دانشکده فنی و مهندسی

گروه علمی مهندسی معماری و شهرسازی

مصالح ساختمانی

مهندس داود دانشیان

بسم الله الرحمن الرحيم

نام اثر: مصالح ساختمانی

گردآوری و تدوین: داود دانشیان عضو هیأت علمی مرکز آموزش عالی میراث فرهنگی

همکاران تهیه مطالب و آماده سازی: فاطمه حاجی زمانی

افسانه نوبهاری

مهسا مرادخانی

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل ۱: خواص عمومی مصالح ساختمانی ۱

بخش اول: مصالح بومی

فصل ۲: خاک (اختیاری)..... ۱۵

فصل ۳: چوب ۲۷

فصل ٤: سنگ‌های ساختمانی ٤٥

بخش دوم: فرآورده‌های خاکی

فصل ٥: دانه رس منبسط شده (اختیاری)..... ٦٦

فصل ٦: آجر ۷۱

فصل ۷: نسوزها (اختیاری)..... ۹۳

فصل ۸: کاشی و سرامیک ۹۹

بخش سوم: مصالح سخت شونده

فصل ۹: آهک ۱۱۳

فصل ۱۰: گچ ۱۳۲

فصل ۱۱: ملات‌ها و اندودها ۱٤۷

فصل ۱۲: سیمان ۱٦۲

فصل ۱۳: بتن ۱۸۲

بخش چهارم: عایق‌ها

فصل ١٤: عایق‌های حرارتی (اختیاری)..... ٢٠٨
فصل ١٥: عایق‌های رطوبتی ٢٢٨
فصل ١٦: عایق‌های صوتی (اختیاری)..... ٢٤٤

بخش پنجم: سایر مصالح

فصل ١٧: مصالح فلزی ٢٥٠
فصل ١٨: شیشه ٢٨٧
فصل ١٩: پلاستیک‌ها (اختیاری)..... ٣٠٩
فصل ٢٠: مواد مرکب (کامپوزیت‌ها) (اختیاری)..... ٣٣٠
فصل ٢١: رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ (اختیاری)..... ٣٣٩

فصل ۱

خواص عمومی مصالح ساختمانی

۱.۱. مقدمه

با اندکی تأمل در سرپناه‌های انسان‌های اولیه تا آسمان خراش‌های امروزی پی می‌بریم که بشر همواره برای تحقق بخشیدن به فضایی که بدان نیاز دارد، ناچار به تغییر مکان، تغییر شکل و ترکیب مواد مختلف بوده است. به بیان بهتر، ترکیب و به کارگیری مواد و مصالح ساختمانی به منظور آفریدن حجمی پایدار و قابل زیست صورت می‌گیرد. مصالح در واقع گوشت و پوست و استخوان ساختمان به شمار می‌آیند از این رو کاربرد شایسته آن‌ها وجه تمایز پروژه بادوام و ماندگار از پروژه بی دوام و کم عمر است. جهت نیل به این هدف، معمار باید با خواص و ویژگی‌های مصالح گوناگون آشنایی کامل داشته باشد تا بتواند با کاربرد به جا و مناسب آن‌ها، بهترین نتیجه را از آن‌ها بگیرد.

در گذشته تعداد مصالح ساختمانی به بیش از صد نوع نمی‌رسید ولی در چند دهه اخیر دامنه انتخاب مصالح بسیار وسیع‌تر شده و به یک میلیون هم می‌رسد که هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارند. امروز خواص و ویژگی‌های هر ماده در شرایط خاص آزمایشگاهی بررسی شده و اعداد و ارقام به دست آمده بر روی بسته بندی محصول ذکر می‌گردد. از این رو آشنایی مهندسین با این خواص و تاثیر آن‌ها، انتخاب بهتر و مناسب‌تر را سبب می‌شود. هدف این فصل نیز آشنایی با خواص عمومی مصالح ساختمانی و بررسی آن‌ها جهت انتخاب آگاهانه متخصصین است.

۲.۱. خواص عمومی مصالح ساختمانی

منظور از خواص، رفتاری است که مصالح در طول زمان و در شرایط محیطی مختلف از خود بروز می‌دهند. بنابراین در انتخاب مصالح، محل مصرف آن‌ها و شرایط محیطی حاکم از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

در منابع علمی مختلف جهت سهولت بررسی، خواص مصالح را در گروه‌های مختلفی دسته بندی می‌کنند. در این نوشتار سه گروه عمده خواص مصالح ساختمانی، یعنی خواص فیزیکی، خواص شیمیایی و خواص مکانیکی بررسی خواهند شد.

۱.۲.۱. خواص فیزیکی

خواص فیزیکی مصالح شامل اطلاعات پایه‌ای مواد و نیز عکس العمل آن‌ها در برابر عوامل جوی و اشکال مختلف نظیر الکتریسیته، صوت و... است. بررسی این گونه خواص با استفاده از علم فیزیک صورت می‌گیرد.

در این مبحث عمده‌ترین خواص فیزیکی مصالح معرفی خواهند شد.

۱.۱.۲.۱. جرم مخصوص – Density

جرم مخصوص عبارت است از جرم مواد همگن[۱] و توپر در واحد حجم. جرم مخصوصی نشان دهنده تراکم ماده است و هر چقدر بیشتر باشد، جسم اصطلاحاً سنگین‌تر است. یعنی متراکم‌تر ، توپرتر یا چگال‌تر است.

انرژی‌های حرارتی و صوتی برای انتقال از نقطه‌ای به نقطه دیگر به ماده نیاز دارند یعنی در خلأ نمی‌توانند منتقل شوند. بنابراین هر چه ماده متراکم‌تر باشد، حرارت و صوت را بهتر انتقال می‌دهد. مصالح متراکم همچنین در برابر نیروهای خارجی مقاومت بیشتری دارند.

جرم مخصوص مصالح مختلف از رابطه زیر به دست می آید:

$D = \frac{m}{V}$ $(\frac{gr}{cm^3})$

D = جرم مخصوص

m = جرم

V = حجم

۲.۱.۲.۱. جرم مخصوص فضایی – Bulk Density

جرم مخصوص فضایی عبارت است از جرم واحد حجم مواد همگن در حالت طبیعی و انبوه، یعنی به همراه خلل و فرج و فضاهای خالی[۲] موجود در آن‌ها. جرم مخصوص فضایی مصالح اغلب از جرم مخصوص آن‌ها کمتر است. این بدان معناست که وزن مشخصی از یک ماده در حالت طبیعی در مقایسه با همان وزن در حالت توپر و بدون خلل و فرج، حجم بیشتری را اشغال می‌کند.

جرم مخصوص فضایی مصالح مختلف از رابطه زیر به دست می‌آید:

$D_b = \frac{m}{V^b}$ $(\frac{gr}{cm^3})$

D_b = جرم مخصوص فضایی

m = جرم

V_b = حجم در حالت طبیعی (همراه با خلل و فرج و فضاهای خالی)

۱. جرم مخصوص مصالح غیر همگن نظیر بتن، آسفالت، برخی از سنگ ها و... به جرم مخصوص مواد تشکیل دهنده آن‌ها بستگی دارد و آزمایش‌های ویژه‌ای را می‌طلبد.
۲. این فضاهای خالی بسته به شرایط محیطی، با آب یا هوا پر می‌شوند.

در مورد مصالح دانه‌ای نظیر شن، ماسه، سیمان و... علاوه بر حجم دانه‌ها در حالت طبیعی، حجم فضاهای خالی بین دانه‌ها نیز منظور می‌شود.

۳.۱.۲.۱. چگالی (ضریب دانسیته) – Density Index

چگالی مصالح، میزان حجمی را که از مواد همگن توپر تشکیل شده است، نشان می‌دهد و عموماً به صورت درصد بیان می‌شود. چگالی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$d_o = \frac{D_b}{D}$ یا $d_o = \frac{D_b}{D} \times ۱۰۰$

چگالی در کلیه مواد، کمتر از ۱ (کمتر از ۱۰۰٪) است زیرا در طبیعت ماده‌ای که مطلقاً توپر باشد، یافت نمی‌شود. مصالحی که چگالی بیشتری دارند در بخش‌هایی از بنا که به مقاومت مکانیکی بالا یا مقاومت در برابر نفوذ آب نیاز دارند، به کار می‌روند.

٤.۱.۲.۱. وزن مخصوص – Specific Gravity

وزن واحد حجم مواد را وزن مخصوص[۱] آن‌ها گویند و از رابطه زیر به دست می آید:

$r = \frac{w}{V}$ $(\frac{gr}{cm^۳})$

r = وزن مخصوص

W = وزن

V = حجم

رابطه وزن مخصوص با جرم مخصوص به صورت زیر است:

$r = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = (\frac{m}{V})g = D_g$

۵.۱.۲.۱. تخلخل – Porosity

تخلخل در مصالح جامد بیانگر فضاهای خالی و منافذ موجود در آن‌هاست که با آب یا هوا پر شده‌اند. به عبارت دیگر، نسبت حجم فضاهای خالی ماده جامد به کل ماده را تخلخل گویند. فضاهای خالی در مواد به دو صورت زیر می‌باشند:

- خلل (Pore): فضاهای خالی و منافذ موجود در درون ذرات جسم جامد که به ساختار آن بستگی دارد.

۱. تعریف دیگری از وزن مخصوص عبارتست از: نسبت جرم معینی از یک جسم به جرم آب هم حجم آن در دمای ۳/۹۸ درجه سانتیگراد (دمایی که آب بیشترین چگالی را دارد).

- فرج (Void): فضاهای خالی و منافذ موجود بین ذرات جسم جامد که به نحو قرارگیری و انبار کردن آن بستگی دارد.

دو پارامتر تخلخل و چگالی مکمل یکدیگرند بدین صورت که:

$P = ۱ - d_o$ تخلخل = P

هرچه تخلخل مواد بیشتر باشد، میزان نفوذ آب در آن‌ها نیز بیشتر خواهد بود. مواد متخلخل عایق‌های مناسبی در برابر حرارت و صوت هستند.

٦.۱.۲.۱. سطح ویژه – Specific Surface

سطح کلی یک گرم از ماده را بر حسب سانتیمتر مربع، سطح ویژه می‌گویند که واحد آن به بلین (Blaine) موسوم است. این پارامتر در مصالحی نظیر خاک، گچ و سیمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا با سطح ویژه بیشتر، سطح تماس دانه‌ها با آب افزایش می‌یابد و نتیجه مطلوب‌تری هنگام استفاده حاصل می‌شود.

سطح ویژه با تخلخل رابطه مستقیم دارد.

۷.۱.۲.۱. قابلیت جذب آب – Water Absorption

توانایی مواد در جذب و نگهداری آب و بخار آب را قابلیت جذب آب گویند. میزان این پارامتر را با اندازه گیری وزن نمونه خشک و وزن نمونه فرو برده شده در آب (اشباع شده) به دست می‌آورند و به دو صورت وزنی (نسبت وزن آب جذب شده به وزن جسم) یا حجمی (نسبت حجم آب جذب شده به حجم جسم) بیان می‌کنند. میزان جذب آب به عواملی همچون تخلخل و ابعاد منافذ، سطح ویژه، جنس ماده، رطوبت و دمای محیط بستگی دارد. در موادی با تخلخل یکسان، آن‌هایی که منافذ ریزتر و شکاف‌های موئینه دارند، آب بیشتری جذب می‌کنند. همیشه مقدار آب جذب شده در مواد از میزان واقعی قابل جذب (تخلخل) کمتر است، زیرا اغلب برخی از منافذ بسته بوده و امکان نفوذ آب در آن‌ها وجود ندارد. میزان جذب آب حجمی همیشه کمتر از ۱۰۰٪ است ولی میزان جذب آب وزنی در مصالحی با تخلخل زیاد ممکن است بیشتر از ۱۰۰٪ باشد.

برخی از مواد جاذب آب (Hydrophilic) و برخی دیگر دافع آب (Hydrophobic) هستند. قابلیت جذب آب در مصالح باعث تغییر برخی از خواص آن‌ها نظیر کاهش مقاومت فشاری (در چوب، خاک رس و...)، کاهش مقاومت در برابر یخبندان، افزایش هدایت حرارتی و هدایت صوت و... می‌شود. از این رو کاربرد مصالح با قابلیت جذب آب بالا به هیچ وجه در پی ساختمان جایز نیست. هوازدگی نیز از دیگر تاثیرات جذب آب در مواد است.

۸.۱.۲.۱. ضریب نرمی – Softening Coefficient

ضریب نرمی بیانگر تأثیر جذب آب بر روی مقاومت[1] مصالح است و به صورت نسبت مقاومت جسم در حالت اشباع به مقاومت جسم در حالت خشک نشان داده می‌شود.

ضریب نرمی مصالح مختلف بین صفر (خاک رس، گچ و آهک که به شدت جاذب آب هستند) و یک (شیشه و فولاد) متغیر است. موادی که ضریب نرمی آن‌ها بیشتر از ۰/۸ است را آب‌بند یا ضد آب گویند. لذا مصالحی را که ضریب نرمی آن‌ها کمتر از ۰/۸ است نباید در نقاط مرطوب، بدون حفاظت های لازم به کار برد.

۹.۱.۲.۱. مقاومت در برابر تغییرات آب و هوایی (هوازدگی)

این ویژگی عبارتست از مقاومت مصالح در برابر تغییرات مداوم جوی از جمله سرما، گرما، رطوبت و... به طوری که دچار تغییر شکل عمده یا تغییر خواص نشوند. هوازدگی در مصالح باعث ایجاد شکستگی و خرد شدن آن‌ها می‌شود. از جمله تغییر و کمبود رطوبت در بتن تازه باعث ایجاد تنش و ترک در آن می‌شود.

۱۰.۱.۲.۱. مقاومت در برابر یخبندان – Frost Resistance

این ویژگی، مقاومت مصالح اشباع شده از آب را در برابر یخ زدن‌های متناوب بیان می‌کند. آب موجود در مصالح در اثر یخ زدن، حداکثر ۹٪ انبساط حجمی پیدا می‌کند که

۱. تأثیر جذب آب بر روی خواص مختلف مصالح را با ضرایب پایایی نشان می‌دهند. ضریب نرمی یکی از ضرایب پایایی است.

این امر موجب ایجاد ترک در جسم می‌شود[1]. مقاومت مصالح در برابر یخبندان به وزن مخصوص، چگالی (هر چه مصالح چگال‌تر باشند، مقاومت آن‌ها در برابر یخبندان بیشتر است)، تخلخل و میزان جذب آب بستگی دارد. مصالح متخلخل که تا بیش از ۹۰٪ منافذ آن‌ها از آب پر نشده باشد، مقاومت خوبی در برابر یخبندان دارند. موادی که مقاومت آن در برابر یخ زدگی بیش از ۲۵-۱۵٪ کاهش نیابد و نشانه‌هایی از ترک خوردگی و پوسته شدن در آن‌ها ظاهر نشود، مصالح مقاوم در برابر یخبندان محسوب می‌شوند. مصالحی که یک یا دو بار یخ زدن در یخچال در دمای ۱۵- تا ۱۷- درجه سانتیگراد را تحمل می‌کنند، در برابر ۵-۳ بار یخ زدن متناوب در شرایط جوی مقاوم هستند. از نظر تعداد دوره‌های یخ زدن و آب شدن، مصالح دیوار خارجی باید ۳۵-۱۵ دوره، پوشش سقف ۵۰-۳۰ دوره و بتن مصرفی در المان‌های سازه‌ای ۳۰۰-۵۰ دوره یخبندان را بتواند تحمل کنند.

در مناطق یخبندان باید پی ساختمان را پایین‌تر از خط یخزدگی زمین بنا کرد.

۱۱.۱.۲.۱. ثبات رنگ – Color Fastness

مصالح رنگی‌ای که رنگ خود را تحت تأثیر شرایط جوی از دست نمی‌دهند، از ویژگی ثبات رنگ برخوردارند. این مشخصه بستگی به ترکیب شیمیایی مصالح دارد. برخی از مواد پلیمری فاقد این ویژگی هستند و پس از مدتی رنگ آن‌ها تیره و یا زرد می‌شود.

۱۲.۱.۲.۱. قابلیت‌های سطحی جسم (جذب، انعکاس، انتقال)

سطح مصالح مختلف در مقابل نور و حرارت عکس العمل‌های متفاوتی دارند. همه مصالح سه خاصیت جذب، انعکاس و انتقال حرارت و نور را دارا هستند ولی در برخی از مصالح یک یا دو ویژگی قوی‌تر از دیگری است. مثلاً سطوح سفید رنگ یا آلومینیومی منعکس کننده‌های قوی نور و حرارت هستند. اگر سطوح آلومینیومی بر اثر اکسید شدن کدر شوند، انعکاس آن‌ها از سطوح سفید رنگ کمتر خواهد بود.

---

۱. حداکثر ازدیاد حجم آب در دمای ٤- درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد.

۱۳.۱.۲.۱. انبساط و انقباض – Diastole and Contraction

انبساط و انقباض عبارتند از افزایش (انبساط) و یا کاهش (انقباض) ابعاد و حجم مصالح در اثر گرما یا سرما. در ساختمان سازی باید بین مصالحی که ضریب انبساط متفاوتی دارند، درز انبساط در نظر گرفته شود.

۱٤.۱.۲.۱. گرمای ویژه – Specific Heat

مقدار حرارت لازم جهت افزایش دمای یک کیلو گرم جسم را به میزان یک درجه سانتیگراد، گرمای ویژه آن جسم گویند که با واحد ($\frac{kcal}{kg^{\circ}C}$) بیان می‌شود. در میان مواد مختلف، آب بیشترین مقدار گرمای ویژه را داراست. به همین علت میزان هدایت حرارت در اجسام مرطوب زیاد است. گرمای ویژه انواع چوب بین ۰/٦٥–۰/۵۷، سنگ-ها بین ۰/۲۲–۰/۱۸ و آهن به طور متوسط ۰/۱۱ است.

۱۵.۱.۲.۱. ظرفیت حرارتی – Heat Capacity

ظرفیت حرارتی ویژگی جذب حرارت در مصالح است که سبب بالا رفتن دمای آن‌ها می‌شود. این خصلت بر مبنای گرمای ویژه سنجیده می‌شود و به جنس، جرم و تفاوت دمای مصالح با دمای محیط بستگی دارد. این خصلت زمانی اهمیت پیدا می‌کند که میزان ثبات و ذخیره‌سازی حرارت در مصالح مثلاً در جداره‌های ساختمان مدنظر است.

۱٦.۱.۲.۱. هدایت حرارتی – Heat Conduction

هدایت حرارتی مصالح عبارت است از قابلیت انتقال حرارت در آن‌ها، که جنس مصالح، ضخامت، چگالی، تخلخل و رطوبت آن‌ها بستگی دارد. اجسام متخلخل قابلیت هدایت حرارتی کمتری دارند زیرا خلل و فرج آن‌ها توسط هوا پر شده و ضریب انتقال هوا نیز اندک است. از طرفی مصالحی که حفره‌های بزرگ دارند، هدایت حرارت بیشتری نسبت به مصالح با حفره‌های ریز دارند. زیرا انتقال گرما در آن‌ها از طریق پدیده همرفت صورت می‌گیرد. علاوه بر این‌ها، مصالح مرطوب نیز حرارت را بهتر منتقل می‌کنند زیرا ضریب هدایت حرارت در آب ۲۵ برابر هواست. همچنین هرچه مصالح چگالی بیشتری داشته باشند، جذب رطوبت در آن‌ها نیز بیشتر است.

بجاست که در ساختمان سازی از مصالحی استفاده شود که ظرفیت حرارتی بالا و قابلیت هدایت حرارتی پایین دارند، تا در هزینه‌های آتی بنا صرفه جویی شود.

۱۷.۱.۲.۱. مقاومت در برابر آتش – Fire Resistance

این ویژگی، پایداری اجسام در برابر آتش و اثرات ناشی از آن را بدون تغییر شکل اساسی یا از دست دادن مقاومت بررسی می‌کند و بستگی به جنس جسم، تخلخل و... دارد. طبیعی است که اجسام متخلخل نظیر مواد سلولزی به علت وجود هوای بیشتر در درون آن‌ها، راحت‌تر از مواد دیگر می‌سوزند. مواد از نظر مقاومت در برابر آتش به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. مواد غیر قابل احتراق (نسوز): نظیر مواد معدنی، کاشی و سرامیک، آجر سفالی، بتن، گرانیت و... . البته این مواد نیز تحت تاثیر طولانی مدت آتش، تغییر شکل و تغییر مقاومت می‌دهند.
۲. مواد ضد آتش (دیر سوز): نظیر مواد آلی که با مواد ضد آتش اشباع شده‌اند.
۳. مواد قابل احتراق (سوختنی): نظیر مواد آلی که توسط مواد ضد آتش پوشانده نشده‌اند.

۱۸.۱.۲.۱. ناگدازی – Refractoriness

ناگدازی عبارت است از پایداری مواد در برابر درجه حرارت بالا و در مدت زمان طولانی، بدون تغییر شکل و ذوب شدن. مواد مختلف از نظر میزان گداختگی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. مواد ناگداز: دماهای ۱۵۸۰ درجه سانتیگراد و بیشتر را تحمل می‌کنند.
۲. مواد دیرگداز: دماهای بین ۱۵۸۰–۱۳۵۰ درجه سانتیگراد را تحمل می‌کنند.
۳. مواد زودگداز: دماهای کمتر از ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد را تحمل می‌کنند. نظیر آجرهای سفالی و... .

۱۹.۱.۲.۱. مقاومت در برابر صوت – Sound Resistance

این ویژگی میزان مقاومت مصالح در برابر انتقال امواج صوتی را بررسی می‌کند. ماده‌ای که جرم بسیار بالایی داشته باشد، بهترین مانع در مقابل عبور صوت است ولی چون استفاده از این مواد در ساختمان سازی مقدور نیست، لذا جهت عایق صوتی از مواد جاذب صوت استفاده می‌کنند. میزان جذب صوت بالا در مصالح، به میزان زیادی به تخلخل آن‌ها بستگی دارد. مصالحی که تخلخل آن‌ها حداقل ۷۵٪ و قطر حفره‌های آن‌ها حداکثر ۲ میلیمتر باشد، جاذب بسیار مناسب صوت محسوب می‌شوند.

۲۰.۱.۲.۱. مقاومت الکتریکی – Electric Strength

این پارامتر، مشخصه پلاستیک‌ها و سایر مصالح عایق الکتریسیته برای تحمل میزان ولتاژ است. مقاومت الکتریکی یک جسم با افزایش ضخامت آن، بیشتر می‌شود.

۲.۲.۱. خواص شیمیایی

خواص شیمیایی مصالح شامل آن دسته از ویژگی‌هایی هستند که به ساختار، ترکیبات اولیه، واکنش زایی، نحوه زوال مصالح تحت تأثیر شرایط مختلف و... مربوط می‌شوند. واکنش‌های شیمیایی که در مصالح رخ می‌دهند معمولاً با تغییر حجم و جذب یا آزاد کردن گرما همراه بوده و برگشت ناپذیرند. از جمله رایج‌ترین این واکنش‌ها می‌توان به شکفته شدن آهک، گیرش سیمان، گرفتن ماستیک‌ها و چسب‌ها، خشک شدن رنگ‌ها، خوردگی فلزات و... اشاره کرد.

خواص شیمیایی مصالح معمولاً با آزمایش‌های شیمیایی سنجیده می‌شوند. در ادامه عمده‌ترین خواص شیمیایی بررسی خواهند شد.

۱.۲.۲.۱. اکسیداسیون (زنگ زدگی) – Oxidation

ترکیب مواد با کسیژن هوا را اکسیداسیون گویند که اغلب در فلزات و پلیمرها (پلاستیک‌ها و لاستیک‌ها[۱]) رخ می‌دهد. اکسیداسیون مصالح غالباً سریع اتفاق می‌افتد ولی پس از آن لایه اکسیدی ایجاد شده، از زنگ زدگی درون مواد تا حد زیادی جلوگیری می‌کند. افزایش دما باعث تسریع در اکسید شدن مصالح می‌شود.

۲.۲.۲.۱. خوردگی – Corrosion

خوردگی عبارت است از خرابی مصالح یا کاهش مشخصه‌های آن‌ها در اثر واکنش با عوامل شیمیایی در محیط نظیر اسیدها، بازها، نمک‌های محلول و... . این پدیده خصوصاً بر روی مقاومت مواد در مقابل سایش تأثیر نامطلوبی دارد. لوله‌های تأسیساتی از جمله مواردی هستند که به طور مستمر در تماس با مواد خورنده قرار می‌گیرند، از این رو باید در برابر آن‌ها مقاوم باشند.

۳.۲.۲.۱. گرمازایی و گرماگیری – Liberation and Absorption Heat

واکنش‌های شیمیایی که در مصالح رخ می‌دهند گاهی سبب آزاد شدن گرما و گاهی نیز باعث جذب گرما می‌شوند. در این گونه موارد باید تمهیدات لازم را در نظر گرفته شود تا گرمای آزاد شده یا جذب شده در مصالح ایجاد اختلال نکند. فرآیند گیرش سیمان عملی گرمازا و تولید چسباننده‌های ساختمانی عملی گرماگیر است.

٤.۲.۲.۱. تبلور – Crystallization

تبلور تمایل یک ماده برای تشکیل بلور است که در روند گذر آن ماده از حالت سیال (گاز یا مایع) به حالت جامد روی می‌دهد. تبلور مواد با منشأ آلی معمولاً با تغییر حجم همراه است. تبلور مصالحی نظیر سیمان سخت شده به علت تشکیل جسمی سخت‌تر باعث افزایش مقاومت آن می‌شود.

---

۱. اکسیداسیون لاستیک‌ها موجب کاهش خاصیت کشسانی و در نهایت کاهش مقاومت آن‌ها می‌شود.

۵.۲.۲.۱. سمی بودن – Toxicity

تماس با برخی از مصالح ساختمانی باعث ایجاد مسمومیت می‌شود. از این رو هنگام کار با آن‌ها باید مسائل ایمنی رعایت گردد.

۳.۲.۱. خواص مکانیکی

خواص مکانیکی، تحمل و پایداری اجسام را در برابر نیروهای خارجی نظیر نیروهای فشاری، کششی، خمشی، حرارتی و... نشان می‌دهد. بررسی جامع این خواص به علم مقاومت مصالح مربوط می‌شود. در این مبحث عمده‌ترین خواص مکانیکی و تأثیر آن‌ها بر مصالح ساختمانی بررسی خواهند شد.

۱.۳.۲.۱. مقاومت‌های مکانیکی

مصالحی که در بنا به کار می‌روند، تحت تأثیر نیروهای مختلفی قرار می‌گیرند. برخی از مصالح در برابر یک نیرو مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهند ولی در برابر نیروی دیگر ضعیف عمل می‌کنند. بنابراین هنگام استفاده از مصالح باید مقاومت آن‌ها در برابر کلیه نیروهای وارده در محل، سنجیده شود. انواع مقاومت‌های مکانیکی عبارتند از:

- مقاومت فشاری: میزان تحمل مصالح در برابر نیروی فشار خارجی.
- مقاومت کششی: میزان تحمل مصالح در برابر نیروی کشش.
- مقاومت خمشی: میزان تحمل مصالح در برابر خم شدن.
- مقاومت ضربه‌ای: میزان تحمل مصالح در برابر ضربه.

میزان مقاومت‌های مکانیکی مصالح مختلف در آزمایشگاه و بر اساس استانداردها، سنجیده می‌شوند و با واحد ($\frac{\mathrm{N}}{m^2}$ یا $\frac{\mathrm{gr}}{cm^2}$) بیان می‌گردند.

۲.۳.۲.۱. تغییر شکل مکانیکی

برخی از مصالح ساختمانی تحت تأثیر بارهای وارده یا وزن خود دچار تغییر شکل می‌شوند. این تغییر شکل فقط ظاهری نبوده و سبب کاهش کارایی مصالح نیز می‌گردد. برخی از این تغییر شکل‌ها به صورت کشسان (حذف تغییر شکل، پس از حذف بار یا

نیرو) و برخی دیگر به صورت مومسان (ماندگاری تغییر شکل، پس از حذف بار یا نیرو) هستند. اجسامی که تغییر شکل کشسان و برگشت پذیر دارند، در صورتی که بیش از حد قابل تحملشان[1] بارگذاری شوند، حالت ارتجاعی خود را از دست می‌دهند و دچار تغییر شکل ماندگار و برگشت ناپذیر می‌شوند.

۳.۳.۲.۱. سختی – Hardness

مقاومت مصالح در برابر خراش اجسام سخت‌تر را سختی گویند. سختی مواد بیشتر به نوع پیوند و استقرار اتم‌های آن‌ها بستگی دارد تا ترکیب شیمیایی آن‌ها. به عنوان مثال دو کانی الماس و گرافیت هر دو کربن خالصند، ولی اولی سخت‌ترین جسم و دومی بسیار نرم است. هر چه فاصله یونی در مواد بیشتر شود، سختی آن‌ها کاهش می‌یابد.

سختی اجسام را معمولاً از طریق میزان و چگونگی خراشیده شدن آن‌ها توسط اجسام سخت‌تر اندازه می‌گیرند.

٤.۳.۲.۱. مقاومت در برابر سایش – Wear Resistance

این ویژگی مقاومت مصالح را در برابر نیروهای ساینده بر سطح نشان می‌دهد. در اثر سایش، رویه مصالح لایه به لایه کنده می‌شود. از این رو میزان سایش مصالح از طریق اندازه‌گیری کاهش وزن آن‌ها در واحد سطح محاسبه می‌گردد.

سختی مصالح رابطه مستقیمی با مقاومت آن‌ها در برابر سایش دارد و این دو ویژگی، از پارامترهای مهم برای انتخاب مصالح مناسب جهت کف سازی می‌باشند.

---

۱. میزان قابل تحمل بار در این مصالح را حد ارتجاعی، و بالاتر از حد قابل تحمل و ایجاد تغییر شکل ماندگار را حد خمیری گویند.

بخش اول

مصالح بومی

فصل ۲

خاک

۱.۲. خاک – Soil

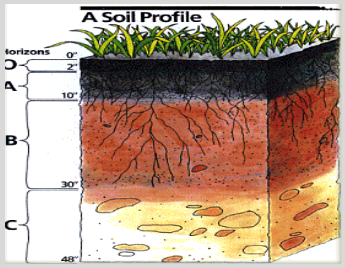
خاک پس از آب مهم‌ترین عامل در تکوین حیات و ایجاد تمدن بشری بوده است. در طول تاریخ تمدن‌های بزرگ در مناطقی که خاک مناسب داشته‌اند، ظهور کرده‌اند.

خاک توده‌های نامتجانس متشکل از ذرات کانی‌های ناپیوسته یا با پیوند ضعیف است. ذرات تشکیل دهنده خاک از فرسایش، هوازدگی و متلاشی شدن سنگ‌ها حاصل می‌شوند. تخریب سنگ و پیدایش خاک، یا روند فیزیکی دارد یا روند شیمیایی.

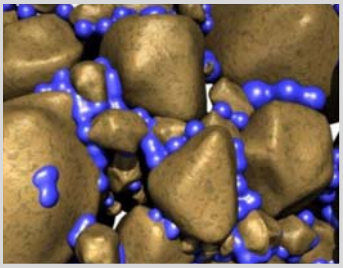
- **روند فیزیکی:** فرسایش ناشی از اثر باد، آب، امواج دریا، نفوذ آب به درون حفره سنگ‌ها و انجماد و ذوب شدن مکرر آن، غلتیدن سنگ‌ها به روی یکدیگر و... . در این حالت ترکیب دانه‌های خاک حاصل، همان ترکیب سنگ مادر است. شکل این دانه‌ها معمولاً مکعبی و گوشه‌دار می باشد.

- **روند شیمیایی:** آب باران با Co_2 موجود در هوا ترکیب شده و تولید اسید کربنیک می‌کند که اسیدی زود اثر و ناپایدار است و موجب تجزیه و تخریب سنگ‌ها می‌شود. حاصل تخریب شیمیایی سنگ‌ها، ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون خاک‌های رسی هستند. این ذرات صفحه‌ای (پولکی) شکل‌اند و به شدت تحت تأثیر نیروهای سطحی می‌باشند. ذرات رسی ندرتاً به صورت سوزنی شکل و کروی نیز یافت می‌شوند.

خاک از چهار جزء اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: مواد معدنی، مواد آلی، آب و هوا. مواد معدنی و آلی، ذرات جامد خاک را تشکیل می‌دهند و فضای خالی بین ذرات نیز با آب و هوا پر می‌شود. مواد معدنی خاک عمدتاً اکسید آلومینیوم، اکسید سیلیسیم، اکسید کلسیم، اکسید منیزیم، اکسید تیتانیوم و اکسید کروم هستند. مواد آلی[1] (کربن‌دار) نیز درصد بسیار کمی از خاک را به خود اختصاص می‌دهند که هر چه مقدار آن‌ها بیشتر باشد، رنگ خاک تیره‌تر می‌گردد.



تصویر شماره ۱.۲. افق‌های خاک: روخاک، زیرخاک، سنگ بستر



تصویر شماره ۲.۲. اجزاء خاک: مواد معدنی و آلی - آب و هوا

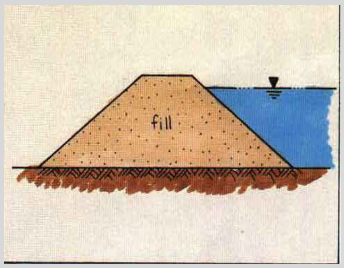
۲.۲. ضرورت استفاده و کاربرد خاک

خاک علاوه بر تأمین مواد غذایی، تقریباً در تمام صنایع شیمیایی، رنگرزی، دارویی، ظروف سفالی، ساختمان سازی و به طور کلی در تمام ابعاد زندگی بشر به صورت مستقیم و غیر مستقیم کاربرد دارد.

۱. مواد آلی از ریشه گیاهان، باقی مانده موجودات زنده و... تشکیل شده‌اند.

در ساختمان سازی، خاک از یک طرف به عنوان مصالح، مورد توجه مهندسین و طراحان قرار می‌گیرد و از سوی دیگر به عنوان یک محیط طبیعی که در اختیار آدمی قرار گرفته است، مورد توجه و استفاده است.

- کاربرد خاک به عنوان مصالح (کاربرد اختیاری): ایجاد خاکریز پشت دیوارهای حائل، زهکشی‌ها، روسازی راه و فرودگاه و نیز به عنوان ماده اصلی تهیه ملات‌ها، آجر، سرامیک، کاشی، چینی، نسوزها، بتن و... .
- کاربرد خاک به عنوان محیط و بستر (کاربرد اجباری): زیر پی‌ها و بستری که ساختمان روی آن احداث می‌شود، زیرسازی جاده‌ها، زیر پایه پل‌ها، محل قرار دادن لوله‌ها و تأسیسات مکانیکی و الکتریکی و... .



تصویر شماره ۳.۲. ایجاد خاکریز

تصویر شماره ٤.۲. خاک به عنوان بستر

۳.۲. خواص خاک

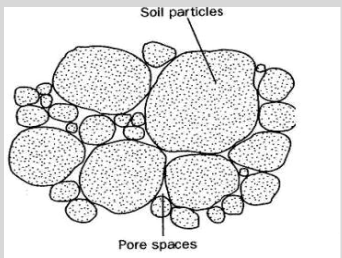
برای سنجش رفتار خاک و پیش بینی عملکرد آن تحت اثر بارهای وارده و تأثیرات محیط و عوامل جوی، نیاز به شناخت و تعیین ویژگی‌های گوناگون خاک می‌باشد که با انجام آزمایش‌های مختلف امکان پذیر است.

۱.۳.۲. خواص فیزیکی

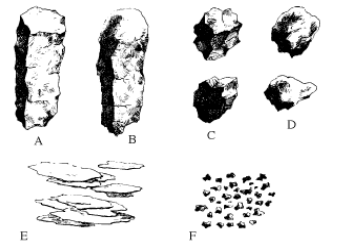
- **وزن مخصوص**: خاک‌های مختلف با توجه به اندازه دانه‌های آن‌ها، وزن مخصوص متفاوتی دارند که باید با آزمایش خاک مورد نظر به دست آید. به طور کلی خاک‌های دانه درشت بر اثر تراکم، وزن مخصوص بیشتری نسبت به خاک‌های دانه ریز خواهند یافت.

- **رنگ**: اکسیدهای آهن موجود در خاک، رنگ آن را سبب می‌شوند. رنگ اغلب خاک‌ها پس از پخته شدن، در اثر حرارت تغییر می‌کند. اگر خاک ۱٪ یا کمتر اکسید آهن داشته باشد، رنگ آن پس از پخته شدن زرد یا کرم خواهد شد؛ اگر ۳-۲٪ اکسید آهن داشته باشد، قهوه‌ای مایل به زرد و اگر ۵-٤٪ اکسید آهن داشته باشد، قرمز رنگ می‌شود.
- **دانه‌بندی**: هم اندازه دانه‌های خاک و هم شکل آن‌ها بر ویژگی‌های خاک تأثیر گذارند. هر چه دانه‌های خاک ریزتر باشند، وزن مخصوص و همچنین تاب تحمل خاک کاهش می‌یابد. از طرفی خاک‌های ریزدانه آب بیشتری به خود جذب می‌کنند که این ویژگی در ساختمان سازی مطلوب نیست. به طور کلی خاک با دانه‌بندی خوب خاکی است که از دانه‌های ریز و درشت تشکیل شده باشد تا دانه‌های ریزتر فضای خالی بین دانه‌های درشت‌تر را پر کنند. در این حالت قفل و بستی که بین دانه‌ها به وجود می‌آید، حرکتشان را محدود کرده و آن‌ها را فشرده‌تر می‌کند از این رو استحکام خاک بیشتر می‌شود و قابلیت تحمل بارهای سنگین را خواهد داشت.

شکل دانه‌های خاک نیز نقش مهمی در استحکام و مقاومت خاک دارد. دانه‌های خاک به شکل صفحه‌ای (پولکی)، سوزنی، گرد، نیمه گرد و یا گوشه‌دار هستند. دانه‌های گوشه‌دار بهترین مصالح برای ساختمان سازی می‌باشند زیرا روی هم نمی‌غلتند و قفل و بست لازم بین آن‌ها ایجاد می‌شود. همچنین اصطکاک بین این دانه‌ها مانع از حرکت بیش از حد آن‌ها می‌شود.



تصویر شماره ۵.۲. قفل و بست بین دانه‌های ریز و درشت خاک



تصویر شماره ٦.۲. شکل دانه‌های خاک

- **ساختمان (ساختار) خاک:** نحوه قرار گرفتن و چگونگی اجتماع دانه‌های خاک را ساختمان آن گویند. بسیاری از خواص فیزیکی خاک نظیر وزن مخصوص، فضای منافذ، حرکت آب، انتقال حرارت و تهویه به ساختمان خاک بستگی دارد. ساختمان خاک از یکی از دو حالت زیر به وجود می‌آید.

۱. دانه‌های خاک به صورت فردی قرار گرفته و اجتماع مشخصی از دانه‌ها در آن‌ها صورت نگرفته است. (تصویر شماره ۷.۲)

۲. اجتماع دانه‌ها به صورت توده‌های فشرده، بی شکل و نامنظم. (تصویر شماره ۸.۲)

- **جذب آب:** یکی از مشخصه‌های بارز خاک، جذب آب است. با جذب آب پاره‌ای از خواص خاک تغیر می‌یابد. خاک خشک خاصیت چسبندگی و قالب‌گیری ندارد ولی با جذب آب قابلیت چسبندگی، خمیری و قالب‌گیری پیدا می‌کند. برخی از خاک‌ها چندین برابر وزنشان آب جذب می‌کنند. خاک‌های دانه ریز جذب آب بیشتری دارند. زیرا آب به علت خاصیت موئینگی از شکاف‌های موئینه و باریک بیشتر بالا می‌رود. همچنین هر چه خاک خالص‌تر باشد، جذب آب آن بیشتر است.

- **شکل پذیری (خاصیت پلاستیسیته):** ۵ عامل در میزان شکل پذیری خاک مؤثرند که عبارتند از:

۱. میزان آب موجود در خاک: خاک فقط در صورت مرطوب بودن (گل)، شکل پذیر خواهد بود. میزان آب لازم با توجه به نوع خاک، متفاوت است. اگر گل را به حدی حرارت دهیم که علاوه بر آب فیزیکی، آب شیمیایی[۱] (آب تبلور) خاک نیز از بین برود، خاصیت شکل پذیری خود را از دست می‌دهد در این صورت اگر مجدداً به آن آب اضافه کنیم، باز هم شکل پذیر نخواهد شد.

۲. اندازه دانه‌های خاک: هر چه دانه‌های خاک ریزتر باشند، شکل پذیری آن‌ها بیشتر است. به همین علت اگر ماسه مصرفی در ملات ماسه سیمان کاملاً شسته و تمیز و فاقد ریزدانه باشد، کارکردن با آن مشکل خواهد بود. زیرا

۱. آبی که بخشی از ساختار و ترکیب شیمیایی مولکول است.

چنین ملاتی زیر ماله شکل نمی‌گیرد و بنّا مجبور است برای پهن کردن آن روی آجر نیروی بیشتری مصرف کند یا سیمان بیشتری در آن به کار برد.

۳. شکل دانه‌های خاک: هر چه دانه‌های پولکی شکل در خاک بیشتر باشد، لغزندگی آن‌ها روی هم بیشتر شده و شکل پذیری خاک نیز افزایش می‌یابد.

٤. صیقلی بودن دانه‌ها: هر چه دانه‌ها صیقلی‌تر باشند، اصطکاک بین آن‌ها کاهش می‌یابد و شکل پذیرترند.

۵. فشار: این عامل به دستگاهی که خاک را شکل می‌دهد بستگی دارد. هر چه فشار دستگاه بیشتر باشد، آب کمتری مورد نیاز است زیرا فضای خالی بین ذرات کمتر می‌شود بنابراین آب کمتری برای پر کردن این فضا لازم است.

- **انقباض هنگام خودگیری**: کلیه مصالح ساختمانی که هنگام مصرف با آب مخلوط می‌شوند (به جز گچ و سیمان انبساطی)، هنگام خودگیری و سخت شدن کاهش حجم پیدا می‌کنند. این ویژگی سبب ایجاد ترک در آن‌ها می‌شود. در گذشته برای جلوگیری از ایجاد ترک در گل به آن کاه اضافه می‌کردند. هر چه میزان جذب آب خاک بیشتر باشد، میزان انقباض آن نیز بیشتر می‌شود.

تصویر شماره ۷.۲. ساختمان خاک، بدون اجتماع دانه‌ها

تصویر شماره ۸.۲ ساختمان خاک، توده نامنظم دانه‌ها

تصویر شماره ۹.۲. خاصیت شکل پذیری خاک

۲.۳.۲. خواص شیمیایی

خواص شیمیایی خاک به ترکیبات معدنی، مواد آلی و محیط بستگی دارد و برای خاک‌های مختلف، متفاوت است. هر چه میزان اکسیدهای بازی در خاک بیشتر باشد، مقاومت آن در برابر اسیدها و نیز نقطه ذوب آن کاهش می‌یابد.

۳.۳.۲. خواص مکانیکی

خواص مکانیکی خاک‌های مختلف نظیر مقاومت برشی، سختی، میزان تغییر شکل در اثر بارهای وارده و... باید با استفاده از آزمایش‌های گوناگون مشخص شود.

با توجه به متخلخل بودن خاک و وجود آب در بین حفره‌های آن و با توجه به خصلت تراکم ناپذیری آب، این مایع به خصوص در خاک‌های ریزدانه می‌تواند از نشست آنی خاک در برابر بارهای وارده جلوگیری کند. این پدیده، تحکیم نام دارد و میزان آن توسط آزمایش‌های ویژه محاسبه می‌گردد.

۴.۲. انواع خاک

دسته‌بندی انواع خاک‌ها براساس اندازه دانه‌های آن‌ها صورت می‌گیرد. در نمودار زیر حدود اندازه دانه‌ها برای هر نوع خاک، مشخص شده است.

نمودار شماره ۱.۲. حدود اندازه دانه‌ها (بر حسب میلیمتر) برای هر نوع خاک

خاک های	لای			ماسه			شن			قلوه
رسی	ریز	متوسط	درشت	ریز	متوسط	درشت	ریز	متوسط	درشت	
۰/۰۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲		۰/۲	۰/۶		۶	۲۰		
۰/۰۰۲	۰/۰۶		۰/۰۶	۲			۶۰			

۱.۴.۲. خاک‌های رسی – Clayey Soil

خاک رس مهمترین خاک مورد استفاده در صنعت ساختمان است و تنها چسب طبیعی محسوب می‌شود. خاک رس‌ها از تخریب شیمیایی میکاها و فلدسپارها[۱] (Feldspar) که جزء مهمی از سنگ‌های آذرین و دگرگونی (رجوع شود به فصل «سنگ‌ها») هستند، به وجود می‌آیند. مواد اصلی تشکیل دهنده خاک رس، اکسید آلومینیوم (آلومین - Al_2O_3)، اکسید سیلیسیم (سیلیس SiO_2) و مقداری آب تبلور است اکسیدهای دیگری نیز به

۱. به فلدسپار، فلدسپات (Felspat) نیز می‌گویند.

صورت ناخالصی در خاک رس یافت می‌شوند. خاک رس خالص سفید رنگ است ولی ناخالصی‌هایی نظیر زغال (سیاه)، گرافیت (خاکستری)، اکسید آهن (سرخ) و هیدرواکسید آهن (زرد) باعث رنگی شدن آن می‌شوند. بیشتر خاک رس موجود در طبیعت سرخ رنگ است.

دانه‌های خاک رس اغلب صفحه‌ای (پولکی) شکل هستند یعنی یکی از ابعاد آن-ها از دو بعد دیگر بسیار کوچک‌تر است. هر چقدر دانه‌های خاک رس ریزتر باشند، آن خاک مرغوب‌تر است.

خاک رس پس از اشباع شدن می‌تواند تا ۸ برابر حجم خود آب جذب کند و تا زمانی که خیس است آب نمی‌تواند در آن نفوذ کند. بنابراین می‌تواند نقش آب‌بندی را ایفا کند. لذا در گذشته از آن برای آب‌بندی بام‌ها، آب‌گیرها و... استفاده می‌کردند.

تصویر شماره ۱۰.۲. سنگ فلدسپار

تصویر شماره ۱۱.۲. دانه‌های پولکی شکل خاک رس

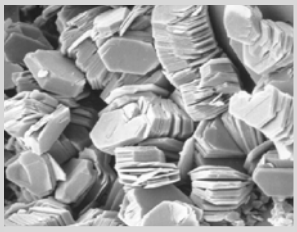
خاک‌های رسی به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. **خاک رس‌های معدنی (مانده)**: این خاک رس‌ها در محلی که تولید شده‌اند، باقی مانده و حرکت نکرده اند. این خاک ها خالص‌تر از دسته دوم هستند و از آن‌ها در کارهای ظریف استفاده می‌کنند. یکی از انواع این خاک‌ها، کائولن (کائولین - Kaolin) است که به مصرف چینی سازی می‌رسد از این رو به آن خاک چینی (China Clay) نیز می‌گویند. قسمت اعظم کائولن، کائولینیت (Kaolinite) است که عاری از ناخالصی‌های اکسید آهن و فلزات قلیایی می‌باشد. به همین علت در درجه حرارت بسیار بالا ذوب می‌شود و رنگ آن پس از ریختن کاملاً سفید می‌گردد. از کائولینیت برای تهیه سفال استفاده می‌کنند لذا به آن خاک سفال نیز می‌گویند.

۲. **خاک رس‌های آبرفتی (رسوبی، حمل شده):** این خاک رس‌ها توسط عوامل جوی از محل اولیه خود حرکت کرده و در محل دیگری ته نشین می‌شوند. دانه‌های این خاک‌ها از خاک رس‌های معدنی ریزتر است به همین علت خاصیت پلاستیسیته (شکل پذیری) بیشتری دارند. این خاک‌ها در تهیه آجر، سرامیک و نسوزها به کار می‌روند.

نوع دیگری از خاک رس‌ها نیز وجود دارد که از سنگ شیست[1] (Schist) که از سنگ‌های دگرگونی است، حاصل می‌شود. از این خاک رس برای تهیه آجرهای مرغوب استفاده می‌کنند که در برابر سایش و عوامل جوی از آجرهای معمولی مقاوم‌ترند و در گذشته آن‌ها را در کف سازی به کار می‌بردند.

تصویر شماره ۱۲.۲. معدن کائولین



تصویر شماره ۱۳.۲. ساختمان کائولینیت

تصویر شماره ۱٤.۲. سنگ شیست

۲.٤.۲. لای – Silt

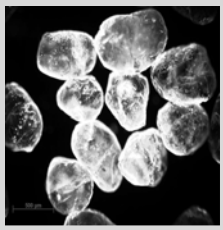
لای، ذرات ریزدانه با خاصیت خمیری بسیار اندک است. نوعی از این خاک را که دارای حداقل خاصیت خمیری است و عموماً از ذرات کوارتز تشکیل شده، آرد سنگ (Rock Flour) می‌نامند. نوع دیگر را که خاصیت خمیری بیشتری دارد و دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای ذرات پولکی شکل است، لای خمیری (Plastic Silt) گویند. لای اغلب با رس اشتباه می‌شود ولی با آزمایش‌های ساده صحرایی می‌توان این دو را از هم تشخیص داد.

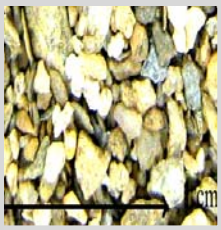
۱. سنگ شیست انواع مختلفی نظیر آهکی، رسی و قیری دارد. به شیست رسی، ،شیل (Shale) نیز می-گویند.

۳.٤.۲. ماسه – Sand

ماسه‌ها و شن‌ها از تجزیه کانی‌های مقاوم نظیر کوارتز به وجود می‌آیند. از ماسه برای تهیه انواع ملات‌ها، بتن، آجر ماسه آهکی و... استفاده می‌کنند. ماسه بر حسب منبع تهیه آن به چند دسته تقسیم می‌شود:

۱. ماسه رودخانه‌ای (River Sand): این ماسه مدت طولانی تحت تأثیر حرکت آب قرار گرفته است بنابراین گرد گوشه و دارای سطحی صاف است.
۲. ماسه کوهستانی (Quarry Sand): این ماسه در حوالی بستر اولیه رودخانه‌ها یافت می‌شود. ماسه کوهستانی تیزگوشه است و در ساخت بتن چسبندگی بهتری با سیمان خواهد داشت.
۳. ماسه بادی (Blown Sand): این ماسه از دانه‌های بسیار ریز تشکیل شده است و در کویرها، سواحل دریاها مانند دریای مازندران، خلیج فارس و در حاشیه برخی از رودها یافت می‌شود. ماسه بادی گرچه از مقاومت خوبی برخوردار است ولی به علت ریزی دانه‌های آن مصرف چندانی ندارد و برای ساخت بتن مناسب نیست.
٤. ماسه شکسته (Stone Sand): این ماسه به صورت مصنوعی و از خرد کردن سنگ‌های متراکم نظیر گرانیت به دست می‌آید. دانه‌های ماسه شکسته تیزگوشه است و سطوح بسیار خشنی دارد. از این رو برای ساخت بتن مناسب است.


تصویر شماره ۱۵.۲. ماسه رودخانه‌ای


تصویر شماره ۱٦.۲ ماسه کوهستانی

تصویر شماره ۱۷.۲ ماسه بادی

تصویر شماره ۱۸.۲. ماسه شکسته

گاهی خاک‌های مختلف نظیر رس، لای و ماسه به صورت مخلوط وجود دارند. یکی از راه‌های جدا کردن آن‌ها به جز الک کردن، این است که آن‌ها را در آب ریخته و هم می‌زنند. بدین ترتیب دانه‌های درشت‌تر و سنگین‌تر ماسه ته نشین شده و روی آن‌ها دو لایه مجزای لای و خاک رس قرار می‌گیرند.

تصویر شماره ۱۹.۲. روش جدا کردن مخلوط انواع خاک‌ها از یکدیگر

۴.۴.۲. شن – Gravel

شن طبیعی عموماً از بستر رودخانه‌ها به دست می‌آید از این رو اغلب گرد گوشه است و با ماسه مخلوط می‌باشد که آن‌ها را با الک از هم جدا می‌کنند. ذرات شن خالص تماماً از هم جدا هستند، بنابراین شن فاقد ساختار است. همان گونه که اشاره شد، در دانه‌های رسی اندازه یکی از ابعاد از دو بعد دیگر بسیار کوچک‌تر است ولی در شن و ماسه هر سه بعد به طور متناسب بزرگ هستند و مساحت زیاد سطح باعث تماس بیشتر با رطوبت می‌شود. شنی که دانه‌های آن گوشه‌دار باشد برای تهیه بتن مناسب‌تر است.

۵.۴.۲. قلوه – Boulder

مصالح سنگی درشت‌تر از شن را قلوه می‌گویند.

۵.۲. روش‌های بهبود خاک

جهت ارتقای کیفی مشخصات خاک، استفاده بهتر از آن، افزایش مقاومت آن در برابر زلزله و...، رفتار خاک را با استفاده از روش‌های گوناگون به شرح زیر بهبود می‌بخشند:

- **افزودنی‌های فیزیکی**: این افزودنی‌ها نظیر کاه، موی چهارپایان و... در خاک رس باعث مسلح شدن خاک و افزایش مقاومت کششی آن در سازه‌های

قدیمی می‌شود. یکی دیگر از افزودنی‌های فیزیکی در خاک، قیر است. اختلاط خاک با قیر معمولاً برای خاک‌های درشت دانه نظیر شن و ماسه مناسب است. خاک‌های ریزدانه در صورتی قابل تثبیت با قیر هستند که بتوان آن‌ها را کاملاً از حالت کلوخه بودن خارج کرد و دانه‌های آن را با قیر اندود کرد. هر اندازه که مخلوط خاک و قیر متراکم‌تر شود، استقامت و باربری آن بیشتر خواهد بود.

- **افزودنی‌های شیمیایی**: این افزودنی‌ها با ایجاد فعل و انفعال با ذرات خاک باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی از جمله افزایش ظرفیت باربری، کاهش نشست پذیری و کاهش نفوذ پذیری خاک می‌شوند. از جمله این مواد می‌توان به آهک، سیمان و .... اشاره کرد.
- ژئوگرید (Geogrid) و ژئوسنتتیک (Geosynthetic): این مسلح کننده‌ها توسط اصطکاک ایجاد شده بین سطح خود و خاک، باعث افزایش مقاومت کششی خاک می‌شوند.
- مسلح کردن خاک با لاستیک‌های فرسوده.
- میخ کوبی (Nailing)، میل مهار (Anchor)، ریز شمع‌ها (Microphile) و... .

تصویر شماره ۲۰.۲. چند تصویر از ژئوگرید و کاربرد آن

تصویر شماره ۲۱.۲. چند تصویر از میخ کوبی خاک

فصل ۳

چوب

۱.۳. تاریخچه

چوب Wood نیز مانند سنگ از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی است که به طور طبیعی و فراوان در دسترس بشر قرار داشته و پناهگاه بسیاری از جوامع بشری بوده است. قدمت ساختمان‌های چوبی به عصر نوسنگی یعنی حدود ۶۰۰۰ سال پیش می‌رسد. در کاوش‌های باستان شناسی از دریاچه‌های سوئیس، ساووآ (در حوزه آلپ)، ایتالیا و بسیاری از نقاط دیگر که در گذشته در آب قرار داشته‌اند، پایه‌های چوبی خانه‌های شناور مربوط به دوران نوسنگی به دست آمده است. در گذشته نه تنها خانه‌های مسکونی کوچک و بزرگ بلکه در ساخت پل‌ها و دیگر سازه‌های معماری نیز از چوب استفاده می‌کردند. در ایران نیز سازه‌های چوبی از ویژگی‌های بارز معماری کهن این

سرزمین است. در تخت جمشید، چهل ستون، عالی قاپو و بسیاری بناهای دیگر از چوب استفاده شده است.

در گذشته نیز استفاده از چوب تنها به صنعت ساختمان محدود نبوده است. مصریان بیش از ۳۰۰۰ سال پیش چوب‌های لایه‌ای و کاغذ را تولید کردند. این دو ماده نخستین موادی هستند که از چوب و الیاف آن ساخته شدند.

تصویر شماره ۱.۳. عالی قاپو

تصویر شماره ۲.۳. کاغذ چوبی مصری

۲.۳. ضرورت استفاده و کاربرد چوب

از چوب به دلیل خواص بسیاری که دارد فرآورده‌های متنوعی تولید می‌کنند، از تیرهای لایه‌ای با دهانه‌های خیلی بزرگ گرفته تا اسباب بازی و کاغذ و... . این ماده در مقابل عوامل طبیعی نظیر زلزله، توفان، گردباد، بار برف‌های سنگین و... عملکرد شایسته‌ای از خود نشان داده است. همچنین خواصی نظیر سهولت در اجرا، مقاومت نسبی بالا، مهار نمودن نیروهای کششی حاصل از رانش (در دهانه طاق‌ها)، تبدیل بار متمرکز به بار گسترده، برخورداری از حالت ارتجاعی برای مقابله با نیروی زلزله، خاصیت عایق حرارتی، چگالی کم، قابلیت احیا و بازگشت به چرخه طبیعت و... ارزش استفاده از آن را دو چندان می‌کند. در مقابل چوب نقاط ضعفی نیز دارد که کاربرد آن را در برخی موارد محدود می‌کند، از جمله این‌که چوب می‌سوزد، در برابر رطوبت آسیب‌پذیر است، می‌پوسد و کپک می‌زند، موریانه‌ها آن را می‌خورند و نیز مقطع عرضی آن در جهات مختلف خواص متفاوتی دارد. این نقاط ضعف و نیز گران شدن روز افزون چوب به علت محدود شدن منابع آن، سبب شده که امروزه استفاده از چوب در

ساختمان بیشتر به امور تزئینی و ساخت لوازم منزل اختصاص یابد. در کل می‌توان از چوب در موارد زیر بهره برد:

- ساخت خانه‌ها و ویلاهای تمام چوبی در مناطق جنگلی.
- استفاده سازه‌ای نظیر تیر و ستون، خرپاهای چوبی، تیرهای چهار تراش در سقف های شیب دار و... .
- ساخت در و پنجره، پارتیشن، قرنیز دیوار، پوشش دیوار و کف (پارکت) سقف کاذب و... .
- ساخت قالب های بتن‌ریزی با چوب نراد (نرم چوب‌ها) یا تخته‌های چوبی با روکش پلیمری.
- ساخت لوازم منزل و اجرای تزئینات.
- استفاده در صنایعی نظیر کشتی و قایق‌سازی، کاغذ سازی، پارچه‌بافی، صنایع بسته‌بندی و... .

تصویر شماره ۳.۳. ویلای چوبی

تصویر شماره ٤.۳. سازه چوبی

تصویر شماره ۵.۳. قالب بتن

۳.۳. ساختمان چوب

درخت از سه قسمت ریشه، تنه و سر تشکیل شده است. آب و مواد معدنی تحت تأثیر مجموع اثر کشش سطحی و موئینگی بالا رفته و از ریشه به آوندهای داخل تنه و از آن‌جا نیز به برگ‌ها فرستاده می‌شوند.

همان گونه که در تصویر شماره ٦.۳ (صفحه بعد) مشاهده می‌شود، برش عرضی تنه درخت شامل سه قسمت است:

۱. پوست درخت که عایق و محافظ چوب است و مصرف ساختمانی ندارد.

۲. چوب که بخش سخت زیر پوست است و بافت آوندی[1] دارد. این قسمت می‌تواند بار را تحمل کند و بیشترین مصرف را در صنایع مختلف دارد.

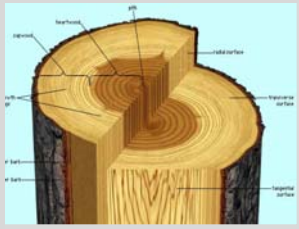
۳. مغز چوب که تحمل بار را ندارد و مقاومت آن کم است.

چوب یک بافت سلولزی آلی است که حدود ۵۰-۴۰٪ وزن آن را کربوهیدرات-ها (سلولز و...)، ۶۰-۴۰٪ آب و حدود ۱٪ وزن آن را ازت و کانی‌های دیگر تشکیل می‌دهد. میزان آب در چوب بر حسب نوع درخت و نیز فصلی که درخت در آن قطع می‌شود، بستگی دارد. آب درخت در ساقه‌ها بیشتر از تنه آن است.

به مرور زمان در اطراف مغز چوب، بافتی از سلول‌های مرده تشکیل می‌شود که چوب پیر نام دارد. این قسمت معمولاً از چوب جوانی که آن را احاطه کرده است محکم‌تر و تیره‌تر است. در برش عرضی تنه درخت دایره‌های هم مرکزی به نام حلقه-های سالیانه دیده می‌شود که نشانه سن درخت هستند.

قسمت درونی این دایره‌ها دارای رنگی روشن است (چوب بهاره - چوب آغازین) و قسمت بیرونی دایره‌ها (چوب پاییزه - چوب واپسین) رنگی تیره دارد. هر چه حلقه‌های سالیانه ضخیم‌تر باشند، چوب مستحکم‌تر است. چوب پاییزه سخت‌تر، مقاوم‌تر و دارای وزن مخصوص بیشتری نسبت به چوب بهاره است.

در برش عرضی برخی درختان نظیر کاج‌ها، نوئل‌ها و لارک، کانل صمغ (رزین) نیز وجود دارد.



تصویر شماره ۶.۳. ساختمان چوب

تصویر شماره ۷.۳. آوندهای چوب

تصویر شماره ۸.۳. حلقه‌های سالیانه

۱. تارهای طولی (الیاف طولی) داخل چوب که آب و مواد معدنی را به برگ‌ها می‌رسانند.

۴.۳. چوب‌های مورد استفاده در ساختمان سازی

چوب هر دو دسته از درختان در ساختمان سازی قابل استفاده است. درختان پهن برگ (سخت چوب‌ها)[1] و درختان سوزنی برگ (نرم چوب‌ها – نراد). درختان پهن برگ نظیر گردو، انجیر، چنار، بلوط، افرا، راش، تبریزی و سپیدار برای ساخت مبلمان، در و پنجره و نازک‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. درختان سوزنی برگ نظیر کاج، سرو و سرخدار برای ساخت تیر و ستون، داربست، قالب‌سازی، کاغذسازی، و... مصرف می‌شوند. در کل مصرف سوزنی برگان در ساختمان‌سازی بیشتر است. هرچه حلقه‌های سالیانه درختان پهن برگ، پهن‌تر باشد و هرچه حلقه‌های سالیانه درختان سوزنی بزرگ به هم نزدیک‌تر باشند، مقاومت چوب آن‌ها بیشتر است. در ادامه به برخی از تفاوت‌های این دو دسته درخت اشاره می‌شود:

- برش عرضی درخت سوزنی برگ ساده، منظم و هندسی است ولی برش عرضی درخت پهن برگ نامنظم است.
- سوزنی برگان سبک‌تر، نرم‌تر و دارای وزن مخصوص کمتری هستند بنابراین راحت‌تر بریده و رنده می‌شوند و هزینه کار با آن‌ها نیز پایین‌تر است. ولی دوام و تحمل بار آن‌ها از پهن برگان کمتر است.
- سوزنی برگان چون سبک هستند، تعداد تارهای چوبی آن‌ها در واحد حجم کمتر است بنابراین آب کمتری دارند و کمتر از پهن برگان کار می کنند (کار کردن یا تغییر شکل چوب در مباحث بعدی شرح داده خواهد شد).
- پهن برگان رنگ‌ها و نقش‌های زیباتری دارند و بهتر لاک خورده و پرداخت می‌شوند.

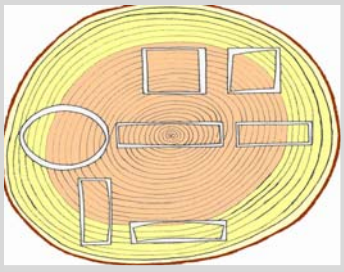
۵.۳. آماده سازی چوب جهت مصرف

پس از بریدن درخت برای این‌که چوب قابل استفاده باشد، باید اعمالی به شرح زیر بر روی آن انجام گیرد.

۱. نام سخت چوب ها به دلیلی نوع بافت آن‌هاست و دلیل بر سخت‌تر بودن کلیه چوب‌های این دسته نمی‌باشد.

۱.۵.۳. خشک کردن چوب

چوب در اثر تغییر دما و رطوبت تغییر شکل و تغییر حجم پیدا می‌کند. به این تغییر، به اصطلاح کار کردن چوب گویند. چوب خاصیت هیگروسکپیک (جذب و دفع رطوبت) دارد یعنی اگر رطوبت آن از رطوبت محیط کمتر باشد، رطوبت جذب می‌کند ولی اگر از محیط اطرافش مرطوب‌تر باشد، رطوبت دفع می‌کند. وقتی رطوبت چوب در دما و فشار ثابت، با محیط اطرافش برابر شد و به اصطلاح به نقطه رطوبت تعادل رسید، دیگر تغییر شکل نمی‌دهد (کار نمی‌کند). اما چون شرایط محیط از نظر رطوبت، دما و فشار همیشه ثابت نیست لذا برای جلوگیری از کار کردن چوب باید تمهیداتی از جمله خشک کردن و بستن منافذ چوب انجام گیرد.



تصویر شماره ۹.۳. کار کردن مقاطع مختلف چوب

تنه درخت پس از بریده شدن به تدریج شروع به خشک شدن می‌کند ولی چون همه جای آن یکسان خشک نمی‌شود، درخت ترک می‌خورد. برای جلوگیری از این ترک‌ها، سر و ته تنه درخت را با کیسه پلاستیکی می‌پوشانند یا دو سر آن را گل می‌مالند تا آب درخت زود تبخیر نشود. ولی در روش خشک کردن چوب در هوای آزاد، علاوه بر بروز ترک در آن، بسته به نوع چوب بین ۲۴–۴ ماه زمان لازم است بنابراین امروزه چوب‌ها را در کوره‌های مخصوص خشک می‌کنند.

۲.۵.۳. کوره‌های خشک کردن چوب

این کوره‌ها انواع مختلفی دارند ولی موردی که در همه آن‌ها مشترک است، وجود دماسنج و رطوبت سنج در آن‌هاست. به طوری که اگر رطوبت داخل کوره در اثر تبخیر آب چوب زیاد شود، دستگاه مکنده هوا رطوبت را خارج می‌کند و اگر میزان رطوبت

کم شود، دستگاه مکنده به صورت خودکار خاموش شده و رطوبت وارد کوره می‌شود. در غیر این صورت فضای خشک داخل کوره باعث می‌شود که سطح رویی الوارها (تخته‌های چوب) زودتر از درون آن خشک شود و چوب ترک بخورد. همچنین دمای کوره‌ها نیز باید بیشتر از ۷۰ درجه سانتیگراد نباشد.

یکی از انواع این کوره‌ها به صورت یک اتاقک است که در آن الوارها را طوری روی هم می‌چیند که میان آن‌ها فاصله باشد و حرارت به طور یکنواخت به همه سطوح الوارها برسد. نوع دیگر، کوره تونلی است که در آن الوارها را با فاصله روی واگن‌های مخصوص می‌چینند. این واگن‌ها به آرامی در طول تونل حرکت کرده و پس از خشک شدن از آن خارج می‌شوند. میزان خشک شدن چوب با توجه به کاربرد چوب متفاوت است. در کارهای تزئینی و دقیق که چوب نباید اصلاً تغییر شکل داشته باشد، رطوبت آن باید کمتر از ۵٪ باشد ولی چوب در و پنجره می‌تواند ۱۶– ۱۴٪ رطوبت داشته باشد.

۳.۵.۳. محافظت از چوب پس از خشک شدن

همان‌طور که اشاره شد، چوب تمایل به تبادل رطوبت با محیط اطراف خود دارد بنابراین سر و ته الوار خشک شده را با روغن‌ها یا رنگ‌های مخصوص می‌پوشانند تا آوندهای چوب رطوبت را جذب نکنند. همچنین برای جلوگیری از هجوم حشرات به چوب می‌توان از روغن‌های سمی استفاده کرد.

چوبی که مورد استفاده قرار می‌گیرد اگر همیشه زیر آب بماند یا همیشه در هوای خشک بماند، دوامش از چوبی که گاهی زیر آب و گاهی در هوا است (کم و زیاد شدن نم چوب) بیشتر است.

تصویر شماره ۱۰.۳. اتاقک خشک کردن چوب

تصویر شماره ۱۱.۳. رنگ کردن دو انتهای الوارها پس از خشک شدن

٤.٥.٣. عمل آوردن چوب

برای مصارف گوناگون علاوه بر خشک کردن چوب روی آن عملیات دیگری نظیر افزایش دوام و مقاومت چوب، زیبا کردن سطح آن و... انجام می‌دهند. این قبیل اقدامات را عمل آوردن چوب می‌نامند. خشک کردن و محافظت‌های پس از آن نیز نوعی عمل آوردن چوب است. برخی از این اقدامات به طرق زیر انجام می‌پذیرد:

- حجم چوب را تحت فشار به نصف کاهش می‌دهند. در این صورت وزن مخصوص، مقاومت و سختی چوب افزایش می‌یابد.
- برای خم کردن چوب آن را در آب یا بخار آب قرار می‌دهند تا الیافش نرم شود سپس آن را به قالب با شکل دلخواه می‌بندند.
- سطح چوب را با لاک، الکل، رنگ‌های روغنی، قیر آبکی یا قطران اندود می‌کنند تا در برابر نم، کپک زدن و هجوم حشرات مقاوم شود.
- آب و مواد معدنی داخل آوندها را با فشار هوا خارج می‌کنند و رزین‌های مصنوعی مقاوم در برابر رطوبت، آتش، هجوم حشرات و... را با فشار داخل آوندها تزریق می‌کنند (اشباع کردن چوب). این مواد باید طوری انتخاب شوند که در میخ و قطعات فلزی که جهت اتصال چوب‌ها به کار می‌روند، خوردگی ایجاد نکنند.
- به منظور افزایش مقاومت چوب در برابر آتش سطح آن را با لایه نازکی از گچ یا سیمان می‌پوشانند.

تصویر شماره ۱۲.۳. خم کردن چوب از طریق بستن آن به قالب

۶.۳. خواص چوب

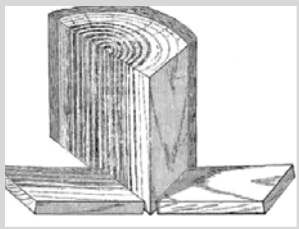
۱.۶.۳. خواص فیزیکی چوب

- **وزن مخصوص:** این وزن به مقدار خلل و فرج و رطوبت چوب بستگی دارد. هر چه وزن مخصوص چوب بیشتر باشد، مقاومت و سختی آن نیز افزایش می‌یابد. البته وزن مخصوص چوب باید در حالت خشک (رطوبت ۱۵٪) محاسبه شود زیرا رطوبت زیاد باعث بالا رفتن این پارامتر در چوب می‌شود، بدون این‌که مقاومت آن افزایش یابد. وزن مخصوص اکثر چوب‌ها کمتر از آب (کمتر از $\frac{gr}{cm^3}$ ۱) است. چوب‌های سنگین‌تر از این مقدار به علت سختی اره کردن، رنده کردن و میخ‌کوبی، مصارف ساختمانی ندارند.

۱.۳. وزن مخصوص انواع چوب (چوب‌های خشک)

چوب	وزن مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)
ار	۰/۷۵
ساد	۰/۹
ازاد	۰/۷
دار	۰/۵
ک	۰/۴۳
ج	۰/۶۵
ط	۰/۹
ج	۰/۶
غان	۰/۶۵
کا	۰/۵
چشک	۰/۷
بر	۰/۶
ن	۰/۷
سیاه کاج	۰/۵
ز	۰/۷
ی	۰/۴۵
و	۰/۶۵

- **هدایت حرارتی**: چوب عایق حرارتی مناسبی است ولی با افزایش رطوبت هدایتی حرارتی آن افزایش می‌یابد. هدایت حرارتی چوب در جهت طولی (جهت تارهای چوب) دو برابر جهت عرضی (شعاعی و مماسی) و در جهت شعاعی بیشتر از جهت مماسی است. ضریب هدایت حراتی چوب-های مختلف بین ۰/۲۸-۰/۰۶ $\frac{kcal}{mh^{\circ}C}$ است در حالی که این مقدار برای آلومینیوم ۱٤۰۰، آهن ۳۵۰، آجر۵-٤ و آب ٤ است.
- ضریب انبساط حرارتی چوب در جهت طولی (جهت تارهای چوب) تقریباً ۱۸٪ جهت عرضی (شعاعی و مماسی) آن است.
- **هدایت الکتریکی**: چوب عایق الکتریسیته است ولی با افزایش رطوبت هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد. مقاومت الکتریکی چوب در جهت طولی تقریباً ۱۲٪ جهت عرضی است.
- **هدایت صوت**: چوب به علت قابلیت ارتجاعی، صدا را تقویت می‌کند. ولی هر چه سطح آن نامنظم‌تر باشد، خاصیت آکوستیکی آن بیشتر است.
- **نقوش چوب**: نقش‌های چوب یا در اثر رنگ چوب است یا در اثر تارهای چوب (برش طولی) و حلقه‌های سالیانه (برش عرضی). رنگ چوب پیر تیره‌تر از چوب جوان و حلقه‌های پاییزه تیره‌تر از حلقه‌های بهاره است. چوب‌های تیره معمولاً بادوام‌ترند. از طرفی چوب‌های مختلف رنگ‌های متفاوتی دارند، مثلاً چوب گردو تیره رنگ و چوب ملج (نارون کوهی) زرد متمایل به سفید است. چوب توت در ابتدا نارنجی رنگ است و در مقابل نور خورشید به رنگ طلائی و سپس قهوه‌ای در می‌آید.



تصویر شماره ۱۳.۳. برش طولی چوب

تصویر شماره ۱٤.۳. چوب درخت گردو

تصویر شماره ۱۵.۳. چوب درخت ملج

۲.۶.۳. خواص شیمیایی چوب

- **اثر اسیدها و بازها:** قسمت اعظم غشای سلول‌های چوبی را سلولز تشکیل می‌دهد. اسیدها، بازها و مواد اکسید کننده در صورتی که رقیق باشند بر سلولز چوب اثری ندارند ولی چنان‌چه غلیظ باشند تأثیرات شیمیایی بر سلولز چوب خواهند داشت. چوب‌های سوزنی برگ در برابر مواد شیمیایی از چوب‌های پهن برگ مقاوم‌ترند.
- فرآورده‌های نفتی بر مقاومت چوب تأثیر منفی ندارند.

۳.۶.۳. خواص مکانیکی چوب

هنگام بارگذاری بر چوب باید عواملی نظیر وزن مخصوص، همگن بودن چوب، نوع چوب و محل رویش، پهنی حلقه‌های سالیانه، جهت تارهای آن، میزان رطوبت چوب، چکونگی عمل آوردن چوب، رطوبت و دمای محیط، گذشت زمان، پوسیدگی و... را در نظر گرفت زیرا این عوامل بر خواص مکانیکی چوب که در ادامه شرح داده خواهند شد، تأثیر گذارند.

- **مقاومت فشاری:** این مقاومت در چوب‌های مختلف بین $۳۰-۸۰ \frac{N}{m^۲}$ است. چوبی که ۵٪ رطوبت دارد، دارای بیشترین مقاومت است و اگر در آوندهای چوب مواد خاصی تزریق شود مقاومت آن افزایش می‌یابد.
- **مقاومت کششی:** مقدار این مقاومت در چوب در جهت تارهای آن (جهت طولی) ۱۰ برابر جهت عمود بر آن‌هاست. همچنین مقاومت چوب در جهتی که با تارها ایجاد زاویه کند، تقریباً برآیندی از دو جهت عمود بر هم است. مقاومت کششی چوب‌های مختلف بین $۶۰-۲۰۰ \frac{N}{m^۲}$ است.

۷.۳. معایب چوب

معایب موجود در برخی از چوب‌ها باعث می‌شود که مقاومت و دوام آن‌ها کم شود، کار کردن با آن مشکل شود، دور ریز چوب زیاد شود، ظاهری نا مناسب پیدا کند و در نهایت ارزش چوب کم شود. معایب چوب به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. **معایبی که هنگام رویش درخت ممکن است در چوب ایجاد شود:**

- یک طرفه روییدن درخت (رشد غیر مرکزی): این عیب در مناطقی که باد از یک سمت می‌وزد ایجاد می‌شود. در سمتی که حلقه‌های سالیانه به یکدیگر نزدیک‌ترند، چوب درخت سست‌تر است. چوب چنین درختی پس از خشک شدن تاب بر می‌دارد.
- چندگانه روییدن درخت (دو مرکزی بودن): اگر درخت را از روی خاک ببرند پاجوش می‌زند. پاجوش‌ها به تدریج کلفت می‌شوند و به یکدیگر می‌چسبند و به شکل یک درخت در می‌آیند.
- پیچ خوردگی درخت: علت این امر می‌تواند وزش باد یا تابش نور خورشید از یک جهت و نیز روییدن شاخه‌ها فقط در یک سمت باشد.

تصویر شماره ۱۶.۳. رشد غیر مرکزی درخت

تصویر شماره ۱۷.۳. دو مرکزی بودن درخت

تصویر شماره ۱۸.۳. پیچ خوردگی درخت

- تغییر جهت تارهای درخت: گاهی اوقات تارهای درخت با خطی فرضی که در امتداد طول و از مرکز درخت می‌گذرد، دارای زاویه هستند (درخت کج تار) یا تارهای درخت از مرکز آن دور و نزدیک می‌شوند (درخت موج‌دار). چوب این گونه درخت‌ها در اثر رطوبت بیشتر تغییر شکل می‌دهند و مقامت آن‌ها کمتر است.
- گره درخت: گره‌ها محل روییدن شاخه‌ها هستند. اگر گره هم رنگ چوب و متصل به بافت اصلی آن باشد، به آن گره زنده می‌گویند. ولی اگر تیره‌تر از بافت چوب باشد، گره مرده نامیده می‌شود. گره مرده به بافت اصلی درخت متصل نبوده و به تدریج در اثر انقباض و انبساط از آن جدا می‌شود. بنابراین مقاومت‌های مکانیکی به خصوص مقاومت خمشی چوب را کاهش می‌دهد.

معمولاً در اثر خشک شدن چوب در اطراف گره‌ها ترک ایجاد می‌شود. همچنین گره‌ها در محصولات چوبی نظیر پارکت که در معرض ساییدگی قرار دارند، ناهمواری ایجاد می‌کنند.

تصویر شماره ۱۹.۳. گره زنده درخت

تصویر شماره ۲۰.۳. گره مرده درخت

۲. معایبی که پس از قطع درخت ممکن است در چوب ایجاد شود:

اگر قطع کردن درخت و یا عمل آوردن و نگهداری از چوب تا زمان مصرف و پس از آن درست انجام نگیرد، معایب و مشکلاتی در چوب بروز می‌کند. ترک در چوب جزء معایبی است که هم قبل از قطع درخت و هم بعد از آن ممکن است در چوب ایجاد شود. علاوه بر ترک‌های یاد شده در بخش «خشک کردن چوب» ممکن است درخت پس از قطع شدن هنگام به زمین افتادن کوفته شود و حلقه‌های سالیانه آن از هم جدا شده و شیره درخت در بین آن‌ها جمع شود. این شیره بعداً در اثر سرما یخ می‌زند و باعث ایجاد ترک می‌شود.

۸.۳. آفات چوب و راه‌های مقابله با آن‌ها

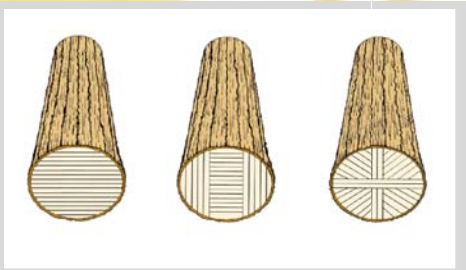
حشرات مختلف از جمله موریانه‌ها چوب را می‌خورند و در آن حفره ایجاد می‌کنند. خط موریانه‌ها از این جهت دارای اهمیت است که حمله آن‌ها قبل از این‌که چوب غیر قابل استفاده شود، قابل رؤیت نیست. موریانه‌ها در زمین‌های خاک رسی و نمناک زندگی می‌کنند و چوب سفید و سست را می‌خورند ولی به چوب‌های سخت و صمغ-دار تمایلی ندارند. یکی از راه‌های مقابله با موریانه‌ها و حشراتی از این قبیل، سمپاشی خاک اطراف پی ساختمان‌های چوبی در فواصل زمانی معین است.

قارچ‌ها نیز باعث تغییر رنگ، پوسیدگی و کاهش مقاومت چوب می‌شوند. اگر رطوبت چوب بیشتر از ۱۵٪ نباشد، قارچ‌ها نمی‌توانند در آن رشد کنند. جهت جلوگیری از هجوم قارچ‌ها و نفوذ رطوبت در چوب، سطح آن را با موادی نظیر لاک، ورنی‌ها، رنگ‌های روغنی و... می‌پوشانند. این مواد باید روی چوب کاملاً خشک اجرا شوند. در برخی از چوب‌ها که دارای آوندهای درشت بهاره هستند، برای جلوگیری از نفوذ زیاد رنگ در آن‌ها، قبل از رنگ زدن سطح چوب را بتانه می‌کنند.

۹.۳. اشکال مختلف چوب

۱.۹.۳. انواع برش‌های چوب

جهت مصارف گوناگون چوب‌ها را به ابعاد و اشکال مختلفی نظیر چوب چهار تراش، الوار، گرده و... برش می‌دهند. در تصویر شماره ۲۱.٦ چند روش برش چوب نمایش داده شده است.



تصویر شماره ۲۱.۳. روش‌های برش چوب

۲.۹.۳. چوب‌های ورقه‌ای (روکش) – veneer

برخی از چوب‌ها مانند گردو، راش، توسکا، ملج و... دارای رنگ‌ها و نقوش بسیار زیبایی هستند به همین دلیل نسبت به چوب‌های دیگر گران‌ترند. از این رو برای مقرون به صرفه شدن کارهای چوبی، تنها ورقه‌ای نازک از این چوب‌ها را روی چوب‌های ساده‌تر و ارزان‌تر می‌کشند و مورد استفاده قرار می‌دهند. این روکش‌ها با روش‌های مختلف و با ضخامت‌های گوناگون (حتی کمتر از ۰/۳ میلیمتر) تهیه می‌شوند. طرحی که روکش دارد به روش و جهت بریدن چوب بستگی دارد. پس از برش، روکش‌ها را

خشک می‌کنند تا رطوبتشان به ۱۵٪ برسد. چنان‌چه روکش‌ها بیشتر از این حد خشک شوند، انعطاف‌پذیری خود را از دست می‌دهند و شکننده و غیرقابل استفاده می‌شوند.

تصویر شماره ۲۲.۳. روش‌های مختلف تهیه روکش چوب

۳.۹.۳. چوب‌های مصنوعی

به علت محدود بودن منابع چوب و گران شدن آن، چوب‌های مصنوعی از به هم چسباندن خرده چوب، خاک اره براده و یا لایه‌های چوب ساخته شده‌اند. این چوب‌ها در ساخت قفسه انواع کمدها، درب اتاق‌ها، میز و صندلی، صنایع بسته‌بندی و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه انواع چوب‌های مصنوعی بررسی خواهند شد:

۱.۳.۹.۳. نئوپان – Neopan

برای ساخت نئوپان، شاخه‌های باریک درختان و خرده چوب‌هایی را که کاربردی ندارند، آسیاب و خشک می‌کنند تا رطوبت آن‌ها به ۱۰٪ برسد. سپس آن‌ها را با چسب‌هایی که در مقابل آب و رطوبت مقاومند مخلوط کرده و در قالب می‌ریزند. مخلوط حاصل را تحت فشار و حرارت ۱۵۰ درجه سانتیگراد به ضخامت مورد نظر می‌رسانند و با ماشین سمباده روی آن را صاف می‌کنند. سطح نهایی نئوپان را با یک لایه رنگ شیشه‌ای و شفاف می‌پوشانند تا در برابر رطوبت مقاوم شود. وزن مخصوص نئوپان حدود ۰/٦ $\frac{gr}{cm^3}$ است، مقاومت مکانیکی نسبتاً خوبی دارد و بسیار ارزان است.

۲.۳.۹.۳. تخته چند لایه – Laminated Wood

برای ساخت تخته چند لایه، ورقه‌های چوبی به ضخامت ۲–۱ میلیمتر را در چند لایه (۹،۷،۵،۳) با چسب و تحت فشار به هم می‌چسبانند. لایه چسب میان ورق‌ها در برابر

آب و رطوبت مقاوم است و باعث می‌شود که چوب نم نکشد. چوب‌های نامرغوب را در لایه میانی و چوب‌های مرغوب و نقش‌دار را در دو سطح تخته قرار می‌دهند به طوری که تارهای چوب هر لایه بر تارهای لایه دیگر عمود باشند. در این حالت نیروهای وارد شده بر هر لایه به وسیله لایه پایین و بالای آن خنثی می‌شود. بنابراین تخته حالت فنری پیدا می‌کند و هنگام خم شدن تغییر شکل نمی‌دهد. به همین جهت به آن تخته فنری نیز می‌گویند. این ویژگی سبب می‌شود که بتوان تخته چند لایه محدب تولید کرد که در صنایع هواپیما سازی و کشتی سازی کاربرد دارد.

۳.۳.۹.۳. تخته فیبرها – Fiberboards

تخته فیبرها همانند نئوپان ساخته می‌شوند با این تفاوت که در ساخت آن‌ها از خرده چوب‌های کوچک‌تری استفاده می‌شود. تخته فیبرها را از پوشال، خاک اره، چوب‌های گیاهی (مانند تفاله ساقه نیشکر کارخانه قند) و... می‌سازند. علاوه بر این، چسب‌های شیمیایی به کار رفته در خمیر تخته فیبرها نسبت به چسب‌های مورد استفاده در ساخت نئوپان، سازگاری کمتری با محیط زیست دارند بنابراین بر خلاف نئوپان قابل بازگشت به چرخه طبیعت نیستند. برخی کارخانه‌ها در ساخت تخته فیبرها از مواد ضد حریق، ضد حشره، پارافین و... نیز استفاده می‌کنند. روکش این تخته‌های نیز با توجه به کارخانه سازنده آن‌ها متفاوت است. تخته فیبر در دو نوع زیر تولید می‌شوند:

۱. تخته فیبر سخت (High-density Fiberboard (HDF))
۲. تخته فیبر نیمه سخت (Medium-density Fiberboard (MDF))

از انواع تخته فیبرها برای تقسیم بندی فضاهای داخلی، ساخت کمد و... استفاده می‌کنند. تخته‌های سبک وزن به عنوان عایق حرارتی نیز به کار می‌روند.

تصویر شماره ۲۳.۳. نئوپان

تصویر شماره ۲٤.۳. تخته چندلایه

تصویر شماره ۲۵.۳. تخته فیبر

٤.٣.٩.٣. صفحات چوب-سیمان - Cement Board (CB)

برای ساخت این صفحات ۲۰٪ خرده چوب، ۲۰٪ آب، ٦۰-۵۵٪ سیمان پرتلند و برخی مواد شیمیایی خاص را مخلوط و تحت فشار و حرارت پرس می‌کنند. صفحات چوب-سیمان سبک هستند و در برابر آتش، آب، صوت، پوسیدگی و یخبندان مقاومند و قابلیت رنگ شدن، چسب خوردن، میخ زدن و پیچ کردن را دارند. بنابراین می‌توان از آن‌ها هم در داخل بنا به عنوان پوشش سقف و کف و هم در خارج از ساختمان برای نصب روی آجر و بتن و... استفاده کرد. همچنین با تزریق دی اکسید کربن در این صفحات مقاومت آن‌ها را جهت استفاده در خارج از ساختمان افزایش می‌دهند.

٥.٣.٩.٣. صفحات چوب-گچ - Gypsum Fiberboard (GFB)

این صفحات از ترکیب ذرات چوب و گچ های مصنوعی که خود از محصولات فرعی تولید کودهای مصنوعی هستند، ساخته می‌شوند. صفحات چوب-گچ از دیگر چوب-های مصنوعی ارزان‌ترند و از آن‌ها در داخل ساختمان برای تقسیم بندی فضا، پوشش کف، سقف و دیوارها استفاده می‌کنند.

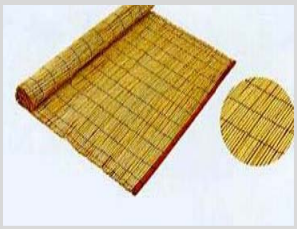
٦.٣.٩.٣. صفحات چوب-لاستیک

این صفحات از الیاف چوب، تایر فرسوده و رزین ساخته می‌شوند و در برابر رطوبت، کشش و ضربه مقاومند.

علاوه بر موارد یاد شده، چوب‌های مصنوعی دیگری نیز تولید می‌شوند، نظیر:

- **کانتکس**: ساقه نی بافته شده با سیم گالوانیزه که کاربرد آن در ساخت دیوار جدا کننده، سقف کاذب و... است.
- **آندولین**: سقف پوشی موج‌دار متشکل از الیاف گیاهی و مواد شیمیایی.
- **تخته‌های گلولام**: از پرس قطعات کوچک چوب و به شکل‌های مختلف صاف و انحنادار ساخته می‌شوند.

تصویر شماره ۲۶.۳. صفحات چوب- سیمان



تصویر شماره ۲۷.۳. ورقه‌های کانتکس

تصویر شماره ۲۸.۳. تخته‌های گلولام

۱۰.۳. انبار کردن چوب

چوب‌ها را باید در محل سرپوشیده و دور از رطوبت، سرما و یخبندان و مواد قابل اشتعال نگهداری کرد. همچنین جهت جلوگیری از هجوم حشرات نباید چوب‌ها را در تماس مستقیم با خاک قرارداد و نیز هر چند وقت یک بار انبار را سمپاشی کرد.

هنگام استفاده از چوب باید دقت شود که کلیه اتصالات فلزی با مواد ضد رنگ روکش شوند. جهت این کار روکش‌های آلومینیومی، مسی، روی، استیل، و کادمیومی توصیه می‌شود.

فصل ٤

سنگ‌های ساختمانی

٤.١. تاریخچه

بشر از دیرباز در غارها زندگی کرده و سنگ را به عنوان سرپناه پذیرفته است. علاوه بر این، سنگ ابزار شکار و تنها وسیله دفاعی‌اش نیز بوده. در شمال ایرن خانه‌های سنگی-ای یافت شده که قدمت آن‌ها به ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد.

در دیوارها و ستون‌های سنگی تخت جمشید حجاری‌های جالب و پیکر تراشی-های زیبا و بدیعی از دوره هخامنشی به چشم می‌خورد. در پل‌های دوره ساسانی و کاخ‌هایی چون کاخ فیروزآباد و کاخ نیشاپور از سنگ لاشه همراه با ملات‌های گچ و آهک استفاده کرده و از سنگ‌های منظم برای نما سازی بهره گرفته‌اند.

۲.٤. ضروت استفاده و کاربرد سنگ‌ها

از نقطه نظر زمین شناسی سنگ به موادی از پوسته زمین اطلاق می‌شود که از یک یا چند کانی که با یکدیگر پیوند یافته‌اند، تشکیل شده است. در بسیاری از نقاط ایران، سنگ از مصالح بوم‌آورد محسوب می‌شود که سهل‌الوصول، فراوان، ارزان و بادوام است. سنگ در انواع مختلف و با کیفیت‌های گوناگون موجود است و با داشتن مقاومت‌های متفاوت امکان بهره‌گیری در شرایط مختلف جوی را فراهم می‌سازد.

