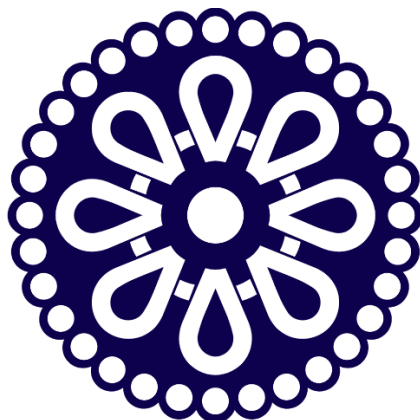




دانشگاه صنعتی کرمانشاه

جزوه درس

مصالح و فرآورده های ساختمانی

ویرایش نخست

دکتر مسعود نصیری

عضو هیأت علمی گروه عمران دانشگاه صنعتی کرمانشاه



الف: عنوان درس به فارسی: مصالح و فرآورده های ساختمانی			
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:	Construction Materials
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش نیاز:	زمین شناسی برای مهندسی عمران
☐ عملی	☒ تخصصی الزامی	دروس هم نیاز:	
☐ نظری-عملی	☐ تخصصی اختیاری	تعداد واحد:	۲
	پروژه / رساله / پایان نامه	تعداد ساعت:	۳۲
	☐ مهارتی-اشتغال پذیری		
مرتبط با مأموریت/آمایش	مرتبط با مأموریت	وضعیت آمایشی/مأموریتی درس (صرفاً برای دروس تخصصی اختیاری مشخص شود)	
☐ موسسه است	☐ موسسه نیست		

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

ب: هدف کلی:

در این درس پس از تشریح انواع پروژه های عمرانی و اهمیت مصالح و فرآورده های ساختمانی، معیارهای انتخاب مصالح و فرآورده های مناسب ساختمانی مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه هریک از مصالح و فرآورده های متداول ساختمانی به شرح ذیل از منظر انواع و مشتقات، روش های تولید، کاربردهای مختلف، خصوصیات فیزیکی، خصوصیات شیمیایی، خصوصیات مکانیکی و مقاومتی، دوام و آزمایش های ارزیابی و اندازه گیری خصوصیات مورد بررسی دقیق قرار می گیرند. کاربرد هر یک از مصالح در ملاترها و یا در ترکیب با دیگر موارد و نیز موقعیت کاربرد آنها تشریح می گردد. علاوه بر این موارد اثرات شرایط محیطی بر دوام مصالح بحث میگردد. در نهایت اثرات جانبی هریک از مصالح بر محیط زیست و همچنین بازیافت پذیری آنها نیز مورد بررسی قرار می گیرد.

اهداف ویژه:**پ) سرفصل ها:**

- مصالح فلزی شامل آهن، چدن، فولاد، آلیاژهای آلومینیوم، مس، سرب و روی
- سیمان، بتن و ملات های سیمانی
- آهک و ملات های آهکی
- گچ
- انواع خاک و سنگ و مصالح سنگی
- آجر و سرامیک
- قیر و آسفالت
- شیشه
- چوب
- محصولات پلیمری
- مصالح های حرارتی، رطوبتی و صدا



- انواع متداول افزودنی های بتن، سیمان، قیر و آسفالت
- مصالح، فرآورده ها و تکنولوژی های نوین ساختمانی تعریف طرحهای هادی - جامع - تفضیلی - منطقه ای
- بررسی روابط متقابل فضاهای شهری با ساختمانها
- تاثیر مسائل اجتماعی و اقتصادی در طرحهای شهرسازی



سر فصل مطالب:

فصل نخست: مقدمه ای بر مصالح و فرآورده های ساختمانی

فصل دوم: مصالح فلزی

فصل سوم: سنگدانه

فصل چهارم: سیمان

فصل پنجم: ملات

فصل ششم: بتن

فصل هفتم: آهک

فصل هشتم: گچ

فصل نهم: سرامیک و آجر

فصل دهم: شیشه

فصل یازدهم: چوب

فصل دوازدهم: قیر



فصل اول

مقدمه ای بر مصالح و فرآورده های ساختمانی

۱-۱ مقدمه

مصالح ساختمانی را می توان از زوایای مختلف برای مطالعه، کاربردها و توصیفات طبقه بندی کرد. رایج ترین طبقه بندی ها بر اساس اجزای شیمیایی و عملکرد آنها است. بر اساس اجزای شیمیایی مصالح ساختمانی، می توان آنها را به مواد معدنی، مواد آلی (شکل ۱-۱) و مواد کامپوزیتی طبقه بندی کرد. بر اساس عملکرد آنها، فرآورده های ساختمانی را می توان به مواد سازه ای و مواد کاربردی تقسیم کرد. مصالح سازه ای (شکل ۱-۲) عمدتاً به عنوان اعضای باربر (مثلاً مواد مورد استفاده برای تیرها و ستون ها) استفاده می شوند، در حالی که مصالح کاربردی دارای برخی عملکردهای ویژه در ساخت مانند عملکردهای ضد آب، تزئینی، عایق حرارتی و غیره هستند. در محیط ساخت، مصالح ساختمانی ایده آل باید سبک، با استحکام بالا، زیبا، عایق حرارتی، جاذب صدا، ضد آب، ضد ضربه، ضد حریق، غیرسمی و کارآمد باشند.

از آنجایی که صنعت ساخت از طیف وسیع تری از مواد نسبت به سایر صنایع استفاده می کند، تنوع گسترده ای از مصالح ساختمانی وجود دارد. بنابراین، مصالح مورد استفاده در ساخت و ساز شامل سنگ های ساختمانی، سیمان و سنگدانه ها برای ساخت بتن یا ملات (شکل ۱-۳)، فلزات و آلیاژهایی مانند فولاد و آلومینیوم، محصولات رسی، محصولات گچی، انواع مختلف شیشه، مواد قیری، پلاستیک (ژئوسنتتیک ها، شکل ۱-۴) و چوب می شود.





شکل ۱-۱ چوب رایج ترین مصالح ساختمانی آلی است



شکل ۱-۲ بتن یکی از محبوب ترین مصالح ساختمانی سازه ای است



شکل ۱-۳ ملات بنایی مورد استفاده در ساخت ساختمان



ترکیب مصالح شامل ویژگی های شیمیایی و یا معدنی است که عوامل کلیدی برای خواص مواد هستند. ترکیب شیمیایی به اجزای شیمیایی گفته می شود؛ تغییرات در ترکیب شیمیایی منجر به خواص مختلف می شود. به عنوان مثال، با افزایش محتوای کربن، استحکام، سختی و چقرمگی^۱ فولاد کربنی تغییر خواهد کرد. از سوی دیگر، از آنجایی که بسیاری از مصالح غیرفلزی معدنی ترکیبات معدنی متنوعی را نشان می دهند، این ترکیبات عامل کلیدی برای خواص برخی از مصالح ساختمانی مانند سنگدانه ها، سنگ های ساختمانی و محصولات سرامیکی هستند.

خواص فیزیکی در مصالح ساختمانی شامل چگالی، تخلخل، جذب آب، نفوذپذیری آب، مقاومت در برابر یخ زدگی و مقاومت در برابر آتش است. خواص مکانیکی مهم برای مصالح ساختمانی عبارتند از مقاومت (فشاری و کششی)، سختی، انعطاف پذیری، الاستیسیته و مقاومت در برابر سایش. مقاومت تحت فشار رایج ترین الزام برای مصالح ساختمانی مورد استفاده در عناصر سازه ای است زیرا آن ها باید بتوانند وزن خود و هرگونه بار اعمال شده را به طور ایمن تحمل کنند. سایر جنبه های رفتاری که در آن ها می تواند مهم باشد شامل خواص حرارتی (هدایت حرارتی، انبساط حرارتی و ظرفیت گرمایی ویژه)، رفتار صوتی، ویژگی های نوری (بازتاب و انتقال) و پاسخ های الکتریکی و مغناطیسی است.

کثرت و تنوع قابل توجه مصالح موجود در مهندسی ساختمان و ساخت، مسئله ای با پیچیدگی فزاینده ایجاد می کند: انتخاب مناسب مصالح. انتخاب مصالح ساختمانی مناسب هنگام طراحی یک سازه به عوامل زیادی بستگی دارد. مهم ترین عامل، ظرفیت ماده برای برآورده کردن الزامات سازه ای است؛ در این راستا، بسیاری از خواص مصالح انتخاب شده مهم خواهند بود (به عنوان مثال، مقاومت، چقرمگی و دوام). تعدادی از عوامل دیگر نیز حیاتی هستند: «الف) هزینه (هم اولیه و هم در طول عمر سازه)، (ب) در دسترس بودن (که اغلب با هزینه مرتبط است)، (ج) ساخت، چه در محل و چه خارج از محل برای مونتاژ سریع در محل، (د) انرژی مورد





نیاز برای تولید سازه و مصرف آن در طول عمر آن، (ه) نگهداری مورد نیاز برای اطمینان از این که سازه برای هدف خود مناسب باقی می ماند و (و) خواص پایان عمر، به ویژه استفاده مجدد و بازیافت». علاوه بر این، طبق دستورالعمل محصولات ساختمانی اروپا، الزامات اساسی در کارهای ساختمانی به شرح زیر است: «الف) مقاومت مکانیکی و پایداری، (ب) ایمنی در صورت آتش سوزی، (ج) بهداشت، سلامت و محیط زیست، (د) ایمنی در استفاده، (ه) محافظت در برابر سر و صدا، (و) صرفه جویی در مصرف انرژی و حفظ گرما». امروزه، تعدادی از الزامات عملکردی دیگر مانند راحتی، قابلیت سرویس دهی و ظاهر (زیبایی شناسی) نیز وجود دارد.

۱-۲ دوام^۲

یکی از جنبه های اساسی عملکرد مصالح ساختمانی که به جایگاه بالاتری دست یافته اند، مربوط به حفظ خواص در طول زمان بوده که همان دوام است. دوام یک ویژگی جامع مصالح ساختمانی است و می توان آن را به صورت «توانایی یک سازه یا هر جزء برای برآورده کردن الزامات عملکرد طراحی، با نگهداری برنامه ریزی شده، در یک دوره زمانی مشخص تحت تأثیر عوامل محیطی یا در نتیجه یک فرآیند خود-مسئله شستگی^۳ و «توانایی یک ساختمان، مجموعه، جزء، محصول یا سازه برای حفظ قابلیت سرویس دهی کیمنه برای یک دوره زمانی مشخص» تعریف کرد. در طول عمر مفید، مصالح ساختمانی در معرض اثرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی قرار می گیرند. اثرات فیزیکی به تغییرات رطوبت و خشکی، دما و یخ زدگی و ذوب شدن محدود می شود که همه آنها باعث انبساط و انقباض مصالح می شوند. واکنش های شیمیایی شامل حملات اسیدی و تأثیر محلول های آبی قلیایی و نمکی می شود (شکل ۱-۴) که می تواند ترکیب مواد را تغییر دهد.

اقدامات بیولوژیکی به معنای اقدامات مخرب قارچ ها و حشرات است (شکل ۱-۵) که می توانند ترکیب بسیاری از انواع مصالح ساختمانی مانند چوب و سنگ را تغییر دهند. در ارتباط با این اقدامات، مفهوم دوام

2- Durability
3- Self-ageing process





باید در بازار ساخت و ساز مطرح شود. بدیهی است که مصالح با ترکیب و ساختار متفاوت، انواع مختلفی از دوام را نشان می دهند. بنابراین، فولاد به راحتی خورده می شود؛ سنگ، بتن، ملات و سایر مواد غیر فلزی معدنی می توانند به شدت توسط تغییرات شیمیایی تغییر کنند و آسفالت، پلاستیک و سایر مواد آلی به دلیل مسن شدگی از بین می روند. به همین دلیل، معمولاً به موضوع دوام در ارتباط با هر نوع مصالح ساختمانی، یعنی دوام بتن، دوام فولاد، دوام چوب و غیره، پرداخته می شود. شکل ۱-۶ نمونه ای از تخریب آسفالت ناشی از ترک خوردگی را نشان می دهد.



شکل ۱-۴ تبلور نمک در آجر



شکل ۱-۵ پوسیدگی چوب توسط فعالیت موربانه



شکل ۱-۶ تخریب آسفالت ناشی از ترک خوردگی





۱-۳ استانداردها

استانداردهای محصول برای برآورده کردن برخی یا تمام الزامات محصولات ساختمانی به منظور تضمین کاربرد آنها وضع می شوند. بنابراین، استانداردهای محصول وسیله ای برای ایجاد کمینه سطوح کیفیت و عملکرد ایمن و معقول هستند. آنها معمولاً شامل مشخصات محصول، طبقه بندی ها، عملکردهای فنی، روش های آزمایش، قوانین بازرسی و پذیرش، بسته بندی، ذخیره سازی، حمل و نقل و موارد دیگر می شوند. بسیاری از کشورها استانداردهای محصول ساختمانی توسعه یافته ای دارند که توسط کمیته هایی شامل اعضای حرفه ها، اصناف و تولیدکنندگان مربوطه که با این محصولات سروکار دارند، وضع می شوند.

هر استاندارد اصلاح شده، الزامات بالاتری را برای محصولات نسبت به استاندارد قبلی ایجاد می کند. این بدان معناست که صنعت مربوطه باید با استانداردها هم گام باشد و تکنیک های تولید را بهبود بخشد. در نتیجه، صنعت مصالح ساختمانی هم از نظر کمیت و هم از نظر کیفیت پیشرفت می کند و محصولات کارآمدتری تولید می شوند. علاوه بر این، منطقی سازی و استانداردسازی اندازه محصولات، تعداد موجودی مورد نیاز تأمین کنندگان را کاهش می دهد و در نتیجه، نیروی کار برای نصب در محل ساخت و ساز را کاهش می دهد. مهم ترین استانداردهای محصولات توسط سازمان های ISO، ASTM و EN تدوین شده اند. استانداردهای ISO توسط سازمان بین المللی استاندارد منتشر می شوند و اعتبار جهانی دارد. این استانداردها ممکن است توسط کشورهای مختلف به عنوان استانداردهای ملی پذیرفته شوند. استانداردهای ASTM توسط انجمن آمریکایی آزمایش و مصالح در ایالات متحده تولید می شوند و در بسیاری از کشورهای جهان به صورت اجباری اعمال می شوند. استانداردهای EN در اروپا توسط کمیته استانداردسازی اروپا (CEN) تدوین می شوند و منعکس کننده دیدگاه های کشورهای عضو اتحادیه اروپا هستند.

۱-۴ پایداری^۲ در فرآورده های ساختمانی





منشأ ساخت و ساز پایدار را می توان در توسعه پایدار جستجو کرد. در گزارشی با عنوان «آینده مشترک ما» در سال ۱۹۸۷، سندی است که برای اولین بار عبارت توسعه پایدار به عنوان توسعه ای که «نیازهای زمان حال را بدون به خطر انداختن توانایی نسل های آینده برای برآورده کردن نیازهای خود برآورده می کند» ظاهر شد. ارتقای هماهنگی بین انسان ها و بین بشریت و طبیعت هدف اصلی توسعه پایدار است. بنابراین، پایداری اصطلاحی گسترده است که جنبه های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را پوشش می دهد که عموماً به عنوان ارکان پایداری شناخته می شوند. اقتصادی به معنای توزیع عادلانه و منصفانه منابع اقتصادی است؛ اجتماعی به معنای ارتقای برابری، رفاه و عدالت اجتماعی است و زیست محیطی به معنای حفاظت و احیای منابع طبیعی، زیستگاه ها و اکوسیستم ها است. جدول ۱-۱ اثرات زیست محیطی مربوط به تولید، استفاده و دفع مصالح ساختمانی را فهرست می کند.

رشد بازار ساخت و ساز، معایب مصرف بالای انرژی، مصرف بیش از حد منابع و اثرات زیست محیطی را برطرف نکرده است. برخی از نمونه های جدی تأثیر صنعت ساخت و ساز بر محیط زیست عبارتند از: (الف) مصرف انرژی صنعت ساخت و ساز ۲۵ تا ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهانی است، (ب) زباله های ساختمانی ۲۰ تا ۴۰ درصد از کل زباله های شهرها را تشکیل می دهند، و (ج) انتشار دی اکسید کربن از تولید سیمان ۷ درصد از کل انتشار CO₂ را تشکیل می دهد. علاوه بر این، صنعت ساخت جهانی بیش از هر فعالیت اقتصادی دیگری مواد اولیه مصرف می کند، که نشان دهنده یک صنعت ناپایدار آشکار است. کاهش مصرف منابع طبیعی، کمینه کردن اثرات زیست محیطی، مزایای کیفیت و هدایت فناوری در حال حاضر روندهای اساسی در توسعه صنعت ساخت و ساز هستند.





جدول ۳-۱ اثرات زیست محیطی مربوط به مصالح ساختمانی

Environmental impact	The relation with building materials
<i>Impact of building materials on human health</i>	
1. Air pollution	Fossil fuel combustion during manufacture, transport construction and maintenance; manufacturing processes; and mining and crushing of materials
2. Smog	Transport of materials and equipment used at the construction site and maintenance
3. Ecological toxicity	Can be encountered in all phases of the life cycle of building materials
<i>The impact of building materials on ecological degradation</i>	
1. Global climate change	Greenhouse gas emissions of building materials are often directly related to the embodied energy of building materials, as for most materials the emissions stem from the fossil fuel combustion required for their production
2. Stratospheric ozone depletion	Human caused emissions of ozone-depleting substances, such as chlorofluorocarbons (CFCs, used as a propellant in manufacturing and refrigerant) and halon (used in fire suppression systems)
3. Acidification	Wind can blow these emissions from power and manufacturing plant over hundreds of miles before they deposited includes sulfur and NO _x emissions
4. Eutrophication	Manufacturing discharges, nutrients from nonpoint source runoff, fertilizers, waste disposal
5. Deforestation, desertification, and soil erosion	Commercial forestry and agriculture, extraction, mining, and manufacturing activities
6. Habitat alteration	Primary impact resulting from mining and harvesting of materials for the manufacture of building materials
7. Loss of biodiversity	Destruction of forests and habitats, and air, water, and soil pollution as contributors
8. Water resource depletion	Product manufacturing activities and effluent wastes that are released into water bodies reduce water resources through pollution
<i>Building materials impacts on energy consumption</i>	
1. Energy consumption during the production	Energy required in manufacturing building product consumes 80% of the total energy input in a material
2. Energy consumption during building use and demolition	Energy for transporting on building site for construction and maintenance, and demolition
3. Fossil fuel depletion	Used in extraction, transportation, construction, and maintenance; to produce steam or heat for industrial processes; for electricity; to power machinery; and as raw material for production, materials with high-energy intensity have greater environmental impacts from fuel consumption





مهندسان عمران و ساختمان باید با مصالح مورد استفاده در ساخت طیف وسیعی از سازه ها آشنا باشند. مصالحی که بیش تر مورد استفاده قرار می گیرند شامل فولاد، سنگدانه، بتن، مصالح بنایی، آسفالت و چوب هستند. مصالحی که به میزان کم تری مورد استفاده قرار می گیرند شامل آلومینیوم، شیشه، پلاستیک و کامپوزیت های تقویت شده با الیاف هستند. مهندسان ژئوتکنیک استدلال منطقی برای گنجاندن خاک به عنوان پُر کاربردترین مصالح مهندسی ارائه می دهند، زیرا خاک تکیه گاه اساسی همه سازه های مهندسی عمران را فراهم می کند.

پیشرفت های اخیر در فناوری مصالح مهندسی عمران منجر به توسعه مصالح با کیفیت بهتر، اقتصادی تر و ایمن تر شده است. این مصالح معمولاً به عنوان مصالح با عملکرد بالا شناخته می شوند. از آن جا که اطلاعات بیش تری در مورد ساختار مولکولی مصالح به دست آمده و به دلیل تلاش های تحقیقاتی مداوم دانشمندان و مهندسان، مصالح جدیدی مانند پلیمرها، چسب ها، کامپوزیت ها، ژئوتکستایل ها، پوشش ها، فلزات سرد شکل داده شده و محصولات مصنوعی مختلف با مصالح سنتی مهندسی عمران رقابت می کنند. علاوه بر این، با تغییر ساختارهای مولکولی مصالح موجود یا افزودن افزودنی هایی برای بهبود کیفیت، اقتصاد و عملکرد، پیشرفت هایی در مصالح موجود حاصل شده است. به عنوان مثال، فوق روان کننده ها در صنعت بتن پیشرفت چشمگیری داشته اند و امکان تولید بتن بسیار قوی تر را فراهم کرده اند. اتصالات ساخته شده از مواد الاستومری^۵، ایمنی سازه های بلندمرتبه را در مناطق زلزله خیز بهبود بخشیده اند. سنگدانه های مصنوعی سبک وزن، وزن سازه های بتنی را کاهش داده و امکان ایجاد سطوح مقطع کوچک در اجزا را فراهم کرده اند. پلیمرها با آسفالت مخلوط شده اند و به روسازی ها اجازه می دهند تا تحت تأثیر بارهای وسایل نقلیه و شرایط محیطی، دوام بیش تری داشته باشند.

زمینه مواد کامپوزیت الیافی در ۳۰ سال گذشته به سرعت توسعه یافته است. بسیاری از پروژه های اخیر مهندسی عمران از کامپوزیت های پلیمری تقویت شده با الیاف استفاده کرده اند. این کامپوزیت های پیشرفته





به دلیل نسبت مقاومت به وزن بالاتر و توانایی آن ها در غلبه بر کاستی هایی مانند خوردگی، با مواد سنتی رقابت می کنند. به عنوان مثال، بتن تقویت شده با الیاف، چترمگی بسیار بیش تری نسبت به بتن با سیمان پرتلند معمولی دارد. کامپوزیت ها می توانند جایگزین فولاد تقویت کننده در سازه های بتنی شوند. در واقع، کامپوزیت ها امکان ساخت سازه هایی را فراهم کرده اند که در گذشته نمی توانستند ساخته شوند. ماهیت و رفتار مصالح مهندسی عمران به پیچیدگی مواد مورد استفاده در هر زمینه مهندسی دیگری است. به دلیل مقدار زیاد مصالح مورد استفاده در پروژه های مهندسی عمران، مهندس عمران اغلب با مصالح موجودی در محل کار می کند که به اندازه مواد مورد استفاده در سایر زمینه های مهندسی پالایش نشده اند. در نتیجه، مصالح مهندسی عمران اغلب دارای خواص و ویژگی های بسیار متغیری هستند.

یکی از ملاحظات در طراحی یک پروژه، نوع بارگذاری است که سازه در طول عمر طراحی خود تحت آن قرار خواهد گرفت. دو نوع اصلی بار، استاتیکی و دینامیک هستند. هر نوع به طور متفاوتی بر مصالح تأثیر می گذارد و اغلب برهم کنش بین انواع بارها مهم است. مهندسان عمران هنگام طراحی یک سازه با هر دو مواجه می شوند.

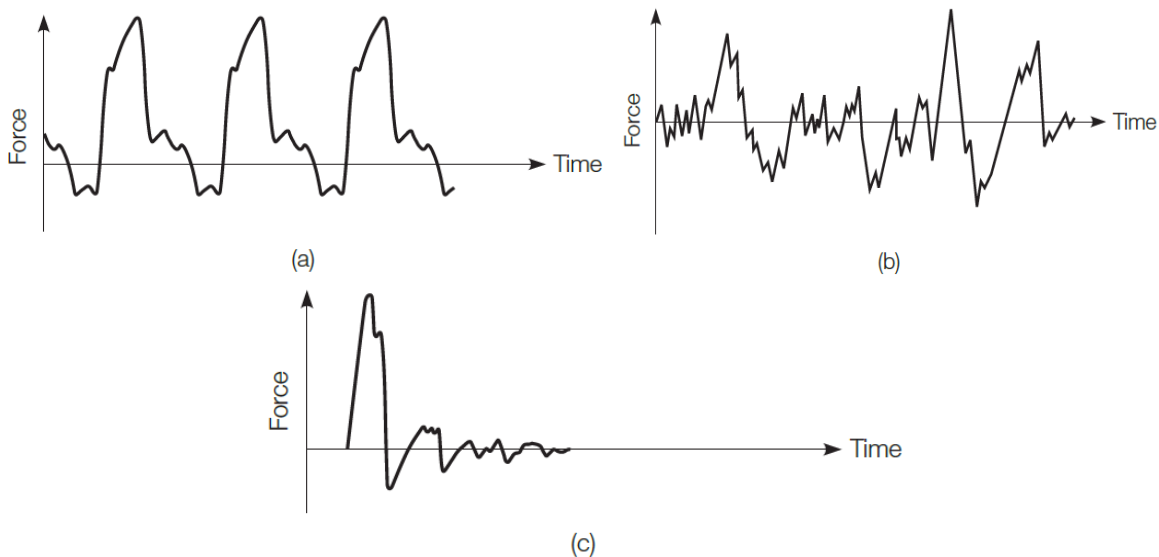
بارگذاری استاتیکی به معنای بارگذاری پایدار سازه در طول یک دوره زمانی است. عموماً بارهای استاتیکی به آرامی اعمال می شوند به طوری که هیچ ضربه یا لرزشی در سازه ایجاد نمی شود. پس از اعمال، بار استاتیکی ممکن است در جای خود باقی بماند یا به آرامی برداشته شود. بارهایی که برای مدت زمان طولانی در جای خود باقی می مانند، بارهای پایدار (مُرده) نامیده می شوند. در مهندسی عمران، بخش زیادی از باری که مصالح باید تحمل کنند، به دلیل وزن سازه و تجهیزات موجود در سازه است.

بارهایی که در سازه ایجاد ضربه یا لرزش می کنند، بارهای دینامیکی هستند. بارهای دینامیکی را می توان به صورت تناوبی، تصادفی یا گذرا طبقه بندی کرد، همان طور که در شکل ۱-۷ نشان داده شده است. یک بار تناوبی، مانند بار هارمونیک یا سینوسی، با گذشت زمان تکرار می شود. به عنوان مثال، تجهیزات چرخشی در





یک ساختمان می تواند بار ارتعاشی ایجاد کنند. در یک بار تصادفی، الگوی بار هرگز تکرار نمی شود، مانند باری که توسط زلزله ایجاد می شود. از سوی دیگر، بار گذرا، یک بار ضربه ای است که در یک بازه زمانی کوتاه اعمال می شود و پس از آن ارتعاشات تا زمانی که سیستم به حالت سکون بازگردد، کاهش می یابد. به عنوان مثال، پل ها باید طوری طراحی شوند که بارهای گذرای کامیون ها را تحمل کنند.



شکل ۱-۷ انواع بارهای دینامیکی: (الف) تناوبی، (ب) تصادفی، و (ج) گذرا

۵-۱ ساختار بلوری

ساختار بلوری به ترتیب قرارگیری اتم ها در آرایش های بلوری مختلف اشاره دارد. این آرایش، قدرت و جهت گیری پیوندهای بین اتمی است که مقاومت نهایی جامد را تعیین می کند. تکنیک هایی شامل پراش اشعه ایکس (XRD) برای تعیین ساختارهای بلوری به کار گرفته می شوند و چهار نوع پیوند بین اتمی شناخته شده اند: واندروالسی، کووالانسی، یونی و فلزی. با این حال، سه پیوند «اولیه» اخیر موارد محدود کننده ای هستند و طیف وسیعی از موقعیت های پیوند میانی نیز در جامدات وجود دارد.

نیروی واندروالسی یک پیوند «ثانویه» ضعیف است و در نتیجه بارهای نوسانی در یک اتم ایجاد می شود. اگر اتم ها یا مولکول ها در نتیجه آرایش بار درون خود، دوقطبی های دائمی داشته باشند، نیروهای اضافی وجود





خواهد داشت. با وجود قدرت کم آن‌ها، این نیروها هنوز هم می‌توانند در برخی جامدات مهم باشند. به عنوان مثال، این نیرو عامل مهمی در تعیین ساختار بسیاری از جامدات پلیمری است.

بسیاری از پلیمرهای رایج از زنجیره‌های کربن مولکولی طولانی با پیوندهای قوی که اتم‌های زنجیره را به هم متصل می‌کنند، تشکیل شده‌اند، اما پیوندهای واندروالسی نسبتاً ضعیفی زنجیره‌ها را به یک‌دیگر متصل می‌کنند. پلیمرهایی با این ساختار، ترموپلاستیک هستند، یعنی با افزایش دما نرم می‌شوند و به راحتی تغییر شکل می‌دهند، اما با خنک شدن، خواص اولیه دمای پایین خود را به دست می‌آورند و شکلی را که در آن تشکیل شده‌اند، حفظ می‌کنند.

پیوند کووالانسی به طور ساده توسط مولکول‌های عناصر غیرفلزی هیدروژن، کربن، نیتروژن، اکسیژن و فلوئور نشان داده می‌شود. ویژگی اساسی پیوند کووالانسی، اشتراک الکترون‌ها بین اتم‌ها است که آن‌ها را قادر می‌سازد تا به پیکربندی پایدار مربوط به یک پوسته الکترونی پُر شده دست یابند. بنابراین، یک اتم با n الکترون در آن پوسته می‌تواند با به اشتراک گذاشتن الکترون‌ها با همسایه‌هایش، تنها با ۸ تا n پیوند برقرار کند. برای مثال، وقتی $n=4$ باشد، مانند کربن به شکل الماس که یکی از سخت‌ترین مواد شناخته شده است، هر اتم به طور مساوی به چهار اتم همسایه در گوشه‌های یک چهاروجهی منتظم متصل است و کریستال از یک مولکول کووالانسی تشکیل شده است. در گرافیت، تنها سه الکترون از چهار الکترون، پیوندهای کووالانسی تشکیل می‌دهند، بنابراین یک ساختار لایه‌ای تشکیل می‌شود و الکترون چهارم آزاد است، که برخی از خواص فلزی را به این شکل از کربن می‌دهد.

عناصر را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد، عناصر الکترونگاتیو (مانند اکسیژن، گوگرد و هالوژن‌ها) که تمایل دارند چند الکترون بگیرند تا یون‌های با بار منفی با لایه‌های الکترونی پایدار تشکیل دهند و عناصر الکتروپوزیتیو (مانند فلزات) که به راحتی به یون‌های مثبت و الکترون‌های آزاد تفکیک می‌شوند. پیوند یونی شامل یک جاذبه الکترواستاتیکی بین یون‌های مثبت و منفی است. اگر اتم‌های آزاد یک عنصر الکتروپوزیتیو





و یک عنصر الکترونگاتیو به هم نزدیک شوند، یون های مثبت و منفی تشکیل می شوند که توسط برهم کنش الکترواستاتیکی به سمت هم کشیده می شوند تا زمانی که ابرهای الکترونی دو یون شروع به هم پوشانی کنند، که منجر به ایجاد نیروی دافعه می شود. بنابراین یون ها در فاصله ای از هم قرار می گیرند که در آن نیروهای جاذبه و دافعه یک دیگر را متعادل می کنند.

حدود دو سوم از کل عناصر، فلز هستند و ویژگی متمایز اتم های فلزی، سُستی نگه داشته شدن الکترون های ظرفیت آن ها است. پیوند فلزی غیر جهت دار است و الکترون ها کمابیش آزادانه در جامد حرکت می کنند. جاذبه های بین یون های مثبت و «گاز» الکترون به ساختار، انسجام آن را می دهد. محدودیت تعداد اتم هایی که می توانند با یک اتم خاص تماس داشته باشند، توسط مقدار فضای موجود تعیین می شود و نه با تعداد پیوندهای تشکیل شده. از آن جایی که هر اتم تعداد زیادی همسایه دارد، انسجام کلی قوی است و بنابراین فلزات از نظر مقاومت و نقطه ذوب شبیه جامدات یونی و کووالانسی هستند. به طور کلی، هر چه تعداد الکترون های ظرفیت یک اتم کم تر باشد و الکترون ها سُست تر نگه داشته شوند، پیوند فلزی تر می شود. چنین عناصری رسانایی الکتریکی و حرارتی بالایی دارند زیرا الکترون های والانس آن ها بسیار متحرک هستند.





فصل دوم

مصالح فلزی

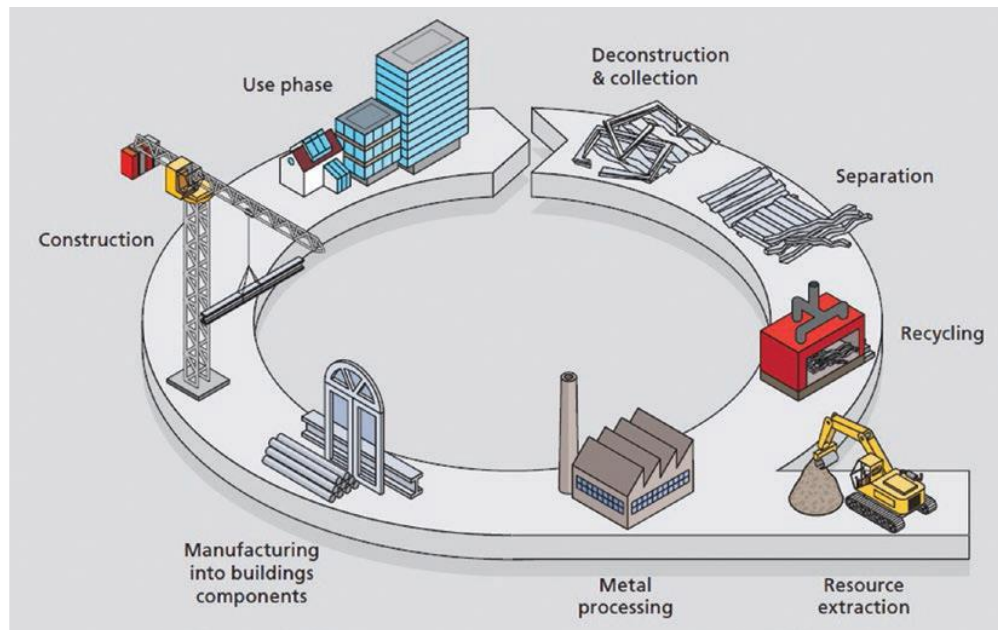
۲-۱ مقدمه

طبق استاندارد ASTM D8182، آلیاژ عبارت است از «ترکیبی منحصر به فرد از دو یا چند فلز» که یک یا چند فلز به روش خاصی فرآوری یا عمل آوری شده اند تا «ویژگی های عملکردی» بهبود یافته ای به ماده حاصل بدهند. به دلایل زیادی، یعنی تولید، ساخت، کاربردها، صنعت فلزات و آلیاژها به وضوح به دو دسته آهنی و غیرآهنی تقسیم می شود. فروم، کلمه لاتین برای آهن، است. بدیهی است که فلزات آهنی شامل آهن در ترکیب خود هستند در حالی که فلزات غیرآهنی گروهی از فلزات و آلیاژها هستند که «هیچ محتوای آهنی ندارند». فلزات غیرآهنی از آغاز تمدن های بشری مورد استفاده قرار می گرفتند. کشف مس در ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، «پایان عصر حجر» و «آغاز عصر مس» را رقم زد. کشف بیش تر برنز، آلیاژی از مس و قلع، آغاز «عصر برنز» بود. به همین ترتیب، استفاده از آهن در حدود ۱۲۰۰ سال قبل از میلاد آغاز شد، زمانی که تولید آهن رایج شد و عصر آهن را آغاز کرد.

فلزات و آلیاژها، به ویژه فولاد، مواد ضروری برای ساخت و ساز در مهندسی مدرن هستند. آنها اولین انتخاب برای بسیاری از کاربردها مانند سازه ها، روکش ها، آرماتورها، قاب های پنجره، سقف، لوله کشی و غیره هستند. فلزات و آلیاژها در ساختمان های تاریخی و معماری جدید یافت می شوند، به این دلیل که فلزات و آلیاژها قادر به ارائه هر گونه خواص مطلوب مانند استحکام، قابلیت ماشین کاری، مقاومت در برابر سایش،



مقاومت در برابر خوردگی و موارد دیگر هستند. محصولات ساختمانی فلزی، با عملیات سطحی کافی در صورت لزوم، مقاوم در برابر آب و هوا، مقاوم در برابر زلزله و مقاوم در برابر خوردگی و همچنین مقاوم در برابر اثرات مضر اشعه ماوراء بنفش هستند و عمر طولانی بدون تخریب را تضمین می کنند. علاوه بر این، فلزات و آلیاژهای مورد استفاده در ساخت و ساز را می توان بدون از دست دادن کیفیت بازیافت کرد و حتی پس از چندین چرخه بازیافت، خواص عملکردی اولیه خود را بازیابی کرد (شکل ۱-۲). امروزه، بیش از ۹۵٪ از محصولات فلزی مورد استفاده در ساختمان ها در نهایت بازیافت می شوند.



شکل ۱-۲ بازیافت فلزات

فلزات و آلیاژهای پُر کاربرد شامل آهن، فولاد و آلومینیوم هستند، اگرچه مس، سرب، روی و قلع در بخش ساخت و ساز به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته اند. هر فلز و یا آلیاژ، کیفیت و کاربردهای ایده آل خاص خود را نشان می دهد. استفاده ساختاری از چدن و آهن نورد شده در مقیاس های رو به افزایش، از ویژگی های کلاسیک انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم بود. با توجه به این که فلزات خالص فاقد بسیاری از خواص ضروری در کاربردهای ساختمانی هستند، معمولاً دو یا چند فلز با هم ذوب می شوند تا آلیاژهایی تولید شوند



که در مقیاس وسیع استفاده می شوند. این آلیاژها حتی می توانند عناصر غیرفلزی مانند کربن را نیز در خود جای دهند، فولاد معروف ترین و کلاسیک ترین آلیاژ مورد استفاده در ساخت و ساز است.

فولاد به دلیل سختی و مقاومت در صنعت ساخت و ساز ارزشمند است. معمولاً برای ساخت تیرها، قوطی های مستطیلی، میلگرد در بتن و غیره استفاده می شود. فولاد ضد زنگ، آلیاژی ساخته شده از چندین فلز (مقدار هر فلز را می توان برای ساخت محصولات مختلف با جایگزین تنظیم کرد)، یکی از قدیمی ترین مصالح ساختمانی شناخته شده است. این فلز قرن ها پیش در ساخت و ساز برای ساخت سازه هایی که هنوز هم پابرجا هستند، استفاده می شد. آلومینیوم معمولاً در صنعت ساخت و ساز استفاده می شود زیرا در برابر خوردگی مقاوم، بسیار رسانا و انعطاف پذیر است. آلومینیوم در پنجره ها، درها، سقف ها و غیره یافت می شود. به دلیل طیف وسیعی از خواص مفید، به طور فزاینده ای در ساختمان های مدرن استفاده می شود (۲۵٪ از آلومینیوم تولید شده در سراسر جهان در ساخت و ساز استفاده می شود). لوله های مسی معمولاً برای ساخت لوله در ساختمان ها استفاده می شوند. این فلز در برابر خوردگی ناشی از آب و خاک مقاوم است و به راحتی لحیم می شود و پیوندهای پایدار ایجاد می کند. همه این خواص، مس را به فلزی بسیار مناسب برای لوله کشی در کاربردهای ساختمانی تبدیل می کند. سرب به دلیل نقطه ذوب پایین در لوله های آب و سایر کاربردها استفاده می شود؛ سرب در اوایل در محصولات ورق برای اهداف معماری مورد استفاده قرار می گرفت.

۲-۲ فلزات آهنی و آلیاژها

فلزات آهنی (مبتنی بر آهن) کاربرد گسترده ای در تمام شاخه های مهندسی دارند، اما در مهندسی عمران از اهمیت ویژه ای برخوردارند. فلزات آهنی و آلیاژهای مورد استفاده در ساختمان سازی شامل دو گروه اصلی هستند: چدن ها و فولادها، که فولاد در کنار بتن مهم ترین مصالح ساختمانی است. در واقع، فولاد برای شیوه زندگی مدرن ما ضروری و برای رشد اقتصادی حیاتی است.





متالورژی آهنی شامل متالورژی آهن و فولاد است و از نظر مقیاس تولید، اندازه صنعت، نیروی انسانی مورد استفاده و غیره، شاخه غالب مهندسی متالورژی است. فرآیندهای تولید یکپارچه به سه مرحله اصلی تقسیم می شوند: (الف) آهن سازی (احیا): اولین مرحله متالورژیکی مربوط به احیای سنگ آهن به آهن فلزی است که عمدتاً در کوره بلند با استفاده از کُک به عنوان سوخت و عامل احیاکننده انجام می شود. ماده به دست آمده در کوره حاوی درصد نسبتاً بالایی از کربن (۴٪) است و باید برای کاهش محتوای کربن به مرحله بعدی منتقل شود. (ب) فولادسازی (تصفیه یا اکسیداسیون): تصفیه آهن برای تولید فولاد به این معنی است که مقدار کربن در آهن فلزی توسط یک فرآیند اکسیداسیون به کم تر از ۲٪ کاهش می یابد. اجزای آلیاژی به طور هم زمان در این فرآیند اضافه می شوند تا ترکیب شیمیایی مورد نیاز محصول نهایی حاصل شود. فرآیندهای فولادسازی با اکسیژن پایه و کوره قوس الکتریکی دو مسیری هستند که در این مرحله استفاده می شوند. (ج) ریخته گری (شکل دهی): فولاد مایع را می توان با استفاده از فرآیند ریخته گری پیوسته ریخته گری و به اشکال جامد مختلفی درآورد؛ علاوه بر این، محصول را می توان در مراحل متوالی آهنگری و یا نورد کرد تا هر یک از اشکال مورد نیاز را تولید کند (نورد رایج ترین روش شکل دهی است). پس از شکل دهی فولاد، می توان آن را با فلزات دیگر، مانند روی و قلع و با پوشش های آلی مانند رنگ یا PVC پوشش داد. همه این فرآیندها در طول سال ها دستخوش تحولات و تکامل زیادی در پردازش شده اند.

تولید آهن

اولین مرحله متالورژیکی در فرآیند تولید آهن منجر به کاهش سنگ آهن به آهن فلزی می شود؛ این فرآیند عمدتاً در کوره بلند با استفاده از کُک به عنوان سوخت و عامل احیاکننده انجام می شود. آهن فلزی تولید شده حاوی نسبت نسبتاً بالایی از کربن (۴٪) است و به صورت مایع (آهن فلزی) در دمای تقریبی ۱۴۵۰ درجه سانتی گراد به فرآیند فولادسازی منتقل می شود. کوره بلند راکتور غالب برای تولید آهن است که بیش از ۹۰٪ از کل تولید آهن جهان را پوشش می دهد. روش های جایگزین را می توان به طور کلی به دو دسته طبقه بندی





کرد: (الف) فرآیندهایی که در آن‌ها آهن به صورت جامد، با احیای حالت جامد، تولید می‌شود و (ب) فرآیندهایی که آهن مایع را با ترکیبی از احیای حالت جامد و مایع تولید می‌کنند. دسته اول، آهن اسفنجی یا آهن احیای مستقیم نامیده می‌شود.

کوره بلند

اولین کوره بلند واقعی مبتنی بر گُک در سال ۱۷۳۵ معرفی شد و فرآیند کوره بلند تاکنون مهم‌ترین روش برای تولید آهن مذاب است. مسیر کوره بلند برای به دست آوردن آهن در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. اکسیدهای آهن کاهش یافته و ماده حاصل ذوب می‌شود. این فرآیند به صورت مداوم انجام می‌شود و مواد اولیه به طور منظم به بالای کوره شارژ می‌شوند و آهن مذاب (که به آن آهن خام یا آهن داغ نیز گفته می‌شود) و سرباره از پایین کوره بازیابی می‌شوند. ظرفیت کوره‌های بلند بین ۱۰۰ متر مکعب و ۵۰۰۰ متر مکعب متغیر است. کوره‌های بلند مدرن قطره‌ای تا ۱۶ متر دارند و تا ۱۰۰۰۰ تن در روز یا حتی بیش‌تر تولید می‌کنند. مواد اولیه در کوره بلند عبارتند از سنگ آهن، زغال سنگ و سنگ آهک. آهن به ندرت به عنوان فلز در سطح زمین وجود دارد، اما به طور گسترده در ترکیب با اکسیژن برای تشکیل اکسیدهای آهن وجود دارد. آهن یکی از فراوان‌ترین عناصر فلزی است؛ اکسیدهای آهن تقریباً ۵٪ از پوسته زمین را تشکیل می‌دهند.



شکل ۲-۲ مسیر کوره بلند برای به دست آوردن آهن





مانند تمام فلزات، آهن از سنگ های معدنی طبیعی استخراج می شود که شامل طیف گسترده ای از ترکیبات شیمیایی پیچیده هستند، اگرچه عمدتاً به شکل مگنتیت (Fe_3O_4) و یا هماتیت (Fe_2O_3) یافت می شوند. بیش تر سنگ های آهن معمولی که در حال حاضر فرآوری می شوند، حاوی مقدار زیادی هماتیت و اغلب مقدار کمی مگنتیت هستند. استخراج آهن به شکل اکسیدهای آهن تنها در جایی که غلظت قابل توجهی از این ترکیبات وجود داشته باشد، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. بنابراین، میانگین محتوای آهن برای سنگ های معدنی با عیار بالا که در فرآیندهای آهن سازی استفاده می شوند، ۶۰ تا ۶۵ درصد است. ۹۸ درصد از سنگ آهن استخراج شده برای ساخت فولاد استفاده می شود. تغییرات در ترکیب شیمیایی و وضعیت فیزیکی سنگ های آهن می تواند بر سودمندی، ارزش اقتصادی و روش ذوب مورد نیاز آن تأثیر بگذارد.

خردایش و اندازه گیری تا محدوده ای بین ۶ تا ۳۵ میلی متر، و ترکیب برای کنترل تغییرات احتمالی در ترکیب شیمیایی، تنها پیش فرآوری های مورد نیاز برای سنگ معدن غنی قبل از ورود به کوره بلند هستند. بنابراین، سنگ معدن غنی از آهن بدون هیچ گونه فرآوری بیش تر مستقیماً به کوره بلند شارژ می شود. شکل ۲-۳ سنگ آهن موجود در انبار یک مرکز تولید فولاد را نشان می دهد. برعکس، سنگ معدن با محتوای آهن کم تر باید بیش تر پردازش و غنی سازی شود تا محتوای آهن افزایش یابد.



شکل ۲-۳ سنگ آهن در انبار یک کارخانه تولید فولاد





پیش از این که زغال سنگ برای استفاده در کوره بلند آماده شود، باید خرد، شسته و پخته شود تا گُک متالورژیکی به دست آید. زغال سنگ یک ماده اولیه کلیدی در فرآیند کوره بلند است، زیرا آهن را می توان منحصرأ به صورت اکسیدهای آهن طبیعی استخراج کرد که باید با استفاده از کربن احیا شوند. منبع اصلی کربن، زغال سنگ است. گُک، که با کربن دهی زغال سنگ گُک شونده (به عنوان مثال، حرارت دادن در غیاب اکسیژن در دمای بالا) ساخته می شود، عامل اصلی احیا کننده سنگ آهن است. گُک، سنگ آهن را به آهن مذاب اشباع شده با کربن تبدیل می کند. مهم ترین کارکردهای گُک به شرح زیر است: «الف) ایجاد ساختاری که گاز بتواند از طریق آن بالا رفته و در میان بار توزیع شود (ب) تولید گرما برای ذوب بار (ج) تولید گازهای کاهنده (د) تأمین کربن برای کربوریزاسیون فلز داغ و (ه) عمل به عنوان فیلتر برای دوده و گرد و غبار».

آهک زنده در طول فرآیند آهن سازی پس از افزودن سنگ آهک، تشکیل می شود. گرما، سنگ آهک را به آهک زنده تجزیه می کند که بعداً با ناخالصی های تولید سرباره واکنش می دهد. این سرباره پیش از انتقال فلز داغ به مخزن فولادسازی حذف می شود. سنگ آهک برای افزودن می تواند سنگ آهک خالص با کلسیم بالا، سنگ آهک دولومیتی و یا ترکیبی از این دو سنگ باشد.

مواد خام تقریباً بین ۶ تا ۸ ساعت طول می کشد تا به پایین کوره برسند و در آن جا به سرباره مایع و آهن (آهن مذاب) تبدیل شوند. در بخش های پایینی کوره، گُک به گاز تبدیل می شود تا CO تولید کند که عامل کاهنده اکسیدهای آهن است که به سمت بالای کوره جریان می یابند. آهن مذاب از پایین کوره جمع آوری می شود، در حالی که سرباره که روی آهن مذاب شناور است نیز از پایین جمع آوری می شود. ترکیب شیمیایی معمول آهن مذاب محصول منتقل شده به فرآیند فولادسازی در جدول ۲-۱ نشان داده شده است.



جدول ۱-۲ شیمی رایج آهن مذاب محصول منتقل شده به فرآیند فولادسازی

Iron (Fe)	= 93.5–95.0%
Silicon (Si)	= 0.30–0.90%
Sulfur (S)	= 0.025–0.050%
Manganese (Mn)	= 0.55–0.75%
Phosphorus(P)	= 0.03–0.09%
Titanium (Ti)	= 0.02–0.06%
Carbon (C)	= 4.1–4.4%

فولادسازی

از آنجایی که آهن شکننده است و به راحتی شکل پذیر نیست، باید در مرحله دوم به فولاد تبدیل شود. فولادسازی فرآیند حذف ناخالصی ها از محصول تولید شده در فرآیند آهن سازی برای تولید ماده ای با سطوح کنترل شده دقیق کربن، منگنز، نیکل، کروم و غیره است. مواد فولادسازی از نظر تولید و مصرف، یکی از بزرگترین کالاها در سراسر جهان است. به عنوان مثال، «سنگ آهن»، با تولید جهانی حدود ۲ میلیارد تن، از نظر حجم تولید، سومین کالای بزرگ در سطح جهان، درست پس از نفت خام و زغال سنگ و دومین کالای معامله شده (پس از نفت خام) است». علاوه بر این، ضایعات آهن نیز بزرگ ترین فعالیت بازیافت کالا در جهان است.

به طور کلی، تمام فرآیندهای فولادسازی باید سه مرحله اصلی را طی کنند: (الف) حذف ناخالصی ها (اکسیداسیون)، (ب) کنترل دما (شارژ) و (ج) افزودن عناصر آلیاژی. برخی از مراحل می توانند به طور هم زمان انجام شوند، به عنوان مثال، گرمای تولید شده از اکسیداسیون ناخالصی ها در مرحله اول، بیش تر برای ذوب قراضه و رساندن فلز به دمای مورد نیاز (مرحله دوم) استفاده می شود. مثال دیگر، افزودن برخی از عناصر



آلیاژی است که در درجه اول برای ایجاد خواص ویژه فولاد اضافه می شوند (مرحله سوم)، که به حذف ناخالصی ها نیز کمک می کند (مرحله اول). فولادسازی یک فرآیند دسته ای است، تا حدودی به این دلیل که به طیف وسیعی از محصولات نیاز است.

چدن

چدن که یک اصطلاح عمومی برای خانواده بزرگی از آلیاژهای آهنی ریخته گری شده است که در آن میزان کربن از حلالیت کربن در حدود ۲ درصد جرمی بیش تر است. بیش تر چدن ها همچنین حاوی سیلیکون هستند و ممکن است حاوی سایر عناصر آلیاژی و ناخالصی ها باشند (استاندارد ASTM G193). از آن جا که ریخته گری تنها و منحصر به فردترین فرآیند مناسب برای شکل دادن به این محصول آهنی است، به آن چدن می گویند. چدن با ذوب مجدد آهن خام، ضایعات و سایر افزودنی ها ساخته می شود. این محصول برای هزاران سال با ترکیبات مختلف تولید می شد. چدن ها معمولاً به شکل ریخته گری شده برای برآورده کردن نیازهای ساختاری و شکلی استفاده می شدند. در طول انقلاب صنعتی، قبل از توسعه گسترده صنعت فولاد، چدن معمولاً در طیف وسیعی از کاربردهای معماری (مانند پل ها یا ستون ها) استفاده می شد. دلیل این امر این است که چدن در نیمه دوم قرن نوزدهم نسبتاً ارزان بوده و به عنوان ماده سازه ای و برای کاربردهای تزئینی رایج بود.

چندین فاجعه، استفاده از چدن به عنوان مصالح ساختمانی برای پل ها را کاهش داد. چدن ها معمولاً شکننده هستند، بنابراین نمی توان آن ها را آهنگری، نورد، کشش و غیره کرد. آن ها را فقط می توان با ریختن آلیاژ مذاب با ترکیب مورد نظر در قالبی با شکل مشخص که آلیاژ در آن جامد می شود، به شکل ها و اندازه های دلخواه ریخت. مزایای استفاده از چدن ها از دمای ذوب نسبتاً پایین و قابلیت ریخته گری خوب، قابلیت ماشین کاری خوب و مقاومت فشاری خوب (۳ تا ۵ برابر استحکام کششی) ناشی می شود. با این وجود، آن ها عموماً در کشش و خمش ضعیف هستند و در صورت قرار گرفتن در معرض گرمای شدید، مقاومت و سختی خود را از دست می دهند. چدن ها حاوی کربن به صورت گرافیت (کربن خالص)، کاربید (Fe_3C) و در محلول





جامد هستند. کربن و سیلیکون تا حد زیادی ریزساختار محصولات ریخته گری را بلافاصله پس از انجماد تعیین می کنند. چدن محتوای کربن (بیش از ۲٪) را نشان می دهد که انجماد فاز نهایی را با یک تبدیل تضمین می کند. در محتوای کربن صفر درصد، ماده مورد نظر آهن خالص نرم یا فریت است. با افزایش محتوای کربن، مقدار بیش تری پرلیت تشکیل می شود که سخت تر و قوی تر است، به طوری که در حدود ۰/۹ درصد محتوای کربن، ساختار کاملاً پرلیتی می شود. افزایش محتوای کربن منجر به تشکیل مقدار بیش تری کاربید آهن می شود که سخت و شکننده است. وقتی محتوای کربن از ۱/۷ درصد بیش تر شود، این ماده چدن سفید نامیده می شود که ترکیبی از پرلیت و کاربید آهن است.

گرافیت آزاد یکی از اجزای مشخص چدن های غیرآلیاژی و کم آلیاژ است. رسوب گرافیت مستقیماً از مایع در جایی رخ می دهد که انجماد در محدوده دمای تبدیل پایدار تا دمای تبدیل نیمه پایدار، به ترتیب از ۱۱۵۳ تا ۱۱۴۷ درجه سانتی گراد، رخ می دهد که با نمودار آهن-کربن مطابقت دارد. طبق مشخصات شیمیایی، چدن ها ممکن است غیرآلیاژی و آلیاژی باشند. بسته به کاربرد چدن ها، عناصر آلیاژی اضافه شده به کوره باید متفاوت باشند. طیف چدن های آلیاژی بسیار گسترده است و یا حاوی مقدار زیادی از اجزای رایج مانند سیلیکون و منگنز هستند یا حاوی افزودنی های ویژه مانند نیکل، کروم، آلومینیوم، مولیبدن، تنگستن، مس، و نادیوم، تیتانیوم و سایر موارد هستند.

بسته به کاربرد و خواص مکانیکی مورد نظر، چدن ها به انواع اصلی زیر طبقه بندی می شوند: چدن سفید، چدن خاکستری، چدن چکش خوار و چدن کروی.

چدن سفید: چدنی است که سطح شکست سفیدی دارد (استاندارد ASTM G193). با محتوای کربن مناسب و سرعت خنک کنندگی بالا، اتم های کربن با آهن ترکیب می شوند و کاربید آهن تشکیل می دهند، به این معنی که مولکول های گرافیت در ماده جامد شده وجود ندارد. هنگامی که چدن سفید شکسته می شود، به دلیل وجود ناخالصی های کاربید (Fe_3C)، ترک های سفید رنگی ایجاد می شوند. چدن سفید سخت و شکننده





است و محتوای سیلیکون کم و نقطه ذوب پایینی دارد. کربن موجود در چدن سفید رسوب می کند و ذرات بزرگی تشکیل می دهد که سختی چدن را افزایش می دهد و ماشینکاری آن را دشوار می کند. در نتیجه، این نوع چدن ها در برابر سایش مقاوم هستند.

