

تکنولوژی بتن نوین

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکترای عمران سازه

انواع بتن را می توان از جهات مختلف بررسی نمود. مثلاً تقسیم بندی براساس مقاومت فشاری، خواص کارایی و ... در ادامه یکی از جامع ترین تقسیم بندی های بتن آورده شده است که **انواع بتن** متناسب با نوع کاربریشان تقسیم بندی شده اند. هر کدام از این بتن ها خواص و کاربردهای مخصوص به خود را دارند که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

یکی از ویژگی های مهم بتن که باعث گسترده تر شدن دامنه کاربرد آن شده است، وجود انواع مختلفی از آن است که هر کدام برای شرایط کاری و نیازهای متفاوتی مناسب هستند. مطالعات انجام شده در زمینه بتن منجر به تولید انواع مختلفی شده است که عملکرد و پایداری فوق العاده ای را در شرایط مختلف از خود نشان می دهند. **انواع مختلفی از بتن** وجود دارند که براساس مصالح به کار رفته، طرح اختلاط، روش ساخت، محل کاربرد، نوع واکنش هیدراتاسیون و ... از یکدیگر متمایز می شوند. در ادامه تلاش شده است تا تقریباً تمام بتن های موجود در حال حاضر توضیح داده شوند.

بتن معمولی

این بتن از ترکیب مواد اصلی یعنی سیمان، آب و سنگدانه تولید می شود. مقاوم این نوع بتن بین 10 MPa تا 40 MPa متغیر است. در بتن معمولی زمان گیرش اولیه بین ۳۰ تا ۹۰ دقیقه است که این زمان وابسته به خواص سیمان مورد استفاده و شرایط آب و هوایی محل ساخت و ساز می باشد.

بتن غیر مسلح

این نوع بتن هیچ گونه المان تسلیح کننده ای ندارد. اجزای اصلی آن سیمان، سنگدانه و آب هستند. طرح اختلاط رایج برای ساخت این نوع از بتن ۱:۲:۴ است. وزن مخصوص بتن غیر مسلح بین ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و مقاوم آن بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. این نوع بتن بیشتر برای ساخت پیاده رو ها به کار می رود و به صورت کلی هر جا به مقاومت کششی زیادی نیاز نباشد می توان از این نوع بتن استفاده نمود. پایداری این نوع بتن معمولاً خوب است.

بتن مسلح

بتن مسلح در واقع همان بتن معمولی است که المان های تسلیح کننده جهت تحمل تنش های کششی به آن اضافه شده است. بتن غیر مسلح در فشار قوی و در کشش ضعیف است. بنابراین با جایگذاری المان های تسلیح کننده در بتن، وظیفه تحمل تنش های کششی به آن ها واگذار می شود. در واقع بتن مسلح نتیجه همکاری بتن غیر مسلح و المان های تسلیح در تحمل بار است.

المان های فولادی مورد استفاده در بتن جهت تسلیح می توانند به شکل راد، میلگرد و یا شبکه باشند. حتی از الیاف نیز می توان به عنوان المان تسلیح استفاده نمود. فارغ از نوع تسلیح کننده استفاده شده در بتن، بسیار مهم است که از اتصال مناسب بتن و المان های تسلیح اطمینان حاصل گردد. این اتصال مناسب تضمین کننده مقاومت و پایداری بتن حاصله است.



بتن پیش تنیده

بیشتر پروژه های بتنی عظیم با استفاده از بتن پیش تنیده اجرا می شوند. در این روش میلگردها و تاندون های استفاده شده در بتن پیش از اعمال بار سرویس سازه تحت تنش قرار می گیرند.

در هنگام ساخت و اجرای بتن، این میلگردها جایگذاری شده و از دو طرف محکم نگه داشته می شوند. به محض این که بتن محکم شود، آن بخش تحت تنش فشاری قرار می گیرد. این فرآیند ایجاد تنش اولیه در بتن باعث می شود قسمت های پایینی بتن در برابر کشش مقاومت بیشتری داشته باشند. فرآیند پیش تنیده کردن بتن به تجهیزات سنگین و توانایی اجرایی بالایی نیاز دارد. این نوع بتن برای ساخت پل ها، سازه های تحت بارهای سنگین و بام های با دهانه بزرگ به کار می رود.



بتن پیش ساخته

المان های مختلف سازه ای را می توان با ویژگی های مختلفی در کارخانه ساخته و تنها در محل کارگاه آن ها را مونتاژ نمود. این واحدهای بتنی، بتن پیش ساخته نامیده می شوند. مثال هایی از قطعات بتنی پیش ساخته؛ بلوک های بتنی، پله ها، دیوارها و شمع های پیش ساخته، تیرهای بتنی و ... هستند. استفاده از این قطعات مزیتی دارد و آن هم ساخت بسیار سریع است، زیرا تنها نیاز است در محل کارگاه آن ها را مونتاژ نمود. همچنین از آن جایی که تولید قطعات بتنی در کارخانه انجام می شود، کیفیت نیز بسیار بالاتر است. تنها نکته ی مهم اهمیت انتقال صحیح این قطعات از محل تولید به کارگاه است.



بتن سبک

بتنی که وزن مخصوص آن کمتر از ۱۹۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب باشد، در دسته بتن های سبک جای می گیرد. استفاده از سنگدانه های سبک در بتن منجر به تولید بتن سبک می شود. سنگدانه ها مهم ترین عامل مشخص کننده وزن مخصوص بتن هستند. به عنوان مثال هایی از سنگدانه های سبک می توان به سنگ پا، پرلیت و پوکه معدنی اشاره کرد.

بتن سبک برای محافظت از سازه های فولادی و همچنین ساخت عرشه پل های با دهانه های بزرگ کاربرد دارد. همچنین در برخی موارد ممکن است در ساختمان ها نیز به کار روند.



بتن سنگین

بتنی که وزن مخصوص آن بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است، بتن سنگین نامیده می شود. برای ساخت این نوع بتن از سنگدانه های سنگین استفاده می شود. برای ساخت این نوع بتن از قطعات خرد شده سنگ به عنوان سنگدانه درشت استفاده می شود. رایج ترین سنگدانه مورد استفاده برای ساخت این نوع بتن، باریت است. این نوع سنگدانه ها بیش از هر محل دیگری برای ساخت نیروگاه های اتمی و پروژه های مشابه به کار می روند. این سنگدانه سنگین به سازه کمک می کند در برابر تابش های رادیو اکتیو مختلف مقاوم باشد.

بتن هوادار

در این نوع از بتن بین ۳٪ تا ۶٪ بتن هوا محبوس می شود. محبوس کردن هوا در بتن به کمک اضافه کردن فوم یا هوا و یا افزودنی های بتنی هوازا انجام می گیرد. از عوامل هوازا می توان به رزین، الکل و اسیدهای چرب اشاره کرد.

بتن آماده

بتنی که در یک کارگاه بتن ساخته و آماده می شود، را بتن آماده می گویند. این بتن با استفاده از میکسر به محل اجرا آورده می شود. این بتن به محض این که به محل اجرا می آید، بدون نیاز به هیچ گونه عملیات دیگری مورد استفاده قرار گیرد. تفاوت بتن آماده با بتنی که در همان محل اجرا ساخته می شود در کیفیت بالای آن است، زیرا با دستگاه های مخصوص ساخته شده و امکان کنترل و نظارت روی خواص مختلف آن وجود دارد. تولید این بتن نیاز به کارگاه مرکزی تولید بتن (بچینگ بتن) دارد. در صورتی که نیاز باشد بتن مورد نیاز پروژه در همان محل تولید شود، این کارگاه باید در فاصله ی قابل قبولی از محل اجرا احداث گردد. اگر فاصله ی محل تولید تا محل اجرای بتن زیاد باشد، حمل و نقل بتن زمان زیادی گرفته و بتن سخت می شود. البته این مشکل را می توان با استفاده از افزودنی های دیرگیرکننده تا حدی برطرف نمود.



بتن پلیمری

در مقایسه با بتن معمولی، در بتن پلیمری، سنگدانه های بتنی به جای سیمان با پلیمر به یکدیگر اتصال می یابند. تولید بتن پلیمری باعث کاهش حجم حفره های موجود بین سنگدانه های درون بتن می گردد. در نتیجه ی استفاده از این روش برای ساخت بتن، دانه بندی سنگدانه ها به گونه ای انجام می شود که کم ترین فضای خالی و در نتیجه بیشترین چگالی حاصل شود.

بتن های پلیمری خود سه دسته هستند:

- بتن آغشته به پلیمر
- بتن با سیمان پلیمری
- بتن جزئی پلیمری شده

بتن با مقاومت بالا

بتن هایی که مقاومت آن ها بالاتر از 40 MPa است، بتن با مقاومت بالا نامیده می شوند. این مقاومت بالا از طریق کم کردن نسبت آب به سیمان پایین تر از 0.35 به دست می آید. میزان تولید کریستال های کلسیم هیدروکسید که در زمان هیدراتاسیون تولید شده و مهم ترین نگرانی و مشکل برای خواص مقاومتی بتن است، را نیز می توان با استفاده از فوم سیلیکا کاهش داد. از لحاظ ویژگی های دیگر نیز باید توجه داشت که بتن با مقاومت بالا، روان گرایی کمتری دارد که یک مشکل محسوب می شود.

بتن با عملکرد بالا:

برای آن که بتنی در این دسته قرار بگیرد باید حداقل ویژگی هایی را داشته باشد که لزوماً فقط ویژگی های مقاومتی نیست. باید توجه داشت که تمام بتن های با مقاومت بالا می توانند با عملکرد بالا نیز باشند. ولی تمام بتن های با عملکرد بالا (HPC) لزوماً مقاومت بالایی ندارند. ویژگی هایی که باعث می شود بتن با عملکرد بالا در نظر گرفته شود، عبارتند از:

- کسب مقاومت در سن پایین
- اجرای راحت بتن
- نفوذپذیری و چگالی بتن
- گرمای حاصل از هیدراتاسیون
- عمر بتن و پایداری آن
- سختی و خواص مکانیکی در طول عمر بتن
- ویژگی های محیطی

بتن خود متراکم

زمانی که بتن ریخته شده با وزن خود متراکم شود، بتن خود متراکم نامیده می شود. در این نوع بتن نیاز به ویبره جداگانه برای جای دادن بتن نیست. این بتن کارایی بالایی دارد. معمولاً اسلامپ آن بین 650 تا 750 است. این بتن به دلیل کارایی بالا بتن ریزشی نیز نامیده می شود. این نوع بتن برای محل هایی که کار بتنی حجیمی قرار است اجرا شود، بسیار مناسب اند.

شاتکریت

تفاوت این نوه بتن فقط در نحوه ی اجرای آن است. در این روش بتن با کمک نازل بر روی قاب و یا یک سازه ی آماده شده پاشیده می شود. از آن جایی که پاشش بتن به کمک فشار هوای زیاد انجام می شود، فرآیند اجرا و فشرده کردن بتن همزمان صورت می پذیرد.

بتن نفوذپذیر

بتن نفوذپذیر بتنی است که به گونه ای طراحی می شود که به آب اجازه می دهد از میان آن عبور کند. در این نوع بتن معمولاً بین 15% تا 20% حجم از فضاهای خالی تشکیل شده است. این بتن از طریق فرآیندهای خاصی، ترکیب و اجرا می شود. از آن برای ساخت سنگ فرش پیاده رو ها و جاده هایی استفاده می شود که احتمال سیل زیاد است. سیل از میان فضاهای خالی این بتن عبور کرده و به کانال های زیر زمینی می رسد. بنابراین با استفاده از این نوع بتن در چنین محل هایی مشکل زهکشی آب برطرف می گردد.

بتن مکیده شده

بتن با آبی بیش از مقدار مورد نیاز اجرا می شود. سپس پیش از گیرش بتن، آب اضافه با استفاده از پمپ خلا مکیده می شود.

در نتیجه استفاده از این نوع بتن، سازه بتنی زودتر آماده می شود. این نوع بتن مقاومت ۲۸ روزه خود را ظرف ۱۰ روزه دست می آورد و مقاومت این نوع سازه در برابر تخریب ۲۵٪ بیشتر از سازه های با بتن معمولی است.

بتن قابل پمپاژ

یکی از خواص اصلی بتنی که در ساخت و سازه های وسیع خصوصا برای ساخت برج های بلند و آسمان خراش ها استفاده می شود، قابلیت پمپاژ آن است. اگرچه اکثر بتن ریزی ها حتی در ساختمان های کوچک نیز با استفاده از پمپاژ انجام می شود، منظور از بتن قابل پمپاژ بتنی است که بتوان را تا ارتفاعات بالا پمپاژ نمود. بتنی که با کمک پمپاژ اجرا می شود، باید کارایی کافی را داشته باشد تا بتواند به راحتی درون پمپ انتقال یابد. پمپ مورد استفاده معمولا به صورت منعطف است تا بتوان به آسانی بتن را در محل مورد نظر اجرا نمود. بتن مورد استفاده باید به حالت مایع باشد و سنگدان های ریز و آب زیادی داشته باشد که حفرات را پر کنند. هر قدر مصالح مورد استفاده ریزتر باشد، ترکیب حاصله را راحت تر می توان اجرا نمود. دانه بندی سنگدانه درشت نیز باید به گونه ای انتخاب شود که پیوسته باشد.

بتن طرح دار

بتن طرح دار در اصل بتنی مناسب برای کارهای معماری است که طرح های مختلفی شبیه به سنگ های طبیعی، گرانیت و کاشی با کمک آن ایجاد می شود. این طرح ها زمانی روی بتن اجرا می شوند که بتن در حالت مایع است. رنگ ها و طرح های مختلف را با کمک این بتن می توان به گونه ای اجرا نمود که مشابه سنگ های طبیعی به نظر برسد. این نوع بتن برای ساخت جاده ها، کف های داخلی ساختمان و ... مورد استفاده قرار می گیرد.



بتن آهکی

این نوع بتن با جایگزین کردن سیمان با آهک به دست می آید. مهم ترین کاربرد این نوع بتن در کف طبقات، گنبدها و همچنین طاق ها است. برخلاف سیمان این محصول مزایای محیطی و سلامتی مختلفی دارد. این نوع بتن تجدید پذیر بوده و به راحتی تمیز می شود.

بتن آسفالتی

بتن آسفالتی یک مصالح کامپوزیت است که ترکیبی است از سنگدانه و آسفالت. معمولا برای روکش جاده ها، پارکینگ ها، فرودگاه ها و همچنین قسمت های داخلی سدها استفاده می شود.

بتن کوبیده شده با دستگاه

این نوع بتن با استفاده از غلتک های سنگین اجرا و متراکم می شود. این نوع بتن معمولا برای گودها و پر کردن حفره ها مورد استفاده قرار می گیرد. این بتن ها معمولا حجم سیمان کمتری دارند. بعد از متراکم شدن، این بتن ها چگالی بالایی دارند و پس از گیرش به شکل بلوک یکپارچه محکمی در می آیند.

بتن زودگیر

همان گونه که از نام آن پیداست این نوع بتن تنها ساعاتی پس از تولید به مقاومت قابل توجهی می رسد. بنابراین قالب ها را می توان به آسانی جدا نمود و در نتیجه ی آن ساخت و ساز با سرعت بالاتری انجام می شود. یکی از مهم ترین کاربردهای این نوع بتن تعمیر جاده ها است، زیرا تنها پس از ساعاتی می توان از آن استفاده نمود.

بتن شیشه ای

شیشه بازیافت شده را می توان به عنوان یکی از اجزای بتن به کار برد. در نتیجه ی آن بتن شیشه ای تولید می شود. این نوع بتن نمای زیباتری نسبت به بتن معمولی دارد. همچنین این نوع بتن می تواند مقاومت طولانی مدتی داشته و حتی نسبت به بتن معمولی عایق دمایی بهتری باشند.

روش های تخریب بتن

تنوع زیادی دارند. از تخریب به کمک مواد شیمیایی و اسید گرفته تا تخریب به کمک دستگاه های پنوماتیکی مختلف. برای حذف و تخریب بتن آسیب دیده و جایگزینی آن با بتن جدید چندین حالت ممکن است روی دهد. معمولاً تعمیر بتن با روکش گذاری روی آن و دوختن بتن پیش از بتن ریزی مجدد روی آن یک تعمیر کوتاه مدت به حساب می آید. زیرا به زودی ویژگی های بتن آسیب دیده ای که قصد تعمیر آن را داشته اید نمایان می گردند. در این شرایط، تخریب بتن و جایگزینی آن برای اطمینان از بلند مدت بودن تعمیرات توصیه می شود.

کاشت میلگرد

بنابراین ممکن است بپرسید تحت چه شرایطی نیاز به تخریب بتن وجود دارد؟ معمولاً زمانی که ترک های عمیق و زیادی وجود دارند و شرایط دال به گونه ای است که باید بتن تخریب و جایگزین گردد. همچنین، در دال های بتنی که حفرات زیادی دارند و یا ورقه ورقه شده اند، تخریب و جایگزینی بتن پیشنهاد مقرون به صرفه تر و قابل اطمینان تری نسبت به تعمیر مجدد سطح بتن به نظر می رسد. با توجه به گستردگی روش های تخریب بتن و تنوع آن ها در ساز و کار، انتخاب روش مناسب برای تخریب بتن به دانش و آگاهی کافی از انواع این روش ها دارد.

انواع روش های تخریب بتن

روش های مختلفی برای تخریب بتن وجود دارند. تخریب بتن در پروژه های مقاوم سازی در واقع اولین مرحله به حساب می آید.

روش های تخریب بتن: تخریب با کمک دستگاه های پنوماتیکی و هیدرولیکی

این دستگاه های تخریبی به صورت رایج برای تخریب بتن پیاده رو ها و جاده ها، عرشه پل ها و فنداسیون ها مورد استفاده قرار می گیرد. میزان تخریب با این روش معمولاً به مقاومت بتن، اندازه چکش دستگاه تخریب، شرایط کار و میزان میلگردهای استفاده شده در بتن بستگی دارد. دستگاه های پنوماتیکی و هیدرولیکی می توانند قدرت تخریب بالایی داشته باشند و حتی در برخی موارد خصوصاً برای شرایط دسترسی دشوار مانند زیر آب از راه دور کنترل شوند.

- قابلیت مانور و دسترسی آسان
- قابلیت کنترل از راه دور
- قابلیت استفاده برای تخریب در زیر آب
- برخی محدودیت های این روش شامل تولید صدا، گرد و غبار و لرزش می شود.



روش های تخریب بتن: تخریب تحت فشار

زمانی که تخریب بدون آلودگی و گرد و غبار، کنترل شده و کم سر و صدا مد نظر باشد، تخریب تحت فشار – مکانیکی و شیمیایی – بهترین گزینه است. با فشار مکانیکی، بتن با استفاده از قدرت زیاد و دستگاه های جدا کننده که با فشار هیدرولیک ایجاد شده توسط یک موتور کار می کنند، خرد می شود. در روش شیمیایی، مواد شیمیایی منبسط شونده درون یک الگوی خاصی از سوراخ ها ریخته می شوند و به کمک انبساط این دوغاب بتن تخریب می گردد. بتن تخریب شده سپس به راحتی توسط دست و یا جرثقیل از محل برداشته می شود. این روش ها برای تخریب بتن با کم ترین آلودگی و سر و صدا کاربرد دارند. تحت هر دو روش سوراخ هایی درون سازه ایجاد شده و نیروی جانبی به بتن وارد می شود که باعث تخریب آن می گردد.

روش های تخریب بتن: تخریب تحت فشار مکانیکی

- ارزان، سر و صدای کم، بدون ایجاد لرزش
- ایجاد سوراخ های اولیه مقداری صدا و لرزش تولید می کند.
- استفاده از دستگاه های کرگیری سر الماسی صدا و لرزش را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد ولی قیمت تمام شده آن گران تر می گردد.
- کنترل جهت حرکت ترک ها و تخریب بتن می تواند با دشواری همراه باشد.
- دستگاه های تخریب دستی و یا ماشینی ممکن است با میلگردهای تسلیح برخورد کنند.

روش های تخریب بتن: تخریب با مواد شیمیایی

- روش پرهزینه تر تخریب با کمک فشار
- می تواند به شکل کنترل شده ای بتن را تخریب نماید.
- بدون سر و صدا، بدون لرزش، بدون گرد و غبار و یا گرد و غبار کم
- تغییرات دمایی زیاد می تواند اثر آن را کاهش دهد.



روش های تخریب بتن: تخریب با استفاده از جرثقیل

این روش یکی از متداول ترین روش های تخریب ساختمان است. در این روش یک آونگ با وزن زیاد با کمک جرثقیل مورد استفاده قرار می گیرد. این روش برای تخریب سازه های بنایی و بتنی کاربرد دارد. در برخی موارد ممکن است به جای ضربه زدن به ساختمان با استفاده از این توپ سنگین وزن، توپ روی ساختمان رها گردد. با این حال این، این فرآیند برای هر کاربردی مناسب نبوده و می تواند با سر و صدای زیاد، گرد و غبار و لرزش زیاد همراه باشد. همچنین تنها اپراتورهای کرین با مهارت بالا می توانند این روش را اجرا کنند.



روش های تخریب بتن: تخریب با کمک مواد منفجره

زمانی که حجم زیادی از بتن باید تخریب گردد، از مواد منفجره استفاده می گردد. این مواد منفجره درون سوراخ هایی مشخص قرار داده می شوند و پس از انفجار، سازه را به قطعات کوچکتر تبدیل می کنند. این روش بر اساس نتیجه مورد نظر می تواند به شکل های مختلفی اجرا گردد. لرزش و انفجار هوای اطراف در این روش می تواند باعث آسیب به سازه های مجاور گردد و به همین دلیل اجرای این روش باید لزوماً با رعایت استانداردهای بالا و الزامات ایمنی همراه باشد.

برش بتن

در این روش، قطعات بتنی با استفاده از اره، لیزر حرارتی و یا واترجت به قطعات کوچک تر تبدیل شده و قطعات کوچک به کمک جرثقیل برداشته می شوند. این روش کم ترین تاثیر را بر سازه های اطراف داشته و آلودگی و سر و صدای کمی ایجاد می کند. این روش، برای تخریب بخش خاصی از سازه مانند دیوار و یا دال بسیار مناسب است. روش واترجت می تواند برای تخریب یک محدوده و یا یک مسیر مستقیم مورد استفاده قرار بگیرد. از طرف دیگر لیزر حرارتی بر روی میلگردهای تسلیح به خوبی عمل کرده و آلودگی و لرزش ایجاد نمی کند.

برش بتن با کمک واترجت

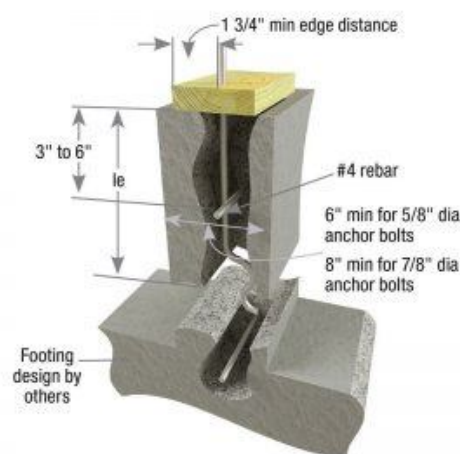
- گرد و غبار را به حداقل رسانده و خطر گرد و غبار و یا آتش سوزی را از بین می برد.
- می تواند برای تخریب یک محدوده و یا تخریب یک مسیر مستقیم مورد استفاده قرار گیرد.
- در هنگام برش نیاز به سیستم برش و همچنین سیستم کنترل آب می باشد.

اجرای انکر بولت های مکانیکی و شیمیایی

اجرای انکر بولت های مختلف با چالش های متفاوتی رو به رو است. هر کدام از این انکر بولت ها بسته به نوع آن ها روش اجرای مخصوص به خود را دارند که با رعایت آن ها می توان از عملکرد صحیح انکر بولت اطمینان حاصل نمود. در ادامه روش اجرای انکر های مکانیکی و شیمیایی مختلف را به صورت جامع توضیح خواهیم داد. اما یکی از نکاتی که باید پیش از در نظر گرفتن روش اجرا آن را رعایت نمایید، انتخاب انکر متناسب با انتظارات است که می توانید در این باره در مقاله انتخاب انکر مناسب بیشتر بخوانید.

اجرای انکر بولت های مکانیکی

نام دیگر **انکرهای مکانیکی**، انکرهای انبساطی است. توانایی نگه دارندگی در آن‌ها ناشی از اصطکاک است. اصطکاک با فشار رو به بیرونی که در نتیجه انبساط انکر به دیوار وارد می‌گردد، ایجاد می‌شود. تمام انکرهای انبساطی ساختار مشابهی دارند. تنها موردی که تفاوت دارد، پیچ بتنی است. پیچ بتنی با ورود به سوراخ ایجاد رزوه می‌کند.



مراحل اجرای انکر بولت های بتنی

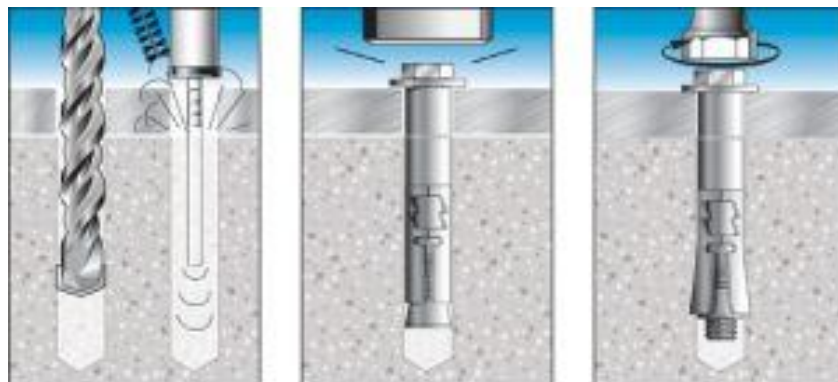
برای اجرای انکر بولت بتنی، باید درون تکیه گاه سوراخ ایجاد کرد. سر دریل‌های مورد استفاده برای سوراخ کاری باید الماسی باشد زیرا باید تلورانس آن‌ها با تلورانس انکرها برابر است. از دریل چکشی نیز می‌توان استفاده گردد، زیرا سوراخ کاری را به درستی انجام داده و طراحی آن به گونه‌ای است که با ضربه زدن تکیه‌گاه را سوراخ می‌کند. سوراخ باید بین ۷ تا ۱/۳ میلی‌متر بیش‌تر از انکر درون تکیه‌گاه فرو رود. این کار اجازه می‌دهد موادی که ریزش می‌کنند، مانع از قرار گرفتن انکر درون سوراخ نشوند. بعد از این که سوراخ کاری انجام شد، سوراخ باید از آلودگی‌ها، مواد خارجی یا گرد و خاک تمیز گردد.