انواع مختلف سنگ‌ها در پی سازی و نیز در داخل و خارج ساختمان برای کف سازی، پوشش نما، دیوار چینی، ازاره، تزئینات و... به کار می‌روند. سنگ در ساخت ابنیه سنگین نظیر پل‌ها، تونل‌ها، بهمن‌گیرها، دیوارهای حایل، سنگ چین‌ها و همچنین در راه سازی نقش ویژه‌ای دارد. در دیوارهای چینه‌ای به صورت خشکه چین و در نما سازی با ملات استفاده می‌شوند.

یکی از فرآورده‌های سنگ، شن و ماسه است که در ترکیب با مواد چسبنده، مصالح ساختمانی جدید تولید می‌کنند. نظیر انواع ملات‌ها، محصولات بتنی، موزائیک، آسفالت و... .

تصویر شماره ۱.٤. کاخ فیروزآباد

تصویر شماره ۲.٤. دیوار چینه

۳.٤. گروه بندی زمین شناسی سنگ‌ها

سنگ‌های ساختمانی را به صورت‌های مختلف، از نظر زمین شناسی، ترکیب شیمیایی، ساخت و بافت و... گروه بندی کرده‌اند. اما مهم‌ترین و عمده‌ترین آن‌ها، گروه بندی از لحاظ زمین شناسی است. زیرا در این روش منشأ پیدایش سنگ‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این گروه بندی، سنگ‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنند:

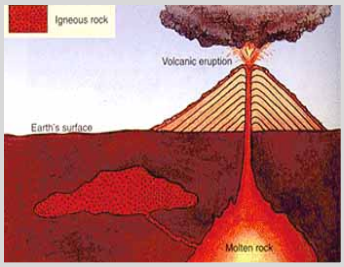
۱. سنگ‌های آذرین.
۲. سنگ‌های رسوبی یا ته نشسته.
۳. سنگ‌های دگرگونی.

۱.۳.٤. سنگ‌های آذرین – Igneous Rock

سنگ‌های آذرین بر اثر سرد شدن مواد بسیار داغ درون زمین (ماگما) به وجود می‌آیند، از این رو آن‌ها را سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های خروجی یا اولیه نیز می‌نامند. دمای اعماق زمین بسیار بالاست و برخی از سنگ‌ها را ذوب می‌کند. این سنگ‌ها در زیر یا سطح زمین دوباره سرد می‌شوند و سنگ‌های آذرین را به وجود می‌آورند که بافتی شیشه‌ای و حفره‌ای دارند و از بلورهای ریز یا درشت تشکیل شده‌اند.

سنگ‌های آذرین به لحاظ سرد شدن و نحوه انجماد شامل سه دسته‌اند:

۱. سنگ‌های آذرین درونی که مواد مذاب آن‌ها در زیر زمین به‌تدریج سرد شده و فرصت کافی برای بلوری شدن داشته‌اند. نظیر گرانیت، دیوریت و سینیت.
۲. سنگ‌هایی که مواد مذاب آن‌ها درون زمین به آهستگی شروع به سرد شدن کرده‌اند ولی قبل از سرد شدن کامل، به نقاط خنک‌تر زمین منتقل شده و عمل سرد شدن سریع‌تر صورت گرفته است. از این رو داخل این سنگ‌ها بلوری ولی سطح خارجی آن‌ها غیر بلوری است. نظیر پرفیر گرانیت، پرفیر دیوریت و پرفیر سینیت.
۳. سنگ‌های آذرین بیرونی که مواد مذاب آن‌ها به سطح زمین آمده و به تندی سرد شده‌اند، لذا فرصت بلوری شدن نداشته‌اند نظیر بازالت و پرفیریت‌ها.



تصویر شماره ۳.٤. نحوه تشکیل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی

تصویر شماره ٤.٤. گرانیت، نوعی سنگ آذرین درونی

۲.۳.٤. سنگ‌های رسوبی (ته نشسته) – Sedimentary Rock

به طور کلی منشأ همه سنگ‌های روی زمین آذرین است. برخی از سنگ‌های آذرین در اثر عوامل جوی و غلطیدن بر روی یکدیگر خرد می‌شوند و رودها این خرده سنگ‌ها را با خود به دریاها و دریاچه‌ها می‌برند. این مواد به علت سنگینی به ته آب رفته، روی هم قرار می‌گیرند و پس از سفت شدن سنگ‌های رسوبی را به وجود می‌آورند. با توجه به توضیحات فوق می‌توان ویژگی‌های زیر را برای این سنگ‌ها برشمرد:

- این سنگ‌ها لایه لایه‌اند که ممکن است رنگ یا جنس هر لایه با لایه دیگر متفاوت باشد.
- ممکن است بقایای موجودات دریایی در لابه‌لای لایه‌های آن‌ها یافت شوند.
- ممکن است در حین رسوب، مقداری خاک و لای در بین لایه‌های این سنگ‌ها قرار گیرد.

تصویر شماره ٥.٤. سنگ‌های رسوبی

حدود ۷۰٪ سنگ‌های سطح زمین، رسوبی هستند. این سنگ‌ها به دلیل داشتن منابع مهم نظیر نفت، گاز، زغال، آهن، اورانیم و نیز مواد مورد نیاز در ساختمان سازی مانند آهک، گچ و غیره از اهمیت خاصی برخوردارند. در ایران، سنگ‌های رسوبی در کوه‌های البرز و زاگرس به فراوانی یافت می‌شوند.

وزن مخصوص و سختی سنگ‌های رسوبی از سنگ‌های آذرین کمتر است.

۳.۳.٤. سنگ‌های دگرگونی – Metamorphic Rock

برخی از سنگ‌های آذرین یا رسوبی تحت تأثیر فشار، حرارت زیاد، عوامل جوی و... دچار تغییر و دگرگونی می‌شوند و سنگ‌های دگرگونی را به وجود می‌آورند. این سنگ‌ها بر حسب آن‌که تحت چه فشار و دمایی دگرگون شده‌اند، انواع مختلفی دارند.

سنگ‌های آذرین دگرگون شده را «اُرتو» و سنگ‌های رسوبی دگرگون شده را «پارا» می‌نامند. مقاومت سنگ‌های دگرگونی عموماً زیاد است و بیشتر آن‌ها بافت کریستالی دارند. سنگ مرمر و شیست از این دسته‌اند.

٤.٤. خواص عمومی سنگ‌ها

جهت استفاده صحیح از سنگ‌ها شناخت خواص آن‌ها ضروری است. در ادامه به این خواص پرداخته خواهد شد.

١.٤.٤. خواص فیزیکی

- **وزن مخصوص**: این وزن برای سنگ‌های ساختمانی بین ۱/۷–۳ $\frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد. هر چه این میزان بالاتر باشد، سنگ‌ها در برابر نیروهایی که در ساختمان به آن‌ها وارد می‌شود و نیز در برابر عوامل جوی مقاوم‌ترند. از طرفی هر چه میزان وزن مخصوص سنگ بیشتر باشد، جلاپذیرتر است.
- **تخلخل**: وجود خلل و فرج در سنگ‌ها و نفوذ آب، هوا و مواد دیگر در حفره‌ها موجب ایجاد تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سنگ می‌شود. به طور کلی تخلخل، وزن مخصوص و مقاومت مکانیکی سنگ را کاهش می‌دهد.
- **لایه بندی و تورق سنگ‌ها**: در ساختار پاره‌ای از سنگ‌ها امتداد یا سطوحی دیده می‌شود که در آن‌ها نیروی چسبندگی و اتصال دانه‌ها نسبت به دانه‌های دیگر کمتر است. لذا این سنگ‌ها هنگام شکسته شدن در امتداد معینی شکسته می‌شوند. در سنگ‌های رسوبی این سطوح در امتداد لایه‌ها هستند.
- **رنگ و رگه**: این ویژگی در زیبایی سنگ‌ها نقش مهمی دارد. برخی از سنگ‌ها، خصوصاً سنگ‌هایی که رنگ تیره دارند، در برابر آفتاب تغییر رنگ می‌دهند. بنابراین باید در کاربرد آن‌ها دقت شود.
- **بافت**: بافت سنگ بیانگر اندازه دانه‌های سنگ است که بر زیبایی، کارپذیری و قیمت آن تأثیر دارد. زیرا سنگ‌های ریزدانه را بهتر می‌توان تیشه‌ای کرد.

تصویر شماره ٦.٤. تخلخل در سنگ

تصویر شماره ٧.٤. رنگ و رگه سنگ

تصویر شماره ٨.٤. بافت سنگ

- **مقاومت در برابر یخبندان:** اگر حفره‌های سنگ‌های متخلخل نظیر سنگ‌های آهکی از آب اشباع شوند، این آب در زمستان یخ زده و چون جایی برای اضافه حجم ندارد سبب ایجاد ترک در سنگ می‌شود. سنگ‌های مرمر، شیست و گرانیت در مقابل یخبندان نسبت به سایر سنگ‌ها مقاوم‌ترند.
- **مقاومت در برابر آتش:** آتش موجب تخریب کلی در سنگ‌ها نمی‌شود ولی ممکن است نمای ماسه سنگ‌ها، گرانیت و مرمر را سیاه کند و یا سنگ‌هایی را که رنگ روشن دارند، صورتی کند (به علت اکسید شدن آهن موجود در آن‌ها). آتش بر سنگ‌های آهکی تأثیر چندانی ندارد ولی در پاره‌ای موارد ممکن است موجب پخته شدن و سستی آن‌ها گردد.

٢.٤.٤. خواص شیمیایی

- **پوسیدگی:** نمک‌های محلول در آب موجب ایجاد شوره و پوسیدگی در سطح سنگ‌ها می‌شوند. همچنین گازهایی نظیر CO_2، CO، SO_2 و... که در هوا موجودند باعث ایجاد واکنش‌های شیمیایی در سطح سنگ‌ها و تخریب و پوسیدگی آن‌ها خواهند شد.
- **تأثیر فلزات بر سنگ‌ها:** اکسیداسیون فلزات به سختی از روی سطوح متخلخل سنگ‌ها تمیز می‌شود. از طرفی انبساط ناشی از زنگ زدگی در قطعات فلزی که داخل سنگ‌ها قرار داده می‌شوند، موجب تخریب سنگ‌ها می‌گردند. علاوه بر این‌ها، آب بارانی که از سطوح مسی بر روی سنگ‌های آهکی بریزد موجب ایجاد لکه‌های سبز رنگ بر روی سطح آن‌ها می‌شود.

۳.٤.٤. خواص مکانیکی

- **سختی**: سختی سنگ‌های مختلف، متفاوت است و غالباً به هنگام کاربرد سنگ‌ها در کف سازی و پله مورد توجه قرار می‌گیرد. از طرفی سختی سنگ هزینه آماده کردن آن را افزایش می‌دهد.
- **دوام و پایایی**: این خصلت معیار مدت زمان پایداری سنگ‌ها در برابر عوامل جوی، حفظ ویژگی‌های ظاهری، استحکام، تجزیه و... است. این زمان بسته به محیط (داخلی و خارجی) و کاربری مورد نظر متفاوت است.

٥.٤. استخراج سنگ

استخراج سنگ از معدن به چند روش زیر صورت می‌گیرد:

۱. استفاده از سیم برش الماسه.
۲. استخراج با مته.
۳. روش انفجاری

انتخاب روش مناسب برای استخراج بلوک سنگ (کوپ)، بستگی به شرایط ویژه معدن دارد. ممکن است برای استخراج بهینه سنگ تلفیق چند روش ضروری باشد. سنگ استخراج شده از معدن را سنگ قله گویند.

۱.٥.٤. استفاده از سیم برش الماسه

اصول کار برش با سیم الماسه عبارتست از کشیدن یک حلقه سیم پیوسته بر روی سنگ. این سیم از یک کابل فولادی تشکیل شده است که در آن حلقه‌های (سیگمنت-ها) کوچک الماسی به فواصل منظم قرار گرفته‌اند و عمل برش را میسر می‌سازند. در اثر کشیده شدن مداوم سیم روی سنگ، شکافی در آن ایجاد می‌شود. کشیدن سیم به وسیله یک چرخ متحرک صورت می‌گیرد که از یک منبع برقی یا هیدرولیکی نیرو می-گیرد و بر روی ریل‌های ثابتی حرکت می‌کند.

هنگام برش، در جهت سیم آب می‌ریزند تا هم سیم را خنک کند و هم ذرات سنگ و تراشه‌ها را بشوید. سیستم سیم برش الماسه مزایای زیادی دارد که از آن جمله

می‌توان به افزایش سرعت تولید، کاهش سر و صدا در هنگام عملیات، افزایش ارزش بلوک سنگ و حفظ محیط زیست، اشاره کرد.

۲.۵.٤. استخراج با مته

در این روش از ماشینی استفاده می‌شود که در آن یک پیستون متحرک انرژی لازم برای شکستن سنگ را به ساقه، مته و سرمته منتقل می‌کند. بدین ترتیب سرمته به درون سنگ رانده می‌شود و آن را می‌شکند. ابعاد سرمته و نوع آن بستگی به جنس سنگ و مقاومت نفوذی آن دارد. در این روش سرعت تولید بسیار کم و سر و صدای ایجاد شده زیاد است ولی از سوی دیگر آسیب به محیط زیست در حداقل است.

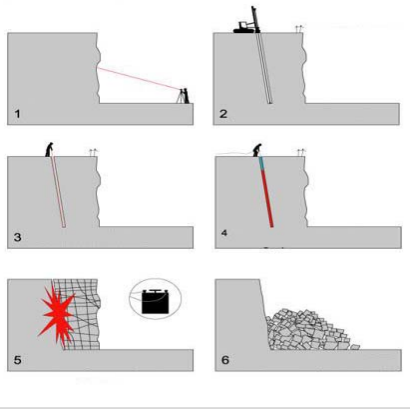
تصویر شماره ۹.٤. دستگاه سیم برش الماسه

تصویر شماره ۱۰.٤. سیم برش الماسه

تصویر شماره ۱۱.٤. استخراج سنگ با مته

۳.۵.٤. روش انفجاری

شیوه انفجاری روش استخراج تخریب کننده و غیر اصولی است. زیرا ضمن هدر دادن بخش عظیمی از ذخایر و تبدیل آن‌ها به لاشه، منجر به تولید سنگ‌های نامطلوب از نظر شکل هندسی به همراه درز و شکاف‌های ناشی از تأثیر انفجار می‌شود. بنابراین درصد بالایی از ذخایر سنگ حین استخراج و بخش دیگری در کارخانه سنگ‌بری در خلال برش سنگ، به دلیل ترک‌های ناشی از انفجار، به صورت باطله از میان می‌رود. بر همین اساس این روش تبعات منفی برای محیط زیست در بر خواهد داشت.



تصویر شماره ۱۲.٤. استخراج سنگ به روش انفجاری

٦.٤. آماده کردن سنگ

سنگی که از معدن استخراج می‌شود باید جهت مصرف در ساختمان آماده گردد. آماده کردن سنگ را اصطلاحاً قواره کردن می‌گویند. سنگ‌ها را به دو صورت آماده می‌کنند: کار شده (به صورت ضخیم و لوحه) و خرد شده. کوچک‌ترین ابعاد سنگ‌های کار شده معمولاً نباید از ۱۵ سانتیمتر کمتر باشد. چنین ضخامت سنگ‌هایی که به صورت لایه لایه می‌باشند، به علت این‌که استحکام چندانی ندارند، نباید از ۸ سانتیمتر کمتر باشد.

برخی از سنگ‌ها مانند سنگ قلوه رودخانه‌ای و سنگ لاشه، مستقیماً پس از استخراج و بدون عملیات آماده سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱.٦.٤. سنگ‌های قلوه رودخانه‌ای – Stream Stone

این سنگ‌ها در مسیر رودخانه، در اثر ساییده شدن بر روی یکدیگر دارای لبه‌های گرد و سطحی تقریباً صاف و صیقلی هستند. سنگ قلوه رودخانه‌ای حداقل قطری برابر ۵ سانتیمتر دارد. از این سنگ‌ها در ابعاد کوچک به عنوان پر کننده در مصالح دیگر و در ابعاد بزرگ برای دیوار سازی استفاده می‌کنند. کوچک‌ترین سنگ قلوه‌ای که در دیوار سازی سنگی به کار می‌رود، قطری در حدود ۱۵ سانتیمتر دارد.

۲.٦.٤. سنگ‌های لاشه – Rubble stone

سنگ لاشه در روش انفجاری استخراج سنگ یا در اثر خرد کردن قطعات بزرگ‌تر سنگ به دست می‌آید. بنابراین شکل هندسی خاصی ندارد و اگر لبه‌های تیز و برنده نداشته باشد، بدون عملیات آماده سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این سنگ برای ساختن پی و دیوار چینی مخصوصاً دیوار حایل نگهدارنده خاک استفاده می‌کنند.

۳.٦.٤. سنگ قواره

این سنگ از سنگ لاشه به دست می‌آید و در کارگاه ساختمانی با کمی تیشه کاری ابعاد منظمی یافته و دارای گوشه‌های معین می‌گردد. از سنگ قواره برای دیوارهای باربر، جدول سازی و کف سازی استفاده می‌کنند.

٤.٦.٤. سنگ بادبُر (رگه‌ای – مالون) – Ashlar

سنگ بادبر به دو طریق آماده می‌شود: اگر چهار طرف نمای آن (سطوح ملات خور) تراشیده شوند ولی پشت آن بدون تراش باقی بماند، به آن سنگ سر تراش یا نیم‌تراش گویند. ولی اگر پشت آن نیز تراشیده شود، به آن سنگ تمام تراش می‌گویند. در هر دو حالت، نمای سنگ را به صورت تیشه‌ای یا کلنگی در می‌آورند. سنگ تمام تراشی که طبق اندازه معینی بریده شود، سنگ اندازه نامیده می‌شود.

سنگ بادبر را در دیوارهای باربر و غیر باربر، تونل سازی، پل سازی، جدول سازی، سنگ فرش و پله به کار می‌برند. یکی از عمده‌ترین کاربردهای سنگ لاشه و بادبر به ویژه در نقاط کوهستانی، اجرای قوس‌های سنگی در پل‌ها و درگاه‌هاست.

تصویر شماره ۱۳.٤. سنگ قلوه رودخانه‌ای

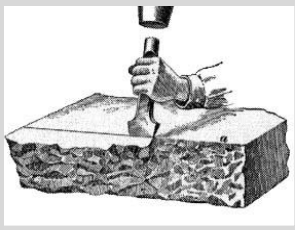
تصویر شماره ۱٤.٤. سنگ لاشه

تصویر شماره ۱۵.٤. سنگ قواره

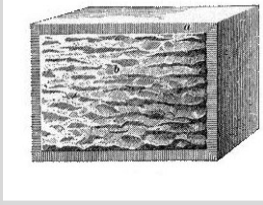
تصویر شماره ۱٦.٤. سنگ بادبر

٥.٦.٤. سنگ بادکوبه‌ای – Pitched Stone

سنگ بادکوبه‌ای، سنگ سر تراشی است که دور تا دور وجه نمای آن را به صورت یک نوار باریک با قلم می‌تراشند و بقیه سطح نما را تیشه‌داری می‌کنند.



تصویر شماره ١٧.٤. تراشیدن لبه‌های سنگ بادکوبه‌ای



تصویر شماره ١٨.٤. سنگ بادکوبه‌ای

تصویر شماره ١٩.٤. دیوار چینی با سنگ بادکوبه‌ای

٦.٦.٤. سنگ پلاک

سنگ پلاک پرمصرف‌ترین سنگ در صنعت ساختمان است که از بریدن سنگ قله به صورت چهار ضلعی، با ضخامت کم و در ابعاد مورد نیاز به دست می‌آید. سطح نمای سنگ پلاک را به صورت‌های مختلفی نظیر تیشه‌ای، کلنگی، چکشی، ساب خورده و... پرداخت می‌کنند.

ضخامت سنگ‌های پلاک بر حسب نوع و کاربرد آن‌ها تعیین می‌شود. سنگ‌های با ضخامت ١ سانتیمتر برای قرنیز اتاق‌ها، ٢ سانتیمتری برای کف سازی داخل ساختمان و نما سازی، ٣ سانتیمتری برای کف سازی محوطه (معمولاً سطح سنگ کف محوطه را جهت جلوگیری از سر خوردن، تیشه‌ای می‌کنند) و ٤ سانتیمتری برای سطح پله به کار می‌روند. گاهی سنگ‌های پلاک با ضخامت بیشتر از ٤ سانتیمتر نیز جهت مصارف خاص یا در تزئینات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پس از برش سنگ پلاک، تکه‌های اضافی سنگ را خرد می‌کنند و در ساخت موزائیک و یا به عنوان پر کننده در مصالح دیگر به مصرف می‌رسانند. همچنین از سنگ پودر شده نیز می‌توان در ساخت ملات جهت بندکشی یا دوغاب ریزی بین درز سنگ فرش‌ها استفاده کرد.

تصویر شماره ۲۰.٤. سنگ پلاک

تصویر شماره ۲۱.٤. ساب زدن سنگ

تصویر شماره ۲۲.٤. نمایی از موزائیک

۷.٤. سنگ‌های ساختمانی

سنگ‌های مورد استفاده در ساختمان به صورت‌های مختلفی نام گذاری می‌شوند، گاهی بر حسب شکل هندسی آن‌ها (که در مبحث «آماده کردن سنگ» شرح داده شد)، گاهی بر حسب محلی که از آن‌جا استخراج می‌شوند مانند سنگ خرم آباد، سنندج و... و یا بر حسب ماده عمده تشکیل دهنده آن‌ها مانند سنگ آهک و... .

در این مبحث رایج‌ترین سنگ‌های مصرفی در ساختمان بررسی خواهند شد.

۱.۷.٤. ماسه سنگ‌ها – Sandstone

ماسه سنگ‌ها، سنگ‌های رسوبی متشکل از دانه‌های سیلیسی به هم چسبیده هستند. سختی و دوام ماسه سنگ‌ها به نوع ماده چسباننده آن‌ها بستگی دارد. این ماده ممکن است سیلیس، اکسید آهن یا رس باشد. موادی نظیر آهک، فلدسپار و میکا نیز در برخی از ماسه سنگ‌ها دیده می‌شوند که موجب تغییر رنگ و بافت آن‌ها می‌گردند. این سنگ‌ها به رنگ‌های خاکستری، خرمایی، قهوه‌ای روشن، حنایی، قرمز، مسی و ارغوانی یافت می‌شوند.

ماسه سنگ‌ها متخلخل هستند و درصد جذب آب آن‌ها ٦-۱/۵٪ وزن آن‌هاست. به سبب این‌که ماسه سنگ‌ها در برابر یخبندان مقاومند، از آن‌ها به صورت سنگ لاشه، بادبر و... برای مصارف خارجی نظیر دیوار سازی، جدول سازی و... استفاده می‌کنند. نصب آن‌ها نیز با ابزار غیر آهنی صورت می‌گیرد. انواع ماسه سنگ‌ها را معمولاً بر حسب نوع مواد واسطه یا چسباننده آن‌ها نام گذاری می‌کنند، مانند:

- **ماسه سنگ سیلیسی (Siliceous Sandstone - Ganister)**: که ماده چسباننده آن عمدتاً سیلیس است. این سنگ بسیار مقاوم است و حتی در محیط‌های اسیدی نیز مقاومت بالایی دارد. این نوع ماسه سنگ‌ها اکثراً خاکستری رنگ هستند.
- **ماسه سنگ آهکی (Calcareous Sandstone)**: که ماده چسباننده آن را کربنات کلسیم تشکیل می‌دهد. ماسه سنگ آهکی سفید رنگ است و در برابر اسیدها مقاوم نیست.
- **ماسه سنگ آهن‌دار**: که مواد چسباننده آن را کانی‌های اکسید آهن نظیر هماتیت و لیمونیت تشکیل می‌دهند. رنگ این نوع سنگ‌ها قرمز-قهوه‌ای یا قهوه‌ای است و اغلب بادوام هستند.
- **ماسه سنگ رسی (Argillaceous Sandstone)**: که مواد چسباننده آن عمدتاً کانی‌های رسی هستند. رنگ آن‌ها خاکستری متمایل به سبز یا خاکستری متمایل به آبی متوسط تا تیره است.
- **کوارتزیت (Quartzite)**: ماسه سنگ بسیار سخت شده و نوعاً دگرگون شده با حداقل ۹۵٪ سیلیس است. این سنگ بسیار بادوام است و برای کف سازی به کار می‌رود و به رنگ‌های سفید، خاکستری (خاکستری متمایل به سبز و خاکستری متمایل به آبی) و قهوه‌ای یافت می‌شود. کوارتزیت (که اغلب با گرانیت اشتباه می‌شود) از گرانیت سخت‌تر بوده و با ظاهر زبر و بلوری خود قابل شناسایی است. به دلیل همین ظاهر زبر، بیشتر در ساختمان‌های ارزان قیمت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲.۷.٤. سنگ‌های آهکی – Calcareous Stone , Limestone

سنگ‌های آهکی، سنگ‌هایی با منشأ رسوبی هستند که اساساً متشکل از کربنات کلسیم (کلسیت) یا کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم (دولومیت) یا ترکیبی از این دو می‌باشند. این سنگ‌ها به رنگ‌های سفید، خاکستری، نخودی، قرمز و آبی و در گستره وسیعی از نظر اندازه، قواره و شکل یافت می‌شوند. سطح نهایی آن‌ها را می‌توان به صورت صیقلی، کلنگی و تیشه‌ای پرداخت کرد.

سنگ‌های آهکی را برای تزئینات داخل و خارج ساختمان، دیوار، تزئینات کف، نما سازی، ستون سازی و مجسمه سازی به کار می‌برند. ولی در خارج از بنا نباید از سنگ‌های آهکی در کنار ماسه سنگ‌ها یا روی آن‌ها استفاده کرد زیرا موجب تخریب فوری ماسه سنگ‌ها می‌شوند.

انواع سنگ‌های آهکی به شرح زیرند:

- **سنگ آهک دولومیتی (دولومیت[1] – Dolomite)**: این سنگ از کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم تشکیل شده است. دولومیت سنگ نسبتاً مقاومی است ولی نباید از آن در محل‌هایی که در برابر هوای آلوده قرار دارند، استفاده کرد زیرا در برابر هوای آلوده مقاومت چندانی ندارد.
- **سنگ آهک متبلور (تراورتن – Travertine)**: وقتی آب حاوی بی کربنات کلسیم تبخیر شود از خود کربنات کلسیم به جای می‌گذارد. اگر این اتفاق در چشمه‌های آب گرم رخ دهد، سنگ تشکیل یافته از آن تراورتن (این نام از شهر تریومی واقع در ایتالیا گرفته شده) نامیده می‌شود و اگر در غارها رخ دهد، چکنده (استالاکتیت) و چکیده (استالاکمیت) تشکیل می‌شود.

  تراورتن سنگی متخلخل (دارای بافت حفره‌ای) و بلورین است و ساختمانی لایه‌ای دارد. این سنگ به علت بافت خوشایند آن و نیز تمایل به نمایش حفره‌های طبیعی کوچک روی سطح بریده شده‌اش، به عنوان سنگ تزئینی در داخل و خارج ساختمان به کار می‌رود. تراورتن به صورت قلوه سنگ نیز جهت کارهای تزئینی یا دیوار چینی‌های تزئینی مورد مصرف قرار می‌گیرد. سنگ تراورتن در رنگ‌های سفید، کرم، خاکستری، خرمایی روشن و تیره یافت می‌شود.
- **سنگ آهک استخوانی**: این سنگ از تراکم فسیل‌ها و استخوان‌های باقی مانده از انواع آبزیان و مرجان‌ها تشکیل می‌شود. اکثراً خاک ریز نیز در

۱. واژه دولومیت که در حوزه سنگ تزئینی به کار می‌رود، مترادف است با واژه دولستون که در حوزه سنگ شناسی رسوبی به کار می‌رود.

تشکیل سنگ آهک استخوانی شرکت می‌کند به همین دلیل سنگ بریده شده حالت صیقلی ندارد.

- **سنگ آهک ریز بلورین (Microcrystalline Calcareous Stone)**: سنگ آهکی عمدتاً یا تماماً متشکل از بلورهایی چنان کوچک که فقط با بزرگ نمایی قابل تشخیص‌اند. سنگ آهک ریز بلورین و سنگ تراورتن که صیقل پذیرند و در تعریف مرمر تجارتی نیز جای می‌گیرند، ممکن است هم به عنوان سنگ آهک شناخته شوند هم به عنوان مرمر.

تصویر شماره ۲۳.٤. مجسمه‌ای از سنگ آهکی

تصویر شماره ۲٤.٤. سطح متخلخل تراورتن

تصویر شماره ۲۵.٤. استالاکتیت و استالاکمیت

۳.۷.٤. سنگ‌های رسی – Claystone

این سنگ‌ها از انواع سنگ‌های دگرگونی هستند که از دگرگون شدن خاک رس در طول زمان به دست می‌آیند. سنگ‌های رسی به صورت لایه لایه و به رنگ سیاه یا خاکستری تیره می‌باشند و به نام شیست (Schist) خوانده می‌شوند. شیست به طور نامنظم در نما سازی، پوشش سقف به جای سفال و فرش کف پیاده‌روها به کار می‌رود. در ایران معدن شیست در میگون واقع است.

تصویر شماره ۲٦.٤. اجرای قوس با سنگ رسی (شیست)

٤.٧.٤. سنگ گرانیت – Granite

گرانیت از انواع سنگ‌های آذرین درونی و عموماً بسیار سخت، بادوام و بسیار جلا پذیر است. جلا پذیری آن از ساب معمولی و نمای سنگی تا مرحله آئینه‌ای شدن امکان پذیر است. در واقع ظاهر گرانیت متأثر از کار انجام شده بر روی سطح نهایی آن است که ممکن است تیشه‌ای، کلنگی، چکشی و یا صیقلی باشد. بهترین نمای سنگ گرانیت حالت صیقلی آن است که زیبایی رنگ و کریستال‌های آن را نمایش می‌دهد. رنگ گرانیت معمولاً توسط میزان فلدسپار آن تعیین می‌گردد و به رنگ‌های خاکستری و صورتی روشن تا صورتی یا قرمز تیره دیده می‌شود.

مقاومت گرانیت در برابر هوازدگی بسیار بالاست لذا از آن هم در مصارف داخل و هم خارج ساختمان نظیر بناهای یادبود، دیوارهای باربر، زیربنای تأسیسات، پله‌ها و ستون‌ها، جدول سازی، کف سازی و امور تزئینی استفاده می‌کنند.

هر چه دانه‌های گرانیت یکنواخت‌تر باشد، سنگ ارزش بیشتری دارد. از انواع گرانیت ساختمانی می‌توان گابرو، بازالت (سیاه سنگ) و دیاباز را نام برد که به آن‌ها اصطلاحاً گرانیت سیاه می‌گویند.

٥.٧.٤. مرمر – Marble

مرمر حاصل دگرگونی سنگ‌های آهکی است. سنگی که عموماً تأثیر فشار و حرارت در حین دگرگونی، در اثر تبلور مجدد، بافت بلورین متمایزی پیدا می‌کند. بیشتر مرمرها بافت در هم قفل شده دارند. در واقع مرمر نسبت به مرمریت (در مبحث بعد شرح داده خواهد شد) دگرگرنی بیشتری را تحمل کرده است.

سنگ مرمر دارای انواع رنگ‌های سفید، خاکستری، سیاه، سبز، قرمز، زرد و ارغوانی می‌باشد. ولی مرمر خالص سفید و شفاف است. رنگ‌ها و رگه‌های همراه با مرمر نشان از ناخالصی‌های همراه سنگ آهک اولیه است.

سنگ مرمر را برای تزئینات و مصارف داخل ساختمان نظیر کف، دیوار و کارهای هنری به کار می‌برند. مقاومت مرمر در مقابل رطوبت، آلودگی هوا و گازهای سولفور کم است، لذا جهت نما سازی خارج ساختمان در شهرهایی با هوای آلوده مناسب نیست. برای سطوح خارجی سطح غیر صیقلی مرمر توصیه می‌شود.

همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد، برخی از سنگ‌ها هم با عنوان مرمر و هم با عنوان سنگ‌های آهکی به فروش می‌رسند، چون مرمر حاصل دگرگونی سنگ‌های آهکی است. بنابراین ممکن است در بازار تجارت نام‌هایی چون مرمر آهکی (یا همان مرمر)، مرمر تراورتن (یا همان تراورتن)، مرمر اونیکس (یا سنگ سلیمانی که شفاف، معمولاً لایه‌ای و نهان بلور با ته‌رنگ‌های زرد، قهوه‌ای و سبز است)، مرمر سرپانتین[1] (سنگی به رنگ سبز تا سیاه مایل به سبز) نیز به چشم بخورند.

٦.٧.٤. مرمریت

مرمریت سنگی آهکی است که تا حدودی دگرگونی شده است. مرمریت بر حسب شدت دگرگونی سنگ مادر به سه دسته سنگ چینی، کریستال و ابری تقسیم می‌شود.

- **سنگ چینی:** به مرمریتی گفته می‌شود که بافت تمام بلورین، دانه ریز و هم اندازه دارد. سنگ چینی در مناطق دگرگونی با شدت کم تشکیل می‌شود و به سه دسته چینی سفید، چینی خاکستری و چینی کریستال تقسیم می‌شود.
- **سنگ کریستال:** به مرمریتی گفته می‌شود که بافت تمام بلورین، دانه درشت و هم اندازه دارد. کریستال در مناطقی تشکیل می‌شود که شدت دگرگونی زیاد تا متوسط باشد.
- **سنگ ابری:** به مرمریتی گفته می‌شود که حاوی نوارهای غیر موازی از تمرکز کانی‌های روشن و تیره باشد که این ویژگی به سنگ حالت ابری می‌دهد. این سنگ در دگرگونی‌های با دمای بالا تشکیل می‌شود.

تصویر شماره ٢٧.٤. پله‌ای از سنگ گرانیت

تصویر شماره ٢٨.٤. سنگ مرمر اونیکس

تصویر شماره ٢٩.٤. سنگ مرمریت ابری

١. مار سنگ.

۷.۷.٤. توف (سنگ سبز)

توف از سنگ‌های آذرین دگرگونی شده است. این سنگ با دانه‌بندی ضعیف و رنگی از سبز متمایل به زرد تا سیاه یافت می‌شود. توف عموماً چگال و متراکم است، به طور نامنظم می‌شکند و به علت چسبندگی کم ذرات آن در اثر هوازدگی پوسته پوسته می‌شود و دانه‌های ریز از آن جدا می‌شود. به همین سبب کاربری آن به عنوان سنگ تزئینی کمتر است و به علت سبزی چشم نوازی که دارد، بیشتر در دیوار سازی پارک‌ها و دیوارهای حائل استفاده می‌شود.

۸.٤. عملیات ساختمانی با سنگ

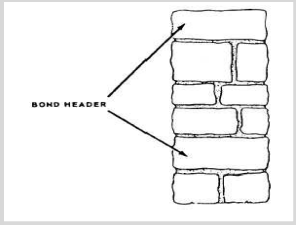
هنگام انتخاب سنگ‌های ساختمانی باید نکاتی را مد نظر قرار داد تا با انتخاب سنگ مناسب و مرغوب، عملیات سنگی نتیجه مطلوب‌تری داشته باشند. این نکات بدین شرحند:

- سنگ‌ها از نظر ظاهری باید بی رگه و بدون حفره و سوراخ باشند.
- در اثر ضربه، صدای زنگ بدهند.
- از سنگ‌هایی که رنگ تیره دارند در مکان‌هایی که در مقابل تابش نور آفتاب هستند، استفاده نشود زیرا پس از گذشت چند سال کم رنگ می‌شود.
- میزان جذب آب سنگ‌ها نباید زیاد باشد. (کمتر از ۸٪ وزن سنگ)
- سنگ‌ها باید متناسب با محل مصرف آن‌ها در مقابل عوامل جوی، سایش، نیروهای فشاری و... مقاوم باشند. (مقاومت فشاری برای قطعات باربر نباید از ۱۵۰ $\frac{kg}{cm^2}$ کمتر باشد.)

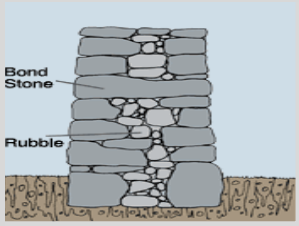
پس از انتخاب سنگ مناسب، هنگام انجام عملیات ساختمانی با سنگ باید موارد زیر را مد نظر قرار داد:

- سنگ‌ها را باید ابتدا مرطوب کرد سپس مورد استفاده قرار داد.
- هنگام دیوار چینی، سنگ‌ها باید طوری قرار گیرند که قفل و بست لازم بین آن‌ها به وجود آید به طوری که بندها روی یکدیگر قرار نگیرند. (همانند آجر چینی)

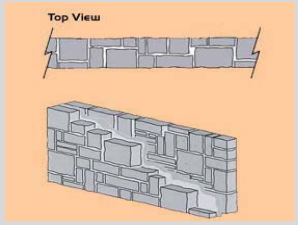
- سنگ‌های رج اول باید از بقیه بزرگ‌تر باشند.
- ملات بین سنگ‌ها به اندازه‌ای باشد که سطوح دو سنگ با هم تماس نداشته باشند.
- قرارگیری سنگ‌ها مخصوصاً در سنگ‌های لایه لایه، باید در جهت رگه یا خواب طبیعی آن‌ها باشد به طوری که نیروهای وارده عمود بر رگه یا خواب سنگ باشند.
- عملیات سنگی نباید در هوای زیر ۵ درجه سانتیگراد صورت گیرد.
- از آن‌جا که برخی از سنگ‌ها از جمله گرانیت، سنگ چینی و... به اندازه کافی به ملات پشتشان نمی‌چسبند بنابراین نصب آن‌ها در نما ممکن است با خطر سقوط سنگ همراه باشد. از این رو سنگ‌های نما را به روش‌هایی نظیر اسکوپ کردن، یا روش نصب خشک و... مهار می‌کنند.
- در کف سازی، پس از نصب سنگ‌ها و دوغاب ریزی، سطح آن‌ها را با دستگاه ساب در چند مرحله ساب می‌دهند. زیرا ممکن است در محل درزها، قطعات سنگ در یک سطح نباشند.



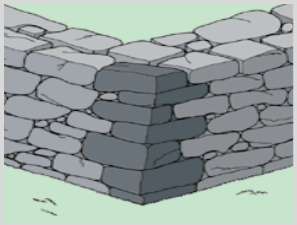
تصویر شماره ۳۰.٤. روش صحیح دیوار چینی



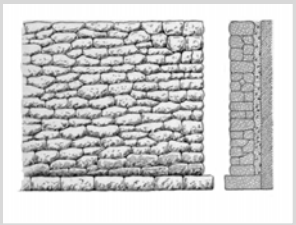
تصویر شماره ۳۱.٤. روش غلط دیوار چینی



تصویر شماره ۳۲.٤. دیوار چینی با قفل و بست لازم



تصویر شماره ۳۳.٤. بزرگ‌تر بودن سنگ‌های گوشه



تصویر شماره ۳٤.٤. سنگ‌های رج اول بزرگ‌تر از بقیه رج‌ها

تصویر شماره ۳۵.٤. ملات‌بین سنگ‌ها مانع از تماس آن‌ها

تصویر شماره ۳٦.٤. اجرای سنگ با ملات (در لبه‌های سنگ از ملات بیشتری استفاده می‌شود)

تصویر شماره ۳۷.٤. اسکوپ سنگ

۹.٤. نگهداری از سنگ

جهت جلوگیری از تأثیرات عوامل جوی، هوازدگی و... می‌توان موادی نظیر سیلیکات-های سدیم و پتاسیم (آب شیشه) را روی سنگ‌ها مالید تا حفره‌های سطح آن‌ها را پر کنند. این مواد نباید بر روی سطوح پوسیده و فاسد شده اجرا شوند. در مورد سنگ‌های پوسیده از پوشش‌های پلیمری برای ایجاد استحکام استفاده می‌کنند. این پوشش‌ها تا عمق ۵ سانتیمتر در داخل سنگ نفوذ می‌کنند و موجب پلیمریزه شدن و استحکام لایه-های داخلی بدون تغییر در نمای سنگی می‌شوند. معمولاً از این مواد جهت تعمیر قطعات سنگی کوچک تزئینی که در معرض خطر آنی قرار دارند، استفاده می‌کنند.

برای تمیز کردن سطح سنگ‌هایی نظیر گرانیت، مرمر و شیست از مواد پاک کننده رقیق استفاده می‌کنند تا سطح صیقلی آن‌ها آسیب نبیند. ولی سطح سنگ‌های آهکی را می‌بایست با برس سیمی یا ساب نمدی تمیز کرد تا لکه‌ها و شوره‌های احتمالی ایجاد شده روی آن‌ها از بین برود.

بخش دوم

فرآورده‌های خاکی

فصل ۵

دانه رس منبسط شده

۱.۵. تاریخچه

پیشینه کاربرد دانه‌های رس منبسط شده ((Light Expanded Clay Aggregate (Leca به سال ۱۹۱۷ باز می‌گردد. از دهه ۱۹۶۰ صنعت تولید این فرآورده در دانمارک پایه-ریزی شده و در زمان کوتاهی به اغلب کشورهای جهان راه یافت. اکنون فرآورده‌های حاصل از انبساط خاک رس و شیل در بیش از ۲۰ کشور جهان و با نام‌های تجاری گوناگون تولید می‌شوند.

پیشینه تولید این دانه‌ها در ایران به سال ۱۳۵۵ باز می‌گردد. فرآورده‌های این محصول اکنون به صورت دانه، بلوک، بتن پیش ساخته و نظایر آن تولید می‌گردند.

۲.۵. ضرورت استفاده و کاربرد دانه‌های رس منبسط شده

مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل توجه مانند وزن کم، هدایت حرارتی پایین، افت صوتی مناسب، مقاومت در برابر آتش، دوام و پایداری شیمیایی و نظایر آن، سبب گسترش کاربردهای این سنگ دانه‌های مصنوعی در صنعت ساختمان، طرح‌های عمرانی، کشاورزی، محیط زیست، راه سازی و... شده است.

تصویر شماره ۱.۵. دانه‌های رس منبسط شده

تصویر شماره ۲.۵. وزن کم دانه‌های رس منبسط شده

۳.۵. روند تولید دانه‌های رس منبسط شده

سنگ دانه‌های منبسط شده از نوعی خاک رس مناسب برای انبساط تهیه می‌شوند. ویژگی اساسی این دانه‌ها بافت متخلخل آن‌هاست که نتیجه محبوس شدن گازهای ایجاد شده در خمیر زدن خاک رس در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد است. خواص این دانه‌ها و حتی ظاهرشان بر حسب روش تولید، متفاوت است. به طور کلی دانه‌های رس منبسط شده به دو روش کوره ذوب نواری و کوره ذوب گردان تولید می‌شوند.

دانه‌های حاصل از کوره گردان شکل تقریباً گرد و سطح زبر و ناهموار دارند و قشر خارجی آن‌ها دارای خلل و فرج ریز است. داخل دانه‌ها به صورت بافت اسفنجی سیاه رنگ است و رنگ پوشش خارجی به مقدار زیادی به ماده معدنی و روش و کیفیت تولید بستگی دارد و اغلب به رنگ اخرایی و قهوه‌ای است.

تخلخل و فضای خالی بین دانه‌ها عموماً بین ۸۳-۷۷٪ فضای کلی است. این میزان فضای خالی بین دانه‌ها سبب ایجاد ویژگی‌های مهمی از قبیل وزن کم، هدایت حرارتی پایین، افت صوتی، مقاومت در برابر آتش و... می‌گردد.

دانه‌های حاصل از کوره‌های ذوب گردان وزن ظاهری بین ۶۵۰–۳۰۰ کیلوگرم دارند و دانه‌های حاصل از کوره ذوب نواری دارای چگالی جمعی بین ۹۰۰–۶۵۰ کیلوگرم می‌باشند.

تصویر شماره ۳.۵. دانه‌های حاصل از کوره گردان

٤.٥. خواص دانه رس منبسط شده

ویژگی‌های فیزیکی دانه‌ها به طور مستقیم بستگی به اندازه دانه‌ها دارد. دانه‌بندی کلی این محصول دارای محدوده وسیعی بین ۶۰۰–۲۵ میلی متر است. اندازه دانه‌ها بر حسب نوع ماده معدنی اولیه، فرآیند تولید، متغیرهای کوره مانند درجه حرارت، سرعت گردش و غیره متغیر است. بر همین مبنا دانه‌بندی محصول نهایی را می‌توان با کاربرد مورد نظر تطبیق داد. PH این دانه‌ها حدود ۷/۲ است. افت سرخ شدن بین ۰/۸٤–۰/۲۳ گزارش شده است. میانگین چگالی دانه‌های رس منبسط شده در جدول شماره ۱.٤ بررسی شده است.

جدول شماره ۱.۵. چگالی دانه‌بندی‌های رس منبسط شده

دانه بندی (میلیمتر)	مخلوط ۲۵–۰	ریز ۳–۰	میانه ۱۰–۳	درشت ۲۰–۱۰
چگالی حجمی $(\frac{gr}{cm^3})$	۰/۳۸ ± ۰/۰۳	۰/٤۸ ± ۰/۰۳	۰/۳۸ ± ۰/۰۳	۰/۳۳ ± ۰/۰۳
چگالی خشک $(\frac{gr}{cm^3})$	۰/۵۱ ± ۰/۰۲	۰/٦۹ ± ۰/۰۲	۰/۵۳ ± ۰/۰۲	۰/۵۰ ± ۰/۰۲

۵.۵. فرآورده‌های دانه رس منبسط شده

امروزه از دانه‌های رس منبسط شده جهت ساخت محصولات متنوعی نظیر بلوک‌ها، بتن، ملات‌ها، مخلوط‌های قیری و نظایر آن استفاده می‌کنند.

۱.۵.۵. بلوک‌ها

بلوک‌های تهیه شده از این دانه‌ها، نوعی قطعه پیش ساخته بتنی با عیار سیمان کم هستند. طرح اختلاط بتن آن‌ها بر اساس مقاومت مورد نیاز به دست می‌آید. برای حفظ سبکی و تخلخل بالا، ریزدانه طبیعی از بتن حذف می‌گردد. وزن مخصوص بلوک‌های بتنی دانه سبک اغلب کمتر از ۱/۱ $\frac{gr}{cm^3}$ است. مقاومت این بلوک‌ها نیز بر اساس طرح اختلاط آن‌ها، بین ۱۰-۰/٤ $\frac{gr}{cm^2}$ متغیر است.

تصویر شماره ٤.۵. بلوک‌های ساخته شده از دانه رس منبسط شده

٦.۵. بتن

ایجاد تخلخل در داخل ملات، حذف ریزدانه از مخلوط برای ایجاد منافذ، و کاربرد دانه‌های سبک به جای سنگ دانه‌های معمولی، سه روش تولید بتن‌های سبک به شمار می‌روند. ویژگی اصلی این بتن‌ها وزن کم آن‌هاست و به طور کلی رسانایی حرارتی کمتری نسبت به بتن معمولی دارند. بتن‌های تهیه شده از دانه‌های رس منبسط شده در گروه بتن‌های دانه سبک طبقه‌بندی می‌شوند.

بتن‌های سبک و نیمه سبک تهیه شده از دانه‌های رس منبسط شده به طور گسترده‌ای در شیب بندی، پوشش کف و سقف، پر کردن فضاهای خالی، تولید بلوک-های ساختمانی باربر و عایق، قطعات پیش ساخته بتن مسلح و نظایر آن کاربرد دارند.

این بتن‌ها دارای خواصی نظیر وزن کم، رسانایی حرارتی پایین، افت صوتی، مقاومت در برابر آتش و... می‌باشند. بدیهی است که مقادیر هر یک از این ویژگی‌ها بستگی مستقیم به طرح اختلاط بتن دارد، که بر اساس کاربرد مورد نظر تهیه می‌شود.

۷.۵. ملات

در انواع ملات‌های متداول می‌توان به جای ماسه از ریزدانه‌های سبک منبسط شده استفاده کرد. کاربرد این دانه‌ها علاوه بر کاهش وزن ملات، موجب افزایش کارایی آن نیز می‌شود؛ بهبود ویژگی‌های حرارتی، صوتی و مقاومت در برابر آتش از آن جمله‌اند.

امروزه برای افزایش کیفیت و سرعت اجرا، تولید و کاربرد ملات پیش ساخته گسترش یافته است. این ملات به صورت خمیری و... عرضه می‌شوند. نوع خشک آن با افزودن آب در محل برای اجرا **آماده** می‌گردد، وزن مخصوص ملات‌ها پس از سخت شدن در محل، کمتر از ۱/۲ $\frac{gr}{cm^3}$ است.

۸.۵. مخلوط‌های قیری

دانه‌های سبک منبسط شده به روش‌های گوناگون می‌توانند با مواد قیری مخلوط شوند. از اختلاط این دانه‌ها با امولوسیون‌های قیر، نوعی پوشش مناسب برای جایگزینی بتن بام به دست می‌آید. این مخلوط به علت روانی قابل قبول می‌تواند مستقیم پمپ شود، بنابراین سرعت اجرا را افزایش می‌دهد.

با دانه‌های رس منبسط شده می‌توان، آسفالت گرم ساخت. روش تهیه آن همانند آسفالت گرم معمولی است. اندازه دانه‌ها می‌تواند تا ۲۰ میلیمتر باشد. اما تمام یا بخشی از ریزدانه سبک با ماسه شکسته جایگزین می‌شود تا مقاومت بیشتری حاصل گردد. مخلوط حاصل دارای ویژگی‌های مطلوبی از حیث زهکشی و مقاومت در برابر بارهای ناشی از آمد و شد متوسط است. وزن مخصوص مخلوط‌های قیری می‌تواند کمتر از ۱ $\frac{gr}{cm^3}$ باشد.

فصل ٦

آجر

١.٦. تاریخچه

آجر یا آجور (معرب آگور بابلی – Brick) از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی دست ساز بشر است. می‌توان حدس زد که هنگامی که گل موجود در کنار اجاق‌های انسان‌های اولیه در اثر آتش پخته شده و محکم‌تر از گل‌های دیگر می‌شد، آن‌ها به پختن گل و ساخت آجر پی بردند. فن استفاده از آجر از آسیای غربی به مصر، هندوستان و دیگر نقاط جهان منتقل شده است. در ایران نیز بقایای کوره‌های آجرپزی در شوش و تپه‌های سیلک کاشان که قدمت آن‌ها به بیش از ٦٠٠٠ سال پیش می‌رسد، مشاهده شده است. آجر در معماری سنتی ایران جایگاه ویژه‌ای داشته و هر جا که خاک مناسب در دسترس بوده، آجرپزی و مصرف آن معمول گردیده است. امروزه نیز با وجود مصالح نوین

بسیاری که تولید شده است، آجر هنوز هم مورد توجه بسیاری از مردم و دست-اندرکاران صنعت ساخت و ساز کشورمان است.

تصویر شماره ۱.٦. تپه‌های سیلک

۲.٦. ضرورت استفاده و کاربرد آجر

آجر از جمله مصالحی است که با وجود گذشت چندین قرن از پیدایش آن، هنوز کهنه نشده و همراه با زمان پیش می‌رود. شکل ظاهری، رنگ و بافت آجر سبب شده است که بنایی که با آن ساخته می‌شود جزیی از طبیعت محسوب شود. همچنین خواص مطلوب آجر موجب گردیده که از مراحل اولیه ساختمان سازی تا مرحله نهایی بتوان از آن استفاده کرد. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از آجر در پی سازی و دیوار باربر به علت مقاومت فشاری مناسب.
- استفاده در تیغه چینی و نماسازی به علت مقاومت در برابر دما و رطوبت.
- استفاده در کف سازی به سبب مقاومت سایشی مناسب.
- ابعاد کوچک، حمل آسان و سهولت کاربرد آجر امکان اجرای دهانه‌های وسیع به صورت قوس، طاق و گنبد را به وسیله آن فراهم می‌کند.
- ساخت پله، المان‌های تزئینی و... .

تصویر شماره ۲.٦. کاربردهای گوناگون آجر

۳.٦. ساختار و مواد تشکیل دهنده آجر

ماده اصلی تشکیل دهنده آجر خاک رس است. خاک رس را با ۲۵-۱۵٪ وزنش آب مخلوط کرده و از گل حاصل خشت می‌سازند. آجر از پختن خشت و تغییراتی که در اثر گرما در آن پدید می‌آید، حاصل می‌شود. درون خاک رس ترکیبات فراوانی از جمله سنگ آهک، سولفات‌ها، فسفات‌ها، اکسیدهای مختلف و... یافت می‌شود. میزان هر یک از این مواد در خاک رسی که برای تهیه آجر به کار می‌رود باید کنترل شده و کمبود یا اضافی آن‌ها بررسی و تعدیل گردد. برخی ملاحظات در خصوص مواد تشکیل دهنده خاک رس به قرار زیر است:

- طبق استاندارد ملی ایران حد مجاز اکسیدهای مختلف در خاک رس عبارتند از: اکسید سیلسیم (SiO_2) ۶۰-۴۰٪ ، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) ۲۱-۹٪ ، اکسید آهن (Fe_2O_3) ۱۲-۳٪ و اکسید منیزیم (MgO) حداکثر ٤٪ .
- وجود آهک (CaO) در خاک رس تا میزان ۳۰٪ به صورت گرد سنگ آهک لازم و مجاز است. سنگ آهک خاک رس در اثر حرارت کوره به آهک زنده تبدیل می‌شود و اگر میزان آن بیشتر از حد مجاز بوده یا این‌که به صورت دانه‌های درشت باشد، هنگام تماس آب با آجر، شکفته می‌شود و باعث ایجاد ترک در آجر یا آلوئک زدن آن (یکی از امراض آجر) می‌شود (رجوع شود به فصل «آهک»). علاوه بر این چون سنگ آهک گدازآور است، هنگام پختن آجر نقطه ذوب آن را کاهش می‌دهد و باعث خمیری شدن و تغییر شکل آن می‌شود. همچنین سنگ آهک رنگ آجر را هنگام پختن سفید می‌کند. برای پی بردن به میزان آهک در آجر می‌توان آن را ۲٤ ساعت در آب گذاشت، اگر آجر در این مدت سفیدک بزند، میزان آهک در آن زیاد است.
- در خاک رس سولفات‌های کلسیم (سنگ گچ)، منیزیم، پتاسیم و سدیم وجود دارد. اگر این مواد دانه درشت باشند، هنگام آسیاب کردن خاک به گرد تبدیل می‌شوند. این گردها پس از تولید و به کار بردن آجر، آب ملات یا آب‌های نشت کننده دیگر را می‌مکند و به صورت سفیدک (شوره) در نمای ساختمان باقی می‌مانند. بنابراین میزان آن‌ها در خاک رس باید بسیار کم باشد. وجود حدود ۱٪ سنگ گچ در خاک رس مجاز است.

- وجود ۱٪ کلرورها نظیر کلرور سدیم و پتاسیم در خاک رس فقط باعث سفیدک زدن آجر می‌شود ولی اگر از این مقدار بیشتر باشند، در صورت تماس دائم با آب، پوک شدن و کاهش مقاومت آجر را سبب می‌شوند.
- وجود ۱۵-۱۰٪ ماسه همراه با خاک رس، مقاومت آجر را افزایش می‌دهد ولی بیشتر از این مقدار باعث پوک شدن آجر می‌شود. اگر ماسه سیلیسی (سیلکاتی) درشت دانه باشد باید حتماً آسیاب شود یا دانه‌های درشت آن با سرند از خاک رس جدا شود. در غیر این صورت هنگام پختن خشت ازدیاد حجم پیدا می‌کنند و چون این انبساط مغایر با انقباض هنگام پختن و خشک شدن خشت است، بنابراین در آجر ترک‌های مویی ایجاد می‌شود.
- وجود اکسید آلومینیوم در حد مجاز در خاک رس سبب چسبیدن ذرات ماسه و خاک رس به یکدیگر می‌گردد.

٤.٦. مراحل تولید آجر

مراحل تولید آجر شامل ٦ مرحله به شرح زیر است:

١.٤.٦. استخراج مواد خام

خاک رس را توسط لودر از سطح زمین برداشت کرده (برخی از خاک‌های نسوز را باید از عمق بیشتری برداشت کرد) و توسط کامیون به کارخانه حمل می‌کنند. خاک سطحی را که خاک نباتی نامیده می‌شود، کنار می‌زنند و کلیه ریشه گیاهان و موادی از این قبیل را از خاک جدا می‌کنند. زیرا این مواد در کوره می‌سوزند و جای آن‌ها در آجر خالی می‌ماند در نتیجه آجر پوک می‌شود.

٢.٤.٣. آماده سازی مواد خام (عمل آوردن خاک)

در کارخانه تکه‌های درشت سنگ را از خاک جدا می‌کنند و آن را به سنگ شکن اولیه می‌فرستند تا کلوخه‌های درشت خاک، شکسته شوند. سپس خاک را در آسیاب به صورت گرد در می‌آورند. گرد حاصل را سرند کرده و دوباره به آسیاب می‌فرستند.

اگر رنگ آجر مطرح باشد، در این مرحله دانه‌هایی که رنگ دلخواه را ضایع می‌کنند از خاک جدا می‌شوند یا میزان اکسید آهن خاک را با در نظر گرفتن حد مجاز آن افزایش می‌دهند تا رنگ آجر سرخ یا قهوه‌ای تیره شود. سپس گرد خاک را توسط تسمه نقاله به سیلوهای انبار خاک می‌برند و یا مستقیماً به قسمت گل سازی می‌فرستند.

۳.٤.٦. ساختن گل

به گرد خاک حاصل آب اضافه کرده و در مخلوط کن‌های مکانیکی خوب هم می‌زنند. میزان آب باید به اندازه‌ای باشد که فقط شکل دادن به گل را امکان‌پذیر کند (۲۵-۱۵٪ وزن خاک). در غیر این صورت، آب اضافی بعداً در خشت تبخیر شده و باعث ایجاد فضای خالی و پوک شدن آن می‌گردد. خاک رس آب را جذب کرده و آماس می‌کند، بدین ترتیب فضاهای خالی آن پر می‌شود. علاوه بر این پس از جذب آب، چسبنده شده و قابلیت شکل‌دهی می‌یابد.

هر چه دانه‌بندی خاک خشت پیوسته‌تر باشد، مقدار آب مصرفی بهینه باشد و به گل با فشار شکل داده شود، مقاومت فشاری خشت خشک شده افزایش می‌یابد.

٤.٤.٦. قالب‌گیری (خشت زنی)

در روش سنتی گل را در یک قالب چوبی که کفه نداشت و فقط چهارچوب بود، ریخته و روی آن را با دست صاف می‌کردند. سپس قالب را برداشته و خشت‌ها را در هوای آزاد قرار می‌دادند تا خشک شوند. این روش قالب‌گیری بسیار وقت‌گیر و پر هزینه است. امروزه در کارخانه‌های آجرپزی از سه روش عمده برای قالب‌گیری خشت استفاده می‌شود. در همه روش‌ها، ابعاد قالب باید اندکی از ابعاد آجر مورد نیاز بزرگ‌تر باشد زیرا خشت پس از پختن ۱۰٪ کاهش حجم می‌یابد. این سه روش عبارتند از:

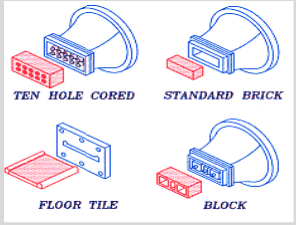
۱.٤.٤.٦. روش گل سفت (اکسترودر – Extruder)

در این روش حداقل میزان آب مورد نیاز (۱۵٪ وزن خاک) به خاک اضافه می‌شود. خمیر حاصل از داخل ماشین مکنده‌ای عبور می‌کند تا هوا و حباب‌های داخل آن خارج شده و مقاومت آن افزایش یابد. سپس خمیر به دستگاه اکسترودر (آسیاب گل سازی)

وارد می‌شود. انتهای اکسترودر یک لوله مارپیچ همانند چرخ گوشت تعبیه شده که گل را با فشار به جلو هدایت کرده و به صورت منشوری ممتد از دهانه ماشین که مکعب مستطیلی به طول و عرض آجر مورد نیاز است، خارج می‌کند. سپس خشت‌ها را با سیم یا گیوتین به ضخامت آجر مورد نیاز (با در نظر گرفتن میزان انقباض پس از پختن) برش می‌دهند. پس از برش، خشت‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند، خشت‌های مردود دوباره وارد اکسترودر شده و بقیه با تسمه نقاله به قسمت خشک کن فرستاده می‌شوند.

تصویر شماره ۳.٦. قالب گیری خشت به روش سنتی

تصویر شماره ٤.٦. قالب گیری خشت توسط دستگاه اکسترودر



تصویر شماره ٥.٦. تیغه‌های مختلف دهانه اکسترودر

٦.٤.٤.٢. روش گل شل

این روش برای خاک‌هایی به کار می‌رود که میزان آب آن‌ها زیاد است (حدود ۳۰-۲۰٪ وزن خاک). بدین ترتیب که خمیر خاک را در قالب می‌ریزند و فشرده می‌کنند (مانند روش سنتی). همان گونه که قبلاً اشاره شد، آب زیاد معایبی را در آجرهای به دست آمده با این روش به وجود می‌آورد.

٦.٤.٤.٣. روش پرس کردن خاک نیمه خشک (قالب فشاری)

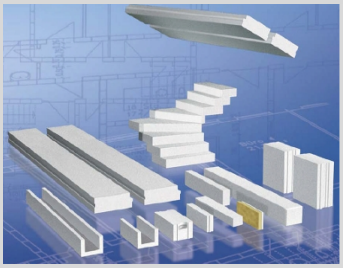
در این روش از کمترین میزان آب، فقط به صورت رطوبت استفاده می‌شود. بدین ترتیب که به گرد خاک حدود ۱۰-۷٪ وزنش آب اضافه کرده و آن را در قالب‌های فولادی می‌ریزند. سپس با فشار زیاد دستگاه پرس عمل خشت زنی انجام می‌گیرد. هر چه رطوبت خاک کمتر باشد، فشار دستگاه پرس را افزایش می‌دهند. در این روش خشت‌ها نیازی به خشک کردن ندارند و مستقیماً وارد کوره می‌شوند بنابراین در هزینه خشک کردن صرفه جویی می‌شود.

۵.٤.٦. خشک کردن خشت

در این مرحله میزان آب موجود در خشت‌ها زیاد است بنابراین اگر آن‌ها را به همین حالت در کوره قرار دهند، آب آن‌ها بخار می‌شود و گاز داخل کوره را نمناک می‌کند. در این صورت خاکستر و دود موجود در گاز نمناک روی خشت‌ها می‌چسبد و آجر را بد نما می‌کند. بنابراین ابتدا خشت‌ها را خشک می‌کنند سپس به کوره می‌فرستند. در روش سنتی خشت‌ها را مطابق تصویر شماره ٦.٣ کنار یکدیگر می‌چیدند تا در آفتاب به مدت ۱۵–۳ روز خشک شوند. ولی امروزه جهت صرفه جویی در زمان و انرژی، خشت‌ها را در اتاق‌ها یا تونل‌هایی که گرمای آن‌ها از حرارت خروجی کوره‌های آجرپزی تأمین می‌شود، خشک می‌کنند. حرارت اتاق خشک کن حدود ۲۰٤–۳۸ درجه سانتیگراد و زمان لازم بین ٤۸–۲٤ ساعت است. عمل خشک کردن باید به آرامی انجام گیرد تا از انقباض سریع خشت‌ها و ترک خوردن آن‌ها جلوگیری به عمل آید.

برای تولید آجر لعاب‌دار، در این مرحله لعاب را به خشت می‌زنند سپس آن را وارد کوره می‌کنند. در صورتی که لعاب جهت پختن به درجه حرارت پایینی نیاز داشته باشد، بعد از پختن آجر به آن لعاب می‌زنند و دوباره به کوره با دمای پایین‌تر می‌برند.

تصویر شماره ٦.٦. خشک کردن خشت به روش سنتی



تصویر شماره ٧.٦. خشک کردن خشت به روش صنعتی

٦.٤.٦. پختن خشت

پختن خشت (آجرپزی) مهمترین مرحله تولید آجر است که در کوره‌های مختلف با حرارت حدود ۹۰۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۱۵۰–٤۰ ساعت (بسته به نوع کوره و نوع خاک رس) صورت می‌گیرد. مراحل پخت آجر بدین قرارند:

- تا دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد آب فیزیکی خشت تبخیر می‌شود.
- تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد آب شیمیایی خاک رس متصاعد می‌گردد.
- تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد خاک رس شرع به خمیری شدن می‌کند. بدین ترتیب دانه‌های خاک کاملاً به یکدیگر می‌چسبند و سخت می‌شوند.

در صورت تمایل، با اضافه کردن سوخت در زمان معین در آخرین مرحله آجرپزی می‌توان رنگ خاصی به آجر داد.

کوره‌های آجرپزی انواع مختلف دارند ولی در همه آن‌ها خشت‌ها طوری چیده می‌شوند که میان آن‌ها فاصله‌ای برای عبور حرارت وجود داشته باشد. از انواع این کوره‌ها می‌توان کوره تنوره‌ای، کوره هوفمان و کوره تونلی را نام برد.

۱.٦.٤.٦. کوره تنوره ای (چاهی - متناوب) – Intermittent Kiln

در این نوع کوره که از قدیمی‌ترین کوره های آجرپزی در ایران است، هم محل خشت‌ها و هم محل آتش ثابت است. این کوره از یک اتاقک با دودکشی در سقف تشکیل شده و آتش در کف آن قرار می‌گیرد. مدت زمان لازم برای پختن آجرها در این کوره ۷-٦ روز است. ولی چون حرارت در همه جای کوره یکنواخت نیست بنابراین جنس آجر آن نیز غیر یکنواخت است. به طوری که از پایین کوره به سمت بالا، آجر جوش، آجر سبز، آجر بهی رنگ، آجر سفید، آجر ابلق، آجر قرمز و آجر نیم پخته تولید می‌شود و فقط حدود ۷۰-٦۰٪ آجرهای این کوره قابل استفاده در ساختمان سازی است. از طرفی چون کار کوره پیوسته نیست، یعنی باید پس از پخت آجرها کوره را خاموش کرد تا سرد شود و آجرها را از آن خارج نمود، بعد دوباره آن را روشن کرد، از این جهت اتلاف انرژی آن بالاست.

محصول کوره تنوره‌ای به آجر گری معروف است و بیشتر برای سفت کاری و دیوار چینی معمولی به کار می‌رود.

۲.٦.٤.٦. کوره هوفمان[۱] (حلقه‌ای) – Annular kiln

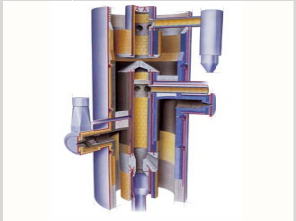
در این کوره که به شکل حلقه‌ای بلند ساخته می‌شود، محل آجر ثابت و محل آتش متغیر است. کار کوره هوفمان پیوسته است به طوری که دائماً در یک بخش از کوره آجرچینی صورت می‌گیرد، در بخش دیگر حرارت داده می‌شود، در دیگری آجرها خنک می‌شوند و در بخش آخر آجرهای خنک شده تخلیه می‌گردند. محصول این کوره از لحاظ کیفیت و هزینه مطلوب است و برای سفت کاری و نما به کار می‌رود.

۳.٦.٤.٦. کوره تونلی – Tunnel Kiln

در این کوره که از یک تونل به عرض ۳–۲، ارتفاع حدود ۱/۷۰ و طول ۹۰ متر تشکیل شده است[۲]، محل آتش ثابت و آجرها رونده هستند. بدین ترتیب که خشت‌ها روی واگن‌های مخصوص چیده می‌شوند. این واگن‌ها بر روی ریل‌های فولادی در طول تونل حرکت می‌کنند و توسط آتشی که در مرکز تونل قرار دارد، پخته شده و پس از ۵۰ ساعت از تونل خارج می‌شوند. کار این کوره پیوسته است بنابراین اتلاف حرارت آن کم است. ولی چون هزینه ساخت این کوره بالاست، لذا قیمت آجر پخته شده در آن زیاد است و بیشتر در امور تزئینی به کار می‌رود.

خنک کردن آجرهای پخته شده در همه کوره‌ها باید به دقت صورت گیرد زیرا تأثیر مستقم بر استحکام و رنگ آجر دارد. این مرحله ۷۲–٤۸ ساعت طول می‌کشد.

تصویر شماره ۸.٦
کوره تنوره‌ای



تصویر شماره ۹.٦. قطاعی از
کوره هوفمان

تصویر شماره ۱۰.٦.
کوره تونلی

۱. Friedrich Hoffmann نام یکی از بنّاهای اهل برلن است که اولین بار این کوره را اختراع کرد.
۲. برای آن‌که طول کوره تونلی خیلی زیاد نشود، آن را به صورت دو مسیر پهلوی هم که به یکدیگر راه دارند نیز می‌سازند.

۵.٦. خواص آجر

۱.۵.٦. خواص فیزیکی آجر

- **وزن مخصوص**: آجرهای مختلف بر حسب نوع مواد خام و نیز روش تولید آن‌ها، وزن مخصوص‌های متفاوتی دارند ولی به طور متوسط وزن مخصوص آجر مرغوب حدود $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۸ است. در آجرهای سوراخ‌دار، هر چه تعداد سوراخ‌های آجر کمتر باشد وزن مخصوص آن بیشتر است.
- **خاصیت جذب آب**: اگر میزان جذب آب در آجر زیاد باشد، به سرعت آب ملات را می‌مکد و مانع بروز فعل و انفعال شیمیایی در ملات می‌شود. از طرفی اگر میزان جذب آب آجر کم باشد به ملات نمی‌چسبد، بنابراین مصرف آن در نماسازی و مکان‌هایی که در معرض نیروهای کششی قرار دارند، توصیه نمی‌شود. آجری مرغوب است که درصد جذب آب آن بین ۱۵-۱۰٪ باشد. معمولاً برای این که آجرها پیش از مصرف تا حدی از آب اشباع شوند، آن‌ها را به مدت ٦۰ دقیقه در آب فرو می‌برند و به اصطلاح زنجاب می‌کنند. آجر یک دقیقه پس از خیساندن حدود ۸٦-۷۷٪ از کل آبی را که در ۲٤ ساعت قادر به جذب آن است، به خود می‌گیرد.
- **انبساط رطوبتی**: آجر پس از پختن و خنک شدن، رطوبت هوا را جذب کرده و منبسط می‌شود. معمولاً مقدار این انبساط حدود ۰/۸ میلیمتر به ازای هر یک متر طول آجر است. نصف این مقدار در هفته اول اتفاق می‌افتد و مابقی آن به مرور زمان حتی پس از چند سال کامل می‌شود. انبساط رطوبتی دراز مدت آجر با زنجاب کردن آن تسریع نمی‌شود. همچنین پس از خشک شدن آجر این انبساط قابل بازگشت نیست.
- **انبساط حرارتی**: ضریب انبساط حرارتی خطی آجر به ازای هر یک درجه سانتیگراد تغییر دما، حدود ۵×۱۰^{-٦} است. انبساط حرارتی آجر نیز به طور کامل قابل برگشت نیست. در ضمن باید به این نکته توجه کرد که آجرهایی در دیوارهای خارجی به کار می‌روند، چون تحت تأثیر دو دما (دمای داخل و دمای خارج بنا) هستند بنابراین امکان ایجاد تنش در آن‌ها وجود دارد.

- **انتقال حرارت آجر:** ضریب انتقال حرارت انواع آجرکاری در جدول زیر ارائه شده است.

جدول شماره ۱.٦. ضریب انتقال حرارت انواع آجرکاری

نوع آجرکاری	$U=\frac{۱}{R}\left(\frac{kcal}{m^{۲}.t.hr}\right)$	$R=\frac{۱}{U}$
آجرکاری توپر با ضخامت ۱۵۰ میلیمتر	۰/۷۲	۱/۳۸
آجرکاری توپر با ضخامت ۲۰۰ میلیمتر	۰/۵۵	۱/۸۲
آجرکاری توپر با ضخامت ۳۰۰ میلیمتر	۰/٤۳	۲/۳٤
آجرکاری مجوف با ضخامت ۲۵۰ میلیمتر	۰/۳٦	۲/۷۷

- **مقاومت در برابر آتش:** دیوارهای ساخته شده با انواع مختلف آجر و ضخامت‌های متفاوت، بین ٤-۱ ساعت در برابر آتش مقاومت می‌کنند.
- **میزان انتقال صوت:** معمولاً دیوارهای آجری صوت را جذب یا منعکس کرده و از انتقال آن جلوگیری می‌کنند ولی برای جذب کامل صوت باید مصالح آکوستیک استفاده کرد. هر چه ضخامت دیوار آجری بیشتر باشد، میزان انتقال صوت از آن کاهش می‌یابد دیوارهای آجری با ضخامت‌های مختلف معمولاً بین ۵۸-٤۸ دسی بل افت انتقال صوت را سبب می‌شوند.
- **رنگ:** رنگ آجر بستگی به ترکیب شیمیایی خاک رس و آتش کوره دارد. میزان زیاد سنگ آهک در خاک رس، آجر را سفید می‌کند. خاک رس‌هایی که مقدار کافی آهن داشته باشند، اگر زیاد پخته شوند آجر حاصل از آن‌ها قرمز می‌شود، اگر هوای احتراق را کم کنند آجر ارغوانی کم رنگ شده و اگر کم پخته شود، عنابی روشن می‌شود.

۲.۵.٦. خواص شیمیایی آجر

محیط‌های شیمیایی قبل از آن‌که روی آجر تأثیر گذارند، ملات آن را تخریب می‌کنند. لذا انتخاب ملات سازگار با محیط از اهمیت بسیاری برخوردار است.

نمک‌ها و سولفات‌های موجود در آجر سبب بروز سفیدک (شوره) و آلوئک در سطح آجر می‌شوند که در مبحث «امراض آجر» شرح داده خواهند شد.

۳.۵.٦. خواص مکانیکی آجر

- **مقاومت فشاری**: مقدار این مقاومت در آجرها بستگی به نوع مواد خام، روش تولید و ملات مصرفی دارد و بین ۵۰۰–۵۰ $\frac{kg}{cm^2}$ تغییر می‌کند. مقاومت آجر را باید هنگام کاربرد آن با ملات در نظر گرفت زیرا ملات است که چسبندگی لازم را در آجرکاری تأمین می‌کند.
- **مقاومت برشی**: میزان آن در آجر حدود ٤٠–۳۰٪ مقاومت فشاری آن است.
- **مقاومت کششی**: میزان آن در آجرهای مختلف بین ۷۰–۷ $\frac{kg}{cm^2}$ است.

٦.٦. انواع آجرهای رسی – Clay Brick

آجرهای معمولی را به این سبب که از خاک رس تهیه می‌شوند، آجر رسی یا اختصاراً آجر گویند. آجرهای رسی بر حسب روش تولید آن‌ها به دو دسته آجرهای سنتی (دستی) و آجرهای صنعتی (ماشینی) تقسیم می‌شوند.

۱.٦.٦. آجرهای سنتی (دستی) – Handmade Brick

این آجرها به روش سنتی و دستی ساخته می‌شوند و برخی از آن‌ها با وجود دست ساز بودن از کیفیت مطلوبی برخوردارند. آجرهای سنتی شامل آجر قزاقی، آجر فشاری، و آجر لعاب‌دار می‌شوند.

۱.۱.٦.٦. آجر قزاقی

این آجر دست ساز را اولین بار روس‌ها در ۱۳۰۰ تولید کرده و در ساخت پادگان‌های نظامی و قزاق خانه‌ها به کار برند، از این رو به آن آجر قزاقی می‌گویند. این آجر سفید رنگ است و ابعاد آن ۵×۱۰×۲۰ سانتیمتر می‌باشند و به علت کیفیت مطلوب و ظاهر مناسبش، در نمای ساختمان به کار می‌رود.

۲.۱.٦.٦. آجر فشاری – Pressed Brick

هنگام تولید این آجر کارگران با فشار انگشتان خود گوشه‌های قالب را از گل پر می-کنند، از این رو آن را آجر فشاری می‌نامند. ابعاد این آجر ۵×۱۰×۲۰ یا ۵/۵×۱۱×۲۲ سانتیمتر است و کیفیت آجر قزاقی را ندارد. مقاومت خوبی ندارد و از زیبایی ظاهری نیز برخوردار نیست، میزان جذب آب آن هم بالاست. به همین جهت معمولاً در زیرکاری و سفت‌کاری ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، نظیر دیوارهای باربر، تیغه چینی، طاق ضربی و به طور کلی گری چینی (قسمت‌های از آجرکاری که روی آن با مصالح دیگر از قبیل گچ، کاشی، سیمان و یا سنگ پوشیده می‌شود).

۳.۱.٦.٦. آجر جوش – Clinker Brick

در کوره‌های سنتی که آتش آن‌ها یکنواخت نیست، به برخی از آجرها حرارت بیشتری می‌رسد و آن‌ها را به مرحله ذوب شدن می‌رساند، به این آجرها، آجر جوش یا کلینکر گویند. آجرهای جوش به علت خمیری و ذوب شدن، شکل هندسی خود را تا حدی از دست می‌دهند بنابراین نمی‌توان از آن‌ها در نمای ساختمان یا در آجرچینی‌های دقیق استفاده کرد. از طرفی میزان نفوذ آب در آجر جوش بسیار اندک و حدود ۳–۲٪ است لذا در مقابل عوامل جوی و اسیدهای آلی از آجر معمولی مقاوم‌تر است. از این رو آن را در فرش کف کانال‌های فاضلاب، کف پیاده‌روها، کف کارخانه‌ها و انبارها و... به کار می‌برند. ولی از آن‌جا که آجر جوش از آجر معمولی تردتر و شکننده‌تر است، استفاده از آن در دیوار باربر و طاق ضربی توصیه نمی‌شود.

همان گونه که ذکر شد، شکل ظاهری و میزان جوش شدن کلینکر قابل کنترل نیست. از این رو امروزه در کشورهای صنعتی[1] برای تولید آجر جوش از خاکی استفاده می‌کنند که فاصله حرارتی بین مرحله عرق کردن و روان شدن آن زیاد باشد. در این صورت دانه‌های خاک قبل از ذوب شدن، عرق کرده و به یکدیگر می‌چسبند و تبدیل به آجر جوش می‌شوند. چنین خاکی در طبیعت کمیاب است بنابراین آن را از مخلوط کردن خاک‌های مختلف می‌سازند و مقدار مواد گداز آور نظیر اکسید آهن را نیز در

۱. در ایران هم اکنون تکنولوژی لازم جهت این‌که در کوره های آجرپزی صرفاً آجر جوش تولید شود، وجود ندارد و آجر جوش در ایران محصول فرعی کوره های سنتی است.

خاک افزایش می‌دهند. سپس آن را در کوره با دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند. رنگ آجر جوش بستگی به میزان اکسید آهن و دمای پخت دارد و معمولاً از سرخ (با کمی ته رنگ سبز) تا سیاه است.

تصویر شماره ٦.١١. دیواری از آجر جوش

٤.١.٦.٦. آجر لعاب‌دار – Glazed brick

لعاب کاری آجر علاوه بر این‌که به سطح آن زیبایی و جلا می‌بخشد، عمر آن را نیز افزایش می‌دهد. بدین ترتیب که بافت صاف و صیقلی لعاب باعث افزایش مقاومت آجر در برابر هوازدگی، فرسایش، نفوذ آب و مواد شیمیایی می‌گردد. زمان لعاب کاری معمولاً در انتهای مرحله خشک کردن خشت است. البته همان طور که قبلاً نیز اشاره شد می‌توان لعاب را روی آجر پخته شده نیز اندود کرد. لعاب را با برس روی سطح آجر می‌کشند یا با دستگاه‌های مخصوص روی آن می‌پاشند و یا آجر را در ظرف لعاب فرو برده و بیرون می‌آورند. معمولاً لعاب را روی یک یا چند سطح آجر که در نما دیده می‌شود، می‌ریزند. خشت خشک شده یا آجر، آب لعاب را می‌مکد و بخش جامد آن روی آجر باقی می‌ماند، این ماده جامد بعداً در کوره ذوب شده و پخته می‌شود و در نهایت به صورت پوسته‌ای روی آجر را می‌پوشاند.

٢.٦.٦. آجرهای صنعتی (ماشینی) – Engineering Brick

تمام مراحل تولید این آجرها در کارخانه توسط ماشین انجام می‌شود بنابراین سرعت تولید به میزان زیادی افزایش می‌یابد. انواع آجرهای ماشینی عبارتند از: آجر سوراخ‌دار، آجر توپر و بلوک‌های سفالی.

۱.۲.٦.٦. آجر سوراخ‌دار – Cellular Brick

در این آجر حفره‌ها باعث سبک شدن آجر و نیز نفوذ بیشتر ملات می‌شوند. جمع مساحت سوراخ‌ها باید ٤٠–٢٥٪ سطح آجر باشد. ضخامت دیواره بین سوراخ و لبه آجر باید بیش از ١٥ میلیمتر و فاصله بین دو سوراخ بیش از ١٠ میلیمتر باشد.

۲.۲.٦.٦. آجر توپر – Solid Brick

در این آجر حجم سوراخ‌ها از ٢٥٪ حجم آجر (یا در آجرهای پرسی، حجم فرورفتگی از ٢٠٪ آجر) تجاوز نمی‌کند. در آجر توپر سوراخ‌ها کاملاً یا تقریباً از میان آجر عبور می‌کنند و مساحت هر یک از سوراخ‌ها از ٣٠ میلیمتر مربع تجاوز نمی‌کند.

۳.۲.٦.٦. بلوک‌های سفالی – Structural Clay Tile

۳.٦.٦. آجر نسوز – Refractory Brick

خاک رسی که در تهیه آجر نسوز استفاده می‌شود، دارای هیدروسیلیکات آلومینیوم بیشتری است (خاک نسوز). آجرهای نسوز در واقع نوعی چینی هستند. چینی نوعی سرامیک مرغوب است که دارای ساختاری ظریف‌تر و متراکم‌تر از سفال است. مواد اولیه و روند تولید آجرهای نسوز با توجه به محل مصرف آن‌ها و نیز خواصی که از آن‌ها انتظار می‌رود، متفاوت است. ولی اکثر این آجرها در دمای حدود ١٥٠٠ درجه سانتیگراد و با حداقل مواد گدازآور پخته می‌شوند. آجرهای نسوز بر حسب نوع ماده به کار رفته در ترکیب آن‌ها، انواع گوناگونی دارند، نظیر آجرهای نسوز سیلیسی، آلومینیومی، منیزیتی، قلیایی و... . از آجرهای نسوز به علت مقاومت حرارتی بالا، در پوشش درونی کوره‌های صنعتی و نیز در بدنه شومینه‌ها استفاده می‌شود. ملاتی که برای چیدن این آجرها به کار می‌رود نیز باید از مواد نسوز باشد.

نسوزها باید خصوصیاتی بدین شرح را دارا باشند: مقاومت حرارتی بالا (حدود ۱۵۸۰ درجه سانتیگراد)، ضریب انبساط و انقباض اندک، مقاومت مکانیکی بالا جهت تحمل ضربه و فشار ناشی از مواد داخل کوره و مقاومت در برابر مواد شیمیایی.

تصویر شماره ۱۲.٦. اشکال مختلف آجر نسوز

تصویر شماره ۱۳.٦. پوشاندن داخل کوره‌ها توسط آجر نسوز

تصویر شماره ۱٤.٦. انواع آجرهای صنعتی

۷.٦. آجرهای غیر رسی

۱.۷.٦. آجر ماسه آهکی – Sand-lime Brick

در مناطقی که خاک رس کمیاب است ولی ماسه فراوان است مانند سواحل دریا، به جای این‌که آجر را از خاک رس تهیه کنند، آن را از مخلوط ماسه سیلیسی و آهک می‌سازند و به آن آجر ماسه آهکی یا آجر سیلیکات کلسیمی می‌گویند. مراحل تولید آجر ماسه آهکی به شرح زیر است:

- تهیه و انبار کردن جداگانه مواد اولیه شامل ماسه سیلیسی و گرد آهک زنده.
- اختلاط مواد اولیه به نسبت معین: ۱۰–۷٪ وزنی آهک زنده و ۹۳–۹۰٪ وزنی ماسه سیلیسی به همراه مقداری آب. هر گاه بخواهند آجر رنگی تولید کنند، ماده رنگی نیز در این مرحله اضافه می‌شود.
- متراکم کردن مخلوط به وسیله پرس کردن آن در قالب‌هایی به ابعاد معین.
- قرار دادن آجرها در اتوکلاو (استوانه‌ای به طول ۲۵–۱۰ و قطر ۲–۱/۵ متر) و پختن و سخت کردن آن‌ها تحت فشار بخار آب. زیرا آب آهک در فشار جو و دمای عادی با سیلیس ماسه ترکیب نمی‌شود و برای ترکیب با آن باید تحت فشار و دمای بالاتر قرار گیرد.

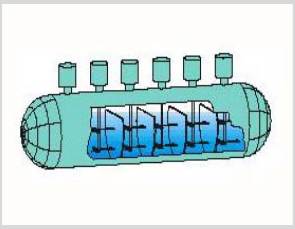
رنگ طبیعی آجرهای ماسه آهکی خاکستری روشن است. سخت، توپر و همگن هستند و به صورت قابل توجهی در اندازه، شکل، مقاومت، رنگ و بافت یکسان می-باشند. این آجرها در اندازه‌های مختلف و به اشکال توپر، سوراخ‌دار و یا به صورت لوح برای نما سازی با طرح‌های صاف، نقش سنگ بادبر، سنگ بادکوبه‌ای و... تولید می‌شوند. علاوه بر نما سازی، از آجر ماسه آهکی به علت مقاومت فشاری بالا می‌توان در پی سازی و دیوار باربر و نیز به علت مقاومت سایشی بالا در کف سازی استفاده کرد. مقاومت در برابر یخبندان و تغییرات جوی نیز از دیگر مزایای آجر ماسه آهکی است. وزن مخصوص آن نیز $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۸–۱/۹ می‌باشد. در مقایسه این آجر با آجرهای رسی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مقاومت در برابر آتش و نیز ضریب هدایت حرارت و صوت در هر دو آجر تقریباً یکسان است.
- تخلخل آجر ماسه آهکی از آجرهای رسی کمتر است و شره نمی‌زند.
- آجر ماسه آهکی در مقابل رطوبت مقاومت است و کاربرد آن در قسمت‌های زیر عایق پی و پایین‌تر از کف زمین، بر آجرهای رسی برتری دارد.
- بر خلاف آجرهای رسی تازه که میل به انبساط دارند، آجرهای ماسه آهکی در هنگام خشک شدن منقبض می‌شوند. لذا این نکته باید به منظور جلوگیری از ایجاد ترک، هنگام طراحی مد نظر قرار گیرد.
- آجر ماسه آهکی از آجر سفالی گران‌تر است ولی در مقابل، احتمال شکستن آن هنگام بارگیری و تخلیه کمتر است.
- خاک رس مصرفی در آجرهای رسی، خاکی مناسب جهت کشاورزی است. از این رو استفاده از این خاک در آجر سازی به محیط زیست و اقتصاد کشور آسیب وارد می‌کند. ولی استفاده از آجر ماسه آهکی این مشکل را مرتفع می‌سازد.

۲.۷.٦. آجر سیمانی (آجر بتنی) – Concrete Brick

آجر سیمانی در اشکال و اندازه‌های مختلف از سیمان، شن و ماسه ساخته می‌شود و روند تولید و خواص آن نیز مشابه بلوک‌های بتنی است.

تصویر شماره ۱۵.٦. آجر ماسه آهکی



تصویر شماره ۱٦.٦. دیاگرام اتوکلاو

تصویر شماره ۱۷.٦. آجر سیمانی

۸.٦. ابعاد و تقسیمات آجر

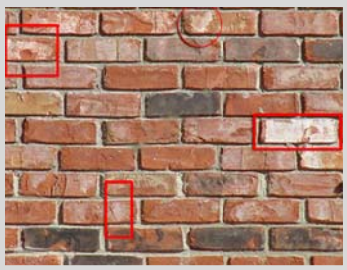
ابعاد آجر از گذشته تا کنون تغییرات بسیاری داشته است. در گذشته علاوه بر آجرهای با ابعاد معمولی، آجر نظامی با ابعاد ۵×۵۰×۵۰ و آجر ختایی با ابعاد ۵×۲۵×۲۵ نیز تولید می‌شدند که به علت قطعات بزرگ سرعت کار را بهبود می‌بخشیدند. از این رو بیشتر برای کف سازی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. امروزه آجرهای دیوار چینی اکثراً در ابعاد ۵×۱۰×۲۰ یا ۵.۵×۱۱×۲۲ سانتیمتر ساخته می‌شوند[۱]. در واقع هر بعد آجر دو برابر بعد دیگر است تا هنگام دیوارچینی بتوانند به راحتی آجرها را کله راسته (کله: عرض آجر، راسته: طول آجر) بچینند به طوری که بندهای آجرها مقابل یکدیگر قرار نگیرند و قفل و بست لازم بین آن‌ها به وجود آید (در مورد نحوه آجرچینی در مباحث بعدی شرح داده خواهد شد). برخی اوقات برای این‌که بتوانند دیوارها را کله راسته بچینند، لازم است که از قطعات کوچک‌تر آجر استفاده کنند. این قطعات را در اصطلاح کارگاهی نیمه ($\frac{1}{2}$ آجر از طول)، چارک یا کلوک ($\frac{1}{4}$ آجر از طول)، سه قدسی ($\frac{3}{4}$ آجر از طول)، قلمدانی($\frac{1}{2}$ آجر از عرض) و... می‌نامند.

۱. استاندارد شماره ۷ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ابعاد آجر را (۱±۵/۵)×(۱±۱۰/۵)×(۱±۲۲) سانتیمتر اعلام کرده است.

۹.٦. امراض آجر

عمده‌ترین امراض آجر و روش جلوگیری یا بر طرف کردن آن‌ها به شرح زیر است.

- **سفیدک (شوره):** وجود برخی املاح و نمک‌ها در خاک آجر موجب می‌گردند که هنگام برخورد باران به دیوار آجری و نفوذ آب در آن، مقداری از این املاح همراه با آب دوباره به سطح آجر آمده و پس از تبخیر آب بر سطح آن باقی بمانند و ایجاد سفیدک کنند. سفیدک‌ها انواع مختلفی دارند مانند سفیدک‌های سولفاتی، کربناتی، نیتراتی، کلروری و... . جهت جلوگیری از ایجاد سفیدک در نما، در کارگاه آجرها را قبل از استفاده مدتی در آب قرار می‌دهند تا سفیدک آن‌ها ظاهر شده و شسته شود. در این صورت اگر باز هم نماهای آجری دچار این عارضه شدند، می‌توان سفیدک‌ها را پس از خشک شدن با برس سیمی نرم تمیز کرد. می‌توان همراه با برس سیمی از مخلوط ٤-۲٪ آب و سرکه نیز استفاده کرد.
- **آلوئک (Popping - Blowing):** اگر در مواد خام آجر مقداری سنگ آهک ($CaCO_3$) وجود داشته باشد، این سنگ در حرارت کوره تبدیل به آهک زنده (CaO) می‌شود. آهک زنده در مجاورت با آب شکفته شده و با ازدیاد حجم باعث بروز ترک در آجر و بد منظره شدن آن می‌شود. به این پدیده آلوئک می‌گویند. به منظور جلوگیری از این مشکل باید خاک آجر سرند شده و دانه‌های درشت سنگ آهک از آن خارج شود. همچنین قبل از مصرف آجر باید نمونه‌هایی از آن را در آب خیساند تا عیوب احتمالی آن‌ها ظاهر گردد.