چدن خاکستری: یک ماده ریخته گری شده، عمدتاً بر پایه آهن و کربن است که کربن عمدتاً به شکل ذرات گرافیت ورقه ای (لایه لایه) وجود دارد؛ همچنین به عنوان چدن گرافیت ورقه ای و کم تر به عنوان چدن گرافیت ورقه ای شناخته می شود (استانداردهای ISO 185 و EN 1561) شناخته می شود. میزان کربن در چدن خاکستری عموماً بین ۲ تا ۴ درصد با افزودن حدود ۱ درصد سیلیکون متغیر است. چدن خاکستری پُر کاربردترین چدن است. چدن خاکستری بیش ترین تُناژ چدن در سراسر جهان را فراهم می کند، عمدتاً به دلیل طیف گسترده کاربردهای آن در مهندسی عمومی، سهولت ماشین کاری و مزیت هزینه. این چدن بالاترین مقادیر رسانایی حرارتی را در بین تمام چدن ها نشان می دهد، بنابراین در کاربردهایی که این ویژگی ضروری است، استفاده می شود. این چدن مقاومت فشاری بالا، مقاومت کششی پایین و تقریباً فاقد شکل پذیری (و مقاومت در برابر ضربه) است، زیرا ماهیت تقریباً پیوسته پولک های گرافیتی دارد. عناصر آلیاژی، مقاومت این محصول را افزایش می دهند. عناصر آلیاژی معمول عبارتند از منگنز، مس، نیکل، کروم و مولیبدن.

چدن چکش خوار: آلیاژ آهن-کربن عملیات حرارتی شده است که در حالت ریختگی با ساختاری عاری از گرافیت جامد می شود و به آن چدن سفید می گویند که کل کربن آن به صورت ترکیبی به صورت (Fe_3C) موجود است (استانداردهای ISO 5922 و EN 1562). بنابراین، چدن چکش خوار اساساً آهن سفیدی است که برای تبدیل کاربرد به گرافیت تحت عملیات حرارتی قرار می گیرد. در نتیجه، چدن حاصل دارای خواصی است که با چدن خاکستری و سفید متفاوت است. چدن چکش خوار نسبت به چدن خاکستری، کربن معادل کمتری دارد و با رنگ سفید منجمد می شود.





چدن کروی: طبق استانداردهای ISO 1083 و EN 1563، چدن با گرافیت کروی یک ماده ریخته گری شده، بر پایه آهن، کربن و سیلیکون است که کربن عمدتاً به شکل ذرات گرافیت کروی (چدن با گرافیت کروی) در آن وجود دارد.

چدن شکل پذیر در اواخر دهه ۱۹۴۰ کشف شد و تناژ سالانه تولید آن در سراسر جهان به طور مداوم افزایش یافت. دلیل این امر این است که گرافیت در چدن شکل پذیر کروی است، نه پوسته پوسته، در نتیجه باعث می شود که ماده زمینه غنی از آهن پیوسته باشد. به همین دلیل، ترک ها مسیر ضعیف و مناسبی برای انتشار ندارند. چدن شکل پذیر با عملیات حرارتی منیزیم قبل از ریخته گری تولید می شود و منیزیم به شکل آلیاژ اصلی به مذاب اضافه می شود. منیزیم با اکسیژن و گوگرد در چدن مذاب واکنش می دهد و منجر به گرافیت گره ای شکل می شود که به آن ها چدن گره ای می گویند. خواص مکانیکی این نوع چدن ها تقریباً به طور کامل به ریزساختار زمینه پیوسته بستگی دارد که می توان آن را با عملیات حرارتی کنترل کرد. این نوع چدن از مزیت شکل پذیری و همچنین مقاومت برخوردار است. به همین دلیل است که چدن شکل پذیر معمولاً ماده بهتری نسبت به چدن خاکستری در نظر گرفته می شود، اگرچه رسانایی حرارتی در ماده دوم مناسب تر است.

آهن فرفورژه اولین نوع آهنی بود که توسط آهنگران تولید و روی آن کار شد. این نوع آهن، شکلی سخت و چکش خوار از آهن است که برای آهنگری یا نورد به جای ریخته گری مناسب است و با پختن آهن خام در حالت مذاب به دست می آید؛ تقریباً خالص است اما حاوی مقداری سرباره به شکل رشته است. بنابراین، آهن فرفورژه آهن بسیار خالصی است که میزان آهن آن تقریباً ۹۹/۵٪ است. این نوع محصول را می توان با ذوب مجدد آهن خام و مقدار کمی سیلیکون تولید کرد. این فلز سخت، انعطاف پذیر، مقاوم در برابر خوردگی و شکل پذیر است و به راحتی می توان آن را آهنگری و جوشکاری کرد. وجود سرباره برای عملیات آهنگری مفید است و به این ماده ساختار فیبری منحصر به فردی می دهد. در طول انقلاب صنعتی، مقاومت کششی بالای آهن فرفورژه، آن را برای استفاده در تیرها در پروژه های ساختمانی بزرگ، مانند ساختمان های بلند، ایده آل





می کرد، اما این کاربرد در اوایل قرن بیستم، زمانی که محصولات فولادی توسعه یافتند، کنار گذاشته شد. یکی از معروف ترین ساختمان های جهان، برج ایفل، با آهن فرفورژه ساخته شد.

۲-۳ فولاد

ظهور فولاد با انقلاب صنعتی قرن نوزدهم در اروپا و آمریکای شمالی آغاز شد. این روش تولید فولاد که در سال ۱۸۵۶ معرفی شد، با روشی سریع و ارزان برای تولید فولاد در مقادیر زیاد، بازار را متحول کرد. فولاد در ربع اول قرن نوزدهم به طور گسترده در ساخت و ساز مورد استفاده قرار گرفت. امروزه با ترکیب آهن، درصد کمی از کربن و سایر عناصر کمیاب، می توان صدها نوع فولاد تولید کرد. انواع مختلف فولاد نورد و پوشش داده می شوند تا خواص ویژه ای را برای کاربردهای بی شماری ارائه دهند. در واقع، اصطلاح فولاد به یک ماده خاص اشاره نمی کند، زیرا به طیف وسیعی از مواد (چند صد آلیاژ فلزی مجزا به عنوان فولاد شناخته می شوند) اشاره دارد که از نظر ترکیب شیمیایی، ریزساختار، خواص و کاربردهای احتمالی فوق العاده متنوع هستند. فولاد بسیار مهم است زیرا هیچ ماده دیگری ترکیبی منحصر به فرد از خواصی مانند مقاومت، شکل پذیری و تطبیق پذیری را نشان نمی دهد.

رایج ترین کاربرد فولاد در ساختمان ها و زیرساخت ها در زیر فهرست شده اند.

برای ساختمان ها: (الف) مقاطع سازه ای: این مقاطع یک قاب محکم و سخت برای ساختمان فراهم می کنند و ۲۵٪ از استفاده فولاد در ساختمان ها را تشکیل می دهند. (ب) میلگردهای تقویت کننده: این مقاطع مقاومت کششی و سختی را به بتن اضافه می کنند و ۴۴٪ از استفاده فولاد در ساختمان ها را تشکیل می دهند. (ج) محصولات ورقی: ۳۱٪ در محصولات ورقی مانند سقف، تیرهای سقف، دیوارهای داخلی، سقف ها، روکش ها و پانل های عایق برای دیوارهای خارجی استفاده می شود. (د) فولاد غیرسازه ای: نمونه هایی از آن تجهیزات گرمایشی و سرمایشی و کانال کشی داخلی هستند. (ه) وسایل و اتصالات داخلی مانند ریل، قفسه بندی و پله ها نیز از فولاد ساخته می شوند.





کاربردهای زیرساختی: (الف) شبکه های حمل و نقل: فولاد برای پل ها، تونل ها، مسیرهای ریلی و در ساخت ساختمان هایی مانند ایستگاه های سوخت رسانی، ایستگاه های قطار، بندر و فرودگاه ها مورد نیاز است. حدود ۶۰٪ از فولاد مورد استفاده در این کاربرد به صورت میلگرد و بقیه به صورت مقاطع، صفحات و ریل راه آهن (ب) تأسیسات (سوخت، آب، برق): بیش از ۵۰٪ از فولاد مورد استفاده در این کاربرد در خطوط لوله زیرزمینی برای توزیع آب و گاز استفاده می شود. بقیه عمدتاً میلگرد برای نیروگاه ها و تلمبه خانه ها است. طبق استاندارد ASTM G193، فولاد ماده ای است که درصد جرمی آهن بیش تری نسبت به هر عنصر دیگری دارد و حاوی کربنی است که عموماً کمتر از ۲/۱ درصد جرمی است. فولاد کربنی آلیاژی از کربن و آهن است که حاوی بیشینه ۲ درصد جرمی کربن و بیشینه ۱/۶۵ درصد جرمی منگنز و مقادیر باقیمانده از عناصر دیگر، به جز مواردی که عمداً در مقادیر خاص برای اکسیداسیون اضافه می شوند (معمولاً سیلیکون و یا آلومینیوم) است.

جالب ترین خواص فولاد در کاربردهای سازه ای مربوط به مقاومت تسلیم، شکل پذیری، چقرمگی، مدول الاستیسیته، ضریب انبساط حرارتی، قابلیت جوشکاری و مقاومت در برابر خوردگی است. بیش تر فولادهای سازه ای مورد استفاده در اروپا با استانداردهای EN 10025-1 و EN 10025-2 مطابقت دارند که پنج گرید برای فولاد سازه ای غیرآلیاژی گرم نورد شده مشخص می کنند: S185، S235، S275، S355 و S450، که در آن "S" به معنای سازه ای است و اعداد کمینه مقاومت تسلیم (بر حسب مگاپاسکال) برای مقاطعی با ضخامت کم تر از ۱۶ میلی متر هستند. گریدهای رایج مورد استفاده در کاربردهای سازه ای S275 و S355 هستند. خواص مورد نیاز و محدودیت های ترکیب برای چهار درجه بالاتر در جدول ۲-۲ نشان داده شده است.

فرآیند تولید فولاد منجر به تولید محصولات نیمه تمام می شود که باید به اشکال و اندازه های متنوعی که برای ساختمان ها و زیرساخت ها مورد نیاز است، تبدیل شوند. طبق استاندارد ISO 6929، یک محصول نیمه تمام فولادی «محصولی است که از طریق موارد زیر به دست می آید: (الف) ریخته گری مداوم که ممکن است با





نورد، آهنگری یا برش دنبال شود یا نشود (ب) ریخته گری تحت فشار و (ج) نورد، آهنگری یا برش شمش یا مقاطع بزرگ محصولات ریخته گری مداوم و عموماً برای تبدیل به محصولات مسطح یا طویل از طریق نورد گرم یا آهنگری یا برای ساخت قطعات آهنگری در نظر گرفته شده است.» محصولات تبدیل شده عموماً به محصولات مسطح (محصولاتی با مقاطع تقریباً مستطیلی که عرض آنها بسیار بیش تر از ضخامت است) و محصولات طویل (محصولاتی که با تعریف قبلی مطابقت ندارند) تقسیم می شوند.

جدول ۲-۲ محدودیت های ترکیب و خواص گریدهای فولاد سازه ای نورد گرم

Grade	Min yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Min elongation at fracture (%)	Composition limits (max %)							
				C	Si	Mn	P	S	N	Cu	CEV
S235	235	360-510	26	0.19		1.5	0.04	0.04	0.014	0.6	0.35
S275	275	410-560	23	0.21		1.6	0.04	0.04	0.014	0.6	0.40
S355	355	470-630	22	0.23	0.6	1.7	0.04	0.04	0.014	0.6	0.47
S450	450	550-720	17	0.23	0.6	1.8	0.04	0.04	0.027	0.6	0.49

در مورد روش های فرآوری، بخش شکل دهی گرم و سرد بخش فرآوری فلزات آهنی شامل روش های مختلف تولید، مانند نورد گرم یا نورد سرد، فولاد است. بنابراین انواع زیادی از محصولات نیمه تمام و تمام شده با خطوط تولید مختلف تولید می شوند. در نورد گرم، اندازه، شکل و خواص متالورژیکی اسلب ها، شمش ها، شمش ها یا شمش های فولادی با فشرده سازی مکرر فلز داغ (با دمایی بین ۱۰۵۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد) بین غلتک های برقی تغییر می کند. ورودی فولاد برای نورد گرم بسته به مسیر فرآیند و محصول تولیدی، از نظر شکل و فرم متفاوت است. محصولات به دست آمده از نورد گرم معمولاً بر اساس شکل شان به دو نوع اساسی طبقه بندی می شوند: محصولات مسطح و بلند. شکل ۲-۴ فولاد داغ را نشان می دهد که با آب پاشیده می شود. این امر امکان کنترل سرعت خنک شدن آن را فراهم می کند. در نورد سرد، خواص محصولات نوار نورد گرم، مانند ضخامت، ویژگی های مکانیکی و تکنولوژیکی، با فشرده سازی بین غلتک ها (شکل ۲-۵)





بدون گرم کردن قبلی ورودی تغییر می کند. ورودی به شکل کلاف از کارخانه های نورد گرم به دست می آید. محصولات نورد سرد عمدتاً نوارها و ورق ها (با ضخامت معمولاً $0/16$ تا 3 میلی متر) با سطح پرداخت شده با کیفیت بالا و خواص متالورژیکی دقیق برای استفاده در محصولات با مشخصات بالا هستند.



شکل ۲-۴ نورد گرم (فولاد داغ که با آب پاشیده می شود)



شکل ۲-۵ نورد سرد





خوردگی

تمام فلزات به دلیل ماهیت و فرآیند تولید خود، تمایل به خوردگی دارند. به طور کلی، خوردگی عبارت است از تخریب مواد در اثر برهم کنش شیمیایی با محیط. طبق استاندارد EN ISO 8044، خوردگی عبارت است از «تعامل فیزیکوشیمیایی بین یک فلز و محیط آن که منجر به تغییر در خواص فلز می شود و ممکن است منجر به اختلال قابل توجه در عملکرد فلز، محیط یا سیستم فنی شود که این موارد بخشی از آن را تشکیل می دهند (این تعامل اغلب ماهیت الکتروشیمیایی دارد)» و استاندارد ASTM D6594 اشاره می کند که خوردگی «واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده، معمولاً یک سطح فلز، و محیط آن است که می تواند باعث تخریب ماده و خواص آن شود». پیامدهای خوردگی بسیار متنوع هستند، اما اثرات آن ها بر عملکرد ایمن، قابل اعتماد و کارآمد سازه های فولادی عموماً از اتلاف فلز ساده مهم تر است. فولاد به طور طبیعی در معرض جو دچار خوردگی می شود، زیرا شروع به بازگشت به حالت اولیه (اکسید آهن) می کند. فولاد محافظت نشده در معرض خوردگی قرار می گیرد که می تواند منجر به آسیب شود. در نتیجه، برای جلوگیری از آسیب خوردگی، سازه های فولادی معمولاً برای مقاومت در برابر تنش های خوردگی که در طول عمر مفید مورد نیاز سازه در معرض آن قرار می گیرند، محافظت می شوند. محصولات خوردگی فولاد، ذرات اکسیدی هستند که رنگ قهوه ای/قرمز (زنگ) مشخصی دارند. زنگ شامل محصولات خوردگی قابل مشاهده است که عمدتاً از اکسیدهای آهن هیدراته تشکیل شده اند. استاندارد EN ISO 8044 بیش از ۳۰ نوع مختلف خوردگی مؤثر بر فلزات و آلیاژها را تعریف می کند: «خوردگی الکتروشیمیایی (شامل کمینه یک واکنش آندی و یک واکنش کاتدی)، خوردگی شیمیایی (شامل واکنش الکتروشیمیایی نمی شود)، خوردگی گازی (با گاز خشک به عنوان تنها محیط خورنده و بدون هیچ فاز مایع روی سطح فلز)، خوردگی اتمسفری (با جو زمین در دمای محیط به عنوان محیط خورنده) خوردگی دریایی (با آب دریا به عنوان عامل اصلی محیط خورنده - این تعریف شامل شرایط منطقه غوطه ور و پاشش آب می شود)، خوردگی میکروبی (مرتبط با عملکرد میکروارگانیسم های موجود در سیستم خوردگی)» و غیره.





فولاد کربنی را می توان با پوشش دادن با یک فلز فداشونده واکنش پذیرتر، از خوردگی محافظت کرد. اگر پوشش روی باشد، محصول به عنوان فولاد گالوانیزه شناخته می شود. به عنوان مثال، می توان آن را با فرو بردن فولاد در حمام روی مذاب تولید کرد. در مورد جلوگیری از خوردگی، می توان با به تأخیر انداختن واکنش های آندی یا کاتدی، سرعت خوردگی را کاهش داد. این کار را می توان از چندین طریق انجام داد، عمدتاً با آماده سازی فلز و یا آلیاژسازی فلز. فرآیند اصلی آماده سازی فلزات، پوشش دادن فلز با فلز دیگری مانند روی و یا با رزین ها، پلاستیک ها، رنگ ها، لعاب ها، روغن ها، گریس ها و غیره است. گزینه اساسی دیگر، آلیاژ کردن فلز برای تولید آلیاژی مقاوم تر در برابر خوردگی است که معمولاً فولاد ضد زنگ است، آلیاژی از فولاد معمولی با کروم و نیکل.

فولاد ضد زنگ

تاریخچه فولادهای ضد زنگ در قرن بیستم با کار پیشگامانه مونارتز (متخصص آلمانی) در سال ۱۹۰۸ آغاز شد. این دانشمند، خاصیت غیرفعال بودن آلیاژهای Fe-Cr را هنگامی که مقدار کروم به کمینه ۱۱٪ می رسد، کشف کرد و خاصیت ضد زنگ بودن را برای آلیاژهای فلزی معرفی کرد. مقدار کروم اضافه شده به فولاد معمولی، براق بودن و درخشندگی زیادی ایجاد می کند و آن را در برابر کدر شدن و زنگ زدگی بسیار مقاوم می کند. این خاصیت ضد زنگ، مقاومت در برابر خوردگی نامیده می شود و چیزی است که فولاد ضد زنگ را از بیش تر شکل های دیگر فولاد متمایز می کند. بدیهی است که فولاد ضد زنگ بیش تر به دلیل مقاومت در برابر خوردگی مورد استفاده قرار می گیرد. این فولاد توسط یک لایه اکسید کروم در سطح محافظت می شود. این لایه با واکنش بین کروم موجود در فولاد و اکسیژن موجود در جو ایجاد می شود. اگر لایه اکسید کروم آسیب ببیند، بلافاصله در حضور اکسیژن خود را ترمیم می کند. لایه محافظ را می توان به صورت شیمیایی اصلاح کرد تا رنگ های فلزی دائمی ایجاد شود. لازم به ذکر است که فولاد ضد زنگ یک ماده جامد است و نه یک پوشش ویژه که برای ایجاد خواص ضد زنگ روی فولاد معمولی اعمال





می شود. ویژگی منحصر به فرد فولاد ضد زنگ از خواصی مانند تطبیق پذیری، رفتار عالی در دمای پایین و بالا، چقرمگی بالا، شکل پذیری و جوش پذیری ناشی می شود. فولادهای ضد زنگ به طور ایده آل برای کاربردهای ساختمانی مناسب هستند.

فولادهای ضد زنگ آستنیتی^۶

در این نوع فولاد ضد زنگ، کربن عموماً در مقادیر کمتر از ۰/۰۸ درصد حفظ می شود و مقدار کروم بین ۱۶ تا ۲۸٪ و مقدار نیکل بین ۳/۵ تا ۳۲٪ متغیر است. این آلیاژها به دلیل شکل پذیری عالی، مقاومت در برابر خوردگی و جوش پذیری، مهم ترین گریدهای فولاد زنگ نزن هستند. با این حال، نمی توان آن ها را از طریق عملیات حرارتی سخت کرد. گریدهای آستنیتی در بسیاری از کاربردها استفاده می شوند، مهم ترین فولادهای ضد زنگ معمولاً در ساختمان سازی و ساخت و ساز استفاده می شوند. آن ها برای تحمل شرایط خوردنده متنوع، از محیط های ملایم مانند فضای داخلی ساختمان های معمولی گرفته تا خوردنده ترین آن ها، مانند اتمسفر استخرهای سرپوشیده یا تونل ها، استفاده می شوند.

فولادهای ضد زنگ دوپلکس^۷

در فولادهای ضد زنگ دوپلکس، کربن در سطح بسیار پایین (۰/۰۳ درصد) نگه داشته می شود. میزان کروم بین ۲۱٪ تا ۲۶٪ و میزان نیکل بین ۳/۵ تا ۸٪ متغیر است. این آلیاژها می توانند تا ۴/۵ درصد مولیدن داشته باشند. این گریدها ساختار ترکیبی از فریت (۵۰٪) و آستنیت (۵۰٪) را نشان می دهند و خواصی ارائه می دهند که این ساختار را منعکس می کند، اگرچه تمایل دارند به فریتی ها و فولاد کربنی نزدیک تر باشند. فولادهای ضد زنگ دوپلکس، مقاومت خوب در برابر خوردگی را با استحکام بالا و سهولت ساخت ترکیب می کنند. آن ها در حالی که شکل پذیری و چقرمگی خوبی از خود نشان می دهند، مقاومت قابل توجهی بیش تر

6- Austenitic Stainless Steels

7- Duplex Stainless Steels





از گریدهای آستینیتی ارائه می دهند. این نوع فولاد ضد زنگ دوپلکس، همچنان نقش مهمی در ساخت پل ها ایفا می کند.

۲-۲ فلزات غیر آهنی و آلیاژها

فلزات غیر آهنی و آلیاژهای آنها به دلیل خواص ذاتی خود معمولاً در بخش ساختمان و ساخت و ساز مورد استفاده قرار می گیرند. فلزات غیر آهنی را می توان در ساختمان های تاریخی و همچنین در معماری جدید و مدرن یافت. پُرکاربردترین فلزات غیر آهنی در ساخت و ساز آلومینیوم و مس هستند، در حالی که فلزات دیگری مانند قلع، سرب و روی گه گاه در کاربردهای خاص ساختمانی یافت می شوند.

شکل دهی فلزات مرحله نهایی تولید متالورژیکی است. این مرحله، سیستم اصلی ساخت محصولات فلزی و نیمه تمام را نشان می دهد. بیش از ۹۰٪ فلز ذوب شده با روش های مختلف شکل دهی فلز، بیش تر پردازش می شود. کار با فلزات و آلیاژها به انعطاف پذیری بستگی دارد که عموماً در دمای بالا (دمای بالاتر از دمای تبلور مجدد فلز) بیش تر است. بنابراین، همه فلزات می توانند بدون شکستن، به ویژه در فشار، به شدت تغییر شکل دهند. علاوه بر نورد، که قبلاً در بخش فولاد توضیح داده شده است، سایر روش های رایج شکل دهی فلزات پس از ریخته گری (به یاد داشته باشید که اکثر فلزات رایج اغلب با ذوب و ریخته گری در قالب تولید می شوند) عبارتند از کشش، آهنگری و اکستروژن.

کشش: مقدار زیادی سیم، میله، لوله و انواع دیگر مقاطع با فرآیند کشش تولید می شوند که اساساً یک فرآیند کار سرد است. فلز از طریق یک قالب کشیده می شود تا شکل و اندازه مورد نظر پیدا شود. به دلیل اعمال نیروی کشش، کاهش مساحت به حدود ۲۰٪ محدود می شود. به عنوان مثال، فرآیند کشش سیم برای تولید سیم های با قطر کوچک از میله ها با کاهش قطر آنها و کشیدن طول آنها از طریق اعمال نیروی کششی استفاده می شود.





آهنگری: آهنگری احتمالاً قدیمی ترین فرآیند فلزکاری است. این فرآیند حتی در دوران ماقبل تاریخ نیز شناخته شده بود، زمانی که ابزارهای فلزی با حرارت دادن و چکش کاری ساخته می شدند. آهنگری یک فرآیند اساسی است که در آن قطعه کار توسط نیروهای فشاری اعمال شده از طریق قالب ها و ابزارهای مختلف برای دستیابی به پیکربندی مورد نظر شکل می گیرد. آهنگری ممکن است در دمای اتاق (آهنگری سرد) یا در دمای بالا (آهنگری گرم یا داغ) انجام شود.

اکستروژن: در اکستروژن (یک فرآیند تغییر شکل حجمی شامل فشار)، فلز در یک محفظه فشرده می شود و ماده تغییر شکل یافته مجبور به عبور از قالب می شود. دهانه قالب با سطح مقطع محصول مورد نیاز مطابقت دارد. این سطح مقطع می تواند گرد باشد تا یک محصول استوانه ای تولید شود یا اشکال متنوعی را نشان دهد. اکستروژن این مزیت را دارد که قطعات بلند با مقاطع پیچیده، مانند میله های لعاب آلومینیومی، می توانند تولید شوند. فرآیند اکستروژن پروفیل های پیوسته با مقاطع مختلف تولید می کند.

۲-۵ آلومینیوم

آلومینیوم (Al) سیزدهمین عنصر جدول تناوبی است؛ آلومینیوم گسترده ترین فلز روی زمین است (بیش از ۸٪ از جرم هسته زمین را تشکیل می دهد). این فلز پس از اکسیژن و سیلیکون، سومین عنصر شیمیایی روی سیاره ما است. چگالی آلومینیوم فقط ۲/۷ گرم بر سانتی متر مکعب است، تقریباً یک سوم چگالی متوسط فولاد (۷/۸ گرم بر سانتی متر مکعب). چگالی پایین آلومینیوم به همراه مقاومت بالای برخی از آلیاژهای آلومینیوم (بیش از فولاد سازه ای) امکان طراحی و ساخت سازه های قوی و سبک را فراهم می کند. آلومینیوم خالص در طبیعت وجود ندارد زیرا آلومینیوم به راحتی با سایر عناصر پیوند برقرار می کند. در مرحله اول تولید آلومینیوم، بوکسیت به آلومینا یا اکسید آلومینیوم Al_2O_3 تبدیل می شود که سپس در کارخانه های ذوب آلومینیوم با کاهش الکترولیتی به آلومینیوم تبدیل می شود. آلومینیوم را می توان بیش تر نورد، کشش و پرس کرد.





آلومینیوم ترکیبی از خواص ارزشمند را نشان می دهد: (الف) یکی از سبک ترین فلزات است (تقریباً سه برابر سبک تر از آهن)، (ب) بسیار قوی، فوق العاده انعطاف پذیر و مقاوم در برابر خوردگی است زیرا سطح آن همیشه توسط یک لایه نازک و قوی از فیلم اکسید پوشانده شده است و (ج) آهنربا نمی شود و رسانای الکتریکی خوبی است و تقریباً با تمام فلزات دیگر آلیاژ تشکیل می دهد. بر این اساس، انواع بسیار زیادی از آلیاژهای آلومینیوم توسعه یافته است. حتی مقدار کمی از فلزات ممکن است خواص فلز را به شدت تغییر دهند. در مورد مقاومت در برابر خوردگی، هنگامی که به طور مناسب آلیاژ و فرآوری شود، آلومینیوم می تواند در برابر خوردگی توسط آب، نمک و سایر عوامل محیطی و طیف وسیعی از عوامل شیمیایی و فیزیکی مقاومت کند. آلومینیوم برای اولین بار در دهه ۱۹۲۰ به مقدار زیاد برای ساختمان سازی و ساخت و ساز مورد استفاده قرار گرفت، زمانی که فرآیند الکترولیز هزینه آلومینیوم را ۸۰ درصد کاهش داد.

۲-۶ مس

مس و آلیاژهای مرتبط به طور گسترده در صنعت ساختمان برای اهداف متنوعی مورد استفاده قرار می گیرند، به ویژه کاربردهایی که به مقاومت در برابر خوردگی، رسانایی الکتریکی بالا، استحکام، شکل پذیری، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت در برابر خستگی و یا سایر ویژگی های خاص مس و یا آلیاژهای آن نیاز دارند. برخی از ویژگی های خاص و مرتبط با ساختمان سازی، قابلیت شکل پذیری این مواد به اشکال پیچیده رسانایی حرارتی بالا است. مقاومت عالی مس در برابر خوردگی، آن را برای کاربردهایی مانند سقف سازی، درزگیری، قرنیز، ناودان و کاربردهای مشابه مناسب می کند. مس و آلیاژهای مبتنی بر مس، به ویژه برنج، به دلیل مقاومت در برابر خوردگی، برای لوله های آب در ساختمان ها استفاده می شوند. مس برای اهداف تزئینی، از جمله تزئینات معماری، استفاده می شود. مجسمه آزادی احتمالاً مشهورترین نمونه است که حدود ۱۰۰ تن مس در لایه بیرونی مجسمه استفاده شده است.





فصل سوم

سنگدانه

۳-۱ مقدمه

سنگدانه ها (اصطلاحی کلی برای مواد معدنی متشکل از دانه ها یا قطعات سنگ) یکی از رایج ترین منابع طبیعی مورد استفاده در زندگی روزمره هستند که اساساً کیفیت زندگی را افزایش داده اند. سنگدانه ها برای استفاده در ساخت و ساز ضروری هستند. آن ها تقریباً در تمام ساخت و سازهای مسکونی، تجاری و صنعتی و در بیش تر پروژه های عمومی مانند جاده ها، بزرگراه ها و پل ها، بستر راه آهن، سدها، فرودگاه ها، تونل ها و بسیاری دیگر استفاده می شوند. امروزه، تولید سنگدانه بیش از نیمی از حجم استخراج غیرسوختی را تشکیل می دهد. علاوه بر این، در آینده، بازسازی جاده ها، بزرگراه ها، پل ها، فرودگاه ها، بنادر و ساختمان های خصوصی و عمومی فرسوده، نیازمند استخراج مقادیر عظیمی از سنگدانه خواهد بود. اگرچه تقریباً غیرممکن است که دقیقاً بدانیم سالانه چه مقدار سنگدانه در جهان استخراج می شود، اما می توان تقریباً تخمین زد که تولید سالانه سنگدانه در سراسر جهان حدود ۲۵ میلیارد تن است. واضح است که هم کشورهای توسعه یافته و هم کشورهای در حال توسعه به استفاده گسترده از سنگدانه نیاز دارند.

سنگدانه ها عموماً به صورت روباز استخراج می شوند (شکل ۳-۱) و یا در حالت طبیعی خود یا پس از خرد کردن، شستشو و دانه بندی استفاده می شوند. آن ها معمولاً با اجزای چسبنده ترکیب می شوند تا بتن، ملات و آسفالت تشکیل دهند، اگرچه می توانند به خودی خود برای تأمین پایه ای که زیر جاده های آسفالت شده،





بالاستِ راه آهن، سطوح جاده های آسفالت نشده و مواد فیلترکننده در تصفیه آب استفاده شوند. برخلاف فلزات، مانند طلا یا مس، سنگدانه ها کالایی با حجم زیاد و ارزش واحد پایین هستند. این نوع ماده اولیه بخش زیادی از ارزش خود را از موقعیت مکانی نزدیک به بازار به دست می آورد. در نتیجه، گفته می شود که ارزش مکانی بالایی دارد. حمل و نقل سنگدانه ها در مسافت های طولانی، قیمت آن را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد و می تواند ذخایر دوردست را غیراقتصادی کند. به همین دلیل، عملیات سنگدانه سازی معمولاً در نزدیکی مراکز جمعیتی و سایر مناطق بازار انجام می شود.



شکل ۳-۱ معدن سنگدانه

مهم ترین کاربرد سنگدانه ها مربوط به ساخت و ساز است، اما کاربردهای بسیار دیگری نیز برای آنها متصور است. آنها کاربردهای صنعتی متعددی مانند تولید داروها، شکر، شیشه، کاغذ، پلاستیک، کفپوش، لاستیک، پارچه های مصنوعی، لوازم آرایشی، خمیر دندان و بسیاری موارد دیگر دارند. در نتیجه، می توان گفت که سنگدانه ها به اشکال مختلف تقریباً در هر چیزی که انسان در طول روز با آن تماس دارد، استفاده می شوند و بدیهی است که برای حفظ و توسعه جامعه حیاتی هستند.





تعاریف زیادی برای اصطلاح سنگدانه وجود دارد، اگرچه بیش تر آن ها بسیار مشابه هستند. دانشنامهٔ بریتانیکا سنگدانه (در ساختمان سازی) را به عنوان «ماده ای که برای مخلوط کردن با سیمان، قیر، آهک، گچ یا سایر مواد چسبنده برای تشکیل بتن یا ملات استفاده می شود» تعریف می کند. سازمان زمین شناسی بریتانیا اشاره می کند که «سنگدانه ها معمولاً به عنوان مواد سخت و دانه ای تعریف می شوند که برای استفاده به تنهایی یا با افزودن سیمان، آهک یا یک چسب قیری در ساخت و ساز مناسب هستند». انجمن سیمان پورتلند بیان می کند که «سنگدانه ها مواد دانه ای بی اثر مانند شن، ماسه یا سنگ خُرد شده هستند که به همراه آب و سیمان پورتلند، یک ماده ضروری در بتن هستند». در استانداردهای ASTM، سنگدانه دارای تعاریف متعددی است که عمدتاً به کاربردهای آن ها بستگی دارد. با توجه به مهم ترین کاربردهای سنگدانه ها، سنگدانه مربوط به بتن (استاندارد ASTM C125) "ماده ای دانه ای مانند ماسه، شن، سنگ خُرد شده یا سربارهٔ کوره آهن است که با یک واسطهٔ سیمانی برای تشکیل بتن یا ملات سیمانی هیدرولیکی استفاده می شود. اگر سنگدانه ها در جاده ها و روسازی ها استفاده شوند (استاندارد ASTM D8)، «ماده ای دانه ای هستند که به عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرند و الزامات کاربردهای جاده ای و روسازی را برآورده می کنند». در سنگدانه ها برای ملات و دوغاب برای بنایی واحد (استاندارد C1180)، سنگدانه «یک مادهٔ معدنی دانه ای مانند ماسهٔ طبیعی، ماسهٔ مصنوعی، شن، سنگ خُرد شده و سربارهٔ کوره آهن سرد شده در هوا» است. در نتیجه، سنگدانه طیف وسیعی از مواد طبیعی و مصنوعی را با اندازه ها و خواص فیزیکی متنوع در بر می گیرد.

۳-۲ انواع سنگدانه ها

سنگدانه ها را می توان بر اساس چندین معیار طبقه بندی کرد. اگر وزن واحد آن ها در نظر گرفته شود، می توان آن ها را به سنگدانه های سبک، سنگین یا معمولی تقسیم کرد. سنگدانه ها همچنین با در نظر گرفتن اندازهٔ ذرات، به سنگدانه های ریز (ماسه) یا سنگدانه های درشت (شن) طبقه بندی می شوند. منشأ زمین شناسی می تواند یکی دیگر از ویژگی های طبقه بندی انواع سنگدانه ها باشد: رسوبی، آذرین و دگرگونی. با این وجود،





رایج ترین و پُرکاربردترین سیستم برای گروه بندی انواع مختلف سنگدانه، در نظر گرفتن روش تولید مورد استفاده است. بنابراین، سنگدانه ها به صورت طبیعی، مصنوعی یا بازیافتی از هم جدا می شوند. استاندارد EN 12620 از این طبقه بندی استفاده می کند و تعاریف زیر را ذکر می کند: «سنگدانه طبیعی، سنگدانه ای از منابع معدنی است که چیزی بیش از فرآوری فیزیکی (خُرد کردن و دانه بندی) روی آن انجام نشده است.» سنگدانه مصنوعی، سنگدانه ای با منشأ معدنی است که از یک فرآیند صنعتی شامل اصلاح حرارتی یا سایر اصلاحات (مثلاً سرباره) حاصل می شود. و سنگدانه بازیافتی سنگدانه ای است که از فرآوری مواد معدنی که قبلاً در ساخت و ساز استفاده شده اند (مثلاً زباله های ساختمانی) حاصل می شود.» به عبارت دیگر، سنگدانه ها شامل شن و ماسه (از جمله رسوبات دریایی)، سنگ خُرد شده (مثلاً سنگ آهک) و سنگدانه های بازیافتی (مثلاً بتن فرآوری شده) و سنگدانه های تولید شده هستند. سنگدانه های طبیعی (شن و ماسه، و سنگ خُرد شده) عمدتاً از معادن استخراج می شوند (در برخی کشورها نیز از مواد لایروبی شده از رودخانه، یعنی سنگدانه های رودخانه ای).

سنگدانه های طبیعی را می توان به دو نوع تقسیم کرد: (الف) سنگ های رسوبی، دگرگونی و آذرین نمایان یا نزدیک به سطح که قابلیت خُرد شدن دارند و (ب) رسوبات شن و ماسه که ممکن است مستقیماً استفاده شوند یا خُرد شده و برای برآورده کردن مشخصات، دانه بندی شوند. رسوبات سنگدانه طبیعی، چه شن و ماسه و چه سنگ منشأ برای سنگ خُرد شده، می توانند در محیط های زمین شناسی متنوعی وجود داشته باشند. آتشفشان ها، زلزله ها، یخچال های طبیعی، رودخانه ها و نهرها و فرآیندهای دریایی در تشکیل مواد مورد استفاده به عنوان سنگدانه نقش داشته اند. در هر منطقه از جهان، در دسترس بودن سنگ بستر مناسب برای خُرد شدن به تاریخ زمین شناسی منطقه بستگی دارد، به عبارت دیگر، فرآیندهایی که سنگ بستر را تشکیل داده، فرسایش داده و نمایان کرده اند. برای یافتن رسوبات مناسب و ارزیابی پتانسیل منابع جدید سنگدانه، نکته کلیدی درک فرآیندهای زمین شناسی تشکیل دهنده آن ها و محیط های زمین شناسی است که در آن رخ می دهند.





به طور کلی، شن و ماسه تا دهه ۱۹۸۰ منبع اصلی سنگدانه های طبیعی بودند، اما از آن زمان به بعد اهمیت آن کاهش یافت. در بسیاری از کشورها، نسبت های نسبی تولید سنگدانه های خُرد شده و شن و ماسه معمولاً بازتابی از وجود و دسترسی به ذخایر شن و ماسه است که معمولاً به روش های فرآوری کمتری نیاز دارند و به همین ترتیب تولید آن ها ارزان تر است، اگرچه مسائل زیست محیطی مهمی ایجاد می کنند. هر دو نوع سنگدانه معمولاً در ساخت و ساز، طبق استانداردهای مشخصات و همچنین ملاحظات اقتصادی، استفاده می شوند. به عنوان مثال، در ساخت بتن از سیمان پرتلند، شن و ماسه رودخانه ای معمولاً ترجیح داده می شوند در حالی که سنگ خُرد شده در مخلوط های آسفالتی انتخاب می شود زیرا آسفالت به سطوح ناهموار بهتر می چسبد.

سنگ خُرد شده

سنگ خُرد شده «محصولی است که از خُرد کردن مصنوعی سنگ، قلوه سنگ یا تخته سنگ بزرگ حاصل می شود که اساساً تمام سطوح آن از عملیات خُرد کردن حاصل شده است» (استاندارد ASTM C125). این سنگ عموماً با حفاری (شکل ۱-۳)، انفجار، بارگیری (شکل ۲-۳) و خُرد کردن سنگ بستر تولید می شود، اگرچه می تواند شامل خُرد کردن تخته سنگ های بزرگ یا قلوه سنگ نیز باشد. سنگ خُرد شده معمولاً دارای لبه های زاویه دار است و اساساً تمام سطوح آن از عملیات خُرد کردن حاصل شده است. علاوه بر اندازه و شکل ذرات، این نوع سنگدانه بر اساس نوع سنگی که از آن تولید شده است نیز طبقه بندی می شود: رسوبی، آذرین و دگرگونی. بدیهی است که انواع زیادی از سنگ ها برای استفاده به عنوان سنگدانه در هنگام خُرد شدن مناسب هستند. مناسب بودن فنی سنگ های خُرد شده برای کاربردهای مختلف سنگدانه بر اساس ویژگی های فیزیکی آن ها است. سنگدانه های با کیفیت بالا برای کاربردهایی مانند بالاست (در راه آهن) مورد نیاز است، در حالی که سنگدانه های با کیفیت پایین تر ممکن است برای کاربردهایی مانند بتن یا ملات قابل قبول باشند. بیش تر سنگ های سخت به طور بالقوه برای سنگدانه های درشت مناسب هستند، اما سنگدانه های خُرد شده با کیفیت بالا معمولاً از سنگ های آذرین بسیار سخت و متراکم به دست می آیند.





شکل ۲-۳ حفاری در معدن سنگ خُرد شده



شکل ۳-۳ بارگیری مصالح سنگی در معدن سنگ خُرد شده برای مصالح سنگی

- سنگ های رسوبی

دو نوع اصلی سنگ رسوبی وجود دارد: (الف) آن هایی که به صورت شیمیایی یا بیوشیمیایی تشکیل شده اند (سنگ های آهکی و تبخیری) و (ب) آن هایی که به صورت مکانیکی رسوب کرده اند (سنگ های آواری). سنگ های رسوبی طیف متنوعی از خواص را نشان می دهند، از سنگین تا سبک، قوی تا ضعیف، سخت تا نرم



و متراکم تا متخلخل. به همین دلیل، مناسب بودن آن‌ها برای استفاده به عنوان سنگ خُرد شده برای مصالح سنگی بر این اساس تغییر می‌کند. سنگ آهک یک سنگ رسوبی است که اساساً از کربنات کلسیم (CaCO_3) تشکیل شده است. با افزایش مقدار کربنات منیزیم (MgCO_3)، سنگ آهک به دولومیت ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) درجه‌بندی می‌شود. بیش‌تر سنگ‌های آهک و دولومیتِ سخت، بادوام و بنابراین برای تولید مصالح سنگی مفید هستند، که از انواع سنگ‌های رایج هستند و در نتیجه به‌طور گسترده برای این کاربرد استخراج می‌شوند. با این حال، در برخی موارد، سنگ آهک ممکن است شکننده، نرم و جاذب باشد، به‌خصوص زمانی که حاوی مقدار قابل توجهی رس باشد.

به‌طور کلی، سنگ آهک و سایر کربنات‌ها حدود نصف تا سه‌چهارم سنگ‌های مورد استفاده برای سنگ خُرد شده را تشکیل می‌دهند و گرانیت و سایر سنگ‌های آذرین بخش عمده‌ای از بقیه را تشکیل می‌دهند. سنگ آهک همچنین به‌طور گسترده برای تولید سیمان و آهک استفاده می‌شود. رسوبات سنگ آهک معمولاً لایه‌های ضخیم و منسجمی دارند که به آن‌ها امکان می‌دهد به‌طور کامل و اقتصادی استخراج شوند. این نوع رسوبات رسوبی عموماً سنگدانه‌های بادوامی تولید می‌کنند که برای سنگ جاده (لایه‌های زیرسازی و اساس) و بتن مناسب هستند. کیفیت رسوبات سنگ آهک ممکن است بر اساس عوامل مختلف زمین‌شناسی (به‌عنوان مثال، محتوای ضایعات، فرآیندهای دولومیتی شدن یا درجه گسلش و چین خوردگی) متفاوت باشد. در گروه سنگ‌های رسوبی آواری (رسوب مکانیکی)، ماسه‌سنگ‌ها^۸، هنگامی که سخت و متراکم هستند، معمولاً تنها نوع مورد استفاده برای تولید سنگدانه هستند. آن‌ها منبع اصلی سنگدانه در برخی مناطق هستند. با این حال، ماسه‌سنگ‌ها معمولاً به‌دلیل سیمانی شدن ناقص دانه‌های تشکیل دهنده، موادی شکننده یا بیش از حد متخلخل هستند. از سوی دیگر، ماسه‌سنگ‌ها می‌توانند حاوی رس باشند که سنگ را شکننده، نرم و جاذب می‌کند. به مقدار بسیار کم‌تری از کنگلومرا^۹ به‌عنوان سنگ خُرد شده برای سنگدانه‌ها استفاده می‌شود.

8- Sandstones

9- Conglomerate





- سنگ های آذرین

سنگ های آذرین از ماگمای سرد شده تشکیل می شوند و بر اساس منشأ و ترکیب آن ها طبقه بندی می شوند. در مواردی که سنگ با سرد شدن آهسته در عمق نسبتاً زیاد تشکیل شده باشد، بلورهای درشتی را نشان می دهد و شامل انواع کلی مانند سنگ گرانیت می شود. سنگ های آذرین آتشفشانی به سطح زمین رانده شده اند و در آن جا نسبتاً سریع سرد و جامد شده اند و تشکیل بلورهای کوچک یا میکروسکوپی را تسهیل کرده اند. نمونه هایی از آن ها شامل ریولیت، آندزیت (شکل ۳-۴) و بازالت هستند. بسیاری از سنگ های آذرین مانند موارد ذکر شده سخت، چقرمه و متراکم هستند و سنگدانه های سنگ خرد شده عالی هستند.



شکل ۳-۴ سنگدانه آندزیت

اگرچه سنگ های آذرین طیف وسیعی از ترکیبات شیمیایی را نشان می دهند و مناسب بودن آن ها برای سنگدانه به ترکیب معدنی و ساختار و بافت بلوری شان بستگی دارد، اما عموماً تمایل به تولید سنگدانه های سخت با درجه بالایی از مقاومت در برابر لغزش دارند، بنابراین در کاربردهای روسازی جاده و برای استفاده در قسمت های پایینی روسازی جاده بسیار مناسب هستند. با این وجود، برخی استثنائات وجود دارد: برخی از سنگ های اکستروژن، به ویژه آن هایی که محتوای سیلیس بالایی دارند، برای تولید سنگدانه خوب بسیار متخلخل هستند و سایر سنگ های آذرین با محتوای سیلیس بسیار بالا، هنگام استفاده به عنوان سنگدانه در بتن





سیمانی، تمایل به واکنش شیمیایی با قلای دارند. برخی از سنگ های درشت دانه به دلیل مقاومت خردشوندگی پایین، در برخی کاربردها جذابیت کمتری دارند. مقادیر قابل توجهی از سنگدانه درشت به عنوان بالاست مسیر راه آهن استفاده می شود. از آنجا که بالاست باید سخت، تمیز و زاویه دار با مقاومت بسیار بالا در برابر سایش باشد، بیش تر این نوع کاربرد سنگدانه از سنگ های آذرین (مثلاً آندزیت یا بازالت) تولید می شود.

- سنگ های دگرگونی

سنگ های دگرگونی از سنگ های از پیش موجود (رسوبی، آذرین و دگرگونی) از طریق دگرسانی توسط گرما، فشار و فعالیت شیمیایی مشتق می شوند، بنابراین طیف پیچیده ای از انواع سنگ ها با ویژگی های فیزیکی متفاوت را شامل می شوند. بخش های وسیعی از قاره های اصلی در سراسر جهان از سنگ های دگرگونی منطقه ای نمایان تشکیل شده اند که امکان انتخاب منابع سنگدانه را فراهم می کنند. سنگ های دگرگونی که سخت، چقرمه و متراکم هستند می توانند به عنوان سنگدانه استفاده شوند. این سنگ ها عمدتاً شامل گنیس (یک سنگ بلوری نواری)، مرمر (سنگ آهک دگرگون شده) و کوارتزیت (ماسه سنگ دگرگون شده) هستند. برخی از سنگ های دگرگونی، مانند شیست بسیار ورقه ورقه، دارای ورقه ورقه شدن صفحه ای هستند که صفحات نامطلوبی از ضعف ایجاد می کند و بنابراین برای سنگ خرد شده مناسب نیستند. از سوی دیگر، برخی از سنگ های دگرگونی مانند کوارتزیت می توانند باعث سایش بیش از حد تجهیزات خردایش شوند.

شن و ماسه

رسوبات شن و ماسه در اثر فرسایش، حمل و رسوب قطعات تشکیل می شوند. آن ها تجمعی از قطعات سنگی بادوام تر و دانه های معدنی (مانند کوارتز) هستند که عمدتاً مربوط به دوران پلیستوسن^{۱۰} یا جوان تر هستند (رسوبات قدیمی تر ممکن است به اندازه کافی غیرمتصل نباشند تا به عنوان شن و ماسه در نظر گرفته شوند). رسوبات شن و ماسه بیش تر در مناطق یخچالی، حوضه های آبرفتی یا به عنوان رسوبات انباشته شده در

10- Pleistocene





رودخانه ها و نهرها رایج هستند. در نتیجه، این مواد در مخروط افکنه ها، تراس های رودخانه ای (شکل ۳-۵)، مصالح دشت سیلابی، دلتاهای آبرفتی، خاکریزها و موارد دیگر یافت می شوند. سنگدانه های بادرُفتی (مانند تپه های شنی) به طور کلی به عنوان سنگدانه های طبیعی (به جز ماسه های ترکیبی) اهمیت کمی دارند؛ به این دلیل است که آن ها به مصالح ریزدانه محدود می شوند. وجود ذخایر شن و ماسه ارتباط نزدیکی با تاریخ زمین شناسی منطقه ای هر منطقه دارد. در ارزیابی زمین شناسی هر ذخیره شن و ماسه، عواملی مانند اندازه و محل، شرایط آب های زیرزمینی و اجزای مضر، از جمله موارد دیگر، ضروری هستند.



شکل ۳-۵ مصالح واقع در تراس رودخانه ای نزدیک مادرید (اسپانیا)

شن و ماسه بر اساس اندازه ذرات تعریف می شوند، نه بر اساس ترکیب آن ها. برای مثال، طبق استانداردهای اروپایی، مثلاً استاندارد EN 12620، اصطلاح شن (یا سنگدانه درشت) معمولاً برای کاربردهایی که به تعریف «ذرات بین ۴ تا ۸۰ میلی متر» می پردازند و اصطلاح ماسه (یا سنگدانه ریز) برای قطعاتی که «ریزتر از ۴ میلی متر، اما درشت تر از ۰/۰۶۳ میلی متر» هستند، استفاده می شود. خواص شن، و به میزان کم تر ماسه، تا حد زیادی به خواص سنگی که از آن مشتق شده اند (سنگ مادر) بستگی دارد. با این وجود، در جایی که فواصل حمل و نقل کوتاه است، به عنوان مثال در محیط های یخچالی-رودخانه ای و مخروط افکنه ها، اجزای مضر می توانند باقی بمانند و اهمیت رسوب را کاهش دهند. بیش تر شن و ماسه به عنوان سنگدانه ساختمانی استفاده می شوند.





در بسیاری از موارد، برای ساخت بتن از سیمان پرتلند، به سنگ خُرد شده ترجیح داده می شود، زیرا شکل صاف و گرد آن امکان اختلاط آسان بدون افزودن آب و سیمان اضافی را فراهم می کند. سنگدانه های شن و ماسه نیز در حالت آزاد کاربردهای فراوانی دارند.

- رسوبات رودخانه ای

آن ها عمدتاً شامل ماسه ها و شن های رودخانه ای هستند که به شکل پهنه های وسیعی در امتداد کف دره های رودخانه ای اصلی، معمولاً در زیر آبرفت ها، و به صورت تراس های رودخانه ای در دو طرف دره ها قرار دارند. تراس های رودخانه ای بقایای جدا شده یا فرسایش یافته دشت های سیلابی رودخانه ای متروکه قبلی هستند. ضخامت رسوبات از کم تر از ۱ متر تا بیشینه ۱۰ متر متغیر است. نسبت ماسه به شن متغیر است، اما رسوبات رودخانه ای معمولاً نسبتاً تمیز و دارای ریزدانه های کم تری (سیلت و رس) نسبت به رسوبات یخچالی هستند. در مناطق کوهستانی خشک و نیمه خشک، قطعات سنگ در طول طوفان ها فرسایش یافته و به سمت پایین جریان های با شیب تند به حوضه های مجاور منتقل می شوند و در نتیجه مخروط افکنه ها را تشکیل می دهند. مخروط افکنه ها بیشتر در مناطق آب و هوایی خشک و نیمه خشک رایج هستند، اما برخی از رسوبات مخروط افکنه در محیط های مرطوب تر رخ می دهند. این رسوبات معمولاً حاوی مصالح ضخیم و غیر یکپارچه ای هستند که از تخته سنگ های بزرگ تا ذراتی به اندازه رس متغیرند. درشت ترین ذرات معمولاً در مجاورت کوه ها رسوب می کنند و به تدریج به سمت لبه پایین دست رسوبات، ریزتر می شوند. شن و ماسه در مخروط افکنه ها ممکن است برای سنگدانه مناسب باشند، اما رسوبات مخروط افکنه معمولاً شامل لایه های عدسی یا مصالح با جورشدگی ضعیف هستند که با مقادیر مختلفی از سیلت و رس در هم آمیخته شده اند. در مخروط افکنه های قدیمی تر، شن ممکن است به شدت هوازده شده باشد و برای سنگدانه مناسب نباشد. علاوه بر این، شن های مخروط افکنه ممکن است با رسوب کربنات کلسیم در خاک، سمته شده باشند و استخراج و فرآوری آن ها را دشوار کنند.





شن و ماسه آبرفتی (رودخانه‌ای)، چه در کانال‌ها یا دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها و نهرها، یا در تراس‌ها (بالا تر از سطح دشت سیلابی فعلی)، که در کنار رودخانه‌ها یا نهرها یافت می‌شوند، منابع اصلی سنگدانه‌های شن و ماسه هستند. به‌طور کلی، رسوبات تراس می‌توانند مطلوب‌تر از رسوبات کانال‌های رودخانه‌ای باشند زیرا بالاتر از سطح رودخانه قرار دارند. در دسترس بودن و کیفیت شن به‌شدت به وقوع و خواص منابع سنگ‌بستر مجاور بستگی دارد. مواد معدنی با مقاومت کم‌تر حل شده و یا به رس تبدیل می‌شوند. مواد معدنی مقاوم‌تر به‌صورت ذرات سنگ باقی می‌مانند. مواد موجود در این رسوبات به دلایل زیادی به‌عنوان سنگدانه مطلوب هستند. مهم‌ترین دلیل این است که عمل سایشی طبیعی انتقال جریان، بیش‌تر سنگ‌های نرم و ضعیف را از بین برده و فقط ذرات سخت‌تر را باقی گذاشته است. در نتیجه، اجزای اخیر تا حدی گرد شده‌اند و به این ترتیب از حالت نیمه‌گرد به حالت کاملاً گرد (شکل ۳-۶) تبدیل شده‌اند که یک عامل اساسی برای استفاده از سنگدانه‌ها در بتن پمپاژ شده است. علاوه بر این، بیش‌تر این نوع رسوبات حاوی شن و ماسه در اندازه‌های مورد نیاز برای تولید بتن هستند.



شکل ۳-۶ سنگدانه درشت با گرد شدگی مناسب





رسوبات رودخانه‌ای می‌توانند از نظر ترکیب، از تقریباً تماماً رس، تا مخلوطی از رس، سیلت، ماسه و شن، تا تقریباً تماماً ماسه و شن، متغیر باشند. اگر یک رودخانه یا نهر شیب خود را تغییر دهد و کانال خود را تخریب کند، رسوبات قدیمی‌تر کانال و دشت سیلابی می‌توانند به‌عنوان تراس‌های رودخانه‌ای حفظ شوند. تخریب مکرر می‌تواند منجر به ایجاد مجموعه‌ای از تراس‌ها یا بقایای تراس‌ها در بالای سطح بستر رودخانه جدید شود که می‌توانند منابع مهمی از ماسه و شن باشند. تراس‌های قدیمی‌تر می‌توانند در معرض هوازدگی طولانی مدت قرار گیرند، در نتیجه مواد را تضعیف کرده و مناسب بودن آن‌ها را به‌عنوان سنگدانه کاهش می‌دهند.