اجرای انکر بولت های گوه‌ای: تنها برای استفاده در بتن

- با استفاده از یک دریل با سر الماسی یک سوراخ ایجاد کنید. سایز مته مورد استفاده باید با سایز انکر برابر باشد. سوراخ را ۱۳ میلی‌متر عمیق‌تر از عمق نفوذ انکر حفر نمایید تا مطمئن شوید حداقل عمق کاشت رعایت می‌گردد. سوراخ کاری می‌تواند با قرار دادن نگه‌دارنده در محل خود نیز صورت پذیرد. باید اطمینان یافت که قطر مته مورد استفاده به گونه‌ای است که درون سوراخ نگه‌دارنده محکم می‌گردد.
- سوراخ را با استفاده فرچه، هوای فشرده شده، ویکوم و یا هر روش دیگری تمیز نمایید.
- واشر و مهره را بر رزوی انکر گوه‌ای قرار دهید و اطمینان یابید مهره بر روی رزوه‌های آخر قرار گرفته است. (این کار باعث می‌شود زمانی که انکر گوه‌ای داخل سوراخ بتن شد، رزوه‌ها آسیب نبینند.)
- انکر گوه‌ای را از سوراخ نگه‌دارنده عبور دهید و وارد تکیه‌گاه کنید. سوراخ نگه‌دارنده باید به گونه‌ای باشد که انکر به سختی عبور کند. با استفاده از چکش این کار را تا زمانی ادامه دهید که مهره و واشر با نگه‌دارنده در تماس باشند. اهمیت دارد که رزوه‌ها پایین‌تر از سطح تکیه‌گاه یا نگه‌دارنده بوند.
- مهره را با دست سفت نمایید.
- با استفاده از آچار، مهره را سفت نمایید.

اجرای انکر بولت های غلافی: برای استفاده در بتن، آجر یا بلوک

- با استفاده از یک دریل با سر الماسی یک سوراخ ایجاد کنید. سایز مته مورد استفاده باید با سایز انکر برابر باشد. سوراخ را ۱۳ میلی متر عمیق تر از عمق نفوذ انکر حفر نمایید تا مطمئن شوید حداقل عمق کاشت رعایت می گردد. سوراخ کاری می تواند با قرار دادن نگه دارنده در محل خود نیز صورت پذیرد. باید اطمینان یافت که قطر مته مورد استفاده به گونه ای است که درون سوراخ نگه دارنده محکم می گردد.
- سوراخ را از آلودگی های ایجاد شده به واسطه ی سوراخ کاری پاک نمایید.
- مهره و واشر انکرهای غلافی بر روی آن ها قرار گرفته است. مهم است که مهره در انتهای رزوه ها قرار گیرد تا از رزوه ها در زمان چکش کاری محافظت نماید.
- انکر غلافی را از درون سوراخ نگه دارنده عبور دهید و وارد سوراخ تکیه گاه نمایید. با استفاده از چکش انکر غلافی را وارد تکیه گاه کنید به گونه ای که واشر و مهره محکم با نگه دارنده در تماس باشند.
- مهره را با دست سفت نمایید.
- مهره را ۲-۴ بار با آچار بپیچانید تا از محکم بودن آن اطمینان یابید.



اجرای انکر بولت های دراپ این - مخصوص استفاده در بتن

- منظور از قطر در این انکرها قطر داخلی است. سوراخی که باید ایجاد شود باید هم اندازه ی قطر خارجی انکر باشد. باید از مته های سر الماسی استفاده گردد. سوراخ باید ۷ میلی متر عمیق تر از عمق نفوذ انکر ایجاد شود. زمانی که نگه دارنده سر جای خود قرار گرفته است نمی توان سوراخ کاری را انجام داد، زیرا قطر سوراخ از قطر انکری که درون آن قرار می گیرد بیش تر است. برای استفاده از انکرهای دراپ این، نگه دارنده را در جای خودش قرار دهید، محل سوراخ کاری را علامت بزنید، نگه دارنده را بردارید و سپس سوراخ کاری را انجام دهید.
- پیش از ادامه کار سوراخ را از هرگونه آلودگی پاک نمایید.
- انکر را درون سوراخ قرار دهید. برای قرار دادن انکر نیاز به وسایل مربوطه می باشد. وسایل مرتبط با انکرهای دراپ این برای قطر درونی آن ها مناسب هستند. ابزار نصب انکر درون قسمت رزوه شده قرار می گیرد و تا جایی سفت می شود که لبه ی ابزار نصب با لبه ی انکر دراپ این تماس یابد. با این کار می توان از قرارگیری کامل انکر درون بتن اطمینان یافت.
- نگه دارنده را بر روی انکر قرار داده، با عبور دادن یک پیچ از درون آن، آن را به داخل انکر پیچ نمایید.

اجرای انکر بولت های ضربه ای

- در این جا قطر انکر باید با سایز سوراخ برابر باشد. دریل الماسی مناسب باید مورد استفاده قرار گیرد. سوراخ کاری باید ۱۳ میلی متر عمیق تر انجام گیرد تا فضا برای گرد و خاک ایجاد شده در هنگام سوراخ کاری باشد.
- پیش از ادامه کار سوراخ را از آلودگی ها پاک نمایید.

- انکرهای ضربه‌ای باید از درون نگه‌دارنده عبور داده شوند تا زمانی که مهره، واشر و پین آن‌ها در محل قرار گیرد و مهره و واشر با نگه‌دارنده محکم شوند.
- با استفاده از یک چکش با سایز مناسب برای قطر انکر، به پین ضربه بزنید تا پین با سر انکر هم سطح گردد. در این جا نیازی به استفاده از آچار برای سفت کردن انکر نمی‌باشد.

اجرای انکر بولت های لگ شیلد- برای استفاده در بتن، آجر یا بلوک

- لگ شیلدها یک نوع مادگی هستند. قطر طراحی شده آن‌ها همان قطر داخلی پیچی است که درون آن قرار می‌گیرد. سایز سوراخ باید از قطر داخلی بزرگتر باشد. برای سوراخ کاری مته‌ی الماسی باید مورد استفاده قرار بگیرد.
- سوراخ را از هر آلودگی پاک نمایید.
- لگ شیلد را از طرف بسته‌ی آن درون سوراخ قرار دهید.
- در ادامه نگه‌دارنده بر روی آن قرار گرفته و پیچ مربوط به آن از درون نگه‌دارنده عبور داده شده و وارد لگ شیلد می‌گردد. با استفاده از آچار مناسب می‌توان پیچ را سفت نمود.

اجرای انکر بولت های شیمیایی:

اجرای صحیح **انکرهای شیمیایی** یکی از مراحل مهم ساخت سازه‌های بتنی است. عمق نفوذ مناسب، تمیزکاری کامل، استفاده از وسایل و مته‌های صحیح، و استفاده صحیح از مواد شیمیایی برای اطمینان از نتایج بدون نقص اهمیت بالایی دارند. درباره علل استفاده از روش کاشت، ضوابط مهم و ... در مقاله [کاشت میلگرد](#) توضیحات جامعی آورده شده است.

انکر به المانی فولادی اتلاق می‌گردد که یا پیش از گیرش بتن جای گذاری می‌شود (cast in place) و یا پس از سخت شدن بتن درون آن قرار داده می‌شود (post installed). انکرها قابلیت تحمل بار را دارند و شامل انواع مختلفی از جمله: بولت(پیچ)های سردار، بولت‌های قلاب‌دار (بولت‌های J یا L)، گل‌میخ‌های سردار، انکرهای انبساطی یا انکرهای اندکات هستند. فرآیند نصب انکر با استفاده از مته‌ی مناسب که ضوابط آیین نامه را نیز برآورده می‌کند، آغاز می‌شود. این ضوابط به قطر مته وابسته است.

محل دقیق سوراخ مهم است و اندازه‌گیری و شناسایی یک نکته‌ی کلیدی است. تجهیزات شناسایی پیشرفته شامل رادار با قابلیت نفوذ در زمین، اشعه‌ی X و فلزیاب می‌توانند برای مکان یابی موارد جای‌گذاری شده در دال و جلوگیری از برخورد با میلگردها یا کابل‌های پس کشیده مورد استفاده قرار گیرند. در صورت لزوم می‌توان از تجهیزات مخصوص جهت برش عوامل فولادی تسلیح کننده بهره برد ولی پیش از انجام چنین کاری یک مهندس سازه باید بررسی نماید آیا این کار به پایداری سازه لطمه وارد می‌کند یا خیر.



چند توصیه جهت حصول اطمینان از اجرای صحیح انکرها:

رعایت موارد زیر برای اجرای انکر بولت های مختلف خصوصا انکرهای شیمیایی اهمیت زیادی دارد:

اندازه سوراخ:

اندازه‌ی سوراخ باید ملزومات مورد نظر تولیدکننده‌ی چسب شیمیایی را برآورده کند. همچنین مته‌ی مورد استفاده باید برای سوراخ مناسب باشد. بهره‌گیری از دستورالعمل نصب ارائه شده توسط تولید کننده که همراه با انکر ارائه می‌شود و حاوی جزئیاتی مانند روش سوراخ کاری، سایز مته و عمق و قطر سوراخ است، می‌تواند مفید واقع گردد. استفاده از مته با سایز نامناسب می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت باربری انکر گردد.

عمق سوراخ:

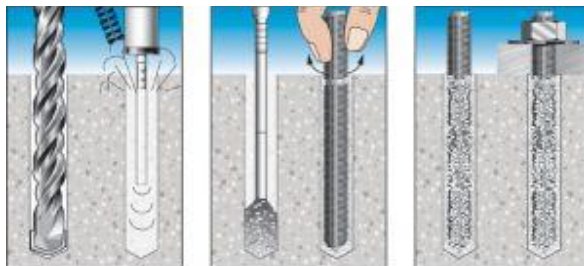
عمق سوراخ وابسته به طول انکر می‌باشد. سوراخ‌هایی که به طور عمودی ایجاد می‌شوند، باید در بازه‌ی ۳ درجه‌ای از زاویه‌ی مورد نظر باشند.

سوراخ کاری:

از گیج اندازه‌گیری عمق تعبیه شده بر روی چکش سوراخ‌کاری برای اندازه‌گیری عمق مناسب برای سوراخ استفاده نمایید. گزینه‌ی دیگر استفاده از یک نوار و یا ماژیک برای مشخص کردن عمق است. مشکل استفاده نوار یا ماژیک دقت آن است. اتصال با بتن می‌تواند موجب جدا شدن نوار گردد و علامت گذاشته شده با ماژیک می‌تواند توسط گرد و خاک پوشیده شود. استفاده از نوار به میزان حدود یک سانتی متر بیشتر از عمق سوراخ می‌تواند راه کار دیگری باشد، ولی این روش نیاز به تمرکز مضاعف جهت جلوگیری از اشتباه را دارد.

تمیز کاری:

آماده سازی سوراخ احتمالا مهم‌ترین مرحله در فرآیند نصب انکر است. یک مطالعه توسط موسسه پلی تکنیک ورچستر نشان داد اگر تمیز کاری سوراخ به درستی انجام نگیرد، ظرفیت باربری می‌تواند تا ۵۰٪ کاهش یابد. گردگیری سوراخ با استفاده از جریان هوا ممکن است کافی نباشد. استفاده از جریان هوا و جارو کردن با جارو با سایز مناسب (که قطر آن بیش از اندازه کم نباشد)، اطمینان از تمیز بودن سوراخ را ایجاد می‌کند. استفاده مجدد از جریان هوای فشرده پس از جارو کردن بسیار خوب خواهد بود.



تزریق کردن:

وسایل مورد نیاز برای تزریق مواد شیمیایی (اپوکسی یا اکریلیک) را مهیا نمایید و مطمئن شوید که مواد شیمیایی مورد استفاده دارای تاریخ انقضا بوده و در دمای مناسبی نگهداری شده‌اند. برای حصول اطمینان ترکیب شیمیایی مورد استفاده را روی سطح دیگری اعمال نمایید تا رنگ یکنواختی به خود بگیرد. نازل را به انتهای سوراخ فشار دهید و تزریق را انجام دهید تا فضای خالی یا خلل و فرج ایجاد نگردد. به عنوان یک قانون کلی، دو سوم سوراخ باید پر شود. استفاده از انکر در بتن در هرکارگاه ساخت و سازی بسیار مهم است. انتظارات بالا بوده و اجرای ضعیف می‌تواند فاجعه‌آمیز باشد. استفاده از نکات ذکر شده می‌تواند به بهبود عملکرد کمک نماید.

الیاف شیشه یا GFRP:

الیاف شیشه یکی از انواع الیاف FRP هستند که پس از کاربرد الیاف FRP در مهندسی عمران در دهه ۱۹۷۰، الیاف شیشه ای با چسب های پلی استری ترکیب شدند تا میلگردهای تسلیح کننده مقاوم در برابر خوردگی را تولید کنند. با این وجود در ابتدای امر با توجه به نبود دانش کافی در این زمینه، نگرانی هایی وجود داشت. تحقیقات زیادی صورت پذیرفت تا ظرفیت های الیاف شیشه یا GFRP و کاربرد آن ها به عنوان مصالح مقاوم برای بهسازی و مقاوم سازی ارزیابی گردد. ایجاد آیین نامه های جدید و در دسترس بودن اطلاعات واقعی، کاربردهای الیاف شیشه را افزایش داده است. الیاف پلیمری تسلیح کننده شیشه ای GFRP دامنه کاربرد گسترده ای در مهندسی عمران دارند. خواص آن ها به گونه ای است که در مقایسه با مصالح تسلیح کننده دیگر، مزایای بیشتری دارد. یکی از خواص متمایز کننده الیاف شیشه ای مقاومت آن ها در شرایط محیطی دشوار است.

پس از معرفی این الیاف در ابتدا به دلیل کم بودن اطلاعات در مورد خواص مختلف آن از جمله مقاوم بودن در برابر شرایط سخت محیطی، این محصول با استقبال خوبی مواجه نشد. از آن جایی که فولاد می‌تواند تحت تاثیر خوردگی قرار بگیرد، الیاف شیشه به

عنوان جایگزینی برای تسلیح بتن معرفی شدند. **میلگردهای GFRP** می توانند به عنوان المان های تسلیح داخلی و خارجی مورد استفاده قرار بگیرند. در ادامه کاربردهای الیاف شیشه برای مقاوم سازی را بررسی می کنیم.

تسلیح کننده های خارجی:

نگهداری و بهبود سازه های آسیب دیده، یکی از مهم ترین مشکلات مهندسان عمران در سراسر دنیا است. در بسیاری از موارد مقاوم سازی و تعمیر سازه های بتنی از ساخت یک سازه جدید به صرفه تر است. در سراسر دنیا از الیاف شیشه برای مقاوم سازی سازه های دچار مشکل مانند پل ها، سدهای دریایی، ساختمان ها و سایر اعضای بتنی استفاده می کنند. روش های مختلفی نیز برای استفاده از الیاف شیشه برای بهبود سازه وجود دارد. استفاده از **GFRP** به عنوان تسلیح کننده خارجی در طی چند سال اخیر به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. یکی از مهم ترین علل زوال سازه های بتنی زنگ زدگی میلگردهای آن هاست. به دلیل مشکل خوردگی فولاد، مهندسان عمران برای حل مشکل خوردگی به **GFRP** روی آورده اند. ماهیت میلگردهای فایبرگلاس که باعث می شود دچار خوردگی نشوند، به مهندسان کمک می کند، یکپارچگی سازه های بتنی را بازگردانند. این میلگردها با استفاده از کاشت شیمیایی و یا روش های دیگر در سازه مورد استفاده قرار می گیرند.



در تسلیح خارجی، این الیاف به شکل های مختلف مانند ژاکت، پلیت، روکش و ... به سازه اتصال داده می شوند. در کاربردهای مقاوم سازی، پلیمرهای الیافی تسلیح کننده برای محصور کردن بتن، بهبود ظرفیت برشی و مقاومت خمشی اعضای بتنی به کار می روند. **GFRP** برای تعمیر و مقاوم سازی اعضای بتنی به صورت گسترده ای به کار می رود.

تسلیح کننده های داخلی:

استفاده از الیاف شیشه در مهندسی عمران به مهندسان کمک می کند تا به سازه هایی با کاربری بهتر، ایمنی بالاتر و اقتصادی تر دست پیدا کنند. برخی از کاربردهای میلگردهای **GFRP** عبارتند از:

- استفاده در بزرگراه ها (پل ها، روگذرها و ...)
 - استفاده در سازه های دریایی (دیوارهای حائل، سد ها و ...)
 - سازه های معادن و تونل ها
 - زیرساخت های حمل و نقل (ایستگاه های اتوبوس و ...)
- برای تولید میلگردهای **GFRP** از فرآیندهای خاصی استفاده می شود. بسیار اهمیت دارد که این میلگردها با استفاده از الیاف تولید شوند تا خواص اتصالی خوبی بین میلگردها و بتن ایجاد شود.
- الیاف شیشه به عنوان یکی از موثرترین مصالح برای محصور کردن ستون های بتنی به حساب می آیند. برخی مزایای استفاده از کامپوزیت های **GFRP** برای محصور کردن ستون ها عبارتند از:
- مصالح کامپوزیت می توانند به آسانی برای فرآیند محصور کردن به کار روند.
 - میلگردهای فایبرگلاس در شرایط محیطی مختلف در برابر خوردگی مقاوم اند.
 - از لحاظ مغناطیسی تاثیری ندارند و در محیط های مغناطیسی اثری ایجاد نمی کنند.



خوردگی احتمالا مهم ترین مشکل در مهندسی عمران است که باعث می شود سازندگان، دولت ها و پیمانکاران مبالغ هنگفتی را برای بازسازی المان های تسلیح کننده سازه های بتنی پرداخت کنند. مزیت مهم استفاده از میلگردهای فایبرگلاس به عنوان تسلیح کننده داخلی این است که به سازه بتنی اجازه می دهد عمر سرویس طولانی مدتی را بدون نیاز به عملیات نگهداری و تعمیر زیادی داشته باشد. برخی از مزایای دیگر میلگردهای فایبرگلاس عبارتند از:

نصب آسان:

میلگردهای فایبرگلاس وزنی معادل یک چهارم میلگردهای فولادی دارند و این مساله به مهندسان کمک می کند در زمان کوتاهی پروژه را تکمیل کنند.

پایداری محیطی:

میلگردهای فایبرگلاس، همان طور که قبلا هم اشاره شد، در برابر خوردگی مقاوم اند، که باعث می شود مهندسان بتوانند سازه های بتنی پایداری در محیط های کلریدی بسازند. به عنوان مثال سازه های دریایی باید با میلگردهای GFRP ساخته شوند.

نارسنایی الکتریکی و گرمایی:

از آن جایی که در میلگردهای GFRP فلزی به کار نرفته است، آن ها نارسنایی گرما و الکتریسیته هستند. این ویژگی باعث می شود میلگردهای فایبرگلاس برای سازه های حساس مانند بخش های تحقیقاتی، پزشکی، نیروگاه ها و ... مناسب باشند.

هزینه تمام شده کمتر:

هزینه اولیه تسلیح بتن با میلگردهای GFRP می تواند نسبتا بالا باشد. با این حال توانایی مقاومت این میلگردها در محیط های خشن باعث می شود این میلگردها هزینه تمام شده کمتری داشته باشند.

برخلاف میلگردهای فولادی، میلگردهای GFRP پس از تولید نمی توانند تغییر شکل داده شوند. خم های مختلف تنها در طی فرآیند تولید می توانند ایجاد شوند. زمانی که بحث هزینه و پایداری مطرح می شود، کامپوزیت های فایبرگلاس می توانند به عنوان مصالحی مناسب برای استفاده در شرایط محیطی در نظر گرفته شوند. این موضوع یکی از مهم ترین دلایل استفاده گسترده از الیاف فایبرگلاس برای ساخت سازه های جدید و مقاوم سازی سازه های موجود است. به هر روی [الیاف شیشه](#) یا GFRP یکی از انواع [الیاف FRP](#) هستند که کاربردهای گوناگونی در صنایع مختلف دارند. در زمینه مهندسی عمران نیز یکی از مهم ترین کاربردهای آن ها استفاده در مقاوم سازی ساختمان ها است. با این حال به علت دخیل بودن عوامل متعدد در انتخاب سیستم مناسب برای مقاوم سازی، به گونه ای که همزمان به کاهش هزینه ها بهترین نتیجه نیز حاصل شود، استفاده از تجربه کارشناسان با تجربه در زمینه مقاوم سازی که با روش های مختلف آشنایی دارند، می تواند بسیار مفید باشد.

[کاشت میلگرد](#) در بتن به منظور ایجاد تغییرات مختلف در سازه استفاده می شود. در ادامه به برخی از مهم ترین کاربردهای کاشت میلگرد اشاره می کنیم. با خانه بتن همراه باشید.

چرا از کاشت میلگرد استفاده می کنیم؟

از روش کاشت میلگرد می توان برای ایجاد اکثر اتصالات در سازه استفاده نمود. به عنوان مثال دیوارها، دال ها، تیرها، فنداسیون و المان های موقتی. کاشت میلگرد در قسمت های مختلف سازه های بتنی از جمله برای گسترش فنداسیون، اصلاح ستون ها، تیرها

و ... کاربرد دارد. کاشت میلگرد در اصل زیر مجموعه ی کاشت شیمیایی است و باید با توجه به نوع پروژه انتخاب نمود که آیا از کاشت میلگرد استفاده شود و یا روش های دیگری برای کاربرد مورد نظر مناسب هستند.

گسترش سازه موجود:

یکی از رایج ترین کاربردهای **کاشت میلگرد**، گسترش سازه های موجود و المان ها است. به عنوان مثال می توان از این روش برای گسترش المان های زیر استفاده نمود.

- گسترش دیوارها
- گسترش ستون ها
- گسترش دیوارها
- گسترش دال ها
- گسترش بالکن ها

همچنین در مواردی که نیاز به تخریب بخشی از سازه و جایگزینی می باشد، استفاده از روش کاشت شیمیایی برای کاشت میلگرد یکی از روش های مناسب است.



کاشت میلگرد برای اتصال اجزای جدید به سازه موجود

اتصالات حاصل از **کاشت میلگرد** می تواند اتصالات گیردار و یا مفصلی باشد و برای این موارد مورد استفاده قرار گیرد:

- اتصال تیر به دیوار
- اتصال کابین به دیوار
- اتصال راه پله به دیوارهای موجود
- اتصال دیوارها به یکدیگر

کاشت میلگرد برای مقاوم سازی سازه های بتنی موجود:

برای مقاوم سازی با استفاده از کاشت می توان کارهای زیر را در سازه های بتنی انجام داد:

- ایجاد پوشش بتنی
- تسلیح سقف
- کاشت ریشه برای ستون جدید
- مقاوم سازی عرشه پل ها

کاشت میلگرد علاوه بر آن که می تواند به صورت مستقیم برای مقاوم سازی به کار رود، به عنوان یکی از مراحل اجرایی در روش های مختلف همچون مقاوم سازی با ژاکت فلزی، مقاوم سازی با ژاکت بتنی، مقاوم سازی با **frp** و ... کاربرد دارد.

طراحی میلگردها:

طراحی میلگردها برای کاشت باید به گونه ای باشد که ملزومات آیین نامه ها را برآورده نماید. در این مورد طراحی می تواند با در نظر گرفتن موارد زیر باشد:

طول مهاری:

با توجه به نوع کاربرد کاشت میلگرد نیاز به برآورده کردن طول مهاری مورد نیاز می باشد. با توجه به این که از کاشت میلگرد برای اتصال اجرای جدید به سازه موجود استفاده می شود، چه در سازه موجود و چه در اجزای جدید این طول مهاری باید رعایت شود. براساس اصول طراحی، قدرت اتصال میلگردهای کار گذاشته شده درون سازه محدود است. بنابراین در محل هایی که طول مهاری محدود است مانند دیوارها؛ از ساز و کارهای دیگری مانند قلاب برای برآورده کردن طول مهاری مورد نیاز استفاده می شود. با در نظر گرفتن نوع چسب شیمیایی مورد استفاده و بررسی نوع اتصال میان میلگرد و چسب شیمیایی مورد استفاده ممکن است به طول مهاری بیشتر و یا کمتری نیاز باشد که این مساله به کیفیت چسب وابستگی شدیدی دارد. با استفاده از چسب های با کیفیت می توان طول مهاری کمتری را برای میلگردهای کاشته شده در نظر گرفت. با مشاوره با کارشناسان خانه بتن می توانید از محصولاتی استفاده کنید که طول مهاری مورد نیاز در آن ها می تواند تا ۷۰٪ کمتر باشد.

اتصالات صلب با استفاده از میلگردهای خم نشده:

برای ایجاد اتصال گیردار در سازه های بتنی نیاز به استفاده از میلگردهای قلاب شده و یا خم شده است. اتصالاتی مانند اتصال بین دال و دیوار، تیر و دال، تیر و دیوار، ستون و فنداسیون و ... با این حال بر اساس تحقیقات مختلف صورت گرفته در این زمینه از جمله توسط دانشگاه صنعتی مونیخ می توان بدون خم کردن و یا قلاب کردن میلگرد و با بهره گیری از روش های دیگری این نوع اتصال را به وجود آورد.

تسلیح برشی:

تسلیح برشی بیشتر برای بازسازی و مرمت سازه های قدیمی مانند پل ها کاربرد دارد. در روش های معمول تسلیح برشی معمولاً کار دشواری است. به عنوان مثال برای تسلیح تیر معمولاً از نبش استفاده شده و با توجه به میزان تقویت ممکن است نیاز باشد بالا و پایین تیر با استفاده از نبشی و انکر به ستون متصل گردد. در روش های جدید می توان با استفاده از چسب های مخصوص و با استحکام بسیار بالا از روش کاشت شیمیایی میلگرد برای تسلیح برشی استفاده نمود. کارشناسان کاشت خانه بتن می توانند راهنمایی های بیشتری در این زمینه به شما ارائه دهند.

ایجاد پوشش برای بتن:

لایه ی جدید بتنی معمولاً جهت مقاوم سازی و یا تعمیر سازه به لایه قدیمی افزوده می شود. یکی از نکات مهم در طراحی این اتصال ها، انتقال تنش در سرتاسر مرز بتن جدید و قدیم است. با استفاده از چسب های جدید و با توجه به ساز و کار آن ها امکان در نظر گرفتن چسبندگی، اصطکاک و مقاومت برشی میلگردهای کاشته شده به عنوان اتصال دهنده وجود داشته و طراحی را آسان تر می کند. مزایای آن عبارتند از:

- کاربرد ساده و قابل اعتماد برای موارد مختلف
- عملکرد یکپارچه سازه تضمین می شود.
- بارهای برشی حتی در صورتی که سطح دارای ترک باشد، انتقال می یابند.
- کاربردهای گسترده
- طول مهاری را کاهش می دهد.



