالب جدا می‌شود. در این حال، قطعه را از قالب جدا می‌کنند و به خشک‌کن می‌فرستند. در اواسط قرن هجدهم میلادی از کربنات سدیم (سودا) که مقدار کمی از آن باعث روان شدن دوغاب می‌شد استفاده می‌کردند. بعدها امکان تهیه‌ی دوغابی با مقدار آب کم‌تر نیز میسر گردید.

در واقع بدون استفاده از این ماده (کربنات سدیم) برای تهیه‌ی دوغاب روان به ۴۰ تا ۶۰ درصد بر مبنای تر آب نیاز بود؛ حال آن‌که مقادیر کم کربنات سدیم درصد آب لازم را به ۳۰ تا ۳۵ درصد کاهش می‌داد. این عمل «روان‌سازی» نام دارد؛ یعنی، می‌توان با درصد کمی از مواد روان ساز و بدون مصرف آب زیاد، دوغابی روان تهیه کرد.

در فرآیند ریخته‌گری دوغاب، تهیه‌ی دوغابی با درصد آب کم و خواص جریانی مناسب، بسیار اهمیت دارد. این روش در ساخت محصولات سرامیکی؛ مانند: چینی، بدل چینی، چینی استخوانی، دیرگداز و... به کار گرفته می‌شود. هم‌چنین در تولید سرامیک‌های نوین و مهندسی، به خصوص ریخته‌گری مواد غیررسی، برای ساخت بدنه‌های اکسیدی (زیرکونیا، آلومینا، منیزیا و...) و غیراکسیدی (سیلیکون کارباید و...) اهمیت به‌سزایی یافته است.

مزیت مهم دیگر در کاربرد گسترده‌ی ریخته‌گری دوغابی، امکان تولید محصولاتی با شکل‌های پیچیده است؛ یعنی با تهیه‌ی قالب‌های چند تکه<sup>۱</sup> می‌توان قطعاتی با شکل‌های خاص را به سادگی تولید کرد. این روش به خصوص در ساخت قطعات گود و توخالی، که آن‌ها را به روش پرس و شکل دادن پلاستیک نمی‌توان تولید کرد، کاربرد یافته است.

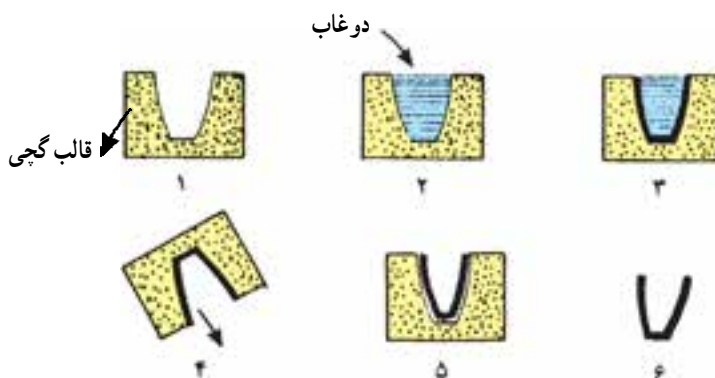
اصلی‌ترین ضعف این روش، زمان بر بودن فرآیند است؛ برای مثال در پرس و یا روش‌های پلاستیک دستگاهی تا ۲۰ قطعه را در دقیقه می‌توان شکل داد؛ در حالی که در ریخته‌گری دوغابی، بسته به ضخامت محصول، از چند دقیقه تا چند ساعت برای شکل دادن یک محصول وقت نیاز است. گرچه متخصصان با افزایش تعداد قالب‌ها تا حدودی این عیب را برطرف کرده‌اند.

## انواع ریخته‌گری دوغابی

شکل دادن ریخته‌گری دوغابی به دو بخش تقسیم می‌شود:

۱- بعضی قالب‌ها از ۳۰ تکه هم ساخته شده‌اند.

الف) ریخته‌گری توخالی (Hollow casting): در این روش، دوغاب را در قالب گچی می‌ریزند و برای تشکیل جداره، به آن زمان کافی می‌دهند. در این صورت بعد از جذب آب دوغاب به وسیله قالب، ضخامت لایه به حد مطلوب می‌رسد و مازاد دوغاب تخلیه می‌گردد. بنابراین، قطعه حاصل شده از این روش به صورت توخالی شکل داده می‌شود. به همین دلیل گاهی به این روش ریخته‌گری تخلیه‌ای (Drian casting) نیز گفته می‌شود (شکل ۲-۱).



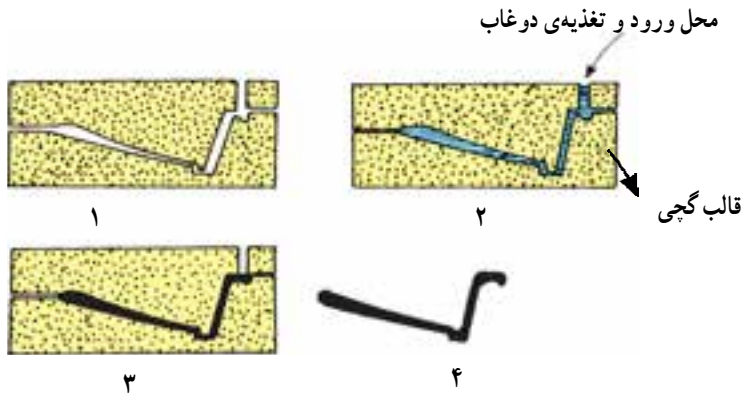
شکل ۲-۱- مراحل ریخته‌گری دوغابی توخالی

گلدان، قندان، پارچ و قوری از محصولاتی هستند که به این روش شکل داده می‌شوند. برکردن و تخلیه قالب ممکن است به صورت دستی یا با دستگاه‌های تمام اتوماتیک انجام شود.



شکل ۲-۲- برکردن قالب‌ها به صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد.

ب) ریخته‌گری دوغابی توپر (Solid casting): شاید بتوان گفت شکل دادن به روش ریخته‌گری، در ابتدا صرفاً به منظور تولید قطعات توخالی ابداع گردیده اما بعدها در ساخت محصولات توپر نیز به کار رفته است. همان‌طور که در شکل ۳-۲ می‌بینید، در این روش تمامی دوغاب مصرف می‌شود.