تصویر شماره ۱۸.٦. سفیدک

تصویر شماره ۱۹.٦. آلوئک

- **پوکی (Porosity)**: پوک شدن آجر به علت وجود آب زیاد در خشت، وجود کربنات‌ها و مواد آلی و نیز خوب متراکم نشدن خشت است.
- **تیرگی**: وجود سولفور آهن (FeS_2) یا پیریت، سبب سیاه شدن آجر می‌شود.
- **ترک خوردگی**: ترک خوردن آجر علت‌های متفاوتی دارد ولی عمده‌ترین آن‌ها وجود ماسه سیلیسی درشت در خاک آجر است.
- **لک شدن آجر**: وجود املاح آهنی در مواد خام آجر باعث می‌شود که آجرها پس از قرار گرفتن در دیوار، لک شوند. این مسئله بیشتر هنگامی اتفاق می‌افتد که آجر در انبار یا هنگام کار، از آب اشباع شود. راه حل این مشکل این است که آجرها حتی‌المقدور تا مدتی دور از آب و رطوبت نگهداری شوند و پس از نصب در نما، حدود ۸-٦ هفته بندکشی نشوند. زیرا با گذشت زمان احتمال لک برداشتن آجر کاهش می‌یابد.

۱۰.٦. راهنمای شناسایی آجر مرغوب

موارد زیر می‌توانند در شناسایی آجر مرغوب یاری کننده باشند:

- آجر مرغوب آجری است که دارای شکل هندسی کامل و منظم باشد.
- رنگ آجر باید یکنواخت باشد. این مورد نشانگر یکنواختی جنس شیمیایی و یکنواختی در پخت آجر است.
- بافت آجر باید همگن بوده و سطح آن بدون حفره و آلوئک باشد.
- سختی آجر باید به اندازه‌ای باشد که با ناخن خط نیفتد.
- آجر مرغوب در برخورد با آجر دیگر صدای زنگ می‌دهد. صدای زنگ نشانه سلامت، توپری، جذب آب کم و مقاومت آجر است. آجری که صدای خفه بدهد، خوب پخته نشده و یا ترک دارد. چنین آجر پوکی آب جذب می‌کند و هنگام سرما یخ‌زده و خرد می‌شود.
- اگر آجر پس از ٢٤ ساعت در آب ماندن سفیدک زد، می‌توان برداشت کرد که مقدار املاح، نمک‌ها و آهک آن بیش از حد مجاز است.

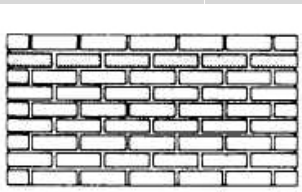
۱.۱۰.٦. آزمایش مقاومت آجر

جهت دریافت این‌که آجر مصرفی از کیفیت و مقاومت مطلوبی برخوردار است یا نه، آزمایشی بدین شرح انجام می‌گیرد: ابتدا آجر را در آب قرار داده تا کاملاً اشباع شود، سپس آن را منجمد می‌کنند. در نهایت آجر را با شعله مستقیم به مدت یک ساعت حرارت می‌دهند. اگر آجر پس از طی این مراحل تغییر ظاهری نداشته باشد، آجر مرغوبی محسوب می‌گردد.

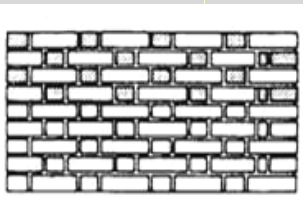
۱۱.٦. عملیات آجر چینی

در عملیات آجر چینی نکات زیر باید مد نظر قرار گیرند:

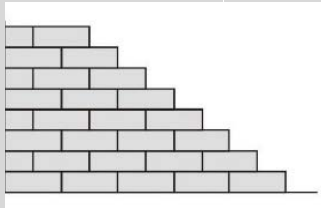
- در دیوار چینی، آجرها به صورت کله راسته و یا راسته اجرا می‌شوند. در هر دو حالت بندها نباید مقابل هم قرار گیرند تا قفل و بست لازم بین آجرها ایجاد گردد و بارهای وارده به راحتی در دیوار توزیع شوند.
- ایجاد قفل و بست لازم در محل اتصال دو دیوار جهت تأمین پایداری دیوار ضروری است. (تصاویر شماره ۲۲.٦ و ۲۳.٦)



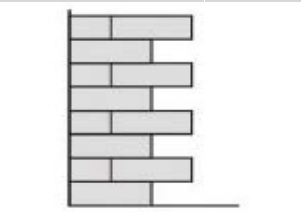
تصویر شماره ۲۰.٦. آجرچینی به صورت راسته



تصویر شماره ۲۱.٦. آجرچینی به صورت کله راسته

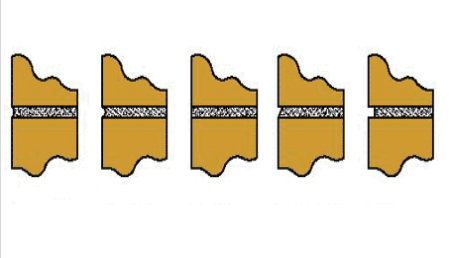


تصویر شماره ۲۲.٦. اتصال دو دیوار آجری به روش لاریز کردن آن‌ها



تصویر شماره ۲۳.٦. اتصال دو دیوار آجری به روش لابند کردن آن‌ها

- باید اتصال مناسبی بین دیوار آجری و سازه (فلزی یا بتنی) ایجاد شود.
- کار با آجر در دمای کمتر از ۵ درجه سانتیگراد مجاز نیست.
- انتخاب نوع ملات و نیز ملات با عیار مناسب در آجر کاری نقش بسیار حیاتی دارد. ملات مناسب جهت آجر کاری مخلوطی از سیمان، آهک شکفته و ماسه است. میزان اختلاط این مواد به مقاومتی که از دیوار آجری انتظار می‌رود، بستگی دارد. اگر میزان سیمان را یک قسمت حجمی در نظر بگیریم، برای آجر چینی‌های معمولی $\frac{۱}{۲}$ – $\frac{۱}{٤}$ قسمت آهک شکفته یا خمیر آهک و ٤–۳ قسمت ماسه استفاده می‌شود.
- جهت حفاظت ملات از باد و باران و نیز استحکام و زیبایی ثانویه آجر کاری، روی ملات را از سطح خارجی آجر کاری بندکشی می‌کنند. بندکشی انبساط و انقباض سطحی را به طور یکنواختی در نمای ساختمان توزیع می‌کند. همچنین مانع نفوذ آب و رطوبت به قشرهای داخلی دیوار می‌شود. از این رو ملات بندکشی باید ریزدانه، پر مایه و متراکم باشد تا مانع نفوذ آب از شکاف‌های مویی شود. ضخامت بندها بین ۱۲–۱۰ و عمق آن‌ها ۱۵ میلیمتر است. قبل از بندکشی باید محل مورد نظر را تمیز و عاری از گرد و خاک کرد.



تصویر شماره ٢٤.٦. انواع بندکشی

۱۲.٦. انبار کردن و نگهداری آجر

تخلیه و بارگیری آجر باید با دقت کافی صورت گیرد تا از شکستن و لب پر شدن آن‌ها جلوگیری به عمل آید. آجرها باید در فضایی سرپوشیده و به دور از رطوبت، آب، سرما و یخبندان، گرد و غبار و... انبار شوند.

فصل ۷

نسوزها

۱.۷. تاریخچه

بنا بر تعریف، مواد نسوز یا دیرگداز معمولاً به مواد سرامیکی و غیر فلزی گفته می‌شود که در درجه حرارت‌های بالا پایدار باشند. احتمالاً اولین نسوزها توسط فینیقی‌ها یا چینی‌ها با پختن خاک‌های رس حاوی ماسه سیلیسی در فضای آزاد ساخته شدند. این نسوزها قرن‌ها برای کوره‌های ذوب فلز یا شیشه آن زمان که محصول اندکی داشتند، کفایت می‌کرد. تنها در آغاز قرن نوزدهم بود که تولید کنندگان شروع به افزودن مواد چسبنده مخصوصاً خاک‌های پخته شده معروف به شاموت، به خاک‌های غیر چسبنده نمودند تا انقباض آجرها را در حین پخت کم کنند و آن‌ها را بدون ترک از کوره خارج سازند. از آن زمان تکنولوژی ساخت نسوزها از آجر معمولی جدا شد و کارخانه‌هایی برای تولید فرآورده‌های نسوز به وجود آمد.

تصویر شماره ۱.۷.
آجر نسوز

تصویر شماره ۲.۷. اشکال مختلف
آجرها و مواد نسوز

۲.۷. ضرورت استفاده و کاربرد نسوزها

اغلب کوره‌هایی که مصالح ساختمانی مختلف در آن‌ها پخت می‌شوند، از جنس فولاد هستند. فولاد در دماهای بین ۶۰۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد تغییر حالت داده و در دمای ۱۰۰۰ درجه خمیر می‌شود. در این حرارت به سرعت اکسید شده و در واکنش شیمیایی موادی که در آن پخته می‌شوند، شرکت می‌کند. جهت جلوگیری از این امر لازم است که سطح داخلی کوره‌ها با مواد نسوز و دیرگداز پوشانده شوند. استفاده از این مواد همچنین مانع از انتقال حرارت داخل کوره به فضای اطراف آن و گرم شدن بیش از حد این فضاها می‌شود. در این صورت میزان اتلاف انرژی نیز به حداقل کاهش می‌یابد.

اگر چه قدرت پایداری در درجه حرارت‌های بالا[1]، عاملی تعیین کننده برای گروه‌بندی یک ماده به عنوان دیرگداز می‌باشد، اما با این حال انتظار می‌رود که نسوزها در برابر عوامل مخرب دیگری همچون ضربه، سایش، خوردگی، حمله‌های شیمیایی و بار مکانیکی زیادی که در شرایط عمل با آن‌ها رو به رو می‌شوند، نیز مقاوم باشند.

نسوزها امروزه دارای کاربردهای بسیاری هستند. کلیه صنایعی که در مرحله‌ای از فرآیند تولید خود با درجه حرارت‌های بالا سر و کار دارند، به مواد دیرگداز محتاجند. این صنایع شامل تولید آهن و فولاد، تولید سیمان و آهک و گچ، صنایع شیشه و سرامیک، صنایع متالوژی، صنایع هسته‌ای و... می‌شود. علاوه بر موارد یاد شده، در ساختمان‌های بزرگ نیز جهت پوشاندن سطح داخلی دیگ‌های بخار از مواد نسوز

۱. نسوزها می‌توانند تا دمای ۱۵۸۰ درجه سانتیگراد را تحمل کنند. این دما پایین‌ترین درجه آغاز خمیری شدن نسوزهاست.

استفاده می‌کنند. کاربرد نسوزها در ساختمان‌های کوچک به مواردی همچون پوشاندن سطح داخلی شومینه‌ها[۲] محدود می‌شود.

تصویر شماره ۳.۷. پوشاندن سطح داخلی کوره‌ها با آجر نسوز

تصویر شماره ٤.٧. پوشاندن سطح داخلی شومینه با آجر نسوز

۳.۷. مراحل تولید نسوزها

مراحل تولید نسوزها تقریباً مشابه آجرپزی می‌باشد لذا در این مبحث به شرح مختصری در این زمینه اکتفا خواهد شد.

۱. **تهیه مواد اولیه و اختلاط آن‌ها:** مواد اصلی و عمده‌ای که در ساخت نسوزها به کار می‌روند عبارتند از: اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم، منیزیم، کلسیم، کروم، زیرکونیم، کربن و... . مواد اولیه را آسیاب کرده و سپس دانه-بندی می‌کنند. مرحله دانه‌بندی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا اگر دانه‌ها ریز و درشت باشند طوری که فضاهای داخلی بین یکدیگر را کاملاً پر کنند، جسمی یکپارچه با وزن مخصوص بالا ولی تخلخل کم بدست می-آیند. بنابراین تحمل انبساط ناشی از حرارت داخل کوره‌ها را نخواهد داشت و در آن ترک ایجاد می‌شود. لذا در ساخت نسوزها از دانه‌های درشت‌تر استفاده می‌کنند.

۲. **آماده سازی مواد:** درشت‌دانه بودن نسوزها سبب کاهش چسبندگی دانه‌ها به یکدیگر می‌شود. بنابراین ماده حاصل در مقابل نیروهای سایش و ضربه

۲. این مورد اغلب جنبه تزئینی دارد و بیشتر رنگ نسوز، شکل هندسی و لب پر نبودن آن مد نظر است. لذا در این مورد از نسوزهایی با درجه ذوب پایین استفاده می‌کنند.

موجود در کوره مقاوم نخواهد بود. جهت رفع این مشکل مقداری چسب به مواد اولیه نسوزها اضافه می‌کنند. این چسب‌ها باید طوری انتخاب شوند که نقطه ذوب نسوز را پایین نیاورند. از خاک نسوز یا خاک رس پخته و خرد شده می‌توان به عنوان ماده چسبنده استفاده کرد.

۳. **شکل دادن به مواد اولیه:** امروزه از ماشین‌های مختلف نظیر دستگاه‌های پرس با فشار زیاد، برای شکل دادن به نسوزها استفاده می‌کنند.

٤. **خشک کردن نسوز:** در اغلب کارخانه‌ها از تونل هوای گرم برای خشک کردن نسوزها استفاده می‌کنند. این عمل باید طوری انجام شود که در سطح خارجی و درون نسوزها به طور یکنواخت خشک شود.

۵. **پختن نسوز:** پس از خشک کردن، نسوزها را به کوره برده و می‌پزند. دمای کوره پخت معمولاً بیشتر از دمای کوره‌ای است که نسوز قرار است در آن به مصرف برسد.

نسوزها پس از خروج از کوره، به تدریج خنک شده و آماده مصرف می‌شوند.

٤.۷. خواص عمومی نسوزها

خواص نسوزها با توجه به محل مصرف و میزان حرارتی که باید تحمل کنند، متفاوتند. برخی از خواص عمومی نسوزها که در اکثر آن‌ها مشترک است به قرار زیر می‌باشد:

- نسوزها مقاومت بالایی در برابر سایش، ضربه، فشار و تأثیر مواد شیمیایی دارند.
- مواد دیرگداز معمولاً نقطه ذوب مشخصی ندارند و غالباً در یک دامنه دمایی کم و بیش باریک، ذوب یا نرم می‌شوند. در نتیجه به جای بیان یک نقطه ذوب معین، دمای نرم شدن آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. دمای ۱۵۸۰ درجه سانتیگراد پایین‌ترین درجه آغاز خمیری شدن نسوزهاست. (افزایش میزان سیلیسیم در مواد اولیه نسوزها، پایداری حرارتی آن‌ها را افزایش می دهد.)
- نسوزها در مقابل تغییر حرارت‌های ناگهانی و شوک‌های حرارتی مقاومند.
- این مواد پایداری بالایی در برابر انقباض و انبساط‌های ناشی از تغییر دما در کوره‌ها دارند.

- میزان اکسیدهای گداز آور نظیر CaO و MgO در نسوزها کمتر از ۵٪ است.
- نسوزها در برابر پوسته پوسته شدن مقاومند. اصولاً اختلاف درجه حرارت بین سطح و درون جسم باعث پوسته پوسته شدن آن می‌شود. از آن جایی که نسوزها عایق حرارت می‌باشند، دمای سطحی از آن‌ها که در مجاورت مواد داخل کوره است با دمای مغز (داخل) نسوز متفاوت است. این امر ممکن است موجب پوسته پوسته شدن سطح نسوز شود که جهت غلبه بر این مشکل، مواد نسوز را متخلخل می‌سازند.

۵.۷. دسته‌بندی انواع نسوزها

موارد کاربرد گوناگون مواد نسوز و شدت و ضعف نیروهای مخرب در شرایط مختلف، لزوم تنوع گسترده محصولات نسوز را جهت ارضاء آن شرایط روشن می‌سازد. تعداد محصولات نسوز که با توجه به ترکیبات متنوع و نا محدود مواد دیرگداز مختلف به دست می‌آیند، بسیار زیاد است. یکی از دسته‌بندی‌های عمده نسوزها، بر اساس ترکیب شیمیایی آن‌هاست که از این حیث به نسوزهای اسیدی، نسوزهای بازی و نسوزهای خنثی تقسیم می‌شوند.

۱.۵.۷. نسوزهای اسیدی

۱.۱.۵.۷. نسوزهای سیلیسی (دیناس)

برای تولید این نسوزها، سنگ سیلیس را خرد کرده و با حدود ۲٪ آهک خشت می‌زنند. آهک با ذرات سیلیس وارد واکنش شیمیایی شده و سیلیکات کلسیم حاصل می‌شود که دانه‌های سیلیس را به یکدیگر پیوند می‌دهد. نسوزهای سیلیسی سخت هستند، مقاومت مکانیکی و سایشی مطلوبی دارند، در برابر سرباره‌های مذاب اسیدی پایدارند ولی در مقابل سرباره‌های بازی حساس می‌باشند.

۲.۵.۷. نسوزهای بازی

۱.۲.۵.۷. نسوزهای منیزیمی

این نسوزها از اکسید منیزیم یا منیزی (MgO) ساخته می‌شوند و از پر مصرف‌ترین نسوزهای بازی به شمار می‌آیند. نسوزهای منیزیمی در برابر تغییرات دما مقاومت کمی دارند ولی در مقابل مواد مذاب فلزی قلیایی پایدارند.

۲.۲.۵.۷. نسوزهای دولومیتی

در اثر پختن دولومیت که کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم است، مخلوطی از آهک و منیزی حاصل می‌شود که به صورت دانه نسوز بازی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳.۲.۵.۷. نسوزهای شاموتی

خاک نسوزی که در طبیعت وجود دارد، سیلیکات آلومینیوم آب‌دار است که حاوی ۴۰-۲۱٪ آلومین می‌باشد و قسمت عمده بقیه آن سیلیس و کمی اکسیدهای دیگر است. نسوزهایی که از این خاک ساخته می‌شوند، به نسوزهای شاموتی معروفند. هر چه میزان آلومین و سیلیس در این خاک بیشتر باشد، نسوز مرغوب‌تری از آن تولید می‌شود.

۴.۲.۵.۷. نسوزهای آلومینیومی

این نسوزها بیش از ۴۵٪ آلومین دارند و از نسوزهای شاموتی نسوزنده‌ترند.

۵.۲.۵.۷. نسوزهای فورستریتی

فورستریت، سیلیکات منیزیم ($2MgO.SiO_2$) است و تحمل بار خوبی دارد.

۳.۵.۷. نسوزهای خنثی

۱.۳.۵.۷. نسوزهای کرومیتی

این نسوزها از کانی‌های کروم‌دار ساخته می‌شوند و در برابر اکسیدهای اسیدی و بازی پایدار هستند.

فصل ۸

سرامیک و کاشی

۱.۸. تاریخچه

سرامیک از واژه یونانی Keramos به معنای گل پخته یا سفال گرفته شده و به مصالحی گفته می‌شود که از گل پخته ساخته شده و سطح آن‌ها را لعاب می‌پوشانند. لعاب دادن سرامیک‌ها اندکی پس از آغاز آجرپزی شناخته شد. بدین ترتیب که آجرهایی که در کوره حرارت بیشتری به آن‌ها می‌رسید، تبدیل به آجر جوش می‌شدند. در این حرارت آجر عرق می‌کند و یک پوسته نازک شیشه‌ای سطح آن را می‌پوشاند که در برابر نفوذ آب مقاوم است. از این پس به تدریج روش‌های مختلف لعاب دادن شناخته شد.

قدمت نخستین سرامیک‌های ساختمانی به حدود ۵۰۰۰ هزار سال قبل از میلاد مسیح در مصر می‌رسد. در ایران نیز کاشی‌هایی مربوط به ٤۰۰ سال قبل از میلاد در

کاخ هخامنشیان شوش توسط باستان شناسان فرانسوی یافت شده که اینک در موزه لوور پاریس نگهداری می‌شوند.

تصویر شماره ۱.۸. کاشی‌های کاخ هخامنشیان در موزه لوور پاریس

۲.۸. ضرورت استفاده و کاربرد سرامیک وکاشی

امروزه صنعت سرامیک فقط محدود به ساخت مصالح ساختمانی و ظروف نمی‌شود بلکه کاربردهای شگرفی در تکنولوژی قرن معاصر یافته است. از این رو تعریف لغوی سرامیک عبارتست از: هر شیء جامد و تردی که ماده اصلی تشکیل دهنده آن مواد غیر عالی و غیر فلزی باشد. ولی در صنعت ساختمان این تعریف، شیشه و سیمان و برخی مصالح دیگر را نیز شامل می‌شود. بنابراین تعریف جامع‌تر از سرامیک آن را از نظر ساختار شیمیایی مورد بررسی قرار می‌دهد، بدین شرح است: کلیه موادی که از مخلوط خاک رس با ماسه و فلدسپار در دمای بالا به دست می‌آیند و توسط توده شیشه‌ای مانندی که کاملاً صاف و صیقلی است، انسجام می‌یابند.

سرامیک‌ها کاربردهای وسیعی در ساختمان سازی دارند و چون دارای سطحی صاف، قابل شستشو و مقاوم در برابر رطوبت هستند، اغلب جهت پوشش دیوار، کف، تزئینات داخل و خارج ساختمان و ساخت لوازم بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از دیگر مصارف سرامیک‌ها می‌توان به ساخت لوله‌ها و تنبوشه‌های فاضلاب اشاره کرد. سرامیک‌ها علاوه بر صنعت ساختمان در صنایع دیگری نظیر صنایع خودرو سازی، ریخته گری، تراش‌کاری، الکتریکی، شیمیایی، هسته‌ای، فضانوردی و... نیز کاربرد دارند.

تصویر شماره ۲.۸. کف‌پوش‌های سرامیکی

تصویر شماره ۳.۸. لوله‌ها و قطعات اتصال سرامیکی

تصویر شماره ٤.٨. آب‌نمای سرامیکی

کاشی (Tile) یکی از انواع سرامیک است که عموماً جهت پوشش دیوار در فضاهای مرطوب ساختمان و نیز محل‌هایی که به نظافت بیشتری احتیاج دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نظیر حمام، توالت، آشپزخانه، رختشوی‌خانه، کارخانجات دارای محیط شیمیایی، آزمایشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و... . از کاشی همچنین برای تزئین داخل و خارج مساجد به وفور استفاده می‌کنند.

خاکی که در تولید کاشی به کار می‌رود با خاک سرامیک متفاوت است (در مباحث بعدی شرح داده خواهد شد) همچنین مقاومت فشاری بیسکویت[1] (Bisquet) و لعاب کاشی از سرامیک کمتر است و لعاب آن در مقایسه با لعاب سرامیک مقاومت کمتری در برابر آب دارد، از این رو استفاده از کاشی به عنوان پوشش کف چندان مرسوم نیست. ولی چون سرامیک در کف سازی استفاده می‌شود، از ضخامت بیشتری بر خوردار است.

نوعی از سرامیک را که بدون لعاب است و از خاک نه چندان مرغوب ساخته می‌شود، سفال (گل پخته) می‌نامند. سفال در اندازه و ابعاد مختلف به منظور شیب بندی بام و جلوگیری از نفوذ آب باران در آن، به کار می‌رود و از نظر اقتصادی بسیار به صرفه است. اما در مقابل، وزن بالایی دارد (۰/۰٦٥–۰/۰٤٥ $\frac{gr}{cm^3}$) که در مقایسه با ورق گالوانیزه موج‌دار به ضخامت ۰/۵ میلیمتر (۰/۰۰٤ $\frac{gr}{cm^3}$) بسیار زیاد است. ولی عمر آن از ورق گالوانیزه خیلی بیشتر است.

۱. قطعه گلی سرامیک و کاشی را که پخته شده ولی هنوز لعاب نخورده است، بیسکویت گویند.

تصویر شماره ۵.۸. کاشی کاری دیوار

تصویر شماره ٦.٨. کاشی کاری مسجد شیخ لطف الله در اصفهان

تصویر شماره ۷.۸. قطعات سفال بام

۳.۸. مراحل تولید سرامیک و کاشی

ویژگی قطعات سرامیک و کاشی بستگی به دو عامل: کیفیت مواد خام اولیه و روش تولید آن‌ها دارد. مراحل تولید سرامیک و کاشی به یک شکل است با این تفاوت که خاک مورد استفاده در سرامیک سازی خاک رس، ماسه و فلدسپار است ولی خاک کاشی مخلوطی از انواع رس (خاک چینی، بال کلی[1] و سنگ آتش زنه) است.

۱.۳.۸. آماده سازی مواد اولیه

خاکی که برای ساخت سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، از خاک رس، ماسه و فلدسپار تشکیل شده است و باید فاقد ناخالصی‌ها و دانه‌های سنگ باشد. از این رو در کارخانه مواد اضافی را از طریق شستشو خاک از آن جدا می‌کنند. همان طور که اشاره شد کیفیت مواد خام اولیه و نیز میزان هر یک از آن‌ها در کیفیت سرامیک حاصل بسیار تأثیر گذار است. نقش هر یک از این مواد به شرح زیر است:

- **خاک رس:** قسمت اعظم خاک سرامیک را تشکیل می‌دهد و موجب نرمی، انعطاف و شکل پذیری ذرات خاک می‌شود. همچنین دانه‌های رسی در محدوده‌ای از حرارت، پیش از آن‌که ذوب شوند، دچار ذوب سطحی شده و پدیده هم‌جوشی در آن‌ها اتفاق می‌افتد که نتیجه آن تشکیل قطعه‌ای یکپارچه و مستحکم است. برای ساخت سرامیک مرغوب از خاک رسی

۱. Ball clay، نوعی خاک رس است.

استفاده می‌کنند که حدود ٤٢٪ اکسید سیلسیم و ٤٠٪ اکسید آلومینیوم داشته باشد.

- **ماسه:** قابلیت چین خوردگی پس از خشک شدن و نیز تشکیل ذرات بلوری سرامیک را کاهش می‌دهد.
- **فلدسپار:** در کاهش دمای پخت و تشکیل توده شیشه‌ای و چسباننده ذرات سرامیک مؤثر است.

علاوه بر این‌ها، مواد گداز آوری نظیر اکسیدهای قلیایی نیز در ساخت سرامیک به کار می‌روند که درجه حرارتی را که برای شروع عمل شیشه‌ای شدن لازم است، پایین می‌آورند. مقدار مواد گداز آور باید کم باشد در غیر این صورت سرامیک در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد کوره، خمیری شده و از شکل می‌افتد.

مواد اولیه را در برابر هوا خشک کرده و سپس آن‌ها را آسیاب می‌کند تا به صورت گرد یکنواختی درآیند. گرد حاصل را با مقدار معینی آب مخلوط کرده و به گل تبدیل می‌کنند تا خاصیت پلاستیسیته (شکل پذیری) پیدا کند. میزان آب باید به اندازه‌ای باشد که پس از شکل دادن به گل، قطعه حاصل شکل خود را از دست ندهد. هم زمان با افزودن آب، حدود ۰/۵٪ اکسید کروم نیز به خاک اضافه می‌کنند تا رنگ آن روشن‌تر شود. زیرا اکثر خاک رس‌ها در اثر وجود اکسید آهن در آن‌ها، پس از پختن تیره رنگ می‌شوند و این تیرگی در لعاب کاری سرامیک و کاشی اخلال ایجاد می‌کند.

۲.۳.۸. قالب گیری

پس از تهیه گل آن را قالب گیری می‌کنند و به شکل و اندازه دلخواه در می‌آورد. امروزه قالب گیری اغلب توسط دستگاه‌های پرس و دستگاه اکسترودر (همانند قالب گیری آجر) صورت می‌گیرد. در روش پرس، گل باید حداقل رطوبت را داشته باشد. همچنین صفحات دستگاه پرس را نیز کمی چرب می‌کنند تا مانع از چسبیدن گل به آن‌ها در حین فشار شود.

تصویر شماره ۸.۸ قالب گیری گل به روش پرس (به ترتیب از راست به چپ)

۳.۳.۸. خشک کردن و پختن

اگر قطعات گلی در هوای خشک قرار داده شوند، یا به سرعت خشک گردند، سطح خارجی آن‌ها زودتر از قسمت‌های درونی خشک شده و این امر سبب ایجاد ترک‌های سطحی در قطعه می‌شود. بنابراین خشک کردن قطعه‌ها در تونل‌های هوای گرم با رطوبت کنترل شده، صورت می‌گیرد. بدین ترتیب که قطعات روی واگن چیده می‌شوند و در طول تونل حرکت می‌کنند. هوای ابتدای تونل معادل هوای محیط خارج است، ولی به تدریج گرم می‌شود تا در وسط تونل به حداکثر دمای لازم برسد. سپس به آهستگی سرد می‌شود تا در انتهای تونل، مجدداً معادل هوای محیط خارج گردد.

برای پختن سرامیک و کاشی اغلب از کوره تونلی استفاده می‌کنند. در این کوره نیز حرارت به تدریج بالا می‌رود به طوری که در ۶۰۰–۴۵۰ درجه سانتیگراد آب شیمیایی قطعات گلی تبخیر شده و در حررات ۹۰۰–۸۰۰ درجه به مرحله شیشه‌ای شدن می‌رسند. قبل از شیشه‌ای شدن به تدریج حرارت کوره کم می‌شود. قطعه‌ای که از کوره خارج می‌شود تبدیل به سفال (گل پخته) شده است.

در برخی از کارخانه‌ها کوره خشک کن و کوره پخت در امتداد یکدیگر قرار دارند به طوری که وقتی قطعه‌ها خشک شدند، دمای کوره پایین نمی‌آید بلکه به تدریج تا مرحله شیشه‌ای شدن بالا می‌رود.

٤.٣.٨. لعاب دادن

لعاب[1] (له+آب) گونه‌ای از شیشه است که برای زیبا، صاف، ضد آب و ضد مواد شیمیایی شدن سرامیک‌ها و کاشی‌ها، به صورت لایه نازکی به ضخامت کمتر از یک میلیمتر، روی آن‌ها پخته می‌شود. لعاب‌ها همچنین سطحی قابل شستشو را برای کاشی-ها و سرامیک‌ها فراهم می‌سازند.

پس از آن‌که سفال‌ها از کوره بیرون آمده و خنک شدند، روی آن‌ها را با لعاب می‌پوشانند. سفال آب لعاب را مکیده و جرم جامد آن روی سطح خارجی سفال باقی می‌ماند. سپس قطعات را مجدداً در کوره قرار می‌دهند تا هم پخت سفال‌ها تکمیل شود و هم لعاب روی آن‌ها پخته شود.

تصویر شماره ۹.۸. واگن مخصوص حمل سرامیک‌ها در کوره

تصویر شماره ۱۰.۸. دستگاه لعاب‌زنی به سرامیک‌ها

لعاب‌ها ممکن است شفاف، نیمه شفاف و یا کدر باشند. در مواقعی که سطح سفال ظاهر مناسبی ندارد، لعاب روی آن را با افزودن برخی اکسیدهای فلزی، کدر می-کنند. روش کم هزینه‌تر این است که لایه‌ای از رس سفید را روی سطح سفال می‌پزند سپس روی آن را لعاب می‌زنند. به این لایه، زیر لعاب (Engobes) می‌گویند. ضریب انبساط حرارتی لعاب و زیر لعاب باید با سفال زیر آن تقریباً برابر باشد. در غیر این صورت با سرد و گرم شدن کاشی یا سرامیک، لعاب روی آن ترک می‌خورد.

برای تهیه لعاب‌های رنگی، به آن‌ها اکسیدهای فلزی اضافه می‌کنند. همچنین می‌توان سطح روی سفال را با اکسیدهای فلزی پوشاند سپس روی آن لعاب شفاف زد که در این صورت هزینه ساخت کمتر می‌شود. برای تولید سرامیک‌های نقش‌دار، طرح-

۱. لعاب‌ها و انواع آن‌ها در فصل «رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ» مفصلاً شرح داده شده‌اند.

های مورد نظر را که تقریباً مانند عکس برگردان هستند و جنس لعابی دارند، در یکی از سه حالت زیر لعاب، میان لعاب و یا روی لعاب قرار داده سپس سرامیک را به کوره می‌برند. در حالتی که نقش در میان لعاب قرار دارد، ابتدا یک لایه لعاب را روی سفال می‌پزند سپس نقوش مورد نظر را روی آن چسبانده و دوباره لعاب داده و در کوره قرار می‌دهند. در ساخت کاشی اغلب نقوش را زیر لعاب قرار می‌دهند.

کاشی‌ها و سرامیک‌ها طبق آیین نامه سازمان برنامه و بودجه، در صورت نداشتن نقص، درجه ۱؛ با داشتن خال‌های ۰/۵ میلیمتری، درجه ۲ و با داشتن خال‌های ۳-۲ میلیمتری، درجه ۳ محسوب می‌شوند.

٤.٨. خواص عمومی سرامیک‌ها و کاشی‌ها

خواص عمومی سرامیک‌ها و کاشی‌ها عبارتند از:

- مقاومت شیمیایی در برابر عوامل جوی، آب، اسیدها، بازها، نمک‌ها و حلال‌های آلی.
- جذب آب سرامیک حدود ٤٪ و جذب آب کاشی بین ۱۷-۱۲٪ است.
- سرامیک‌ها و کاشی ها تا حدی مانند عایق رطوبتی و حرارتی عمل می‌کنند.
- مقاومت فشاری سرامیک حدود ٤۰۰ و کاشی حدود ۲۰۰ $\frac{kg}{cm^2}$ است.
- مقاومت در مقابل فرسایش.

نقطه ضعف عمده مواد سرامیکی معمولی، تردی و شکنندگی آن‌ها در برابر ضربه و تنش‌های حرارتی است. این مواد نمی‌توانند حرارت را به صورت مناسبی انتقال دهند بنابراین در آن‌ها تنش ایجاد شده و می‌شکنند. همانند شکستن ظروف سرامیکی نامرغوب هنگام ریختن آب داغ در آن‌ها.

٥.٨. انواع سرامیک‌ها و کاشی‌ها

سرامیک‌هایی که در ساختمان به کار می‌روند از نظر خواص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و نام‌های مختلف آن‌ها اکثراً نام‌ها و اصطلاحات تجاری هستند. برخی از پرکاربردترین اصطلاحات عبارتند از:

- **استون ور (Stoneware)**: سرامیک‌های متراکم با رنگ روشن.
- **پرسیلن (Porcelain)**: سرامیک سفید و تا حدی نور گذاران که در قابل آب، مواد شیمیایی، ساییدگی، فشار و... بسیار مقاوم است. امروزه پرسیلن رنگی نیز تولید شده است.
- تراکوتا **(Terra-Cotta)**: سفال سرخ.

تصویر شماره ۱۱.۸. تراکوتا

همان گونه که قبلاً اشاره شد، کاشی یک از انواع سرامیک است. کاشی‌ها نیز با اصطلاحات تجاری مختلفی خوانده می‌شوند که شرح آن‌ها خارج از محدوده این کتاب است. در این نوشتار به ذکر چند گونه مختلف کاشی اکتفا خواهد شد.

- **کاشی دیواری ورقه‌ای (Mounted Tile)**: این کاشی‌ها با نظم و فاصله خاص کنار یکدیگر و روی ورق کاغذی ویژه، پلاستیک مشبک یا یک لایه مشبک پارچه‌ای قرار گرفته‌اند. در نتیجه کار نصب را بسیار ساده می‌کنند، ولی از کاشی‌های تک با همان کیفیت گران‌تر هستند. همچنین از لحاظ اندازه، رنگ و طرح در مقایسه با کاشی‌های تک محدودترند.
- **کاشی سیمانی (Cement Tile)**: ماده اصلی تشکیل دهنده این کاشی، به جای خاک رس، سیمان است و بیشتر مناسب محیط‌های خارجی می‌باشد. دو نوع عمده این کاشی عبارتند از: کاشی سالتیلو (Saltillo) و کاشی اکسترود شده با بدنه سیمانی.
- **کاشی معرق (Mosaic Tile-work)**: این نوع کاشی در گذشته زمانی که صنعت رنگ آمیزی کاشی پیشرفت چندانی نکرده بود، به وجود آمد. بدین ترتیب که برای جلوگیری از اختلاط رنگ‌ها با یکدیگر در مرحله پخت، هر رنگ را جداگانه روی یک قطعه کاشی می‌پختند. سپس نقوش هر رنگ را روی کاشی همان رنگ با اره موئی می‌بریدند و هنگام نصب، رنگ‌های

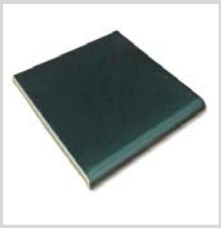
مختلف را کنار یکدیگر می‌چیدند تا طرح مورد نظر به دست آید. سفال این کاشی را با افزودن مقداری گرد سنگ آهک، پوک می‌ساختند تا هنگام بریدن، خرد نشود. از کاشی معرق جهت تزئینات خارج ساختمان خصوصاً اماکن مذهبی استفاده می‌شده و نمونه زیبای آن، مسجد شیخ لطف ا... در اصفهان است.

تصویر شماره ۱۲.۸. کاشی ورقه‌ای

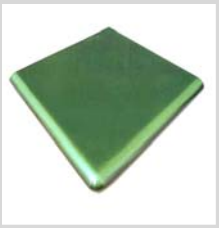
تصویر شماره ۱۳.۸. کاشی سالتیلو

تصویر شماره ۱٤.۸. کاشی معرق

انواع مختلف کاشی در طرح، رنگ و ابعاد مختلف از ۲×۱ و ۲×۲ تا ٤۰×٤۰ سانتیمتر ساخته می‌شوند. ولی رایج‌ترین و پرکاربردترین اندازه برای کاشی، ۱۵×۱۵ سانتیمتر است. ضخامت کاشی‌ها نیز از ۸-٦ میلیمتر تجاوز نمی‌کند و اشکال مختلفی نظیر یک لب پخ، دو لب پخ، انحنادار (برای انتهای نبش‌ها) و... دارند.



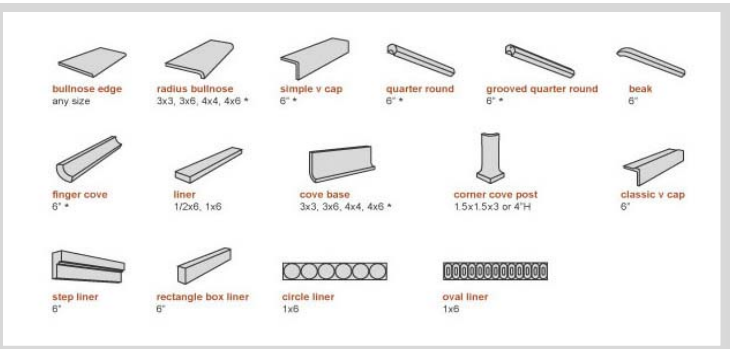
تصویر شماره ۱۵.۸. کاشی یک لب پخ



تصویر شماره ۱٦.۸. کاشی دو لب پخ

تصویر شماره ۱۷.۸. کاشی لبه

تصویر شماره ۱۸.۸. کاشی قرنیز



تصویر شماره ۱۹.۸. اشکال مختلف کاشی لبه

۶.۸. نصب سرامیک و کاشی

برای نصب سرامیک‌ها و کاشی‌های بدون لعاب یا لعاب‌دار از دوغاب ماسه سیمان به نسبت ۱:۵ استفاده می‌کنند. باید توجه کرد که دوغاب ماسه سیمان با سایر ملات‌ها به خصوص کاهگل و گچ و خاک چسبندگی ندارد، از این رو سطح کار باید قبلاً با ملات سیمان اندود شده باشد. پس از نصب سرامیک‌ها یا کاشی‌ها برای پر کردن بندهای آن‌ها از دوغاب سیمان و پودر سنگ استفاده می‌کنند، دوغاب را می‌توان با ماده دافع آب مخلوط کرد. (تصویر شماره ۲۵.۵)

برای نصب سرامیک‌ها و کاشی‌ها علاوه بر دوغاب ماسه سیمان می‌توان از چسب‌های مخصوص نیز استفاده کرد. این چسب‌ها به دو صورت خمیر (بر پایه رزین-های صنعتی) و پودر (بر پایه سیمان و مواد شیمیایی) موجود می‌باشند و بر روی کلیه سطوح داخل ساختمان با هر جنسی، حتی سطوحی که قبل از سرامیک شده‌اند (سرامیک روی سرامیک[1]) نیز قابل استفاده هستند. این چسب‌ها در برابر آب، رطوبت و حرارت مقاوم هستند. هنگام اجرا باید چسب را با ماله دندانه‌دار به صورت افقی و عمودی روی سطح مورد نظر کشید (تصویر شماره ۲۱.۵) و حداکثر ظرف مدت ۲۰ دقیقه عمل نصب سرامیک یا کاشی را انجام داد.

۱. در این حالت باید سطح کاشی یا سرامیک قبلی را تیشه‌دار کرد تا اتصال بهتری صورت گیرد.

هنگام نصب سرامیک یا کاشی در فواصل ۵-٤ متر، درز انبساط در نظر می‌گیرند و آن را با مواد سیلیکونی یا پلی اورتان (رجوع شود به فصل «پلاستیک‌ها») پر می‌کنند. اجرای درز انبساط خصوصاً در مواقعی که از مصالح متفاوتی در کنار یکدیگر استفاده می‌شود، در فاصله بین دو ماده، ضروری است.

تصویر شماره ۲۰.۸. ماله دندانه دار

تصویر شماره ۲۱.۸. آغشته کردن سطح با دوغاب یا چسب

تصویر شماره ۲۲.۸. درز انبساط بین کاشی‌ها و سرامیک‌ها

تصویر شماره ۲۳.۸. نصب سرامیک‌ها

تصویر شماره ۲٤.۸. اجرای ماستیک در کنج‌ها

تصویر شماره ۲۵.۸. پر کردن بندها با زاویه ٤۵°

تصویر شماره ۲٦.۸. تمیز کردن سطح

۷.۸. راهنمای شناخت سرامیک و کاشی مرغوب

سرامیک‌ها و کاشی‌ها باید دارای سطح و لبه‌های کاملاً صاف، گوشه‌های گونیا و اندازه‌های یکسان باشند. ضخامت لعاب آن‌ها نیز باید در همه قسمت‌های سطح به یک اندازه باشد. روش‌های زیر جهت آزمایش مرغوبیت سرامیک‌ها و کاشی‌ها به کار می‌روند:

- دو عدد سرامیک یا کاشی را از سمت لعاب آن‌ها روی یکدیگر قرار داده و گوشه‌های آن‌ها را با انگشت می فشارند. در این صورت اگر دارای سطحی صاف باشند، با فشار انگشتان حرکتی احساس نمی‌شود.

- لبه‌های دو عدد سرامیک یا کاشی را کنار یکدیگر قرار می‌دهند، در این صورت اگر دارای لبه‌های صافی باشند، بین دو لبه فاصله‌ای وجود ندارد.
- گونیا بودن گوشه‌های سرامیک یا کاشی را نیز می‌توان با کنار هم چیدن ٤ عدد از آن‌ها و ایجاد یک شکل مربع، بررسی کرد.
- برای آزمایش مرغوبیت لعاب سرامیک یا کاشی، آن‌ها را به مدت ۱۲ ساعت در فریزر قرار داده سپس در آب جوش می‌اندازند. اگر لعاب این شرایط را تحمل کند و ترک بر ندارد، ضریب انبساط مطلوبی دارد.
- سفال‌ها نیز باید در برابر یخبندان مقاوم باشند، آب در آن‌ها نفوذ نکند، توپر باشند و در اثر ضربه، صدای زنگ بدهند.

بخش سوم

مصالح سخت شونده

فصل ۹

آهک

۱.۹. تاریخچه

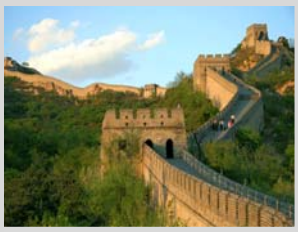
آهک (Lime) از قدیمی‌ترین مصالح مورد استفاده بشر است. اگر آب و هوا را موادی بدانیم که زندگی بشر بدون آن‌ها ممکن نیست، موادی نیز وجود دارند که تمدن انسانی بدون آن‌ها مفهوم ندارد. چنان‌چه سنگ آهن، نمک، سولفور، نفت و زغال را پنج پایه تمدن بدانیم، بی‌شک سنگ آهک که ماده اولیه آهک است، ششمین پایه آن محسوب می‌گردد. در عین حال سنگ آهک پنجمین ماده فراوان در سطح کره زمین است.

یکی از فرضیه‌ها در مورد کشف آهک توسط بشر این است که انسان‌های اولیه از سنگ آهک برای ساخت اجاق‌های خود استفاده می‌کردند. این سنگ در مجاورت آتش پخته شده و به آهک زنده تبدیل می‌شد و نیز در اثر بارندگی شکفته می‌شد و به صورت شیره آهک جریان می‌یافت و باعث چسبندگی قطعات سنگی مجاور خود می-

شد. بنابراین کشف آهک همزمان با پیدایش آتش بوده است. شواهد استفاده از آهک در آسیا، اروپا، آفریقا و آمریکا یافت شده است ولی قدیمی‌ترین سند استفاده از آن، در شفته پوشش قبری در تپه حسنلو در ایران یافت شده است. یونانیان استفاده از آهک را از ایرانیان، و رومیان نیز از یونانیان آموخته‌اند. در ساختمان دیوار چین که متعلق به ۳۰۰ سال قبل از میلاد مسیح است نیز آهک به کار رفته است.

تصویر شماره ۱.۹. سنگ آهک

تصویر شماره ۲.۹. تپه حسنلو


تصویر شماره ۳.۹. دیوار چین

۲.۹. ضرورت استفاده و کاربرد آهک

در ساختمان سازی از کربنات‌های کلسیم استفاده‌های مختلفی می‌شود. سنگ‌های آهکی جزء کربنات‌های کلسیم هستند که به صورت سنگ ساختمانی یا به صورت آهک زنده (اکسید کلسیم (CaO)) و آهک شکفته به عنوان ماده چسباننده در ملات‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مصارف عمده آهک، تهیه ملات‌های ساختمانی خصوصاً ملات‌های سیمانی است. مزایای افزودن آهک به ملات‌های سیمانی به قرار زیر است:

۱. افزایش قابلیت نگهداری آب در ملات، در نتیجه خمیری شدن و کارآیی بیشتر ملات.
۲. کاهش نفوذ پذیری در مقابل آب و رطوبت.
۳. کاهش جمع شدگی ناشی از خشک شدن ملات (انقباض) و ثابت ماندن حجم آن پس از گرفتن و سخت شدن.
٤. چسبندگی بیشتر ملات به مصالح بنایی.
۵. انعطاف پذیری بیشتر تحت تنش.
٦. کاهش شوره‌زدگی.
۷. روشن‌تر شدن رنگ ملات (آهک خالص سفید رنگ است).

آهک علاوه بر استفاده در ملات‌ها، مصارف وسیعی در صنعت ساختمان و در صنایع دیگر دارد که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد:

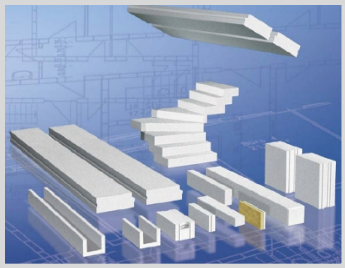
- **ساخت آجر ماسه آهکی:** گیرش و سخت شدن مخلوط آهک و ماسه در کوره بخار بسیار عالی است و محصولی با مقاومت سنگی، ضد آب و بادوام حاصل می‌شود. از مخلوط‌های ماسه و آهک برای ساخت بلوک‌ها، آجر، صفحات کف و دیوار استفاده می‌شود.
- **تثبیت خاک در راه سازی:** در زمین‌هایی که جنس خاک آن‌ها مرغوب نیست، برای راه سازی ابتدا آهک را به صورت دوغاب با خاک مخلوط کرده، سپس به آن آب اضافه می‌کنند و شفته حاصل را در بستر راه می‌ریزند. پس از خشک شدن روی آن غلتک کشیده می‌شود تا متراکم گردد بعد آسفالت را روی آن اجرا می‌کنند. بدین طریق هم از نفوذ آب‌های زیرزمینی در بستر راه جلوگیری می‌شود و هم آب باران در آن نفوذ نمی‌کند. علاوه بر این تحمل بار فشاری و قدرت بارگذاری در بستر راه افزایش یافته و نیز با کاهش انقباض خطی از ایجاد ترک در سطح راه جلوگیری می‌شود، زیرا خاک بدون آهک به هنگام رطوبت باد کرده و با خشک شدن ترک می‌خورد. همچنین با این روش از رشد گیاهان و نفوذ ریشه آن‌ها نیز در جاده‌ها ممانعت به عمل می‌آید. جهت تثبیت خاک جاده‌هایی که آسفالت آن‌ها اجرا شده است، سطح رویه آسفالت را سوراخ کرده و با فشار، دوغاب آهک را در زیر لایه آسفالتی راه تزریق می‌کنند.

تصویر شماره ٤.٩. آجر ماسه آهکی

تصویر شماره ٥.٩. تثبیت خاک توسط آهک

- **استفاده از شفته آهکی جایگزین خاک‌ریزی پشت سازه‌ها (Back fill)**: متراکم کردن خاکی که اطراف پی ریخته می‌شود، نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی است (هربار ۱۵-۱۰ سانتیمتر خاک ریخته شده و با استفاده از غلتک متراکم می‌شود). در این گونه موارد استفاده از شفته آهکی که قبلاً کاملاً شکفته شده، باعث تعدیل زمان اجرا و اقتصادی‌تر شدن پروژه می‌گردد. باید توجه داشت که در صورتی که آهک به طور کامل شکفته نشده باشد، به مرور زمان در اثر واکنش با آب باعث ایجاد حرارت و گاهی انفجار و صدمه زدن به سازه‌های بتنی می‌شود.
- استفاده از شفته آهک برای پر کردن درز و دوختن لایه‌های خاک، زمانی که خاک‌برداری سازه به صورت قائم باشد.
- **استفاده در ساخت محصولات بتنی**: آهک هیدراته (شکفته شده) در تولید محصولات بتن سلولی سبک وزن به کار می‌رود تا محصولی مقاوم در برابر آب تولید شود. آهک همچنین ساخت محصولات بتنی با لبه دقیق‌تر را میسر می سازد و باعث کاهش زیان از طریق شکستگی می‌شود.
- **استفاده در ساخت ایتونگ (Ytong)**: سنگ آهک با دانه‌بندی ۹۰-۰ میکرون در تهیه ایتونگ کاربرد دارد. ایتونگ از پودر سیلیس، پودر آهک، سیمان و پودر آلومینیوم تولید می‌شود و از شبکه‌های بتنی مختلف تشکیل شده است. ۸۰٪ آن را منافذ هوا و ۲۰٪ را مصالح سنگی و سخت تشکیل می‌دهند. ایتونگ باید طوری ساخته شود که با وجود وزن کم، مقاومت کافی در برابر وزن و فشار اعمال شده را دارا باشد. بلوکی از آن به ابعاد ۲۵۰×۶۰۰ میلیمتر می‌تواند فشاری در حدود ۹۵ تن را که به صورت یکنواخت بر آن وارد می‌شود، تحمل نماید. ایتونگ هم به صورت بلوک و هم قطعات مسلح تولید می‌شود و مزایای آن عبارتند از: عایق حرارتی، غیر قابل احتراق بودن و نصب سریع و آسان. در شرایط فعلی محصول ایتونگ در ایران با نام هبلکس[1] (Heblex) به بازار عرضه می‌شود.

۱. این محصول در گذشته در ایران با نام سیپورکس تولید می‌شد.



تصویر شماره ٦.٩. محصولات ایتونگ

- از جمله کاربردهای دیگر آهک می‌توان به استفاده در ساخت فرآورده‌های نسوز، شیشه، سرامیک، ماستیک‌ها، رنگ‌ها، در کشاورزی به عنوان کود (تنظیم فسفات زمین)، قندسازی، کاغذسازی، مواد پاک کننده، تصفیه آب، صنایع فلزی و... اشاره کرد.

از آن‌جا که آهک زنده میل ترکیبی شدیدی با فلزات دارد، لذا با فلزات مصرف شده در ساختمان مانند لوله‌های فلزی آب و شوفاژ و... ترکیب شده و با ایجاد خوردگی در آن‌ها موجب پوسیدگی آن‌ها می‌شود. بنابراین در کاربرد آهک زنده باید این نکته را مدنظر قرار داد. علاوه بر این آهک زنده میل ترکیبی فراوانی نیز با آب و تشکیل آهک شکفته دارد که در مباحث بعدی به آن اشاره خواهد شد.

۳.۹. تولید آهک زنده – Calcination

آهک زنده یا اختصاراً آهک، اکسید کلسیم (Quick Lime (CaO)) است که از تجزیه سنگ آهک ($CaCo_3$) در اثر حرارت به دست می‌آید. به همین جهت به آن آهک پخته نیز می‌گویند.

تصویر شماره ۷.۹. سنگ آهک استخراج شده از معدن

تصویر شماره ۸.۹ آهک زنده

$$CaCo_3 + \text{حرارت} \longrightarrow CaO + CO_2$$
$$\%100 \qquad \%56 \quad \%44$$

این فعل و انفعالات را آهک پزی (آهکی شدن) گویند که در کوره‌های آهک‌پزی صورت می‌گیرد. هرچه دمای کوره بیشتر باشد، CO_2 بهتر آزاد می‌شود. ولی میزان دمای کوره با توجه به ناخالصی‌های موجود در سنگ آهک متفاوت است. همان طور که در فرمول بالا مشاهده می‌شود، از تجزیه هر ۱۰۰ کیلوگرم سنگ آهک خالص، ۵۶ کیلوگرم آهک زنده به دست می‌آید و با متصاعد شدن گاز CO_2 از سنگ آهک، این سنگ اندکی تقلیل حجم پیدا می‌کند. این امر یکی از دلایل کمتر بودن وزن مخصوص آهک زنده ($3/1-3/3$ $\frac{gr}{cm^3}$) نسبت به سنگ آهک ($2/7$ $\frac{gr}{cm^3}$) است. در جدول زیر فرآیند آهک‌پزی به ترتیب ذکر شده است.

جدول شماره ۱.۹. ترتیب فرآیند آهک‌پزی

۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
خرد کردن سنگ آهک	سرند کردن	انتقال به کوره	پخت سنگ آهک و تهیه آهک زنده	انتقال آهک زنده به سیلو	هیدراتاسیون آهک زنده و تولید آهک شکفته	انتقال آهک شکفته به سیلو و بسته بندی آن

آهک زنده به دست آمده در این فرآیند، ماده‌ای سفید رنگ با درجه ذوب ۲۵۰۰ درجه سانتیگراد است. به علت بالا بودن درجه ذوب آن، جهت اندود کردن سطح کوره ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. درجه خلوص آهک به دست آمده به خلوص سنگ آهک بستگی دارد. چنان‌چه ناخالصی‌های سنگ آهک کربنات منیزیم باشد (سنگ آهک دولومیتی) از پختن آن، آهک منیزیومی حاصل می‌شود و هرگاه ناخالصی سنگ آهک مواد رسی و سیلیسی باشد، از پختن آن، بسته به مقدار ناخالصی، آهک آبی یا آهک نیمه آبی تولید می‌شود. (انواع آهک در مباحث بعدی شرح داده خواهند شد.)

ایران دارای منابع فراوان سنگ آهک است. همچنین در برخی مناطق مانند خوزستان و کناره شمالی خلیج فارس و دریای عمان به میزان فراوان ماسه آهکی وجود دارد. ماسه آهکی را نیز می‌توان مانند سنگ آهک پخت و تبدیل به آهک زنده کرد.

٤.٩. کوره‌های آهک‌پزی

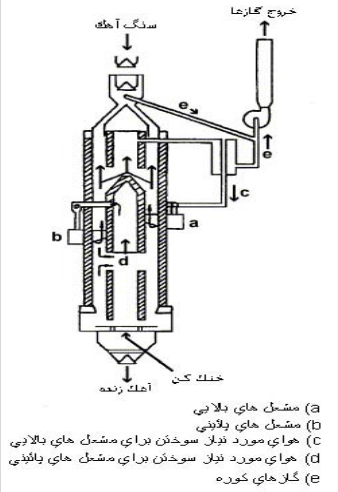
در کشورهای مختلف از زمان‌های قدیم تا کنون انواع مختلف کوره‌های آهک‌پزی وجود داشته است که تعداد آن‌ها به حدود ۵۰ نوع می‌رسد. ولی تعدادی از این کوره‌ها متداول‌ترند که در ادامه بررسی خواهند شد.

١.٤.٩. کوره تنوره‌ای (چاهی)

این کوره قدیمی‌ترین کوره آهک‌پزی محسوب می‌شود. در کوره تنوره‌ای سنگ آهک و آتش ثابت هستند بنابراین دما در همه جای کوره یکسان نیست و برخی از سنگ آهک-ها نپخته باقی می‌مانند و برخی دیگر می‌سوزند و در نهایت آهک به دست آمده یکنواخت نخواهد بود. از این روش هنوز در روستاهای کشور استفاده می‌شود.

٢.٤.٩. کوره حلقه‌ای (هوفمان) – Annular Kiln

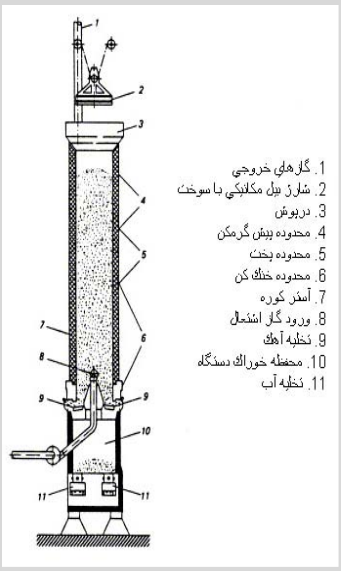
این کوره مانند کوره آجرپزی است که در آن سنگ آهک ثابت و آتش متحرک است. سنگ آهک‌ها طوری چیده می‌شوند که اطراف آن‌ها فضاهای خالی جهت نفوذ آتش وجود داشته باشد و حرارت به همه سنگ‌ها برسد. جنس آهک به‌دست آمده از این کوره مرغوب‌تر از کوره تنوره‌ای است.



تصویر شماره ۹.۹. کوره هوفمان

۳.٤.۹. کوره ایستاده (قائم) – Shaft Kiln

این کوره از یک استوانه قائم فولادی تشکیل شده که جداره داخلی آن با آجر نسوز پوشانده می‌شود. سنگ آهک‌های خرد شده ۲۰–۱۵ سانتیمتری (خرد کردن سنگ، سطح حرارت گیر آن را افزایش می‌دهد) را با تسمه نقاله به بالای کوره برده و داخل آن می-ریزند. در این کوره نمی‌توان از خرده سنگ‌های خیلی کوچک استفاده کرد زیرا باعث خفگی کوره می‌شود. خرده سنگ‌ها هنگام سقوط گرم شده و در پایین کوره به مدت ۳۰ ساعت پخته می‌شوند، سپس از انتهای کوره خارج شده و خنک می‌گردند. حرارت در این نوع کوره قابل کنترل است در نتیجه محصول آن یکنواخت و مرغوب خواهد بود. این روش بیشتر برای تهیه آهک مورد نیاز کارخانه‌های قندسازی که به CO_2 کوره نیز نیاز دارند و کارخانه‌های ساخت آجر ماسه آهکی به کار می‌رود. اگر آهک به مقدار زیاد مورد نیاز باشد، از کوره افقی گردنده (دوار) یا کوره حلقه‌ای استفاده می‌کنند.

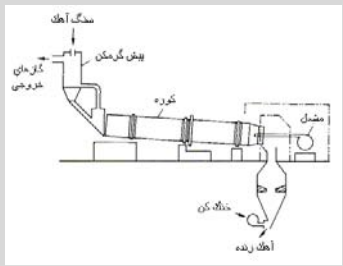


تصویر شماره ۱۰.۹. برش طولی کوره آهک‌پزی ایستاده

تصویر شماره ۱۱.۹. کوره آهک‌پزی ایستاده

۴.۴.۹. کوره افقی گردنده (دوار) – Rotary Kiln

این کوره رایج‌ترین نوع کوره آهک‌پزی می‌باشد که عملکرد آن شبیه کوره‌های سیمان-پزی ولی با حرارت کمتر است. کوره افقی گردنده از یک استوانه افقی فولادی تشکیل شده که جداره داخلی آن با آجر نسوز پوشانده شده است. این استوانه حول محور افقی خود می‌چرخد تا خرده سنگ‌های وارد شده از ابتدای آن، کاملاً در داخل کوره گرم شوند. شیب ملایم کوره (۵-۳٪) خرده سنگ‌های پخته شده را به سمت جلو هدایت می‌کند تا در انتهای کوره خنک شوند. در این روش، بر خلاف کوره ایستاده، می‌توان از خرده سنگ‌های خیلی کوچک و یا حتی گرد سنگ آهک نیز استفاده کرد تا در نهایت گرد آهک زنده به دست آید. گنجایش و راندمان کوره افقی گردنده از سه کوره قبل بیشتر است و از آن در صنایع ساخت مس و فولاد که نیاز به گرد آهک دارند و نیز جهت تهیه آهک مرغوب استفاده می‌کنند.



تصویر شماره ۱۲.۹. برش طولی کوره آهک‌پزی افقی گردنده

تصویر شماره ۱۳.۹. کوره آهک‌پزی افقی گردنده

۵.۹. آماده سازی آهک زنده جهت مصرف (شکفتن آهک)

آهک زنده به صورت کلوخه یا گردی که از آهک‌پزی به دست می‌آید، مستقیماً قابل استفاده نیست و باید قبل از استفاده شکفته شود. برای شکفتن آهک آن را با مقدار مناسب آب مخلوط می‌کنند. اگر آهک زنده کاملاً خالص باشد، مقدار ۲۲/۱٪ وزنش آب برای شکفتن لازم دارد ولی عموماً به علت وجود ناخالصی در آهک، آب کمتری مورد نیاز است. همان گونه که قبلاً اشاره شد آهک زنده میل ترکیبی فراوانی با آب دارد و در اثر این ترکیب ازدیاد حجم پیدا کرده و حرارت زیادی آزاد می‌کند. بنابراین اگر

آهک به صورت زنده مورد استفاده قرار گیرد، به مرور زمان شکفته می‌شود و ازدیاد حجم آن که گاهی ممکن است تا ۳/۵ برابر حجم اولیه هم باشد، باعث ایجاد ترک در دیوار و پی و آسیب زدن به سازه می‌شود. علاوه بر این حتی اگر مقدار کمی آهک نشکفته جهت تهیه ملات، آجر ماسه آهکی و یا مصارف دیگر مورد استفاده قرار گیرد، بعداً در اثر مجاورت با آب و نیز بارندگی شکفته شده و به صورت آلوئک بر روی سازه ظاهر می‌شود.

فرآیند شکفتن آهک به قرار زیر است:

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + \text{حرارت}$$

هیدرات کلسیم ($Ca(OH)_2$) را آهک شکفته (Slaked Lime)، آهک کشته، آهک مرده، آهک آبدیده و یا آهک هیدراته می‌نامند.

تصویر شماره ۱٤.۹. آهک شکفته

سرعت شکفتن آهک به سه عامل زیر بستگی دارد:

۱. هرچه دانه‌های آهک ریزتر باشند سریع‌تر شکفته می‌شوند.
۲. آهک خالص بسیار سریع‌تر از آهک ناخالص شکفته می‌شود.
۳. آهک نپخته شکفته نمی‌شود و آهک سوخته نیز یا شکفته نمی‌شود یا خیلی دیر شکفته می‌شود.

آهک را بر حسب سرعت شکفتن آن به سه دسته زیر تقسیم می‌کنند:

- **آهکی که سریع شکفته می‌شود (کمتر از ۱۵ دقیقه):** برای شکفته کردن این آهک باید آهک را به آب اضافه کرد نه آب به آهک. چون حرارت زیادی تولید می‌کند. باید آب کاملاً روی آهک را بپوشاند تا آب آن بخار نشود. از این نوع آهک ملات کاملاً هوایی تولید می‌شود.

- **آهکی که سرعت شکفتن آن متوسط است (۳۰-۱۵ دقیقه)**: در این مورد باید آب را به آهک اضافه کرد به طوری که نیمی از آهک در آب غوطه‌ور شود. در صورت تبخیر شدن آب می‌توان فقط به همان میزان آب تبخیر شده، به آن اضافه کرد. از این نوع آهک ملات نیمه آبی تولید می‌شود.
- **آهکی که آهسته شکفته می‌شود (پس از ۳۰ دقیقه)**: در این مورد هم آب به آهک اضافه می‌شود، تا حدی که کاملاً آن را مرطوب کند. سپس باید به مدت ۳۰ دقیقه صبر کرد تا عمل شکفتن شروع شود، پس از آن دوباره مقدار کمی آب اضافه نمود. بهتر است مخلوط را گرم نگه داشته تا عمل شکفتن بهتر انجام گیرد. از این نوع آهک ملات آبی تولید می‌شود.

شکفتگی آهک توأم با انبساط و ازدیاد حجم است. در مورد آهک خالص که شکفتن آن سریع اتفاق می‌افتد، این انبساط مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی شکفتگی و انبساط اکسید منیزیم در شرایط معمولی با تأخیر همراه است لذا وجود مقدار زیادی منیزیم در آهک، پس از اتمام کار باعث ایجاد ترک می‌گردد. بنابراین بهتر است که از سنگ آهک دولومیتی در کارهای ساختمانی استفاده نشود یا این که زمان کافی برای شکفتن کامل آن در نظر گرفت.

حرارتی آزاد شده از شکفتن آهک، سبب تبخیر آب و نیز پخته شدن آهک‌هایی که در کوره کاملاً پخته نشده‌اند، می‌شود. از طرفی این حرارت ممکن است باعث سوختن آهک‌های پخته شود. آهک سوخته در فعل و انفعالات شیمیایی وارد نمی‌شود و در ملات مانند یک جسم خنثی عمل می‌کند. جهت جلوگیری از این امر باید هنگام شکفتن، مخلوط را کاملاً همزد تا تمام ذرات آهک در تماس با آب قرار گیرند.

۶.۹. روش‌های شکفتن آهک زنده

چنان‌چه آهک زنده در معرض رطوبت هوا قرار گیرد، تدریجاً با نم کشیدن از هوا می‌شکفد که آن را آهک هوا شکفته (Air Slaked) می‌نامند ولی در این روش تمام ذرات آهک شکفته نمی‌شوند بنابراین روش مطمئنی محسوب نمی‌گردد. لذا شکفتن آهک زنده یا به روش‌های دستی در کارگاه انجام می‌گیرد و یا به روش‌های صنعتی و در کارخانه. در ادامه انواع این روش‌ها شرح داده خواهند شد:

۱.٦.۹. روش‌های دستی و سنتی شکفتن آهک

۱.۱.٦.۹. روش خشک (تنگ گذاشتن - تولید پودر آهک شکفته)

در این روش سطح زمین را تمیز کرده و مقداری آهک را به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر روی زمین پهن می‌کنند. روی آهک‌ها آب ریخته و آن‌ها را زیر و رو می‌کنند تا آب به تمام قسمت‌های آن‌ها برسد. سپس یک لایه دیگر آهک به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر روی لایه اول می‌ریزند و دوباره روی آن‌ها آب ریخته و زیر و رو می‌کنند. این کار را تا ارتفاع یک متر ادامه می‌دهند. در نهایت روی آهک‌ها را با کاهگل می‌پوشانند. حرارت ایجاد شده در اثر شکفتن که تا ٤۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد، در زیر کاهگل محبوس شده و باعث بخار شدن آب اضافی آهک‌ها می‌شود. در نتیجه زیر کاهگل به اصطلاح دم می‌کند و بخار آب با فشار ایجاد شده، پس از چند روز باعث شکفتن کامل آهک زنده و پودر شدن آن می‌شود. پودر حاصل را سرند کرده و مورد استفاده قرار می‌دهند.

۲.۱.٦.۹. روش تر (آهک شویی - تولید خمیر آهک شکفته)

در این روش از دو حوضچه استفاده می‌کنند که یکی از آن‌ها در سطح زمین و به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر است. دیواره این حوضچه چوبی بوده و کف آن را آجر فرش می‌کنند. حوضچه دوم در عمق زمین قرار دارد و ارتفاع آن گاهی به ۲ متر هم می‌رسد. بهتر است که دیواره آن با آجر بدون ملات پوشانده شود تا آهک ریخته شده درون آن با خاک مخلوط نشود. این دو حوضچه توسط یک دریچه با تور سیمی که توسط یک در چوبی بسته می‌شود، از هم جدا شده‌اند. کلوخه‌های ریز شده آهک زنده را در حوضچه اول ریخته، روی آن آب می‌ریزند و هم می‌زنند تا به صورت شیر آهک درآید. سپس دریچه را باز می‌کنند تا کلوخه‌های بزرگ و نشکفته، هنگام گذشتن از توری در حوضچه اول باقی بمانند. آب شیرآهکی که به حوضچه دوم می‌ریزد، به مرور زمان تبخیر شده یا جذب زمین می‌شود و خمیر سفتی بر جای می‌ماند که به آن خمیر آهک می‌گویند. هنگامی که در سطح خمیر آهک ترک‌هایی به عرض ۳-۲ سانتیمتر ایجاد شد، آهک کاملاً شکفته شده و قابل استفاده است.

تصویر شماره ۱۵.۹. خمیر آهک

این عمل ۸-٦ هفته زمان می‌کشد. در این مدت روی حوضچه دوم را با ماسه می‌پوشانند تا آهک با گازکربنیک هوا ترکیب نشود.

همان گونه که اشاره شد، آهک شکفته‌ای که بدین طرق به‌دست می‌آید به صورت خمیر آهک (Lime Putty) است. یعنی علاوه بر آبی که به صورت ترکیب شیمیایی در آن وجود دارد، حاوی ٤٥-۳۰٪ آب آزاد نیز می‌باشد.

آهک شکفته علاوه بر حالت خمیری می‌تواند به صورت‌های دیگری به شرح زیر مصرف شود:

- **دوغاب آهک (Lime Slurry)**: بیشتر از خمیر آهک آب دارد و غلظت آن مانند خامه است. میزان آب آزاد آن ۷۳-۵۵٪ بوده و در واقع از یک قسمت آب و دو قسمت خمیر آهک ساخته می‌شود.
- **شیرآهک (Milk of Lime)**: بیشتر از دوغاب آهک آب دارد و غلظت آن مانند شیر است. از ٤/٥-۳ قسمت آب و یک قسمت آهک زنده تهیه می‌شود. اشکال استفاده از شیرآهک این است که مصرف کننده در محل به رنگ سفید آن اکتفا کرده و اغلب از میزان آهک مخلوط شده در آن بی اطلاع است. بنابراین بهتر است که شیرآهک در کارگاه تهیه شود.
- **آب آهک (Lime Water)**: بیشتر از شیرآهک آب دارد و ذرات جامد آن دیده نمی‌شود. میزان CaO در آن ١/٤-٠/٥ گرم در لیتر است. می‌توان آن را به طریق ته‌نشینی یا صاف کردن تهیه کرد. آب آهک بیشتر در صنایع شیمیایی نظیر تهیه آمونیاک و استخراج منیزیم از آب دریا کاربرد دارد.

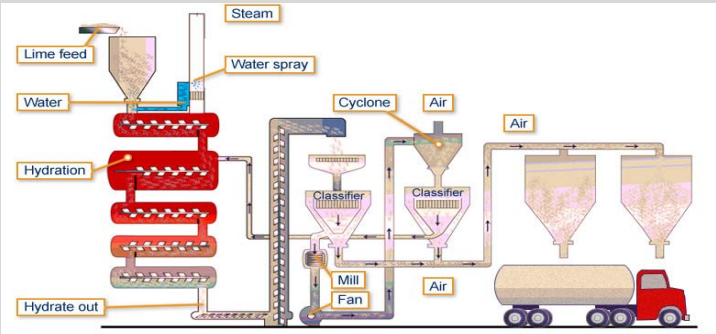
۲.٦.۹. روش‌های صنعتی شکفتن آهک

۲.۲.٦.۹. استفاده از فشار بخار آب

در این روش کلوخه‌های ریز آهک زنده را درون یک استوانه فولادی ریخته و بخار آب را با فشار ٤-۳ اتمسفر به درون استوانه در بسته می‌دمند. بعد از چند ساعت تمام ذرات آهک کاملاً شکفته شده و به صورت پودر درمی‌آیند. برخی از کارخانه‌ها پودر آهک شکفته حاصل را با سرعت زیاد از طریق لوله باریکی در کلکتور سیلکون تخلیه می‌کنند که این امر سبب خشک شدن و کوچک شدن اندازه دانه‌ها تا حدود ۲ میکرون می‌شود.

۱.۲.٦.۹. استفاده از هیدراتور (مخازن دوار) – Hydrator

این دستگاه از چند استوانه فولادی که به صورت افقی روی هم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. کلوخه‌های ریز آهک زنده یا گرد آن درون استوانه بالایی ریخته می‌شود. با اضافه شدن آب به آن و چرخش استوانه، آهک به خوبی با آب مخلوط شده و به استوانه پایینی و سپس به استوانه بعدی می‌ریزد. هنگام خروج آهک از آخرین استوانه، تمام ذرات آن به خوبی شکفته شده‌اند. با تنظیم آب ورودی به هیدراتور، می‌توان از گرد خشک تا دوغاب آهک را به دست آورد. ولی از آن‌جا که نگهداری آهک تر، مشکل و مستلزم سیلوهای خاص است، لذا معمولاً در هیدراتورها گرد آهک شکفته تولید می‌شود.



تصویر شماره ۱٦.۹. فرآیند صنعتی شکفتن آهک با استفاده از هیدراتور

۷.۹. خواص آهک شکفته

۱.۷.۹. خواص فیزیکی

- **تغییر حجم**: آهک زنده هنگام شکفتن ازدیاد حجم پیدا می‌کند به طوری که آهک‌های کم مایه ۲-۱/۲۵ برابر و آهک‌های پرمایه ۳/۵-۲ برابر افزایش حجم پیدا می‌کنند (انواع آهک‌ها در بخش بعد شرح داده خواهند شد). ولی آهک شکفته هنگام سخت شدن تغییر حجم نمی‌دهد.
- **وزن مخصوص**: وزن مخصوص آهک شکفته ۲/۲، خمیر آهک نمناک ۱/٤، گرد آهک شکفته نلرزیده ۰/٤٥ و لرزیده آن ۰/۷ $\frac{gr}{cm^3}$ است.
- **دانه‌بندی**: دانه‌های گرد آهک شکفته، باید کوچک‌تر از ۰/۲ میلیمتر باشد و ریزی دانه‌ها به ۰/۰۰۲ میلیمتر (۲ میکرون) هم می‌رسد.
- **افت وزنی**: افت وزنی آهک شکفته در اثر گرمای حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد، ۲۵٪ وزن آن است.

۲.۷.۹. خواص شیمیایی

- **خاصیت اسیدی و قلیایی**: آهک خاصیت قلیایی دارد و معمولاً ارزان‌ترین قلیاست. همچنین آهک گازهای اسیدی CO_2 و SO_2 را جذب می‌کند.
- **تأثیر ترکیبات آهکی بر فلزات**: آب‌های آهک‌دار و ملات‌های آهکی در صورت وجود رطوبت با فلزاتی نظیر سرب، برنج، روی و آلومینیوم ترکیب می‌شوند و در قطعات و لوله‌های فلزی که در ساختمان به کار رفته‌اند، خوردگی ایجاد می‌کنند. از این رو باید آن‌ها را قبل از مصرف در ساختمان-هایی که با ملات آهکی ساخته شده اند، قیر اندود کرد.
- **تأثیر ترکیبات آهکی بر گونی عایق‌کاری**: اگر ملات‌های آهکی در مجاورت عایق قیر و گونی قرار گیرند، باعث پوسیدگی گونی آن می‌شوند. زیرا با روغن‌های گیاهی موجود در تارهای گونی ترکیب شده و تشکیل صابون آهکی می‌دهند. لذا در این موارد باید از مقوای قیر اندود یا نمد قیر اندود یا بافته‌هایی استفاده کرد که آهک به آن‌ها اثر مخرب نداشته باشد.

۳.۷.۹. خواص مکانیکی

- **سختی**: آهک‌های منیزیمی و سیلیس‌دار سخت‌تر از آهک‌های خالصند.
- **خاصیت ارتجاعی**: آهک‌هایی که دارای مقدار بیشتری منیزیت هستند، خاصیت ارتجاعی بیشتری نسبت به آهک خالص دارند.

۸.۹. انواع آهک

۱.۸.۹. آهک‌های هوایی (چاق) – Air-slaked Lime

اگر در ساخت آهک زنده از سنگ آهک تقریباً خالص استفاده شده باشد، این آهک پس از شکفتن مجدداً به آرامی CO_2 هوا را جذب کرده و سخت می‌شود و دوباره به سنگ آهک تبدیل می‌گردد. چنین آهکی را آهک هوایی گویند.

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

$$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \longrightarrow CaCo_3 + 2H_2O$$

فرآیند سخت شدن ملات‌های آهکی نیز به همین صورت است. ملات‌های آهکی ملات‌های آبی هستند ولی برای سخت شدن باید در مجاورت هوا نیز باشند تا بتوانند گاز CO_2 را از هوا جذب کنند. از آن‌جا که در واکنش بالا، دو مولکول آب نیز حاصل می‌شود، این دو مولکول می‌توانند آب مورد نیاز جهت سخت شدن آهک را فراهم کنند. ولی با توجه به این‌که احتمال جذب شدن این آب به خاک و یا تبخیر آن زیاد است، لذا بهتر است که محیط ملات‌های آهکی جهت سخت شدن مرطوب باشد.

یکی از معایب آهک هوایی این است که هنگام استفاده از آن در ملات‌ها، به علت عدم نفوذ CO_2 کافی به لایه‌های زیرین ملات، سطح رویی ملات سخت‌تر از لایه‌های زیرین آن می‌شود. به همین علت آهک هوایی را به صورت خالص برای پی-سازی و نقاط مرطوب استفاده نمی‌کنند. آهک هوایی‌ای که در ساختمان به‌کار می‌رود (هم در ساخت ملات‌ها و هم در ساخت آجر ماسه آهکی) به صورت مخلوط یا ماسه یا ماسه و خاک می‌باشد. استفاده از ماسه و خاک ضمن جلوگیری از کاهش حجم آهک هنگام گرفتن و سخت شدن، با ایجاد هیدروسیلیکات کلسیم که بسیار سخت است، از ترک خوردن آهک نیز جلوگیری می‌کند و باعث گیرش سریع آن می‌شود.

۲.۸.۹. آهک آبی – Hydraulic-Lime

اگر در ساخت آهک زنده از سنگ آهکی استفاده شود که دارای ناخالصی‌های سیلیسی و خاک رس ($Al_2O_3 + SiO_2$) باشد، آهک زنده به دست آمده را آهک آبی گویند.

گیرش ملات‌های آهک آبی هم در آب و هم در هوا صورت می‌گیرد ولی عموماً آبی هستند. می‌توان این نوع آهک را حد واسط بین آهک هوایی و سیمان دانست. به - طوری که هر چه مقدار خاک رس در سنگ آهک بیشتر باشد، آهک آبی حاصل از پخت آن مرغوب‌تر بوده و بیشتر به سیمان پرتلند شباهت دارد و زودتر نیز سخت می-شود. سنگ‌های آهکی را بسته به میزان خاک رس موجود در آن‌ها به ترتیب زیر نامگذاری می‌کنند:

- سنگ آهک رسی: دارای ۹۸–۷۵٪ کربنات کلسیم.
- رس آهک (گل آهک – مارل): دارای ۷۵–۴۰٪ کربنات کلسیم.
- خاک رس آهکی: دارای ۴۰–۲٪ کربنات کلسیم.

از جمله ویژگی‌های آهک آبی می‌توان به مواد زیر اشاره کرد:

- آهک آبی در آب وانمی‌رود و باید آن را آسیاب کرد.
- هنگام شکفتن ازدیاد حجم بسیار اندکی‌دارد.
- رنگ آهک آبی با توجه به مقدار و نوع اکسیدهای آهن و آلومینیوم موجود در آن، زرد تند، زرد لیمویی، قهوه‌ای روشن، خاکستری و آبی است.
- حجم ملات آن ثابت است و پس از سخت شدن تغییر حجم نمی‌دهد.
- زمان گیرش ملات آهک آبی از ملات آهک هوایی کمتر است.

آهک آبی برای ساختمان‌های معمولی و نیز ساختمان‌های دریایی که نیاز به مقاومت زیاد نداشته باشند، مصرف می‌شود. چون سولفات‌ها و آب دریا در ملات آهک آبی اثر مخرب ندارند، بیشتر در زمین‌های سولفات‌دار و ساختمان‌های بندری و دریایی مصرف می‌شود. در برخی مواقع جهت مصارف خاص، آهک‌های آبی ویژه‌ای با افزودن مواد مناسب نظیر پوزولان طبیعی، خاکستر بادی، سرباره کوره آهن گدازی و سیمان پرتلند به نسبت‌های معین ساخته می‌شوند.

۳.۸.۹. آهک نیمه آبی (لاغر) – Semi hydraulic Lime

نوعی آهک آبی است ولی با درجه خلوص بیشتر به طوری که فقط دارای مقداری ناخالصی خاک رس است. ملات این نوع آهک نیز آبی است و مقاومت بیشتری نسبت به ملات آهک هوایی دارد. از این آهک برای پی سازی در خاک‌هایی که میزان سولفات آن‌ها کم است، استفاده می‌کنند.

٤.٨.٩. آهک پر مایه – High calcium Lime

این نوع آهک حدود ۸-٤٪ ناخالصی دارد و مهترین ویژگی آن این است که در تماس با آب به شدت شکفته می‌شود و حجم آن تا حدود ۲/۵ برابر مقدار اولیه‌اش افزایش می‌یابد. ملات آن مانند ملات آهک هوایی، در تماس با گازکربنیک (Co_2) هوا به سرعت (۳۰-۱۵ روز) سخت می‌شود. از این آهک برای ساخت آجر ماسه آهکی، بتن آهکی و نیز پایدار کردن خاک در راه سازی استفاده می‌کنند.

۵.۸.۹. آهک کم مایه – Low calcium Lime

آهک کم مایه از سنگ آهکی تهیه می‌شود که کمتر از ۷۰٪ آهک دارد. از ویژگی‌های این نوع آهک این است که به کندی شکفته می‌شود و ملات آن به آرامی در هوا سخت می‌شود. از این آهک برای پی سازی ساختمان‌های کم ارتفاع استفاده می‌کنند.

٦.٨.٩. آهک صنعتی – Industrial Lime

درجه خلوص این آهک به ۹۸-۹٤٪ می‌رسد و برای مصارف صنعتی نظیر صنایع قند سازی، کاغذ سازی و... به کار می‌رود.

جدول شماره ۲.۹. زمان گیرش انواع آهک‌های ساختمانی

نوع آهک	درصد ناخالصی	زمان گیرش
آهک هوایی	۰	٦ ماه
آهک پرمایه	۸ – ٤	۳۰ – ۱۵ روز
آهک نیمه آبی	۱٤– ۸	۱۵– ۱۰ روز
آهک آبی	۱۹– ۱٤	٤ – ۲ روز
آهک آبی قوی	۲۲– ۱۹	کمتر از ۲ روز

۹.۹. ملات‌های آهکی

در مورد ملات‌هایی که با آهک ساخته می‌شوند در فصل ملات‌ها توضیح داده شده است. در این بخش به برخی از نکاتی که هنگام استفاده از ملات‌های آهکی باید مورد توجه قرار گیرند، اکتفا می‌کنیم.

- سرما باعث می‌شود که سخت شدن ملات‌های آهکی دیرتر اتفاق بیفتد، بنابراین نباید مخلوط های آهکی نیمه آبی را در مناطق سردسیر به کاربرد.
- ملات‌های آهکی نسبت به ملات‌های سیمانی، پس از خشک شدن انقباض کمتری دارند و این یکی از مزیت‌های بزرگ ملات‌های آهکی است. از این مزیت می‌توان در بهبود خواص ملات سیمان با اضافه کردن آهک به آن استفاده کرد. ولی به علت میل ترکیبی فراوان آهک با فلزات، نباید آن را با سیمان‌های دارای اکسید آلومینیوم مخلوط کرد (تأثیر آهک در ملات‌های سیمانی). از طرفی چون ملات‌های آهکی به کندی سخت می‌شوند، می‌توان مقداری سیمان را جهت تسریع فرآیند خودگیری ملات‌های آهکی به آن‌ها اضافه کرد (تأثیر سیمان در ملات‌های آهکی).
- سطح اندود از آهک خشک نشده موجب ضایع شدن رنگ‌آمیزی می‌گردد. این تأثیر بر روی رنگ‌های روغنی بیشتر است و رنگ را تجزیه کرده و از بین می‌برد.
- همان طور که قبلاً نیز اشاره شد ملات‌های آهکی نباید در تماس مستقیم با فلزات مورد استفاده قرار گیرند.

۱۰.۹. نگهداری از آهک

شرایطی که در نگهداری از سیمان مطرح است، در مورد آهک نیز صدق می‌کند. آهک زنده باید دور از اثر آب و دی اکسید کربن هوا و در بسته بندی‌های ضد آب نگهداری شود. چنان‌چه آهک مدتی بدون مصرف باقی بماند، جهت استفاده باید آزمایشات کیفیت روی آن انجام گیرد.

فصل ۱۰

گچ ساختمانی

۱.۱۰. تاریخچه

گچ (Gypsum - Plaster) از جمله مصالح ساختمانی است که از دیرباز مورد استفاده بشر بوده است. تاریخ استفاده بشر از گچ به صورت اندود گچی برای سفیدکاری دیواره مقبره‌ها، به پنج هزار سال پیش، در اهرام ثلاثه مصر می‌رسد. در یونان و ایران باستان نیز گچ رابطه نزدیکی با صنعت ساختمان داشته است که آثار آن از زمان اشکانیان به صورت سفیدکاری سطوح و نیز گچ‌بری‌های تزئینی برجای مانده است. امروزه نیز در ساختمان سازی، گچ به علت سهولت کاربرد و نیز خواص ویژه جهت پوشش سطوح، در همه نقاط دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲.۱۰. ضرورت استفاده و کاربرد گچ

گچ یکی از مصالح پرکاربرد در ساختمان‌سازی است. علت این امر را می‌توان علاوه بر خواص ویژه گچ، ارزان و نیز در دسترس بودن آن دانست. گچ بر حسب روش تولید آن در صنایع مختلفی نظیر سرامیک‌سازی، شیشه‌سازی، کشاورزی، پزشکی و... کاربرد دارد. در ادامه به کاربرد گچ در صنایع مختلف اشاره خواهد شد:

- **صنعت ساختمان:** مهمترین استفاده گچ در این صنعت است. از نظر مقدار مصرف حدود ۷۵٪ استفاده از گچ در صنایع ساختمانی برای اندود گچ و خاک، سفیدکاری، تهیه ملات و گچ‌بری‌های تزئینی است. علت این امر را می‌توان عدم انقباض حجمی گچ، قابلیت استفاده در سطوح وسیع بدون ترک خوردگی، ایجاد سطح نهایی صاف و یکنواخت و سهولت شکل‌گیری گچ دانست. موارد دیگر مصرف گچ در ساختمان عبارتند از: صفحات پیش ساخته سقف و دیوار، پیاده کردن نقشه روی زمین، نگهداشتن مصالح به طور موقت در جای خود تا ریختن ملات در پشت آن‌ها و... .

تصویر شماره ۱.۱۰. قدیمی‌ترین اثر ساخته شده از گچ در اهرام ثلاثه مصر

تصویر شماره ۲.۱۰. اجرای گچ‌بری‌های تزئینی بر روی سقف

- **صنعت سیمان:** جهت افزایش زمان گیرش سیمان (دیرگیر کردن).
- **صنعت چینی‌سازی و سرامیک:** تهیه قالب‌های گچی.
- **صنعت شیشه سازی:** تنظیم ویسکوزیته شیشه مذاب (از نظر میزان اکسیژن حل شده در آن)
- **صنعت ریخته‌گری:** تهیه قالب های صنعتی
- صنعت کشاورزی: تهیه کود شیمیایی و سم، بهینه‌سازی زمین‌های کشاورزی.

- **صنعت پزشکی**: باند پزشکی، قالب دندان و رشد مخمرها.
- **صنعت کاغذ سازی**: شفاف کردن کاغذ.

۳.۱۰. سنگ گچ و منابع آن

سنگ گچ، سنگی رسوبی از گروه مصالح ساختمانی کلسیم‌دار است که به وفور در طبیعت یافت می‌شود و از لحاظ فراوانی در رده پنجم قرار دارد. تبخیر دریاها و دریاچه‌های حاوی سولفات کلسیم در دوره‌های زمین‌شناسی مختلف منجر به تولید سنگ گچ می‌شود. از نظر شیمیایی سنگ گچ یا سولفات کلسیم آب‌دار ($CaSo_4(2H_2O)$) است که به آن ژیپس(گچ خام) می‌گویند و یا سولفات کلسیم بدون آب ($CaSo_4$) است که به آن انیدریت (گچین – Anhydrite) می‌گویند. سنگ گچ بدون آب دارای ارزش تجاری نیست و باید در مجاورت آب و باران حدود ۲ واحد آب بگیرد تا به سنگ گچ آب‌دار تبدیل شود. سنگ گچی که در ساختمان سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، سنگ گچ آب‌دار (اختصاراً سنگ گچ) است. سنگ گچ در واقع ترکیبی از آهک (CaO)، انیدریت سولفوریک (SO_3) و آب است. وزن مخصوص آن حدود $2/3 \frac{gr}{cm^3}$ و سختی آن ۲ است. سنگ گچ (ژیپس) خالص سفید و یا بی‌رنگ می‌باشد ولی به دلیل میل ترکیبی شدیدی که دارد، به ندرت به صورت خالص یافت می‌شود و معمولاً دارای ناخالصی‌های زغال، رس، دولومیت و ترکیبات آهن است.وجود زغال در سنگ گچ به آن رنگ خاکستری، هیدروکسید آهن رنگ زرد روشن، FeO رنگ کبود و Fe_2O_3 رنگ سرخ می‌دهد.

سنگ گچ (ژیپس) از نظر شکل ظاهری به سه صورت در طبیعت یافت می‌شود:

۱. سنگ گچ معمولی (غیر بلوری) که فراوان‌ترین نوع سنگ گچ است و برای گچ‌پزی به کار می‌رود.
۲. سنگ گچ بلوری که یا از برگ‌های نازک به هم چسبیده هیدروسولفات کلسیم (سنگ گچ لایه لایه) و یا از تارهای بلوری به هم چسبیده هیدروسولفات کلسیم (سنگ گچ ابریشمی) تشکیل شده است. این نوع سنگ گچ سوگذران است و برای گچ‌پزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳. سنگ گچ مرمری (Alabaster) که جلاپذیر است و جزء سنگ‌های زینتی محسوب می‌شود. به علت نرم بودن، تراشیدن و کارکردن با آن بسیار آسان است و برای فرش کف (کاخ مرمر) کف سازی معابر و آرامگاه ها (کاخ لاله‌زار در تهران)، پوشش دیوارهای داخلی، ستون، پایه چراغ و دیگر وسائل تزئینی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی در گچ‌پزی به کار نمی‌رود.

