پودمان ۴

کاربرد دیرگدازها و جرم‌نسوز

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

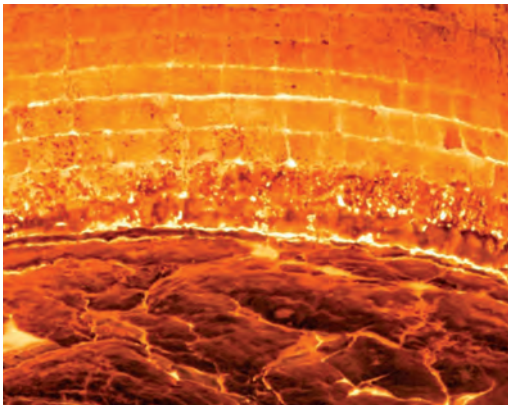
فکر کنید

درِ کورهٔ کارگاهی را در حالت خاموش و سرد باز کنید و به داخل آن نگاه کنید. به‌نظر شما آجرها و مواد به‌کاررفته در دیوارهٔ داخلی آن چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد؟

شکل ۲ ــ المنت کورهٔ الکتریکی

شکل ۳ ــ کورهٔ الکتریکی

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



شکل ۴ــ آجرهای دیرگداز پاتیل در تماس با مذاب فولاد

شکل ۵ــ پاتیل خالی حمل مذاب فولاد

وظایف دیرگدازها

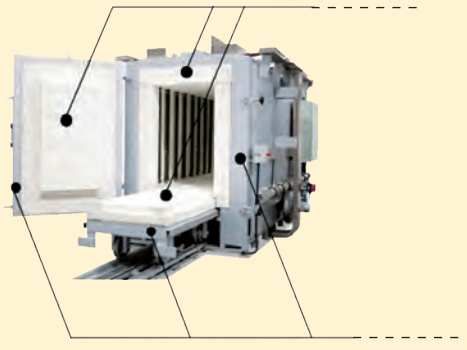
محفظهٔ داخل کوره‌ها حاوی گازهای خورنده با دمای بسیار بالا است. در برخی از موارد نیز به ساخت و حمل مواد گداخته با دمای بالا نیاز است. برای مثال کورهٔ ذوب فولاد یا پاتیل‌های حمل مذاب فولاد دمایی بیش از ۱۴۰۰ درجهٔ سلسیوس دارند. وظیفهٔ دیرگدازها علاوه بر کاهش انتقال حرارت و جلوگیری از اتلاف انرژی، محافظت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

شکل ۶ ـ وظایف اصلی دیرگدازها

فعالیت کلاسی

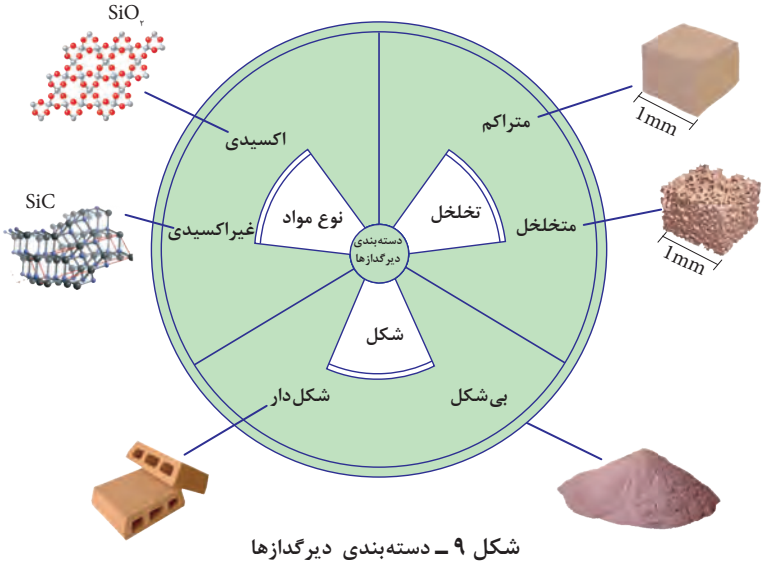
دیرگدازها و جدارهٔ بیرونی را در کوره‌های زیر مشخص کنید.

شکل ۷



شکل ۸

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.

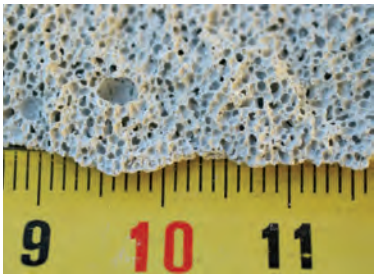


شکل ۹ ــ دسته‌بندی دیرگدازها

جدول ۱

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

دیرگدازها براساس میزان تخلخل به دو دستهٔ متخلخل و متراکم تقسیم می‌شوند. دیرگدازهای متخلخل بیش از ۴۵ درصد حجمی تخلخل دارند و سبک‌بودن 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 ۱۰ــ قطعهٔ متخلخل

شکل ۱۱ــ آجر آلومینایی متخلخل

شکل ۱۲ــ آجر آلومینایی متراکم

دیرگدازها براساس شکل ظاهری نیز به دو دستهٔ شکل‌دار و بی‌شکل 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 شکل‌دار نامیده می‌شوند. بسته به نوع و محل کاربرد، دیرگدازهای شکل‌دار متنوعی وجود دارد.

شکل ۱۳ ــ آجر دیرگداز

شکل ۱۴ ــ راهگاه مذاب

شکل ۱۵ ــ مبلمان کوره

دستهٔ 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. جرم ها یا همان دیرگدازهای بی شکل را مونولیت[۱] نیز می‌نامند که به معنی یکپارچه بودن و نداشتن درز است.

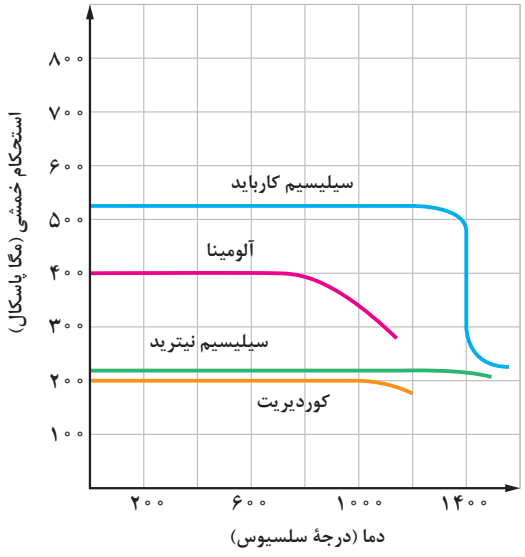
۱ـ monolith

شکل ۱۶ ـ جرم دیرگداز

شکل ۱۷ ـ ملات پاشیدنی دیرگداز

مواد مورد استفاده در ساخت دیرگداز را نیز می‌توان به دو دستهٔ 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، زیرکون و زیرکونیا نیز در برخی محصولات دیرگداز به منظور افزایش مقاومت به سایش استفاده می‌شود.