شکل ۳-۲- مراحل ریخته‌گری دوغابی توپر

به عبارت دیگر، دوغاب برگشتی وجود ندارد. قطعه‌ای که با ریخته‌گری توپر شکل داده می‌شود، هرچه بزرگ‌تر باشد، به تغذیه‌ی بیش‌تری نیاز دارد، زیرا با جذب آب به وسیله‌ی قالب، حجم دوغاب کاهش می‌یابد. به همین منظور، قیف یا محفظه‌ای را برای تغذیه در بالای قالب قرار می‌دهند. اگر تغذیه با حجم کافی انجام نگیرد، سطح دوغاب در داخل قالب کاهش می‌یابد و شکل مورد نظر تأمین نمی‌شود. تذکر این نکته لازم است که هم‌زمان با افزایش ضخامت محصول، زمان ریخته‌گری نیز زیاد می‌شود: مثلاً برای شکل دادن به قوری‌ای که به روش ریخته‌گری توخالی تهیه می‌شود و ضخامت جداره‌ی آن ۲ تا ۳ میلی‌متر است، به ۱۵ تا ۲۵ دقیقه وقت نیاز است. حال آن‌که در چینی بهداشتی، که بعضی از قسمت‌های آن به روش ریخته‌گری توپر تولید می‌شود، زمان لازم برای ایجاد بدنه‌ای به ضخامت ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر، حدود ۱/۵ تا ۲ ساعت است.

می‌توان گفت، زمان ریخته‌گری توپر عموماً طولانی می‌شود، زیرا ضخامت محصول آن زیاد است. نکته‌ی دیگر این‌که در چینی بهداشتی دو دیواره‌ی گچی خواهیم داشت که حدود ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر از یک‌دیگر فاصله دارند. با شروع ریخته‌گری، جداره‌ها از هر دو طرف تشکیل می‌شوند. این توضیح که هرچه ضخامت این دو جداره زیادتر می‌شود، فضای بین آن‌ها کم‌تر می‌گردد تا جایی که این دو جداره در قسمت میانی به یک‌دیگر وصل می‌شوند.

از جمله مواردی که به این روش شکل داده می‌شوند بعضی از دیرگذاهاست. اما آن‌چه در

این مورد اهمیت یافته تهیهی دوغاب با روش پرس و شکل دادن پلاستیک است. زیرا یک نواختی بیش‌تری را ایجاد می‌کند. با این روش مواد اولیه را به‌صورت دوغاب تهیه می‌کنند و سپس با کاهش مقدار آب، آن‌ها را به صورت گل یا پودر درمی‌آورند.

## مروری بر روان‌سازی

همیشه آماده‌سازی دوغاب مناسب، از ترکیب رُسی، آسان نیست. چون اولاً نوع رس‌ها با یک‌دیگر تفاوت دارند؛ ثانیاً هنگامی که در مجاورت با مواد مختلف قرار می‌گیرند، واکنش متفاوتی از خود نشان می‌دهند. از طرف دیگر انتخاب مقادیر مختلف آب، واکنش جریانی دوغاب را شدیداً تغییر می‌دهد. در عین حال دوغاب آماده باید دارای خواص مناسبی باشد تا بتوان محصولی خوب با خواص مطلوب تولید کرد. باید اضافه کرد شرایط مطلوب برای دسترسی به دوغاب مناسب ریخته‌گری، از طریق تجربه و آزمایش به‌دست می‌آید.

گفته شد که تمامی تلاش‌ها باید در تدارک دوغابی با خواص مناسب باشد. روان‌سازها به کمک آمده‌اند تا بتوان دوغابی با درصد آب کم‌تر تهیه کرد. مقدار آب دوغاب، در وضعیت ثابت و در ابتدا، به نوع و مقدار ماده‌ی جامد بستگی دارد؛ برای مثال دوغاب‌هایی را مقایسه کنید که یکی حاوی مواد رسی و دیگری دارای مواد غیررسی باشد. طبیعی است که در وضعیت یکسان درصد آب لازم برای این دو با یک‌دیگر متفاوت است. دوغاب رسی برای روان شدن، به آب بیش‌تری نیازمند است.

کربنات سدیم و سیلیکات سدیم از جمله روان‌سازهای معدنی (غیرآلی) متداول‌اند که در صنعت، کاربرد زیادی دارند. از روان‌سازهای دیگر می‌توان تری‌پلی‌فسفات سدیم را نام برد. روان‌سازهای آلی مانند پلی‌وینیل آمین، اتیلن آمین و پلی‌آکریلات سدیم، نیز بر همین اساس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عامل مهم در آمیز رُسی، حضور ذرات کلوئیدی<sup>۱</sup> رس است که با مواد شیمیایی افزوده شده واکنش می‌کنند. در واقع سیال بودن دوغاب به دافعه‌ی بین این ذرات بستگی دارد و کم‌ترین ویسکوزیته (بیش‌ترین سیال بودن) را با شناخت میزان و نوع ذرات کلوئیدی می‌توان ایجاد کرد.

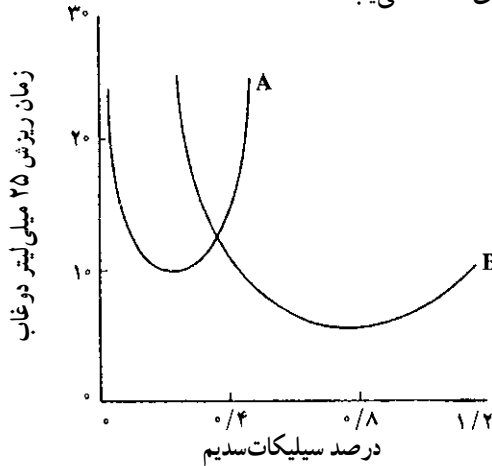
ذرات رس در آب باردار هستند اگر بین ذرات نیروی جاذبه وجود داشته باشد ذرات به هم متصل شده و سیالیت دوغاب کاهش می‌یابد. با افزودن روانسازها به دوغاب، بین ذرات رس نیروی دافعه پدید می‌آید که باعث افزایش سیالیت دوغاب (کاهش ویسکوزیته) می‌شود.