آزمایش های مربوط به میلگردهای کاشته شده

در آیین نامه های مختلف، نکات زیادی در مورد آزمایش میلگردهای کاشته شده بیان شده اند که باید شامل موارد زیر باشند:

آزمایش های مربوط به حالت سرویس:

- قدرت اتصال سیستم انکر شیمیایی
- رفتار میلگردهای کاشته شده با عمق کاشت زیاد از نظر اتصال و یا جدا بودن

آزمایش های قابل اطمینان بودن:

- حساسیت به تمیزکاری سوراخ
- حساسیت به شرایط دمایی یخ زدگی/حرارت
- حساسیت به بار ثابت در دماهای مختلف
- حساسیت نسبت به جهت اتصال
- دمای کاهش یافته در هنگام نصب

کنترل های زمان نصب:

- نصب در عمق زیاد
- تایید تزریق مناسب

پایداری:

- مقاومت در شرایط شیمیایی و مقاومت در برابر خوردگی

شرایط خاص:

تایید کاربرد در مناطق لرزه ای خاص

در بسیاری از پروژه های عمرانی ممکن است نیاز به برش بتن باشد. برش بتن می تواند به دلیل اشکال اجرایی، تغییر در نقشه ها، تغییر کاربری، رعایت الزامات قانونی و علل دیگر نیاز باشد. با این وجود به دلیل خواص بتن و دشواری برش آن و همچنین بالابودن وزن قطعات بتن این فرآیند یک عملیات تخصصی محسوب می شود و نیاز به تجهیزات و دستگاه های مخصوص و همچنین رعایت الزامات ایمنی برای پیشگیری از وقوع حوادث دارد. از این رو در بسیاری از پروژه های عمرانی برای برش بتن از گروه های متخصص در این زمینه کمک گرفته می شود.

برش بتن ممکن است در مقاطع مختلف بتنی از جمله دال ها، دیوارها و ... مورد نیاز باشد. همچنین با توجه به شرایط پروژه ممکن است سایر متغیرهای موثر در شرایط کارگاهی نیز تغییر کنند. به همین دلیل روش های مختلفی برای برش بتن وجود دارند که با توجه به شرایط اجرایی و خصوصا رعایت نکات ایمنی از میان آن ها روش مناسب انتخاب می شود. برای آشنایی با این روش ها و کاربرد هر یک با خانه بتن همراه باشید.

برش بتن مسلح

بتن مورد استفاده برای پروژه ها به جز در موارد خاص از نوع بتن مسلح می باشد. برش بتن مسلح به دلیل وجود المان های فولادی در آن دشوارتر از برش بتن معمولی است. برش بتن مسلح تنها با روش های خاص امکان پذیر بوده و علاوه بر زمان و

هزینه زیادی که به همراه دارد معمولاً با دشواری های اجرایی و خصوصاً ایمنی همراه است. از این رو اجرای صحیح و ایمن عملیات برش بتن نیاز به دانش و تجربه کافی در این زمینه دارد.

برش بتن مسلح می تواند به روش های مختلفی انجام شود. از برش به روش های قدیمی تر مانند دستگاه کاتر گرفته تا روش های نوینی مانند سیم الماسه یا واتر جت و روش هایی مانند برش بتن با استفاده از دستگاه کرگیر. هر کدام از این روش ها نقاط ضعف و قوت خاص خود را دارند که باید با در نظر گرفتن حجم برش بتن، زمان، هزینه، نیروی انسانی، ایمنی، امکان پذیر بودن استفاده از روش و ... به قضاوت مهندسی پرداخت و روش مناسب با پروژه را انتخاب نمود.

برش بتن با دستگاه کاتر

برش بتن با دستگاه کاتر احتمالاً شناخته شده ترین روش برای انجام این کار است. در این روش با کمک تیغه موجود بر روی دستگاه برش بتن صورت می گیرد. به دلیل عملکرد دستگاه برای برش دال های با ضخامت کم و برای تخریب های در ابعاد کوچک خصوصاً زمانی که محدودیت های اجرایی یا محدودیت حمل و نقل داشته باشیم، این روش یک گزینه مناسب محسوب می شود.

برش بتن با دستگاه کاتر یکی از روش های کم هزینه برای برش بتن است ولی تنها برای برش بتن با ضخامت پایین کاربرد دارد. همچنین این روش نسبتاً زمان بر بوده و برای کارهای حجیم چندان مناسب به نظر نمی رسد. کاترهای بتنی در ابعاد مختلفی و با ظرفیت های مختلفی موجود هستند؛ از دستگاه های کوچک دستی تا ابعاد بزرگتر که به کمک چرخ روی مقطع حرکت داده می شوند.

مزایا و محدودیت های برش با دستگاه کاتر را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- برش بتن به این روش هزینه پایینی دارد.
- قیمت دستگاه و تجهیزات مصرفی آن پایین است.
- برای کارهای با حجم پایین مناسب است.
- سرعت برش بتن به این روش پایین است.
- اگرچه کار کردن با دستگاه نیازمند مهارت است ولی در مقایسه با روش های دیگر برش بتن، این روش آسان تر می باشد.



برش بتن با سیم

برش بتن با سیم یکی از روش های نسبتاً جدید برای انجام پروژه های برش و **تخریب بتن** است. در این روش از دستگاه برش سیمی بتن استفاده می شود. این دستگاه دارای یک سیم الماسه است که با توجه به سختی بالای آن برش بتن با سرعت زیادی انجام می شود.

برای برش بتن به این روش دستگاه با فاصله از مقطع برش قرار می گیرد. سپس با استفاده از کرگیری در دو طرف مقطع بتنی سوراخ هایی ایجاد شده و سیم الماسه از درون این سوراخ ها عبور داده می شود. با آغاز به کار دستگاه و چرخش سیم عملیات برش آغاز شده و سیم الماسه عملیات برش بین سوراخ های ایجاد شده در مقطع را آغاز می کند.

برش سیمی بتن یکی از روش های سریع برای برش مقاطع بتنی خصوصا در ابعاد گسترده است. با توجه به قدرت بالای این روش و عملکرد قوی سیم الماسه قطعات بتنی را می توان به این روش به آسانی و به شکل قالبی برش داد. برش سیمی بتن البته محدودیت هایی نیز دارد که مهم ترین آن ها محدودیت اجرایی است. به عنوان مثال در فنداسیون بتنی به دلیل عدم امکان عبور سیم الماسه نمی توان از این روش استفاده نمود. گران بودن دستگاه و تجهیزات، عملکرد نسبتا پیچیده نسبت به روش های سنتی، مسائل ایمنی و ... از جمله دیگر محدودیت های این روش هستند. به طور کلی مزایا و محدودیت های برش سیمی بتن را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- این روش برای برش قطعات بزرگ بتن بسیار مناسب است.
- برش بتن به این روش با سرعت بالایی صورت می پذیرد.
- قطعات برش داده شده بتن به صورت قالبی (پنیری) جدا می شوند.
- دستگاه و تجهیزات آن از جمله سیم الماسه قیمت نسبتا بالایی دارند.
- هزینه تمام شده این روش برای برش قطعات کوچک بتنی مقرون به صرفه نخواهد بود.
- برای استفاده از این روش حتما باید محلی برای عبور سیم الماسه وجود داشته باشد. برای برش قطعات بتنی که طرف دیگر آن ها آزاد نیست (مانند فنداسیون ها)، امکان استفاده از این روش وجود ندارد.
- رعایت نکات ایمنی در استفاده از این روش اهمیت زیادی دارد. پیش از کار با دستگاه باید از سالم بودن دستگاه اطمینان حاصل نمود و همچنین در هنگام کار دستگاه باید فاصله ایمنی را رعایت کرد. در صورت رها شدن سیم به هر دلیل خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری می توانند روی دهند.



برش بتن با کرگیری

برش بتن به روش [کرگیری](#) یکی از روش ابداعی برای این کار است. کرگیری به فرآیند ایجاد حفره درون بتن گفته می شود. معمولا از روش کرگیری برای جدا کردن نمونه های استوانه ای از درون بتن و با هدف انجام آزمایش استفاده می شود؛ اما در شرایط خاص می توان از این روش برای برش بتن نیز بهره برد.

برای جدا کردن قطعات بتنی به این روش از دستگاه های کرگیری استفاده می شود. با توجه به این که برای عملکرد صحیح دستگاه کرگیر باید پایه دستگاه با کمک انکر درون بتن محکم شود، پیش از آغاز کار مسیر برش مشخص شده و در فواصل نزدیک به هم سوراخ هایی برای نصب انکر ایجاد می شود. این سوراخ ها برای نصب انکر باید به شیوه ای ایجاد شوند که بتوان با کم ترین تعداد سوراخ و با کم ترین نیاز به جابجایی دستگاه بتوان کرگیری را انجام داد. کرها باید چسبیده به هم درون بتن ایجاد شوند تا بتوان قطعه بتنی را بدون مشکل برش داد. سپس محل دستگاه را تغییر داده و کرهای جدید ایجاد می شود. برای [برش بتن](#) با کرگیری باید به چند نکته توجه نمود. اگر چه این روش برای برش قطعات ضخیم بتنی قابل استفاده است، به دلیل سرعت پایین این روش، استفاده از آن برای برش قطعات بزرگ بتنی چندان مناسب نخواهد بود. برای برش بتن با کرگیری می توان مزایا و محدودیت های زیر را بر شمرد:

- این روش برای برش قطعات کوچک بتنی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است.
- برش بتن به این روش فرآیند نسبتاً آسانی را طی می کند، بای این حال باید نکات ایمنی را رعایت کرد.
- قطعه برش داده شده ظاهر مناسبی ندارد و دارای مقاطع تیز می باشد.
- برش بتن با کرگیری سرعت بالایی نداشته و معمولاً زمان بر است.



برش بتن با واترجت

- روش واترجت از جدیدترین روش های مورد استفاده برای برش بتن می باشد. این روش با استفاده از فشار آب خروجی از روزنه بسیار باریک برش بتن را انجام می دهد. این روش نسبت به روش های دیگر بتن ایجاد آلودگی های محیطی و صوتی نمی کند ولی در مقابل هزینه این روش بالاتر از سایر روش های برش بتن است. همچنین به دلیل این که برش بتن به این روش حرارتی تولید نمی کند، به قسمت های مجاور بتن نیز آسیبی وارد نمی شود.

برش بتن با واترجت از سرعت تخریب بالایی برخوردار است و همچنین دقت و کارایی آن برای پروژه های مختلف بسیار مناسب است. همین مسائل باعث شده تا این روش برای پروژه های بزرگ و همچنین پروژه های حساس برش بتن بسیار مناسب باشد. امکان برش قطعات بتنی به شکل های مختلف، در ابعاد و زاویه های مختلف به این روش فراهم است و انجام آن به مهارت اپراتور بستگی دارد. با این حال هزینه استفاده از این روش بالا بوده و برای پروژه های کوچک این روش چندان مقرون به صرفه نخواهد بود.

مزایا و محدودیت های برش بتن با واترجت را می توان موارد زیر برشمرد:

- سرعت بالای این روش که آن را برای پروژه های بزرگ به عنوان گزینه مناسب مطرح می کند.
- عدم ایجاد آلودگی های صوتی و محیطی از طریق ایجاد گرد و غبار
- کارایی بالا و امکان استفاده از آن برای پروژه های مختلف با دسترسی های نسبتاً دشوار
- گران بودن هزینه دستگاه و تجهیزات و در نتیجه هزینه بالای استفاده از واترجت
- قیمت برش بتن یکی از مهم ترین مسائلی است که در ارتباط با پروژه های برش بتن مطرح می باشد. این قیمت تمام شده به حجم برش بتن و همچنین روش انتخاب شده برای آن بستگی دارد. انتخاب روش مورد نظر نیز همان گونه که توضیح داده شد باید با توجه به عواملی از جمله محدودیت های اجرایی، سرعت و اهمیت پروژه و از همه مهم تر، هزینه تمام شده صورت پذیرد.
- تعیین قیمت برش بتن معمولاً جدای از روش انتخاب شده به حجم برش نیز بستگی دارد. با بالا رفتن حجم کار و سرشکن شدن هزینه های ثابت، استفاده از روش هایی مانند برش سیمی بتن یا برش با استفاده از واترجت توجیه پیدا می کند. در مقابل برای برش بتن در پروژه های کوچک استفاده از روش هایی مانند برش با کمک دستگاه کاتر و یا برش بتن با کرگیری مناسب تر به نظر می رسد.

اسلامپ بتن

اسلامپ بتن یا ملات از طریق یک آزمون و با استفاده از تجهیزات ساده به آسانی قابل اندازه گیری است. آزمون اسلامپ بتن، میزان روان بودن بتن تازه را قبل از گیرش آن مشخص می کند. این آزمایش جهت کنترل کارایی بتن تازه انجام می شود و نشان دهنده ی آسانی جریان یافتن بتن است. آزمون اسلامپ همچنین می تواند به عنوان شاخصی برای درست مخلوط شدن بتن مورد استفاده قرار گیرد. این آزمون به دلیل آسان بودن تجهیزات مورد استفاده و فرآیند آسان محبوبیت دارد. آزمون اسلامپ برای اطمینان یافتن از یکنواختی قسمت های مختلف بتن تحت شرایط کارگاهی کاربرد دارد. یکی از مهم ترین ویژگی های هر ماده سیمانی، کارایی یا روانی آن است؛ این ویژگی مشخص کننده ی آسان یا دشوار بودن هل دادن، کشیدن و یا صاف کردن سطح این مواد است. کارایی وابستگی زیادی به میزان خیس بودن بتن دارد، که به آن اسلامپ گفته می شود.

کاشت میلگرد

چرا کارایی اهمیت دارد؟

- اگر آب در ترکیب بتن بیش از حد باشد، سنگدانه های درشت زیر بتن جمع می شوند و در نتیجه بتن تبدیل به ترکیبی غیر یکنواخت می شود.
 - اگر ترکیب بتن خیلی خشک باشد، کار کردن با بتن و ریختن آن دشوار خواهد بود.
- هر میزان که بتن آب بیشتری داشته باشد، اسلامپ آن بالاتر است. اگرچه معمولاً اسلامپ به عنوان شاخص میزان آب شناخته می شود، در حقیقت مشخص کننده میزان روان بودن است.

کلاس بازه ی اسلامپ اسلامپ هدف

S1 10-40 20

S2 50-90 70

S3 100-150 130

S4 160-210 180

S5 210 و بالا ۲۲۰

اسلامپ S1 بیشتر برای بستر لوله ها و عایق بندی مورد استفاده قرار می گیرد، زیرا یک ترکیب نسبتاً خشک است. معمولاً به آن نیمه خشک گفته می شود. اسلامپ S2 برای پی های نواری و دال های محکم و یا زمانی که از چرخ دستی برای حمل بتن استفاده می شود، کاربرد دارد. به این ترکیب، ترکیب مرطوب گفته می شود و احتمالاً کاربردی ترین نوع بتن بوده و در بیشتر موارد سعی بر این است که روانی بتن در این محدوده باشد.

آزمایش هایی برای کارایی بتن:

کارایی بتن با یکی از این آزمایش ها مشخص می شود:

۱/ آزمایش اجزای تشکیل دهنده

۲/ آزمایش ضریب تراکم

۳/ آزمایش اسلامپ

دو آزمون اول در آزمایشگاه انجام می شود، در حالی که آزمایش سوم در محل کارگاه صورت می گیرد.

اسلامپ بتن چیست ؟

در هنگام ساخت بتن از مواد تشکیل دهنده ی آن یعنی سیمان، سنگدانه و آب؛ سنگدانه ی درشت مشخص کننده میزان آب و میزان آب مشخص کننده ی اسلامپ است. در هنگام بتن ریزی، مقدار کم تر اسلامپ مشخص کننده ی حجم کم تر آب و در حقیقت کیفیت بالاتر بتن است. امروزه بتن تنها حاصل ترکیب سه ماده اصلی نیست، بلکه شامل افزودنی ها و الیاف نیز می شود. بنابراین برخلاف گذشته، سنگدانه درشت ممکن است تنها عامل مشخص کننده ی میزان آب نباشد. بنابراین بالا یا پایین بودن اسلامپ شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت بتن نیست. به بیان دیگر از روی اسلامپ نمی توان میزان آب موجود در بتن را تشخیص داد.

با استفاده از تکنولوژی‌های جدید، یک ترکیب قدیمی بتن با اسلامپ ۷۰ میلی‌متر ممکن است نسبت به یک ترکیب بتن جدید با اسلامپ ۳۰۰ میلی‌متر که در آن فوق روان کننده‌های شیمیایی استفاده شده است، حجم آب بیشتری داشته باشد. (فوق روان کننده، یک ماده‌ی شیمیایی است که جهت افزایش اسلامپ بدون افزودن آب به بتن در آن ریخته می‌شود). ترکیبی از سنگدانه، ماسه و آب بدون سیمان، فارغ از حجم آبی که به آن اضافه می‌شود، قابلیت جریان یافتن را ندارد. دلیل آن این است که سیمان به بتن خاصیت جریان می‌دهد. فوق روان کننده با پراکنده سازی شیمیایی ذرات سیمان، به سیمان امکان روان کنندگی بیشتر را می‌دهد که در نتیجه‌ی آن بدون افزایش مقدار آب، اسلامپ افزایش می‌یابد. با اختراع افزودنی‌های شیمیایی، اسلامپ به بخش‌های اسلامپ ناشی از آب و اسلامپ ناشی از ترکیبات شیمیایی تقسیم می‌شود. اگر تنها آب مشخص کننده‌ی میزان اسلامپ باشد، به آن اسلامپ آب می‌گویند. اگر علاوه بر میزان آب، افزودنی‌های شیمیایی نیز تاثیرگذار باشند، به آن اسلامپ پلاستیکی گفته می‌شود. تقریباً هرچیزی که درون بتن ریخته می‌شود، بر اسلامپ اثر می‌گذارد. هر میزان حجم هوای بتن افزایش یابد، اسلامپ نیز افزایش می‌یابد. ریختن الیفا درون بتن باعث کاهش اسلامپ می‌شود. برای ساخت بتنی که امکان کار با آن وجود داشته باشد، تمامی این موارد باید در نظر گرفته شوند. بهترین اسلامپ برای کارایی و ریختن بتن حدود ۱۰ تا ۱۳ سانتی‌متر است. برای بتن‌های با اسلامپ بین ۲ تا ۶ سانتی‌متر نه تنها ریختن آن‌ها مشکل است، جا دادن آن‌ها نیز دشواری‌هایی را به همراه دارد. از طرف دیگر اسلامپ بالای ۱۵ سانتی‌متر مستعد جدا شدن و ایجاد آب اضافی خواهد بود. همچنین باید در نظر داشت که اسلامپ زمانی مشخص کننده‌ی کیفیت بتن است که مقایسه بین دو محموله‌ی بتن با ترکیب اختلاط ثابت انجام گیرد. برای تشخیص کیفیت بتن حاصل از دو طرح اختلاط نمی‌توان از اسلامپ استفاده نمود. اسلامپ مقاومت بتن را مشخص نمی‌کند. مقاومت بتن از روی نسبت آب به سیمان مشخص می‌گردد. با استفاده از افزودنی‌های جدید در طرح‌های اختلاط، می‌توان اسلامپ بتن را در هر محدوده‌ی دلخواه در نظر گرفت و همچنان بتنی با کیفیت مناسب تولید نمود.

اندازه‌گیری ارتفاع:

آزمون با استفاده از یک قالب فلزی به شکل یک مخروط ناقص که به آن مخروط اسلامپ می‌گویند، انجام می‌گیرد. این مخروط از دو طرف باز بوده و دارای دستگیره می‌باشد. این وسیله معمولاً دارای قطر داخلی ۱۰۰ میلی‌متر در بالا، قطر ۲۰۰ میلی‌متر در پایین و با ارتفاع ۳۰۵ میلی‌متر است. این مخروط سپس بر رووی یک سطح محکم و غیرجاذب قرار می‌گیرد. این مخروط در سه مرحله از بتن پر می‌شود. هر بار با استفاده از یک میله‌ی با طول ۶۰۰ و قطر ۱۶ میلی‌متر، ۲۵ ضربه به هر لایه وارد می‌شود. در پایان مرحله سوم، بتن هم ارتفاع با سر قالب قطع می‌شود. سپس قالب با دقت به صورت عمودی بالا کشیده می‌شود، به گونه‌ای که آسیبی به مخروط بتنی وارد نکند. سپس بتن دچار ریزش می‌شود. مقدار ریزش (اسلامپ) بتن با اندازه‌گیری فاصله‌ی بین بالای بتن ریزش کرده با بالای مخروط به دست می‌آید.

مراحل آزمایش اسلامپ:

آزمایش در یک قالب که به آن مخروط اسلامپ گفته می‌شود، صورت می‌گیرد. قطر بالایی این مخروط ۱۰، قطر پایینی آن ۲۰ و ارتفاع آن ۳۰ سانتی‌متر است. این آزمایش می‌تواند در چند گام انجام شود:

- ۱/ قالب اسلامپ را بر روی یک سطح صاف و غیر جاذب قرار دهید.
- ۲/ اجزای خشک بتن را به طور کامل با هم مخلوط کنید تا رنگ یکنواختی ایجاد شود و سپس مقدار کافی آب به آن اضافه نمایید.
- ۳/ تا ارتفاع یک سوم قالب، درون آن بتن بریزید.
- ۴/ با استفاده از یک میله‌ی فلزی ۲۵ ضربه به سطح بتن وارد کنید. پراکندگی این ضربه‌ها حتی‌الامکان یکنواخت باشد.
- ۵/ بتن ریزی را تا ارتفاع دو سوم قالب انجام داده و مجدداً آن را متراکم نمایید.
- ۶/ قالب را از بتن پر کرده و مجدداً آن را متراکم نمایید. در تمامی مراحل تراکم با میله‌ی فلزی و با ۲۵ ضربه باید صورت پذیرد.
- ۷/ سطح بالایی قالب را با کمک ماله صاف نمایید.

۸/ قالب را با سرعت بردارید. هنگام انجام این کار اطمینان یابید که این کار را در جهت قائم انجام می دهید.
۹/ زمانی که ریزش بتن تمام شد، میزان نشست بتن را اندازه بگیرید که در حقیقت همان اسلامپ بتن است.

تفسیر نتایج:

بتن ریزش کرده به شکل های مختلفی در می آید و براساس ویژگی های بتن ریزش کرده به آن اسلامپ واقعی، اسلامپ برشی یا اسلامپ ریزشی می گویند. اگر اسلامپ برشی یا ریزشی اتفاق بیفتد، نمونه گیری مجدد انجام شده و آزمون تکرار می گردد. اسلامپ ریزشی نشان دهنده ی خیس بودن زیاد بتن است. تنها اسلامپ واقعی آزمون صحیح محسوب می شود. اسلامپ ریزشی معمولاً به معنای خیس بودن زیاد بتن و یا کارایی زیاد آن است، که آزمون اسلامپ برای آن مناسب نیست. بتن های خیلی خشک با اسلامپ ۲۵-۳۰ mm معمولاً برای راه سازی مورد استفاده قرار می گیرند، بتن های با کارایی کم با اسلامپ ۱۰-۴۰ mm برای فنداسیون با تسلیح کم مورد استفاده قرار می گیرد، بتن های با کارایی معمولی با اسلامپ ۵۰-۹۰ mm معمولاً برای تن های با تسلیح معمولی همراه با ویبره مورد استفاده قرار می گیرند و بتن های با کارایی بالا با اسلامپ بیش از ۱۰۰ mm زمانی مورد استفاده قرار می گیرند که فاصله ی بین میلگردها کم است و/ یا بتن باید مسیر طولانی جریان یابد.

ریزشی برشی واقعی

در اسلامپ ریزشی، بتن کاملاً دچار ریزش می شود. در اسلامپ برشی قسمت بالایی دچار برش شده و به سک طرف کشیده می شود. در اسلامپ واقعی، بتن به اطراف ریخته می شود و شکل کلی خود را حفظ می کند.

اسلامپ توصیه شده برای کاربردهای مختلف:

کاربرد بتن اسلامپ توصیه شده (میلی متر)

۱ بتن برای جاده سازی ۲۰ تا ۴۰

۲ بتن برای محل های عایق، دیوارهای عایق، اسکله ها، دال ها و دیوارها ۴۰ تا ۵۰

۳ بتن برای کانال ها ۷۰ تا ۸۰

۴ کارهای بتنی معمولی ۸۰ تا ۱۵۰

۵ بتن حجیم ۲۰ تا ۵۰

۶ بتنی که قرار است ویبره شود. ۱۰ تا ۲۵

محدودیت های آزمایش اسلامپ:

آزمون اسلامپ برای کارایی های معمولی و کم با اسلامپ بین ۵ و ۲۶۰ میلی متر مناسب است. این آزمایش امکان تشخیص تفاوت کارایی در ترکیب های سفت با اسلامپ صفر و یا ترکیب های خیس که دچار اسلامپ ریزشی می شوند را ندارد. این آزمون محدود به بتن های با بزرگترین سائز سنگدانه ۳۸ میلی متر است.

تفاوت در استانداردها:

در چندین آیین نامه معتبر نحوه ی انجام آزمون اسلامپ توضیح داده شده است که این دستورالعمل ها تفاوت های اندکی با هم دارند.

آیین نامه آمریکا:

در آیین نامه آمریکا، آزمایش اسلامپ در آیین نامه های ASTM و AASHTO توضیح داده شده است. در استاندارد آمریکا اشاره شده است که مخروط باید دارای ارتفاع ۳۰۰، قطر پایین ۲۰۰ و قطر بالای ۱۰۰ میلی متر باشد. در ASTM به سختی مخروط هم اشاره شده است. همچنین بیان می کند که در حین فرآیند، هنگام برداشتن مخروط، این کار باید عمودی انجام گیرد و نباید هیچ گونه حرکت چرخشی اتفاق بیفتد. توضیحات این آزمایش تحت عنوان "روش استاندارد آزمایش اسلامپ بتن ساخته شده با سیمان هیدرولیکی" در آیین نامه های ASTM C 143 و AASHTO T 119 آمده است.

استاندارد بریتانیا:

در استاندارد بریتانیا، ارتفاع مخروط ۳۰۰، قطر پایینی آن ۲۰۰ و قطر بالایی آن ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. استانداردهای بریتانیا به صورت به خصوص اشاره نمی‌کنند که مخروط باید به صورت قائم برداشته شود. آزمایش اسلامپ در آیین‌نامه‌ی بریتانیا ابتدا در BS 1881-102 توضیح داده شده بود ولی اکنون استاندارد اروپایی BS EN 12350-2 جایگزین آن شده است. آزمایش باید با پر کردن مخروط در سه مرحله و وارد کردن ۲۵ ضربه به هر لایه انجام گیرد.