دیرگدازهای غیراکسیدی عمدتاً از مواد نیتریدی یا کاربایدی 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 درجهٔ سلسیوس حفظ می‌کنند.



شکل ۱۸ـ نمودار استحکام خمشی چند مادهٔ دیرگداز برحسب دما

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

جدول ۲

نوع ماده	مزایا	معایب
اکسیدی	فراوانی مواد و ارزان‌بودن	افت استحکام در دمای کمتر از ۱۳۰۰ درجهٔ سلسیوس
غیراکسیدی	حفظ استحکام تا دمای ۱۴۰۰ درجهٔ سلسیوس	۱ـ اکسید شدن در محیط حاوی اکسیژن ۲ـ تجزیه‌شدن در دمای بالا ۳ـ هزینهٔ بالا

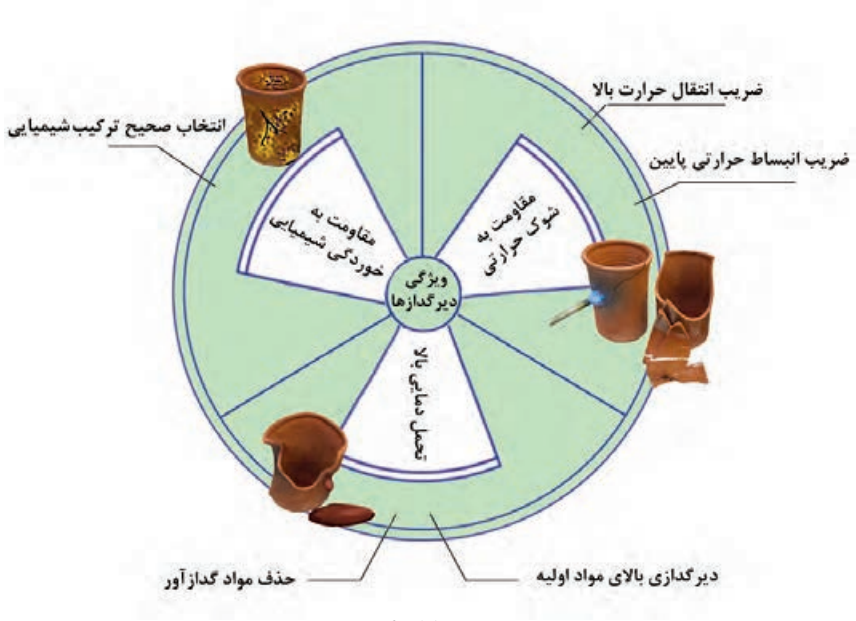
فعالیت کلاسی

با راهنمایی هنرآموز خود مشخص کنید که محصولات دیرگداز زیر در کدام دسته‌بندی قرار می‌گیرند.

جدول ۳

دیرگداز		شکل	تراکم	نوع مواد
	جرم عایق آلومینایی	.....	.....	.....
	آجر عایق آلومینایی	.....	.....	.....
	آجر سیلیسی	شکل‌دار	متراکم	اکسیدی
	بوتهٔ گرافیتی	.....	.....	.....
	پتوی آلومینایی	بی‌شکل	متخلخل	اکسیدی
	سیمان آلومینات کلسیم	بی‌شکل	متراکم	اکسیدی

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 مینرالی $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ مقاومت به شوک حرارتی بالایی دارد و برای ساختِ راهگاهِ المنت‌های الکتریکی مناسب است.

شکل ۲۰ــ 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، زیرکون و زیرکونیا، سیلیسیم کارباید نیز در محصولات دیرگداز پیشرفته استفاده می‌شود.

جدول ۴

ماده	فرمول	دمای ذوب (درجهٔ سلسیوس)
منیزیم اکسید خالص	MgO خالص	۲۸۰۰
منیزیم اکسید (۹۵-۹۰ درصد)	MgO (۹۵-۹۰٪)	۲۱۹۰
کلسیم اکسید	CaO	۲۵۷۰
سیلیسیم کارباید خالص	SiC	۲۸۳۰
کروم اکسید	Cr_2O_3	۲۱۳۸
آلومینای خالص	Al_2O_3	۲۰۵۰
سیلیس خالص	SiO_2	۱۷۱۵
زیرکونیا	ZrO_2	۲۷۰۰

اکسیدهای فلزی به‌صورت خالص عموماً دمای ذوب بسیار بالایی دارند ولی خالص‌سازی و استفاده از آنها به تنهایی برای ساخت قطعات دیرگداز صرفهٔ 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 محدودهٔ دمای ذوب گسترده‌ای دارند.

جدول ۵

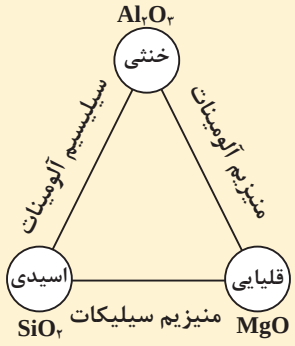
ترکیب	نوع	اکسیدهای اصلی موجود در ترکیب	دمای ذوب (درجهٔ سلسیوس)
کائولن	معدنی	$SiO_2 . Al_2O_3$	۱۷۵۰-۱۷۶۰
خاک نسوز	معدنی	$SiO_2 . Al_2O_3$	۱۵۰۰-۱۷۷۵
مولایت	فراوری شده	$SiO_2 . Al_2O_3$	۱۹۲۰
کوردیریت	فراوری شده	$SiO_2 . MgO . Al_2O_3$	۱۴۰۰-۱۴۷۰
تالک	معدنی	$MgO . SiO_2$	۱۵۰۰
اولیوین	معدنی	$Fe_2O_3 . MgO . SiO_2$	۱۶۵۰-۱۷۶۰
سیمان آلومینات کلسیم	فراوری شده	$CaO . Al_2O_3$	۱۶۰۰-۱۸۰۰

نکته

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

بیشتر بدانید

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 اولیهٔ 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 منیزیم‌سیلیکات 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