---

۱- تعریف کلوئید: یک سیستم کلوئیدی به‌صورت یک فاز دیسپرز (پخش‌شده) که حداقل یک بعد آن دارای اندازه بین

۱ نانو تا ۱ میلی‌متر در یک سیستم مایع باشد. مثلاً سیستم ذرات کلوئیدی رس در سیستم آب.

به نمودار ۲-۴ توجه کنید. منحنی A مربوط به دوغابی با ۷/۵ درصد رس بوده و دوغاب B دارای ۱۵ درصد رس است. همان گونه که مشاهده می کنید، دوغابی که مقدار رس آن بیش تر است، می تواند به ویسکوزیته ی کم تری (سیال بودن بیش تری) دست یابد. گرچه به مقدار روان ساز بیش تری نیازمند است؛ یعنی کم ترین ویسکوزیته یا بیش ترین سیال بودن برای دوغاب A با حدود ۰/۳۵٪ روان ساز و در مورد دوغاب B با ۰/۸٪ روان ساز ایجاد می شود، اما دوغاب B بهتر روان می گردد؛ یعنی به ویسکوزیته ی کم تری دست می یابد.



نمودار ۲-۴- منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) دو نوع رس بر حسب مقدار سیلیکات سدیم

روان سازهای غیر آلی دیگری مانند آلومینات سدیم به کار گرفته شده اند، اما این روان سازها، دو عیب مشخص دارند که کاربرد آن ها را محدود می کند:

نخست این که باعث ورود قلیایی ها به دوغاب می شوند و می دانید که قلیایی ها نقطه ی ذوب سیستم را کاهش می دهند و دیگر آن که بعضی نمک ها، به خصوص نمک های سدیمی در مجاورت قالب گچی، تشکیل سولفات سدیم می دهند که در آب محلول هستند. در نتیجه موجب تجزیه ی قالب گچی می شوند و عمر آن ها را کاهش می دهند.

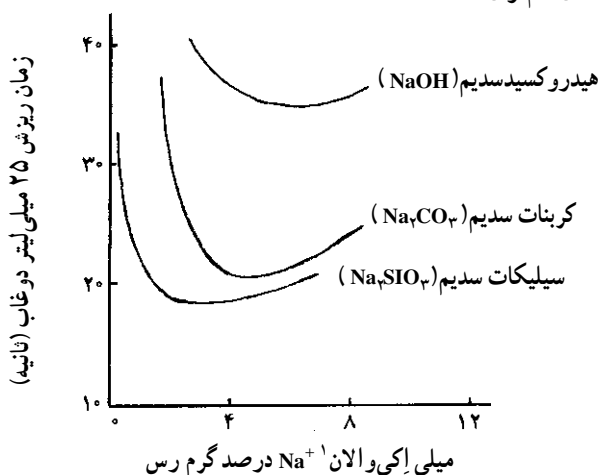
در مصرف روان سازهای آلی، این عیوب مشاهده نمی شود. به خصوص این که روان سازهای آلی هنگام خشک شدن و پختن از بدن خارج می شوند و هیچ خاکستری از خود به جای نمی گذارند. به هر حال، باید اذعان کرد که روان سازهای آلی ضمن این که گران اند هنگام مصرف بوی نامطبوعی ایجاد می کنند.

امروزه در صنایع سرامیک از روان سازهای آلی استفاده می شود. در نمودار ۲-۵ اثر افزودن

روان‌سازهای مختلف بر روی سیال بودن دوغاب نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود با افزودن هر نوع روان‌ساز ویسکوزیته به تدریج کاهش می‌یابد؛ یعنی دوغاب سیال‌تر می‌گردد. اما اگر درصد روان‌ساز، مصرف شده از حد معینی بیش‌تر شود مجدداً ویسکوزیته زیاد می‌شود؛ یعنی، با کاربرد بیش از حد روان‌ساز، مجدداً سیال بودن دوغاب کاهش می‌یابد.

معمولاً مقدار روان‌سازی که به دوغاب، برحسب وزن خاک خشک، اضافه می‌شود، حدود ۰/۲ تا ۰/۵ درصد است.

سیلیکات سدیم در نمودار ۵-۲ بیش‌ترین اثر را بر سیالیت دارد؛ یعنی با استفاده از سیلیکات سدیم می‌توان به ویسکوزیته‌ی کم‌تری دست یافت.



نمودار ۵-۲- منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) برحسب نوع روان‌ساز مصرفی

خاطر نشان می‌شود هر نوع رسی با یک نوع روان‌ساز بهترین نتیجه را می‌دهد. گاهی برای یافتن بهترین سیالیت مخلوطی از دو یا چند روان‌ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به مطالب گفته شده، همیشه تهیه‌ی دوغاب با خواص جریانی مطلوب به سادگی مقدور نیست، زیرا هم در آب و هم در خاک‌های معدنی یون‌های فلوکولانت<sup>۱</sup> یافت می‌شود که بر روان‌سازی اثر منفی می‌گذارند.

۱- اِکی‌والان ظرفیت تبادل یونی عبارت است از اِکی‌والان یون‌های قابل تعویض به ازای جرم یا حجم واحد ماده مبادله‌کننده یون.

۲- موادی که سبب فلوکولاسیون (بستن) دوغاب می‌شوند و ویسکوزیته‌ی آن را زیاد می‌کنند.

در جدول ۲-۱ روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک را مشاهده می‌کنید.

جدول ۲-۱- روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک

روان‌سازهای غیر آلی (معدنی)	روان‌سازهای آلی
کربنات سدیم	پلی‌اکریلات سدیم
سیلیکات سدیم	پلی‌اکریلات آمونیم
یورات سدیم	سیترات سدیم
تری‌پلی‌فسفات سدیم	تارتارات سدیم
	پلی‌سولفونات سدیم
	سیترات آمونیم

### ویژگی‌های دوغاب روان‌سازی شده

دوغاب روان‌سازی شده، باید تقریباً واکنش ثابتی از خود نشان دهد. بنابراین، لازم است مبنایی وجود داشته باشد که با اندازه‌گیری آن‌ها بتوان به خواص جریان‌دهی دوغاب پی برد. این عوامل عبارت‌اند از:

۱- درصد آب دوغاب،

۲- ویسکوزیته‌ی دوغاب،

۳- وزن لیتر یا دانسیته‌ی دوغاب،

۴- (pH) دوغاب.