آزمایش‌های دیگر:

آزمایش‌های دیگری نیز برای ارزیابی اسلامپ بتن وجود دارند. آزمایش میز جریان DIN 1048-1 از تجهیزات مشابه ولی با سایز متفاوت استفاده می‌کند ولی میزی که مخروط اسلامپ روی آن قرار می‌گیرد، پس از برداشتن مخروط اسلامپ چندین بار انداخته می‌شود و برای نتیجه آزمایش قطر نمونه اندازه‌گیری می‌شود و نه ارتفاع آن. آزمون دیگر، آزمون K-Slump است که در ASTM International C1362-09 به آن اشاره شده است. آزمایش‌های دیگر شامل آزمون ضریب فشردگی بریتانیا و ترکیب‌سنج وب برای بتن فشرده شده است. روش دیگر مشخص کردن اسلامپ استفاده از یک وسیله‌ی اتوماتیک برای اندازه‌گیری اسلامپ است. سنسورها و کنترل‌ها امکان اندازه‌گیری و نمایش اسلامپ را می‌دهند. قابل اطمینان بودن آن‌ها باعث پذیرش آن‌ها در آیین‌نامه‌های مختلف مانند ASTM International شده است. برخی وسایل اندازه‌گیری اسلامپ مانند محصول Verifi می‌توانند به بتن درون تراک آب نیز اضافه نمایند. در ASTM C94/C94M سال ۲۰۱۳ در این مورد بازنگری شد و اجازه‌ی اضافه کردن آب به بتن در حال حمل درون تراک مجهز به تجهیزات مانیتور و اندازه‌گیری اسلامپ داده شد.

انتخاب انکر مناسب

کسانی که مسئول انتخاب نگه‌دارنده‌ها هستند - خصوصاً محصولات - که از لحاظ ایمنی اهمیت پیدا می‌کنند - با مجموعه‌ای از انتخاب‌ها روبرو هستند و یکی از مهم‌ترین تصمیمات، که معمولاً افراد با تجربه به آسانی انجام می‌دهند، انتخاب [انکر مناسب](#) است. به صورت کلی دو نوع انکر وجود دارد: انکرهای مکانیکی و انکرهای شیمیایی. انکرهای مکانیکی با ساختار پیچ مانند و یا گوه‌ای با جسم اتصال برقرار می‌کنند. انکرهای شیمیایی نیاز دارند سوراخ کاری انجام گیرد، سوراخ تمیز گردد، با ماده‌ی شیمیایی پر شود و سپس انکر می‌تواند در محل خود قرار گیرد. در ادامه با [خانه بتن](#) همراه باشید تا در این باره بیشتر بدانید.

انکر مکانیکی:

انکرهای مکانیکی تنها یک مشکل جدی دارند که اگر فاقد آن بودند، نیازی به انکرهای شیمیایی نبود. لکن پیش از پرداختن به این موضوع انکرهای مکانیکی را به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌کنیم: انکرهای انبساطی و انکرهای غیر انبساطی



انواع انکر مکانیکی:

اولین گروه، همان گونه که از نامش پیداست، شامل انکرهایی است که دچار انبساط می‌شوند، برخی با سفت کردن - که بعضاً به آن‌ها پیچی انبساطی اطلاق می‌گردد - مانند انکرهای گل‌میخی، انکرهای سپری (شیلد) و انکرهای غلافی (اسلیو)؛ و برخی دیگر با تغییر مکان یک تویی کوچک درون انکر (مانند انکرهای دراپ این). گروه دوم نیز شامل انکرهای آندرکات و پیچش خودکار می‌شود (که معمولاً به آن‌ها پیچ‌های بتنی گفته می‌شود).

مزایا و معایب انکر مکانیکی:

مهم‌ترین مشکلی که در انکرهای مکانیکی با آن روبرو هستیم، مربوط به انکرهای انبساطی بوده و از ویژگی‌های آن‌ها سرچشمه می‌گیرد. انبساط انکر به سمت گوشه‌های سوراخ در تکیه‌گاه ایجاد تنش فشاری و جهت تحمل این فشار باید در اطراف تکیه‌گاه به میزان کافی ملات باشد تا بتواند این تنش را تحمل نماید. همچنین معنی دیگر این حرف این است که انکرهای انبساطی معمولا برای استفاده در مواد ضعیف‌تر مانند آجر، سنگ و خصوصا بلوک که به آسانی دچار ترک و یا تخریب می‌شوند، مناسب نیستند. به عنوان مزیت نیز می‌توان اشاره کرد، معمولا انکرهای مکانیکی از انکرهای شیمیایی ارزان‌تر هستند، حساسیت آن‌ها نسبت به نصب اشتباه بسیار کم‌تر است، به سرعت می‌توانند تحت بارگذاری قرار بگیرند، و برخی از آن‌ها (بولت‌ها و انکرها غلافی) به آسانی قابلیت اتصال به نگه‌دارنده‌ها را از طریق سوراخ تعبیه شده درون خودشان دارند، درحالی که بسیاری از انکرهای شیمیایی برای اتصال نیاز به تمیزکاری بیشتری برای چسب کاری دارند.

انکرهای شیمیایی:

انکرهای شیمیایی به واسطه‌ی نصب تنشی را در تکیه‌گاه اعمال نمی‌کنند، بنابراین می‌توانند در فواصل کم‌تر و در گوشه‌های بتن مورد استفاده قرار بگیرند. آن‌ها همچنین مهار بهتری در مصالح بنایی ایجاد می‌کنند. این موارد مهم‌ترین مزیت‌های آن‌ان است. بنابراین اگرچه نواقصی دارند، در جهت کم کردن اثر این نواقص تلاش بسیاری شده است. در حالی که انکرهای خود پیچشی نیز در زمان نصب تنش‌های بسیار کم‌تری در تکیه‌گاه ایجاد می‌کنند و مقاومت بالایی در بتن دارند، و همچنین در سازه‌های بنایی به خوبی کار می‌کنند، مقاومت ایجاد شده توسط آن‌ها کم‌تر از انکرهای شیمیایی است و مهم‌ترین کاربردشان کاربری‌های موقت و یا کوتاه مدت است. انکرهای آندرکات نیز در سازه‌های بنایی به خوبی کار نمی‌کنند و تنها باید برای بتن مورد استفاده قرار گیرند.

در این جا نیاز به بیان یک مطلب احساس می‌گردد. غالبا مشاهده می‌شود که در بروشورها و یا وبسایت‌ها در مورد انکرهای شیمیایی (همچنین خود پیچشی‌ها و اندرکات‌ها) گفته می‌شود که این انکرها بدون تنش هستند و می‌توانند در نزدیکی گوشه‌ها یا فاصله کم از یکدیگر قرار بگیرند. این موضوع اشتباه است. ممکن است آن‌ها در هنگام نصب بدون تنش باشند، ولی به محض این که برای انتقال بار به تکیه‌گاه از آن‌ها استفاده شود، متحمل تنش خواهند شد. برای تحمل این تنش‌ها، نیاز است تکیه‌گاه به میزان کافی قوی باشد، بنابراین اگرچه فاصله از کنار و فاصله بین انکرها در این انکرها در مقایسه با انکرهای مکانیکی کم‌تر است، در صورتی که بارها زیاد باشد، هنوز هم می‌تواند قابل توجه باشد. باید توجه داشت که این انکرها نمی‌توانند بدون هیچ محدودیت در گوشه‌ها قرار بگیرند. قابلیت انکرهای شیمیایی برای اتصال با شکل نامنظم سوراخ‌ها باعث می‌شود که انتقال بار به صورت موثری در تمام طول اتصال صورت پذیرد و از تمام ظرفیت اتصال استفاده گردد. اما امکان انتخاب گسترده‌تر از میان انکرهای شیمیایی است که باعث شده در بیشتر مواردی که نیاز به انتقال بار به قسمت‌های محدود بتن و یا انتقال بار از طریق یک بیس پلیت با ابعاد محدود به بتن می‌باشد، انکرهای شیمیایی مورد استفاده قرار بگیرند.



انواع انکرهای شیمیایی:

انکرهای شیمیایی نیز با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند. اولین نوع انکرهای شیمیایی دارای تمامی ترکیب‌های شیمیایی (رزین، ذرات ریز و کاتالیزور) درون یک کپسول – در ابتدا از جنس شیشه و بعدها از جنس فویل‌هایی با مقاومت بالاتر در مقابل شکستن – بود. این

انکرها در گذشته و امروزه در بتن عملکرد مناسبی داشته و دارند، ولی در سازه‌های بنایی که رزین می‌تواند به دیگر حفرات موجود در مصالح بنایی نشت پیدا کند، عملکرد مناسبی ندارند. برای این کاربردها سیستم‌های تزریق رزین توسعه یافتند و این توسعه به حدی بود در بتن هم توانستند جایگزین محصولات قبلی شوند.

به صورت کلی دو سیستم کپسولی وجود دارد؛ درون چرخشی و درون چکشی. در اولی راد رزوه شده با شکل خاص باید درون کپسول چرخانده شده، و با محتویات مخلوط گردد. این کار با استفاده از یک دریل صورت می‌پذیرد. در دومی که برای استفاده اختصاصی با میلگرد طراحی شده است، راد با چکش درون یک کپسول خاص قرار می‌گیرد و باعث حرکت کاتالیزور به سمت رزین می‌گردد. این نوع به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند و در این مطلب به آن‌ها اشاره نمی‌کنیم.

انعطاف پذیری مربوط به انتخاب انکرها شیمیایی که به آن اشاره شد، مربوط به طراحی انکری است که طول اتصال در آن بین ۴ تا ۲۰ برابر قطرش باشد (جهت راحتی تزریق) و همچنین مقاومت راد آن مقداری مشخص باشد. مشابه‌ترین انکرها مکانیکی از این منظر، بولت‌ها هستند که در طول‌های متفاوتی موجود می‌باشند، که نه تنها امکان انتخاب نگه‌دارنده‌های با ضخامت مختلف را می‌دهند، امکان انتخاب عمق کاشت‌های متفاوت و نتیجتاً تحمل بارهای متفاوت را نیز ایجاد می‌کنند.

معایب انکرها شیمیایی:

تا این جا بیان شد که سیستم‌های شیمیایی می‌توانند قوی‌تر باشند، با فواصل کم‌تر و در گوشه‌ها قرار بگیرند، و در سازه‌های بنایی نیز استفاده شوند. اما نقاط ضعف آن‌ها چیست؟ انکرها شیمیایی از انکرها مکانیکی معادلشان گران‌تر هستند. جدای از هزینه‌ی رزین، که بسیار متغیر است، هزینه خرید تجهیزات و همچنین زمان بیشتری که به دلیل حساسیتشان برای نصب آن‌ها باید صرف کرد نیز قابل توجه است. اما در یک پروژه ایمن سازی مهم این هزینه اضافی در قیاس با کل کار بسیار اندک می‌باشد. شاید مهم‌ترین نقطه ضعف انکرها شیمیایی مربوط به نصب آن‌ها است. حساسیت آن‌ها نسبت به خوب تمیز نکردن سوراخ نسبت به انکرها مکانیکی بیشتر است و باید پیش از سفت کردن و یا تحت بار قرار دادن آن‌ها از گیرششان اطمینان حاصل کرد. تولیدکنندگان روی این دو ویژگی تلاش بسیاری داشته‌اند. سیستم‌های کپسولی در مقایسه با سیستم‌های تزریقی حساسیت کم‌تری نسبت به تمیز نبودن سوراخ دارند، زیرا عملکرد چرخش همراه با ذرات شکسته شده، مقداری از ذرات باقی مانده در سوراخ را به درون ترکیب می‌کشاند؛ در حالی که سیستم‌های تزریقی فقط رزین را روی گرد و خاک باقی مانده اجرا می‌کنند. همچنان برای انکرها شیمیایی توصیه به تمیز کردن کامل سوراخ با استفاده از دمیدن (یا وکیوم کردن)، جارو کردن و دمیدن می‌شود. مرحله‌ی جارو کردن ذراتی را که به اطراف سوراخ چسبیده را پاک می‌کند. اگرچه امروزه انکرها کپسولی وجود دارند، که تنها به دمیدن نیاز دارند، اهمیت این روش برای تمیز کردن سوراخ تا زمانی که همه‌ی انکرها به این پیشرفت برسند احساس خواهد شد. یک روش برای عدم نیاز به تمیز کردن جداگانه سوراخ، استفاده از دریل‌های توخالی است که به وکیوم متصل شده اند و همزمان با حرکت ذرات معلق را جذب می‌کنند. جدای از تمیز کردن سوراخ، این کار فرآیند نصب را برای نصاب و ناظران ایمن‌تر خواهد کرد زیرا از پخش شدن ذرات گرد و خاک جلوگیری می‌کند. زمان گیرش مشکل دیگر انکرها شیمیایی است، درحالی که انکرها مکانیکی می‌توانند به سرعت تحت بارگذاری قرار بگیرند. یک انکر کپسولی معمولی در دمای -۵C به ۴ ساعت و در دمای +۲۰C به ۱۰ دقیقه زمان نیاز دارد (دمای تکیه‌گاه مورد نظر است). یک رزین تزریقی با رزین مشابه به حالت قبل ممکن است به ۴ برابر این زمان نیاز داشته باشد. برخی تولیدکنندگان سیستم‌های گیرش سریع‌تری را توسعه داده‌اند که زمان گیرش را برای کپسول‌ها (برای استفاده با رادهای مخصوص در بتن ترک‌خورده) به چند دقیقه رسانده است. در مورد سیستم‌های تزریقی نیز به صورت کلی این زمان را به نصف کاهش داده‌اند که هنوز از زمان مورد نیاز برای انکرها کپسولی بیشتر است. از سوی دیگر رزین‌های شامل اپوکسی خالص ممکن است در همان دما به حدود ۱۷۰ دقیقه تا ۷ ساعت زمان نیاز داشته باشند و برخی از آن‌ها در دمای پایین +۵C به گیرش نخواهند رسید. این انکرها خواص ویژه‌ای برای استفاده‌های خاص، مانند؛ میلگردهای مهاری که صبر کردن را توجیه می‌کند؛ دارند. اما رزین‌هایی نیز وجود دارند که می‌توانند در دمای -۲۰C نیز نصب گردند، اما حداکثر دمای +۵C برای آن‌ها قابل قبول است. این چندگانگی فرمولی و دامنه‌ی زیاد این پارامترها باعث ایجاد سردرگمی شدید در میان استفاده کنندگان می‌گردد. بنابراین بهترین توصیه برای پیمان‌کاران

این است که تا جایی که ممکن است باید سیستمی را انتخاب کنند که متناسب به نیازهای آنان است، فقط همان را دنبال کنند و نصاب‌های خود را برای هر سیستم رزینی که استفاده می‌کنند آموزش دهند. اگرچه برای محل‌هایی که از لحاظ ایمنی دارای اهمیت می‌باشند، نوع انکر مورد استفاده توسط مهندسین مشخص می‌گردد - و باید هم این طور باشد- و نرم‌افزارهای ارائه شده توسط تولیدکنندگان از پیچیدگی‌های این فرآیند کاسته است، تا زمانی که اطلاعات وارد شده در نرم‌افزار دارای صحت هستند، نرم‌افزار مجموعه‌ای از انتخاب‌ها را معمولاً به تضمین تولیدکننده در اختیار استفاده کنندگان قرار می‌دهد. با آگاهی از معایب و مزیت‌هایی که در این مطلب به آن‌ها اشاره گردید، انتخاب بین این موارد برای یک کاربری خاص امکان‌پذیر می‌گردد. و نهایتاً با انتخاب آگاهانه نصاب مناسب و آموزش دیده جهت اجرای این انکرها، می‌توان از خواص این انکرها بهره‌مند گردید.



جمع‌بندی:

به صورت کلی جای‌گذاری و همچنین برداشتن انکرهای مکانیکی کار ساده‌تری است. این مدل انکرها باید تنها همراه با بتن‌های جامد و محکم مورد استفاده قرار بگیرند. اگر بتن ضعیف باشد، انکر به صورت کامل بسته نخواهد شد و عملکرد صحیح خود را نخواهد داشت. به این دلیل که تمام وزن و تنش در راس انکر متمرکز است، باعث ایجاد ترک در سیمان می‌گردد، خصوصاً در بتن‌های ضعیف‌تر. باید اطمینان یافت که سازه سوراخ بزرگ‌تر از انکر نیست، زیرا در غیر این صورت به درستی در محل خود ثابت نخواهد شد. با این وجود که گاهی این اتفاق می‌افتد، باید اطمینان یافت که انکر درون بخش خالی قرار داده نشود، زیرا باعث می‌شود سوراخ از خود انکر بزرگ‌تر باشد. اگر چنین اتفاقی افتاد، تنها گزینه دیگر ایجاد یک سوراخ دیگر در همان نزدیکی است، به هیچ وجه در همان سوراخ جای‌گذاری را انجام ندهید. یک هشدار مهم دیگر در ارتباط به انکرهای مکانیکی، فاصله گرفتن از گوشه‌ها می‌باشد؛ زیرا گسترش ترک‌ها را آسان می‌کند. اگرچه نصب انکرهای مکانیکی بسیار آسان‌تر است، تخریب آن‌ها نیز بسیار ساده‌تر است. انکرهای مکانیکی اغلب به راحتی به دلیل لرزش شل می‌شوند و به راحتی نیز دچار زنگ زدگی می‌شوند.

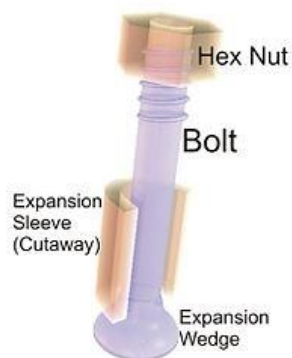
انکرهای شیمیایی از طریق واکنش‌های شیمیایی بسته می‌شوند و نصب آن‌ها نه تنها سخت‌تر بلکه گران‌تر نیز می‌باشد. زمانی که از انکرهای شیمیایی استفاده می‌کنید، نیازی نیست که نگران مقاومت بتن باشید، زیرا انکرهای شیمیایی با بتن‌های با مقاومت پایین نیز کار می‌کنند. برای نصب انکرهای شیمیایی شما ابتدا باید سوراخ کاری انجام دهید و سپس سوراخ را تمیز نمایید. زمانی که سوراخ تمیز شد، آن را با مواد شیمیایی پر می‌کنید. بسیار مهم است که سوراخ را به صورت کامل تمیز کنید، زیرا هر ذره‌ی کوچک و یا خاک باقی مانده در سوراخ باعث کاهش شدید اثر مواد شیمیایی می‌گردد. انکرهای شیمیایی ایمن‌تر و قابل اطمینان‌تر می‌باشند، زیرا مواد شیمیایی اجازه می‌دهند که تنش و وزن به جای تمرکز در راس انکر در سرتاسر آن پخش گردد. این موضوع باعث کم‌تر شدن ترک‌ها شده و آسیب‌های وارده به دیوار را نیز کاهش می‌دهد. علاوه بر قیمت بالاتر و فرآیند طولانی‌تر، اشکال دیگر انکرهای شیمیایی عدم عملکرد صحیح در دمای بالا می‌باشد.

استفاده از دو روش: در اغلب موارد در یک پروژه یا از انکرهای شیمیایی و یا از انکرهای مکانیکی استفاده می‌گردد. اگر زمان و هزینه دارای اهمیت زیادی نباشد، استفاده از هر دو به صورت همزمان نیز امکان‌پذیر است؛ به این صورت که انکرهای شیمیایی بیش‌تر

ظرفیت باربری را متحمل می‌شوند و انکرهای مکانیکی به عنوان پشتیبان عمل می‌کنند. خانه بتن با بهره‌گیری از متخصصان خود در زمینه کاشت انکرهای شیمیایی و انکرهای مکانیکی فعالیت می‌کند

انکر بولت چیست؟

انکر بولت در حقیقت به هر وسیله‌ای گفته می‌شود که برای اتصال هر شی خارجی به بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. انکر بولت‌ها انواع مختلفی دارند و طراحی‌های هر کدام با توجه به شرکت سازنده‌ی آن‌ها اختصاصی می‌باشد. انکر بولت‌ها دارای یک سر رزوه شده می‌باشند که قابلیت نصب و مهره را دارد. انکر بولت‌ها می‌توانند برای کاربردهای گوناگون مورد استفاده قرار بگیرند؛ از ساختمان‌های معمولی گرفته تا سدها و نیروگاه‌های اتمی. آن‌ها همچنین می‌توانند برای بستن صفحه ستون‌های فولادی بر روی فنداسیون بتنی مورد استفاده قرار گیرند. ساده‌ترین نوع آن‌ها، انکر بولت‌هایی هستند که قبل از بتن‌ریزی نصب می‌شوند. همان‌گونه که در تصویر نیز مشخص است، غالباً تشکیل شده از یک پیچ و یک سر شش ضلعی هستند، که درون بتن و قبل از خشک شدن آن جای گذاری می‌شوند. انواع دیگری نیز وجود دارند که برخی از آن‌ها شامل یک پیچ خمیده و یک بخش گیره مانند یا هر شکل دیگری از خمیدگی در طرف دیگر هستند. این انکر بولت‌ها قوی‌ترین نوع انکر بولت‌ها هستند ولی باید این نکته را نیز در نظر داشت که اجرای آن‌ها نیز دشوار است و معمولاً در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرند که ماشین آلات سنگین بر روی کف بتنی سوار هستند. کاربرد دیگر این نوع انکر بولت اتصال فنداسیون بتنی ساختمان به دیوارهای حائل است. با انجام این کار مقاومت سازه در برابر زمین لرزه افزایش خواهد یافت. در حال حاضر وسایل مختلفی برای نگه‌داری و جای‌گذاری انکر بولت‌ها در درون بتن ساخته شده است و خانه بتن با بهره‌گیری از تکنولوژی روز دنیا در این زمینه فعالیت می‌کند. به محض این که بتن ریزی انجام گرفت و گیرش بتن صورت پذیرفت؛ تنها انکرهای شیمیایی و مکانیکی می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. انکرهای شیمیایی قوی‌ترین نوع انکرها هستند ولی نصب آن‌ها می‌تواند با دشواری‌هایی همراه باشد، زیرا مواد شیمیایی باید به شکل خاصی ترکیب شوند، سوراخ‌ها باید به صورت کامل تمیز شوند و زمان‌بندی دقیقی باید برای نصب صورت پذیرد. همچنین باید به صورت دقیق مورد تست قرار بگیرد. در پروژه Big Dig در بوستون، این فرآیندها با دقت صورت نپذیرفت و در نتیجه‌ی آن یک دال بتنی بر روی یک وسیله نقلیه فرو ریخت. روش دیگر برای اتصال اجزا مختلف به بتن پیچ بتنی است.



انکر بولت شیمیایی چیست؟

انکر شیمیایی عبارتی کلی است که به بولت‌ها یا رادهایی اطلاق می‌گردد که درون لایه‌های بتنی یا بنایی، با استفاده از مواد شیمیایی پایه رزین کارگذاری می‌شوند. این انکرها برای بارهای سنگین کاربرد داشته و تقریباً در تمامی موارد، اتصال به دست آمده از خود ماده‌ی اصلی قوی‌تر است. همچنین با توجه به این که سیستم بر پایه چسب‌های شیمیایی است، در قیاس با انکرهای مکانیکی تنش اضافی به ماده‌ی پایه وارد نمی‌شود و این مساله کاربرد انکرهای شیمیایی برای گوشه‌های کار، زمان‌هایی که تعداد زیادی انکر قرار است نصب شود و همچنین استفاده در بتن‌هایی که کیفیت آن‌ها مشخص نیست و یا مقاومت فشاری آن‌ها کم است، را بیش از پیش می‌کند. اگرچه انواع مختلفی از انکر در بازار موجود می‌باشند، تمامی سیستم‌ها مبنای کاری یکسانی دارند و از یک رزین به عنوان ماده‌ی پایه و یک ماده‌ی دیگر باعث گیرش می‌گردد، تشکیل می‌شوند. انکرهای شیمیایی یک روش برای اتصال اجزا به بتن است که

نسبت به انکرهای مکانیکی انعطاف پذیری بیشتری دارد. انکرهای مکانیکی از جمله انکرهای غلاف بلند یا انکرهای گوه‌ای درون بتن قرار گرفته و با سفت شدن پیچ آن باز می‌گردد. این باز شدن باعث می‌شود انکر دیواره‌ی سوراخ را نگاه دارد و یک اتصال نسبتاً محکم ایجاد می‌کند. در حالی که یک انتخاب بسیار محبوب و اقتصادی به نظر می‌رسد، دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد. بنابراین برتری انکرهای شیمیایی چیست؟ با استفاده از انکرهای شیمیایی، پیش از قراردادن بولت، درون سوراخ رزین تزریق می‌گردد. با این کار، ماده شیمیایی درون تمام فضاهای خالی را می‌گیرد و با خالی کردن هوا، چسبندگی را ۱۰۰٪ می‌کند. این چسبندگی بالا ایجاد مقاومت اضافی می‌کند. در حالی که در انکرهای مکانیکی، طول (عمق کاشت) و قطر دارای محدودیت‌های باربری می‌باشند؛ انکرهای شیمیایی محدودیت عمق کاشت ندارند (البته از لحاظ تئوری)؛ بنابراین می‌توان جهت افزایش باربری، عمق کاشت را به میزان دلخواه در نظر گرفت. و همچنین با انتخاب سوراخ با قطر بیشتر و استفاده از راد ضخیم‌تر، ظرفیت باربری مجدداً افزایش خواهد یافت. انکرهای شیمیایی همچنین می‌توانند به سمت لایه‌های خارجی بتن و یا بلوک‌های بنایی مورد استفاده قرار بگیرند. ماهیت غیر انبساطی رادهای شیمیایی شدیداً احتمال ترک خوردن بتن مجاور آن را کاهش می‌دهد. این مسأله خصوصاً برای دال‌های کم عمق‌تر، یا راه پله‌های بتنی و کاربری‌های مشابه مناسب خواهد بود. در نهایت، استفاده از انکرهای شیمیایی، فرصت ایجاد تغییرات کوچک در راد را در زمان گیرش مواد شیمیایی ایجاد می‌کند؛ در حالی که در صورت استفاده از انکرهای مکانیکی، سوراخ کاری باید با دقت میلی‌متری انجام گیرد و اگر این اتفاق نیفتد، استفاده از انکر امکان‌پذیر نیست.