ترکیب	$\%MgO$	$\%SiO_2$	$\%Al_2O_3$	$\%Fe_2O_3$	گروه
مولایتی	-	۳۰	۷۰	-	سیلیسیم آلومینات
اولوینی	۵۰	۴۳	-	۷	منیزیم سیلیکات
شاموتی	-	۶۵	۳۵	-	سیلیسیم آلومینات
سیلیسی	-	۹۰	۱۰	-	سیلیسیم آلومینات
منیزیتی	۹۰	-	۱۰	-	منیزیم آلومینات
آندالوزیتی	-	۳۷	۶۳	-	سیلیسیم آلومینات
کوراندومی	-	۵	۹۵	-	سیلیسیم آلومینات

مواد با رفتار اسیدی در واکنش با آب عامل کاتیون هیدروژن ایجاد می‌کنند مانند سیلیس که سیلیسیک‌اسید 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

اکسید	رفتار	واکنش با آب
سیلیس (SiO_2)	اسیدی	$SiO_2 + 2H_2O \rightarrow H_4SiO_4 \rightarrow H_2SiO_4^{2-} + 2H^+$
منیزیت (MgO)	بازی	$MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 \rightarrow Mg^{2+} + 2OH^-$

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 به‌دلیل پیچیدگی ترکیب شیمیایی در بازه‌ای از دما شروع به نرم‌شدن می‌کند و تغییر شکل می‌دهد. دمایی را که در آن دیرگداز به دلیل وزن خود شروع به تغییر شکل می‌کند دمای نرم‌شوندگی[1] می‌نامند که به اختصار با PCE[2] نشان داده می‌شود. به‌منظور 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 صفحهٔ نگه‌دارنده آن تماس پیدا می‌کند.

مخروط زگر در دمای پایین — مخروط زگر در دمای میانی — مخروط زگر در دمای بالا (نرم شوندگی)

شکل ۲۱

دمایی که در آن مخروط زگر به صفحهٔ نگه‌دارنده برخورد می‌کند، دمای نرم‌شوندگی نامیده می‌شود. در سال ۱۸۸۶ میلادی دکتر هرمن زگر[3] آزمون مخروط را برای مطالعه و مقایسهٔ ذوب‌شوندگی مواد سرامیکی

۱ـ Softening Point
۲ـ Pyrometric Cone Equivalent
۳ـ Herman Seger

ابداع کرد که به‌سرعت توسعه یافت. حدود ۱۰ سال بعد ادوارد اورتون[۱] تولید این مخروط‌ها را آغاز کرد. امروزه سری مخروط‌های استاندارد تجاری با عناوین مخروط‌های زگر، مخروط‌های اورتون و مخروط‌های اِستافوردشایر[۲] توسعه یافته است که هر یک جدول استاندارد مخصوص خود را دارند.

نکته

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

شمارهٔ مخروط اورتون	محدودهٔ دمایی معادل (درجهٔ 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	۱۱۸۰تا ۱۳۴۰	پرسلان‌ها، کاشی کف، برخی دیرگدازها
۱۳ تا ۴۲	۱۳۵۰ تا ۲۰۱۵	دیرگدازها و سرامیک‌های صنعتی

به‌منظور اندازه‌گیری محدودهٔ 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 مقایسه‌کردن با دیگر مخروط‌های استاندارد تعیین کرد.

۱- Edward Orton

۲ـ Staffordshire

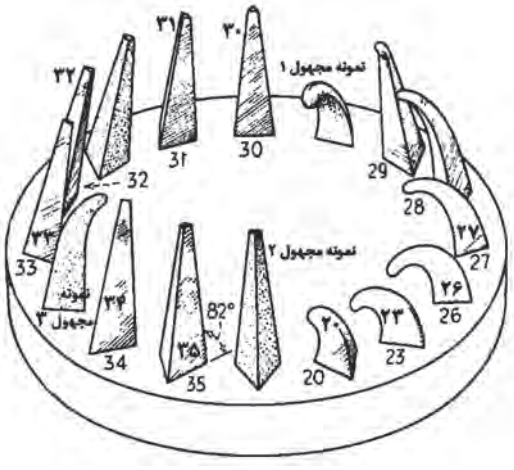
فعالیت کلاسی

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

جدول ۹

شمارهٔ نمونه	مخروط استاندارد معادل	محدودهٔ دمای نرم‌شوندگی
نمونهٔ مجهول ۱		
نمونهٔ مجهول ۲		
نمونهٔ مجهول ۳		

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



فکر کنید

چگونه می‌توان از مخروط‌های استاندارد زِگر 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:

۱ـ آماده‌سازی مواد اولیه و آمیز

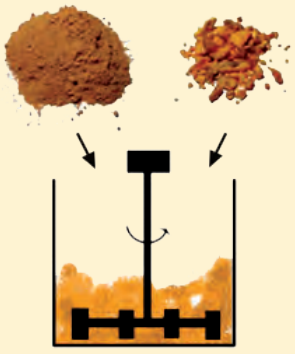
۲ـ شکل‌دهی

۳ـ خشک و پخت کردن

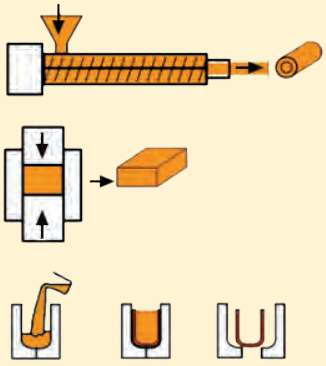
درحالی که دیرگدازهای بی‌شکل پس از آماده‌سازی مواد اولیه و آمیز، بسته‌بندی و به محل مصرف ارسال می‌شوند.

فعالیت کلاسی

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



.....



.....

.....

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

نکته

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

فعالیت کلاسی

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

.....

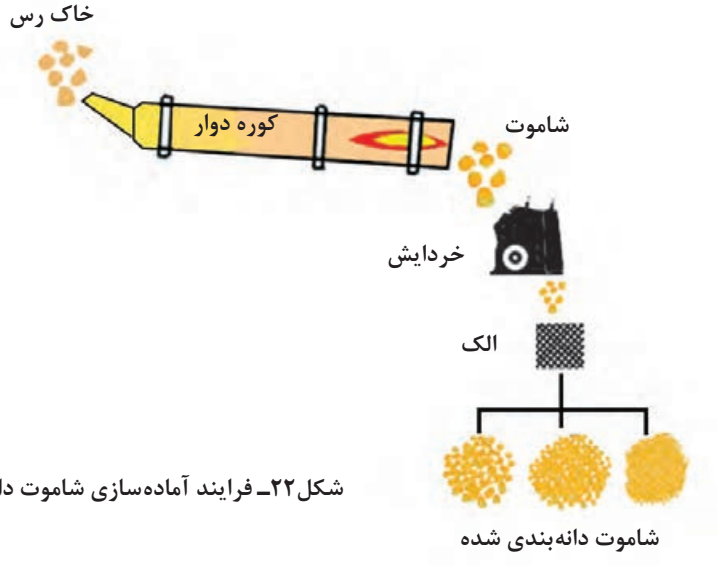
.....