۱- درصد آب دوغاب: ترجیح داده می‌شود مقدار درصد آب دوغاب به حداقل برسد. از

این رو، جنس «آمیز» انتخاب شده با اهمیت خواهد بود. هر چه میزان مواد رُسی «آمیز» افزایش یابد، دوغاب به آب بیش‌تری، نیازمند است. اما از دیگر سو، افزایش مواد رُسی، قابلیت روان‌سازی دوغاب را بهبود می‌بخشد.

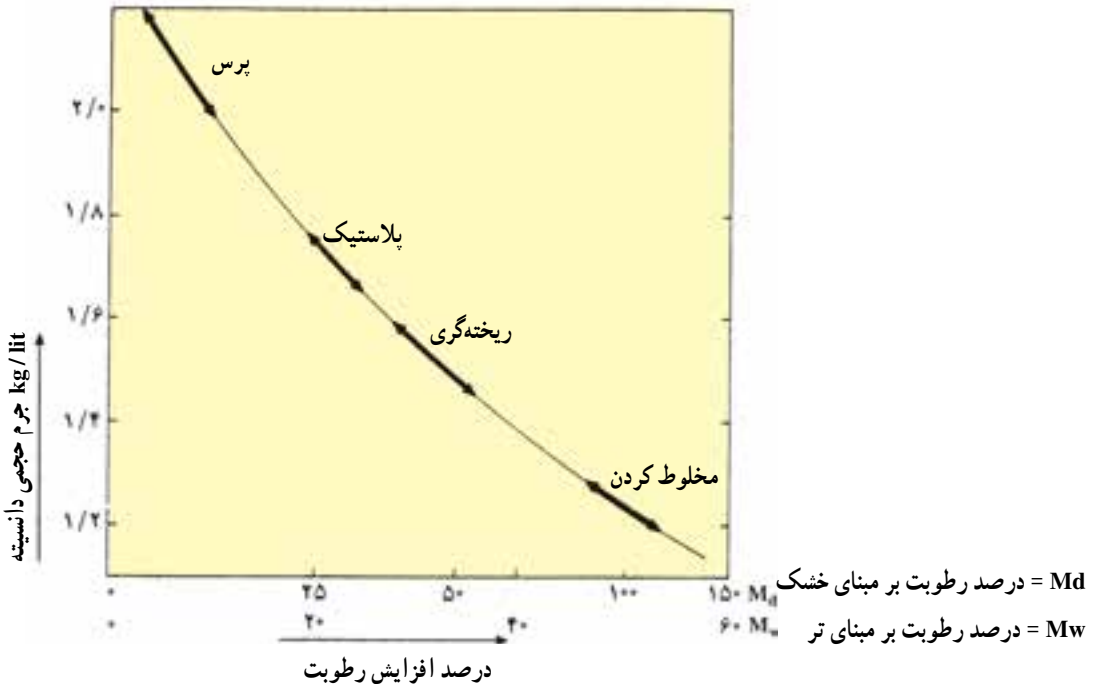
محدوده‌ی درصد آب برای دوغاب‌ها، مطابق جدول ۲-۲ است.



جدول ۲-۲

نوع آمیز	درصد آب بر مبنای تر
فایر کلی	۱۶ - ۱۸
استون ور	۲۰ - ۲۲
ارتن ور و چینی نرم	۲۳ - ۲۸
چینی سخت	۲۸ - ۳۰
چینی استخوانی (بدون دی فلوکولانت)	۵۰
چینی استخوانی (با دی فلوکولانت)	۳۵

طبیعی است این ارقام با تغییر جنس و اندازه‌ی ذرات آن‌ها، اندکی تغییر می‌یابد. هرچه درصد آب کاهش یابد، سرعت ریخته‌گری زیادتر و زمان آن کوتاه‌تر می‌شود. هم‌چنین انقباض و زمان خشک شدن قطعه نیز کاهش می‌یابد و همان‌طور که می‌دانید در مجموع هزینه‌ی تولید نیز پایین می‌آید.



نمودار ۲-۶ - درصد آب دوغاب بدنه برای ریخته‌گری دوغابی بین ۲۷ تا ۳۵ مقدار است.

**۲- ویسکوزیته‌ی دوغاب :** ویسکوزیته عکس سیال بودن است. دوغاب مناسب برای ریخته‌گری باید دارای ویسکوزیته‌ی مناسبی باشد. افزایش درصد آب و انتخاب نوع و مقدار روان‌ساز، بر روی ویسکوزیته تأثیر می‌گذارد. به‌خصوص با استفاده از روان‌ساز مناسب، بدون این که مقدار آب افزایش یابد، می‌توان کاهش چشم‌گیری در ویسکوزیته‌ی دوغاب ایجاد کرد. معمولاً ویسکوزیته‌ی دوغاب چینی حدود ۴ تا ۵ پواز (دسی پاسکال ثانیه) است. اگرچه در عمل بیش‌تر از ویسکوزیته‌ی ریزشی برای سنجش سیالیت مناسب استفاده می‌شود.

اندازه‌ی ویسکوزیته به دو روش صورت می‌گیرد :

**الف - روش غیر مستقیم:** در این روش، حجم مشخص از دوغاب را (مثلاً ۱۰۰ cc) در ظرفی به شکل قیف با ابعاد مشخص (ویسکوزیمتر ریزشی) می‌ریزند؛ سپس زمان خروج دوغاب از قیف را اندازه‌گیری می‌کنند. هرچه ویسکوزیته‌ی دوغاب کم‌تر باشد، زمان به‌دست آمده نیز کم‌تر خواهد بود. هرچند زمان ریزش دوغاب (t) واحد ویسکوزیته نیست، به‌طور غیر مستقیم نشان دهنده‌ی ویسکوزیته (نا روانی) دوغاب است. ضمن این که هرچه زمان ریزش کم‌تر باشد دوغاب روان‌تر است.



شکل ۲-۷- ویسکوزیمتر چرخشی

**ب - روش مستقیم:** در این روش دوغاب آماده را کاملاً به هم می‌زنند؛ سپس آن را زیر دستگاه ویسکوزیمتر چرخشی قرار می‌دهند. این دستگاه دارای میله‌ای است که به انتهای آن یک صفحه‌ی مدور وصل شده است. این صفحه در داخل دوغاب به چرخش درمی‌آید. هرچه دوغاب سفت‌تر باشد، چرخش صفحه کندتر می‌شود و نیروی لازم برای چرخش افزایش می‌یابد. با اندازه‌گیری مقاومت دوغاب در مقابل چرخش ویسکوزیته دوغاب مستقیماً به دست می‌آید (شکل ۷-۲).