- رسوبات یخچالی

رسوبات یخچالی معمولاً از تقریباً هر نظر بسیار کم‌تر از رسوبات آبرفتی قابل پیش‌بینی هستند. توزیع اندازه ذرات، شکل و ترکیب ذرات، و ضخامت و وسعت رسوبات یخچالی و یخچالی-رودخانه‌ای بسیار متفاوت است. رسوبات یخچالی که در معرض جریان آب قرار می‌گیرند، رسوبات یخچالی-رودخانه‌ای نامیده می‌شوند. به‌همین ترتیب، شکل‌های زمین مرتبط با تجمع این رسوبات و فرسایش توسط یخ یخچالی به‌وضوح متمایز هستند. مصالح یخچالی توسط نوع سنگ‌بستر که یخچال از روی آن عبور کرده است، تعیین می‌شوند. رسوبات یخچالی-رودخانه‌ای سطح بهتری از جورشدگی را نشان می‌دهند و شامل رس کم‌تری نسبت به رسوبات یخچالی هستند. به‌عنوان یک قاعده، آن‌ها از کیفیت کافی بالایی برخوردارند تا در مقایسه با ماسه و شن رودخانه‌ای، سنگدانه‌های رضایت‌بخشی تولید کنند. با ذوب شدن یخ یخچالی، ذرات سنگی که توسط یخ خُرد، ساییده و حمل شده‌اند، بیش‌تر توسط آب منتقل، ساییده و گرد می‌شوند. این رسوبات منابع بالقوه ماسه و شن هستند که برای استفاده به‌عنوان سنگدانه از اهمیت بالایی برخوردارند. اندازه ذرات در رسوبات آب ذوب‌شده یخچالی از تخته‌سنگ تا ماسه، سیلت و رس متغیر است و می‌تواند به‌طور ناگهانی، هم با عمق و هم به‌صورت جانبی تغییر کند. رسوبات یخچالی-رودخانه‌ای معمولاً در مناطقی با پستی و بلندی‌های توپوگرافی قابل توجه، نازک‌تر از رسوبات رودخانه‌ای هستند.



**- رسوبات دریایی**

رسوبات دریایی در فلات قاره ها منابع بالقوه بزرگی از شن و ماسه هستند، اگرچه مواد سطحی در فلات قاره ها معمولاً به اندازه شن و دانه های ریزتر هستند. رسوبات شن و ماسه دریایی در برخی کشورها، به عنوان مثال در بریتانیا و ژاپن، ورودی قابل توجهی برای تامین کل مصالح ساختمانی هستند. اگرچه ذخایر دریایی در حال حاضر بخش بسیار کمی از تولید شن و ماسه در سراسر جهان را تشکیل می دهند، اما با کاهش سایر منابع و در صورت توجه کافی به نگرانی های اقتصادی، نظارتی و زیست محیطی، می توانند اهمیت بیش تری پیدا کنند. به طور کلی، منابع شن و ماسه دریایی به طور ناهموار در فلات قاره توزیع شده اند، اما بسیار شبیه به معادل های زمینی خود هستند و به صورت تکه های کوچکی از هم جدا شده یا پوشیده از مناطق وسیعی از ذخایر غیراقتصادی هستند. آن ها از نظر ضخامت، ترکیب و درجه بندی و نزدیکی به ساحل متفاوت هستند. کانی شناسی این ذخایر بسته به منبع ماده متفاوت است.

- رسوبات ساحلی

شن و ماسه تولید شده توسط جریان ها و امواج در ساحل می تواند به سنگدانه های خوبی تبدیل شود، زیرا ذرات شن و ماسه معمولاً گرد و سخت هستند. شن تمایل دارد به سمت ساحل (ساحل پُشتی) و ماسه و ذرات ریزتر به سمت دریا حرکت کنند. بنابراین، شن های ساحلی به شدت به صورت عمودی اما به صورت جانبی در امتداد ساحل پراکنده شده اند. ماسه ها عموماً از کوارتز و فلدسپات مقاوم تشکیل شده اند. بنابراین، اگر مشخصات مورد نیاز را داشته باشند، می توانند به عنوان سنگدانه استفاده شوند. با این حال، بسیاری از رسوبات ساحلی نازک هستند و دانه بندی مناسبی ندارند، زیرا یک ساحل پایدار به ندرت حاوی موادی ریزتر از ماسه متوسط (حدود ۰/۲ میلی متر) خواهد بود. در هر صورت، بهره برداری از رسوبات ساحلی به عنوان سنگدانه معمولاً اثرات زیست محیطی شدیدی ایجاد می کند.

۳-۳ استخراج و فرآوری سنگدانه ها



در حالی که منابع سنگدانه ها می توانند بسیار متغیر باشند، روش های استخراج در سراسر جهان مشابه است و تقریباً همه سنگدانه ها در معادن با روش استخراج سطحی، یعنی «استخراج سنگدانه ها از زمین در معادن روباز به سطح» به دست می آیند. با این وجود، سیستم استخراج و تجهیزات حفاری بسته به نوع سنگدانه (شن و ماسه یا سنگ خرد شده) متفاوت است. شن و ماسه معمولاً درجه کمی از تحکیم را نشان می دهند، بنابراین می توان آن ها را با استفاده از ماشین آلات معمولی خاکبرداری استخراج کرد و نیازی به مواد منفجره نیست در حالی که سنگ خرد شده معمولاً سنگ های سخت هستند و عملیات انفجار برای آن ها ضروری است. یک تفاوت قابل توجه بین معادن سنگ خرد شده و معادن شن و ماسه این است که دومی معمولاً به میزان بیش تری از زمین نیاز دارد. دلیل این امر آن است که رسوبات شن و ماسه معمولاً کم عمق هستند و مناطق وسیع تری از زمین برای تولید مشابه به تخریب نیاز دارند.

بسته به ویژگی های رسوبات سنگدانه ای، پیش از این که محصول برای استفاده مناسب باشد، مقداری فرآوری لازم است. بنابراین، هدف یک کارخانه فرآوری، آماده سازی مواد به شکل مناسب برای استفاده به عنوان سنگدانه است. این امر عموماً بر اساس اندازه و توزیع اندازه ذرات، شکل ذرات و خواص مکانیکی تعیین می شود. سنگدانه را می توان در مکان های دور با استفاده از دستگاه های سیار یا موقت برای خردایش و غربالگری فرآوری کرد یا می توان آن را در یک کارخانه ثابت فرآوری کرد. مورد دوم شامل تعداد زیادی تجهیزات است که توسط شبکه ای از تسمه نقاله ها به هم متصل شده اند.

از آن جا که سنگدانه ها حاشیه هزینه بسیار پایی دارند، روش های فرآوری نیاز به کارایی دارند، زیرا هر بار که سنگدانه ها جابجا و یا فرآوری می شوند، هزینه اضافی به محصول نهایی اضافه می شود. تکنیک های فرآوری اساساً شامل خرد کردن و غربالگری در سنگدانه های سنگی خرد شده هستند، در حالی که غربالگری و شستشو در سنگدانه های شن و ماسه مورد نیاز است. برخی از این فرآیندها، مانند شستشو و گاهی غربالگری، به مقادیر قابل توجهی آب نیاز دارند که باید در محل موجود باشد. استفاده از آب و تکنیک های فرآوری





مرطوب، طبقه بندی ذرات و حذف ذرات ریز، مانند رس ها را تسهیل می کند. بنابراین، کارخانه فرآوری معمولاً باید تجهیزات پمپاژ و جابجایی دوغاب و همچنین تجهیزات جداسازی جامد-مایع و آبگیری نهایی را در خود جای دهد. علاوه بر این، توجه به این نکته مهم است که زمین باید در نزدیکی محل برای قرار دادن کل کارخانه فرآوری در دسترس باشد. توصیف کارخانه فرآوری می تواند بر اساس سنگدانه فرآوری شده، یعنی شن و ماسه یا سنگ خرد شده، انجام شود.

پس از استخراج، مصالحی که قرار است در کارخانه فرآوری شوند، عموماً توسط تسمه نقاله یا کامیون حمل از معدن منتقل می شوند. مواد سپس در یک انبار ذخیره می شوند و دریچه ای در پایین انبار، مقدار کنترل شده ای از شن و ماسه را به یک سرند (الک) می ریزد که در آن جا شن از ماسه جدا می شود. روش های زیادی برای پیکربندی طراحی کارخانه بر اساس ویژگی های رسوب شن و ماسه و کاربرد نهایی آن وجود دارد، اما کارخانه های فرآوری شن و ماسه عمدتاً بر اساس فرآیندهای غربالگری و شستشو هستند. بیش تر کارخانه ها برای تولید محصولات مختلف مانند شن و ماسه برای استفاده در بتن یا برای استفاده به عنوان زیرسازی جاده یا سنگدانه قیری، به بخش های مختلفی تقسیم می شوند.

فرآوری شن و ماسه برای بیش تر کاربردها از طریق شستشو برای حذف رس، جداسازی بخش ماسه، دانه بندی شن به اندازه های مختلف، طبقه بندی و آبگیری ماسه و در برخی موارد نیز خرد کردن شن های بزرگ برای تولید مواد کوچک تر و قابل فروش تر انجام می شود. فرآوری، امکان تنظیم توزیع اندازه دانه ها را برای مطابقت با نیازهای بازار برای محصول نهایی قابل فروش فراهم می کند.

خواص سنگدانه های طبیعی می تواند بسته به منبع مصالح تغییر کند. بنابراین، خواص سنگدانه های شن و ماسه نتیجه سنگ شناسی سنگ های منشأ، روش های حمل و رسوب گذاری و هوازدگی بیش تر ذرات سنگدانه است. برخی از خواص ذرات شن و ماسه ذاتی هستند، مانند کانی شناسی، چگالی و تخلخل، در حالی که سایر خواص مانند اندازه، شکل توسط روش های فرآوری تعریف می شوند. در مورد سنگ خرد شده، خواص آن





ناشی از منشأ و کانی شناسی سنگ منشأ، فرآورده های دگرسانی و هوازدگی بعدی و بدیهی است که عملیات فرآوری است. مناسب بودن یک سنگدانه برای یک کاربرد خاص عمدتاً به خواص فیزیکی و مکانیکی آن بستگی دارد، اما خواص کانی شناسی و شیمیایی نیز در برخی کاربردها مهم هستند.





فصل چهارم

سیمان

۴-۱ مقدمه

در این فصل، اصطلاح سیمان به معنای کلاسیک آن استفاده می شود: ترکیبی بلوری از سیلیکات های کلسیم و سایر ترکیبات کلسیم که دارای خواص هیدرولیکی هستند. بنابراین، سیمان یک چسب هیدرولیکی است، یعنی ماده ای که با تبدیل سیستم آب به یک ماتریس جامد با ظرفیت تجمع سایر مواد جامد، به صورت شیمیایی با آب واکنش می دهد. چسب های هیدرولیکی را می توان بر اساس واکنش پذیری آن ها به فعال (چسب ظرفیت واکنش خود به خودی با آب را دارد) یا نهفته (چسب برای ایجاد یک فرآیند هیدراتاسیون قابل توجه به حضور یک فعال کننده قلیایی نیاز دارد) طبقه بندی کرد. سایر مواد می توانند در حضور هیدروکسید کلسیم خواص هیدرولیکی به دست آورند که به آن ها پوزولان ها یا مواد پوزولانی گفته می شود. سیمان یک ماده ساختمانی شناخته شده است که یکی از اجزای اصلی بتن و ملات است. تولید جهانی سیمان از سال ۱۹۵۰ به ویژه در کشورهای در حال توسعه به طور پیوسته افزایش یافته است.

جان اسمیتون^{۱۱} یک مهندس عمران مهم بود و سهم اساسی در اختراع سیمان داشت. او الزامات ترکیبی مورد نیاز برای دستیابی به خاصیت هیدرولیکی در آهک را شناسایی کرد و مشاهده کرد که این خاصیت مستقیماً با مقدار رس موجود در سنگ آهک مرتبط است. تحقیقات او به طور کامل به کشف سیمان پرتلند

11- John Smeaton





منجر شد. شایان ذکر است که رومی ها از اهمیت رس در سیمان آگاه بودند، اما مهارت های رومی ها در قرون وسطی از بین رفت. اسمیتون، هنگام طراحی فانوس دریایی ادیستون (انگلستان) در دهه ۱۷۰۰، متوجه شد که انواع خاصی از سنگ های آهکی حاوی کانی های رسی را می توان برای به دست آوردن سیمان سخت، کلسینه کرد. در واقع، این محصول در واقع یک آهک هیدرولیکی بود، زیرا دمای مورد استفاده در این فرآیند کم تر از ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد بود. مزیت بزرگ این سیمان این بود که زیر آب گیرش پیدا می کرد و از این رو می توانست برای اسکله ها، پایه های فانوس دریایی، آب بند های کانال و غیره استفاده شود. این فانوس دریایی به مدت ۱۲۶ سال به کار خود ادامه داد تا اینکه نیاز به تعویض پیدا کرد. بنابراین، در اواخر قرن هجدهم، مشاهده شد که برخی از سنگ های آهکی رسی می توانند کلسینه شوند و سیمان هیدرولیکی تولید کنند. بنابراین، مخلوط طبیعی مواد مناسب به عنوان سنگ سیمان شناخته شد.

انواع مختلفی از سیمان در بازار موجود است و هر نوع به دلیل خواص ویژه خود تحت شرایط خاصی استفاده می شود. رایج ترین سیمان مورد استفاده، سیمان پرتلند است. در واقع، سیمان و سیمان پرتلند اصطلاحاتی هستند که اغلب به جای یک دیگر استفاده می شوند. سیمان پرتلند محصولی خاکستری رنگ و نیمه گداخته است که در کارخانه سیمان تولید می شود (شکل ۴-۱). استاندارد ASTM C219 سیمان پرتلند را به عنوان «سیمان هیدرولیکی تولید شده با پودر کردن کلینکر» تعریف می کند که اساساً از سیلیکات های کلسیم هیدرولیکی کریستالی تشکیل شده و معمولاً حاوی یک یا چند مورد از موارد زیر است: آب، سولفات کلسیم، تا ۵٪ سنگ آهک و افزودنی های فرآوری شده. تعریف دیگر سیمان پرتلند این است: «یک چسباننده هیدرولیکی، یعنی یک ماده معدنی ریز آسیاب شده که وقتی با آب مخلوط می شود، خمیری تشکیل می دهد که از طریق واکنش ها و فرآیندهای هیدراتاسیون گیرش یافته و سخت می شود و پس از سخت شدن، مقاومت و پایداری خود را حتی در زیر آب حفظ می کند».





شکل ۴-۱ نمای کلی یک کارخانه سیمان

طبق استانداردهای ISO، سیمان پرتلند «کلینکر آسیاب شده ای است که عموماً از سیلیکات ها و آلومینات های کلسیم هیدرولیک تشکیل شده و معمولاً حاوی یک یا چند نوع سولفات کلسیم به عنوان افزودنی درون آسیاب شده است.» سیمان با واکنش در دمای بالا (حدود ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد) در یک کوره دوار با نسبت های دقیق و متناسب آهک (CaO)، سیلیس (SiO_2)، آلومینا (Al_2O_3) و اکسید آهن (Fe_2O_3) تولید می شود. تولید سیمان یک فرآیند شیمیایی است که نیاز به ترکیب دقیقی از چهار اکسید آلی کلیدی که قبلاً ذکر شد و محدودیت چندین اکسید و یا عنصر نامطلوب، مانند منیزیم، دارد. قبل از پخت در کوره دوار، مواد اولیه به ذرات کوچک آسیاب می شوند تا واکنش پذیرتر شوند. محصول تولید شده در کوره، ماده ای دانه ای به نام کلینکر یا کلینکر سیمان است. استانداردهای ISO بیان می کنند که کلینکر «مواد ذوب شده از کوره در تولید سیمان است که با سولفات کلسیم آسیاب می شوند تا سیمان بسازند» و استاندارد ASTM C219 کلینکر سیمان پرتلند را به عنوان «کلینکری که تا حدی توسط فرآیند حرارتی ذوب شده و عمدتاً از سیلیکات های کلسیم هیدرولیکی کریستالی تشکیل شده است» تعریف می کند.

پس از خنک شدن دانه های کلینکر سیمان (شکل ۴-۲)، آن ها به پودر ریز آسیاب می شوند و سپس مقدار کمی سولفات کلسیم در مرحله آسیاب اضافه می شود تا ویژگی های گیرش سیمان کنترل شود. کیفیت کلینکر به ترکیب مواد اولیه بستگی دارد؛ چرا که ممکن است یک مخلوط نامناسب، محصولی با مقاومت و دوام ضعیف تولید می کند. از این نظر، مهم ترین خاصیت سیمان، قابلیت سخت شدن حتی در زیر آب است.





شکل ۴-۲ کلوخه های کلینکر سیمان

۴-۲ مواد اولیه سیمان

از آنجایی که اکسیدهای اصلی برای تولید سیمان پرتلند آهک (CaO)، سیلیس (SiO_2)، آلومینا (Al_2O_3) و آهن (Fe_2O_3) هستند، مخلوط خام برای ساخت کلینکر سیمان معمولاً با مخلوط کردن یک ماده آهکی، معمولاً سنگ آهک، با مقدار کمتری از یک ماده رسی، معمولاً خاک رس یا شیل، به دست می آید (شکل ۴-۳). از آنجا که ترکیب مواد اولیه معمولاً با اکسیدها بیان می شود، شیمی دانان سیمان یک نماد اختصاری با استفاده از یک حرف واحد برای نشان دادن واحد یک اکسید اتخاذ کرده اند. بنابراین، $\text{C}=\text{CaO}$ ؛ $\text{S}=\text{SiO}_2$ ؛ $\text{F}=\text{Fe}_2\text{O}_3$ و $\text{A}=\text{Al}_2\text{O}_3$.



شکل ۴-۳ مواد اولیه آهکی و رسی مورد استفاده در تولید سیمان





رایج ترین ماده اولیه مورد استفاده برای تولید سیمان پرتلند، سنگ سیمان است، یعنی سنگ آهک ناخالص با ترکیب اکسیدی که تقریباً برابر با نسبت آهک، سیلیس، آلومینا و اکسید آهن در کلینکر است. کشورهای کمی در جهان وجود دارند که در آنها مقداری سنگ آهک و خاک رس به مقدار کافی برای تولید سیمان یافت نمی شود. مواد اولیه مورد استفاده عمدتاً سنگ های طبیعی هستند، اما در صورت وجود، می توان از چندین محصول جانبی صنعتی نیز استفاده کرد. به طور کلی، مواد اولیه مورد استفاده در تولید سیمان پرتلند باید ارزان و فراوان باشند. در برخی موارد، ممکن است لازم باشد نسبت های جزئی از سایر اجزا (ترکیبات اصلاحی) برای اصلاح ترکیب کلی ترکیب اضافه شود. برخی از سنگ های آهکی رسی و مارن ها ترکیباتی دقیقاً نزدیک به ترکیب مورد نیاز دارند که استفاده از ترکیبی از مواد تقریباً مشابه از همان معدن را ممکن می سازد. در عمل، بسیار نادر است که یک نوع سنگ واحد نه تنها از نظر شیمیایی یکنواخت باشد، بلکه به مقدار کافی برای پشتیبانی از یک کارخانه سیمان وجود داشته باشد. اگرچه اجزای شیمیایی اصلی سیمان پرتلند تغییر نکرده است، اما انتخاب مواد اولیه به عنوان منابع این اجزای شیمیایی به دلیل رقابت در بازار، قیمت سیمان و بحران های اقتصادی جهانی تغییر کرده است.

محل کارخانه سیمان معمولاً با در دسترس بودن منابع کافی مواد اولیه در فاصله معقول از یک دیگر تعیین می شود. علاوه بر این، کارخانه های سیمان معمولاً در نزدیکی ذخایر سنگ آهک قرار دارند زیرا، همان طور که در بالا توضیح داده شد، CaO اکسید اصلی در تولید سیمان است.

تعریف زمین شناسی سنگ آهک، سنگی رسوبی با بیش از ۵۰٪ CaCO_3 ، کلسیت و یا آراگونیت است. سنگ آهک رایج ترین سنگ رسوبی غیر سیلیسی آواری است. آراگونیت و کلسیت منیزیم دار، کانی های اولیه فراوان در رسوبات کربناته جدید بوده، اما هر دو نیمه پایدار هستند و با دفن و یا گذشت زمان، تمایل به تبدیل به کلسیت پایدار کلسیت کم منیزیم دارند. احتمالاً بیش از ۹۵٪ از منابع CaO جهان برای این منظور، انواع سنگ آهک یا معادل دگرگونی آن (مرمر) هستند. سنگ آهک معمولاً باید با مواد رسی مخلوط شود تا شیمی





سیلیس، آلومینا و اکسید آهن تنظیم شود. به همین دلیل، سنگ های آهکی که کاملاً خالص هستند در این فرآیند استفاده می شوند، اما خلوص شیمیایی برای جزء سنگ آهک ضروری نیست. اگر دولومیت کانی غالب باشد، سنگ کربناته، سنگ دولومیت یا دولوستون نامیده می شود. دولومیت می تواند بارها در سنگ آهک پراکنده شود و باعث افزایش نامطلوب محتوای MgO در سنگ آهک شود. مقداری منیزیم قابل تحمل است اما از سنگ آهک های دولومیتی استفاده نمی شود.

سیستم کانی های کربناته نسبتاً به راحتی قابل درک است زیرا تنها توسط چهار کانی کنترل می شود: کلسیت، آراگونیت، منیزیم-کلسیت و دولومیت. سنگ های کربناته از دوران پرکامبرین^{۱۲} تا دوران معاصر تشکیل شده اند. اگرچه آنها تنها حدود ۰/۲۵ درصد از حجم پوسته زمین را تشکیل می دهند، اما حدود ۱۵ تا ۲۰٪ از کل سنگ های رسوبی موجود در سوابق چینه شناسی، سنگ های کربناته هستند. توجه به این نکته مهم است که تشکیل کربناته یک سیستم بیوژئوشیمیایی است. سنگ آهک به اشکال مختلفی یافت می شود و بر اساس منشأ، ترکیب شیمیایی، ساختار و شکل گیری زمین شناسی طبقه بندی می شود. به طور کلی، همه سنگ های آهکی بلورین هستند و اندازه بلور با درجه تبلور رخ داده در طول تشکیل سنگ کربناته افزایش می یابد. محیط رسوب گذاری از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا اندازه، شکل، خلوص و سایر ویژگی های اساسی سنگ کربناته مورد استفاده به عنوان ماده اولیه در صنعت سیمان را تعیین می کند.

کربنات های دریایی پتانسیل تجمع در هر جایی از اقیانوس، حتی در مناطق عمیق را دارند، اما بیش تر رسوبات کربناته در آب های اقیانوس نیمه گرمسیری روشن، نسبتاً شفاف و نزدیک به سطح تولید می شوند. سنگ های کربناته همچنین در محیط های زمینی متنوعی مانند دریاچه ها، چشمه ها و غارها تشکیل می شوند. سنگ های آهکی و دولوستون های تولید شده در دریاچه ها و باتلاق ها، گسترده ترین و از نظر اقتصادی مهم ترین انباشت های زمینی هستند. رسوبات کربناتی در دریاچه های آب شیرین یا آب شور تحت رژیم های





آب و هوایی مختلف، از مناطق مرطوب گرفته تا تبخیری در مناطق خشک، تشکیل می‌شوند و هم در دریاچه‌های دائمی و هم در دریاچه‌های موقت وجود دارند. رسوبات کربنات دریاچه‌ای از نظر کانی‌شناسی، رخساره‌ها و ژئوشیمی متنوع هستند. رسوبات چشمه کربنات نیز گسترده و دیدنی هستند و از کلسیت و یا آراگونیت تشکیل شده‌اند و بسیاری از سیستم‌های چشمه را مشخص می‌کنند (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴ نمونه‌ای از رسوبات چشمه کربناته

روش کلاسیک در تولید سیمان، استفاده از خاک رس یا شیل و ماسه برای اجزای سیلیس و آلومینا است، در حالی که معمولاً برای تنظیم ترکیب شیمیایی به ترکیب مورد نظر، به منبعی از آهن (مثلاً سنگ آهن) نیاز است. خاک رس نام رایج تعدادی از مصالح ریزدانه است که ترکیب شیمیایی آن‌ها شامل سیلیکات‌های آلومینیوم آبدار با مقادیر جزئی ناخالصی‌هایی مانند پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم یا آهن است. خاک رس رایج‌ترین منبع سیلیس و آلومینا در تولید سیمان است، زیرا از ذرات ریز (همیشه کوچک‌تر از ۰/۰۰۴ میلی‌متر) ساخته شده‌اند و قبل از استفاده نیازی به فرآوری ندارند.

شیل‌ها و رس‌های مناسب معمولاً ترکیب توده‌ای در محدوده ۵۵ تا ۶۰ درصد SiO_2 ، ۱۵ تا ۲۵ درصد Al_2O_3 و ۵ تا ۱۰ درصد Fe_2O_3 دارند و مقادیر کم‌تری MgO ، مواد قلیایی، H_2O و سایر اجزا نیز دارند. از نظر کانی‌شناسی، اجزای اصلی آن‌ها کانی‌های رسی هستند که خانواده‌های ایلیت و کائولینیت غالب هستند. به‌جای





رس یا شیل، می توان از انواع دیگر سنگ های سیلیسی مانند شیست یا سنگ های آتشفشانی با ترکیبات مناسب استفاده کرد.

اجزای اصلاحی، که گاهی اوقات مواد کمکی نامیده می شوند، در صورتی استفاده می شوند که مواد اولیه، مانند سنگ آهک و خاک رس، ترکیب شیمیایی مناسبی که به تشکیل فازهای کلینکر مورد نیاز کمک کند، نداشته باشند. بنابراین، می توان از مواد اصلاحی برای تطبیق ترکیب شیمیایی مخلوط خام با الزامات فرآیند و اهداف کیفی استفاده کرد، زیرا آن ها به طور خاص در یکی از چهار اکسید اصلی غنی شده اند. مقدار این اجزا معمولاً در مقایسه با مقادیر زیاد مواد اولیه اصلی بسیار کم است. مقادیر دقیق به کمبود اجزای مورد نیاز بستگی دارد. نمونه های کلاسیک مواد اصلاحی عبارتند از انواع سنگ مناسب مانند سنگ آهن برای اصلاح کمبود Fe_2O_3 ؛ بوکسیت، لاتریت و کائولینیت برای اصلاح محتوای Al_2O_3 ؛ ماسه کوارتز و کوارتزیت برای کنترل کمبود SiO_2 ؛ و سنگ آهک مرغوب برای تنظیم محتوای CaO . در موارد دیگر، در صورت گران بودن محصولات طبیعی، می توان از محصولات جانبی صنعتی، مانند خاکستر پیریت برای کنترل آهن، استفاده کرد. لازم است به خاطر داشته باشید که اجزای اصلاح کننده می توانند اجزای جزئی مانند فلزات سنگین را با ویژگی های خطرناک وارد کوره کنند.

اجزای فرعی عمدتاً از مواد اولیه مشتق می شوند یا عمده اضافه می شوند. اثرات آن ها می تواند مفید یا مضر باشد. اثرات مفید ممکن است شامل تسریع واکنش های کلینکر یا کاهش دمایی باشد که در آن رخ می دهند. با این حال، اجزای فرعی معمولاً شامل تعدادی از عناصری هستند که برای سیمان، فرآیندهای تولید آن یا هر دو مضر هستند. بنابراین، آن ها در هر یک از مواد اولیه بسیار نامطلوب هستند، اما می توانند به ناچار در مقادیر کم (کمتر از ۱٪) وجود داشته باشند. برخی از عناصر در غلظت های پایین اثرات مفیدی دارند، اما در غلظت های بالاتر اثرات مضر دارند.



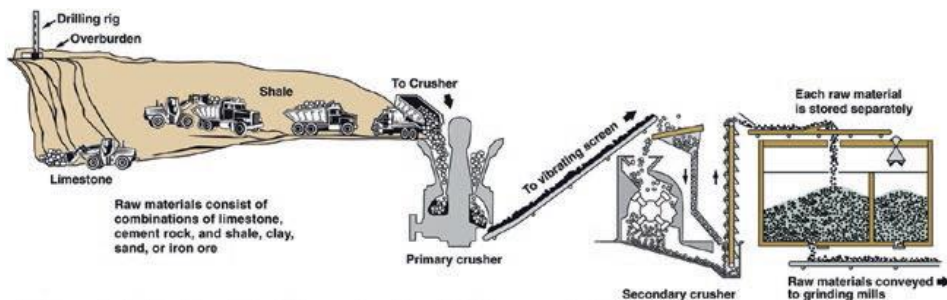
**۴-۳ فرآیند تولید سیمان**

فرآیند مورد استفاده برای تولید سیمان را می توان به طور کلی به خشک یا تر طبقه بندی کرد که تفاوت آن ها در تهیه خوراک کوره است. در فرآیند تر، که معمولاً در مواردی که مواد اولیه نرم هستند استفاده می شود، آب در حین آسیاب کردن مواد اولیه به آسیاب مواد اولیه اضافه می شود و دوغابی قابل پمپاژ تولید می شود. در فرآیند خشک، که در مواردی که مواد اولیه سخت هستند استفاده می شود، آسیاب کردن و مخلوط کردن مواد اولیه در حالت خشک آن ها انجام می شود. بنابراین، انتخاب فرآیند تا حد زیادی توسط وضعیت مواد اولیه تعیین می شود: خشک یا تر. به عنوان مثال، مصرف انرژی در فرآیند خشک تقریباً یک چهارم فرآیند تر است. در شکل ۴-۶ مدرن ترین و رایج ترین روش تولید سیمان (به روش خشک) ارائه شده است.

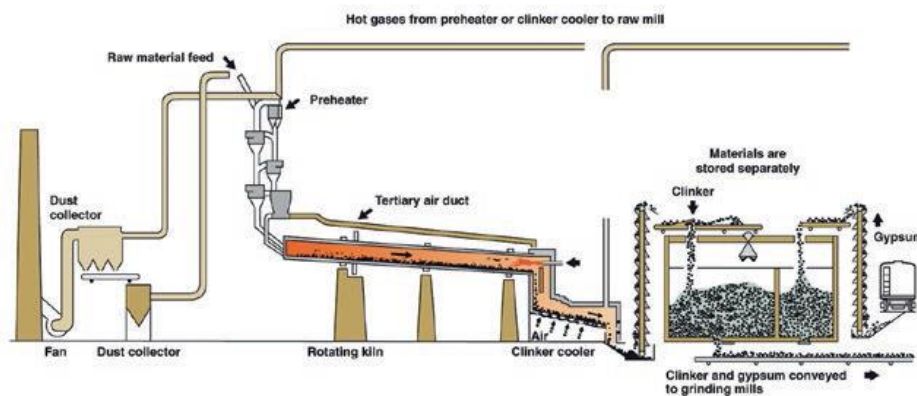
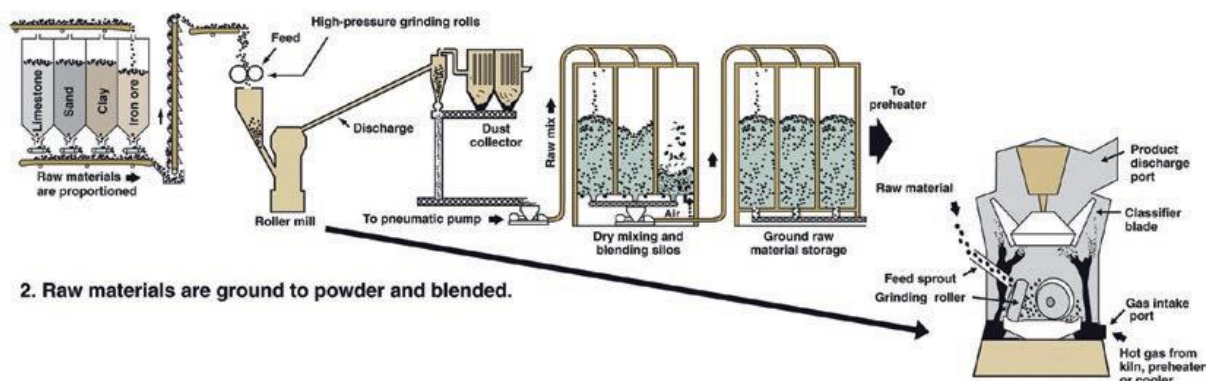
۴-۴ افزودنی های معدنی سیمان

مواد پوزولانی و سیمانی، که هر دو معمولاً افزودنی های معدنی نامیده می شوند، موادی آهکی، سیلیسی و یا آلومینی هستند که به صورت ریز در حضور آب واکنش شیمیایی نشان می دهند و ترکیبات اضافی با خواص سیمانی تشکیل می دهند. مواد جایگزین سیمان اصطلاح دیگری است که برای این محصولات استفاده می شود. در دنیای مدرن سیمان، افزودنی های معدنی به اجزای ضروری تولید سیمان تبدیل شده اند، زیرا استفاده از آن ها میزان سیمان پرتلند مصرفی را کاهش می دهد که منجر به مزایای اقتصادی و زیست محیطی می شود. از آن جایی که تولید سیمان پرتلند یک فرآیند انرژی بر است، ترکیب افزودنی های معدنی در سیمان باعث کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می شود؛ چرا که آن ها نیازی به فرآیندهای پخت در کوره دوار، مانند کلینکر، ندارند. استفاده از افزودنی های معدنی حتی میزان زباله های ارسالی به محل دفن زباله را کاهش می دهد، زیرا بسیاری از آن ها محصولات جانبی صنعتی هستند. با این حال، دلایل اصلی استفاده از افزودنی های معدنی در سیمان این است که آن ها کارایی بتن تازه و دوام بتن سخت شده را افزایش می دهند.

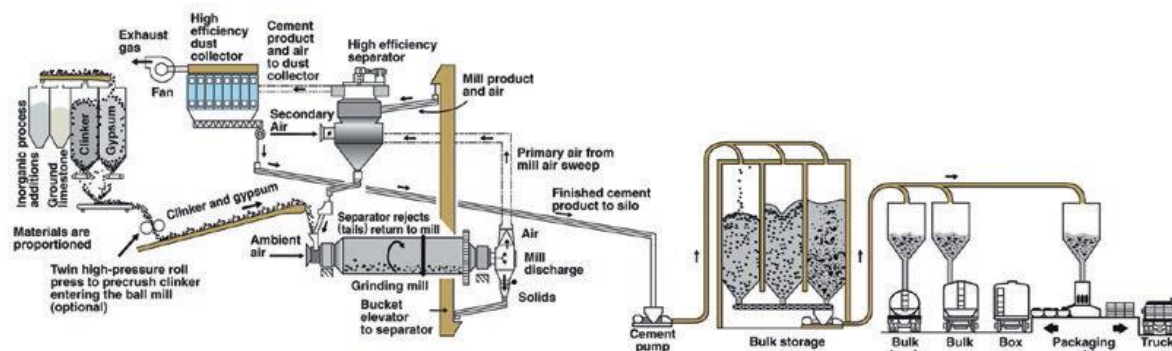




1. Stone is first reduced to 125 mm size, then to 20 mm, and stored.



3. Burning changes raw mix chemically into cement clinker.



4. Clinker with gypsum is ground into portland cement and shipped.

شکل ۴-۵ نحوه تولید سیمان به روش خشک





افزودنی های معدنی، مواد طبیعی یا فرآورده های جانبی صنعتی هستند و می توانند به سه دسته تقسیم شوند: (الف) موادی با واکنش پذیری کم یا بدون واکنش پذیری (ب) پوزولان ها و (ج) مواد هیدرولیکی نهفته. گروه اول شامل موادی مانند سنگ آهک آسیاب شده است که برای بهبود برخی از خواص سیمان، به عنوان پُرکننده یا صرفاً برای کاهش قیمت محصول نهایی استفاده می شوند. پوزولان (شکل ۴-۶)، اصطلاحی که از شهر باستانی روم پوتولی (پوزولی) گرفته شده است، توسط استاندارد ASTM C51 به عنوان «ماده ای سیلیسی یا آلومینو-سیلیسی» تعریف می شود که به خودی خود دارای ارزش سیمانی کم یا بدون ارزش سیمانی است، اما به شکل ریز و در حضور رطوبت، در دماهای معمولی با هیدروکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی واکنش شیمیایی می دهد تا ترکیباتی با خواص سیمانی تشکیل دهد یا به تشکیل آن ها کمک کند. این عمل، عمل پوزولانی نامیده می شود. پوزولان ها شامل طیف گسترده ای از مواد با ترکیبات شیمیایی، ماهیت کانی شناسی و منشأ زمین شناسی متفاوت هستند.



شکل ۴-۶ ذخیره پوزولان در کارخانه سیمان

گروه سوم شامل موادی است که توانایی تشکیل محصولات سیمانی را در واکنش با آب دارند. این گروه عمدتاً از سرباره های کوره بلند دانه بندی شده^{۱۳} (BFS) و خاکستر بادی^{۱۴} تشکیل شده است. طبق استاندارد ASTM C 219، سرباره کوره بلند دانه بندی شده «ماده دانه ای شیشه ای است که هنگام سرد شدن سریع سرباره

13- Granulated blast-furnace slags

14- Fly ash





کوره بلند مذاب، مثلاً با غوطه‌وری در آب، تشکیل می‌شود. BFS در کوره بلند با آهن مذاب از سنگ آهن در حضور احیاکننده هوای گرم، کُک و سنگ آهک تشکیل می‌شود. هنگامی که کوره بلند برای آزاد کردن آهن مذاب مورد استفاده قرار می‌گیرد، سرباره مذاب روی سطح بالایی آن شناور می‌شود. ۱ تن آهن خام معمولاً از حدود ۳۰۰ کیلوگرم سرباره تشکیل می‌شود. استاندارد EN 197-1 بیان می‌کند که «سرباره کوره، یک ماده هیدرولیک نهفته است، یعنی در صورت فعال شدن مناسب، دارای خواص هیدرولیکی است؛ باید کمینه دو سوم جرمی سرباره شیشه‌ای داشته باشد؛ سرباره کوره باید کمینه دو سوم جرمی مجموع MgO ، CaO و SiO_2 را شامل شود؛ باقیمانده آن حاوی Al_2O_3 به همراه مقادیر کمی از اکسیدهای دیگر است».

خاکستر بادی (شکل ۴-۷) یکی از محصولات جانبی نیروگاه‌های حرارتی زغال‌سنگ‌سوز است. در طول فرآیند سوختن، ناخالصی‌های زغال‌سنگ پودر شده به خاکستر تبدیل می‌شوند و برخی از آن‌ها توسط گازها منتقل شده و توسط جداکننده‌های مکانیکی یا رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک جمع‌آوری می‌شوند. بنابراین، خاکستر بادی یک ماده ریزدانه با اندازه ذرات از ۰/۲ تا ۲۰۰ میکرومتر است. استاندارد EN 197-1 تأیید می‌کند که «خاکستر بادی ممکن است ماهیت سیلیسی-آلومینوس (خاکستر بادی سیلیسی -V-) یا سیلیسی-آهکی (خاکستر بادی آهکی -W-) داشته باشد. اولی دارای خواص پوزولانی است، دومی علاوه بر این، ممکن است خواص هیدرولیکی نیز داشته باشد». به عنوان یک قاعده، خاکستر بادی تولید شده در احتراق زغال سنگ‌های نیمه‌قیری، حاوی اجزایی با کلسیم و آهن بیش‌تر نسبت به اجزای موجود در خاکستر بادی حاصل از زغال سنگ قیری است.



شکل ۴-۷ خاکستر بادی مورد استفاده در کارخانه سیمان





در نهایت، میکروسیلیس^{۱۵} یک افزودنی معدنی است که عمدتاً از ذرات زیر میکرونی دی اکسید سیلیکون آمورف (غیربلوری) تشکیل شده است. این ماده معمولاً در ساخت بتن برای طراحی سازه های بتنی با مقاومت بسیار بالا استفاده می شود زیرا به دلیل ذرات ریز، مساحت سطح بزرگ و محتوای بالای SiO_2 ، محصولی بسیار واکنش پذیر است. طبق استاندارد ASTM C125، میکروسیلیس «ماده پوزولانی بسیار ریز است که عمدتاً از سیلیس آمورف تولید شده توسط کوره های قوس الکتریکی به عنوان محصول جانبی تولید آلیاژهای سیلیکون عنصری یا فروسیلیس تشکیل شده است». در ساخت آلیاژهای سیلیکون و فروسیلیکون در کوره الکتریکی قوس زیرپودری، گازهای خروجی اکسید شده و به شکل ذرات کروی بسیار ریز سیلیس آمورف متراکم می شوند. سیلیس به شکل شیشه (آمورف) بسیار واکنش پذیر است و کوچکی ذرات، واکنش با هیدروکسید کلسیم تولید شده توسط هیدراتاسیون سیمان پرتلند را تسریع می کند. علاوه بر این، این ذرات فضای خالی بین دانه ای بین ذرات سیمان را پر می کنند (اثر پُرکننده) و بنابراین ریزساختار خمیر سیمان را متراکم و همگن می کنند. دوده سیلیس تاکنون گران ترین ماده افزودنی معدنی بوده است.

۴-۵ انبار کردن و بسته بندی سیمان

جابجایی، بسته بندی و حمل صحیح سیمان برای محافظت از محصولات در برابر رطوبت و جلوگیری از تأثیر بر محیط زیست ضروری است. سیمان معمولاً همگن شده و در سیلوهای بزرگ در کارخانه سیمان ذخیره می شود. در این مرحله، فرآیند تولید سیمان کامل شده است و محصول آماده است تا در کیسه های بسته بندی شده، روی پالت ها در ایستگاه بسته بندی قرار گیرد یا به صورت فله از کارخانه خارج شود. سیلوهای گنبدی برای ذخیره سیمان تا ۳۰۰۰۰ تن یا بیش تر قابلیت جابجایی محموله های بزرگ حامل های سیمان فله را دارند. هنگام کار با این تأسیسات باید احتیاط کرد زیرا تشکیل کلوخه می تواند دستگاه های تخلیه را مسدود کند. به طور کلی، حجم زیادی از سیمان به صورت فله توسط کامیون (شکل ۴-۸)، قطار یا کشتی حمل می شود.

15- Silica fume





این ها ارزان ترین و آسان ترین شکل حمل و نقل هستند. بقیه محصول در بسته بندی هایی با اندازه های مختلف (مثلاً کیسه ۳۵ کیلو گرمی - شکل ۴-۹) تا کیسه های فله ای چند صد کیلو گرمی فروخته می شود.



شکل ۴-۸ حمل سیمان با کامیون



شکل ۴-۹ بسته بندی سیمان در کیسه

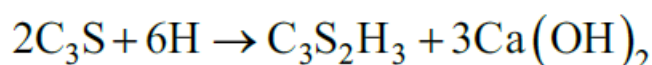
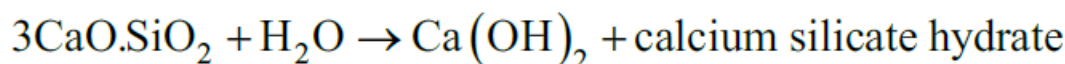
۴-۵ هیدراتاسیون، گیرش و سخت شدن سیمان

واکنش شیمیایی بین سیمان و آب معمولاً به عنوان هیدراتاسیون سیمان شناخته می شود. میزان هیدراتاسیون و ریز ساختار حاصل از سیمان هیدراته شده بر خواص فیزیکی بتن تأثیر می گذارد. واکنش های شیمیایی که رخ می دهند کاملاً پیچیده هستند و تبدیل ساده ترکیبات بی آب به هیدرات های مربوطه تنها یک ساده سازی است.





این واکنش ها گرمازا هستند و مقدار گرمای آزاد شده برای افزایش دما تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد یا بیش تر در یک روز کافی است. واکنش های ترکیبات و محصولات آن ها را می توان تقریباً به شرح زیر خلاصه کرد:



وقتی سیمان در تماس با آب قرار می گیرد، سیلیکات ها و آلومینات ها محصولات هیدراتاسیون را تشکیل می دهند که به مرور زمان یک توده سفت و سخت ایجاد می کنند. برای تکمیل واکنش شیمیایی، به طور متوسط حدود ۳۸٪ از وزن سیمان آب لازم است. در هر مرحله از هیدراتاسیون، خمیر سیمان شامل ژل (یک محصول ریزدانه هیدراتاسیون)، بقایای سیمان واکنش نداده، هیدروکسید کلسیم و آب، به علاوه برخی اجزای جزئی دیگر است. ژل حاوی منافذ ژلی کوچک زیادی است که معمولاً بین ذرات فیبری قرار دارند و با ادامه هیدراتاسیون، محصولات جدید در ماتریس موجود رسوب می کنند و در نتیجه تخلخل ژل کاهش می یابد. کریستال های ترکیبات مختلف حاصل، یک شبکه سه بعدی تصادفی به هم پیوسته را تشکیل می دهند که به تدریج فضای اشغال شده توسط آب را پُر می کند و در نتیجه باعث سخت شدن و افزایش بیش تر مقاومت می شود.

گرمای هیدراتاسیون، گرمای تولید شده در دمای معین، بر حسب کالری در هر گرم، هنگام واکنش سیمان و آب است. میزان گرمای آزاد شده به ترکیب شیمیایی سیمان که مسئول تولید گرمای زیاد هست، بستگی دارد. کل گرمای تولیدی در فرآیند کامل هیدراتاسیون به مقادیر نسبی اجزای اصلی سیمان بستگی دارد. سایر عوامل مؤثر بر گرمای هیدراتاسیون عبارتند از دما، نسبت آب به سیمان و نرمی سیمان. افزایش این متغیرها، گرمای هیدراتاسیون را افزایش می دهد. به طور کلی، سیمان پرتلند معمولی در ۷ روز حدود ۹۰ کالری در هر گرم و در ۲۸ روز از ۹۰ تا ۱۰۰ کالری در هر گرم گرما تولید می کند. گرمای هیدراتاسیون به عنوان یک





آزمایش معمول محاسبه نمی شود، اما در سازه های بتنی با نسبت سطح به حجم پایین ضروری است زیرا سرعت بالای تولید گرما در مراحل اولیه سیمان می تواند باعث ترک خوردگی شدید در بتن شود.

روش آزمایش استاندارد ASTM C186 «تعیین گرمای هیدراتاسیون سیمان هیدرولیکی را با اندازه گیری گرمای انحلال سیمان خشک و گرمای انحلال بخش جداگانه ای از سیمان که به مدت ۷ و ۲۸ روز تا حدی هیدراته شده است، پوشش می دهد، تفاوت بین این مقادیر، گرمای هیدراتاسیون برای دوره هیدراتاسیون مربوطه است».

۴-۶ انواع سیمان

همانند بسیاری از انواع مصالح ساختمانی، هر کشور استانداردهای خاص خود را برای سیمان دارد. با این وجود، انواع اصلی سیمان در سراسر جهان را می توان بر اساس استانداردهای ASTM، EN و ISO فهرست کرد. کمیته استانداردسازی اروپا (CEN) و کمیته فنی مربوطه (TC 51) تصمیم گرفتند انواع مختلف سیمان را در دو دسته اصلی گروه بندی کنند: سیمان های معمولی و سیمان های ویژه. دسته اول شامل سیمان هایی است که برای کاربردهای رایج (استاندارد EN 197-1) ارائه می شوند، در حالی که سیمان های ویژه سیمان هایی هستند که مکانیسم های سخت شدن متفاوتی دارند یا خواص ویژه اضافی دارند، به عنوان مثال، سیمان های مقاوم در برابر سولفات، سیمان های کم حرارت و سیمان های آلومینات کلسیم.

اجزای سیمان را می توان به اجزای اصلی و فرعی تقسیم کرد. اجزای اصلی، موادی هستند که محتوای آن ها بیش از ۵٪ جرمی است. علاوه بر کلینکر سیمان پرتلند K، اجزای اصلی که برای استفاده در سیمان های رایج تعیین شده اند به شرح زیر است: (۱) سرباره کوره بلند دانه بندی شده (S)، (۲) ماده پوزولانی (P یا Q)، (۳) خاکستر بادی (V یا W)، (۴) شیل سوخته (T)، (۵) سنگ آهک (L یا LL) و (۶) دوده سیلیس. اجزای فرعی فرعی، همان مواد هستند اما با حداکثر محتوای ۵٪ جرمی و همچنین مواد معدنی غیر آلی حاصل از تولید کلینکر. داده های ترکیب نهایی سیمان، همچنین در مورد نسبت سولفات کلسیم و افزودنی ها، همیشه مربوط





به کل اجزای اصلی و فرعی اضافی در سیمان بدون در نظر گرفتن مقادیر سولفات کلسیم و افزودنی ها است. به عبارت دیگر، سولفات کلسیم و افزودنی ها از محاسبات ترکیبی حذف شده اند.

بر اساس این ترکیبات، استاندارد EN 197-1، ۲۷ نوع مختلف از سیمان های رایج را مشخص می کند و می توان آن ها را در پنج دسته اصلی گروه بندی کرد: (۱) CEM I - سیمان پرتلند. (۲) CEM II - سیمان پرتلند مرکب. (۳) CEM III - سیمان کوره بلند. (۴) CEM IV - سیمان پوزولانی و (۵) CEM V - سیمان مرکب. CEM I سیمان پرتلندی است که حداقل ۹۵٪ جرمی کلینکر سیمان پرتلند دارد. CEM II شامل سیمان هایی است که حاوی کلینکر و یک یا چند جزء ذکر شده در بالا به نسبت بین ۶ تا ۳۵٪ جرمی (دوده سیلیس تا بیشینه ۱۰٪ جرمی) هستند. در این گروه، سیمانی که «بیشینه مقدار کلینکر سیمان پرتلند» را دارد با حرف A مشخص شده است، در حالی که سیمان هایی که «مقدار کم تری کلینکر سیمان پرتلند» دارند با حرف B مشخص شده اند. CEM III گروهی برای سه نوع سیمان کوره بلند است که بر اساس مقدار کلینکر سیمان پرتلند به زیر گروه هایی تقسیم می شوند. CEM IV سیمان های پوزولانی با دو زیر گروه است و CEM V شامل سیمان های مرکب است که حاوی «۳۶ تا ۸۰ درصد جرمی سرباره کوره بلند دانه بندی شده و/یا پوزولان و/یا خاکستر بادی سیلیسی» هستند.

استانداردهای ASTM نیز بسیار مهم هستند و شامل مقررات مربوط به سیمان های زیر هستند: (الف) سیمان پرتلند (استاندارد ASTM C150/C150M). (ب) سیمان هیدرولیکی مخلوط با ترکیب مشخص (استاندارد ASTM C595/595M). (ج) سیمان هیدرولیکی مخلوط با ویژگی های عملکردی مشخص (استاندارد ASTM C1157/1157M) و (د) سیمان منبسط شونده (استاندارد ASTM C845/845 M). در مورد گروه اول، استاندارد ASTM C150 ده نوع سیمان پرتلند را ارائه می دهد. اگرچه همه انواع اساساً مشابه هستند، اما تفاوت اصلی آنها در میزان C₃A و نرمی آنهاست. انواع مختلف برای برآورده کردن نیازهای فیزیکی و شیمیایی مختلف برای کاربردهای خاص تولید می شوند.





بنابراین، تیپ I، که معمولاً به عنوان مرجع استفاده می شود، یک سیمان پرتلند معمولی و همه منظوره است که برای همه کاربردها (مثلاً بیش تر ساختمان ها، پل ها، روسازی ها، محصولات بتنی پیش ساخته و غیره) که در آن ها خواص ویژه سایر انواع سیمان مورد نیاز نیست، مناسب است. این نوع سیمان حاوی حدود ۵۰٪ C_3S ، ۲۵٪ C_2S ، ۱۲٪ C_3A ، ۸٪ C_4AF و ۵٪ گچ است.

تیپ های II و V به گونه ای طراحی شده اند که در برابر حمله سولفات مقاوم باشند و میزان C_3A را پایین نگه دارند. این سیمان ها برای سازه هایی در آب یا خاک حاوی مقدار متوسط (نوع $C_3A < 8\%$ II) یا زیاد (نوع $C_3A < 8\%$ V) سولفات استفاده می شوند. نوع III به گونه ای طراحی شده است که مقاومت اولیه را سریع تر از نوع I، عموماً در یک هفته یا کم تر، که برای حفظ سرعت بالای ساخت و ساز بسیار مفید است، ایجاد کند. این ویژگی با آسیاب کردن دقیق تر و افزایش میزان C_3S و C_3A به دست می آید. نوع IV کندتر از نوع I گرما تولید می کند و همچنین کندتر مقاومت پیدا می کند و برای سازه های عظیم، مانند سدهای وزنی بزرگ، مفید است. این نوع سیمان امروزه به ندرت در دسترس است. انواع IA، IIA و IIIA سیمان هایی هستند که برای ساخت بتن هوازا استفاده می شوند. آن ها از نظر ترکیب به ترتیب با انواع I، II و III مطابقت دارند، با این تفاوت که مقادیر کمی از مواد هوازا در طول تولید با کلینکر آسیاب می شوند. این سیمان ها بتنی با مقاومت بهبود یافته در برابر یخ زدن و آب شدن تولید می کنند (جدول ۴-۱).

رنگ خاکستری بیش تر سیمان های پرتلند عمدتاً به دلیل فریت است. استفاده از مواد غیرفریتی منجر به محتوای بسیار پایین C_4AF در سیمان می شود که به آن سیمان پرتلند سفید می گویند. مواد اولیه مانند سنگ آهک بسیار خالص، کائولن، ماسه کوارتز، فلدسپار یا عمدتاً بر اساس محتوای کم آهن آن ها انتخاب می شوند. تولید سیمان سفید مشابه سیمان خاکستری است و ترکیب خنک شدن و سفید شدن، تفاوت اصلی تکنولوژیکی است. سیمان پرتلند سفید در کاربردهای تزئینی بسیار جذاب است زیرا محصولی تقریباً سفید رنگ است (شکل ۴-۸). با این حال، سیمان پرتلند سفید به دلیل افزایش هزینه های مواد اولیه و فرآیند تولید،





به طور قابل توجهی گران تر از سایر سیمان ها است. به عنوان مثال، به دلیل عدم وجود عناصر ذوب در مواد اولیه، به دمای بالاتر از ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد نیاز است.

جدول ۴-۱ انواع سیمان پرتلند مطابق با استاندارد ASTM C150

Type I	Normal
Type IA	Normal, air-entraining
Type II	Moderate sulfate resistance
Type IIA	Moderate sulfate resistance, air-entraining
Type II (MH)	Moderate heat of hydration and moderate sulfate resistance
Type II (MH)A	Moderate heat of hydration and moderate sulfate resistance, air-entraining
Type III	High early strength
Type IIIA	High early strength, air-entraining
Type IV	Low heat of hydration
Type V	High sulfate resistance



شکل ۴-۹ سیمان سفید





سیمان های هیدرولیکی که با ترکیب دو یا چند نوع افزودنی (مثلاً سرباره کوره دانه بندی شده، خاکستر بادی یا دوده سیلیس) تولید می شوند و به همان روش سیمان های پرتلند استفاده می شوند. سیمان های منبسط شونده (استاندارد ASTM C845/845M) سیمان های هیدرولیکی هستند که در طول دوره سخت شدن اولیه پس از گیرش، کمی منبسط می شوند.