.....

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 اولیهٔ 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 درجهٔ سلسیوس انجام می‌شود. شاموت خارج شده از کوره دوار، خردایش شده و توسط الک دانه‌بندی می‌شود تا شاموت دانه‌بندی شده آماده شود.



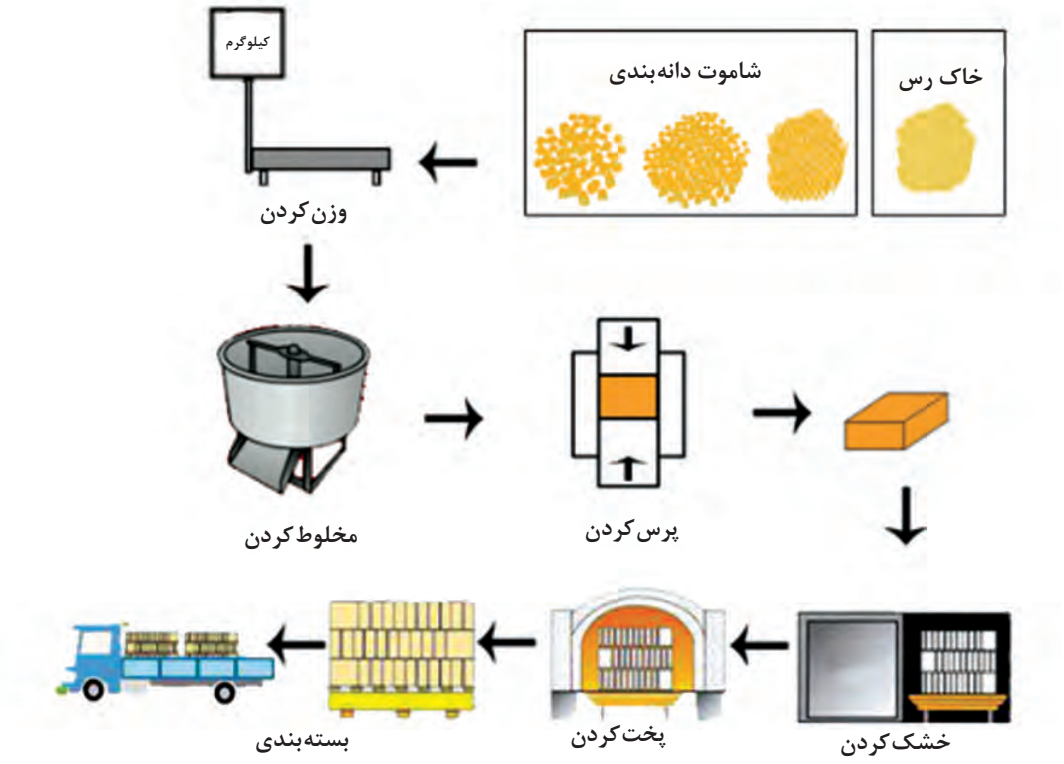
شکل ۲۲ـ فرایند آماده‌سازی شاموت دانه‌بندی

جدول ۱۰ـ ترکیب شیمیایی شاموت دانه‌بندی شده

اکسید	درصد وزنی
SiO_2	۵۰-۵۳
Al_2O_3	۴۴-۴۸
Fe_2O_3	حداکثر ۱
TiO_2	حداکثر ۱
$CaO+MgO$	حداکثر ۰/۵
$K_2O+ Na_2O$	حداکثر ۰/۴

شکل ۲۳

شاموت دانه‌بندی شده به‌عنوان مادهٔ اولیه وارد فرایند تولید آجر شاموتی می‌شود. باتوجه به اینکه دانه‌های شاموت خاصیت پلاستیسیته و چسبندگی کمی دارند، نیاز به افزودن حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد وزنی خاک‌رس پلاستیک مانند بالکلی دارند. ترکیب شاموت و خاک رس پس از وزن‌کردن، 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 ـ فرایند شکل‌دهی و تولید آجر شاموتی

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

الف) ساده　　ب) قوسی　　ج) هلالی

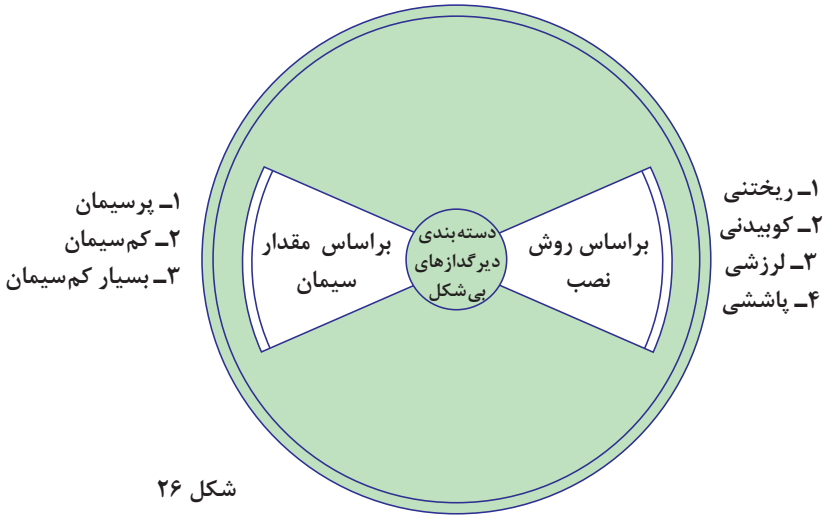
شکل ۲۵ ـ انواع آجرهای شاموتی

روش تولید دیرگدازهای بی‌شکل

دیرگدازهای بی‌شکل که با عناوینی مانند جرم یا دیرگدازهای مونولیتیک (یکپارچه) نیز نام برده می‌شوند، مرحلهٔ شکل‌دهی ندارند و پس از آماده‌سازی مواد اولیه و ساخت آمیز، بسته‌بندی و به محل مصرف منتقل می‌شوند. نصب سریع و آسان و همچنین ارزان بودن این نوع دیرگدازها منجر به مصرف روزافزون آنها شده است.