تصویر شماره ۳.۱۰. سنگ گچ معمولی

تصویر شماره ٤.۱۰. سنگ گچ بلوری

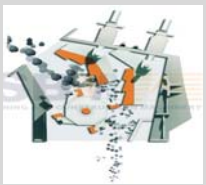
تصویر شماره ۵.۱۰. سنگ گچ مرمری

٤.۱۰. تولید گچ ساختمانی (گچ زنده) و گچ کشته

به منظور تولید گچ ساختمانی، سنگ گچ را پس از استخراج ابتدا در سنگ شکن فکی به ابعاد ۷۵–۵۰ میلیمتر و سپس در سنگ شکن چکشی به ابعاد ۱۵–۱۰ میلیمتر تبدیل می‌کنند. آن‌گاه در کوره به میزان ۱۷۰ درجه سانتیگراد حرارت داده تا مقداری از آب آن گرفته شود و گچ ساختمانی تولید شود. این عمل در واقع جهت تبدیل سنگ گچ متبلور به گچ کم آب و مناسب برای مصرف می‌باشد. به طوری که پس از به کار بردن به سرعت تبلور خود را بازیابد و سخت شود.

$$CaSo_4(2H_2O) \xrightarrow{170^\circ C} CaSo_4(\tfrac{1}{2}H_2O) + \tfrac{3}{2}H_2O$$

تصویر شماره ٦.۱۰. سنگ شکن فکی



تصویر شماره ۷.۱۰. سنگ شکن چکشی

گچ حاصل از واکنش صفحه قبل، گچ ساختمانی (گچ زنده – Plaster) نامیده می‌شود که پس از آسیاب شدن و تبدیل دانه‌های آن به ابعاد حدود ۰/۲ میلیمتر، قابل مصرف می‌شود.

هر چه حرارتی که به سنگ گچ داده می‌شود بالاتر رود، ملات ساخته شده از گچ حاصل دیرگیرتر می‌شود. زیرا برای دوباره سنگ گچ شدن، آب بیشتری می‌خواهد. ولی اگر حرارت به ۴۰۰–۳۰۰ درجه سانتیگراد برسد سنگ گچ کلیه آب خود را از دست می‌دهد و گچ حاصل از آن را اصطلاحاً گچ سوخته می‌گویند.

$$CaSo_4(\tfrac{1}{2}H_2O) \xrightarrow{۳۰۰-۴۰۰^\circ C} CaSo_4 + \tfrac{1}{2}H_2O$$

وجود این نوع گچ برای گچ‌کاری مناسب نیست، زیرا گرد آن با آب ترکیب نمی‌شود. البته می‌توان با افزودن برخی مواد نظیر گرد زاج، سولفات روی، گرد آهک شکفته، سیمان پرتلند و... میل ترکیبی آن را با آب بالا برد ولی این کار در عملیات ساختمانی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

سنگ گچ در حرارت ۹۰۰ درجه سانتیگراد و بالاتر از آن به SO_3 و CaO تجزیه می‌شود. چنان‌چه در گچ ساختمانی آهک زنده (CaO) وجود داشته باشد آن را کندگیر می‌کند و پس از ماله کشی نیز آهک زنده شکفته شده و در سطح گچ تولید آلوئک می‌کند (به اصطلاح سطح گچ آبله رو می‌شود).

همان‌طور که اشاره شد، گچ به هنگام مصرف و انحلال در آب، دوباره بلوری و سخت شده و به سنگ گچ تبدیل می‌شود. سخت شدن گچ حدود ۳ تا ۶ دقیقه پس از حل شدن در آب شروع شده و پس از ۳۰–۲۰ دقیقه تکمیل می‌گردد (گچ نباید زودتر از ۶–۳ دقیقه و دیرتر از ۳۰ دقیقه خود را بگیرد). بنابراین به علت زودگیر بودن گچ، در هر بار مصرف آن را به میزان کم (به اندازه یک استانبولی) درست می‌کنند. از این رو نمی‌توان سطوح زیادی را با آن سفید و کاملاً صاف کرد. چون قبل از آن‌که بتوان سطح گچ را با ماله کاملاً صاف کرد، گچ سخت شده و حالت پلاستیک بودن خود را از دست می‌دهد (سخت شدن ملات گچ با خشک شدن آن اشتباه نشود. خشک شدن گچ وقتی پایان یافته که رنگ آن کاملاً سفید شود و با توجه به گرمی و سردی هوا ممکن است چند ساعت الی چند روز طول بکشد). جهت ایجاد سطوح یکدست پس از آن‌که

روی سطح دیوار را گچ و خاک کرده و با ملات گچ اندود کردند، برای رسیدن به سطح کاملاً صاف روی آن را با گچ کشته[1] (Hard Plaster) پراخت می‌کنند. جهت تهیه گچ کشته، ابتدا گچ زنده را با الک ریزدانه الگ می‌کنند (دانه‌بندی گچ در گیرش و کیفیت آن بسیار مؤثر است) سپس آن را در آب حل کرده و به مدت ۱۲-۱۰ دقیقه با دست هم‌زده و ورز می‌دهند. بدین ترتیب گیرش آن کند شده و فرصت کافی برای صاف کردن کل سطح با ماله فراهم می‌شود. گیرش گچ کشته پس از ۲۵ دقیقه شروع شده و در برخی مواقع پس از ٦۰ دقیقه خاتمه می‌یابد.

توجه به این نکته ضروری است که ضخامت اندود گچ بیشتر از ۱ میلیمتر نباشد زیرا در غیر این صورت پوسته شده و از سطح کار جدا می‌شود.

تصویر شماره ۸.۱۰. گچ ساختمانی (گچ زنده)

تصویر شماره ۹.۱۰. پرداخت نهایی سطح توسط گچ کشته

۵.۱۰. کوره‌های گچ‌پزی

در گذشته از کوره تنوره‌ای (چاهی) جهت پختن سنگ گچ استفاده می‌شد ولی امروزه از کوره‌های مختلفی نظیر کوره تاوه‌ای، کوره افقی گردنده (دوار)، کوره زنجیر دوار و نیز روش پخت سریع برای پختن گچ استفاده می‌کنند. در ادامه دو مورد از این کوره‌ها شرح داده خواهند شد:

۱. در استاندارد ایران، گچ ساختمانی (گچ زنده) را گچ زیر کاری و گچ کشته را گچ پرداخت می نامند.

۱.۵.۱۰. کوره تنوره‌ای (چاهی – متناوب) – Intermittent kiln

این کوره مانند کوره تنوره‌ای آجرپزی و آهک‌پزی است. حرارت در این نوع کوره قابل کنترل نیست بنابراین محصول نهایی یکنواخت نبوده و از آن همه نوع گچ، از گچ نپخته تا گچ ساختمانی و گچ سوخته به دست می‌آید.

تصویر شماره ۱۰.۱۰. نمونه ای از کوره تنوره ای در گچسر

۲.۵.۱۰. کوره تاوه‌ای

در این روش سنگ گچ را خرد کرده و سپس آسیاب و خشک می‌کنند (رطوبت پودر سنگ گرفته می‌شود). گرد حاصل را به کوره‌ای به شکل تاوه با قاعده مقعر برده و حرارت می‌دهند تا پخته شود (مانند بو دادن آرد). محصول این کوره یکنواخت است چون گرد سنگ گچ هنگام حرارت دیدن به خوبی هم‌زده می‌شود تا همه قسمت‌های آن حرارت یکنواختی دریافت کنند.

۶.۱۰. خواص گچ

هنگامی که گچ در آب حل می‌شود ابتدا قدری منقبض شده سپس با پیشرفت واکنش، انقباض جای خود را به انبساط می‌دهد. این انبساط در ابتدا ۱٪ حجم است ولی به تدریج کم شده و پس از ۲–۱ روز قطع می‌شود. البته بخش عمده این انبساط قبل از اعمال گچ روی سطوح رخ می‌دهد و میزان انبساط گچ بر روی سطوح بسیار اندک است. همین انبساط اندک باعث می‌شود که تمام خلل و فرج گچ پر شده و محلی برای رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها وجود نداشته باشد. همچنین عدم انقباض گچ بر روی سطوح باعث می‌شود که در سطح آن ترک ایجاد نشود.

علاوه بر این گچ هنگام حل شدن در آب مقداری حرارت آزاد می کند به طوری که دمای آن ۲۰ درجه از دمای محیط بیشتر می شود ولی در عین حال نباید آن را در دماهای کمتر از ۵ درجه و بیشتر از ٤٥ درجه سانتیگراد مصرف کرد.

عمده خواصی که از گچ انتظار می‌رود مربوط به زمانی است که سخت و خشک می‌شود. در ادامه برخی از این خواص بررسی خواهند شد.

۱.٦.۱۰. خواص فیزیکی

- **وزن مخصوص**: وزن خصوص گچ ساختمانی ۲/۸، وزن کیسه نلرزیده آن ۰/۸۵ – ۰/٦ و وزن کیسه لرزیده آن $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/٤– ۱ است.
- **دانه‌بندی**: اندازه دانه‌های گچ در زمان گیرش و کیفیت آن تأثیر زیادی دارد. بیشتر از ۷۰٪ دانه‌های گچ باید کوچکتر از ۰/۲ میلیمتر بوده و زیر دست کاملاً نرم باشند.
- **مقاومت گچ در مقابل آب و رطوبت**: گچ در مقابل آب و رطوبت بسیار ضعیف است و طبله می‌کند. برای استفاده از گچ در نما و نیز محل‌های مرطوب داخل ساختمان می‌توان از گچ مرمری که در مقابل آب و رطوبت مقاوم است، استفاده کرد. (در مباحث بعد در مورد گچ مرمری توضیح داده خواهد شد.)
- مقاومت در برابر آتش: با توجه به این‌که گچ سخت شده دو مولکول آب دارد بنابراین هنگام آتش‌سوزی تا زمانی که این میزان آب کاملاً از بین برود (۳-۲ساعت) گچ در مقابل آتش مقاومت می‌کند.
- عایق حرارتی: ضریب هدایت حراتی گچ، متوسط و در حدود $\frac{W}{M^{\circ}C}$ ۰/٦ است که این میزان با افزایش تخلخل گچ (ایجاد گاز در دوغاب گچ و تولید گچ اسفنجی (Cellular Gypsum)) کاهش یافته و به $\frac{W}{M^{\circ}C}$ ۰/۲ می‌رسد. البته افزایش تخلخل گچ با کاهش مقاومت آن همراه است.
- **عایق صوتی**: گچ از خاصیت آکوستیک بودن متوسطی برخوردار است و تقریباً مانع عبور ٦۰٪ از ارتعاشات صوتی می‌شود.

- **رنگ**: رنگ گچ پس از خشک شدن سفید است. از طرفی گچ از نظر شیمیایی خنثی است از این رو پس از خشک شدن با رنگ‌ها سازگاری دارد و می‌توان روی آن را رنگ کرد. همچنین می‌توان به آب ملات گچ رنگ اضافه کرد و گچ رنگی تهیه نمود.

۲.٦.۱۰. خواص شیمیایی

- **خوردگی**: گچ در تماس با فلزات به ویژه آهن، روی و سرب باعث ایجاد خوردگی در آن‌ها و تولید سولفات می‌شود. لذا باید فلزات در تماس با گچ را به خوبی رنگ کرد.

تصویر شماره ۱۱.۱۰. ایجاد خوردگی در فلزات در مجاورت گچ

۳.٦.۱۰. خواص مکانیکی

مقاومت گچ از میزان قفل و بست بلورهای گچ در خمیر آن ناشی می‌شود. پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت گچ عبارتند از: کیفیت گچ، مواد کندگیر کننده (این مواد عموماً باعث کاهش مقاومت گچ می‌شوند)، کاهش نسبت آب به گچ (میزان معمول برای این نسبت، ۰/٦ است) و شرایط نگهداری از گچ (محیط مرطوب و نیز گرمای بیش از ۵۰ درجه سانتیگراد مقاومت گچ را کاهش می‌دهد).

- **مقاومت فشاری**: این مقاومت ۱/۵ ساعت از گیرش گچ، حدود ۳۵–٤۵ $\frac{kg}{cm^2}$ و بعد از ۲۸ روز، حداکثر ٦۰ $\frac{kg}{cm^2}$ است.
- **مقاومت خمشی**: پس از ۲۸ روز مقاومت خمشی گچ به ۲۵ $\frac{kg}{cm^2}$ می‌رسد.
- **سختی**: سختی گچ اندکی از ۱ بیشتر است ولی سختی گچ کشته از این میزان کمتر است.

۷.۱۰. انواع گچ

۱.۷.۱۰. گچ مرمری (گچ کین) – keen

جهت تهیه گچ مرمری، انیدریت را کاملاً پودر کرده و در محلول زاج (سولفات ناتریم) خمیر می‌کنند. سپس آن را در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده و در نهایت دوباره آن را آسیاب می‌کنند تا به صورت گرد درآید. گچ مرمری حاصل در مقابل آب مقاوم است و می‌توان از آن در نما، آشپزخانه و سرویس‌های بهداشتی استفاده کرد. گچ مرمری سخت‌تر و مقاوم‌تر از گچ ساختمانی است. ملات آن نیز کندگیر است به طوری که پس از ۱ ساعت شروع به گرفتن می‌کند و پس از ۱۲ ساعت گرفتن آن تکمیل می‌شود. از این گچ در ساخت مرمر مصنوعی نیز استفاده می‌کنند.

۱.۷.۱۰. گچ گبتون – Gebton

گچ چسبندگی خوبی با سطوح آجری و سفالی دارد. ولی برای گچ‌کاری سطوح بتنی و سیمانی در گذشته سطح آن‌ها را می‌خراشیدند یا با تور سیمی زیرسازی می‌کردند. در غیر این صورت گچ پس از مدتی از سطح بتن کنده می‌شد. ولی امروزه گچ گبتون با افزوده‌های شیمیایی خاص و دانه‌بندی بسیار ریز، قدرت چسبندگی و نفوذ بالایی در سطوح صاف دارد. به طوری که بر روی سطوح سیمانی و بتنی در یک لایه به ضخامت ۴۰–۵ میلیمتر بدون زیرسازی قابل اجراست و نه تنها ترک نمی‌خورد و طبله نمی‌کند بلکه تدریجاً با نفوذ در سطح بتن مستحکم‌تر شده و به صورت جزئی جدا نشدنی از آن درمی‌آید. مقاومت فشاری گبتون ۱۴۵ و مقاومت خمشی آن $\frac{kg}{cm^2}$ ۵۰ است، در مقابل ضربه و رطوبت نیز مقاوم است.

تصویر شماره ۱۲.۱۰. گبتون

۸.۱۰. اشکال مختلف محصولات گچی

امروزه علاوه بر استفاده از گچ به صورت اندود و ملات، محصولات گچی پیش ساخته‌ای نیز تولید می‌کنند که علاوه بر صرفه‌جویی در زمان (به علت سهولت استفاده) بار مرده ساختمان را نیز کاهش می‌دهند. در ادامه محصولات گچی مختلف بررسی خواهند شد.

۱.۸.۱۰. اندود و ملات گچ – Gypsum Mortar

بیشترین کاربرد گچ در کشور ما به صورت اندود و ملات (خصوصاً اندود) است که انواع آن‌ها در فصل «ملات‌ها و اندودها» شرح داده خواهند شد. در این قسمت فقط به ذکر چند نکته کاربردی در استفاده از ملات و اندود گچ اکتفا می کنیم.

- پس از ریختن گچ به داخل آب، حدود ۲ دقیقه صبر کنید (بسته به نوع گچ متفاوت است). اگر هم‌زدن را زود شروع کنید، گچ تبدیل به یک توده کلوخی می‌شود که نرم کردن آن مشکل است.
- هرچه میزان آب ملات یا اندود گچ بیشتر باشد، گچ دیرگیرتر شده ولی مقاومت ملات سخت شده آن کاهش می‌یابد.
- اگر از آب گرم استفاده شود، گچ سریع‌تر می‌گیرد. (البته تأثیرات آب گرم خیلی کم است).
- اگر میزان گچی که در ملات استفاده می‌شود از میزان متعارف آن (نسبت آب به گچ = ۰/٦) کمتر باشد، گچ پس از خشک شدن ترک می‌خورد.
- اگر بخواهیم اندود گچ را به کلفتی زیاد و حدود ۸–۷ سانتیمتر به کار ببریم، باید آن را در دو نوبت به ضخامت ٤–۳/٥ سانتیمتر اجرا کنیم. به طوری که لایه دوم باید پس از خشک شدن کامل لایه اول اعمال شود. در غیر این صورت هنگامی که لایه اول خشک می‌شود و آب آن تبخیر می‌شود، چون این بخار آب جایی برای خروج ندارد بنابراین باعث ایجاد ترک در لایه دوم می‌شود تا بتواند خارج شود.

- اگر در دماهای زیر ۵ درجه سانتیگراد ملات یا اندود گچ را به کار ببریم، در آن ترک ایجاد می‌شود.
- اگر سه مورد اخیر هنگام استفاده از ملات‌ها و اندودهای گچی رعایت نشوند، ترک‌های ایجاد شده در گچ عمودی یا افقی خواهند بود. ترک‌های ۴۵ درجه اغلب ترک‌های سازه‌ای بوده و ناشی از نشست‌های ساختمان و یا عوامل دیگر می‌باشند.

۲.۸.۱۰. صفحات گچی (تخته گچی) – Gypsum Board

این صفحات فرآورده‌های پیش ساخته‌ای هستند که هم برای تیغه چینی و اجرای دیوار غیر باربر و هم در ضخامت‌های کمتر به جای اندود گچ بر روی دیوار و سقف مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت نصب این صفحات بر روی دیوار اجرا شده، از ملات‌های گچی استفاده می‌کنند یا آن‌ها را توسط میخ و یا پرچ مخصوص به سطح مورد نظر متصل می‌کنند.

تصویر شماره ۱۳.۱۰. تایل‌های گچی سقف کاذب

تصویر شماره ۱۴.۱۰. صفحات گچی محافظ ستون

صفحات گچی از ملات گچ ساخته می‌شوند که در آن‌ها از خمیره‌های کاغذ یا الیاف چوب جهت افزایش استحکام استفاده می‌شود. برای کاهش جرم از تمهیداتی نظیر کاربرد پرلیت یا دانه‌های سبک معدنی دیگر در مخلوط گچ استفاده می‌کنند. همچنین از طریق کاربرد آب اکسیژنه یا گرد سولفات آلومینیوم، ساختار صفحات را متخلخل و اسفنجی کرده تا علاوه بر کاهش جرم، خاصیت آکوستیک آن‌ها را افزایش دهند. در نهایت خمیر حاصل از اختلاط گچ و مواد اضافه شده و آب به صورت یک لایه یکنواخت روی ورقه متحرکی از کاغذ مخصوص کرافت ریخته می‌شود و روی آن ورقه دیگری از کاغذ ویژه قرار می‌گیرد. ورق رویی جهت اجرای بتانه‌کاری، رنگ-

آمیزی، کاغذدیواری و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. ورق زیرین نیز به عنوان تقویت کننده و افزایش استحکام صفحه گچی به کار می‌رود. در مواردی که در سطح نهایی گچی مورد نظر باشد، ورق رویی حذف می‌شود. برخی از این صفحات نیز دارای روکش تزئینی بوده و نیازی به رنگ آمیزی یا پوشش‌های نهایی دیگر ندارد.

جهت ساخت دیوارهای جدا کننده با این صفحات، ابتدا پروفیل‌های ناودانی سبک چوبی یا فلزی را به کف و سقف متصل می‌کنند. سپس پایه‌های عمودی سبک در فواصلی مناسب به پروفیل‌های بالایی و پائینی متصل می‌شوند و بدین ترتیب قاب سبک دیوار احداث می‌شود. با پیچ کردن ورقه‌های گچی در دو طرف قاب، دیوار جدا کننده ساخته می‌شود. همچنین لبه‌های قطعات گچی نیز دارای کام و زبانه می‌باشند تا در مواقعی که دو صفحه کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، در یکدیگر جفت شوند. در محل اتصال از گچ ساختمانی یا چسب‌های مخصوص اتصال این صفحات نیز استفاده می‌شود تا موجبات استحکام بیشتر آن‌ها فراهم شود.

تصویر شماره ۱۵.۱۰. نصب صفحات گچی (از راست به چپ)

۹.۱۰. مواد افزودنی به گچ

با اضافه کردن مواد مختلف به گچ می‌توان زمان گرفتن آن را کندتر کرد. این مواد مانع تماس نزدیک مولکول‌های گچ به یکدیگر شده و تشکیل بلورها را به عقب می‌اندازند. برخی از این مواد عبارتند از:

- خاک رس به میزان حدود ۵۰- ۱٪ وزن گچ.
- گرد آهک شکفته به میزان حدود ۱۰٪ وزن گچ.
- براکس (برات ناتریم) به میزان حدود ۱-۰/۵٪ وزن گچ (میزان ۱٪ از براکس آغاز زمان گرفتن گچ را تا ۹۰ دقیقه بالا می برد).

- سریشم (نوعی چسب حیوانی – Animal Glue) نجاری به میزان حدود ۰/۵–۰/۱٪ وزن گچ (میزان ۰/۵ از سریشم نجاری آغاز زمان گرفتن گچ را تا ۱۳۰ دقیقه بالا می‌برد).
- سریش (نوعی چسب گیاهی – Vegetable Glue) به میزان حدود ۱٪ وزن گچ.
- زاج سفید به میزان حدود ۱٪ وزن گچ (افزودن بیشتر از ۱٪ تا ۵٪ زاج سفید، ملات گچ را تندگیرتر می‌کند).
- نمک طعام به میزان ۲٪ و کمتر از آن ملات گچ را تندگیرتر می‌کند ولی بیشتر از ۲٪ تا ۱۰٪ نمک طعام باعث کندگیرتر شدن گچ می‌شود.
- مواد دیگری نظیر ژلاتین، پروتئین‌های هیدرولیزه و کراتین (ترکیب پروتئینی که از شاخ و سم حیوانات تولید می‌شود) نیز باعث کندگیر شدن ملات گچ می‌شوند.

۱۰.۱۰. راهنمای شناسایی گچ مرغوب

ویژگی‌های گچ مرغوب در جدول زیر ذکر شده است.

جدول شماره ۱.۱۰. الزامات فیزیکی گچ مرغوب

نوع گچ	دانه بندی		زمان گیرش به دقیقه		مقاومت فشاری (N/mm^2)	مقاومت خمشی (N/mm^2)
	اندازه الک (mm)	مانده روی الک (درصد وزنی)	ابتدایی	نهایی		
گچ زیرکاری	۲/۳۸ ۱/۴۱ ۰/۵	صفر حداکثر ۵ حداکثر ۱۵	۶–۴	۳۰–۲۰	حداقل ۶	حداقل ۲/۵
گچ پرداختی	۲/۳۸ ۱/۴۱ ۰/۵ ۰/۲۵	صفر صفر صفر حداکثر ۲	۶–۴	۶۰–۲۵	حداقل ۵/۵	حداقل ۲

۱۱.۱۰. انبار کردن گچ

گچ فله‌ای را باید بلافاصله مصرف کرد ولی گچ کیسه‌ای را در صورت رعایت برخی نکات، می‌توان تا مدت‌ها نگهداری کرد. کیسه‌های گچ باید در انبارهایی دور از رطوبت نگهداری شوند. بدین صورت که کیسه‌ها را روی تخته‌هایی که ۱۰ سانتیمتر از زمین و ۲۰ سانتیمتر از دیوار فاصله دارند، بچینند تا هوا در اطراف کیسه‌ها جریان داشته باشد. نباید بیش ار ۱۰ کیسه گچ را روی هم چید تا کیسه‌های زیرین تحت فشار قرار نگیرند. در کل شرایط انبار کردن و نگهداری گچ شبیه شرایط نگهداری سیمان است.

تصویر شماره ۱۶.۱۰. انبار کردن کیسه‌های گچ

فصل ۱۱

ملات‌ها و اندودها

۱.۱۱. تاریخچه

تصویر شماره ۱.۱۱. ملات ماسه سیمان

۲.۱۱. ضرورت استفاده و کاربرد ملات‌ها

ملات (Mortar) ماده‌ای خمیری و چسبنده است که جهت اتصال دو ماده ساختمانی به یکدیگر و به وجود آوردن جسمی یکپارچه از استخوان‌بندی ساختمان به کار رفته و در معرض هوا یا آب سخت می‌شود. ملات مرغوب سازه بنا را استوار ساخته و با ایجاد یکپارچگی در قطعات، سبب انتقال نیروها به قسمت‌های زیرین سازه ساختمان می‌شود.

تصویر شماره ۲.۱۱. اتصال مصالح ساختمانی توسط ملات

تصویر شماره ۳.۱۱. ابزارهای اجرای ملات و اندودکاری

ملات‌ها از سه جز زیر تشکیل می‌شوند:

- یک یا چند ماده چسبنده (سیمان، آهک، گچ و...)
- یک ماده پرکننده که حدود ۸۰٪ حجم ملات را تشکیل می‌دهد. (انواع سخت‌دانه‌ها) ماده پر کننده صرفه اقتصادی ملات را بیشتر می‌کند.
- یک ماده روان کننده (آب و...)

این مصالح باید به دقت اندازه گیری و مخلوط شوند تا به ملات تعادل مطلوبی جهت برآوردن خصوصیات اساسی آن بدهند.

از ملات جهت کارهای مختلف ساختمانی نظیر دیوارچینی آجری و سنگی، بندکشی، نصب کاشی و... استفاده می‌کنند. علاوه بر این‌ها برای نازک کاری و مسطح کردن سطوح مختلف نظیر دیوارها، لایه‌ای از ملات را به صورت اندود روی سطح اجرا می‌کنند.

تصویر شماره ٤.١١. اندود کردن دیوار (از راست به چپ)

۳.۱۱. خواص عمومی ملات‌ها

ملات‌ها هنگام ساخت به حالت خمیری می‌باشند و مدتی پس از ملات ریزی سخت می‌شوند. ملات در حالت خمیری باید دارای خصوصیاتی به شرح زیر باشد:

- ملات خمیری باید یکپارچه باشد و اجزای مخلوط از یکدیگر جدا نشوند.
- از غلظت مطلوبی برخوردار باشد.
- خمیر ملات باید در هنگام تماس با مصالح بنایی (مخصوصاً مصالحی که جاذب آب هستند) آب خود را به یکباره از دست ندهند. زیرا این امر موجب کاهش قدرت چسبندگی ملات می‌شود.
- ملات در حالت خمیری باید دارای خاصیت نفوذکنندگی باشد تا در قطعات مجاور خود نفوذ کرده و سبب پیوند آن‌ها به خود و به یکدیگر شود.

ملات پس از ملات‌ریزی و سخت شدن باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- باید خاصیت چسبندگی داشته باشد که این مهمترین ویژگی ملات است. خاصیت چسبندگی در ملات باید تقریباً تا ۳۰ دقیقه پس از ملات ریزی ظاهر شود و پس از ۱۰ الی ۱۲ ساعت به حداکثر خود برسد.
- ملات باید در مقابل نفوذ آب و عوامل جوی مقاوم باشد و خواص خود را از دست ندهد.
- ملات باید در مقابل نیروهای کششی و فشاری ساختمان به اندازه کافی مقاوم باشد. حداقل مقاومت کششی و فشاری ملات باید هم اندازه ضعیف ترین عضو ساختمان باشد. اگر مقاومت فشاری ملات بیشتر از مصالح بنایی

دیگر در ساختمان باشد، باعث ایجاد ترک در آن‌ها می‌شود. اما اگر مقاومت فشاری آن کمتر از مصالح دیگر باشد، در سطح خود ملات ترک ایجاد می شود که در این حالت تعمیر آن عملی تر از حالت اول است.

- رنگ ملات باید یکنواخت باشد.

برای رنگی کردن ملات بهتر است از دانه‌های رنگی نظیر سخت دانه سفید، اکسید فلزات، کربن و... به جای مواد رنگی استفاده شود تا رنگ ملات ثابت بماند. اندازه این سخت دانه‌ها باید کاملاً متناسب با سایر اجزای تشکیل دهنده ملات باشد. استفاده از رنگ‌های آلی در ساخت ملات‌های رنگی به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود.

٤.١١. عوامل مؤثر در میزان چسبندگی ملات

همان طور که ذکر شد، چسبندگی ملات مهمترین ویژگی آن است. در ادامه مطلب به عوامل مؤثر در میزان چسبندگی ملات‌ها اشاره خواهد شد:

- هر چه میزان ماده چسبنده در ملات بیشتر باشد، قدرت چسبندگی آن نیز بیشتر می‌شود. زیرا با افزایش ماده چسبنده در ملات، مقاومت فشاری آن بالا می‌رود و با افزایش مقاومت فشاری، چسبندگی ملات نیز افزایش می‌یابد. ولی افزایش مقدار آب باعث کاهش مقاومت فشاری و در نتیجه کاهش میزان چسبندگی ملات خواهد شد.
- اگر سطح مصالح بنایی که ملات روی آن‌ها ریخته می شود زبر باشد، چسبندگی بین ملات و مصالح بیشتر می‌شود.
- وقتی که ملات روی سطح ریخته می‌شود باید بلافاصله جسم بعدی روی آن قرار گیرد در غیر این صورت ملات به تدریج سخت می‌شود و خاصیت چسبندگی خود را از دست می‌دهد. همچنین بعد از قرار دادن مصالح بنایی روی ملات نباید آن‌ها را جابه جا کرد زیرا حرکت دادن مصالح باعث شکست چسبندگی بین آن‌ها و ملات می‌شود.

- هر چه قابلیت نگهداری آب در ملات بیشتر باشد، میزان چسبندگی آن نیز افزایش می‌یابد. علاوه براین اگر سطح مصالح بنایی به میزان مناسب قابلیت جذب آب را داشته باشند، دوغاب ماده چسبنده را جذب کرده و باعث افزایش میزان چسبندگی بین ملات و سطح خود می‌شوند.

۵.۱۱. دسته بندی انواع ملات‌ها

ملات‌ها براساس نوع خودگیری، نوع ماده چسبنده، نوع و اندازه ماده پرکننده و کاربرد آن‌ها به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. رایج ترین تقسیم‌بندی ملات‌ها براساس محیط گیرش آن‌هاست که از این دیدگاه به دو گروه هوایی و آبی تقسیم می‌شوند.

در ادامه به بررسی انواع ملات‌ها خواهیم پرداخت و در انتها نیز به چند نمونه ملات ویژه جهت کاربردهای خاص اشاره خواهد شد.

۱.۵.۱۱. ملات‌های آبی – Hydraulic Mortars

ملات‌های آبی به ترکیبی خمیر گفته می‌شوند که در مجاورت رطوبت و یا در زیر آب گرفته و سخت می‌گردند. بنابراین در صورتی که آب و رطوبت به آنها نرسد، به مقاومت نهایی خود نمی‌رسند. هوای خشک و گرما باعث پوک شدن ملات‌های آبی و جدا شدن رج‌ها از یکدیگر می‌شود، در این صورت به مرور زمان قطعات به کار رفته در سازه بنا جابه جا می شوند. در مواقع یخبندان باید ملات را با پوشش مناسب محافظت نموده تا از یخ زدگی آب آن جلوگیری به عمل آید.

ملات‌های آبی باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- زود گیر باشند.
- آب در آنها نفوذ نکند و یا ذرات آنها در آب پخش نشود.
- اگر در آب قرار می گیرند باید در برابر نمک‌ها و سولفات‌های احتمالی موجود در آب مقاوم باشند.

ملات‌های آبی دارای انواع مختلفی می‌باشند که در ادامه بررسی خواهند شد.

۱.۱.۵.۱۱. ملات گل آهک – Foundation Paste

ملات گل به تنهایی بعد از خشک شدن ترک می‌خورد و در آب نیز وا می‌رود ولی با افزودن آهک به خاک و ساخت ملات گل آهک، این دو مشکل تا حدی برطرف می شوند. این ملات در ساختمان‌های معمولی مصرف فراوان دارد. برای تهیه این ملات ۳۰۰–۲۵۰ تا کیلوگرم دوغاب آهک را در یک متر مکعب خاک رس ریخته و با آب مخلوط می‌کنند. اگر در ساخت این ملات از آهک خشک به جای دوغاب آهک استفاده شود، آب اضافه شده به ملات قبل از تولید دوغاب آهک، دانه‌های رسی را احاطه می کند و ترکیب ناقصی حاصل می‌شود.

ملات گل آهک در مقابل نیروهای جانبی مقاومت چندانی ندارد از این رو در آن در ساختمان های معمولی جهت آجر چینی و سنگ چینی دیوار و پی استفاده می‌کنند.

ملات گل آهک پس از مصرف باید ۳–۲ روز در مجاورت رطوبت قرار گیرد تا سخت شود و پس از حدود یک ماه افت لازم را کرده و مقاومت آن به حدی می‌رسد که قابل بارگذاری است. توجه به این نکته لازم است که از کلیه ملات‌هایی که دارای آهک هستند، در کنار فلزات استفاده نشود زیرا باعث خوردگی در فلزات می‌شوند.

۲.۱.۵.۱۱. ملات گچ و آهک

با اضافه کردن گرد آهک (آهک شکفته) یا دوغاب آهک به گچ ملاتی ساخته می‌شود که در برابر رطوبت مقاوم است. در ساخت این ملات میزان گرد آهک شکفته باید بیشتر از دو برابر گچ باشد. از این ترکیب در مناطق مرطوب در نماسازی و بعضاً در تزئینات حمام‌های سنتی استفاده می‌شده است.

۳.۱.۵.۱۱. ملات ماسه آهک

ماده پرکننده این ملات، ماسه و ماده چسباننده آن آهک است. جهت ساختن ملات ماسه آهک حتماً باید از دوغاب آهک استفاده شده و ماسه نیز سرند شده و به صورت آب خورده با آن مخلوط شود. اضافه کردن آب به مخلوط ماسه و آهک مجاز نیست. اگر از ماسه کفی (ماسه ای که با خاک مخلوط است و شسته نیست) استفاده شود،

ملاتی به مراتب مرغوب تر و دارای چسبندگی بیشتر حاصل می‌شود. مقدار آهک در ملات نیز معمولاً ۳۰۰-۱۰۰ کیلوگرم در یک متر مکعب ملات است.

این ملات معمولاً در آجرچینی و سنگ چینی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی استفاده از آن در دیوارهای باربر توصیه نمی‌شود. بهتر است ملات ماسه آهک تا یک هفته خیس نگه داشته شود.

٤.١.٥.١١. ملات ماسه سیمان

ماده چسباننده این ملات سیمان و ماده پر کننده آن ماسه است. در مواقعی که خط حمله سولفات‌ها مطرح است، باید از سیمان ضد سولفات نوع ۲ یا ۵ و یا سیمان پوزولانی استفاده کرد. در ساخت این ملات بر خلاف ملات ماسه آهک، ابتدا سیمان را با ماسه خوب مخلوط می‌کنند سپس آبخوره درست کرده و در نهایت به مخلوط حاصل آب اضافه می‌کنند. میزان سیمان در این ملات ۲۵۰-۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد. ملات‌های پر سیمان برای اندود مصرف می‌شوند. اگر در این ملات ناخالصی-هایی نظیر گچ یا خاک رس وجود داشته باشد، میزان چسبندگی آن کاهش می‌یابد. ملات ماسه سیمان را باید به میزان کم درست کرد تا زود مصرف شود در غیر این صورت خشک شده و مقدار زیادی از مقاومت خود را از دست می‌دهد. پس از مصرف نیز باید از ملات در شرایط جوی محافظت نمود.

تصویر شماره۵.۱۱. درست کردن آبخوره جهت ساخت ملات ماسه سیمان

٥.١.٥.١١. ملات باتارد – Guaged Mortar

ملات باتارد (حرامزاده) از مخلوط سیمان، ماسه و آهک تشکیل می‌شود. میزان سیمان در این ملات حدود ۱۵۰-۱۰۰ کیلوگرم و میزان آهک آن در حدود ۲۰۰-۱۵۰ کیلوگرم

در یک مترمکعب ماسه است. می‌توان از ماسه کفی نیز در ساخت این ملات استفاده کرد. استفاده از آهک در ملات به دلایل زیر صورت می‌گیرد:

- نفوذ آب را در ملات کم می‌کند.
- قابلیت نگهداری آب ملات را افزایش می‌دهد.
- از ترک خوردن ملات جلوگیری می‌کند.
- مقاومت نهایی ترکیب را افزایش می‌دهد.

ملات باتارد پس از مصرف حداقل تا ٤٨ ساعت باید مرطوب نگه داشته شود.

٦.١.٥.١١. ملات ساروج – Black ash Mortar

ساروج ملاتی کندگیر است که از ترکیب آهک با سیلیس فعال شکل می‌گیرد. در گذشته برای تأمین سیلیس از خاکستری که با سوزاندن فضولات حیوانی حاصل می‌شد، استفاده می‌کردند ولی امروزه می‌توان از سیلیکافوم (میکروسیلیس) استفاده کرد. یکی از معایب اصلی ساروج خاصیت کاهش حجم و ترک خوردگی آن در سطح است. برای جبران این مشکل در گذشته از الیاف گیاهی مانند لوئی که از نوعی نی بدست می‌آمده و همچنین الیاف حیوانی مانند پشم دام یا گاهی موی سر انسان استفاده می‌کرده‌اند. بعضاً مواد افزودنی خاصی مانند تخم مرغ به ساروج اضافه می‌شده که فقط باید با آزمایش اثرات دقیق آن را تعیین نمود. در گذشته ملات ساروج در سازه‌هایی که در تماس مستقیم با آب بوده‌اند مانند آب انبارها، حمام‌ها، حوض‌ها و ... مورد استفاده قرار می‌گرفته و استفاده سازه‌ای نداشته است.

امروزه مصرف ساروج بسیار کم شده و ملات‌های سیمان جایگزین آن شده‌اند.

تصویر شماره ٦.١١. یک آسیاب قدیمی ساخته شده با ملات ساروج

۲.۵.۱۱. ملات‌های هوایی – Air-setting Mortar

ملات‌های هوایی ملات‌هایی هستند که فعل و انفعالات آن‌ها در هوای خشک صورت گرفته و دور از رطوبت مقاوم می‌شوند. چنانچه این ملات در مجاورت رطوبت قرار گیرند، اگر به صورت اندود باشند طبله کرده و اگر در بین رج‌ها به کار رفته باشند، سازه بنا دچار نقایصی فنی شده و ماهیت خود را از دست می‌دهد و در نتیجه سبب تخریب بنا می‌شود.

انواع ملات‌های هوایی به این قرار هستند.

۱.۲.۵.۱۱. ملات‌های گچ – Gypsum Mortar

با وجود این‌که ملات‌های گچ هنگام گرفتن با آب ترکیب و به سنگ‌های گچ مبدل می‌گردند ولی در گروه ملات‌های هوایی قرار می‌گیرند، زیرا در آب وا می‌روند و برای سخت ماندن به هوا نیاز دارند.

۱.۱.۲.۵.۱۱. ملات گچ خالص

برای ساختن ملات گچ ابتدا مقداری آب در استانبولی (ظرف مخصوص ساخت و یا حمل ملات) ریخته سپس پودر گچ را که قبلاً به نسبت معین مشخص شده است درون آن می‌پاشیم تا بدین وسیله کلیه دانه ها در مجاورت آب قرار گرفته و تر شوند (نباید آب را به گچ اضافه کرد). مقدار آبی که یک کیلوگرم پودر گچ نیاز دارد تا ملات شود، از لحاظ تئوری ۰/۲ لیتر است یعنی تقریباً ۲۰٪ وزن گچ ولی از لحاظ عملی برای شکل پذیری بهتر و مجال کار کردن کارگران با ملات باید حدود ۸۰–۷۰٪ وزن گچ آب اضافه شود. البته مقداری از آب آن پس از خشک شدن گچ تبخیر گشته و جای قسمتی از آن در اثر ازدیاد حجمی که گچ در موقع خشک شدن پیدا می کند پر می‌شود.

گچ علاوه بر دو خاصیت عمده زودگیر بودن و ازدیاد حجم به هنگام سخت شدن، دارای خواص دیگری نیز هست از جمله آن که گچ آکوستیک است، در آتش سوزی مقاوم می‌باشد، ارزان و فراوان است و دارای رنگی سفید و خوش آیند نیز هست. لذا از آن برای سفیدکاری اتاق‌ها استفاده می‌کنند. همچنین برای قشر میانی و نیز اتصال قطعات گچی نیز مناسب است. در بعضی مواقع در محل‌هایی که احتیاج به یک

تکیه‌گاه موقت داشته باشیم و بخواهیم آجری را برای یک تکیه‌گاه نه چندان محکم به دیوار متصل نمائیم از ملات گچ استفاده می‌کنیم.

تصویر شماره ۷.۱۱. ملات گچ خالص

تصویر شماره ۸.۱۱. اندود گچ

۲.۱.۲.۵.۱۱. ملات گچ و خاک

برای ساختن ملات گچ و خاک ابتدا خاک رس را سرند کرده و به نسبت مساوی با گچ مخلوط می کنند، سپس آن‌ها را در آب ریخته و پس از این که ٦-٥ دقیقه به حال خود رها کردند، از یک طرف هم زده و به مصرف می‌رسانند. این ملات باید به میزان کم تهیه شده و سریع استفاده شود. هر چه میزان خاک رس در ملات بیشتر باشد، دیرگیرتر می‌شود. علاوه بر این خاک حالت پلاستیکی ملات را بیشتر می‌کند و نسبت به ملات گچ خالص نیز به صرفه تر است. از ملات گچ و خاک برای اندود دیوارهای داخلی، سقف و... استفاده می‌کنند.

۳.۱.۲.۵.۱۱. ملات گچ و ماسه

در مناطقی که ماسه فراوان است، به جای ملات گچ و خاک از ملات گچ و ماسه استفاده می‌کنند. ماسه این ملات باید ریز دانه و قطر آن کمتر از ۲ میلیمتر باشد.

٤.۱.۲.۵.۱۱. ملات گچ و سیمان

برای ساختن این ملات گچ و سیمان را به نسبت مساوی با آب مخلوط کرده و از آن بیشتر در نماسازی استفاده می‌کنند زیرا تا حدی در مقابل عوامل جوی مقاوم است. از این ترکیب به عنوان دوغاب در پایدارسازی بدنه دیواره‌های خاکی نیز استفاده می‌شود.

۵.۱.۲.۵.۱۱. ملات گچ و پرلیت

با اضافه کردن پرلیت به گچ، ملات سبکی حاصل می‌شود که عایق حرارتی و صوتی مناسبی بوده و در برابر آتش نیز مقاوم است.

٦.۱.۲.۵.۱۱. ملات گچ مرمری

این ملات در نقاط مرطوب و مکان‌هایی که نیاز به شستشو دارند، کاربرد دارد.

۲.۲.۵.۱۱. ملات کاهگل – Clay–and–Straw Mortar

ملات کاهگل بیشتر در ساختمان‌های روستایی به کار می‌رود. افزودن کاه به گل جهت جلوگیری از ترک خوردن آن است. این ملات را دو یا سه روز می‌خوابانند تا کاملاً خیس بخورد سپس مصرف می‌کنند. اگر کاهگل برای پوشش بام استفاده شود، در آن نمک می‌ریزند تا هم در زمستان یخ نزند و هم گیاهان در آن رشد نکنند. از این ترکیب به عنوان عایق رطوبتی بام در بناهای سنتی استفاده می‌شود.

ملات کاهگل علاوه بر سبکی، عایق حرارتی نیز هست لذا جهت جلوگیری از تبادل حرارت، سقف زیرین شیروانی‌های دو پوشه را با این ملات اندود می‌کنند.

تصویر شماره ۹.۱۱. ملات کاهگل

تصویر شماره ۱۰.۱۱. خانه‌های کاهگلی

۳.۵.۱۱. ملات‌های ویژه

امروزه شرکت‌های مختلف ملات‌های بسیاری را با نام‌های تجاری خاص تولید و عرضه می‌کند که در این مبحث به چند نمونه از آن‌ها اشاره خواهد شد.

۱.۳.۵.۱۱. ملات‌های مخلوط آماده

هنگامی که ملات در کارگاه ساخته می‌شود امکان دارد نسبت‌های اختلاط به خوبی رعایت نگردد، بنابراین ملات حاصل عملکرد مطلوبی نخواهد داشت. به همین دلیل است که ملات‌های مخلوط آماده ساخته شده اند. این نوع ملات‌ها تحت شرایط کنترل شده و فرموله شده، از پیش مخلوط و به صورت گرد یا مایع بسته بندی می‌شوند. در ساختار اکثر ملات‌های آماده، سیمان وجود دارد و مواد دیگری نیز برای ایجاد ویژگی-های خاصی به مخلوط اضافه می‌شوند. چند نمونه از این ملات‌ها عبارتند از:

- ملات پاشیدنی سیواکس (Sivax): این محصول جایگزین مناسبی برای ملات گچ و سیمان محسوب می‌شود و از آن برای پوشش نماهای خارجی و داخلی، سقف و... استفاده می‌کنند و بر روی کلیه مصالح قابل اجراست. هنگام مصرف، پودر سیواکس را با آب مخلوط کرده و با استفاده از دستگاه مخصوص، روی سطح پرداخت شده می‌پاشند. سیواکس را با دست نیز می-توان به سطوح مورد نظر پاشید از جمله خواص سیواکس می‌توان به مقاومت در برابر رطوبت، سرما و گرما، صدا، فشار و... اشاره کرد.

تصویر شماره ۱۲.۱۱. مراحل اجرای اندود سیواکس بر روی دیوار (از راست به چپ)

- ملات آماده منبسط شونده بر پایه سیمان (به صورت گرد خشک).
- ملات سیمانی اصلاح شده با مواد پلیمری (به صورت مایع).
- ملات اپوکسی سه جزئی (Epoxy).

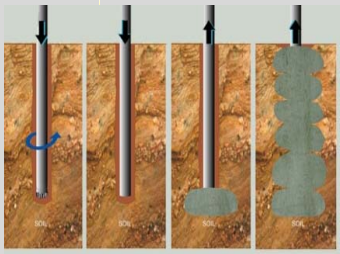
از سه مورد آخر جهت مصارف مختلفی از جمله زیر صفحه ستون‌ها، بولت‌ها، نصب ریل ماشین آلات و... استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ۱۳.۱۱. استفاده از ملات اپوکسی جهت ترمیم سطوح آسیب دیده

۲.۳.۵.۱۱. ملات‌های تزریقی – Grout Injection

این ملات‌ها معمولاً از ماسه و سیمان یا قیر و سیمان و مواد افزودنی تشکیل می‌شوند. در برابر نفوذ آب، یخبندان و نیرو بسیار مقاوم هستند و از آن‌ها معمولاً در سازه‌های پس تنیده استفاده می‌شود.

تصویر شماره ۱٤.۱۱. تزریق ملات در دیوار (از راست به چپ)



تصویر شماره ۱۵.۱۱. ملات تزریقی

۶.۱۱. مواد افزودنی در ملات‌ها

مواد افزودنی جهت ایجاد ویژگی‌های خاصی به ملات‌ها اضافه می‌شوند. از جمله مواد تند گیر کننده، روان کننده و حباب ساز[1] برای کار در فصل سرد. استفاده از مواد ضد سولفات برای ملات‌هایی که در آب دریا قرار می‌گیرند، استفاده از آب بند کننده‌ها در ملات، مواد رنگی و... .

۷.۱۱. روش‌های انتخاب ملات مناسب

انتخاب ملات مناسب برحسب محل شرایط محیطی، سرعت خود گیری ملات و نیز خواص ملات انجام می‌گیرد.

ملات به محض تماس با مصالح بنایی مقداری از آب خود را از دست می‌دهد، بنابراین در انتخاب نوع ملات باید به مصالح زیر کار و میزان جذب آب توسط آن‌ها توجه کرد. همچنین در مناطق گرم و خشک نیز آب ملات به سرعت تبخیر می‌شود که در این صورت استفاده از ملات‌های کندگیر کارساز است و نیز می‌توان از مواد افزودنی نگهدارنده آب و ضد تبخیر استفاده کرد.

در هوای سرد و یخبندان استفاده از ملات‌های زودگیر توصیه می‌شود. همچنین می توان از مواد افزودنی حباب ساز استفاده کرد.

۸.۱۱. آماده سازی سطوح زیر کار جهت ملات‌ریزی

موفقیت در چسبندگی بالا و انتقال نیروهای وارده توسط ملات، تا حد زیادی به شرایط سطوح زیر کار بستگی دارد. آماده سازی سطوح زیر کار جهت ملات ریزی به طرق زیر صورت می‌گیرد:

- زدودن سطح از هرگونه چربی یا گرد و غبار و مواد آلوده که مانع پیوند ملات گردد.
- عاری کردن سطح از هرگونه پوسته، زنگ‌زدگی.

۱. حباب های هوا در ملات، صدمات ناشی از افزایش حجم آب ملات در موقع یخ زدن را به حداقل ممکن کاهش می‌دهند.

- سطح زیر کار باید پیش از ملات‌ریزی با استفاده از آب مرطوب شود. اشباع کردن زیر کار موجب جلوگیری از خشک شدن ملات مصرفی (در اثر جذب آب ملات توسط زیر کار) شده و باعث افزاش چسبندگی می‌گردد. باید توجه کرد که مقدار آب مازاد را قبل از ملات‌ریزی با استفاده از پمپ، اسفنج، فشار باد، دستگاه وکیوم و... جمع آوری کرد.
- سطوح قدیمی را می‌توان به روش‌هایی نظیر سندبلاست کردن، چکش کاری، مضرس کردن، خراش دادن و زبر کردن آماده کرد.
- سطوح ترک خورده و حفره‌ها باید قبل از بکار بردن ملات ترمیم شوند.

۹.۱۱. ملات‌ریزی و نگهداری از ملات

پس از تهیه ملات تا زمانی که کل ملات مصرف شود، ممکن است مقداری از آب آن تبخیر شود و ملات خشک شود. بنابراین باید تمامی ملات‌ها با حداکثر میزان آبی که می‌توان با آن‌ها مخلوط کرد، تهیه شوند. زیرا اگر ملات تهیه شده قبل از مصرف خشک شود، چسبندگی آن کاهش می‌یابد. جهت جلوگیری از این امر می‌توان ملات را قبل از ملات‌ریزی مقداری با پاشیدن آب مرطوب کرد. البته افزودن آب به ملات مقاومت فشاری آن را کاهش داده و نیز در بعضی اوقات باعث بروز تأثیرات زیان آور در ملات می‌شود، بنابراین افزودن آب به ملات باید طبق دستورات ارائه شده در آئین نامه‌ها و نیز با توجه به خصوصیات ملات مورد نظر انجام گیرد.

در شرایط آب و هوایی سرد باید بعد از ملات‌ریزی، محل مورد نظر را از سرما محافظت نمود. در شرایط آب و هوایی گرم نیز باید محل ملات کاری شده را با گونی یا پارچه مرطوب پوشاند و محافظت کرد.

فصل ۱۲

سیمان

۱.۱۲. تاریخچه

تا قبل از کشف سیمان، ملات‌های آهکی در ساختمان سازی مورد استفاده قرار می-گرفتند. رومی‌ها برای نخستین بار در سال ۲۷ قبل از میلاد در ساختمان پانتئون از مخلوط خرده سنگ و دوغاب آهک استفاده کردند. رومی‌ها این جسم بتن مانند را Opus Caementitum نامیدند، واژه سیمان (Cement) هم از همین کلمه گرفته شده. بعدها در سال ۱۸۲٤ میلادی یک بنّای انگلیسی به نام جوزف اسپدین (Josef Aspdin) از پختن آهک و خاک رس در حرارت بالا و آسیاب کردن آن‌ها، ابتدایی‌ترین نوع سیمان را کشف کرد و آن را به نام سیمان پرتلند ثبت کرد. واژه پرتلند از نام جزیره‌ای در انگلستان گرفته شده که رنگ سیمان همرنگ سنگ‌های ساحل آن است.

۲.۱۲. ضرورت استفاده و کاربرد سیمان

سیمان گرد نرمی است که مخلوط آن با آب قابلیت چسباندن ذرات به یکدیگر و در نهایت به وجود آوردن جسمی صلب و یکپارچه را دارد. عمده مصرف سیمان در صنعت ساختمان، به عنوان ملات چسباننده و نیز اتصال دانه‌های سنگی به یکدیگر در تهیه بتن است. سیمان علاوه بر ساختمان سازی، در راه سازی، ساخت تونل، پل، لوله‌ها و قطعات سیمانی پیش ساخته و... نیز کاربرد دارد.

تصویر شماره ۱.۱۲. استفاده از سیمان در ساخت معبد پانتئون

تصویر شماره ۲.۱۲. ملات سیمان

تصویر شماره ۳.۱۲. لوله سیمانی

۳.۱۲. ساختار و مواد تشکیل دهنده سیمان پرتلند

مواد اولیه تشکیل دهنده سیمان‌های مختلف عموماً مشترکند ولی نسبت اختلاط این مواد در برخی از انواع سیمان‌ها با بقیه متفاوت است. سیمان پرتلند از دو ماده اصلی سنگ آهک و خاک رس به نسبت وزنی ۳ به ۱ تشکیل شده است. گاهاً در طبیعت مخلوط سنگ آهک و خاک رس به نسبت وزنی یاد شده به طور دقیق یافت می‌شود که به آن مارل (Marl) می‌گویند.

برخی از مواد معدنی موجود در خاک رس نظیر سیلیس، در تولید سیمان نقش اساسی دارند و در صورت کم بودن این ماده در خاک رس مصرفی، باید مقدار سیلیس مورد نیاز به آن اضافه شود. از طرفی میزان اکسید منیزیم و اکسیدهای قلیایی در مواد اولیه سیمان نباید از حد معینی تجاوز کند. زیرا اکسید منیزیم (این اکسید بیشتر از طریق سنگ آهک دولومیتی وارد مواد اولیه سیمان می‌شود) در حرارت ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد زنده شده و در مجاورت با آب به آرامی متبلور می‌شود و در نهایت موجب بروز ترک در سیمان یا بتن خواهد شد. بنابراین میزان آن نباید از ۵٪ تجاوز کند. یکی از راه‌های

تشخیص وجود این ماده در سیمان، رنگ سیمان است. منیزیم سیمان پرتلند را خاکستری متمایل به سبز می‌کند ولی سیمان پرتلند بدون منیزیم ته رنگ قهوه‌ای دارد.

همچنین وجود بیش از ۱٪ اکسیدهای قلیایی در مواد اولیه سیمان، باعث کاهش کیفیت و مقاومت سیمان و بتن حاصل از آن خواهد شد. در جدول زیر به میزان مجاز هر یک از مواد اولیه تشکیل دهنده سیمان اشاره شده است.

جدول شماره ۱.۱۲. نسبت اختلاط مواد اولیه سیمان

نام ماده	فرمول شیمیایی	درصد اختلاط
سنگ آهک Lime Stone	$CaCO_3$	٦٠-٦٧
سیلیس Silica	SiO_2	١٧-٢٥
اکسید آلومینیوم Alumina	Al_2O_3	٣-٨
اکسید آهن Iron oxid	Fe_2o_3	٠/٥-٥
اکسید منیزیم Magnesia	MgO	١-٥
اکسیدهای قلیایی Alkail oxide	Na_2O+K_2O	٠/٥-١
انیدرید سولفوریک	SO_3	١-٣

٤.١٢. مراحل تولید سیمان پرتلند

سیمان پرتلند در سه مرحله ساخته می‌شود:

١. آماده کردن و آسیاب مواد خام اولیه یا به روش تر (تهیه خمیر) یا به روش خشک (تهیه پودر).
٢. پختن (تفت دادن) مواد خام تا به شکل جوش (کلینکر) درآیند.
٣. آسیاب کردن کلینکر به همراه مقداری سنگ گچ.

١.٤.١٢. آماده کردن و آسیاب مواد اولیه

معمولاً کارخانه‌های سیمان در محل‌هایی احداث می‌گردند که به معادن سنگ آهک یا خاک رس نزدیک باشند. این مواد پس از استخراج از معادن آزمایش شده و در صورت مناسب بودن به کارخانه حمل می‌شوند. در کارخانه نیز چنان‌چه مقدار یک یا چند اکسید از میزان مورد نیاز کمتر یا بیشتر باشد، با کم یا اضافه کردن آن اکسید نسبت‌ها

اصلاح می‌شوند. سپس این مواد را با سنگ شکن‌های فکی، ضربه‌ای (چکشی)، ساچمه‌ای و... به دانه‌های ۲۵-۱۰ میلیمتری تبدیل می‌کنند و آن‌ها را خوب هم‌می‌زنند. مخلوط کردن و هم‌زدن مواد اولیه در تمام مراحل تولید سیمان تکرار می‌شود تا از انباشته شدن یکی از مواد در یک نقطه جلوگیری به عمل آید و مخلوطی کاملاً یکنواخت و همگن حاصل شود. علاوه بر این در تمام مراحل تولید نمونه‌ای از مواد به آزمایشگاه برده می‌شود تا از اختلاط صحیح مواد اطمینان حاصل شود.

اینک مواد اولیه آماده آسیاب شدن هستند و آن‌ها را با آسیاب‌های ساچمه‌ای یا گلوله‌ای به صورت گرد بسیار نرمی درمی‌آورند. قطر دانه‌ها پس از آسیاب نباید از ۰/۱ میلیمتر بیشتر باشد تا حرارت به مغز دانه‌ها نیز برسد. گرد حاصل را به دو روش خشک یا تر برای ورود به کوره سیمان پزی آماده می‌کنند.

تصویر شماره ٤.١٢. سنگ مارل

تصویر شماره ٥.١٢. کارخانه سیمان

تصویر شماره ٦.١٢. سیلوی مواد خام سیمان

١.١.٤.١٢. روش تر

اگر گرد مواد خام بیش از ۲۰٪ وزنش آب داشته باشد، به آن آب اضافه کرده و به شکل خمیر درمی‌آورند. خمیر حاصل ٤٥-۳۵٪ وزنش آب دارد. آن‌گاه آن را در تغار ریخته و برای آن‌که دانه‌ها ته‌نشین نشوند، از کف تغارها در خمیر مواد خام هوا می‌دمند.

٢.١.٤.١٢. روش خشک

اگر آب موجود در مواد خام کم باشد، پس از این‌که مواد را از معدن استخراج و با سنگ شکن خرد کردند، آن‌ها را با خشک‌کن‌های ویژه‌ای خشک می‌کنند. در این صورت این مواد پس از آسیاب شدن به صورت گرد خشک به کوره سیمان پزی فرستاده می‌شوند.

در روش تر به انرژی کمی نیاز است و به آسانی مخلوط یکنواختی از اجزاء تشکیل دهنده حاصل می‌گردد، اما از سوی دیگر آب مصرفی برای ساخت خمیر باید ضمن عمل پخت، از مواد متصاعد گردد. در روش خشک به عکس، هزینه مخلوط کردن مواد بیشتر از روش تر است ولی مصرف انرژی برای پخت کاهش می‌یابد.

۲.٤.۱۲. پختن مواد اولیه در کوره (سیمان پزی)

موادی که آماده ورود به کوره می‌شوند را خوراک کوره گویند. منظور از سیمان پزی ایجاد واکنش‌هایی میان دانه‌های مواد خام در حرارت ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد است تا پس از واکنش، دانه‌ها عرق کرده، به یکدیگر بچسبند و به شکل جوش (کلینکر) درآیند. این فرآیند ۵-۳ ساعت به طول می‌انجامد. مهم‌ترین این واکنش‌ها ترکیب شدن آهک با سیلیس و رس است. اگر آهک ترکیب نشود و به صورت آزاد در سیمان باقی بماند، پس از گرفتن ملات سیمان، شکفته می‌شود و با ازدیاد حجم باعث ایجاد ترک در ملات می‌گردد. اکسید آهن و اکسید آلومینیوم موجود در مواد اولیه، در کوره نقش گدازآور دارند و باعث کاهش درجه ذوب شدن شدن مواد خام در کوره می‌شوند همچنین انجام واکنش‌ها را نیز تسریع می‌بخشند.

مواد واکنش یافته در کوره در دمای بالا به مرز عرق کردن می‌رسند و با چسبیدن به یکدیگر تشکیل کلینکر می‌دهند. کلینکر کلوخه سختی به اندازه فندق و به رنگ سیاه متمایل به سبز است، چون منیزیم دارد. اگر کلینکر خوب نپخته باشد رنگ مغز آن قهوه‌ای روشن است. کلینکر حاصل در نهایت از انتهای کوره خارج می‌شود.

برای پختن سیمان عموماً از کوره ایستاده یا کوره گردنده خفته استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ۷.۱۲. کلینکر سیمان

۱.۲.٤.۱۲. کوره گردنده خفته – Rotary Kiln

این کوره استوانه‌ای فولادی به حداکثر قطر ٦ متر و طول تقریبی ۱۰۰ متر است که به صورت افقی و با شیب ٤-۳٪ نصب می‌شود. داخل این کوره با آجر نسوز پوشانده شده است. خمیر یا گرد مواد خام از سر کوره در آن وارد شده و در حین گردش کوره حول محور خود (۲-۱/۵ بار در دقیقه) پخته می‌شوند و در نهایت به شکل کلینکر از انتهای آن خارج می‌گردند. برخی از این کوره‌ها مجهز به تنوره پیش گرم‌کن هستند به طوری که مواد خام قبل از ورود به کوره، به پیش گرم‌کن فرستاده می‌شوند. در این قسمت ۳۰٪ سنگ آهک پخته شده سپس مواد وارد کوره اصلی می‌شوند. بدین شکل راندمان کوره به دو برابر و بیشتر از آن افزایش می‌یابد.

۲.۲.٤.۱۲. کوره ایستاده (قائم) – Shaft Kiln

این کوره استوانه‌ای فولادی به قطر ۳-۲ و ارتفاع حدود ۱۰ متر است که بدنه آن را با مواد نسوز می‌پوشانند. در این کوره فقط می‌توان از مواد خام به صورت پودر استفاده کرد. مواد خام از بالا وارد کوره شده و به آهستگی به پایین می‌لغزند و در نهایت به شکل کلینکر بیرون می‌ریزند. ظرفیت تولید این کوره کمتر از کوره گردنده خفته است.

تصویر شماره ۸.۱۲. کوره گردنده خفته

تصویر شماره ۹.۱۲. پیش گرم‌کن کوره گردنده خفته

تصویر شماره ۱۰.۱۲. کوره ایستاده

۳.٤.۱۲. آسیاب کردن کلینکر

کلینکر خروجی از کوره دارای درجه حرارتی حدود ۱۲۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتیگراد است. بازیابی این میزان حرارت (هوای گرم شده با این حرارت به تنوره پیش گرم‌کن می‌رود) و همچنین سختی جابه‌جا کردن کلینکر داغ، ضرورت سرد کردن آن را ایجاب

می‌نماید. دیگر مزیت سرد کردن کلینکر، تکمیل و تشکیل کریستال‌های کلینکر و بالا رفتن کیفیت آن است.

در کوره‌های سیمان پزی، خنک‌کن (کولر) در انتهای کوره قرار دارد و کلینکر بعد از پخت بلافاصله وارد خنک‌کن می‌شود. کلینکر پس از سرد شدن آزمایش می‌شود و در صورت اطمینان از عدم وجود اکسیدهای کلسیم و منیزیم در آن مستقیماً به سمت آسیاب منتقل می‌شود. کلینکر را به همراه ۵-۳٪ سنگ گچ ($CaSO_4(2H_2O)$) در آسیاب ساچمه‌ای خرد می‌کنند. محصول حاصل سیمان پرتلند است. سنگ گچ به منظور جلوگیری از گیرش سریع و جرقه‌ای سیمان و کنترل زمان گیرش، به آن اضافه می‌شود. هر چه دانه‌های سیمان ریزتر باشد، زودگیرتر است و به سنگ گچ بیشتری احتیاج دارد.

در نهایت سیمان پرتلند حاصل در پاکت‌های ۵۰ کیلوئی بسته بندی می‌شود و یا در پروژه‌های بزرگ به صورت فله‌ای (Bulk) با کامیون‌های دارای مخزن مخصوص که به آن‌ها بونکر می‌گویند، عرضه می‌شود.

تصویر شماره ۱۱.۱۲. سیمان پاکتی

تصویر شماره ۱۲.۱۲. بونکر

۵.۱۲. خواص سیمان پرتلند

۱.۵.۱۲. خواص فیزیکی

- **وزن مخصوص**: وزن مخصوص سیمان معمولی ۳/۱ $\frac{gr}{cm^3}$ است. هر چه وزن مخصوص سیمان بیشتر باشد، مقاومت آن افزایش می‌یابد.
- **نرمی سیمان (Fineness)**: نرمی سیمان از عوامل تأثیرگذار بر مقاومت سیمان است. هر چه ذرات سیمان ریزتر باشد، سیمان نرم‌تر و مرغوب‌تر است. در سیمان ریزدانه مجموع سطوح خارجی (جانبی) دانه‌ها در یک

واحد وزن ($\frac{cm^2}{gr}$) بیشتر می‌شود، در نتیجه ترکیب سیمان با آن سریع‌تر انجام می‌گیرد و حرارت بیشتری آزاد می‌شود (حرارت هیدراتاسیون که در مباحث بعدی شرح داده خواهد شد)؛ مقاومت بتن یا ملات سیمان نیز سریع‌تر افزایش می‌یابد، همچنین چسبندگی خمیر سیمان بیشتر می‌شود. افزایش نرمی سیمان مصرف آب را برای تهیه بتن با اسلامپ (Slump) مشابه کاهش می‌دهد. از طرف دیگر انقباض خمیر سیمان با نرمی ذرات سیمان نسبت مستقیم دارد و هر چه ذرات ریزتر باشند، هنگام گرفتن ملات سیمان، انقباض بیشتری صورت می‌گیرد و سبب ایجاد ترک در سیمان سخت شده می‌شود. به علاوه بیشتر نرم کردن ذرات مستلزم هزینه قابل توجهی است. بنابران میزان نرمی ذرات که اصطلاحاً آن را بلین (Blaine)[1] می‌نامند نباید از حد متعارفی تجاوز کند. نرمی سیمان پرتلند معمولی بر حسب استاندارد باید بین ۳۰۰۰–۲۵۰۰ بلین باشد.

- **انقباض:** همه انواع سیمان به هنگام سخت شدن منقبض می‌شوند. اگر بتن و محصولات سیمانی در روزهای اولیه مصرف مرطوب شوند، این انقباض و ترک‌های احتمالی ناشی از آن، کاهش می‌یابد. از طرفی پرکننده‌هایی که همیشه با سیمان مصرف می‌شوند، میزان انقباض آن را کاهش می‌دهند ولی استفاده بیش از حد از این پرکننده‌ها تأثیر منفی بر مقاوت سیمان خواهد داشت. همچنین نرمی پیش از حد سیمان نیز انقباض آن را افزایش می‌دهد.
- **مقاومت در برابر آتش:** سیمان و فرآورده‌های آن در برابر آتش مقاومند.

۲.۵.۱۲. خواص شیمیایی

آب دریا و آب‌های سولفات‌دار به سیمان پرتلند معمولی صدمه می‌زنند که در این موارد از سیمان‌های ویژه (در مباحث آتی شرح داده خواهند شد) استفاده می‌کنند. شکر و نمک هم به محصولات سیمانی آسیب وارد می‌کنند.

۱. Blaine تعداد دانه‌های آسیاب شده در واحد گرم می‌باشد.

- **خوردگی:** سیمان بر آهن، مس و رنگ‌های ساختمانی بی اثر است ولی مخلوط‌های سیمانی رقیق تا حدی بر روی سرب، آلومینیوم، روی و شیشه تأثیر گذراند. همچنین چون سیمان پرتلند خورنده است تماس آن با چشم، پوست و دستگاه تنفسی ایجاد ناراحتی می‌کند.

وجود خاک و گل بر زمان سخت شدن، چسبندگی و کیفیت سیمان مؤثر است بنابراین هنگام استفاده از مخلوط‌های سیمانی، محل مصرف باید عاری از این مواد باشد.

- **حرارت آب‌گیری (هیدراتاسیون):** زمانی که سیمان با آب مخلوط می‌شود بر اثر فعل و انفعالات شیمیایی، ایجاد حرارت می‌کند. میزان این حرارت به ترکیب شیمیایی سیمان، نرمی آن و درجه حرارت محیط بستگی دارد و آن را بر حسب ژول بر گرم $(\frac{j}{gr})$ می‌سنجند. هر چه سیمان تندگیرتر باشد و مقاومت آن زودتر افزایش یابد، گرمازایی آن نیز سریع‌تر و بیشتر است. این حرارت تولید شده می‌تواند در زمستان از یخ زدن آب در شکاف‌های موئینه بتن تازه ریخته شده جلوگیری نماید. بنابراین در زمستان با سیمان‌هایی که سریع گرما پس می‌دهند، بتن می‌سازند. ولی در مواقعی که حجم بتن‌ریزی زیاد باشد نظیر سد سازی، گرمازایی زیاد به بتن آسیب می‌رساند. زیرا درون بتن را داغ کرده و سبب افزایش حجم آن می‌گردد. ولی چون سطح بتن در اثر مجاورت با هوا زود سرد می‌شود بنابراین بتن نمی‌تواند منبسط شود و در اثر اختلاف درجه حرارت، در آن تنش ایجاد شده و ترک می‌خورد. لذا باید بر حسب نوع و محل مصرف، در انتخاب سیمان مناسب دقت شود.

یکی از راه‌های خارج کردن گرمای بتن، لوله کشی در آن است. هنگام گرفتن ملات سیمان، آب سرد را درون لوله‌ها می‌فرستند تا گرمای بتن را بگیرد. آب گرم شده از انتهای لوله‌ها خارج می‌شود سپس درون آن‌ها ملات ماسه–سیمان پرمایه تزریق می‌کنند.

در سیمان‌های پرتلند، حدود نیمی از کل حرارت آب‌گیری در مدت ۳–۱ روز، $\frac{۳}{٤}$ آن در ۷ روز و تقریباً ۹۰٪ آن پس از ٦ ماه آزاد می‌گردد. لذا مراقبت از بتن یا ملات سیمانی در روزهای اولیه مصرف بسیار حائز اهمیت است.

۳.۵.۱۲. خواص مکانیکی

- **مقاومت فشاری:** مقاومت فشاری سیمان‌های مختلف متفاوت است و به ترکیب شیمیایی سیمان، میزان نرمی، چسبندگی آن و... بستگی دارد. رشد مقاومت سیمان‌های پرتلند در روزهای اولیه بتن‌ریزی سریع و در روزهای بعد کم‌تر است. رطوبت و بخار آب از عوامل مؤثر در رشد مقاومت سیمان هستند. به طوری که در زیر بخار آب در ١٤ ساعت می‌توان به مقاومت سیمان ۲۸ روزه رسید.

جدول شماره ۲.۱۲. درصد مقاومت فشاری انواع سیمان پرتلند

نوع سیمان	۱ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	نرمی سیمان ($\frac{cm^2}{gr}$)
یک	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	۱۸۰۰
دو	۷۵	۸۵	۹۰	۱۰۰	۱۸۰۰
سه	۱۹۰	۱۲۰	۱۱۰	۱۰۰	۲۶۰۰
چهار	۵۵	۵۵	۷۵	۱۰۰	۱۹۰۰
پنج	٦۵	۷۵	۸۵	۱۰۰	۱۹۰۰

- **مقاومت کششی:** توان سیمان در برابر نیروهای کششی بسیار اندک است. بر همین مبنا در آن از میلگرد یا مسلح کننده استفاده می‌کنند.

٦.۱۲. سخت شدن مخلوط‌های سیمانی و عوامل مؤثر در آن

زمانی که سیمان با آب مخلوط می‌گردد در اثر دو عمل هیدراته شدن و هیدرولیز (واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی) خمیر چسبناکی حاصل شده که به مرور غلظت می‌یابد و سخت می‌شود. ایجاد این خمیر چسبناک به این سبب است که آب دور دانه‌های سیمان را می‌پوشاند و کریستال‌هایی تشکیل می‌دهد که با چسبیدن به یکدیگر ایجاد استحکام کرده و سخت می‌شوند. بنابراین ملات سیمان جزء ملات‌های آبی است.

زمان گیرش (خودگیری) سیمان به دو مرحله تقسیم می‌شود:

۱. گیرش اولیه که حدود ۳۰ دقیقه بعد از اختلاط با آب آغاز می‌شود.

۲. گیرش نهایی که حدود ۱۲۰ دقیقه زمان لازم دارد و پس از آن هر گونه عملیات مکانیکی بر روی ملات سیمان یا بتن غیر مجاز است.

بعد از گیرش نهایی، سختی و مقاومت خمیر سیمان مرتباً افزایش می‌یابد؛ این مرحله را سخت شدن گویند. عوامل مؤثر بر خودگیری و سخت شدن سیمان بدین قرارند:

- **میزان مواد اولیه:** مصرف اکسید آلومینیوم بیشتر، گیرش ملات سیمان را سریع‌تر می‌کند ولی سنگ گچ گیرش آن را کند می‌کند.
- **نرمی سیمان:** هر چه ذرات سیمان نرم‌تر باشد، گیرش آن بهتر و سریع‌تر صورت می‌گیرد.
- **دمای پخت:** پختن سیمان با حرارت بیش از حد، ملاتش را کندگیر می‌کند.
- **دمای محیط:** گیرش سیمان در محیط گرم سریع‌تر صورت می‌گیرد.
- **میزان آب:** مقدار آبی که برای هیدراتاسیون کامل سیمان لازم است، حدود ۳۵-۲۵٪ وزن آن می‌باشد. آب افزون بر این مقدار، بین ذرات سیمان باقی مانده و به مرور زمان تبخیر می‌شود و باعث پوک شدن و کاهش استحکام ملات‌های سیمانی می‌گردد. همچنین آب بیش از حد سبب تأخیر در گیرش ملات‌های سیمانی می‌شود.
- **مدت زمان انبار کردن:** هر چه سیمان پس از تولید دیرتر مصرف شود، گیرش آن کندتر می‌شود.

۷.۱۲. انواع سیمان پرتلند

۱.۷.۱۲. سیمان پرتلند نوع ۱ (سیمان معمولی) - Portland Cement

این سیمان پرکاربردترین نوع سیمان محسوب می‌شود و در تمام کارهای ساختمانی، پل سازی، تونل سازی و... وقتی خواص ویژه‌ای از سیمان مد نظر نباشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی نباید از آن در شرایط آب و هوایی خاص و در آب‌ها و خاک‌های دارای اسید و سولفات استفاده کرد.

تصویر شماره ۱۳.۱۲. استفاده از سیمان پرتلند نوع ۱ در کف سازی

۲.۷.۱۲. سیمان پرتلند نوع ۲ (سیمان ممتاز) – Modified Portland Cement

مواد اولیه این سیمان از نوع مرغوب بوده و در ساخت آن نیز دقت بیشتری به عمل می‌آید. مقاومت این سیمان در برابر سولفات‌ها از سیمان نوع ۱ بیشتر است و می‌توان از آن برای ساخت کانال‌های فاضلاب استفاده کرد ولی مصرف آن در کارهای دریایی و آب‌هایی که سولفات زیاد دارند، مجاز نیست. حرارت آب‌گیری آن نیز از سیمان نوع ۱ کمتر است بنابراین برای بتن‌ریزی با حجم نسبتاً زیاد و نیز بتن‌ریزی در هوای گرم مناسب است.

۳.۷.۱۲. سیمان پرتلند نوع ۳ (سیمان زودگیر) – Quick-setting Cement

این سیمان زودگیر در مواقعی استفاده می‌شود که مقاومت اولیه بالایی مدنظر بوده و نیاز به قالب برداری فوری باشد، نظیر بتن‌ریزی در آب. زودگیر بودن با خودگیری سریع متفاوت است؛ در بتنی که با این سیمان ساخته می‌شود گیرش اولیه مشابه سیمان پرتلند معمولی است ولی پس از آن مقاومت بتن سریع‌تر افزایش می‌یابد. به طوری که مقاومت ۳ روزه سیمان نوع ۳ برابر مقاومت ۷ روزه سیمان نوع ۱؛ و مقاومت ۷ روزه آن برابر مقاومت ۲۸ روزه سیمان نوع ۱ است. علت این امر ریز بودن ذرات این نوع سیمان است. همچنین به علت بالاتر بودن حرارت آب‌گیری سیمان نوع ۳ نسبت به سیمان‌های دیگر، استفاده از آن در هوای سرد پیشنهاد می‌شود. از این سیمان در ساخت قطعات پیش ساخته نیز استفاده می‌کنند.

۴.۷.۱۲. سیمان نوع ٤ (سیمان کم حرارت) – Low-heat Portland Cement

این سیمان دارای کم‌ترین حرارت آب‌گیری است بنابراین از آن در بتن‌ریزی‌های حجیم نظیر سد سازی و نیز در هوای گرم استفاده می‌شود. البته طبیعی است که رشد مقاومت آن هم کم بوده و باید مدت زمان بیشتری از بتن آن مراقبت کرد.

۵.۷.۱۲. سیمان نوع ۵ (ضد سولفات) – Sulfate-resisting Portland Cement

مقاومت این سیمان در برابر حمله سولفات‌ها بالاست چون مقدار آلومینیات کلسیم (C_3A) در آن کمتر است. سولفات‌ها ممکن است در خاک‌ها و آجرهای رسی، آب‌های زیرزمینی و آب دریا وجود داشته باشند بنابراین از این سیمان می‌توان در کارهای دریایی، ساختن پل‌ها، اسکله‌ها و... استفاده کرد. مقاومت این سیمان همانند نوع ۱ است ولی کندتر به مقاومت نهایی می‌رسد و حرارت کمتری نیز آزاد می‌کند. رنگ آن نیز از سیمان‌های دیگر تیره‌تر است. سیمان نوع ۵ نباید در مجاورت کلرور کلسیم قرار گیرد زیرا در این صورت مقاومت آن در برابر سولفات‌ها کاهش می‌یابد.

برای کم کردن مقدار C_3A در سیمان نوع ۵، باید مقدار اکسید آهن، زیاد و اکسید آلومینیوم، کم شود. لذا این سیمان را به علت زیاد بودن اکسید آهن در آن، سیمان آهنی (Iron cement) نیز می‌نامند.

۸.۱۲. سیمان‌های ویژه

۱.۸.۱۲. سیمان سرباره (روباره کوره آهن‌گدازی) – Slag Cement

سرباره، دورریز کوره‌های بلند ذوب فلزات است. در کارخانه ذوب آهن، مقداری گداز آور و سنگ آهک هم همراه با سنگ آهن وارد کوره می‌کنند. این مواد به همراه برخی مواد دیگر به علت سبکی روی آهن مذاب قرار می‌گیرند. این سرباره‌ها را جمع کرده و به سرعت با آب سرد می‌کنند تا تشکیل بلورهای سیلیس در آن‌ها به تأخیر بیفتد. در این صورت سرباره‌ها ناپایدار خواهند بود و فعالیت آن‌ها بسیار بالاتر از حالتی است که به کندی سرد شوند. در نهایت این سرباره‌ها را همراه با کلینکر و سنگ گچ آسیاب می‌کنند و سیمان حاصل را، سیمان سرباره یا سیمان متالوژی می‌نامند. میزان سرباره نباید

کمتر از ۳۰٪ و بیشتر از ٦۰٪ وزن سیمان حاصل باشد. سیمان سرباره در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی در مقابل عوامل شیمیایی، رطوبت و حرارت مقاوم‌تر است، حرارت آب‌گیری کمتری دارد و طبیعتاً رشد مقاومت آن نیز کندتر است ولی مقاومت نهایی آن با سیمان معمولی برابر است. تنها مشکل آن این است که مقاومت آن در هوای سرد و یخبندان به سرعت افت می‌کند. مزیت اصلی سیمان سرباره این است که از سیمان معمولی بسیار ارزان‌تر (تقریباً نصف قیمت آن) است.

۲.۸.۱۲. سیمان تراس یا سیمان پوزولانی – Pozzolanic Cement

پوزولان (گرفته شده از نام منطقه‌ای در ایتالیا) یا تراس ماده‌ای سیلیسی است که در طبیعت به صورت سنگ یافت می‌شود. اگر سنگ پوزولان را پودر کرده و با گرد آهک شکفته مخلوط کنند، خاصیت چسبندگی می‌یابد که این مخلوط را سیمان طبیعی می‌نامند. ولی در صورتی که ٤۰–۲۰٪ پوزولان را همواره با کلینکر سیمان پرتلند و مقداری سنگ گچ مخلوط و آسیاب کنند، سیمان پوزولانی حاصل می‌شود. سیمان پوزولانی در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی ارزان‌تر، نرم‌تر و در برابر نفوذ آب و حمله سولفات مقاوم‌تر است. بر همین مبنا می‌توان از آن در سازه‌های دریایی استفاده کرد. خودگیری اولیه این سیمان از سیمان پرتلند معمولی کندتر و در نتیجه کم حرارت‌تر است و سخت شدن نهایی آن تا ۱۲ ماه به طول می‌انجامد ولی مقاومت نهایی آن‌ها برابر است. همچنین بتنی که با این سیمان ساخته شود کمتر ترک می‌خورد.

بر اساس استاندارد آلمان سیمان پرتلند معمولی، سیمان سرباره و سیمان پوزولانی از لحاظ مقاومت هم ردیف هستند.

تصویر شماره ۱٤.۱۲. سرباره کوره آهن گدازی

تصویر شماره ۱۵.۱۲. پوزولان

۳.۸.۱۲. سیمان آلومینیومی (برقی) – Aluminous Cement

افزایش اکسید آلومینیوم در سیمان باعث می‌شود که واکنش‌های ترکیبی آهک افزایش یافته و مقدار آهک زنده در سیمان بسیار کاهش یابد. به این ترتیب سیمان در برابر حمله سولفات‌ها نیز مقاوم می‌شود. به این سیمان را سیمان نسوز یا فوندو (Fondu Cement) نیز می‌گویند چون می‌تواند حداکثر حرارتی معادل ۱۳۷۰ درجه سانتیگراد را تحمل کند[۱]. از این رو آن را برای عایق‌کاری کوره‌ها و بتن‌ریزی ماشین آلات سنگین و حرارت‌زا به کار می‌برند. نرمی این سیمان از سیمان پرتلند معمولی کمتر و گیرش اولیه آن نیز آهسته‌تر است. اما پس از آن به سرعت سخت می‌شود و حرارت زیادی آزاد می‌کند[۲]. به طوری که پس از ٢٤ ساعت مقاومتی برابر مقاومت سیمان معمولی ۲۸ روزه خواهد داشت. ولی به علت قیمت بالا، کاربرد آن به اماکن و ساختمان‌هایی محدود می‌شود که باید به سرعت مورد بهره برداری و بارگذاری قرار گیرند. این سیمان نباید با هیچ ماده دیگری حتی سیمان پرتلند معمولی مخلوط شود، در غیر این صورت گیرش آن ناگهانی خواهد بود.

٤.۸.۱۲. سیمان بنّایی – Masonry Cement

در کارهای بنایی، ساخت ملات، نازک کاری و... احتیاج به سیمان مرغوب پرتلند با هزینه و کیفیت بالا نیست. سیمان بنّایی از ترکیب سیمان پرتلند معمولی با مقداری پودر سنگ بسیار ریز و برخی مواد افزودنی دیگر ساخته می‌شود. مقاومت آن از سیمان پرتلند معمولی کمتر است ولی چسبندگی خوبی دارد و ارزن‌تر است.

۵.۸.۱۲. سیمان چاه کنی (چاه نفت) – Oil Well Cement

سیمان چاه نفت مخلوط سیمان پرتلند معمولی با سیمان پوزولانی است که برای آب-بندی و درزگیری چاه نفت به کار می‌رود. این سیمان دیرگیر است و تحمل دما و فشار

۱. البته این نام‌گذاری صحیح نیست زیرا نسوزها باید در دمای زیر ۱۵۸۰ درجه سانتیگراد ذوب نشوند.
۲. حرارت آب‌گیری سیمان آلومینیومی برابر حرارت آب‌گیری سیمان پرتلند است ولی به علت زودگیر بودن، این حرارت سریع و یک مرتبه آزاد می‌شود. بنابراین نباید از آن در مناطق گرمسیر استفاده کرد.

بسیار بالا را دارد به طوری که در حرارت زیاد چاه‌های خیلی گود نفت نیز، مانند روی زمین می‌گیرد و سخت می‌شود.

۶.۸.۱۲. سیمان انبساطی (ورم کن) – Expansive Cement

کلیه مصالح ساختمانی به جز گچ هنگام سخت شدن اندکی کاهش حجم پیدا می‌کنند ولی سیمان انبساطی هنگام سخت شدن حدود ۱٪ ازدیاد حجم می‌یابد. علت این امر بیشتر بودن مقدار آلومینات و سولفات آن نسبت به سیمان پرتلند معمولی است. از این سیمان جهت اندود دیوار آب انبارها و نیز آب‌بندی درز استخرها استفاده می‌کنند.

۷.۸.۱۲. سیمان ضد آب – Water-repellent Cement

هنگامی که سیمان باید به مدت چند ماه انبار شود، برای جلوگیری از اثر آب و رطوبت بر آن، سیمان ضد آب تولید می‌کنند. بدین صورت که هنگام تولید طی فرآیند خاصی لایه‌ای ضد آب دور ذرات سیمان ایجاد می‌کنند. هنگام اختلاط سیمان با آب جهت مصرف، این لایه ضد آب از بین می‌رود و سیمان با آب واکنش می‌دهند ولی شروع این واکنش و خمیری شدن سیمان چند دقیقه دیرتر از سیمان پرتلند معمولی است.

۸.۸.۱۲. سیمان سفید – White Cement

در تولید سیمان سفید باید عناصر رنگی از قبیل اکسیدهای آهن، مس، کرم، تیتان و منگنز در مواد اولیه به حد صفر برسند. برای این منظور از سنگ آهک خالص و خاک کائولن سفید که فاقد اکسیدهای رنگی آهن است، استفاده می‌کنند. اکسید آهن نقش گدازآور دارد و درجه دمای پخت را پایین می‌آورد، در سیمان سفید این نقش را یکی از مواد اکسید آلومینیوم، گچ، فلدسپات، شیشه، کلرور منیزیم و یا کریولیت ایفا می‌کنند. استفاده از این مواد و نیز لزوم استفاده از آسیاب‌های سرامیکی در تولید سیمان سفید، هزینه آن را تا ۲ برابر سیمان معمولی افزایش می‌دهد. در عوض نرمی سیمان سفید بسیار بالاست (۴۰۰۰–۳۷۰۰ بلین) بنابراین بتن حاصل از آن مقاومت بیشتری نسبت به بتن‌های معمولی دارد. از این سیمان در نما سازی، ساخت آجر موزائیک، کاشی کاری،

کارهای هنری و... استفاده می‌کنند و معمولاً همراه با سنگ‌دانه‌های مخصوص به کار می‌رود. در ساخت ملات با سیمان سفید باید بسیار دقت شود زیرا اگر در اوایل سن، کثیف شود تمیز کردن آن بسیار دشوار خواهد بود.

تصویر شماره ۱۶.۱۲. سیمان سفید در کنار موزائیک

۹.۸.۱۲. سیمان رنگی – Colored Cement

جهت تهیه سیمان رنگی ۱۰-۵٪ رنگ‌های معدنی را همراه با کلینکر سیمان آسیاب می‌کنند. می‌توان این رنگ‌ها را هنگام مصرف نیز به سیمان اضافه کرد. رنگ‌ها نباید بر خواص سیمان تأثیر گذار باشند. با سیمان پرتلند معمولی تنها می‌توان رنگ‌های سرخ، قهوه‌ای و سیاه تهیه کرد، برای ساخت سیمان‌های رنگ دیگر باید از سیمان سفید استفاده کرد. مواد رنگی مورد استفاده در سیمان عبارتند از: اکسید آهن (زرد، قرمز، قهوه‌ای، سیاه)، اکسید منگنز (قهوه‌ای، سیاه)، اکسید کروم (سبز)، آبی کبالت (آبی)، لاجورد اصل (سورمه‌ای) و کربن (سیاه).

۱۰.۸.۱۲. فرآورده‌های پنبه‌کوهی-سیمان (سیمان‌آزبستی) – Asbestos Cement

پنبه کوهی (پنبه نسوز – آزبست) نوعی کانی الیافی شکل است که عمدتاً به عنوان نسوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محصول می‌تواند موجب مسلح شدن سیمان و افزایش مقاومت کششی و خمشی آن شود. بنابراین از مخلوط پنبه کوهی (۲۰-۱۰٪)، سیمان و آب فرآورده‌های متنوعی نظیر صفحات مسطح و موج‌دار جهت استفاده در نما و سقف کارخانجات و انبارها، پانل‌های ساندویچی و دیوارهای جدا کننده، لوله و قطعات اتصال برای لوله‌ها، دودکش و... می‌سازند.

فرآورده‌های پنبه کوهی-سیمان که به آن‌ها اختصاراً پنکوسیم نیز می‌گویند، دارای خاصیت فنری بوده و به راحتی خم می‌شوند. علاوه بر این دارای وزن مخصوص اندک، ضریب هدایت حرارتی و الکتریکی پایین، مقاومت زیاد در برابر آب و یخبندان و نمک‌های محلول در آب هستند. البته زمانی که این فرآورده‌ها از آب اشباع شوند، مقاومتشان کاهش یافته و شکننده می‌شوند.

با توجه به سرطان‌زا بودن پنبه کوهی، در برخی از کشورها کاربرد آن ممنوع شده است. ولی مصرف این ماده در فرآورده‌های پنبه کوهی-سیمان هنوز در اغلب کشورها ادامه دارد. زیرا مقدار پنبه کوهی در این فرآورده‌ها کم است و از طرفی ذرات پنبه کوهی با لایه‌ای سیمان کاملاً پوشانده می‌شوند. با وجود این استفاده از ماسک و پوشش‌های مناسب دیگر برای کارگرانی که با این ماده کار می‌کنند ضروری است.

تصویر شماره ۱۷.۱۲. پنبه کوهی (آزبست)

تصویر شماره ۱۸.۱۲. صفحات موج‌دار سیمان ازبستی

۱۰.۱۲. راهنمای شناخت سیمان مرغوب

سیمان مرغوب طبق استاندارد ایران باید مشخصات مذکور در جدول صفحه بعد را دارا باشد.

جدول شماره ۳.۱۲. استانداردهای سیمان‌های پرتلند در ایران

استانداردهای سیمان‌های پرتلند در ایران	انواع سیمان				
		II	III	IV	V
۱. ریزی دانه‌ها، سطح ویژه، به cm^2	۲۶۰۰	۲۶۰۰	–	۲۶۰۰	۲۶۰۰
۲. افزوده شدن حجم در آب جوش، به mm^3	۱۰	–	–	–	–
افزوده شدن حجم، در گرم‌خانه به mm^3	–	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸
۳. گیرش اولیه نباید کمتر باشد از (دقیقه)	٤٥	٤٥	٤٥	٤٥	٤٥
گیرش نهایی نباید بیشتر از (ساعت)	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
٤. تاب فشاری ملات استاندارد به N/mm^2					
یک روز مانده در هوای نمناک	–	–	۱۲/٥	–	–
+ ۲روز مانده زیر آب	۹/٥	۸	۲٤	–	–
+ ٦ روز مانده زیر آب	۱۷/٥	۲٥	–	۷	۱۲/٥
+ ۲۷ روز مانده زیر آب	۳۱/٥	۳۱/٥	–	۱۸	۲۷
٥. تاب خمشی ملات استاندارد به N/mm^2					
یک روز مانده در هوای نمناک	–	–	۳/٥	–	–
+ ۲روز مانده زیر آب	۲	۱/٥	٥/٥	–	–
+ ٦ روز مانده زیر آب	۳	۳/٥	–	۲/٥	۳/٥
+ ۲۷ روز مانده زیر آب	٦	٥	–	٤/٥	٥
٦. حرارت هیدراتاسیون					
پس از ۷ روز، بیشینه به j/g	–	۲۹۰	–	۱۸۸	۲۰۹
پس از ۲۸ روز، بیشینه به j/g	–	۳۳٥	–	–	–

۱۱.۱۲. انبار کردن سیمان

شرایطی که در مورد نگهداری و انبار کردن گچ بیان شد، در مورد سیمان نیز صدق می‌کند. کیسه‌های سیمان باید در فضایی مسقف، دور از رطوبت و هوا انبار شوند به طوری که حدود ۱۰ سانتیمتر از زمین و دیوار جانبی فاصله داشته باشند و بهتر است که روی کیسه‌ها با نایلون پوشانده شود. نباید بیشتر از ۱۲–۱۰ کیسه روی هم چیده شوند تا تحت فشار ناشی از وزن خود قرار نگیرند و کلوخه نشوند. کلوخه شدن سیمان می‌تواند در اثر هوازدگی نیز باشد یا این‌که ممکن است در اثر حرارت، سنگ

گچ موجود در سیمان دو مولکول آب خود را آزاد کند و این آب جذب سیمان شده و آن را کلوخه کند. چنان‌چه کلوخه‌های سیمان در بین انگشتان به راحتی خرد نشوند، آن سیمان برای بتن سازی مناسب نیست. به طور کلی نگهداری سیمان کیسه‌ای بیشتر از ٦ هفته حتی در شرایط مطلوب، مقاومت آن را تا ٢٠٪ کاهش می‌دهد. در صورت امکان استفاده از سیمان فله‌ای و نگهداری آن در سیلوهای استاندارد، بهتر از سیمان کیسه‌ای است. زیرا این سیلوها عایق هوا و رطوبت هستند و با دمیده شدن هوا از زیر سیلو (دستگاه ایر اسلاید) از کلوخه شدن سیمان در اثر وزن خود جلوگیری به عمل می‌آید. همچنین سیمان فله‌ای ارزان‌تر و مقرون به صرفه‌تر است. البته باید توجه کرد که اگر سیمان بیشتر از ٦ ماه در سیلو بماند، لایه سختی به ضخامت ٥ سانتیمتر در سطح آن ایجاد ایجاد می‌شود که از این لایه نباید در ساخت بتن استفاده کرد. بهتر است سیمان بیشتر از ٣ ماه در سیلو نگهداری نشود.

