

## پودمان ۴

### کاربرد دیرگدازها و جرم نسوز



بسیاری از محصولات صنعتی برای تکمیل فرایند تولید به کوره نیاز دارند. دستیابی به دمای بالا در کوره‌ها بدون استفاده از دیرگدازها امکان‌پذیر نیست. دیرگدازهای متنوعی براساس ویژگی و کاربرد توسعه یافته‌اند. در ساخت انواع کوره‌های صنعتی، انتخاب صحیح دیرگدازها نقش مهمی در کارایی کوره ایفا می‌کند.

آیا می‌توان از آجر معمولی برای ساخت شومینه استفاده کرد؟



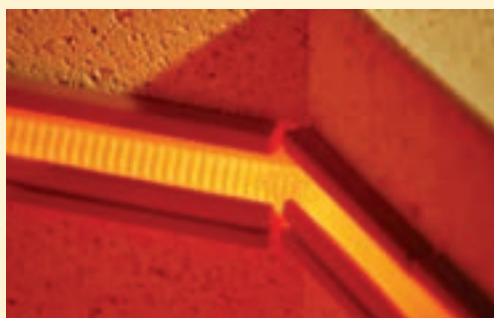
شکل ۱

در کوره کارگاهی را در حالت خاموش و سرد باز کنید و به داخل آن نگاه کنید. به نظر شما آجرها و مواد به کاررفته در دیواره داخلی آن چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد؟

فکر کنید



شکل ۳ - کوره الکتریکی

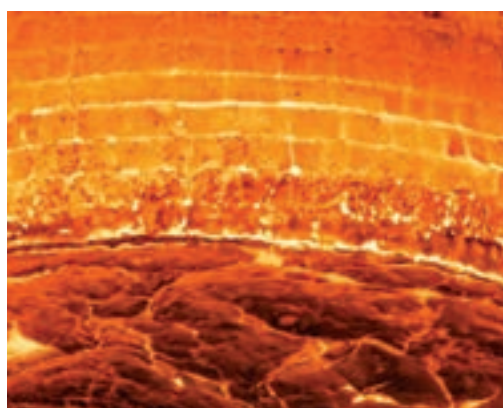


شکل ۲ - المنت یک کوره الکتریکی در حال کار

دیرگدازها مواد سرامیکی هستند که قابلیت تحمل دمای بیش از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس را دارند، بدون آنکه در خواص فیزیکی و شیمیایی آنها تغییری اتفاق بیفتد. دیرگدازی یک ماده، معیاری برای بیان محدوده دمای قابل استفاده از آن است.



شکل ۵ - پاتیل خالی حمل مذاب فولاد



شکل ۴ - آجرهای دیرگداز پاتیل در تماس با مذاب فولاد

## وظایف دیرگذاها

محفظه داخلی کوره‌ها حاوی گازهای خورنده با دمای بسیار بالا است. در برخی از موارد نیز به ساخت و حمل مواد گداخته با دمای بالا نیاز است. برای مثال کوره ذوب فولاد یا پاتیل‌های حمل مذاب فولاد دمایی بیش از ۱۴۰۰ درجه سلسیوس دارند. وظیفه دیرگذاها علاوه بر کاهش انتقال حرارت و جلوگیری از اتلاف انرژی، محافظت از جداره بیرونی کوره در برابر خوردگی و دمای بالای داخل آن است.



شکل ۶- وظایف اصلی دیرگذاها

دیرگذاها و جداره بیرونی را در کوره‌های زیر مشخص کنید.

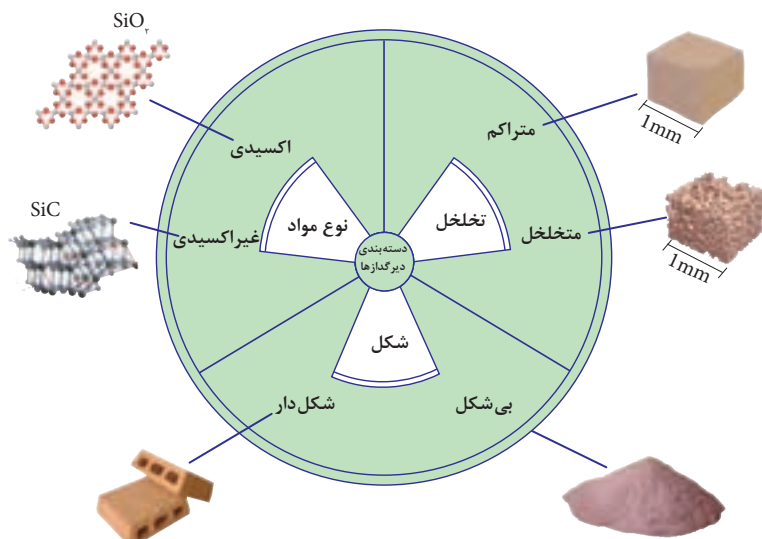
فعالیت کلاسی



شکل ۸

شکل ۷

با توجه به اینکه دیرگدازها در صنایع تولیدی مختلف شامل سرامیک، شیشه، ذوب فلزات و تولید انواع مواد شیمیایی مانند اسیدها کاربرد دارند، دیرگدازهایی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف توسعه پیدا کرده‌اند. دیرگدازها را می‌توان با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی مانند شکل، تراکم و نوع مواد دسته‌بندی کرد.



شکل ۹- دسته‌بندی دیرگدازها

### جدول ۱

تعریف و کاربرد		دسته‌بندی دیرگداز	
دیرگدازهایی که تخلخل کمتر از ۴۵ درصد حجمی دارند.	متراکم	براساس تخلخل	
دارای استحکام بالایی بوده و برای شرایط تحت فشار، ضربه یا سایش مناسب هستند.			
دیرگدازهایی که تخلخل بیش از ۴۵ درصد حجمی دارند.	متخلخل	براساس شکل	
دارای ضریب انتقال حرارتی کمی بوده و برای کاهش هدررفت حرارت و انرژی مناسب هستند.			
دیرگدازهایی که با شکل و ابعاد مشخص تولید می‌شوند و به محل مصرف انتقال می‌یابند.	شکل دار	براساس شکل	
برای چیدمان منظم و دقیق مناسب هستند.			
دیرگدازهایی که به صورت کیسه‌ای بسته‌بندی شده و در محل مصرف شکل داده می‌شوند.	بی شکل	براساس نوع مواد	
برای چسباندن دیرگدازهای شکل دار و ساخت دیواره‌های بدون درز و اشکال پیچیده مناسب هستند.			
دیرگدازهایی که حاوی مواد اکسیدی هستند.	اکسیدی	غیراکسیدی	
برای شرایط اکسیدی و کاربردهای معمول مناسب است.			
دیرگدازهایی که حاوی مواد غیراکسیدی هستند.	غیراکسیدی		
برای شرایط احیایی و کاربردهای ویژه مناسب است.			

دیرگدازها براساس میزان تخلخل به دو دسته متخلخل و متراکم تقسیم می‌شوند. دیرگدازهای متخلخل بیش از ۴۵ درصد حجمی تخلخل دارند و سبک بودن و انتقال حرارت کم از جمله ویژگی‌های بارز این نوع دیرگدازها است؛ بنابراین بیشتر به عنوان عایق حرارتی استفاده می‌شوند. هرچه تخلخل کمتر باشد، دیرگداز متراکم‌تر است و استحکام بیشتری خواهد داشت و در نتیجه مقاومت آن در برابر سایش، ضربه و فشار افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۱۲- آجر آلومینایی متراکم



شکل ۱۱- آجر آلومینایی متخلخل



شکل ۱۰- قطعه متخلخل

دیرگدازها براساس شکل ظاهری نیز به دو دسته شکل دار و بی شکل تقسیم می‌شوند. دیرگدازهایی که در محل تولید با روش‌های مختلف مانند پرس، اکستروژن یا ریخته‌گری دوغابی شکل داده می‌شوند و سپس به محل مصرف انتقال می‌یابند، دیرگدازهای شکل دار نامیده می‌شوند. بسته به نوع و محل کاربرد، دیرگدازهای شکل دار متنوعی وجود دارد.