فصل پنجم

ملات

۵-۱ مقدمه

قدیمی ترین کاربرد مستند ملات، ترکیبی از شن، چسب و آب، حدود ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بوده است. بنابراین، ملات ها سابقه ای هزاران ساله دارند. به عنوان مثال، ملات گچی در زمان مصر مورد استفاده قرار می گرفت. ملات های هیدرولیکی بر پایه پوزولان ها (خاکستر آتشفشانی پودری) احتمالاً بیش از ۳۰۰۰ سال است که شناخته شده اند. این ملات به مقدار زیادی توسط فنیقی ها، یونانی ها و رومی های باستان استفاده می شده است. رومی ها با استفاده از آهک به عنوان ماده سیمانی، کاربردهای سازه ای ملات را توسعه دادند. استفاده از ملات در دوران تمدن اسلامی به خوبی متحول شد، زمانی که آهک و گچ به عنوان چسب مخلوط می شدند و ملات های با کیفیت عالی ساخته می شدند؛ این ملات ها تا به امروز نیز باقی مانده اند، مانند چندین کاخ مسلمانان در اسپانیا.

۵-۲ دسته بندی ملات ها

طبقه بندی ملات ها می تواند بر اساس مفاهیم مختلفی مانند ترکیب، خواص، الزامات، روش تولید، روش تهیه، کاربردها و غیره انجام شود. بنابراین، بسته به مواد چسبنده ملات ها، آن ها به ملات های سیمانی، ملات های آهک هیدرولیکی، ملات های آهک بادی، ملات های گچی و ملات های کامپوزیتی (چسب های مختلف مخلوط شده با هم، به عنوان مثال، سیمان و آهک) طبقه بندی می شوند. طبقه بندی با استفاده از الزامات، شامل





ساخت ملات‌هایی است که به‌طور خاص برای مشتری تهیه می‌شوند، با هدف دستیابی به ویژگی‌های مورد نیاز (عملکرد) و ترکیب و نسبت اجزای مختلف آن‌ها (دستورالعمل یا دستورالعمل). ملات‌های صنعتی را می‌توان بسته به روش تهیه آن‌ها به ملات خشک در سیلوها، ملات خشک در کیسه‌ها و ملات مرطوب تقسیم کرد. بسته به کاربرد آن‌ها در ساختمان‌سازی و ساخت‌وساز، «ملات‌ها» می‌توانند به عنوان بنایی، گچ‌کاری، اندود کاری، سنگفرش، کارهای تعمیراتی، عایق‌بندی و غیره استفاده شوند.

۵-۳ ترکیبات (اجزای) ملات‌ها

ملات‌ها از اجزای اولیه‌ای ساخته می‌شوند که بهترین ترکیب از خواص ملات را برای شرایط سرویس مورد نظر ایجاد می‌کنند. همانند بتن، ملات از مخلوط کردن سنگدانه‌ها، مواد سیمانی، آب و در صورت نیاز مواد افزودنی ساخته می‌شود. تفاوت‌های اصلی بین اجزای بتن و ملات، نوع مواد سیمانی و اندازه سنگدانه‌ها است. مواد سیمانی در ملات‌ها می‌توانند شامل چندین نوع چسب باشند در حالی که بتن فقط می‌تواند سیمان را به عنوان چسب در خود جای دهد. با توجه به اندازه آن‌ها، سنگدانه‌های ملات معمولاً فقط از سنگدانه ریز (ماسه) استفاده می‌کنند در حالی که بتن با استفاده از سنگدانه ریز (ماسه) و درشت (شن) تولید می‌شود.

ملات‌های خشک فعلی نسبت به ملات‌هایی که در گذشته بلافاصله در محل مخلوط می‌شدند، از مواد بیش‌تری تشکیل شده‌اند. به‌طور کلی، ساده‌ترین فرمولاسیون‌ها مربوط به ملات‌های بنایی هستند، در حالی که ملات‌های بسیار پیچیده و با کارایی بالا مانند زیرسازی کف خود تراز شونده (شکل ۵-۱) و گچ‌های تزئینی ممکن است تا ۲۰ جزء مختلف داشته باشند.



شکل ۵-۱ ملات کف (خود تراز شونده)





مصالح مورد استفاده در ملات ها شامل ماسه طبیعی یا مصنوعی (کلسیمی، دولومیتی یا سیلیسی) است که جزء اصلی ملات ها محسوب می شود، زیرا کمینه ۷۵٪ از حجم ملات را تشکیل می دهد. ماسه به عنوان پُرکننده بی اثر عمل می کند و علاوه بر تأثیر بر مقاومت فشاری ملات، باعث صرفه جویی در مصرف انرژی، کارایی و کاهش انقباض می شود. برخی از ملات ها حاوی مصالح درشت دانه (معمولاً بیشینه اندازه ۱۰ میلی متر) هستند، اما معمولاً ماسه جزء اصلی آن است. ذرات ماسه با سخت شدن خمیر به هم متصل می شوند تا خواص ساختاری مورد نیاز را ایجاد کنند. کیفیت ماسه توسط عوامل مختلفی مانند میانگین اندازه ذرات، دانه بندی، ناخالصی ها، شکل و بافت کنترل می شود. مصالح سنگی تأثیر قابل توجهی بر خواص ملات در حالت تازه و سخت شده دارند. در برخی موارد، سنگدانه های سبک مانند پرلیت، ورمیکولیت، خاک رس منبسط شده و پوکه معدنی معمولاً به عنوان سنگدانه های اضافی با هدف کاهش چگالی ملات و افزایش خواص عایق بندی آن استفاده می شوند. به دلیل چگالی کم آن ها (معمولاً از ۹۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب)، تنها چند درصد وزنی از این نوع سنگدانه های سبک به مخلوط اضافه می شود.

در ملات های گچ کاری و اندود کاری، تمیز کردن ماسه ضروری است. مصالح ماسه ای باید عاری از مواد رسی، مواد آلی و ترکیباتی مانند سولفیدهای آهن که دوام ملات را کاهش می دهند و همچنین اجزایی که می توانند بر پرداخت ملات و مقاومت مکانیکی و سختی آن تأثیر بگذارند، باشند. علاوه بر این، در این نوع ملات ها، ماسه باید بیشینه اندازه ای متناسب با ضخامت و پرداخت هر لایه داشته باشد. توجه به این نکته ضروری است که ذرات ریز اضافی، نیاز به آب را افزایش می دهند و در نتیجه، انقباض ملات در فرآیند خشک شدن افزایش می یابد. ذرات ریز اضافی همچنین چسبندگی ملات را کاهش می دهند، به طوری که خطر ریزترک ها وجود دارد. ماسه های طبیعی معمولاً ملات هایی تولید می کنند که کارایی بیشتری نسبت به ملات های تولید شده با استفاده از ماسه های مصنوعی دارند. در شکل ۵-۲ نمونه ای از ملات بنایی در دیوار چینی نشان داده شده است.





شکل ۵-۲ ملات بنایی

ماسه

استاندارد ASTM C144 فقط به سنگدانه‌های مورد استفاده در ملات‌های بنایی می‌پردازد (ماسه طبیعی یا مصنوعی، که دومی محصولی است که با خرد کردن سنگ، شن یا سرباره کوره آهن گدازی که در هوا خنک می‌شود و به‌طور ویژه برای اطمینان از دانه‌بندی مناسب فرآوری می‌شود، به دست می‌آید). برای تنظیم توزیع اندازه دانه‌ها، به بخش‌های دانه‌بندی مختلف سنگدانه‌ها نیاز است. این استاندارد محدودیت‌های دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز را برای استفاده در ملات بنایی مشخص می‌کند (جدول ۵-۱). لازم به ذکر است که سنگدانه‌های خوب دانه‌بندی شده (SW)، جدایش اجزا را در ملات تازه کاهش می‌دهند و در نتیجه آب انداختن را کاهش داده و کارایی را بهبود می‌بخشند.

جدول ۵-۱ دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز برای استفاده در ملات‌های بنایی (استاندارد ASTM C144)

Aggregate size (mm)	% Pass
4.75	100
2.36	95 a 100
1.18	70 a 100
0.600	40 a 75
0.300	10 a 35
0.150	2 a 15
0.075	0 a 5





با توجه به واکنش فیزیکی یا شیمیایی آن‌ها، چسباننده‌ها مهم‌ترین نقش را در مقاومت نهایی ملات ایفا می‌کنند. همان‌طور که قبلاً بحث شد، مهمترین تفاوت در ترکیب بین بتن و ملات به نوع چسباننده‌های مورد استفاده در واکنش سخت‌شدن مربوط می‌شود. آن‌ها اساساً معدنی هستند و می‌توانند چسباننده‌های هوایی (آهک هوایی و گچ) و چسباننده‌های هیدرولیکی (آهک هیدرولیکی و سیمان) یا مخلوطی از آن‌ها باشند. بنابراین، همه ترکیبات بین چسباننده‌های معدنی مختلف امکان‌پذیر است. سیمان پرتلند می‌تواند در ملات‌ها استفاده شود، اما سیمان بنایی و سایر گزینه‌ها نیز کافی هستند. ملات‌های خشک که هم‌زمان به‌عنوان ملات و پوشش‌های تزئینی (مثلاً گچ‌های تزئینی و دوغاب کاشی) عمل می‌کنند، اساساً شامل سیمان پرتلند سفید هستند.

سیمان

سیمان بنایی محصولی است که به‌طور خاص برای استفاده در تولید ملات برای ساخت و ساز بنایی فرموله و تولید شده است. سیمان پرتلند یا مخلوط به مقاومت فشاری و چسبندگی ملات کمک می‌کند. روان‌کننده‌ها و سایر مواد، کارایی و احتباس آب را بهبود می‌بخشند، به افزایش دوام و کاهش جذب آب ملات کمک می‌کنند. طبق استاندارد EN 413-1، سیمان بنایی یک «چسب هیدرولیکی پودری ریز ساخته‌شده در کارخانه است که اساساً برای ایجاد مقاومت به وجود کلینکر سیمان پرتلند متکی است. هنگامی که فقط با ماسه و آب مخلوط می‌شود و بدون افزودن مواد اضافی، ملاتی کارآمد و مناسب برای استفاده در اندود کاری، گچ کاری و کارهای بنایی تولید می‌کند».

افزودنی‌ها

قرن‌ها از افزودنی‌ها برای بهبود خواص ملات، اندودها و ملات‌های سیمانی استفاده می‌شد. به‌عنوان مثال، رومی‌ها از چربی حیوانی، شیر و خون استفاده می‌کردند. استفاده از افزودنی‌ها توسط تمدن‌های باستانی مبتنی بر تجربه و مشاهده عملی بوده است. در ملات‌های سیمانی مدرن، استفاده از افزودنی‌ها تقریباً جهانی شده





است، زیرا فناوری توصیف مزایای آن‌ها بهتر درک شده است. افزودنی، ماده‌ای آلی یا معدنی است که در مقادیر کم برای تغییر خواص ملات در حالت تازه و سخت شده اضافه می‌شود. استاندارد ASTM C1384 اشاره می‌کند که «افزودنی‌ها موادی هستند که به غیر از مواد تجویز شده مانند آب، سنگدانه و مواد سیمانی، برای بهبود یک یا چند مورد از خواص مطلوب شناخته شده ملات بنایی معمولی استفاده می‌شوند» و انواع افزودنی‌های زیر را در نظر می‌گیرد: تقویت کننده چسبندگی، تقویت کننده کارایی، تسریع کننده گیرش، کند کننده گیرش و دافع آب.

افزودنی‌های هوازا/روان کننده «در مخلوط‌های ملات برای افزایش دوام ملات‌های بنایی سخت شده، به‌ویژه در آب و هوای سرد و مرطوب، گنجانده می‌شوند». علاوه بر بهبود خواص ملات تازه، استفاده از آهک هیدراته در ملات‌های سنتی، باعث ایجاد چسبندگی می‌شود؛ در نتیجه، روان کننده‌های ملات معمولاً برای جایگزینی آهک در ملات‌ها استفاده می‌شوند. امروزه، مزایای آهک و روان کننده‌های ملات قطعاً شناخته شده است و بیش‌تر ملات‌های ساختمانی باکیفیت، هر دو را در فرمولاسیون خود دارند. در مورد افزودنی‌های کندگیر کننده، در حالی که گیرش سیمان کند می‌شود، ملات کاملاً کارآمد باقی می‌ماند و امکان استفاده از آن تا طول عمر مفید ذکر شده ملات را فراهم می‌کند. هنگامی که ملات کندگیر کننده برای چیدن آجر یا بلوک استفاده می‌شود، ملات در ابتدا به دلیل از دست دادن آب از طریق جذب در واحدهای بنایی، قبل از ادامه هیدراتاسیون جزء سیمانی ملات به‌روشن عادی، سفت می‌شود. عوامل اتصال‌دهنده در ملات‌ها برای دو کاربرد اصلی استفاده می‌شوند: «الف) برای افزایش چسبندگی اندودها به زیرلایه‌ها و (ب) برای بهبود چسبندگی ملات‌های تراز کننده به پایه بتنی». در استفاده از یک محصول اتصال‌دهنده در مخلوط ملات باید دقت شود، زیرا برخی از مواد بر میزان هوای محبوس شده تأثیر می‌گذارند.

مواد دافع آب معمولاً در ملات‌ها استفاده می‌شوند. کاهش نفوذپذیری بسته به این که ملات برای بنایی یا اندود کاری باشد، مزایای متفاوتی ایجاد می‌کند. در حالت اول، کاهش نفوذپذیری منجر به کاهش شوره زدن





می شود. کاهش نفوذپذیری همچنین می تواند رنگ و ظاهر ملات را حفظ کند. علاوه بر این، مقاومت در برابر آب و هوا را افزایش داده و دوام ملات را افزایش می دهد. در اندود کاری ها، کاهش نفوذپذیری در پوشش های پشتیبان مفید است که منجر به کاهش مکش و بهبود چسبندگی پوشش های بعدی می شود. علاوه بر این، ممکن است مقاومت اندود را در برابر ورود باران افزایش دهد.

الیاف

وجود الیاف در مخلوط، عملکرد مقابله با انقباض هیدرولیکی، که از ویژگی های ملات در طول فرآیند سخت شدن است، را دارد و در نتیجه از تشکیل ترک و شکاف روی سطح گچ اعمال شده جلوگیری می کند. علاوه بر این، افزایش مقاومت خمشی ملات تا ۳۵٪ قدمت دارد. با این حال، وجود الیاف به طور واضح کارایی ملات های تازه را کاهش می دهد. انواع مختلف الیاف و اندازه های بسیار متنوع، چه مصنوعی و چه طبیعی، در ماتریس ملات های پایه سیمانی گنجانده شده اند. رایج ترین انواع قابل توجه الیاف از مواد آلی مصنوعی (مثلاً پلی پروپیلن یا کربن)، مواد معدنی مصنوعی، مانند فولاد یا شیشه، تا مواد آلی طبیعی (مثلاً سلولز یا سیزال) متغیر است (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۳ الیاف شیشه برای ملات

آب

آب به کارایی ملات کمک می کند و در حالت خمیری به عنوان روان کننده عمل می کند؛ آب برای هیدراتاسیون سیمان ضروری است. مقدار آب مورد نیاز در درجه اول به اجزای ملات بستگی دارد. از این





نظر، نیاز به آب برای ملات با نیاز به آب در بتن، که در آن نسبت آب به سیمان کم معمولاً مناسب است، متفاوت است. ملات باید بیشینه مقدار آب را که با کارایی بهینه سازگار است، در خود جای دهد. آب ملات باید تمیز باشد، یعنی از مواد جامد معلق مانند مواد رسی اجتناب شود و عاری از اجزای مضر مانند اسیدها، قلیاها و مواد آلی باشد. علاوه بر این، آب نباید حاوی موادی باشد که زمان گیرش و دوام ملات را تغییر می دهند. آب حاوی شکر (قند)، زمان گیرش را به تأخیر می اندازد. اینک که آب قابل آشامیدن باشد یا نباشد، مهم نیست زیرا برخی از آب های آشامیدنی حاوی مقادیر قابل توجهی نمک های محلول مانند سولفات های سدیم و پتاسیم هستند که می توانند در تشکیل شوره نقش داشته باشند. در صورت لزوم، تحلیل آزمایشگاهی آب مصرفی باید انجام شود.

۴-۵ ویژگی ملات ها

نقش ملات تازه در طول ساخت و ساز هم ضروری و هم پیچیده است زیرا: «(الف) باید به راحتی پخش شود و به مدت کافی قابل استفاده باشد. (ب) باید آب را حفظ کند تا خیلی سریع خشک و سفت نشود، به خصوص در مواردی که از واحدهای بنایی جاذب استفاده می شود و (ج) باید در مدت زمان معقولی سفت شود». خواص پلاستیکی، مناسب بودن ملات برای ساخت و ساز را تعریف می کنند که به نوبه خود به خواص ملات سخت شده مربوط می شود. مهم ترین خواص ملات های پلاستیکی در حالت تازه، کارایی، قابلیت نگهداری آب و میزان هوا است.

کارایی

کارایی مهم ترین ویژگی ملات پلاستیکی است که بر سایر خواص اصلی آن در حالت پلاستیک و سخت شده تأثیر می گذارد. کارایی، رفتار ملات مربوط به تمام خواص مورد نیاز در طول کاربرد و همچنین کار بیش تر و پرداخت نهایی است. یک ملات با کارایی خوب برای سهولت استفاده ضروری است. کارایی به معنای ترکیبی از تعدادی از خواص مرتبط مانند پلاستیسیته، روانی، نگهداری آب، زمان گیرش، انسجام و





چسبندگی است. اگرچه کارایی تا حد زیادی توسط دانه بندی سنگدانه ها، نسبت اجزای تشکیل دهنده و میزان هوا کنترل می شود، اما تنظیم قطعی کارایی بر اساس میزان آب تعریف می شود. استفاده از آهک هیدراته در ملات ها می تواند کارایی و زمان باز شدن را بهبود بخشد و همچنین مشکلات مربوط به مکش بیش از حد و وجود شوره را کاهش دهد.

قابلیت نگهداری آب

قابلیت نگهداری آب معیاری از توانایی ملات تحت مکش برای حفظ آب اختلاط است. این خاصیت ملات به بنا زمان می دهد تا واحد بنایی را بدون سفت شدن ملات، جایگذاری و تنظیم کند. ملاتی که این خاصیت را دارد، در برابر از دست دادن سریع آب اختلاط (جلوگیری از از دست دادن خاصیت پلاستیسیته) در هوا در اثر تغییر دما، باد و رطوبت مقاومت می کند. بنابراین، قابلیت نگهداری آب ارتباط نزدیکی با کارایی دارد. قابلیت نگهداری آب نباید خیلی کم یا خیلی زیاد باشد و می توان آن را با استفاده از مقادیر بالاتر آهک و افزودن ذرات ریز ماسه در محدوده دانه بندی قابل قبول یا با استفاده از محصولات نگهدارنده آب افزایش داد.

هوا

میزان هوای ملات در حالت تازه نیز مانند بتن مهم است. برای دستیابی به دوام کافی ملات، وجود هوای کافی برای پشتیبانی از چرخه های انجماد-ذوب بدون ایجاد اختلال در ماتریس ملات بسیار مهم است. وجود هوای محبوس شده تعداد زیادی حباب پراکنده ایجاد می کند که به عنوان محفظه های انبساط عمل می کنند. بنابراین، آن ها باعث می شوند آب در حال انجماد بدون ایجاد اختلال در ماتریس ملات منبسط شود. با این حال، وجود هوای بیش از حد منجر به کاهش تدریجی مقاومت ملات، به ویژه در مقاومت چسبندگی و خمشی می شود.





در ملات بنایی، هدف اصلی ملات (که در ساختار نهایی سخت می شود) انتقال تنش های فشاری، کششی و برشی بین واحدها است. ویژگی های ملات های سخت شده که به تعریف عملکرد سازه بنایی کمک می کنند شامل مقاومت فشاری، چسبندگی و دوام است. چسبندگی خوب و مناسب بودن برای هدف، به عنوان مثال، ضد آب بودن و ظاهر، نیز در ملات اندود کاری سخت شده ضروری است.

۵-۵ انواع ملات ها

تعداد انواع ملات در صنعت ساختمان و ساخت و ساز، بسته به کاربرد محصولات، بسیار چشمگیر است. به طور کلی، ملات بنایی و ملات اندود کاری رایج ترین و از نظر اقتصادی مهم ترین ملات ها هستند، در حالی که ملات های به اصطلاح ویژه یا فنی شامل طیف گسترده ای از محصولات به تعداد نیازهای برآورده شده هستند: ملات های گچی، عایق رطوبتی، ترمیم و محافظت بتن، دوغاب، چسب کاشی، بافت دهی و بسیاری دیگر.

ملات بنایی

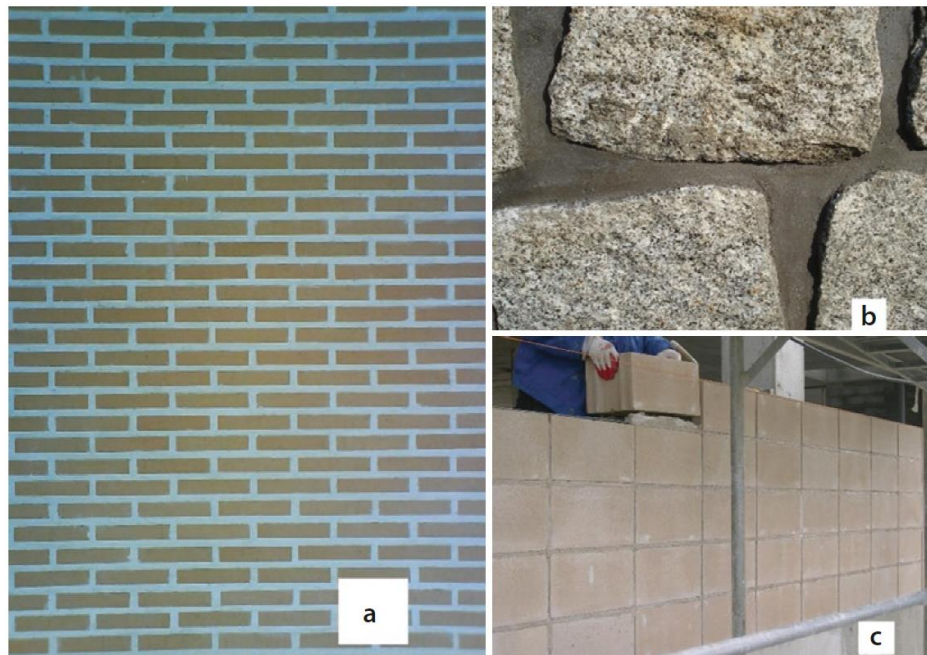
ملات بنایی عامل پیوند دهنده ای است که آجرها و/یا واحدهای دیگر، مانند بلوک یا سنگ، (شکل ۱۱،۳۷) را در یک مجموعه بنایی ادغام می کند. این نوع ملات قرن ها بخش جدایی ناپذیر سیستم های دیوار بنایی بوده است. عملکرد اولیه ملات بنایی احتمالاً آب بندی دیوارهای نفوذپذیر و محافظت در برابر باران و باد بوده است. بدیهی است که امروزه هنوز هم یک عملکرد است، اما با توسعه تکنیک های ساختمان سازی، تقاضا برای ملات ها به میزان زیادی افزایش یافته است. به عنوان مثال، دوام و ظاهر زیبا و دل انگیز ضروری هستند (انتخاب ملات می تواند تأثیر بصری زیادی بر آجر کاری داشته باشد).

یک دیوار بنایی باید الزامات متعددی از جمله مقاومت مناسب و همچنین نفوذناپذیری و دوام خوب را برآورده کند. این الزامات شرایط شامل برخی از الزامات خاص برای واحد بنایی و ملات است. بنابراین،





مخلوط های ملات برای بنایی باید دارای خواص زیر باشند: «الف) مقاومت کافی، (ب) کارایی، (ج) حفظ آب در حین نصب، (د) پلاستیسیته در حین اجرا، (ه) چسبندگی یا پیوند، (و) دوام، و (ز) ظاهر خوب مربوط به بافت و رنگ». ملات بنایی بخش جدایی ناپذیری از آجرکاری است. تقریباً ۱۷/۵ درصد از آجرکاری ساخته شده در دیوار را تشکیل می دهد، اما این بخش نسبتاً کوچک از ملات در بنایی به طور قابل توجهی بر عملکرد کل تأثیر می گذارد. بنابراین، انتخاب ملات مناسب بسیار مهم است. تعیین صحیح ملات نه تنها برای ایجاد مقاومت در ساخت دیوار، بلکه برای دوام در برابر نفوذ آب نیز ضروری است.



شکل ۴-۵ ملات بنایی

ملات اندود کاری

اندود کاری های خارجی، پوسته ساختمان ها را با هدف محافظت و زیباسازی دیوارهای پشتیبان آن ها نشان می دهند. به عنوان یک قاعده، دلایل اصلی استفاده از ملات اندود کاری موارد زیر است: (۱) ایجاد مانعی برای جلوگیری از نفوذ آب باران به مصالح بنایی زمینه (۲) محافظت از ساختمان در برابر تنش های مکانیکی خارجی (۳) بهبود ظاهر زیباشناختی یک سازه بنایی ساده و (۴) ایجاد سطحی صاف برای پرداخت نهایی. طبق استاندارد





EN 13914-1، انتخاب نوع اندود، ترکیب آن، تعداد لایه ها و ضخامت آن ها به جنبه مورد نظر، شرایط کمابیش شدید قرار گرفتن در معرض آب و هوا، ماهیت زیرلایه و الزامات نهایی بستگی دارد، یعنی نوع پرداخت مورد نظر.

گچ بری

اگرچه تعاریف مختلفی از گچ بری وجود دارد، اما به طور کلی به عنوان یک پوشش نهایی پیوسته (برای استفاده داخلی و خارجی) که آهک یا گچ، گرد مرمر و رنگدانه ها تشکیل می شود، تعریف می شود. به عنوان یک قاعده کلی، گچ بری با کربناته شدن آهک سخت می شود و به یک پوشش براق شبیه مرمر دست می یابد. گچ بری به یکی از معروف ترین ملات های پرداخت تبدیل شده است. گچ بری از حداقل دو لایه خمیر رقیق و خمیر فشرده تشکیل شده است. ضخامت هر لایه با اندازه سنگدانه مورد استفاده تعیین می شود.





فصل ششم

بتن

۶-۱ مقدمه

بتن را می توان به عنوان «مخلوطی از سنگدانه، سیمان و آب که سخت می شود» (استاندارد ISO 6707)، «ماده ای مرکب که اساساً از یک محیط چسبنده تشکیل شده است که در آن ذرات یا قطعات سنگدانه قرار دارند» (استاندارد ASTM C125) و «ماده ای که با مخلوط کردن سیمان، سنگدانه های درشت و ریز و آب، با یا بدون افزودن افزودنی ها و مواد افزودنی تشکیل می شود و خواص آن با هیدراتاسیون سیمان توسعه می یابد» (استاندارد EN 206-1) تعریف کرد. این تعاریف بتن بر اساس مهم ترین استانداردهای نظارتی در سراسر جهان است. به طور دقیق تر، بتن ترکیبی از سیمان، آب، سنگدانه ریز (ماسه) و سنگدانه درشت (شن یا سنگ خرد شده) است که در آن سیمان و آب توسط یک واکنش شیمیایی (هیدراتاسیون) برای اتصال سنگدانه های غیر واکنشی سخت شده اند. مواد دیگری که اغلب می توانند به مخلوط قبلی اضافه شوند، افزودنی ها هستند که پودرهای ریزی هستند که جایگزین مقداری از سیمان می شوند و مقادیر کمی از مواد شیمیایی که به عنوان افزودنی شناخته می شوند و عمدتاً برخی از خواص را بهبود می بخشد.

بتن پُرکاربردترین مصالح ساختمانی در صنعت ساخت و ساز است. این ماده در انواع ساختمان ها (از بلوک های مسکونی گرفته تا اداری) و در پروژه های زیرساختی (جاده ها، پل ها، سدها) استفاده می شود و به عنوان یک جزء حیاتی از جامعه ما عمل می کند. در واقع، درک دنیای مدرن بدون وجود این مصالح





ساختمانی غیرممکن است. بتن، که اساساً یک سنگ ساخته دست بشر است، می تواند تقریباً هر شکل و فرمی به خود بگیرد زیرا هنگام تولید و ریختن در قالب مانند یک مایع سنگین است، بنابراین یک مصالح ساختمانی بسیار متنوع است. تطبیق پذیری و دسترسی آسان آن تضمین کرده است که بتن برای انواع ساخت و ساز در سراسر جهان از اهمیت فزاینده ای برخوردار است و خواهد بود.

استفاده از بتن از مصر به اطراف مدیترانه شرقی گسترش یافت و تا سال ۵۰۰ قبل از میلاد در یونان باستان نیز مورد استفاده قرار می گرفت. یونانیان از آهک به عنوان چسب بین سنگ و آجر و به عنوان ماده پرداخت روی سنگ های آهکی متخلخل که معمولاً در ساخت معابد و کاخ هایشان استفاده می شد، استفاده می کردند. این احتمال وجود دارد که رومی ها ایده ساخت بتن را از یونانیان کپی کرده باشند، زیرا آثار بتنی اولیه رومی مربوط به ۳۰۰ سال قبل از میلاد یافت شده است. بتن های تولید شده با ترکیب سیمان (مخلوطی از آهک و پوزولان - خاکستر آتشفشانی از پوزولی) با سنگدانه ها در بسیاری از سازه های بزرگ رومی استفاده می شدند. در واقع، کلمه بتن ریشه در کلمه لاتین *concretus* دارد که به معنی رشد یافته با هم یا ترکیب شده است.

۶-۲ مواد تشکیل دهنده بتن

مخلوط کردن سیمان، سنگدانه ها، آب و در صورت نیاز، افزودنی ها و اضافات، بتن را می سازند. این مواد، که با دقت نسبت بندی شده اند، در یک میکسر با هم ترکیب می شوند. به طور کلی، یک مخلوط تقریباً شامل ۱۰ تا ۱۵ درصد سیمان، ۶۰ تا ۸۰ درصد سنگدانه و ۱۵ تا ۲۰ درصد آب است. در بسیاری از مخلوط های بتن، حباب هوا نیز می تواند حدود ۵ تا ۸ درصد باشد.

سیمان

سیمان یکی از اجزای ضروری بتن است (اگرچه کم ترین سهم را از نظر حجم اشغال می کند). سیمان، هنگامی که هیدراته می شود، سنگدانه ها را به هم می چسباند. این فرآیند هیدراتاسیون می تواند هم در هوا و هم





در زیر آب انجام شود. کمینه کردن مقدار خمیر به کمینه رساندن مقدار سیمان، که گران ترین ماده مخلوط است، کمک می کند، زیرا در ساخت آن به مقدار زیادی انرژی نیاز است. انواع مختلفی از سیمان وجود دارد اما سیمانی که معمولاً در تولید بتن استفاده می شود، سیمان پرتلند است. هر نوع سیمان، بتنی با خواص مختلف تولید می کند. سیمان هایی با خواص ویژه نباید مورد نیاز باشند، مگر این که ویژگی های خاصی درخواست شود.

سنگدانه ها

سنگدانه های بتن (شن و ماسه) حدود ۸۰٪ وزن بتن و ۷۰٪ حجم بتن را تشکیل می دهند. هدف این است که تا حد امکان از سنگدانه برای اتصال عناصر به یکدیگر با خمیر سیمان سخت شده استفاده شود. بنابراین، سنگدانه ها اسکلت بتن را تشکیل می دهند. تخلخل درون اسکلت باید تا حد امکان با سیمان پر شود. این بدان معناست که باید از بزرگترین اندازه سنگدانه ممکن استفاده شود و طیف پیوسته ای از اندازه ذرات از شن ریز تا سنگ های درشت مطلوب است. استفاده بهینه از اندازه سنگدانه، کیفیت بتن را بهبود می بخشد. می توان گفت که ویژگی های معدنی سنگدانه ها بر خواص فیزیکی بتن در حالت سخت شده آن تأثیر می گذارند، در حالی که ویژگی های هندسی آن عمدتاً بر رفتار بتن در حالت تازه آن تأثیر می گذارند. سنگدانه ها اگر نسبت به قلیاها واکنش نشان دهند، می توانند به صورت شیمیایی عمل کنند و بر یکپارچگی بتن تأثیر بگذارند.

سنگدانه های بتن باید پیوند محکمی با خمیر سیمان سخت شده داشته باشند، نباید در سخت شدن سیمان اختلال ایجاد کنند و نباید تأثیر منفی بر دوام بتن داشته باشند. سنگدانه در بتن به عنوان پرکننده عمل می کند، هزینه را کاهش می دهد، مقاومت و دوام را فراهم می کند و تغییر حجم ناشی از فرآیندهای هیدراتاسیون و یا خشک شدن را کاهش می دهد. سنگدانه مورد استفاده در تولید بتن می تواند طبیعی، مصنوعی و بازیافتی باشد. در بتن، سنگدانه های گرد (شکل ۶-۱) مخلوطی با کارایی بیش تر ایجاد می کنند، در حالی که سنگدانه های زاویه دار (شکل ۶-۲) بتن را برای قرار دادن، کار و فشرده سازی سخت تر می کنند. برای یک مخلوط بتن



مناسب، سنگدانه باید تمیز، سخت و ذرات محکمی باشد. علاوه بر این، این ذرات باید عاری از مواد شیمیایی جذب شده یا پوشش های رسی و همچنین سایر مواد ریز باشند که می توانند باعث تخریب بتن شوند.



شکل ۶-۱ سنگدانه گرد گوشه



شکل ۶-۲ سنگدانه تیز گوشه

سنگدانه های بتن در استاندارد EN 12620 تعریف شده اند. این استاندارد دو گروه اصلی از نظر اندازه را تعریف می کند: سنگدانه ریز (ماسه) و سنگدانه درشت (شن). سنگدانه ریز، نامی برای مصالح با اندازه کم تر از ۴ میلی متر است، یعنی ذرات از الک ۴ میلی متری عبور می کنند و سنگدانه درشت، نامی برای مصالح با اندازه ای بزرگ تر از ۴ میلی متر است، یعنی ذرات روی الک ۴ میلی متری باقی می مانند. مهم است به یاد داشته



باشید که سنگدانه‌ها، بر اساس چگالی خود، به سنگدانه‌های سبک، معمولی و سنگین نیز طبقه‌بندی می‌شوند. به‌طور کلی، بیشینه اندازه ذرات سنگدانه درشت می‌تواند ۱۰، ۲۰ یا ۴۰ میلی‌متر باشد.

آب

آب یک جزء ضروری در تهیه بتن است زیرا به‌شدت در واکنش شیمیایی با سیمان شرکت می‌کند. بنابراین، مقدار آب موجود در ترکیب بتن، رفتار بتن، به‌ویژه مقاومت آن را تعیین می‌کند، زیرا مقدار آب اضافی منجر به کاهش مقاومت می‌شود. از سوی دیگر، کیفیت آب اختلاط برای تولید بتن می‌تواند بر زمان گیرش، افزایش مقاومت بتن و در صورت وجود کلریدها، بر محافظت از آرماتور در برابر خوردگی تأثیر بگذارد.

کفایت آب برای تولید بتن عمدتاً به منشأ آن بستگی دارد. استاندارد EN 1008 انواع آب زیر را فهرست می‌کند: (الف) آب آشامیدنی: برای بتن مناسب است و نیازی به آزمایش ندارد. (ب) آب بازیابی شده از فرآیندهای صنعت بتن (به‌عنوان مثال آب شستشو): به‌طور کلی برای بتن مناسب است، اما برخی از الزامات ذکر شده در پیوست استاندارد باید رعایت شود. (ج) آب‌های زیرزمینی: ممکن است برای بتن مناسب باشد، اما باید بررسی شود. (د) آب‌های سطحی طبیعی و آب‌های صنعتی: ممکن است برای بتن مناسب باشد، اما باید بررسی شود. (ه) آب دریا یا آب شور: ممکن است برای بتن غیر مسلح استفاده شود، اما برای بتن مسلح یا پیش تنیده مناسب نیست. (و) آب فاضلاب: برای بتن مناسب نیست.

استاندارد ASTM C1602/1602 M «آب اختلاط مورد استفاده در تولید بتن سیمان هیدرولیکی» را پوشش می‌دهد؛ این استاندارد منابع آب را تعریف کرده و الزامات و آزمایش را برای تأیید صلاحیت منابع آب منفرد یا ترکیبی ارائه می‌دهد. استفاده از آب‌های آشامیدنی و غیر آشامیدنی به‌عنوان آب اختلاط در بتن مجاز است، اگرچه الزامات عملکردی متفاوتی برای آب اختلاط مورد نیاز است (به‌عنوان مثال، چگالی آب یا محدودیت‌های شیمیایی برای کلرید، سولفات، قلیاها و کل جامدات).





مواد افزودنی

مواد افزودنی «موادی هستند که در طول فرآیند اختلاط بتن در مقادیر کم مربوط به جرم سیمان برای اصلاح خواص در حالت تازه یا سخت شده اضافه می شوند» (استاندارد EN 206-1). این شامل رنگدانه ها و دوده سیلیس که افزودنی هستند، نمی شود. مواد افزودنی می توانند به صورت شیمیایی و یا فیزیکی عمل کنند. آن ها معمولاً به صورت محلول های آبی از مواد شیمیایی برای سهولت در توزیع و پراکندگی در بتن در حین اختلاط تهیه می شوند. استفاده موفقیت آمیز از مواد افزودنی مبتنی بر استفاده از مناسب ترین روش های بچینگ و بتن ریزی است. بیش تر مواد افزودنی به صورت مایع آماده مصرف تهیه می شوند و در کارخانه یا در محل کار به بتن اضافه می شوند. مواد افزودنی را می توان تا ۵٪ وزن سیمان به بتن اضافه کرد، اگرچه بیش تر انواع آن ها معمولاً کم تر از ۱/۵ درصد اضافه می شوند.

مواد افزودنی بتن طبق استاندارد EN 934-2 تنظیم می شوند. این استاندارد هشت گروه اصلی از افزودنی های بتن را بر اساس نحوه عملکردشان طبقه بندی می کند: (الف) کاهنده آب/روان کننده: «افزودنی که بدون تأثیر بر روانی، امکان کاهش مقدار آب مخلوط بتن معین را فراهم می کند، یا بدون تأثیر بر محتوای آب، اسلامپ/روانی را افزایش می دهد یا هر دو اثر را به طور هم زمان ایجاد می کند». (ب) کاهنده آب/فوق روان کننده با دامنه بالا: «افزودنی که بدون تأثیر بر روانی، امکان کاهش زیاد مقدار آب مخلوط بتن معین را فراهم می کند، یا بدون تأثیر بر محتوای آب، اسلامپ/روانی را به طور قابل توجهی افزایش می دهد یا هر دو اثر را به طور هم زمان ایجاد می کند». (ج) نگهدارنده آب: «افزودنی که با کاهش آب افتادگی، از دست دادن آب را کاهش می دهد». (د) حباب زا: «افزودنی که امکان ایجاد مقدار کنترل شده ای از حباب های هوای کوچک و یکنواخت توزیع شده را در طول مخلوط کردن فراهم می کند که پس از سخت شدن باقی می ماند». (ه) تسریع کننده گیرش (زودگیرها) و تسریع کننده سخت شوندگی: «افزودنی هایی که گیرش را با کاهش زمان تغییر مخلوط از حالت خمیری به حالت سفت تسریع می کنند و یا با افزایش کسب مقاومت اولیه،





سخت شوندگی را تسریع می کنند». (و) ضد آب: «افزودنی که جذب موینگی بتن سخت شده را کاهش می دهد». (ز) گُند کننده گیرش (دیرگیرها): «افزودنی که زمان شروع انتقال مخلوط از حالت خمیری به حالت سفت را افزایش می دهد». (ح) عامل اصلاح کننده ویسکوزیته (افزودنی تثبیت کننده / نگهدارنده آب): «افزودنی که با کاهش آب انداختگی بتن تازه، از هدر رفتن آب اختلاط جلوگیری می کند».

افزودنی کاهنده آب / روان کننده با دوز معمول ۰/۲ تا ۰/۸ درصد وزنی سیمان، پراکندگی ذرات سیمان را بهبود می بخشد و در نتیجه کارایی را افزایش می دهد. روان کننده، کارایی را در نسبت آب به سیمان معین بدون از دست دادن مقاومت یا دوام افزایش می دهد. از طرف دیگر، می توان از این افزودنی ها برای کاهش مقدار آب در محدوده ۵ تا ۱۲ درصد استفاده کرد. این کاهش، افزایش قابل توجه دوام و افزایش مقاومت را برای مقدار سیمان ثابت ایجاد می کند. افزودنی کاهنده آب / فوق روان کننده با دامنه بالا، مانند روان کننده ها، پراکندگی ذرات سیمان را بهبود می بخشد و در نتیجه کارایی را به میزان زیادی افزایش می دهد.

۳-۶ ویژگی های بتن

اگرچه دوره بتن تازه در مقایسه با کل طول عمر بتن بسیار کوتاه است، اما بسیاری از عملیات در این حالت انجام می شود، یعنی مخلوط کردن، حمل و نقل، تراکم و عمل آوری. رفتار بتن در حالت تازه بر کیفیت سازه بتن تأثیر می گذارد. این موضوع به این دلیل است که بر درجه تراکم، مقاومت، همگنی، ظاهر سطوح آن، ضد آب بودن و غیره تأثیر می گذارد. ویژگی اساسی بتن تازه، کارایی آن است، زیرا این امر سهولت بتن تازه را تعیین می کند. سایر ویژگی های مهم در حالت تازه شامل چگالی، میزان هوا، زمان گیرش و مقاومت در برابر جداسازی است.

کارایی





کارایی را می توان به عنوان «آن ویژگی بتن تازه مخلوط شده که بر سهولت مخلوط کردن، ریختن، متراکم کردن و کوبیدن آن تأثیر می گذارد» (استاندارد ASTM C125) تعریف کرد، در حالی که همگنی آن در طول این عملیات حفظ می شود. بنابراین، بتن کارآمد بتنی است که اصطکاک داخلی بسیار کمی بین ذرات آن وجود داشته باشد. برای توصیف کارایی باید شرایط خاص سازه بتنی که قرار است ساخته شود را در نظر گرفت. استفاده از مفهوم روانی برای توصیف کارایی رایج است، زیرا یک پارامتر نسبی است که عمدتاً توسط روانی تعریف می شود. روانی یک ویژگی ذاتی بتن نیست، زیرا عوامل دیگری مانند شرایط محلی یا روش های مورد استفاده برای حمل و نقل و تراکم بتن را نیز در نظر می گیرد.

روانی به ظرفیت ماده برای حفظ شکل خود پس از قالب گیری یا «تحرک نسبی یا توانایی جریان یافتن» (استاندارد ASTM C125) مربوط می شود. به عبارت دیگر، روانی، رفتار بتن تازه را تعریف می کند. لازم به ذکر است که روانی پس از مخلوط شدن بتن، به طور مداوم کاهش می یابد، اگرچه برای مدتی به اندازه کافی برای جابجایی و ریختن قابل استفاده است. این امر به دلیل عوامل زیر است: (الف) جذب آب توسط سنگدانه، (ب) تبخیر آب (ج) واکنش های هیدراتاسیون اولیه و (د) برهمکنش های بین افزودنی ها (به ویژه روان کننده ها و فوق روان کننده ها) و اجزای سیمانی مخلوط.

عوامل اصلی مؤثر بر کارایی عبارتند از: میزان آب، اندازه، شکل و دانه بندی سنگدانه ها، نسبت سنگدانه به سیمان، استفاده از افزودنی ها و شرایط دمایی. مهم ترین این عوامل، میزان آب است. کارایی بتن با افزایش میزان آب افزایش می یابد، اگرچه این افزایش به نوبه خود مقاومت بتن را کاهش می دهد. دلیل این امر این است که آب روان ترین جزء بتن است و فاصله بین ذرات را افزایش می دهد و در نتیجه حرکت مخلوط را آسان تر می کند. در صورت افزودن آب بیش تر، میزان سیمان نیز باید به طور متناسب افزایش یابد.

برای سنگدانه های درشت، کل سطح مورد نیاز برای خیس شدن کم تر است و همچنین خمیر کم تری برای روانکاری سطح جهت کاهش اصطکاک داخلی مورد نیاز است. برای مقدار آب مشخص، سنگدانه های





درشت، کارایی بالایی را فراهم می کنند. نوع و شکل سنگدانه نیز بر کارایی تأثیر می گذارد، زیرا برای مقدار آب مشخص، سنگدانه های گرد و مکعبی شکل، کارایی بیش تری نسبت به سنگدانه های زبر، زاویه دار و پولکی دارند. سنگدانه های با دانه بندی مناسب، کارایی بیش تری دارند. بنابراین، توزیع گسترده اندازه ذرات منجر به کارایی بهتر می شود زیرا ذرات کوچک تر، اثر روان کنندگی ایجاد می کنند. این امر همچنین از جداشدگی جلوگیری می کند. نسبت های نسبی سنگدانه های ریز و درشت از شکل سنگدانه ها و دانه بندی آن ها تعیین می شود. به عنوان مثال، یک سنگدانه درشت با اندازه سنگ بزرگ که عمدتاً خرد شده است، امکان استفاده از ذرات شن با اندازه بزرگ تر را فراهم می کند و کارایی خوبی را حفظ می کند. شن با گردی مناسب، کارایی بهتری با ماسه ریزتر خواهد داشت که برای پر کردن فضاهای خالی کوچک تر مورد نیاز است.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر کارایی، نسبت سنگدانه به سیمان است، زیرا مقدار بیش تر سیمان، سیالیت بیش تری را به همراه دارد. به این دلیل که خمیر را می توان به عنوان «فاز مایع» مخلوط در نظر گرفت. به این معنا، نرمی سیمان با از دست دادن کارایی متناسب است. استفاده از افزودنی هایی مانند حباب های هوا تأثیر زیادی بر کارایی دارد، زیرا هوا حباب هایی تشکیل می دهد که روی آن ها سنگدانه ها روی یک دیگر می لغزند و کارایی را افزایش می دهند. از سوی دیگر، عوامل حباب زا دارای فعالیت سطحی هستند و اصطکاک داخلی بین ذرات را کاهش می دهند. در نهایت، شرایط محیطی، یعنی دما، نیز تأثیر مهمی بر کارایی دارد، زیرا افزایش دما منجر به از دست رفتن سریع کارایی ناشی از افزایش سرعت هیدراتاسیون و تبخیر می شود.

پس از گیرش، بتن شروع به کسب مقاومت و سخت شدن می کند. در حالت سخت شده، بتن دیگر رفتار پلاستیکی ندارد و در عوض اساساً ویژگی های الاستیک دارد. در نتیجه واکنش هیدراتاسیون، در حالی که آب وجود دارد و سیمان هیدراته نشده هنوز در دسترس است، ویژگی های بتن همچنان تغییر می کنند و با گذشت زمان تثبیت می شوند. به همین دلیل، مقایسه بین بتن های مختلف باید تحت شرایط آزمایش مشابه و برای سن یکسان انجام شود. تاکنون، مهم ترین ویژگی بتن سخت شده، مقاومت مکانیکی آن (بتن در فشار قوی و در





کشش ضعیف است)، به ویژه مقاومت فشاری است، اگرچه ویژگی های دیگری مانند حداکثر نفوذ آب در نمونه های بتنی نیز اندازه گیری می شوند.

مقاومت فشاری ایده ای کلی از کیفیت بتن ارائه می دهد زیرا به ساختار چسب هیدراته شده مربوط می شود. علاوه بر این، مقاومت فشاری بتن یک متغیر ضروری در محاسبات سازه ای است که برای بررسی انطباق بتن نیز تعیین می شود. مقاومت فشاری نیز ضروری است زیرا به سایر ویژگی های مهم بتن که اندازه گیری مستقیم آنها دشوارتر است، مربوط می شود. در نتیجه، یک آزمایش مقاومت سریع می تواند تقریب مناسبی از این خواص بتن ارائه دهد (شکل ۳-۶). نمونه اصولی شکست بتن در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶ نمونه های بتن پس از گیرش و عمل آوری برای آزمایش مقاومت فشاری





شکل ۴-۶ شکل صحیحی از شکست بتن

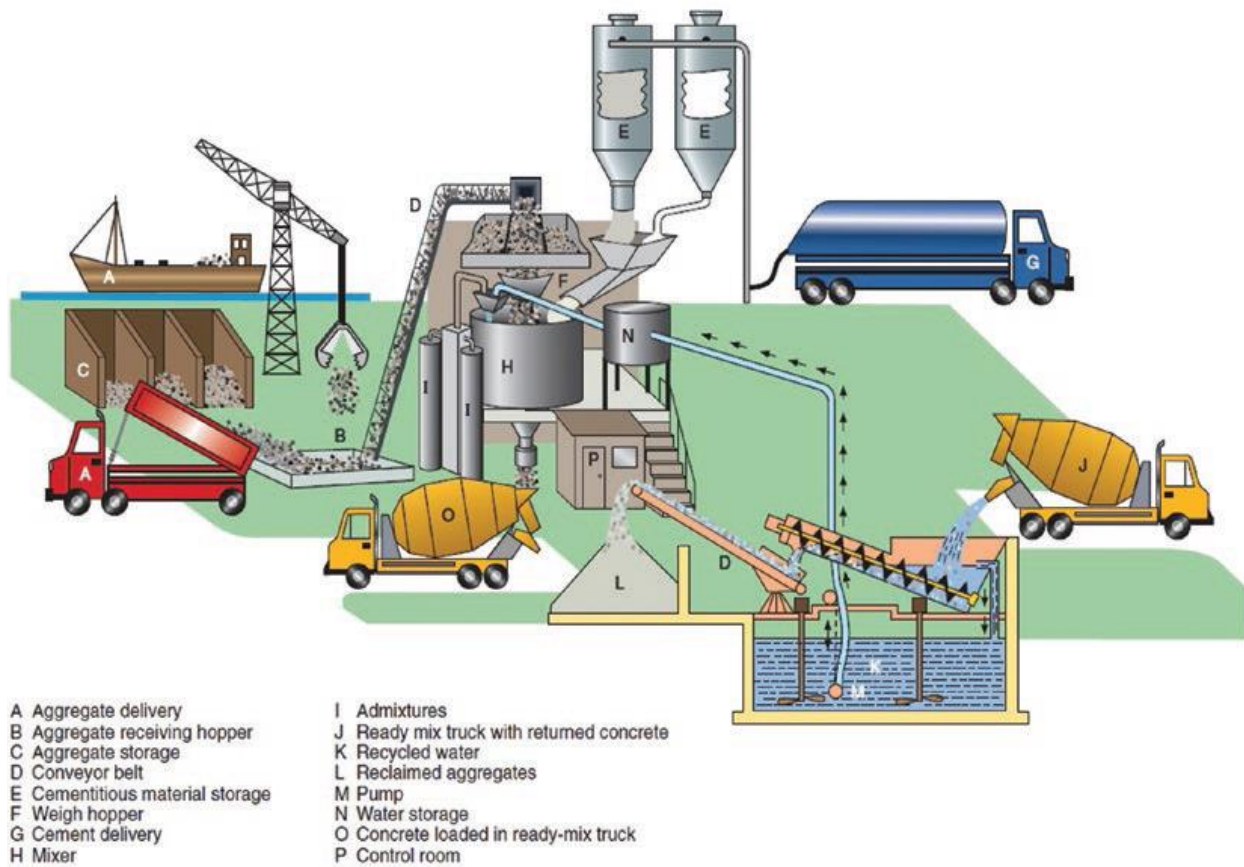
۴-۶ ساخت بتن

بتن آماده به بتنی اطلاق می شود که به جای مخلوط شدن در محل کار، برای تحویل از یک کارخانه مرکزی (شکل ۴-۵) پیمانه می شود. فرآیند تولید بتن که در دسته های اندازه گیری شده انجام می شود (یک دسته، مقدار بتن تازه تولید شده در یک چرخه عملیات میکسر است - مثلاً سه متر مکعب) دسته بندی نامیده می شود، که به بتن تولید شده در متر مکعب گفته می شود. انواع مختلفی از کارخانه های بتن آماده وجود دارد که بیش تر آن ها برای نیازهای خاص طراحی شده اند، اگرچه طرح اولیه یکسانی دارند: انبار مواد تشکیل دهنده، دسته کننده ها (توزین سیمان، آب و سنگدانه ها به صورت جداگانه انجام می شود)، سیستم جمع آوری گرد و غبار، سیستم تغذیه و نوعی میکسر (میکسر کامیونی یا میکسر ثابت). شکل ۴-۶ تصویری از یک کارخانه بتن آماده رایج را نشان می دهد.





شکل ۵-۶ کارخانه مرکزی برای تولید بتن



شکل ۶-۶ تصویری از یک کارخانه بتن آماده رایج



مواد سیمانی و سنگدانه ها از سیلوها، مخازن ذخیره سازی یا قیف ها تغذیه شده و بر اساس وزن، پیمانه می شوند. آب و مواد افزودنی را می توان به صورت حجمی یا وزنی توزیع کرد، اگرچه بیش تر مواد افزودنی شیمیایی به صورت مایع تحویل داده می شوند. مقادیر از پیش تعیین شده همه اجزا یا به میکسر کارخانه یا در حالت خشک به کامیون بتن آماده (شکل ۶-۷) تغذیه می شوند. کارخانه های بتن می توانند بتن را در مقداری از ۳۰ متر مکعب در ساعت تا ۴۰۰ متر مکعب در ساعت، بسته به ویژگی های آن ها (کارخانه های قابل حمل یا کارخانه های دائمی) تحویل دهند. اختلاط کامل برای تولید بتن یکنواخت و با کیفیت ضروری است. بتن باید تا زمانی که از نظر ظاهری همگن باشد و همه اجزا به طور مساوی توزیع شده باشند، مخلوط شود. در نتیجه، تجهیزات و روش ها باید قادر به مخلوط کردن موثر مواد بتنی باشند. اگر بتن به درستی مخلوط شود، نمونه های گرفته شده از قسمت های مختلف یک بچ اساساً نسبت یکسانی از اجزای مختلف و چگالی، میزان هوا و اسلامپ یکسانی دارند.



شکل ۶-۷ کامیون حمل بتن آماده

تجهیزات بچینگ (شکل ۶-۸) اساساً شامل یک قیف توزین است که از طریق نیروی جاذبه از مخازن بالای سر بارگیری می شود و یا به داخل کامیون زیرین یا به تسمه ای که به میکسر می رود، تخلیه می شود. تجهیزات بچینگ معمولاً اتوماتیک هستند و توسط دستگاه هایی شارژ می شوند که فرآیند توزین تمام اجزا را





به ترتیب شروع می کنند و هنگام رسیدن به جرم تعیین شده هر ماده به طور خود کار متوقف می شوند. فرآیند بچینگ خشک تنها از این نظر با بچینگ تر متفاوت است که مواد تشکیل دهنده توزین شده و سپس مستقیماً (به صورت خشک) به داخل وسیله نقلیه مورد استفاده برای حمل مخلوط تخلیه می شوند. بنابراین، این روش از طریق عمل اختلاط میکسر کامیون، مخلوط بتن یکنواختی تولید می کند. آب و افزودنی ها به طور هم زمان با سنگدانه ها و سیمان اضافه می شوند و سپس فرآیند اختلاط در وسیله نقلیه حمل و نقل انجام می شود.



شکل ۶-۸ دستگاه بچینگ بتن





پمپاژ بتن (شکل ۶-۹) یک روش رایج برای حمل بتن است زیرا این روش چندمنظوره است و امکان ریختن بتن را در فواصل زیاد از نقطه ورود فراهم می کند. این روش بتن را در جریان پیوسته تحویل می دهد و پمپ می تواند بتن را هم به صورت عمودی و هم به صورت افقی جابجا کند. برای پمپاژ بتن، به تأمین مداوم بتن تازه مخلوط شده با غلظت متوسط و بدون هیچ گونه تمایل به جدا شدن نیاز است. برای اطمینان از این ویژگی ها، مقدار سنگدانه های ریز باید کافی باشد، نسبت بین سنگدانه های درشت و ریز باید کم باشد.