نقطه ضعف استفاده از انکرهای شیمیایی برای برخی پیمان‌کاران، دشواری نصب آن‌ها می‌باشد. همچنین در صورتی که نصب اشتباه انجام گیرد، ظرفیت باربری انکر زیر سوال خواهد رفت. پیروی کردن مراحل نصب به صورت صحیح بسیار اهمیت دارد، و برای این کار آموزش صحیح پیشنهاد می‌گردد. همچنین اگرچه معمولاً تصور بر این است که انکرهای شیمیایی گران‌قیمت‌تر هستند، این قیاس چندان صحیح به نظر نمی‌رسد؛ زیرا معمولاً برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ خصوصاً زمانی که باید الزامات مهندسی خاصی را برآورده کنند. اگر در ارتباط با انتخاب نوع انکرها دچار تردید شدید حتماً از راهنمایی کارشناسان بهره ببرید. تفاوت‌های انکر بولت‌ها را درک کنید.

معمولاً برای کسانی که آشنایی زیادی با انکرهای شیمیایی ندارند، شناخت تفاوت رزین‌ها کار آسانی نیست. برای کسانی که تخصصشان انکر می‌باشد نیز درک این تفاوت اهمیت بالایی دارد.

- پلی استر غیر اشباع
- اپوکسی اکریلات یا واینیل استر
- اپوکسی خالص
- سیستم‌های ترکیبی

انکر بولت شیمیایی – پلی استر غیر اشباع

این محصول همان رزین آماده واکنش است که برای ساخت ملات تزریقی ۲ جزئی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالی که هر دو رزین پلی استر غیر اشباع در استایرن (رزین اصلی) حل شده‌اند و رزین‌های پلی استری غیر اشباع بدون استایرن در کنار مونومرهای استایرنی به عنوان حلال مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ملات‌های تزریقی ۲ جزئی ساخته شده از این رزین‌ها، کاربرد سریع و آسانی داشته و با مقاومت شیمیایی اندکشان شناخته می‌شوند.

انکر بولت شیمیایی – اپوکسی اکریلات

این رزین‌های واینیل استر و ملات ۲ جزئی تزریقی که از آن‌ها ساخته می‌شود، ترکیب‌کننده‌ی خواص خوب حرارتی و مکانیکی رزین‌های اپوکسی با کاربری سریع و آسان رزین‌های پلی استر غیر اشباع است. رزین‌های واینیل استر نسل جدید بدون استایرن بوده و از دی متاکریلات‌ها به عنوان حلال استفاده می‌گردد. رزین‌های واینیل استر و ملات رزین آماده واکنش ساخته شده از آن‌ها با مقاومت شیمیایی بسیار بالا خصوصاً در محیط‌های قلیایی شناخته می‌شوند.

انکر بولت شیمیایی - اپوکسی خالص

زمانی که صحبت از انتخاب رزین‌های اپوکسی و ترکیبات سخت کننده می‌شود، انتخاب‌های زیادی وجود دارد؛ که در نتیجه‌ی آن شناخت دقیق خواص ملات‌های تزریقی ۲ جزئی امکان پذیر شده و امکان انتخاب برای نیازهای خاص را فراهم می‌کند. ملات‌های تزریقی ۲ جزئی اپوکسی رزین سخت شده، با کمک خواص حرارتی و مکانیکی خویشان و مقاومت فوق‌العاده‌شان در برابر مواد شیمیایی شناخته می‌شوند. مقدار انقباض به دلیل سخت شدن بسیار کم است و خواص خوب ترکیبی باعث تحمل بارهای زیاد در سوراخ‌های الماسی و سایر شکاف‌های حلقه‌ای شکل می‌گردد.

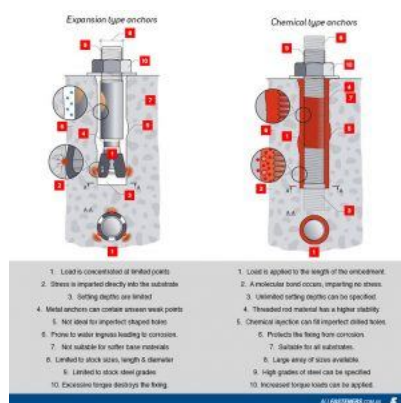
انتخاب آگاهانه انکرهای شیمیایی برای اطمینان از ایمنی و عمر طولانی اتصال بسیار مهم است. زمانی که خواص مختلف رزین به طور کامل درک نگردیده است، انتخاب می‌تواند با دشواری‌هایی همراه باشد. اگرچه با برطرف شدن این مشکل، امکان استفاده از بهترین و مناسب‌ترین محصول فراهم می‌گردد. زمانی که یک نوع به خصوص انتخاب گردید، تنها در صورتی امکان تغییر آن وجود دارد که خواص کاربردی با اهمیت در محصول جایگزین نیز وجود دارد.

انکر بولت های مکانیکی:

برای انکرهای مکانیکی، سائز سوراخ ایجاد شده نقش مهمی ایفا می‌کند. مناسب بودن سائز سوراخ ضروری است، زیرا اگر خیلی بزرگ باشد، نمی‌تواند به خوبی با جداره‌های سوراخ درگیر شود و نتیجتاً از تحمل بار شانه خالی خواهد کرد. انکرهای مکانیکی از اصطکاک با محلی که در آن قرار گرفته‌اند، بهره می‌برند. معمولاً راس انکر زمانی که درون سوراخ قرار داده شد، دچار انبساط می‌گردد و این انبساط با تکیه‌گاه به خوبی درگیر شده و انکر را محکم در محل خود نگه می‌دارد. نیروی استفاده شده برای محکم کردن انکر مانع از بیرون افتادن آن خواهد شد.

مقایسه‌ی انکر بولت های شیمیایی و انکر بولت های مکانیکی - کدام را انتخاب کنیم؟

انکرهای شیمیایی به زمان بیشتری برای گیرش نیاز دارند. انکرهای شیمیایی زودگیر ممکن است در مدت یک ساعت به گیرش برسند، درحالی که اغلب ممکن است به نزدیک به ۲۴ ساعت زمان نیاز داشته باشند. تا پیش از گیرش کامل نباید باری به انکر اعمال گردد. انکرهای شیمیایی دارای یک چسب تزریقی هستند که باعث می‌شود انکر به دیواره سوراخ متصل گردد. زمانبندی و موثرترین مرحله در ظرفیت باربری اتصال تمیز کردن سوراخ پیش از تزریق چسب می‌باشد. به همین دلیل، هیلتی وسایل مختلفی را ساخته است که می‌توانند به سرعت و اطمینان بخشیدن به مراحل نصب کمک کنند. این وسایل شامل دریل‌های سوراخ‌دار، وکیوم و رادهای HIT-HY 200 و HIT-Z می‌شود که به انجام به صرفه‌ی کار کمک می‌کنند. زمانی که سوراخ از گرد و خاک و آلودگی پاک گردید، با چسب‌های شیمیایی پر می‌شود.



تفاوت‌های بنیادین انکرهای شیمیایی و مکانیکی در ذیل آورده شده است:

ظرفیت باربری انکر بولت: در ارتباط با ظرفیت باربری این گونه نیست که بتوان گفت یکی از انکرها ظرفیت باربری بیشتری نسبت به دیگری دارد. هر دو مدل انکر یعنی مکانیکی و شیمیایی رنج بالایی از ظرفیت‌های باربری را شامل می‌شوند.

سرعت اجرای انکر بولت: در ارتباط با انکرهای شیمیایی تنها زمانی می‌توان بار را به آن‌ها اعمال کرد که گیرش به صورت کامل اتفاق افتاده باشد؛ در حالی که در انکرهای مکانیکی به محض پایان نصب امکان بارگذاری وجود دارد. بنابراین در مورد کارهایی که زمان نقش مهمی بازی می‌کند، انکرهای مکانیکی انتخاب بهتری هستند. با این حال انکرهای شیمیایی دیگری در بازار موجود هستند که زمان گیرش آن‌ها بین ۴۵ دقیقه تا ۱ ساعت می‌باشد، در حالی که انکرهای معمولی بین ۱۲ تا ۲۴ ساعت زمان نیاز دارند.

عایق بودن انکر بولت در برابر آب: در بسیاری از انکرهای مکانیکی بین انکر و تکیه‌گاه یک فاصله کوچک وجود دارد. زمانی که نگه‌دارنده در خارج از سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد، مثلاً برای یک کولر، تابلوها یا آنتن تلویزیون، استفاده از انکر مکانیکی می‌تواند باعث نشستی به داخل ساختمان گردد. در این شرایط، استفاده از انکرهای شیمیایی دارای رجحان می‌باشد، زیرا مواد شیمیایی فضای بین انکر و تکیه‌گاه را اشغال می‌کنند و اتصال در برابر آب عایق می‌شود. به همین دلیل انکرهای شیمیایی برای اتصالات خارجی که نشست در آن‌ها دارای اهمیت است مناسب می‌باشند.

به طور طبیعی در بیشتر مواردی که مورد استفاده دارای اهمیت ایمنی می‌باشد، انکرها توسط یک مهندس طرح می‌گردند. تا زمانی که مهندسین اطلاعات را وارد می‌کنند، نرم‌افزار انتخاب‌های مختلفی را پیشنهاد می‌دهد. از آنجایی که آن‌ها قادر به درک تفاوت بین انکرهای شیمیایی و مکانیکی هستند، خواهند توانست انکرهایی که متناسب با کاربرد مورد نظرشان هست را انتخاب نمایند. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد انکر بولت‌ها و همچنین روش انتخاب انکر مناسب این [مطلب](#) را بخوانید. همچنین خانه بتن با تجربه انجام [پروژه](#)‌های مختلف در این زمینه آماده ارائه هرگونه خدمات در زمینه [کاشت انکرهای شیمیایی و مکانیکی](#) می‌باشد.

انواع گسیختگی در انکر بولت‌ها کدام‌اند؟

بیشتر طول درگیر انکر به دلیل کاشت در مصالح پایه مانند آجر، سنگ، ملات، چوب یا بتن قابل مشاهده نیست. در کارگاه‌های صنعتی، اتصال خطوط تولید، لوله‌ها و تجهیزات گردان به فنداسیون توسط رادهای فولادی رزوه شده مدفون در بتن مسلح مناسب صورت می‌گیرد. متأسفانه مناسب نبودن انکر تا زمانی که یکی از این اتفاقات روی ندهد، قابل شناسایی نیست:

- گسیختگی کششی بولت
- بیرون کشیده شدن
- لرزش جانبی
- گسیختگی محلی
- جداسازی بتن



در سازه‌های پتروشیمی، از انکر بولت‌ها برای بستن لوله‌های فرآیند و یا ماشین‌آلات به فنداسیون استفاده می‌شود، که امکان انتقال بار به فنداسیون و نهایتاً زمین را ایجاد می‌کند. در بیشتر زیرساخت‌های بتنی، اغلب موارد بودجه‌ای برای نگهداری و تعمیرات انکر بولت‌ها در نظر گرفته نمی‌شود تا زمانی که شکست به شکل واضح روی دهد. خوردگی معمولاً علت گسیختگی انکرها است،

فرآیندهای خوردگی با توجه به دیده نشدن انکرها با شتاب بیشتری ادامه می‌یابند. با این حال شناخت علائم مانند لکه‌های زنگ‌زدگی، اگر همراه با انجام اقدام به موقع باشد، می‌تواند از خطر روی دادن حوادث مختلف بکاهد.

معرفی چند نمونه بتن با مقاومت بالا

با پیشرفت تکنولوژی در کشورهای توسعه یافته، بتن مقاومت بالا به شیوه‌های مختلفی ساخته می‌شوند. در ادامه چند نمونه بتن مقاومت بالا را معرفی خواهیم کرد:

• بتن‌های الیافی با مقاومت بالا

برای بهبود خواص بتن از جمله افزایش مقاومت بتن می‌توان از الیاف‌های مختلف در بتن استفاده کرد. بتن الیافی نوعی کامپوزیت می‌باشد که با استفاده از الیاف‌هایی از جنس شیشه و فولاد، می‌توان بتن با مقاومت بالا تولید کرد.

• بتن سبک مقاومت بالا

در ساخت این بتن از سنگدانه‌های سبک مانند لیکا و پومیس برای سبک‌سازی استفاده می‌شود و از افزودنی‌های معدنی و شیمیایی برای افزایش مقاومت بهره می‌گیرند.

• بتن خود متراکم

بتن خود متراکم نوعی از بتن‌های مقاومت بالا می‌باشد که تحت اثر وزن خود جاری می‌شود و از آن می‌توان در شبکه‌بندی فشرده آرماتور استفاده کرد زیرا به ویبره نیاز نخواهند داشت. از این بتن با توجه به خواص مکانیکی عالی، می‌توان در بخش‌های مختلف سازه و سازه‌های بلند استفاده نمود.

موارد استفاده از بتن با مقاومت بالا

با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد بتن‌های مقاومت بالا، از این بتن‌ها می‌توان در موارد مختلف استفاده کرد. در ادامه چند نمونه از سازه‌هایی که بتن با مقاومت بالا ساخته می‌شوند را معرفی خواهیم کرد:

- **سازه‌های مرتفع:** استفاده از بتن‌های HSC در سازه‌های مرتفع باعث کاهش ابعاد ستون‌ها و افزایش طبقات خواهد شد.

- **سازه‌های ساحلی:** این نوع بتن‌ها به دلیل نفوذ ناپذیری در مقابل عوامل مهاجم مانند یون‌ها و سولفات‌های موجود در آب دریا، گزینه مناسبی در سازه‌های ساحلی می‌باشند.

- **پل‌های بتنی:** از این بتن با توجه به مقاومت بالا می‌توان در ساخت پل‌های بتنی پیش‌تنیده و پایه‌های پل استفاده کرد.

- **استادیوم ورزشی:** با توجه به مشخصات منحصر به فرد بتن مقاومت بالا، از آن می‌توان در ساخت سازه‌های خاص مانند سقف و جایگاه تماشاگران استادیوم‌های ورزشی استفاده کرد.

مزایای بتن با مقاومت بالا

مهمترین معیار برای ارزیابی بتن، مقاومت آن می‌باشد که با توجه به مواردی که عنوان شد می‌توان مقاومت بتن را افزایش داد. حال بتن با مقاومت بالا دارای مزایایی است که از جمله آنها می‌توان موارد زیر را نام برد:

- بتن‌های مقاومت بالا دارای خواص مکانیکی بسیار ویژه‌ای هستند. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به مقاومت اولیه و نهایی بالا، جمع‌شدگی و خزش کم، مدول الاستیسیته بالا و دوام بالا اشاره کرد.
- از بتن با مقاومت بالا می‌توان در ساخت پروژه‌های حساس مانند پل، سد، استادیوم و برج استفاده می‌شود.
- بتن‌های مقاومت بالا در برابر عوامل مهاجم شیمیایی مقاوم می‌باشند.
- بتن‌های مقاومت بالا دارای کارایی نسبتاً بالایی هستند و در نتیجه سرعت اجرای عملیات ساخت و ساز را بالا خواهند برد.

- استفاده از بتن های HSC، باعث کاهش ابعاد اعضای سازه های بتنی خواهد شد و در نتیجه هزینه اجرای فونداسیون سازه نیز کاهش می یابد.

پارامترهای موثر در ساخت بتن با مقاومت بالا

هریک از اجزای تشکیل دهنده بتن از جمله سیمان، سنگدانه، آب و دیگر مواد افزودنی بتن در تولید بتن های HSC به نوعی نقش دارند. در این بخش قصد داریم هریک از این پارامترها را مورد بررسی قرار دهیم:

۱- نوع سیمان مصرفی و مقدار آن

یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده بتن، سیمان می باشد. نوع سیمان مصرفی و مقدار آن تاثیر بسزایی در کاهش و افزایش مقاومت بتن خواهد داشت. طبق تحقیقات انجام شده، استفاده از سیمان پرتلند معمولی (تیپ یک) با عیار مناسب در بیشتر موارد باعث ساخت بتن با مقاومت بالا می شود.

۲- نقش سنگدانه ها در بتن

دانه بندی سنگدانه ها یکی دیگر از مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار در تولید بتن با مقاومت بالا می باشد. کیفیت مناسب سنگدانه ها و اندازه بزرگترین سنگدانه تاثیر عمده ای در ساخت این نوع بتن ها دارد.

۳- نقش مواد افزودنی در بتن

همانطور که گفته شد، کاهش نسبت آب به سیمان در ساخت بتن با مقاومت بالا نقش مهمی دارد. به منظور کاهش آب به سیمان از روان کننده ها و فوق روان کننده ها به مقدار مجاز تعیین شده در آیین نامه استفاده می شود. استفاده از این مواد افزودنی علاوه بر کاهش نسبت آب به سیمان در بتن، کارایی بتن را افزایش می دهند.

۴- مواد جایگزین سیمان

مواد بسیار ریزدانه که باعث افزایش تراکم بتن خواهند شد و فضاهای خالی را پر می کنند، پوزولان نامیده می شوند. پوزولان ها مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومیناتی هستند که به تنهایی خاصیت چسبندگی ندارند اما در کنار رطوبت و فعالسازهای قلیایی واکنش شیمیایی دارند و خاصیت سیمانی پیدا می کنند. از جمله مهمترین پوزولان های پرکاربرد می توان به خاکستر بادی، سرباره و میکروسیلیس اشاره کرد. یکی از مصالح ساختمانی، بتن می باشد که بسیار کاربرد دارد. برای ساخت سازه های مقاوم از بتن با مقاومت بالا استفاده می شود که دارای ویژگی های منحصر به فردی می باشد. همانطور که می دانید بتن معمولی دارای مقاومت فشاری قابل قبول است ولی مقاومت کششی تقریباً یک دهمی نسبت به مقاومت فشاری خود دارند. با پیشرفت علم و تکنولوژی، بتن های مختلفی برای سازه های مختلف تولید شده اند که یکی از این بتن ها، بتن مقاومت بالا می باشد. اگر می خواهید با این نوع بتن آشنا شوید، پیشنهاد می کنیم تا انتهای این مطلب با ما همراه باشید.

بتن با مقاومت بالا چیست؟

بتن معمولی از ترکیب سیمان، شن، ماسه و آب تهیه می شود. حال برای افزایش مقاومت بتن لازم است که طرح اختلاط بتن دچار تغییراتی شود و از مواد افزودنی های جدید و مجاز برای ساخت بتن استفاده شود. مهمترین نکته در تهیه و ساخت بتن با مقاومت بالا یا HSC این نکته است که تا حد امکان نسبت آب به سیمان را در بتن کاهش دهیم که به این منظور می توانید از روان کننده ها و فوق روان کننده های موجود در بازار مطابق با آیین نامه استفاده نمایید. از دیگر عوامل مهم در رسیدن به مقاومت بالا، استفاده از سنگدانه های مقاوم و کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در بتن می باشد و همچنین از مواد ریزدانه با اندازه های بسیار ریز برای متراکم تر کردن بتن استفاده کنید. بنابراین مجموعه این اقدامات در ساخت بتن منجر به تولید بتن با مقاومت بالا خواهد شد.

بتن پر مقاومت

بتن با مقاومت زیاد یا بتن پرمقاومت، بتنی است که با سنگدانه های معمولی ساخته شده و مقاومت فشاری آن بیش از ۴۰ Mpa است. دو بحث مختلف از این تعریف نتیجه میشود:

۱- مقاومت بتن معمولی بین 21MPa تا 40MPa است. برای تولید بتنی با مقاومت بیش از 40Mpa ، نیاز به کنترل کیفیت دقیق تر، و همچنین دقت بیشتر در انتخاب مصالح و نسبت‌های آن (روان کننده ها، مواد افزودنی معدنی، نوع و اندازه سنگدانه ها، و...) است. از این رو برای تمایز این نوع بتن‌های مخصوص، که دارای مقاومت فشاری بیش از 40Mpa هستند، در مقایسه با بتن های معمولی، آنها را بتن‌های با مقاومت زیاد می نامند.

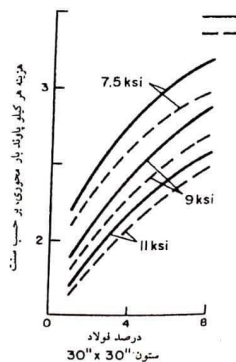
۲- مطالعات آزمایشگاهی نشان میدهد که در بسیاری از موارد، خصوصیات و ساختار میکروسکوپی بتن با مقاومت بیش از 40MPa ، با بتن معمولی فرق دارد. از آنجا که در بتن معمولی، مقاومت فشاری اساس طراحی بتن می باشد (رابطه تجربی تخمین مدول ارتجاعی از روی مقاومت فشاری)، لذا طراح باید برای طرح بتن های با مقاومت بیش از 40Mpa ، شیوه مخصوصی را مورد عمل قرار دهد.

اهمیت و مزایای بتن با مقاومت زیاد

بر اساس قیمت‌های بتن و فولاد در سال ۱۹۸۲ در شیکاگو (شکل زیر) به دست آمده است. این شکل نشان میدهد که اقتصادی ترین راه برای ساخت ستون‌های ساختمانهای بلند، استفاده از روشی است که در آن حداقل مقدار ممکن فولاد مصرف شده و حداکثر مقاومت ممکن نیز به دست آید. مزیت اقتصادی استفاده از بتن با مقاومت زیاد برای ستونها و دیوارهای برشی، در بسیاری از سازه های ساخته شده در شیکاگو، نیویورک، هوستون و دیگر شهرهای آمریکا به اثبات رسیده است. در ایالات متحده در مدت ۲۰ سال گذشته، عموماً از بتن با مقاومت زیاد برای ساخت سازه های بتن آرمه ۳۰ طبقه به بالا استفاده شده است. در ارتفاع بالایی ساختمان، ستونها با بتن معمولی ($4000 - 5000\text{psi}$) ساخته می شوند. اما چنانچه در پایین ساختمان، ستونها با بتن معمولی ساخته شوند، ابعاد ستونها بسیار بزرگ خواهد شد.

مهندسان و معمارانی که در نیویورک در زمینه طراحی ساختمانهای بلند فعالیت دارند معتقدند که انتخاب قاب بتن آرمه، در مقایسه با قابهای فولادی، در سازه های بلند فقط به دلیل مسایل اقتصادی نمی باشد بلکه سرعت عملیات ساخت ساختمانهای بتن آرمه، بیشتر از آن قابهای فولادی است. تا ۱۰ سال پیش، در مانهاتان، تمام ساختمانهای اداری با قاب فولادی ساخته می شدند، اما در سالهای اخیر ۲۵ درصد از تمام ساختمانهای اداری با قابهای بتنی ساخته شده اند.

قیمت یک یارد مکعب بتن در سال ۸۲		
قیمتهای واحد سال ۱۹۸۲		
$f_y = 60 \text{ ksi } (\$ 900/\text{ton})$ فولاد	3000 psi, ۵ کیسه سیمان (۴۷۰ یارد)	\$46.00
$f_y = 75 \text{ ksi } (\$ 950/\text{ton})$	4000 psi, ۶ کیسه سیمان	\$50.00
$f_c' = 7.5 \text{ ksi } (\$ 64.4/\text{cu.yd})$	5000 psi, ۷ کیسه سیمان	\$54.00
$f_c' = 9.0 \text{ ksi } (\$ 68.62/\text{cu.yd})$	6000 psi, ۳۰۰۰ psi	هزینه اضافی، نسبت به مخلوط با مقاومت
$f_c' = 11.0 \text{ ksi } (\$ 88.27/\text{cu.yd})$	7500 psi (۵۶ روز)	56.00
هزینه قالب بندی	ماده افزودنی کاغذی	1.28
هزینه بتن ریزی	ماده افزودنی کاغذی آب	1.65
	7500 psi (۵۶ روز), 3000 psi	\$58.93
	نسبت به مخلوط با مقاومت	57.00
	46.00 + (2.75 x 4.0)	57.00
	۷/۷۵ کیسه سیمان	1.70
	۱۰۰ یارد خاکشی بادی	4.00
	سنگ ۱/۲"	1.70
	ماده افزودنی کاغذی آب	1.70
	9000 psi (۵۶ روز), 3000 psi	\$64.40
	نسبت به مخلوط با مقاومت	61.00
	46.00 + (3.75 x 4.0)	61.00
	۸/۷۵ کیسه سیمان	1.70
	۱۰۰ یارد خاکشی بادی	4.00
	سنگ ۱/۲"	1.93
	ماده افزودنی کاغذی آب	1.93
	11000 psi (۵۶ روز)	\$68.62
		\$88.27
	مابه التفاوت سنگدانه سبک	\$12.00



شکل ۱۱-۴-۱ ارتباط بین مقاومت بتن و هزینه های ستونها.

"ارتباط بین مقاومت بتن و هزینه های ستونها."

در صنعت بتنهای پیش ساخته و پیش تنیده، استفاده از بتن با مقاومت زیاد سبب شده است که سرعت قالب برداری سریعتر شده، میزان تولید افزایش یافته، و اتلاف محصولات در هنگام حمل و انتقال کاهش یابد. به دلیل پایین بودن میزان نفوذ پذیری بتن با مقاومت زیاد، می توان از آن در مواردی که دوام بتن در مقابل سایش، فرسایش و تهاجم اهمیت دارد استفاده کرد.