شکل ۱۵- مبلمان کوره



شکل ۱۴- راهگاه مذاب



شکل ۱۳- آجر دیرگداز

دسته دیگری از مواد دیرگداز نیز به صورت پودر خشک یا ملات به محل مصرف منتقل می‌شود تا با روش‌هایی مانند پاشیدن یا کوبیدن استفاده شود. جرم‌ها یا همان دیرگدازهای بی شکل را مونولیت<sup>۱</sup> نیز می‌نامند که به معنی یکپارچه بودن و نداشتن درز است.

۱- monolith



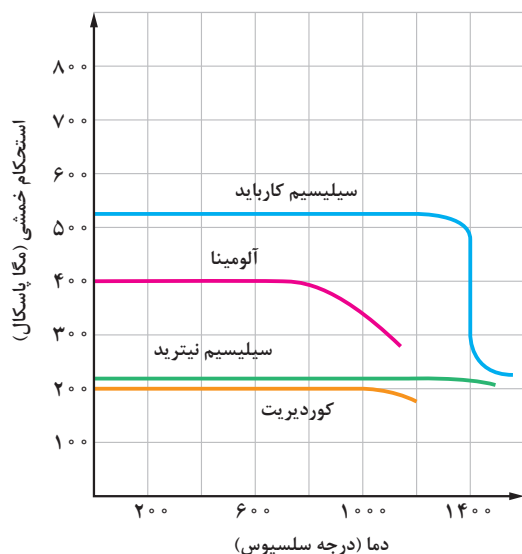
شکل ۱۷ - ملات پاشیدنی دیرگداز



شکل ۱۶ - جرم دیرگداز

مواد مورد استفاده در ساخت دیرگداز را نیز می‌توان به دو دسته اکسیدی و غیراکسیدی تقسیم‌بندی کرد. دیرگدازهای اکسیدی معمول‌ترین نوع دیرگدازهای مورد استفاده در صنعت هستند و بیشتر دارای اکسیدهایی مانند آلومینیوم اکسید (آلومینا)، سیلیسیم اکسید (سیلیس) و منیزیم اکسید (منیزیت یا منیزیا) هستند. از دیگر ترکیبات مانند کرومیت، زیرکن و زیرکینا نیز در برخی محصولات دیرگداز به منظور افزایش مقاومت به سایش استفاده می‌شود.

دیرگدازهای غیراکسیدی عمدتاً از مواد نیتریدی یا کاربیدی ساخته می‌شوند و مهم‌ترین ویژگی آنها علاوه بر دیرگدازی، حفظ استحکام مکانیکی در دمای بالا است. از مهم‌ترین این مواد، سیلیسیم کارباید و سیلیسیم نیترید هستند که استحکام خمشی خود را تا دمای ۱۴۰۰ درجه سلسیوس حفظ می‌کنند.



شکل ۱۸ - نمودار استحکام خمشی چند ماده دیرگداز بر حسب دما

مهم‌ترین مشکل استفاده از دیرگدازهای غیراکسیدی، امکان اکسیدشدن در محیط حاوی اکسیژن و تجزیه شدن در دمای بالا است. برای مثال، سیلیسیم نیترید در دمای ۱۹۰۰ درجه سلسیوس شروع به تجزیه شدن و آزاد کردن نیتروژن می‌کند.



## جدول ۲

نوع ماده	مزایا	معایب
اکسیدی	فراوانی مواد و ارزان بودن	افت استحکام در دمای کمتر از ۱۳۰۰ درجه سلسیوس
غیراکسیدی	حفظ استحکام تا دمای ۱۴۰۰ درجه سلسیوس	۱- اکسید شدن در محیط حاوی اکسیژن ۲- تجزیه شدن در دمای بالا ۳- هزینه بالا

با راهنمایی هنرآموز خود مشخص کنید که محصولات دیرگداز زیر در کدام دسته بندی قرار می گیرند.

فعالیت کلاسی



## جدول ۳

نوع مواد	تراکم	شکل	دیرگداز	
.....	.....	.....	جرم عایق آلومینایی	
.....	.....	.....	آجر عایق آلومینایی	
اکسیدی	متراکم	شکل دار	آجر سیلیسی	
.....	.....	.....	بوته گرافیتی	
اکسیدی	متخلخل	بی شکل	پتوی آلومینایی	
اکسیدی	متراکم	بی شکل	سیمان آلومینات کلسیم	

با توجه به شرایط و محل نصب، دیرگدازها باید ویژگی‌های مناسب داشته باشند که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:



شکل ۱۹

مقاومت به شوک حرارتی به این معنا است که قطعه با تغییرات ناگهانی دما دچار شکست و آسیب نشود. در کوره، مبلمان کوره و محل قرارگیری المنت‌های الکتریکی به دلیل گرمایش و سرمایش متناوب و سریع باید در برابر شوک حرارتی مقاوم باشند. دیرگداز مقاومت به شوک حرارتی، ضریب انتقال حرارت بالا و ضریب انبساط حرارتی کمی دارد. برای مثال کوردیریت با فرمول  $۲MgO \cdot ۲Al_2O_3 \cdot ۵SiO_2$  مقاومت به شوک حرارتی بالایی دارد و برای ساخت راهگاه‌های المنت‌های الکتریکی مناسب است.



شکل ۲۰- راهگاه‌های کوردیریتی برای قرارگیری المنت‌های الکتریکی



### تحمل دمایی دیرگدازها

آلومینا، سیلیس و منیزیت اکسیدهای اصلی مورد استفاده در ساخت محصولات دیرگداز هستند. از ترکیبات دیگری مانند کلسیم اکسید، زیرکن و زیرکینا، سیلیسیم کارباید نیز در محصولات دیرگداز پیشرفته استفاده می‌شود.

جدول ۴

دمای ذوب (درجه سلسیوس)	فرمول	ماده
۲۸۰۰	MgO خالص	منیزیم اکسید خالص
۲۱۹۰	(۹۵-۹۰٪) MgO	منیزیم اکسید (۹۵-۹۰ درصد)
۲۵۷۰	CaO	کلسیم اکسید
۲۸۳۰	SiC	سیلیسیم کارباید خالص
۲۱۳۸	Cr <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	کروم اکسید
۲۰۵۰	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	آلومینای خالص
۱۷۱۵	SiO <sub>۲</sub>	سیلیس خالص
۲۷۰۰	ZrO <sub>۲</sub>	زیرکینا

اکسیدهای فلزی به صورت خالص عموماً دمای ذوب بسیار بالایی دارند ولی خالص سازی و استفاده از آنها به تنهایی برای ساخت قطعات دیرگداز صرفه اقتصادی ندارد. بنابراین از مواد معدنی یا ترکیبات حاصل از پخت و فراوری آنها استفاده می‌شود. این مواد با در نظر گرفتن نوع و درصد اکسیدهای اصلی و گدازآور موجود در آنها محدوده دمای ذوب گسترده‌ای دارند.

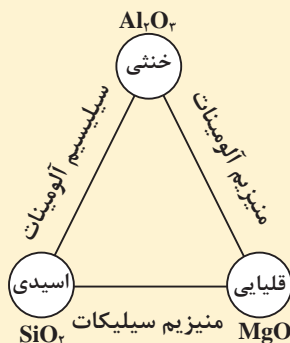
جدول ۵

دمای ذوب (درجه سلسیوس)	اکسیدهای اصلی موجود در ترکیب	نوع	ترکیب
۱۷۵۰-۱۷۶۰	SiO <sub>۲</sub> , Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	معدنی	کائولن
۱۵۰۰-۱۷۷۵	SiO <sub>۲</sub> , Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	معدنی	خاک نسوز
۱۹۲۰	SiO <sub>۲</sub> , Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	فراوری شده	مولایت
۱۴۰۰-۱۴۷۰	SiO <sub>۲</sub> , MgO, Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	فراوری شده	کوردیریت
۱۵۰۰	MgO, SiO <sub>۲</sub>	معدنی	تالک
۱۶۵۰-۱۷۶۰	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> , MgO, SiO <sub>۲</sub>	معدنی	اولیوین
۱۶۰۰-۱۸۰۰	CaO, Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	فراوری شده	سیمان آلومینات کلسیم



نسبت اکسیدهای اصلی در ترکیبات مواد معدنی و همچنین درصد و نوع ناخالصی‌های موجود در آنها تعیین‌کننده دمای ذوب است.