دسته‌بندی دیرگدازهای بی‌شکل

این نوع دیرگدازها براساس روش نصب و مقدار سیمان به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند.



شکل ۲۶

مقدار سیمان در دیرگدازهای بی‌شکل

همان‌گونه که از آجر معمولی برای ساخت شومینه و کوره نمی‌توان استفاده کرد، از سیمان معمولی نیز نمی‌توان برای این منظور استفاده کرد. بنابراین در دیرگدازهای بی‌شکل از سیمان نسوز به عنوان عامل گیرش استفاده می‌شود. گیرش در دیرگدازهای بی‌شکل عبارت است از فعل و انفعالاتی که برای افزایش استحکام در مرحلهٔ مصرف اتفاق می‌افتد. در این نوع دیرگدازها، فرایند گیرش با افزودن آب و برهم‌کنش بین آب و جزء سیمانی آغاز شده و پس از تکمیل گیرش، دیرگداز استحکام لازم را به دست می‌آورد و در مقابل نفوذ آب مقاوم می‌شود. این دیرگدازها براساس مقدار سیمان مورد استفاده، به سه دستهٔ پر سیمان (بیش از ۱۰ درصد سیمان)، کم‌سیمان (۳ تا ۱۰ درصد سیمان) و بسیار کم‌سیمان (کمتر از ۳ درصد سیمان) تقسیم‌بندی می‌شوند. هرچه مقدار سیمان کمتر باشد، استحکام کمتر ولی دیرگدازی یا دمای قابل تحمل دیرگداز بیشتر می‌شود.

شکل ۲۷ـ سیمان نسوز کلسیم آلومیناتی

بیشتر بدانید

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

جدول ۱۱

نوع سیمان نسوز	درصد آلومینا	درصد کلسیم	دیرگدازی (درجهٔ 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.

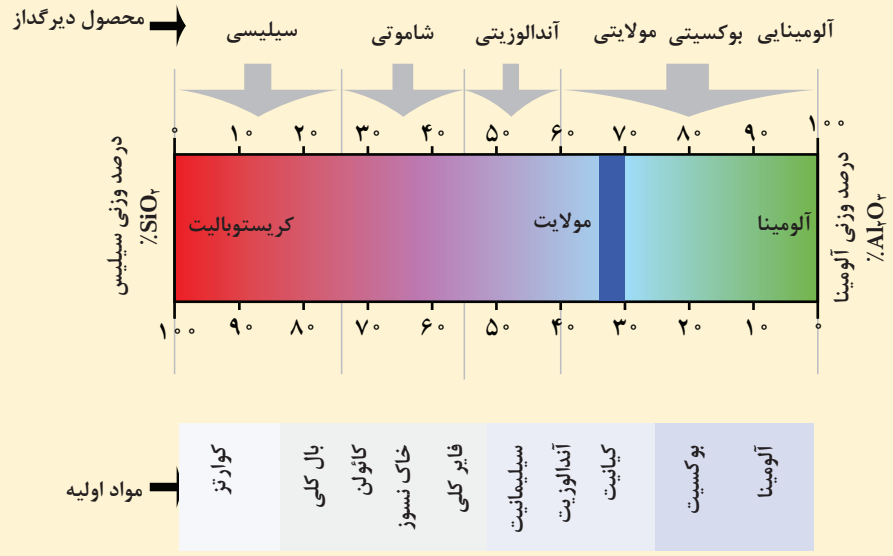
شکل ۲۸ــ نصب جرم با روش پاشش

بیشتر بدانید

دیرگدازهای آلومینا سیلیکاتی

دیرگدازهای آلومینا سیلیکاتی را می‌توان اولین دیرگدازهای مورد استفادهٔ بشر دانست که امروزه نیز به‌دلیل 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 ($3Al_2O_3.2SiO_2$) 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 درجهٔ سلسیوس)، مقاومت به شوک حرارتی و پایداری شیمیایی مناسب است.



شکل ۲۹

دیرگدازهای آلومینا سیلیکاتی که حاوی بیش از ۷۰ درصد آلومینا در ترکیب شیمیایی خود باشند، دارای دو فاز اصلی مولایت و آلومینا هستند و دیرگدازهایی که حاوی بیش از ۳۰ درصد سیلیس در ترکیب شیمیایی خود باشند نیز دارای دو فاز اصلی مولایت و کریستوبالیت هستند.

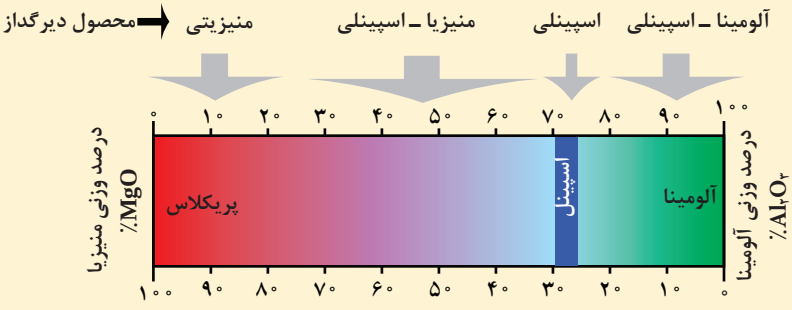
جدول ۱۲

دیرگداز آلومینا سیلیکاتی		
درصد آلومینا	فازهای کریستالی موجود	حداکثر دمای کارکرد (درجهٔ سلسیوس)
بیش از ۷۰ درصد	مولایت و آلومینا	۱۸۴۰
کمتر از ۷۰ درصد	مولایت و کریستوبالیت	۱۶۰۰

دیرگدازهای آلومینات منیزیمی

این دسته از دیرگدازها که از مواداولیه برپایه آلومینا و منیزیت ساخته می‌شوند، رفتار قلیایی دارند و با عناوینی مانند منیزیت آلومینایی، پریکلاسی، آلومین اسپینلی نام برده می‌شوند. در دیرگدازهای آلومینا-منیزیتی باید اسپینل $MgO.Al_2O_3$ یا $MgAl_2O_4$ تشکیل شود زیرا خواص مطلوب این دیرگدازها وابسته به این فاز کریستالی است. اسپینل حاوی ۷۱/۶۷ درصد وزنی آلومینا و ۲۸/۳۳ درصد وزنی منیزیا است و از جمله ویژگی بارز آن دمای ذوب ۲۱۳۵ درجهٔ سلسیوس و مقاومت به شوک حرارتی و پایداری شیمیایی در محیط‌های قلیایی است. درصورتی که دیرگداز حاوی بیش از ۸۰ درصد آلومینا