شکل ۶-۹ پمپ بتن

۶-۵ تراکم بتن

پس از بتن ریزی در محل مورد نظر، مرحله بعدی تراکم است. دلیل این امر این است که در حین بتن ریزی، مقادیر زیادی هوا در مخلوط محبوس می شود که باعث کاهش مقاومت بتن سخت شده می شود. بنابراین، بخش زیادی از هوا باید با استفاده از تراکم خارج شود. تراکم فرآیندی است که هوای محبوس شده را از بتن تازه ریخته شده خارج می کند و ذرات سنگدانه را به هم فشرده می کند تا چگالی بتن افزایش یابد. تراکم بتن یک فرآیند دو مرحله ای است: (الف) اول، ذرات سنگدانه به حرکت در می آیند و فرو می ریزند تا قالب را پر کنند و یک سطح صاف ایجاد کنند و (ب) دوم، هوای محبوس شده خارج می شود. معمولاً بلافاصله پس از بتن ریزی، بتن را ویریه می کنند تا تراکم آن قبل از سفت شدن کامل شود.

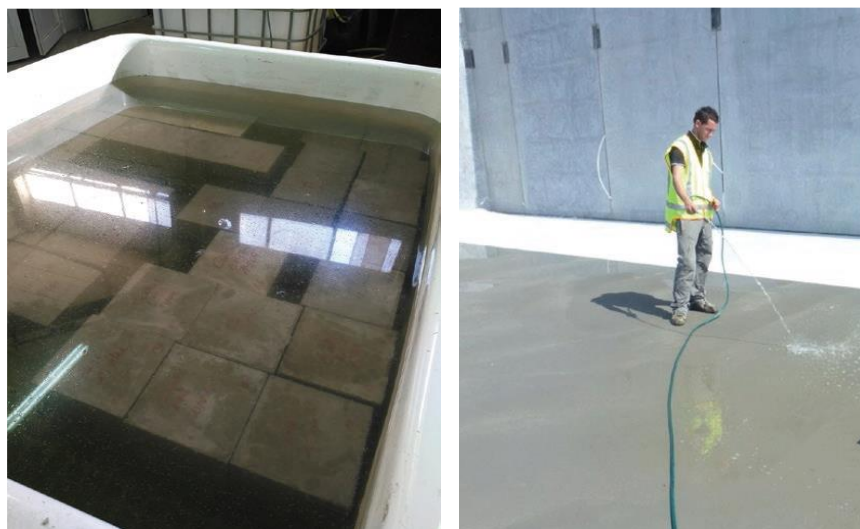




۶-۶ عمل آوری بتن

در واقع، عمل آوری، کنترل دما و حرکت رطوبت از بتن به داخل آن است. در نتیجه، استحکام و مقاومت در برابر سایش افزایش یافته و نفوذپذیری کاهش می یابد که هر دو باعث بهبود دوام می شوند. به طور خاص، هدف از این فرآیند، حفظ بتن در حالت اشباع یا تقریباً اشباع است تا زمانی که فضای پُر از آب اولیه در خمیر سیمان تازه به میزان مطلوب توسط محصولات هیدراتاسیون سیمان پُر شود. این محافظت که عمل آوری نامیده می شود، بخش اساسی هر عملیات بتن ریزی موفق است و باید حداقل به مدت ۲ یا ۳ هفته (و نه هرگز کم تر از ۱۰ روز) انجام شود. مدت زمان عمل آوری کافی عمدتاً به عواملی مانند نسبت های مخلوط، مقاومت مشخص شده، شرایط آب و هوایی و شرایط قرار گرفتن در معرض آینده بستگی دارد.

به طور کلی، دو گروه اصلی از روش های عمل آوری بر اساس عملکرد اصلی آن ها وجود دارد: (الف) حفظ آب اختلاط در بتن در طول فرآیند سخت شدن اولیه تامین رطوبت اضافی، عمل آوری با آب و (ب) جلوگیری از هدر رفتن آب اختلاط از سطح بتن. روش اول، تامین آبی است که بتن بتواند آن را جذب کند. این امر مستلزم آن است که سطح بتن برای مدت زمان مشخصی به طور مداوم با آب در تماس باشد (شکل ۶-۱۰).



شکل ۶-۱۰ عمل آوری بتن با آب پاشی مداوم در کارگاه و حوضچه آب در آزمایشگاه





۶-۷ دوام بتن

طبق تعریف انجمن سیمان پرتلند، دوام بتن را می توان به صورت «توانایی بتن در مقاومت در برابر عوامل جوی، حمله شیمیایی و سایش ضمن حفظ خواص مهندسی مطلوب آن» تعریف کرد. استاندارد ISO 13823 بیان می کند که دوام عبارت است از «توانایی یک سازه یا هر جزء آن» برای برآورده کردن الزامات عملکرد طراحی، با نگهداری برنامه ریزی شده، در یک دوره زمانی مشخص تحت تأثیر عوامل محیطی یا در نتیجه یک فرآیند مسن شدگی». بنابراین، دوام بتن همچنین توانایی این ماده برای حفظ قابلیت استفاده کمینه برای مدت زمان مورد نیاز (عمر مفید) سازه ای است که بخشی از آن را تشکیل می دهد. بسیاری از مقررات خاص در سراسر جهان الزاماتی را برای عمر طراحی در نظر گرفته اند که معمولاً بین ۵۰ تا ۱۰۰ سال متغیر است.

حمله سولفات ها

ترکیبات سدیم، کلسیم و منیزیم گاهی اوقات در خاک یافت می شوند یا در آب های زیرزمینی حل می شوند و در صورت محلول بودن، با اجزای خمیر سیمان واکنش می دهند. بنابراین، محلول های سولفات با C_3A واکنش می دهند و اترینگایت^{۱۶} تأخیری را در داخل بتن تشکیل می دهند. اترینگایت تشکیل شده منبسط می شود و باعث تخریب در بتن می شود. سولفات کلسیم حلالیت کمی دارد، بنابراین خطر بالایی ندارد. در مقابل، سولفات منیزیم شدیدترین اثر تخریبی را دارد زیرا محصول واکنش نامحلول است، حجم آن به طور قابل توجهی افزایش می یابد و نیروهای انبساطی و احتمالاً تخریب ایجاد می کند. سولفات سدیم با هیدروکسید کلسیم و هیدرات آلومینات کلسیم واکنش می دهد و اترینگایت (شکل ۶-۱۱) و گچ را تشکیل می دهد.

حمله اسیدی

از آن جا که چسب خمیر سیمان سخت شده در بتن قلیایی است، بتن سیمان پرتلند را نمی توان در برابر حمله اسیدی مقاوم دانست. اگر pH محیط خورنده کم تر از حدود ۶ باشد، این حمله قابل توجه تلقی می شود. در

۱۶- اترینگایت یا هگزا کلسیم آلومینات تری سولفات هیدرات یک کانی است. این کانی محصول هیدراسیون سیمان پرتلند در حضور هیدروکسید کلسیم است. به محض ترکیب سیمان با آب، تشکیل اترینگایت آغاز شده که به آن اترینگایت اولیه می گویند.





واقع، هیچ بتن سیمان هیدرولیکی، صرف نظر از ترکیب آن، در صورت قرار گرفتن در معرض محلولی با pH ۳ یا کم تر، برای مدت طولانی دوام نخواهد آورد. با این حال، برخی از اسیدهای ضعیف را می توان تحمل کرد، به خصوص اگر قرار گرفتن در معرض آن ها گاه به گاه باشد. بدیهی است که سرعت حمله با کاهش pH افزایش می یابد. اسید سولفوریک به ویژه برای بتن تهاجمی است زیرا سولفات کلسیم تشکیل شده نیز از طریق حمله سولفاتی، بتن را خراب می کند. در نتیجه، در صورت عدم محافظت، نباید از بتن در جایی که این نوع حمله ممکن است رخ دهد، استفاده شود. اسیدها با هیدروکسید کلسیم سیمان پرتلند هیدراته واکنش نشان می دهند و ترکیبات کلسیم محلول در آب را تشکیل می دهند که سپس توسط محلول های آبی شسته می شوند. در مورد CO_2 ، اسیدها به هیدروکسید کلسیم موجود در خمیر سیمان حمله کرده و آن را به کربنات کلسیم و بی کربنات تبدیل می کنند.



شکل ۶-۱۱ اترینگایت ثانویه سفید که در یک فضای خالی انباشته شده است؛ عرض میدان ۶۴ میکرومتر

واکنش قلیایی-سنگدانه

بیش تر انواع سنگدانه های مورد استفاده برای ساخت بتن بی اثر هستند، یعنی با سیمان و/یا محصولات هیدراتاسیون واکنش شیمیایی نشان نمی دهند. با این حال، چندین نوع سنگدانه وجود دارد که با قلیای موجود در سیمان واکنش شیمیایی نشان می دهند. سنگدانه های موجود در بتن، در میان سایر اجزا، می توانند حاوی





سیلیس، سیلیکات ها و کربنات ها باشند. در برخی از اشکال معدنی، این اجزا ممکن است با هیدروکسیدهای قلیایی موجود در آب منفذی که از اکسیدهای سدیم و پتاسیم موجود در سیمان مشتق شده اند، واکنش دهند. اصطلاح کلی برای این فرآیند، واکنش قلیایی-سنگدانه است که دو شکل دارد: واکنش قلیایی-سیلیس و واکنش قلیایی-کربنات. مورد اول رایج ترین و مهم ترین است و شامل سیلیس فعال می شود. این واکنش ها یکی دیگر از علل تخریب بتن از طریق فرآیندهای داخلی انبساطی هستند. زوال بسیاری از سازه های بتنی بزرگ، پس از سال ها کارکرد ظاهراً مناسب، ناشی از این واکنش ها، به ویژه واکنش قلیایی-سیلیسی، بوده است (شکل ۶-۱۲).



شکل ۶-۱۲ ترک خوردن در تیرک بتنی یک پل به دلیل واکنش قلیایی-سیلیسی

آسیب ناشی از انجماد-ذوب

در آب و هوای سرد، حمله یخ زدگی یکی از مهم ترین علل آسیب به بتن است، مگر اینکه اقدامات احتیاطی مناسب انجام شود. مکانیسم حمله به انبساط آب جذب شده در هنگام یخ زدگی نسبت داده می شود. آب هنگام یخ زدگی حدود ۹٪ منبسط می شود. اگر فضای کافی در بتن برای تطبیق با افزایش حجم وجود نداشته باشد، فشارهای داخلی بالقوه مخرب رخ خواهند داد زیرا فشارها از مقاومت کششی بتن بیش تر می شوند و حفره گشاد و پاره می شود. میزان فشار مخرب به تخلخل مویرگی، درجه اشباع بتن (بتن خشک تحت تأثیر قرار نمی گیرد) و کاهش فشار ایجاد شده توسط سطح آزاد یا مرز فرار نزدیک بستگی دارد. علاوه بر این، نقطه





انجماد محلول منافذ به اندازه منافذ بستگی دارد. هرچه منافذ کوچک تر باشند، نقطه انجماد پایین تر است. چرخه های متوالی یخ زدگی و آب شدن می تواند باعث آسیب های پیش رونده و تجمعی شود که به شکل ترک خوردگی و پوسته پوسته شدن ظاهر می شود. مواد شیمیایی یخ زدا که برای برف رویی و یخ زدایی استفاده می شوند، مانند کلرید سدیم، می توانند تخریب ناشی از یخ زدگی و آب شدن را تشدید کنند.

۸-۶ بتن پیش ساخته

استاندارد ISO 6707-1 بتن پیش ساخته را به عنوان «بتنی که ریخته می شود و قبل از انتقال به محل نهایی خود، برای سخت شدن رها می شود» تعریف می کند. بنابراین، بتن پیش ساخته شامل یک عنصر «ساخته شده در کارخانه» است که با بتنی ساخته می شود که در مکانی غیر از موقعیت عملیاتی خود به شکل خاصی ریخته می شود. بتن در قالبی قرار می گیرد و قبل از جدا شدن از قالب، معمولاً روز بعد، عمل آوری می شود (شکل ۱۳-۶). قطعات بتنی پیش ساخته در کارخانه های مجهز به تجهیزات ویژه و در مکانی دائمی آماده، ریخته گری و سخت می شوند.

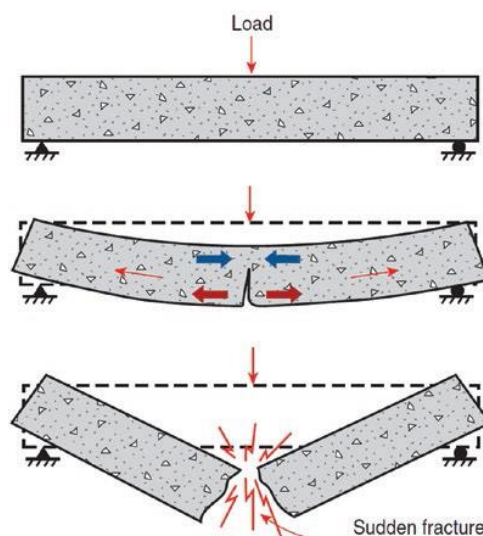


شکل ۱۳-۶ نمونه هایی از بتن پیش ساخته



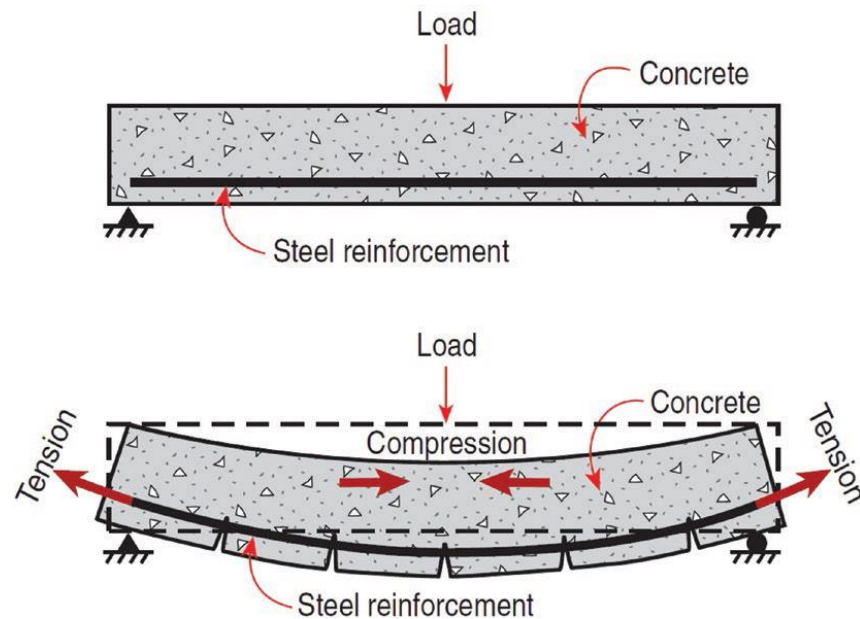
۹-۶ بتن مسلح^{۱۷}

بتن در برابر فشار مقاوم است و مقاومت خُرشدگی آن معمولاً در محدوده ۲۰ تا ۴۰ مگاپاسکال (تا ۱۰۰ مگاپاسکال برای بتن های با مقاومت بالا) قرار دارد. با این حال، مقاومت کششی بتن عموماً حدود ۱۰٪ از مقاومت فشاری آن ارزیابی می شود. در نتیجه، هر زمان که بارها، انقباض مهار شده یا تغییرات دما باعث ایجاد تنش های کششی بیش از مقاومت کششی بتن شوند، ترک ها ایجاد می شوند. به همین دلیل، بتن برای ستون ها و ستون هایی که اعضای فشاری در یک سازه هستند، به خوبی عمل می کند، اما برای دست یابی به مقاومت کششی لازم، در مواردی که بتن برای اعضای کششی مانند تیرها، شاه تیرها، دیوارهای فونداسیون یا کف ها استفاده می شود، باید با فولاد تقویت شود (شکل ۶-۱۴). در بتن مسلح، مقاومت کششی فولاد و مقاومت فشاری بتن با هم کار می کنند تا به عنصر اجازه دهند تنش های ناشی از باد، زلزله، ارتعاش و سایر نیروها را در دهانه های قابل توجه تحمل کند (شکل ۶-۱۵). بنابراین، بتن مسلح یکی از پُرکاربردترین مصالح ساختمانی مدرن است. سازه های ساخته شده از بتن مسلح مانند ساختمان ها، پل ها، سطوح بزرگراه ها و بسیاری از سازه های دیگر، سازه های بتن مسلح نامیده می شوند.



شکل ۶-۱۴ شکست ناگهانی بتن غیرمسلح تحت بارگذاری





شکل ۶-۱۵ آرماتوربندی، شکل پذیری و کنترل ترک خوردگی را در بتن فراهم می کند

۶-۹ بتن پیش تنیده^{۱۸}

بتن پیش تنیده نوع خاصی از بتن مسلح است و تحولی بزرگ در هنر تقویت سازه ایجاد کرد. طبق استاندارد ISO 6707-1، بتن پیش تنیده «بتنی است که در آن تنش های داخلی مشخص شده، معمولاً توسط فولاد کششی، قبل از بارگذاری سازه، ایجاد می شوند». بنابراین، بتن پیش تنیده بتنی است که تنش های داخلی وارد شده را تحمل می کند تا تنش های کششی اعمال شده در حین بهره برداری را تا حد مطلوب خنثی کند. پیش تنیدگی را می توان به عنوان روشی فعال برای تقویت ضعف بتن در کشش در نظر گرفت. فولاد در بتن پیش تنیده نقش فعالی دارد در حالی که در بتن مسلح، فولاد نقش غیرفعال دارد. عملکرد پیش تنیدگی، قرار دادن سازه بتنی تحت فشار در مناطقی است که بار باعث تنش کششی می شود. پیش تنیدگی تضمین می کند که جزء بتنی «همیشه در حالت فشرده باقی می ماند، حتی زمانی که تا بیشینه بار کاری خم می شود؛ نیروهای کششی درون فولاد بر بتن تأثیر می گذارند و آن را تحت فشار قرار می دهند، به طوری که بتن فقط تحت بارهای بیش از حد دچار کشش و ترک خوردگی می شود».



پس کشیدگی تکنیکی است که «برای پیش تنیدگی سازه های بتنی در محل پس از ریخته شدن بتن در قالب ها و عمل آوری آن استفاده می شود؛ این تکنیک با پیش تنیدگی که معمولاً برای ساخت عناصر ساختمانی دور از محل ساختمان استفاده می شود، متفاوت است». بتن پس کشیده با ریختن بتنی ساخته می شود که حاوی پلاستیک یا مجاری فلزی است که تاندون ها می توانند از طریق آنها رزوه شوند (مجاری برای ایجاد یک فضای خالی پیوسته در بتن برای قرار دادن بعدی فولاد تاندون پس کشیده استفاده می شوند). در محیط های تهاجمی، باید قبل از نصب فولاد پیش تنیدگی، نهایت دقت را به عمل آورد تا از عدم ورود آب به مجاری اطمینان حاصل شود. هنگامی که بتن به مقاومت کافی رسید، تاندون در یک انتها به یک وسیله یا صفحه ای که در بتن ریخته شده است (انتهای بن بست) مهار می شود. جک های هیدرولیکی قابل حمل از انتها، کشش تاندون ها را فراهم می کنند. بار از طریق مهارهای دائمی تعبیه شده در بتن در انتهای تاندون ها به بتن منتقل می شود.

۶-۱۰ بتن مسلح به الیاف

استفاده از الیاف برای بهبود خواص مصالح ساختمانی کمینه به ۳۵۰۰ سال پیش برمی گردد. در آن زمان، در بین النهرین از کاه برای تقویت آجرهای پخته شده در آفتاب استفاده می شد. از سوی دیگر، محصولات سیمانی از ابتدای دهه ۱۹۹۰ با انواع مختلفی از الیاف تقویت شده اند. سه دهه گذشته شاهد افزایش علاقه به استفاده از الیاف فولادی و مصنوعی برای بهبود خواص بتن آماده، بتن پیش ساخته و بتن شاتکریت بوده است. در بتن معمولی، ترک های ریز قبل از بارگذاری سازه به دلیل انقباض ناشی از خشک شدن و سایر علل تغییر حجم ایجاد می شوند. به همین دلیل، افزودن الیاف کوچک، نزدیک به هم، ناپیوسته و به طور یکنواخت پراکنده به بتن، خواص استاتیکی و دینامیکی آن را به طور قابل توجهی افزایش می دهد. در نتیجه، بتن نهایی به عنوان بتن مسلح به الیاف شناخته می شود. بتن مسلح به الیاف در کاربردهایی مانند کفپوش های صنعتی، سازه های هیدرولیکی، بتن پاششی (شاتکریت)، سازه های باریک (معمولاً در کارخانه های پیش ساخته)، پوشش تونل ها و سازه های مقاوم در برابر آتش مفید است.





باید تأکید کرد که الیاف مورد استفاده در تقویت بتن جایگزین میلگردهای فولادی مرسوم نمی شود. دلیل این امر این است که الیاف و میلگردهای فولادی نقش های متفاوتی در فناوری پیشرفته بتن ایفا می کنند و تعداد زیادی از کاربردها وجود دارد که در آنها باید از الیاف و میلگردهای فولادی تقویت کننده پیوسته استفاده شود. «اگرچه اصول اساسی حاکم یکسان است، اما چندین تفاوت قابل توجه بین سیستم های تقویت کننده (میلگرد) و الیاف مرسوم وجود دارد: (الف) الیاف عموماً به صورت تصادفی در سراسر یک مقطع معین توزیع می شوند در حالی که میلگردها یا سیم های تقویت کننده فقط در صورت نیاز قرار می گیرند. (ب) بیش تر الیاف در مقایسه با میلگردها یا سیم های تقویت کننده پیوسته نسبتاً کوتاه و نزدیک به هم هستند. (ج) معمولاً دستیابی به نسبت تقویت یکسان مساحت تقویت کننده به مساحت بتن با استفاده از الیاف در مقایسه با استفاده از شبکه ای از میلگردها یا سیم های تقویت کننده امکان پذیر نیست.

الیاف فولادی

الیاف فولادی به دلیل در دسترس بودن، خواص مکانیکی خوب و دوام، رایج ترین نوع الیاف مورد استفاده در تقویت بتن است (شکل ۶-۱۶).



شکل ۶-۱۶ الیاف فولادی

الیاف شیشه





الیاف شیشه مقاوم در برابر قلیا (شکل ۶-۱۷) در استاندارد EN 15422 برای بتن پیش ساخته به عنوان «محصول الیاف شیشه مقاوم در برابر محیط قلیایی ماتریس های ساخته شده از سیمان هیدرولیکی با الیاف شیشه که برای تقویت ملات ها و محصولات بتنی تولید و فروخته می شوند» تعریف شده است.



شکل ۶-۱۷ الیاف شیشه

الیاف مصنوعی

الیاف مصنوعی عناصر ساخته دست بشر هستند که در صنایع پتروشیمی و نساجی توسعه یافته اند. الیاف مصنوعی مورد استفاده در بتن شامل الیاف اکریلیک، آرامید، کربن، نایلون، پلی استر، پلی اتیلن و پلی پروپیلن (شکل ۶-۱۸) هستند. این نوع الیاف ممکن است انقباض پلاستیک و ترک خوردگی را کاهش دهند و به تقویت بتن پس از ترک خوردن کمک کنند. به عنوان یک قاعده، الیاف مصنوعی دارای مقاومت کششی بالایی هستند اما بیش تر آن ها مدول الاستیسیته نسبتاً پایینی دارند.



شکل ۶-۱۸ الیاف پلی پروپیلن





الیاف طبیعی

الیاف طبیعی مدت ها قبل از ظهور بتن مسلح معمولی به عنوان تقویت کننده استفاده می شدند. برخی از نمونه های بارز استفاده تاریخی از الیاف طبیعی در تقویت، آجرهای گلی تقویت شده با کاه یا ملات های تقویت شده با موی اسب هستند. الیاف طبیعی عموماً ارزان و در سراسر جهان به صورت محلی در دسترس هستند. علاوه بر این، از آن جایی که تمرکز صنعت بر کاهش انتشار گازهای گلخانه ای مرتبط با بتن است، الیاف طبیعی به دلیل ویژگی های قابل توجه سازگار با محیط زیست و قابل بازیافت بودن، مورد بحث بوده اند. برای بهبود جنبه دوام الیاف طبیعی مورد استفاده در بتن، الیاف برای مقاوم شدن در برابر قلیا فرآوری می شوند.

۶-۱۱ بتن با مقاومت بالا

تفاوت اصلی بین بتن با مقاومت بالا و بتن با مقاومت معمولی، در غیاب یک نقطه دقیق جداسازی بین این دو نوع، مربوط به مقادیر مقاومت فشاری هر دو ماده است. اگرچه بتن با مقاومت بالا معمولاً به عنوان یک ماده نسبتاً جدید طراحی می شود، اما توسعه آن در طول سال ها رو به پیشرفت بوده است. با افزایش استفاده از بتن، تعریف بتن با مقاومت بالا تغییر کرد. بنابراین، در دهه ۱۹۵۰، بتنی با مقاومت فشاری ۳۵ مگاپاسکال، بتن با مقاومت بالا در نظر گرفته می شد، در دهه ۱۹۶۰، بتن ۵۰ مگاپاسکال نیز بتن با مقاومت بالا در نظر گرفته می شد و در دهه ۱۹۷۰، بتن ۶۲ مگاپاسکال نیز به همین صورت در نظر گرفته می شد. در اوایل دهه ۱۹۷۰، بتن ۶۲ مگاپاسکال تولید می شد. اخیراً، مقاومت فشاری نزدیک به ۱۴۰ مگاپاسکال در ساختمان های درجاریز استفاده شده است، که این بتن با موفقیت با روش های مرسوم اختلاط، جابجایی و تراکم تولید و اجرا شده است. از آن جا که امروزه حدود ۹۰٪ بتن آماده دارای مقاومت فشاری مشخصه ۲۸ روزه از ۲۰ مگاپاسکال تا ۴۰ مگاپاسکال است که بیش تر آن بین ۲۸ مگاپاسکال و ۳۵ مگاپاسکال است، بتن بتن با مقاومت بالا دارای مقاومت کمینه ۷۰ تا ۸۰ مگاپاسکال است. برای مقاومت ۷۰ تا ۸۰ مگاپاسکال و بالاتر، اعمال دقیق بهترین شیوه ها ضروری است. تعریف بتن با مقاومت بالا نیز بر اساس موقعیت جغرافیایی متفاوت است.





مقاومت مشخصه بتن معمولاً بر اساس نتایج آزمایش ۲۸ روزه تعیین می شود. با این وجود، در این نوع بتن ویژه، از آن جا که عناصر سازه ای در طبقات پایین یک سال یا بیش تر طول می کشد تا کاملاً بارگذاری شوند، مقاومت های فشاری بر اساس نتایج آزمایش ۵۶ یا ۹۱ روزه معمولاً برای دستیابی به صرفه جویی قابل توجه در هزینه های مصالح در نظر گرفته می شوند. مقاومت فشاری افزایش یافته مهم ترین ویژگی عملکردی بتن با مقاومت بالا است. مقاومت کششی بتن با مقاومت بالا به طور قابل توجهی بیش تر از بتن معمولی است.

بتن های با مقاومت فشاری بالا به دلیل ویژگی های فنی متنوع خود در سازه های مختلفی استفاده می شوند. بتن با مقاومت فشاری بالا مزایای زیادی نسبت به بتن معمولی دارد. این بتن معمولاً در طراحی ستون های با بار زیاد و برای محصولات مختلف در کارخانه های پیش ساخته استفاده می شود. مزیت اصلی بتن با مقاومت بالا، کاهش اندازه عناصر فشاری و یا مقدار آرماتور طولی مورد نیاز است. بنابراین، استفاده از بتن با بالاترین مقاومت ممکن و کمینه فولاد، اقتصادی ترین راه حل را برای ستون های ساختمان های بلند ارائه می دهد. اگرچه هزینه با افزایش مقاومت افزایش می یابد، اما استفاده از آن می تواند منجر به صرفه جویی های کلی سازه ای شود، به عنوان مثال در کاهش اندازه مقاطع و در نتیجه کاهش وزن و در کاهش مقاطع عرضی در ساختمان های بلند (جایی که فضای کف بیش تری در دسترس است). بتن با مقاومت بالا برای استفاده در ساختمان های بلند مناسب است، که عمدتاً مربوط به مناطق زلزله خیز است. علاوه بر این، سازه های پُل پیش تنیده به مقاومت فشاری بالایی نیاز دارند که منجر به دهانه های وسیع تر و ابعاد باریک تر پل، کاهش تعداد تیرهای مهار برای یک دهانه مشخص و کاهش ارتفاع مقطع برای یک دهانه مشخص می شود. علاوه بر این، ویژگی های مکانیکی بتن با مقاومت بالا در سازه هایی که در معرض بارگذاری مکانیکی و شیمیایی بالا مانند کف های صنعتی، مناطق ترافیکی، سازه های دریایی، تصفیه خانه های فاضلاب و سازه های مهندسی مانند نیروگاه های برق آبی یا برج های خنک کننده قرار دارند، اعمال می شود.



۱۲-۶ بتن خودتراکم^{۱۹}

بتن خودتراکم، بتن خودتراز یا بتن بدون ارتعاش، نام‌های مختلفی هستند که معمولاً برای شناسایی نوع نسبتاً جدیدی از بتن استفاده می‌شوند. مفهوم بتن خودتراکم برای اولین بار در ژاپن در اواسط تا اواخر دهه ۱۹۸۰ توسعه یافت، زیرا بتن معمولی به دلیل مشکلات دوام مورد انتقاد قرار می‌گرفت. برای حل این مشکل، بتن خودتراکم در سال ۱۹۸۶ پیشنهاد شد. دلایل اصلی استفاده از بتن خودتراکم، کوتاه کردن زمان ساخت و جلوگیری از ارتعاش مناطق محدود بود که دسترسی به آن‌ها نسبتاً دشوار است. دلیل مهم دیگر، حذف سر و صدای ناشی از ارتعاش است. در نتیجه، بتن خودتراکم در سه دهه گذشته، به ویژه برای سازه‌هایی با اشکال پیچیده، فرآیندهای ریخته‌گری پیچیده و آرماتورهای بسیار متراکم، مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته است (شکل ۱۹-۶).



شکل ۱۹-۶ مزایای بتن خودتراکم در مقایسه با بتن معمولی ویر شده

استاندارد ASTM C125 بتن خودتراکم را این گونه تعریف می‌کند: «بتنی که می‌تواند بدون تلاش اضافی و بدون تجاوز از محدودیت‌های مشخص شده جداسازی، در اطراف آرماتور جریان یابد و تحت وزن خود متراکم شود.» استاندارد ISO 1920-13 بتن خودتراکم را این گونه تعریف می‌کند: «بتنی نوآورانه که برای ریختن و تراکم نیازی به وایبر ندارد، زیرا قادر است تحت وزن خود جریان یابد، قالب را کاملاً پُر کند و حتی

19- Self-compacting concrete (SCC)





در حضور آرماتورهای متراکم، به تراکم کامل دست یابد». به طور خلاصه، بتن خودتراکم قادر است تحت وزن خود جریان یابد و متراکم شود و در عین حال، به اندازه کافی چسبنده است تا فضاهای تقریباً با هر اندازه و شکلی را بدون جداسازی یا آب افتادگی پُر کند.

اگرچه بتن خودتراکم یک مصالح ساختمانی جدید نیست، بلکه توسعه بیش تری از فناوری های بتن موجود است، اما به عنوان «انقلابی ترین پیشرفت در ساخت بتن برای چندین دهه» توصیف شده است. بتن خودتراکم به دلیل عوامل متعددی مانند ساخت سریع تر، کاهش نیروی انسانی در محل، قرارگیری آسان تر، دوام بهبود یافته، عدم وجود لرزش و محیط کار ایمن تر، از نظر اقتصادی «مفید» بوده است. بنابراین، یکی از تأثیرات عمده معرفی بتن خودتراکم مربوط به فرآیند تولید است: انتخاب و جابجایی اجزا و همچنین طراحی اختلاط، بچینگ، اختلاط و حمل و نقل به وضوح اصلاح می شوند.

۶-۱۳ بتن سبک^{۲۰}

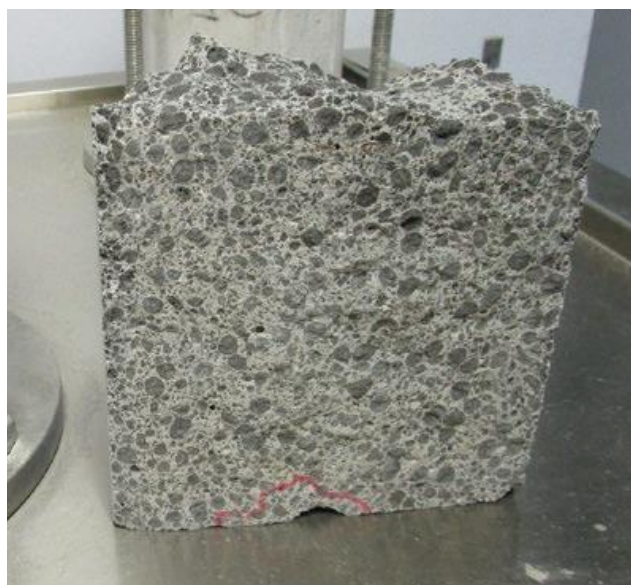
طبق استاندارد ASTM F141، بتن سبک «بتنی با چگالی کم تر از ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب» است. در مقابل، بتن سبک در استاندارد ISO 22965-1 به عنوان «بتنی با چگالی خشک در کوره نه کم تر از ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نه بیش تر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب» تعریف شده است (این بتن با استفاده از سنگدانه های سبک برای تمام یا بخشی از کل سنگدانه ها تولید می شود). سنگدانه سبک می تواند «طبیعی»، «تولید شده از منابع طبیعی»، «تولید شده از محصولات جانبی» یا «مواد اولیه بازیافتی و سنگدانه های جانبی» باشد. اولین کاربرد شناخته شده بتن سبک به بیش از ۲۰۰۰ سال پیش برمی گردد. سازه های مختلفی با استفاده از این نوع بتن در منطقه مدیترانه وجود دارند، اگرچه قابل توجه ترین سازه ها در اوایل امپراتوری روم ساخته شده اند. خواص بتن سبک وزن امکان استفاده از آن را به عنوان یک ماده سازه ای اصلی و همچنین ترکیب آن در سازه هایی با عایق حرارتی بهبود یافته فراهم می کند. بنابراین، بتن سبک وزن عمدتاً برای عایق حرارتی، ساخت و ساز سبک،





محصولات پیش ساخته، بتن تراز کننده و بتن های پُر کننده استفاده می شود. روش های مورد استفاده برای ساخت بتن سبک را می توان به سه گروه طبقه بندی کرد: (الف) بتن با سنگدانه های سبک: جایگزینی کامل یا جزئی سنگدانه های طبیعی در مخلوط بتن با سنگدانه هایی که حاوی مقدار زیادی فضای خالی هستند. (ب) بتن بدون ریزدانه: حذف بخش ریزتر سنگدانه های معمولی برای ایجاد فضاهای خالی پُر از هوا و (ج) بتن هوادهی شده یا سلولی: ترکیب حباب های گاز در خمیر سیمان برای تشکیل یک ساختار سلولی حاوی بخش زیادی از فضاهای خالی (حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد).

سنگدانه های سبک متخلخل با وزن مخصوص کم در بتن سبک استفاده می شوند (شکل ۶-۲۰). تخلخل بالا که منجر به وزن مخصوص کم می شود، از ویژگی های اصلی سنگدانه های سبک است. همان طور که قبلاً بحث شد، سنگدانه های سبک می توانند طبیعی (مانند پوکه معدنی و چندین ماده دیگر با منشأ آتشفشانی)، ساخته شده از منابع طبیعی، از محصولات جانبی یا از مواد اولیه بازیافتی و سنگدانه های فرعی باشند. پس از پردازش با استفاده از تکنیک های مختلف، مواد متنوعی مانند خاک رس، شیل یا تخته سنگ، سنگدانه های سبکی با ترکیب شیمیایی و بافت بسیار مشابه، مانند خاک رس منبسط شده، تولید می کنند.

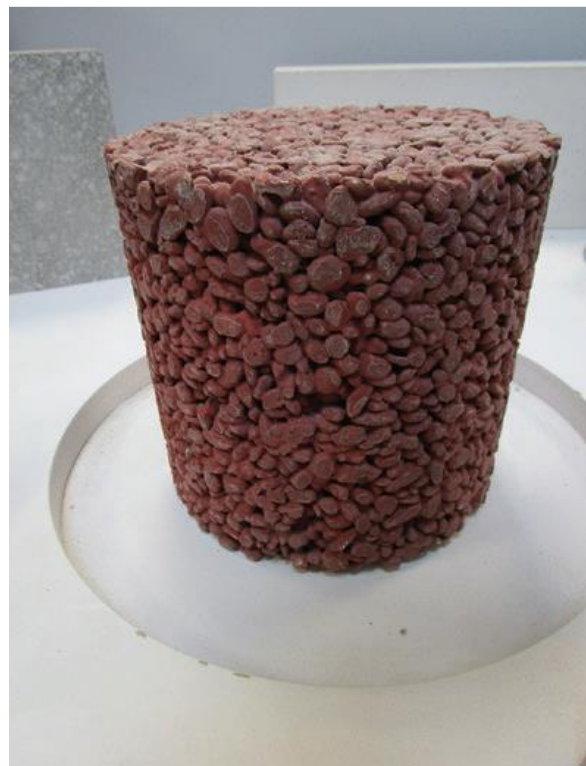


شکل ۶-۲۰ نمونه ای از بتن سبک





بتن بدون ریزدانه (که گاهی اوقات بتن متخلخل یا بتن با بافت باز نامیده می شود) بتنی سبک است که فقط از سنگدانه های درشت، سیمان و آب تشکیل شده و ریزدانه ها کاملاً حذف شده اند، به طوری که بتن نفوذپذیری و ظرفیت زهکشی بالایی دارد. این ترکیب اجزا باعث می شود که هر ذره سنگدانه با یک لایه از خمیر سیمان پوشانده شود و تماس های نقطه به نقطه ایجاد کند و حفره های بینایی ایجاد کند (شکل ۶-۲۱). ماهیت بتن بدون ریزدانه به گونه ای است که درصد نسبتاً بالایی از حفره های به هم پیوسته دارد، اگرچه عملاً هیچ منافذ موئین ریزی ندارد، که باعث ایجاد بتنی متخلخل با بافت باز با چگالی، مقاومت و انقباض کاهش یافته می شود. اگر از سنگدانه های معمولی استفاده شود، بتن بدون ریزدانه مقادیر چگالی بین ۱۲۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب را نشان می دهد، اما وقتی با استفاده از سنگدانه های سبک تهیه می شود، چگالی آن می تواند به ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب یا حتی کم تر برسد. مقاومت فشاری بتن بدون ریزدانه از ۱/۴ مگاپاسکال تا حدود ۱۰ مگاپاسکال متغیر است.



شکل ۶-۲۱ نمونه ای از بتن بدون ریزدانه



۶-۱۴ بتن پاششی (شاتکریت)^{۲۱}

بتن پاششی به این معنی است که بتن در محل مورد نظر برخلاف روش مرسوم تر ریختن یا قرار دادن در قالب، پاشیده می شود. این روش در سال ۱۹۱۱ توسعه یافت و مفهومی اساساً بدون تغییر (حتی در کاربرد امروزی) باقی مانده است. اصطلاح شاتکریت به طور گسترده در ایالات متحده استفاده می شود در حالی که بتن پاششی یک اصطلاح رایج در اروپا است. استاندارد ISO 16311-4 بتن پاششی را به عنوان «بتنی که تحت فشار از طریق نازل از طریق لوله ها اعمال می شود» تعریف می کند. استاندارد EN 14487-1 بیان می کند که «بتن پاششی»، بتنی است که با مخلوط پایه تولید شده و به صورت پنوماتیکی از نازل به محل مورد نظر پاشیده می شود تا با نیروی حرکت خود، یک توده همگن متراکم تولید کند. طبق استاندارد ASTM C125، شاتکریت «بتنی است که با سرعت بالا و به صورت پنوماتیکی بر روی سطح پاشیده می شود» و این استاندارد همچنین بین شاتکریت خشک «که در آن بیش تر آب اختلاط در نازل اضافه می شود» و شاتکریت تر «که در آن بیش تر مواد تشکیل دهنده، از جمله آب، قبل از ورود به شلنگ تخلیه مخلوط می شوند» تمایز قائل می شود.

به طور کلی، استفاده از بتن پاششی شامل کاهش بیشینه دانه بندی ذرات به ۸ تا ۱۰ میلی متر، افزایش مقدار سیمان و همچنین استفاده از چندین افزودنی برای کنترل خواص ماده است. مقدار کم سیمان می تواند باعث ایجاد مقاومت و دوام ناکافی شود، در حالی که مقدار زیاد سیمان می تواند باعث انقباض بیش از حد و ترک خوردگی حرارتی ناشی از گرمای هیدراتاسیون شود. مقدار سیمان معمول از ۴۰۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، بسته به فرآیند پاشش و الزامات شاتکریت، متغیر است. در فرآیند استفاده از بتن پاششی، اندازه ذرات تا ۸ میلی متر مزایایی را ارائه می دهد؛ بیشینه اندازه سنگدانه ۱۰ میلی متر پیشنهاد شده است.

استفاده از ماسه ریز تر معمولاً منجر به انقباض خشک شدن بیش تر و ماسه درشت تر باعث افزایش برگشت می شود. بنابراین، نسبت سنگدانه درشت به سنگدانه ریز یکی از مهم ترین پارامترها در طراحی مخلوط

21- Sprayed concrete (shotcrete)





شاتکریت است که با چگالی بسته بندی سنگدانه نشان داده می شود. کل سنگدانه ها تقریباً شامل ۲۰ تا ۳۰ درصد سنگدانه درشت و ۷۰ تا ۸۰ درصد سنگدانه ریز است. مقدار رطوبت ذاتی بخش سنگدانه ها در مخلوط نباید از ۶ درصد تجاوز کند. دلیل این امر این است که سرعت جریان کارآمد با گرفتگی به شدت کاهش می یابد و خطر انسداد افزایش می یابد. نسبت آب به سیمان معمول ۰/۴ تا ۰/۵ توصیه می شود و می توان آن را با استفاده از افزودنی های کاهنده آب مناسب، بیش تر کاهش داد (شکل ۶-۲۲).



شکل ۶-۲۲ نمونه هایی از کاربرد شاتکریت





فصل هفتم

آهک

۷-۱ مقدمه

آهک ارزان ترین و یکی از پرمصرف ترین قلیاها در جهان است که برای جامعه ما ضروری است. این ماده یک چسب غیرهیدرولیکی است، به جز آهک هیدرولیکی، به این معنی که در زیر آب گیرش پیدا نمی کند. به همین دلیل، آهک گاهی اوقات آهک هوایی نامیده می شود زیرا در معرض هوا سفت می شود. هزاران سال در ملات های بنایی برای چسباندن واحدهای سنگی و یا آجری استفاده می شد. برخی از قدیمی ترین شواهد استفاده از آهک به حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش برمی گردد (شواهدی از شرق ترکیه نشان می دهد که ملات آهک در کف های موزاییکی مربوط به ۷۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ سال قبل از میلاد استفاده می شده است). اولین شواهد روشن از استفاده از آهک در دوران باستان در یوگسلاوی سابق بود، جایی که کفی مربوط به ۶۰۰۰ سال قبل از میلاد شامل نوعی ملات ساخته شده از آهک، شن، خاک رس و آب بود. آهک همچنین توسط مصریان در ساخت اهرام و توسط چینی ها برای ساخت دیوار بزرگ استفاده می شد. بسیاری از تمدن های دیگر مانند یونانیان، رومی ها، اینکاها و مغول ها نیز از محصولات آهک استفاده می کردند.

نمونه بارزتر استفاده از آهک احتمالاً امپراتوری روم است، زیرا بسیاری از کوره های آهک باستانی از مکان های باستانی رومی شناخته شده اند. رومی ها فناوری پخت آهک را توسعه دادند و همچنین از مخلوط های آهک هیدرولیکی و پوزولان آهک در بسیاری از پروژه های ساختمانی استفاده کردند. آن ها حتی از آهک





به عنوان یک واکنشگر شیمیایی استفاده می کردند. بیش تر تمدن های مدیترانه ای با آهک به عنوان رنگ آشنا بودند. صنعت آهک در قرون وسطی تقریباً ناشناخته است، اما هم خواص و هم کاربردهای آن برای اهداف ساختمانی مورد استفاده قرار می گرفت. استفاده از این چسب در ساخت و ساز از دهه ۱۴۰۰ میلادی در سراسر اروپا گسترش یافت. بنابراین، ملات آهک در بیش تر ساختمان های سنگی تاریخی اروپا وجود دارد. در فرآیندهای ساخت و ساز باستانی، آهک جایگاه سیمان پرتلند را در ساخت بتن اشغال می کرد، یعنی آهک عامل اصلی چسباننده تا زمان کشف آن سیمان بود. در واقع، می توان به وضوح یک گذار را بین آهک هوایی (تولید شده در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد از سنگ آهک خالص)، آهک هیدرولیکی (۱۰۰۰-۱۲۰۰ درجه سانتی گراد و سنگ آهک با خاک رس) و سیمان پرتلند (۱۵۰۰ درجه سانتی گراد و سنگ آهک با خاک رس) مشاهده کرد. شیمی و فناوری تولید آهک به تدریج تکامل یافته است، اما بیش تر پیشرفت ها از سال ۱۹۰۰ رخ داده است، و بزرگ ترین گام رو به جلو از سال ۱۹۵۵ برداشته شده است.

از دیدگاه شیمیایی، آهک اکسید کلسیم (CaO) است که در طبیعت یافت نمی شود و یک اصطلاح عمومی است که به جزء اکسید کلسیم یک ماده اشاره دارد. این اصطلاح اغلب به اشتباه برای توصیف بسیاری از محصولات سنگ آهک استفاده می شود. در کاربردهای صنعتی، آهک شامل آهک زنده و آهک آبدیده می شود و مترادف با اصطلاح محصولات آهک است. آهک آبدیده با کلسیناسیون کربنات کلسیم (CaCO_3) تا کم تر از نقطه ذوب آن به دست می آید که منجر به تفکیک کربنات کلسیم به اکسید کلسیم (CaO) و دی اکسید کربن (CO_2) می شود. آهک آبدیده هنگامی که با آب آبدهی می شود، به آهک هیدراته تبدیل می شود.

محصولات آهک یک جزء کلیدی برای بسیاری از فرآیندها مانند تصفیه آب، تولید شکر، تمیز کردن گازها، تولید آهن، ساخت ساختمان ها و تصفیه زمین های آلوده هستند و همچنین به عنوان افزودنی برای تولید کاغذ، شیشه، داروسازی و خمیر دندان استفاده می شوند. آهک به دلایل زیادی در ساختمان سازی بسیار مورد





توجه است: (الف) خاصیت پلاستیسیته خوبی دارد و کار با آن آسان است (ب) به راحتی سفت می شود و در برابر رطوبت مقاوم است (ج) به دلیل خواص سیمانی عالی برای کارهای بنایی بسیار مناسب است (د) به دلیل خاصیت نگهداری بالای آب، انقباض در هنگام خشک شدن کم است (ه) خواص قلیایی آن باعث می شود که به طور طبیعی دافع باکتری باشد (و) ملات های آهکی نرم تر از مصالح بنایی اطراف هستند و عمر مصالح بنایی را طولانی تر می کنند.

۷-۲ تعاریف

صنعت آهک شامل گروه پیچیده ای از تعاریف مرتبط با آهک است که عمدتاً بر اساس ترکیب شیمیایی و خواص هیدرولیکی یا غیر هیدرولیکی آن بنا شده اند. تعاریف زیر رایج ترین تعاریف در بخش آهک در سراسر جهان هستند. آهک زنده (که گاهی اوقات آهک پخته نیز نامیده می شود) «سنگ آهک کلسینه شده ای است که بخش عمده آن اکسید کلسیم یا اکسید کلسیم به همراه اکسید منیزیم است که قابلیت شکستن با آب را دارد» (استاندارد ASTM C51). در استاندارد EN 459-1 که به آهک ساختمانی اختصاص دارد، آهک «به عنوان اکسید کلسیم و یا هیدروکسید و اکسید کلسیم منیزیم و یا هیدروکسید تولید شده توسط تجزیه حرارتی (کلسیناسیون) کربنات کلسیم طبیعی، یعنی سنگ آهک، یا کربنات کلسیم منیزیم، یعنی دولومیت» تعریف شده است. استاندارد ASTM C141/141M بیان می کند که «آهک زنده هیدرولیکی، مشابه آهک با خواص هیدرولیکی، محصولی سیمانی است که با کلسیناسیون سنگ آهک رسی یا سیلیسی یا مخلوطی از ترکیبات مشابه برای تشکیل آهک آزاد کافی جهت هیدراتاسیون از طریق شکستن به دست می آید». استاندارد ISO 28901 اشاره می کند که «ماده آهکی متشکل از اکسید کلسیم یا مخلوطی از اکسید کلسیم و احتمالاً اکسید منیزیم که با کلسیناسیون سنگ آهک، سنگ آهک منیزیمی یا سنگ آهک دولومیتی تولید می شود». آهک آبدیده، هیدروکسید کلسیم $(Ca(OH)_2)$ است که از مخلوط کردن (یا آب دادن) آهک زنده با آب به دست می آید. این اصطلاح شامل آهک هیدراته، شیر آهک می شود. طبق ASTM C51، آهک آبدیده





«پودری خشک است که با عمل آوری آهک زنده با آب به اندازه ای که میل ترکیبی شیمیایی آن با آب در شرایط هیدراتاسیون آن برآورده شود، به دست می آید. این ماده اساساً از هیدروکسید کلسیم یا مخلوطی از هیدروکسید کلسیم و اکسید منیزیم یا هیدروکسید منیزیم یا هر دو تشکیل شده است» و آب دادن «واکنش شیمیایی است که هنگام مخلوط کردن آهک زنده و آب، آهک هیدراته تولید می کند»؛ شیر آهک «سوسپانسیونی از آهک هیدراته (یا آهک آبدیده) در آب به نسبت هایی است که از نظر ظاهری شبیه شیر است». استاندارد ISO 9652-5 آهک هیدراته را «پودر خشک و ریز متشکل از هیدروکسید کلسیم» تعریف می کند.

آهک های کلسیمی به مراتب بزرگ ترین دسته هستند و به صورت کلوخه، آسیاب شده و هیدراته عرضه می شوند. آهک های دولومیتی محصولات انحصاری تری هستند و در مقادیر کم تر به صورت کلوخه، آسیاب شده، هیدراته و دودی در بازار عرضه می شوند. آهک های هیدرولیکی که قبلاً تعریف شدند، حاوی ترکیبات سیمانی هستند و منحصراً در ساختمان سازی و ساخت و ساز استفاده می شوند.

ماده اولیه برای تولید آهک، سنگ آهک یا به میزان کم تر، دولوستون و سنگ آهک دولومیتی است. ذخایر سنگ آهک و دولوستون در بسیاری از کشورها نسبتاً رایج است. بنابراین، سنگ آهک و دولوستون تقریباً در هر کشوری در جهان در مقیاس وسیع تولید می شوند. سنگ آهک و دولوستون از نظر زمانی و مکانی چنان گسترده هستند که ذخایر آنها را می توان تقریباً نامحدود و برای تولید آهک زنده در سطح جهانی کافی دانست. با این حال، تنها بخش کوچکی از آنها برای تولید آهک مناسب است زیرا سطح ناخالصی هایی مانند کوارتز یا رس بسیار مهم است و باید بسیار کم باشد (کم تر از ۵٪). سنگ آهک و دولوستون بسته به نحوه تشکیل اولیه شان، به اشکال مختلفی وجود دارند و انواع زیادی از بافت ها، اندازه دانه ها، ناخالصی ها و محتوای کربنات را ایجاد می کنند. آهک از سنگ آهک و دولومیت با کلسیم یا منیزیم بالا (یا دولومیتی) ساخته می شود که کمینه ۹۵٪ ترکیب کربنات کل دارند. برای تولید آهک هیدرولیک، مواد اولیه مورد استفاده حاوی ۶۵ تا





۸۵ درصد CaCO_3 و MgCO_3 هستند. بنابراین، خلوص مواد اولیه در تولید آهک هیدرولیک با خلوص مواد مورد نیاز در تولید سایر انواع آهک بسیار متفاوت است.

کیفیت سنگ آهک و دولومیت نقش اساسی در کیفیت نهایی آهک و ترکیب شیمیایی آن دارد. هنگام ارزیابی کیفیت یک رسوب سنگ آهک باید الزامات زیر در نظر گرفته شود: «الف) استحکام و مقاومت سایشی سنگ (ب) مقاومت سنگ آهک در برابر تخریب حرارتی (ج) استحکام و مقاومت سایشی آهک زنده (د) سرعت کلسیناسیون (ه) مقدار CaCO_3 و MgCO_3 (و) مقدار ناخالصی هایی که ممکن است بر عملکرد کوره یا قابلیت پذیرش آهک تأثیر بگذارند.» به عنوان مثال، سنگ های آهکی نسبتاً نرم دچار تخریب حرارتی می شوند یا آهک نرمی تولید می کنند که برای کلسیناسیون در کوره های شفتی مناسب نیست.

۷-۳ فرآیند تولید آهک

فرآوری سنگ آهک به آهک به شدت کنترل می شود تا کیفیت محصولات تضمین شود. شکل ۷-۱ فرآیند کلی تولید را نشان می دهد.

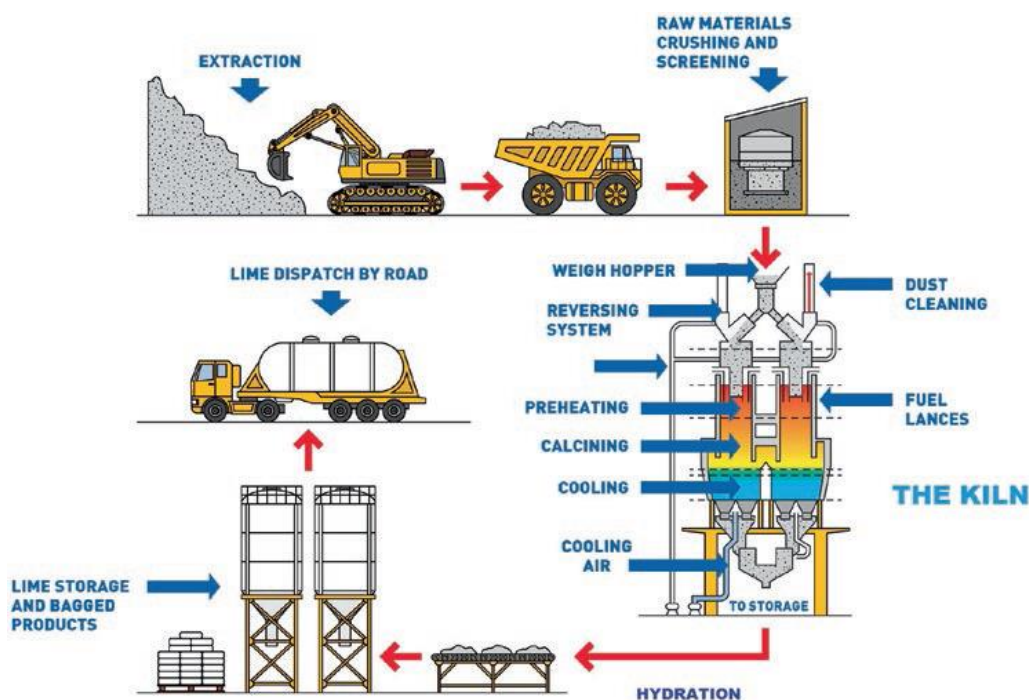
استخراج و آماده سازی سنگ آهک شامل استخراج یا معدن کاری، خرد کردن، غربالگری و گاهی اوقات شستشوی سنگ آهک برای حذف ناخالصی ها است. سنگ آهک را می توان هم در معادن زیرزمینی و هم در معادن سطحی استخراج کرد، اگرچه روش دوم بیش تر مورد استفاده قرار می گیرد. استخراج شامل حفاری و انفجار برای تجزیه سنگ ها است. سنگ آهک با کیفیت آهک باید به شدت کنترل شود تا خلوص آن حفظ گردد.