علاوه بر دیرگدازی و مقاومت به شوک حرارتی، باید به برهم‌کنش و تأثیر متقابل مواد داخل کوره و دیرگداز نیز توجه کرد تا از خوردگی شیمیایی دیرگدازها جلوگیری شود. بدین منظور، رفتار شیمیایی دیرگداز باید از نظر اسیدی، قلیایی یا خنثی بودن بررسی شود تا با انتخاب صحیح مواد اولیه دیرگداز در برابر خوردگی شیمیایی محیطی مقاومت بیشتری داشته باشد.



مهم‌ترین اکسیدهای فلزی خنثی، اسیدی و قلیایی به ترتیب آلومینا، سیلیس و منیزیت است. دیرگدازهای حاوی ترکیبات این اکسیدها نیز عبارت‌اند از سیلیسیم آلومینات با رفتار اسیدی، منیزیم آلومینات با رفتار قلیایی و منیزیم سیلیکات با رفتار قلیایی و اسیدی که به درصد ترکیب آمیز وابسته است. در محیط اسیدی باید از دیرگدازهای اسیدی مانند دیرگدازهای سیلیسی و در محیط قلیایی باید از دیرگدازهای قلیایی مانند دیرگدازهای منیزیتی استفاده کرد.

جدول ۶

گروه	%Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	%Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	%SiO <sub>۲</sub>	%MgO	ترکیب
سیلیسیم آلومینات	-	۷۰	۳۰	-	مولایتی
منیزیم سیلیکات	۷	-	۴۳	۵۰	اولوینی
سیلیسیم آلومینات	-	۳۵	۶۵	-	شاموتی
سیلیسیم آلومینات	-	۱۰	۹۰	-	سیلیسی
منیزیم آلومینات	-	۱۰	-	۹۰	منیزیتی
سیلیسیم آلومینات	-	۶۳	۳۷	-	آندالوزیتی
سیلیسیم آلومینات	-	۹۵	۵	-	کوراندومی

مواد با رفتار اسیدی در واکنش با آب عامل کاتیون هیدروژن ایجاد می‌کنند مانند سیلیس که سیلیسیک اسید تشکیل می‌دهد. در حالی که مواد با رفتار قلیایی در واکنش با آب عامل آنیون هیدروکسید ایجاد می‌کنند مانند منیزیت که منیزیم هیدروکسید تشکیل می‌دهد.

جدول ۷

واکنش با آب	رفتار	اکسید
$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	اسیدی	سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )
$\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^-$	بازی	منیزیت ( $\text{MgO}$ )

مواد اسیدی و بازی شدیداً به واکنش با یکدیگر تمایل دارند و محصول این واکنش نیز تشکیل نمک است مانند تشکیل منیزیم سولفات که از واکنش بین منیزیت و اسید سولفوریک ایجاد می‌شود.

### سنجش دیرگدازی با مخروط‌های استاندارد

ذوب مواد دیرگداز در یک دمای مشخص اتفاق نمی‌افتد، بلکه به دلیل پیچیدگی ترکیب شیمیایی در بازه‌ای از دما شروع به نرم شدن می‌کند و تغییر شکل می‌دهد. دمایی را که در آن دیرگداز به دلیل وزن خود شروع به تغییر شکل می‌کند دمای نرم‌شوندگی<sup>۱</sup> می‌نامند که به اختصار با PCE<sup>۲</sup> نشان داده می‌شود. به منظور اندازه‌گیری دمای نرم‌شوندگی، از مخروط‌های سرامیکی استاندارد استفاده می‌شود که به نام مخترع آن، مخروط زگر نامیده می‌شود. دمای نرم‌شوندگی این مخروط‌ها دمایی است که نوک مخروط با صفحه ننگه‌دارنده آن تماس پیدا می‌کند.



شکل ۲۱

دمایی که در آن مخروط زگر به صفحه ننگه‌دارنده برخورد می‌کند، دمای نرم‌شوندگی نامیده می‌شود. در سال ۱۸۸۶ میلادی دکتر هرمن زگر<sup>۳</sup> آزمون مخروط را برای مطالعه و مقایسه ذوب‌شوندگی مواد سرامیکی

۱- Softening Point

۲- Pyrometric Cone Equivalent

۳- Herman Seger



در جدول استاندارد مخروط‌های استاندارد، دمای معادل مخروط‌ها براساس نرخ افزایش دما گزارش شده است که همواره باید به این مسئله دقت داشت.

### جدول ۸

شماره مخروط اورتون	محدوده دمایی معادل (درجه سلسیوس)	موارد کاربرد
۰۲۲ تا ۰۱۱	۵۶۰ تا ۸۵۰	دکور رولعابی، لعاب و مینا، شیشه
۰۱۰ تا ۳	۸۹۰ تا ۱۱۷۰	کاشی دیوار، محصولات رسی، لعاب
۴ تا ۱۲	۱۱۸۰ تا ۱۳۴۰	پرسلان‌ها، کاشی کف، برخی دیرگذاها
۱۳ تا ۴۲	۱۳۵۰ تا ۲۰۱۵	دیرگذاها و سرامیک‌های صنعتی

به منظور اندازه‌گیری محدوده دمای نرم‌شوندگی محصولات سرامیکی، ابتدا مخروط آن در ابعاد استاندارد ساخته می‌شود و به همراه دیگر مخروط‌های استاندارد زگر یا اورتون در کوره قرار داده می‌شود. دمای نرم‌شوندگی محصول سرامیکی را می‌توان با مقایسه کردن با دیگر مخروط‌های استاندارد تعیین کرد.

۱- Edward Orton

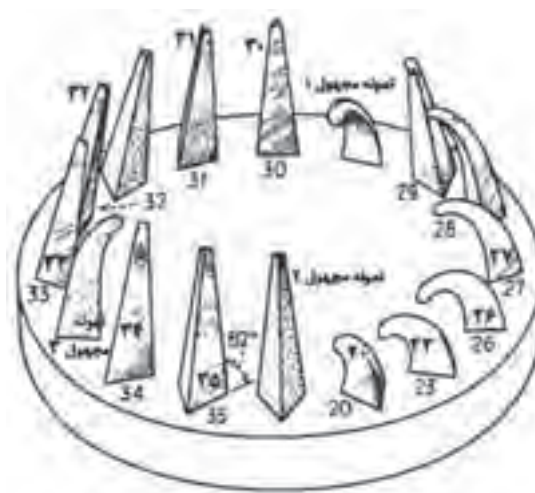
۲- Staffordshire



مخروط سه نمونه مجهول به همراه مخروط‌های استاندارد در کوره قرار داده شده است. مطابق جدول مربوط به دمای نرم‌شوندگی مخروط‌های استاندارد، شماره مخروط معادل و دمای نرم‌شوندگی نمونه‌های مجهول را در جاهای خالی در جدول ۹ بنویسید.