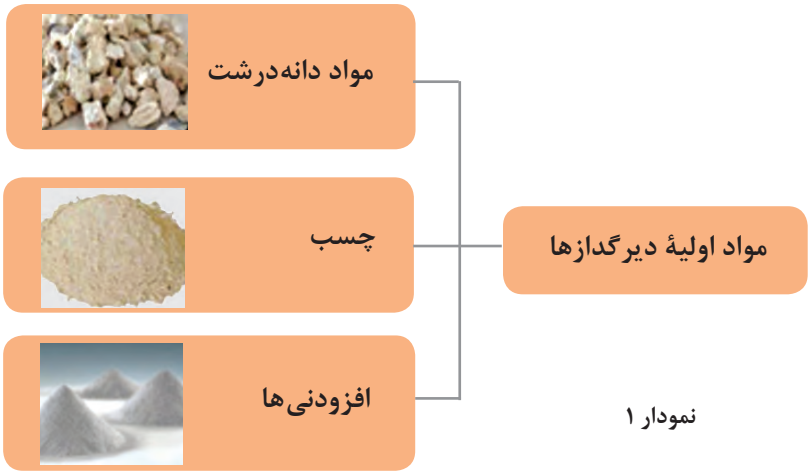
باشد، دیرگداز آلومینا اسپینلی و درصورتی که دیرگداز حاوی کمتر از ۷۰ درصد آلومینا باشد، دیرگداز منیزیا ـ اسپینلی نامیده می‌شود.



شکل ۳۰

آماده‌سازی مواد اولیه

اکثر مواد اولیه‌ای که در محصولات دیرگداز استفاده می‌شوند، معدنی و طبیعی هستند که بیشتر بدون ترکیبات گدازآور و کاهش‌دهندهٔ دمای ذوب مانند آهن اکسید و سایر اکسیدهای قلیایی از جمله سدیم و پتاسیم است. مواد اولیهٔ مورد استفاده در ساخت محصولات دیرگداز را می‌توان در سه دستهٔ مواد دانه درشت (اگریگیت[۱])، چسب و افزودنی‌ها تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۱

مواد اولیه‌ای که دارای انبساط حجمی یا افت وزنی در هنگام افزایش دما هستند، در کوره‌های دوار یا تونلی در دمای بیش از ۱۴۵۰ درجهٔ سلسیوس کلسینه و پیش پخت شده و سپس به‌صورت 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.

۱- Aggregate

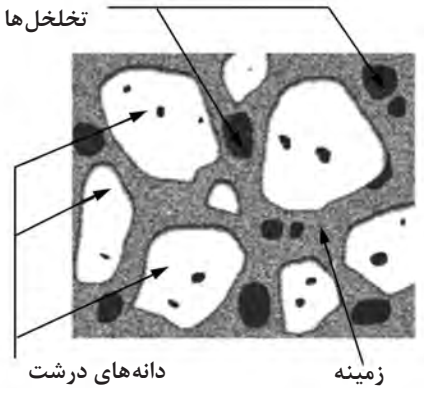
جدول ۱۳

اگریگیت	مادهٔ اولیه	دمای کلسینه (درجهٔ سلسیوس)
شاموت	رس (کائولن، خاک نسوز)	۱۴۵۰
بوکسیت زینتری	بوکسیت	۱۶۰۰
منیزیت دِدبرن	منیزیم کربنات، منیزیم هیدروکسید	۱۶۰۰-۲۰۰۰
منیزیت ذوبی	منیزیم کربنات، منیزیم هیدروکسید	۲۸۰۰
آلومینای تبیولار	آلومینا	۲۰۰۰

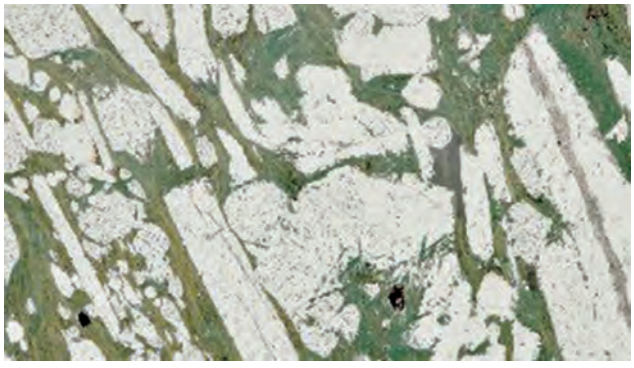
مواد اولیهٔ کلسینه شده خاصیت چسبندگی و تغییر شکل پلاستیک در حالت عادی را نداشته و بنابراین برای افزایش شکل‌پذیری و ایجاد استحکام اولیه از چسب استفاده می‌شود. چسب‌ها بر پایهٔ مواد معدنی مانند انواع رس‌ها یا سیمان‌های نسوز یا بر پایهٔ مواد آلی مانند انواع قیر و قطران و رزین‌ها هستند.
مواد افزودنی نیز به‌عنوان استحکام‌دهنده، روان‌ساز، ضدیخ یا ضدخوردگی به میزان کمتر از ۵ درصد وزنی کل در ترکیب مواد اولیهٔ محصولات دیرگداز استفاده می‌شود.

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 می‌توان تشخیص داد که حاوی سه جزء اصلی دانه‌های درشت، زمینه و تخلخل‌ها است.



شکل ۳۱ــ بافت دیرگداز

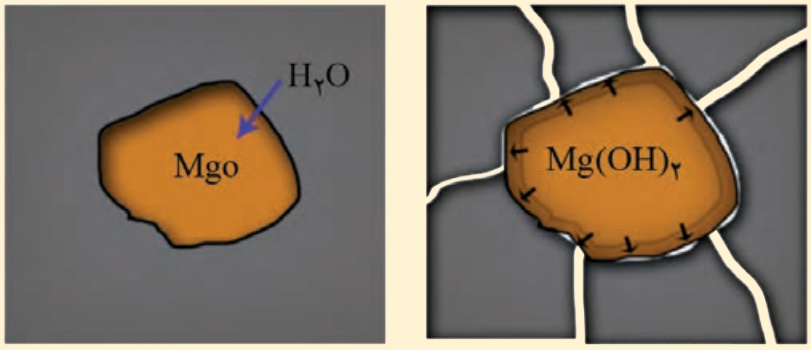


شکل ۳۲ــ نمونه بافت دیرگداز زیر میکروسکوپ

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 حبس‌شدن هوا در مرحلهٔ 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 ۳۳ـ ترک حاصل از هیدراته‌شدن منیزیت

بنابراین برای کاهش تمایل منیزیت به هیدراته‌شدن (تشکیل منیزیم هیدروکسید)، رشد دانه و کاهش تخلخل در دمای بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجهٔ سلسیوس کلسینه می‌کنند تا منیزیت تَف‌جوشیده یا منیزیت دِدبرن[1] تولید شود. درصورت افزایش دما تا ۲۸۰۰ درجهٔ سلسیوس، منیزیای ذوبی تولید می‌شود.