سیمان آلومینیومی باید جدا از سیمان‌های دیگر انبار شود زیرا این سیمان نباید به هیچ ماده‌ای آلوده گردد.

تصویر شماره ١٩.١٢. نحوه انبار کردن سیمان

تصویر شماره ٢٠.١٢. سیلوی نگهداری سیمان

فصل ۱۳

بتن

۱.۱۳.تاریخچه

بتن (Concrete) از مصالح ساختمانی جدید محسوب می‌شود و از ساخت و کاربرد آن به شیوه کنونی یک قرن هم نمی‌گذرد. اما در عین حال نشانه‌هایی از کاربرد بتن به شکلی خاص در بناهای تخت جمشید دیده شده است.

۲.۱۳. ضرورت استفاده و کاربرد بتن

در عصر حاضر که هر روز شاهد به وجود آمدن ساختمان‌های مرتفع، مستحکم و زیبایی در گوشه و کنار دنیا هستیم، به نظر می‌رسد که بتن باید به عنوان یکی از مواد اولیه این استحکام و زیبایی نزد همه دست اندرکاران صنعت ساختمان شناخته شده

باشد. مزایای عمده بتن از جمله کاربرد آسان، شکل پذیری، هزینه اندک، مقاومت فشاری بالا، دوام و استحکام زیاد بتن، آن را به پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی در جهان تبدیل کرده است. به طوری که بتن از ابتدای عملیات ساختمان سازی تا انتهای آن در اجرای فونداسیون، ستون، کف، سقف، پلکان، قسمت‌های مختلف سازه و حتی بخش‌های تزئینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این‌ها به علت مقاومت بالای بتن در برابر فشار، از آن در تونل سازی، پل سازی، راه سازی و... نیز استفاده می‌شود.

باید به این نکته توجه کرد که اگر کیفیت بتن ساخته شده مناسب نباشد، حتی اگر بهترین طراحان دنیا هم سازه‌ای از طراحی کرده باشند، ولی باز هم سازه از لحاظ کیفی زیر سؤال خواهد رفت. بنابراین دقت در ساخت، کنترل کیفیت و اجرای صحیح بتن از عوامل مؤثر در کاربرد مطلوب‌تر بتن است.

تصویر شماره ۱.۱۳. فونداسیون بتنی

۳.۱۳. مواد تشکیل دهنده بتن و تأثیر آن‌ها در بتن

بتن را می‌توان یک نوع سنگ مصنوعی دانست که از در هم ریختن و مخلوط کردن یک ماده چسباننده و یک ماده پر کننده ساخته شده است. ماده چسباننده بتن، دوغاب سیمان (آب + سیمان) و ماده پر کننده آن، سنگ‌دانه (شن و ماسه) است. نقش هر یک از این مواد در مخلوط بتن به قرار زیر است:

۱. آب سبب ایجاد واکنش فیزیکی و شیمیایی (هیدراتاسیون و هیدرولیز) در سیمان و خمیر شدن آن می‌شود. (میزان آب ۱۷/۳-۱۶٪ حجم بتن است.)
۲. دوغاب سیمان به صورت شیره‌ای اطراف سنگ‌دانه‌ها را پوشانده، باعث یکپارچه شدن و چسبیدن آن‌ها به یکدیگر می‌شود. (مقدار سیمان ۱۶-۷٪ حجم بتن است.)
۳. سنگ‌دانه‌ها اسکلت اصلی بتن را تشکیل داده و نیروی وارد بر بتن را تحمل

می‌کنند. (مقدار سنگ‌دانه‌ها بیش از ۷۰٪ حجم بتن است.)

مقدار کمی و کیفی آب، سیمان و سنگ‌دانه‌ها تأثیر عمده‌ای بر مقاومت بتن دارد. در کل مقاوکت بتن به عوامل زیر وابسته است:

۱. سیمان از نظر نوع، کیفیت و مقدار.
۲. آب از نظر کیفیت و مقدار.
۳. سنگ‌دانه‌ها از نظر جنس، دانه‌بندی، شکل و... .
٤. نحوه ساخت بتن، حمل بتن ساخته شده تا محل مصرف، عمل آوردن و نگهداری از بتن.
۵. عمر بتن و گذشت زمان نیز در ازدیاد مقاومت بتن مؤثر است.

۱.۳.۱۳. آب

برای تهیه بتن باید از آب آشامیدنی بدون بو و مزه استفاده کرد. گندآب‌ها، پساب‌ها، فاضلاب شهری و آب مرداب‌ها را نباید در ساخت بتن به کار برد. سختی آب نباید آن‌قدر کم باشد که آهک سیمان را در خود حل کند و نیز باید فاقد ناخالصی‌هایی نظیر مواد آلی و... باشد. زیرا این ناخالصی‌ها ممکن است بر سیمان و زمان گیرش آن تأثیر داشته باشند. همچنین آب ناخالص می‌تواند سبب زنگ زدگی میلگرد بتن مسلح شود. علاوه بر کیفیت آب، مقدار آن نیز در ساخت بتن مطرح است. مقدار آب در بتن به عوامل زیر بستگی دارد:

- غلظت بتن مورد نیاز: هر چه بتن غلیظ‌تری مورد نیاز باشد، آب کمتری مصرف می‌شود. بتن را به سه حالت سفت (برای ساخت بلوک بتنی)، خمیری (برای ساختن بتن مسلح که غلظت آن مانند عسل است و به آن بتن عسلی هم می‌گویند) و شل (برای اطراف ستون‌های فلزی و...) می‌سازند.
- مقدار سیمان مصرفی: هر چه میزان سیمان کمتر مصرف شود، آب کمتری مورد نیاز است.
- اندازه سنگ‌دانه‌های مصرفی: هر چه سنگ‌دانه‌ها درشت‌تر باشند، آب کمتری مورد نیاز است.
- رطوبت سنگ‌دانه‌های مصرفی: هر چه سنگ‌دانه‌ها مرطوب‌تر باشند، آب

کمتری مورد نیاز است.

- شکل سنگ‌دانه‌های مصرفی و زبری سطح آن‌ها: هر چه شکل دانه‌ها کروی‌تر و سطح آن‌ها صاف‌تر باشد، آب کمتری مورد نیاز است.
- نوع قالب: قالب فلزی کمتر از قالب چوبی آب بتن را جذب می‌کند.

میزان آب بتن را یا نسبت به وزن سیمان و یا نسبت به مجموع وزن سیمان و سنگ‌دانه‌ها مشخص می‌کنند. آب اضافه در بتن به تدریج تبخیر می‌شود و بتن را پوک کرده و از مقاومت آن می‌کاهد.

۲.۳.۱۳. سیمان – Cement

همان گونه که اشاره شد مقدار سیمان، نوع و کیفیت آن بر مقاومت بتن تأثیر گذار است. افزایش مقدار سیمان مقاومت بتن را افزایش می‌دهد. با این حال تأثیر کیفیت سیمان (سیمان مرغوب) بر مقاومت بتن به مراتب بیشتر از تأثیر مقدار آن در واحد حجم بتن (m^3) است. مخیزان سیمان باید به حدی باشد که دوغاب آن روی سنگ دانه‌ها را کاملاً بپوشاند و نیز فضاهای خالی بین سنگ‌دانه را پر کند. مصرف سیمان مازاد بر این مقدار در افزایش مقاومت بتن تأثیری ندارد و از نظر اقتصادی نیز به صرفه نیست. بتن را بر حسب عیار سیمان موجود در آن به سه دسته زیر تقسیم می‌کنند:

۱. بتن کم مایه (بتن مگر) : $\frac{kg}{m^3}$ ۱۵۰–۱۰۰ سیمان.
۲. بتن معمولی: $\frac{kg}{m^3}$ ۲۵۰–۱۵۰ سیمان.
۳. بتن پر مایه: $\frac{kg}{m^3}$ ۴۰۰–۲۵۰ سیمان. (در مصارف خاص، بتن با عیار سیمان $\frac{kg}{m^3}$ ۵۰۰ نیز تولید می‌شود.)

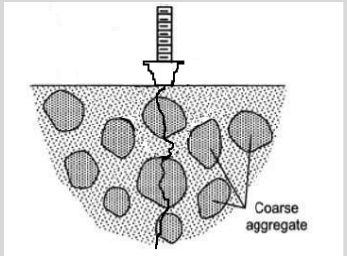
۳.۳.۱۳. سنگ‌دانه‌ها – Aggregate

سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در بتن از درشت‌دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) تشکیل شده‌اند که از خرد شدن سنگ‌ها به صورت طبیعی یا مصنوعی به دست می‌آیند. بعد دانه‌های ماسه معمولاً بین ۲–۰/۰۶ میلیمتر است. بعد دانه‌های شن مورد استفاده در بتن نیز باید بین ۷–۴/۵ میلیمتر باشد. سنگ‌دانه‌ها عامل اصلی ایجاد مقاومت در بتن هستند بنابراین باید ویژگی‌های زیر را دارا باشند:

- سالم و بدون پوسیدگی باشند.
- متخلخل نبوده و آب جذب نکنند. با آب ترکیب یا در آن حل نشوند.
- در برابر رطوبت، یخبندان و مواد شیمیایی مقاوم باشند.
- تمیز و عاری از گرد و غبار، لای، رس، مواد آلی، نمک‌ها و... باشند. این ناخالصی‌ها مانع چسبندگی سیمان و سنگ‌دانه‌ها می‌شوند و ممکن است در گیرش سیمان نیز تأثیر داشته باشند. از طرفی خاک رس تا ۸ برابر وزن خود آب می‌مکد و سبب خشک شدن دوغاب سیمان می‌گردد. برای تمیز کردن سنگ‌دانه‌ها معمولاً قبل از استفاده آن‌ها را با آب شستشو می‌دهند.
- مقدار دانه‌های تیز و گوشه‌دار در آن‌ها زیاد باشد. در این صورت بر میزان چسبندگی آن‌ها با سیمان افزوده می‌شود و فضای خالی بین آن‌ها (فرج) نیز کم‌تر شده و مقاومت بتن افزایش می‌یابد.
- مقاومت سنگ‌دانه‌ها باید از مقاومت بتن مورد نیاز بیشتر باشد. به طوری که حداقل مقاومت فشاری آن‌ها $۸۰۰ \frac{kg}{cm^۲}$ باشد.
- سختی آن‌ها بیشتر از ۳ باشد.

برای آزمایش پیوستگی مناسب بین سیمان و سنگ‌دانه‌ها، یک مقطع بتنی را تحت فشار می‌شکنند. در این صورت باید قسمتی از مصالح سنگی بدون جدا شدن از سیمان شکسته شوند. ولی اگر تمامی سنگ‌دانه‌ها بشکنند دلیل بر سست بودن آن‌ها است.

تصویر شماره ۲.۱۳. سنگ‌دانه‌های مصرفی در بتن



تصویر شماره ۳.۱۳. آزمایش پیوستگی بین سیمان و سنگ‌دانه‌ها

در ساخت بتن‌های ویژه از سخت‌دانه‌های دیگری نیز استفاده می‌شود که در مباحث بعدی به آن‌ها خواهیم پرداخت.

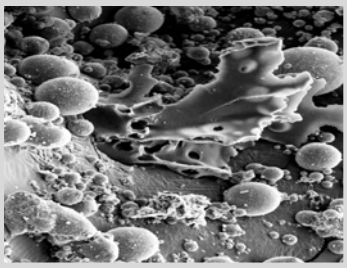
جدول شماره ۱.۱۳. نسبت مخلوط سیمان به سنگ‌دانه برای انواع مختلف بتن

نسبت سیمان به سنگ‌دانه	بتن میان وزن	بتن سبک
۱ به ۱/۵	بتن سفت برای کف سازی	بتن خیلی سبک برای گرمابندی
۱ به ۲ تا ۱ به ۳	ملات اندود، بتن ریزدانه	بتن پوک کفی، بتن گازی
۱ به ٤ تا ۱ به ۵	بتن آرمه، بتن راه و سنگ‌های بتنی	بتن پوشالی برای بارگذاری کم و سنگ‌های بتنی
۱ به ٦	بتن پی منفرد	–
۱ به ۸ تا ۱ به ۱۲	بتن‌های پیوسته و سنگ بتنی برای دیوار سازی	سنگ بتنی برای دیوار سازی

٤.۱۳. نحوه ترکیب اجزاء بتن و ساخت آن

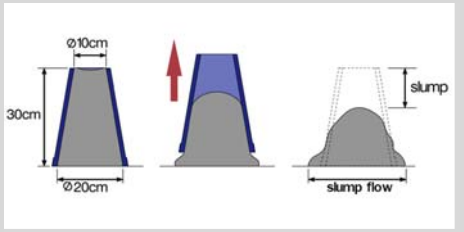
امروزه برای تولید بتن از دستگاه‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود و ساخت آن به طریق دستی توصیه نمی‌شود. در دستگاه‌های بتن ساز (Batching) ابتدا شن و ماسه با هم مخلوط شده و برای رسیدن به یکنواختی مناسب، خوب هم‌زده می‌شوند. سپس سیمان به آن‌ها اضافه شده و باز هم چندین بار زیر و رو می‌گردند. در نهایت دستگاه در حین چرخیدن و هم‌زدن، آب را به مواد اضافه کرده و حداکثر ۱/۵ دقیقه آن‌ها را هم‌می‌زند. اگر این زمان از ۱/۵ دقیقه فراتر رود، سنگ‌دانه‌های درشت‌تر از ملات جدا می‌شوند. ۲۰ دقیقه پس از ساخت بتن باید آن را مورد استفاده قرار داد و در قالب ریخت. (این زمان بر حسب نوع سیمان و شرایط محیطی متفاوت است.)

تصویر شماره ٤.۱۳. دستگاه بتن ساز



تصویر شماره ۵.۱۳. ساختمان بتن

پس از ساخت بتن باید با توجه به نوع کاربرد آن، از لحاظ خمیری و روانی کنترل شود. برای آزمایش روانی بتن (Slump) از یک مخروط ناقص به قطر تحتانی ۲۰ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر استفاده می‌کنند. بدین صورت که مخروط را از سر آن در سه لایه مساوی از بتن پر می‌کنند و هنگام ریختن هر لایه، به مخروط ۲۵ ضربه چوب می‌زنند تا بتن کاملاً در آن جا گیرد. سپس مخروط را برمی‌دارند. میزان نشست بتن از ارتفاع اولیه، بر حسب سانتیمتر را عدد اسلامپ گویند که معرف روانی بتن است.



تصویر شماره ٦.١٣. دیاگرام نشان دهنده آزمایش روانی بتن (Slump)

تصویر شماره ۷.۱۳. میزان اسلامپ بتن

جدول شماره ۲.۱۳. روانی توصیه شده برای بتن‌های با کاربرد گوناگون

روانی	توصیف روانی	کاربرد
۰–۵	خیلی کم	بتن پیش ساخته با لرزش زیاد
۲–۸	کم	بتن‌ریزی شالوده‌ای و ساده، در سطح وسیع
۵–۱۳	متوسط	بتن ریزی معمولی در ستون، دیوارها و بتن‌ریزی با پمپ
۱۳–۲۰	زیاد	فقط در شرایط استثنائی ومواقعی که امکان لرزاندن بتن نیست

۵.۱۳. خواص بتن

۱.۵.۱۳. خواص فیزیکی

- **وزن مخصوص:** هر چه دانه‌های سنگی سبک‌تر باشند، بتن حاصل سبک‌تر و مقاومت مکانیکی آن کمتر است. وزن مخصوص بتن‌های مختلف بین ۰/۳–۵ $\frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد.
- **مقاومت در برابر یخبندان:** بتنی که تخلخل آن بین ۲۵–۸٪ باشد، در برابر

عوامل جوی و یخبندان تا حدی مقاوم است ولی اگر درون بتن پوک باشد، آب از شکاف‌های موئینه بتن وارد آن شده و با یخ زدن و ازدیاد حجم، سبب ایجاد ترک در بتن می‌گردد. جهت مقاوم کردن بتن در برابر یخبندان به آن مواد افزودنی حباب‌زا اضافه می‌کنند که در مبحث «افزودنی‌های بتن» شرح داده خواهد شد.

- **بافت بتن:** بتن سخت شده در حالت عادی بدون بافت است ولی می‌توان با استفاده از قالب‌هایی که جدار داخلی آن‌ها طرح‌دار است، سطح بتن را بافت‌دار کرد.

تصویر شماره ۸.۱۳ انواع بافت بتن

۲.۵.۱۳. خواص شیمیایی

- **اثر اسیدها و بازها بر بتن:** در مناطق صنعتی و مرطوب گازهای اسیدی نظیر SO_2 و CO_2 باعث حل شدن قسمتی از سیمان سخت شده و خروج آن از بتن به صورت خمیری نرم می‌شوند. محلول‌های رقیق بازهایی نظیر سود و پتاس بر بتن تأثیری ندارد ولی تماس مستقیم بتن با برخی بازهای غلیظ باعث آسیب آن می‌شود.
- نمک‌های ذوب یخ نیز می‌توانند تأثیرات نامطلوبی بر بتن ایجاد کنند.

۳.۱۵.۱۳. خواص مکانیکی

- **مقاومت فشاری:** این مقاومت عمدتاً ناشی از سنگ‌دانه‌های بتن است و مقدار آن در بتن‌های مختلف، متفاوت است. میزان مقاومت فشاری بتن را از طریق اعمال فشار بر سطح کاملاً صاف نمونه استوانه‌ای یا مکعب مستطیلی

بتن اندازه گیری می‌کنند و فشار را تا زمانی که بتن ترک بردارد، ادامه می‌دهند. مقاومت بتن در سه دوره: بعد از سه روز، بعد از ۷ روز و بعد از ۲۸ روز سنجیده می‌شود. مقاومت بتن ۲۸ روزه را مقاومت مبنا برای بارگذاری در نظر می‌گیرند. (در برخی از کشورها مقاومت بتن ۹۰ روزه مد نظر قرار می‌گیرد.) در بتن معمولی مقاومت ۷ روزه حدود ٦۰٪ مقاومت ۲۸ روزه آن است و مقاومت بتن ۹۰ روزه، ۲۵٪ از بتن ۲۸ روزه بیشتر است.

- **مقاومت کششی:** این پارامتر در بتن اندک و فقط ۱۰٪ مقاومت فشاری آن است. گاهاً نیز ترک‌های ریز ناشی از انقباض بتن در هنگام خودگیری، مقاومت کششی آن را به صفر می‌رسانند. بر همین مبنا جهت اصلاح این مقاومت و جلوگیری از ایجاد ترک در بتن از فولاد استفاده می‌کنند.
- **مقاومت خمشی:** مقاومت خمشی بتن ۱/۹–۱/۳ برابر مقاومت کششی آن است و برای بتن معمولی بین ٦–۲ مگا پاسکال محاسبه شده است.
- **مقاومت برشی:** مقدار این مقاومت از طریق محاسبات به دست می‌آید و حدود ۲–۱/۵ برابر مقاومت کششی بتن است.
- **سختی:** این پارامتر در بتن بستگی به جنس سیمان، سختی سنگ‌دانه‌ها و دانه‌بندی آن‌ها دارد. هر چه جنس سیمان بتن بهتر، سنگ‌دانه‌ها سخت‌تر و دانه‌بندی آن‌ها متراکم‌تر باشد، سختی بتن افزایش می‌یابد.

٦.۱۳. انواع بتن

بتن‌ها بر اساس تفاوت در وزن و خواص مواد تشکیل دهنده آن‌ها به سه دسته کلی بتن سبک، بتن معمولی و بتن سنگین تقسیم می‌شوند.

۱.٦.۱۳. بتن سبک – Light Weight Concrete

انواع بتن‌های سبک دارای وزن مخصوصی حدود $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۸–۰/۳ هستند و به سه روش ساخته می‌شوند:

۱. با حذف ریزدانه از دانه‌بندی بتن معمولی (بتن بدون ریزدانه – بتن اسفنجی)

۲. جانشین کردن سنگ‌دانه‌های بتن معمولی با دانه‌های دیگری نظیر سرباره کوره آهن گدازی، پلی استایرن منبسط شده، پرلیت، شیل، ورمیکولیت، سنگ پا (کف سنگ بازالتی)، دانه رس منبسط شده و انواع پوکه‌های معدنی و صنعتی دیگر.

۳. ایجاد حباب هوا یا گازهای دیگر در دوغاب سیمان (بتن گازی).

از بتن‌های سبک در ساختمان سازی‌های صنعتی، ساخت قطعات پیش ساخته با وزن کم، تیغه چینی، گرمابندی، شیب بندی و... استفاده می‌کنند. هم اکنون بتن سبک در اروپا تحت نام‌های ایتونگ (Ytong) و هبلکس (Hebelex) عرضه می‌شود.

تصویر شماره ۹.۱۳. پانل‌های دیواری ایتونگ

تصویر شماره ۱۰.۱۳. قابلیت اره شدن بلوک‌های ایتونگ

تصویر شماره ۱۱.۱۳. ساخت مجسمه‌های تزئینی با ایتونگ

ویژگی‌ها و مزایای بتن سبک نسبت به بتن معمولی و دیگر مصالح، عبارتند از:

۱. کاهش بار مرده ساختمان و سازه به علت وزن کم. یک عدد بلوک بتنی سبک ۲۵×۲۵×۶۰ از نظر ابعاد مساوی با ٤٦ عدد آجر است در حالی که وزن آن برابر با وزن ۱۰ عدد آجر است. در ضمن ملات مصرفی برای بتن سبک، ۲۵٪ ملات مورد نیاز برای اجرای همان دیوار با آجر بوده و به درصد سیمان کمتری نیز در ملات نیاز دارد.

۲. صرفه جویی در هزینه حمل و دستمزد بنایی.

۳. سرعت اجرای این محصول بالاست. به علت سیال بودن بتن سبک، عمل بتن‌ریزی به مراتب سریع‌تر از بتن معمولی انجام می‌شود و در این سیستم عمل ویبره (در مباحث آتی شرح داده خواهد شد) حذف می‌شود. همچنین به علت فشار کمتر بر قالب، می‌توان از قالب‌های وسیع‌تر استفاده کرد.

٤. این بتن با توجه به سیال بودنش داخل تمامی حفره‌ها نفوذ کرده و تمام

روزنه‌ها را پر می‌کند.

۵. به راحتی قابل اره کردن (برای کانال عبور سیم، محل پریز و...) و میخ کوبی است. همچنین به راحتی می‌توان از آن حفره برداری کرد. (استفاده در کارهای تزئینی و مجسمه سازی)

٦. در برابر زلزله، آتش سوزی و یخبندان از بتن‌های معمولی مقاوم‌تر است ولی مقاومت فشاری آن کمتر است.

۷. هنگام خودگیری و خشک شدن انقباض کمتری نسبت به بتن معمولی دارد.

۸. با توجه به سطح صاف و صیقلی بتن‌های سبک نسبت به سایر مصالح، در صورت اجرای صحیح دیوارها، در هر طرف دیوار به اندودی بیش از یک سانتیمتر نیاز نخواهد بود.

۹. تخلخل این بتن موجب می‌گردد که در برابر حرارت و صوت عایق باشد.

۱۰. بر خلاف بتن معمولی، آب را دفع می‌کند. بنابراین می‌توان از آن در ایزولاسیون کف و بام استفاده کرد. (هر ۵ سانتیمتر بتن سبک هوادار معادل یک لایه قیر اندود عمل می‌کند.)

۱۱. ضایعات بتن سبک به عنوان پوکه مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالی که ضایعات بسیاری از مصالح دیگر عملاً بلا استفاده است.

در ادامه برخی از انواع بتن‌های سبک بررسی خواهد شد.

۱.۱.٦.۱۳. بتن بدون ریزدانه (بتن اسفنجی) – No-fines Concrete

در ساخت بتن اسفنجی از سنگ‌دانه‌های ریز نظیر ماسه استفاده نمی‌شود. همچنین ساخت این بتن نسبت به انواع دیگر بتن آب کمتری نیاز دارد بنابراین پس از ساخت، آب در مدت یک ساعت کاملاً تبخیر می‌شود. در ساختار این بتن حدود ۲۵–۱۵٪ حجم آن فضای خالی وجود دارد و این امر عبور آب از داخل آن را ممکن می‌سازد. بنابراین زیرسازی این بتن نباید از مصالح غیر قابل نفوذ باشد. در مناطق ماسه‌ای، بتن اسفنجی مستقیماً روی ماسه قرار می‌گیرد.

در واقع با وجود بتن اسفنجی نیازی به ساختن جوی‌های فراوان در سطح شهر و

در کنار خیابان‌ها نیست. زیرا این بتن هر گونه بارندگی را مستقیماً به زمین و سفره‌های آب زیرزمینی منتقل می‌کند. همچنین در مناطق سردسیر، عبور آب از این بتن، مانع یخ-زدگی سطح معابر می‌شود. لذا از بتن اسفنجی در ساخت پیاده‌روها، محوطه سازی پارک‌ها، پارکینگ‌ها، معابری که مشکل آب‌گیری دارند و نیز در مکان‌هایی که نیاز به زمین خشک است مثل زیرسازی چمن‌های استادیوم فوتبال استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ۱۲.۱۳. بتن اسفنجی

تصویر شماره ۱۳.۱۳. بتن اسفنجی

۲.۱.٦.۱۳. بتن سبک تولید شده با انواع سبک‌دانه‌ها

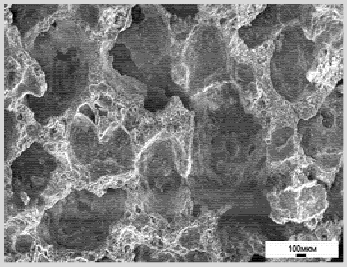
- **بتن سبک با پوکه سرباره کوره آهن گدازی:** این سرباره مذاب محصول فرعی کوره آهن گدازی است که آن را در برابر فشار زیاد آب سرد کرده و به شکل سنگ در می‌آورند. سپس آن را خرد کرده و به عنوان پر کننده در بتن مورد استفاده قرار می‌دهند. کاربرد این بتن در مکان‌هایی است که مستلزم مقاومت فشاری بالا و تحمل بار می‌باشند.
- **بتن سبک با دانه رس منبسط شده:** از بتن ساخته شده با این دانه در محل-هایی که تحمل بار لازم است، استفاده می‌کنند.
- **بتن سبک با پرلیت منبسط شده:** پرلیت نوعی سنگ آتش فشانی شیشه‌ای شکل است که آن را حرارت می‌دهند تا با ایجاد بخار در آن منبسط شود و ماده‌ای متخلخل به دست آید. بتن تولید شده با این ماده مقاومت فشاری و تحمل بار اندکی دارد و هنگام خودگیری دچار انقباض زیادی می‌شود ولی عایق حرارتی مناسبی محسوب می‌گردد.
- **بتن سبک با پلی استایرن منبسط شده:** پلی استایرن نوعی پلاستیک است.

(رجوع شود به فصل «پلاستیک‌ها») بتن ساخته شده با این دانه‌های گرد مقاومت فشاری اندکی دارد و معمولاً به عنوان عایق حرارتی به کار می‌رود.

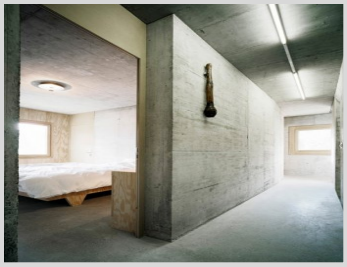
- **بتن سبک با ورمیکولیت:** ورمیکولیت نوعی کانی است که در اثر حرارت تا ۳۰ برابر حجم اولیه خود، ازدیاد حجم می‌یابد و بسیار سبک وزن می‌شود. بتن ساخته شده با ورمیکولیت مقاومت فشاری اندک و انقباض زیادی هنگام خشک شدن دارد ولی عایق حرارتی مناسبی است.

۳.۱.٦.۱۳. بتن گازی – Gas Concrete

برای ساخت بتن گازی به خمیر بتن موادی نظیر گرد آلومینیوم اضافه می‌شود. این مواد هنگام گرفتن دوغاب سیمان زیر فشار بخار آب، در آن گاز تولید می‌کنند. بنابراین دوغاب سیمان هنگام گرفتن، ازدیاد حجم می‌یابد. برای این‌که جنس بتن گازی همگن باشد و در آن تخلخل ایجاد شود، لازم است ۳۰–۲۰٪ ماسه مصرفی در آن ریزتر از ۰/۲ میلیمتر باشد. بلوک‌های ساخته شده با بتن گازی به علت تخلخل بالا، عایق حرارتی مناسبی هستند و به عنوان دیوار جدا کننده به کار می‌روند. همچنین از قطعات مسلح شده بتن گازی برای کاربردهای نیمه سازه‌ای نظیر پانل‌های سقفی استفاده می‌کنند.



تصویر شماره ۱٤.۱۳. ساختمان بتن گازی

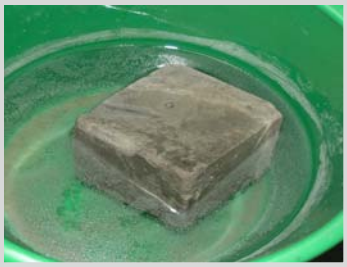


تصویر شماره ۱۵.۱۳. استفاده از بتن گازی در ساخت دیوار جدا کننده

٤.۱.٦.۱۳. بتن کفی (بتن حباب‌دار) – Foamed Concrete

برای ساخت بتن کفی، در کمپرسور کف ساز، امولوسیون ویژه‌ای می‌ریزند و از آن کف می‌سازند. کف حاصل را در مخلوط بتنی که سنگ‌دانه‌های آن از ماسه به درشتی حداکثر ۲ میلیمتر است، می‌ریزند و اندکی با هم مخلوط می‌کنند. این بتن عایق حرارت

و صوت بوده و در برابر یخبندان نیز مقاوم است، می‌تواند جایگزین بتن گازی شود و نیز در ساخت تیغه و شیب بندی بام مورد استفاده قرار گیرد. بتن کفی هنگام خشک شدن انقباض زیادی دارد. سطح خارجی آن نیز باید پرداخت شود تا از جذب آب توسط آن جلوگیری به عمل آید.



تصویر شماره ۱۶.۱۳. بتن کفی

۵.۱.۶.۱۳. بتن خرده آجری

با خرده‌های آجر باقیمانده در کارخانه آجر پزی هم بتن سبک می‌سازند. مقاومت فشاری این خرده آجرها نباید از ۱۰ مگا پاسکال کمتر باشد.

۲.۶.۱۳. بتن معمولی – Normal Weight Concrete

بتن معمولی دارای وزن مخصوصی بین $\frac{gr}{cm^3}$ ۲/۵–۱/۸ است و در ساخت آن از شن و ماسه طبیعی یا شکسته (مصنوعی) استفاده می‌کنند.

۳.۶.۱۳. بتن سنگین – Heavy Weight Concrete

بتن سنگین دارای وزن مخصوصی حدود $\frac{gr}{cm^3}$ ۵–۲/۵ است و از سنگ‌دانه‌های سنگین نظیر سنگ‌های آهنی، باریت (Borite) و... ساخته می‌شود. از این بتن در ساخت رآکتورهای هسته‌ای و پناهگاه‌ها استفاده می‌کنند.

۷.۱۳. بتن‌های ویژه

امروزه تعداد انواع بتن با ویژگی‌های خاص به بیش از ۱۰۰ نوع می‌رسد که در ادامه به صورت مختصر به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

۱.۷.۱۳. بتن ممتاز (پر مقاومت)

بتن ممتاز با سنگ سیلیسی و سیمان ممتاز ساخته می‌شود به طوری که مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن به بیش از ٦۰ مگا پاسکال می‌رسد.

۲.۷.۱۳. بتن پلیمری – Polymer Concrete

برای تهیه این بتن مقداری پلیمر نظیر لاستیک، پلی استر و... به مخلوط بتن اضافه می‌کنند. این پلیمرها باعث کاهش نفوذ آب و گاز به درون بتن سخت شده می‌شوند. از این بتن می‌توان برای پر کردن شکاف‌های ایجاد شده در نمای بتنی استفاده کرد.

۳.۷.۱۳. بتن الیافی – Fiber Concrete

در ساخت این بتن از الیافی نظیر پنبه نسوز، کنف مخصوص، الیاف شیشه، الیاف فولاد، پروپیلن و... استفاده می‌کنند. این الیاف‌ها مقاومت کششی، سختی بتن و شکل پذیری آن را افزایش می‌دهند و از ترک‌های ناشی از انقباض بتن هنگام گرفتن نیز جلوگیری می‌کنند. از این بتن بیشتر در کف سازی یا در سطوح پر انحنا استفاده می‌شود.

٤.۷.۱۳. بتن گوگردی – Sulphur Concrete

گوگرد به عنوان یک ماده ارزان قیمت در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد و سبب می‌شود که در مدت ۸-٦ ساعت به ۹۰٪ مقاومتش برسد. از بتن گوگردی در قطعات پیش‌ساخته استفاده می‌کنند ولی از معایب آن مقاومت کم در برابر یخبندان، شکنندگی و اثر خورندگی بر فولاد است. هنگام استفاده از این بتن، قالب‌ها را بیشتر پر می‌کنند، زیرا گوگرد ضمن سرد شدن منقبض می‌شود. در نهایت بتن اضافی با اره بریده می‌شود.

۵.۷.۱۳. بتن غلتکی – Roller-compacted Concrete

بتن غلتکی یا بتن متراکم شده با غلتک، بتنی است که با ارتعاش توسط غلتک‌های ویژه‌ای محکم و سخت شده است به طوری که عدد اسلامپ آن صفر است. کاربرد این بتن در سد سازی، اجرای سریع روسازی بزرگراه‌ها و... می‌باشد.

تصویر شماره ۱۷.۱۳.
بتن پلیمری

تصویر شماره ۱۸.۱۳. الیاف فولاد
مورد استفاده در بتن الیافی

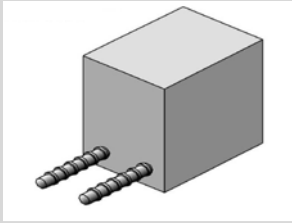
تصویر شماره ۱۹.۱۳.
بتن غلتکی

۸.۱۳. انواع محصولات بتنی

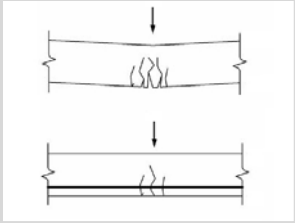
نیاز به اصلاح برخی از خواص بتن و نیز سرعت اجرای بیشتر، موجب ساخت برخی محصولات بتنی با ویژگی‌های خاص شده که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۱.۸.۱۳. بتن مسلح (بتن آرمه) – Reinforced Concrete

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد مقاومت کششی بتن بسیار کم است از این رو جهت اصلاح این پارامتر در بتن از فولاد که مقاومت کششی بالایی دارد استفاده می‌کنند. فولاد و بتن ضریب انبساط حرارتی تقریباً یکسانی دارند در نتیجه در اثر تغییرات دما در آن‌ها لغزش ایجاد نمی‌شود. فولاد به صورت میلگردهای آجدار کاملاً تمیز در بتن قرار می‌گیرد تا پیوستگی کامل بین میلگرد و بتن به وجود آید و با هم فشرده یا کشیده شوند. میلگردهای طولی نیروی کششی و میلگردهای عرضی (خاموت) نیروی برشی را تحمل می‌کنند. برای ساخت بتن مسلح از بتن خمیری (بتن عسلی) استفاده می‌کنند تا امکان متراکم کردن بتن اطراف میلگردها به خوبی فراهم شود. همچنین اندازه سنگ-دانه‌ها در بتن نباید از حداقل فاصله میلگردها بیشتر باشد. اگر اطراف میلگردها در بتن فضای خالی وجود داشته باشد، علاوه بر کاهش پیوستگی و کارآمدگی بتن مسلح، این امر موجب خوردگی فولاد و زنگ زدن آن می‌شود.



تصویر شماره ۲۰.۱۳. بتن مسلح



تصویر شماره ۲۱.۱۳. دیاگرام تحمل نیرو در بتن مسلح

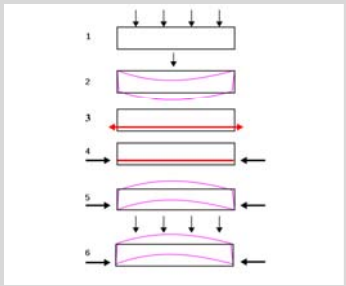
صویر شماره ۲۲.۱۳. آرماتورهای طولی و عرضی

۲.۸.۱۳. بتن پیش تنیده و پس تنیده

پیش تنیده کردن بتن موجب می‌گردد که بتن تحت کشش قرار نگیرد و همواره تحت فشار باقی بماند. برای ساخت این محصول کابل‌های فولادی را درون قالب قرار داده و با دستگاه آن‌ها را از دو طرف می‌کشند و دو انتهای آن‌ها را توسط قطعات مخصوص ثابت نگه می‌دارند. سپس بتن زودگیر را در قالب ریخته و هوای آن را خارج می‌کنند. پس از سخت شدن بتن، کابل‌های بیرون زده از در دو انتها را می‌برند.

بتن پیش تنیده ترک نمی‌خورد زیرا همیشه در هم فشرده می‌شود. این بتن را می‌توان به طول ۱۲۰ متر بدون درز اجرا کرد و برای بارهای یکسان، ابعاد و سطح مقطع آن از بتن معمولی کمتر است. از این محصول بتنی در پل‌های قوسی، پوشش گنبدی، مخازن استوانه‌ای و... استفاده می‌کنند.

در صورتی که بعد از بتن ریزی در قالب و سخت شدن آن، کابل‌های فولادی را از دو طرف به سمت بیرون بکشند و ثابت کنند، بتن پس تنیده حاصل می‌شود.



تصویر شماره ۲۳.۱۳. دیاگرام نحوه تحمل نیرو در بتن پیش تنیده

تصویر شماره ۲٤.۱۳. کابل‌های درون بتن پس تنیده

۳.۸.۱۳. بتن پیش ساخته – Precast Concrete

بتن پیش ساخته در کارخانه، نسبت به بتن‌های ساخته شده در کارگاه جنس بهتری دارد. در کارخانه بتن را در قالب‌هایی به ابعاد مختلف ریخته و در محفظه‌های بخار آب یا در گرمخانه در حرارت ۸۰ درجه سانتیگراد قرار می‌دهند تا سخت شوند. بدین روش بتن پس از ۱۰–۵ ساعت ۷۰٪ مقاومت ۲۸ روزه‌اش را به دست می‌آورد. این قطعات پیش ساخته بتنی سرعت اجرای کار را بالا برده و عملیات ساخت و ساز را اقتصادی‌تر می‌کنند. در ساختن بناهای پیش ساخته، معمولاً بتن پی را درجا می‌ریزند سپس قطعات بتن پیش ساخته را روی پی سوار می‌کنند. این قطعات را می‌توان در نما، کف، سقف و دیوارها مورد استفاده قرار داد. قطعات نما دارای سطح صاف‌تر و مرغوب‌تری هستند.

تصویر شماره ۲۵.۱۳. بتن پیش ساخته

۱.۳.۸.۱۳. بتن پیش ساخته عبور دهنده نور (لایتراکان) – Litracon

لایتراکان مخفف عبارت (Light Transmiting Concrete) است. این ماده ترکیبی از فیبرهای نوری و ذرات بتن می‌باشد که به صورت بلوک و صفحات پیش ساخته تولید می‌شود. فیبرها به علت اندازه کوچکشان با بتن مخلوط شده و تبدیل به یک جزء ساختاری می‌شوند. بدین ترتیب نتیجه کار صرفاً ترکیب دو ماده شیشه و بتن نیست، بلکه یک ماده سوم جدید به دست می‌آید که هم از حیث ساختار درونی و هم از حیث سطح بیرونی کاملاً همگن و یکنواخت است. فیبرهای شیشه سبب نفوذ نور به داخل بلوک‌ها می‌شوند. جالب‌ترین ویژگی این محصول این است که ضمن عبور نور از آن، دارای سایه نیز می‌باشد. همچنین رنگ نوری که از پشت این بتن دیده می‌شود، ثابت است. به عنوان مثال اگر نور سبز به بلوک بتابد، در پشت آن سایه‌ها سبز دیده می‌شوند.

فیبرهای شیشه‌ای هیچ تأثیر منفی‌ای روی مقاومت بتن ندارند بنابراین می‌توان از آن‌ها در سازه‌های باربر نیز استفاده کرد. همچنین این صفحات و بلوک‌ها می‌توانند در اندزه‌های مختلف و با عایق حرارتی خاص نصب شده روی آن‌ها تولید شوند.

٤.٨.١٣. لوله‌های بتنی – Concrete Pipe

از بتن می‌توان لوله‌های عظیم انتقال آب ساخت. بدین صورت که بتن را در قالب لوله می‌ریزند، آن را لرزانده و متراکم می‌کنند. سپس آن را از قالب خارج کرده و در محل نمناک قرار می‌دهند تا سفت و سخت شود. اگر در ساخت بتن از سیمان تراس یا پوزولانی استفاده کنند یا به بتن گرد دیاتمه[1] اضافه کنند، لوله بتنی آب‌بندی نیز می‌شود.

تصویر شماره ۲٦.۱۳. بتن عبور دهنده نور

تصویر شماره ۲۷.۱۳. بتن عبور دهنده نور

تصویر شماره ۲۸.۱۳. لوله‌های بتنی

۹.۱۳. افزودنی‌های بتن – Concrete Admixtures

افزودنی‌ها موادی هستند که جهت بهبود برخی خواص بتن به آن اضافه می‌شوند[2]. این مواد را به مقدار کم در هنگام ساختن بتن به آب آن، اضافه می‌کنند. مواد افزودنی نباید بر سیمان اثری داشته باشند یا موجب زنگ زدن میلگردها در بتن مسلح شوند.

---

۱. دیاتمه باقی مانده زره سیلیسی جانوران تک سلولی بسیار کوچکی است که عمرشان را تا ۱۵۵ میلیون سال تخمین زده‌اند. این ماده به صورت سفید، رنگی و یا آغشته به قیر یافت می‌شود و به عنوان عایق حرارت و صوت به کار می‌رود.

۲. عبارت «مواد افزودنی» و «مواد ترکیبی» نباید با معنی مترادف به کار روند. مواد ترکیبی موادی هستند که در مرحله تولید به سیمان اضافه می‌شوند در حالی که مواد افزونی در مرحله مخلوط کردن، به آب بتن افزوده می‌شوند.

۱.۹.۱۳. روان کننده‌ها (تقلیل دهنده‌های آب)

این مواد تأثیرات زیر را در بتن ایجاد می‌کنند:

۱. رسیدن به مقاومت بالاتر به وسیله کاهش نسبت آب به سیمان (با استفاده از دوده سیلیسی و مواد افزودنی فوق روان کننده می‌توان بتن‌هایی با مقاومت بیش از ۳۰۰ مگاپاسکال تولید کرد.)
۲. کاهش مقدار سیمان مصرفی با حفظ کارایی (روانی) بتن و در نتیجه کاهش حرارت آب‌گیری در توده بتن.
۳. سادگی بتن‌ریزی به وسیله افزایش کارایی (روانی) بتن.
٤. ایجاد بار منفی در سطح ذرات سیمان که موجب می‌گردد ذرات سیمان یکدیگر را دفع کنند و پراکندگی یکنواختی در مخلوط حاصل گردد.
۵. کاهش سایش بین سنگ‌دانه‌ها.

۲.۹.۱۳. تسریع کننده‌ها – Accelerators

این مواد سبب تسریع در گیرش ابتدایی بتن شده و رشد مقاومت آن را سریع‌تر می‌کنند. از این مواد در بتن‌ریزی در هوای سرد استفاده می‌شود. مهم‌ترین آن‌ها کلرورکلسیم ($CaCl_2$) به میزان کمتر از ۲٪ وزن بتن است که انقباض بتن را نیز کاهش می‌دهد ولی باعث خوردگی فولاد و آلومینوم می‌شود. بنابراین در بتن‌های مسلح و نیز در بتن‌هایی که در معرض آب‌های سولفات‌دار هستند بهتر است از تسریع کننده‌های دیگر نظیر کربنات سدیم، کربنات پتاسیم و... استفاده شود.

۳.۹.۱۳. کندگیر کننده‌ها – Retarders

کندگیر کننده‌ها زمان گیرش ابتدایی بتن را به تأخیر می‌اندازند. بنابراین رشد مقاومت بتن کاهش می‌یابد ولی بر میزان مقاومت نهایی تأثیری ندارد. این مواد عمل آب‌گیری را کند می‌کنند بنابراین نیاز به آب کمتری در بتن است و نسبت آب به سیمان $(\frac{W}{C})$ کاهش می‌یابد. کاربرد کندگیر کننده‌ها عبارتست از: بتن‌ریزی در هوای گرم، زمانی که فاصله بین ایستگاه بتن تا محل قالب زیاد است و نیز زمانی که بتن‌ریزی به صورت مداوم

ادامه دارد و نیاز است که بتن قبلی زود خشک نشود تا بین آن و بتن جدید پیوستگی به وجود آید، نظیر بتن ریزی در پل‌ها، در سقف و... .

۴.۹.۱۳. هوازاها – Air Entraining Agent

مواد هوازا حباب‌های بسیار ریز میکروسکوپی از هوا را به طور یکنواخت و جدا از هم در سراسر دوغاب سیمان ایجاد می‌کنند. این حباب‌ها سبب افزایش دوام بتن در برابر یخ زدن‌ها و آب شدن‌های مکرر، آب‌بندی و نفوذ ناپذیری بیشتر بتن، کم کردن اصطکاک داخل بتن در نتیجه افزایش کارایی (روانی) آن و تسهیل بتن‌ریزی می‌شوند.

تصویر شماره ۲۹.۱۳. بتن پیش ساخته

علاوه بر مواد افزونی یاد شده، مواد دیگری نیز جهت کاربردهای خاص به شرح زیر به بتن اضافه می‌شوند:

- **چسب بتن:** این چسب از رزین‌های مصنوعی پلیمری نظیر اکریلیک، استات و... ساخته می‌شود و باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی، دوام بتن، کاهش میزان نفوذ آب در آن، اتصال بتن تازه به بتن کهنه، افزایش روانی بتن، افزایش چسبندگی بتن، جلوگیری از ترک خوردن آن و... می‌شود.
- دانه‌های سیمان در بتن تمایل دارند که به دور هم گرد آمده و حالت آماج به خود بگیرند در نتیجه آب به همه ذرات سیمان نمی‌رسد. مواد ممزوج‌ساز نظیر کلسیم لینگنین سولفات سبب می‌شوند که آب‌گیری سیمان بهتر انجام گیرد و آب انداختن بتن به حداقل برسد.
- در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با افزودن گرد میکرونی دیاتمه به مخلوط بتن مقاومت فشاری ۱۸۰ روزه آن را تا ۲۹/۲۵٪ افزایش داده‌اند.

۱۰.۱۳. اجرای بتن

۱.۱۰.۱۳. حمل و نقل بتن

امروزه بتن به صورت استاندارد در کارخانه ساخته شده سپس به محل مصرف حمل می‌شود. در پروژه‌های بزرگ می‌توان ایستگاه‌های بتن ساز (Batching Plant) را در کارگاه مستقر کرد. در حمل بتن از کارخانه از ماشین‌های مخصوص (Mixer Truck) استفاده می‌شود که چرخش مخزن بتن این ماشین‌ها مانع از ته‌نشین شدن سنگ‌ها شده و روانی بتن را حفظ می‌کند. این ماشین‌ها همچنین از تأثیر هوای گرم (تبخیر آب بتن) و هوای سرد (کاهش گرمای بتن) بر بتن جلوگیری می‌کنند. بتنی که از مخلوط کن خارج می‌شود نباید بیشتر از ۳۰ درجه سانتیگراد گرما داشته باشد. عمل تخلیه بتن بر حسب نوع و محل کار می‌تواند مستقیماً از ماشین به محل بتن‌ریزی صورت گیرد یا از قیف مخصوص، دمپر، ناودانی تخلیه و یا پمپ بتن استفاده شود. بتن را به وسیله پمپ می‌توان تا فاصله ۹۰۰ متری افقی و ۱۵۰ متری عمودی پمپ کرد. البته در این حالت روانی بتن باید زیاد باشد که خود به کیفیت بتن لطمه می‌زند.

زمان گیرش بتنی که حمل می‌شود باید اندکی بیشتر از مجموع زمان‌های ساختن، حمل تا محل مصرف، ریختن و عمل آوردن بتن باشد. در غیر این صورت به بتن مواد کندگیر کننده می‌افزایند. زمان حمل بتن از محل ساخت تا محل مصرف، در هوای سرد و نمناک نباید بیشتر از یک ساعت و در هوای گرم و خشک بیشتر از نیم ساعت طول بکشد. در صورت زیاد بودن فاصله حمل، سنگ‌دانه‌ها و سیمان توسط ماشین مخصوص که دارای مخزن گردنده است به محل مصرف حمل می‌شوند و در آن‌جا درون مخزن گردنده آب می‌ریزند.

تصویر شماره ۳۰.۱۳. ماشین مخصوص حمل بتن

تصویر شماره ۳۱.۱۳. تخلیه بتن از ماشین Mixer

تصویر شماره ۳۲.۱۳. پمپ بتن

۲.۱۰.۱۳. قالب بندی بتن

جنس و بافت سطح درونی قالب تأثیر مستقیمی بر بافت نهایی بتن دارد. بسته به بافت دلخواه در سطح بتن از قالب‌های چوبی، فلزی یا پلاستیکی استفاده می‌کنند. سطح درونی قالب چوبی باید پیش از ریختن بتن، نمناک شود تا آب بتن را جذب نکند. سطح درونی قالب فولادی نیز باید با روغن چرب شود تا به بتن نچسبد. قالب باید به اندازه کافی محکم باشد تا فشار بتن را تحمل کند و درزها و محل اتصالات قالب نیز باید از نشست بتن جلوگیری کنند. زمان باز کردن قالب‌ها بر حسب نوع بتن و شرایط سازه بتنی متفاوت است ولی معمولاً بین ۲٤ ساعت تا یک هفته به طول می انجامد.

۳.۱۰.۱۳. بتن‌ریزی

در بتن‌ریزی اختلاف ارتفاع بین محل تخلیه بتن و درون قالب نباید از یک متر بیشتر باشد در غیر این صورت دانه‌های درشت جدا شده و ته‌نشین می‌شوند. در ستون‌هایی که ارتفاع آن‌ها زیاد است باید بتن از بازشوهایی موسوم به پنجره در بدنه قالب ستون ریخته و متراکم گردد. سپس این بازشو کاملاً بسته شده و بتن‌ریزی از بازشو بالایی که فاصله آن از بازشو پایینی یک متر است، ادامه می‌یابد. لایه‌های مختلف بتن‌ریزی باید سریع اجرا گردد تا لایه قبلی خشک نشود و اتصال لازم بین آن‌ها ایجاد گردد.

بتن‌ریزی در هوای خیلی گرم و خیلی سرد مشکلاتی به شرح زیر برای بتن ایجاد می‌کند:

- **بتن‌ریزی در هوای گرم:** باعث افزایش میزان آب مورد نیاز، افت سریع‌تر اسلامپ، افزایش احتمال ایجاد ترک در بتن، نیاز شدید به عمل آوردن سریع (در مباحث بعدی شرح داده می‌شود) و... می‌شود.
- **بتن‌ریزی در هوای سرد:** در شرایط یخبندان بتن باید متراکم و توپر ساخته شود تا آب در آن نفوذ نکند و یخ نزند. در غیر این صورت ازدیاد حجم آب یخ زده سبب ایجاد ترک در بتن می‌شود.

استفاده از سایبان در هوای گرم و پتوی عایق حرارت در هوای سرد و نیز استفاده از باد شکن می‌تواند تا حدی تأثیر شرایط جوی نامناسب را تعدیل کند.

۱۳.۱۰.٤. متراکم کردن بتن

زمانی که بتن در قالب ریخته شد به جهت این‌که کاملاً در محل خود جا بیفتد و هوای درون آن خارج شود، بلافاصله بتن را متراکم می‌کنند. متراکم کردن بتن فضاهای خالی درون آن را کم می‌کند (کمتر از ۲٪ حجم بتن) در نتیجه وزن مخصوص بتن افزایش یافته و مقاومت آن بالا می‌رود. برای متراکم کردن بتن، اگر بتن سفت باشد آن را با دستگاه‌های پرس مخصوص می‌کوبند (بتن کوبیده) و هرگاه خمیری باشد آن را با دستگاه ویبراتور می‌لرزانند (بتن لرزیده)[1]. دستگاه ویبراتور باید به صورت عمودی وارد بتن شود و نباید به قالب یا آرماتورها تکیه کند. حدود نیم تا یک دقیقه برای لرزاندن بتن کافی است، کم لرزاندن بتن آن را متراکم نمی‌کند و زیاد لرزاندن آن نیز باعث جدا شدن سنگ‌دانه‌ها از دوغاب سیمان و ته‌نشین شدن آن‌ها می‌شود. پس از لرزاندن، هوای اضافی بتن به صورت کف ریزدانه موسوم به شیر بتن در سطح آن ظاهر می‌شود. در این مرحله سطح بتن را ماله کشی می‌کنند تا کاملاً صاف شود.

۱۳.۱۰.۵. عمل آوردن بتن

آخرین مرحله در انجام کارهای بتنی حفاظت از بتن در برابر تابش آفتاب، وزش باد، گرمای هوا، یخ زدن و... و در نتیجه جلوگیری از تبخیر آب بتن و ترک خوردن آن است که به آن عمل آوردن بتن می‌گویند و بلافاصله پس از متراکم کردن بتن آغاز می‌شود. زمان عمل آوردن بتن در واقع زمانی است که دوغاب سیمان در بتن، تحت درجه حرارت ۳۵-۱۰ درجه سانتیگراد و رطوبت مناسب سخت می‌شود. این زمان ۱٤-۳ روز می‌باشد ولی نگهداری و عمل آوردن بتن در ۲٤ ساعت اولیه حیات آن بسیار حائز اهمیت است. زیرا اگر در این زمان آب بتن تبخیر شود، دوغاب سیمان کند روان شده و بتن در اصطلاح می‌سوزد و مقاومتش کاهش می‌یابد. مرطوب نگهداشتن سطح خارجی بتن با آب ریختن دائم و پوشاندن آن با نایلون یا گونی خیس صورت می‌گیرد، این عمل در افزایش رشد مقاومت بتن بسیار مؤثر است. علاوه بر این عمل آوردن بتن

۱. در برخی موارد آب و هوای درون بتن را با دستگاه مخصوص همراه با لرزاندن می‌مکند که به آن بتن مکیده می‌گویند.

تأثیر زیادی روی خواص بتن سخت شده نظیر دوام، مقاومت، آب‌بندی، سختی، ثبات حجمی، مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن دارد. عمل آوردن و نگهداری از بتن در سلامت سطح ظاهری بتن نیز بسیار مؤثر است زیرا در صورت سوختن بتن سطح آن پوسته پوسته شده و ترک می‌خورد. مضاف بر این‌ها بارندگی شدید نیز بر روی سطوح بتنی خشک نشده باعث آبله رو و کرمو شدن آن می‌شود.

تصویر شماره ۳۳.۱۳. قالب بندی بتن

تصویر شماره ۳٤.۱۳. متراکم کردن بتن (ویبره کردن)

تصویر شماره ۳۵.۱۳. عمل آوردن بتن

۱۱.۱۳. راهنمای شناخت بتن مرغوب

برای به دست آوردن بتن مرغوب باید از کیفیت مواد تشکیل دهنده آن، نسبت مناسب اختلاط مواد اولیه و اجرای مناسب (حمل، ریختن، نگهداری و...) اطمینان حاصل شود. نسبت کم آب به سیمان در کیفیت و مقاومت بتن بسیار مؤثر است و بتن باید قابل ویبره باشد (خیلی شل نباشد مگر برای مصارف خاص). مقدار MgO، K_2O، N_2O و آهک آزاد باید در بتن به حداقل برسد. آهک آزاد در بتن سبب می‌گردد که آب هنگام عبور از لوله‌های موئین داخل بتن و خروج از سطح دیگر آن، ایجاد شوره و سفیدک کند. در نهایت سطح بتن باید یکنواخت باشد و پوسیدگی، ترک، کرمو شدن و... در سطح آن مشاهده نشود.

بخش چهارم

عایق‌ها

فصل ١٤

عایق‌های حرارتی

١.١٤. تاریخچه

۲.۱٤. ضرورت استفاده و کاربرد عایق‌های حرارتی

یکی از عوامل مهم در تأمین شرایط آسایش انسان در فضاهای داخلی، تنظیم درجه حرارت آن‌هاست. امروزه با پیشرفت تکنولوژی ضخامت پوسته خارجی ساختمان به حداقل کاهش یافته، از این رو تبادل حرارتی آن با محیط خارج افزایش یافته است. عایق‌های حرارتی به میزان قابل توجهی مانع این تبادل حرارت شده و هزینه‌های گرمایش و سرمایش و فضاهای داخلی را تا حد زیادی کاهش می‌دهند. همین امر موجب صرفه جویی در مصرف انرژی نیز خواهد شد. به طوری به کمک عایق حرارتی می‌توان یک خانه را در زمستان ۵ درجه سانتیگراد گرم‌تر و در تابستان ۱۰ درجه خنک‌تر نگه داشت. بنابراین گرچه عایق کاری ممکن است تا حدودی هزینه ساخت و قیمت تمام شده ساختمان را افزایش دهد ولی در دراز مدت و حتی چند سال اولیه بهره‌برداری، هزینه اولیه را با صرفه جویی لازم جبران خواهد کرد و موجبات آسایش و صرفه اقتصادی را فراهم می‌کند.

با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان گفت که عایق کاری حرارتی، با جنس مرغوب مزایای زیر را به همراه خواهد داشت:

۱. می‌توان دیوارها را با ضخامت کمتری ساخت، در این صورت فضای قابل استفاده داخل ساختمان بیشتر می‌شود.
۲. با جلوگیری از هدر رفتن گرما و سرمای تولید شده در داخل ساختمان، علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های گرمایش و سرمایش، می‌توان حجم تأسیسات حرارتی و تهویه را تا ۲۵٪ کاهش داد.
۳. با عایق کاری مناسب می‌توان دمای فضاهای مختلف را ثابت نگه داشت. حرارت مناسب در محیط مسکونی ۲۰ درجه سانتیگراد، در حمام ۲۵ درجه، در محیط کار ۱۸ درجه و در کارگاه‌های فعال ۱۷ درجه است.
٤. در صورتی که اختلاف درجه حرارت هوای داخل اتاق و سطح دیوارها کمتر از ۳ درجه سانتیگراد باشد، علاوه بر ایجاد جریان آزار دهنده هوا، ساکنین اثر ناخوشایند مرسوم به «دیوار سرد» را احساس می‌کنند که ناشی از تابش انرژی از پوست به سطح دیوار است. در شرایط گرما نیز به طور

مشابه انتقال انرژی تابشی از دیوار به ساکنین، احساس ناخوشایندی در آن‌ها ایجاد می‌کند که این مشکل با ایزولاسیون حرارتی دیوار رفع خواهد شد.

اصولاً حرارت از محل گرم‌تر به محل سردتر به سه طریق جا به جا می‌شود که عبارتند از :

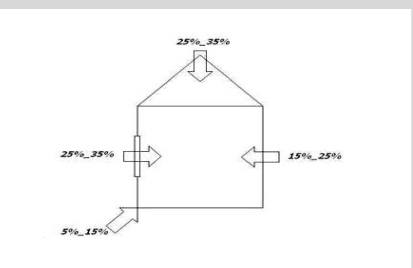
۱. هدایت (Conduction)
۲. همرفت (Convection)
۳. تابش (Radiation)

تصویر شماره ۱.۱٤. انتقال حرارت از طریق هدایت

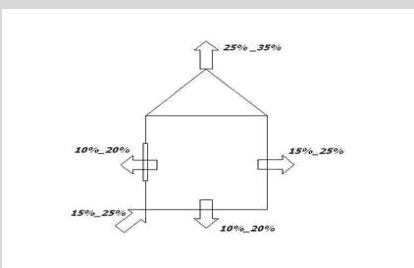
تصویر شماره ۲.۱٤. انتقال حرارت از طریق همرفت

تصویر شماره ۳.۱٤. انتقال حرارت از طریق تابش

در روش هدایت (رسانایی) انتقال حرارت از طریق تماس اجسام با یکدیگر صورت می‌گیرد ولی در دو طریق همرفت و تابش یک محیط گازی یا خلأ برای انتقال گرما لازم است. انتقال حرارت از جداره‌های خارجی ساختمان از طریق هدایت حرارتی، مهم‌ترین عامل اتلاف یا کسب حرارت در ساختمان‌های معمولی است. اما علاوه بر در نظر گرفتن عایق کاری سطوح مختلف ساختمان اعم از دیوارها، سقف و کف، باید به مقاطع برخورد این سطوح نیز توجه کافی شود. تجربه نشان داده است که انتقال حرارت از این مقاطع می‌تواند عملکرد حرارتی کل ساختمان را به شدت کاهش دهد. مهندسین معمار و سازه از این امر به پل‌های حرارتی یاد می‌کنند.



تصویر شماره ٤.١٤. میزان تلفات حرارتی از جداره‌های مختلف ساختمان در فصل تابستان



تصویر شماره ٥.١٤. میزان تلفات حرارتی از جداره‌های مختلف ساختمان در فصل زمستان

٣.١٤. خواص عمومی عایق‌های حرارتی

امروزه انواع متنوعی از عایق‌های حرارتی با خواص ویژه تولید شده که در مباحث آتی بررسی خواهند شد. لذا در این نوشتار به چند ویژگی کلی این مواد بسنده می‌شود.

- **وزن مخصوص**: عایق‌های حرارتی معمولاً پوک هستند زیرا هر چه خلل و فرج در آن‌ها بیشتر باشد، کارایی آن‌ها نیز افزایش خواهد یافت. مصالح عایق حرارتی معمولاً زیر ۰/۷ $\frac{gr}{cm^3}$ وزن مخصوص دارند.
- **مقاومت حرارتی**: مقاومت در برابر انتقال حرارت، نشان دهنده ارزش حفظ حرارت مصالح ساختمانی است و هر چه میزان آن بیشتر باشد، مطلوب‌تر است زیرا تبادل حرارتی داخل و خارج ساختمان را کاهش می‌دهد. میزان مقاومت حرارتی مصالح مختلف در درجه اول به جنس آن‌ها و سپس به ضخامت آن‌ها بستگی دارد. به عنوان مثال مقاومت حرارتی یک دیواره بتنی با ضخامت ۱۱۵ سانتیمتر با یک لایه پشم شیشه به ضخامت ۲/۵ سانتیمتر برابر است. در مورد مصالح با جنس یکسان، آنکه ضخامت بیشتری دارد، از مقاومت حرارتی بالاتری نیز برخوردار است. لذا هنگام عایق کاری حرارتی ساختمان باید از پرس کردن عایق پرهیز کرد زیرا در اثر فشردن، ضخامت آن و در نتیجه مقاومت حرارتی آن کاهش می‌یابد. در انتخاب نوع عایق بهتر است حتی الامکان عایق سبک‌تر ولی با ضخامت بیشتر انتخاب شود.

- **ضریب انبساط**: مصالح عایق حرارتی باید در مقابل حرارت، ازدیاد طولی زیاد و مخرب نداشته باشند. در غیر این صورت با منبسط شدن و ایجاد فشار به مصالح مجاور و اتصالات، مشکل آفرین خواهند شد.

٤.١٤. اشکال مختلف عایق‌های حرارتی

عایق‌های حرارتی جهت سهولت استفاده به اشکال مختلفی ساخته می‌شوند که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

١.٤.١٤. عایق‌های پتویی – Blanket Insulation

این عایق‌ها با مصالح انعطاف پذیر نظیر پشم سنگ، پشم شیشه و...، در ضخامت‌های مختلف تولید می‌شوند و بعضاً دارای روکش‌های آلومینیومی یا روکش‌هایی از جنس کاغذهای صنعتی هستند و برای ایزولاسیون لوله‌ها و سطوح منحنی به کار می‌روند.

٢.٤.١٤. عایق‌های پانلی (تخته‌ای) – Panel Insulation

این عایق‌ها جهت پوشش سطوح از قبیل دیوارها، سقف و کف به کار می‌روند و عموماً از جنس پلی استایرن، پلی یورتان، پشم سنگ و... هستند.

٣.٤.١٤. عایق‌های بلوکی (دال‌های عایق) – Block Insulation

دال‌ها یا بلوک‌های عایق به صورت قطعات صلب و گاهی نیز به صورت چند لایه از مصالحی نظیر کف شیشه، پلاستیک‌ها، انواع بتن‌های سبک و... ساخته می‌شوند.

٤.٤.١٤. عایق‌های فله‌ای (انباشتی)

این عایق‌ها به دو صورت الیافی (نظیر الیاف پشم سنگ، پشم شیشه، پشم سرباره، الیاف گیاهی و...) و دانه‌ای (نظیر پرلیت، پلی استایرن، پوکه‌های معدنی، خرده‌های چوب و...) در مکان‌هایی که شکل هندسی مشخصی ندارند یا در ملات‌ها به کار می‌روند.

تصویر شماره ٦.١٤. عایق پتویی

تصویر شماره ٧.١٤. عایق پانلی

تصویر شماره ٨.١٤. عایق بلوکی

تصویر شماره ٩.١٤. عایق فله‌ای

٥.٤.١٤. عایق‌های پاشیدنی – Spray-on Insulation

این عایق‌ها از مخلوط تارها و مصالح ریزدانه با انواع مواد چسباننده ساخته شده و به روی سطوح مختلف پاشیده می‌شوند. عموماً از پوکه‌های معدنی، پرلیت، پنبه کوهی و... به عنوان ریزدانه و از دوغاب سیمان، گچ و یا چسب‌های شیمیایی به عنوان ماده چسباننده استفاده می‌کنند.

٦.٤.١٤. عایق‌های کفی – Foam Insulation

این عایق‌ها از دو جزء رزین‌های پلیمری ساخته می‌شوند که هنگام اختلاط با هم کف کرده و فضاهای خالی را پر می‌کنند. از عایق‌های کفی در میان دیوارها و منافذی که دسترسی به آن‌ها وجود ندارد، استفاده می‌کنند.

علاوه بر اشکال رایج یاد شده، امروزه عایق‌های گوناگونی به صورت‌های مختلف نظیر رنگ‌های عایق، ورق‌هایی با ضخامت‌های بسیار کم و... نیز تولید شده‌اند.

تصویر شماره ١٠.١٤. عایق پاشیدنی

تصویر شماره ١١.١٤. عایق کفی

۵.۱٤. انواع مصالح عایق حرارتی

عایق‌های حرارتی را بر حسب موادی که در ساخت آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، دسته بندی می‌کنند. در ساختار برخی از این عایق‌ها حباب‌های هوا وجود دارد که این حباب‌ها باعث کاهش هدایت حرارت می‌شوند. برخی دیگر از عایق‌ها حرارت را باز می‌تابانند که در این صورت باید پشت آن‌ها حدود ۲ سانتیمتر فاصله هوایی تعبیه شود.

در ادامه مطلب انواع مصالح عایق حرارتی بررسی خواهند شد.

۱.۵.۱٤. عایق‌های حرارتی بر پایه مواد معدنی

مواد اولیه این عایق‌ها چه به صورت خالص و چه ناخالص، از معادن استخراج شده و فرآوری‌های انجام شده بر روی مواد اولیه، ساختار مولکولی آن‌ها را دگرگون نکرده است. در اکثر عایق‌های این گروه، عنصر سیلسیم (Si) یکی از مواد اصلی بوده که ساختار عایق بر پایه آن شکل گرفته است. مهم‌ترین تشابهات در این گروه عبارتند از:

- تحمل حرارتی بالا (حتی برخی از آن‌ها جزء مواد دیرگداز به شمار می‌آیند).
- مقاومت کم در برابر نفوذ رطوبت.

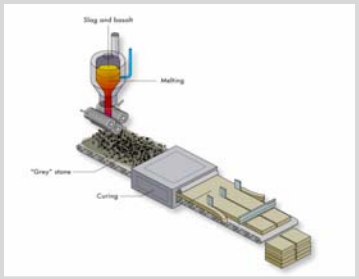
عایق‌های حرارتی بر پایه مواد معدنی انواع گوناگونی به شرح زیر دارند.

۱.۱.۵.۱٤. پشم‌های معدنی – Mineral Wool

فرآورده‌های پشم‌های معدنی از قدیمی‌ترین و شناخته شده‌ترین انواع عایق‌ها هستند که از مذاب سنگ، سرباره و یا شیشه ساخته می‌شوند. بارزترین وجه تشابه اعضای این گروه، الیافی بودن ذرات آن‌هاست که در دانسیته‌های بالا به صورت پانل‌های فشرده در دسترس می‌باشند. برخی ویژگی‌های پشم‌های معدنی به قرار زیر است:

- حداکثر تحمل حرارتی این نوع عایق‌ها در حدود ۸۰۰ درجه سانتیگراد و مربوط به پشم سرباره است.
- بزرگ‌تر شدن ضخامت الیاف آن‌ها از حدود ٦ میکرون (خارج از استاندارد) باعث شکننده شدن آن‌ها شده و حالت ارتجاعی خود را از دست می‌دهند.

- برخی از انواع آن‌ها می‌توانند به صورت عایق صوتی نیز به کار روند ولی در مقابل رطوبت باید کاملاً محافظت شوند.
- پاشش ذرات آن‌ها در فضا و تداوم مجاورت با آن‌ها می‌تواند سبب بروز ناراحتی‌های تنفسی یا پوستی گردد.
- برای شکل دادن به آن‌ها از نوعی چسب رزینی مخصوص استفاده می‌شود که به دلیل پایین‌تر بودن تحمل حرارتی آن، مقاومت حرارتی محصولات چسب‌دار تا حدود ۳۵۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد.



تصویر شماره ۱۲.۱٤. پروسه تولید پشم‌های معدنی

۱.۱.۱.۵.۱٤. پشم شیشه – Glass Wool

پشم شیشه عبارت است از الیاف بسیار نازک تارهای شیشه که تقریباً به هم متصل می‌باشند. این الیاف را با هم یکپارچه می‌کنند و روی کاغذهای آلومینیومی، سربی، قیری، کرافت (کاغذهای صنعتی) و یا تورهای سیمی قرار می‌دهند. از پشم شیشه برای عایق کردن بام‌های شیب‌دار بر روی ورقه‌های پوشش زیرین و در بام‌های تخت در زیر پوشش آسفالتی یا نمدی استفاده می‌شود. از جمله ویژگی‌های این محصول می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مقاومت حرارتی عایق پشم شیشه با دو عامل ضخامت و دانسیته رابطه مستقیم دارد. چنان‌چه در عایق کاری در مورد ضخامت عایق با محدودیت رو به رو باشیم، استفاده از عایق پشم شیشه با دانسیته بالاتر توصیه می‌شود.
- پشم شیشه جزء مواد اشتعال ناپذیر به شمار می‌آید.

- ضریب جذب صدای پشم شیشه ۰/۸۵ است بنابراین استفاده از آن تا ۳۰ دسی بل صدا را کاهش می‌دهد. این در حالی است که با کاهش هر ۵ دسی بل، شدت صوت به نصف کاهش می‌یابد.
- مقاومت کششی پشم شیشه به علت به هم پیوستگی الیافش بیشتر از مقاومت فشاری و خمشی آن است.
- این عایق با توجه به نوع محصول و کارخانه سازنده آن، وزن مخصوص متفاوتی دارد.

۲.۱.۱.۵.۱٤. پشم سنگ – Rock Wool

پشم سنگ عمدتاً از ذوب کردن سنگ‌های طبیعی آذرین مانند سنگ بازالت و تبدیل این مواد مذاب (سیلیکات مذاب) به شکل الیاف، ساخته می‌شود. پشم سنگ عایق نسبتاً سبکی است که می‌تواند تا دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد خاصیت عایق بودن خود را حفظ کند و تا ٤ ساعت نیز در برابر شعله مستقیم مقاومت می‌کند. این ماده زمانی که از آب اشباع شود، ساختارش تخریب نمی‌شود و پس از خشک شدن ویژگی‌های خود را حفظ می‌کند. پشم سنگ مقاومت مکانیکی قابل ملاحظه‌ای ندارد و می‌توان آن را با چاقو برید.

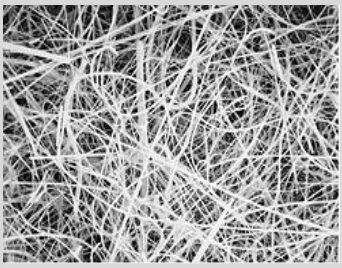
۳.۱.۱.۵.۱٤. پشم سرباره – Slag Wool

سرباره محصول فرعی کوره بلند ذوب آهن است. این ماده را به صورت الیاف در می‌آورند و به عنوان عایق حرارتی مورد استفاده قرار می‌دهند. سر الیاف آن کروی شکل است، از این رو باعث خراش و تحریکات پوستی کمتری می‌شود و به علت کوچک بودن ذرات آن، عایق الکتریسیته نیز می‌باشد. همچنین به عنوان عایق صوتی نیز می‌تواند به کار رود. بازگشت پذیری پشم سرباره به طبیعت سریع انجام می‌گیرد و این یکی از مزایای عمده آن است.

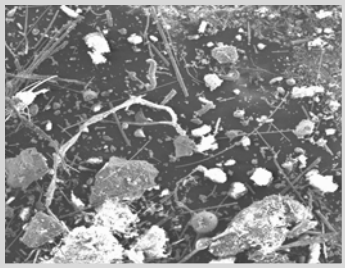
تصویر شماره ۱۳.۱٤. پشم شیشه

تصویر شماره ۱٤.۱٤. پشم سنگ

تصویر شماره ۱۵.۱٤. پشم‌سرباره



تصویر شماره ۱٦.۱٤. الیاف پشم شیشه



تصویر شماره ۱۷.۱٤. الیاف پشم سرباره

۲.۱.۵.۱٤. پرلیت – Perlite

پرلیت نوعی سنگ آتشفشانی است که در مناطق مرطوب تشکیل می‌شود. دانه‌های پرلیت کروی شکل بوده و حدود ۵-۲٪ آب دارند. این ماده با توجه به محل مصرف آن دانه‌بندی می‌شود، دانه‌هایی که قطر ۵-۲/۵ میلیمتر دارند در صنعت ساختمان سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از خواص پرلیت به شرح زیر است:

- بسیار سبک است و وزن مخصوص آن حدود $\frac{gr}{cm^3}$ ۰/۱ است.
- ماده‌ای غیر قابل اشتعال است و در دماهای ۱۰۰۰- (۲۷۰-) درجه سانتیگراد خاصیت عایق بودن خود را حفظ می‌کند.
- به علت مجوف بودن شکل ظاهری آن، صوت را جذب می‌کند.
- ماده‌ای غیر آلی است و با اکثر اسیدها وارد واکنش نمی‌شود.
- در برابر پوسیدگی و حمله موریانه‌ها مقاوم است.

از جمله معایب پرلیت مقاومت فشاری کم آن است لذا نباید در مکان‌هایی که تحت فشار و رطوبت زیاد است، مورد استفاده قرار گیرد. به علت اتصال سوراخ‌های

آن به هم، مانند اسفنج آب را می‌مکد و بزرگ‌ترین عیب پرلیت در ساختمان سازی این است که ۳۰-۱۰٪ وزنش آب جذب می‌کند و مقاومت آن کاهش می‌یابد.

پرلیت به سه صورت مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱. **پرلیت خام:** دانه‌های پرلیت خام در سرامیک سازی، تهیه سیمان، مواد منفجره، ساخت فیبر شیشه‌ای و... کاربرد دارند.

۲. **پرلیت منبسط شده:** برای تهیه پرلیت، دانه‌های پرلیت خام را در کوره با دمای ۱۱۰۰-۷۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند. مصارف پرلیت منبسط شده عبارت است از: رنگ سازی، پلاستیک سازی، عایق کردن لوله‌ها و کوره‌های با دمای بالا، جایگزین شن و ماسه در تولید بتن سبک، پوشاندن دیواره داخلی شومینه‌ها، مصارف باغبانی (جذب آب خاک و جلوگیری از تبخیر شدن آن) و... .

۳. **پرلیت منبسط شده همراه با گچ یا سیمان:** دانه‌های پرلیت منبسط شده را با یک ماده چسباننده نظیر ملات گچ یا سیمان ترکیب می‌کنند و تخته‌ها یا بلوک‌های سبک وزنی می‌سازند که در عایق کردن سقف‌ها، پاگرد طبقات، سازه‌های سبک و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی اوقات یک طرف آن-ها را با امولسیون قیر می‌پوشانند تا در مقابل رطوبت نیز مقاوم شوند. همچنین می‌توان جهت مقاوم کردن این بلوک‌ها یا تخته‌ها از شبکه‌های فلزی در داخل آن‌ها استفاده کرد.

تصویر شماره ۱۸.۱٤. دانه‌های پرلیت

تصویر شماره ۱۹.۱٤. پرلیت منبسط شده

تصویر شماره ۲۰.۱٤. پرلیت همراه با گچ

تصویر شماره ۲۱.۱٤. بلوک پرلیت و سیمان

۱۴.۵.۱.۳. الیاف کربنی – Carbon Fiber

الیاف کربنی به الیافی گفته می‌شود که حداقل دارای ۹۰٪[۱] کربن هستند و از حرارت دادن الیاف آلی نظیر الیاف سلولزی (ریون، پنبه و...)، الیاف پلی اکریلونیتریل (PAN) و نوع ویژه‌ای از الیاف فنولیک به دست می‌آیند. الیاف کربنی بسیار ترد هستند.

این الیاف در صنایع مختلف نظیر الکترونیک، هواپیما سازی، پزشکی و... کاربرد دارند. در صنعت ساختمان نیز الیاف کربنی به عنوان عایق حرارتی، تقویت کننده بتن، استفاده در رمپ‌ها برای جلوگیری از ریزش خاک و... به کار می‌روند.

۱۴.۵.۱.۴. الیاف سرامیکی نسوز – Ceramic Fiber

الیاف سرامیکی نسوز، الیافی غیر آلی هستند که از اکسیدهای فلزی یا رس ساخته می‌شوند. از این الیاف جهت عایق کردن بخش‌های مختلف ساختمان خصوصاً تأسیسات استفاده می‌کنند.

۱۴.۵.۱.۵. فویل آلومینیوم – Aluminum Foil

ورق نازک آلومینیوم بر خلاف هدایت الکتریکی زیاد، مقاومت خوبی در برابر حرارت دارد. از این ورق بیشتر در ساخت ساندویچ پانل‌ها یا به عنوان روکش مصالح و عایق‌های دیگر استفاده می‌کنند.

۱۴.۵.۱.۶. عایق‌های سیلیکات – Silicate Insulation

این نوع عایق‌ها از مواد معدنی و الیاف سرامیکی همراه با ذرات سیلیکا و اکسید فلزات قلیایی (نظیر کلسیم، منیزیم و آلومینیوم) که در دماهای بالا به هم دوخته می‌شوند، تولید می‌گردند. عایق‌های سیلیکاتی به صورت پتویی و یا به شکل آجرهای یکپارچه ساخته می‌شوند. این مواد در برابر شوک‌های حرارتی مقاومند، تحمل دماهای بالا را دارند و غیر قابل اشتعال هستند. نقطه ضعف این عایق‌ها خاصیت جذب رطوبت آن‌هاست.

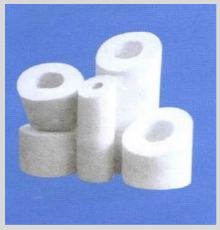
۱. الیافی که کربن آن‌ها بیش از ۹۹٪ است، الیاف گرافیتی نامیده می‌شوند.

۷.۱.۵.۱٤. مگنزیا – Magnesia

مگنزیا ماده عایقی است که عمدتاً از کربنات منیزیم ساخته می‌شود و از الیاف ویژه‌ای به عنوان مسلح کننده در آن استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ۲۲.۱٤. الیاف کربنی

تصویر شماره ۲۳.۱٤. الیاف سرامیکی نسوز



تصویر شماره ۲٤.۱٤. عایق سیلیکات

تصویر شماره ۲۵.۱٤. مگنزیا

۲.۵.۱٤. عایق‌های حرارتی بر پایه مواد طبیعی (گیاهی- حیوانی)

برخی از عایق‌های حرارتی با استفاده از مواد طبیعی ساخته می‌شوند که به چند مورد از آن‌ها اشاره خواهد شد.

۱.۲.۵.۱٤. پشم چوب – Wood Wool

پشم چوب الیاف و تراشه‌های بلند چوب است. این ماده را به عنوان عایق حرارتی به دو صورت مورد استفاده قرار می‌دهند:

۱. **دال پشم چوب:** فرآورده عایق صلبی از پشم چوب فله‌ای است که با یک چسباننده معدنی به هم متصل شده و تا ضخامت نهایی فشرده می‌گردد.
۲. **تخته نرم الیاف چوب:** فرآورده عایق کاری که از الیاف چوب با افزودن یک ماده چسباننده یا بدون آن ساخته می‌شود و به وسیله حرارت یا بدون آن متراکم می‌گردد.

۱٤.۲.۵.۲. چوب پنبه – Cork

چوب پنبه ماده‌ای است که به طور دوره‌ای از ساقه درخت چوب پنبه (کرکس سابرال) که لایه محافظ آن را تشکیل می‌دهد، گرفته می‌شود. دانه‌های چوب پنبه را منبسط کرده و تحت فشار و حرارت به یکدیگر متصل می‌کنند تا به صورت تخته درآید.

تصویر شماره ۱٤.۲٦. دال پشم چوب

تصویر شماره ۱٤.۲۷. تخته نرم الیاف چوب

تصویر شماره ۱٤.۲۸. چوب پنبه

۱٤.۲.۵.۳. عایق سلولزی – Cellulose Insulation

عایق الیافی که از کاغذ یا چوب به همراه چسباننده‌ها، کندسوز کننده‌ها و سایر افزودنی‌ها ساخته می‌شود.

۱٤.۲.۵.٤. عایق دیاتومه‌ای – Diatomaceous Insulation

عایق دیاتومه‌ای ماده‌ای است که عمدتاً از بقایای دیاتومه‌ها (ذرات سیلیسی با اندازه میکروسکوپی) تشکیل شده است و به شکل پودر یا دانه در دسترس می‌باشد. بعضاً آن را پخته و به صورت آجر نیز در می‌آورند.

تصویر شماره ۱٤.۲۹. عایق سلولزی

تصویر شماره ۱٤.۳۰. عایق دیاتمه‌ای

۳.۵.۱٤. عایق‌های حرارتی بر پایه مواد شیمیایی

این عایق‌ها انواع پلاستیک‌ها را شامل می‌شوند که در فصل «پلاستیک‌ها» شرح داده شده‌اند. لذا در این مبحث فقط به ذکر نام آن‌ها بسنده می‌شود: فوم‌های پلی استایرن، پلی اتیلن، پلی یورتان، فنولیک، پلی وینیل کلراید، اوره فرم آلدئید، فوم EPDM (اتیلن-پروپیلن-داین-منومر)[1]، نیتریل فوم و... .

٤.۵.۱٤. عایق‌های حرارتی چند لایه و عایق‌های مرکب

- **عایق چند لایه:** ترکیبی از دو یا چند لایه از یک ماده عایق است که ضخامت لایه‌های منفرد آن ممکن است با هم متفاوت باشد.
- **عایق مرکب:** ترکیبی از لایه‌هایی که حداقل از دو ماده عایق مختلف باشند.

در برخی موارد استفاده از ساختار مرکب و چند لایه در عایق‌ها بسیار مؤثرتر از کاربرد یک لایه عایق با همان ضخامت است. یکی از کاربردهای مناسب این روش در محل‌هایی است که نیاز به کاهش ضخامت عایق کاری باشد.

۵.۵.۱٤. عایق‌های حرارتی سپرتابشی – Radiation Shield Insulation

عایق‌هایی عموماً به شکل ورق با ضریب تابش اندک هستند که به منظور کاهش اثر تابش حرارتی به کار می‌روند. عمده‌ترین این عایق‌ها، عایق‌های منعکس کننده و عایق-های شیشه پنجره‌ای هستند.

۱.۵.۵.۱٤. عایق‌های منعکس کننده – Reflective Insulation

سیستمی متشکل از یک یا چند لایه ماده با ضریب تابش کم که تابش حرارتی را محدود می‌کند. این عایق‌ها معمولاً از سطوح فلزی ساخته می‌شوند و چنان‌چه به طور صحیح طراحی و نصب گردند، مانع نفوذ بخار به داخل بنا نیز می‌شوند. بین ورق این عایق‌ها و جداره پشت آن‌ها باید حداقل ۲ سانتیمتر فاصله تعبیه شود. میزان مقاومت

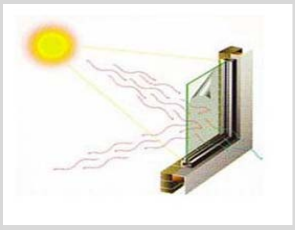
۱. این فوم، عایق مناسبی برای مناطق سردسیر (تا دماهای زیر ۳۰ درجه سانتیگراد) است.

عایق‌های منعکس کننده در برابر عبور حرارت، به خصوصیات سطحی عایق، فاصله میان آن با جدار پشتی (فاصله هوایی) و اختلاف درجه حرارت دو طرف بستگی دارد.

۲.۵.۵.۱٤. عایق‌های شیشه پنجره‌ای – Window Film

این عایق‌ها پوشش‌های چند لایه‌ای هستند که به وسیله چسب مخصوص به سطح شیشه می‌چسبند. بستر اصلی این عایق‌ها پلی استر است که حاوی ماده جاذب اشعه ماوراء بنفش نیز بوده و تا حدود ۹۹٪ از ورود این اشعه جلوگیری می‌کند. در لایه بعدی به کمک روش‌های پیشرفته، ذرات فلزات سنگین نظیر وانادیم، طلا، آلیاژ نیکل – کروم و... بر روی لایه پلیمری اندود می‌گردد. خاصیت این لایه بازتابش اشعه مادون قرمز است. لایه سوم باعث تقویت استحکام کششی شده و خواصی ضد خش نیز به محصول می‌دهد. مزیت دیگر این پوشش جلوگیری از خطر پاشیدگی شیشه هنگام شکسته شدن آن و یا هنگام زلزله است.

تصویر شماره ۳۱.۱٤. عایق منعکس کننده



تصویر شماره ۳۲.۱٤. عایق شیشه پنجره‌ای

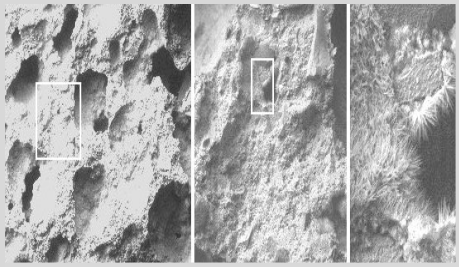
تصویر شماره ۳۳.۱٤. عایق مایع برای شیشه پنجره

٦.۵.۱٤. عایق‌های مصالح ساختمانی

در برخی موارد مصالحی که برای ساخت بنا به کار می‌روند، طوری ساخته می‌شوند که خود عایق حرارتی باشند، مانند انواع بتن سبک که عبارتند از:

- **بتن سبک منبسط (Lightweight Concrete)**: این بتن حاوی درصد حجمی زیادی از سنگ‌دانه سبک است و هوادار یا کف دار نیز شده است.
- **بتن سرباره اسفنج شده (Foamed Slag Concrete)**: در این بتن از سرباره اسفنج شده کوره بلند ذوب آهن به عنوان سنگ‌دانه استفاده می‌شود.

- **بتن سلولی (Cellular Concrete)**: سلولی واژه عمومی برای ماده‌ای است که حاوی تعداد زیادی سلول‌های کوچک هوا باشد. بتن سلولی حدود ۰/۵$\frac{gr}{cm^3}$ وزن مخصوص دارد و در برابر حرارت تا ٤۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت می‌کند. از این بتن در قسمت‌های خارجی ساختمان و نیز روی تأسیسات و لوله‌ها استفاده می‌شود.



تصویر شماره ٣٤.١٤. ساختار بتن سلولی

تصویر شماره ٣٥.١٤. بتن سلولی

٧.٥.١٤. عایق‌های مدرن (نانو عایق‌ها) – Nansulate

پدیده نانو تکنولوژی در ارتباط با تغییر خصوصیت مولکولی مواد در جهت ارتقاء کیفی آن‌ها می‌باشد. در واقع با به کار گیری روش‌هایی، فواصل بین مولکول‌ها یا اتم‌های مواد را کاهش داده که با حفظ ویژگی‌های اصلی آن‌ها، خواص جدیدی از جمله سختی، عایق بودن و شفافیت را ایجاد می‌نماید.

عایق‌های حرارتی نانو مواد جدیدی از فناوری نانو هستند که محافظ و عایق حرارتی مناسبی در مقابل هر سه نوع انتقال گرما (هدایت، همرفت و تابش) می‌باشند. با این ویژگی که می‌توان از آن‌ها به راحتی در ساختمان‌های در دست بهره برداری نیز استفاده نمود و هیچ گونه تغیر ظاهری در ترکیب ساختمان ایجاد نمی‌کنند. این عایق‌ها دارای کمترین میزان انتقال حرارت در میان تمام عایق‌های موجود بوده و به علت مایع بودن، قابلیت اجرا بر روی تمامی سطوح، به وسیله هر نوع ابزار رنگ آمیزی (قلم مو، غلتک، اسپری و...) را دارند.

دیگر خواص نانو عایق‌ها عبارتست از:

- ضخامت بسیار کم (بر خلاق عایق‌های دیگر).
- جلوگیری از خوردگی سطح زیر عایق.
- امکان مشاهده سطح زیر عایق جهت بررسی بصری آن (به علت رنگ نیمه شفاف این عایق‌ها).
- مقاوم در برابر آتش (تحمل دمای بالا تا مرز ٤٠٠ درجه سانتیگراد).
- مقاوم در برابر رطوبت و انواع قارچ‌ها و کپک‌ها.
- قابل رنگ آمیزی.
- قابل شستشو با آب و صابون.
- غیر سمی بر پایه آب.