جدول ۹

محدوده دمای نرم‌شوندگی		مخروط استاندارد معادل	شماره نمونه
			نمونه مجهول ۱
			نمونه مجهول ۲
			نمونه مجهول ۳
درجه سلسیوس	شماره مخروط	درجه سلسیوس	شماره مخروط
۱۶۸۳	۳۱	۱۳۳۷	۱۲
۱۷۱۷	۳۲	۱۳۴۹	۱۳
۱۷۴۳	۳۳	۱۳۹۸	۱۴
۱۷۶۳	۳۴	۱۴۳۰	۱۵
۱۷۸۵	۳۵	۱۴۹۱	۱۶
۱۸۰۴	۳۶	۱۵۱۲	۱۷
۱۸۲۰	۳۷	۱۵۲۲	۱۸
۱۸۳۵	۳۸	۱۵۴۱	۱۹
۱۸۶۵	۳۹	۱۵۶۴	۲۰
۱۸۸۵	۴۰	۱۶۰۵	۲۳
۱۹۷۰	۴۱	۱۶۲۱	۲۶
۲۰۱۵	۴۲	۱۶۴۰	۲۷
		۱۶۴۶	۲۸
		۱۶۵۹	۲۹
		۱۶۶۵	۳۰





چگونه می‌توان از مخروط‌های استاندارد زگر برای بررسی یکنواختی دمای کوره‌های صنعتی در قسمت‌های مختلف آن استفاده کرد؟

### روش تولید دیرگدازهای شکل‌دار

دیرگدازهای شکل‌دار برخلاف دیرگدازهای بی‌شکل، به شکل‌دهی و پخت نیاز دارند. بنابراین روند تولید دیرگدازهای شکل‌دار شامل مراحل زیر است:

۱- آماده‌سازی مواد اولیه و آمیز

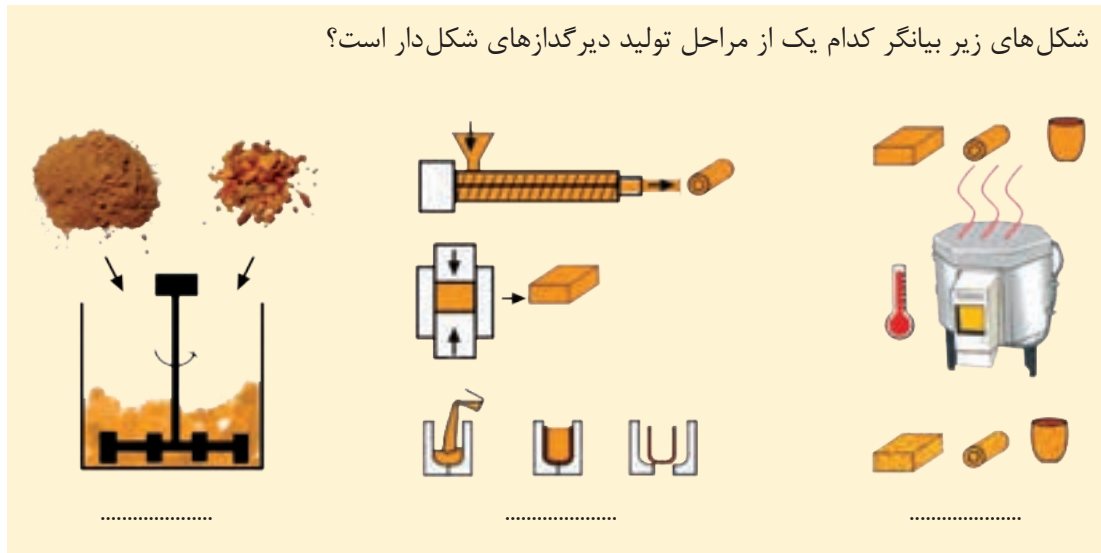
۲- شکل‌دهی

۳- خشک و پخت کردن

درحالی‌که دیرگدازهای بی‌شکل پس از آماده‌سازی مواد اولیه و آمیز، بسته‌بندی و به محل مصرف ارسال می‌شوند.

شکل‌های زیر بیانگر کدام یک از مراحل تولید دیرگدازهای شکل‌دار است؟

فعالیت کلاسی



روش‌های متنوعی مانند اکستروژن، پرس و ریخته‌گری دوغابی برای شکل‌دهی محصولات دیرگداز استفاده می‌شوند.

در پخت دیرگدازهای شکل‌دار باید دقت داشت که دمای پخت نهایی قطعه بیش از دمای محل مصرف آن باشد تا از تغییرات ابعادی در کوره یا محل مصرف جلوگیری شود.

نکته



از چه روشی برای شکل‌دهی محصولات دیرگداز زیر استفاده شده است؟

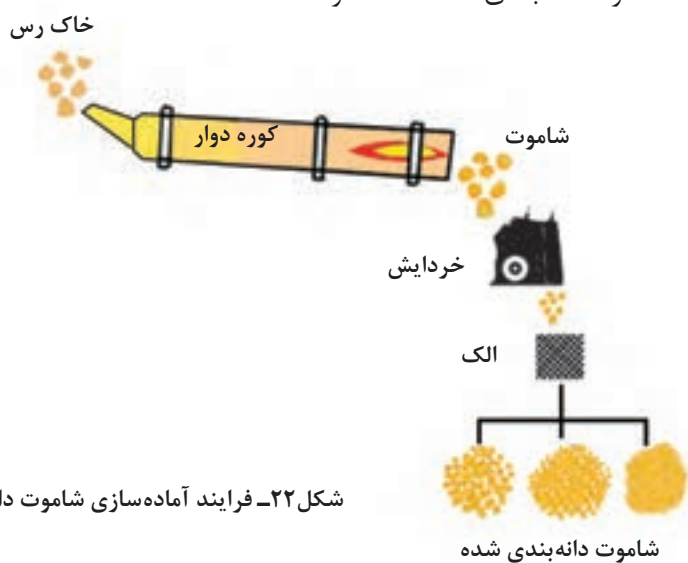
فعالیت کلاسی





### آماده‌سازی مواد اولیه و شکل‌دهی آجر شاموتی

شاموت نوعی دیرگداز با ترکیبی از دو اکسید اصلی آلومینا و سیلیس است. مقدار آلومینا ۲۵ تا ۴۸ درصد وزنی است و نقش تعیین‌کننده‌ای بر خواص شاموت دارد. هرچه درصد آلومینا بیشتر باشد دیرگدازی نیز بیشتر می‌شود. سهم بزرگی از مواد اولیه مصرفی برای تولید دیرگدازهای شاموتی را خاک‌های رسی مانند کائولن و بالکلی تشکیل می‌دهند. خاک رس با خاصیت پلاستیسیته و استحکام خشک و پخت بالا، علاوه بر بهبود شکل‌پذیری، باعث افزایش استحکام قطعه پس از شکل‌دهی می‌شود. رس‌ها انقباض خشک و پخت بالایی دارند، بنابراین اگر آجر از رس خام ساخته شود تغییرات ابعادی زیادی خواهند داشت. برای کاهش تغییرات ابعادی آجر ابتدا خاک‌رس را می‌پزند. پخت خاک‌رس در کوره دوار و در دمای ۱۴۵۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود. شاموت خارج شده از کوره دوار، خردایش شده و توسط الک دانه‌بندی می‌شود تا شاموت دانه‌بندی شده آماده شود.



شکل ۲۲- فرایند آماده‌سازی شاموت دانه‌بندی

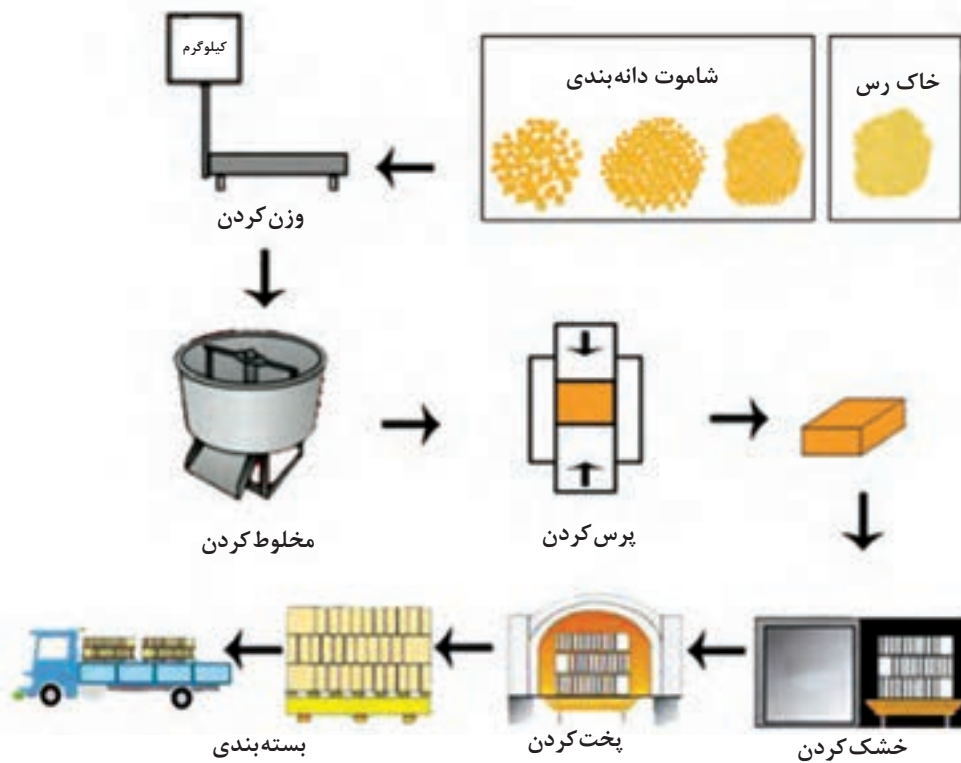
### جدول ۱۰- ترکیب شیمیایی شاموت دانه‌بندی شده