سنگ های آهک با قطر حدود ۱ متر معمولاً در سنگ شکن های اولیه مانند سنگ شکن های فکی، سنگ شکن های ژیراتوری یا سنگ شکن های ضربه ای خرد می شوند. هدف اصلی به دست آوردن قطعات سنگ با اندازه های بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی متر است. دستگاه های خردایش معمولاً در معدن قرار دارند و گاهی





اوقات متحرک هستند. سنگ آهک خرد شده از سنگ شکن اولیه سپس به سرندهای ارتعاشی منتقل می شود تا قطعات بزرگ جدا شوند، در حالی که قطعات عبوری و به اندازه کافی کوچک به عنوان خوراک کوره استفاده می شوند. قطعات بزرگ سنگ آهک به سنگ شکن های ثانویه تغذیه می شوند تا سنگ آهک به اندازه ۱۰ تا ۸۰ میلی متر کاهش یابد. پس از خردایش ثانویه، سنگ آهک غربال شده و قبل از تغذیه به کوره های آهک با استفاده از بالابرهای سطلی معمولی به سیلوهای ذخیره سازی سنگ آهک یا انبارها منتقل می شود.



شکل ۷-۱ فرآیند کلی تولید آهک و آهک هیدراته

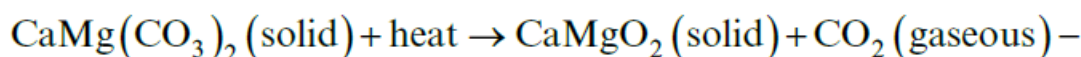
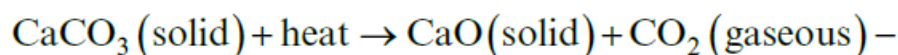
پس از فرآوری سنگ آهک، آن را به کوره منتقل می کنند که در آن آهک با سوزاندن کربنات های کلسیم و یا منیزیم در دماهای بین ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد تولید می شود. آهک یا سنگ آهک برای مدت زمان کافی در این دماها نگهداری می شود تا تجزیه کربنات کلسیم و زمان ماند مناسبی برای کنترل واکنش پذیری محصول تضمین شود. این دماها به اندازه کافی بالا هستند تا دی اکسید کربن (CO_2) تولید شود و اکسید مشتق شده (CaO) به دست آید. اگر دمای کلسیناسیون خیلی پایین باشد و زمان کلسیناسیون کافی





نباشد، سنگ آهک به طور کامل فرآوری نمی شود و آهک نیمه سوخته تولید می شود. فرآیند تجزیه حرارتی سنگ آهک به آهک زنده و دی اکسید کربن، کلسیناسیون سنگ آهک یا به طور خلاصه کلسیناسیون نامیده می شود. این به واکنشی اشاره دارد که در آن سنگ آهک یا دولوستون با تغییر شیمیایی حاصل و کاهش وزن گرم می شود. فرآیند کلسیناسیون در کوره هایی انجام می شود که در آن ها آهک زنده یا دولیم به دست می آید و این اجزا، مواد اولیه مورد استفاده برای بقیه محصولات تولیدی هستند.

واکنش های شیمیایی اساسی به شرح زیر هستند:



محصول حاصل از واکنش اول معمولاً به دلیل واکنش سریع آن با آب، آهک زنده نامیده می شود. لازم به ذکر است که این واکنش برگشت پذیر است و گرمای تجزیه کلسیت در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد حدود ۷۲۵ کیلوکالری بر کیلوگرم CaO است. کربناسیون مجدد آهک زنده در دمای اتاق از طریق هیدراتاسیون سطحی آهک زنده توسط بخار آب جوی و کربناتاسیون هیدروکسید کلسیم به کربنات کلسیم و آب انجام می شود. سپس آب ممکن است آهک زنده بیش تری را هیدراته کند. کربناسیون مجدد می تواند در تعدادی از محصولات مبتنی بر آهک رخ دهد و بسیاری از اوقات به عنوان یک مزیت عمل می کند. به عنوان مثال، کربناسیون مجدد استحکام اتصال نهایی را افزایش می دهد و در صورت بروز هرگونه ترک خوردگی هنگام انجام این فرآیند در ملات آهک، به عنوان یک درزگیر عمل می کند. بنابراین، خاصیت سخت شدن آهک نتیجه توانایی آن در واکنش با دی اکسید کربن جوی موجود در هوا برای تشکیل کربنات کلسیم است. بنابراین، واکنش شیمیایی آهک با دی اکسید کربن (واکنش کربناسیون) آهک را به ماده اولیه خود، یعنی سنگ آهک، بازمی گرداند. به عبارت دیگر، کلسیناسیون سنگ آهک منجر به آهک زنده می شود؛





هیدراتاسیون آهک زنده آهک هیدراته تولید می کند؛ و کربناتاسیون آهک هیدراته آن را به سنگ آهک تبدیل می کند. بنابراین، می توان یک چرخه سنگ آهک را تعریف کرد. محصول واکنش دوم، که دولیم یا آهک دولومیتی (اکسید کلسیم و منیزیم، CaO.MgO) نامیده می شود، توسط تجزیه شیمیایی دولوستون تولید می شود و همچنین با آب واکنش می دهد. با این حال، میل ترکیبی CaO با آب به وضوح بیش تر از MgO است. از دیدگاه کوره آهک پزی، متغیرهای اصلی مؤثر بر سرعت تفکیک عبارتند از: «الف) ویژگی های سنگ آهک (ب) توزیع اندازه ذرات (ج) شکل ذرات (د) پروفیل دما در منطقه کلسیناسیون و (ه) سرعت تبادل گرما بین گازها و ذرات»

انتقال حرارت در کلسیناسیون آهک را می توان به سه مرحله یا ناحیه انتقال حرارت تقسیم کرد: (الف) ناحیه پیش گرمایش: سنگ آهک از دمای محیط تا حدود ۸۰۰ درجه سانتی گراد با تماس مستقیم با گازهای تولید شده در ناحیه کلسیناسیون گرم می شود (ب) ناحیه سوختن یا ناحیه کلسیناسیون: سوخت برای تولید گرما در دمای بالاتر از ۹۰۰ درجه سانتی گراد سوزانده می شود و باعث تجزیه سنگ آهک به آهک زنده و دی اکسید کربن می شود؛ از ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد، سطح سنگ آهک شروع به تجزیه می کند و (ج) ناحیه خنک کننده: آهک زنده در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد با تماس مستقیم با هوا خنک می شود و این ناحیه را در دمای کم تر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد ترک می کند. تقریباً نیمی از وزن سنگ آهک به صورت دی اکسید کربن از دست می رود. به طور خاص، نتیجه این فرآیند، کاهش وزن ۴۴ درصدی در طول کلسیناسیون کامل سنگ آهک خالص است، یعنی در ساخت ۱ تن آهک زنده تقریباً ۱ تن دی اکسید کربن تولید می شود که در جو وارد می شود.

اکسید کلسیم تولید شده توسط کلسیناسیون به شکل توده های سفید است که گاهی اوقات آهک سنگریزه نامیده می شود (شکل ۷-۲). می توان آن را خرد یا آسیاب کرد. ماده حاصل را می توان برای به دست آوردن محصولات دیگر استفاده کرد، اگرچه رایج ترین روش تصفیه، افزودن آب به آهک زنده است. ASTM C51





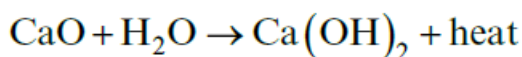
انواع مختلف محصولات را بر اساس اندازه آن‌ها تعریف می‌کند: (الف) توده بزرگ: ۲۰۳ میلی‌متر و کوچک‌تر (ب) سنگریزه یا خرد شده: ۶۴ میلی‌متر و کوچک‌تر، (ج) آسیاب‌شده، سرند شده یا دانه‌ای: ۶/۴ میلی‌متر و کوچک‌تر و (د) پودر شده که اساساً همه از الک شماره ۲۰ (۸۵۰ میکرومتر) عبور می‌کنند.



شکل ۲-۲ سنگریزه آهک

هدف اصلی فرآوری آهک زنده، تولید تعدادی محصول با اندازه و کیفیت ذرات مورد نیاز بخش‌های مختلف بازار است. این فرآیند شامل غربالگری، خردایش، پودر کردن، آسیاب کردن و طبقه‌بندی در هوا می‌شود. کارخانه فرآوری باید فضای ذخیره‌سازی کافی برای محصولات مختلف داشته باشد تا بتواند فاصله کافی بین کوره و محموله‌ها ایجاد کند. آهک زنده به‌دست آمده در کوره به شکل کلوخه‌های سفید را می‌توان خرد کرد و با قطر ۵ میلی‌متر غربالگری کرد که از بخش‌های ریز (کم‌تر از ۵ میلی‌متر) و دانه‌ای، یعنی ۱۵/۵ میلی‌متر و ۵۰/۱۵ میلی‌متر، تشکیل می‌شود، زیرا محصول کوره معمولاً بیشینه اندازه‌ای بیش از ۵۰ میلی‌متر دارد.

واکنش شیمیایی هیدراتاسیون آهک زنده عبارت است از:





هیدراتاسیون آهک شامل افزودن آب به اکسید کلسیم با سرعت کنترل شده در یک واکنش برگشت پذیر برای تشکیل هیدروکسید کلسیم است. این بدان معناست که محصول به دست آمده می تواند هنگام گرم شدن به شکل اکسید قبلی باز گردد. به عنوان یک شرط استاندارد، واکنش برای تشکیل هیدرات گرمازا است؛ یعنی منجر به آزاد شدن مقدار زیادی گرما (۲۷۳ کیلو کالری بر کیلو گرم CaO) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برای تشکیل هیدرات کلسیم می شود. سپس میل ترکیبی آهک زنده با رطوبت بر آورده می شود، اما همچنان میل ترکیبی قوی با CO_2 را حفظ می کند. مدت هاست مشخص شده است که مهم ترین متغیرهایی که بر هیدراتاسیون آهک زنده تأثیر می گذارند، نسبت آب به آهک، دمای هیدراتاسیون و میزان هم زدن هستند. سایر عوامل مهم مؤثر بر این فرآیند عبارتند از: سطح ویژه ذرات هیدروکسید کلسیم، توزیع اندازه ذرات و زمان هیدراتاسیون. به عنوان مثال، زمان هیدراتاسیون به واکنش پذیری آهک زنده بستگی دارد. بنابراین، یک آهک زنده با واکنش پذیری بالا در ۲ تا ۳ دقیقه هیدراته می شود در حالی که یک آهک زنده با واکنش پذیری کم این کار را در ۱۵ تا ۳۰ دقیقه انجام می دهد.

محصول تولید شده در هیدراتاسیون آهک زنده، آهک هیدراته نامیده می شود، که اصطلاحی پُر کاربرد برای توصیف پودر سفید خشک (با رطوبتی که معمولاً کم تر از ۱٪ است) است که با افزودن آب به آهک زنده تولید می شود، اما به مقدار کافی برای انجام واکنش شیمیایی تبدیل اکسیدها به هیدروکسیدها. چگالی ذرات آهک هیدراته حدود ۲/۲ گرم بر سانتی متر مکعب است، اما به دلیل تخلخل بالای ذرات (حدود ۵۰٪)، چگالی ظاهری آن معمولاً از ۰/۳ تا ۰/۸ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر است.

۴-۷ ویژگی های آهک

خواص فیزیکی مهم آهک زنده شامل وزن مخصوص (۳/۲-۳/۴ گرم بر سانتی متر مکعب)، چگالی حجمی (۰/۸۸-۰/۹۵ گرم بر سانتی متر مکعب در آهک سنگ ریزه) و گرمای ویژه در دمای ۳۸ درجه سانتی گراد (۰/۴ کیلوژول بر کیلو گرم) است. از سوی دیگر، آهک معمولاً سفید رنگ با بافت ریزبلوری است و یا بدون بو





است یا بوی کمی خاکی دارد. استانداردهای ASTM C110 و C25 تمام آزمایش های شیمیایی و فیزیکی تعیین شده در آهک زنده را پوشش می دهند.

۷-۵ انواع آهک

آهک های غیرهیدرولیکی

طبق استاندارد ASTM C51، آهک زنده غیرهیدرولیک می تواند به سه شکل موجود باشد: «الف) آهک زنده پُر کلسیم: مشتق شده از سنگ آهک حاوی صفر تا ۵٪ کربنات منیزیم (ب) آهک زنده منیزیمی: مشتق شده از سنگ آهک حاوی ۵ تا ۳۵٪ کربنات منیزیم و (ج) آهک زنده دولومیتی: مشتق شده از سنگ آهک حاوی ۳۵ تا ۴۶٪ کربنات منیزیم». در مورد آهک هیدراته (شکل ۷-۳)، این استاندارد بیان می کند که بسته به نوع آهک زنده مورد استفاده و شرایط هیدراتاسیون اعمال شده، مقدار آب در ترکیب شیمیایی به شرح زیر متفاوت است: «الف) آهک هیدراته با کلسیم بالا: آهک هیدراته با کلسیم بالا، آهک هیدراته ای تولید می کند که معمولاً حاوی ۷۲ تا ۷۴ درصد اکسید کلسیم و ۲۳ تا ۲۴ درصد آب ترکیبی شیمیایی است. (ب) آهک هیدراته دولومیتی (معمولی): در شرایط هیدراتاسیون اتمسفری، فقط بخش اکسید کلسیم آهک هیدراته دولومیتی هیدراته می شود و آهک هیدراته ای با ترکیب شیمیایی زیر تولید می کند: ۴۶ تا ۴۸ درصد اکسید کلسیم، ۳۳ تا ۳۴ درصد اکسید منیزیم و ۱۵ تا ۱۷ درصد آب ترکیبی شیمیایی. (ج) آهک هیدراته دولومیتی (فشار): این آهک از آهک هیدراته دولومیتی تحت فشار تولید می شود که منجر به هیدراته شدن تمام اکسید منیزیم و همچنین تمام اکسید کلسیم می شود و ترکیب شیمیایی زیر را تولید می کند: ۴۰ تا ۴۲ درصد اکسید کلسیم، ۲۹ تا ۳۰ درصد اکسید منیزیم و ۲۵ تا ۲۷ درصد آب با ترکیب شیمیایی.

استاندارد ASTM C207، که به آهک هیدراته برای بنایی اختصاص دارد، چهار نوع آهک هیدراته را

پوشش می دهد:

(الف) نوع N: آهک هیدراته معمولی برای مصارف بنایی





(ب) نوع S: آهک هیدراته ویژه برای مصارف بنایی

(ج) نوع NA: آهک هیدراته معمولی با حباب هوا برای مصارف بنایی

(د) نوع SA: آهک هیدراته ویژه با حباب هوا برای مصارف بنایی.



شکل ۷-۳ آهک هیدراته

آهک های هیدرولیک

از نظر زمانی، اولین خانواده از چسباننده های هیدرولیکی که به این صورت شناسایی و استفاده شدند، آهک هیدرولیکی بودند. آهک هیدرولیکی قبل از ورود سیمان پرتلند، یک ماده سیمانی ضروری بود. با این وجود، امروزه به جز در کارهای حفاظتی، کاربرد کمی دارد. در کشورهای در حال توسعه، آهک هیدرولیکی به ندرت تولید می شود. همان طور که قبلاً اشاره شد، آهک هیدرولیکی تا حدودی در اثر واکنش با آب سخت می شود و بنابراین با سایر انواع آهک که در اثر واکنش شیمیایی با دی اکسید کربن موجود در هوا سخت می شوند، متفاوت است. این ماده دارای خواصی با ویژگی میانی بین آهک زنده و سیمان پرتلند است، اگرچه به روشی مشابه آهک زنده تولید می شود. آهک هیدرولیکی علاوه بر دارا بودن هیدروکسید کلسیم،





سیلیکات های کلسیم مشابه اجزای اصلی سیمانی سیمان پرتلند را نیز در خود جای داده است. طبق استاندارد ASTM C141/C141M، آهک زنده هیدرولیکی «محصولی سیمانی» است که از کلسیناسیون سنگ آهک رسی یا سیلیسی یا مخلوطی از ترکیبات مشابه برای تشکیل آهک آزاد کافی جهت هیدراتاسیون از طریق شکستن به دست می آید. استاندارد ISO 9652-5 اشاره می کند که: «آهک هیدرولیکی آهکی است که حاوی سیلیس محلول کافی، آلومینات ها و غیره است تا بتواند در حضور آب گیرش یابد.»

ماده اولیه آهک هیدرولیک، سنگ آهک با مقداری خاک رس است. خاک رس ممکن است به مقدار کافی وجود داشته باشد یا به سنگ آهک اضافه شود. بیش تر سنگ های آهکی مورد استفاده برای تولید آهک هیدرولیک حاوی ۵ تا ۱۶ درصد سیلیس، ۱ تا ۸ درصد آلومینا و ۰/۵ تا ۶ درصد Fe_2O_3 هستند. میزان کلسیم به علاوه کربنات منیزیم می تواند بین ۷۸ تا ۹۲ درصد باشد. از آن جایی که میزان خاک رس و نوع خاک رس می تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد، این امر منجر به تهیه محصولی می شود که تغییرات مهمی در خواص، مانند مقاومت و زمان گیرش، نشان می دهد.

دولومیت تف جوشی^{۲۳}

دولومیت خام یا مخلوطی از دولومیت خام با منیزیت خام و/یا کلسیت می تواند به عنوان ماده اولیه در تولید دولومیت تف جوشی شده استفاده شود. این ماده ای است که از طریق دماهای بالا در یک فرآیند حرارتی دو مرحله ای تولید می شود: کلسیناسیون اولیه و تف جوشی بیش تر. برای به دست آوردن دولومیت تف جوشی شده با کیفیت بالا، ضروری است که مواد اولیه ناخالصی های نامطلوبی مانند اکسیدهای ذوب Al_2O_3 ، SiO_2 و Fe_2O_3 نداشته باشند. دولومیت تف جوشی شده به طور گسترده برای تولید مواد نسوز به صورت توده ای و آجری برای کاربرد در صنعت آهن و فولاد استفاده می شود. بنابراین، در فولادسازی برای تولید آجرهای

22- Sintered Dolomite

۲۳- تف جوشی یا زینترینگ، یکی از روش های شکل دهی مواد فلزی و سرامیکی است. تف جوشی عبارتست از: چسباندن یا چسبیدن ذرات یک یا چند ماده به یک دیگر از طریق ذوب سطحی بر اثر حرارت، همراه با فشار یا بدون آن، به طوری که به صورت یک توده جامد در آیند.





دولومیتی قیری، آجرهای دولومیتی آغشته به قیر یا آجرهای دولومیتی پیوند خورده با رزین برای پوشش داخلی مخزن فولادسازی پایه اکسیژن استفاده می شود.

۶-۷ ملاحظات زیست محیطی

ملاحظات زیست محیطی صنعت آهک به عنوان بخش سیمان، یکی از پرمصرف ترین فرآورده های تولید صنعتی است. اثرات زیست محیطی زیر را برای تولید آهک مشخص شده است: «(الف) گرد و غبار (ب) دی اکسید گوگرد (ج) اکسیدهای نیتروژن (د) اکسیدهای کربن (ه) سر و صدای عمومی (و) سر و صدا و ارتعاش (ز) تخلیه های آبی و (ح) دفع زباله های جامد.» با این حال، درست مانند صنعت سیمان، انتشار CO_2 احتمالاً به دلیل گرمایش جهانی شایسته توجه دقیق است. اگرچه سوزاندن سوخت ها برای گرم کردن کوره ها حدود یک سوم از انتشار گازهای گلخانه ای در تولید آهک زنده را تشکیل می دهد، اما بخش عمده ای از انتشار گازهای گلخانه ای از سنگ آهک مورد استفاده به عنوان ماده اولیه حاصل می شود. همان طور که قبلاً گفته شد، هنگام گرم شدن، سنگ آهک به آهک زنده تبدیل می شود و CO_2 آزاد می شود، که انتشار این فرآیند اجتناب ناپذیر و ثابت در هر تن آهک است. بنابراین، گزینه های کاهش انتشار گازهای گلخانه ای بدون جذب کربن بسیار محدود است. همانند صنعت سیمان، فهرست چرخه عمر آهک زنده و آهک هیدراته برای درک ملاحظات زیست محیطی تولید آهک ضروری است.

۷-۷ کاربرد آهک

آهک احتمالاً متنوع ترین ماده شیمیایی طبیعی برای طیف وسیعی از فرآورده ها است. بنابراین، فهرست کاربردهای آهک چشمگیر است. اگرچه توزیع استفاده از آهک در بین بخش های اصلی بازار از کشوری به کشور دیگر به طور گسترده تغییر می کند، اما کاربرد اصلی محصولات آهک در کشورهای صنعتی بدون شک در فولادسازی و پس از آن در بازار ساخت و ساز است. محصولات آهک دارای مزایای زیر هستند: (الف) انعطاف پذیری (ب) پایداری (ج) دوام (د) ضد باکتری (ه) جذابیت زیبایی شناختی. به طور خلاصه، پنج بازار





اصلی برای محصولات آهک را می توان توصیف کرد: متالورژی (آهن و فولاد و همچنین سایر فلزات مانند مس یا آلومینا)، صنایع شیمیایی، حفاظت از محیط زیست و کشاورزی، ساخت و ساز و سایر کاربردها، به عنوان مثال، بخش های غذایی یا کاغذ.

آهک می تواند برای اصلاح خاک ها به منظور بهبود کارایی و ویژگی های تحمل بار آن ها مورد استفاده قرار گیرد. آهک زنده و آهک هیدراته برای تثبیت خاک های ریزدانه به جای موادی که به عنوان زیرسازی استفاده می شوند، مانند خاک رس هیدرولیکی یا مواد رسی و سیلتی بی کیفیت، استفاده می شوند. آهک می تواند تقریباً همه خاک های ریزدانه را تا حدودی اصلاح کند، اما بهترین بهبود در خاک های رسی با پلاستیسیته متوسط تا زیاد انجام می شود. برای این که آهک با سیلیس و آلومینای موجود در خاک واکنش دهد و فازهای سیمانی پیچیده ای تشکیل دهد که خاک را به یک توده سخت و پایدار متصل کند که به اشباع آب حساس نیست، رس باید وجود داشته باشد. پلاستیسیته خاک به وضوح کاهش می یابد و همچنین انقباض و تورم نیز کاهش می یابد. بنابراین، استفاده از آهک برای تثبیت خاک، خاک هایی همگن، نفوذناپذیر و پایدار را فراهم می کند. تثبیت خاک با آهک همچنین باعث کاهش پلاستیسیته خاک می شود و چگالی آن نیز اصلاح می شود. علاوه بر این، آهک اعمال شده به خاک تراکم پذیری خاک، مقاومت کششی و مقاومت خمشی آن را افزایش می دهد. مکان هایی که نامزدهای خوبی برای تثبیت خاک با استفاده از آهک هستند عبارتند از جاده ها، باند فرودگاه ها، پارکینگ ها، جاده های حمل و نقل موقت، محل های دفن زباله و پی های ساختمان.

در روسازی جاده، آهک هیدراته معمولاً در آسفالت گرم برای کاهش حساسیت به رطوبت و لایه لایه شدن استفاده می شود. لایه لایه شدن عموماً به عنوان از بین رفتن چسبندگی بین سطح سنگدانه ها و چسب سیمان آسفالت در حضور رطوبت تعریف می شود. افزودن ۱ تا ۱/۵ درصد آهک هیدراته به مخلوط های گرم آسفالت مزایای زیادی در ساخت جاده دارد زیرا آهک به طور قابل توجهی عمر و قابلیت سرویس دهی روسازی را





افزایش می دهد. آهک به عنوان یک پُرکننده معدنی عمل می کند که ویسکوزیته چسب را افزایش می دهد و سختی، مقاومت کششی، مقاومت فشاری و مقاومت در برابر لایه لایه شدن با آب را افزایش می دهد. مخلوط های آسفالت حاوی آهک از اکسیداسیون چسب آسفالت و اثرات مسن شدگی مانند شکنندگی و ترک خوردگی جلوگیری می کنند. آهک هیدراته همچنین به کاهش شیارافتادگی روسازی آسفالت کمک می کند و مقاومت خستگی در برابر بارهای سنگین چرخ را که باعث ترک خوردگی روسازی می شوند، افزایش می دهد. دوغاب آهک داغ اکنون به امولسیون آسفالت در بازیافت سرد درجا روسازی های آسفالتی فرسوده اضافه می شود زیرا پایه ای صاف برای سطح آسفالت جدید فراهم می کند. افزودن آهک منجر به مخلوط های بازیافت سرد برتر با مقاومت اولیه بسیار بیش تر و مقاومت در برابر آسیب رطوبتی می شود.

در بخش ساختمان سازی، آهک یکی از قدیمی ترین مصالح ساختمانی در سراسر جهان است، ملات از زمان روم یا حتی قبل از آن مورد استفاده قرار می گرفته است. آهک سال ها است که در ملات های بنایی، گچ ها و اندودها، هم به عنوان تنها ماده چسبنده و هم اخیراً در ترکیب با سایر مواد چسبنده که معمولاً با هدف گیرش و افزایش مقاومت سریع تر استفاده می شدند، مورد استفاده قرار می گیرد. آهک زنده همچنین برای تولید محصولات ساختمانی مانند آجر ماسه آهکی و بتن هوادار اتوکلاو شده استفاده می شود.





فصل هشتم

گچ

۸-۱ مقدمه

گچ یک ماده چسبنده بسیار مهم است که از زمان های قدیم به عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می گرفت. اولین استفاده شناخته شده از گچ به عنوان مصالح ساختمانی در ساخت و ساز و تزئینات به شکل گچ و مرمر در آناتولی حدود ۶۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بوده است. گچ روی سطوحی که به عنوان ملات در اهرام بزرگ مصر استفاده می شده، یافت شده است. سوابقی از قوانین قدیمی روم وجود دارد که سازندگان را ملزم به گچ کاری ساختمان های خود برای جلوگیری از گسترش آتش می کرد. این ماده یک مصالح ساختمانی سنتی در کشورهای مدیترانه و خاورمیانه بود که در قرن سیزدهم به عنوان گچ به اروپا معرفی شد. تزئینات زیبا و آثار هنری از این محصول ساخته شده است. از آن زمان، طیف کاربردهای گچ در ساخت و ساز به طور مداوم افزایش یافته است. کلمه گچ از کلمه یونانی (gypsos) گرفته شده است که به معنی گچ است. گچ خالص یک کانی کریستالی سفید شفاف با چگالی حدود ۲/۳ گرم بر سانتی متر مکعب است، اگرچه ناخالصی ها می توانند به این کانی رنگ خاکستری، قهوه ای یا صورتی بدهند. این کانی اغلب به صورت بلورهای خوش فرم یافت می شود (شکل ۸-۱)؛ بلورهایی با قطر چند متر و وزن ۵۵ تن در سال ۲۰۰۰ در مکزیک کشف شده اند. گچ یکی از نرم ترین کانی ها و یکی از اولین کانی هایی است که با تبخیر آب دریا متبلور می شود. بنابراین، گچ یک کانی محلول در آب است که به طور طبیعی وجود دارد.





شکل ۸-۱ کریستال های بزرگ گچ

محتوای معدنی گچ در سنگ رسوبی که گچ نامیده می شود از ۷۵ تا ۹۵٪ متغیر است و بقیه از گچ و یا خاک رس تشکیل شده است. نام شیمیایی گچ، دی هیدرات سولفات کلسیم (دو مولکول آب در ترکیب شیمیایی) است و فرمول شیمیایی آن $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ است. گچ با افزایش فشار و یا دما به انیدریت (CaSO_4) تبدیل می شود. گچ همچنین شامل آلاباستر، یک ماده سفید ریزدانه و شفاف است که معمولاً در دکوراسیون و ساخت و ساز به عنوان یک سنگ زینتی استفاده می شود. هنگامی که گچ در دمای حدود ۱۵۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی گراد گرم می شود، تقریباً سه چهارم آب خود را در یک فرآیند آبگیری جزئی از دست می دهد و به گچ همی هیدرات ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) یا گچ کلسینه شده تبدیل می شود. همچنین به عنوان گچ بتا شناخته می شود (گچ آلفا با پردازش دسته ای گچ تحت فشار بالا ساخته می شود). گچ کلسینه شده یا گچ بتا نرم است و به راحتی می توان آن را آسیاب کرد و پودری به نام گچ نیمه هیدرات یا گاهی اوقات گچ پاریس تشکیل داد. این نام به دلیل وجود لایه های وسیعی از گچ در پاریس است.

مخلوط پودر گچ همی هیدرات با آب، دوغابی یا خمیری تشکیل می دهد که خشک شده و مانند سنگ سفت می شود. اصطلاح گچ عموماً برای توصیف پودری که از کلسیناسیون گچ و دوغابی که هنگام مخلوط شدن با آب ایجاد می شود، استفاده می شود. با خشک شدن مخلوط گچ و آب، آب به صورت شیمیایی با گچ همی هیدرات دوباره ترکیب می شود و ماده به ترکیب اولیه گچ برمی گردد. دلیل این امر این است که پودر





گچ با آب میل ترکیبی دارد. مزیت گچ به گیرش سریع آن مربوط می شود، یعنی برخلاف سیمان پرتلند، واکنش پخت طولانی مدت ندارد. این فرآیند تقریباً به طور نامحدود قابل تکرار است، که پیامدهای مهمی برای بازیافت دارد.

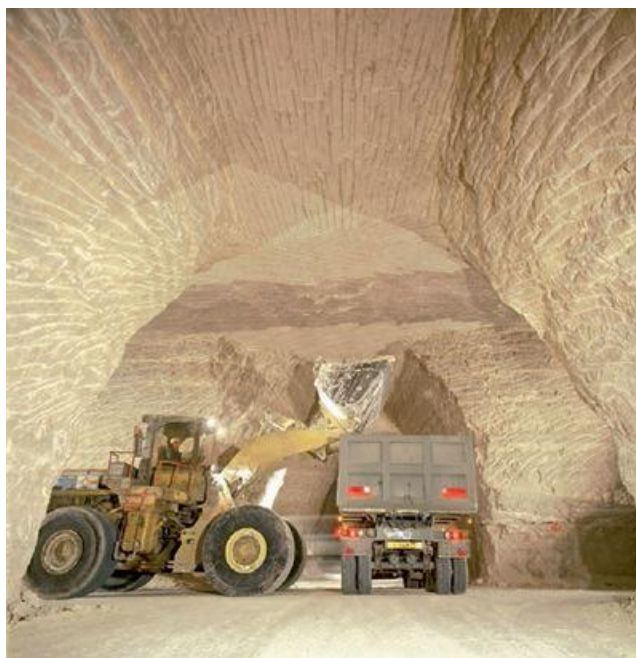
گچ نیمه هیدرات به صورت دوغاب می تواند بین دو لایه چسب ریخته شود تا تخته دیواری ساخته شود، در قالب قرار گیرد یا برای پُر کردن ترک ها استفاده شود. بنابراین، استفاده فعلی از گچ به عنوان یک جزء ساختمانی در سال ۱۸۸۸ کشف شد. امروزه، استفاده از این محصول در سراسر جهان رو به افزایش است. گچ یک ماده ساختمانی عالی است زیرا فراوان، مقرون به صرفه، مقاوم در برابر آتش، قوی و همه کاره است. از سوی دیگر، می تواند انتقال صدا را کاهش دهد و استفاده از آن مزایای زیست محیطی بسیاری دیگری مانند کاهش زباله های تحویل داده شده به محل های دفن زباله را نشان می دهد. بنابراین، محافظت از افراد و اموال در برابر آتش و همچنین عایق حرارتی و صوتی صحیح به خواص خاص گچ بستگی دارد.

گچ یکی از پُرکاربردترین مواد معدنی و رایج ترین کانی سولفات است. می توان آن را به طبیعی و مصنوعی طبقه بندی کرد. هر دو نوع گچ طبیعی و گچ تولید شده به صورت صنعتی با قابلیت بازیافت کامل و عدم وجود آلاینده ها مشخص می شوند. ذخایر گچ طبیعی (انیدریت معمولاً همراه با گچ استخراج می شود) در بسیاری از کشورهای جهان وجود دارد. آن ها عمدتاً در معادن استخراج می شوند (شکل ۸-۲) اگرچه استخراج زیرزمینی نیز وجود دارد (شکل ۸-۳) در حالی که گچ مصنوعی به عنوان محصول جانبی فرآیندهای صنعتی تولید می شود. گچ مصنوعی حاصل از فرآیندهای صنعتی مختلف برای جایگزینی گچ استخراج شده در همه کاربردهای گچ ضروری است. به عنوان یک قاعده، رایج ترین منبع گچ مصنوعی سیستم های FGD (سولفورزدایی گاز دودکش) است که برای کاهش انتشار دی اکسید گوگرد تولید شده در نیروگاه های زغال سنگ استفاده می شوند. این سیستم ها نه تنها هوا را تمیز نگه می دارند، بلکه می توانند منبعی پایدار و سازگار با محیط زیست از گچ بسیار خالص تولید کنند.





شکل ۸-۲ معدن گچ



شکل ۸-۳ استخراج زیرزمینی گچ

در کشورهای توسعه یافته، بیش تر گچ برای تولید محصولات گچی و تخته دیواری برای خانه ها و ساختمان های تجاری و همچنین به عنوان یک ماده کُند کننده در تولید سیمان پرتلند استفاده می شود (در حال حاضر هیچ جایگزینی برای گچ در این کاربرد وجود ندارد). گچ همچنین به طور گسترده در کاربردهای دیگری مانند اصلاح کننده خاک در زمین های وسیع در مناطق حومه شهر و مناطق کشاورزی، به عنوان ماده





قالب گیری، به عنوان ماده تشکیل دهنده در بسیاری از ترکیبات وصله، به عنوان ماده مدل سازی برای ترمیم دندان و موارد دیگر به کار می رود.

۸-۲ تعاریف و مفاهیم

اصطلاحات و تعاریف مربوط به محصولات مبتنی بر گچ چشمگیر هستند. این محصولات نه تنها شامل مواد پایه مانند چسباننده های گچی و پلاسترها می شوند، بلکه شامل عناصر تولیدی بی شماری نیز می شوند. به همین دلیل، این عنوان فقط شامل تعریف اساسی ترین محصولات تولید شده با گچ است؛ تعاریف دیگر در عناوین خاص تری که به کاربردهای گچ می پردازند، گنجانده خواهند شد. نمونه ای از دنیای پیچیده محصولات گچی، تعریف متنوع محصول گچی است. بنابراین، طبق استاندارد ISO 6873، محصول گچی «یک محصول دندانپزشکی است که اساساً از یک نیمه هیدرات سولفات کلسیم و هرگونه اصلاح کننده لازم تشکیل شده است» در حالی که استاندارد ASTM C1546 بیان می کند که محصول گچی «یک مصالح ساختمانی است که برای استفاده در ساخت سقف با گرمایش رادیان در نظر گرفته شده است و حاوی گچ در ترکیب یا ساخت خود است».

اصطلاحات و تعاریف مربوط به محصولات مبتنی بر گچ چشمگیر هستند. این محصولات نه تنها شامل مواد پایه مانند چسباننده های گچی و پلاسترها می شوند، بلکه شامل عناصر تولیدی بی شماری نیز می شوند. به همین دلیل، این عنوان فقط شامل تعریف اساسی ترین محصولات تولید شده با گچ است؛ تعاریف دیگر در عناوین خاص تری که به کاربردهای گچ می پردازند، گنجانده خواهند شد. نمونه ای از دنیای پیچیده محصولات گچی، تعریف متنوع محصول گچی است. بنابراین، طبق استاندارد ISO 6873، محصول گچی «یک محصول دندانپزشکی است که اساساً از یک نیمه هیدرات سولفات کلسیم و هرگونه اصلاح کننده لازم تشکیل شده است» در حالی که استاندارد ASTM C1546 بیان می کند که محصول گچی «یک مصالح





ساختمانی است که برای استفاده در ساخت سقف با گرمایش رادیان در نظر گرفته شده است و حاوی گچ در ترکیب یا ساخت خود است».

گچ یک سنگ رسوبی فراوان است که معمولاً از ذخایر متعدد در سراسر جهان استخراج می شود. تشکیل رسوبات گچی معمولاً شامل رسوب انیدریت معدنی سولفات کلسیم است که سپس هیدراته شده و گچ را تشکیل می دهد. عمق هیدراتاسیون می تواند از سطح رسوب تا چند صد متر متغیر باشد که به آب و هوا، توپوگرافی و ساختار رسوب بستگی دارد.

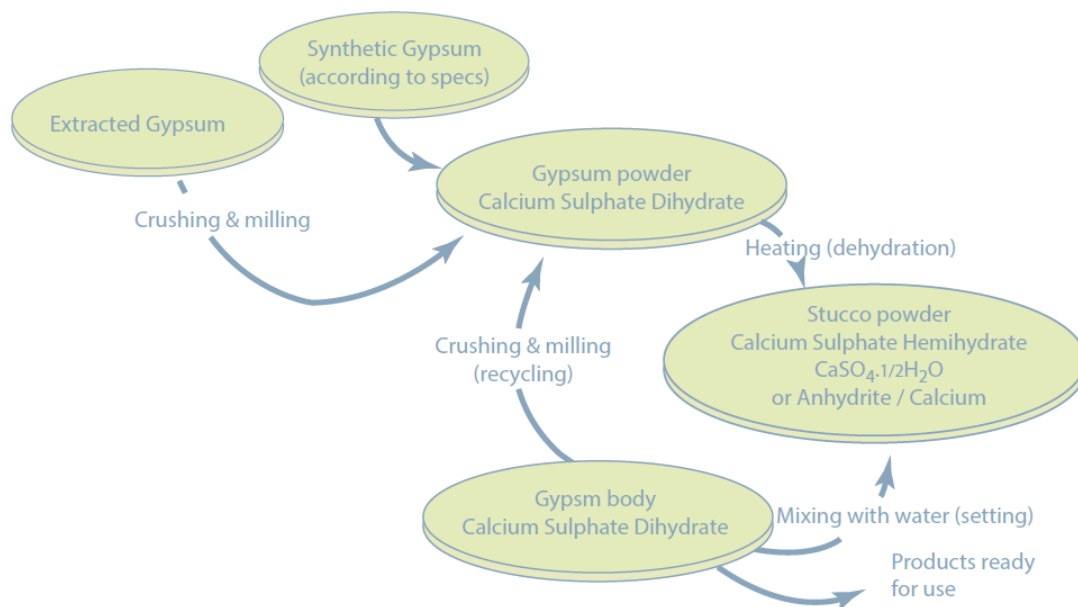
گچ طبیعی در سراسر جهان در تعداد زیادی از سازندهای زمین شناسی یافت می شود. در این سازندها، گچ با انواع مواد تبخیری مانند کلریدهای سدیم (عمدتاً هالیت)، سولفاتهای سدیم و کلسیم (تناردیت و گلوبریت) و بسیاری از نمک های خاص و کمیاب دیگر همراه است. گچ عمدتاً پس از محلول های غلیظ (که به آنها شورابه می گویند) رسوب می کند که از تکامل شیمیایی شورابه های دریایی یا غیردریایی حاصل می شوند. شورابه های دریایی پس از آب دریا که سدیم و کلرید در آن غالب است و مقدار کمتری سولفات و کاتیون ها (K, Ca, Mg) و همچنین آنیون های کربنات یا بی کربنات دارد، تشکیل می شوند. گچ در زمانی رسوب می کند که آب دریا تا چهار تا پنج برابر غلظت اولیه خود (از حدود ۳۵ به ۱۳۰-۱۶۰ درصد) تبخیر می شود و چگالی آب نمک به مقداری تا ۱/۱۳ گرم بر سانتی متر مکعب می رسد. ذخایر جهانی گچ بسیار زیاد است. نکته مهم این است که علاوه بر گچ طبیعی، استفاده از محصول جانبی حاصل از چندین فرآیند صنعتی (مانند نیروگاه ها و صنایع کود) مقدار قابل توجهی از این ماده اولیه را تشکیل می دهد.

گچ مصنوعی نامی است که برای توصیف انواع محصولات جانبی گچ حاصل از فرآوری صنعتی به کار می رود. این محصول دارای ویژگی های مشابه گچ طبیعی است و محصولی با کیفیت بالا و سازگار با محیط زیست است. تولید گچ مصنوعی مزایای اقتصادی و زیست محیطی مختلفی دارد. از دیدگاه اقتصادی، استفاده از گچ مصنوعی باعث ایجاد درآمد از ماده ای می شود که در غیر این صورت هزینه های مدیریت پسماند را



به همراه داشت. بنابراین، مواد از محل های دفن زباله دور نگه داشته می شوند و آلودگی محیط زیست کاهش می یابد. از سوی دیگر، افزایش استفاده از گچ مصنوعی باعث حفظ منابع گچ طبیعی و کاهش نیاز به استخراج می شود.

سنگ های معدنی که به صورت زیرزمینی استخراج می شوند، معمولاً با استفاده از حفاری و انفجار، سپس به یک سنگ شکن اولیه در نزدیکی محل معدن/کانال منتقل می شوند. در سنگ شکن اولیه، مثلاً سنگ شکن فکی، اندازه مواد اولیه به حدود ۱۰۰ میلی متر یا کم تر کاهش می یابد. سنگ خرد شده بعداً به یک دستگاه سنگ شکن ثانویه ارسال شده و به آسیاب منتقل یا انبار می شود. سنگ شکن های ثانویه، مثلاً آسیاب های چکشی، سنگ را بیش تر به قطر حدود ۱۰ تا ۱۵ میلی متر کاهش می دهند. شکل ۸-۴ اصول اولیه فرآوری گچ را نشان می دهد.



شکل ۸-۴ اصول اساسی پردازش گچ

پس از خردایش اولیه، سنگ گچ ممکن است از طریق خشک کن ها ارسال شود. از آن جا که جابجایی سنگ گچ خرد شده ۵ میلی متری دشوار است (به ویژه اگر خیس باشد)، معمولاً خشک کردن برای اطمینان از



جریان آزاد مواد در مراحل بعدی لازم است. سنگ گچ معمولاً حدود ۳٪ رطوبت آزاد دارد و در این سطح رطوبت، می تواند از خشک کن عبور کند.

با این حال، اگر میزان رطوبت بالاتر باشد (معمولاً تا ۱۰٪)، همان طور که اغلب در صورت انبار شدن مواد اولیه در فضای باز اتفاق می افتد، برای کاهش رطوبت به زیر ۳٪، انجام برخی فرآیندهای خشک کردن ضروری است. بنابراین، مواد اولیه را می توان در یک خشک کن دوار یا یک آسیاب غلتکی گرم خشک کرد. فرآیند خشک کردن باید با دقت کنترل شود تا دمای سنگ از حدود ۵۰ درجه سانتی گراد، نقطه ای که تفکیک آب ترکیبی شروع می شود، تجاوز نکند. مواد اولیه خشک شده در یک خشک کن دوار به یک آسیاب غلتکی منتقل می شوند، جایی که تا حدی آسیاب می شوند که ۹۰٪ آن کم تر از ۱۵۰ میکرومتر (μm) باشد. مواد اولیه گاهی اوقات با گرم کردن جریان گاز در آسیاب غلتکی خشک می شوند، به طوری که خشک کردن و آسیاب کردن به طور هم زمان انجام می شود و نیازی به خشک کن دوار نیست.

کلسیناسیون عمل آبگیری گچ و تبدیل آن به گچ از طریق یک فرآیند ناپیوسته یا پیوسته است که شامل گرم کردن گچ برای تبخیر آب کریستالی آن می شود. معمولاً آب آزاد در یک فرآیند اولیه در دمای تقریبی ۴۵ درجه سانتیگراد و آب کریستالی متصل در فرآیند دوم در دمای ۱۵۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد حذف می شود. بسیاری از سیستم ها علاوه بر این، بسته به محصولات مورد نظر، شامل گزینه هایی برای ظرفیت آسیاب کردن قبل، حین و بعد از کلسیناسیون هستند. در این فرآیند کلسیناسیون، ۱ تن گچ به حدود ۰/۸۵ تن گچ کلسینه شده تبدیل می شود. کاربردهای اولیه گچ به خواص هیدرولیکی محصولات حاصل از این عملیات حرارتی بستگی دارد. از این رو، فرآیند کلسیناسیون برای صنعت حیاتی است. بنابراین، کلسیناسیون احتمالاً مهم ترین مرحله فرآیند تولید گچ است که انواع مختلفی از تجهیزات در بازار موجود است. فرآیند کلسیناسیون عامل مهمی در کنترل ویژگی های محصول است، زیرا به طور قابل توجهی بر ساختار بلوری گچ و ترکیب فاز آن تأثیر می گذارد.





۸-۳ ویژگی های گچ

خواص اصلی گچ و فرآورده های گچی را می توان در چهار گروه دسته بندی کرد: (الف) خواص آتش، (ب) خواص آکوستیک، (ج) خواص حرارتی و (د) سایر خواص.

مقاومت در برابر آتش یک مزیت اساسی برای استفاده از گچ در ساخت ساختمان است. گچ یک محصول ضد آتش است، به این معنی که غیر قابل اشتعال است و قادر است گسترش آتش را تا ۴ ساعت بسته به تعداد تخته های گچی در سیستم مربوطه به تأخیر بیندازد. بنابراین، گچ به عنوان یک مانع آتش عمل می کند و خسارت ناشی از آتش سوزی در خانه یا محل کار را کاهش می دهد.

برای همه انواع ساختمان ها نیاز است که از نظر عملکرد آکوستیک در فضاهای داخلی خود به دقت مورد بررسی قرار گیرند، به ویژه هنگامی که فعالیت های مورد نظر ساکنان در قسمت های مختلف ساختمان در نظر گرفته می شود. سر و صدای ناخواسته از بیرون ساختمان، از ساختمان های مجاور یا از سایر فضاهای داخلی می تواند تأثیر مخربی بر کیفیت محیط داشته باشد. اولین نکته ضروری برای عایق بندی صوتی هوابرد با استفاده از هر سیستمی، بستنِ نشت هوا و یا مسیرهای جانبی است که سر و صدا می تواند از طریق آنها از سیستم عبور کند یا در اطراف آن قرار گیرد. در این مفهوم، چهار نوع عملکرد آکوستیک وجود دارد: «(۱) عایق صدا: به توانایی یک ماده یا سیستم پارتیشن/سقف برای متوقف کردن یا کاهش صدای موجود در هوا اشاره دارد؛ که می تواند داخلی یا خارجی باشد. (۲) جذب صدا: به توانایی یک ماده برای جذب صدا در داخل یک اتاق گفته می شود. (۳) کناری: به انتقال صدا از طریق مسیرهای اطراف یک عنصر ساختمانی گفته می شود. (۴) ضربه: به مقاومت صدای منتقل شده از سازه (مثلاً صدای ایجاد شده توسط راه رفتن افراد یا ایجاد سایر ضربه ها بر روی کف/سقف بالای یک فضا گفته می شود)».

گچ تأثیر مثبتی بر کاهش نویز دارد زیرا تخته گچی با درجه آکوستیک خاص ارائه می دهد که تضعیف صدای بیش تری را فراهم می کند (۲-۴ دسی بل؛ دسی بل واحدی است که برای اندازه گیری سطح صدا استفاده





می شود). بنابراین، تخته گچی عایق صوتی مؤثری را فراهم می کند زیرا به گونه ای طراحی شده است که یک مانع فیزیکی صدا ایجاد کند، که شامل یک شکست صدا و کمینه کردن طنین است. این موضوع به این دلیل است که بین دو طرف تخته گچی یک حفره هوا وجود دارد که جریان صدا را قطع می کند. این امر صرف نظر از این که آیا مواد عایق اضافی در آن گنجانده شده است یا خیر، صدق می کند. از آن جا که دو طرف پارتیشن از هم جدا هستند، عبور صدای ضربه ای از آن دشوارتر است. در نتیجه، سیستم تخته گچی به دو شکل به مشخصات آکوستیک کمک می کند: از طریق عایق صدا و جذب صدا. در این راستا، تخته های سوراخ دار امکان ساخت سیستم های جذب صدای مؤثر را فراهم می کنند. شکل ۸-۵ نمونه ای از پنل های گچی طراحی شده برای عایق صوتی را نشان می دهد.



شکل ۸-۵ پنل های گچی برای عایق صوتی طراحی شده اند

اهمیت عایق حرارتی خوب در ساختمان ها با هدف کاهش هزینه های گرمایشی بر کسی پوشیده نیست. بنابراین، تکنیک های ساخت و ساز سبک (گچ بر روی چارچوب) می توانند عملکرد حرارتی عالی را ارائه دهند، زیرا سازه دارای حفره ای است که می تواند با مقدار مورد نیاز عایق پر شود. به لطف رسانایی حرارتی پایین گچ، گچ بری داخلی از ماده عایق محافظت می کند و به همراه مانع بخار، در جلوگیری از ورود یا محبوس شدن رطوبت داخلی در ماده عایق نقش دارد. علاوه بر این، گچ رطوبت و اوج گرما را متعادل می کند،





زیرا قادر است رطوبت را ذخیره کند. زمانی که اتاق مرطوب است و اگر هوای داخلی خیلی خشک شود، به طور خودکار این رطوبت را آزاد می کند. گچ بری همچنین قابلیت ذخیره گرما را دارد (افزایش های کوچک دما جذب می شوند و بعداً با کاهش دمای اتاق، دوباره تابش می شوند).

سایر خواص گچ و فرآورده های گچی مانند زیبایی شناسی خوب و طراحی یا سهولت نصب نیز در ساخت ساختمان ضروری هستند. می توان با تخته گچی، اشکال متنوعی ایجاد کرد و یکی از دلایل اصلی رشد سریع فروش تخته گچی در ۳۰ سال گذشته، سهولت نصب آن است. به عنوان مثال، برای ساخت یک دیوار داخلی، یک قاب ساخته می شود، تخته گچی به آن نصب می شود، درزها پر می شوند و دیوار ایجاد می شود، در حالی که عملیات تمیز، خشک و بدون پیچیدگی است.

۸-۴ محصولات گچی و کاربردهای آن

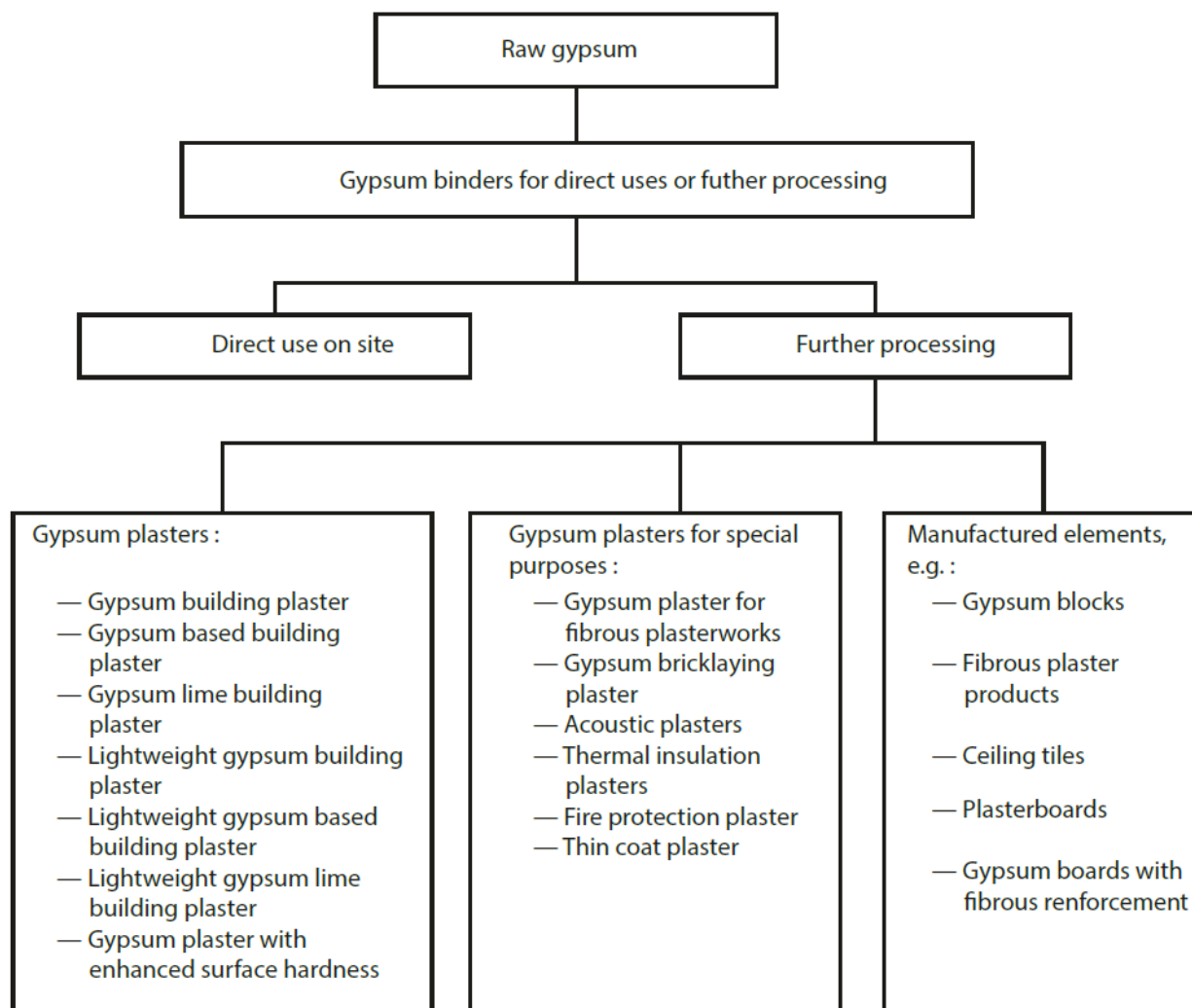
استاندارد EN 12859، محصولات مبتنی بر گچ را به سه گروه اصلی تقسیم می کند (شکل ۸-۶): (الف) گچ های مخلوط کارخانه ای. (ب) گچ برای مصارف خاص. (ج) عناصر پیش ساخته. دو گروه اول دنیای متنوع گچ ها را تشکیل می دهند، در حالی که محصولات مختلف، گروه سوم را تشکیل می دهند که احتمالاً تخته های گچی نماینده ترین اجزا هستند.

گچ کلسینه شده که در بالا توضیح داده شد، ماده اولیه مورد استفاده برای ساخت گچ است. گچ ها هزاران سال است که به عنوان پوشش داخلی دیوار و سقف در سراسر جهان استفاده می شوند. احتمالاً گچ اولین چسب سیمانی ساخته شده عمده بوده است. گچ ها نرم تر و جاذب تر از آهک هستند. لازم به ذکر است که گچ یک چسب گیرش غیر هیدرولیکی است. به این معنی که حتی پس از گیرش گچ، هنوز کمی در آب محلول است. در نتیجه، استفاده از آن ها فقط برای دیوارهای داخلی توصیه می شود. گچ ها عمدتاً از چسباننده ها (گچ یا گچ به علاوه آهک)، گاهی اوقات از جمله پرکننده های معدنی (ماسه سیلیسی یا آهکی تمیز و بسیار ریز)، مواد افزودنی (کند کننده های گیرش، سخت کننده ها، روان کننده ها، نگهدارنده های آب و غیره)، آب و اغلب سایر





افزودنی ها مانند رنگدانه ها یا الیاف ساخته می شوند. سنگدانه های سبک مانند ورمیکولیت، پرلیت یا پومیت، ماده ای قوی تر و همچنین سطحی با جذب صدای کارآمد ایجاد می کنند.