٦.١٤. نکات حائز اهمیت در عایق‌کاری حرارتی ساختمان

اولین اقدام برای عایق کاری حرارتی ساختمان، انتخاب عایق حرارتی مناسب و سازگار با شرایط محل مورد استفاده است. هنگام انتخاب عایق، علاوه بر توجه به خواص حرارتی آن، چند نکته مهم زیر را نیز باید مورد نظر قرارداد:

- در مکان‌هایی که امکان آتش سوزی وجود دارد، استفاده از مصالح قابل احتراق مجاز نیست. در صورت لزوم استفاده از این مصالح، باید آن‌ها را به مواد ضد آتش آغشته کرد. باید یادآور شد که گونه‌بندی واکنش در برابر آتش از دو جنبه حائز توجه است:

١. مشارکت در آتش سوزی (افروزش): بعضی از مصالح از جمله فوم پلی استایرن به شدت در گسترش دامنه آتش مشارکت نموده و فرایند آن را سرعت می‌بخشند.

٢. مقاومت در برابر گسترش حریق: این جنبه از گونه بندی عملکرد مصالح، تعیین کننده توانایی یک عنصر ساختمانی در شرایط حریق و ممانعت از سرایت آن به فضاهای هم‌جوار است.

بنابراین لازم است که از عایق‌هایی در ساختمان استفاده شود که علاوه بر عدم مشارکت در آتش سوزی و حفظ مقاومت ایستایی ساختمان، از سرایت شعله به بخش‌های دیگر و ایجاد خسارت بیشتر جلوگیری به عمل آورند.

- هنگام انتخاب عایق، علاوه بر توجه به اثر آتش بر آن، باید اثر آب و رطوبت بر عایق‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. زیرا ضریب هدایت حرارت در محیط مرطوب ۲۵ برابر محیط خشک است.

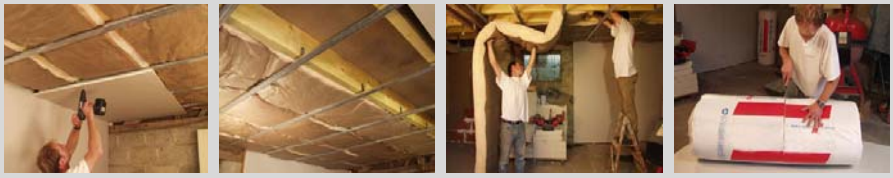
پس از انتخاب عایق مناسب، اقدام به نصب آن می‌شود. عایق حرارتی می‌تواند از داخل، خارج و یا به صورت لایه‌ای در میان عناصر ساختمانی اجرا شود. عایق کاری از خارج، اینرسی حرارتی ساختمان را به حداکثر می‌رساند و سبب می‌گردد که نوسان‌های دمای داخل ساختمان کاهش یابد و تنظیم دما به سادگی انجام پذیرد. این روش برای ساختمان‌های با استفاده مداوم (مسکونی و...) بسیار مناسب است. عایق کاری از داخل اغلب برای ساختمان‌های با استفاده منقطع (اداری و...) توصیه می‌شود.

تصویر شماره ۳٦.۱٤. یک نمونه اجرای عایق حرارتی دیوار از سمت خارج (از راست به چپ)

عایق‌ها در صورتی درست عمل می‌کنند که به طور صحیح نصب شده باشند. رعایت موارد زیر کمک می‌کند که بهترین کارآیی از عایق‌های نصب شده، گرفته شود.

- عایق‌ها هرگز نباید فشرده شوند. عایق باید پس از نصب همان ضخامت اولیه خود را داشته باشد در غیر این صورت مقاومت حرارتی آن کاهش می‌یابد. در برخی از عایق‌های آزاد مقدار مقاومت حرارتی متناسب با تراکم عایق است نه ضخامت آن. مقاومت حرارتی این عایق‌ها ممکن است پس از مدتی تا ۲۰٪ کاهش یابد. لذا باید از نصب کننده عایق تضمین گرفت.
- عایق کاری باید به طور کامل روی تمام سطح انجام شود. چرا که اگر تنها ۵٪ از سطح خالی بماند، ممکن است تا ۵۰٪ از کارآیی عایق کاسته شود.

- در صورتی که از لایه‌های ضد رطوبت برای عایق حرارتی استفاده می‌شود، باید توجه داشت که پیوستگی عایق و قشر ضد رطوبت آن حفظ شود.
- از عایق‌های آزاد در سقف‌هایی که شیب زیادی دارند، استفاده نشود.
- عایق‌های انباشتی یا پر کردنی معمولاً برای سقف‌ها مناسبند. هنگام استفاده از این عایق‌ها باید حتی الامکان سطح صاف و ضخامت یکنواختی از آن‌ها به وجود آید.
- چنان‌چه عایق‌های تخته‌ای یا ورقه‌ای در دو یا چند لایه اجرا شوند، جهت قرار گرفتن عایق در هر لایه باید عمود بر لایه زیرین باشد.
- روی سطوح پلی استایرن نباید از رنگ‌های روغنی استفاده کرد، زیرا خطر آتش سوزی را افزایش می‌دهند.
- اطراف کابل‌های برق و لوازم الکتریکی را نباید عایق کرد.
- نباید در فاصله کمتر از ۹ سانتیمتر فن‌های خروجی، عایق نصب کرد.
- در فاصله کمتر از ۲/۵ سانتیمتر از حباب‌های لامپ و سرپیچ آن‌ها عایق نصب نشود.
- مصالح نصب عایق‌ها ترجیحاً غیر فلزی انتخاب گردند تا موجب افزایش ضریب انتقال حرارت نشوند. در صورت لزوم استفاده از آن‌ها، حتماً باید پوشش مناسب داشته باشند.



تصویر شماره ۳۷.۱٤. یک نمونه اجرای عایق حرارتی سقف (از راست به چپ)

فصل ۱۵

عایق‌های رطوبتی

۱.۱۵. تاریخچه

حافظت ساختمان‌ها در برابر رطوبت، در تمام دوران تاریخ دغدغه ذهنی بشر بوده است. زیرا آدمی از ابتدا مجبور بوده که محل سکونت خود را در مقابل بارندگی و رطوبت محافظت کند. بی تردید قیر با خاصیت استثنایی آب‌بند کنندگی، از مهم‌ترین کشفیات در دوران باستان بوده است. گمان می‌رود واژه قیر بابلی یا ایلامی باشد زیرا آن‌ها قیر را به جای ملات برای آب‌بندی ساختمان‌های خود مصرف می‌کردند. در ایرن، از دیرباز در مناطق پر بارش، بام شیب‌دار و در مناطق کم بارش، بام افقی می‌ساختند. بام افقی با کاهگل آب‌بندی می‌شده بدین ترتیب که خاک و کاه و آب را خوب مخلوط کرده و ورز می‌دادند سپس بر روی بام به صورت یک لایه پهن می‌کردند. نقش کاه مسلح کردن گل و جلوگیری از ترک خوردن آن است. همچنین به کاهگل بام اندکی

نمک طعام اضافه می‌کردند تا از رویش گیاهان در بستر ایجاد شده، جلوگیری شود و نیز گل خمیری شده در زمستان در دمای زیر صفر درجه یخ نزند. هر ساله روی کاهگل قدیمی را با یک لایه کاهگل جدید می پوشاندند و آن را غلتک می‌کردند. این روش هنوز در برخی از روستاهای ایران رایج است.

بعد از جنگ‌های ایران و روسیه، روس‌ها در مستعمره‌هایشان از جمله شیروان قفقاز، بام‌های شیب‌دار را با ورق‌های مس یا آهن سیاه می‌پوشاندند. ایرانیان این روش را فرا گرفته و آن را با نام بام شیروانی رایج کردند. بعدها ورق آهن سفید و ورق‌های پنکوسیم (پنبه کوهی و سیمان) در بام‌های شیب‌دار استفاده شد.

۲.۱۵. ضرورت استفاده و کاربرد عایق‌های رطوبتی

نفوذ رطوبت در بخش‌های مختلف بنا خساراتی را موجب می‌شود که می‌بایست از آن جلوگیری کرد. در پاره‌ای از موارد، روی سنگ و آجر، مواد ضد رطوبت بی رنگ کشیده می‌شود، یا داخل بتن ملات عایق افزودنی اضافه می‌شود، ولی در بیشتر موارد ناگزیر از مصرف عایق‌های قیری یا پلیمری هستیم. در جاده سازی با پخش مواد قیری (آسفالت)، سطح خاک را ایزوله کرده و از نفوذ آب و یخ زدن آن و در نهایت تخریب جاده جلوگیری می‌کنند. در ٤٠ سال اخیر، ساخت عایق‌های رطوبت، آب و بخار آب توسعه فراوانی یافته است. علاوه بر عایق کردن ساختمان در قسمت پی و بام که دو بخش مهم از حیث نفوذ پذیری آب هستند، عایق کاری مصالح مختلفی که در دیواره-های خارجی و داخلی به کار می‌رود و همچنین بستن درزها، کمک شایانی به حفظ ظاهر بنا برای مدت زمان طولانی و جلوگیری از کوتاه شدن عمر مصالح ساختمانی خواهد کرد.

تصویر شماره ۱.۱۵. عایق دیوار خارجی

تصویر شماره ۲.۱۵. آسفالت

با برآوردی ساده می‌توان دریافت که تنها در پوشش بام ساختمان‌های شهر تهران بیش از ۲۵۰ میلیون مترمربع عایق به کار رفته است. اگر بنا باشد هر چند سال یک بار این پوشش‌ها تعمیر یا تجدید شوند، می‌توان هزینه گزاف آن را تخمین زد. این مسئله ضرورت استفاده از عایق مناسب را بدیهی می‌سازد.

مشکل عمده بام‌های تخت به درک ناقص از پوشش بام و عملکرد متقابل اجزای آن به عنوان بخشی از یک مجموعه مربوط می‌شود. جهت جلوگیری از اتلاف سرمایه ملی و حفظ محیط زیست باید به انتخاب عایق مناسب و اجرای صحیح آن توجه کرد.

۳.۱۵. انواع عایق‌های رطوبتی

در ایران با توجه به شرایط اقلیمی و همچنین وجود منابع عظیم نفتی، از دیرباز متداول‌ترین عایق رطوبتی قیر و گونی بوده است. ولی امروزه با پیشرفت علوم، عایق-های نوینی تولید و ساخته شده‌اند که بعضاً به صورت یک لایه انعطاف پذیر ۱ میلیمتری بر روی سطوح اجرا می‌شوند. از جمله انواع عایق‌های رطوبتی علاوه بر قیر می‌توان به قطران، عایق‌های پلیمری (انواع پلاستیک‌ها و لاستیک)، عایق‌های پیش ساخته، پشم شیشه، تیشو، رنگ‌هایی چون سیلر، انواع ضد زنگ‌ها، انواع ماستیک‌ها و درزبندها و... اشاره کرد که در این نوشتار مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱.۳.۱۵. قیر – Bitumen , Asphalt

همان طور که اشاره شد، قیر در کشور ما از اهمیت بالایی برخوردار است و علاوه بر استفاده در عایق رطوبتی قیر و گونی، مصارف دیگری همچون ساخت رویه‌های آسفالتی در راه سازی نیز دارد. به همین سبب در این مبحث ابتدا انواع قیر و خواص آن شرح داده خواهند شد، سپس به بررسی عایق قیر و گونی خواهیم پرداخت.

قیر یک فرآورده‌ی طبیعی است که به حالت محلول در نفت خام موجود است و از هیدروکربورهایی با وزن مولکولی بالا تشکیل شده است. قیر دارای رنگ مشکی براق است و عمده‌ترین ویژگی آن، غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب و نیز خاصیت چسبندگی آن است. قابلیت چسبندگی قیر بیشتر در راه سازی مورد استفاده قرار می-

گیرد به طوری که به صورت لایه نازکی دور دانه‌های سنگی را گرفته، آن‌ها را به یکدیگر می‌چسباند و تشکیل آسفالت را می‌دهد.

۱.۱.۳.۱۵. انواع قیر

قیرها را بر حسب منابع تهیه و تولید آن‌ها، به دو دسته زیر تقسیم می‌کنند:

۱. قیرهای طبیعی (معدنی) – Native Asphalt

قیر طبیعی در اثر تبخیر روغن‌های سبک نفت خامی که از منابع نفت زیرزمینی به سطح زمین نفوذ کرده و در مجاورت هوا و تابش آفتاب قرار گرفته، به وجود می‌آید.

قیرهای طبیعی گاهاً به صورت سنگ‌های قیری (Rock Asphalt) استخراج می‌شوند. در زمان‌های بسیار دور، نفت خام در سنگ‌های آهکی یا ماسه سنگ‌ها نفوذ کرده، با گذشت زمان روغن‌های معدنی آن به تدریج تبخیر شده و قیر در سنگ به جا مانده است. سنگ آهک قیری را آسیاب کرده، گرد آن را در ساخت رویه آسفالت کوبیده و در بتن آسفالتی مصرف می‌کنند. اگر گرد سنگ قیری، به میزان کمی قیر داشته باشد، به آن قیر می‌افزایند ولی اگر میزان قیر آن زیاد باشد، به آن گرد سنگ می‌زنند.

۲. قیرهای نفتی (پالوده) – Solid Bitumen

این قیر که قسمت عمده مصرف قیر دنیا را تشکیل می‌دهد، از پالایش نفت خام و در آخرین مرحله تقطیر به دست می‌آید. نفت خام را تا دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند، در دماهای مختلف به ترتیب بنزین، نفت، گازوئیل، مازوت و سایر روغن‌ها استخراج شده و در نهایت در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد قیر که سنگین‌ترین ماده موجود در نفت خام است، به دست می‌آید. این قیر پس از تصفیه و اصلاح آماده مصرف می‌شود. ولی دوام قیرهای طبیعی در رویه‌های آسفالتی و اندودهای آب‌بندی، از قیرهای نفتی بیشتر است.

قیرهای نفتی در انواع مختلفی به شرح زیر تولید می‌شوند:

- قیر خالص (Asphalt Cement): قیر نفتی معمولی.
- قیر دمیده (Blown Bitumen): قیر نفتی را با دمیدن هوا، تحت فشار و حرارت قرار داده و قیر دمیده با درجه نفوذ کمتر تولید می‌کنند.

- قیر محلول (Liquid Asphalt): به صورت محلول در حلال‌های نفتی است و به حالت نیمه جامد در موارد خاص مصرف می‌شود.

تصویر شماره ۳.۱۵. سنگ قیری

تصویر شماره ٤.۱۵. قیر محلول

۲.۱.۳.۱۵. خواص قیر

قیر به جز دو خاصیت کلی که غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب و چسبندگی است، دارای خواص دیگری به شرح زیر می‌باشد:

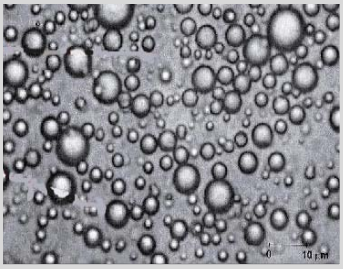
۱. قیر در برابر عوامل جوی نظیر سرما، گرما، یخ زدن و... مقاومت می‌نماید.
۲. قیر در اثر حرارت از سختی به سفتی، خمیری و آبکی تغییر شکل می‌دهد و هنگام پایین آمدن دما مجدداً مراحل فوق را طی کرده و سخت می‌شود.
۳. در مقابل نیروهای کششی مقاوم است و پاره نمی‌شود و نیز در راه سازی قابلیت تحمل نیروهایی که از طرف چرخ ماشین‌ها به آن وارد می‌شود را دارد.
٤. آسفالت جاده‌ها در صورت نیاز به تعمیر، وصله پذیر بوده به طوری‌که آسفالت نو و کهنه به خوبی به هم چسبیده و به صورت یکپارچه عمل می‌کنند.
۵. در برابر اسیدها، بازها و نمک‌ها مقاوم است.
٦. قیر دارای عمری طولانی است و خواص فوق را برای مدت زمان زیادی در خود نگه می‌دارد.
۷. از نظر اقتصادی نسبت به اکثر عایق‌های رطوبتی دیگر به صرفه‌تر است.

با وجود همه مزایای فوق، قیر در وضعیت‌های زیر برخی از خواص خود را از دست می‌دهد، به طوری که نمی‌توان از آن به خوبی استفاده کرد:

۱. تجزیه شدن در دمای خیلی زیاد و تبدیل آن به زغال توأم با اشتعال.
۲. تغییر شکل در برابر فشار و حلال‌ها.

۳.۱.۳.۱۵. امولسیون قیر (قیرآبه) – Emulsifide Asphalt

امولسیون یا مخلوط معلق به مخلوط دو ماده‌ای که در هم حل نمی‌شوند، گفته می‌شود. امولسیون قیر مخلوط آب و قیر است به طوری که قیر را گرم می‌کنند و آن را به صورت ذرات بسیار ریز، در حد میکرون، در آب می‌پاشند. برای شناور شدن ذرات قیر در آب و جلوگیری از چسبیدن آن‌ها به یکدیگر، از موادی نظیر ژلاتین که به آن‌ها امولسیون ساز می‌گویند، استفاده می‌کنند.



تصویر شماره ۵.۱۵. ذرات معلق قیر در آب (امولسیون قیر)

تصویر شماره ٦.۱۵. اجرای امولسیون قیر در بستر راه

از امولسیون قیر در مکان‌هایی که امکان گرم کردن قیر وجود ندارد و باید آن را به صورت مایع سرد و با کم‌ترین درجه حرارت مصرف کنند، مخصوصاً در راه سازی، استفاده می‌کنند. مصرف امولسیون قیر به جای قیرهای محلول در عملیات راه سازی، از حیث ایمنی و جلوگیری از حوادثی نظیر آتش سوزی و اشتعال، حائز اهمیت است. علاوه بر این در کشور ما سالیانه حدود نیم میلیون تن قیر محلول برای عملیات مختلف مصرف می‌شود که حدود $\frac{۱}{٤}$ این مقدار را نفت سفید تشکیل می‌دهد. لذا با کاربرد امولسیون قیر به جای قیر محلول، سالانه ۱۲۵۰۰۰ تن نفت سفید صرفه جویی می‌شود.

پس از ریختن امولسیون قیر بر روی دانه‌های سنگی در عملیات راه سازی، به تدریج آب امولسیون تبخیر شده و قیر بر روی دانه‌های سنگی باقی می‌ماند. این عمل را شکستن امولسیون گویند. مدت زمان شکستن امولسیون اهمیت ویژه‌ای دارد. این زمان به دما و رطوبت محیط، سرعت باد، جنس محیط و جنس دانه‌های سنگی بستگی دارد. اگر دانه‌ها خاصیت مکندگی بالایی داشته باشند، امولسیون زودتر می‌شکند.

٤.١.٣.١٥. افزودنی‌های قیر

جهت اصلاح خواص قیر افزودنی‌ها و اصلاح کننده‌هایی نظیر مواد معدنی، آلی، طبیعی، صنعتی، پلاستیک‌ها، لاستیک‌ها و... را به قیر می‌افزایند. این مواد تأثیراتی از قبیل کاهش نقطه شکنندگی و ترک خوردن قیر در سرما، افزایش درجه نرمی در گرما، مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش و جلوگیری از عریان شدن سنگ‌دانه‌ها را در قیر ایجاد می‌کنند.

٥.١.٣.١٥. عایق قیر و گونی

این عایق یکی از متداول‌ترین عایق‌های رطوبتی در ایران می‌باشد. بدین سبب که در اکثر شهرهای ما مواد اولیه این عایق به وفور یافت می‌شود. این عایق از دو لایه قیر و یک لایه گونی جهت مسلح کردن قیر ساخته می‌شود. البته تعداد لایه‌های قیر و گونی بر حسب مکان مورد نظر متفاوت است.

تصویر شماره ۷.۱۵. عایق قیر و گونی

طبق آیین‌نامه مقررات ملی ایران (مبحث۵) گونی ایده‌آل باید: نو، کاملاً سالم، ریزبافت، بدون آلودگی و چروک بوده و وزن آن در هر مترمربع حدود ۳۸۰ گرم باشد.

عایق قیر و گونی دارای معایبی به شرح زیر می‌باشد:

۱. چون قیر وزن مولکولی زیادی دارد، به راحتی نمی‌تواند به فضاهای خالی الیاف گونی نفوذ کند. در حالی که قطر مولکولی آب کم است و به راحتی می‌تواند به فضاهای خالی گونی نفوذ کرده و باعث پوسیدگی آن شود.
۲. تاب کششی قیر و گونی به دلیل جذب آب زیاد، کم است.
۳. امکان پیدایش فضاهای خالی و باقی ماندن نم و هوا در داخل این فضاها وجود دارد که باعث طبله شدن می‌شود. با رشد طبله‌ها و سپس ترک خوردن آن‌ها امکان نشت آب فراهم می‌گردد.

٤. در روش سنتی، دمای قیر و کیفیت مصالح تحت کنترل قرار نمی‌گیرند.
٥. اجرای قیر و گونی در لبه‌های جان پناه مشکل است و معمولاً شکست‌های زود رس را به دنبال دارد.
٦. گونی معمولاً به صورت عدل وارد می‌شود. و دارای تا خوردگی است که در عایق کاری ایجاد اشکال می‌نماید.
٧. در شیب‌های بیش از ٥٪ و در بام‌های گنبدی نمی‌توان از این عایق استفاده کرد. زیرا در این شرایط قیر در مقابل حرارت آفتاب نرم و روان می‌شود.
٨. عمر مفید این عایق به طور متوسط کمتر از ١٠ سال بوده و ترمیم متناوب آن با مشکلات اجرایی زیاد و هزینه‌های قابل توجه همراه است.

٦.١.٣.١٥. قیرهای مورد استفاده در ایران

با توجه به این‌که قیر هنگامی که در راه سازی یا در ایزولاسیون پشت بام‌ها به مصرف می‌رسد، محفوظ نبوده و همواره تحت تأثیر عوامل جوی قرار می‌گیرد، بنابراین باید از قیر متناسب با آب و هوای منطقه استفاده کرد. این نکته در کشور ما که دارای اقلیم‌های متفاوت (بسیار سرد تا بسیار گرم) می‌باشد، بسیار حائز اهمیت است. به عنوان مثال قیری که در درجه حرارت‌های پائین نرم و روان می‌گردد، قابل استفاده در مناطق گرمسیری جنوب کشور نخواهد بود و یا قیری که در دمای (٥-) درجه سانتیگراد دچار ترک خوردگی می‌شود را نمی‌توان در مناطق سردسیری به کار برد. بدین لحاظ قیرهای پالوده را با توجه به خواص آن‌ها نام‌گذاری نموده و معمولاً آن‌ها را با دو عدد مشخص می‌نمایند. مانند قیرهای ١٠-٢٠، ٢٠-٣٠، ٣٠-٤٠، ٤٠-٥٠، ٦٠-٧٠، ١٥-٩٥، ٨٠-١٠٠، ١٠٠-١٢٠، ١٥٠-١٣٠، ١٨٠-٢٠٠، ٢٢٠-٢٥٠ و ٢٨٠-٣٢٠ که در ساختمان سازی بیشتر قیرهای ٧٠-٦٠ و ١٥-٩٥ مصرف می‌شود و به نام قیر شل و قیر سفت معروف می‌باشند. بقیه قیرها که هر یک مشخصات ویژه‌ای دارند، در راه سازی و سایر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲.۳.۱۵. قطران – Goudron

برای ساخت قطران به زغال سنگ گرما می‌دهند تا گاز آن خارج شود و کک به جا ماند. سپس گاز برخاسته را سرد می‌کنند تا عرق کند و قطره قطره بچکد (تقطیر شود). به ماده حاصله قطران گفته می‌شود. قطران هم مانند قیر دانه‌های سنگی را به یکدیگر می‌چسباند، از این رو برای ساختن رویه‌های سیاه و نیز در عایق کاری رطوبتی به مصرف می‌رسد. از چوب و سنگ شیست چرب هم قطران می‌گیرند.

قطران دارای مواد اسیدی است که در آب حل می‌شوند لذا باید در استفاده از آن در راه سازی دقت لازم به عمل آید. زیرا هنگام بارندگی مقداری از قطران در آب حل شده و وارد جوی‌ها و فضای سبز کنار راه‌ها می‌شود و گیاهان را آلوده می‌سازد.

تصویر شماره ۸.۱۵. دانه‌های قطران

تصویر شماره ۹.۱۵. آسیب دیدن گیاهان توسط قطران

۳.۳.۱۵. عایق‌های رطوبتی پیش ساخته

با پوشش‌های پیش ساخته می‌توان بسیاری از مشکلات عایق کاری رطوبتی را حل کرد. در چند دهه اخیر استفاده از این پوشش‌ها در ایران بسیار رواج یافته است. بهترین نوع این پوشش‌ها نمد پشم شیشه است.

این عایق‌ها عموماً از مواد اولیه زیر تشکیل می‌شوند:

۱. قیر صنعتی ۷۰-۶۰.
۲. مواد پلیمری به نام اتکتیک پلی پروپیلن (APP).
۳. یک لایه تیشوی (الیاف شیشه) مسلح شده با نخ.
٤. یک لایه پلی استر نبافته (لایه تیشو و پلی استر با قیر اشباع می‌شوند.)

۵. پودر تالک و در برخی از این عایق‌ها پودر مس نیز به کار می‌رود.
٦. فیلم پلی اتیلن.

برخی از کارخانه‌های تولید کننده عایق‌های پیش ساخته، عایق با روکش آلومینیوم نیز تولید می‌کنند که حدود ۸۵٪ از نور و حرارت را نیز منعکس می‌کند.

طبق استاندارد ایران این عایق‌ها به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. **عایق پی:** عایق‌های رطوبتی پیش ساخته مخصوص پی ساختمان.
۲. **عایق بام:** عایق‌های رطوبتی پیش ساخته مخصوص بام، سطوح خارجی، سرویس‌های بهداشتی، استخرها، تونل‌ها و... .

۱.۳.۳.۱۵. خواص عایق‌های رطوبتی پیش ساخته

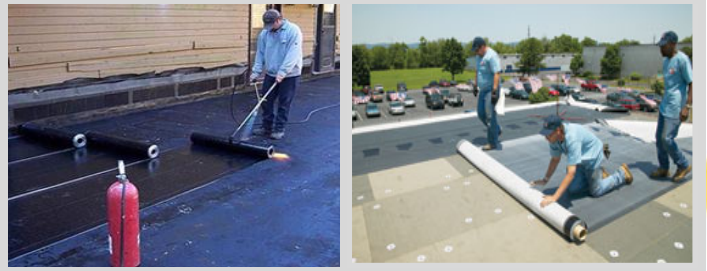
اکثر عایق‌های رطوبتی پیش ساخته دارای مشخصات استاندارد زیر می‌باشند:

۱. ضخامت آن‌ها بین ٦-۲ میلیمتر است.
۲. مقاومت کششی طولی ٦۰-۵۰ و مقاومت کششی عرضی ۳۵-۳۰ کیلوگرم بر ۵۰ سانتیمتر دارند.
۳. افزایش نسبی طولی ١٦-١٤٪ و افزایش نسبی عرض ۱۰-۸٪ دارند.
٤. دارای قابلیت جذب آب ۱٪ و کاهش وزن ۱٪ می باشند.

مزایای عایق‌های رطوبتی پیش ساخته به شرح زیرند:

۱. سبک هستند و دارای قابلیت انعطاف کامل می‌باشند.
۲. در برابر عوامل جوی پایدارند و تحمل دماهای بین ۱۳۰-(٤۰-) درجه سانتیگراد را دارند.
۳. دچار پوسیدگی و شکنندگی نمی‌شود.
٤. به علت دارا بودن لایه پلی استر در مقابل فشارهای احتمالی ناشی از انبساط و انقباض ساختمان مقاوم می‌باشند.
۵. تاب کششی بالایی دارند.
٦. از خاصیت پایداری ابعاد در برابر حرارت برخوردارند.

با وجود مزایای مذکور، این عایق‌ها معایبی چون کم بودن عمر مفید (در حدود ۱۵ سال)، هزینه بالا و مشکلات تعمیر را نیز دارند. همچنین اگر در شرایط مطلوب نگهداری نشوند، پس از گذشت ٦ ماه از زمان تولید، فاسد می‌گردند. (باید به صورت عمودی در دمای ۳۵-۵ درجه سانتیگراد نگهداری شوند.)



تصویر شماره ۱۰.۱۵. دو نمونه از عایق‌های رطوبتی پیش ساخته

٤.۳.۱۵. پشم شیشه

در مورد عایق رطوبتی و حرارتی پشم شیشه در فصل «عایق‌های حرارتی» مفصلاً توضیح داده شده است.

۵.۳.۱۵. تیشو

تیشو در واقع همان الیاف شیشه است که در فواصل معین و یکنواخت کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این محصول به عنوان حامل در تولید عایق‌های رطوبتی، عایق کاری لوله‌های گاز و آب جهت حافظت آن‌ها از رطوبت، خوردگی و زنگ‌زدگی به کار می‌رود. تیشو در برابر آتش سوزی و فرسایش مقاوم است و در اکثر موارد در آن رزین تقویت کننده فنولیک نیز به کار می‌رود. ویژگی‌های تیشوی مرغوب عبارتند از:

۱. این محصول باید از نظر شکل ظاهری و رنگ کاملاً یکنواخت بوده و لبه‌های آن نیز صاف و بدون چروک باشد.
۲. روی سطح آن نباید هیچ گونه خرده شیشه‌ای مشاهده شود.
۳. باید عاری از رطوبت بوده و هنگام باز نمودن رول چسبنده نباشد.

۶.۳.۱۵. پرایمرها – Primer

پرایمرها (آسترها) دسته‌ای از محصولات تولیدی بر پایه انواع قیرها، رزین‌ها، افزودنی-ها و حلال‌های مختلف می‌باشند که به حالت مایع و با استفاده از قلم رنگ، غلتک و یا اسپری بر روی سطح اعمال شده و پوششی ضد رطوبت و ضد زنگ ایجاد می‌کنند.

از انواع مختلف پرایمرها (شرکت‌های مختلف انواع گوناگونی از این محصول را تولید می‌کنند) جهت عایق کاری رطوبتی سطوح بتنی، اسکلت فلزی ساختمان، صفحه ستون‌ها، تیرهای چوبی، تانک‌های ذخیره آب، لوله‌های فلزی آب آشامیدنی و فاضلاب و لوله‌های گاز و نفت استفاده می‌کنند. پرایمرها همچنین به عنوان پوشش زیرین لایه عایق رطوبتی پیش ساخته بام جهت ایجاد چسبندگی بهتر به کار می‌روند.

۸.۳.۱۵. ماستیک‌ها و درزبندها – Mastic

این گروه از محصولات تولیدی عمدتاً به منظور پر کردن و آب‌بند نمودن درزها، منافذ و ترک‌ها، روی سطوح مختلف مانند بتن، فلز، آسفالت، چوب و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. این محصولات با استفاده از مواد مختلفی نظیر انواع قیرها، حلال‌ها، پلیمرها، رزین‌ها، افزودنی‌های ویژه و مواد پرکننده، تولید و به طریق سرد یا گرم اجرا می‌شوند. از جمله ویژگی‌های ماستیک‌ها و درزبندها می‌توان به رطوبت ناپذیری، انعطاف پذیری، چسبندگی، مقاومت در برابر عوامل جوی و مواد شیمیایی اشاره کرد. علاوه بر این چون درزبندها پس از خشک شدن حالت لاستیکی پیدا می‌کنند، هر گونه فشار، ضربه، تغییرات دما و حرکات نسبی اجزاء ساختمان را نیز تحمل می‌کنند. انواع ماستیک‌ها و درزبندها با توجه به شرکت سازنده آن‌ها متفاوت است.

تصویر شماره ۱۱.۱۵. تیشو

تصویر شماره ۱۲.۱۵. پرایمر

تصویر شماره ۱۳.۱۵. ماستیک

۷.۳.۱۵. سیلرها

سیلر در واقع جزء رنگ‌ها محسوب می‌شود و جهت پر کردن منافذ و خلل و فرج چوب قبل از رنگ نهایی به کار می‌رود و سبب ایجاد استحکام و سختی بیشتر رنگ-های نهایی می‌شود. علاوه بر این سیلر خاصیت ضد رطوبتی نیز دارد ولی نباید در مجاورت حرارت مستقیم یا زیر نور مستقیم خورشید قرار گیرد چون طبله می‌کند. کیلر نیز مانند سیلر جزء رنگ‌های شفاف است با این تفاوت که کیلر پس از خشک شدن براق است و به عنوان رنگ رویه نهایی به کار می‌رود. (رجوع شود به فصل «رنگ ها و پوشش‌های محافظ»)

۹.۳.۱۵. عایق‌های رطوبتی پلیمری

از این مواد جهت عایق کردن اتصالات و نیز به صورت ورقه برای عایق کردن سطوح استفاده می‌کنند. مواد پلیمری هم خاصیت عایق حرارتی و هم عایق رطوبتی را دارا می-باشند که در فصول «عایق‌های حرارتی» و «پلاستیک‌ها» به طور مفصل شرح داده شده-اند. در این مبحث فقط به ذکر انواع این عایق‌ها اکتفا می‌شود:

عایق‌های بوتیلی، اکریلیک، پلی یورتان، سیلیکون، پلی استر نبافته، اپوکسی، عایق‌های ابری و... . عایق‌های ابری، نوارهای فشرده شونده از جنس PVC، پلی اتیلن یا پلی یورتان هستند که یک یا دو طرف آن‌ها نوار چسب کشیده می‌شود. از این عایق-ها جهت پر کردن درزهای انبساط، درز در و پنجره‌ها و دریچه‌ها استفاده می‌کنند.

۱۰.۳.۱۵. عایق‌های رطوبتی ساخته شده بر پایه سیمان

این دسته از محصولات دو جزئی بوده و بر پایه سیمان ساخته می‌شوند و به صورت پودر مخلوط با آب تولید شده و به راحتی بر روی سطوح بتنی، آجری، و... قابل اجرا هستند. از آن‌جا که این محصولات پس از خشک شدن خاصیت الاستیکی پیدا می‌کنند، در نتیجه ضربات وارده، فشارهای جانبی و تغییرات دما هیچ هیچ تأثیری روی آن‌ها نداشته و باعث شکسته شدن یا ترک برداشتن آن‌ها نمی‌گردند. همچنین به سبب این‌که

این محصولات بر پایه سیمان هستند، عاری از مواد سمی بوده و می‌توان از آن‌ها در داخل مخازن آب آشامیدنی نیز استفاده کرد.

تصویر شماره ۱٤.۱۵. اجرای عایق رطوبتی ساخته شده بر پایه سیمان، بر روی سطح بتن

۱۱.۳.۱۵. عایق‌های رطوبتی نوین

امروزه با توجه به گسترش شرکت‌ها و کارخانه‌های سازنده، عایق‌های رطوبتی بسیاری با نام‌های مختلف ساخته شده‌اند که هر کدام ویژگی و کاربرد خاصی دارند. در این نوشتار به برخی از این عایق‌ها اشاره مختصری خواهد شد.

- **ایزوشینگل**: این محصول لایه‌ای مستحکم از نوعی قیر اصلاح شده با پلیمر-های مرغوب است که به وسیله یک لایه پلی استر یا تیشو تقویت گردیده است. ایزوشینگل پوششی مناسبی برای سقف‌های شیب‌دار با زاویه بیش از ۱۵ درجه است. نصب آسان، بارگذاری اندک بر سازه سقف، عمر طولانی، تنوع در طرح و رنگ و جلوه زیبا از مزایای این عایق محسوب می‌شود.
- **ایزو فلکس**: این عایق به صورت سرد و مایع اجرا شده و دارای مزایایی از جمله: ایجاد پوشش یکپارچه و بدون درز، مقاوم در برابر اشعه ماوراء بنفش، وزن کم در واحد سطح، خاصیت عایق حرارتی و قابل اجرا در سطوح غیر هندسی می‌باشد.
- **نماسیل**: پوشش عایق بر پایه آب و متشکل از رزین‌ها و پوشش دهنده‌های با ثبات می‌باشد که پس از اجرا ضمن محافظت از سطح زیر کار و ممانعت از شوره زدن آن، عایق رطوبتی کامل برای سطح ایجاد می‌کند. این محصول در رنگ‌های مختلف جهت نمای خارجی و داخلی ساختمان، سقف‌های شیب‌دار و استخرها و بر روی کلیه سطوح با هر جنسی قابل اجراست.

- **واترسیل**: ترکیبی الاستومری که بر پایه آب و یا حلال قابل عرضه بوده و به عنوان عایق رطوبتی و پوشش محافظ روی سطوح کاشی، سرامیک، بتن و مخازن فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تصویر شماره ۱۵.۱۵. ایزوشینگل

تصویر شماره ۱۶.۱۵. واترسیل

٤.١٥. نکات اجرایی در عایق کاری رطوبتی

جهت عایق‌کاری بخش‌های مختلف ساختمان به خصوص پشت بام، نکاتی باید مد نظر قرار گیرند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد:

- سطح مورد نظر باید عاری از هرگونه گرد و خاک، رطوبت و چربی باشد.
- هنگام بتن‌ریزی در قسمت‌های مختلف ساختمان (کف، بام، استخر و...) می‌توان مواد عایق رطوبتی ویژه‌ای را به صورت پودر یا مایع به بتن اضافه کرد و بدین ترتیب بتن را در برابر آب و رطوبت مقاوم کرد.
- در بام‌های سبز معمولاً کف بام را در محل باغچه‌ها، با ورق مسی یا گالوانیزه با شیب کافی و نیز دو لایه عایق رطوبتی مناسب می‌پوشانند.
- در عایق‌کاری رطوبتی بام متداول است که قیری که در بام ساختمان به عنوان ایزولاسیون رطوبتی استفاده می‌گردد، به وسیله آسفالت و یا فرش موزائیک پوشانیده می‌شود. آسفالت پشت بام که ماده‌ای با خلل و فرج حدود ۵٪ است خاصیت عایق ندارد بلکه محافظ در مقابل تشعشعات ضعیف اتمی روی عایق است. برای روشن شدن رنگ آسفالت، جهت عدم جذب حرارت بهتر است پودر سنگ سفید، رنگ پلاستیک رزین‌دار سفید یا رنگ آلومینیومی روی آن اجرا کرد.

- اجرای عایق بام باید در فصول خشک سال انجام پذیرد. چنان‌چه این کار در مناطق پر باران صورت می‌گیرد، باید از کم بودن میزان رطوبت داخل بتن یا پرلیت روی بام اطمینان حاصل کرد. در غیر این صورت پس از اجرای عایق رطوبتی، آب در زیر لایه عایق تبخیر شده و چون مفری برای خروج ندارد باعث جدا شدن لایه عایق از سطح بام و ایجاد برآمدگی می‌شود.
- کنج‌های ۹۰ درجه نقطه ضعفی برای عایق‌های رطوبتی می‌باشند. بنابراین قبل از شروع به کار باید در این کنج‌ها با ملات پخی ایجاد کرد.
- پس از اتمام کار نوبت به مرحله آزمایش می‌رسد. همان طور که در تصویر شماره ۱۸.۱۵ مشهود است، ناودانی‌ها بسته می‌شوند و بر روی بام به مدت ۲٤ ساعت آب می‌اندازند تا از عدم نشت آب اطمینان حاصل شود.

تصویر شماره ۱۷.۱۵. پخ کردن کنج‌های ۹۰ درجه در بام

تصویر شماره ۱۸.۱۵. آزمایش عدم نشت آب در بام

۵.۱۵. انبار کردن و نگهداری عایق‌های رطوبتی

محصولات عایق رطوبتی اکثراً به صورت رول بسته‌بندی می‌شود. رول‌ها باید محکم پیچیده شده باشند و به وسیله نوار چسب پیچیده شوند. رول‌ها باید به صورت عمودی در انبار سرپوشیده نگهداری شوند. کف انبارهای صاف و دمای آن بین ۳۵-۵ درجه سانتیگراد باشد. چنان‌چه محصول در فضای باز نگهداری شود باید از پالت استفاده شده و روکش پلی اتیلن رنگی روی آن کشیده شود. باید توجه کرد که برای مدت طولانی نمی‌توان از فضای باز برای نگهداری عایق‌ها استفاده کرد. مدت نگهداری عایق از تاریخ تولید تا مصرف به مدت ٦ ماه است.

فصل ۱۶

عایق‌های صوتی

۱.۱۶. تاریخچه

در گذشته به علت ضخامت زیاد دیوارها، بلندی سقف‌ها و محوطه‌های وسیع پیرامون بناها، مسأله صورت مشکل زا نبوده و از اهمیت چندانی نیز برخوردار نبوده است. ولی امروزه با گسترش و توسعه شهرها و ماشین‌ها، آلودگی صوتی نیز افزایش یافته و تمهیدات خاصی را جهت کاهش اصوات مزاحم می‌طلبد. بنابراین می‌توان پیدایش عایق‌های صوتی را همزمان با گسترش و صنعتی شدن شهرها دانست.

۲.۱۶. ضرورت استفاده و کاربرد عایق‌های صوتی

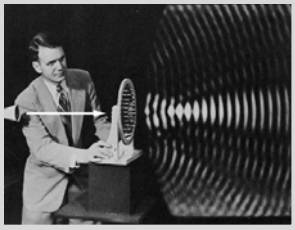
وقتی به یک جسم جامد ضربه وارد می‌کنیم، تولید صدا می‌کند. صوت ایجاد شده در تمامی جهات در فضا پخش می‌شود ولی سرعت آن در هوا (گازها) کمتر از مایعات و

جامدات است. زیرا صوت برای انتقال از نقطه‌ای به نقطه دیگر به ماده نیاز دارد. اصوات به دو طریق به داخل ساختمان منتقل می‌شوند:

۱. به صورت امواج هوایی از طریق بازشوها، کانال‌های تهویه و... .
۲. به صورت امواج کوبه‌ای (ضربه‌ای) از طریق ارتعاش اجزاء ساختمان نظیر دیوار، سقف، کف و... .

برخی از اجزا و مصالح ساختمانی صوت را جذب کرده و از خود عبور می‌دهند و برخی دیگر نیز با انعکاس صدا باعث ایجاد پژواک می‌شوند. مصالح عایق صوتی یا آکوستیکی (Acoustic) موادی هستند که امواج صوتی را جذب کرده و مقدار آن را کاهش دهند. مصالح آکوستیکی دارای حفره‌های ریزی هستند که امواج صوتی هنگام ورود و خارج شدن از این حفره‌ها در اثر اصطکاک ایجاد شده مقداری از انرژی خود را به صورت حرارت از دست می‌دهند. میزان صوتی که توسط مصالح جذب می‌شود علاوه بر تعداد حفره‌ها و عمق آن‌ها، به فرکانس صدا نیز بستگی دارد. گوش یک انسان سالم قادر به شنیدن فرکانس‌های بین ۲۰۰۰۰-۱۶ هرتز است. در جدول شماره ۱.۲۱ میزان صوت تولید شده توسط چند منبع صوتی عنوان شده است.

تحقیقات پزشکی اثرات آلودگی صوتی را بر حساسیت گوش انسان ثابت نموده است که علاوه بر ناشنوایی‌های دائم و موقت، اختلال در سیستم های عصبی، گوارشی، قلب و عروق را نیز سبب می‌شود. از این رو استفاده از عایق‌های صوتی خصوصاً در مکان‌های خاص نظیر بیمارستان‌ها، استودیوها و... از اهمیت بالایی برخوردار است.



تصویر شماره ۱.۱۶. انتشار امواج کوبه‌ای

تصویر شماره ۲.۱۶. حفره‌های ریز موجود در مصالح آکوستیک

تصویر شماره ۳.۱۶. حفره‌های سقف تالار موسیقی عمارت عالی قاپو جهت جذب انعکاس صوت

عایق‌های صوتی در انواع مختلف به صورت تخته‌ای یا ورقه‌ای قابل نصب بر روی دیوار، سقف، کف و... هستند. از موادی نظیر پوکه معدنی نیز می‌توان به عنوان عایق صوتی کف یا پشت بام استفاده کرد.

تصویر شماره ٤.١٦. اجرای سقف کاذب با تایل‌های سقفی

تصویر شماره ٥.١٦. اجرای عایق صوتی بر روی کف

جهت صرفه جویی در هزینه می‌توان هنگام عایق کاری حرارتی ساختمان، از موادی استفاده کرد که علاوه بر مقاومت در برابر گرما، در برابر صوت نیز مقاوم باشند. از جمله پلی استایرن، پلی یورتان، پشم شیشه، پشم سنگ، بتن سبک و... که از این بین پشم شیشه گزینه مناسب‌تری است، خصوصاً در محل‌هایی که پارکت نصب می‌گردد.

جدول شماره ١.١٦. میزان صوت تولید شده توسط چند منبع صوتی

منابع تولید کننده صوت	میزان صوت بر حسب دسی بل
شلیک گلوله از تپانچه	١٦٠-١٥٠
موتور جت در فاصله ٥ متری	١٥٠-١٤٠
ایستگاه موتوری (اتوبوس)	١١٠-١٠٠
بیشترین صوت در خیابان	٩٠-٨٠
حداکثر صدای موزیک	٨٠
جاروبرقی	٦٠
صحبت کردن	٥٠
صدای عمومی در خانه	٤٠
صدای عمومی در پارک	٣٠
صدای دم و بازدم	١٠

۳.۱۶. انواع مصالح عایق صوتی

مصالح آکوستیکی بسیار متنوع هستند و با نام‌های تجاری گوناگونی تولید و عرضه می‌شوند. برخی از آن‌ها مانند اندودهای گچی آکوستیکی (ملات گچ و پرلیت) و اندودهای فیبری در محل قابل اجرا هستند و برخی دیگر نیز به صورت تخته‌ها (تایل‌ها) و صفحات پیش ساخته تولید می‌شوند. ویژگی مهم برای این مصالح این است که سخت نباشند، وزن مخصوص بالایی داشته باشند و در برابر رطوبت و هجوم حشرات نیز مقاوم باشند. در این مبحث عمده‌ترین مصالح عایق صوتی بررسی خواهند شد.

۱.۳.۱۶. تخته‌ها و صفحات گچی متخلخل (سوراخ‌دار)

این مصالح شامل سیستم‌های دیوارهای جدا کننده داخلی (پارتیشن)، سقف‌های کاذب و روکش دیوارهای سنتی اعم از تأسیساتی و غیر تأسیساتی می‌باشند که به صورت ساده یا دکوراتیو تولید می‌شوند. از مزایای این سیستم، سرعت و کیفیت اجرای بالا، انعطاف پذیری، حفاظت سازه در برابر حریق و صرفه اقتصادی است.

۲.۳.۱۶. تخته‌ها و صفحات فیبر معدنی

این تخته‌ها و صفحات از پشم‌های معدنی نظیر پشم سرباره و به دو صورت شکاف‌دار و سوراخ‌دار تولید می‌شوند. نوع شکاف‌دار آن‌ها در مواردی که جنبه زیبایی آن حائز اهمیت باشد، به کار می‌رود. این مصالح در گونه‌های مختلف از نظر اندازه، ضخامت، بافت و قابلیت جذب صوت ساخته می‌شوند و در برابر آتش نیز مقاوم هستند.

هنگام رنگ آمیزی این مصالح باید توجه کرد که از رنگ‌های ویژه استفاده گردد تا حفره‌های آن‌ها بسته نشود.

۳.۳.۱۶. تخته‌ها و صفحات فیبر سلولزی

این تخته‌ها و صفحات معمولاً از الیاف نیشکر که تحت فشار قرار گرفته، ساخته می‌شوند و تنوع زیادی در نقش و بافت دارند. مشکل عمده این مصالح مقاومت کم در برابر رطوبت و آتش است.

٤.٣.١٦. تخته‌های فلزی متخلخل (سوراخ‌دار)

این تخته‌ها از تاوه‌های آلومینیومی یا فولادی سوراخ‌دار و لعاب خورده ساخته شده‌اند که داخل آن‌ها با لایه‌ای از مصالح آکوستیک نظیر پشم‌های معدنی پر شده است. دوام و عمر این تخته‌ها زیاد است از این رو قیمت بالای آن‌ها توجیه پذیر می‌شود.

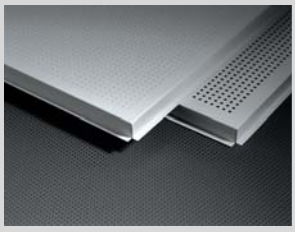
٥.٣.١٦. ورق سرب

ورق سرب با استفاده از چسب‌های الاستومری بر روی سطوح چسبانده می‌شود و به میزان زیادی عبور صوت را کاهش می‌دهد. اگر این ورق بر روی چوب اجرا شود، به دلیل این که چوب نیز تا حدی متوقف کننده صوت است[1]، بنابراین تأثیر آن‌ها افزایش خواهد یافت.

علاوه بر مصالح ذکر شده، تمهیداتی از قبیل نصب شیشه دو جداره یا استفاده از مصالح پرزدار نظیر موکت کردن کف نیز در کاهش انتقال صوت تأثیر گذارند.

تصویر شماره ٦.١٦. تخته‌های گچی متخلخل

تصویر شماره ٧.١٦. تخته‌های فیبر معدنی



تصویر شماره ٨.١٦. تخته‌های فلزی متخلخل

١. در گذشته از چوب پنبه جهت عایق صوتی زیر سقف و یا زیر پی ماشین آلات استفاده می‌شد. هنوز هم در برخی موارد این روش اجرا می‌شود.

بخش پنجم

سایر مصالح

فصل ۱۷

مصالح فلزی

۱.۱۷. تاریخچه

بشر از دیرباز با فلزات گوناگون آشنا بوده و از آن‌ها برای ساخت نیزه و دیگر ابزارهای دست ساز استفاده می‌کرده است. به طوری که اولین نشانه‌های استفاده از فلزات در ابزار سازی، در میان سومریان و مصریان به سال‌های قبل از میلاد مسیح باز می‌گردد. اما تنها از اوایل قرن ۱۸ میلادی با پیشرفت صنعت، استفاده از فلزات وارد صنعت ساختمان سازی شد. ابتدا از آهن برای تزئینات و کلاف‌بندی ساختمان‌ها استفاده می‌شد و در اواخر قرن ۱۸، اولین بناها با سازه فلزی ساخته شدند. کریستال پالاس در شیکاگو یکی از این ساختمان‌هاست. به تدریج استفاده از فلزات دیگر نظیر چدن، فولاد (اواخر قرن ۱۹ میلادی)، آلومینیوم، مس و... در ساختمان سازی رواج یافت به طوری که امروزه فلزات بخش مهمی از صنعت ساختمان را به خود اختصاص داده‌اند.

تصویر شماره ۱.۱۷. تبر متعلق به ۱۲۰۰ سال قبل از میلاد – سودان

تصویر شماره ۲.۱۷. کریستال پالاس – شیکاگو

تصویر شماره ۳.۱۷. برج ایفل – فرانسه

۲.۱۷. ضرورت استفاده و کاربرد فلزات

امروزه با مشاهده ساختمان‌های بدیع و آسمان خراش‌های عظیم، بازتاب تأثیر فلزات در زندگی انسان کاملاً آشکار است. در واقع اگر فلز نبود، زندگی و تمدن بشری به چنین مرحله‌ای نمی‌رسید.

فلزات گروهی از عناصر هستند که خواص مشترک معینی دارند. این مواد گرما و الکتریسیته را به خوبی هدایت می‌کنند، بر همین مبنا ظروف آشپزی و سیم‌های برق از فلز ساخته می‌شوند. فلزات همچنین بسیار محکم‌اند لذا از آن‌ها در ساخت سازه‌های ساختمانی استفاده می‌کنند. فلزات به راحتی قابل شکل دادن هستند، بنابراین می‌توان از آن‌ها مفتول‌های ظریف سیمی تا قطعات بزرگ آهنی را تولید کرد. علاوه بر این‌ها، ویژگی قابل بازیافت بودن فلزات، مزایای استفاده از آن‌ها را دو چندان کرده است. انواع مختلف فلزات شباهت‌های زیادی با هم دارند ولی در عین حال تفاوت‌هایی نیز دارند که مشخص می‌کند یک فلز تا چه حد برای یک کاربرد خاص مناسب است.

از ۱۰۹ عنصری که امروزه شناخته شده است، ۸۷ عنصر فلز است. از فلزات به ندرت به شکل خالص استفاده می شود؛ معمولاً با مخلوط کردن یک فلز با فلزات دیگر یا غیر فلزات، آلیاژی از آن را تولید کرده و مورد استفاده قرار می‌دهند.

۳.۱۷. خواص عمومی فلزات

همان گونه که ذکر شد، فلزات گوناگون شباهت‌های زیادی با هم دارند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- **شکل ظاهری فلزات:** این مواد ظاهری درخشنده و براق دارند و می‌توان آن‌ها را صیقل داد.
- **ساختار فلزات:** ساختار و شکل واقعی فلزات به اندازه یون و تعداد الکترون‌هایی که هر یون در حوزه اشتراکی دارد و نیز انرژی یون‌ها و الکترون‌ها بستگی دارد. هر قدر فلز گرم‌تر شود، این انرژی افزایش خواهد یافت. بنابراین یک فلز ممکن است در حرارت‌های مختلف، شکل‌های متنوعی را اختیار کند. اما در بیشتر آرایش‌ها، یون‌ها کاملاً پهلوی هم قرار دارند و معمولاً تراکم در فلزات بیشتر از مواد دیگر است.
- **تغییر شکل پذیری فلزات:** بسیاری از فلزات هنگام سرد بودن، به سختی تغییر شکل می‌پذیرند. ولی اگر گرم شوند، به راحتی در اثر کوبیدن به صورت ورقه یا مفتنول سیمی در می‌آیند. علت این امر این است که بسیاری از فلزات در حرارت خاصی آرایش یون‌های خود را تغییر می‌دهند بنابراین قابلیت شکل پذیری پیدا می‌کنند. البته ممکن است با تغییر آرایش یون‌ها، برخی از خصوصیات دیگر فلز نیز دگرگون شود.
- **هدایت الکتریکی:** تفاوت عمده فلزات با دیگر مواد، در توانایی هدایت الکتریسیته است. چون الکترون‌های آن‌ها برای حرکت مانعی ندارند.
- **هدایت گرمایی**: هادی خوب گرما جسمی است که ذرات آن طوری آرایش یافته باشند که بتوانند آزادانه نوسان یافته و به ذرات مجاور خود نیز امکان نوسان آزاد را بدهند. گرم شدن، همان نوسانات سریع یون‌ها و الکترون-هاست. در فلزات چون گروه الکترون‌های غبار مانند یون‌ها را احاطه می-کنند، حرارت به خوبی هدایت می‌شود.
- مقاومت فلزات: مقصود از مقاومت، میزان باری است که فلز می‌تواند تحمل کرده و نشکند. بسیاری از فلزات در زیر فشار متغیر مانند نوسانات، راحت-تر از زمانی که باری سنگین را تحمل می‌کنند، می‌شکنند.

فلزات را بر اساس منبع تولید آن‌ها به دو گروه عمده فلزات آهنی و فلزات غیر آهنی تقسیم می‌کنند. فلزات آهنی (آهن، چدن و فولاد) مصرف بیشتری در ساختمان-سازی دارند. در ادامه این دو گروه از فلزات بررسی خواهند شد.

٤.١٧. فلزات آهنی

فلزات آهنی فلزاتی هستند که از آهن (سنگ آهن) تولید می‌شوند و شامل آهن، چدن و فولاد می‌باشند. با گداختن سنگ آهن در کوره‌های آهن گدازی، آهن خام تولید می‌کنند و با آهن خام نیز آهن معمولی، چدن و فولاد می‌سازند. در واقع چدن و فولاد آلیاژهایی از آهن هستند. آلیاژ (چند جوش) ترکیبی از فلزات مختلف است که در صورت لزوم مواد افزودنی غیر فلزی نیز به آن افزوده می‌شود.

کاربرد فلزات آهنی از تمامی فلزات بیشتر است و ۹۵٪ فلزات تولید شده در سراسر جهان را تشکیل می‌دهند.

١.٤.١٧. آهن - Iron

آهن یکی از رایج‌ترین عناصر زمین است که تقریباً ۵٪ پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. این عنصر (Fe)[1] فلزی سنگین، درخشان و خاکستری رنگ است که از سنگ معدن آهن استخراج می‌گردد و به ندرت به حالت آزاد (عنصری) در طبیعت یافت می‌شود.

کاربرد آهن از همه فلزات بیشتر است (با توجه به این‌که چدن و فولاد را نیز از آهن خام می‌سازند). قیمت پایین و مقاومت بالای ترکیبات آهن، استفاده از آن‌ها را در صنایع مختلف و نیز ساختمان سازی اجتناب ناپذیر می‌کند. این فلز در ساختمان به صورت نبشی، ناودنی، ورق، میخ، پیچ و مهره و... به کار می‌رود.

١.١.٤.١٧. سنگ آهن

برای تولید آهن، سنگ آهن را در کوره‌های آهن گدازی حرارت داده و آهن خام (Pig Iron) می‌سازند. سپس از آهن خام، انواع مختلف آهن و آلیاژهای آن را تولید می‌کنند. سنگ آهن مخلوطی از اکسیدهای آهن، نمک‌های معدنی، سنگ آهک، سیلیس، آلومین و... است. از چهار نوع سنگ آهن می‌توان در کوره آهن گدازی استفاده کرد:

١. **اکسیدهای آهن:** سنگ آهن مغناطیسی یا مگنتیت (Fe_3O_4) که ٦٨٪ وزنش آهن دارد و سنگ آهن سرخ یا هماتیت (Fe_2O_3) که ٦٠٪ وزنش آهن دارد.

---

١. مخفف واژه لاتین Ferrum .

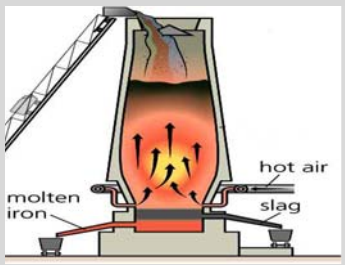
۲. **هیدروکسید آهن:** سنگ آهنی لیمویی تا قهوه‌ای که ۵۰٪ وزنش آهن دارد.
۳. **کربنات آهن ($FeCO_3$).**
٤. **سولفور آهن (FeS_2).**

سنگ آهن را پس از استخراج از معدن در سنگ شکن خرد کرده و با انجام عملیات خاص، آن را برای ورود به کوره آماده می‌کنند.

۲.۱.٤.۱۷. آهن گدازی و تولید آهن خام

سنگ آهن را در کوره با حرارت بالا ذوب می‌کنند. ماده مذاب حاصل شامل فلز آهن و ناخالصی‌های سنگ آهن است ولی چون وزن مخصوص این ناخالصی‌ها با فلز مذاب متفاوت است، بنابراین ناخالصی‌ها از آهن مذاب جدا شده و روی سطح آن شناور می‌شوند. از این رو آن‌ها را سرباره یا تفاله کوره آهن گدازی می‌نامند. سرباره را توسط شیر تخلیه فوقانی و آهن مذاب را توسط شیر تخلیه تحتانی از کوره خارج می‌کنند. فلز به دست آمده را آهن خام می‌نامند. هنگام تخلیه آهن خام مقداری ناخالصی هم همراه آن تخلیه می‌شوند. به طوری که آهن خام ۱۰-۵٪ ناخالصی‌هایی نظیر گوگرد، سیلیس، فسفر، منگنز و کربن (۵-٤٪) دارد. آهن خام بدون حالت خمیری از جامد به مایع تبدیل می‌شود. بنابراین قابلیت چکش خواری خوبی ندارد و قابل نورد شدن هم نیست.

تصویر شماره ٤.۱۷. کوره آهن گدازی



تصویر شماره ۵.۱۷. کوره آهن گدازی

برای این‌که سنگ آهن در درجه حرارت پایین‌تر ذوب شود، به آن گداز آور می‌افزایند. مواد گداز آور باید به گونه‌ای انتخاب شوند که با آهن ترکیب نشده و واکنش ندهند. چون سنگ آهن دارای ناخالصی‌های سیلیسی، آهکی یا رسی است، بنابراین جسم گداز آور باید طوری انتخاب شود که تفاله آهن گدازی، سیلیکات کلسیم شود تا

در ساخت مصالح مختلف به کار رود. اگر ناخالصی سنگ آهن، آهکی باشد، باید گدازآور سیلیسی یا رسی استفاده شود؛ و اگر ناخالصی آن سیلیس باشد، باید گداز آور آهکی مصرف شود.

اگر کوره آهن گدازی، مبدل آهن به چدن یا آهن به فولاد داشته باشد، آهن خام مذاب را مستقیماً به مبدل می‌فرستند. در غیر این صورت آن را به شکل قرص، سرد می‌کنند. سرعت سرد شدن و میزان ناخالصی‌ها در آهن خام، در جنس آن مؤثر است.

جنس سرباره کوره آهن گدازی سیلیکات کلسیم و سیلیکات آلومینیوم است و از آن در ساخت مصالح ساختمانی مختلف استفاده می‌کنند. از جمله کاربردهای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نقاله آبکی را به شکل سنگ پله و جدول در می‌آورند، یا از آن برای سنگ‌فرش راه‌های با شیب زیاد استفاده می‌کنند.
- خرد شده آن را به عنوان سبک‌دانه در ساخت بتن سبک مصرف می‌کنند.
- در صورتی که روی سرباره خرد شده با فشار، آب پاشیده شود، به شکل ماسه در می‌آید که آن را در روکاری آسفالتی (Sealcoat) و رومالی آسفالتی (Slurry Seal) به کار می‌برند.
- از گرد سرباره در تولید سیمان (سیمان سرباره) استفاده می‌کنند.
- سرباره را به شکل تار و الیاف در می‌آورند و از آن در ساخت عایق حرارتی و صوتی استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ۶.۱۷. ماسه رودخانه‌ای

تصویر شماره ۷.۱۷ سرباره

تصویر شماره ۸.۱۷ روکاری آسفالتی

تصویر شماره ۹.۱۷. رومالی آسفالتی

۳.۱.٤.۱۷. کوره آهن گدازی

کوره آهن گدازی کوره بلند نامیده می‌شود. این کوره استوانه بزرگی از جنس فولاد است که داخل آن با آجر نسوز آستر شده است. کوره بلند دارای تنوره، آتش‌خانه و بوته (ظرف مخصوصی که مواد مذاب داخل آن می‌ریزند) است. تنوره در بالا، آتش-خانه در وسط و بوته در پایین کوره قرار دارد. مواد اولیه یعنی سنگ آهن و گداز آور از بالای کوره به داخل آن ریخته می‌شوند. این مواد در حین حرکت به سمت پایین کوره رفته رفته داغ شده و به حالت مذاب در می‌آیند و در نهایت به درون بوته می‌ریزند. آهن خام هر ٦-٤ ساعت، و سرباره پیوسته با شیر تخلیه از بوته خارج می‌شوند.

سوخت کوره بلند در قدیم زغال چوب بوده ولی امروزه از کک[1] و یا آنتراسیت به عنوان سوخت کوره استفاده می‌کنند. هوای گرم از طریق مجراهایی که در بالای بوته تعبیه شده به داخل کوره دمیده می‌شود. در دمای ۱۷۰۰-۱٦۰۰ درجه سانتیگراد کک به کمک اکسیژن موجود در هوا می‌سوزد.

$$C + O_2 = CO_2 + Q$$

$$CO_2 + C = 2CO$$

مونوکسید کربن حاصل بر اساس واکنش‌های زیر، آهن را از سنگ آهن جدا می‌کند.

$$3Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 + Q$$

$$2Fe_3O_4 + 2CO \longrightarrow 6FeO + 2CO_2 + Q$$

$$6FeO + 6CO \longrightarrow 6Fe + 6CO_2 + Q$$

در قسمت بالای کوره درپوشی وجود دارد که از خارج شدن گازهای تولید شده در کوره جلوگیری می‌کند. از این گازها به عنوان منبع حرارت در قسمت‌های مختلف کارخانه استفاده می‌شود.

کوره بلند آهن گدازی هرگز خاموش نمی‌شود، چون راه اندازی دوباره آن زمان-بر و پرهزینه است. این کوره معمولاً ۱۰ سال بدون توقف کار می‌کند و روزانه حداکثر ۵۰۰۰ تن آهن خام تولید می‌کند. در مناطقی که برق ارزان است، حرارت کوره آهن

۱. برای تهیه کک زغال سنگ را حرارت می‌دهند تا روغن‌های آن به گاز تبدیل شوند و کک بر جای بماند.

گدازی را با برق تأمین می‌کنند و از کک فقط برای گرفتن اکسیژن از سنگ آهن استفاده می‌کنند. این کوره را کوره آهن گدازی برقی (کوره الکتریکی) می‌نامند. همچنین در سال ۱۳٤۰ در روشی نو، اکسیژن سنگ آهن در کوره تنوره‌ای یا کوره گردنده خفته در حرارت ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد با گاز کربن یا گاز هیدروژن چاه نفت گرفته شد. آهن خامی که بدین طریق به دست آمد، حالت اسفنجی داشت به همین دلیل آن را آهن خام اسفنجی نامیدند. آهن خام اسفنجی ۹۵-۹۳٪ آهن دارد. هزینه تولید آهن خام بدین طریق، از کوره آهن گدازی بلند کمتر است.

٤.۱.٤.۱۷. انواع آهن خام

انواع مختلف آهن خام به ساختارهای کریستالی آن بستگی دارد.

- **آهن خام سفید:** هر گاه آهن خام مذاب را زود سرد کنند، کربن آن به شکل گرافیت در نمی‌آید. بنابراین رنگ آن روشن (سفید نقره‌ای) می‌شود که به آن آهن خام سفید می‌گویند و در فولاد سازی به کار می‌رود. مقدار سیلیسیم در آهن خام سفید کم است، وزن مخصوص آن بین $\frac{gr}{cm^3}$ ۷/۸-۷/۵ و جنس آن سخت و ترد است. سطح شکسته آن دارای دانه‌های ریز و روشن می‌باشد.
- **آهن خام خاکستری:** هر گاه آهن خام مذاب را به آهستگی سرد کنند، کربن آن به شکل گرافیت در می‌آید. بنابراین رنگ آن تیره (خاکستری) می‌شود که به آن آهن خام خاکستری می‌گویند و در چدن سازی مصرف می‌شود. مقدار سیلیسیم در آهن خام خاکستری زیاد است (٤-۲٪ وزن آن)، وزن مخصوص آن بین $\frac{gr}{cm^3}$ ۷/۳-۷ است، ترد نیست و از آهن خام سفید نرم‌تر است. سطح شکسته آن دارای دانه‌های درشت و خاکستری می باشد.
- **آهن خام نیمه خاکستری:** جنس این آهن خام مابین آهن خام سفید و خاکستری است و در ساختن فولاد و چدن سخت به کار می‌رود.

٥.۱.٤.۱۷. آهن معمولی و آهن خالص

تفاوت انواع مختلف آهن در میزان کربن آن‌هاست. میزان کربن در آهن، چدن و فولاد نیز نشانه جنس آن‌هاست. چون میزان کربن در آهن خام زیاد است (٥-٤٪ وزن آن)،

بنابران ترد بوده و قابلیت چکش خواری و نورد شدن ندارد زیرا در اثر ضربه خرد می-شود. کربن همچنین دمای ذوب فلزات را نیز کاهش می‌دهد. بر همین مبنا با کاهش میزان کربن در آهن خام، دو نوع آهن به شرح زیر تولید می‌کنند:

- **آهن معمولی (آهن):** این آهن حدود ۲٪ کربن دارد و از طریق کربنیزاسیون آهن خام به همراه مقداری آهن قراضه در کوره به دست می‌آید. وزن مخصوص آن $\frac{gr}{cm^3}$ ۷/۸۷ و دمای ذوب آن پایین و حدود ۱۱۳۰ درجه سانتیگراد است. آهن در هوای نمناک زنگ می‌زند بنابراین نیاز به ضد زنگ و پوشش‌های محافظ دارد. این فلز مصارف متعددی در صنایع مختلف، ساخت ماشین آلات صنعتی و نیز ساختمان سازی دارد.
- **آهن خالص (آهن نرم – آهن ورزیده – Wrought Iron):** این آهن فقط ۰/۰۲٪ کربن دارد و به دلیل مخلوط شدن مقداری سرباره با آن، حالت فیبری دارد. دمای ذوب آن بالا و حدود ۱۵٤۰ درجه سانتیگراد است به همین علت جوشکاری با آن امکان پذیر نیست. آهن خالص انعطاف پذیر است و مقاومت کششی بالایی دارد ($\frac{kg}{cm^2}$ ۳۵۰۰)، مقاومت آن در برابر خوردگی نیز زیاد است. آهن خالص مصرف ساختمانی ندارد بلکه از آن در ساخت چدن و فولاد استفاده می‌کنند.

۲.٤.۱۷. چدن – Cast Iron

چدن آلیاژی از آهن، کربن و سیلیسیم (Fe-c-Si) است که از آهن خام خاکستری ساخته می‌شود. برای ساخت چدن، آهن خام را همراه با مقداری آهن قراضه در کوره‌های مخصوص ذوب می‌کنند تا مقداری از کربن آن بسوزد و ناخالصی‌هایی نظیر گوگرد و فسفر که خصوصیات آن را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهند[۱]، به صورت سرباره خارج گردند. فلز مذاب باقی مانده که حاوی مقداری منگنز نیز هست، چدن نام دارد. منگنز چدن را سخت می‌کند و سیلیسیم هم سبب می‌شود که کربن چدن به صورت گرافیت درآید. میزان کربن در چدن ۳/۵– ۲٪ وزن آن است.

۱. فسفر چدن را ترد و آبکی می‌کند و سبب می‌گردد که حین کار از هم گسیخته شود و گوگرد نیز چدن را کند روان می‌کند.

جنس چدن بستگی به سرعت سرد شدن و نیز جنس آهن خامی دارد که در ساخت آن مصرف می‌شود. قیمت نسبتاً پایین و نیز ویژگی‌های چدن سبب استفاده از آن در صنایع مختلف شده است. در صنعت ساختمان از چدن برای ساخت لوله‌های آب و فاضلاب، نرده، کف پوش، یراق آلات و... استفاده می‌کنند.

۱.۲.٤.۱۷. کوره‌های تولید چدن

هنگام تولید چدن از آهن خام، چون مقداری از کربن آهن خام می‌سوزد و مقداری از ناخالصی‌های آن نیز به صورت سرباره خارج می‌شود، بنابراین وزن چدن حاصل از وزن آهن خام مصرفی اندکی کمتر است. برای تولید چدن از سه نوع کوره به شرح زیر استفاده می‌کنند:

۱. **کوره شعله‌ای:** این کوره از ظرف بزرگ سرپوشیده‌ای تشکیل شده است که آهن خام را در آن ریخته و شعله را روی آن قرار می‌دهند تا کربن و دیگر عناصر آهن خام بسوزد و چدن با ۱۰-٦٪ کاهش وزن تولید شود. در این کوره گداز آور مصرف نمی‌شود و مصرف سوخت آن زیاد است.

۲. **کوره کوپل (Kupol Kiln):** شکل این کوره و روند کار آن مشابه کوره بلند آهن گدازی است، با این تفاوت که مقداری از آن کوچک‌تر است. در کوره کوپل، آهن خام با ٦-۳٪ کاهش وزن به چدن تبدیل می‌شود.

۳. **کوره برقی:** حرارت این کوره از انرژی برق تأمین می‌شود و مزیتش نسبت به دو کوره قبل این است که می‌توان دمای آن را بالا برد و ثابت نگه داشت. از کوره برقی برای تولید چدن‌های ویژه و با مقاومت زیاد استفاده می‌کنند.

۲.۲.٤.۱۷. خواص چدن

چدن نیز مانند آهن خام، بدون حالت خمیری از جامد به مایع تبدیل می‌شود. بنابراین قابلیت چکش خواری خوبی ندارد. چدن سخت و شکننده است، مقاومت آن در برابر آتش بیشتر از فولاد بوده و دیر زنگ می‌زند. هر یک متر چدن به ازای هر یک درجه افزایش دما، ۰/۰۱ میلیمتر افزایش طول خواهد داشت. مقاومت کششی چدن باید حداقل $\frac{kg}{cm^2}$ ۱٤۰۰ و مقاومت خمشی آن $\frac{kg}{cm^2}$ ۲۷۰۰ باشد.

۳.۲.٤.۱۷. انواع چدن

انواع مختلف چدن نیز مانند انواع آهن خام هستند و وجه اشتراک آن‌ها این است که همگی در برابر فشار مقاومند.

- **چدن سفید (White Cast Iron)**: اگر چدن مذاب را زود سرد کنند، کربن آن به شکل گرافیت در نمی‌آید. همچنین مقدار کم سیلیسیم در چدن سفید نیز موجب می‌شود که کربن کمی در آن به شکل گرافیت درآید. سطح شکسته چدن سفید دارای دانه‌های ریز بوده و جنس آن نیز سخت است به طوری که قابل سوهان کشیدن نیست. از این چدن وسایل کوچک می‌سازند.
- **چدن خاکستری (Gray Cast Iron)**: هر گاه چدن مذاب را به آهستگی سرد کنند و نیز مقدار سیلیسیم در آن زیاد باشد، کربن بیشتری در آن به شکل گرافیت در می‌آید و رنگ چدن را تیره می‌کند. چدن خاکستری از چدن سفید نرم‌تر است، شکننده بوده، قابلیت چکش خواری دارد و سطح شکسته آن دارای دانه‌های درشت است. از این چدن برای ساخت لوله‌های چدنی، ناودانی، پروفیل پنجره، درپوش‌های چدنی کف خیابان‌ها، شبکه چدنی، یراق آلات و... استفاده می‌کنند.
- **چدن نیمه خاکستری**: جنس آن بین چدن سفید و چدن خاکستری است.
- **چدن سخت (Chilled Cast Iron)**: برای ساخت چدن سخت، چدن را گرم کرده سپس سطح خارجی آن را زود سرد می‌کنند و اجازه می‌دهند که داخل آن به آهستگی خنک شود. بدین ترتیب سطح آن چدن سفید و مغز آن چدن خاکستری است. این چدن دیر ساییده می‌شود و از آن لوله‌های زیر دال پل‌ها را می‌سازند.
- **چدن نرم (دم دیده – Ductile Cast Iron)**: برای این‌که مقاومت چدن در برابر ضربه بالا رود و بتوان آن را چکش کاری کرد، تکه‌های چدن سفید و نیمه خاکستری را به همراه مقداری گرد سنگ اکسید آهن (Fe_2O_3) حرارت می‌دهند تا بخشی از کربن آن بسوزد، تردی آن کم شده و نرم شود. از این چدن در ساخت وسایل کوچک نظیر یراق در و پنجره، کلید و قفل، شیر آب و... استفاده می‌کنند.

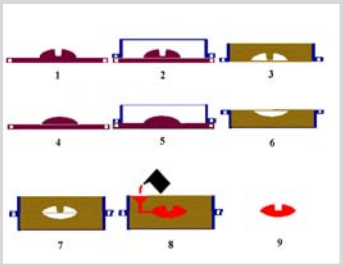
تصویر شماره ۱۰.۱۷. چدن سفید

تصویر شماره ۱۱.۱۷. چدن خاکستری

۴.۲.۴.۱۷. چدن ریزی (شکل دادن به چدن)

برای ساختن اجسام چدنی که شکل ساده‌ای دارند، چدن مذاب را در قالبی که از چدن سخت ساخته شده است، می‌ریزند. ولی برای ساختن اجسام چدنی که شکل ساده ندارند، از بستر ماسه‌ای استفاده می‌کنند. بدین ترتیب که ابتدا به ماسه مقداری بانتونیت (گل سر شو) می‌زنند تا چسبنده شود. سپس مدل چوبی مد نظر را در بستر ماسه قرار می‌دهند تا ماسه شکل مدل را به خود بگیرد. در نهایت مدل چوبی را بر می‌دارند و در قالب آماده شده به آرامی چدن مذاب می‌ریزند تا دیواره‌های قالب فرو نریزد. به این روش شکل دادن، ریخته‌گری می‌گویند که برای فلزات دیگر نیز به کار می‌رود.

تصویر شماره ۱۲.۱۷. چدن ریزی برای ساخت اجسام ساده



تصویر شماره ۱۳.۱۷. چدن ریزی در بستر ماسه

چدن هنگام گرفتن کمی منبسط می‌شود ولی پس از آن منقبض شده و ۱-۰/۵٪ کاهش حجم می‌یابد. بنابراین مدل چوبی را از هر جهت ۱-۰/۵٪ بزرگ‌تر می‌سازند تا این کاهش حجم جبران شود. هر چه مقدار کربن چدن بیشتر باشد، هنگام گرفتن کمتر منقبض می‌شود.

لوله‌های چدنی را هم به روش ریخته‌گری و هم با استفاده از قالب چرخنده می‌سازند. بدین ترتیب که چدن مذاب هنگام چرخیدن قالب به بدنه آن پرتاب شده و به آن می‌چسبد و به شکل لوله در می‌آید. جنس این لوله‌ها از لوله‌های ریخته‌گری بهتر است. مقاومت کششی لوله‌های چدنی نباید از ۱۲۰۰ $\frac{kg}{cm^2}$ کمتر باشد.

۳.٤.۱۷. فولاد – Steel

فولاد عنصر نیست بلکه معروف‌ترین آلیاژ است که بین ۱/۵–۰/۲٪ کربن دارد. فولاد پر-مصرف‌ترین فلز آهنی است. این فلز را از آهن خام سفید می‌سازند. بدین ترتیب که آهن خام سفید را همراه با مقداری آهن قراضه حرارت می‌دهند تا کربن آن بسوزد و برخی از ناخالصی‌های آن نیز به صورت سرباره خارج شود. در حال حاضر تقریباً ۵۰٪ تولید کنونی فولاد در دنیا از آهن قراضه است. عناصر موجود در فولاد به شرح زیرند:

- **کربن (C)**: تغییر میزان کربن در فولاد باعث تغییر خواص فیزیکی آن می‌شود. کربن فولاد را ترد می‌کند، مقاومت کششی و سختی آن را افزایش داده و دمای ذوب آن را کاهش می‌دهد. هر چه میزان کربن در فولاد کمتر باشد، فولاد نرم‌تر شده و قابلیت چکش خواری بهتری خواهد داشت. ولی با فولادی که درصد کربن آن کم است نمی‌توان ابزار ساخت. در نوشتارهای بعد انواع فولاد و کاربردهایشان بر حسب میزان کربن آن‌ها شرح داده خواهند شد.
- **سیلیسیم (Si)**: این عنصر نیز مقاومت کششی و سختی فولاد را افزایش می‌دهد ولی آن را ترد و تیره رنگ می‌کند و قابلیت چکش خواری آن را نیز کاهش می‌دهد. میزان سیلیسیم در فولاد نباید از ۰/۳۵٪ وزنش بیشتر باشد.
- **منگنز (Mn)**: مقاومت کششی و سختی فولاد را افزایش و چکش خواری آن را کاهش می‌دهد. میزان منگنز در فولاد ۱–۰/۵٪ وزن آن است. با فولاد منگنزی، ساچمه‌های سخت فولادی می‌سازند.
- **کرم (Cr)**: حداقل ۱۲٪ کرم در فولاد، مقاومت کششی آن را افزایش داده و مانع رنگ زدگی آن می‌شود. از فولاد کرم‌دار قاشق، چنگال، کارد و ظروف فولادی می‌سازند.

- **مس (Cu)**: برای جلوگیری از زنگ زدن فولادهایی که در مناطق مرطوب مورد استفاده قرار می‌گیرند، به آن‌ها مس می‌زنند (۰/۵۵-۰/۲۵٪ وزن فولاد).
- **گوگرد (S) و فسفر(P)**: این دو عنصر نیز همانند آن‌چه در مورد چدن گفته شد، باید در فولاد به حداقل ممکن برسند.

۱.۳.٤.۱۷. کوره‌ها و پاتیل‌های فولاد سازی

در تولید فولاد دو هدف دنبال می‌شود:

۱. سوزاندن مقداری کربن و نیز سوزاندن ناخالصی‌های آهن خام سفید یا خروج آن‌ها به صورت سرباره.
۲. افزودن مقادیر معین از مواد آلیاژ دهنده (عناصر مورد نیاز در فولاد) به آهن خام سفید.

برای تولید فولاد از کوره‌ها و پاتیل‌های[1] مختلفی استفاده می‌کنند که روش کار در هر یک از آن‌ها متفاوت است. در ادامه هر یک از کوره‌ها و پاتیل‌های فولاد سازی و روش‌کار آن‌ها مختصراً شرح داده خواهد شد.

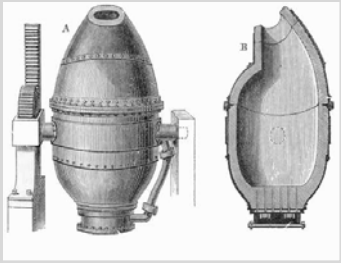
- **کوره شعله‌ای**: این کوره همانند کوره شعله‌ای چدن سازی است. امروزه دیگر از این کوره برای فولاد سازی استفاده نمی‌شود.
- **پاتیل بسمر**: آستر این پاتیل از آجر نسوز اسیدی است که با سیلیس و خاک رس ساخته شده است. زیرا در این پاتیل فولاد اسیدی تولید می‌شود. در پاتیل بسمر، اکسیژن با فشار به روی آهن خام مذاب دمیده می‌شود و ناخالصی‌های آن را اکسید می‌کند. در پاتیل بسمر از آهک استفاده نمی‌کنند زیرا با سیلیس موجود در آستر، تولید سیلیکات کلسیم می‌کند و باعث خوردگی آن می‌شود.
- **پاتیل توماس**: آستر این پاتیل از آجر نسوز قلیایی است که با دولومیت ساخته شده است. زیرا در این پاتیل فولاد قلیایی می‌سازند. در پاتیل توماس

۱. پاتیل فولاد سازی ظرفی گلابی شکل از جنس فولاد به ارتفاع ۸ متر و قطر ۵ متر است که داخل آن با آجر نسوز آستر شده است.

برای گرفتن ناخالصی فسفر، به آهن خام مذاب آهک می‌زنند تا سرباره فسفات کلسیم تشکیل شود.

- **کوره زیمنس مارتن (اُپن هارت)**: در این کوره با دمیدن هوای داغ، کربن آهن خام مذاب را می‌سوزانند. جنس فولاد تولید شده در این کوره ممتاز بوده و ناخالصی آن کم است زیرا در برابر حرارت به عمل می‌آید.
- **کوره الکتریکی**: در این کوره حرارت ناشی از ایجاد قوس الکتریکی بین الکترودهای گرافیتی و آهن خام مذاب درون کوره، سبب ذوب و اکسید شدن ناخالصی‌ها می‌شود. این کوره نیاز به ماده سوختی و اکسیژن ندارد و فولاد حاصل از آن نیز از کیفیت بالایی برخوردار است. از این کوره برای تصفیه فولاد به دست آمده از کوره‌ها و پاتیل‌های دیگر و تبدیل آن به فولاد مرغوب نیز استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ۱٤.۱۷. سازه فولادی



تصویر شماره ۱۵.۱۷. پاتیل فولاد سازی

۲.۳.٤.۱۷. خواص فولاد

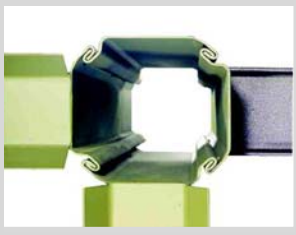
فولاد به علت قابلیت شکل پذیری و مقاومت زیاد، یکی از مهم‌ترین مصالح ساختمانی به شمار می‌رود. خواص فولاد به درصد کربن موجود در آن، عملیات حرارتی انجام شده بر روی آن و فلزهای آلیاژ دهنده موجود در آن بستگی دارد.

- **وزن مخصوص**: مقدار آن برای فولاد $\frac{gr}{cm^3}$ ۷/۸۵ است.
- **انبساط حرارتی**: با افزایش دما تا ۱۰۰ درجه، فولاد ۲٪ منبسط می‌شود.
- **قابلیت شکل پذیری**: فولاد را می‌توان به هر شکل دلخواهی در آورد. در مورد نحوه شکل دادن به فولاد در مباحث آتی صحبت خواهد شد.

- **قابلیت اتصال:** با استفاده از اتصال خشک (پیچ و مهره یا تا کردن) و اتصال تر (جوش‌کاری) می‌توان قطعات مختلف فولادی را به یکدیگر متصل کرد.
- **اکسیداسیون:** فولاد در برابر رطوبت و نمک‌ها به سرعت زنگ می‌زند (اکسید می‌شود) و یا پوسیده می‌گرد. همان گونه که قبلاً ذکر شد، برای مقابله با زنگ زدگی فولاد می‌توان عناصری نظیر کرم، مس، وانادیم و نیکل را به آلیاژ آن اضافه کرد. این گونه فولادها (Cor-Ten) هنگام استفاده باید طوری قرار داده شوند که آب باران از روی آن‌ها بر مواد دیگر مخصوصاً بتن و شیشه نچکد چون باعث ایجاد لکه روی آن‌ها می‌شود. همچنین برای جلوگیری از زنگ زدگی فولاد، می‌توان سطح آن را قلع اندود (حلبی)، روی اندود (آهن سفید) و یا با مواد آلی و پلاستیکی رنگ کرد.
- **مقاومت‌های مکانیکی:** مقاومت کششی فولادهای مختلف متفاوت است. امروزه مقاطع مختلف فولاد را بر اساس مقاومت کششی آن‌ها به صورت ST۳۳، ST۳۷، ST٤٥، ST٥٠ و ST٥٢ نام‌گذاری می‌کنند که مقاومت کششی هر یک به ترتیب ۳۳۰۰، ۳۷۰۰، ٤٥٠٠، ٥٠٠٠ و ٥٢٠٠ $\frac{kg}{cm^2}$ است.

مقاومت فشاری، برشی، خمشی، ضربه‌ای و نیز سختی فولادهای مختلف بر حسب آلیاژ آن‌ها متفاوت است. خواص مکانیکی فولاد را می‌توان با عملیات مختلف گرمایی و سپس سرد کردن تحت شرایط مختلف، تغییر داد. سرد کردن فولاد می‌تواند به صورت سریع در آب یا روغن (آب‌دیده کردن) و یا به آهستگی به وسیله دستگاه خنک کننده یا در هوا صورت گیرد. تأثیر هر یک از این روش‌ها بر فولاد، متفاوت خواهد بود.

تصویر شماره ۱٦.۱۷.
اتصال خشک قطعات فولادی
از طریق پیچ و مهره



تصویر شماره ۱۷.۱۷.
اتصال خشک قطعات فولادی
از طریق تا کردن

تصویر شماره ۱۸.۱۷.
ساخت مجسمه تزئینی با
فولاد Cor-Ten

۳.۳.٤.۱۷. انواع فولاد

کلی‌ترین دسته بندی برای فولاد بر حسب میزان کربن در آن است که بدین شرح است:

۱. **فولاد نرم (Mild Steel)**: درصد کربن در این فولاد کم و حدود ۰/۲٪ است. این فولاد را نمی‌توان در ابزار سازی به کار برد بلکه از آن برای ساخت سیم، لوله، ورق فولادی و تیرهای فولادی مورد استفاده در سازه ساختمان‌ها استفاده می‌کنند.

۲. **فولاد متوسط (Medium Steel)**: درصد کربن در این فولاد بین ۰/٦-۰/۲٪ است. این فولاد در ساخت ریل، دیگ بخار و ماشین آلات به کار می‌رود.

۳. **فولاد سخت (Hard Steel)**: درصد کربن در این فولاد زیاد و بین ۱/۵-۰/٦٪ است. از این فولاد برای ساخت ابزار آلات، مته، فنر، کارد و چنگال و... استفاده می‌کنند.

همان طور که قبلاً اشاره شد، با افزودن برخی عناصر به فولاد، فولادهای ویژه‌ای جهت مصارف خاص، تولید می‌کنند. من جمله فولاد ضد زنگ، فولاد مقاوم در برابر آب و هوا (Cor- Ten)، فولاد مقاوم در برابر گرما و... .

تصویر شماره ۱۹.۱۷.
فولاد نرم

تصویر شماره ۲۰.۱۷.
فولاد متوسط

تصویر شماره ۲۱.۱۷.
فولاد سخت

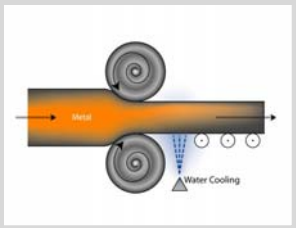
٤.۳.٤.۱۷. فولاد ریزی (شکل دادن به فولاد)

فولاد را به روش‌های مختلفی که در زیر شرح داده شده‌اند، شکل می‌دهند.

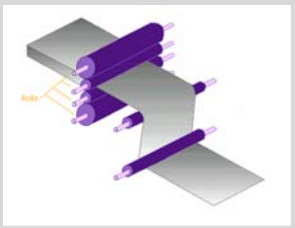
- **ریخته‌گری (Founding)**: در این روش فولاد مذاب را در قالب‌های ویژه‌ای می‌ریزند تا به شکل دلخواه درآید. چون فولاد هنگام گرفتن، کمی منقبض می‌شود، قالب را از هر جهت ۲-۱/۵٪ بزرگ‌تر می‌سازند.

- **آهنگری (Smithing)**: در این روش فولاد را حرارت داده تا به حالت خمیر در آید. سپس آن را زیر فشار پرس می‌کنند یا با ضربات چکش شکل می-دهند. پرچ و گل میخ را با این روش می‌سازند.
- **نورد (Rolling)**: در این روش فولاد را حرات می‌دهند تا به حالت خمیر درآید. سپس آن را از میان غلتک‌های مخصوص عبور می‌دهند تا به شکل دلخواه درآید. نورد کردن روشی ارزان قیمت است که اکثر قطعات ساختمانی نظیر تیرها، ریل‌ها، ورق‌ها، میلگردها و حتی لوله‌ها را به این روش می‌سازند. نورد به دو صورت سرد و گرم انجام می‌گیرد. نورد سرد برای فولادهایی با مقطع نازک که حرارت خود را زود از دست می‌دهند، استفاده می‌شود. در روش نورد گرم نیز فولاد را ۱۲۵۰–۹۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند تا خمیری شود.
- **کشیدن (Holding)**: با کشیدن سرد یا کمی گرم می‌توان از میله‌های فولادی کلفت، میله‌های فولادی نازک و سیم فولادی تهیه کرد. مقاومت کششی و سختی میله یا سیم فولادی سرد کشیده شده از حالت گرم کشیده شده بیشتر است. برای تولید کابل‌های فولادی، یک دسته میله فولادی را دور هم می-پیچند تا به صورت کلاف درآیند.
- **شکل دهی سرد (Cool Forming)**: در این روش ورق‌های فولادی را توسط دستگاه مخصوص شکل می‌دهند. این روش از نورد گرم ارزان‌تر است و پروفیل‌های در و پنجره را با این روش می‌سازند.

تصویر شماره ۲۲.۱۷. شکل دادن به فولاد به روش آهنگری

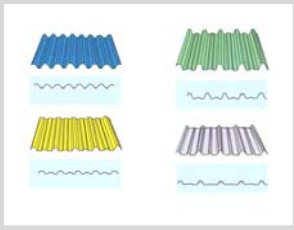


تصویر شماره ۲۳.۱۷. شکل دادن به فولاد به روش نورد

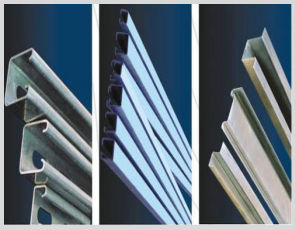


تصویر شماره ۲٤.۱۷. شکل دادن به فولاد به روش نورد

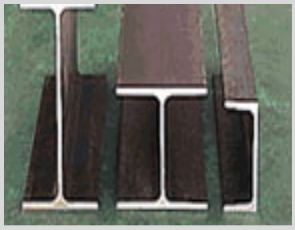
در اشکال زیر انواع تیرها و ورق‌های فولادی مورد استفاده در سازه ساختمان‌ها که به روش‌های مختلف شکل داده شده‌اند، مشاهده می‌شود.