شکل ۲۳

درصد وزنی	اکسید
۵۰-۵۳	$\text{SiO}_2$
۴۴-۴۸	$\text{Al}_2\text{O}_3$
حداکثر ۱	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
حداکثر ۱	$\text{TiO}_2$
حداکثر ۰/۵	$\text{CaO}+\text{MgO}$
حداکثر ۰/۴	$\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$

شاموت دانه‌بندی شده به‌عنوان مادهٔ اولیه وارد فرایند تولید آجر شاموتی می‌شود. با توجه به اینکه دانه‌های شاموت خاصیت پلاستیسیته و چسبندگی کمی دارند، نیاز به افزودن حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد وزنی خاک رس پلاستیک مانند بالکلی دارند. ترکیب شاموت و خاک رس پس از وزن کردن، در مخلوط‌کن با رطوبتی کمتر از ۱۲ درصد وزنی مخلوط می‌شوند. آمیز حاصل توسط دستگاه پرس به‌صورت آجر شکل‌دهی می‌شود. آجرها ابتدا خشک شده و سپس پخت می‌شوند تا آماده تحویل به مصرف‌کننده باشند.



شکل ۲۴ - فرایند شکل‌دهی و تولید آجر شاموتی

آجرهای شاموتی با توجه به محل مصرف در شکل‌ها و ابعاد متنوعی تولید می‌شوند.



ج) هلالی

ب) قوسی

الف) ساده

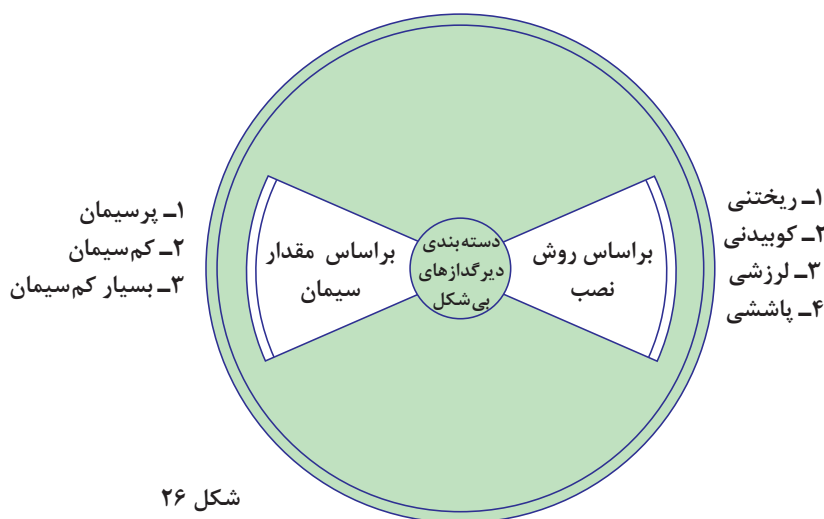
شکل ۲۵ - انواع آجرهای شاموتی

### روش تولید دیرگذاهای بی شکل

دیرگذاهای بی شکل که با عناوینی مانند جرم یا دیرگذاهای مونولیتیک (یکپارچه) نیز نام برده می شوند، مرحله شکل دهی ندارند و پس از آماده سازی مواد اولیه و ساخت آمیز، بسته بندی و به محل مصرف منتقل می شوند. نصب سریع و آسان و همچنین ارزان بودن این نوع دیرگذاها منجر به مصرف روزافزون آنها شده است.

### دسته بندی دیرگذاهای بی شکل

این نوع دیرگذاها براساس روش نصب و مقدار سیمان به دسته های مختلفی تقسیم بندی می شوند.



شکل ۲۶

### مقدار سیمان در دیرگذاهای بی شکل

همان گونه که از آجر معمولی برای ساخت شومینه و کوره نمی توان استفاده کرد، از سیمان معمولی نیز نمی توان برای این منظور استفاده کرد. بنابراین در دیرگذاهای بی شکل از سیمان نسوز به عنوان عامل گیرش استفاده می شود. گیرش در دیرگذاهای بی شکل عبارت است از فعل و انفعالاتی که برای افزایش استحکام در مرحله مصرف اتفاق می افتد. در این نوع دیرگذاها، فرایند گیرش با افزودن آب و برهم کنش بین

آب و جزء سیمانی آغاز شده و پس از تکمیل گیرش، دیرگذاز استحکام لازم را به دست می آورد و در مقابل نفوذ آب مقاوم می شود. این دیرگذاها براساس مقدار سیمان مورد استفاده، به سه دسته پر سیمان (بیش از ۱۰ درصد سیمان)، کم سیمان (۳ تا ۱۰ درصد سیمان) و بسیار کم سیمان (کمتر از ۳ درصد سیمان) تقسیم بندی می شوند. هرچه مقدار سیمان کمتر باشد، استحکام کمتر ولی دیرگذازی یا دمای قابل تحمل دیرگذاز بیشتر می شود.



شکل ۲۷- سیمان نسوز کلسیم آلومیناتی



سیمان نسوز نوعی سیمان هیدرولیک با دیرگدازی بالا است که حاوی آلومینا و کلسیم به عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده است. دو نوع سیمان نسوز که بیشتر در دیرگدازها به عنوان عامل گیرش استفاده می‌شود، سیمان نسوز ۷۱ و ۸۰ است.

### جدول ۱۱

نوع سیمان نسوز	درصد آلومینا	درصد کلسیم	دیرگدازی (درجه سلسیوس)	استحکام در ۳ روز (مگا پاسکال)
سیمان نسوز ۷۱	۷۰ درصد	۳۰ درصد	۱۶۵۰	۳۰
سیمان نسوز ۸۰	۸۰ درصد	۲۰ درصد	۱۷۵۰	۲۰

**روش‌های نصب دیرگدازهای بی‌شکل:** براساس روش نصب نیز دیرگدازهای بی‌شکل را با روش‌های ریختن، کوبیدن، لرزش و پاشش می‌توان اجرا کرد. از روش‌های دیگری مانند پرتاب، شکل‌دهی پلاستیکی و همچنین ماله‌کشی نیز می‌توان برای نصب دیرگدازهای بی‌شکل استفاده کرد.



شکل ۲۸- نصب جرم با روش پاشش

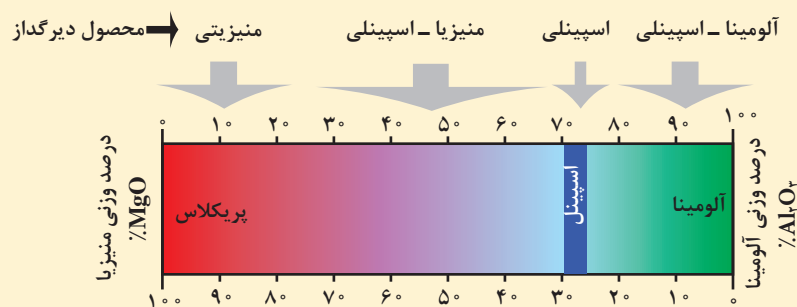


### دیرگدازهای آلومینا سیلیکاتی

دیرگدازهای آلومینا سیلیکاتی را می‌توان اولین دیرگدازهای مورد استفاده بشر دانست که امروزه نیز به دلیل فراوانی مواد اولیه و روش تولید ساده از پرکاربردترین محصولات دیرگداز محسوب می‌شوند. این دیرگدازها ترکیبی از آلومینا و سیلیس هستند که بسته به درصد این دو اکسید در انواع آلومینایی، بوکسیتی، مولایتی، آندالوزیتی، شاموتی و سیلیسی دسته‌بندی می‌شوند. در فرایند پخت دیرگدازهای آلومینا سیلیکاتی، تشکیل فاز مولایت ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) از مواد اولیه مانند کائولن، آندالوزیت، کیانیت و سیلیمانیت ضروری است زیرا خواص مطلوب این دیرگدازها وابسته به این فاز کریستالی است. مولایت حاوی ۷۰ تا ۷۳ درصد وزنی آلومینا است و از جمله ویژگی اصلی مولایت دمای ذوب بالا (۱۸۵۰ درجه سلسیوس)، مقاومت به شوک حرارتی و پایداری شیمیایی مناسب است.