مصلح و نسبتهای اختلاط بتن پر مقاومت

. مهمترین عاملی که مقاومت بتن با مقاومت زیاد را تعیین می کند، تخلخل در سه فاز بتن (سنگدانه ها، خمیر سیمان و ناحیه انتقال) می باشد. در **مقاومت بتن**، خصوصیات مصلح مصرفی در بتن، نسبتهای اختلاط، و تراکم بتن تازه، که در تخلخل خمیر سیمان و ناحیه انتقال اثر می گذارند، شرح داده شد. در صورتی که کارآیی بتن مناسب باشد، به نظر می رسد که نسبت آب به سیمان تعیین کننده میزان تخلخل خمیر سیمان هیدراته شده و ناحیه انتقال باشد. همچنین، در نسبتهای کم آب به سیمان مشاهده شده است که با کمی کاهش نسبت آب به سیمان، مقاومت زیادی قابل کسب می باشد. برای مثال، نتایج حاصل از تحقیقات نشان میدهد که با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸، ۰/۳۶ و ۰/۳۴ می توان به ترتیب به مقاومتهای فشاری ۴۰ Mpa، ۵۲ و ۶۰ دست یافت. با این وجود، کاهش نسبت آب به سیمان، متراکم کردن و جای دادن بتن تازه، مشکلتر می شود. برای تولید بتن با مقاومت زیاد اثر متضاد نسبت آب به سیمان بر روی قوام و مقاومت بتن نمی تواند بدون استفاده از مواد افزودنی کاغذی آب، هماهنگ شود. به همین دلیل، در ۱۰ سال اخیر استفاده از مواد فوق روان کننده نقش به سزایی در تولید بتن با مقاومت زیاد داشته است. در حقیقت، بدون وجود کارآیی فوق العاده مناسب، که با استفاده از فوق روان کننده ها به دست می آید، عملاً تولید اعضای پر فولاد، با بتن با مقاومت فوق زیاد (بیش از ۷۰ Mpa) و نسبت آب به سیمان ۰/۳ غیرممکن است. همان طوری که در **مقاومت بتن** شرح داده شده است، اصولاً ناحیه انتقال ضعیف ترین قسمت در بتن با وزن معمولی و ساخته شده با سنگدانه های مقاوم با حداکثر اندازه ۱۲ mm تا ۲۰ mm و نسبت آب به سیمان بین ۰/۴ تا ۰/۷ می باشد. به ازای یک نسبت آب به سیمان معین، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه های درشت، می توان

مقاومت بتن را به میزان زیادی افزایش داد زیرا بر اثر این کار، مقاومت ناحیه انتقال بهبود می یابد. بنابراین، در طرح اختلاط بتن با مقاومت زیاد، معمولاً حداکثر اندازه سنگدانه ها را ۱۹ میلیمتر یا کمتر در نظر میگیرند. در صورت نیاز به نسبت آب به سیمان کمتر و استفاده از سنگدانه های با اندازه کوچک، مقدار سیمان مصرفی به بیش از 385 kg/m^3 افزایش می یابد. در این زمینه بررسی هایی در مورد استفاده از 600 kg/m^3 سیمان، و یا حتی بیشتر از این، به عمل آمده است ولی بهتر آن است که از این کار اجتناب شود. با افزایش نسبت سیمان به بتن، به حدی می رسیم که با افزایش مقدار سیمان، مقاومت بتن، دیگر افزایش نمی یابد. دلیل آن، احتمالاً ناهمگنی ذاتی خمیر سیمان پرتلند هیدراته شده و وجود بلورهای بزرگ هیدروکسید کلسیم است که سبب ضعیف شدن قسمتهایی از بتن تحت تنش می شود. بنابراین، قسمتهای ناهمگن و ضعیف در ناحیه انتقال، به دلیل وجود ترکهای مویی، حتی قبل از اعمال بار خارجی نیز آسیب پذیرند. این ترکها به دلیل تنشهای ناشی از جمع شدگی حرارتی و یا جمع شدگی ناشی از خشک شدن، و نیز بر اثر اختلاف پاسخ ارتجاعی خمیر سیمان با پاسخ ارتجاعی سنگدانه ها به وجود می آیند. باید توجه داشت که افزایش مقدار سیمان به معنی افزایش هزینه، حرارت هیدراتاسیون و جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن است. هر گاه ناهمگنی سیمان پرتلند هیدراته، عامل محدودکننده مقاومت بتن باشد، می توان با تغییر دادن ساختار میکروسکوپی، اجزای مسبب ناهمگنی را کاهش داده یا آنها را حذف کرد. در مورد محصولات سیمانی، روش موثر و عملی برای این کار، استفاده از مواد پوزولانی در مخلوط بتن است. همانطور که قبلاً شرح داده شده، مواد افزودنی پوزولانی، مانند خاکستر بادی، با هیدروکسید کلسیم واکنش داده و تولید محصولات میکند که خصوصیت و ترکیب آنها همانند محصولات هیدراتاسیون سیمان پرتلند است. همچنین، واکنش پوزولانی با کاهش منافذ بزرگ همراه است، که این امر، اثر مهمی در افزایش مقاومت بتن دارد. استفاده از پوزولان فقط باعث همگنی محصولات هیدراتاسیون و کاهش هزینه ها، به علت جایگزینی سیمان با پوزولان نمی شود، بلکه اثر مهمتر آن، کاهش حرارت هیدراتاسیون می باشد. در بتن با مقاومت زیاد، به علت استفاده از مقدار زیاد سیمان در اعضای بزرگ سازه، امکان ترک خوردگی حرارتی وجود دارد. در نتیجه، در بعضی موارد، جایگزین نمودن قسمتی از سیمان با پوزولان، می تواند ریسک ترک خوردگی حرارتی را کاهش دهد. در مواردی که خاکستر بادی نوع F، جایگزین بخشی از سیمان پرتلند شود و با یک نسبت معین آب به سیمان، از آن بتن ساخته شده و در دمای معمولی عمل آورده شود، مقاومت های ۳ و ۷ روزه آن ممکن است کاهش یابد و این کاهش مستقیماً با مقدار پوزولان در کل مصالح سیمانی (پوزولان + سیمان)، نسبت مستقیم دارد. با این وجود، روند کسب مقاومت بتن دارای خاکستر بادی از نوع C یا سرپاره در ۷ روز اول هیدراتاسیون، بسیار قابل توجه می باشد. پوزولانهای بسیار فعال مانند دوده سیلیسی متراکم با پوسته برنج، در ۳ روز اول نقش به سزایی در روند کسب مقاومت دارند. البته در شرایطی که از واکنشهای تسریع شده هیدراتاسیون، مانند عمل آوری اعضای بتنی پیش ساخته بخار، استفاده می شود، اختلاف در فعالیت پوزولانی اثر چندانی در روند کسب مقاومت محصولات ندارد. کاملاً واضح است که اگر به جای سیمان، قسمتی از سنگدانه های ریز با پوزولان جایگزین کردن بتن در سنین اولیه، مقاومت کمی نخواهد داشت. در حقیقت، جایگزینی قسمتی از ماسه با خاکستر بادی یا سرپاره سبب افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت بتن، در سنین اولیه آن می شود، به شرطی که مقدار آب مورد نیاز در مخلوط بتن اضافه نگردد. توجه به این نکته مهم است که استفاده از این روش، صرفه اقتصادی ندارد و احتمال خطر ترک خوردگی حرارتی را در اعضای بزرگ کاهش نمی دهد (زیرا مقدار سیمان کاهش نیافته است)، ولی با این وجود، این کار، روش مناسبی برای افزایش مقاومت بتن در سنین اولیه است. طبق گزارشهای منتشر شده، هر دو روش جایگزین کردن قسمتی از سیمان و ماسه با پوزولان، یک مزیت محسوب میگردد.

مخلوطهای بتن متعارف

• در جدول زیر، اصول مهم تولید بتن با مقاومت زیاد با مقایسه ۳ مخلوط بتن، داده شده است. اختلاف مهم بین بتن های مصرف شده در ساختمان برج آب و برج تجاری تگزاس، در مقدار مصرف سیمان بیشتر در ساختمان برج آب و جایگزینی ۱۰ درصد وزنی خاکستر بادی نوع F به جای سیمان در بتن آن می باشد، در حالی که در ساختمان برج تجاری میزان سیمان مصرفی کمتر است و از ۲۰ درصد خاکستر بادی نوع C در مخلوط بتن استفاده شده است. نمونه های هردو بتن که در شرایط آزمایشگاهی عمل آوری شده اند دارای اسلامپ ۱۱۳ mm و مقاومت فشاری ۶۵-۶۷ مپا در سن ۲۸ روزه بوده اند. میانگین مقاومت ۱۳۹ نمونه گرفته

شده از بتن در برج تجاری تگزاس 56 MPa بوده است که نزدیک به مقاومت میانگین توصیه شده در آیین نامه است. چنانچه شرایط کارگاه ایده ال باشد مقاومت بتن با مقاومت زیاد، حدود ۹۰ درصد مقاومت نمونه های عمل آوری شده در آزمایشگاه می باشد. مخلوط بتن با مقاومت بسیار زیاد، در کارگاه های مختلف ایالت متحده آمریکا و کانادا ساخته شده، و تحت آزمایش قرار گرفته است. به علت استفاده از پوزولانهای بسیار فعال نظیر دوده سیلیسی، مقدار زیاد سیمان، و نسبت آب به سیمان بسیار کم (که با استفاده از مقادیر زیاد فوق روان کننده ها امکان پذیر شده است)، نتایج مقاومت فشاری ۲۸ و ۱۲۰ روزه بتن با مقاومت بسیار زیاد به ترتیب برابر با 110 MPa و 125 MPa بوده است.

مصلح	ساختمان برج آب شیکاگو (۱۹۷۵) [۱۷]	ساختمان برج تجاری تگزاس هوستون (۱۹۸۰)	مخلوطهای آزمایشی برای بتن با مقاومت بسیار زیاد (۱۹۸۴)
سیمان نوع ۱ پوزولان:	۸۴۶	۶۵۸	۱۰۰۰
خاکستر بادی نوع F	۱۰۰	-	-
خاکستر بادی نوع C	-	۱۶۷	-
دوده سیلیسی	-	-	۲۰۰
سنگ شکسته:	-	۱۹۲۳	-
حداکثر $\frac{1}{4}$ in	-	-	-
حداکثر $\frac{3}{8}$ in	۱۸۰۰	-	-
حداکثر $\frac{1}{2}$ in	-	-	۱۶۸۳
ماسه	۱۰۲۵	۹۷۴	۹۰۵
آب	۳۰۰	۲۷۲	۲۶۶
افزودنیهای کاهنده آب:			
ASTM C 494			
نوع A	۲۵	۲۵	-
فوق روان کننده	-	-	به مقدار زیاد*
نسبت آب به (سیمان + پوزولان)	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳

نسبتهای اختلاط برای بتن با مقاومت زیاد (بر حسب نسبتهای اختلاط برای بتن با مقاومت زیاد) (بر حسب

* مقدار دقیق نشده است. با این وجود، مصرف یک عامل سیمانی به میزان زیاد، و استفاده میکروسیلیس ریز، مصرف روان کننده ها به میزان زیاد را اجباری می سازد. استفاده از مواد افزودنی میزان بسیار زیاد، بدین منظور صورت گرفته است که نیاز به افزایش آب لازم برای مصالح ریز را - کند و امکان دستیابی به اسلامپ های مناسب را فراهم سازد.

بتن بسیار روان شده

. اگرچه از مواد افزودنی فوق روان کننده به منظور ساخت مخلوط های بتن با مقاومت زیاد استفاده می شود، ولی همان طور که در جنول ۳-۱۱ مشاهده می شود بتن با قوام زیاد (اسلامپ ۲۰۰ تا ۲۵۰) و مقاومت بیش از 70 MPa (نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۳) با استفاده از فوق روان کننده ها به راحتی قابل تولید می باشند. به طور کلی تجربه نشان میدهد که افزودن ماده فوق روان کننده به بتن به مقدار ۰/۵ تا ۱/۵ درصد وزن سیمان، اسلامپ بتن را از ۵۰ mm تا ۷۵ به مقدار قابل توجه ۲۰۰ mm تا ۲۵۰ افزایش میدهند با این وجود این قوام زیاد بتن، پس از ۳۰ تا ۶۰ دقیقه به حالت اولیه خود باز می گردد. (شکل زیر الف) در مواردی که بین زمان اختلاط و ریختن بتن اختلاف کمی وجود داشته باشد کاهش سریع اسلامپ مشکلی ایجاد نمی کند از طرف دیگر در صنعت بتن پیش ساخته کم بودن کارایی بتن بلافاصله بعد از بتن ریزی، یک مزیت محسوسی می گردد، زیرا در این حالت می توان عمل آوری با بخار را حذف کرد. ولی در صنعت بتن آماده کاهش سریع کارایی می تواند یک مشکل جدی به حساب آید. دو راه حل برای این مشکل وجود دارد. پژوهشگران نشان داده شد که اگر افزودن ماده فوق روان کننده چندین مرتبه تکرار گردد، افزایش اسلامپ بتن بسیار روان شده برای چنین سخت امکان پذیر است (شکل زیر ب) افزودن فوق روان کننده برای مرتبه دوم یا سوم به منظور جبران افت اسلامپ ممکن است موجب جداسدگی سنگدانه ها شود که باید در این مورد دقت شود. در روش دوم،

ترکیب ماده فوق روان کننده با یک مد کندگیر کننده اصلاح می شود و بدین ترتیب قوام برای مدت ۲ تا ۳ ساعت ثابت باقی می ماند (شکل زیر ج). استفاده از فوق روان کننده های با خاصیت کاهش اسلامپ به میزان کم، در صنعت بتن آماده در مناطق گرم مرسوم شده است.

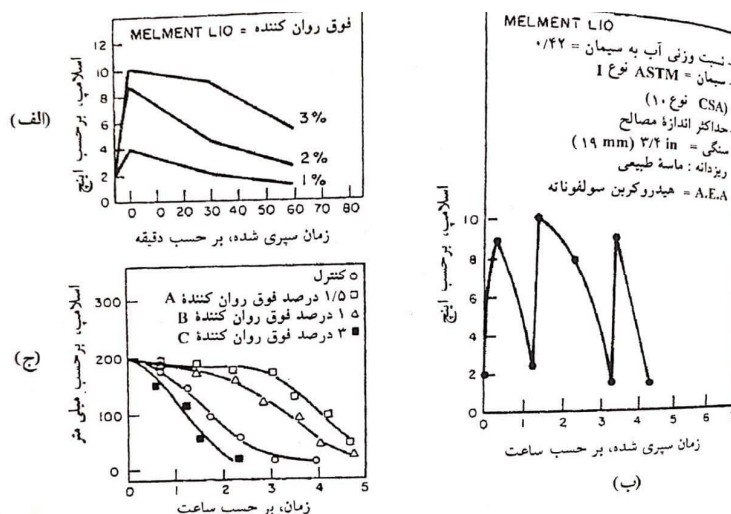
خواص بتن پر مقاومت

کارآیی

. مخلوطهای بتن با مقاومت زیادی که دارای مقدار زیادی مصالح ریزدانه (سیمان و پوزولان) بوده و با نسبت کم آب به سیمان و ماده افزودنی روان کننده معمولی ساخته شوند در مراحل اولیه مخلوطهایی چسبنده، و سخت هستند. بتن ریزی و تراکم مخلوطهای با اسلامپ صفر، بسیار مشکل است. ولی استفاده از فوق روان کننده این مشکل را حل کرده و در حال حاضر امکان تولید بتن با قوام زیاد وجود دارد. همچنین پمپاژ و یا استفاده از شوت بلند برای انتقال بتن، بدون احتمال خطر جداشدگی سنگدانه، حتی در نسبت آب به سیمان بسیار کم $0.3/0.4$ به راحتی امکان پذیر است.

مقاومت

. امروزه بتن های با مقاومت $55-120 \text{ MPa}$ در سن ۲۸ روزگی، در مناطق شیکاگو، هوستون و نیویورک در مقیاس صنعتی تولید می گردد. نکته قابل توجه در مورد مقاومت، ظرفیت بتن های با مقاومت زیاد برای کسب مقاومت سریع بدون استفاده از عمل آوری با بخار است. بتنهای استفاده شده در ساختمان برج آب شیکاگو و برج تجاری هوستون در شکل زیر با عمل آوری معمولی، در مدت ۲۴ ساعت به مقاومت 20 MPa تا ۲۷ رسیده اند. مخلوط بتن با مقاومت بسیار زیاد، در مدت ۱۲ ساعت 42 MPa ، و در مدت ۲۴ ساعت 64 MPa مقاومت کسب می کند. در این صورت است که ارزش بتنهای با مقاومت بسیار زیاد در صنعت بتن پیش ساخته و پیش تنیده مسلم می گردد.



مواد فوق روان کننده بر روی کارآیی بتن. الف) نحوه تغییرات افت اسلامپ، با گذشت زمان. ب) افزایش مجدد اسلامپ، بر اثر استفاده مجدد از فوق روان کننده ها ج) اثر فوق روان کننده بر روی افت اسلامپ" اثر مواد فوق روان کننده بر روی کارآیی بتن. الف) نحوه تغییرات افت اسلامپ، با گذشت زمان.

ب) افزایش مجدد اسلامپ، بر اثر استفاده مجدد از فوق روان کننده ها

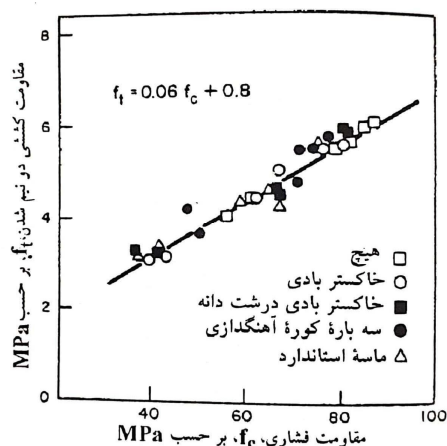
ج) اثر فوق روان کننده بر روی افت اسلامپ

ساختار میکروسکوپی، رابطه بین تنش و کرنش، گسیختگی، جمع شدگی ناشی از خشک شدن، و خزش

. براساس اصول طراحی مخلوطهای بتن با مقاومت زیاد، کسب مقاومت زیاد بتن با کاهش تخلخل و ناهمگنی و ترکهای موبین، در خمیر سیمان و ناحیه انتقال امکان پذیر است. از آنجایی که وجود ترکهای موبین زیاد در بتن معمولی، مبنای رفتار تنش - کرنش، خزش و گسیختگی آن است. ([مقاومت بتن و پایداری ابعادی بتن](#))، لذا درک علت رفتار متفاوت بتن با مقاومت زیاد، که ناشی از کاهش تعداد و اندازه ترکها در آن است، مشکل نمی باشد. مطالعات آزمایشگاهی انجام شده در دانشگاه کرنل، در مورد افزایش ترک خوردگی در بتنهای دارای مقاومت فشاری تک محوری حدود 30 Mpa - 75 ، نشان داده شده است که: ۱- بتن با مقاوت زیاد، در مقایسه با بتن معمولی، بیشتر شبیه مصالح همگن رفتار میکند و شیب منحنیهای تنش - کرنش در آن نسبت به بتن معمولی زیادتر است، و رفتار آن تا نسبتهای تنش - مقاومت بیشتری، در مقایسه با بتنهای با مقاومت معمولی، خطی است زیرا مقدار و روند افزایش ترکهای موبین در ناحیه انتقال کمتر است. بنابراین، بتن با مقاومت زیاد، در هنگام گسیختگی، تردی بیشتر و انبساط حجمی کمتری از خود نشان میدهد. مشخص شده است که این گونه بتن‌ها، تا نسبت های بالاتری از تنش و مقاومت قابل بار گذاری هستند، بدون آن که مکانیزم خود انتشاری در آنها شروع شده و منجر به شکست گسیختگی بشود، به عبارت دیگر درصد مقاومت باربری دراز مدت نسبت به مقاومت کوتاه مدت شان بیشتر از آن بتنهای معمولی است. ۲- میزان ترکهای میکروسکوپی در بتنهای با مقاومت زیاد، مربوط به جمع شدگی و بارگذاری کوتاه مدت آنها می باشد و میزان بار قابل تحمل آنها، به طور قابل ملاحظه ای از بتن با مقاومت معمولی کمتر است.

۳- با در نظر گرفتن موارد فوق مسلم است که بتنهایی با مقاومت زیاد (از ۴۰ تا ۶۰ مگاپاسکال) اصولاً رفتاری متفاوت با بتن معمولی دارند. براین اساس، بسیاری از مواردی که در آیین نامه ها در مورد بتن معمولی ذکر شده است، باید برای بتن با مقاومت زیاد تغییر یابد. برای مثال، به جای رابطه ذکر شده در ACI برای محاسبه مدول ارتجاعی استاتیکی بتن معمولی از روی مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن ([پایداری ابعادی بتن](#))، از رابطه زیر، که برای بتن با مقاومت زیاد مناسب است

استفاده شود. ضمناً توصیه میگردد که مقاومت خمشی خمشی خمشی آنها از رابط خمشی آنها از رابطه محاسبه شود. یاماموتو و کوبا یاشی (Kobayashi & Yamamoto) برای تخمین مقاومت کششی برزلی بتن با مقاومت 40 MPa تا 100 ، رابطه زیر را ارائه داده اند: شایان ذکر است که مقادیر آزمایشگاهی به دست آمده برای مدول ارتجاعی استاتیکی فشاری، برای سه مخلوط بتن (که از چپ به راست در جدول نشان داده شده است)، به ترتیب برابر $5/4$ ، $5/7$ و $6/25$ ($\Psi 10^6$) است. کرنش های ناشی از جمع شدگی و خزش در سن یکسالگی بتن با مقاومت بسیار زیادی که با استفاده از دوده سیلیسی و فوق روان کننده ساخته شده است. مطابق استاندارد $\text{ASTM } 512\text{ C}$ اندازه گیری شده و به ترتیب برابر با 315 و 10480 به دست آمده است. میزان بار اعمال شده در این آزمایش، 17 Mpa ، پس از ۲۸ روز عمل آوری اعمال گردیده است. این اطلاعات، منطقی به نظر می رسند زیرا مدول ارتجاعی زیاد، تخلخل کم، و ترک مویی کمتر در این نوع بتن‌ها، چنین نتایجی را ایجاب می کند.



رابطه بین مقاومت های فشاری و کششی برزیلی، در بتن با مقاومت زیاد حاوی مواد افزودنی معدنی " رابطه بین مقاومت های فشاری و کششی برزیلی، در بتن با مقاومت زیاد حاوی مواد افزودنی معدنی

دوام

. بسیاری از پژوهشگران، نفوذ پذیری کم بتن با مقاومت زیاد را عامل دوام عالی آن در مقابل عوامل مخرب فیزیکی و شیمیایی میدانند (دوام بتن). تا به حال، کاربرد صنعتی بتن با مقاومت زیاد برای آن دسته از اعضای سازه ای بوده است که در شرایط سیکلهای یخ زدن آب شدن قرار نمی گرفته اند. بتنهای دارای فوق روان کننده، معمولاً بیشتر از بتن معمولی، از فقدان حبابهای هوا و فضاهای خالی افزایش یافته، دچار مشکل می شوند. با این وجود، گرچه اندازه فضاهای خالی بتنهای حاوی فوق روان کننده، از 200 pm تجاوز می کند اما دوام آنها در برابر یخ زدن – آب شدن، که براساس استاندارد ASTM C666 آزمایش شده اند، کمتر از بتن معمولی نبوده و نتایج آزمایشها قابل قبول هستند. نتایج آزمایشهای مختلف دوام بر روی بتن با مقاومت بسیار زیاد، براساس گزارش ولسیفر، در جدول ارائه شده است و خلاصه آن به شرح زیر می باشد. با تولید حباب هوا به میزان $6/7\%$ درصد، مقاومت فشاری بتن پس از 300 سیکل یخ زدن و آب شدن به 75 MPa کاهش یافته (مطابق استاندارد ASTM C666) و انبساط، کاهش وزن، و ضریب دوام آنها به ترتیب 0.008 ، 0.13 و 97% درصد بوده است. نتایج آزمایش مقاومت آن در برابر سایش با استفاده از دستگاه دیسک گردان (ASTM C779) پس از 60 دقیقه سایش نشان میدهد که مقدار میانگین عمق سایش برابر با $1/5$ میلیمتر است. اندازه گیری میزان پوسته شدن در آزمایش یخ بندان با مواد یخ زدا (ASTM C672) نشان می دهد که بعد از 50 سیکل، هیچگونه پوسته شدنی به وجود نمی آید و پس از 500 سیکل فقط مقدار کمی پوسته شدن به چشم می خورد. آزمایش نفوذ پذیری کلر در نمونه های با 3 ماه سن (با 360 kg/m^3 سیمان، 76 kg/m^3 دوده سیلیسی و نسبت آب به سیمان $27/0$) در محلول 3% درصد NaCl نشان می دهد که مقدار یون کلر جذب شده 0.03% بوده است، این مقدار برای نمونه بتن کنترل با 385 kg/m^3 سیمان، نسبت آب به سیمان 0.38 ، و بدون پوزولان (0.28) بوده است. اما نمونه هایی که در معرض فشار آب برابر با 4 MPa قرار داشته اند، عملاً نفوذناپذیر بوده اند. در بتن با مقاومت بالا (70 MPa یا بیشتر)، میزان عبور جریان الکتریکی از نمونه، در مدت 6 ساعت، مطابق آزمایش استاندارد AASHTO T-277-83 ، در حدود 100 تا 1000 کولن بوده است که در نتیجه، این بتن به عنوان بتن با نفوذپذیری بسیار کم شناخته میشود. در سازه های با مقاومت زیاد، به علت مقدار سیمان زیاد آنها، ترک خوردگی حرارتی می تواند موجب مشکلات دوام شود. مطابق با استاندارد کمیته ACI308 ، افزایش درجه حرارت برای هر 100 kg/m^3 سیمان، در حدود 10 الی 14 درجه سانتیگراد است. مطالعات اخیر، نشان می دهد که در مرکز یک مکعب بتنی، به ابعاد 1220 میلیمتر، با 560 kg/m^3 سیمان، افزایش درجه حرارت 54 درجه سانتی گراد بوده است. به نظر می رسد که بتن با مقاومت زیاد دارای فوق روان کننده و حاوی مقدار زیادی سیمان و پوزولان با کیفیت خوب، در شرایطی که معیار اصلی، نفوذپذیری و دوام، و نه مقاومت باشد، از توانایی بالقوه ای برخوردار باشد. این گونه بتن، در کفهای کارخانجات صنایع شیمیایی، صنایع غذایی و عرشه پلهایی که در معرض شرایط سخت فیزیکی و شیمیایی واقعند، کاربرد دارند.