**۳- دانسیته‌ی دوغاب:** سومین فاکتور قابل اندازه‌گیری دوغاب، دانسیته یا وزن لیتر آن است. در یک

ظرف یک لیتری که قبلاً وزن شده، دوغاب ریخته می‌شود؛ سپس وزن ظرف حاوی دوغاب محاسبه می‌شود. از تقسیم وزن دوغاب به حجم آن (یک لیتر)، دانسیته‌ی آن به‌دست می‌آید. هرچه درصد مواد جامد بیش‌تر باشد، دانسیته‌ی آن بیش‌تر خواهد بود. معمولاً دانسیته‌ی دوغاب بدنه‌ی چینی بین ۱/۶ تا ۱/۸ گرم بر سانتی متر مکعب است. حال آن که معمولاً دانسیته‌ی دوغاب لعاب بین ۱/۳ تا ۱/۶

گرم بر سانتی متر مکعب قرار دارد و دانسیته‌ی مناسب دوغاب لعاب متناسب با روش اعمال لعاب بر بدنه (ریزش، اسپری یا غوطه‌وری) تعیین می‌گردد.

۴- pH) دوغاب: حل شدن نمک‌های مختلف در دوغاب، اثر مستقیمی بر روی اسیدیته یا بی‌هاش سیستم دارد، برای مثال فلوکولاسیون در بی‌هاش‌های کم، اتفاق می‌افتد؛ حال آن‌که دی‌فلوکولاسیون در محدوده‌ی بی‌هاش (بین ۶ تا ۸) روی می‌دهد؛ بنابراین، با اندازه‌گیری بی‌هاش دوغاب به وسیله‌ی بی‌هاش متر، از نظر تجربی می‌توان بسیاری از خصوصیات دوغاب را بررسی کرد. پس از شناخت فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب، ویژگی دوغاب مناسب برای ریخته‌گری را از نظر تجربی می‌توان چنین بیان کرد:

هنگامی که دوغاب بدنه به وسیله‌ی همزن شیشه‌ای به هم زده می‌شود، باید پشت همزن شیار ایجاد شود، ولی به‌زودی محو گردد. هم‌چنین اگر همزن از دوغاب بیرون کشیده شود، باید دوغاب از اطراف آن به صورت یک پارچه فرو بریزد (قطره قطره نچکد). در ضمن دوغاب باید برای مدتی به حال خود گذاشته شود (حدود ۲۴ ساعت) و رویه نبنند و در صورت رویه بستن باید در اولین هم‌زدن‌ها، این رویه مجدداً در دوغاب حل شود. در نهایت باید گفت: دوغاب نباید به‌سادگی ته‌نشین شود و رسوب کند.

برای رسیدن به حد مطلوب در دوغاب، عموماً آن را دست کم به مدت ۲ ساعت هم می‌زنند؛ سپس آن را ۲۴ ساعت به حال خود باقی می‌گذارند، زیرا زمان، اثر مطلوبی بر روی بروز خواص ثابت در دوغاب دارد. این خاصیت کهنگی نام دارد که در سرامیک از اهمیت خاصی برخوردار است. پس از طی این مراحل، آزمایش‌هایی بر روی دوغاب انجام می‌گیرد و در صورت مثبت بودن نتایج، برای مصرف به سالن‌های ریخته‌گری ارسال می‌شود.

## تشکیل جداره

هنگامی که دوغاب در تماس با قالب گچی قرار می‌گیرد، به دو دلیل جداره تشکیل می‌شود:

- ۱- جذب آب دوغاب به وسیله‌ی قالب گچی: به دلیل وجود تخلخل و لوله‌های موئین در قالب گچی، آب دوغاب لایه‌ی مجاور قالب به سرعت جذب می‌گردد و لایه‌ای از گل سفت بر روی جداره تشکیل می‌شود. این پدیده چگونه اثبات می‌شود؟

اگر این دوغاب در یک قالب متخلخل غیرگچی (مانند یک بدنه‌ی سفال) ریخته شود، به سبب جذب آب قالب متخلخل، باز هم بر روی بدنه‌ی قالب، جداره تشکیل می‌شود.

۲- تعویض یونی: هنگامی که دوغاب در تماس با جدارهی قالب گچی قرار می‌گیرد، در واقع یون کلسیم موجود در گچ وارد دوغاب می‌شود، آن را «فلوکوله» می‌کند؛ یعنی، در محل تماس، فلوکولاسیون رخ می‌دهد که منجر به تشکیل جداره می‌گردد.

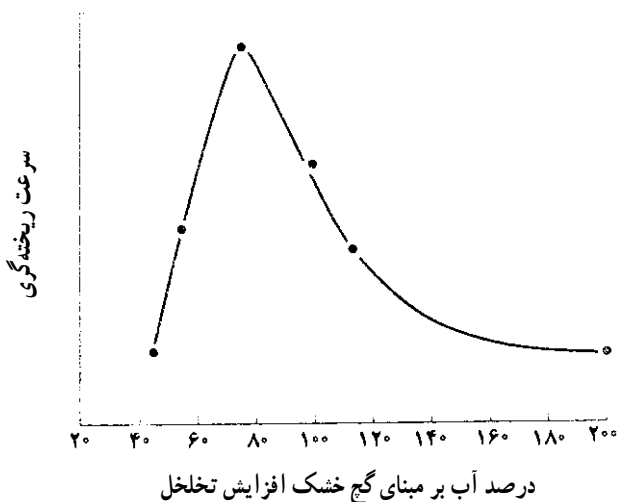
باید تأکید کرد که این پدیده، مهم‌ترین دلیل تشکیل جداره در قالب گچی در لحظات اولیه است. در ادامه با گذشت زمان، مکانیسم افزایش ضخامت جداره، بیش‌تر همان جذب آب به‌وسیلهی قالب است. یک آزمایش ساده موارد مطرح شده را ثابت می‌کند. اگر یک ظرف شیشه‌ای را که با محلول سولفات کلسیم<sup>۱</sup> پر شده است، تخلیه و خشک کنید، بر روی جدارهی ظرف شیشه‌ای که جذب آب ندارد یک لایه‌ی نازک سولفات کلسیم برجای می‌ماند. حال با ریختن دوغاب سرامیکی در داخل آن، پس از مدتی، هنگامی که دوغاب تخلیه شود مشاهده می‌کنید که لایه‌ای نازک از گل، اما محکم بر روی جدارهی شیشه‌ای تشکیل شده است. حال آن که هیچ‌گونه جذب آبی صورت نگرفته است.