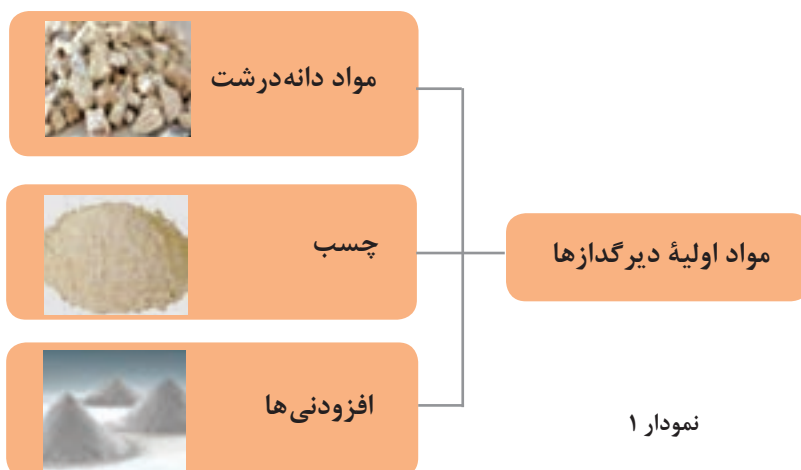
باشد، دیرگداز آلومینا اسپینلی و در صورتی که دیرگداز حاوی کمتر از ۷۰ درصد آلومینا باشد، دیرگداز منیزیا- اسپینلی نامیده می‌شود.



شکل ۳۰

### آماده‌سازی مواد اولیه

اکثر مواد اولیه‌ای که در محصولات دیرگداز استفاده می‌شوند، معدنی و طبیعی هستند که بیشتر بدون ترکیبات گداز‌آور و کاهش‌دهنده دمای ذوب مانند آهن اکسید و سایر اکسیدهای قلیایی از جمله سدیم و پتاسیم است. مواد اولیه مورد استفاده در ساخت محصولات دیرگداز را می‌توان در سه دسته مواد دانه درشت (اگر گیت<sup>۱</sup>)، چسب و افزودنی‌ها تقسیم‌بندی کرد.



مواد اولیه‌ای که دارای انبساط حجمی یا افت وزنی در هنگام افزایش دما هستند، در کوره‌های دوار یا تونلی در دمای بیش از ۱۴۵۰ درجه سلسیوس کلسینه و پیش پخت شده و سپس به صورت دانه‌بندی شده تا ابعاد ۲۰ میلی‌متر خردایش می‌شوند. این دانه‌های درشت بخش اصلی دیرگداز را تشکیل می‌دهد و بیشتر خواص محصول به این دانه‌ها بستگی دارد. هدف از این فرایند تکمیل تبدیلات ساختاری، کاهش تخلخل و افزایش تراکم است. سهم اگریگیت‌ها در مواد اولیه دیرگداز بیش از ۷۰ درصد وزنی است.



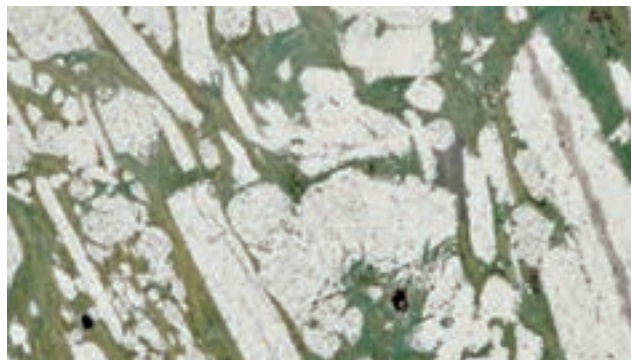
جدول ۱۳

دمای کلسینه (درجه سلسیوس)	ماده اولیه	اگر بگیت
۱۴۵۰	رس (کائولن، خاک نسوز)	شاموت
۱۶۰۰	بوکسیت	بوکسیت زینتری
۱۶۰۰-۲۰۰۰	منیزیم کربنات، منیزیم هیدروکسید	منیزیت دبرن
۲۸۰۰	منیزیم کربنات، منیزیم هیدروکسید	منیزیت ذوبی
۲۰۰۰	آلومینا	آلومینای تیبولار

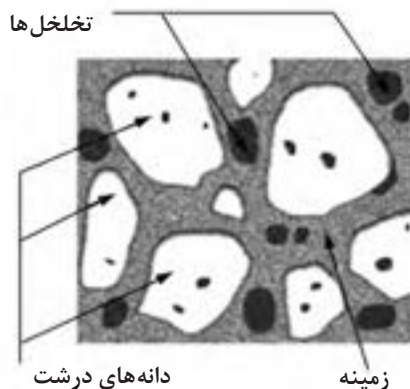
مواد اولیه کلسینه شده خاصیت چسبندگی و تغییر شکل پلاستیک در حالت عادی را نداشته و بنابراین برای افزایش شکل پذیری و ایجاد استحکام اولیه از چسب استفاده می شود. چسبها بر پایه مواد معدنی مانند انواع رسها یا سیمانهای نسوز یا بر پایه مواد آلی مانند انواع قیر و قطران و رزینها هستند. مواد افزودنی نیز به عنوان استحکام دهنده، روان ساز، ضدیخ یا ضد خوردگی به میزان کمتر از ۵ درصد وزنی کل در ترکیب مواد اولیه محصولات دیرگداز استفاده می شود.

### بافت دیرگدازها

برخلاف اغلب محصولات سرامیکی، محصولات دیرگداز پس از تکمیل فرایند پخت بافت همگن و یکدستی ندارند. در آنها اغلب ساختمانی زمخت، ناهمگن و درشت دانه را می توان تشخیص داد که حاوی سه جزء اصلی دانه های درشت، زمینه و تخلخلها است.



شکل ۳۲- نمونه بافت دیرگداز زیر میکروسکوپ



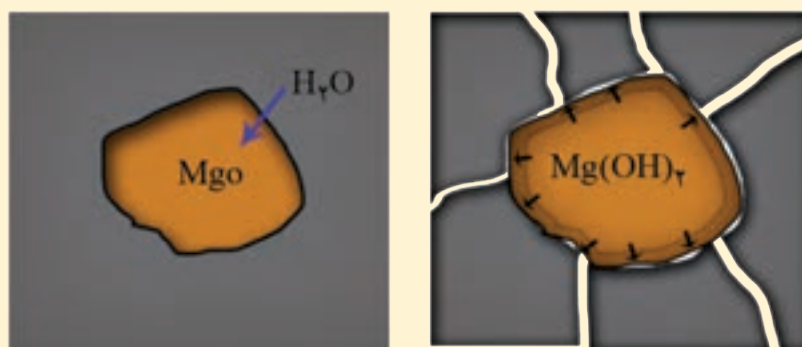
شکل ۳۱- بافت دیرگداز

دانه‌های درشت همان اگریگیت‌هایی هستند که به‌عنوان مواد اولیه استفاده شده است. چسب مورد استفاده در مواد اولیه نیز پس از پخت تشکیل زمینه‌ای را می‌دهد که دانه‌های درشت را دربر می‌گیرد و با ایجاد اتصال بین آنها منجر به افزایش تراکم و استحکام محصول می‌شود. در اثر خروج آب یا حبس شدن هوا در مرحله پخت، تخلخل ایجاد می‌شود. گاهی نیز به‌صورت عمدی برای کاهش انتقال حرارت و ساخت عایق‌های دیرگداز از مواد تخلخل‌زا استفاده می‌شود.