کاربردهای بتن پر مقاومت

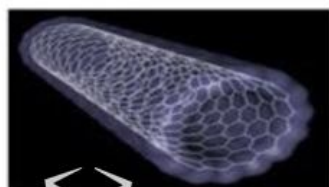
تاکنون بیشترین استفاده از بتن با مقاومت زیاد در ایالات متحده، محدود به مناطق شیکاگو، نیویورک و هوستون بوده است. از شروع سال 1965 ، پس از ساخت بتن با مقاومت 52 MPa برای ستونهای برج کناره دریاچه، در منطقه شیکاگو، بیش از 40 ساختمان بلند ساخته شده است. از سال 1972 ، برای ساخت ساختمانهای تجاری بیش از 50 طبقه، استفاده از بتن با مقاومت 60 MPa عمومیت پیدا کرده است. می توان ادعا کرد که با استفاده از مقاومت زیاد می توان ابعاد ستون ها را به حداقل رساند و در نتیجه زیبایی آنها نیز تامین گردد. بیست و هشت طبقه پایین یک برج آب 79 طبقه، شامل ستون هایی با بتن با مقاومت 9000 Psi است. در سال 1982 ، از بتن به مقاومت 100 MPa در ساختمان تجاری شیکاگو استفاده گردید. در سال 1989 ستونهای شش طبقه اول یک برج در شیکاگو، با بتن به مقاومت 96 MPa حاوی دوده سیلیسی ساخته شد. این پروژه همچنین دارای یک ستون آزمایشی ساخته شده با بتن به مقاومت 117 MPa بود. ساختمان پلازا در تورنتو، و ساختمان یونیون اسکویر در سیاتل به ترتیب

دارای اعضای بتن آرمه ای به مقاومت ۹۵ Mpa و ۱۲۰ Mpa می باشند. در سال ۱۹۷۹، ساختمان ۵۳ طبقه هتل پالاس در نیویورک اولین سازه ای بود که در ساخت آن از بتن با مقاومت زیاد (۸۰۰۰ Psi) استفاده گردید. از این بتن برای کاهش اندازه ستون ها استفاده می گردید. قبل از ساخت این ساختمان، که در آن از قاب بتنی با دال تخت استفاده شد، همواره در ساختمان های بیش از ۳۵ طبقه نیویورک، از قاب های سازه ای فولادی استفاده می شد. از بتن با مقاومت ۸۰۰۰ Psi با فوق روان کننده، در ساختمان ۴۶ طبقه ای در خیابان پارک استفاده گردید. این ساختمان، دارای هسته بتنی صلب و قاب بتن آرمه از نوع تیر و شاه تیر بود. از بتن با مقاومت زیاد، برای ساخت هسته و ستون های با قطر ۴۶ اینچ استفاده گردید. قاب بتنی ساختمان ۳۸ طبقه خیابان با استفاده از بتن با مقاومت ۸۵۰۰ Psi، همراه با فوق روان کننده، به منظور کاهش اندازه ستونها، ساخته شد.

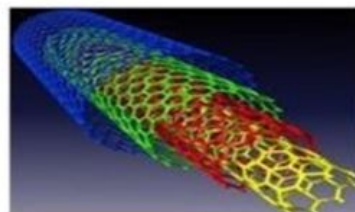
تولید بتن خود ترمیم شونده

نانو لوله های کربنی (Carbon Nano Tubes)

یک نوع از ذرات نانو که خواص قابل اشاره ای دارد نانوتیوب کربن (CNT) است و در حال حاضر تحقیقاتی روی تاثیرات مثبت اضافه کردن CNT به بتن برای ایجاد بتن خود ترمیم شونده در دنیا در دست انجام است. اضافه کردن مقادیر کم CNT به سیمان ، می تواند خواص مکانیکی نمونه هایی را که از دو فاز اصلی سیمان پرتلند و آب تشکیل شده، بهبود بخشد که یکی از این مهمترین خواص آن خود ترمیمی می باشد. نانو لوله های کربنی (CNT) نوعی از کربن است که اولین بار در سال ۱۹۵۲ در روسیه کشف ، ولی به دست فراموشی سپرده شد. این ماده مجدداً در سال ۱۹۹۰ در حلقه ی تکنولوژی نانو جایگاه ویژه ای پیدا کرد. نانوتیوب ها به فرم استوانه ای و به صورت تک جداره (SWNT (Single Walled Nano Tubes و چند جداره (Multy Walled Tubes) Nano Tubes تا طول چند میلیمتر تولید می شوند. دسته شدن تیوب ها با هم و دیگری فقدان جاذبه مولکولی بین آنها و تنه اصلی از جمله مشکلات اضافه کردن نانوتیوب های کربن به هر ماده است. به عبارتی اتصال نانو لوله ها به یکدیگر به صورت رشته ای است و این عدم چسبندگی کافی بین آنها و بتن است که از جمله مشکلات این روش به شمار می رود.



تک دیواره ای

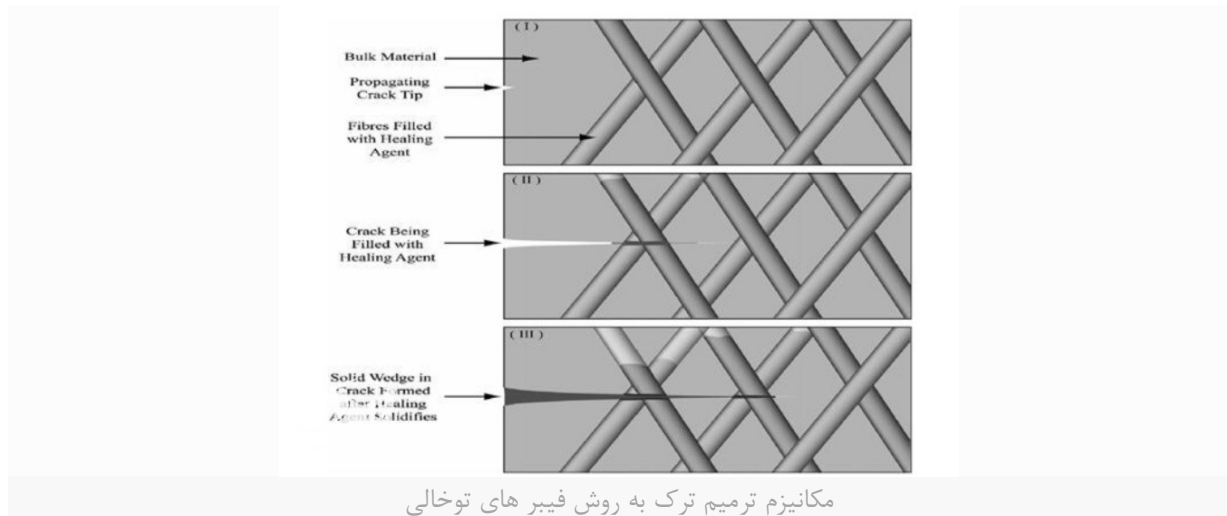


چند دیواره ای

فرم های نانو لوله های کربنی

فیبر توخالی Hollow Fiber

درای و سوتوس در سال ۱۹۹۲ روی روش آزادسازی شیمیایی ذخیره شده در فیبرهای میان تهی تحقیق کردند که در ابتدا در مواد سیمانی برای تغییر و بهبود ویژگی هایی مثل نفوذ پذیری ، تعمیر ترک ها و جلوگیری از خوردگی و انعطاف پذیری استفاده می شد. در این روش با به کارگیری رنگ های فلورسنت در عامل ترمیم کننده ی جاری در این الیاف ها ، پدیده ی کبودشدگی در موجودات زنده شبیه سازی می شود که خود نقش مهمی در تشخیص محل آسیب دیده دارد. به اینصورت که عامل ترمیم از فیبر نازک تو خالی آزاد میشود تا ترک های ایجاد شده را پر کند و ترک ترمیم گردد.

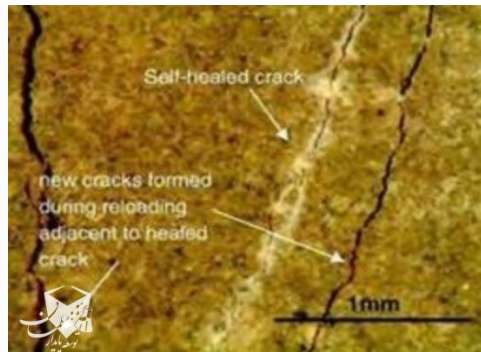


مکانیزم ترمیم ترک به روش فیبر های توخالی

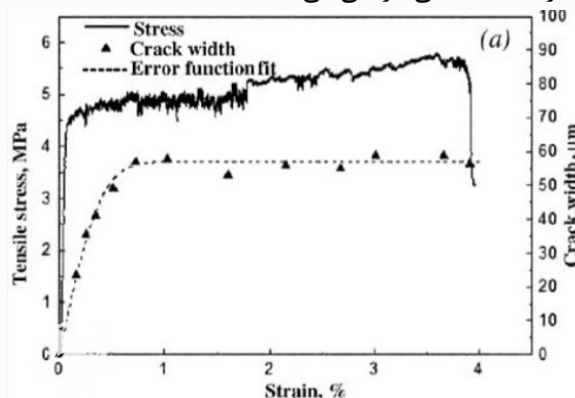
- مقطع بتنی ، آغاز ترک خوردگی مقطع و فیبر های حاوی عامل ترمیم در جداره (I)
- پرشدن ترک توسط عامل ترمیم (II)
- ترمیم کامل ترک (III)

۳-۳- کامپوزیت سیمانی مهندسی (Engineered Cementitious Composite ECC)

بتن سیمانی مهندسی (ECC) ساخته می شود ، الهام گرفته از بهبود جراحات وارده بر موجود زنده است. بدین ترتیب که با ترمیم مداوم ترکهای ریز حاصله ، اجازه ی گسترش ترک و ایجاد شکاف عمیق را نمی دهد ، حتی اگر قطعه ی بتنی آسیب دیده بارها تحت بارگذاری قرار گیرد. در واقع مهم ترین مشخصه سیمان مهندسی که با به کارگیری نانو مواد ساخته می شود این است که فقط امکان بروز ترک های مویی با عرض حداکثر ۶۰ میکرومتر نزدیک به هم ، به جای ترک های عمیق در بتن حاصله را خواهد داشت. به عبارتی بتن های جدید (ECC) در مقایسه با بتن معمولی انعطاف پذیری بسیار قابل توجهی دارند. عملکرد بتن هایی که با استفاده از کامپوزیت های به صورت حسگر ، کرنش جزئی در محل ترک را شناسایی می کند و با فرستادن پیام به بخش ترمیم کننده) مانند عملکرد نرون ها در بدن جانوران (عامل ترمیم کننده ی آزاد می شود و ترک را ترمیم می کند. مکانیزم فرستادن پیام به صورت قطع قسمتی از جریان در محدوده ی آسیب دیده ، افزایش مقاومت الکتریکی و در نتیجه افزایش دما و ذوب پوسته ی محتوی عامل ترمیم است. البته طراحی این سیستم که برای ترمیم از انرژی گرمایی جهت آزاد شدن عامل ترمیم محبوس شده در روکش استفاده می شود با حساسیت های زیادی همراه است. به طوریکه افزایش دما در بتن نباید منجر به تبخیر آب درونی و از هم پاشیدن ساختمان آن شود. تحقیقات نشان می دهد استفاده از پوزولان خاکستر بادی در کنار ECC عملکرد آن را بسیار بهبود می بخشد. خاکستر بادی با هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 اصل از فرآیند هیدراتاسیون سیمان واکنش داده و ژل سفید رنگی تولید می کند که قادر به دوختن ترک های مویی و خود ترمیمی است. این نوع بتن خود متراکم برای حفاظت بتن های مسلح در محیط های خورنده ، نظیر محیط های کلریده که امکان نفوذ یون کلر محلول موجود در آب از طریق ریز ترک ها و خوردگی آرماتورها و کاهش مقاومت کلی بتن مسلح وجود دارد ، بسیار حائز اهمیت است. این بتن به گونه ای عمل می کند که به هنگام ایجاد ترک در آن ، مقداری از مواد سیمانی هیدراته نشده که در درز ترک ها موجود است در مجاورت دی اکسید کربن و آب واکنش داده و لایه بسیار نازک سفید رنگی از کربنات کلسیم در امتداد ترک ها تشکیل شده و مانع از گسترش ترک می گردد و در واقع ترک ها را ترمیم می کند و در نتیجه دوام ، نفوذپذیری و خواص مکانیکی بالقوه بهبود میابد.



خودترمیمی ترک در بتن ECC و گسترش ترک پس از بارگذاری مجدد نمونه در محلی غیر از موقعیت ترمیم شده با توجه به شکل نمونه منحنی رفتاری بتن های ECC تحت اثر تنش کششی مستقیم نشان داده شده است ، همانگونه که در شکل مشاهده می شود این بتن ها بر خلاف بتن های معمولی ، پس از ترک خوردن مقاومت خود را از دست نمی دهد و قادر به تحمل تغییر شکل و کرنش کششی و ارائه رفتار سخت شدگی کرنشی می باشند.



نمونه منحنی تنش-کرنش و عرض ترک ECC تحت اثر کشش یک محوره

ظرفیت کرنش کششی نهایی ECC ها بیش از ۳ درصد (چند صد برابر بتن عادی) می باشد و در عین حال عرض ترک ها را زیر $60 \mu m$ نگه می دارد. عرض بسیار کم ترک ها در نتیجه توانایی مواد ECC در توزیع سطحی ترک می باشد به گونه ای که با ثابت نگه داشتن عرض ترک ، طول آن را افزایش می دهد. بر خلاف بتن معمولی یا بتن الیافی ، این ویژگی ECC امکان کنترل عرض ترک را مستقل از نسبت آرماتور و ابعاد سازه فراهم می کند. با توجه به این ویژگی ، عرض کم ترک در نمونه های آزمایشگاهی برابر با عرض ترک در سازه های تمام مقیاس می باشد. با این خصوصیت انتظار می رود مواد ECC پتانسیل خوبی برای خود ترمیمی در شرایط محیطی مختلف داشته باشند، حتی زمانی که با چند درصد کرنش کشیده می شود.

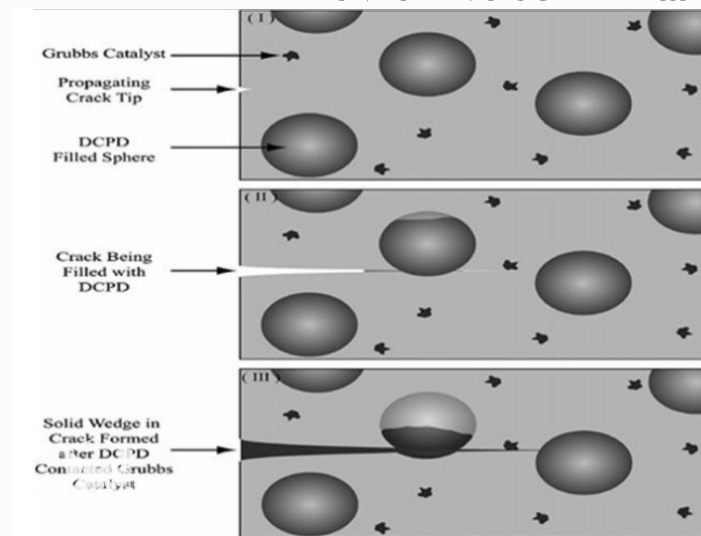
۴- اصول طراحی در تولید بتن خود ترمیم شونده

۱- ۴- میکرو کپسول های پر شده Microencapsulated Healing Agent

این روش با الهام گرفتن از نقش گلبول های قرمز در لخته شدن خون و ترمیم ، کپسول های حاوی نانو مواد ترمیم کننده به بتن تزریق می شود. این میکروکپسول های کروی نازک که از مایع ترمیم کننده Agent Healing پر شده اند اصولاً از نوع Dicyclopentadiene می باشد. این میکروکپسول ها حین برخورد با ترک شکسته شده ، عامل ترمیم داخل ترک رها شده و با کاتالیزور برخورد می کند. به این ترتیب عمل پلیمرزاسیون صورت گرفته و با تشکیل ماده ای سخت ، ترک ترمیم می شود. عکس العمل شیمیایی بین عامل ترمیمی و کاتالیزور ماده را ترمیم و از رشد ترک جلوگیری می کند.

- کاتالیزور، آغاز ترک خوردگی مقطع و لوله های محتوی عامل ترمیم (I)
- شکسته شدن پوسته نازک میکروکپسول در اثر رسیدن ترک، آزاد سازی عامل ترمیم و نفوذ آن به درون ترک (II)

• پلیمرزاسیون در مجاورت کاتالیزور، سخت شدن و در نهایت ترمیم ترک (III)



مکانیزم ترمیم ترک در سیستم میکروکپسول

از آنجایی که خرابی در یک سازه بتنی با تشکیل ترک های ریز ، انتشار و عریض شدن آنها صورت پذیرد لازم است از کپسول های کوچکی با ابعاد حدود ۱۰۰ میکرومتر برای ترمیم ترک های ریز اولیه و جلوگیری از گسترش آنها استفاده کرد. علاوه بر آن جداره میکروکپسول ها باید خیلی نازک باشد تا به محض رسیدن ترک به دیواره ، میکروکپسول به راحتی شکسته و عمل ترمیم آزاد شود. این سیستم مزیت هایی چون عمر مفید طولانی ، تکمیل پلیمرزاسیون در چند دقیقه و پر شدن ترک های عرضی از مواد دارد.

بتن خود تراکم چیست؟

از آزمایش های مختلف استنتاج می شود هرچه سیستم به سمت حالتی پیش برود که عامل ترمیم به همراه کاتالیزور یا به بیانی واقعی تر مایع ترمیم کننده پلیمرزاسیون شده، از یک منبع خارجی به داخل ترک های بتن به صورت خودکار توسط یک سیستم هوشمند تزریق شود ، شاهد افزایش درصد ترمیم نمونه خواهیم بود. این حالت زمینه پیدایش روش شبکه مویرگی را فراهم خواهد ساخت.

۲ - ۴ - انتخابگر ناحیه ی گرمایی (Selective Heating)

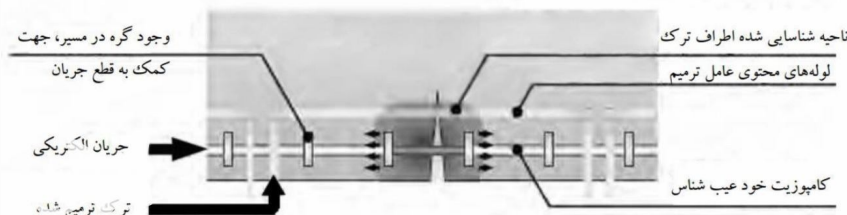
یکی از هوشمند ترین سیستم های خود ترمیم که در نمونه های بتنی مورد توجه قرار گرفته است سیستم انتخابگر ناحیه گرمایی است. این روش به عنوان کارا ترین سیستم که در اکثر اوقات ۱۰۰ درصد را برای ترمیم به خود اختصاص می دهد شناخته می شود. این سیستم از دو بخش اصلی تشکیل شده است :

۱ - کامپوزیت های خود عیب شناس Composite Diagnosis-Self که از فایبرها و مواد هادی جریان الکتریسیته ساخته شده اند که هم قابلیت های یک کرنش سنج را دارا هستند و هم به عنوان یک ماده ی عملکردی ، توانایی ثبت تاریخچه ی زمانی خرابی در سازه را دارند. در حقیقت بخش اول به عنوان حسگر یا چشم نمونه ، هر جا ترکی اتفاق بیفتد آن را شناسایی می کند و با فرستادن پیام به جز ترمیم کننده (همانند عملکرد نورن ها در بدن جانوران) این بخش را فعال کرده ، سیستم ترمیم کننده درصدد رفع خرابی برمی آید.

۲ - بخش ترمیم کننده pipe Film Organic Plasticity-Heat که محتوی نانو مواد عامل ترمیم و به صورت لوله هایی از جنس مصالحی با خاصیت پلاستیک شوندگی در برابر گرما است. به گونه ای که تا قبل از گسترش هرگونه ترکی از خروج عامل ترمیم جلوگیری می کند.

زمانی که ترکی در قطعه رخ می دهد ، بخش اول به صورت حسگر ، کرنش جزئی در محل ترک را شناسایی می کند و با فرستادن پیام به بخش ترمیم کننده عامل ترمیم کننده ای آزاد می شود و ترک را ترمیم می کند. مکانیزم فرستادن پیام به صورت قطع قسمتی از جریان در محدوده ی آسیب دیده ، افزایش مقاومت الکتریکی و در نتیجه افزایش دما و ذوب پوسته ی محتوی عامل ترمیم است.

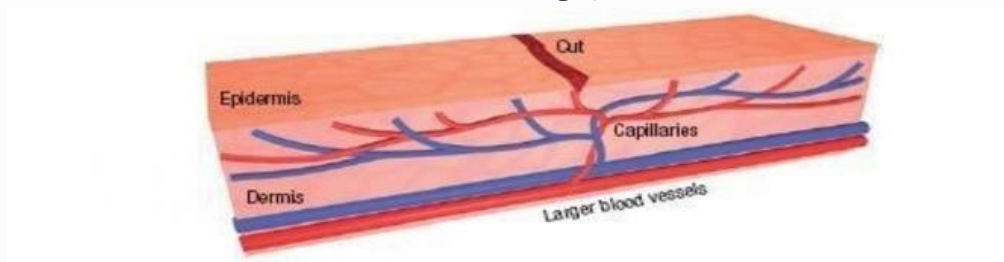
این سیستم به صورت تکمیل شده می تواند با مانیتور کردن اطلاعات عیب شناس ، نمایش و کنترل فرآیند تخریب را در خارج از سازه در اختیار عوامل بیرونی انسانی قرار دهد که خود تحول عظیمی را در صنعت بهسازی و ترمیم بتن در سازه های حساس در پی خواهد داشت.



مکانیسم ترمیم خرابی در سیستم انتخابگر ناحیه گرمایی

۳-۴ - ساخت شبکه مویرگی

در ترمیم به روش میکروکپسول ، میکروکپسول ها حین برخورد با ترک شکسته می شوند ، در مجاورت کاتالیزور عمل پلیمرزاسیون صورت می گیرد و با تشکیل ماده ای سخت ، ترک ترمیم می گردد.



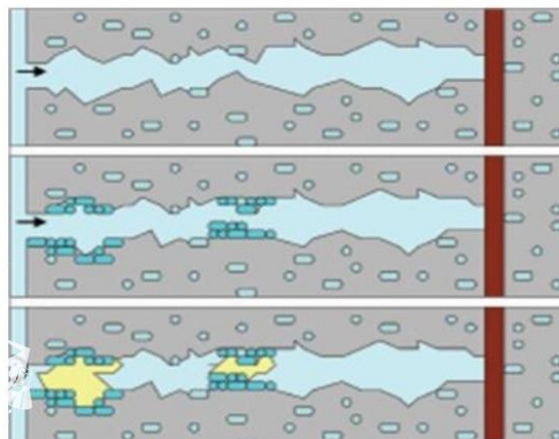
شبکه مویرگی جهت توسعه و تعبیه میکروکپسول ها با الهام از سیستم بیولوژیکی

در این روش ممکن است با افزایش میزان میکروکپسول ها ، همگنی و یکنواختی بتن تحت تأثیر قرار گیرد و کاهش مقاومت و طاقت قطعه ی بتنی را موجب شود. بنابراین جهت بهبود عملکرد ، نیاز به تزریق مایع ترمیم کننده از طریق یک سیستم هوشمند احساس می شود. تحقیقات اخیر بیانگر امکان تعبیه ی شبکه ی مویرگی Micro Vascular Network به صورت انتقال نانو مواد عامل ترمیم با تکیه بر خاصیت مویینگی از منبع به محل خرابی و پلیمرزاسیون در مجاورت کاتالیزور و نتیجتاً تشکیل ماده ی سخت و ترمیم ترک می باشد. تحقیقات آتی درصدد توسعه ی شبکه ی مویرگی در بتن حاوی عامل های ترمیم کننده ، به صورت کاملاً هوشمند همانند سیستم بیولوژیکی است.

۴-۴ - بتن خود ترمیم شونده با باکتری Bacteria

روش دیگری به صورت تلفیقی از مواد طبیعی و نانو مواد جهت ترمیم هوشمند بتن ، توسعه یافته است. این روش با کمک نوع خاصی از باکتری های موجود در طبیعت که قادر به زیست در محیط قلیایی بالای بتن هستند ، برای ساخت بتن خود ترمیم استفاده می شود. دسته هایی از هاگ های پرطاقت باکتری متعلق به گروه باسیل ها هستند.

نمونه این باکتری موسوم به باسیلوس است که در دریاچه های دارای خاصیت قلیایی در کشورهای روسیه و مصر به مدت طولانی قادر به زیست بوده اند. این باکتری ها به همراه منبع تغذیه شان در گلوله های کوچک از جنس سرامیک تعبیه شده و به صورت سوسپانسیون در آب بتن قرار داده می شوند تا از فعالسازی نا بهنگام در مخلوط بتن خیس جلوگیری شود. این بتن با کمک باکتری موجود در میکروکپسول و در صورت تزریق آب قابلیت خود ترمیمی پیدا می کند. میکروکپسول با در میان گرفتن و محافظت از باکتری مواد مغذی و لاکتات کلسیم را برای رشد آن تامین می کند. باکتری ها تا زمان شکل گیری ترک ، به صورت پیش فعال یا به اصطلاح خواب در بتن باقی می مانند و سپس در اثر گسترش ترک و نفوذ آب به مقطع ، فعال شده و در اثر واکنش با ترکیبات بتن ، رسوب سخت کربنات کلسیم تولید و به وسیله آن منافذ ترک بسته خواهد شد.



ساز و کار ترمیم خرابی با استفاده از باکتری ها

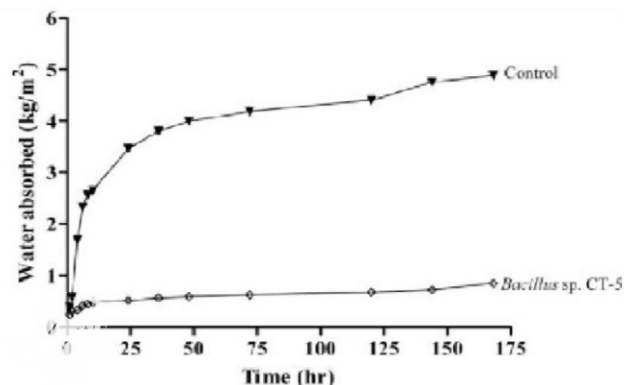
زمانی که آنها شروع به تغذیه می کنند آب را حریصانه می بلعند و به مقدار فراوانی سنگ آهک بلورین تولید می کنند که به سرعت باعث پرشدن منافذ و سوراخها می شود. این بتن جدید عمر سازه را تا ۵۰ درصد افزایش داده و نیاز به تعمیرات دوره ای را کاهش می دهد ، همچنین می تواند از زنگ زدگی فولاد داخل بتن جلوگیری بعمل آورد.

- فعال شدن هیدرولیز به دلیل رسیدن آب به باکتری ها در اثر ترک خوردن و نفوذ آب به درون نمونه
- تشکیل رسوب کربنات کلسیم در صورت وجود یون های Ca^{+2} به مقدار کافی
- بسته شدن ترک ها توسط رسوب کربنات کلسیم و جلوگیری از نفوذ پذیری

انتخاب نوع باکتری که به صورت سوسپانسیون در بخشی از بتن وارد می شود مهمترین پارامتر طراحی در این سیستم است. در این راستا ضروری است باکتری منتخب:

- قابلیت زنده ماندن برای مدت زمان طولانی در محیط قلیایی بتن با PH در حدود ۱۱ تا ۱۳ را داشته باشد.
- از مقاومت مکانیکی کافی برای زمان میکس برخوردار باشد.
- باعث کاهش مقاومت اولیه و نهایی بتن نشود.