به نظر شما دلیل تشکیل این جداره چیست؟ در پاسخ می‌توان گفت تشکیل این لایه‌ی سخت، به دلیل وجود ذرات سولفات کلسیم بر روی جدارهی شیشه است و همین باعث فلوکولاسیون دوغاب در سطح ظرف می‌شود.

رابطه‌ی تشکیل جداره با زمان و قالب: اگر زمان نگاه‌داری دوغاب در قالب افزایش یابد، ضخامت جدارهی تشکیل شده نیز زیادتر می‌شود. اما این نوعی رابطه‌ی خطی نیست. در واقع سرعت ریخته‌گری در ابتدای فرآیند زیاد است، اما هرچه ضخامت جداره بیش‌تر شود، سرعت ریخته‌گری کندتر می‌گردد. این بدان معنی است که گرچه افزایش زمان ریخته‌گری، ضخامت قطعه را زیاد می‌کند، اما سرعت تشکیل جداره را به تدریج می‌کاهد.

از سوی دیگر، قالب، در تشکیل جداره و ضخامت آن بسیار تأثیرگذار است. هرچه مقدار آب در ساخت قالب گچی بیش‌تر باشد، قالب پس از خشک شدن، تخلخل و لوله‌های مویین بیش‌تری خواهد داشت. پس انتظار می‌رود ریخته‌گری با قالبی که درصد تخلخل بیش‌تری دارد، سریع‌تر انجام گیرد؛ یعنی در یک زمان مساوی جدارهی تشکیل شده در قالب با تخلخل بیش‌تر، ضخیم‌تر باشد (نمودار ۸-۲).

۱- گچ همان سولفات کلسیم آبدار  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است.



نمودار ۸-۲- منحنی تغییرات سرعت ریخته‌گری (ضخامت) بر حسب درصد آب قالب

توجه کنید: اگر درصد آب لازم برای ساخت قالب گچی از حد معینی (۹۵ درصد) بیش‌تر شود، مجدداً سرعت ریخته‌گری کاهش می‌یابد. چون قدرت مکش لوله‌های موئین کم‌تر می‌شود. درصد آب لازم برای ساخت قالب‌های معمولی، بین ۷۵ تا ۹۵ درصد وزن خشک گچ است؛ یعنی برای ۱۰۰ گرم گچ، بین ۷۵ تا ۹۵ گرم آب احتیاج است.

**عیوب ریخته‌گری دوغابی و راه‌های برطرف کردن آن‌ها:** بعضی از عیوب، فقط در قطعاتی مشاهده می‌شوند که از ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌گردند. این عیوب عبارت‌اند از:

۱- دایره دایره شدن (ایجاد دوایر)

۲- خط درز

۳- سوراخ‌های سنجاقی

۴- لکه یا خال ریخته‌گری

۱- **دایره دایره شدن (ایجاد دوایر):** در صورتی که در ریختن دوغاب به داخل قالب توقفی پیش‌آید، پس از خارج شدن قطعه از قالب در محل تماس دوغاب با قالب گچی، خطوط دایره شکلی دیده می‌شود که پس از پخت جلای شیشه‌ای می‌یابد و احتمال دارد در صورت اعمال لعاب شفاف (ترانس) پس از پخت لعابی این دوایر دیده شوند. به این عیب، عیب دایره دایره شدن می‌گویند.

این پدیده، با زیاد شدن قدرت جذب آب قالب، تشدید می‌شود. برای آن می‌بایست ریختن

دوغاب در قالب با سرعت یکنواخت و بدون توقف صورت گیرد.

شاید بتوان گفت که دلیل اصلی بروز این عیب، ترکیب «آمیز» بدنه است؛ به خصوص اگر در آن میکا وجود داشته باشد. چون میکا به صورت یک لایه‌ی فوقانی از سایر اجزای دوغاب جدا می‌شود و هنگام ریختن در قالب، رویه‌ی بدنه را تشکیل می‌دهد. به طور کلی با کاهش یا حذف میکا، هم‌چنین کاهش ذرات کلوئیدی این عیب را می‌توان برطرف نمود.

**۲- عیب خط درز:** بیش‌تر قالب‌هایی که در ریخته‌گری دوغابی استفاده می‌شوند، چند تکه هستند؛ بنابراین، به هنگام تشکیل جداره، مقدار کمی دوغاب به داخل درزها نفوذ می‌کند، در نتیجه با باز کردن قالب، زوایدی بر روی جداره‌ی درزها به صورت برجسته باقی می‌ماند. این عیب در بدنه‌های بدل‌چینی به سادگی و به وسیله‌ی کاردک و اسفنج مرطوب برطرف می‌شود، اما در بدنه‌های چینی سخت، این عیب حتی بعد از پخت نیز آشکار می‌شود و به‌سادگی رفع نمی‌شود.

دلیل این موضوع، جهت‌گیری ذرات است. در بدنه‌ی چینی استخوانی، در صورتی که در حین ریخته‌گری به محل درزها ضربه زده شود، این جهت‌گیری در درزها به صورت اتفاقی خواهد بود و این عیب کاهش می‌یابد. به شرط این که در مرحله‌ی پرداخت کاری (در حالت نیمه‌عادی) زواید به‌خوبی پاک شده باشند، اما منحصراً در بدنه‌های چینی سخت می‌توان پرداخت کاری خط درز را بعد از پخت بیسکویت و به وسیله‌ی چرخ سنباده انجام داد تا اثر آن پس از پخت مشاهده نشود.