تصویر شماره ۲۵.۱۷. چند نمونه ورق فولادی



تصویر شماره ۲۶.۱۷. چند نمونه نیمرخ فولادی



تصویر شماره ۲۷.۱۷. نیمرخ‌های فولادی I و U شکل

در طراحی‌های سازه‌ای گاهی حتی بزرگ‌ترین تیرهای I شکل (INP، IPE، IPB) تولیدی نیز توان مقابله با نیروهای وارده را ندارند. از این رو طراحان مجبور می‌شوند که تیرهای نمره بالا را با ورق فولادی بسازند. برای این منظور ورق را به اندازه مورد نظر بریده و با جوش دادن اجزای مختلف، تیرهای مورد نیاز خود را می‌سازند. در نتیجه ورق از تولیدات مهم کارخانه‌های نورد می‌باشد. در ایران ورق با عرض ۱۲۰و ۱۵۰ سانتیمتر، طول ۶۰۰ سانتیمتر و ضخامت‌های ٤، ٥، ٦، ٨، ١٠، ١٢، ١٥، ٢٠، ٢٥، ٣٠، ٣٥ و ٤٠ میلیمتر تولید می‌شود. به تیرهایی که با ورق ساخته می‌شوند، تیر ورق، نیمرخ‌های ورقی و یا ستون ورقی گفته می‌شود.

اگر سازه ساختمانی به شکل منحنی باشد و برای ساخت آن به تیرهای فولادی خمیده نیاز باشد، می‌توان در کارگاه‌های ویژه، تیرهای صاف را خم کرد. برای یک اندازه مشخص از سطح مقطع تیر، آن‌که سطح مقطعش لبه‌های ضخیم‌تر دارد، به شعاع‌های کوچک‌تری قابل خم شدن است.

۵.۳.٤.۱۷. محافظت از فولاد

جهت محافظت از قطعات فولادی مختلف به کار رفته در ساختمان‌ها، موارد زیر باید مد نظر قرار گیرند:

- قطعات فولادی باید در مکانی تمیز و عاری از رطوبت نگهداری شوند تا از زنگ زدگی در آن‌ها جلوگیری به عمل آید. استفاده از قطعات زنگ زده و

پوسیده مجاز نیست مگر این‌که به وسیله ماسه پاشی (سند پلاست) یا برس زنی کاملاً تمیز گردند. در این حالت نیز چنان‌چه سطح مقطع تیرها ضعیف شده باشد، باید سطح مقطع ضعیف شده در محاسبات اعمال شود.

- روکش کردن فلزات آهنی در ایجاد ظاهری زیبا و جلوگیری از خوردگی در آن‌ها بسیار مؤثر است. روش‌های روکش کردن فلزات آهنی عبارتند از: نقاشی کردن، لعاب کاری، روکش پلاستیکی، آب کاری، گالوانیزه کردن (فرو بردن در فلز مذاب یا از طریق پاشیدن) و... .
- قطعات فولادی نباید در مجاورت گچ و آهک قرار گیرند. زیرا این مواد باعث خوردگی در فولاد و برخی دیگر از فلزات می‌شوند.
- قطعات فولادی که داخل بتن قرار می‌گیرند به هیچ وجه نباید رنگ یا روغن زده شوند.
- قطعات فولادی فقط بین ۱-۰/۵ ساعت در برابر آتش مقاومت می‌کنند. از این رو جهت محافظت از آن‌ها در برابر آتش، از مواد عایق حرارتی مختلفی استفاده می‌کنند. برخی از این مواد عبارتند از: پوشش‌های تخته‌ای از جنس سیمان، گچ و... (بسته به ضخامتشان از ٤-۱/۵ ساعت مقاومت)، پوشش‌های پاشیدنی از جنس سیمان و فیبرهای معدنی (٤ ساعت مقاومت)، رنگ‌های پوشش دهنده اسفنجی (۲ ساعت مقاومت)، آجر و بتن (۲ ساعت مقاومت).

۵.۱۷. فلزات غیر آهنی

همان گونه که قبلاً اشاره شد، کاربرد فلزات آهنی از فلزات غیر آهنی بیشتر است. علت این امر قیمت بالای فلزات غیر آهنی است. ولی در مقابل، این فلزات مزیت‌های بی-شماری از نظر کارایی و مقامت در برابر پوسیدگی دارند. در ادامه مهم‌ترین فلزات غیر آهنی مورد استفاده در ساختمان بررسی خواهند شد.

۱.۵.۱۷. آلومینیوم – Aluminium (Al)

آلومینیوم فلزی نقره‌ای رنگ، جلا پذیر، سبک، نرم، انعطاف پذیر و با قابلیت شکل پذیری بالاست که پر مصرف‌ترین فلز غیر آهنی به شمار می‌آید و بعد از فولاد بیشترین کاربرد را دارد. این فلز از بوکسیت (Bauxit) که جزء سنگ‌های رسوبی است، به کمک الکترولیز استخراج می‌شود. بوکسیت را سنگ آلومینیوم نیز می‌نامند. از خاک رس (هیدرو سیلیکات آلومینیوم) و زاج (سولفات پتاسیم و آلومینیوم) هم می‌توان فلز آلومینیوم را استخراج کرد[۱]. اما چون قیمت بوکسیت پایین است، آلومینیوم را از آن می‌گیرند. بوکسیت‌هایی که برای تولید آلومینیوم مصرف می‌شوند دارای ٦٥٪ اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، ۲۸٪ اکسید آهن (Fe_2O_3)، ۸٪ سیلیس (SiO_2) و مقداری اکسید تیتان و آب شیمیایی هستند.

آلومینیوم یا به صورت خالص با عیار ۹۹/۷–۹۹٪ و یا به صورت آلیاژ با فلزات دیگر تولید می‌شود که هر یک خواص ویژه و کاربردهای متفاوتی دارند. آلومینیوم خالص نرم و ضعیف است ولی آلیاژهای آن از مقاومت بیشتری برخوردارند.

۱.۱.۵.۱۷. آلومینیوم سازی

اگر چه آلومینیوم یک عنصر فراوان در پوسته زمین است ولی در حالت آزاد خود بسیار نادر بوده و به سختی با اکسیژن ترکیب شده است. از این رو با گرما دادن به اکسید آلومینیوم در کنار کک، نمی‌توان فلز آن را استخراج کرد. بر همین مبنا فرآیند تولید آلومینیوم در دو مرحله صورت می‌گیرد:

۱. جدا کردن اکسید آلومینیوم از بوکسیت.
۲. جدا کردن فلز آلومینیوم از اکسید آن.

دو مرحله فوق بدین شرح انجام می‌شود:

۱. سنگ بوکسیت را در سنگ شکن خرد کرده و در کوره گردنده خفته خشک می‌کنند. سپس آن را در آسیاب ساچمه‌ای به صورت گرد در می‌آورند. به گرد حاصل محلول سود سوز آور (NaOH) اضافه می‌کنند تا خمیری شود.

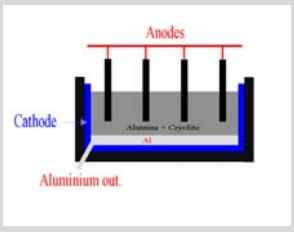
---

۱. در جنگ جهانی دوم، آلمانی‌ها آلومینیوم را از خاک رس استخراج می‌کردند. نام آلومینیوم هم از Alumina به معنای رس یا Alumen به معنای زاج گرفته شده است.

آن‌گاه آن را در اتوکلاو تحت فشار و حرارت قرار می‌دهند تا ناخالصی‌های بوکسیت (اکسید آهن، اکسید تیتان و سیلیس) حل نشده باقی بماند و محلول Al_2O_3 ، NaO_2 حاصل شود. سپس دوباره به آن سود سوز آور اضافه می‌کنند تا رقیق شود و ناخالصی‌های آن ته‌نشین شوند. محلول آبکی حاصل را در خنک کننده سرد می‌کنند، بعد آن را توسط دستگاه هم می‌زنند تا $3H_2O$ ، Al_2O_3 از محلول جدا شود. هیدروکسید آلومینیوم حاصل را که دارای جلای فلزی است در کوره گردنده خفته در گرمای ۱۳۰۰–۱۲۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند تا خشک شود و Al_2O_3 به جا ماند.

۲. گرد اکسید آلومینیوم را با گرد گداز آور کریولیت (Na_3AlF_6) در تشت تجزیه برقی از جنس فولاد ذوب می‌کنند تا یون‌های آن آزادانه حرکت کنند. کریولیت دمای ذوب اکسید آلومینیوم را از ۲۰۵۰ به ۹۵۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌دهد. بدنه درونی تشت برقی از گرافیت پوشیده شده است و نقش کاتد را ایفا می‌کند. آند آن هم از کک است. با برقراری جریان الکتریسیته، اکسید آلومینیوم مذاب تجزیه می‌شود، به طوری که از آند (کک) کربن می‌گیرد و گاز CO_2 تولید می‌کند. فلز آلومینیوم هم در تشت برقی ته‌نشین می‌شود. عیار آلومینیوم حاصل ۹۹/۷٪ است. در نهایت فلز حاصل را در کوره‌های برقی ذوب کرده و به شکل قرص آلومینیوم در می‌آورند.

تصویر شماره ۲۸.۱۷. سنگ بوکسیت



تصویر شماره ۲۹.۱۷. استخراج آلومینیوم

تصویر شماره ۳۰.۱۷. نمای آلومینیومی

۲.۱.۵.۱۷. خواص آلومینیوم

۱.۲.۱.۵.۱۷. خواص فیزیکی

- آلومینیوم دومین فلز چکش خوار و ششمین فلز انعطاف پذیر است.
- **وزن مخصوص**: میزان این وزن برای آلومینیوم ۲/٦٤ $\frac{gr}{cm^3}$ است که برابر با وزن مخصوص گرانیت و $\frac{1}{3}$ وزن مخصوص فولاد است.
- **هدایت الکتریکی**: در میان فلزات، رسانایی الکتریکی مس از همه بیشتر است. هدایت الکتریکی آلومینیوم ٦۰٪ مس است. برای رساندن یک جریان برق معین، با سیم آلومینیومی و سیم مسی، سطح برش سیم آلومینیوم ۱/٦ برابر سطح برش مس ولی وزن آن نصف وزن مس است.
- **هدایت گرمایی**: گرما رسانی آلومینیوم ٤ برابر فولاد و $\frac{2}{3}$ مس است.
- **انبساط**: هر متر آلومینیوم به ازای هر یک درجه افزایش دما، ۰/۰۲٤ میلیمتر افزایش طول می‌یابد. ضریب انبساط آلومینیوم در طول، ۲ برابر فولاد است.
- شکل‌دهی سرد به آلومینیوم سبب افزایش مقاومت و سختی ولی کاهش قابلیت چکش خواری آن می‌گردد. این فلز از طریق گرم کردن سخت نمی‌شود بلکه در صورت حرارت‌دهی ضعیف‌تر نیز می‌گردد.

۲.۲.۱.۵.۱۷. خواص شیمیایی

- **گرمازایی**: گرد آلومینیوم با اشعه سفید رنگ می‌سوزد و تبدیل به اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) می‌شود. در این فرآیند مقدار زیادی حرارت آزاد می‌گردد که می‌توان از آن برای جوش دادن فلزات بهره برد.
- **اکسیداسیون**: آلومینیوم فلزی بادوام و مقاوم در برابر زنگ زدگی است. لایه نازک اکسیداسیون که در اثر برخورد با هوا در سطح آن تشکیل می‌شود، از زنگ زدگی بیشتر جلوگیری می‌کند.

- **خوردگی**: موادی نظیر آب دریا، جوهر گوگرد[1] (اسید سولفوریک)، جوهر نمک (اسید کلریدریک)، جوهر شوره (اسید نیتریک) کم مایه، مواد شوینده، مواد قلیایی آزاد، ملات تازه آهک و ملات تازه سیمان بر آلومینیوم تأثیر گذارند و نباید در مجاورت آن قرار گیرند. هنگامی که آلومینیوم در مجاورت ملات تازه سیمان یا آهک باشد، باید سطح آن را قیر اندود کرد یا با مقوای قیری و یا کاغذ روغنی پوشاند. همچنین آلومینیوم نباید در مجاورت مس، آلیاژهای آن و نیز آبی که از سطح مسی عبور کرده است، قرار گیرد.

۳.۲.۱.۵.۱۷. خواص مکانیکی

- **مقاومت کششی**: آلومینیوم نورد خورده یا کشیده شده $۱۳۰-۱۸۰ \frac{kg}{cm^۲}$ و آلومینیوم ریخته‌گری $۹۰-۱۲۰ \frac{kg}{cm^۲}$ مقاومت کششی دارد. مقاومت کششی آلیاژ آلومینیوم و مس و منیزیم (AlCuMg) برابر با بیشترین مقاومت کششی فولاد است.

برای بهبود برخی از خواص آلومینیوم سطح آن را با یک روش الکترو شیمیایی، پوشش آنودایز می‌دهند. این پوشش صرفاً مخصوص آلومینیوم است و موجب زیبایی ظاهری و افزایش مقاومت در برابر سایش می‌شود. همچنین تا زمانی که تمیز نگه داشته شود، در برابر خوردگی مقاوم است.

۳.۱.۵.۱۷. موارد مصرف آلومینیوم

برخی از کاربردهای فراوان آلومینیوم عبارتند از:

- **صنعت حمل و نقل**: اتومبیل‌ها، هواپیماها، کامیون‌ها، کشتی‌ها، راه آهن و...
- **صنعت بسته بندی**: قوطی‌ها، فویل و... .
- **ساخت کالاهای مختلف**: وسایل برقی خانگی، دوربین عکاسی، ابزارهای مهندسی، پوسته موتور و... .

۱. آلومینیوم با جوهر گوگرد موجود در دوره ایجاد سولفات می‌کند، بنابراین نمی‌توان از آن دودکش ساخت.

- **خطوط انتقال الکتریکی:** پایه‌های شبکه برق رسانی، سیم و... . سبکی، فراوانی و نیز قیمت پایین‌تر آلومینیوم نسبت به مس سبب شده است که این فلز در خطوط انتقال برق جایگزین مس گردد.
- **صنعت ساختمان:** در و پنجره، ناودانی‌ها، پوشش بام و دیوار، تزئینات داخلی، قطعات سازه‌ای و نیمرخ‌های مختلف ساختمانی و... . از ورق‌های نازک آلومینیوم به منظور آب‌بندی استفاده می‌کنند. زیرا این ورق‌ها منعکس کننده هستند و حداقل انتقال را دارند، بنابراین می‌توانند نقش عایق حرارتی را نیز ایفا کنند.

تصویر شماره ۳۱.۱۷. سوختن آلومینیوم

تصویر شماره ۳۲.۱۷. قوطی آلومینیومی

هنگام استفاده از آلومینیوم باید نکات زیر را مد نظر قرار داد:

- آلومینیوم را نباید با فلزات دیگر با هم مصرف کرد، زیرا جریان برق آن را تجزیه می‌کند.
- نباید از آلومینیوم برای ساختن لوله آب گرم، منبع آب گرم و منبع بخار آب استفاده کرد.
- سطح این فلز زود خراش برمی‌دارد لذا هنگام تمیز کردن آن باید دقت شود.
- زمانی که نیاز باشد ورق آلومینیوم تا شود، بهتر است از آلومینیوم خالص که نرم‌تر است استفاده شود زیرا آلیاژهای آن هنگام تا خوردن ترک بر می‌دارند.
- نباید آلومینیوم را منگنه کرد زیرا کنار سوراخ منگنه، ترک مویی ایجاد می‌شود، بنابراین بهتر است که آن را با مته سوراخ کرد. جهت اتصال قطعات آلومینیومی از چهار روش پیچ و مهره یا پرچ، لحیم‌کاری، جوش‌کاری و چسباندن استفاده می‌کنند.

۴.۱.۵.۱۷. آلیاژهای آلومینیوم – Aluminium Alloy

همان طور که قبلاً اشاره شد، آلومینیوم فلزی نرم است. بنابراین برای افزایش مقاوم آن، فلزاتی نظیر مس، سیلیسیم، منیزیم، روی، نیکل، منگنز و آهن را با آن ترکیب کرده و آلیاژ آلومینیوم می‌سازند.[۱] برای استفاده در ساختمان بیشتر آلیاژ آلومینیوم با سیلیسیم، منیزیم و یا منگنز به کار می‌رود. آلیاژ آلومینیوم با مس مقاومت شیمیایی کمتری نسبت به آلومینیوم خالص دارد بنابراین کمتر در ساختمان سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلیاژهای آلومینیوم به دو روش ریخته‌گری و ورز دادن ساخته می‌شوند. انواع این آلیاژها، خواص و کاربرد آن‌ها به شرح زیر است:

- **آلیاژ آلومینیوم و سیلیسیم (AlSi):** زنگ نمی‌زند و در برابر عوامل جوی مقاوم است. از آن در ساخت در و پنجره و یراق آلات آن‌ها استفاده می‌کنند.
- **آلیاژ آلومینیوم و منگنز (AlMn):** مقاومت کششی آن بین $۱۰۰۰-۱۶۰۰ \frac{kg}{cm^۲}$ است. در برابر مواد شیمیایی مقاوم بوده و شکل پذیری آن از آلومینیوم خالص بهتر است. این آلیاژ در نیمرخ سازی، پوشش بام و تزئینات داخلی به کار می‌رود.
- **آلیاژ آلومینیوم و منیزیم (AlMg):** مقاومت کششی آن بین $۱۰۰۰-۲۶۰۰ \frac{kg}{cm^۲}$ است. در برابر مواد شیمیایی و عوامل جوی مقاوم بوده و در ساخت در و پنجره، نرده، زوار ویترین مغازه‌ها، پوشش درونی و بیرونی به کار می‌رود.
- **آلیاژ آلومینیوم و منیزیم و منگنز (AlMgMn):** مقاومت کششی آن بین $۱۸۰۰-۲۶۰۰ \frac{kg}{cm^۲}$ است و برای پوشش بام مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **آلیاژ آلومینیوم و منیزیم و سیلیسیم (AlMgSi):** مقاومت کششی آن بین $۲۸۰۰-۳۲۰۰ \frac{kg}{cm^۲}$ است. در برابر مواد شیمیایی و عوامل جوی مقاوم بوده و از آن در پل سازی، خرپا سازی، یراق سازی و ساخت وسایل مکانیکی استفاده می‌کنند.

۱. با روش شکل‌دهی سرد نیز مقاومت آلومینیوم افزایش می‌یابد.

- **آلیاژ آلومینیوم و منیزیم و مس (AlMgCu):** در برابر مواد شیمیایی و عوامل جوی مقاوم نیست و زود زنگ می‌زند. در تزئینات داخلی و بارگذاری‌های سنگین به کار می‌رود.
- **آلیاژ آلومینیوم و منیزیم و روی (AlMgZn):** مقاومت کششی آن حدود $\frac{kg}{cm^2}$ ۳۶۰۰ است. در برابر عوامل جوی مقاوم بوده و در سازه ساختمان‌های فلزی به کار می‌رود.

۲.۵.۱۷. مس – Copper (Cu)

مس فلزی سرخ رنگ، جلا پذیر و نرم است که بعد از فولاد و آلومینیوم بیشترین کاربرد را دارد. با توجه به مستندات تاریخی احتمالاً مس قدیمی‌ترین فلز مورد استفاده انسان بوده است و قدمت آن به حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش باز می‌گردد. یک آویز مسی متعلق به سال ۸۷۰۰ قبل از میلاد در شمال عراق کنونی یافت شده است. در حالی که اولین نشانه‌های استفاده از طلا تقریباً به ٤۰۰ سال قبل از میلاد بر می‌گردد.

مس را از سنگ‌های مس استخراج می‌کنند، با این حال در برخی مناطق به میزان کم به حالت فلزی (مس خالص) نیز یافت می‌شود. سنگ‌های مس بیشتر به صورت ترکیبات CuFeS، Cu_2FeS، CuS، Cu_2O و کربنات مس وجود دارند.

۱.۲.۵.۱۷. مس گدازی

پس از استخراج سنگ مس از معدن، آن را در سنگ شکن خرد کرده سپس با آسیاب ساچمه‌ای به صورت گرد در می‌آورند. روی گرد حاصل آب می‌ریزند تا خمیری شود سپس آن را در کوره ذوب می‌کنند. در گرمای کوره کربن آن می‌سوزد و ناخالصی‌ها به صورت سرباره خارج می‌شوند و مس خام با عیار ۹۸٪ باقی می‌ماند. مس خام را توسط جریان برق تجزیه می‌کنند و از آن مس با عیار ۹۹/۸٪ می‌سازند. این محصول را مس برقی می‌نامند و از آن در ساختن سیم و آلیاژهای مسی استفاده می‌کنند.

۲.۲.۵.۱۷. خواص مس

۱.۲.۲.۵.۱۷. خواص فیزیکی

- **وزن مخصوص:** ۸/۹۲ $\frac{gr}{cm^3}$.
- **شکل پذیری:** مس نرم است و به راحتی شکل مورد نظر را به خود می‌گیرد. این فلز انعطاف پذیر، چکش خوار و قابل جوش و لحیم‌کاری است. مس ترد نیست و ورق و میله آن به راحتی خم می‌شود. از این فلز می‌توان سیم-هایی به قطر ۰/۰۲۵ میلیمتر ساخت. در صورتی که بخواهند مس را در قالب شکل دهند، مقداری قلع به آن اضافه می‌کنند تا قالب‌گیری آن ساده‌تر شود.
- **خواص گرمایی:** گرما رسانی مس خوب است. هر متر میله مسی در ازای هر یک درجه افزایش دما، ۰/۰۱۶ میلیمتر افزایش طول خواهد داشت. دمای ذوب مس ۱۰۸۳ درجه سانتیگراد است.
- **هدایت الکتریکی:** رسانایی الکتریکی مس از فلزات دیگر بیشتر است و تقریباً نیمی از فرآورده‌های مس در صنعت برق به کار می‌روند. در بین فلزات خاص فقط خاصیت هدایت الکتریکی نقره در حرارت اتاق از مس بیشتر است.
- مس گداخته هوا می‌گیرد و هنگام سرد شدن همه آن را پس نمی‌دهد بنابراین مقداری هوا در مس باقی می‌ماند.

۲.۲.۲.۵.۱۷. خواص شیمیایی

- **اکسیداسیون:** مس در مجاورت هوا اکسید می‌شود و لایه نازک سیاه رنگی از اکسید مس سطح آن را می‌پوشاند. این لایه به تدریج از هوا CO_2 می‌گیرد و به کربنات مس سبز رنگ تبدیل می‌شود. کربنات مس با آب شسته نمی-شود بنابراین از زنگ زدن درون مس جلوگیری می‌کند.
  آب‌های حاوی املاح مسی سبب تسریع در زنگ زدگی ورق‌های فولاد گالوانیزه می‌شوند.
- **خوردگی:** مس در برابر آب دریا مقاوم است ولی اسیدهای معدنی و بازها به آن آسیب می‌رسانند. با این حال در برابر دود و گازهای اسیدی از آهن و

روی مقاوم‌تر است. جوهر سرکه و نمک خوراکی بر مس تأثیر گذارند و تولید مواد سمی می‌کنند از این رو مواد غذایی ترش و شور را نباید در ظرف‌های مسی و برنجی (آلیاژ مس و روی) نگهداری کرد.

- مس در برابر ملات‌های تازه، مقاوم است.
- آب‌های حاوی املاح مسی باعث ایجاد لکه در مصالح ساختمانی و افزایش خوردگی در آن‌ها می‌شوند.
- مس را نباید با آهن، آلومینیوم، سرب و روی با هم به کار برد زیرا حل می‌شود. این مسئله هنگام ساخت مخزن‌های آب گرم باید مد نظر قرار گیرد.

۳.۲.۲.۵.۱۷. خواص مکانیکی

- **مقاومت فشاری:** $۳۷۱۰-٤٦۰ \frac{kg}{cm^۲}$
- **مقاومت کششی:** $۳۵۵۰-۲۱٦۰ \frac{kg}{cm^۲}$

مقاومت مس توسط نورد و چکش کاری در حالت سرد افزایش می‌یابد.

۳.۲.۵.۱۷. موارد مصرف مس

از جمله کاربردهای فراوان مس می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سیم‌ها و روکش‌های مسی: برای صرفه جویی در مصرف مس، سیم آلومینیومی را با مس روکش می‌کنند.
- ساخت موتورها، به خصوص موتورهای الکترو مغناطیسی.
- در رنگ آمیزی شیشه و نیز به عنوان بخشی از لعاب سرامیک.
- ساخت ظروف آشپزخانه.
- مجسمه سازی (در مجسمه آزادی ۸۱۱۹۳ کیلوگرم مس به کار رفته است).
- از نمک مس برای محافظت از چوب استفاده می‌کنند.
- **در صنعت ساختمان:** ساخت لوله‌های آب سرد و گرم، قطعات اتصال لوله‌ها، منبع آب گرم، پوشاندن شیروانی بام (مس سخت شده)، آب‌بندی بام، ساخت ناودانی، میخ مسی برای کوبیدن ورق‌های شیروانی، دستگیره در، محوطه سازی و... .

تصویر شماره ۳۳.۱۷.
سیم مسی

تصویر شماره ۳٤.۱۷.
قطعات اتصال مسی

تصویر شماره ۳۵.۱۷.
پوشش بام مسی

٤.۲.۵.۱۷. آلیاژهای مس – Copper Alloy

ساخت آلیاژ از مس، با توجه به میزان مس موجود در آن، باعث تغییر رنگ مس از قرمز به طلایی، زرد روشن و نقره‌ای می‌شود. آلیاژهای مس خواصی مشابه مس دارند. این آلیاژها در برابر خوردگی بسیار مقاومند ولی در مقابل هوا تیره رنگ می‌شوند که جهت جلوگیری از این امر می‌توان آن‌ها را با واکس مخصوص، روکش کرد. انواع آلیاژهای مس عبارتند از:

- **آلیاژ مس و روی (برنج – Brass)**: از این آلیاژ برای ساخت لوله‌های آب و گاز، لوله‌های مارپیچ آب‌گرم کن‌ها، میله، یراق آلات در و پنجره ، پیچ و مهره و... استفاده می‌کنند.
- **آلیاژ مس و قلع (برنز – Bronze)**: این آلیاژ رنگ قهوه‌ای روشن و زیبایی دارد لذا از آن در ساخت اشیاء هنری و مجسمه سازی استفاده می‌کنند.
- **آلیاژ مس و قلع و فسفر (برنز فسفری – Phosphor Bronze)**: در ساخت یراق آلات در و پنجره به کار می‌رود.
- **آلیاژ مس و قلع و روی (مفرغ – Tin Bronze)**: در مجسمه سازی و... مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **آلیاژهای دیگر مس**: مس و آلومینیوم، مس و سیلیس، مس و نیکل، مس و نیکل و روی.

۳.۵.۱۷. سرب – Lead (Pb)

سرب نرم‌ترین، سنگین‌ترین و مقاوم‌ترین فلز ساختمانی است. نرمی آن به اندازه‌ای است که با مالش دست ساییده می شود و رنگ پس می‌دهد و به آسانی نیز خراش بر می‌دارد. سطح تازه تراشیده شده سرب، سفید متمایل به آبی است و جلا دارد ولی در معرض هوا اکسید می‌شود و لایه اکسید سرب به رنگ خاکستری تیره روی آن را می-پوشاند. این لایه از اکسید شدن درون فلز جلوگیری می‌کند.

۱.۳.۵.۱۷. سرب گدازی

فلز سرب را از سنگ سرب (کربنات سرب یا سولفور سرب) می‌گیرند. بدین ترتیب که ابتدا با حرارت دادن، سنگ سرب را به اکسید سرب تبدیل می‌کنند. سپس در گرمای کوره کربن کک، اکسیژن اکسید سرب را می‌گیرد و سرب خام باقی می‌ماند. با افزودن مواد خاصی، ناخالصی‌های اکسید سرب را نیز به صورت سرباره جدا می‌کنند. سرب حاصل ۹۹/۹٤–۹۹٪ خلوص دارد.

تصویر شماره ۳٦.۱۷. سنگ سرب

۲.۳.۵.۱۷. خواص سرب

۱.۲.۳.۵.۱۷. خواص فیزیکی

- وزن مخصوص: $\frac{gr}{cm^3}$ ۱۱/۳٤.
- **شکل پذیری:** سرب از قابلیت چکش خواری بالایی برخوردار است و به آسانی می‌توان آن را در حالت سرد به شکل نهایی در آورد. به راحتی می-توان آن را تا کرد، برید، نورد زد، منگنه کرد، لحیم‌کاری و جوشکاری کرد.
- **خواص گرمایی:** دمای ذوب سرب ۳۲۷ درجه سانتیگراد است و بالاترین ضریب انبساط را در بین فلزات ساختمانی دارد. بنابراین احتمال بروز ترک در آن، در فضای آزاد زیاد است. هر متر میله سربی به ازای هر یک درجه افزایش دما، ۰/۰۲۹ میلیمتر افزایش طول خواهد داشت.

- **هدایت الکتریکی**: خاصیت رسانایی الکتریکی در سرب کم است.
- سرب از انتشار اشعه رادیو اکتیو جلوگیری می‌کند.

۲.۲.۳.۵.۱۷. خواص شیمیایی

- **اکسیداسیون**: لایه اکسید سربی در هوای آزاد روی سرب ایجاد می‌شود، از اکسید شدن مغز فلز جلوگیری می‌کند. همچنین موجب خوردگی سایر فلزات نیز نمی‌شود.
- **خوردگی**: سرب در برابر اسیدهای غیر آلی و فلزات دیگر مقاوم است ولی اسیدهای آلی نظیر اسید استیک (جوهر سرکه یا جوهر انگور) و اسید نیتریک (جوهر شوره) به آن آسیب می‌زنند. ملات‌های گچ و آهک تأثیر چندانی بر سرب ندارند ولی سیمان و بتن در هوای مرطوب موجب خوردگی شدید در سرب می‌شوند. در این شرایط باید سرب را با نمد، مقوای قیری، قیر و گونی و یا پوشش رنگ محافظت کرد.
- سرب به شدت در برابر پوسیدگی مقاوم است به همین جهت از آن برای نگهداری مایعات فرسایش‌گر نظیر اسید فلوریدریک (HF) استفاده می‌کنند.
- ترکیبات سرب سمی هستند.

۳.۲.۳.۵.۱۷. خواص مکانیکی

- مقاومت‌های مکانیکی سرب بسیار اندک است.
- با افزودن مقداری آنتیموان یا فلزات دیگر می‌توان سرب را سخت کرد.

۳.۳.۵.۱۷. موارد مصرف سرب

از سرب در صنایع مختلف نظیر صنعت رنگ، شیشه، خودرو سازی، ساختمان و... استفاده می‌کنند. در ساختمان سازی سرب را به اشکال زیر مورد استفاده قرار می‌دهند:

- **ورق سربی**: برای آب‌بندی قطعات سفال بام، کنج‌های بام، سر ناودان‌ها، آبریزها، کف آشپزخانه و... . برای تراز کردن تیرهای فولادی و خرپاها نیز در زیر آن‌ها ورق سربی قرار می‌دهند.

- **لوله سربی:** شامل لوله‌های نرم و سخت است. لوله‌های نرم در برابر ضربه و زمین لرزه مقاومند. چون ترکیبات سربی سمی هستند، نباید لوله‌های آب گرم را از سرب ساخت ولی برای ساخت لوله‌های فاضلاب مناسب است.
- **سیم سربی:** شامل سیم‌های نرم و سخت است.
- **پشم و طناب سربی:** برای آب‌بندی محل اتصال لوله‌های فلزی آب و سیم-های برق به کار می‌روند.

تصویر شماره ۳۷.۱۷. پوشش جان‌پناه بام با ورق سرب

تصویر شماره ۳۸.۱۷. پوشش کنج‌های بام با ورق سرب

تصویر شماره ۳۹.۱۷. پشم سرب

۴.۵.۱۷. روی – Zinc (Zn)

فلز روی جلادار و به رنگ سفید متمایل به آبی است. برای تولید آن، کربنات روی و سولفور روی را حرارت می‌دهند تا به اکسید روی تبدیل شوند سپس از اکسید روی، روی خام تولید می‌کنند. روی خام را مجدداً در کوره‌های شعله‌ای ذوب می‌کنند تا روی خالص به عیار ۹۹/۵–۹۷/۵٪ به دست آید. با تجزبه برقی، روی خالص به عیار ۹۹/۹۹٪ نیز تولید می‌شود.

۱.۴.۵.۱۷. خواص روی

۱.۱.۴.۵.۱۷. خواص فیزیکی

- وزن مخصوص: ۷/۱۴ $\frac{gr}{cm^3}$.
- **خواص گرمایی:** دمای ذوب روی ۴۱۹ درجه سانتیگراد است. هر متر میله روی به ازای هر یک درجه افزایش دما، ۰/۰۲۹ میلیمتر افزایش طول دارد.

- **شکل پذیری**: روی در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد ترد است، در دمای ۱۵۰–۱۰۰ درجه تردی آن از بین می‌رود و قابلیت چکش خواری، نورد زدن و تا کردن پیدا می‌کند. در دمای ۳۰۰ درجه به حدی ترد می‌شود که می‌توان آن را کوبید و به گرد تبدیل کرد.

۲.۱.٤.۵.۱۷. خواص شیمیایی

- **اکسیداسیون**: روی در هوای مرطوب زنگ می‌زند. زنگ روی سفید رنگ است، با آب شسته نمی‌شود و از زنگ زدن درون فلز جلوگیری می‌کند.
- **خوردگی**: بازها و اسیدها حتی اسیدهای کم مایه و گازهای اسیدی باعث ایجاد خوردگی در فلز روی می‌شوند. ملات تازه گچ، آهک و سیمان بر فلز روی تأثیر گذارند. روی را نباید با فلزات دیگر به کار برد، مخصوصاً با مس. آب عبور کرده از سطح مسی نیز نباید بر سطح روی بریزد.

۳.۱.٤.۵.۱۷. خواص مکانیکی

- مقاومت کششی فلز روی در جهت نورد خورده ۱۹۰۰ و در جهت عمود بر آن ۲۵۰۰ $\frac{kg}{cm^2}$ است. هر چه دمای روی افزایش یابد، مقاومت مکانیکی آن کاهش می‌یابد.

۲.٤.۵.۱۷. موارد مصرف روی

فلز روی در ساختمان به صورت ورق، نوار، لوله و سیم به کار می‌رود. ورق روی برای پوشش شیروانی‌ها و آبروها مورد استفاده قرار می‌گیرد. روکش‌های بام با ورق روی تا ٤۰ سال عمر می‌کنند. همچنین در مناطق مرطوب برای جلوگیری از زنگ زدن قطعات فولادی می‌توان آن‌ها را روی اندود کرد (آهن سفید).

تصویر شماره ۴۰.۱۷. ورق‌های فلز روی برای پوشش بام

تصویر شماره ۴۱.۱۷. پوشش بام با فلز روی

تصویر شماره ۴۲.۱۷. پوشش بنا از فلز روی

۵.۵.۱۷. قلع – Tin (Sn)

قلع فلزی جلادار به رنگ سفید نقره‌ای است که با گرفتن اکسیژن از اکسید قلع به دست می‌آید. فلز قلع ضعیف، نرم و انعطاف پذیر است و به آسانی شکل می‌پذیرد. می‌توان آن را به صورت سرد چکش‌کاری کرد، قابل لحیم‌کاری و نورد زدن نیز می‌باشد. از دیگر خواص قلع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- قلع در دمای معمولی انعطاف پذیر است اما اگر گرم شود، شکننده می‌گردد.
- قلع ساختاری بلوری دارد از این رو هنگام خم کردن قطعه‌ای از آن، به علت شکستن بلورهایش صدای خاصی ایجاد می‌کند.
- وزن مخصوص قلع $۷/۳۸ \frac{gr}{cm^۳}$ و دمای ذوب آن ۲۳۱ درجه سانتیگراد است.
- در برابر عوامل جوی مقاوم است و زنگ نمی‌زند ولی قلع آبکی در فضای آزاد اکسیده می‌شود.
- اسید کلریدریک (جوهر نمک)، اسیدهای غیر آلی و قلیایی‌ها در قلع ایجاد خوردگی می‌کنند.
- قلع در برابر فرسایش مقاوم است به همین علت به عنوان پوشش مواد دیگر جهت جلوگیری از فرسایش به کار می‌رود.

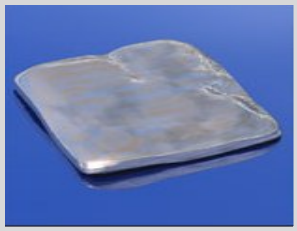
مصارف قلع در ساختمان عبارتند از: قلع اندود کردن منابع آب گرم و لوله‌های سربی جهت جلوگیری از تأثیر آب‌های معدنی، روکش قطعات فولادی (حلبی)، تولید برنز، لحیم‌کاری و اتصال قطعات فلزی و... .

۶.۵.۱۷. نیکل – Nickel (Ni)

نیکل فلزی سخت، جلادار و به رنگ سفید نقره‌ای است که مقدار کمی خاصیت آهن-ربایی دارد. این فلز از سیلیکات نیکل آهن و منیزیم‌دار می‌گیرند. نیکل خام ۹۷/۵٪ و نیکل برقی ۹۹/۵٪ خلوص دارد. وزن مخصوص آن ۸/۸۵ $\frac{gr}{cm^3}$ است و در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد ذوب می‌شود. در برابر عوامل جوی، قلیاها و بسیاری از اسیدها مقاوم است ولی اسیدهای کم مایه اندکی بر آن تأثیر گذارند. از نیکل برای آب‌کاری وسایل صنعتی و تولید فولاد زنگ نزن استفاده می‌کنند ولی عمده مصرف آن در ساخت آلیاژهاست.

۷.۵.۱۷. تیتانیوم – Titanium (Ti)

این فلزات مقاومت زیادی در برابر اکسید شدن دارد. همچنین در برابر آب دریا و بسیاری از مواد خورنده مقاوم بوده و از مقاومت مکانیکی خوبی نیز برخوردار است. از این رو تیتانیوم را در پوشش نمای ساختمان‌ها به کار می‌برند. ولی چون به راحتی شکل پذیر نیست (ورق آن تمایل به لوله شدن دارد) و جوشکاری آن نیز باید در محیط بدون فشار انجام شود، بنابراین هزینه کار با آن بسیار بالاست.



تصویر شماره ۴۳.۱۷. نیکل

تصویر شماره ۴۴.۱۷. تیتانیوم

تصویر شماره ۴۵.۱۷. پوشش نما از تیتانیوم – موزه گوگنهایم

۸.۵.۱۷. کروم – Chromium (Cr)

کروم فلزی سخت و ضد خشن است. در برابر اکسید شدن و پوسیدگی مقاوم است به همین علت از آن در آب‌کاری فلزات و تولید فولاد زنگ نزن استفاده می‌کنند. کروم به سختی قابل جوش خوردن است و این ویژگی کاربرد آن را محدود کرده است.

۹.۵.۱۷. منیزیم – Magnesium (Mg)

منیزیم بسیار سبک است، زود اکسید می‌شود، برخی از اسیدها در آن خوردگی ایجاد می‌کنند ولی در برابر قلیاها مقاوم است. گرد منیزیم با شعله سفید خیره کننده‌ای می‌سوزد از این رو آن را در آتش بازی‌ها به کار می‌برند. از منیزیم بیشتر برای ساخت آلیاژ استفاده می‌کنند، در تهیه ملات نیز کاربرد دارد.

تصویر شماره ٤٦.١٧. سوختن منیزیم

۱۰.۵.۱۷. منگنز – Manganese (Mn)

منگنز فلزی سبک است، اسیدها در آن خوردگی ایجاد می‌کنند ولی در برابر قلیاها مقاوم است. منگنز با شعله زیاد می‌سوزد و در فرآیند تولید آهن و فولاد کاربرد دارد.

۱۱.۵.۱۷. پرداخت نهایی فلزات غیر آهنی

فلزات غیر آهنی معمولاً به علت ظاهر مناسبشان مورد استفاده قرار می‌گیرند. پرداخت نهایی این فلزات سبب بهبود کیفیت ظاهری آن‌ها و حفظ آن خواهد شد. انواع پرداخت‌ها عبارتند از: جلا دادن، لعاب دادن، ماسه پاشی (برای ایجاد سطحی زبر)، آب‌کاری (برای ایجاد روکش نهایی بسیار سخت)، برس‌کاری با برس‌های فولادی، آنودایز کردن (فقط مخصوص آلومینیوم) و... .

فصل ۱۸

شیشه

۱.۱۸. تاریخچه

قدمت تولید شیشه به زمان سرد شدن پوسته جامد زمین باز می‌گردد. هنگامی که مواد مذاب آتشفشانی از دهانه کوه‌ها خارج می‌شوند، اگر به سرعت سرد گردند، تبدیل به شیشه تبدیل می‌شوند.

به تدریج وقتی انسان این ماده طبیعی را کشف کرد و به موارد استفاده آن پی برد، به فکر ساخت و تولید انبوه آن افتاد. از ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، مصری‌ها شیشه را از ماسه و و سود می‌ساختند. ولی برای اولین بار فرم و شکل دادن به شیشه (صنعت شیشه) توسط فنقی‌ها در حدود ۱۷۰۰ سال قبل از میلاد تحقق یافت. قدیمی-ترین شیشه یافت شده در ایران، یک گردنبند شیشه‌ای حاوی دانه‌های آبی رنگ متعلق به ۲۲۵۰ سال پیش از میلاد است که در ناحیه شمال غربی ایران کشف شده است.

تا سده نوزدهم برای شکل دادن به شیشه آن را می‌ریختند[1] یا در آن فوت می-کردند ولی شیشه فرم داده شده از این طریق قیمت سرسام آوری داشت. در اواخر سده نوزدهم، در صنعت شیشه سازی ماشین به کار افتاد و پیشرفت کرد.

۲.۱۸. ضرورت استفاده و کاربرد شیشه

شیشه جسمی بی‌رنگ، سخت، شکننده و شفاف است که در ساختمان‌ها برای گذر دادن نور و روشنایی و حفاظت داخل بنا از عوامل جوی نظیر باران، برف و... به کار می‌رود. از طرفی قیمت شیشه نسبت به سایر مصالح ارزان‌تر است و به ساختمان جلوه خاصی نیز می‌بخشد. در گذشته برای پخش نور شیشه را به صورت جام ساخته و در رأس گنبدها قرار می‌دادند و به آن شیشه جام می‌گفتند. ار این رو امروزه نیز شیشه‌های در و پنجره را شیشه جام می‌نامند.

شیشه علاوه بر نورگذرانی، موارد استفاده فراوانی دارد که به برخی از آن‌ها پرداخته خواهد شد:

- ساخت آینه، شیشه‌های مواد خوراکی، ظروف آزمایشگاهی[2] و پزشکی.
- ساخت پشم و تار شیشه.
- استفاده از خرده شیشه به عنوان سخت‌دانه در ساخت بتن، با هدف بازیافت مواد زائد.
- استفاده از شیشه برای پوشش مصالح مختلف جهت حفظ آن‌ها از رطوبت و نیز ایجاد ظاهری زیبا. پوشش شیشه‌ای روی سرامیک‌ها را لعاب (Glaze) و روی فلزات را مینا یا لعاب شیشه‌ای (Vitreous Enamel) می‌نامند.
- استفاده از شیشه در صنایع خودرو سازی، در نیروگاه‌های خورشیدی و... .

۱. شکل دادن به شیشه به روش ریخته گری.
۲. چون شیشه در مقابل تمامی بازها و اسیدها (به جز اسید فلوئوریک (HF)) مقاوم است.

۳.۱۸. ترکیبات شیشه

از ترکیب و ذوب خیلی از عناصر می‌توان شیشه به دست آورد ولی ترکیب اصلی ساخت شیشه که عمومیت بیشتری دارد، شامل سیلیس[۱] (SiO_2)، آهک (CaO) و اکسید سدیم (Na_2O) است.

تصویر شماره ۱.۱۸. سیلیس

سیلیس ماده اصلی تشکیل دهنده شیشه است و در ساخت همه انواع شیشه به کار می‌رود. ولی گاهی به جای آهک و اکسید سدیم از مواد دیگری در ترکیب شیشه استفاده می‌شود. به طور کلی در ساخت هر نوع شیشه بنا به کاربردی که خواهد داشت، از مواد ویژه‌ای با مقادیر خاص استفاده می‌کنند. می‌توان این مواد را بر حسب اثری که بر محصول دارند، به چند گروه زیر تقسیم کرد:

- **گداز آورها**: نقطه ذوب سیلیس بسیار بالاست (۱۷۲۳ درجه سانتیگراد) بنابراین هزینه زیادی برای ذوب آن صرف می‌شود. جهت کاهش نقطه ذوب سیلیس از گداز آورها استفاده می‌کنند. به این مواد روان کننده نیز می‌گویند و عمده‌ترین آن‌ها عبارتند از: کربنات سدیم (Na_2CO_3)، کربنات پتاسیم (K_2CO_3) و خرده شیشه (ماده تشکیل دهنده خرده شیشه‌ها باید همانند موادی باشد که شیشه از آن ساخته می‌شود).
- **تثبیت کننده‌ها**: این مواد سبب می‌شوند که شیشه حاوی سدیم و پتاسیم، در آب نامحلول باشد. علاوه بر این تثبیت کننده‌ها مقاومت شیشه را در برابر آب و هوا ثابت نگه می‌دارند. به طور کلی از اکسیدهای دو ظرفیتی نظیر

۱. مهم‌ترین منابع سیلیس شامل ماسه‌های سیلیسی، کوارتزیت و رگه‌های کوارتزی است. ناخالصی آلومینیوم در ماسه سیلیسی موجب کاهش دمای ذوب و افزایش کیفیت شیشه می‌شود.

اکسید باریم، اکسید سرب، اکسید کلسیم، اکسید منیزیم، اکسید روی و آهک می‌توان به عنوان تثبیت کننده استفاده کرد.

- **تصفیه کننده‌ها**: این مواد حباب‌های هوای موجود در شیشه را کاهش می‌دهند. از جمله سولفات سدیم (Na_2SO_4)، کلرات سدیم ($NaClO_3$)، ارسنیک، آنتیموان و... .

٤.١٨. مواد افزودنی به ترکیبات شیشه

تا کنون به مواردی اشاره کردیم که عدم وجودشان در مواد اولیه ساخت شیشه، سبب اختلال در تولید آن می‌گردد. علاوه بر این‌ها مواد دیگری نیز وجود دارند که به نوعی در مرغوبیت شیشه سهیم هستند. برخی از این مواد و تأثیر آن‌ها به شرح زیر است:

- شیشه‌هایی که مواد آن‌ها قلیایی هستند در مقابل عوامل جوی کمتر مقاومت می‌کنند و زودتر شفافیت خود را از دست می‌دهند. اکسید منگنز (MnO) باعث شفاف‌تر شدن شیشه می‌شود.
- استفاده از اکسید سرب به جای اکسید کلسیم، برای ساخت شیشه‌های بلور و کریستال. اکسید سرب باعث درخشندگی شیشه می‌شود. برای تولید بلور مرغوب از اکسید نقره استفاده می‌کنند.
- استفاده از فلدسپار مقاومت در برابر مواد شیمیایی را بهبود می‌بخشد. برای این‌که شیشه در مقابل اسید فلوئوریک (HF) نیز مقاوم باشد، ترکیباتی از فسفات به آن می‌افزایند.
- استفاده از اکسید سزیم برای جذب پرتو فرو سرخ.
- استفاده از نیترات سدیم ($NaNO_3$) برای از بین بردن رنگ سبز شیشه‌های معمولی. این رنگ ناشی از وجود اکسید آهن است که همراه مواد دیگر وارد کوره ذوب می‌شود. این رنگ باعث جذب پرتوهای مادون قرمز می‌شود.
- استفاده از اکسید بور به منظور کاهش ضریب انبساط حرارتی شیشه و مقاومت در برابر تغییرات شدید دما.

۵.۱۸. مراحل تولید شیشه

تولید شیشه شامل چهار مرحله زیر می‌شود:

۱. تهیه مواد اولیه شیشه.
۲. ذوب کردن مواد اولیه در کوره شیشه گدازی.
۳. شکل دادن به شیشه (شیشه گری).
٤. تنش زادایی شیشه.

۱.۵.۱۸. تهیه مواد اولیه شیشه

پس از فراهم آوردن مواد اولیه (که در بخش قبل به آن‌ها اشاره شد)، آن‌ها را به نسبت-های خاصی با هم مخلوط می‌کنند. به مخلوط حاصل خوراک شیشه می‌گویند.

۲.۵.۱۸. ذوب کردن مواد اولیه در کوره شیشه‌گدازی

خوراک شیشه را در کوره‌های شعله‌ای که با مواد نسوز پوشانده شده‌اند، ذوب می‌کنند. عملیات ذوب کردن خوراک شیشه در درون کوره به سه مرحله تقسیم می‌شود:

۱. در مرحله اول، در اثر حرارت بین مواد اولیه واکنش مواد شیمیایی صورت می‌گیرد و اجزا با یکدیگر ترکیب می‌شوند. بر اثر این ترکیب توده‌ای چسبناک و پر از حباب پدید می‌آید.
۲. در مرحله دوم، شیشه مذاب پالایش می‌شود. بدین صورت که دمای خمیر شیشه (Frit) را تا حدود ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌دهند، تا حباب‌ها به سطح خمیر بیایند. همان طور که قبلاً اشاره شد، می‌توان از مواد شیمیایی نیز برای تسهیل این فرآیند استفاده کرد. این مرحله، تصفیه شیشه نام دارد. خمیر شیشه در این مرحله آن قدر رقیق است که نمی‌توان روی آن کار کرد.
۳. در مرحله سوم، دمای خمیر شیشه را تا حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد پایین می‌آورند تا خنک شده و غلظت آن به حدی برسد که امکان شکل پذیری داشته باشد.

۳.۵.۱۸. شکل دادن به شیشه (شیشه گری)

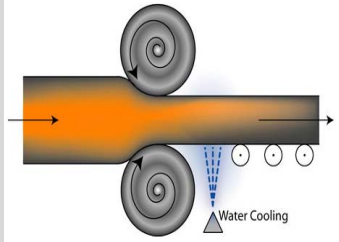
پس از آن‌که عملیات ذوب و عمل آوردن مواد به پایان رسید، باید بلافاصله نسبت به شکل دادن به شیشه اقدام نمود تا مواد مذاب فرصت سرد شدن نداشته باشند. دستگاه-های شکل دادن به شیشه به انتهای کوره متصل هستند.

شیشه‌های مورد استفاده در ساختمان اغلب مسطح می‌باشند. امروز از روش‌های گوناگونی برای ساخت شیشه مسطح استفاده می‌شود که ذیلاً به شرح مختصری درباره آن‌ها می‌پردازیم.

۱.۳.۵.۱۸. ساخت شیشه مسطح به طریقه کشیدن (نورد) – Rolling

در این روش، خمیر شیشه را از بین غلتک‌های فولادی می‌گذرانند تا مسطح شود. درون نخستین غلتکی که خمیر شیشه از آن می‌گذرد، هوای سرد می‌دمند تا خمیر شل شیشه سفت گردد. شیشه‌های مسطح تا ضخامت ۷ میلیمتر را به این روش می‌سازند.

برای طرح‌دار کردن شیشه، از غلتک‌های نقش‌دار استفاده می‌کنند. شیشه‌های طرح‌دار در بازار ایران به نام شیشه مشجر معروفند.



تصویر شماره ۲.۱۸. شکل دادن به شیشه به طریقه نورد

تصویر شماره ۳.۱۸. شکل دادن به شیشه به طریقه نورد

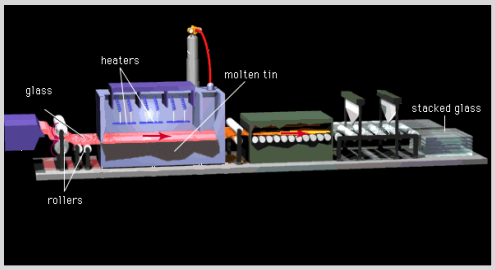
۲.۳.۵.۱۸. ساخت شیشه مسطح به طریق ریخته گری – Casting

در این روش، خمیر شیشه را روی سینی‌های بزرگ لبه‌دار فولای یا مسی می‌ریزند و روی آن را به وسیله غلتک صاف می‌کنند تا به ضخامت دلخواه برسند. شیشه حاصل از این طریق کاملاً بدون موج نیست، لذا این روش امروزه خیلی کاربرد ندارد.

۳.۳.۵.۱۸. ساخت شیشه مسطح به طریقه شناور سازی – Floating

با این تکنولوژی بهترین نوع شیشه مسطح که دو طرف آن کاملاً موازی و بدون موج است و دید را به هیچ وجه تغییر نمی‌دهد، به دست می‌آید. در این روش خمیر شیشه را بر روی حوضچه‌ای از قلع مذاب شناور می‌کنند. بدین ترتیب شیشه بر روی سطح صاف قلع، کاملاً مسطح می‌شود.

شیشه‌های مسطح شناور اغلب به ضخامت‌های ۳/۱۵، ٤/۷ و ٦/۳ میلیمتر ساخته می‌شوند.



تصویر شماره ٤.۱۸. ساخت شیشه مسطح به طریقه شناور سازی

٤.۵.۱۸. تنش زدایی شیشه – Destressing

هنگامی که خمیر شکل گرفته شیشه شروع به سرد شدن می‌کند، ابتدا سطوح بیرونی آن سرد شده و منقبض می‌شوند سپس قسمت‌های میانی حرات خود را از دست می‌دهند. اگر عمل سرد شدن ناگهانی صورت گیرد، به علت انقباض سطح و انبساط قسمت میانی، در شیشه تنش ایجاد می‌شود. از این رو شیشه‌ها را در گرمخانه یا کوره تنش-زدایی، ابتدا گرم کرده سپس به تدریج سرد می‌کنند تا هنگام خروج از گرمخانه، هم-دمای محیط باشند.

٦.۱۸. خواص عمومی شیشه

ویژگی‌های عمومی که در ادامه بررسی خواهند شد، خواص شیشه جام معمولی هستند.

۱.٦.۱۸. خواص فیزیکی

- **وزن مخصوص:** ۲/۵ $\frac{gr}{cm^3}$
- **خواص نوری شیشه:** قسمتی از نوری که به شیشه تابیده می‌شود، منعکس می‌گردد و مابقی نیز با شکست از شیشه عبور می‌کند. هر چه شیشه نازک‌تر، یکنواخت‌تر و بی‌رنگ‌تر باشد، نور بیشتری از خود عبور می‌دهد. عموماً شیشه‌های معمولی از عبور اشعه ماوراء بنفش خورشید که میزان اندک آن برای سلامتی جان‌داران لازم است، جلوگیری می‌کند. از این رو امروزه به خصوص برای مکان‌های بهداشتی و درمانی، شیشه‌هایی تولید می‌شوند که این اشعه را از خود عبور می‌دهند.
- **هدایت حرارتی:** شیشه حرارتی زیادی را از خود عبور می‌دهد. البته طول موج نور هدایت شده به داخل ساختمان در اثر برخورد با اشیاء درون بنا، تغییر می‌کند و دیگر قادر به عبور از شیشه نیست. به همین علت است که همیشه گلخانه‌ها در زمستان گرمای مطلوبی دارند.
- **هدایت الکتریکی:** شیشه نمی‌تواند جریان الکتریسیته را از خود عبور دهد. با این حال افزایش دما موجب افزایش رسانایی الکتریکی شیشه می‌شود.

۲.٦.۱۸. خواص شیمیایی

شیشه در برابر تمام مواد شیمیایی حتی اسیدهای قوی مقاومت کرده و دچار خوردگی نمی‌شود. فقط اسید فلوئوریک (HF) شیشه را در خود حل کرده و آن را مات می‌کند.

۳.٦.۱۸. خواص مکانیکی

مقاومت مکانیکی شیشه با ضخامت و جنس آن ارتباط مستقیم دارد. ضخامت شیشه را بر حسب ابعادش انتخاب می‌کنند.

- **مقاومت فشاری:** ۱۲۰ – ٦۰ $\frac{N}{mm^2}$
- **مقاومت کششی:** ۹۰–۳۰ $\frac{N}{mm^2}$
- **مقاومت خمشی:** ٤۰ $\frac{N}{mm^2}$

- **سختی:** میزان سختی شیشه ۷-٦ است و همه اجسام جز الماسه‌ها را خط می‌اندازد.
- شیشه در برابر کم و زیاد شدن حرارت خیلی حساس است و در آن تنش ایجاد شده و ترک می‌خورد.

۷.۱۸. انواع شیشه‌های ساختمانی (شیشه جام)

۱.۷.۱۸. شیشه جام معمولی

شیشه‌های جام معمولی به دو شکل مسطح و خم ساخته می‌شوند:

- **شیشه جام مسطح (Flat Glass):** این شیشه‌ها بیشترین درصد شیشه‌های مورد استفاده در ساختمان‌ها را به خود اختصاص می‌دهد و با ضخامت‌های ۲۵-۲/۵ میلیمتر (شامل شیشه‌های مسطح معمولی و سنگین) تولید می‌شوند.
- **شیشه‌های جام خم یا انحنادار (Curved Glass):** برای ساخت شیشه خم، آن را حرارت می‌دهند تا به حالت نیمه خمیری درآید. سپس آن را روی قالب‌های مخصوص می‌گذارند تا شکل بگیرد. در نهایت شیشه را به آرامی سرد می‌کنند. شیشه‌های با ضخامت کم را حتی تا ۹۰ درجه هم خم می‌کنند. البته در محل خم لازم است که از یک قوس اتصال با شعاع انحنای کافی استفاده شود. شیشه‌های دو جداره، سکوریت، لمینت و... را نیز می‌توان به صورت خم درآورد. از شیشه خم اغلب در اتومبیل، ویترین مغازه‌ها، ساختمان‌هایی با طراحی گرد و... استفاده می‌کنند.

۲.۷.۱۸. شیشه دو جداره (مضاعف - عایق) - Double Glass

شیشه دو جداره (یا چند جداره) از دو یا چند لایه شیشه تشکیل شده که توسط میله جدا کننده (اسپیسر) آلومینیومی در محیط پیرامون آن‌ها از یکدیگر فاصله پیدا می‌کنند. بین لایه‌های شیشه نیز هوا یا گازی مخصوص (معمولاً گازهای بی اثر) تزریق می‌شود. در حقیقت همین فضای خالی مبنای اصلی شکل‌گیری شیشه‌های عایق به شمار می‌آید. لایه‌های شیشه در شرایط کنترل شده کارخانه‌ای، با استفاده از درزگیر غیر قابل نفوذی

(بوتیل) به میله جدا کننده می‌چسبند. درون میله جدا کننده با ماده رطوبت‌گیر پر می‌شود تا این ماده سبب جذب بخار و رطوبت هوای بین دو شیشه شود. همچنین جهت متعادل نمودن فشار هوای بین دو جداره شیشه با هوای بیرون، می‌توان شیر دو طرفه‌ای را در اطراف شیشه دو جداره نصب کرد تا از اعوجاج ظاهری و احتمال شکست آن بر اثر اختلاف فشار جلوگیری شود.

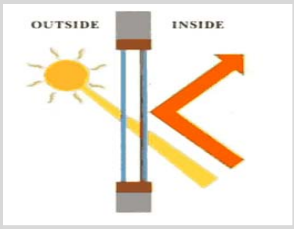
شیشه‌های دو جداره می‌توانند به صورت ترکیبی از انواع شیشه‌های مختلف نظیر شیشه ساده، رنگی، رفلکس، لمینت، سکوریت و... تولید شوند. با استفاده از هر مترمربع شیشه دو جداره با فریم استاندارد می‌توان در سال به میزان ٤٠ متر مکعب در مصرف گاز صرفه جویی نمود و نیز به تعداد ۱/۲۲ عدد از پره‌های رادیاتور کاست. از دیگر مزایای این شیشه می‌توان به: عایق حرارتی، عایق صوتی و کاهش امکان تشکیل قطرات آب بر روی سطح شیشه (به علت گرم‌تر بودن لایه درونی آن‌ها) اشاره کرد.

۳.۷.۱۸. شیشه لمینت (لایه دار – نشکن) Laminate Glass

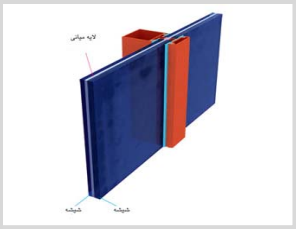
شیشه لمینت از دو یا چند ورق شیشه تشکیل شده که پیوند میان آن‌ها توسط یک یا چند لایه میانی رزین ایجاد گردیده است. گاهاً لایه‌ای از جنس نایلون را با چسب‌های شفاف بین دو لایه شیشه نیز قرار می‌دهند. ممکن است چسب را طوری انتخاب کنند که جایگزین لایه نایلونی شود. این لایه نایلونی مانع فرو ریختن قطعات شیشه خرد شده در اثر ضربه، می‌شود. به همین جهت به این شیشه‌ها، نشکن نیز می‌گویند.

شیشه لمینت به صورت ترکیبی از انواع شیشه‌های معمولی، سکوریت و... در ابعاد، ضخامت و اشکال مختلف (مسطح و خم) تولید می‌شود. این نوع شیشه با جلوگیری از عبور اشعه مضر ماوراء بنفش (UV) مانع از کمرنگ شدن پارچه، فرش و مبلمان می‌شود. همچنین میزان صوت عبوری از شیشه را کاهش می‌دهد. شیشه لمینت نسبت به شیشه دو جداره، عایق صوتی مناسب‌تری محسوب می‌گردد. بنابراین اگر یکی از جداره‌های شیشه دو جداره، از شیشه لمینت باشد، به مراتب خاصیت عایق صوتی بهتری خواهد داشت. از شیشه لمینت می‌توان در ساختمان‌های تجاری، مسکونی، اداری، فرودگاه‌ها، بانک‌ها، بیمارستان‌ها، کارخانه‌ها، کابین آسانسور، پوشش استخر، پارتیشن‌ها و... استفاده کرد.

تصویر شماره ۵.۱۸. شیشه خم



تصویر شماره ٦.۱۸. شیشه دو جداره



تصویر شماره ۷.۱۸. شیشه لمینت

٤.۷.۱۸. شیشه سکوریت (آبدیده – پیش تنیده) – Security Glass

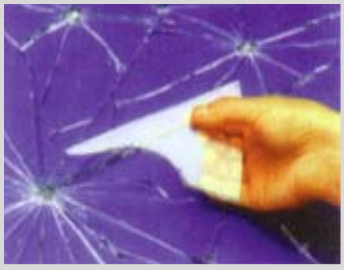
سکوریت، شیشه‌ای است که استحکام آن از طریق عملیات حرارتی افزایش یافته است. طی این فرآیند شیشه را تا دمای نرم شدن (حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد) گرم و سپس با دمیدن جریان سریع هوا، به طور یکنواخت و بر دو سطح آن، سرد می‌کنند. این اقدام سبب ایجاد برخی تغییرات فیزیکی در شیشه شده ولی شکل ظاهری آن ثابت می‌ماند.

با توجه به این‌که در شیشه سکوریت تنش‌های کششی و فشاری درونی با یکدیگر در تعادل می‌باشند، نمی‌توان بر روی آن عملیاتی نظیر برش، خم و یا سوراخ کردن انجام داد. بر همین مبنا پیش از انجام عملیات سکوریت، باید ابعاد و کلیه مشخصات شیشه در نقشه اجرایی به طور دقیق مشخص گردد.

منظور از آبدیده در عنوان این نوع شیشه، باز پخت شدن آن، و نیز منظور از پیش تنیده همان گرم کردن و سپس سرد کردن سریع شیشه است. پیش تنیده کردن ممکن است از طریق اصلاح شیمیایی نیز صورت گیرد.

از مزایای شیشه سکوریت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استحکام خمشی و مقاومت آن در برابر ضربه در مقایسه با شیشه معمولی با همان ضخامت، ۵-۳ برابر است.
- مقاومت آن در برابر تغییرات ناگهانی دما یا شوک حرارتی در حدود ۳ برابر افزایش یافته و می‌تواند حدود ۲۷۵ درجه سانتیگراد حرارت را تحمل کند.
- هنگام شکستن، به ذرات ریزی تبدیل شده که صدمات جانی و مالی کمتری در پی خواهد داشت.



تصویر شماره ۸.۱۸. شکستن شیشه معمولی

تصویر شماره ۹.۱۸. شکستن شیشه سکوریت

۵.۷.۱۸. شیشه ضد گلوله – Bullet-resisting Glass

برای آن‌که گلوله شیشه را سوراخ نکند، حداقل چهار لایه شیشه سکوریت را به یکدیگر می‌چسبانند تا ضخامت آن به ۶۰-۲۵ میلیمتر برسد. گلوله در اثر برخورد به این شیشه‌ها کمانه کرده و به داخل آن‌ها فرو نمی‌رود.

۶.۷.۱۸. شیشه مسلح – Wired Glass

شیشه مسلح با قرار دادن یک لایه توری فلزی از جنس فولاد در میان شیشه ساخته می‌شود. می‌توان به جای لایه توری، از الیاف فولادی نیز استفاده کرد. ضخامت این نوع شیشه ۶-۴ میلیمتر است و از آن در آسانسورها، ورودی ساختمان‌ها، موتورخانه‌ها و دیگر فضاهایی که که خطر شکستن شیشه در آن‌ها وجود دارد، استفاده می‌کنند. زیرا شیشه مسلح در برابر ضربه، خم شدن و آتش سوزی مقاوم است.

بهتر است که شیشه‌های مسلح مطابق ابعاد مورد نیاز، در کارخانه ساخته شوند. زیرا گرچه امکان برش آن‌ها وجود دارد، ولی بر اثر برش، سر سیم‌های مسلح کننده لخت شده و امکان زنگ زدن آن‌ها فراهم می‌گردد.

۷.۷.۱۸. شیشه‌های مقاوم در برابر حرارت و آتش (پیرکس)

این نوع شیشه‌ها که بیشتر با نام تجاری پیرکس (Pyrex Glass) شناخته می‌شوند، در برابر دماهای زیاد، مقاومت بسیار خوبی دارند. یکی از دلایل مقاومت دمایی این نوع

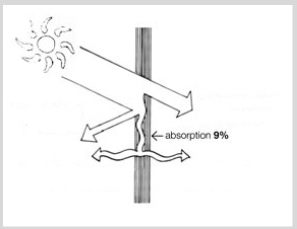
شیشه‌ها این است که ضریب انبساط و انقباض آن‌ها بسیار اندک است لذا بر اثر گرم و سرد شدن های سریع، نمی‌شکنند. در ساخت شیشه پیرکس از اکسید بوریک، سیلیس و... استفاده می‌شود به همین جهت به آن شیشه بورو سیلیکاتی (Borosilicate Glass) نیز می‌گویند. از پیرکس در ساخت ظروف آشپزخانه، پوشش جلوی بخاری‌ها، شومینه-ها و... استفاده می‌شود و چون در برابر مواد شیمیایی هم مقاومند، در ساخت ظروف آزمایشگاهی نیز به کار می‌روند.

۸.۷.۱۸. شیشه جاذب حرارت (گرماگیر)

این نوع شیشه با جذب حرارت مانع از ورود گرما و اشعه مادون قرمز به داخل ساختمان می‌شود. هر چه شیشه ضخیم‌تر باشد، حرارت بیشتری را جذب می‌کند. شیشه‌های جاذب حرارت در سه رنگ خاکستری، سبز و برنزی تولید می‌شوند. رنگ این شیشه‌ها از بیرون دیده می‌شود ولی از دورن پیدا نیست. از شیشه جاذب حرارت در بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها، انبارهای مواد غذایی، مدارس، ادارات و نیز در مکان‌هایی که سطح بزرگی از شیشه در معرض تابش آفتاب قرار دارد، استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ۱۰.۱۸. شیشه مسلح

صویر شماره ۱۱.۱۸. شیشه مقاوم در برابر حرارت و آتش

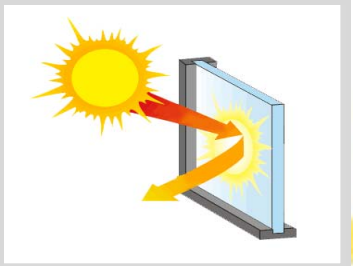


تصویر شماره ۱۲.۱۸. شیشه جاذب حرارت

۹.۷.۱۸. شیشه انعکاسی (بازتابنده – رفلکس- جیوه‌ای)

یک سطح این شیشه با یک پوشش فلزی یا اکسید فلزی منعکس کننده نور و حرارت پوشانده شده است. از این رو نور خورشید را منعکس می‌کند و در کاهش حرارت و درخشندگی نور (خیرگی آفتاب) مؤثر است. پوشش این شیشه در انواع رنگ‌ها تولید می‌شود.

شیشه انعکاسی از محیط تاریک به محیط روشن به صورت شفاف و مثل شیشه معمولی دیده می‌شود ولی از محیط روشن به تاریک مثل آینه نیز عمل می‌کند. هنگام شب که داخل ساختمان روشن و بیرون آن تاریک است، شیشه مزبور از خارج به صورت شفاف و از داخل به صورت آینه دیده می‌شود. این شیشه در کلیه اماکن قابل استفاده است. اما باید توجه کرد که در محل‌هایی که از نور کمی بهره می‌گیرند، کمتر استفاده شود چون محیط را تاریک‌تر می‌کند. همچنین هنگام نصب این شیشه باید توجه داشت که قسمت پوشش‌دار آن به سمت داخل ساختمان قرار گیرد.



تصویر شماره ۱۳.۱۸. شیشه انعکاسی

تصویر شماره ۱٤.۱۸. شیشه انعکاسی

۱۰.۷.۱۸. شیشه کوارتزی – Quartz Glass

شیشه کوارتزی از ذوب کردن سیلیس خالص در حرارت زیاد و بدون استفاده از گداز آورها تولید می‌شود تا بتواند اشعه ماوراء بنفش را از خود عبور دهد. این اشعه از شیشه‌های معمولی و شیشه‌هایی که با استفاده از گداز آورهای سدیمی و پتاسیمی ساخته شده‌اند، عبور نمی‌کند. میزان زیاد اشعه ماوراء بنفش باعث سرطان پوست می‌شود ولی مقدار معینی از آن برای جانداران سودمند و برای رویش و رشد گیاهان ضروری است. بدین سبب از شیشه کوارتزی در گلخانه، بیمارستان‌ها و... استفاده می‌کنند. البته باید به این نکته توجه کرد که اشعه ماوراء بنفش باعث رنگ پریدگی پارچه و فرش می‌شود و این مسأله باید در محل قرار گیری این نوع شیشه مدنظر قرار گیرد.

علاوه بر این‌ها شیشه کوارتزی در برابر کم و زیاد شدن حرارت، مقاومت خوبی دارد. از این رو برای ساخت ظروف آشپزخانه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۱.۷.۱۸. شیشه آینه‌ای شفاف

برای ساخت این نوع شیشه، به مواد خام آن اندکی اکسید سرب اضافه می‌کنند و در نهایت نیز هر دو طرف شیشه را می‌سایند و جلا می‌دهند. این شیشه از شیشه جام معمولی بسیار روشن‌تر و شفاف‌تر است. از شیشه آینه‌ای برای ویترین مغازه‌ها، درهای بزرگ ساختمان‌ها، رومیزی و... استفاده می‌کنند. می‌توان شیشه آینه‌ای را به صورت گرماگیر ساخت تا دمای زیاد هوا به کالاهای درون ویترین مغازه‌ها آسیب وارد نکند.

۱۲.۷.۱۸. شیشه‌های مات – Diffusing Glass

عبور نور از شیشه‌های مات کمتر از شیشه‌های معمولی است و قابلیت رؤیت اجسام پشت آن‌ها و وضوح آن‌ها نیز بسیار کمتر است. انواع شیشه‌های مات به روش‌های گوناگونی ساخته می‌شوند که در ادامه خواهد آمد.

۱.۱۲.۷.۱۸. شیشه تار – Obscure Glass

برخی از فضاها در ساختمان نیاز به روشنایی مختصری دارند و نیز لازم است که بیرون، داخل آن‌ها دیده نشود. بدین لحاظ، در این مکان‌ها از شیشه‌های تار که شفافیت آن‌ها کم است و فقط مقدار اندکی نور را از خود عبور می‌دهند، استفاده می‌شود. برای ساخت شیشه تار، به مواد خام آن فلوئورور سیلیسیم یا فلوئورور سدیم اضافه می‌کنند. مواد مذکور هنگام سرد شدن شیشه، زودتر سرد و بلوری می‌شوند، در نتیجه شیشه تار می‌شود. از دیگر راه‌های تار کردن شیشه، پاشیدن تحت فشار گرد سیلیس بر روی آن است. همچنین می‌توان روی شیشه اسید فلوئوریک[1] (HF) ریخت تا شیشه را در خود حل کرده و آن را تار کند.

تمیز کردن چربی‌ها، اثر انگشت و... از روی شیشه‌های تار به نسبت شیشه‌های معمولی سخت‌تر است.

---

۱. با پاشیدن اسید روی بخی از قسمت‌های شیشه می‌توان روی آن طرح‌هایی نیز ایجاد کرد که به آن شیشه اسید شوی شده (Acid-embossed Glass) می‌گویند.

۲.۱۲.۷.۱۸. شیشه مشجر (طرح‌دار) – Patterned Glass

شیشه مشجر نیز نور کمی را از خود عبور می‌دهد و مانع دید کامل می‌شود، بدین طریق که نقش روی این شیشه سبب شکست نور شده و شیء مشاهده شده در پشت آن کاملاً واضح دیده نمی‌شود. شیشه مشجر به طریقه نورد تولید می‌گردد، بدین صورت که با گذشتن خمیر شیشه از بین دو غلتک، نقش خاصی که بر روی غلتک تحتانی حک شده، بر روی شیشه منتقل می‌شود.

شیشه‌های مشجر در طرح‌ها و رنگ‌های متنوعی تولید می‌شوند. از این رو می‌توانند در تزئینات داخلی ساختمان نیز نقش ایفا کنند. این شیشه‌ها هم به صورت معمولی و هم به صورت شیشه دو جداره، سکوریت و یا شیشه مسلح ساخته می‌شوند.

هنگام نصب شیشه‌های مشجری که فقط یک طرف آن‌ها طرح دارد، بهتر است که سطح طرح‌دار در قسمت خارج ساختمان قرار گیرد تا از آلودگی دائم شیشه در قسمت داخل جلوگیری به عمل آید.

۳.۱۲.۷.۱۸. شیشه ماسه پاشیده شده – Sandblasted Glass

بر اثر پاشیدن ماسه بر روی سطح شیشه می‌توان آن را مات کرد. اگر بخواهند با این روش طرحی را به روی شیشه ایجاد کنند، قسمت‌هایی را که نباید ماسه پاشی شوند با چسب می‌پوشانند و پس از انجام عمل ماسه پاشی، چسب‌ها را بر می‌دارند.

استفاده از شیشه ماسه پاشی شده در مناطق مرطوب مناسب نیست، زیرا عرق کردن شیشه به تدریج مات بودن آن را از بین می‌برد. همچنین در صورت استفاده از این نوع شیشه در شیشه‌های دو جداره، می‌باید سطح ماسه پاشی شده آن در سمت میانی قرار گیرد.

تصویر شماره ۱۵.۱۸. شیشه تار

تصویر شماره ۱۶.۱۸. شیشه مشجر

تصویر شماره ۱۷.۱۸. شیشه ماسه پاشی شده

۱۳.۷.۱۸. شیشه رنگی – Body-colored Glass

برای تولید شیشه رنگی، هنگام ذوب مواد خام، مواد رنگی خاصی به آن اضافه می‌کنند و بدین طریق مغز شیشه را رنگین می‌کنند. به این گونه شیشه‌ها، شیشه‌های رنگین مغز نیز می‌گویند. شیشه رنگی می‌تواند گرمای نور خورشید و شدت آن را کاهش داده و فضای آرامش بخشی به وجود آورد.

مواد رنگین کننده‌ای که به خمیر شیشه افزوده می‌شوند، عبارتند از:

- آهن، برای رنگ‌های سبز و قهوه‌ای.
- کروم، برای رنگ سبز.
- کبالت، برای رنگ آبی.
- مس، برای رنگ‌های سرخ و سبز متمایل به آبی.
- منگنز، برای رنگ‌های بنفش و سرخ متمایل به آبی (سرخابی).
- نقره و گوگرد، برای رنگ زرد و سلنیم، برای رنگ زرد لیمویی.

برای آن‌که شیشه رنگ شیر پیدا کند، به خمیر آن اکسید قلع (SnO_2) یا فسفات کلسیم اضافه می‌کنند و به آن شیشه شیری می‌گویند. این شیشه، مات نیز هست.

۱٤.۷.۱۸. شیشه رنگ شده – Colored Glass

برای تهیه شیشه رنگ شده، شیشه معمولی را داخل دوغاب رنگ فرو می‌برند تا دو طرف آن اندود شود، سپس آن را می پزند. اما این لایه رنگی ممکن است در اثر گرما، سرما، انبساط و انقباض و از شیشه جدا شود که این امر به کیفیت مواد و تکنولوژی تولید بستگی دارد. جهت رفع این مشکل و افزایش دوام و مقاومت شیشه رنگ شده، سطح شیشه را حرارت می‌دهند تا مقداری از سطح آن ذوب شود، سپس ماده رنگی را با آن مخلوط می‌کنند. نکته شایان ذکر در مورد شیشه‌های رنگ شده این است که قابلیت عبور دهی نور در آن‌ها از شیشه‌های رنگی کمتر است.

در گذشته برای ساختن شیشه چند رنگ، پس از پخت جداگانه هر رنگ، از روی نقشه قسمتی از رنگ را از روی شیشه می‌تراشیدند تا زیر آن نمایان گردد. به جای این کار می‌توان قبل از اجرای هر رنگ، نقاطی را که نباید رنگ شوند، با چسب‌های نسوز مخصوص پوشاند.

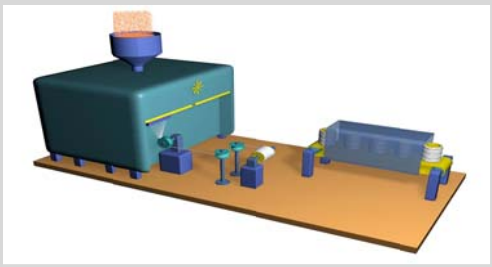
۸.۱۸. اشکال خاص شیشه

شیشه را برای کاربردهای خاص، به اشکال مختلفی می‌سازند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

۱.۸.۱۸. الیاف شیشه (تار شیشه) – Glass Fiber

برای تولید الیاف شیشه، شیشه مذاب را از سوراخ‌های ریزی به قطر یک میلیمتر و کمتر[1] عبور می‌دهند تا به شکل رشته‌های نازک درآید. هنگام بیرون آمدن رشته‌ها، آن‌ها را با فشار هوا سرد می‌کنند سپس روی قرقره چرخنده می‌پیچند.

الیاف شیشه از مقاومت کششی و قابلیت شکل پذیری بالایی برخوردارند و در برابر خوردگی نیز مقاومند. این الیاف بر حسب نوع و میزان مقاومتشان جهت کاربردهای مختلفی از جمله ساخت مواد مرکب (کامپوزیت‌ها)، لاستیک‌ها، بتن الیافی، پشم شیشه، بافتن پارچه‌های زینتی نظیر پرده و... مورد استفاده قرار می‌گیرند.



تصویر شماره ۱۸.۱۸. تولید الیاف شیشه

تصویر شماره ۱۹.۱۸. الیاف شیشه

۲.۸.۱۸. پشم شیشه (نمد شیشه‌ای) – Glass Wool

در ساخت پشم شیشه از الیاف شیشه استفاده می‌شود. از ملات گچ و پشم شیشه، تخته‌های گچی می‌سازند که به منظور عایق کاری حرارتی و صوتی به کار می‌روند. در مورد پشم شیشه در فصل عایق‌های حرارتی بیشتر صحبت خواهد شد.

---

۱. الیاف **شیشه** به قطرهای خیلی کم حدود ۰/۰۰۵–۰/۰۰۲ میلیمتر نیز ساخته می‌شوند.

۳.۸.۱۸. کف شیشه (شیشه اسفنجی) – Foamed Glass

برخی مواد نظیر گرافیت (کربن) بر اثر حرارت، گاز تولید می‌کنند. اگر گرد این مواد را با گرد شیشه مخلوط کرده، داخل قالب بریزند و حرارت دهند، آن گاه مخلوط حاصل گاز تولید کرده، کف می‌کند و کل قالب را پر می‌کند. از این محصول به عنوان عایق حرارتی یا صوتی استفاده می‌شود.

۹۲٪ حجم کف شیشه را حباب تشکیل می‌دهد و دارای وزن مخصوصی حدود ۰/۲ $\frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد. این ماده از چوب پنبه نیز سبک‌تراست و می‌توان آن را اره یا رنده کرد و یا در آن میخ کوبید. می‌توان روی قطعات کف شیشه را با روکش‌های پلاستیکی، فلزی و یا سرامیکی پوشاند و از آن‌ها در نماسازی استفاده کرد.

تصویر شماره ۲۰.۱۸. پشم شیشه

تصویر شماره ۲۱.۱۸. کف شیشه

٤.۸.۱۸. شیشه محلول در آب (آب شیشه) – Water Glass

این محصول مایعی شفاف و لزج است که پس از سخت شدن، بی‌رنگ و شیشه گون می‌شود. در ساخت آب شیشه از آهک استفاده نمی‌شود. خواص اصلی این ماده چسبندگی و مقاومت در برابر آتش است. لذا از آن به صورت اندود برای مقاوم کردن مصالح در برابر آتش و هوا استفاده می‌کنند. آب شیشه پس از سخت شدن، در برابر نفوذ رطوبت مقاوم می‌شود و می‌توان آن را در ساخت ملات‌ها نیز به کار برد. اگر گرد سیمان سفید یا گرد سیلیس پوک را با آب شیشه مخلوط کنیم، خمیری به دست می‌آید که می‌توان از آن به عنوان بتانه شیشه استفاده کرد. دیگر کاربردهای این محصول عبارتند از: تهیه رنگ‌های نسوز، ماستیک‌های ضد حرارت، اندود کردن چوب، آب‌بندی کردن سطح خارجی رنگ‌های آهکی و... .

۵.۸.۱۸. شیشه سرامیکی

اگر فرآورده‌های شیشه‌ای را به مدت طولانی در اجاق‌های سرامیک پزی حرارت دهند، مولوکول‌های شیشه متبلور شده و شیشه سرامیکی تولید می‌شود. این ماده از مقاومت شیمیایی، الکتریکی و مکانیکی بالایی برخوردار است. این ویژگی‌ها و نیز مزایای دیگری نظیر چگالی کم و ضریب انبساط حرارتی بسیار پایین (حتی منفی) شیشه سرامیکی باعث کاربرد فراوان آن در صنایع مختلف شده است. در ساختمان سازی از این محصول برای ساخت کاشی‌ها، سنگ‌های ساختمانی، لوله‌ها و پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی استفاده می‌کنند.

٦.۸.۱۸. آجر شیشه‌ای توپر (کاشی شیشه‌ای) – Solid Glass Brick

از آجرهای شیشه‌ای توپر برای پوشاندن سقف فضاهایی که نورگیری آن‌ها فقط از سقف امکان پذیر است، استفاده می‌کنند. این آجرها به علت توپر بودن و نیز ضخامت کافی، تحمل بارها و ضربه‌های وارده را دارند. هنگام اجرا، آجرها را داخل قاب‌های شبکه بندی شده قرار می‌دهند و برای اتصال آن‌ها به قاب از چسب‌های قوی استفاده می‌کنند. از ملات سیمان سفید و پودر سنگ به صورت کم آب نیز می‌توان به عنوان ماده چسباننده استفاده کرد.

آجرهای شیشه‌ای در انواع ساده، مات، مشجر و... تولید می‌شوند.

تصویر شماره ۲۲.۱۸. آجر شیشه‌ای توپر

تصویر شماره ۲۳.۱۸. نصب آجر شیشه‌ای توپر

تصویر شماره ۲٤.۱۸. نمونه‌ای از اجرای آجر شیشه‌ای توپر

۷.۸.۱۸. آجر شیشه‌ای تو خالی (بلوک شیشه‌ای) – Glass Block

برای ساخت آجر شیشه‌ای توخالی، دو تکه شیشه تو گرد را روی هم قرار داده و با حرارت به هم می‌چسبانند. روش دیگر ساخت این آجرها این است که خمیر شیشه را در قالب می‌گذارند و در آن هوا می‌دمند، سپس سطح لبه‌های بلوک را با ملات ریزدانه و یک ماده چسباننده پوشش می‌دهند.

از بلوک‌های شیشه‌ای با ابعاد مختلف می‌توان در نورگیرها، دیوارهای داخلی، سقف کاذب، نما سازی و... استفاده کرد. میزان عبور نور از آجرهای شیشه‌ای تو خالی بیشتر ار نوع توپر آن‌ها است. این بلوک‌ها از لحاظ عملکرد نوری به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- **بلوک‌های شیشه‌ای هادی نور (Light-directing Block)**: این بلوک‌ها نور ورودی (نور خورشید و نور لامپ) را به سمت بالا و سقف هدایت می‌کنند. لذا برای این‌که نور هدایت شده از آن‌ها باعث آزار چشم نشود، باید آن‌ها را در تراز بالاتر از چشم یعنی در ارتفاع حدود ۱/۸ متر نصب کرد.
- **بلوک‌های شیشه‌ای پخش کننده نور (Light-diffusing Block)**: این بلوک‌ها نور ورودی را به طور یکنواخت در کل فضا پخش می‌کنند. از این رو قابل نصب در هر ارتفاعی هستند.
- **بلوک‌های شیشه‌ای چند منظوره**: این بلوک‌ها هر دو ویژگی بلوک‌های قبلی را دارا می‌باشند و در ابعاد مختلف جهت تأمین نور و زیبایی به کار می‌روند.

۹.۱۸. نصب شیشه

از آن‌جا که شیشه جسمی سخت با انعطاف پذیری بسیار کم است، ضخامت آن را با توجه به ابعاد محل مورد نظر برای نصب شیشه انتخاب می‌کنند تا مقاومت کافی را دارا باشد و ترک برندارد. برای مکان‌های زیر یک مترمربع از شیشه ۲ میلیمتری، مکان‌های ۲-۱/۵ مترمربع از شیشه ۳ میلیمتری و مکان‌های ۳-۲ مترمربع از شیشه ٤ میلیمتری با لاستیک دور یا ماستیک استفاده می‌کنند.

هنگام برش شیشه[1] باید ابعاد آن را چند میلیمتر کمتر از ابعاد محل نصب در نظر گرفت تا فضای کافی برای مصالح نصب وجود داشته باشد. میزان کم کردن ابعاد، هنگام استفاده از بتانه برای نصب شیشه، ۳-۲ میلیمتر است. همچنین جهت در نظر گرفتن فضای کافی برای انبساط مصالح قابی که شیشه در آن نصب می‌شود نیز شیشه را چند میلیمتر کوچک‌تر از ابعاد محل نصب برش می‌دهند. این میزان برای قاب چوبی ۱/۵ میلیمتر می‌باشد ولی برای قاب‌های فولادی و آلومینیومی که ضریب انبساط آن‌ها بیشتر از چوب است، باید فاصله بیشتری در نظر گرفت.

مصالحی که برای نصب شیشه به کار می‌روند از جمله بتانه (زاموسقه)، لاستیک-ها، ماستیک‌ها، پیچ، زهوار و... باید از دوام کافی در برابر عوامل جوی برخوردار باشند. عمر مفید بتانه نصب شیشه به میزان زیادی به رنگ محافظی که پس از نصب بر روی آن اجرا می‌شود، بستگی دارد.

هنگام نصب شیشه‌های مختلف باید به موارد زیر توجه کرد:

- از یراق آلات استاندارد و مخصوص شیشه مورد نظر استفاده شود.
- در صورت بزرگ بودن ابعاد شیشه، در نقاط لازم ارتعاش‌گیر نصب گردد.
- کتیبه‌های بزرگ‌تر از حد معمول، پروفیل کشی شوند. به خصوص در مورد نصب کتیبه به سقف کاذب، عمل پروفیل کشی ضرورت کامل دارد.

پس از اتمام کارهای ساختمانی، رنگ‌های احتمالی بر جای مانده بر روی شیشه-ها، باید با تینر یا مواد شیمیایی دیگری که تأثیری بر روی شیشه ندارند، تمیز شوند.

۱۰.۱۸. انبار کردن شیشه

هنگام انبار کردن ورقه‌های شیشه باید آن‌ها را در مکان مسقف، تقریباً به طور عمودی به دیوار تکیه داد و مابین آن‌ها را با کاغذ پوشاند تا شیشه‌ها در تماس مستقیم با هم نباشند. در غیر این صوت شیشه‌ها به یکدیگر می‌چسبند. مخصوصاً اگر شیشه‌هایی که باهم در تماسند، خیس شوند، بر اثر مواد قلیایی که از آن‌ها نشت می‌کند، سطحشان دچار خوردگی شده و غیر قابل استفاده می‌شوند.

۱. شیشه را توسط تیغه الماسی، روی میز شیشه بری برش می‌دهند.

فصل ۱۹

پلاستیک‌ها

۱.۱۹. تاریخچه

پلاستیک‌ها نسبت به مصالح سنتی مانند سنگ و چوب، مواد جدیدی محسوب می‌شوند. اولین قدم در مورد صنعت پلاستیک، توسط فردی به نام جان وسلی هیات (John Wesly Hyatt) انجام گرفت که تلاش می‌کرد ماده‌ای جایگزین عاج فیل بسازد. چون عاج فیل به عنوان ماده‌ای سخت، گران قیمت و کمیاب، کاربردهای فراوانی داشت. وی توانست نیترات سلولز را از سلولز تهیه کند، در واقع این اولین پلاستیک با منشأ طبیعی بود.

سلولز به تنهایی فرآیند پذیر (قابل حل و قابل ذوب) نیست بنابراین نمی‌توان آن را در صنعت برای تهیه مواد به کار برد. ولی نیترات سلولز هم قابل حل و هم قابل ذوب است. در واقع جان وسلی هیات سلولز فرآیند ناپذیر را به نیترات سلولز فرآیند

پذیر تبدیل کرد. اما نیترات سلولز نیز ایراداتی دارد از این رو تلاش برای جایگزین کردن پلاستیک‌های دیگر به جای آن آغاز شد. امروزه پلاستیک‌های گوناگون و متنوعی تولید شده و در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲.۱۹. ضرورت استفاده و کاربرد پلاستیک‌ها

پلاسیتک‌ها تقریباً در تمام جنبه‌های زندگی بشر تأثیر دارند. توسعه محصولات پلاستیکی در حدی است که عموم مردم در تماس دائم و روزانه با آن‌ها می‌باشند و تصور زندگی به شکل کنونی بدون پلاستیک‌ها ممکن نمی‌باشد. علت این امر خواص متنوع، عمر طولانی و مفید و عدم احتیاج پلاستیک‌ها به تعمیر است. از این رو در صنایع مختلف موارد استفاده فراوانی دارند. برخی از کاربردهای پلاستیک‌ها در صنعت ساختمان عبارتند از:

- روکش‌های پلاستیکی می‌توانند محافظ خوبی برای برخی از مصالح باشند.
- از پلاستیک‌هایی مانند پلی پروپیلن، پلی‌استایرن و... برای ساخت ساندویچ پانل و تیغه سازی در بناها استفاده می‌کنند.
- پلاستیک‌ها در ساخت شیشه‌های لایه‌دار، نشکن و... کاربرد دارند. همچنین می‌توان ورقه‌های پلاستیکی ساده یا رنگی شفاف را به جای شیشه جام مورد استفاده قرار داد و آن‌ها را با حرارت به شکل‌های دلخواه درآورد. وزن مخصوص این پلاستیک‌ها $\frac{۱}{۷}$ وزن مخصوص شیشه معمولی است.
- پلاستیک‌های کفی (Foamed Plastic) چون سبک هستند در ساختمان سازی مصارف زیادی دارند و می‌توان از آن‌ها به عنوان عایق رطوبت و حرارت استفاده کرد. این پلاستیک‌ها در ابتدا مایع هستند و پس از این‌که در محل مورد نظر تزریق شدند، کف کرده و قسمت‌های خالی را پر می‌کنند و با فاصله زمانی کم، سخت می‌گردند.
- از ورق‌های پلاستیکی که با تار شیشه مسلح شده‌اند جهت پوشش بام‌های شیب‌دار و... استفاده می‌کنند.
- پلاستیک‌ها در سازه بنا نیز کاربرد دارند. در آینده ممکن است میلگردهای پلاستیکی-شیشه‌ای مسلح، جایگزین میلگردهای فولادی در بتن شوند.