بیشتر بدانید



منیزیت به‌عنوان جزء اصلی دیرگدازهای قلیایی به واکنش با رطوبت و تشکیل منیزیم هیدروکسید (بروسیت) تمایل دارد و انبساط حجمی قابل توجه آن (۵۳ درصد)، باعث تخریب و ایجاد ترک در دیرگداز می‌شود.



شکل ۳۳- ترک حاصل از هیدراته شدن منیزیت

بنابراین برای کاهش تمایل منیزیت به هیدراته شدن (تشکیل منیزیم هیدروکسید)، رشد دانه و کاهش تخلخل در دمای بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سلسیوس کلسینه می‌کنند تا منیزیت تَف جوشیده یا منیزیت ددبرن<sup>۱</sup> تولید شود. در صورت افزایش دما تا ۲۸۰۰ درجه سلسیوس، منیزیای ذوبی تولید می‌شود.

### نسوزچینی (نسوزکاری)

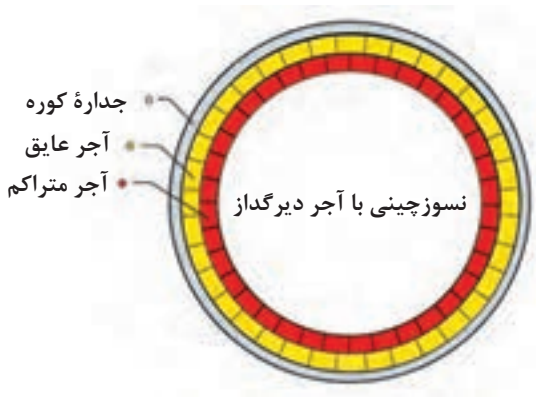

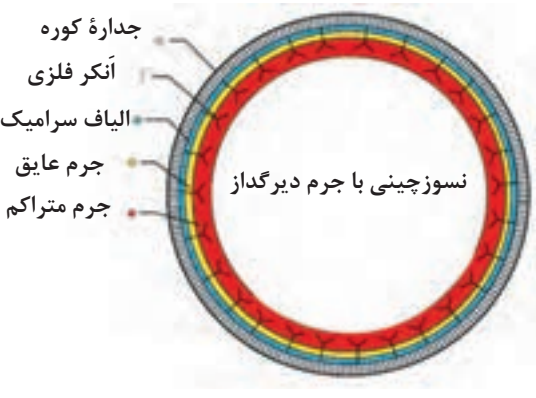

به فرایند نصب دیرگدازها نسوزچینی یا نسوزکاری گفته می‌شود. در نسوزچینی معمولاً از یک لایه عایق به‌عنوان لایه آستر برای اطمینان از انتقال نیافتن حرارت به جداره استفاده می‌شود، ولی لایه‌ای که در معرض مواد داخل کوره است باید متراکم باشد تا مقاومت بیشتری در برابر ضربه و فشار داشته باشد. در صورت آجرچینی بیشتر از آجر عایق و در صورت استفاده از دیرگدازهای بی‌شکل از جرم‌های عایق به‌عنوان آستر استفاده می‌شود. امکان ترکیب لایه‌های جرم و آجر با یکدیگر نیز وجود دارد.

جرم‌ها یا دیرگدازهای بی‌شکل، تراکم و مقاومت به سایش کمتری نسبت به آجرها دارند؛ بنابراین در صورت وجود سایش و فشار بر دیرگدازها، استفاده از آجرهای متراکم پیشنهاد می‌شود.

نکته



### جدول ۱۴

	<p>در نسوز چینی با آجرهای دیرگداز باید دقت داشت تا درز بین آجرهای دو لایه، در راستای یکدیگر نباشد، زیرا درزها محلی مناسب برای انتقال حرارت است.</p> 
	<p>در نسوز چینی با جرمها باید از آنکر استفاده کرد تا از ریزش جرم جلوگیری شود. آنکرها معمولاً فلزی هستند و پیش از عایق کاری و نسوز چینی به جداره جوش داده می‌شوند. پس از اتصال آنکرها، به ترتیب الیاف سرامیک، جرم عایق و جرم متراکم اعمال می‌شوند.</p> 

در دیرگدازهای شکل دار مانند آجر، معمولاً درز وجود دارد. درز بین آجرها محل مناسبی برای خروج حرارت و همچنین نفوذ مواد داخل کوره و ایجاد خوردگی در جداره دیرگداز است. در حالی که دیرگدازهای بی‌شکل بدون درز هستند و بنابراین امکان اتلاف انرژی نیز در آنها کمتر است.

### جدول ۱۵

<p>۱- اجرای سریع‌تری دارد. ۲- بدون درز است.</p>	مزایا	جرم دیرگداز
<p>۱- استحکام کمتری دارد. ۲- نیاز به آنکر دارد.</p>	معایب	
<p>۱- از نظر ابعادی دقیق‌تر است. ۲- دوام بیشتر در برابر فشار و سایش دارد.</p>	مزایا	آجر دیرگداز
<p>۱- اجرای کندی دارد. ۲- نیاز به درزبندی دارد.</p>	معایب	

## انکرها

انکرها در دو نوع سرامیکی و فلزی استفاده می‌شوند. برای دمای بیش از ۱۲۰۰ درجه سلسیوس یا شرایط با خوردگی بالا، استفاده از نوع سرامیکی پیشنهاد می‌شود. انتخاب و نصب نادرست انکرها می‌تواند منجر به ریزش دیرگدازها شده و در نتیجه خسارت سنگینی ایجاد شود.



انکر فلزی



انکر سرامیکی

شکل ۳۴- انواع انکر

انکرها پیش از اجرای لایه دیرگداز بی‌شکل مانند انواع جرم‌ها و الیاف سرامیکی به جداره اتصال داده می‌شوند تا سطح تماس دیرگداز با جداره افزایش یابد و از ریزش جرم جلوگیری شود.



انکر فلزی V شکل



انکر فلزی Y شکل

شکل ۳۵

نکات مهم در خصوص استفاده از انکرها:

- محاسبه تعداد انکرهای مورد نیاز
- رعایت الگوی چیدمان انکرها
- رعایت فاصله بین مراکز انکرها
- ارتفاع مناسب انکر نسبت به ضخامت جداره دیرگداز

استفاده بیش از اندازه از انکرها به همان میزان مضر است که استفاده از تعداد کم آن مخرب است. موقعیت نصب انکرها براساس محل نصب و وزن جداره دیرگذاز متفاوت است. فاصله بین مراکز انکرها بین ۱۵ تا ۴۰ سانتی متر متغیر است. در صورت کم بودن این فاصله به دلیل افزایش ترک‌ها، امکان ریزش افزایش پیدا می‌کند و در صورت زیاد بودن فاصله نیز عملکرد آن مطلوب و مفید نخواهد بود. حد فاصل مناسب بین انکرها در سقف حدود ۳۰ سانتی متر و در دیواره نیز ۴۰ سانتی متر است.

فکر کنید



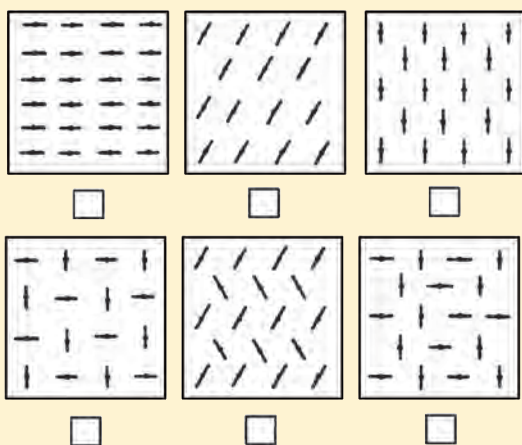
چرا فاصله بین مراکز انکرها در سقف کمتر از فاصله بین آنها در دیواره است؟

بهتر است انکرها در یک راستا نباشند تا منجر به ایجاد ترک‌های طویل و موازی نشوند. باید الگوی چیدمان به گونه‌ای باشد که بتوان تصویر یک لوزی یا مربع را با انکرها ترسیم کرد.