نسوزچینی (نسوزکاری)

به فرایند نصب دیرگدازها نسوزچینی یا نسوزکاری گفته می‌شود. در نسوزچینی معمولاً از یک لایه عایق به‌عنوان لایهٔ 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.

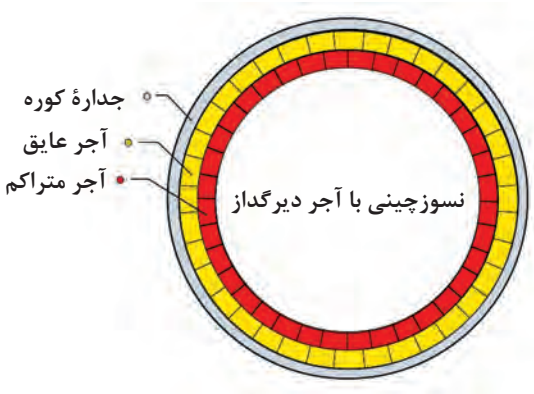
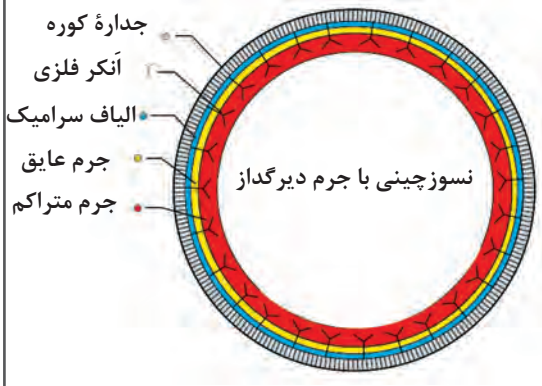
در صورت آجرچینی بیشتر از آجر عایق و در صورت استفاده از دیرگدازهای بی‌شکل از جرم‌های عایق به‌عنوان آستر استفاده می‌شود. امکان ترکیب لایه‌های جرم و آجر با یکدیگر نیز وجود دارد.

نکته

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.

۱- Deadburned

جدول ۱۴

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

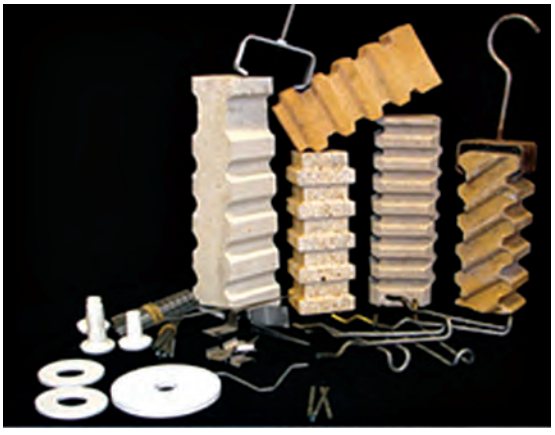
در دیرگدازهای شکل‌دار مانند آجر، معمولاً درز وجود دارد. درز بین آجرها محل مناسبی برای خروج حرارت و همچنین نفوذ مواد داخل کوره و ایجاد خوردگی در جدارهٔ دیرگداز است. در حالی که دیرگدازهای بی‌شکل بدون درز هستند و بنابراین امکان اتلاف انرژی نیز در آنها کمتر است.

جدول ۱۵

جرم دیرگداز	مزایا	۱ـ اجرای سریع‌تری دارد. ۲ـ بدون درز است.
	معایب	۱ـ استحکام کمتری دارد. ۲ـ نیاز به انکر دارد.
آجر دیرگداز	مزایا	۱ـ از نظر ابعادی دقیق‌تر است. ۲ـ دوام بیشتر در برابر فشار و سایش دارد.
	معایب	۱ـ اجرای کندی دارد. ۲ـ نیاز به درزبندی دارد.

اَنکِرها

انکرها در دو نوع سرامیکی و فلزی استفاده می‌شوند. برای دمای بیش از ۱۲۰۰ درجهٔ 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 سرامیکی

انکر فلزی

شکل ۳۴ـ 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 Y شکل

انکر فلزی V شکل

شکل ۳۵

نکات مهم درخصوص استفاده از انکرها:

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

استفاده بیش از اندازه از انکرها به همان میزان مضر است که استفاده از تعداد کم آن مخرّب است. موقعیت نصب انکرها براساس محل نصب و وزن جدارهٔ دیرگداز متفاوت است. فاصله بین مراکز انکرها بین ۱۵ تا ۴۰ سانتی‌متر متغیّر است. درصورت کم‌بودن این فاصله به‌دلیل افزایش ترک‌ها، امکان ریزش افزایش پیدا می‌کند و درصورت زیادبودن فاصله نیز عملکرد آن مطلوب و مفید نخواهد بود. حد فاصل مناسب بین انکرها در سقف حدود ۳۰ سانتی‌متر و در دیواره نیز ۴۰ سانتی‌متر است.

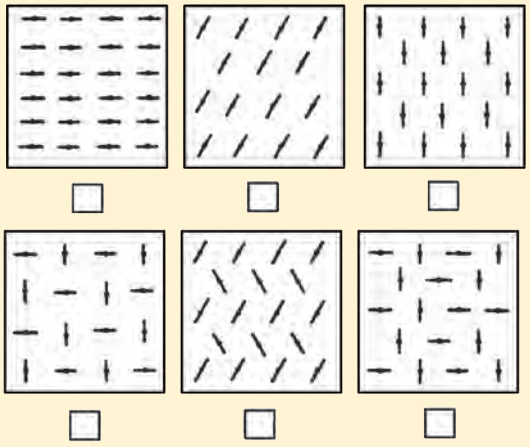
فکر کنید

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

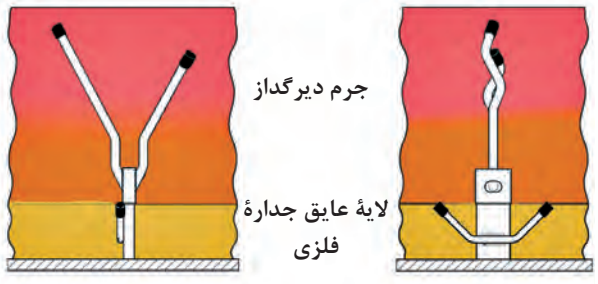
بهتر است انکرها در یک راستا نباشند تا منجر به ایجاد ترک‌های طویل و موازی نشوند. باید الگوی چیدمان به‌گونه‌ای باشد که بتوان تصویر یک لوزی یا مربع را با انکرها ترسیم کرد.