**۳- عیب سنجاقی:** گاهی بر روی سطوح بدنه‌ی ریخته‌گری شده، سوراخ‌هایی به اندازه‌ی ته‌سنجاق بر روی بدنه (بدون لعاب) مشاهده می‌شود. این عیب به دلیل حبس حباب‌های ریز هوا در دوغاب است، هنگامی که این حباب‌ها در سطوح خارجی بدنه قرار گرفته باشند. بنابراین، هر عامل ایجادکننده‌ی حباب در دوغاب باعث بروز این عیب می‌گردد. ویسکوزیته‌ی زیاد دوغاب و هم‌زدن سریع، آن دلایل بروز این پدیده‌اند.

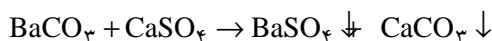
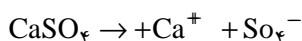
**۴- لکه یا خال ریخته‌گری:** به علت تخلیه نامناسب دوغاب و ماندن قطره در ته قطعه عیب لکه یا خال ریخته‌گری بوجود می‌آید که با تخلیه تحت زاویه  $45^\circ$  دوغاب از قالب می‌توان از این عیب جلوگیری نمود و یا در برخی موارد اولین قطره دوغاب در تماس با قالب گچی سریع خشک شده و یک لکه یا برآمدگی در ته قطعه ایجاد می‌نماید که با آرامی و یک‌نواخت ریختن دوغاب از این عیب هم می‌توان جلوگیری کرده و یا آن را به حداقل رساند.

برای جلوگیری از بروز این عیب، می‌توان هنگام ریختن دوغاب، ظرف دوغاب را با فاصله‌ی نزدیک‌تری به قالب نگه داشت و یا در صورت امکان هنگام ریختن دوغاب، قالب را چرخاند.

## ویژگی های دوغاب برگشتی

گفته شد در ریخته‌گری توخالی، دوغاب مازاد تخلیه می‌شود. دوغاب‌های تخلیه شده از نظر درصد آب، دانسیته و ویسکوزیته دست‌خوش تغییراتی شده‌اند. بنابراین، برای استفاده‌ی مجدد از آن‌ها، می‌توان با جمع کردن آن‌ها در یک حوضچه، نسبت به تنظیم مجدد آن‌ها اقدام کرد.

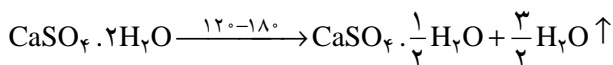
یکی از مهم‌ترین تغییراتی که ممکن است در دوغاب برگشتی روی دهد، وارد شدن یون کلسیم ( $\text{Ca}^{+}$ ) از طریق قالب گچی است که دوغاب را فلوکوله می‌کند. اثر این یون‌ها را می‌توان با افزودن حداکثر ۱/۸ درصد برمبنای خشک، کربنات باریم از بین برد. به این واکنش دقت کنید:



در نتیجه، یون مزاحم کلسیم ( $\text{Ca}^{+}$ ) ناشی از سولفات کلسیم با کربنات باریم واکنش داده و به صورت کربنات کلسیم رسوب می‌کند. بنابراین، اثر مخرب یون‌های فلوکوله‌کننده از بین می‌رود؛ ترکیبات تشکیل شده (کربنات کلسیم و سولفات باریم) در آب نامحلول هستند.

## گچ و قالب‌های گچی

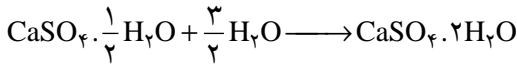
گچی که در صنعت سرامیک استفاده می‌شود، سولفات کلسیم با نیم‌مول آب است ( $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ )،  $\text{CaSO}_4$  و از پخت سنگ گچ به دست می‌آید، که مینرال عمده‌ی آن ژیس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) است. دمای لازم برای این عمل، بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ سانتی‌گراد است.



در تولید گچ قالب‌سازی، باید بسیار دقت نمود تا محصول از نظر ترکیب و ناخالصی، در حد مطلوب باشد.

بهترین نوع گچ، گچ  $\alpha$  نام دارد که نسبت به نوع  $\beta$  خواص بهتری را داراست. اما به دلیل گرانی، روش تولید گچ مورد مصرف در صنایع سرامیک مخلوطی از  $\alpha$  و  $\beta$  است که البته درصد بیش‌تری از آن را  $\beta$  تشکیل می‌دهد. در فرآوری گچ، فاز  $\alpha$  ویژگی‌های خوبی مانند استحکام بالا، اندازه‌ی کریستال‌های درشت‌تر و تبلور بیش‌تر از خود نشان می‌دهد. اما در گچ مصرفی برای ریخته‌گری دوغابی حضور هر دو فاز  $\alpha$  و  $\beta$  به صورت مخلوط نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

می‌دانیم که مخلوط حاصل از گچ و آب به تدریج سفت می‌شود؛ این عمل را «گیرش گچ» می‌گویند. در واقع، گچ در مجاورت آب مجدداً با جذب آب به صورت بلورهای ژپس متبلور می‌شود. این واکنش گرمازاست.



در حقیقت با این عمل کریستالیزاسیون رخ می‌دهد و به هنگام تبلور، بلورهای سوزنی شکل ژپس در هم فرو می‌روند و یک توده‌ی سخت و محکم را تشکیل می‌دهند.

سرعت گیرش گچ، بسته به نوع ماده‌ی اولیه و شرایط تشکیل محصول، متفاوت است. اما می‌توان با مواد افزودنی، گیرش آن را سرعت بخشید یا کند کرد.

برخی افزودنی‌ها به دوغاب گچ موجب کندشدن یا تسریع گیرش می‌شوند، سریشم، بوراکس و برخی چسب‌های آلی کندکننده و سولفات، نترات و کلرید پتاسیم تسریع‌کننده‌ی گیرش گچ‌اند.

با مروری بر درس‌های گذشته درمی‌یابید که در ساخت سرامیک‌ها، چه در روش پلاستیک و چه ریخته‌گری دوغابی، از قالب‌های گچی استفاده فراوانی می‌شود؛ بنابراین، گچ و قالب‌های گچی در صنعت سرامیک اهمیت بسیار زیادی دارند.

ویژگی‌های قالب مناسب برای ریخته‌گری دوغابی با قالبی که در روش پلاستیک دستگامی به کار گرفته می‌شود، متفاوت است، بنابراین، می‌توان به این نکات اشاره کرد:

۱- قالب‌های مورد استفاده در ریخته‌گری دوغابی باید تخلخل بیش‌تری داشته باشند.  
 ۲- در شکل دادن پلاستیک دستگامی، قالب‌ها باید استحکام بیش‌تر و در نتیجه تخلخل کم‌تری داشته باشند.