شکل ۸-۶ خانواده چسب های گچی و محصولات گچی

با توجه به دنیای پیچیده افزودنی ها، گچ های سنتی معمولاً شامل گُند کننده های گیرش (دکسترن، چسب، سیلیکات سدیم غلیظ، گچ هیدرولیک)، سخت کننده ها (آلوم، سولفات روی، سیلیکات پتاسیم) و گُند کننده ها و سخت کننده های گیرش سنتی (چسب قوی، صمغ ماهی و ژلاتین) هستند، در حالی که افزودنی های مورد استفاده در گچ های پیش آمیخته را می توان به صورت زیر طبقه بندی کرد: «الف) پخش کننده (مثلاً لسیتین):





برای تسهیل پراکندگی محصولات در فاز مایع. (ب) مرطوب کننده (مثلاً اسید اولئیک): برای تسهیل پوشش اجزای جامد از طریق پراکندگی با کاهش تنش سطحی بین فازهای جامد و مایع. (ج) غلیظ کننده ها (مثلاً سیلیس کلوئیدی): برای افزایش غلظت محصولات در خمیر. (د) قارچ کش ها و ضد کپک ها (مثلاً استوآرسنیک مس): برای جلوگیری از حمله قارچ ها یا کپک ها به پوشش. (ه) ضد رسوب (مثلاً بنتونیت): برای جلوگیری از رسوب اجزای جامد در حین انبار کردن. (و) ضد کف (مثلاً اکلیل الکل): برای جلوگیری از تشکیل کف در حین استفاده. (ز) ضد پوسته (مثلاً هیدروکینون): برای جلوگیری از تشکیل پوسته روی سطح محصولات در حین انبار کردن. (ح) خشک کردن (مثلاً نفتنات های سرب): برای کوتاه کردن زمان لازم برای خشک شدن پوشش ها.

مزایای اصلی گچ ها عبارتند از:

(۱) زمان گیرش به راحتی قابل کنترل است.

(۲) تأخیر زمانی بین لایه های متوالی می تواند کم باشد.

(۳) بافت ها و سختی های سطحی مختلفی ایجاد می شود.

(۴) اگر روش گچ کاری مناسب باشد، گچ مانند گچ های پایه سیمانی جمع نمی شود.

(۵) این محصولات مقاومت بسیار خوبی در برابر آتش دارند.

با این حال، گچ ها به طور واضح برای مصارف بیرونی مناسب نیستند، مگر این که محافظت دائمی بسیار مؤثری ارائه دهند.

علاوه بر این، نباید در فضاهایی که کنترل محیطی کافی در آن ها امکان پذیر نیست، استفاده شود. در مورد روش اجرا، گچ هایی که با محصولاتی که در کارخانه از قبل مخلوط شده اند، ساخته می شوند، در کیسه های پودر به محل کار ارسال می شوند و فقط مقدار آب مخلوط شده ای که توسط سازنده مشخص شده است،





اضافه می شود. پس از فرآیند اختلاط، برخی از محصولات را می توان با اسپری کردن و برخی دیگر را به صورت دستی اعمال کرد (شکل ۸-۷). در روش دستی، خمیر با ماله فلزی پخش می شود، در حالی که در حالت دوم، با استفاده از دستگاه اسپری انجام می شود. اجرای اسپری برای پوشش دادن مناطق بزرگ مزایایی دارد زیرا برنامه ریزی، تداوم کار را تضمین می کند، سرعت اجرا را افزایش می دهد و نیروی کار مورد نیاز را کاهش می دهد.



شکل ۸-۷ روش های اعمال اندود گچ: الف) دستی؛ ب) پاشش

استاندارد EN 520 بیان می کند که: «تخته های گچی بر اساس نوع، اندازه، ضخامت و پروفیل لبه برای استفاده انتخاب می شوند؛ این تخته ها می توانند به عنوان مثال برای پوشش خشک دیوارها، سقف های ثابت و معلق، پارتیشن ها یا به عنوان روکش ستون ها و تیرهای سازه ای استفاده شوند.» اندازه های رایج تخته گچی ۲۴۰۰ تا ۳۶۰۰ میلی متر یا بیش تر طول، ۱۲۰۰ میلی متر عرض و ۹ تا ۱۵ میلی متر ضخامت دارند. تخته گچی همچنین می تواند به عنوان زیرسازی برای لایه شناور کف آکوستیک و به عنوان پوشش سقف در قسمت زیرین جایی که کف های جداکننده مورد نیاز است، استفاده شود.

تخته گچی را می توان به موارد زیر تقسیم کرد: «الف) تخته گچی معمولی: تخته گچی با مقاومت طبیعی در برابر آتش ناشی از گچ موجود در هسته و (ب) تخته گچی نوع X: تخته گچی با افزودنی های ویژه هسته





برای افزایش مقاومت طبیعی تخته گچی معمولی در برابر آتش» (استاندارد ASTM C11). به عنوان مثال، ورمیکولیت ورقه‌ای و رشته‌های فایبرگلاس را می‌توان در هسته گچ اضافه کرد تا مقاومت در برابر آتش افزایش یابد. سایر افزودنی‌هایی که معمولاً در تولید تخته گچی استفاده می‌شوند عبارتند از: لیگنوسولفات‌ها برای بهبود جریان دوغاب در فرآیند تولید، سولفات پتاسیم برای رسوب سریع تر گچ، عوامل کف‌ساز برای به‌دست آوردن گچی با چگالی کم‌تر، و سیلیکون به دلیل این که تخته گچی ذاتاً در برابر رطوبت آسیب‌پذیر است. ویژگی‌های عملکردی تخته گچی شامل موارد زیر است: واکنش به آتش، نفوذپذیری بخار آب، مقاومت خمشی (بار شکست)، مقاومت در برابر ضربه و مقاومت حرارتی. لازم به ذکر است که از قرار دادن تخته گچی در معرض رطوبت بیش از حد یا مداوم و دمای شدید باید اجتناب شود و استفاده از این محصول در سیستم‌های گرمایش خورشیدی یا سایر سیستم‌های گرمایشی، زمانی که تخته در تماس مستقیم با سطوحی با دمای بیش از ۵۲ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد، توصیه نمی‌شود.

اگرچه مهم‌ترین کاربردهای گچ در تولید گچ و تخته گچی است، اما سایر محصولات مبتنی بر گچ مانند گچ تقویت شده با الیاف شیشه، بلوک‌های گچی یا کاشی‌های گچی برای سقف‌ها معمولاً در صنعت ساخت داخلی منازل مورد استفاده قرار می‌گیرند.

طبق استاندارد EN 12859، بلوک گچی یک «عنصر ساختمانی کارخانه‌ای» است که از سولفات کلسیم و آب تولید می‌شود و ممکن است حاوی الیاف، پرکننده‌ها، سنگدانه‌ها و سایر افزودنی‌ها باشد، البته تا جایی که به عنوان مواد خطرناک طبقه‌بندی نشوند و ممکن است با رنگدانه رنگ آمیزی شوند» یا به سادگی «یک واحد ساختمانی گچی ریخته‌گری شده» (استاندارد ASTM C11). بلوک‌های گچی محصولات ساختمانی با سطوح صاف و قابل مشاهده برای ساخت اجزای ساختمانی هستند که دیگر نیازی به گچ کاری ندارند. سازه‌های ساخته شده از این عناصر با استفاده از چسب گچی مخصوص بلوک‌های گچی به هم متصل می‌شوند. این اجزا به لطف طراحی ساندویچی کامپوزیت و همچنین اتصال آن‌ها به اجزای مجاور، پایداری ساختاری خود را حفظ





می کنند. سازه های ساخته شده از بلوک های گچی در درجه اول به عنوان پارتیشن های داخلی تک یا دو لایه غیرباربر یا دیوارهای جداکننده آپارتمان با پوسته های جداگانه شناخته می شوند. سازه های ساخته شده از بلوک های گچی اساساً در ساختمان های عمومی، خصوصی یا تجاری برای دستیابی به دیوارهای پارتیشن غیرباربر، روکش های گچی مستقل و به عنوان روکش برای تکیه گاه ها استفاده می شوند. بلوک های گچی برای ساخت سقف استفاده نمی شوند. استاندارد EN 12859 اشاره می کند که «ویژگی های عملکردی محصول عبارتند از واکنش پذیری و مقاومت در برابر آتش، عایق صوتی مستقیم در هوا، انتشار مواد خطرناک و مقاومت حرارتی». در مورد کاشی های گچی برای سقف ها، که گاهی اوقات عناصر گچی برای سقف های معلق نامیده می شوند (استانداردهای EN 14246 یا ASTM C1396/1396M)، آن ها عناصر گچی ریخته گری شده کارخانه ای هستند که کاربردهای اصلی آن ها ساخت سقف های معلق در زیر لایه های جهانی است. عناصر گچی برای سقف کاذب از اندود گچ تشکیل شده اند و برای سقف های کاذب برای کاربردهای داخلی به عنوان واحد یا کاشی و برای آویزان شدن در زیر سقف سازه ای استفاده می شوند. سقف کاذب به صورت یک سیستم شبکه ای نصب می شود که به سقف سازه ای متصل می شود. پس از نصب شبکه، با کاشی های سقفی گچی پر می شود.

سقف های کاذب اغلب در ساختمان های اداری و تجاری استفاده می شوند. طرح های مختلف کاشی سقفی گچی، کیفیت های صوتی و زیبایی شناختی متفاوتی را ارائه می دهند و در انواع مختلفی موجود هستند. ویژگی های عملکردی محصول شامل موارد زیر است: واکنش به آتش، نفوذپذیری بخار آب، مقاومت خمشی (به صورت بار شکست بیان می شود) و مقاومت حرارتی (به صورت رسانایی حرارتی بیان می شود).





فصل نهم

سرامیک و آجر

۹-۱ مقدمه

خاک رس به عنوان مواد اولیه، در بیش تر دوران تمدن بشری از محیط طبیعی خود استخراج شده است. استفاده از آجر، کاشی های سقف، کاشی های دیوار و کف برای قرن ها برای بشر ضروری بوده است. استفاده اولیه از محصولات مبتنی بر خاک رس در مجسمه سازی و ظروف خانگی، مانند گلدان، ظروف غذاخوری، کوزه های انباری و غیره بوده است. توسعه محصولات سرامیکی مورد استفاده در ساختمان سازی از ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ سال پیش آغاز شد. آجری که با شکل دادن به توده پلاستیکی خاک رس و آب ساخته می شود و سپس با خشک کردن و پختن سخت می شود، یکی از قدیمی ترین مصالح ساختمانی تولید شده است. آجرها در ابتدا بدون سوزاندن به شکل خشک شده در آفتاب استفاده می شدند (شکل ۹-۱). این فصل تنها سه گروه اصلی از محصولات ساختمانی سرامیکی که قبلاً به آنها اشاره شد، یعنی آجرهای بنایی، کاشی های سقف و کاشی های دیوار و کف را بررسی می کند. گروه چهارم، که چینی سرویس بهداشتی نامیده می شود (شکل ۹-۲)، نیز با توجه به اهمیت بسیار زیاد آن در ساخت و ساز ساختمان های امروزی مورد بحث قرار گرفته است. در این فصل، اصطلاح سرامیک، که طبق استاندارد ASTM C1232 به عنوان صفت استفاده می شود، به معنای «مربوط به محصولاتی حاوی سیلیکات های آبدار آلومینا است که برای ایجاد پیوند پخته شده و تحت عملیات حرارتی قرار می گیرند»، یعنی «مواد سرامیکی مورد استفاده برای آجر و کاشی رسی» معمولاً از خاک





رس یا سایر مواد خاکی مشابه تشکیل شده اند که در کوره تا دمای بالاتر از ۶۵۵ درجه سانتی گراد پخته شده اند؛ قرار گرفتن در معرض دمای بالا، تبدیل مواد تشکیل دهنده را از حالت طبیعی خود به حالت شیشه ای (ذوب اولیه) آغاز می کند».



شکل ۹-۱ کاشی دیوار و کف



شکل ۹-۲ چینی سرویس بهداشتی





۹-۲ مواد اولیه

طیف گسترده‌ای از مواد اولیه توسط صنعت سرامیک برای پاسخگویی به انواع محصولات مورد تقاضا در ساختمان‌سازی و ساخت استفاده می‌شود. مواد اولیه مورد استفاده در تولید محصولات سرامیکی عمدتاً شامل خاک رس مخلوط با سایر اجزا مانند کوارتز، فلدسپار، شاموت (تشکیل شده از آجرهای خرد شده، قطعات کاشی‌های سقفی و سایر بقایای سرامیکی) و بسیاری موارد دیگر است. برای تولید محصولات سرامیکی، خاک رس بسیار مهم است زیرا قابلیت مخلوط شدن با آب را با هدف تشکیل مواد پلاستیکی دارد که می‌توانند به شکل‌های مختلف قالب‌گیری شوند. ماده حاصل در نهایت تا دمای بالا پخته می‌شود تا محصولات سرامیکی به ویژگی‌های سخت و مقاوم در برابر آب و هوا دست یابند.

فرمولاسیون سرامیک‌های پایه‌رسی شامل مخلوط کردن یک یا چند رس است که در حالت خام، پلاستیسیته و کارایی ایجاد می‌کنند، با اصلاح‌کننده‌های معدنی که به آن‌ها غیرپلاستیک می‌گویند، یعنی کوارتز و فلدسپار پودری. صرف نظر از نوع محصول رسی که قرار است تولید شود، این مخلوط از سه نوع ماده ساخته می‌شود (از این رو اصطلاح سرامیک سه‌محوری به آن اطلاق می‌شود): یک بخش رسی که به عنوان ماده اولیه عمل می‌کند و قابلیت شکل‌دهی را فراهم می‌کند؛ یک جزء کوارتز (سیلیس) که به عنوان پُرکننده عمل می‌کند و به جسم تشکیل شده استحکام می‌بخشد؛ و فلدسپار که به عنوان عامل شیشه‌ای‌کننده یا گدازآور عمل می‌کند و دمای ذوب رس و کوارتز را در حین پخت کاهش می‌دهد. در برخی موارد، گچ، دولومیت و ولستونیت به عنوان پُرکننده و مواد گدازآور اضافه می‌شوند.

افزودنی‌های آلی، مانند مواد چسبنده کاغذ، پلی‌استایرن فومی و یا عوامل کمکی معدنی مانند کیزلگور یا دیاتومیت، برای ایجاد حجم منافذ بیش‌تر اضافه می‌شوند. در صنعت آجر و کاشی سقف، اکسیدهای فلزی مانند Fe_2O_3 ، TiO_2 ، MnO_2 و مواد معدنی مانند کلسیت و یا دولومیت برای به دست آوردن رنگ مورد نظر و یا بهبود تخلخل محصول نهایی اضافه می‌شوند. به عنوان مثال، CaCO_3 برای ایجاد رنگ زرد مایل به زرد





استفاده می شود در حالی که $BaCO_3$ گاهی اوقات برای کاهش شوره زدن اضافه می شود. کربن به شکل ریزپراکنده، به عنوان سوخت داخلی بدن عمل می کند و در نتیجه ظاهر آجر را بهبود می بخشد. همه افزودنی ها یا درست قبل از فرآیند شکل دهی یا در آماده سازی مواد اولیه، چه به صورت جامد و چه به صورت مایع، اضافه می شوند. علاوه بر این، برای تولید توده های قابل تراکم، چسب ها و سنگدانه ها به مواد اولیه آسیاب شده اضافه می شوند.

۹-۳ آجر

طبق استاندارد ASTM C1232، آجر «یک واحد بنایی توپر یا توخالی از خاک رس یا شیل است که معمولاً به شکل منشور مستطیلی شکل داده می شود، سپس در کوره پخته می شود؛ آجر یک محصول سرامیکی است». در مقابل، استاندارد اروپایی EN 771-1 اصطلاح آجر را در نظر نمی گیرد، بلکه واحد بنایی رسی را به عنوان «واحد بنایی ساخته شده از خاک رس یا سایر مواد رسی با یا بدون ماسه، سوخت یا سایر افزودنی ها که در دمای به اندازه کافی بالا پخته می شوند تا به پیوند سرامیکی برسند» تعریف می کند. استاندارد اخیر اندازه های استاندارد برای واحدهای بنایی رسی را مشخص نمی کند، زیرا برای در بر گرفتن تمام آجرها و بلوک های رسی موجود تهیه شده است. با این وجود، اندازه استاندارد کلاسیک آجر رسی ۲۱۵ میلی متر $\times$ ۱۰۲ میلی متر $\times$ ۶۵ میلی متر است (شکل ۹-۳). آجرها مصالح ساختمانی متنوع و پایداری هستند که مزایای متعددی از جمله موارد زیر را ارائه می دهند: (الف) بسیار بادوام (ب) عملکرد طولانی مدت (ج) نیاز به نگهداری کم (د) جرم حرارتی بال، (ه) قابل استفاده مجدد و قابل بازیافت. (و) ایجاد محیط های سالم و راحت.»

آجرها معمولاً، اما نه همیشه، به شکل منشورهای مستطیلی هستند، اگرچه اشکال خاص دیگری نیز تولید می شوند. تورفتگی ها یا سوراخ ها (سوراخ های استوانه ای که از ضخامت آجر عبور می کنند) به دلایل مختلفی ایجاد می شوند:

(الف) ایجاد پیوند پایدار بین آجر و دیوار





(ب) کاهش هزینه مصالح

(ج) کاهش ضخامت مؤثر آجرها و در نتیجه کاهش زمان پخت.

به دلیل این عوامل و سهم بسیار زیاد هزینه تولید که صرف سوخت می شود، بسیاری از واحدهای سفالی کمینه به میزان ۱۰ تا ۲۵ درصد حجمی سوراخ دار هستند.



شکل ۹-۳ آجرهای سفالی استاندارد کلاسیک

آجرهای سوراخ دار معمولاً کم تر از ۲۵٪ فضای خالی دارند و از این رو از نظر ساختاری مانند جامدات واقعی رفتار می کنند. طبق استاندارد EN 771-1، سوراخ عمودی «یک فضای خالی تشکیل شده است که به طور کامل از یک واحد بنایی عمود بر سطح بستر عبور می کند» است، در حالی که سوراخ افقی «یک فضای خالی تشکیل شده است که به طور کامل از یک واحد بنایی موازی با سطح بستر عبور می کند». طبق استاندارد ASTM C216، «یک آجر توپُر می تواند سوراخ های مرکزی را نشان دهد که مساحت آنها بیش از ۲۵٪ از کل سطح بستر آجر نباشد». در حالی که آجرهای ۱۰۰٪ توپُر اغلب در دسترس هستند، بیش تر آجرها با ۲۵٪ سوراخ مرکزی تولید می شوند. استاندارد ASTM C652 آجرهای توخالی را پوشش می دهد و اشاره می کند که «به معنای واحدهای بنایی رسی توخالی است که سطح مقطع خالص (مساحت توپُر) آنها در هر صفحه



موازی با سطح، حاوی هسته ها، سلول ها یا فرورفتگی های عمیق، کم تر از ۷۵٪ از سطح مقطع ناخالص اندازه گیری شده در همان صفحه باشد». در شکل ۹-۴ انواع بافت های سطحی آجر نشان داده شده است.



Smooth



Soft Mud



Wire Drag



Waterstruck



Rusticated



Handmade

شکل ۹-۴ انواع مختلف بافت های سطحی آجر

استاندارد ASTM C1232 آجر نما را به عنوان «آجری برای مصارف عمومی که در آن ویژگی های ظاهری مانند رنگ، بافت و ضخامت خُرده چوب مهم هستند» تعریف می کند؛ آجرهای نما از خاک رس انتخاب شده تولید می شوند و در اندازه های معمول سطح، رنگ های مختلف و در بافت های متنوع موجود هستند» و آجر



ساختمانی را به عنوان «آجری برای مقاومت در برابر بار یا سایر اهداف که در آن «ویژگی های ظاهری مانند بافت یا رنگ» مهم نیستند (که قبلاً آجر معمولی نامیده می شد)» تعریف می کند. استاندارد EN 771-1 واحدهای بنایی رسی (آجرها) را متعلق به یکی از دو گروه زیر طبقه بندی می کند: نوع LD (چگالی کم) و نوع HD (چگالی بالا). واحدهای LD شامل «واحدهای بنایی رسی با چگالی ناخالص خشک کم تر یا مساوی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای استفاده در بنایی محافظت شده» هستند، در حالی که واحدهای HD شامل «تمام واحدهای بنایی رسی برای استفاده در بنایی محافظت نشده یا واحدهایی با چگالی ناخالص خشک بیش تر از ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای استفاده در بنایی محافظت شده» هستند.

از نظر کاربرد، آجرهای رسی را می توان به صورت زیر طبقه بندی کرد:

(الف) نمای بیرونی: آجرهایی که برای نمایان بودن، در داخل یا خارج ساختمان طراحی شده اند

(ب) غیرباربر: آجرهایی که هیچ باری غیر از وزن خود را تحمل نمی کنند

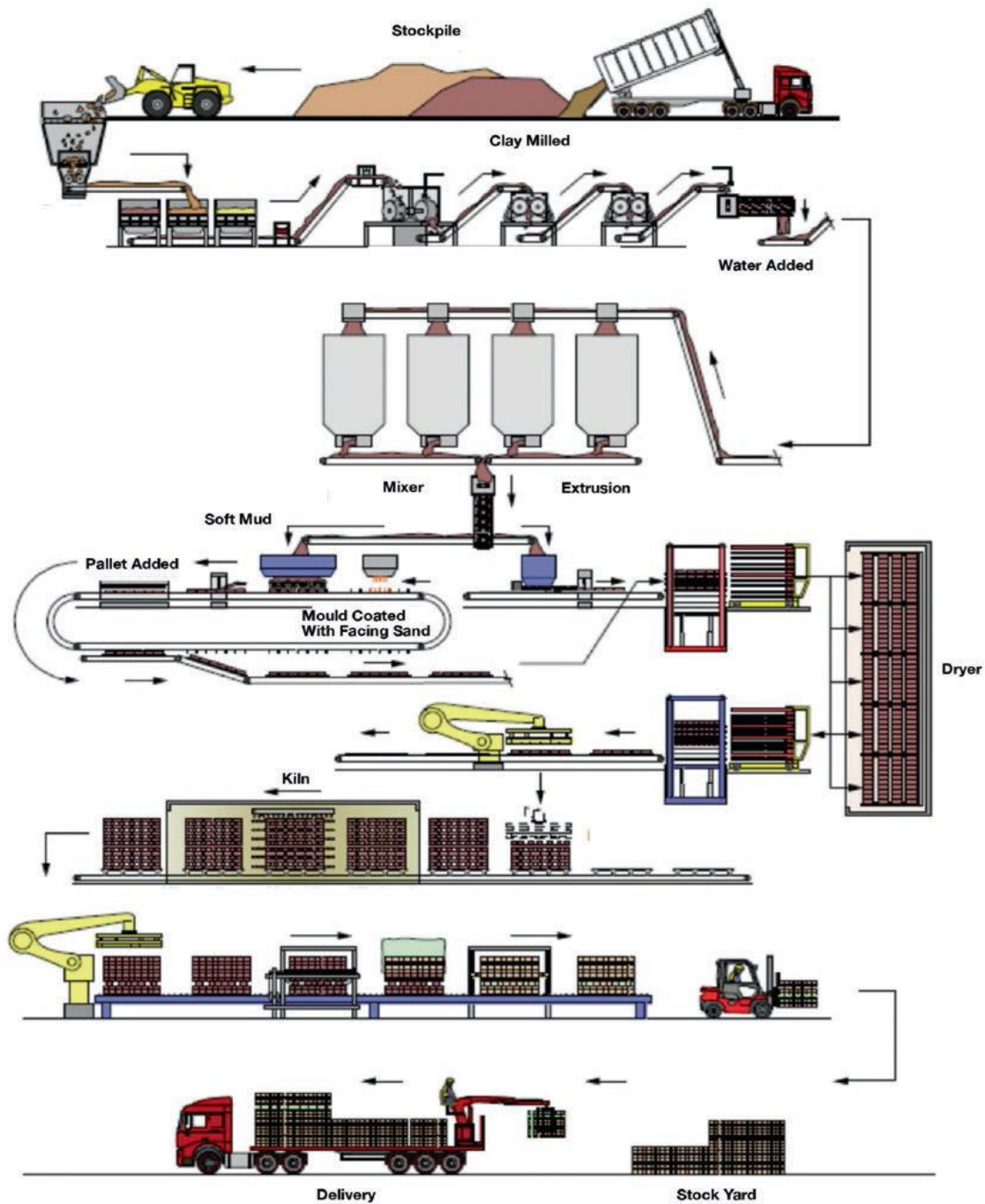
(ج) باربر: آجرهایی که نقش سازه ای در ساختمان دارند

انواع مختلفی از اتصالات آجری وجود دارد که الگوهای چیدمان آجر هستند. اتصالات برای بهبود ظاهر و یا افزایش مقاومت طراحی شده اند.

فرآیند تولید آجر در شکل ۹-۵ نشان داده شده است. این فرآیند را می توان به پنج مرحله اصلی تقسیم کرد: تهیه مواد اولیه، روش های شکل دهی، خشک کردن، پخت و بسته بندی. بیش تر کارخانه های آجر در نزدیکی یک معدن خاک رس واقع شده اند و در نتیجه امکان تولید طیف وسیعی از رنگ ها، بافت ها و ویژگی های فنی فراهم می شود. دلیل این امر این است که خاک رس یک ماده خام طبیعی است که خواص آن ممکن است با گذشت زمان تغییر کند. برای دستیابی به قوام صحیح برای فرآیند تشکیل آجر، آماده سازی کافی خاک رس ضروری است. توده ها به صورت عمودی برش داده می شوند و از لایه های مختلف عبور



می کنند و خاک رس با چندین دستگاه خرد می شود تا اندازه قطعات رسی کاهش یابد. ریز بودن خاک رس نه تنها بر ظاهر آجر، بلکه بر ویژگی های فیزیکی آن نیز تأثیر می گذارد.



شکل ۹-۵ فرآیند تولید آجر



۹-۴ کاشی سقف

کاشی های سقفی یک مصالح ساختمانی واقعاً معمولی هستند که قرن ها به عنوان یک قطعه جدایی ناپذیر و ضروری از پوشش ساختمان مورد استفاده قرار گرفته اند. کاشی های سقفی در سازه های باستانی با قدمتی تا ۵۰۰۰ سال پیش یافت می شوند. کاشی های سقفی سفالی به طور گسترده برای پوشش سقف های شیب دار (شکل ۹-۶) در کاربردهای مسکونی و تجاری استفاده می شوند. کاشی سفالی یک راه حل بادوام برای سقف سازی است که از سایر مصالح جایگزین سقف بهتر عمل می کند. نتایج مطالعات نشان داده است که طول عمر کاشی سفالی به طور متوسط ۷۵ سال است که دوام آن را برجسته می کند.



شکل ۹-۶ نمونه ای از کاشی های سقفی در اسلونی

کاشی سفالی سقفی «محصولی برای نصب ناپيوسته روی سقف های شیب دار و برای پوشش دیوار است که با شکل دهی (اکستروژن و/یا پرس)، خشک کردن و پختن خاک رس آماده شده، با یا بدون افزودنی ها تولید می شود؛ تمام یا بخشی از سطح آن ها را می توان با لعاب پوشاند» (استاندارد EN 1304). استاندارد ASTM C1232 اشاره می کند که کاشی سقفی «یک واحد جامد از خاک رس یا شیل، یا هر دو است که به





هر یک از اشکال مسطح مستطیلی شکل در حالت پلاستیک شکل داده شده و در کوره پخته می شود» و استاندارد ASTM C1167 بیان می کند که «کاشی های رسی را که برای استفاده به عنوان پوشش سقف در نظر گرفته شده اند، پوشش می دهد، جایی که دوام و ظاهر برای ایجاد سطحی مقاوم در برابر آب و هوا با طراحی مشخص مورد نیاز است؛ کاشی ها از خاک رس، شیل یا مواد خاکی طبیعی مشابه ساخته شده و در دماهای بالا (پخت) تحت عملیات حرارتی قرار می گیرند؛ عملیات حرارتی باید پیوندی بین اجزای ذره ای ایجاد کند تا الزامات استحکام و دوام این مشخصات را فراهم کند؛ کاشی ها در طول ساخت با قالب گیری، پرس یا اکستروژن شکل داده می شوند و استفاده از روش شکل دهی برای توصیف کاشی ها مجاز است».

طبق استاندارد C1167، کاشی های سقف سفالی می توانند معمولاً مسطح یا مستطیلی موج دار باشند. در این راستا، استاندارد EN 1304 انواع کاشی های سقف زیر را تعریف می کند: «الف) کاشی های ساده: کاشی هایی معمولاً با سطح صاف که می توانند کمی انحنا عرضی و/یا انحنا طولی داشته باشند و هیچ سیستم قفل شونده ای ندارند؛ این کاشی ها عموماً مستطیل شکل هستند، اما می توانند دنباله با شکل خاصی داشته باشند (مثلاً کاشی های با لبه جلویی گرد یا تیز). (ب) کاشی های رو و زیر: کاشی هایی به شکل ناودان که طراحی آن ها امکان نصب آن ها را با لبه های متغیر یا جایی که لبه های آن ها به دلیل وجود برآمدگی روی کاشی ها ثابت می شود، فراهم می کند؛ آن ها با لبه های خود یا موازی یا تشکیل مخروط می دهند. (ج) کاشی های خاص: کاشی هایی که به دلایل زیبایی شناسی به شکل هایی ساخته می شوند که از کاشی به کاشی دیگر متفاوت است، به عنوان مثال کاشی های دست ساز».

به طور خاص، کاشی های زیرین «کاشی هایی هستند که طوری طراحی شده اند که طرف مقعر آن ها رو به بالا باشد و روی تکیه گاه سقف قرار گیرد؛ کاشی های زیرین ممکن است نوک نداشته باشند، یا یک یا چند نوک برای قرار دادن روی زیرکوب داشته باشند» در حالی که کاشی های رویی «کاشی هایی هستند که طوری طراحی شده اند که طرف مقعر آن ها رو به پایین باشد و دو کاشی زیرین را روی هم قرار دهد؛ به طور کلی،





از همان واحدهایی استفاده می شود که کاشی های زیرین وقتی با طرف مقعر آن ها رو به بالا قرار می گیرند و کاشی های رویی وقتی با طرف مقعر آن ها رو به پایین قرار می گیرند. با این حال، پروفیل کاشی های زیرین می تواند با کاشی های رویی متفاوت باشد؛ آن ها می توانند، به عنوان مثال، یک پایه صاف یا شکلی داشته باشند که امکان قرارگیری محصول روی تکیه گاه آن را فراهم کند؛ در حالت دوم، کاشی های زیرین به دو طرف عمودی جانبی مجهز شده اند.

در رابطه با سیستم های قفل و بست داخلی در کاشی های سقف، استاندارد EN 1304 اشاره می کند که «قفل و بست داخلی سیستمی است که برای مونتاژ دو کاشی یا اتصالات مجاور طراحی شده و معمولاً شامل یک یا چند قسمت برجسته به نام دنده و یک یا چند قسمت مقعر به نام شیار است». کاشی های سقفی در انواع پروفیل های مقطع، شکل ها، اندازه ها (ابعاد استاندارد کاشی سقفی حدود ۴۰۰ میلی متر × ۳۰۰ میلی متر × ۲۲۰ میلی متر با ضخامت تقریبی ۲۰ میلی متر است)، بافت های سطحی و رنگ ها موجود هستند. شکل ۹-۷ انواع و رنگ های مختلف کاشی های سقفی را نشان می دهد. آن ها می توانند لعاب دار یا بدون لعاب باشند. لعاب نوعی پوشش سرامیکی است که از پوشش پخته شده بر پایه شیشه تشکیل شده است. استاندارد ASTM C242 انواع مختلفی از لعاب ها را در نظر می گیرد: روشن، شفاف، کریستالی، فریت دار، حصیری، مات، خام، نیمه حصیری و دوغابی. فرآیند تولید کاشی های سقفی رسی مشابه آجرهای رسی است، به جز مرحله شکل دهی. در طول این مرحله، توده های بزرگ خاک رس اکستروود می شوند که بیش تر فشرده می شوند تا شکل نهایی کاشی سقف را به خود بگیرند. برخلاف آجرها که ظاهر نهایی خود را پس از اکستروود شدن دارند، کاشی های سقفی اغلب برای رسیدن به شکل نهایی کاشی نیاز به پرس دارند.

به عنوان یک قاعده، فرآیند تولید کاشی شامل مراحل زیر است: (الف) آماده سازی مواد رسی: استخراج مواد اولیه از معدن و حمل آن به کارخانه برای ذخیره سازی در انبارها. (ب) آسیاب کردن و غربال کردن خاک رس: مواد اولیه در قیف های تغذیه بارگیری می شوند، جایی که آب و سایر اجزا اضافه و مخلوط





می شوند؛ سپس مخلوط آسیاب و همگن می شود. (ج) اکستروژن و پرس (قابل اجرا برای بیش تر مدل های کاشی): مخلوط خاک رس اکستروژن می شود تا صفحاتی از خاک رس تولید شود که در پرس قالب گیری فشرده تر می شوند تا قالب نهایی کاشی سقف به دست آید. (د) خشک کردن: بسته به روش خشک کردن مورد استفاده، فرآیند می تواند بین یک تا سه روز طول بکشد. (ه) پخت: رسیدن به بیشینه دما در کوره تقریباً ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد. (و) بسته بندی. در مورد دمای پخت، کمی بالاتر از تولید آجر است. برخی عملیات تکمیلی دیگر نیز می توانند در فرآیند تولید گنجانده شوند، به ویژه عوامل آب دوست یا آب گریز که در کارخانه اعمال می شوند و رفتار سطح کاشی های سقف سفالی یا اتصالات را در جایی که با آب خیس می شوند، تغییر می دهند. در مورد بافت های سطحی، این موارد می توانند شامل «حفره ها، نواحی برآمده، لکه ها یا رنگ ها و غیره» باشند که کل یک دسته را مشخص می کنند و به طور خاص برای اهداف زیبایی شناسی (برای تقلید از ظاهر کاشی های قدیمی، به عنوان مثال شکل ۹-۸) تولید می شوند.



شکل ۹-۷ کاشی های سقفی با اشکال و رنگ های مختلف



شکل ۹-۸ بافت سطحی برای تقلید از کاشی های سقف قدیمی





۹-۴ کاشی و سرامیک

تولید کاشی به دوران باستان، از جمله مصریان، بابلی ها و آشوریان، برمی گردد. به عنوان مثال، هرم پلکانی فرعون جوزر که حدود ۲۶۰۰ سال قبل از میلاد در مصر باستان ساخته شده بود، حاوی کاشی های لعاب دار رنگارنگ بود. کاشی های سرامیکی تقریباً در هر کشور تولید شدند. در آغاز قرن بیستم، کاشی های سرامیکی در مقیاس صنعتی تولید می شدند.

طبق استانداردهای ISO 13006 و EN 14411، کاشی های سرامیکی «تخته های نازکی هستند که از خاک رس و یا سایر مواد خام معدنی ساخته می شوند و عموماً به عنوان پوشش کف و دیوارها استفاده می شوند و معمولاً با اکستروود کردن یا پرس کردن در دمای اتاق شکل داده می شوند، اما ممکن است با فرآیندهای دیگر نیز شکل داده شوند، سپس خشک شده و متعاقباً در دماهای کافی برای ایجاد خواص مورد نیاز پخته شوند.» استاندارد ASTM C242 کاشی را به عنوان «یک واحد سطح سرامیکی، معمولاً نسبتاً نازک نسبت به سطح رویه، ساخته شده از خاک رس یا مخلوطی از خاک رس و سایر مواد سرامیکی، به نام بدنه کاشی، با سطح لعاب دار یا بدون لعاب و پخته شده در حرارت بالای در طول تولید تا دمایی به اندازه کافی بالا برای ایجاد خواص و ویژگی های فیزیکی خاص» تعریف می کند. لعاب، پوشش شیشه ای نفوذناپذیری است که ممکن است عملکرد فنی سطح بهبود یافته و امکانات تزئینی بیش تری را فراهم کند. کاشی های بدون لعاب فقط یک بار پخته می شوند، در حالی که کاشی های لعاب دار بین پخت اول و دوم (در مورد کاشی های دو پخت) یا قبل از پخت کامل (در مورد کاشی های تک پخت) پوشش شیشه ای دریافت می کنند. کاشی های سرامیکی نسوز هستند و تحت تأثیر نور قرار نمی گیرند.

کاشی های سرامیکی (دیوار و کف) از عناصر مهم پوشش دیوار و کف مورد استفاده در صنعت ساختمان هستند. بخش نگهداری و نوسازی برای این محصولات از اهمیت ویژه ای برخوردار است. کاشی های سرامیکی همچنین می توانند برای نماهای خارجی، استخرهای شنا و اماکن عمومی استفاده شوند. رایج ترین شکل های





کاشی های سرامیکی مربع و مستطیل هستند، اگرچه هندسه های چندضلعی دیگری مانند شش ضلعی یا هشت ضلعی نیز موجود است. اضلاع کاشی می تواند از تنها چند سانتی متر (کاشی های موزاییکی) تا صفحاتی با اضلاع ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی متر متغیر باشد. ضخامت معمولاً از حدود ۵ میلی متر برای کاشی های دیواری است.

از دیدگاه تجاری، انواع اصلی کاشی های سرامیکی عبارتند از: (الف) کاشی دیواری. (ب) کاشی سفالی. (ج) کاشی چینی. (د) کاشی سفالی روستیک. (ه) کاشی سفالی. بسته به منطقه جهان، کشور، ویژگی های خاص فرآیند تولید و غیره، انواع بسیار دیگری نیز می توانند مورد توجه قرار گیرند.

تولید کاشی سرامیکی بسته به نوع کاشی سرامیکی، فرآیندهای مختلفی را در بر می گیرد. در هر صورت، این فرآیند اساساً از مراحل زیر تشکیل شده است: (۱) آماده سازی مواد اولیه. (۲) خشک کردن پاششی. (۳) قالب گیری. (۴) خشک کردن. (۵) لعاب کاری. (۶) پخت. (۷) دسته بندی و بسته بندی. بسیاری از این مراحل در حال حاضر با استفاده از تجهیزات خود کار انجام می شوند.

۹-۵ چینی بهداشتی

چینی بهداشتی برای اهداف بهداشتی استفاده می شود. این شامل کاسه توالت، روشویی، مخزن، آبخوری و غیره می شود. چینی بهداشتی طبق استاندارد ASTM C286 به عنوان «ظروف لعابی چینی مانند سینک، توالت و وان حمام» تعریف می شود، در حالی که استاندارد ASTM C242 اصطلاح چینی بهداشتی را به عنوان «وسایل سفید لعاب دار و شیشه ای با عملکرد سرویس بهداشتی» تعریف می کند. به دلیل خواص کافی مانند مقاومت خوب در برابر خوردگی و سایش، سطح لعاب دار با رنگ های مختلف، استفاده از چینی بهداشتی برای اهداف بهداشتی هنوز با مواد دیگر جایگزین نشده است.

فرآیند تولید چینی بهداشتی را می توان به پنج مرحله اصلی تقسیم کرد، یعنی: آماده سازی مواد اولیه، شکل دهی، خشک کردن و لعاب دهی، پخت و عملیات بعدی. برای بدنه های چینی بهداشتی، مواد اولیه ای که





معمولاً استفاده می شوند شامل کائولن، خاک رس، فلدسپار و/یا فلدسپاتوئید، کوارتز و کربنات کلسیم هستند. یک دسته معمولی شامل ۴۰-۵۰٪ کائولن و خاک رس، ۲۰-۳۰٪ کوارتز، ۲۰-۳۰٪ فلدسپار و بین ۰-۳٪ کربنات کلسیم است. آماده سازی مواد اولیه عمدتاً در یک فرآیند آماده سازی مرطوب انجام می شود. بنابراین، کائولن و خاک رس در آب حل می شوند و ناخالصی ها با الک کردن از دوغاب حذف می شوند. در مرحله بعد، سوسپانسیون خاک رس الک شده در مخازن توسط همزن های گند همگن می شود. نسبت بندی مواد سخت به صورت وزنی انجام می شود و الکترولیت ها اضافه می شوند. نگهداری بیش تر در مخازن همزن دار به مدت دو روز، ویژگی های شکل دهی دوغاب ریخته گری را افزایش می دهد.





فصل دهم

شیشه

۱۰-۱ مقدمه

اصطلاح شیشه تعریف ساده و راحتی ندارد. در نتیجه، شیشه یک کلمه مشترک برای تعداد بی شماری از مواد با ترکیبات مختلف در حالت شیشه ای است. استاندارد ASTM C1720 شیشه را به عنوان «یک محصول معدنی از همجوشی که بدون تبلور تا حالت سفت و سخت سرد شده است؛ یک جامد غیربلوری یا یک جامد آمورف» تعریف می کند. بنابراین، شیشه از یک شبکه منظم از کریستال ها تشکیل نشده، بلکه از یک شبکه نامنظم اتم ها تشکیل شده است. این ساختار غیربلوری یا آمورف شیشه است که شفافیت آن را ایجاد می کند. مواد شیشه ای همچنین می توانند به طور طبیعی وجود داشته باشند. به عنوان مثال، ابسیدین^{۲۴} (شکل ۱۰-۱)، که اغلب در مناطق آتشفشانی یافت می شود، کم و بیش از نظر ترکیب با شیشه ساخته شده توسط انسان قابل مقایسه است. این بدان معناست که شیشه حتی قبل از تولید نیز مورد استفاده قرار می گرفته است. چندین ماده شیمیایی توانایی ایجاد ساختار شیشه ای را دارند. مهم ترین مواد معدنی اکسیدهای سیلیکون (Si)، بور (B)، ژرمانیوم (Ge)، فسفر (P) و آرسنیک (As) هستند. «در صورت سرد شدن سریع پس از ذوب، این اکسیدها بدون تبلور جامد می شوند و شیشه تشکیل می دهند؛ مواد آمورف بین حالت شیشه و مایع، اساساً مایعات فوق سرد هستند». به طور کلی، اصطلاح شیشه به گروهی از شیشه های سیلیکاتی اطلاق می شود که حدود ۹۵٪ از کل تولید



شیشه را تشکیل می دهند. آن ها از حدود ۷۰ تا ۸۰٪ دی اکسید سیلیکون (SiO_2) تشکیل شده اند. با این حال، حالت شیشه ای محدود به اکسیدها نیست، بلکه از خنک شدن سریع چندین ترکیب گوگرد و سلیوم نیز حاصل می شود. تحت شرایط خاص، شیشه را می توان از آلیاژهای فلزی بدون اکسید تولید کرد و بسیاری از مایعات آلی در دماهای پایین به حالت شیشه ای تبدیل می شوند. در نتیجه، یکی از رایج ترین تعاریف شیشه به شرح زیر است: شیشه یک محصول معدنی ذوب است که در صورت سرد شدن بدون تبلور، حالت جامد به خود می گیرد. لازم به ذکر است که استفاده از اصطلاح شیشه محدود به اجزای معدنی است.



شکل ۱۰-۱ ابسیدین

در عصر حجر، مردم از شیشه طبیعی در جایی که به ابزاری با لبه تیز یا نوک پیکان نیاز داشتند، استفاده می کردند. هنر ساخت شیشه از زمان های بسیار قدیم برای بشر شناخته شده بوده است. شیشه از خاور نزدیک سرچشمه گرفته است؛ اولین یافته ها در مصر و در بین النهرین شرقی (عراق) بوده است. شیشه سازی به طور مستقل در یونان و چین توسعه یافته است. امروزه، تکنیک های بهبود یافته ای برای تولید شیشه وجود دارد که انواع زیادی از محصولات شیشه ای را تولید می کند که نیازهای صنعت را برآورده می کند. از این نظر، شیشه یکی از معدود مصالح ساختمانی است که سنت را با نوآوری تکنولوژیکی ترکیب می کند. محصولات شیشه ای در طیف گسترده ای از رنگ ها و اشکال موجود هستند و کاربردهای زیادی از پنل های شیشه ای رایج



(پرده ها، پنجره ها)، ظروف (بطری ها، شیشه ها) گرفته تا کاربردهای کم تر رایج (اما مهم) مانند فایبرگلاس برای عایق بندی یا شیشه برای الکترونیک (شیشه درزگیر/لحیم کاری) دارند.

شیشه یک ماده منحصر به فرد و بسیار متنوع است که می تواند برای نشان دادن خواص نوری، حرارتی، شیمیایی و مکانیکی خاص مهندسی شود. در دنیای ساخت و ساز، تصور معماری معاصر بدون شیشه تقریباً غیرممکن است. این ماده بخش جدایی ناپذیر بسیاری از نماها و سقف ها است. در دهه های اخیر، افزایش کاربرد شیشه در ساخت و ساز به دلیل ویژگی های زیر شیشه بوده است:

(الف) مقاومت فشاری بسیار بالا و مقاومت در برابر خوردگی

(ب) قابلیت بازیافت

(ج) کاهش مصرف انرژی

(د) پیشرفت های اخیر در پوشش های شیشه ای

(د) افزایش تقاضا برای معماری سازه های نازک تر و شفاف تر

علاوه بر این، شیشه رسانایی حرارتی و الکتریکی ندارد، که در لعاب بیرونی ضروری است.

دو دسته اصلی شیشه عبارتند از شیشه های محفظه دار (مثلاً بطری ها) و شیشه های تخت (پنجره ها در ساختمان ها و خودروها). شیشه تخت که مهم ترین محصول شیشه ای در ساخت و ساز است، ماده معمول برای پنجره ها، نماها و لعاب داخلی است. سپس می توان آن را برای تولید سایر محصولات شیشه ای مانند شیشه نشکن، شیشه لمینت و غیره پردازش کرد. شیشه رایج ترین محصول برای لعاب کاری است و مزایای زیر را ارائه می دهد: (الف) می توان آن را شفاف یا نیمه شفاف ساخت (ب) تولید آن بسیار ارزان است (ج) نسبتاً سخت و عموماً مقاوم در برابر خراش است (د) کاملاً بی اثر است و تا حد زیادی تحت تأثیر قرار گرفتن در





معرض اتمسفر معمولی قرار نمی گیرد (ه) عایق بسیار خوبی است (و) برش آن آسان است (ز) مقاومت عالی در برابر مواد شیمیایی دارد (ه) خواص نوری عالی دارد.

۱۰-۲ مواد اولیه

صنعت شیشه از طیف وسیعی از مواد اولیه استفاده می کند. بیش تر آن ها ترکیبات معدنی جامد هستند که از مواد بسیار درشت تا پودرهای ریز متغیرند. به طور کلی، مواد اولیه برای تولید شیشه به وفور در طبیعت، در دسترس، نسبتاً بی ضرر، طبیعی یا مصنوعی یافت می شوند. مواد اولیه مورد استفاده در شیشه سازی عموماً بر اساس عملکردی که در شیشه نهایی و/یا در فرآیند ذوب ارائه می دهند، طبقه بندی می شوند. توجه به این نکته مهم است که برخی از مواد اولیه می توانند به طور هم زمان عملکردهای مختلفی داشته باشند. آن ها مواد تشکیل دهنده مانند ماسه سیلیس، خرده شیشه، مواد واسطه/اصلاح کننده مانند خاکستر سودا، سنگ آهک، فلدسپات و عوامل رنگ آمیزی/تغییر رنگ دهنده مانند کرومیت آهن و اکسید آهن هستند. انتخاب مواد اولیه بر اساس معیارهای مختلفی مانند ترکیب و وجود ناخالصی ها، در دسترس بودن، پایداری، ویژگی های ذوب/انحلال و هزینه ها انجام می شود. بدیهی است که مواد اولیه را می توان قبل از تحویل، مثلاً برای کاهش اندازه دانه به مشخصات مورد نظر و/یا حذف ناخالصی ها، فرآوری کرد.

سیلیکون عنصر غالب در پوسته زمین است (در مجموع حدود ۷۵٪)، که با اکسیژن ترکیب می شود تا سیلیس (SiO_2) را تشکیل دهد. فقط سیلیس، با خلوص بالای خود (به صورت دانه های سنگ یا ماسه)، برای ساخت شیشه شفاف مناسب است. سیلیس کریستالی یک ماده چندشکلی است که در چندین شکل کریستالی با ترکیب شیمیایی یکسان، یعنی کوارتز، تریدیمیت و کریستوبالیت، وجود دارد. اگر سیلیس مذاب به آرامی سرد شود، چهاروجهی های سیلیس به صورت سه بعدی بازآرایی می شوند و پیوندهای کووالانسی را دوباره برقرار می کنند و کریستال ساخته می شود. در جایی که سیلیس به سرعت سرد می شود، چهاروجهی ها به صورت تصادفی ساختار یافته و شیشه ساخته می شود. تشکیل دهنده های شبکه، ستون فقرات شیشه هستند و با اکسیدها





مطابقت دارند که می توانند به تنهایی شیشه تشکیل دهند. SiO_2 تاکنون رایج ترین تشکیل دهنده شبکه در شیشه های تجاری است. ماسه سیلیس مهم ترین ماده اولیه برای ساخت شیشه است به طوری که منبع اصلی ماتریس سیلیس (SiO_2) است.

به همین دلیل، ساخت شیشه از نظر تاریخی در مکان هایی که ماسه سیلیسی خالص تهیه می شد، تکامل یافته است. برای داشتن بهترین کیفیت شیشه، باید عاری از آهن باشد. اگرچه تولید شیشه با ۱۰۰٪ کوارتز امکان پذیر است، اما نقطه ذوب بالای سیلیس (حدود ۱۷۰۰ درجه سانتی گراد) آن را آن قدر گران می کند که استفاده از آن به کاربردهای فنی خاصی محدود می شود، به عنوان مثال، شیشه برای استفاده در آزمایشگاه ها و یا برای صنعت اپتیک و اپتوالکترونیک. بنابراین، اجزای دیگری مانند کربنات سدیم و پتاسیم برای کاهش دمای ذوب تا حدود ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد اضافه می شوند. علاوه بر این، با افزودن عوامل گداز آور، عموماً کربنات سدیم، شیشه مذاب چسبناک تر و کارآمدتر می شود. وجود اکسید آهن در ماسه، در تعیین اینکه آیا ماسه برای ساخت شیشه شفاف یا رنگی مناسب است یا خیر، بسیار مهم است.

خاکستر سودا (Na_2CO_3) منبع اصلی اکسید سدیم (Na_2O) است. در طول ذوب، اکسید سدیم به بخشی از مذاب تبدیل می شود و دی اکسید کربن آزاد می شود. سولفات سدیم به عنوان یک عامل تصفیه کننده و اکسید کننده اضافه می شود، سولفات سدیم نیز منبع ثانویه اکسید سدیم است. کربنات پتاسیم (K_2CO_3) به عنوان یک عامل گداز آور عمل می کند و در برخی فرآورده ها، به ویژه برای شیشه های مخصوص، به کار می رود. سایر اکسیدهای فلزی برای تقویت شبکه ساختاری به شیشه اضافه می شوند تا سختی و مقاومت شیمیایی را بهبود بخشند. اکسید کلسیم (CaO) نیز همین اثر را نشان می دهد و به عنوان کربنات کلسیم (CaCO_3) عمدتاً به شکل سنگ آهک به شیشه اضافه می شود. همچنین می تواند به صورت دولومیت اضافه شود که حاوی کربنات کلسیم و کربنات منیزیم است. افزودن آهک، شیشه را سیال و برای دمیدن، کشش، نورد، پرس و ریسندگی مناسب می کند. آهک همچنین به شیشه دوام و استحکام می بخشد.





اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) برای افزایش مقاومت شیمیایی و افزایش ویسکوزیته در دمای پایین تر، در فرمولاسیون گنجانده شده است. اکسیدهای سرب (PbO و Pb_3O_4) درخشندگی و وزن را افزایش می دهند و شیشه را نرم تر و برش و حکاکی آن را آسان تر می کنند. اکسید باریم (مشتق شده از کربنات باریم)، اکسید روی یا اکسید پتاسیم می توانند به عنوان جایگزین اکسید سرب استفاده شوند، اگرچه چگالی و درخشندگی کمتری نسبت به کریستال سرب ایجاد می کنند. به طور خاص، باریم ضریب شکست را افزایش می دهد. تری اکسید بور (B_2O_3) مقاومت شیشه را در برابر خوردگی شیمیایی و همچنین مقاومت حرارتی و الکتریکی افزایش می دهد. این عنصر «در برخی محصولات، به ویژه شیشه های مخصوص (شیشه های بوروسیلیکات) و در الیاف شیشه (پشم شیشه و رشته های پیوسته) ضروری است؛ مهم ترین اثر آن کاهش ضریب انبساط شیشه است، اما در الیاف، ویسکوزیته و سیالیت را نیز تغییر می دهد تا به فبری شدن کمک کند و در برابر حمله آب مقاومت ایجاد کند». سریم گاهی اوقات برای جذب اشعه مادون قرمز اضافه می شود.

مواد حاوی فلوراید، مانند فلورسپار (CaF_2)، برای به دست آوردن کدوری برخی از محصولات شیشه ای استفاده می شوند. فلوراید همچنین برای بهینه سازی کشش سطحی و خواص سیالیت استفاده می شود. عناصر دیگری مانند مس، کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، وانادیوم، تیتانیوم، سلیوم و کادمیوم برای ایجاد رنگ در شیشه های سیلیکاتی استفاده می شوند. امروزه، رنگ نهایی شیشه در تولید شیشه ضروری است. بنابراین، گروه بسیار بزرگی از رنگ های مختلف را می توان بر اساس افزودن عناصر خاص تولید کرد. عوامل رنگ آمیزی معمولاً در نسبت های کوچک، کم تر از ۱ درصد وزنی، اضافه می شوند. آهن رایج ترین عنصر رنگ آمیزی در شیشه های سیلیکاتی است.

۱۰-۳ طبقه بندی انواع شیشه بر اساس ترکیب شیمیایی

رایج ترین طبقه بندی انواع شیشه بر اساس ترکیب شیمیایی است که چهار گروه اصلی را ارائه می دهد: شیشه سودا-آهک، شیشه بوروسیلیکات، کریستال سربی و شیشه ویژه. سه گروه اول بیش از ۹۵٪ از کل شیشه های





تولید شده در حال حاضر در جهان را تشکیل می دهند، در حالی که ۵٪ باقی مانده به هزاران فرمول شیشه ویژه که در مقادیر کم تولید می شوند، اختصاص دارد

شیشه سودا-آهک

بیش تر شیشه های صنعتی، از جمله آن هایی که برای بخش ساخت و ساز در نظر گرفته شده اند، ترکیبات مشابهی را نشان می دهند و در مجموع شیشه سیلیکات سودا-آهک (همچنین به عنوان شیشه سودا-آهک، شیشه خاکستر سودا، شیشه سودا و شیشه نرم شناخته می شود) نامیده می شوند. «بیش از ۹۰٪ از تولید شیشه در جهان بر اساس شیشه های اکسید سیلیکات سودا-آهک است». طبق استاندارد ASTM C162، شیشه سیلیکات سودا-آهک «ترکیب شیشه ای است که حاوی سودا (Na_2O)، آهک (CaO) و سیلیس (SiO_2) به عنوان مواد اصلی است». شیشه سیلیکات سودا-آهک معمولاً ارزان و به صورت تمیز و شفاف در دسترس است. ترکیب معمول شیشه سودا-آهک در اکسیدها را می توان به صورت ۷۱ تا ۷۵ درصد دی اکسید سیلیکون، ۱۲ تا ۱۶ درصد اکسید سدیم، ۱۰ تا ۱۵ درصد اکسید کلسیم و مقادیر کم سایر اجزای طراحی شده برای ایجاد خواص خاص در شیشه بیان کرد. این ترکیب به مواد اولیه خاص و شرایط فرآوری بستگی دارد. در برخی موارد، بخشی از اکسید کلسیم یا اکسید سدیم ممکن است رتیب با اکسید منیزیم و اکسید پتاسیم (K_2O) جایگزین شود.