فعالیت کلاسی



کدام یک از چیدمان‌های زیر برای انکر فلزی صحیح هستند؟



شکل ۳۶



شکل ۳۷- انکر فلزی در دو نمای جلو و پهلو

ارتفاع انکر تا حداکثر سه چهارم ضخامت جداره دیرگذاز پیشنهاد می‌شود و کل بدنه انکر باید داخل جرم دیرگذاز قرار گیرد.

نکته



نوک انکرهای فلزی با ماده‌ای پلیمری پوشانده می‌شود تا در حرارت بالا سوخته شده و فضای خالی برای انقباض و انبساط فلز ایجاد کند. در غیر این صورت، انبساط بیشتر فلز نسبت به دیرگذاز باعث ایجاد ترک در جرم می‌شود.



شکل ۳۸- نمونه‌ای از انکر نوع V آماده برای نصب دیرگداز بی شکل

انکرها از جنس فولادهای آلیاژی ضدزنگ ساخته می‌شوند و دمای کاری آنها با توجه به نوع و ترکیب آلیاژ متفاوت است. جوش دادن انکر به جداره باید با الکترودی با قطر مناسب انجام شود. همچنین باید به جنس انکر و جداره نیز دقت کرد.

بیشتر بدانید

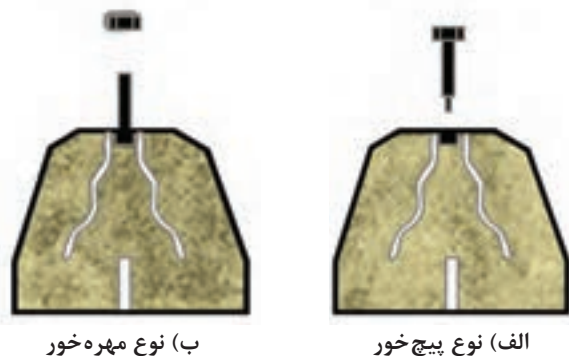


#### جدول ۱۶

دمای کارکرد (درجه سلسیوس)	جنس انکر
۴۳۰	کربن استیل
۷۶۰	استیل ضدزنگ ۳۰۴
۷۶۰	استیل ضدزنگ ۳۱۶
۸۲۰	استیل ضدزنگ ۳۰۹
۹۳۰	استیل ضدزنگ ۳۱۰
۱۱۰۰	انکونل ۶۰۰



به جای انکرهای فلزی، از بلوک‌های انکر دار پیش ساخته<sup>۱</sup> نیز می‌توان استفاده کرد. مزیت این نوع انکرها نصب و تخریب سریع‌تر لایه دیرگداز است.



شکل ۳۹- بلوک انکر دار پیش ساخته

انکرهای سرامیکی برای دمای بیش از ۱۱۰۰ درجه سلسیوس و یا شرایط محیطی خوردنده مناسب هستند. تحمل بار سنگین و امکان افزایش ضخامت لایه دیرگداز از دیگر مزیت‌های انکرهای سرامیکی است.

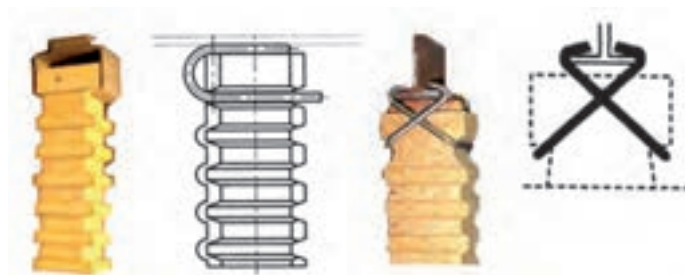


شکل ۴۱



شکل ۴۰

برای آجرهای سرامیکی بین ۴ تا ۶ انکر در هر مترمربع پیشنهاد می‌شود. انکرهای سرامیکی برخلاف انکرهای فلزی امکان جوشکاری و اتصال مستقیم به جداره را ندارند؛ بنابراین باید از یک نگه‌دارنده که می‌تواند به جداره جوش یا پیچ شود، استفاده کرد.



شکل ۴۲- برخی از واسط‌های فلزی برای اتصال انکرهای سرامیکی به جداره

## پتوها و الیاف دیرگداز

امروزه الیاف دیرگداز به صورت پتو، بُرد، صفحه و آجر، پارچه و ریسمان کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. این دسته از محصولات جزء دیرگدازهای عایق هستند که وزن سبک، انتقال حرارت بسیار ضعیف و نصب آسان از جمله ویژگی‌های آنها است.



ب) محصولات عایق ساخته شده از الیاف دیرگداز



الف) الیاف دیرگداز

شکل ۴۳

محصولات عایق ساخته شده از الیاف دیرگداز، شکل پذیرند و به آسانی خم شده و بریده می‌شوند. این ویژگی علاوه بر افزایش سرعت نصب، امکان پوشش دادن انواع سطوح با پیچیدگی‌های هندسی را فراهم می‌کند.



شکل ۴۵ - خم شدن عایق‌های ساخته شده از الیاف دیرگداز

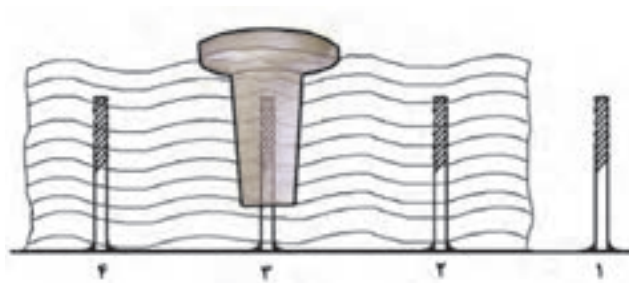


شکل ۴۴ - برش دادن عایق‌های ساخته شده از الیاف دیرگداز

نصب پتوهای ساده ساخته شده از الیاف دیرگداز به انکرهای سرامیکی نیاز دارد. بدین منظور میله‌ای سرپیچ‌دار به جداره جوش داده می‌شود و پتوی سرامیکی نصب می‌شود. سپس انکر سرامیکی به میله پیچ می‌شود.



الف) انکر سرامیکی



ب) استفاده از انکر سرامیکی برای نصب پتوی عایق

شکل ۴۶

گاهی نیز پتوهای عایق به صورت بلوک‌های بزرگ به نام مدول برای نصب سریع‌تر و آسان‌تر به کار گرفته می‌شوند. در این حالت، ابتدا بلوک‌ها در کنار یکدیگر قرار داده می‌شوند و سپس تسمه‌های دور بریده شده و خارج می‌شوند.



ب



الف

شکل ۴۷- پتوهای عایق به صورت بلوک

استفاده از دستکش، عینک و پوشش کامل بدن در هنگام کار با الیاف سرامیکی ضرورت دارد زیرا الیاف سرامیکی بُرنده و حساسیت‌زا هستند. استنشاق الیاف نیز منجر به بیماری‌های مزمن ریوی می‌شود؛ بنابراین استفاده از ماسک الزامی است.

فکر کنید



- ۱- چرا از دیرگدازهای عایق الیافی فقط در دیوار و سقف کوره‌ها استفاده می‌شود؟
- ۲- استفاده از این محصولات در کف کوره چه مشکلاتی را به همراه دارد؟



شکل ۴۸

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	پودمان
۳	تحلیل و تعیین کاربرد مواد دیرگداز و جرم‌های نسوز	بالاتر از حد انتظار		۱- بررسی دسته‌بندی مواد دیرگداز در صنعت سرامیک ۲- بررسی تأثیر مواد دیرگداز و جرم نسوز در صنعت سرامیک براساس استاندارد ملی ایران	کاربرد دیرگدازها و جرم نسوز
۲	سنجش دیرگدازی با استفاده از مخروط‌های استاندارد، تعیین ویژگی‌های مواد دیرگداز مورد استفاده در کوره، تعیین اصول نسوز چینی کوره	در حد انتظار			
۱	تفکیک مواد دیرگداز	پایین‌تر از حد انتظار			
					نمره مستمر از ۵
					نمره واحد یادگیری از ۳
					نمره واحد یادگیری از ۲۰