۳- در ساخت قالب‌های اصلی و مادر باید کم‌ترین تخلخل در نظر گرفته شود. چون در این نوع قالب‌ها، تراکم و استحکام بالا بسیار مورد توجه است.

هر قالب گچی برای روش پلاستیک دستگامی حدود ۳۰ درصد تخلخل دارد و عمر مفید آن حدود ۲۰۰ سیکل در تولید است، اما در ریخته‌گری دوغابی درصد تخلخل حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد است و بسته به نوع محصول بین ۵۰ تا ۶۰ سیکل در تولید به کار می‌روند.

از گچ ساختمانی نمی‌توان در ساخت قالب‌های سرامیکی استفاده کرد زیرا از نظر نوع فاز، خلوص و خواص فیزیکی مناسب نیست. گچ قالب‌سازی در شرایط کنترل‌شده‌ای تولید می‌شود تا ویژگی‌های لازم را داشته باشد.



## کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مختلف سرامیک

تا به حال با اهمیت و کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در تولید انواع محصولات سرامیکی



آشنا شده‌اید. قوری، قندان، گلدان، چینی‌های بهداشتی، حتی فنجان و دیرگدازها و ... از جمله محصولاتی هستند که به این روش تولید می‌شوند. امروزه ریخته‌گری دوغابی با مواد غیر رسی، در صنایع نوین سرامیک، اهمیت به‌سزایی یافته است. معمول این است که آلومینا، سیلیکا، منیزیا، کاربید سیلیسیم و نظایر آن را با مواد افزودنی مناسب به‌صورت دوغاب درمی‌آورند، سپس دوغاب حاصل‌شده را در یک قالب متخلخل، مانند گچ، می‌ریزند و بدین ترتیب محصول موردنظر را شکل می‌دهند. بخش عمده‌ای از سرامیک‌های نوین و

شکل ۹-۲- بوت‌های آلومینایی که به روش ریخته‌گری دوغابی (غیر رسی) ساخته شده‌اند.

مهندسی که در صنایع پیشرفته‌ی امروز به‌کار می‌روند، با این روش تولید می‌شوند. بوت‌ها، لوله‌ها و شکل‌های خاصی از جنس آلومینا و کاربید سیلیسیم و کاست‌های نسوز (ساگار) کلاهیک رادارهای پرنده نیز از جمله فرآورده‌هایی هستند که با این روش تولید می‌شوند.

در بعضی از این روش‌ها برای تهیه‌ی دوغاب به‌جای آب، از مایعات دیگری نظیر الکل و محلول‌های آلی استفاده می‌شود.

تنوع و گستردگی کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مربوط به سرامیک‌های نوین، روزبه‌روز در حال افزایش است و اهمیت آن بیش‌تر می‌شود.

## مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی

شاید بتوان گفت مهم‌ترین مزیت این روش، امکان تولید قطعات پیچیده است. با این توضیح که به‌وسیله‌ی گچ می‌توان از یک قطعه‌ی خاص، قالب‌های چند تکه تهیه کرد؛ سپس دوغاب تهیه شده را درون قالب ریخت و قطعات توخالی یا توپر را تولید نمود؛ یعنی قطعاتی که امکان شکل دادن آن به‌وسیله‌ی دیگر روش‌ها وجود ندارد یا از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه نیست، زیرا ساخت قالب‌های فلزی، مشکل و پرهزینه است.

از طرف دیگر، باید گفت که در فرآیند شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی، به تجهیزات و دستگاه‌های پیچیده و گران، نیازی نیست.

با این همه، این روش کاستی‌هایی نیز دارد. پیش‌تر گفته شد که مثلاً سرعت تولید آجر ساختمانی با روش اکستروژن به ۲۰۰۰۰ قالب در ساعت نیز می‌رسد و یا سرعت تولید یک فنجان در روش رولر ۲۰ عدد در دقیقه است. حال آن که زمان لازم برای تشکیل جداره در قالب گچی حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه و در برخی موارد به ۱/۵ تا ۲ ساعت نیز می‌رسد.

بنابراین، «زمان بر بودن تولید به روش ریخته‌گری دوغابی» را می‌توان ضعف عمده‌ی این روش به‌شمار آورد. گرچه با افزایش تعداد قالب و روش‌های خاصی چون ریخته‌گری تحت فشار و چرخش قالب حین ریخته‌گری، می‌توان تا حدی سرعت تولید را در این روش بهبود بخشید. از طرف دیگر، چون انقباض قطعاتی که از ریخته‌گری دوغابی تولید می‌شوند زیاد است، تنظیم ابعاد محصولات در این روش دشوار خواهد بود.

## پرسش‌های فصل دوم

- ۱- مهم‌ترین مزیت روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟
- ۲- انواع ریخته‌گری دوغابی کدام است؟
- ۳- دلایل استفاده از روان‌سازها را در دوغاب‌های ریخته‌گری بنویسید.
- ۴- انواع روان‌سازها را تقسیم‌بندی کنید و چند مثال بزنید.
- ۵- مقدار روان‌ساز مصرفی، برحسب وزن خشک «آمیز»، عموماً چه قدر است؟
- ۶- فاکتورهای قابل اندازه‌گیری در یک دوغاب کدام‌اند؟
- ۷- چرا درصد آب کم‌تر در دوغاب ترجیح داده می‌شود؟
- ۸- وزن لیتر دوغاب‌های بدنه و لعاب چینی در چه محدوده‌ای قرار دارد؟
- ۹- دلایل تشکیل جداره در قالب گچی را به تفصیل بیان کنید.
- ۱۰- عیوب ریخته‌گری دوغابی را نام ببرید.
- ۱۱- در یک دوغاب برگشتی چگونه می‌توان اثر افزایش یون کلسیم را از بین برد؟
- ۱۲- عوامل تسریع‌کننده و کندکننده‌ی در گچ را تعریف کنید و از هر کدام مثالی بزنید.
- ۱۳- نقش ریخته‌گری دوغابی را در صنایع نوین سرامیک بیان کنید.
- ۱۴- ضعف اصلی روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