نوع سیلیکات سودا-آهک در بسیاری از کاربردهای ساختمانی و عمرانی، از جمله شیشه های در و پنجره در ساختمان ها استفاده می شود. در واقع، بیش تر شیشه های مورد استفاده در ساختمان ها تقریباً منحصراً شیشه سیلیکات سودا-آهک هستند. کیفیت شیشه را می توان با افزودن آلومینا و اکسید منیزیم افزایش داد. استفاده گسترده از شیشه سودا-آهک ناشی از خواص شیمیایی و فیزیکی آن است. از جمله مهم ترین این خواص انتقال نور عالی است، از این رو در شیشه های تخت و محصولات شفاف استفاده می شود. دارای سطح صاف و غیر متخلخل است که از نظر شیمیایی تا حد زیادی بی اثر است، به طوری که می توان آن را به راحتی تمیز





کرد. «هرچه میزان قلیا در شیشه بیش تر باشد، ضریب انبساط حرارتی بالاتر و مقاومت در برابر شوک حرارتی و حمله شیمیایی کم تر است؛ بنابراین، شیشه های سودا-آهک معمولاً برای کاربردهایی که شامل تغییرات شدید یا سریع دما هستند، مناسب نیستند».

شیشه بوروسیلیکات

شیشه بوروسیلیکات، که معمولاً در صنعت ساخت و ساز برای لعاب های مقاوم در برابر آتش (مثلاً مقاوم در برابر آتش تا ۲ ساعت) استفاده می شود، حاوی نسبت مشخصی از اکسید بور (B_2O_3) به جای اکسید کلسیم است. استاندارد ASTM C162 شیشه بوروسیلیکات را به عنوان «شیشه سلیکاتی با محتوای B_2O_3 بالای ۴ درصد وزنی، با انبساط حرارتی متوسط تا کم، ویسکوزیته طولانی در برابر دما و چگالی کم» تعریف می کند. استاندارد EN 1748-1-1 بیان می کند که شیشه بوروسیلیکات «شیشه سلیکاتی حاوی بین ۷ تا ۱۵٪ اکسید بور است. در نتیجه ترکیب، مقاومت به شوک حرارتی بالا و مقاومت هیدرولیتیک و اسیدی بسیار بالایی دارد». همان طور که در استاندارد EN 1748-1-1 بیان شده است، «شیشه هایی با این ترکیب با مقاومت بالا در برابر خوردگی شیمیایی و تغییر دما (ضریب انبساط حرارتی پایین) مشخص می شوند». علاوه بر این خواص، تری اکسید بور در فیبرسازی مذاب شیشه اهمیت دارد. بنابراین، کاربرد دیگر شیشه بوروسیلیکات، تولید الیاف شیشه است.

کریستال سربی و شیشه ویژه

دو گروه بزرگ دیگر از شیشه ها معمولاً در ساخت و ساز استفاده نمی شوند. اکسید سرب معمولاً برای جایگزینی بخش زیادی از اکسید کلسیم در دسته برای تولید محصولی به نام کریستال سرب یا شیشه کریستال سرب استفاده می شود. محصولات معمول این نوع شیشه، لیوان های نوشیدنی با کیفیت بالا، تُنگ ها، کاسه ها و اقلام تزئینی هستند. شیشه های ویژه یک گروه بسیار متنوع را تشکیل می دهند که محصولات تخصصی با حجم کم و ارزش بالا را پوشش می دهد. ترکیب آن ها با توجه به خواص مورد نیاز محصولات، بسیار متفاوت

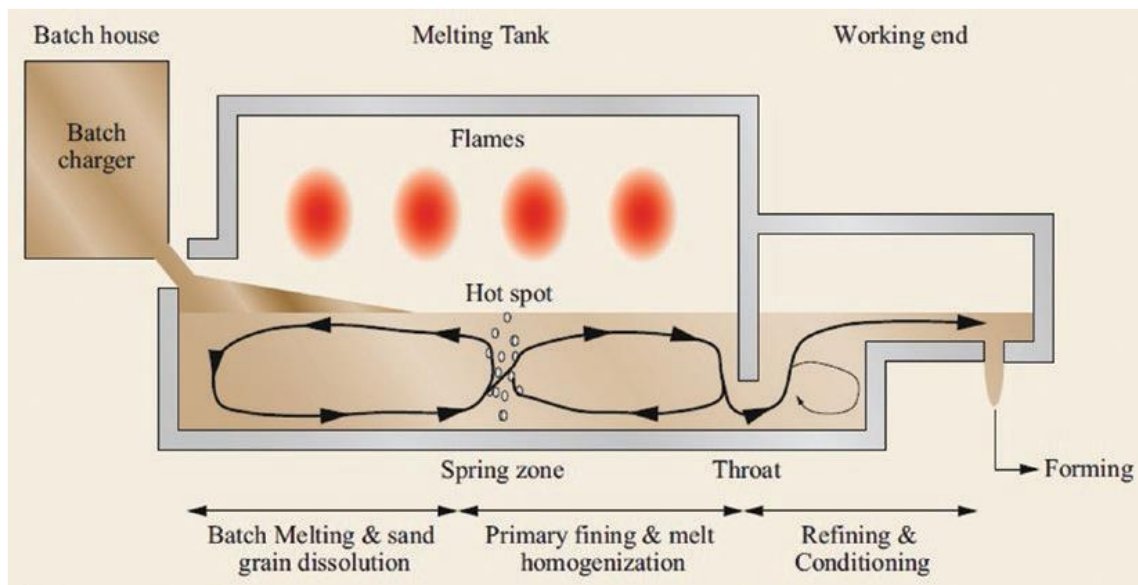




است. برخی از نمونه های این گروه از شیشه ها عبارتند از شیشه نوری، شیشه برای الکترو فناوری و الکترونیک، درزگیرهای شیشه ای و لحیم کاری، سرامیک های شیشه ای و غیره.

۱۰-۲ فرآیند تولید شیشه

بسته به نوع شیشه و مقدار تولید شده، تکنیک های پردازش و تولید از یک نوع شیشه به نوع دیگر بسیار متفاوت است. از زمان اولین محصولات شیشه ای ساخته دست بشر، حدود هزار سال پیش، تولید شیشه به طور مداوم برای تولید محصولات بهتر و ارزان تر، در عین کاهش مصرف برق و مسائل زیست محیطی فرآیند ساخت شیشه، بهبود یافته است. به عنوان یک قاعده، تولید شیشه شامل چهار مرحله اصلی است: بچینگ، ذوب، تصفیه یا پالایش، و شکل دهی یا فرم دهی. سه مرحله اول در تمام فرآیندهای تولید مورد نیاز است، در حالی که شکل دهی و عملیات بعدی به محصول نهایی تولید شده بستگی دارد. یک مخزن ذوب شیشه صنعتی معمولی در شکل ۱۰-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۲ فرآیند تولید شیشه صنعتی معمولی در مخزن ذوب

۱۰-۵ محصولات شیشه ای





از آن جایی که این جزوه مصالح ساختمانی را بررسی می کند، انواع اصلی محصولات شیشه ای پایه که باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: شیشه تخت، شیشه سکوریت، شیشه لمینت، شیشه عایق، شیشه منحنی، پشم شیشه، بلوک ها و سنگفرش های شیشه ای.

شیشه تخت

اصطلاح شیشه تخت منحصرأ به تمام شیشه هایی اطلاق می شود که صرف نظر از روش تولید، به شکل تخت تولید می شوند. طبق استاندارد ASTM C162، شیشه تخت «یک اصطلاح عمومی است که شامل شیشه ورقه ای، شیشه صفحه ای و انواع مختلف شیشه های نورد شده می شود.» بیش تر شیشه های تخت با شیشه سیلیکات سودا-آهک پایه تولید می شوند. شفافیت شیشه، استفاده از آن را در ساخت و ساز ساختمان ها برای قرن ها کاملاً مطلوب کرده است. با این حال، مشکلات تولید شیشه تخت برای اهداف لعب کاری منجر به ایجاد روش های مختلف تولید در طول سال ها شده است. در آغاز قرن بیستم، شیشه ورقه ای با استفاده از یک فرآیند نورد و/یا کشش خود کار پیوسته که از روش های دستی گذشته توسعه یافته بود، تولید می شد. مشکل بزرگ این بود که شیشه های تولید شده با این روش ها به سنگ زنی گسترده نیاز داشتند و پس از آن باید صیقل داده می شدند که زمان بر و پرهزینه بود.

شیشه سکوریت

خواص نوری ویژه شیشه، سختی خوب، مقاومت در برابر نور، پایداری حرارتی و مقاومت در برابر تابش و مواد شیمیایی، همگی به شیشه به عنوان مصالح ساختمانی شهرت خوبی می بخشند. با این حال، برخی از معایب آن عبارتند از: مقاومت کششی پایین، وابسته به خواص سطحی، و رفتار شکست ترد. فرآیند سکوریت کردن نقش اساسی در جبران این نقاط ضعف دارد؛ این فرآیند شباهت هایی با فرآیند مورد استفاده در بتن پیش تنیده دارد. بنابراین، شیشه بیش از حد فشرده می شود (تا بتواند تنش های کششی بالاتر را بدون آسیب تحمل کند) به گونه ای که ابتدا باید بر مقاومت فشاری ذاتی غلبه شود تا مقاومت کششی در شیشه ایجاد شود.





بر این اساس، عملکرد ساختاری شیشه از طریق پیش‌تندگی مصنوعی بهبود می‌یابد. بنابراین، شیشه سکوریت‌شده یا سفت‌شده، شیشه‌ای است که به‌صورت حرارتی (یا شیمیایی) برای بهبود عملکرد مکانیکی آن عملیات حرارتی می‌شود. برای کاربردهای شیشه سازه‌ای، سکوریت کردن مهم‌ترین روش پردازش است.

استاندارد ASTM C162 شیشه سکوریت را به‌عنوان «یک اصطلاح عمومی برای شیشه‌ای که تحت عملیات حرارتی با مشخصه خنک‌سازی سریع برای تولید یک لایه سطحی تحت تنش فشاری قرار گرفته است» تعریف می‌کند. استاندارد EN 12150-1 شیشه ایمنی مقاوم‌شده حرارتی را به‌عنوان «شیشه‌ای که در آن علاوه بر مقاومت مکانیکی اولیه، تنش فشاری سطحی دائمی توسط یک فرآیند گرمایش و سرمایش کنترل‌شده ایجاد شده است تا مقاومت آن در برابر تنش مکانیکی و حرارتی و ویژگی‌های خرد شدن از پیش تعیین‌شده به‌میزان قابل توجهی افزایش یابد» تعریف می‌کند. استاندارد ISO 12540 شیشه ایمنی سکوریت‌شده تخت را به‌عنوان «شیشه سکوریت‌شده (سخت‌شده حرارتی) که در طول تولید عمداً پروفیل خاصی به آن داده نشده است» تعریف می‌کند. شیشه سکوریت‌شده دو تا پنج برابر مقاوم‌تر از شیشه معمولی است. علاوه بر این، به قطعات کوچک بی‌ضرر با لبه‌های غیر تیز تبدیل می‌شود و از آسیب دیدن افراد جلوگیری می‌کند. (شیشه سکوریت‌شده، شیشه ایمنی نیز نامیده می‌شود).

شیشه لمینت

شیشه لمینت به‌عنوان «یک صفحه تخت با ضخامت یکنواخت که با اتصال دو یا چند لایه یا لایه شیشه‌ای یکپارچه با ضخامت برابر به‌همراه لایه‌های میانی پلی وینیل بوتیرال (PVB) ساخته می‌شود» (استاندارد ASTM E2461) و به‌عنوان «مجموعه‌ای متشکل از یک ورق شیشه با یک یا چند ورق شیشه و یا مواد ورق لعاب پلاستیکی که با یک یا چند لایه میانی به‌هم متصل شده‌اند» (استاندارد ISO 12543-1) تعریف می‌شود. احتمال شکستگی بدون هیچ‌گونه ذخیره باربری، استفاده از پنل‌های تکی را به‌عنوان عناصر باربری در کاربردهای سازه‌ای ساختمان ممنوع می‌کند. این مشکل را می‌توان با اتصال دو یا چند ورق شیشه به وسیله لایه‌های میانی





ویسکوالاستیک برطرف کرد. شکنندگی خود شیشه را نمی توان اصلاح کرد، اما لمینت کردن وسیله ای برای تولید یک قاب شیشه ای با شکلی از شکل پذیری فراهم می کند. طبق استاندارد ASTM C1172، «بسته به تعداد، ضخامت و نحوه پرداخت لایه ها، تعداد و ضخامت لایه های میانی، شیشه باید برای کاربردهایی از جمله ایمنی، امنیت، بازداشت، مقاومت در برابر طوفان/بادهای دوره ای، مقاومت در برابر انفجار، مقاومت در برابر گلوله، کاهش صدا و لعاب تزئینی، لمینت شود.»

مزایای شیشه لمینت عبارتند از: (الف) خواص آکوستیک بهتر نسبت به شیشه استاندارد یا سکوریت (ب) در اشکال ضخیم تر و چند لایه، شیشه لمینت می تواند در برابر انفجار و گلوله مقاوم باشد (ج) می توان آن را در کارگاه یا محل پروژه سوراخ کرد، بُرش داد و در غیر این صورت اصلاح کرد که انعطاف پذیری ساخت را افزایش می دهد (د) افزودنی های جاذب اشعه ماوراء بنفش در فیلم پلاستیکی می توانند تا ۹۹٪ از انتقال اشعه ماوراء بنفش را مسدود کنند (ه) اعوجاج نوری مرتبط با عملیات حرارتی را ندارد (و) برخلاف شیشه استاندارد یا سکوریت، هنگام شکستن در قاب باقی می ماند و درجه ای از امنیت و جداسازی را فراهم می کند.

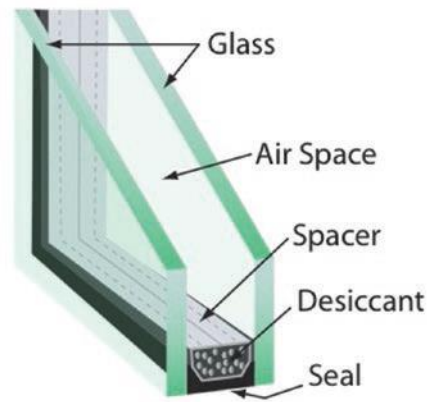
شیشه عایق

شیشه در مقایسه با فلزات، رسانای ضعیفی برای گرما است، اما عایق مناسبی برای سطح عملکرد حرارتی مورد نیاز در ساختمان های مدرن نیست. اضافه کردن لایه های پلاستیکی با استفاده از لمینت، عملکرد حرارتی را به اندازه کافی افزایش نمی دهد. بنابراین، بیش تر شیشه هایی که در حال حاضر در نمای ساختمان ها استفاده می شوند، به شکل واحدهای شیشه ای عایق، چه دوجداره و چه سه جداره، هستند. ایده اصلی شیشه عایق این است که فضای هوایی بین شیشه ها را در طول فرآیند تولید با هوای خشک یا یک گاز با رسانایی کم (مانند آرگون و زنون) پر کنید و دائماً محیط را برای جلوگیری از خروج گاز و جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل حفره خشک، آب بندی کنید (شکل ۱۰-۳). با حفره ای به عرض تنها ۱۲ میلی متر، بدون گاز پرکننده مخصوص و شیشه های بدون پوشش، انتقال حرارت در مقایسه با یک شیشه یکپارچه به نصف کاهش می یابد. عملکرد





حرارتی را می توان با اضافه کردن یک پوشش کم گسیل روی یک یا همه لایه های شیشه، بیش تر بهبود بخشید. واحدهای شیشه ای عایق علاوه بر صرفه جویی در انرژی، می توانند با کاهش تراکم در سمت هوای گرم، شفافیت را بهبود بخشند. شیشه عایق یکی از مهم ترین محصولات شیشه ای است و می تواند از تمام انواع شیشه های ذکر شده قبلی ساخته شود. شیشه های دوجداره (دو پنل شیشه ای با یک حفره) یا سه جداره (سه پنل شیشه ای با دو حفره) در بازار موجود است.



شکل ۱۰-۳ ساختار شیشه عایق

از آنجایی که حفره بین پنل های شیشه ای عایق گاز است (عرض ۱۲ تا ۲۰ میلی متر)، می توان آن را با هوای رطوبت زدایی شده یا گاز بی اثر پُر کرد تا کارایی عایق افزایش یابد. عرض حفره باید برای ایجاد یک لایه عایق از هوای ساکن یا گاز کافی باشد، اما نه آنقدر عریض که جریان های همرفتی بتوانند برقرار شوند. فاصله دهنده بین صفحات شیشه ای شامل یک جزء خشک کننده برای جذب رطوبت از هوای محبوس شده در حفره هنگام مونتاژ واحد است. مواد خشک کننده در ابتدا ژل سیلیکا بودند، اما اکنون موادی هستند که می توانند مقادیر زیادی رطوبت را جذب کرده و نقطه شبنم را در داخل واحد تا حدود ۸۰- درجه سانتی گراد در هنگام اولین آب بندی کاهش دهند.

شیشه خمیده





شیشه خمیده، شیشه ای است که تا نقطه نرم شدنش گرم شده و به شکل خمیده درآمده است (شکل ۱۰-۴). استانداردهای ASTM C162 و ISO 11485-1 شیشه خمیده را به عنوان «شیشه تختی که در حالت داغ به جسمی با سطوح خمیده تبدیل شده است» تعریف می کنند. این شیشه عمدتاً با شکل دادن به شیشه شناور در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد تولید می شود. چندین نوع روش تولید می تواند برای ایجاد انحنا استفاده شود. این نوع شیشه معمولاً برای شیشه خودرو استفاده می شود، اگرچه به دلیل هزینه بالای تولید، به ندرت در کاربردهای معماری یافت می شود.



شکل ۱۰-۴ نمونه ای از شیشه خمیده

شیشه الیافی

پشم شیشه یکی از انواع محصولات پشم معدنی است. به عنوان مثال، استاندارد ASTM C168 شیشه الیافی (کم و بیش شبیه پشم شیشه) را به عنوان «عایق الیاف شیشه ای مصنوعی ساخته شده با ذوب کردن عمدتاً ماسه سیلیس و سایر مواد معدنی و سپس تبدیل فیزیکی مذاب به الیاف» تعریف می کند. معمولاً به آن الیاف شیشه گفته می شود. به طور خاص، پشم شیشه نوعی ماده الیافی است که از مواد اولیه شیشه ذوب شده ساخته می شود (شکل ۱۰-۵).





شکل ۱۰-۵ پشم شیشه

بلوک های شیشه ای

استاندارد EN 1051-1 اشاره می کند که «بلوک های شیشه ای، بدنه های شیشه ای توخالی و هواوند قالب گیری شده برای استفاده در کاربردهای عمودی (مثلاً دیوارها) هستند» و «سنگفرش های شیشه ای، بدنه های شیشه ای قالب گیری شده، چه توپُر و چه توخالی، برای استفاده در کاربردهای غیر عمودی (مثلاً کف) هستند». استاندارد ISO 21690 بلوک شیشه ای توخالی را به عنوان «دو بدنه شیشه ای فشرده که برای تشکیل یک درزگیر هواوند که یک حفره را احاطه می کند» تعریف می کند. بلوک های شیشه ای عموماً با جوش دادن یا چسباندن دو یا چند واحد تحت فشار برای تشکیل یک درزگیر هواوند تولید می شوند. در مقابل، سنگفرش های شیشه ای را می توان به صورت یک قطعه واحد و یا با جوش دادن یا چسباندن دو یا چند واحد برای تشکیل یک درزگیر هواوند تولید کرد. مرکز بلوک یا سنگفرش توخالی است و تحت خلاء نسبی قرار دارد، که به خواص عایق بلوک می افزاید.

بنایی واحد شیشه ای با بلوک های شیشه ای (که آجرهای شیشه ای نیز نامیده می شوند) برای ساخت انواع دیوارهای غیرباربر (شکل ۱۰-۶) یا به عنوان پُرکننده غیرباربر در بازشوهای پنجره استفاده می شود. آن ها دارای درجه بالایی از عایق صوتی و حرارتی هستند. بلوک های شیشه ای باید به گونه ای استفاده شوند که فقط وزن





خود را به موازات سطوح قابل مشاهده و بار افقی ناشی از باد و بارهای ضربه ای عمود بر سطوح قابل مشاهده تحمل کنند. اشکال مختلف بلوک های شیشه ای (نوع، ضخامت، اندازه، شکل و الگوها) به همراه سیستم های نصب می توانند باهم ترکیب شوند تا طیف وسیعی از راه حل های طراحی را ایجاد کنند. ابعاد آنها می تواند از $90 \times 90 \times 20$ میلی متر تا $300 \times 300 \times 100$ میلی متر متغیر باشد. آنها شفاف هستند، می توانند رنگ آمیزی شوند و با سطوح صاف و بافت دار موجود هستند. لبه های آنها با یک ماده پلاستیکی حاوی شن و ماسه آب بندی می شود تا اتصال خوبی با ملات حاصل شود.



شکل ۱۰-۶ بلوک های شیشه ای در نقش دیوار غیر باربر





فصل یازدهم

چوب

۱-۱۱ مقدمه

چوب یک ماده کامپوزیت طبیعی با منشأ بیولوژیکی است که از یک ماده ناهمگن و ناهمسانگرد تولید شده توسط یک موجود زنده یعنی درخت تشکیل شده است. بلندترین درختان موجود روی زمین، سکویا سمپرویرنس، که در کالیفرنیا وجود دارد، ممکن است حتی به بیش از ۱۰۰ متر برسند (بلندترین آنها بیش از ۱۱۵ متر طول دارد). از زمان های قدیم، چوب مهم ترین ماده مورد استفاده برای محافظت و سرپناه در برابر باد، باران و سرما بوده است. در فرهنگ های توسعه یافته، هنر ساخت خانه با چوب از چند صد سال پیش کاملاً پیشرفته بوده است. از دوران صنعتی در قرن نوزدهم، که در آن چوب به طور گسترده در صنعت ساخت و ساز استفاده می شد، مصرف محصولات چوبی اولیه و ثانویه در ساخت و ساز به طور مداوم افزایش یافته است. چوب، احتمالاً اصلی ترین منبع برای اهداف ساختمان سازی و ساخت و ساز، امروزه به دلیل تطبیق پذیری، تنوع و ویژگی های زیبایی شناختی، اهمیت خود را در بازار ساختمان سازی و ساخت و ساز حفظ کرده است. چوب نسبت مقاومت به وزن بالایی دارد و به همین دلیل، در سازه هایی که چوب بخش زیادی از وزن خود را تحمل می کند، بیشترین کارایی را دارد.

چوب تنها ماده ساختمانی تجدیدپذیر اصلی است که قابل بازیافت و زیست تخریب پذیر است. علاوه بر این، چوب به مقدار کمی از فرآوری مبتنی بر انرژی نیاز دارد و همچنین در مقایسه با بسیاری از مواد دیگر





مورد استفاده در ساخت و ساز (مانند فولاد و بتن) سطح پایینی از انرژی تجسم یافته را نشان می دهد. بنابراین، استفاده از چوب و محصولات چوبی به توسعه پایدار کلی کمک می کند. چوب در تولید محصولات چوبی مختلف استفاده می شود که بیش تر آن ها به طور خاص برای استفاده به عنوان عناصر سازه ای و غیر سازه ای در ساخت ساختمان ها در نظر گرفته شده اند (شکل ۱۱-۱). کلمه چوب از کلمه قدیمی انگلیسی *timbrian* به معنای ساختن گرفته شده است. در سطح بین المللی، اصطلاحات چوب و الوار معمولاً به جای یک دیگر برای نشان دادن ماده اولیه مورد استفاده در ساخت محصولات چوبی استفاده می شوند.



شکل ۱۱-۱ بلندترین ساختمان چوبی جهان (نروژ)





چوب معمولاً در ساختمان‌ها به عنوان «در، پنجره، قاب، دیوارهای جداکننده موقت، سقف و غیره» استفاده می‌شود. با پیشرفت فناوری، چوب، به شکل طبیعی خود، به سرعت با مواد چوبی کامپوزیت جایگزین می‌شود که در آن‌ها چوب طبیعی تنها یک ماده اساسی از محصولات است. دلیل این امر این است که آن‌ها مفیدتر و سازگارتر هستند زیرا می‌توانند از نظر شیمیایی، حرارتی و غیره مورد پردازش قرار گیرند. نمونه‌هایی از این نوع محصولات عبارتند از تخته سه‌لا، تخته فیبر، چوب لمینت شده با چسب و چوب آغشته شده. چوب لمینت شده با چسب، که گاهی اوقات گلولام نامیده می‌شود، به یکی از اولین محصولات چوبی مهندسی شده تبدیل شد. هنوز هم در ساخت و ساز مدرن بسیار رقابتی است (شکل ۱۱-۲). امروزه، بسیاری از مواد چوبی مهندسی شده جدید با ویژگی‌های بسیار جالب از نظر شکل، ابعاد، ظاهر و عمدتاً خواص فیزیکی و مکانیکی وجود دارد.



شکل ۱۱-۲ سقف قوسی گلولام در ایستگاه مرکزی راه آهن استکهلم، ساخته شده در سال ۱۹۲۵

۱۱-۲ انواع چوب

چوب‌های تجاری را می‌توان بر اساس تقسیم‌بندی گیاه‌شناسی و نه بر اساس استحکام فیزیکی‌شان، به چوب‌های سخت و چوب‌های نرم طبقه‌بندی کرد. در واقع، این اصطلاحات نشان دهنده میزان استحکام یک درخت نیستند، زیرا برخی از چوب‌های نرم امروزه از چوب‌های سخت قوی‌تر هستند.





با وجود تنوع گسترده، همه درختان برخی ویژگی های مشترک را نشان می دهند. بنابراین، همه آنها گیاهان آوندی و چند ساله هستند که قادر به ضخیم شدن ثانویه یا افزودن رشد سالانه به رشد قبلی هستند. تنه درختان از مواد مختلفی تشکیل شده است که به صورت نوارهای متحدالمرکز وجود دارند. از بیرون درخت به داخل، پوست بیرونی، پوست داخلی، کامبیوم آوندی، برون چوب، درون چوب و مغز درخت قرار دارند. پوست بیرونی از پوست نرم تر داخلی محافظت مکانیکی می کند و به جلوگیری از تبخیر آب کمک می کند. پوست داخلی بافتی است که از طریق آن قندها (غذا) تولید شده توسط فتوسنتز از برگ ها به ریشه ها یا قسمت های در حال رشد درخت تبدیل می شوند. کامبیوم لایه ای از سلول ها است که بین قسمت چوبی درخت و پوست (لایه داخلی پوست) قرار دارد. برون چوب، چوب فعال و زنده ای است که آب (یا شیر گیاهی) را از ریشه ها به برگ ها منتقل می کند. به استثنای درختان جوان، برون چوب از ۱۰ تا ۶۰ درصد کل شعاع را تشکیل می دهد، که مقادیر معمول آن از ۲۰ تا ۵۰ درصد متغیر است. در درختان بسیار جوان، برون چوب در کل شعاع گسترش می یابد. درخت درون چوب، ناحیه داخلی چوب است که در یک درخت در حال رشد، شامل سلول های زنده یا انتقال شیر درخت می شود. این ناحیه اغلب تیره تر از برون چوبی است که همیشه به وضوح از آن متمایز نمی شود. مغز، که گاهی اوقات مرکز قلب نامیده می شود، ناحیه ای در اولین حلقه رشد است که عمده تاً از بافت نرم تشکیل شده است.

در یک تحلیل دقیق، می توان نوارهای متحدالمرکزی را مشاهده کرد که حلقه های رشد نامیده می شوند (شکل ۱۱-۳)؛ هر کدام مربوط به یک فصل رویشی درخت است. عرض حلقه های رشد به گونه و شرایط رشد بستگی دارد؛ در مناطق معتدل، حلقه های رشد مربوط به حلقه های سالانه هستند. بنابراین، سن یک درخت را می توان از تعداد حلقه های سالانه در برش عرضی تنه درخت در پایه آن تخمین زد. هنگامی که یک درخت به سن خاصی می رسد، عموماً از پنج تا سی سالگی (بسته به گونه)، شروع به تبدیل چوب برون به چوب درون می کند. این دگرگونی که از ناحیه مرکزی تنه درخت ساطع می شود، ناشی از مرگ سلول ها





است و به تغییرات شیمیایی و فیزیکی مربوط می شود. این فرآیند به معنای توقف انتقال شیره و تشکیل و رسوب محصولات باقیمانده (مواد استخراجی) است. اغلب شامل تغییر رنگ چوب، کاهش نفوذپذیری آن و در بیشتر موارد افزایش دوام طبیعی است. این امر به این دلیل است که محصولات رسوب شده روی چوب درون درخت ممکن است برای قارچ ها و حشراتی که معمولاً چوب را تجزیه می کنند، دافع و سمی باشند.



شکل ۱۱-۳ حلقه های رشد یک درخت

۱۱-۳ خواص چوب

مانند بسیاری از مواد طبیعی، چوب جاذب رطوبت است، به این معنی که آب را جذب می کند. تبادل رطوبت بین چوب و هوا به رطوبت نسبی و دمای هوا و مقدار فعلی آب در چوب بستگی دارد. رابطه رطوبت تأثیر اساسی بر خواص مکانیکی و فیزیکی چوب دارد. بسیاری از چالش های استفاده از چوب به عنوان یک ماده مهندسی ناشی از تغییرات در میزان رطوبت یا فراوانی رطوبت در چوب است. میزان رطوبت چوب معمولاً بسته به رطوبت نسبی هوا بین ۸ تا ۲۵ درصد وزنی متغیر است. وجود رطوبت در چوب نه تنها جرم چوب را افزایش می دهد، بلکه منجر به تورم چوب نیز می شود. بنابراین، هم جرم و هم حجم تحت تأثیر قرار می گیرند. به طور کلی، چگالی چوب معمولاً با رطوبت ۱۲٪ در نظر گرفته می شود، زیرا این مقدار معمولاً در چوب های مورد استفاده مشاهده می شود.





وقتی چوب در معرض نیروهای فشاری (موازی با محور رشد) قرار می گیرد، معمولاً یکی از قوی ترین مصالح ساختاری محسوب می شود. در جهت الیاف، مقاومت کششی معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از مقاومت کششی عمود بر الیاف است. این مقاومت همچنین به چگالی چوب بستگی دارد. مقاومت برشی چوب از ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت کششی آن در جهت الیاف است. مقاومت برشی توسط گره ها و ترک هایی که می توانند در چوب وجود داشته باشند، تضعیف می شود.

مهم ترین خواص حرارتی چوب عبارتند از رسانایی حرارتی، ظرفیت حرارتی، انتشار حرارتی و ضریب انبساط حرارتی. رسانایی حرارتی چوب به دلیل تخلخل چوب نسبتاً کم است. این امر تحت تأثیر عواملی مانند چگالی، میزان رطوبت، میزان مواد استخراجی، جهت الیاف، بی نظمی های ساختاری (مانند ترک ها و گره ها) و دما قرار می گیرد. رسانایی حرارتی با افزایش چگالی، میزان رطوبت، دما و میزان مواد استخراجی چوب افزایش می یابد. در جهت الیاف، رسانایی حرارتی چوب تقریباً دو برابر عمود بر الیاف است. ظرفیت حرارتی چوب به دما و میزان رطوبت آن بستگی دارد، اما تقریباً مستقل از چگالی یا گونه است. بنابراین، ظرفیت حرارتی چوب حاوی آب بیش تر از چوب خشک است. به دلیل رسانایی حرارتی کم و چگالی و ظرفیت حرارتی متوسط چوب، انتشار حرارتی چوب بسیار کم تر از سایر مصالح ساختمانی مانند فلز، آجر و سنگ است. به همین دلیل، چوب خیلی گرم یا خیلی سرد احساس نمی شود. با توجه به ضریب انبساط حرارتی، چوب در اثر گرما منبسط و در اثر سرما منقبض می شود.

چوب ماده ای سبک است، بنابراین راندمان عایق صوتی آن خوب نیست. چوب صدا را در جهت طولی الیاف چوب بهتر از عمود بر آن هدایت می کند. سرعت صدا در عرض الیاف چوب حدود یک پنجم تا یک سوم مقدار طولی است». بنابراین، سطح لازم عایق صوتی در ساختمان های چوبی را می توان به طور کلی با استفاده از سیستم ساخت چند لایه از نظر ساختاری به دست آورد.

۴-۱۱ محصولات چوبی





برای این که چوب برای تولید محصولات چوبی مورد استفاده قرار گیرد، مواد اولیه باید از درختان و گندها تهیه شوند که شامل موادی با کیفیت متفاوت بر اساس عوامل مختلفی مانند گونه، محل، سن و موقعیت در ساقه می شوند. محصولاتی مانند تخته سه لا و الوار روکش چند لایه از لایه هایی ساخته می شوند که از پوست کندن یا برش دادن گندها به دست می آیند، در حالی که الوار اره شده، که خود یک محصول نهایی است، به عنوان ماده اولیه اصلی برای محصولاتی مانند الوار چند لایه و تیرهای چند لایه چسبی استفاده می شود. انواع مختلفی از محصولات چوبی، که گاهی اوقات محصولات چوبی مهندسی شده یا کامپوزیت های چوبی نامیده می شوند، در ساختمان سازی و ساخت و ساز استفاده می شوند. طبقه بندی خلاصه ای از این محصولات، دسته های زیر را نشان می دهد: (الف) تخته سه لا و سایر محصولات مبتنی بر روکش (ب) پانل های چوبی (ج) چوب های چند لایه (د) سایر کامپوزیت های چوبی (به عنوان مثال، کامپوزیت های چوب-پلیمر).

تخته سه لا

طبق استاندارد ASTM D906، تخته سه لا «پانلی است که عموماً مسطح و از لایه های روکش (شکل ۱۰-۴) به نام لایه ها ساخته شده و تحت فشار توسط چسب به هم متصل شده و یک پنل با پیوند بین لایه ها به استحکام چوب یا قوی تر از آن ایجاد می کند». استاندارد EN 313-2 تخته سه لا را به عنوان «پانلی چوبی متشکل از مجموعه ای از لایه ها که با جهت رگه در لایه های مجاور معمولاً در زاویه قائمه به هم چسبانده شده اند» تعریف می کند.



شکل ۱۱-۴ تخته سه لا





تاریخچه تخته سه لا را می توان به قرن ها پیش نسبت داد، اما اهمیت آن به عنوان یک محصول چوبی مهندسی شده ساختاری از طریق دو نوآوری مهم رخ داد: اختراع لایه برداری چرخشی برای تولید روکش چوبی نازک در اواخر قرن نوزدهم و ظهور چسب های ضد آب مصنوعی در اوایل قرن بیستم. اولین تخته فیبرهای ساخته شده با ترکیبی از الیاف چوب و دما و فشار بالا بدون چسب های اضافی که شبیه به تخته فیبر سخت بودند، در سال ۱۸۹۸ به دست آمدند. بعدها، اقتباس هایی از روش لایه گذاری منجر به ترکیب محصولاتی مانند الوار روکش چند لایه و الوار رشته موازی شد که زمینه های کاربردی جدیدی را برای محصولات چوبی مهندسی شده مبتنی بر روکش ایجاد کرد.



قیر

۱-۱۲ مقدمه

اصطلاح مواد قیری معمولاً شامل تمام موادی می شود که از سنگدانه هایی تشکیل شده اند که با قیر یا قطران پیوند خورده اند، اصطلاح دوم قبل از دوران قیر به عنوان یک ماده چسبنده استفاده می شد. مواد قیری تقریباً منحصرراً در ساخت جاده ها استفاده می شوند (شکل ۱-۱۲)، اگرچه قیر کاربردهای صنعتی و سایر اشکال ساخت و ساز، مانند عناصر سقف، رنگ ها، پوشش های ویژه برای ضد آب کردن و غیره را نیز برآورده می کند. در حال حاضر، طیف گسترده ای از مواد قیری در ساخت و ساز استفاده می شوند که هر کدام ویژگی های متمایز خود را نشان می دهند. هنگام انتخاب مواد مناسب برای هر کاربرد، باید معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی در نظر گرفته شود.



شکل ۱-۱۲ ساخت جاده با استفاده از مصالح قیری



این فصل بر قیر تولید شده توسط پالایش نفت (نفت خام)، از جمله نفت خام هایی که از ذخایر ماسه نفتی و شیل نفتی تهیه و فرآوری می شوند، تمرکز دارد. اگرچه ذخایر قیر مانند دیگری نیز وجود دارند، یعنی آسفالت طبیعی، آسفالت دریاچه ای و آسفالت سنگی، در این فصل اصطلاح قیر فقط به محصولی اشاره دارد که از طریق فرآیندهای مختلف پالایش از نفت به دست می آید. باید در نظر داشت که قیر نفتی با نام های مختلفی شناخته می شود. به عنوان مثال، اصطلاح قیر به طور سنتی به عنوان مترادف آسفالت یا چسب آسفالت استفاده می شود. در برخی کشورها، اصطلاح آسفالت معمولاً برای توصیف مخلوط های قیر با اجزای معدنی، مانند سنگدانه ها، استفاده می شود. به عنوان مثال، استاندارد ISO 15642 مخلوط آسفالت را به عنوان «یک محصول روسازی همگن متشکل از سنگدانه های معدنی دانه بندی شده، احتمالاً شامل افزودنی ها و پُرکننده، که به صورت جمعی و یکنواخت با چسب پوشانده شده اند» تعریف می کند.

قیر بیش از ۲۵۰ کاربرد شناخته شده دارد که بیش تر آن ها در کاربردهای سنگفرش و سقف سازی استفاده می شوند: (الف) تخمین زده می شود که ۸۵٪ از کل قیر به عنوان چسب در انواع مختلف روسازی های آسفالتی (مثلاً جاده ها، فرودگاه ها - شکل ۱۲-۲ و غیره) استفاده می شود. (ب) تخمین زده می شود که حدود ۱۰٪ از قیر برای سقف سازی (سقف های گرم، سقف های غلتکی سرد و غیره) استفاده می شود. (ج) بخش باقیمانده (حدود ۵٪ از کل) برای کاربردهای متنوعی (پوشش لوله های آب، رنگ های قیری، عایق بندی و مواد آب بندی و غیره) استفاده می شود. این بخش عموماً سایر کاربردها نامیده می شود.



شکل ۱۲-۲ آسفالت مورد استفاده در فرودگاه





قیر یکی از قدیمی ترین مواد مهندسی شناخته شده برای بشریت است. قیر از آغاز تمدن مورد استفاده قرار می گرفته است.

قیری که در حال حاضر در جاده ها و ساختمان ها استفاده می شود، از نفت خام با دقت انتخاب شده تصفیه می شود. این شامل بخش غیر قابل تقطیر است که اغلب از نظر فنی به آن پسماند می گویند. نفت خام کشورهای مختلف بسته به میزان قیر آن ها متفاوت است. قیر، به عنوان کسری از نفت خام، عموماً از ۲۰ تا ۵۰٪ متغیر است. نفت خام خاورمیانه و دریای شمال حتی پس از تقطیر برای به دست آوردن قیر نهایی به فرآوری بیش تری نیاز دارند. این منابع محتوای قیر بسیار کمی دارند. در مقابل، نفت خام کارائیب و کشورهای اطراف آن بیش ترین میزان قیر قابل استخراج را تولید می کنند. به طور کلی، از نفت خام سنگین برای تولید قیر با کیفیت مورد نیاز استفاده می شود، اگرچه به عنوان یک چالش اضافی، این نفت خام ها حاوی درصد گوگرد بالاتری هستند. روش های پالایش متعددی برای تولید انواع مختلف قیر وجود دارد و امکان تولید ویژگی های خاص در محصول نهایی را فراهم می کند. بنابراین، هم خواص و هم کیفیت قیر عمدتاً به نفت خام مورد استفاده در تولید آن بستگی دارد. تولید کنندگان معمولاً چندین نفت خام را با هم مخلوط می کنند تا قیری با کیفیت بالا و سازگار با مشخصات مهندسی دقیق به دست آورند. دو فرآیند اصلی در تولید قیر قابل تشخیص است: تقطیر و مخلوط کردن.

قیر مخلوط شیمیایی پیچیده ای از مولکول ها، عمدتاً هیدروکربن های قطبی و غیرقطبی و گروه های عاملی، از جمله اتم های گوگرد، نیتروژن و اکسیژن است. قیر می تواند حاوی مقادیر ناچیزی از عناصر فلزی مانند آلومینیوم، مس، وانادیوم، نیکل، آهن، سرب، منیزیم، کلسیم و بسیاری دیگر باشد؛ این عناصر عمدتاً در اجزای سنگین تر یا غیر فرار روغن ها یافت می شوند که برخی از آن ها به عنوان آلاینده های معدنی احتمالاً به شکل کلوئیدی، و همچنین به عنوان نمک های معدنی، کمپلکس های فلزات واسطه و ساختارهای پورفیرین وجود دارند. بنابراین، مواد قیری تولید شده از نفت خام مختلف، ترکیب شیمیایی تقریبی اصلی زیر را نشان می دهند:





(الف) کربن: ۸۱-۸۹٪، (ب) هیدروژن: ۸-۱۲٪، (ج) گوگرد: ۰-۷٪، (د) اکسیژن: ۰-۱/۵٪، و (ه) نیتروژن: ۰-۱٪. این ترکیب مسلماً می تواند بسته به منبع نفت خام تولید شده از قیر، تغییرات ناشی از دمیدن در طول تولید و فرآیندهای مسن شدگی متفاوت باشد.

گرچه ترکیب شیمیایی دقیق قیر بسیار پیچیده است، اما قیر را می توان به دو گروه شیمیایی گسترده به نام های آسفالتن ها و مالتن ها تقسیم کرد. مالتن ها را می توان به گروه های اشباع، آروماتیک ها و رزین ها تقسیم کرد. توصیف قیر بر اساس خانواده های اجزا ضروری است، زیرا تخمین زده می شود که تعداد اجزای شیمیایی منفرد حدود ۱۰۰۰۰ باشد. بخش های مختلف را می توان با استفاده از استخراج با حلال، جذب توسط جامدات ریز و حذف محلول جذب نشده توسط فیلتراسیون، کروماتوگرافی و/یا تقطیر مولکولی که در ترکیب با یکی از تکنیک های قبلی استفاده می شود، از هم جدا کرد.

آسفالتین ها بخش پیچیده ای از هیدروکربن های آروماتیک حلقوی قطبی با بالاترین وزن مولکولی را تشکیل می دهند. اجزای قیر این خانواده، جامدات آمورف سیاه یا قهوه ای نامحلول در آلکان های با وزن مولکولی کم مانند پنتان، هگزان و هپتان ها هستند. آسفالتین ها علاوه بر کربن و هیدروژن، اغلب حاوی مقداری نیتروژن، گوگرد و اکسیژن هستند. برای هر قیر مشخص، محتوای بخش آسفالتین ها بر اساس حلال های انتخاب شده تغییر می کند. رنگ و سایر خواص فیزیکی آسفالتین های جدا شده نیز وابسته به حلال هستند.

خانواده دوم اجزای قیر، مالتن ها هستند. مالتن ها را می توان به رزین ها (هیدروکربن های بسیار قطبی) و روغن ها (که به آروماتیک ها و اشباع ها تقسیم می شوند) تقسیم کرد. اگر مقادیر کمی حلال استفاده شود، رزین ها، که بخشی از بخش مالتن ها را تشکیل می دهند، ممکن است روی سطوح آسفالتین جذب شوند و درصد بالاتری از آسفالتین ها را تولید کنند. مالتن ها شامل هیدروکربن های آروماتیک حلقوی قطبی با وزن مولکولی نسبتاً پایین تر (در مقایسه با آسفالتین ها) هستند که رزین نامیده می شوند.





۱۲-۲ ویژگی های قیر

هر قیر برای یک کاربرد خاص طراحی و تولید می شود. صرف نظر از ویژگی های فیزیکی اصلی، شرایطی مانند دمای کاربرد و سایر عوامل مرتبط با کاربرد باید برای درک و ارزیابی پتانسیل قرار گرفتن قیر در معرض مواد شیمیایی در نظر گرفته شود. علاوه بر این، خواص مواد قیری تولید شده در پالایشگاه را می توان برای کاربردهای نهایی خاص اصلاح کرد. قیر مورد استفاده در روسازی معمولاً بر اساس خواص فیزیکی خاص مانند غلظت، چسبندگی، ویسکوزیته، سختی و شکنندگی تعیین می شود که همه آنها در دمای معین هستند. این ویژگی ها برای کاربردهای کارآمد روسازی قیر و در نتیجه کیفیت و دوام روسازی ضروری هستند.

مواد قیری در دمای محیط جامدات ترموپلاستیک یا نیمه جامد هستند. در نتیجه، این مواد با افزایش دما نرم می شوند و در صورت کاهش دما سفت می شوند. در دمای بالا، ویسکوزیته با افزایش دما کاهش می یابد، یعنی مواد قیری مانند مایعات نیوتنی رفتار می کنند. به همین دلیل، قیر باید برای جابجایی و کاربرد پیش بینی شده گرم شود. از آنجایی که ویسکوزیته قیر با دما تغییر می کند، قیر بر اساس محدوده های غلظت در دمای استاندارد درجه بندی می شود. غلظت کلمه ای است که برای توصیف درجه سیالیت و یا پلاستیسیته قیر در هر دمایی استفاده می شود. این نشان دهنده یک ویژگی اساسی قیر است. بی دقتی در کنترل دما و اختلاط می تواند باعث آسیب سخت شدن بیش تر به قیر روسازی نسبت به سال ها کارکرد در جاده شود.

یکی دیگر از ویژگی های مهم مهندسی قیر، شکل پذیری آن است که توانایی قیر را برای کشیده شدن، کشش یا تغییر شکل اندازه گیری می کند. در قیر آسفالت، وجود یا عدم وجود شکل پذیری معمولاً جالب تر از درجه واقعی شکل پذیری است، زیرا قیر آسفالت با درجه شکل پذیری بالا، حساسیت بیش تری به دما دارد. ترکیب شیمیایی معمولاً برای مواد مختلف قیر مشابه است. با این حال، برخی تغییرات می تواند در رابطه با نفت خام اولیه و فرآیندهایی که در طول پالایش و مخلوط کردن رخ می دهد، رخ دهد. اجزای شیمیایی قیر، غلظت





آن را تعیین می کنند. بنابراین، نسبت نسبی آسفالتین ها (با وزن مولکولی بالا) مسئول استحکام و سختی است؛ رزین ها مسئول چسبندگی هستند؛ و روغن ها (با وزن مولکولی کم) مسئول ویسکوزیته و سیالیت هستند.

۱۲-۳ انواع قیر

انواع مختلفی از قیر با خواص، مشخصات و کاربردهای مختلف در بازار موجود است که بسته به نیاز صنعت مصرف کننده مورد استفاده قرار می گیرند. بر اساس نوع محصول، بازار اساساً به قیر نفوذی، قیر اصلاح شده پلیمری، امولسیون قیر، قیر محلول و قیر اکسید شده تقسیم می شود.

قیر نفوذی

قیر نفوذی (شکل ۱۲-۲) شامل مواد قیری پالایشگاهی است که طیف وسیعی از مقادیر ویسکوزیته را نشان می دهند. این اصطلاح از آزمایش نفوذی که برای توصیف این نوع قیر بر اساس سختی استفاده می شود، گرفته شده است. ترکیبی از فرآورده های دمیدن هوا، رسوب حلال یا آسفالت زدایی با پروپان می تواند برای تولید درجه های مختلف قیر استفاده شود. اکثر قیرهای نفوذی در کاربردهای جاده سازی استفاده می شوند. در سال های اخیر، تمایل به استفاده از قیر سخت تر بوده است که آسفالت هایی با خواص برتر نسبت به قیرهای تولید شده با درجه های نرم تر تولید می کند. قیر نفوذی با استفاده از آزمایش های نفوذ و نقطه نرمی مشخص می شود، اگرچه نامگذاری منحصرأ بر اساس مقدار نفوذ است. این به عنوان درجه نفوذ بیان می شود، به عنوان مثال درجه نفوذی ۶۰/۴۰ یا درجه نفوذی ۱۵۰/۱۰۰.

قیر اصلاح شده پلیمری

قیر اصلاح شده پلیمری محصولاتی که مخلوطی از قیر با اجزای غیرقیری هستند، می توانند به عنوان قیر اصلاح شده پلیمری طبقه بندی شوند. علاوه بر استفاده از قیر معمولی در آسفالت، یکی از روش های دستیابی به مخلوط قیر با مقاومت بیش تر (برای کاهش میزان تغییر شکل و ترک خوردگی)، اصلاح قیر با پلیمرها





(اصلاح کننده ها) است که آن را برای کاربردهای خاص مناسب کرده و عملکرد را بهبود می بخشد. بنابراین، قیر اصلاح شده پلیمری نوعی قیر است که با اصلاح مقاومت و خواص رئولوژیکی قیر نفوذی با افزودن پلیمرها به دست می آید. پلیمرها معمولاً یا پلاستیک هستند یا لاستیک و با افزایش پاسخ الاستیک، بهبود چسبندگی و مقاومت در برابر شکست و ایجاد شکل پذیری بیش تر، استحکام و خواص ویسکوالاستیک قیر نفوذی را تغییر می دهند. به طور کلی، قیر اصلاح شده ویسکوزیته بالاتر و نقطه نرمی بالاتر نسبت به قیر معمولی (اصلاح نشده) مربوطه نشان می دهد.



شکل ۱۲-۳ قیر نفوذی

امولسیون قیر

صرف نظر از کاربرد نهایی، شرایط کاربرد معمولاً به قیری نیاز دارد که به عنوان یک مایع متحرک رفتار کند. این نوع قیر معمولاً امولسیون قیر نامیده می شود. امولسیون قیر یک گزینه سازگار با محیط زیست است که در آن قیر با پراکندگی در آب به ذرات کوچک تبدیل می شود.



**قیر محلول**

قیر محلول قیری است که با اجزای هیدروکربنی کمابیش فرار (سوخت‌ها)، عمدتاً نفت سفید، مخلوط شده است. قیر محلول، درجه‌ای از قیر است که در دسته قیر نفوذی قرار می‌گیرد. این قیر با رقیق کردن (کاهش) قیر با یک جزء نفتی فرار، مانند نفت سفید، تولید می‌شود که ویسکوزیته قیر را به‌طور موقت کاهش می‌دهد و در نتیجه محصولی نرم و قابل اجرا در دمای پایین‌تر از قیر خالص تولید می‌شود. پس از استفاده، جزء فرار تبخیر می‌شود و قیر به ویسکوزیته قبلی خود بازمی‌گردد. بیش‌تر قیر محلول در کاربردهای اسپری به‌عنوان عملیات سطحی استفاده می‌شود و در دمایی از دمای محیط تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. در این کاربردها و برخی از انواع مخلوط‌های قیری، لازم است قیر سیالی وجود داشته باشد که بتواند در دماهای نسبتاً پایین اعمال و مخلوط شود، اما پس از ریختن، سختی کافی داشته باشد. قیرهای محلول معمولاً برای اسپری کردن و برخی از کاربردهای اختلاط استفاده می‌شوند. با این وجود، باید توجه داشت که قیر محلول تا حد زیادی با امولسیون قیر سازگارتر با محیط‌زیست جایگزین شده است.

قیر اکسید شده

قیر پالایشگاهی با وارد کردن هوای فرآوری شده (دمیدن هوا) برای تولید قیر اکسید شده (قیر دمیده شده در هوا، قیر تصفیه شده در هوا) بیش‌تر تصفیه می‌شود. این شامل وارد کردن هوای تحت فشار به قیر نرم تحت شرایط دمایی کنترل شده است تا خواص فیزیکی مورد نیاز برای استفاده صنعتی از محصول نهایی حاصل شود. ترکیباتی با وزن مولکولی بالاتر با واکنش اجزای اکسیژن وارد شده و قیر تشکیل می‌شوند. بنابراین، محتوای آسفالتین‌ها به قیمت محتوای مالتن‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه قیرهای سخت‌تر تولید می‌شوند. این مخلوط سخت‌تر، شکل‌پذیری و حساسیت دمایی کم‌تری را نشان می‌دهد. قیر اکسید شده معمولاً برای کاربردهای صنعتی، مانند سقف، کفپوش، بتونه، پوشش لوله، رنگ، کاربردهای هیدرولیک و غیره استفاده می‌شود. قیر جاده‌ای با درجه نفوذ کم (قیر درجه سنگفرش) نیز می‌تواند با این فرآیند تولید شود.





۱۲-۴ دوام قیر

یکی از تعاریف دوام آسفالت به شرح زیر است: «توانایی مواد تشکیل دهنده مخلوط برای مقاومت در برابر اثرات آب، مسن شدگی و تغییرات دما، در شرایط بار ترافیکی معین، بدون زوال قابل توجه برای یک دوره طولانی». در حالی که یکپارچگی سنگدانه ها یک ویژگی مهم در عملکرد بلندمدت آسفالت است، در درجه اول جنبه های مرتبط با ویژگی های مسن شدگی قیر است که بیشترین تأثیر را بر دوام محصولات قیری دارد.

۱۲-۵ کاربردهای قیر

کاربردهای قیر مواد قیری کاربردهای زیادی در ساختمان ها و کارهای مهندسی عمران دارند. برخی از آنها، به ترتیب اهمیت، به شرح زیر هستند: (الف) روسازی (ب) سقف سازی و (ج) رنگ ها.

روسازی ها

آسفالت ترکیبی از تقریباً ۹۰ تا ۹۵ درصد سنگدانه های دانه بندی شده به همراه پرکننده و در برخی موارد افزودنی ها است. قیر کم تر از ۵ درصد باقی مانده مخلوط را تشکیل می دهد که در آن جزء سیاه و چسبنده ای را تشکیل می دهد که سنگدانه ها را به هم می چسباند تا یک مخلوط چسبنده تشکیل دهد. علاوه بر این مواد طبیعی، برخی افزودنی ها مانند عوامل چسبندگی، اصلاح کننده ها و الیاف را می توان برای تأثیرگذاری بر عملکرد محصول به کار برد. یک روسازی آسفالتی معمولی شامل سازه جاده ای بالای سطح سازند است که شامل مواد غیر چسبنده و قیری می شود. این به روسازی این قابلیت را می دهد که بارهای ترافیک را قبل از رسیدن به سطح سازند توزیع کند (شکل ۱۲-۴). مخلوط های آسفالت را می توان در دماهای مختلف تولید کرد: مخلوط های داغ، ولرم و سرد. مخلوط های آسفالت گرم معمولی معمولاً بسته به نوع قیر، در دمایی بین ۱۲۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی گراد تولید می شوند. بسته به کاربرد خاص، از چندین مخلوط آسفالت گرم استفاده می شود، مانند بتن آسفالتی، آسفالت ماستیک، آسفالت گرم نورد شده، آسفالت متخلخل، آسفالت نرم. مراحل اجرای آسفالت در شکل ۱۲-۵ نشان داده شده است.





شکل ۱۲-۴ روسازی آسفالت



شکل ۱۲-۵ مراحل اجرای روسازی آسفالتی



منابع و مراجع