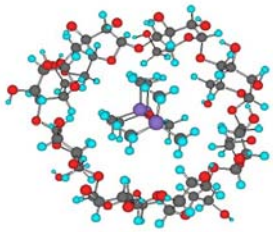
- علاوه بر موارد یاد شده، از پلاستیک‌ها مواد و لوازمی همچون لوله‌ها و شلنگ‌های آب، بست‌ها و سپری‌ها، دیوار پوش‌ها، قالب بتن، رنگ‌ها و جلاهای پلاستیکی، چسب‌ها و ماستیک‌های پلاستیکی و... ساخته می‌شوند.

۳.۱۹. ساختار مولکولی پلیمرها و پلاستیک‌ها

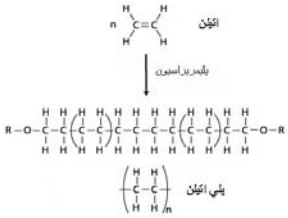
معمولاً در تداول عامه، پلیمر به صورت مترادف با پلاستیک به کار برده می‌شود. لیکن شایسته است که به اختلاف بین این دو توجه شود. در واقع پلاستیک‌ها جزئی از مواد پلیمری و یکی از بزرگ‌ترین گروه‌های پلیمری هستند. از نظر صنایع مادر، پلیمرها به چهار گروه صنایع لاستیک، پلاستیک، الیاف و چسب تقسیم می‌شوند. این‌ها صنایع مادر در پلیمرها می‌باشند، اما صنایع وابسته به پلیمرها نیز فراوانند.

واژه پلیمر از دو بخش یونانی (Poly) به معنای چند یا بسیار و (Meros) به معنای واحد یا قسمت، تشکیل شده است. معادل فارسی این واژه، بسپار است که از دو بخش (بس) و به معنی بسیار و (پار) به معنی قطعه یا پاره ساخته شده است. پلیمر به هر ماده‌ای گفته می‌شود که از اتصال و به هم پیوستن هزاران واحد کوچک مولکولی موسوم به مونومر (تکپار) تشکیل شده است. اتصال مونومرها به هم و تشکیل مولکول-های بسیار دراز، زنجیر گونه و تکرار شونده پلیمر را، پلیمریزاسیون گویند.

ساختار زنجیره‌ای پلیمرها را کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و... تشکیل می-دهند. پلیمرها اغلب رزین (بازمانده‌های فسیلی نباتات) خوانده می‌شوند. چون مواد تشکیل دهنده آن‌ها در این بازمانده‌ها مانند نفت، زغال سنگ و غیره یافت می‌شوند.



تصویر شماره ۱.۱۹. ساختمان پلیمرها



تصویر شماره ۲.۱۹. پلیمریزاسیون اتیلن

پلاستیک‌ها که خانواده بزرگی از پلیمرها هستند، از موادی نظیر زغال سنگ، گاز، نفت، چوب و آب، با ویژگی‌های مختلف ساخته می‌شوند. تفاوت در رفتار و خواص پلاستیک‌ها ناشی از تفاوت در نحوه پلیمریزاسیون و به هم پیوستن مونومرهاست.

در این فصل منحصراً پلاستیک‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. بحث پلیمرها و ساختارها آن‌ها خارج از بحث این کتاب و بیشتر مرتبط با علم شیمی است.

٤.١٩. روش‌های شکل‌دهی به پلاستیک‌ها

برای شکل‌دهی به پلاستیک‌ها روش‌های مختلفی از جمله قالب‌گیری تزریقی، تزریقی واکنشی، فشاری (تراکمی)، چرخشی، دمشی، انتقالی، غلتک‌رانی، ریخته‌گری و... وجود دارد که در این نوشتار به دو روش عمده اشاره خواهد شد.

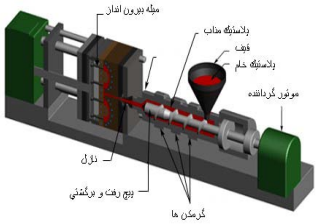
١.٤.١٩. قالب‌گیری تزریقی – (Injection Molding)

در این روش، مواد پلاستیکی به صورت دانه از یک قیف وارد لوله داغی شده و از طریق مارپیچ انتهای لوله، به سمت قالب رانده می‌شوند. سپس مواد را تحت فشار قرار داده تا شکل قالب را به خود بگیرند. این روش بیشتر مختص ترموست‌ها[1] است و از نظر اقتصادی خیلی مقرون به صرفه نیست.

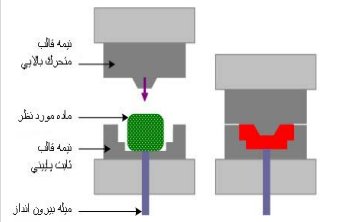
٢.٤.١٩. قالب‌گیری فشاری (تراکمی) – Compression Molding

در این روش، از قالب دو تکه استفاده می‌شود بدین صورت که مواد را داخل تکه زیرین قالب ریخته سپس تکه بالایی قالب را روی آن قرار می‌دهند تا مواد تحت فشار و حرارت کاملاً شکل قالب را به خود بگیرند.

۱. گروهی از پلاستیک‌ها که در مباحث بعدی شرح داده خواهند شد.



تصویر شماره ۳.۱۹. قالب گیری تزریقی



تصویر شماره ٤.١٩. قالب گیری فشاری

۵.۱۹. خواص عمومی پلاستیک‌ها

همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد، پلاستیک‌ها به علت تنوع در ساختارشان، خواص متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند. در ادامه به برخی از خواص کلی و عمومی پلاستیک-ها که در اکثر آن‌ها مشترک است، اشاره خواهد شد.

۱.۵.۱۹. خواص فیزیکی

- **وزن مخصوص**: پلاستیک‌ها وزن مخصوصی مشابه چوب دارند که بین ۰/۹–۲/۲ $\frac{gr}{cm^3}$ متغیر است.
- **هدایت حرارتی**: پلاستیک‌ها عایق‌های حرارتی خوبی محسوب می‌شوند. یک لایه فوم پلی اورتان به ضخامت ۲/۵ سانتیمتر، معادل یک آجر به ضخامت ۵۰ سانتیمتر عایق حرارتی ایجاد می‌کند. چوب تنها ماده‌ای است که نسبت به برخی از پلاستیک‌ها عایق حرارتی مناسب‌تری به شمار می‌آید.
- **مقاومت در برابر رطوبت**: اغلب مواد پلاستیکی در برابر نفوذ رطوبت مقاومند و از خاصیت جذب آب نسبتاً اندکی برخوردارند. از این رو می-توانند به عنوان غشا، نفوذ ناپذیر در برابر آب در پیرامون پی‌ها، مخازن آب و... به کار روند. در زمینه جذب رطوبت، استات سلولز و انواع اصلی نایلون استثنا هستند و با جذب آب باد می‌کنند.
- **مقاومت در برابر صوت**: پلاستیک‌ها عایق صوتی ضعیفی هستند.

- **مقاومت در برابر آتش:** قابلیت اشتعال پلاستیک‌ها کمتر از چوب و سایر مواد آلی است. ولی در عین حال اکثر مواد پلاستیکی قابل اشتعال هستند. می‌توان از ترکیبات کلر، فلوئور، بُرم و فسفر جهت مقاوم کردن پلاستیک‌ها در برابر آتش استفاده کرد. برخی از مواد پلاستیکی خصوصاً آن‌هایی که با کمک مواد افزودنی موجب جلوگیری از شعله می‌شوند، در هنگام آتش سوزی دود زیادی تولید می‌کنند. لذا این نوع پلاستیک‌ها نباید در فضاهای خروجی ساختمان‌ها نظیر راهروها یا اطراف پلکان به کار گرفته شوند.
- **انبساط و انقباض:** پلاستیک‌ها نسبت به مواد دیگر بیشتر در مقابل تغییرات دما از خود واکنش نشان می‌دهند. ضریب انبساط حرارتی آن‌ها ۱۰-۵ برابر ضریب انبساط حرارتی فولاد یا بتن است. بنابراین در محل‌هایی که از پلاستیک استفاده می‌شود، باید درز انبساط مناسب تعبیه گردد. در عین حال می‌توان جهت کاهش میزان انبساط در پلاستیک‌ها، آن‌ها را به صورت تقویت شده و چند لایه به کار برد.
- **ثبات رنگ:** در صورتی که پلاستیک‌ها در داخل ساختمان استفاده شوند، از ثبات رنگ خوبی برخوردارند. ولی در فضاهای باز عواملی نظیر آب و هوا، تغییرات دما، رطوبت، اشعه ماوراء بنفش و... سبب رنگ پریدگی، زرد شدن و ناصاف شدن سطح پلاستیک‌ها می‌شوند.
- **خواص الکتریکی:** پلاستیک‌ها در برابر عبور جریان الکتریسیته پایدارند. ولی در عین حال بارهای الکترواستاتیکی آن‌ها گرد و خاک را جذب و نیز باعث ایجاد اصطکاک و جرقه می‌شود. بنابراین باید در مورد استفاده از پلاستیک‌ها در مکان‌هایی که در آن‌ها بخارهای اشتعال پذیر وجود دارد، دقت شود.
- **مقاومت در برابر ارتعاش:** مواد پلاستیکی لرزه و ارتعاش را از خود عبور نمی‌دهند، در واقع قسمتی از انرژی دریافتی را جذب می‌کنند. بنابراین می‌توان آن‌ها را در مکان‌هایی که ارتعاش وجود دارد، به کار برد.

۲.۵.۱۹. خواص شیمیایی

- **خوردگی:** پلاستیک‌ها در برابر اغلب مواد شیمیایی و محلول‌های آلی پایدارند. به طور کلی پلاستیک‌ها در مقایسه با فلزات و آلیاژها، در برابر یون‌های کلر و اسید کلریدریک مقاوم‌ترند ولی در برابر یون‌های اکسید کننده مانند اسید نیتریک و نیز در برابر حلال‌ها، مقاومت کمتری دارند.

۳.۵.۱۹. خواص مکانیکی

- **مقاومت کششی:** پلاستیک‌ها نسبت به فولاد از مقاومت کششی کمتری برخوردارند. بنابراین جهت افزایش این پارامتر در پلاستیک‌ها، آن‌ها را با پشم شیشه مسلح می‌کنند. به این نوع پلاستیک، فایبرگلاس گفته می‌شود و در واقع جزء مواد مرکب (کامپوزیت‌ها) محسوب می‌گردد.
- **سختی:** بسیاری از پلاستیک‌ها از چوب سخت‌ترند ولی سختی آن‌ها از فولاد و شیشه کمتر است.
- **مقاومت در برابر ضربه:** پلاستیک‌های مختلف در برابر ضربه عکس العمل-های متفاوتی از خود نشان می‌دهند ولی در کل پلاستیک‌ها نسبت به چوب و شیشه در برابر ضربه مقاوم‌ترند.
- **خزش:** در پلاستیک‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای خزش اتفاق می‌افتد. این بدان معناست که مواد پلاستیک تحت بار ثابت، در طول زمان دچار تغییر شکل می‌شوند. اگر نیرو مدت کوتاهی اعمال شود، ممکن است پلاستیک به حالت اول باز گردد ولی اگر مدت زمان اعمال نیرو طولانی باشد، ممکن است که تغییر شکل پلاستیک دائمی شود. البته می‌توان با تقویت پلاستیک-ها و چند لایه کردن آن‌ها، میزان خزش در آن‌ها را به میزان زیادی کاهش داد. با این وجود میزان خزش در پلاستیک‌ها به مراتب بیش از خزش در فولاد و بتن است.

٦.١٩. دسته‌بندی انواع پلاستیک‌ها

پلاستیک‌ها بر اساس ساختار مولکولی آن‌ها به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

١. **ترموپلاستیک‌ها (گرما نرم):** در اثر گرما، نرم می‌شوند.
٢. **ترموست‌ها (گرما سخت):** در اثر گرما، نرم نمی‌شوند.
٣. **الاستومرها:** حالت کشسانی دارند.

١.٦.١٩. ترموپلاستیک‌ها (گرما نرم) – Thermoplastic

ترموپلاستیک‌ها در اثر گرما به تدریج نرم شده، با افزایش دما به حالت مذاب درمی‌آیند و پس از حذف گرما به حالت جامد خود بازگشته و شکل قالب را به خود می‌گیرند. فرآیند نرم و سپس سخت شدن می‌تواند مجدداً تکرار شود بدون این‌که در خواص پلاستیک تغییری ایجاد کند. این ویژگی، ترموپلاستیک‌ها را قابل بازیافت می‌سازد. علت این ویژگی ترموپلاستیک‌ها این است که مولکول‌های بلند و زنجیره مانند آن‌ها با وجود این‌که در طول زنجیره خود از جاذبه شیمیایی قوی برخوردارند، ولی جاذبه بین زنجیره‌های مجاور نسبتاً ضعیف است. در نتیجه با افزایش حرارت، حرکت مولکول‌ها زیاد شده، روی یکدیگر می‌لغزند و به حالت مایع در می‌آیند. دمایی را که در آن ترموپلاستیک‌ها به حالت مذاب تبدیل می‌شوند، نقطه وارفتگی گویند که این دما برای ترموپلاستیک‌های مختلف، متفاوت است.

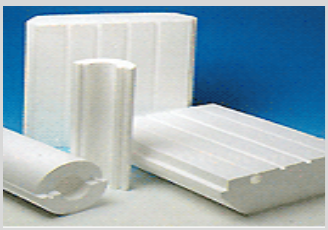
تصویر شماره ٥.١٩. ساختمان ترموپلاستیک‌ها

ترموپلاستیک‌ها با توجه به خواص مکانیکی و شیمیایی مناسب، در بسیاری کاربردهای صنعتی نظیر ساخت لوله‌ها و تجهیزات انتقال، تجهیزات الکتریکی، پوشش-ها، اتصالات و نظایر آن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در ادامه به شرح انواع ترموپلاستیک‌ها خواهیم پرداخت.

۱.۱.٦.۱۹. پلی استایرن - Polystyrene (PS)

این ماده از پلیمریزاسیون یا کوپلیمریزاسیون[۱] استایرن ساخته می‌شود. پلی استایرن در حالت عادی سخت است لذا جهت سهولت استفاده و کاهش وزن، آن را به صورت اکسترود شده (Extruded Polystyrene) و یا منبسط شده (Expanded Polystyrene) درمی‌آورند. پلی استایرن منبسط شده (پلاستوفوم – یونولیت) بیشترین کاربرد را دارد و در اکثر موارد منظور از فوم پلی استایرن همان پلی استایرن منبسط شده است. این فوم از حرارت دادن و قالب‌گیری دانه‌های پلی استایرن سخت ساخته می‌شود و ضد آب و بادوام ولی شکننده است. پلی استایرن را می‌توان به عنوان عایق حرارتی در دماهای ۷٤–(٥٤–) درجه سانتیگراد به کار برد. ولی میزان هدایت حرارتی آن ممکن است در مدت زمان بهره برداری (افزایش طول عمر) به علت نفوذ هوا در بین سلول‌های آن، افزایش یابد.



تصویر شماره ٦.۱۹. پلی استایرن منبسط شده

تصویر شماره ۷.۱۹. پلی استایرن اکسترود شده

پلی استایرن منبسط کاربرد وسیعی در صنایع بسته‌بندی دارد. همچنین از آن برای عایق‌کاری لوله‌ها، کف، دیوار، سقف (در سقف‌های تیرچه بلوک به جای بلوک سیمانی) و نیز ساخت ساندویچ پانل‌ها استفاده می‌کنند.

۱. کوپلیمریزاسیون گونه‌ای از فرآیند تولید پلیمر است که منجر به تولید پلیمری می‌شود که زنجیره آن دارای دو مونومر متفاوت است.

مزایای عمده پلی‌استایرن عبارتست از:

- انتقال کم حرارت جهت استفاده به عنوان عایق حرارتی.
- جذب خوب انرژی، برای بسته‌بندی مواد.
- خاصیت شناوری بالا.
- بالا بودن نسبت سفتی به وزن، به طوری که قطعات ساخته شده دارای وزن کم و استحکام مناسب هستند.
- هزینه کم به ازای واحد حجم.
- این ترموپلاستیک به راحتی بریده می‌شود.

پلی استایرن با وجود مزایای زیاد، چند عیب عمده دارد:

- خاصیت اشتعال پذیری و کمک به گسترش حریق. حتی با وجود پوشاندن سطوح پلی استایرن با مواد نسوز، در صورت آتش سوزی این فوم‌ها فقط تا ۲۰ دقیقه تاب مقاومت در برابر حرارت و آتش را دارند.
- تولید گازهای سمی در هنگام سوختن.
- انتقال بخار آب و جذب رطوبت.

باید به این نکته توجه کرد که فوم‌های پلی‌استایرن به تنهایی نمی‌توانند عایق صوتی باشند و تنها در صورتی که این فوم‌ها بین دو جداره از مصالح دیگر به کار روند، سبب افت صوت می‌شوند. چون برای کاهش صوت به چگالی نیاز است و این فوم‌ها به تنهایی از چگالی بالایی برخوردار نیستند.

۲.۱.٦.۱۹. پلی اتیلن – Polyethylene (PE)

پلی اتیلن ماده‌ای غیر شفاف و مومی شکل است که از پلیمریزاسیون اتیلن به دست می‌آید. پلی اتیلن ساختار ساده‌ای دارد و از ساده‌ترین و ارزان‌ترین پلاستیک‌هاست.

پلی اتیلن دارای مزایایی به شرح زیر است:

- محکم، سبک و انعطاف پذیر است.
- عایق رطوبتی، حرارتی و الکتریکی مطلوبی محسوب می‌گردد.
- از مقاومت شیمیایی منسبی در برابر اسیدها و نیز رسوبات برخوردار است.
- به سادگی قالب‌گیری می‌شود و نیز خاصیت ورقه شدن دارد.

- در سرمای زیاد ترد و شکننده نمی‌شود.
- لوله‌های پلی اتیلن از لوله‌های PVC[1] سبک‌ترند و پایداری آن‌ها در برابر گرما بیشتر است.

از جمله معایب پلی اتیلن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- پلی اتیلن در برابر حلال‌ها، تحت دما و شرایط معین، مقاومت کمی از خود نشان می‌دهد و اکسیژن می‌تواند در آن خرابی بوجود آورد. به طوری که وقتی مدت زمان زیادی در برابر آب قرار می‌گیرد، اکسیژن آزاد شده سبب پوسیدگی آن می‌شود. این امر استفاده از این عایق را در شبکه آب رسانی آب گرم محدود می‌کند.
- نور خورشید پلی اتیلن را تُرد می‌کند. از این رو به آن دوده می‌زنند تا رنگش سیاه شود و پرتو آفتاب را به خود نگیرد.
- پلی اتیلن عایقی قابل اشتعال است و در برابر شعله مستقیم باعث افزایش دامنه حریق می‌شود لذا نباید از آن در معرض تابش مستقیم نور خورشید استفاده کرد. گستره دمایی قابل استفاده از این فوم بین ۹۰-(۴۰-) درجه سانتیگراد است.

از پلی اتیلن در ساخت لوله‌های آب سرد و گاز و لوله‌های خم‌شو، عایق دیوار و کف، بسته‌بندی مواد غذایی، مخازن نگهداری مواد شیمیایی، کیسه‌های پلاستیکی و... استفاده می‌کنند. همچنین از پودر اتیلن برای بهبود خواص پلاستیک‌های گرما نرم و گرما سخت استفاده می‌شود.

تصویر شماره ۸.۱۹. فوم پلی اتیلن

تصویر شماره ۹.۱۹. لوله پلی اتیلنی

۱. ترموپلاستیک پلی وینیل کلراید که در مباحث بعدی شرح داده خواهد شد.

۳.۱.٦.۱۹. پلی پروپیلن – Plypropylene (PP)

پلی پروپیلن از پلیمریزاسیون پروپیلن به دست می‌آید. مقاومت مناسبی در برابر گرما دارد و بسیار شبیه به پلی اتیلن است ولی ضعف آن این است که در برابر سرمای زیاد امکان بروز ترک در آن وجود دارد. از این ترموپلاستیک برای ساخت قایق‌های کوچک، طناب، جعبه‌های باطری، بسته‌بندی و... استفاده می‌کنند.

٤.۱.٦.۱۹. پلی وینیل کلراید – Poly Vinyl Chloride (PVC)

پلی وینیل کلراید مشهورترین و متداول‌ترین ترموپلاستیک از خانواده پلمیرهای وینیلی است. کلیه پلاستیک‌های این خانواده مقاومت بالایی در برابر ضربه، سایش، آب و مواد شیمیایی دارند و برای مصارف داخلی بنا در دماهای کم و متعارف استفاده می‌شوند.

PVC بعد از پلی اتیلن، پرمصرف‌ترین ماده پلاستیکی است. این دو ماده تقریباً ۵۰٪ کل محصولات تولیدی از جنس پلاستیک را تشکیل می‌دهند. PVC به دو صورت سخت و نرم تولید می‌شود و بیش از ۵۰٪ آن در ساختمان سازی به مصرف می‌رسد.

PVC سخت وزن مخصوصی معادل $۱/٤ \frac{gr}{cm^3}$، تاب کششی ٤۵، تاب فشاری ۷۰ و تاب خمشی $۱۰۰ \frac{N}{m^2}$ دارد. این فوم دو برابر گران‌تر از فوم‌های پلی استایرن و پلی یورتان[1] است. از PVC سخت برای ساخت پروفیل در و پنجره، لوله‌های آب و فاضلاب و گاز، شلنگ، ظروف مختلف، لوازم اتومبیل و... استفاده می‌کنند.

PVC نرم در رنگ‌های مختلف برای ساخت لباس، روکش مبل، روکش سیم‌های برق و ورق‌های پلی استایرن، پوشش کف و دیوار، ساخت لوله‌های نرم، تولید آب بندکننده‌ها و... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تصویر شماره ۱۰.۱۹. پروفیل PVC

۱. گونه‌ای از ترموست‌ها که در مباحث بعدی شرح داده خواهد شد.

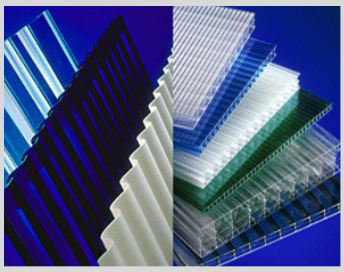
مزیت‌های PVC (سخت و نرم) به قرار زیر است:

- ضد ضربه و ضد سایش است.
- عایق حرارتی، رطوبتی و صوتی مناسبی است.
- مزیت عمده PVC عملکرد بهتر آن در برابر آتش نسبت به سایر پلاستیک-هاست. ولی با استفاده از مواد افزودنی نرم کننده، این ویژگی کاهش می‌یابد.
- در برابر رشد قارچ‌ها و باکتری‌ها پایدار است ولی در این مورد نیز استفاده از مواد افزودنی نرم کننده در PVC، آن را در برابر رشد میکرو اورگانیسم‌ها آسیب پذیر می‌کند.
- در برابر اسیدهای ضعیف، قلیاهای قوی و ضعیف و الکل‌ها مقاوم است.
- از آن‌جا که مقاومت برشی فوم PVC سخت بالاست، سطح آن برای اعمال سیمان و گچ بسیار مناسب است.

از معایب PVC می‌توان به ترد و شکننده شدن آن در سرمای خیلی شدید و نیز سمی بودن برخی از ترکیبات آن اشاره کرد.

۵.۱.٦.۱۹. پلی کربنات – Polycarbonate (PC)

پلی کربنات از پلاستیک‌های شفاف است. مقاومت مطلوبی در برابر اسیدها و بازهای ضعیف و نیز در برابر حرارت دارد. ورق‌های پلی کربنات در دو نوع ساده و چند جداره تولید می‌شوند و به علت سبکی، هزینه کم و مقاومت زیاد، می‌توانند جایگزین شیشه شوند. از این ورق‌ها در ساخت لوازم روشنایی، پوشش گلخانه‌ها و استخرها، سقف‌هایی که در آن‌ها نورگیری مطرح است و نیز برای پارتیشن بندی استفاده می‌کنند.



تصویر شماره ۱۱.۱۹. ورق‌های پلی کربنات

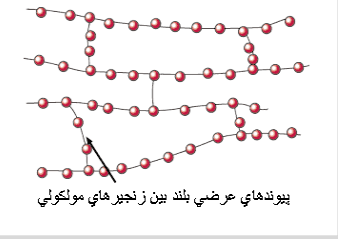
تصویر شماره ۱۲.۱۹. ساخت سقف‌های شفاف با ورق‌های پلی کربنات

علاوه بر موارد یاد شده، ترموپلاستیک‌های دیگری از جمله نایلون، اکریلیک، سلولوزیک، آکریلو نیتریل بوتادین استایرن، پلی تترا فلوئورو اتیلن (تفلون) و... نیز وجود دارند که عموماً جهت ساخت ظروف، ابزارها و وسایل مختلف به کار می‌روند.

۲.٦.۱۹. ترموست‌ها (گرما سخت) – Thermoset

ترموست‌ها در اثر حرارت ابتدا کمی نرم شده سپس با ادامه حرارت سخت می‌شوند (مشابه تخم مرغ) و اگر حرارت ادامه یابد، می‌سوزند یا نیم سوز شده و در مواردی نیز متصاعد می‌گردند. بر همین مبنا ترموست‌ها پس از ساخت، قابلیت تغییر شکل و قالب-گیری مجدد را ندارند و قراضه آن‌ها قابل بازیافت نیست. به همین جهت کمتر از ترموپلاستیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ساختار مولکولی ترموست‌ها قبل از قالب‌گیری مشابه ترموپلاستیک‌هاست، اما در طول مرحله سخت شدن، زنجیره‌های مولکولی به صورت متقاطع با یکدیگر قرار می-گیرند و یک شبکه از زنجیره‌های مرتبط با یکدیگر را تشکیل می‌دهند که دیگر نمی-توانند آزادانه حرکت کنند.



تصویر شماره ۱۳.۱۹. ساختمان ترموست‌ها

ترموست‌ها عموماً همراه با پرکننده‌ها (گرد چوب و فلزات، کتان و پنبه کوهی) و تقویت کننده‌ها (الیاف شیشه و پنبه نسوز) به کار می‌روند و اگر مسلح شوند، از مقاومت زیاد و خزش کمتری برخودارند. بنابراین می‌توانند در کاربردهای سبک سازه-ای مورد استفاده قرار گیرند. ترموست‌ها نسبت به ترموپلاستیک‌ها میزان انبساط کمتری دارند ولی بیشتر دچار خوردگی می‌شوند، لذا استفاده از آن‌ها (به صورت غیر مسلح) محدود به ساخت لوله‌ها، ظروف، پوشش‌های محافظ، عایق‌ها، چسباننده‌ها و... می‌شود.

در ادامه انواع ترموست‌ها شرح داده خواهند شد:

۱.۲.٦.۱۹. پلی یورتان (پلی اوراتان) – Polyurethane (PU)

پلی یورتان از پلاستیک‌هایی است که مقاومت زیادی در برابر انتقال حرارت و سایش[۱] از خود نشان می‌دهد. بدین جهت کاربرد آن در صنایع هر روز در حال گسترش است.

مزایای فوم پلی یورتان عبارتند از:

- این فوم هدایت حرارتی بسیار کمی دارد که از تمامی مصالح عایق حرارتی متداول دیگر کمتر است. بنابراین عایق حرارتی بسیار عالی‌ای به شمار می‌رود. فوم سخت پلی یورتان در گستره وسیعی از دما، بین ۱۲٦–(۱۹٦–) درجه سانتیگراد (برای عایق کاری ازت مایع) به کار برده می‌شود.
- پلی یورتان در عین سبکی و انعطاف پذیری، از استحکام بالایی برخوردار است. بنابراین عایق مناسبی برای لوله‌ها به شمار می‌رود.
- نفوذ پذیری آن در برابر بخار آب کم است.
- خاصیت چسبندگی بالایی به بسیاری از مواد دارد.
- پلی یورتان کند سوز است و پس از دور شدن آتش از آن، شعله‌اش پایدار نخواهد بود.

مشکل اساسی پلی یورتان، متصاعد نمودن گازهای سمی سیانید هیدروژن (HCN) در مجاورت حرارت یا در هنگام سوختن است.

پلی یورتان را می‌توان به صورت عایق کفی کم چگالی، بین دیوارهای دو جداره یا در منافذ و فضاهای خالی اسپری کرد. همچنین از فوم پلی یورتان پانل‌های پیش ساخته سبک نیز می‌سازند.

عایق حراراتی ندارند در نظر گرفته شده است. این فوم مایع بسیار آهسته منبسط می‌شود و بنابراین احتمال آسیب رسیدن به دیوار ناشی از انبساط بیش از حد کاهش می‌یابد از فوم پلی یورتان پانل‌های پیش ساخته سبک نیز می‌سازند.

---

۱. استحکام و مقاومت قطعات تولیدی از پلی یورتان بسیار بیشتر از لاستیک (گونه‌ای از الاستومرها) است.

۲.۲.٦.۱۹. اپوکسی – Epoxy (EP)

اپوکسی از دو جزء رزین و مواد سخت کننده تشکیل شده است. از جمله ویژگی‌های آن می‌توان به استحکام کششی، فشاری و خمشی بسیار بالا، مقاومت شیمیایی بالا (به ویژه در محیط‌های قلیایی)، مقاومت در برابر رطوبت، عایق عالی الکتریسته و قدرت چسبندگی فوق‌العاده به بسترهای مختلف، اشاره کرد. اپوکسی در مقایسه با اکثر ترموست‌ها، جمع شدگی کمتری در اثر پخت از خود نشان می‌دهد. از این ترموست جهت پوشش مصالح، چسباندن قطعات بتنی به یکدیگر و اتصال بتن قدیم به بتن جدید در تعمیرات، بستر سازی قطعات الکترونیکی، ابزار سازی و نیز در ساخت کامپوزیت‌ها استفاده می‌کنند.

۳.۲.٦.۱۹. پلی استر – polyester

از پلی استرها در ساخت قطعات پیش ساخته بام، ورقه‌های شفاف برای پوشش سقف (مسطح و موج‌دار)، قطعات نما، سرویس‌های بهداشتی و مواد مرکب (کامپوزیت‌ها) استفاده می‌کنند. جهت افزایش استحکام پلی استر، به آن الیاف شیشه می‌افزایند.

٤.۲.٦.۱۹. فنل فرمالدئید (فنولیک) – Phenol Formaldehyde (PF)

فنل فرمالدئید از انواع رزین‌های فنلی است. رزین‌های فنلی دسته وسیعی از پلاستیک‌ها هستند که از یک فنل و یک آلدئید (متانال، اتانال، بنز آلدئید و...) تشکیل می‌شوند. این رزین‌ها دارای رنگی تیره (کهربایی کمرنگ تا قهوه‌ای تیره و سیاه) هستند و این یکی از دلایل مصرف پایین آن‌هاست.

تصویر شماره ۱٤.۱۹. اپوکسی

تصویر شماره ۱۵.۱۹. پلی استر

تصویر شماره ۱٦.۱۹. فنولیک

مزایای فوم فنولیک به قرار زیر است:

- تحمل دمای زیاد (حداکثر ۱۴۹ درجه سانتیگراد) را دارد و در این مورد بر پلی استایرن و پلی پورتان ارجح است.
- گازهای حاصل از سوختن آن سمیت کمتری نسبت به پلاستیک‌های مذکور دارد.
- در هنگام سوختن این فوم، زغال سختی از آن تولید می شود که از توسعه شعله جلوگیری می‌کند.
- از مقاومت مکانیکی و نیز مقاومت الکتریکی بالایی برخوردار است.

از جمله معایب فنولیک، هدایت حرارتی بالاتر آن نسبت به پلی استایرن و پلی یورتان و نیز قیمت بیشتر آن است.

۵.۲.٦.۱۹. سیلیکون‌ها – Silicone (SI)

سیلیکون‌ها گروه بسیار مفیدی از پلاستیک‌ها هستند. یکی از مواد تشکیل دهنده آن‌ها سیلیسیم است که در دیگر پلاستیک‌ها یافت نمی‌شود. این مواد مقاومت خوبی در برابر سایش، حرارت و نیز شرایط جوی نظیر رطوبت، نور و هوازدگی دارند و در مقابل اسیدها، بازها، نمک‌ها و روغن‌ها نیز مقاومند. اما با شوینده‌های قوی از بین می‌روند. از سیلیکون‌ها در ترکیب رنگ‌ها و روغن‌های صنعتی، پوشش قطعات مختلف، عایق موتورهای برقی و... استفاده می‌کنند.

۳.٦.۱۹. الاستومرها – Elastomer

الاستومرها[1] پلاستیک‌هایی هستند که قابلیت ارتجاعی زیادی دارند یعنی در اثر نیروی خارجی تغییر شکل می‌دهند و پس از حذف نیرو، تغییر شکل از بین می‌رود و دوباره به حالت اولیه باز می‌گردند. این پلاستیک‌ها در اثر گرما، نرم می‌شوند ولی بر خلاف ترموپلاستیک‌ها به حالت مایع در نمی‌آیند. الاستومرها و ترموپلاستیک‌ها در حلال‌های

۱. نام الاستومر از دو بخش (الاستو) برگرفته از واژه الاستیک به معنای ارتجاعی و (مر) برگرفته از واژه پلیمر، تشکیل شده است.

مرسوم شیمیایی (که بسته به نوع ساختمان پلاستیک تعیین می‌شوند)، حل می‌گردند اما ترموست‌ها در هیچ حلالی حل نمی‌شوند.

الاستومرها در مقابل اسیدهای معدنی رقیق، قلیاها و نمک‌ها مقاومند. لذا از آن‌ها برای ساخت لوله، شلنگ، پوشش مخازن و تانک‌ها استفاده می‌کنند. این مواد همچنین در ساخت لاستیک اتومبیل نیز کاربرد دارند.

در ادامه انواع الاستومرها شرح داده خواهند شد.

۱.۳.٦.۱۹. لاستیک طبیعی (کائوچو)

کائوچو شیره سفید رنگی است که از درخت خاصی گرفته می‌شود. این ماده دارای مولکول‌های ایزوپرن است که آن را با مقداری گوگرد حرارت می‌دهند تا سخت شود. همچنین با استفاده از دوده و مواد ضد اکسید، آن را در برابر هوازدگی مقاوم می‌کنند.

لاستیک طبیعی مقاومت مکانیکی بهتری نسبت به لاستیک‌های مصنوعی دارند و در برابر بریدگی نیز پایدارتر است ولی در مورد مقاومت در برابر خوردگی در محیط-های شیمیایی، لاستیک‌های مصنوعی دارای شرایط بهتری هستند. از لاستیک طبیعی در ساخت کف پوش‌ها و بالشتک‌های ضد لرزش در سازه‌های بزرگ استفاده می‌کنند.

۲.۳.٦.۱۹. لاستیک‌های مصنوعی

در جنگ جهانی دوم به سبب این‌که منابع لاستیک طبیعی به دست دشمن افتاد، نیاز شدیدی برای جایگزینی آن توسط یک ماده مصنوعی احساس شد. امروزه لاستیک‌های مصنوعی بسیاری ساخته شده‌اند که در ادامه به دو نمونه از آن‌ها پرداخته خواهد شد:

- **لاستیک بوتیل (Butil Lastic)**: خاصیت برجسته این لاستیک عدم نفوذ پذیری در مقابل گازها، مقاومت در برابر مواد شیمیایی و هوازدگی است. به همین سبب از آن جهت آب‌بندی تانکرهای حمل گاز، ساخت لوله‌ها و تجهیزات کارخانجات مواد شیمیایی، ایجاد آب‌نماهای مصنوعی و به عنوان آستر در زمین‌های دفن زباله استفاده می‌کنند.
- **نئوپرن (Neopern)**: این لاستیک سیاه رنگ در برابر اکسید شدن و هوازدگی، روغن‌ها، حرارت و آتش مقاوم است ولی از لاستیک طبیعی

گران‌تر است. از آن در ساخت قطعات خودرو، چسب‌ها، درزگیرها، پوشش‌ها و نیز به منظور آب‌بندی درزهای شیشه استفاده می‌کنند.

۷.۱۹. مواد افزودنی به پلاستیک‌ها

در بسیاری از موارد جهت سهولت استفاده از پلاستیک‌ها و نیز بهبود خواص آن‌ها، مواد افزودنی مختلفی را به مواد اصلی پلاستیک (قبل از شکل‌دهی و قالب‌گیری) اضافه می‌کنند. از طرفی ساخت برخی از پلاستیک‌ها به صورت خالص و بدون مواد افزودنی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. این افزودنی‌ها در برخی موارد ۱۰-۵٪ محصول نهایی، و در مواردی دیگر چند نوع افزودنی متفاوت، ۸۰-۷۰٪ محصول نهایی را شامل می‌شوند. انواع افزودنی‌ها به قرار زیرند.

۱.۷.۱۹. مواد رنگی (رنگینه‌ها) – Chromatins

افزودن مواد رنگی به پلاستیک‌هایی که شفاف هستند مانند اکریلیک و پلی استایرن، نسبت به پلاستیک‌های مات، نتیجه مطلوب‌تری دارد. مواد رنگی مورد استفاده در پلاستیک‌ها دو دسته‌اند:

- **رنگ‌دانه‌ها (Pigment)**: ترکیباتی هستند که در پلاستیک حل نمی‌شوند. رنگ‌دانه‌های آلی نسبت به انواع غیر آلی آن شفافیت و درخشندگی بیشتری دارند. برخی از رنگ‌دانه‌های آلی عبارتند از: دی آزو، فتالوسیانین و دی اکسازین. رنگ‌دانه‌های غیر آلی نیز شامل اکسیدهای فلزی، لاجورد، دوده و... می‌باشند.
- **جوهرها (Dye)**: ترکیباتی هستند که در پلاستیک‌ها حل می‌شوند. برخی از انواع مهم آن‌ها عبارتند از پیرینون، کونیولین و آنتراکینون.

رنگینه‌های صدفی (ایجاد حالت رنگین کمان)، فلزی (به شکل پولک‌های بسیار ریز)، فلوئورسان و فسفرسان (جذب نور و انتشار آن با طول موج‌های بالاتر، حتی پس از حذف منبع نور) از انواع مواد رنگی ویژه هستند.

۲.۷.۱۹. مواد نرم کننده – Softeners

مواد نرم کننده، پلاستیک‌های سخت را به ماده‌ای نرم و انعطاف پذیر تبدیل می‌کنند. همچنین نقش عمده‌ای در فرآیند حرارتی هنگام تولید پلاستیک دارند. بسیاری از نرم کننده‌هایژ فرار هستند و به مرور زمان از ساختار پلاستیک خارج می‌شوند. همین امر یکی از دلایل ترک خوردن پلاستیک‌ها پس از گذشت چند سال از مصرف آن‌هاست. نرم کننده‌های متداول عبارتند از: انواع فتالات‌ها، فسفات‌ها، اپوکسی‌ها و... .

۳.۷.۱۹. مواد روان کننده – Lubricants

روان کننده‌ها با کاهش جاذبه بین مولکول‌ها، باعث انعطاف پذیری، قالب پذیری و خاصیت ارتجاعی پلاستیک‌ها می‌شوند. باید به این نکته توجه کرد که مصرف روان کننده‌ها موجب کاهش مقاومت مکانیکی و حرارتی پلاستیک می‌شود. متداول‌ترین این مواد عبارتند از: پارافین، واکس‌های پلی اتیلنی، آمیدها، اسیدها و الکل‌های چرب.

٤.۷.۱۹. مواد پایدار کننده – Stabilizers

رنگ و سایر مشخصات پلاستیک‌ها در اثر حرارت، اشعه ماوراء بنفش، ازن موجود در هوا و سایر گازها دچار تغییر می‌شود. جهت جلوگیری از این تغییرات در پلاستیک‌ها، از پایدار کننده‌هایی نظیر: قلع، باریم، کادمیم، روی و... استفاده می‌کنند.

۵.۷.۱۹. مواد مسلح کننده – Impact Modifiers

این مواد به صورت الیاف بوده و جهت افزایش استحکام، ضربه پذیری و توان مکانیکی پلاستیک‌ها، به آن‌ها افزوده می‌شوند و عبارتند از: الیاف شیشه، کنف و... .

٦.۷.۱۹. مواد پر کننده – Filers

این مواد جهت بهبود برخی از خواص پلاستیک‌ها و نیز اقتصادی شدن تولید آن‌ها به کار می‌روند. مواد پر کننده اکثراً به ترموست‌ها افزوده می‌شوند و عبارتند از: خاک اره، خاک سنگ (افزایش سختی)، کربنات کلسیم (مهم‌ترین پرکننده برای PVC)، دوده و... .

۷.۷.۱۹. مواد اسفنجی کننده – Foaming Agents

این مواد با تجزیه بر اثر حرارت و تولید گاز، پلاستیک‌ها را اسفنجی می‌کنند. مهم‌ترین آن‌ها آزو دی کربن آمید و کلرو فلوئورو کربن[۱] (CFC) است.

۸.۷.۱۹. مواد کمک فرآیند – Processing Aids

این مواد اغلب از ترموپلاستیک‌ها هستند و هنگام تولید پلاستیک‌ها جهت سرعت بخشیدن به ذوب مواد و استحکام و چسبندگی مواد مذاب، به آن‌ها افزوده می‌شوند. از آهک نیز جهت کاهش زمان سخت شدن پلاستیک‌ها استفاده می‌کنند.

علاوه بر افزودنی‌های یاد شده، از پنبه نسوز، خاک رس و پودر سنگ آهن جهت افزایش مقاومت در برابر حرارت و نیز از میکا یا پودر کوارتز جهت افزایش مقاومت در برابر جریان الکتریکی استفاده می‌کنند.

۸.۱۹. نحوه اتصال قطعات پلاستیکی به یکدیگر

قطعات پلاستیکی عموماً به دو روش زیر به یکدیگر متصل می‌گردند:

۱. **چسباندن:** در این روش با استفاده از حلال پلاستیک‌ها در محل اتصال، دو قطعه را به یکدیگر می‌چسبانند. در اتصال پلی استایرن و PVC می‌توان از این روش استفاده کرد ولی اتصال پلی پروپیلن و یا پلی اتیلن با این روش امکان پذیر نیست.

۲. **جوش حرارتی:** محل اتصال دو قطعه را به یکدیگر فشرده و حرارت می‌دهند.

علاوه بر دو روش یاد شده، می‌توان از قطعات اتصال پلاستیکی که از طریق پیچ شدن به دو قطعه پلاستیکی اصلی، آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند، نیز استفاده کرد.

۱. اخیراً کاربرد CFC به جهت تأثیرات مخرب بر لایه ازن، محدود شده است.

فصل ۲۰

مواد مرکب (کامپوزیت‌ها)

۱.۲۰. تاریخچه

در انتهای قرن بیستم تحولی جدید در صنعت ساختمان شکل گرفت؛ تنوع در فرم‌های معماری، الزامات اقلیمی، پیچیدگی رفتار سازه در برابر بارهای تصادفی، سازه‌های خاص در محیط‌های دریایی و... موجب شده است نگرشی نو در استفاده از مصالح و فرآورده‌های جدید ساختمانی با خواص و رفتاری متفاوت با آن‌چه تا کنون در ساخت و ساز به کار رفته است، به وجود آید. یک دسته از این مصالح که استفاده از آن‌ها گسترش روز افزون دارد، مواد مرکب پیشرفته هستند. این مواد دارای خواص مناسبی همچون سبکی، سختی، مقاومت در برابر تبادل حرارت، خوردگی، خستگی و... هستند که با توجه به عوامل یاد شده و صرفه اقتصادی، استفاده از آن‌ها در مهندسی ساختمان

به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است و در ساخت و سازهای استراتژیک مانند پل ها، سکوهای نفتی، دودکش‌ها، سازه‌های بلند و در مناطق زلزله خیز به کار رفته اند. در این نوشتار به معرفی این مواد و خواص هر یک از آن‌ها می‌پردازیم.

۲.۲۰. ضرورت استفاده و کاربرد مواد مرکب

مواد مرکب (کامپوزیت‌ها) که از ترکیب الیاف و ماتریس[۱] تشکیل می‌شوند، با توجه به تنوع انواع الیاف و ماتریس‌ها و نوع ساختار، مواد مرکب گوناگون را پدید می‌آورند. این مواد به واسطه خواص فوق العاده مناسبی که دارند مانند مقاومت بالا، مدول ویژه بالا، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در محیط‌های شیمیایی و سبکی، کاربردهای گوناگونی در صنایع و در این اواخر در صنعت ساختمان پیدا کرده‌اند.

یکی از عوامل مهمی که باعث ایجاد زمینه‌های جدید کاربرد این مواد در صنعت ساختمان شد، زلزله سال ۱۹۹۰ کالیفرنیا و متعاقب آن زلزله‌ای که در سانفرانسیسکو بود. بررسی روی سازه‌های تخریب شده مانند پل‌ها، پایه‌ها و ساختمان‌ها نشان داد که تقویت سازه‌های در حال بهره برداری و اجرای صحیح سازه‌های جدید با استفاده از مواد مرکب امکان‌پذیر است.

استفاده از مواد مرکب در مهندسی ساختمان در حال توسعه است. در واقع برای ساخت ساختمان‌ها و سازه‌ها استفاده از این مواد بیش از پیش مهم شده است به خصوص هنگامی که بارگذاری جانبی و خارجی (زلزله، تکانی، خوردگی و...) اهمیت می‌یابد. امروزه می‌توان کاربرد این مواد را در زمینه محیط زیست، هیدرولیک سازه و حتی ژئوتکنیک نیز مشاهده کرد. این مواد علاوه بر استفاده در سازه‌های جدید، در سازه‌های اجرا شده نیز کاربرد دارند. مطالعه رفتار سازه‌های بتن آرمه نشان می‌دهد که در برخی حالات امکان تغییر و یا تسلیح این سازه‌ها به وسیله اتصال خارجی صفحات مرکب امکان پذیر است. استفاده از این روش در مناطق زلزله خیز پیشنهاد می‌گردد و این روش امکان افزایش مقاومت و ظرفیت باربری سازه را می‌دهد.

۱. ماتریس ترکیبی از رزین (اپوکسی، پلی استر و...) و مواد افزودنی مناسب است.

مواد مرکب استفاده شده در صنعت ساختمان به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. مواد مرکب انعطاف‌پذیر: برای ساخت سازه‌های قابل کشش مانند غشاهای پوششی برج‌های خنک کن در مراکز هسته‌ای و پوشش محوطه‌های وسیع در ژئوتکنیک.
۲. مواد مرکب معمولی: برای مهار کردن خاک‌ها (مرز مشترک خاک و سازه) و در خاک‌های مسلح استفاده می‌شوند.
۳. مواد مرکب صلب: در ساخت قطعات چند منظوره و در زمینه سازه‌ای برای پل‌های پیش تنیده که از کابل‌های ترکیبی ساخته می‌شوند، به کار می‌روند.

۱.۲.۲۰. کاربرد مواد مرکب در مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح

امروزه نگهداری از سازه‌ها به دلیل بالا بودن هزینه ساخت و تعمیر بسیار حائز اهمیت است. با مطالعه رفتار سازه‌های بتن مسلح و بتن پیش تنیده مشخص می‌شود که عوامل متعددی از دوام آن‌ها می‌کاهد، مانند خوردگی بتن و فولاد، اشتباهات محاسبه و آسیب دیدگی‌های ناشی از بارهای تصادفی خارجی. در مقابل می‌توان با نگهداری و تعمیر به موقع، کاهش نفوذپذیری، مقاوم سازی و... زمینه‌های افزایش دوام بنا را فراهم کرد.

در حال حاضر روش‌های گوناگونی برای افزایش کارایی سازه وجود دارد. برای مثال می‌توان به بتن پاشی، اتصال ورق فولادی و یا پیش تنیدگی اشاره کرد. با توجه به معایب این روش‌ها مانند بازدهی کم و یا نیاز به امکانات و فن آوری خاص، امروزه روش‌های مقاوم سازی سازه‌ها با استفاده از ورق‌های مرکب که به سطح خارجی سازه بتنی اتصال داده می‌شوند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. این ورق‌ها از جنس الیاف شیشه، کربن و یا آرامید هستند که به صورت پیش آغشته یا لایه لایه تهیه گردیده‌اند.

اصولاً عملیات مقاوم سازی به منظور بهبود رفتار مکانیکی دال‌ها، شاه‌تیرها و تیرها در برابر خمش و برش، و ستون‌ها در برابر بارهای جانبی انجام می‌شود که میزان آن بستگی به نوع الیاف و مقدار لایه پوششی دارد. پیش از شروع مقاوم سازی باید سطح بتن را برای اتصال آماده کرد. متداول‌ترین روش، استفاده از ماسه پاشی برای زبر کردن سطح و برداشتن لایه غیر مقاوم است. بعد از آن اتصال به دو صورت

پلیمریزاسیون پیش آغشته در محل و یا استفاده از چند لایه ترکیبی صورت می‌گیرد که با رزین واسط به سطوح چسبانده می‌شوند.

در روش پلیمریزاسیون در محل پیش آغشته‌ها نیاز به اعمال دمای ۱۲۵ درجه سانتیگراد و فشار خلأ به صورت همزمان می‌باشد. چرخه اعمال فشار و دما باید به گونه‌ای باشد که عمل پلیمریزاسیون به صورت کامل انجام گیرد تا رفتار ماده مرکب در مقابل بارهای خارجی به صورت پیوسته و مناسب باشد. روش‌های فوق از سرعت زیاد در اجرا و هزینه نسبتاً کم برخوردارند و به عنوان روش‌های مؤثر برای مقاوم سازی سازه‌ها در مناطق لرزه خیز شناخته شده‌اند.

۳.۲۰. اجزاء تشکیل دهنده یک ماده مرکب

یک ماده مرکب از یک ماتریس و یک ماده تقویت کننده به صورت الیاف یا ذره تشکیل شده است. ماتریس خود نیز ترکیبی است از یک رزین (پلی استر، اپوکسی و...) و مواد افزودنی مناسبی که برای کاهش قیمت ماتریس و بهبود ویژگی‌های رزین استفاده می‌شود. از دیدگاه مکانیکی، مجموعه رزین و ماده تقویت کننده، رفتاری همانند یک ماده همگن دارد. در ماده مرکب، تقویت کننده باعث ایجاد کیفیت مکانیکی بالا می‌گردد، در حالی که ماتریس نقش انتقال بارگذاری خارجی به الیاف و محافظت آن‌ها در مقابل تهاجم محیط خارجی را به عهده دارد. انتخاب نوع ماتریس و ماده تقویت کننده و نسبت آن‌ها بستگی مستقیم به تنش‌های اعمال شده، مقاومت در برابر حرارت، مقاومت در مقابل خوردگی، نوع ویژگی‌های مورد تقاضا و در نهایت قیمت دارد. با توجه به نقش رزین‌ها، این مواد باید به اندازه کافی قابلیت تغییر شکل و سازگاری مناسب با الیافت را داشته باشند. به عبارت دیگر، رزین‌ها باید به گونه‌ای باشند که از یک طرف جرم حجمی اندک داشته باشند و از طرف دیگر دارای ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی مناسبی باشند. دو خانواده مهم رزین‌ها عبارتند از: رزین‌های گرما سخت و رزین‌های گرما نرم. در ساخت مواد مرکب بیشتر از رزین‌های گرما سخت استفاده می‌شود که عمده‌ترین آن‌ها اپوکسی می‌باشد. ویژگی‌های مکانیکی این رزین‌ها به شرح زیر است:

جرم حجمی $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۱-۱/۵، مدول الاستیسیته Gpa ۵-۳، تنش نهایی کششی Mpa ۸۰ -۶۰، تغییر طول نهایی ۵-۲٪، مقاومت برشی Mpa ۵۰-۳۰.

۱.۳.۲۰. الیاف

الیاف به مواد مرکب خصوصیات مکانیکی لازم چون سختی، مقاومت کششی، مقاومت نهایی، دوام و... می‌دهند. الیاف همچنین اجازه می‌دهند بعضی از خواص فیزیکی مواد مرکب شامل مقاومت در مقابل درجات حرارت، مقاومت در مقابل سایش و خواص الکتریکی بهبود یابد. مشخصه‌های مهمی که در تعیین نوع الیاف جهت ساخت مواد مرکب مطرح است، به این قرار می‌باشد: مشخصه‌های مکانیکی بالا، جرم حجمی پایین، سازگاری مناسب با انواع رزین‌ها، سهولت کاربرد و قیمت پایین. الیاف با توجه به مواد اولیه سازنده آن‌ها می‌توانند از مبدأهای گوناگونی باشند و نسبت حجمی استفاده از آن-ها در مواد مرکب معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۷ است. الیاف متداولی که در ساخت مواد مرکب مطرح هستند، عبارتند از: الیاف شیشه، کربن و آرامید. الیاف شیشه با استفاده از مواد اولیه ارزان قیمت به دست می‌آیند و با استفاده از یک فرآیند ساده و ارزان در انواع مختلف تولید می‌شوند. این الیاف با توجه به درصد ترکیبات اولیه دارای خواص گوناگونی بوده و دارای کیفیت خوب و قیمت مناسب می‌باشند و در مواردی خیلی برتر از انواع الیاف دیگر هستند. امروزه الیاف شیشه نوع E تقریباً تمام حجم تولید الیاف شیشه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. انواع دیگر الیاف شیشه تقریباً ۱٪ بازار مصرف را به علت کاربردهای ویژه در اختیار دارند. الیاف شیشه R دارای ویژگی مکانیی بسیار خوبی هستند و در اجرای سازه هایی که باید کیفیت مکانیکی بالایی داشته باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول شماره ۱.۲۰. ویژگی‌های الیاف شیشه E و R

ویژگی‌ها	شیشه E	شیشه R
جرم حجمی $\frac{gr}{cm^3}$	۲/٦	۲/۵۵
مدول الاستیسیته Gpa	۷۳	۸٦
تنش نهایی Mpa	۳٤	٤٤
تخییر شکل نهایی ٪	٤/٤	۵/۲

الیاف کربن ویژگی‌های مکانیکی مناسبی دارند. مضاف بر این‌که این الیاف دارای جرم حجمی اندک (اغلب کمتر از ۲ گرم بر سانتیمتر مکعب) می‌باشند. در ضمن الیاف

کربن دارای مقاومت مکانیکی عالی در برابر دماهای بالا (تا حدود ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد) هستند. این ویژگی بسیار مناسب، باعث توسعه صنعت ترکیبی‌های کربن-کربن (الیاف کربن و ماتریس کربن) شده است که دارای مقاومت حرارتی بسیار بالایی بوده و برای کاربردهای خاص مناسب می‌باشند.

الیاف آرامید دارای ویژگی‌های مکانیکی بالایی بوده و عموماً تحت نام تجاری کولار در بازار عرضه می‌گردند. اولین بار این الیاف توسط شرکت‌های آمریکایی در سال‌های ۱۹۷۲ تولید شد. امروزه شرکت‌های متعددی در سراسر جهان به تولید این الیاف مشغول هستند. هزینه تولید الیاف آرامید حدود ۳ تا ۵ برابر نسبت به کربن HR کمتر است.

تصویر شماره ۱.۲۰. فرم کلی قرار گرفتن الیاف در کامپوزیت‌ها

٤.۲۰. انواع مواد مرکب صنعتی

مواد مرکب صنعتی که در صنعت ساختمان سازی به کار می‌روند، عبارتند از:

۱.٤.۲۰. شبکه FRP

مواد کامپوزیت با استفاده از الیاف جدیدی برای تسلیح بتن به بازار آمده‌اند. این مواد از آغشته کردن الیاف ممتد کربن و شیشه با نوعی رزین و تشکیل شبکه به دست می‌آیند. این شبکه‌ها دارای خواص مطلوبی هستند مانند سبکی، مقاومت بیش از آرماتورهای فولادی، مقاومت در برابر خوردگی، پایداری در برابر حمله مواد شیمیایی و عدم تشکیل میدان مغناطیسی.

سه نوع از این محصولات موجود در بازار عبارتند از:

- نوع G از جنس الیاف شیشه و با وزن مخصوص ۱/۷.
- نوع H از ترکیب الیاف شیشه و کربن با وزن مخصوص ۱/٦.
- نوع C از جنس الیاف کربن و با وزن مخصوص ۱/٤.

تصویر شماره ۲.۲۰. چند نمونه تقویت سازه توسط پوشش‌های FRP

۲.٤.۲۰. اجزای پیش تنیده آرامید

این کامپوزیت‌ها برای مسلح کردن سازه‌ها به صورت اجزای کششی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از این مواد در ساخت سازه‌های دریایی که مشکل خوردگی دارند، بسیار مناسب است. همچنین استفاده از آن‌ها به عنوان جایگزین فولاد مسلح کننده یا پیش تنیده کننده در بتن، در دست بررسی است. زیرا این مواد مقاومت خوبی دارند، در مقابل خوردگی پایدارند و میدان مغناطیسی تشکیل نمی‌دهند. ترکیب این مواد، الیاف آرامید در ماتریس اپوکسی است که در مقاطع گرد و مربع و مستطیل عرضه می‌شوند.

۳.٤.۲۰. آرماتورهای FRP

در ترکیب این مواد الیاف آرامید و رزین وجود دارد. از این آرماتورها به دلیل داشتن خواص عالی در مسلح کردن سازه‌ها استفاده می‌شود. مقاومت کششی آن‌ها برابر و حتی بالاتر از فولاد پیش تنیدگی است. این آرماتورها زنگ نمی‌زنند و در اکثر محیط-های خورنده اسیدی و بازی پایدارند و در بتن با سیمان واکنش نمی‌دهند. وزن آن‌ها حدود ۱/٦ فولاد پیش تنیدگی بوده، سختی مناسب دارند و دارای تغییر شکل زیاد در شکست می‌باشند. همچنین نارسانا هستند و تشکیل میدان مغناطیسی نمی‌دهند.

۴.۴.۲۰. کابل های غیر فلزی CFCO

این کابل‌ها از ترکیب الیاف کربن و ماتریس مناسب تشکیل شده‌اند و برای مسلح کردن سازه‌ها به کار می‌روند. کابل‌های CFCO خواص بسیار مناسب‌تری نسبت به کابل‌های معمولی دارند. برای مثال هرگاه به عنوان کابل‌های معلق مورد استفاده قرار گیرند، شکم دادن آن‌ها تا حد زیادی کاهش می‌یابد. کم بودن وزن خود کابل باعث می‌شود که بتوان از آن‌ها در پل‌های معلق با دهانه زیاد استفاده کرد. ویژگی‌هایی از قبیل خزش کم، پدیده آسودگی و افزایش حجم خطی پایین، مقاومت بالا در برابر خستگی و مقاومت در برابر خوردگی باعث برتری آن‌ها نسبت به مواد کلاسیک شده است.

این کابل‌ها به طور گسترده‌ای در تسلیح سازه‌های گوناگون کاربرد دارند، نظیر:

- بتن مسلح، چوب مسلح، مهار خاک.
- کابل برای پل معلق و پل‌های Cable stayed.
- اعضای کششی برای کابل‌های الکتریکی و کابل‌های ارتباطات.

۵.۴.۲۰. آرماتورهای غیر فلزی FIBRA

این آرماتورهای غیر فلزی با استفاده از الیاف با کیفیت بالا تهیه می‌شوند. این آرماتورها در واقع مواد کششی جدیدی هستند که برای پیش تنیده کردن بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند و از بافتن الیاف با مقاومت بالا مانند آرامید کربن و شیشه که با رزین آغشته شده‌اند، به وجود می‌آیند. مهم‌ترین خصوصیات این آرماتورها عبارتند از:

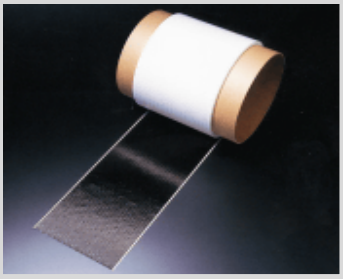
وزن کم و مقاومت بالا، دوام، چسبندگی، مقاومت در برابر خستگی و تشکیل میدان مغناطیسی.

۶.۴.۲۰. تولیدات غیر فلزی Leadine

در ساختار این تولیدات که به صورت آرماتورهای غیرفلزی تهیه می‌شوند، الیاف کربن وجود دارد. این آرماتورها حاصل فرآیند پیچیده‌ای در تولید بوده و دارای مقاومت کششی و مدول الاستیسیته برابر با آرماتورهای فولادی پیش تنیده می‌باشند. همچنین دارای خواص مناسب مانند وزن سبک ، دوام بالا و مقاومت خوب در برابر خوردگی و میدان مغناطیسی هستند.

۷.٤.۲۰. تولیدات غیر فلزی REPLARK

این محصولات از الیاف کربن آغشته به رزین اپوکسی، به صورت ورق تولید می‌شوند و برای تعمیر و مقاوم سازی سازه‌های در معرض تخریب نظیر ستون‌ها، دال عرشه‌ها و دودکش‌ها به کار می‌روند.



تصویر شماره ۳.۲۰. ورقه REPLARK

این ورقه‌ها ۵ برابر مقاوم‌تر از فولاد و ۳ برابر مقاوم‌تر از الیاف شیشه‌ای هستند. ولی وزن آن‌ها ۲۰٪ فولاد می‌باشد. از دیگر خصوصیات آن‌ها می‌توان به مدول الاستیسیته بالا، مقاومت در برابر اکثر مواد شیمیایی و مقاوم در شرایط سخت جوی اشاره کرد. همچنین می‌توان از مقاومت بالا در مقابل خستگی و کاربرد آن برای مقاوم سازی اشکال پیچیده نام برد. چنان‌چه ورق‌های REPLARK به صورت افقی در پایه ستون به کار روند، در دو لایه باعث افزایش ظرفیت برشی می‌گردند. همچنین با اتصال REPLARK به قسمت کشش بتن آثار زیر ظاهر می‌گردد:

- کاهش تنش کششی در آرماتورهای کششی.
- کاهش تعداد لایه‌ها.
- کاهش تغییر مکان در وسط دهانه.

۸.٤.۲۰. صفحات CPFC

الیاف به کار رفته در این صفحات کربن است. این محصولات سخت بوده و برای مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح درجا با استفاده از رزین اپوکسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از خصوصیات این ورقه‌ها می‌توان مقاومت بالا در برابر خوردگی، مقاومت کششی بسیار خوب، صرفه اقتصادی، طول‌های متفاوت تولید و وزن کم را نام برد.

فصل ۲۱

رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ

۱.۲۱. تاریخچه

قرن‌ها پیش بشر پی به خاصیت رنگ دهی برخی از گیاهان پی برد و از آن‌ها برای رنگ کردن ظروف و ابنیه خود استفاده کرد. به تدریج تمایل انسان به زیبایی سبب شد تا ترکیب رنگ‌های مختلفی را از مواد گوناگون گیاهای و معدنی به دست آورد و بناهای خود را با آن‌ها بیاراید که آثار آن‌ها در باستان شناسی‌های متعدد بدست آمده است.

تصویر شماره ۱.۲۱. ظرف رنگ آمیزی شده مربوط به تپه‌های سیلک کاشان

۲.۲۱. ضرورت استفاده و کاربرد رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ

رنگ‌ها علاوه بر ایجاد زیبایی، به عنوان یک پوشش محافظ برای سطح زیرین خود نیز محسوب می‌گردند. این خصلت رنگ‌ها به تدریج مورد توجه قرار گرفت و سبب شد تا رنگ‌هایی ساخته شوند که علاوه بر جنبه تزئینی، از سطح زیرین خود در برابر رطوبت، حرارت، اشعه‌های خورشید، خوردگی و... نیز محافظت کنند. امروزه موادی تولید شده‌اند که بی رنگ بوده و فقط جنبه پوشش محافظتی دارند، این مواد می‌توانند به طور مستقیم بر روی مصالح ساختمانی و یا بر روی رنگ‌ها اجرا شوند.

رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ علاوه بر استفاده در ساختمان سازی، در صنایع دیگری نظیر اتومبیل سازی، ساخت ظروف، کارهای تزئینی و... به کار می‌روند.

۳.۲۱. مواد تشکیل دهنده رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ

پوشش‌های رنگی و غیر رنگی مختلف با توجه به شرکت سازنده آن‌ها از مواد متفاوتی ساخته می‌شوند. در ادامه به موادی که عموماً در ساخت اکثر رنگ‌ها و پوشش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اشاره خواهد شد:

تصویر شماره ۲.۲۱. سنگ اکسید آهن

۱. مواد معدنی که یا به صورت رنگی و یا غیر رنگی (همراه با اکسیدهای فلزات) به کار می‌روند، نظیر: مواد سیلیسی، مواد کربناتی، سولفات‌ها (قسمت عمده آن‌ها ترکیبات اسید سولفوریک است)، اکسیدهای آهن، خاک‌های رسی، دوده و زغال سنگ‌های معدنی. (جدول شماره ۱.۲۱)
۲. ترکیبات آلی نظیر: نفتالین، بنزین، آنتراسن و... .
۳. انواع رزین‌ها نظیر: فنل فرم آلدئید، اوره فرم آلدئید، آلکید و... .
٤. روغن‌های گیاهی و حلال‌های مختلف.

همان طور که اشاره شد، رنگ‌ها و پوشش‌های مختلف با توجه به شرکت سازنده آن‌ها از مواد گوناگون و با روش‌های متفاوتی ساخته می‌شوند، بنابراین خواص متفاوتی نیز خواهند داشت. لذا در این نوشتار ضمن معرفی انواع رنگ‌ها و پوشش‌ها، خواص هر یک نیز بررسی خواهد شد.

جدول شماره ۱.۲۱. مواد رنگی معدنی

رنگ مواد رنگی	مواد رنگی معدنی طبیعی (رنگ‌های طبیعی)
سفید	گچ طبیعی
از زرد تا قهوه‌ای	گل‌ها با ظرفیت‌های مختلف Fe_2O_3
زرد	گل زرد (تا ۲۵٪ Fe_2O_3)
قرمز تیره	گل قرمز (تا ٤۰٪ Fe_2O_3)
قرمز روشن	گل آهن (تا ٦۰٪ Fe_2O_3)
زرد– قهوه‌ای	نوعی خاک به نام سیینا
قهوه‌ای	نوعی گل اخری
رنگ‌های خیلی مختلف، اما بیشتر رنگ‌های تیره	گل‌های رسی رنگ روشن، سنگ‌های رسی، ماسه سنگ‌ها، گچ
سبز زیتونی، سبز مایل به آبی، سبز تیره	گلاکونیک
سبز روشن	نوعی سنگ معدنی به نام مالاچیت
سبز	ولچانسکویت و...
رنگ مواد رنگی	مواد رنگی معدنی مصنوعی
سفید	روی سفید، سرب سفید، تیتانیم سفید، باریم سفید
قرمز	کادمیم قرمز، سولفید جیوه، کرم قرمز، تیتالیم قرمز و...
سبز	تیتانیم سبز
زرد	تیتانیم زرد
لیمویی روشن	کادمیم زرد
زرد کمرنگ	باریم زرد یا کرومات باریم
سبز زمردی روشن	زمرد سبز و...
آبی متمایل به بنفش	کبالت آبی و...
بنفش تیره متمایل به قرمز	کبالت بنفش و...
سیاه	سیاه استخوانی (رنگ شیره) و...

٤.٢١. انواع پوشش‌های محافظ

١.٤.٢١. رنگ‌ها – Paint

پیش از آن‌که سطحی رنگ آمیزی گردد، ابتدا باید تمیز و عاری از هر گونه آلودگی و گرد و خاک شود. بسته به نوع و جنس سطح مورد نظر برای تمیز کردن و آماده سازی آن از موادی نظیر صابون‌ها، دترجنت‌ها، مواد پاک کننده حلال و ابزارهایی نظیر برس سیمی، کاردک، کاغذ سمباده، ساینده‌ها و دستگاه‌های ماسه پاشی (سندبلاست) استفاده می‌کنند.

تصویر شماره ٣.٢١. دستگاه سندبلاست

تصویر شماره ٤.٢١. سند بلاست کردن

١.١.٤.٢١. پوشش‌های اولیه (آستر – پرایمر) – Primer

پس از تمیز کردن و آماده سازی سطح مورد نظر، باید یک لایه پوشش اولیه تحت عنوان آستر یا پرایمر روی آن اجرا شود. پرایمرها به منظور کمک به جلوگیری از رنگ پریدگی یا تغییر رنگ نهایی به کار می‌روند و نیز سبب چسبندگی بهتر بین رنگ و مصالح ساختمانی می‌گردند. پرایمرهای مصرفی بر حسب سطح مورد نظر و شرایط محیطی، متفاوتند. در جدول شماره ٢.١٨ پرایمرهای مناسب برای سطوح مختلف عنوان شده‌اند.

جدول شماره ۲.۲۱. انواع پرایمرهای توصیه شده برای سطوح مختلف

محل مصرف	نوع مواد مناسب و متداول
سطوح فولادی در شرایط عادی در داخل ساختمان	پرایمر اولئورزینی حاوی سیلیکون سرب قلیایی، کرومات، اکسید فریک، دی اکسید تیتانیوم، دوده و... .
سطوح فولادی در شرایط جوی نامناسب در خارج از ساختمان	آلکید عادی محتوی سرنج، انواع رنگ-های پر آلومینیوم و... .
سطوح آلومینیومی	کرومات روی و آسترهای غیر سربی.
سطوح فلزی گالوانیزه و روی	پرایمر ویژه کرومات روی یا پلمبات کلسیم و آسترهای غیر سربی.
سطوح مسی	پرایمر عادی ویژه سطوح فلزی.
سطوح قیری یا قیر اندود	شلاک، پرایمر آلومینیومی، سیلر از نوع امولسیون لاتکس.
سطوح فرآورده‌های پنبه کوهی-سیمان	پرایمر ضد قلیا مانند پرایمر حاوی لاستیک مصنوعی.
سطوح بتنی و اندود سیمان	سیلر لاتکس آمولسیونی یا یک سیلر پرایمر اولئورزینی.
سطوح بلوک سیمانی	پرایمر از نوع لاتکس فیلر.
پلاستیک‌های ترموست، ملامین، اوره و فنل فرم آلدئید	اغلب رنگ‌های متداول که حلالشان اثر سوئی بر پلاستیک نداشته باشد به صورت آستر و رویه.
P.V.C	یک لایه آستر و رویه با پایه آلکیدی.
سطوح چوبی	پرایمر از لعاب آلکیدی، مواد رنگرزی، جلای براق آلکیدی که ۵۰٪ رقیق شده است، روغن بزرک، رنگ اپوکسی براق.
سطوح گچی	لایه‌های آستر و رویه از رنگ روغن، آلکیدی، امولسیونی پلاستیکی، لعابی.
سطوح آجری و سنگی	آستر سیلیکون شفاف (برای محافظت در برابر نفوذ رطوبت).

۲.۱.٤.۲۱. انواع رنگ‌ها

انواع رنگ‌های ساختمانی از حیث اجزا و مواد تشکیل دهنده آن‌ها نام گذاری می‌شوند و به یکی از حالت‌های پودر خشک، خمیر با غلظت‌های مختلف و مایع با غلظت‌های مختلف عرضه می‌گردند. انواع رنگ‌ها با توجه به خواصشان می‌توانند در داخل یا خارج ساختمان به کار روند. در ادامه انواع رنگ‌های ساختمانی بررسی خواهند شد:

- **رنگ‌های روغنی (Oil Paint)**: ترکیبات پایه‌ای رنگ‌های بر مبنای روغن عبارتند از:

۱. بدنه رنگ (Paint Body): از گرد ماده‌ای جامد تهیه می‌شود که عمدتاً کربنات‌ها و سولفات‌های قلیایی، به جز ترکیبات سرب که سمی است)، اکسید روی، لیتوپون و یا اکسید تیتانیوم است. این ماده وظیفه ایجاد قدرت رنگ آمیزی و پوشاندن سطح را بر عهده دارد.

۲. حامل رنگ (Vehicle - Medium): ماده‌ای است که جسم جامد بدنه در آن معلق می‌شود. نظیر روغن بزرک، روغن سویا، روغن ماهی، روغن تال، روغن کرچک دهیدراته و... .

۳. رنگ‌دانه‌ها (رنگینه‌ها – Pigment): جهت تأمین رنگ دلخواه به کار می‌روند و به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. در حالتی که رنگ سفید باشد، بدنه رنگ، وظیفه رنگینه را انجام می‌دهد.

٤. پر حجم‌کننده‌ها (رنگ‌دانه یار – Extender): موادی هستند که از نظر شیمیایی بی اثرند و به منظور افزایش حجم و جلوگیری از ته‌نشینی مواد اکتیو رنگ، به بدنه اضافه می‌شوند. نظیر گرد سیلیس، گرد کربنات کلسیم، سیلیکات آلومینیوم و سولفات باریم و... .

۵. رقیق کننده‌ها (تینرها – Thinner): حلال‌های فراری هستند که سبب جریان یافتن بهتر رنگ می‌شوند و هنگام مصرف رنگ، می‌پرند. متداول‌ترین آن‌ها ترپنتین است.

٦. خشک کننده‌ها (Drier): نمک‌های آلی فلزات مختلف هستند که به منظور تسریع در اکسیداسیون و سخت شدن حامل رنگ به کار می‌روند. نظیر نمک‌های آلی آهن، روی، کبالت، منگنز، و کلسیم.

رنگ‌های روغنی باید در برابر آب و رطوبت مقاوم بوده و دارای سطح نهایی صاف و رنگ یکدستی باشند.

تصویر شماره ۵.۲۱. رنگ روغنی

تصویر شماره ٦.۲۱. رنگ‌دانه

تصویر شماره ۷.۲۱. تینر

- **رنگ‌های پلاستیک (Plastic Paint)**: حامل این رنگ‌ها امولسیون رزینی است به همین جهت به آن‌ها رنگ‌های امولسیون رزینی (لاتکس) هم می‌گویند. این رنگ‌ها از قابلیت چسبندگی و سختی مناسب، خشک شدن سریع (سریع‌تر از رنگ‌های روغنی) و مقاومت در برابر قلیاها برخوردارند. سطح نهایی رنگ‌های پلاستیک حالت گچی دارد و نمی‌توان آن‌ها را بر روی سطوح براق به کار برد.
- **رنگ‌های آلکیدی (Alkyd Paint)**: در ساخت این رنگ‌ها از رزین‌های مصنوعی آلکیدی استفاده می‌شود. رنگ‌های آلکیدی در برابر رطوبت و شرایط جوی بسیار مقاومند. نوع معمولی آن‌ها در برابر قلیاها مقاومت کمی دارد ولی می‌توان با افزودن روغن‌های خاصی نظیر روغن استیرناته، این خاصیت را به میزان بسیار مطلوبی اصلاح کرد. این رنگ‌ها جهت مصارف داخل و خارج ساختمان ونیز به عنوان اصلاح کننده رنگ‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا با دوام‌ترند. رنگ‌های آلکیدی را معمولاً هنگام مصرف با تینر روغنی رقیق می‌کنند.
- **رنگ‌های با جلای فلزی (متالیک – Metallic Paint)**: رنگ‌دانه (رنگینه) آن‌ها از تکه‌های بسیار کوچک فلزی مانند آلومینیوم، مس، برنز، روی یا قلع تشکیل شده است که این ذرات در یک ماده حامل معلق هستند. این رنگ‌ها برای مصارف زینتی به کار می‌روند. همچنین رنگ با جلای آلومینیومی آستر مناسبی برای سایر رنگ‌های متالیک است.

- **رنگ‌های لومینسنت (شب تاب – Luminescent Paint)**: این رنگ‌ها حاوی مواد فسفرسنت یا فلورسنت هستند که از خود نور ساطع می‌کنند. رنگ‌های شب تاب روی علائم اخطار و تابلوها در بیمارستان‌ها، مدارس، کارخانه‌ها، هتل‌ها و مکان‌های کم نور مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- **رنگ‌های پلی استر – اپوکسی**: درصد مواد جامد در این رنگ‌ها نسبت به رنگ‌های سنتی بیشتر است. این رنگ‌ها به علت چسبندگی بسیار زیاد و نیز مقاومت بالا در برابر رطوبت و مواد شیمیایی، در کارخانه‌ها، آزمایشگاه‌ها و آشپزخانه‌ها به کار می‌روند.
- **رنگ‌های قیری و قطرانی (Asphalt Paint , Cool-Tar Paint)**: این رنگ‌های تیره و سیاه به صورت امولسیون یا محلول از قیر و قطران تهیه می‌شوند. از معایب آن‌ها این است که در برابر هوا، تابش آفتاب و تغییر دما حساسند و زود شکننده می‌شوند، بنابراین از آن‌ها به عنوان روکش لوله‌های تأسیساتی زیرزمین استفاده می‌کنند.
- **رنگ‌های ضد آتش (Fire-Retardant Paint)**: این رنگ‌ها از ساختمان در برابر آتش محافظت نمی‌کنند بلکه از گسترش آتش جلوگیری می‌نمایند. عملکرد آن‌ها به چند صورت است: برخی از آن‌ها هنگام داغ شدن، بخار آب یا گاز انیدرید کربنیک آزاد می‌کنند و باعث خفه شدن آتش می‌شوند. برخی دیگر نسوز هستند و برخی نیز هنگام آتش سوزی متورم شده و اثر عایق‌کنندگی دارند، از این رو به آن‌ها رنگ‌های ضد آتش پف کننده (Intumescent Paint) می‌گویند.

تصویر شماره ۸.۲۱. رنگ آلکیدی

تصویر شماره ۹.۲۱. رنگ متالیک

تصویر شماره ۱۰.۲۱. رنگ شب تاب

تصویر شماره ۱۱.۲۱. رنگ ضد آتش پف کننده

۲.٤.۲۱. جلاها – Varnish

جلاها مایعی تقریباً شفاف هستند که به عنوان روکش محافظ روی سطوح مختلف به کار می‌روند و باعث براق شدن آن‌ها می‌شوند. جلاها به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. جلاهای رزین طبیعی: که از رزین طبیعی درختان خاصی ساخته می‌شوند.
۲. جلاهای رزین طبیعی اصلاح شده: در این جلاها با فعل و انفعالات شیمیایی تغییراتی ایجاد شده است.
۳. جلاهای رزین مصنوعی: این جلاها، رزین‌هایی هستند که در صنعت پلاستیک تولید می‌شوند. رزین‌های مصنوعی باید پخته شوند تا بهترین خواص را از خود بروز دهند.

تصویر شماره ۱۲.۲۱. جلا

۳.٤.۲۱. لعاب‌ها – Glaze

لعاب‌ها از افزودن رنگ‌دانه به جلاها به دست می‌آیند و ممکن است شفاف، نیمه شفاف یا کدر باشند. لعاب‌ها جهت جلوگیری از نفوذ آب، تأثیر مواد شیمیایی قلیایی و اسیدی (به جز اسید فلوریدریک) و دوام بیشتر، روی کاشی‌ها و سرامیک‌ها به ضخامت حدود ۰/۳–۰/۱ میلیمتر کشیده شده و پخته می‌شوند. همچنین تمیز کردن سطوح را نیز ساده‌تر می‌کنند. لعاب‌های پخته‌ای که با رزین‌های مصنوعی ساخته می‌شوند علاوه بر کاشی و سرامیک بر روی ظروف، وسایل تزئینی، صفحات نما، پوشش‌های بام آلومینیومی و... نیز اجرا می‌گردند. لعاب‌ها به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱.۳.٤.۲۱. لعاب‌های شیشه‌ای – Vitreous Glaze

لعاب‌های شیشه‌ای شامل دو نوع دیگرگداز و زودگداز می‌باشند. لعاب‌های دیرگداز بر عکس لعاب‌های زودگداز دارای سیلیس بیشتری هستند، بنابراین سخت‌ترند و روی سفالینه‌ها به کار می‌روند.

۲.۳.٤.۲۱. لعاب‌های گدازآور – Fluxing Glaze

این لعاب‌ها بیشتر برای لعاب‌کاری آجر و سرامیک‌های خشن به کار می‌روند. به طوری که سبب پایین آمدن درجه ذوب موادی که در سرامیک وجود دارد، می‌شوند. در نتیجه سطح سرامیک با یک لعاب بسیار نازک که کاملاً به آن چسبیده است، پوشیده می‌شود.

۳.۳.٤.۲۱. لعاب‌های نمکی – Salt Glaze

نوعی لعاب گدازآور است که برای سرامیک‌های خشن و آجر به کار می‌رود. بدین صورت که سرامیک‌های نپخته را در کوره قرار داده و زمانی که دمای کوره به حد پختن سرامیک رسید، چند بار در آن نمک طعام می‌پاشند (به ازای هر متر مکعب فضای کوره ۲/۵ کیلوگرم نمک طعام). نمک در اثر حرارت به گاز تبدیل شده و فضای کوره را پر می‌کند، سپس با بخار آبی که از سرامیک‌ها بر می‌خیزد ترکیب می‌شود:

$$۲NaCl + H_۲O \longrightarrow ۲HCl + Na_۲O$$

اسید کلریدریک همراه با گازهای کوره از آن خارج می‌شود و $Na_۲O$ باقی مانده با $Al_۲O_۳$ و $SiO_۲$ موجود در سرامیک ترکیب شده و به صورت لایه نازک شیشه‌ای مانند روی سرامیک را می‌پوشاند و آن را آب‌بندی و براق می‌کند. چون جنس لعاب و سرامیک یکی است بنابراین کاملاً به هم جوش خورده و یکپارچه می‌شوند. علاوه بر این به علت یکی بودن ضریب انبساط حرارتی آن‌ها، لعاب ترک نمی‌خورد و نمی‌ریزد. همچنین لعاب نمکی از لعاب شیشه‌ای نازک‌تر و ارزن‌تر است.

٤.٤.۲۱. لاک‌ها – Lac

لاک‌ها نیز مواد پوشاننده شفافی هستند که می‌توانند جایگزین جلاها شوند. بسیاری از لاک‌های جدید بر پایه نیترو سلولز ساخته می‌شوند. اجزای اصلی این لاک‌ها عبارتند از: بدنه رنگ سلولزی که به آن‌ها قدرت و سختی می‌دهد، و یک رزین سخت که معمولاً رزین طبیعی یا صمغ استر است. این رزین میزان براقیت و چسبندگی لاک را افزایش می‌دهد اما استحکام کششی و دوام خارجی آن را کم می‌کند. لذا برای حل این مشکل از نرم کننده برای افزایش دوام و خاصیت کشسانی لاک‌ها استفاده می‌کنند.

۵.٤.۲۱. فیلرها (پرکننده‌ها) – Filler

فیلرها موادی هستند که روی سطح نهایی چوب به کار می‌روند تا با پر کردن حفره‌ها و رگه‌های باز سطح چوب، آن را صاف و یکدست کرده و برای جلا دادن یا لاک زدن آماده کنند. فیلرها بر دو نوعند: فیلرهای خمیری برای چوب‌های رگه باز و فیلرهای مایع برای چوب‌های رگه بسته.

تصویر شماره ۱۳.۲۱. پر کننده

٦.٤.۲۱. مواد رنگرزی

از این مواد برای نمایان کردن بافت و رگه‌های سطح چوب، واضح‌تر کردن تضاد رنگ رگه‌ها، تغییر رنگ و حتی تقلید از رنگ چوب‌های گران قیمت روی سطوحی که فاقد رنگ یا رگه مناسب‌اند، استفاده می‌شود. ولی پوشش محافظتی را ارائه نمی‌دهند.

۷.٤.۲۱. سیلرها و کیلرها

سیلرها و کیلرها نیز موادی بر پایه نیترو سلولزی می‌باشند. سیلرها جهت پر کردن منافذ و خلل و فرج چوب قبل از رنگ نهایی به کار می‌روند و باعث استحکام و سختی بیشتر رنگ‌های نهایی نیز می‌شوند. سیلرها کرم رنگ بوده و با تینر رقیق می‌شوند و نباید در کنار حرارت مستقیم یا زیر نور مستقیم خورشید به کار روند چون طبله می‌کنند. سیلر پس از خشک شدن (بین ۱۵ دقیقه تا ۲ ساعت) مات می‌شود، در برابر رطوبت مقاوم است و قابل سنباده کردن است.

کیلر نیز همانند سیلر است با این تفاوت که رنگ آن شفاف بوده و پس از خشک شدن براق می‌شود. بنابراین می‌توان از آن به عنوان رنگ رویه و نهایی استفاده کرد. ولی از معایب آن این است که پس از مدتی رنگ آن پوست پرتقالی می‌شود. برای رفع این مشکل می‌توان سطح کیلر را با پارچه آغشته به مقدار کمی حلال پرداخت کرد.

امروزه سیلر و کیلر آکریلیک بر پایه آب تولید شده است که مزیت‌هایی به شرح زیر نسبت به سیلرها و کیلرهای نیترو سلولزی دارند:

- در ساخت مواد آکریلیک هیچ گونه تینر و مواد سمی استفاده نمی‌شود و در هنگام مصرف نیز نیازی به تینرهای مختلف ندارند و برای رقیق کردن آن‌ها از آب استفاده می‌شود.
- به علت استفاده از آب به جای تینر، برای رقیق کردن، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌ترند.
- سیلر و کیلر آکریلیک فاقد بوی نامطبوع بوده و برای سلامت انسان و محیط زیست خطر زا نیستند.
- خطر آتش سوزی ندارند لذا می‌توان از آن‌ها در محیط بسته استفاده کرد.
- بر خلاف پوشش‌های نیترو سلولزی شکننده نیستند و از انعطاف بالایی برخوردارند.
- در برابر آب و شرایط جوی نامطلوب به خوبی مقاومت دارند و پس از سخت شدن کامل، می‌توان با آب سطح کار را شستشو داد و هیچ گونه سفیدکی در سطح ایجاد نمی‌شود.
- در برابر آفتاب مقاومت بالایی دارند، بنابراین برای سطوح چوبی خارج از ساختمان نیز قابل استفاده هستند.
- قابلیت سنباده خوری آن‌ها از سیلرها و کیلرهای نیترو سلولزی بهتر است و در اثر سنباده کشیدن، بر روی سطح کار پودر زیاد ایجاد نمی‌شود.
- پس از سخت شدن و گذشت زمان تغییر رنگ نمی‌دهند (زرد نمی‌شوند).

۸.٤.۲۱ شلاک – Shellac

شلاک تنها پوشش مایع محافظی است که از رزین حیوانی ساخته می‌شود. این رزین از ترشح یک حشره هندی به نام «لاک» به دست می‌آید. رزین حاصل را در الکل حل می‌کنند تا از آن شلاک نارنجی رنگ به دست آید. این ماده در نور شدید آفتاب بی‌رنگ می‌شود و آب‌های قلیایی نیز آن را سفید و نرم می‌کنند. شلاک به سرعت خشک شده و

پوشش محکمی با خاصیت کشسانی مناسب به وجود می‌آورد. این محصول بر روی چوب، شیشه، فلز و چرم قابل اجراست.

تصویر شماره ۱٤.۲۱. شلاک

۹.٤.۲۱. کندرای

کندرای ترکیبی از مواد معدنی، آلی و رزین سیلیکون تکامل یافته‌ای است که عموماً جهت محافظت از نمای ساختمان‌ها، روی آن‌ها اجرا می‌شود. کندرای به داخل مصالح نفوذ کرده و سوراخ‌های ریز آن‌ها و ملات را با لایه نازکی از سیلیکون می‌پوشاند. بدین ترتیب راه نفوذ آب به داخل مصالح بسته می‌شود. همچنین این ماده نیروی جاذبه سطحی را که باعث جذب آب به داخل مصالح می‌شود، معکوس کرده و مصالح به جای جاذب آب، دافع آب می‌شوند. علاوه بر این کندرای مانع عمل تنفس دیوارها نشده و شکل ظاهری آن‌ها را تغییر نمی‌دهد. این ماده در هر درجه حرارتی قابل مصرف است و در برابر اسیدها و بازها نیز مقاوم است. کندرای را می‌توان بر روی سطوح کاهگل، خشت، آجر، سفال، سنگ، بتن و... اجرا کرد و در صورتی که بر روی شیشه یا فلزات ریخته شود، با پارچه آغشته به تینر تمیز می‌شود.

۵.۲۱. نگهداری و انبار کردن رنگ‌ها و پوشش محافظ

رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ را باید در انبارهای سر پوشیده و به دور از حرارت و نور آفتاب شدید نگهداری کرد. همچنین باید انواع مختلف پوشش‌ها را جدا از یکدیگر قرار داد و در مورد موادی که اشتعال زا هستند نکات ایمنی را رعایت کرد. در صورت مطلوب بودن شرایط نگهداری، اکثر رنگ‌ها و پوشش‌های محافظ را می‌توان تا یک سال در انبار نگهداری کرد.

منابع

- کباری، سیاوش (۱۳۷۸). مصالح شناسی، تهران، انتشارات دانش و فن.
- فروتنی، سام (۱۳۸۳). مصالح و ساختمان، تهران، انتشارات روزنه.
- طباطبائی، میر محمد کریم (۱۳۸۰). مصالح ساختمانی، تهران، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- تابش، حسن (۱۳۸۰). مصالح و فرآورده‌های ساختمانی، تهران، نشر ارتباط.
- حامی، احمد (۱۳). مصالح ساختمان، تهران،
- گروه مؤلفان (۱۳۸۵). مصالح ساختمانی «یادنامه استاد احمد حامی»، تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- تقی زاده (۱۳).
- عایق‌های حرارتی (۱۳۸۲). تهران، انتشارات سازمان بهره‌وری انرژی ایران.
- ریاحی، بزرگمهر (۱۳۷۹). واژه نامه ساختمان، تهران، انتشارات سخن.
- فصلنامه سنگ (۱۳۷۱). تعاریف و واژه‌های استاندارد سنگ تزئینی، وزارت معادن و فلزات.
- محمدی تهرانی، فریبرز؛ فرهودی زاده، علی (۱۳۸۳). راهنمای جامع لیکا «دانه رس منبسط شده و فرآورده‌های آن»، تهران، نشر نیک آیین.
- ویسه، سهراب (۱۳۸۷). عایق‌های رطوبتی بام، تهران، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

منابع اینترنتی

- انجمن علوم خاک ایران. www.soiliran.org
- راهنمای جامع لیکا. www.leca.ir
- پرتال صنایع کاشی و سرامیک ایران. www.irantiles.com
- راهنمای صنایع سیمان ایران. www.cementiran.com
- اولین پایگاه هم اندیشی صنعت سیمان ایران. www.cementgroup.ir
- انجمن بتن ایران. www.ici.ir
- پایگاه اطلاع رسانی فلزات. www.felezet.com
- انجمن کامپوزیت ایران. www.ircomas.org
- مرکز اطلاعات عایق‌های حرارتی ایران. www.persian.ticir.ir
- ایران آکوستیک. www.iranacoustic.com
- دانشنامه آزاد ویکی پدیا www.fa.wikipedia.org
- دانشنامه رشد. www.daneshnameh.rosh.ir
- پایگاه علمی همکلاسی. www.hamkelasy.com
- پایگاه اطلاع رسانی معماری و شهرسازی ایران. www.aruna.ir
- پایگاه اطلاع رسانی صنعت ساختمان – نوبنیان. www.nobonyan.com
- پورتال صنعت ساختمان. www.irnest.ir
- مصالح ایران. www.masalehiran.com
- مرکز عمران ایران. www.irancivilcenter.com
- مرجع دانش سیویلیکا. www.civilica.com