فعالیت کلاسی

کدام‌یک از چیدمان‌های زیر برای انکر فلزی صحیح هستند؟



شکل ۳۶



شکل ۳۷ـ انکر فلزی در دو نمای جلو و پهلو

ارتفاع انکر تا حداکثر سه چهارم ضخامت جداره دیرگداز پیشنهاد می‌شود و کل بدنهٔ انکر باید داخل جرم دیرگداز 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 این‌صورت، انبساط بیشتر فلز نسبت به دیرگداز باعث ایجاد ترک در جرم می‌شود.

شکل ۳۸ـ نمونه‌ای از انکر نوع V آماده برای نصب دیرگداز بی‌شکل

بیشتر بدانید

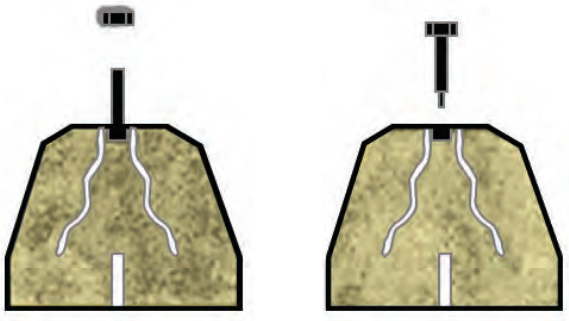
انکرها از جنس فولادهای آلیاژی ضدزنگ ساخته می‌شوند و دمای کاری آنها با توجه به نوع و ترکیب آلیاژ متفاوت است.

جوش‌دادن انکر به جداره باید با الکترودی با قطر مناسب انجام شود. همچنین باید به جنس انکر و جداره نیز دقّت کرد.

جدول ۱۶

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

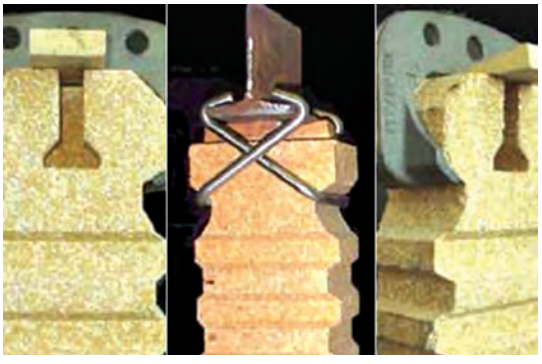
به‌جای انکرهای فلزی، از بلوک‌های انکردار پیش ساخته[1] نیز می‌توان استفاده کرد. مزیت این نوع انکرها نصب و تخریب سریع‌تر لایهٔ دیرگداز است.



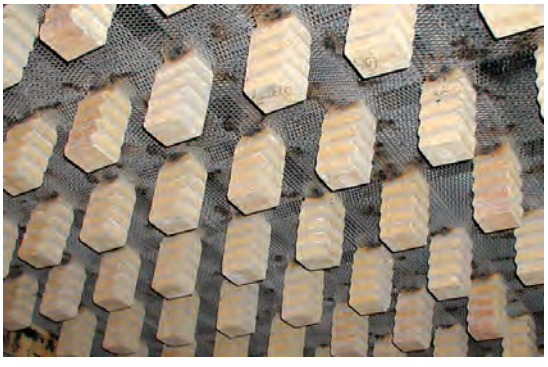
الف) نوع پیچ‌خور ب) نوع مهره‌خور

شکل ۳۹ـ بلوک انکردار پیش ساخته

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

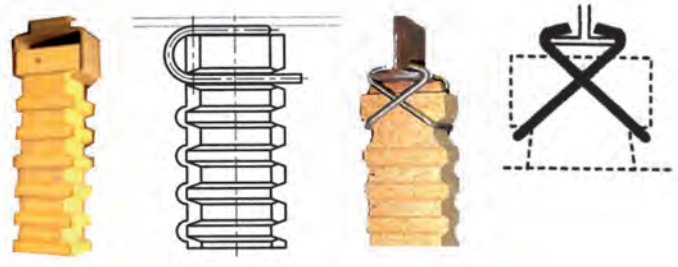


شکل ۴۰



شکل ۴۱

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 ۴۲ـ برخی از واسط‌های فلزی برای اتصال انکرهای سرامیکی به جداره

۱ـ Precast anchore

پتوها و الیاف دیرگداز

امروزه الیاف دیرگداز به‌صورت 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.

الف) الیاف دیرگداز

ب) محصولات عایق ساخته شده از الیاف دیرگداز

شکل ۴۳

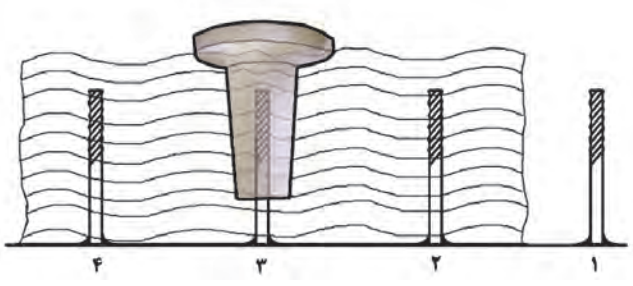
محصولات عایق ساخته‌شده از الیاف دیرگداز، شکل‌پذیرند و به آسانی خم شده و بریده می‌شوند. این ویژگی علاوه بر افزایش سرعت نصب، امکان پوشش‌دادن انواع سطوح با پیچیدگی‌های هندسی را فراهم می‌کند.

شکل ۴۴ ـ برش‌دادن عایق‌های ساخته شده از الیاف دیرگداز

شکل ۴۵ ـ خم‌شدن عایق‌های ساخته شده از الیاف دیرگداز

نصب پتوهای سادهٔ 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 به‌کار گرفته می‌شوند. در این حالت، ابتدا بلوک‌ها در کنار یکدیگر قرار داده می‌شوند و سپس تسمه‌های دور بریده شده و خارج می‌شوند.

الف

ب

شکل ۴۷ــ پتوهای عایق به‌صورت 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

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

شکل ۴۸

ارزشیابی

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