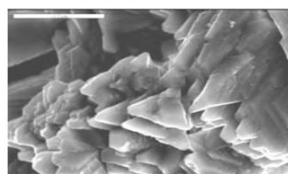
در یک سری آزمایشات بر روی جذب آب به منظور تعیین میزان نفوذ پذیری نمونه های ترمیم شده توسط باکتری انجام داده است که نتایج آن در شکل زیر ذکر شده است.



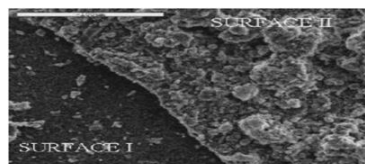
همانگونه که در شکل نشان داده شده تاثیر درمان باکتری در طول دوره زمان ۱۶۸ ساعت برای جذب آب در حدود ۶ برابر نمونه شاهد است که تأیید کننده تشکیل رسوب کلسیم در حضور باکتری می باشد. نقطه قابل توجه سرعت زیاد رسیدن به جذب آب مطلوب و اختلاف کم در میزان جذب آب در زمان های بیش از ۱۰ ساعت برای نمونه های باکتریایی است. این مطلب نشان دهنده تاثیر بالای تشکیل حتی یک لایه کلسیت در برابر میزان جذب آب می باشد. برای اطمینان از تشکیل لایه های کلسیت از آنالیز کیفیت سنجی پرتو اشعه ایکس استفاده می شود. برخی از عکس های گرفته شده برای نمونه هایی که تحت درمان باکتری قرار گرفتند، نمایش دهنده دو سطح I و II است. سطح I بیانگر ماتریس سیمانی معمولی و سطح II بیانگر رسوبات برجسته کربنات کلسیم و تشکیل الیه های ضخیم و نفوذ ناپذیر است.

شاخص های پایداری چشمی بتن خود تراکم

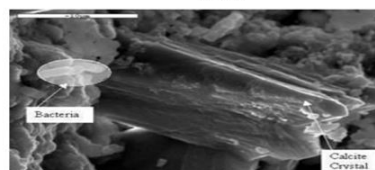
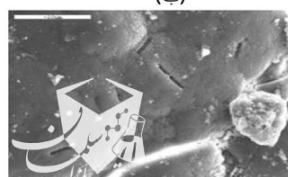
شکل (ب) بزرگنمایی سطح II را نمایش می دهد. در شکل (ج) ساختار میله ای و تیزه و گوشه رسوب کلسیت در ماتریس سیمانی و باکتری *Bacillus pasteurri* در مجاورت رسوبات به خوبی قابل مشاهده است. شکل (د) نیز بزرگنمایی یک الیه کربنات کلسیم را نشان می دهد. ساختارهای میله ای شکلی که در سطح رسوب دیده می شوند تأیید کننده حضور باکتری ها در سراسر الیه ها می باشد.



(ب)

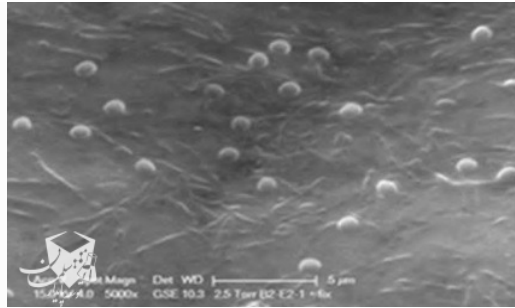


(الف)

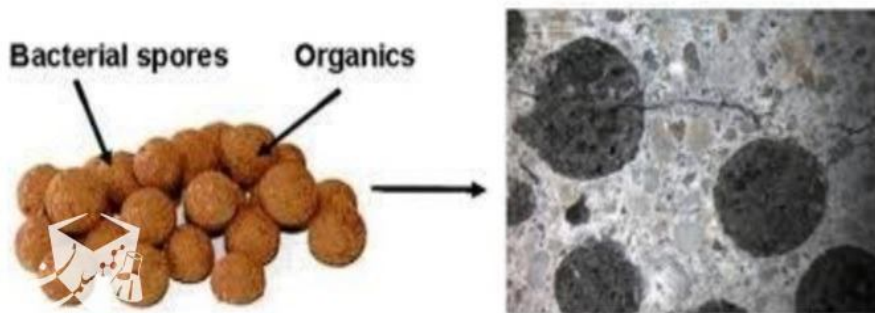


(ج)

ویژگی جالب این نوع باکتری ها این است که آنها قادر به تشکیل تخم هایی هستند که این نوع تخم ها سلول های کروی با دیواره ضخیم مشابه با دانه های گیاه هستند. این نوع تخم ها زیست پذیرند اما غیر فعال و قادر به تحمل تنش های مکانیکی و شیمیایی می باشد و می توانند در حالت خشک برای بیش از ۵۰ سال زنده بمانند. ویژگی جالب این نوع باکتری ها این است که آنها قادر به تشکیل تخم هایی هستند که این نوع تخم ها سلول های کروی با دیواره ضخیم مشابه با دانه های گیاه هستند. این نوع تخم ها زیست پذیرند اما غیر فعال و قادر به تحمل تنش های مکانیکی و شیمیایی می باشد و می توانند در حالت خشک برای بیش از ۵۰ سال زنده بمانند.



زمانی که تخم های باکتری به طور مستقیم به طرح اختلاط بتن اضافه می شوند طول عمر آنها محدود به یک یا دو ماه است. به منظور افزایش اساسی طول عمر و کارایی بتن های حاوی باکتری ، تاثیر تخم های باکتری و به طور همزمان عدم تحرک ترکیبات ارگانیک زیست معدنی پیشرو (کلسیم لاکتات) در ذرات رس با تخلخل بالا مورد آزمایش قرار گرفت و به این نتیجه رسیدند که حفاظت و نگهداری تخم های باکتری به وسیله بی حرکت کردن یا عدم تحرک ترکیبات ارگانیک درون ذرات رس با تخلخل بالا قبل از اضافه کردن به اختلاط بتن در حقیقت به طرز قابل چشمگیری سبب افزایش طول می شود.



لازم به ذکر است که تا قبل از کشف باکتری مذکور از محصولات باکتری معدنی برای ترمیم ترک در بتن استفاده می شد. که به دلیل لزوم تهویه دستی این باکتریها در محل آسیب دیده توسط نیروی انسانی و تولید ماده سمی آمونیاک در اثر واکنش این باکتری ها با ترکیبات بتن ، دوام و توسعه چندانی نیافت در مطالعات بعدی به این نتیجه رسیدند که دیگر ترکیبات زیست معدنی پیشرو همچون شیر مخمر ، پپتون و کلسیم استات باعث کاهش چشم گیری در مقاومت فشاری می شود. تنها استثنا در این مورد کلسیم لاکتات است که باعث افزایش ۱۰ درصدی مقاومت فشاری در مقایسه با دیگر نمونه های کنترلی می شود. جهت تضمین شروع سریع ترمیم ترک ها بکار بردن کلسیم لاکتات و باکتری که میتواند سبب تبدیل متابولیک این ترکیب شود به نظر گزینه مطلوب یا بهترین روش می باشد. آزمایشات حاکی از آن است که زیست پذیری تخم های باکتری از ۲ تا بیش از ۶ ماه وقتی که به صورت محافظت شده به ذرات رس منبسط متخلخل (لیکا) اضافه می شود در مقایسه با اضافه کردن مستقیم (غیر محافظت شده) افزایش پیدا می کند. تحقیقات بیشتر در این زمینه به منظور انتخاب باکتری مناسب که قابلیت زنده ماندن و فعال شدن را در محیط بتن و در طول زمان بهره وری داشته باشد و نیز کمترین اثر منفی بر خواص رفتاری و مقاومتی بتن اعمال کند همچنان ادامه دارد. نتیجه گیری کلی نشان می دهد که دو نماینده پیشنهادی زیست شیمی بهبود دهنده مرکب از تخم های باکتری و ترکیبات پیشرو ارگانیک cement- bio مناسب که از لیکا به عنوان منبعی برای ذخیره آب استفاده می کنند ، گزینه امید بخش از لحاظ زیستی و مقاومتی هستند ؛ به خصوص در مواردی که قسمت هایی از سازه بتنی قابل بازرسی و تعمیر دستی نمی باشند. با این وجود قبل از تحقق هر کاری نیازمند بهینه سازی تکمیلی سیستم پیشنهادی نیز می باشد. مقدار مورد نیاز عامل ترمیم کننده باید به وسیله تکنیک های حاضر کمینه شود ؛ هم به جهت صرفه اقتصادی و هم به جهت کاهش عواقبی چون پایین آمدن مقاومت فشاری.

نتایج

با بهره گیری از نانوتکنولوژی و تولید مواد در مقیاس نانو می توان به بتن هوشمندی دست پیدا کرد که به محض ایجاد ترک، محل ترک را شناسایی کرده و درصدد ترمیم آن برآید. در این تحقیق در خصوص هریک از روش هایی که دانشمندان تاکنون برای ساخت و تولید این بتن هوشمند که امروزه به عنوان بتن خود ترمیم شونده شناخته می شود، بحث جامعی به عمل آمد. نتایج حاکی از آن است که انواع روش های موجود به دو دسته اصول اجرایی و اصول طراحی تقسیم می شود. اصول اجرایی روش هایی هستند که از مرحله آزمایش و ساخت اولیه خارج شده و می توانند وارد مرحله پروژه شوند و اصول طراحی نیز شامل روش هایی هستند که در حال تحقیق و آزمایش در محیط آزمایشگاهی می باشند. ساخت کامپوزیت سیمانی مهندسی از جمله روش هایی است که در عصر حاضر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این بتن از نظر ظاهری مشابه بتن معمولی است اما در برابر ایجاد ترک ۵۰۰ برابر مقاوم تر، از نظر وزنی ۴۰٪ سبک تر و عمر مفید آن بسیار بیشتر از بتن معمولی است.

اگرچه هنوز بررسی های دراز مدت لازم است تا کارایی این ماده به طور کامل مشخص شود ولی مطالعات مقایسه ای انجام شده نشان می دهد با استفاده از این کامپوزیت می توان به صرفه جویی های قابل توجهی دست یافت. نانو لوله های کربنی به دلیل عدم چسبندگی بین آنها و بتن در روند ساخت بتن خود ترمیم دارای مشکل هستند. اما بطور کلی می تواند خواص مکانیکی بتن را بهبود بخشد. با توجه به تحقیقات بدست آمده مشخص شد که فیبر توخالی نیز قابلیت بسیار خوبی در تعمیر ترک ها، جلوگیری از خوردگی و همچنین تشخیص محل آسیب دیده دارد. طبق آزمایشات انجام شده که در تحقیق ذکر شد؛ به این نتیجه رسیدیم که باکتری در اختلاط بتن با تولید رسوب کلسیم کربنات منجر به بسته شدن ترک ها و جلوگیری از نفوذ پذیری می شود.

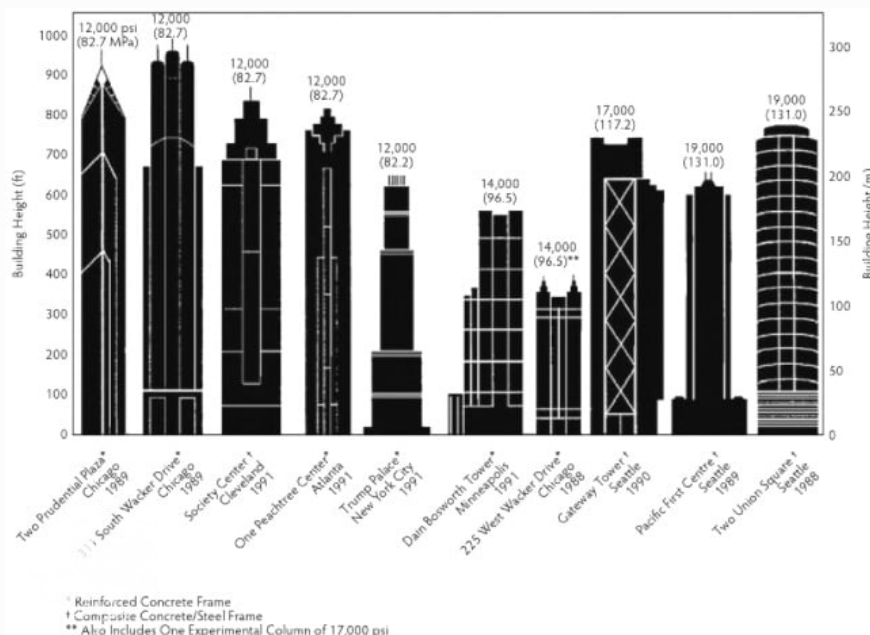
بتن دارای باکتری عمر سازه را تا ۵۰٪ افزایش، نیاز به تعمیرات دوره ای را کاهش می دهد و از زنگ زدگی فولاد داخل بتن جلوگیری می کند. یکی از راههای جلوگیری از اتلاف منابع آب در کشاورزی، استفاده از مصالح مناسب در پوشش کانال ها برای جلوگیری از تلفات و افزایش راندمان انتقال و توزیع آب می باشد. با توجه به حجم بالای مصرف آب در کشاورزی، ضروری است در مناطق مختلف پوشش کانال های موجود از لحاظ کاهش تلفات و استفاده مناسب از منابع آب انتخاب گردد. عوامل بسیاری سبب تخریب بتن و ایجاد ترک در آن و در نتیجه هدر رفت و اتلاف آب در آن می شوند. به همین دلیل پوشش بتنی کانال های آبیاری در خیلی از موارد با مشکلات ترک خوردگی و تخریب مواجه می گردد. اگر چنانچه عوامل تخریب و راه های ترمیم ذکر شده در سازه هدف مشخص گردد، از این مصالح استفاده بهینه به عمل خواهد آمد، کارایی سازه در آن ایجاد و فرایند خود ترمیمی اتفاق می افتد در نتیجه از تلفات آب به میزان زیادی جلوگیری خواهد شد. همچنین دیگر لازم به هزینه های مکرر برای ترمیم سازه به روش سنتی نیست و استحکام و عمر مفید سازه نیز بیشتر خواهد شد. در آخر درمیابیم که اگرچه هزینه اولیه تولید و ساخت انواع بتن خود ترمیم شونده بیشتر از بتن معمولی است اما استفاده از روشهای جایگزین روش سنتی که در این مقاله به شرح آنها پرداختیم، راه هایی می باشند که علاوه بر کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری بتن برای محیط زیست مضر نبوده، به دوام و عملکرد بتن کمک کرده و عمر مفید بتن را افزایش می دهد.

بتن با مقاومت زیاد (بتن پر مقاومت) یا HSC

بتن با مقاومت زیاد یا بتن پر مقاومت (HSC)، بتنی است که با سنگدانه های معمولی ساخته شده و مقاومت فشاری آن بیش از ۴۰ مگاپاسکال است.

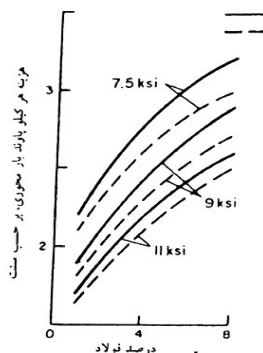
- مقاومت بتن معمولی بین ۲۱ تا ۴۰ مگاپاسکال است. برای تولید بتنی با مقاومت بیش از ۴۰ مگاپاسکال، نیاز به کنترل کیفیت دقیق تر، و همچنین دقت بیشتر در انتخاب مصالح و نسبت های آن (روان کننده ها، مواد افزودنی معدنی، نوع و اندازه سنگدانه ها و...) است. از این رو برای تمایز این نوع بتن های مخصوص، که دارای مقاومت فشاری بیش از ۴۰ مگاپاسکال هستند، در مقایسه با بتن های معمولی، آنها را بتن های با مقاومت زیاد می نامند.
- مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که در بسیاری از موارد، خصوصیات و ساختار میکروسکوپی بتن با مقاومت بیش از ۴۰ مگاپاسکال، با بتن معمولی فرق دارد. از آنجا که در بتن معمولی، مقاومت فشاری اساس طراحی بتن می باشد (رابطه تجربی

تخمین مدول ارتجاعی از روی مقاومت فشاری)، لذا طراح باید برای طرح بتن های با مقاومت بیش از ۴۰ مگاپاسکال شیوه مخصوصی را مورد عمل قرار دهد.



اهمیت و مزایای بتن با مقاومت زیاد (بتن پر مقاومت) یا HSC شکل، زیر بر اساس قیمت های بتن و فولاد در سال ۱۹۸۲ در شیکاگو به دست آمده است.

قیمت یک یارد مکعب بتن در سال ۱۳۷۲		
قیمتهای واحد سال ۱۳۹۲		
$f'_c = 60 \text{ ksi } (\$ 900/\text{ton})$	فولاد	\$46.00
$f'_c = 75 \text{ ksi } (\$ 950/\text{ton})$	فولاد	\$50.00
$f'_c = 7.5 \text{ ksi } (\$ 64.4/\text{cu yd})$	فولاد	\$54.00
$f'_c = 9.0 \text{ ksi } (\$ 68.62/\text{cu yd})$	فولاد	
$f'_c = 11.0 \text{ ksi } (\$ 88.27/\text{cu yd})$	فولاد	
هزینه اضافی، نسبت به مخلوط با مقاومت 3000 psi (۷ روز)		56.00
3000 psi (۷ روز) + (2.5 x 4.0)		1.28
۷۵۰۰ پوند خاکستر بادی		1.65
ماده افزودنی کاغذ آه		\$58.93
هزینه اضافی، نسبت به مخلوط با مقاومت 3000 psi (۷ روز)		57.00
3000 psi (۷ روز) + (2.75 x 4.0)		1.70
۷۵۰۰ پوند خاکستر بادی		4.00
سنگ ۱/۲"		1.70
ماده افزودنی کاغذ آه		\$64.40
هزینه اضافی، نسبت به مخلوط با مقاومت 3000 psi (۷ روز)		61.00
3000 psi (۷ روز) + (3.75 x 4.0)		1.70
۷۵۰۰ پوند خاکستر بادی		4.00
سنگ ۱/۲"		1.93
ماده افزودنی کاغذ آه		\$68.62
1100 psi (۷ روز)		\$88.27
مابه التفاوت سنگدانه یک		\$12.00 اضافی



این شکل نشان می دهد که اقتصادی ترین راه برای ساخت ستون های ساختمان های بلند، استفاده از روشی است که در آن حداقل مقدار ممکن فولاد مصرف شده و حداکثر مقاومت ممکن نیز به دست آید. مزیت اقتصادی استفاده از بتن با مقاومت زیاد برای ستونها

و دیوارهای برشی، در بسیاری از سازه های ساخته شده در شیکاگو، نیویورک، هوستون و دیگر شهرهای آمریکا به اثبات رسیده است. در ایالات متحده در مدت ۲۰ سال گذشته، عموماً از بتن با مقاومت زیاد برای ساخت سازه های بتن آرمه ۳۰ طبقه به بالا استفاده شده است. در (۳/۱) ارتفاع بالایی ساختمان، ستون ها با بتن معمولی ساخته می شوند. اما چنانچه در پایین ساختمان، ستون ها با بتن معمولی ساخته شوند، ابعاد ستونها بسیار بزرگ خواهد شد. مهندسان و معمارانی که در نیویورک در زمینه طراحی ساختمان های بلند فعالیت دارند معتقدند که انتخاب قاب بتن آرمه، در مقایسه با قاب های فولادی، در سازه های بلند فقط به دلیل مسایل اقتصادی نمی باشد بلکه سرعت عملیات ساخت ساختمانهای بتن آرمه، بیشتر از آن قاب های فولادی است. تا ۱۰ سال پیش، در مانهاتان، تمام ساختمانهای اداری با قاب فولادی ساخته می شدند، اما در سالهای اخیر ۲۵ درصد از تمام ساختمانهای اداری با قابهای بتنی ساخته شده اند. در صنعت بتن های پیش ساخته و پیش تنیده، استفاده از بتن با مقاومت زیاد سبب شده است که سرعت قالب برداری سریعتر شده، میزان تولید افزایش یافته، و اتلاف محصولات در هنگام حمل و انتقال کاهش یابد. به دلیل پایین بودن میزان نفوذ پذیری بتن با مقاومت زیاد، می توان از آن، در مواردی که دوام بتن در مقابل سایش، فرسایش و تهاجم مواد شیمیایی اهمیت دارد استفاده کرد.

مصلح و نسبت های اختلاط بتن پر مقاومت

مهمترین عاملی که مقاومت بتن با مقاومت زیاد را تعیین می کند، تخلخل در سه فاز بتن (سنگدانه ها، خمیر سیمان و ناحیه انتقال) می باشد. خصوصیات مصلح مصرفی در بتن، نسبتهای اختلاط و تراکم بتن تازه، که در تخلخل خمیر سیمان و ناحیه انتقال اثر می گذارند، شرح داده شد. در صورتی که کارایی بتن مناسب باشد، به نظر می رسد که نسبت آب به سیمان تعیین کننده میزان تخلخل خمیر سیمان هیدراته شده و ناحیه انتقال باشد. همچنین، در نسبتهای کم آب به سیمان مشاهده شده است که با کمی کاهش نسبت آب به سیمان، مقاومت زیادی قابل کسب می باشد. برای مثال، نتایج حاصل از تحقیقات نشان می دهد که با نسبت آب به سیمان ۰,۳۸، ۰,۳۶ و ۰,۳۴ می توان به ترتیب به مقاومت های فشاری ۴۰، ۵۲ و ۶۰ دست یافت.

با این وجود، کاهش نسبت آب به سیمان، متراکم کردن و جای دادن بتن تازه، مشکل تر می شود.

برای تولید بتن با مقاومت زیاد اثر متضاد نسبت آب به سیمان بر روی قوام و مقاومت بتن نمی تواند بدون استفاده از مواد افزودنی کاهنده آب، هماهنگ شود. به همین دلیل، در ۱۰ سال اخیر استفاده از مواد فوق روان کننده نقش به سزایی در تولید بتن با مقاومت زیاد داشته است. در حقیقت، بدون وجود کارآیی فوق العاده مناسب، که با استفاده از فوق روان کننده ها به دست می آید، عملاً تولید اعضای پرفولاد، با بتن با مقاومت فوق زیاد (بیش از ۷۰ مگاپاسکال) و نسبت آب به سیمان ۰,۳ غیر ممکن است.

اصولاً ناحیه انتقال ضعیف ترین قسمت در بتن با وزن معمولی و ساخته شده با سنگدانه های مقاوم با حداکثر اندازه ۱۲ تا ۲۰ میلیمتر و نسبت آب به سیمان بین ۰,۴ تا ۰,۷ می باشد. به ازای یک نسبت آب به سیمان معین، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه های درشت، می توان مقاومت بتن را به میزان زیادی افزایش داد زیرا بر اثر این کار، مقاومت ناحیه انتقال بهبود می یابد. بنابراین، در طرح اختلاط بتن با مقاومت زیاد، معمولاً حداکثر اندازه سنگدانه ها را ۱۹ میلیمتر یا کمتر در نظر می گیرند.

در صورت نیاز به نسبت آب به سیمان کمتر و استفاده از سنگدانه های با اندازه کوچک، مقدار سیمان مصرفی به بیش از ۳۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش می یابد. در این زمینه بررسی هایی در مورد استفاده از ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان، و یا حتی بیشتر از این، به عمل آمده است ولی بهتر آن است که از این کار اجتناب شود. با افزایش نسبت سیمان به بتن، به حدی می رسیم که با افزایش مقدار سیمان، مقاومت بتن، دیگر افزایش نمی یابد. دلیل آن، احتمالاً ناهمگنی ذاتی خمیر سیمان پرتلند هیدراته شده و وجود بلورهای بزرگ هیدروکسید کلسیم است که سبب ضعیف شدن قسمتهایی از بتن تحت تنش می شود.

بنابراین، قسمتهای ناهمگن و ضعیف در ناحیه انتقال، به دلیل وجود ترکهای مویی، حتی قبل از اعمال بار خارجی نیز آسیب پذیرند. این ترکها به دلیل تنشهای ناشی از جمع شدگی حرارتی و یا جمع شدگی ناشی از خشک شدن، و نیز بر اثر اختلاف پاسخ ارتجاعی خمیر سیمان با پاسخ ارتجاعی سنگدانه ها به وجود می آیند. باید توجه داشت که افزایش مقدار سیمان به معنی افزایش هزینه، حرارت هیدراتاسیون و جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن است.

هرگاه ناهمگنی سیمان پرتلند هیدراته ، عامل محدودکننده مقاومت بتن باشد ، می توان با تغییر دادن ساختار میکروسکوپی ، اجزای مسبب ناهمگنی را کاهش داده یا آنها را حذف کرد. در مورد محصولات سیمانی ، روش موثر و عملی برای این کار ، استفاده از مواد پوزولانی در مخلوط بتن است. همانطور که قبلاً شرح داده شده ، مواد افزودنی پوزولانی ، مانند خاکستر بادی ، با هیدروکسید کلسیم واکنش داده و تولید محصولاتی می کنند که خصوصیت و ترکیب آنها همانند محصولات هیدراتاسیون سیمان پرتلند است. همچنین ، واکنش پوزولانی با کاهش منافذ بزرگ همراه است ، که این امر ، اثر مهمی در افزایش مقاومت بتن دارد. استفاده از پوزولان فقط باعث همگنی محصولات هیدراتاسیون و کاهش هزینه ها ، به علت جایگزینی سیمان با پوزولان نمی شود ، بلکه اثر مهمتر آن ، کاهش حرارت هیدراتاسیون می باشد. در بتن با مقاومت زیاد ، به علت استفاده از مقدار زیاد سیمان در اعضای بزرگ سازه ، امکان ترک خوردگی حرارتی وجود دارد. در نتیجه ، در بعضی موارد ، جایگزین نمودن قسمتی از سیمان با پوزولان ، می تواند ریسک ترک خوردگی حرارتی را کاهش دهد.

در مواردی که خاکستر بادی نوع F ، جایگزین بخشی از سیمان پرتلند شود و با یک نسبت معین آب به سیمان ، از آن بتن ساخته شده و در دمای معمولی عمل آورده شود ، مقاومت های ۳ و ۷ روزه آن ممکن است کاهش یابد و این کاهش مستقیماً با مقدار پوزولان در کل مصالح سیمانی (پوزولان + سیمان) ، نسبت مستقیم دارد. با این وجود ، روند کسب مقاومت بتن دارای خاکستر بادی از نوع C با سرباره در ۷ روز اول هیدراتاسیون ، بسیار قابل توجه می باشد. پوزولانهای بسیار فعال مانند دوده سیلیسی متراکم یا پوسته برنج ، در ۳ روز اول نقش به سزایی در روند کسب مقاومت دارند. البته در شرایطی که از واکنشهای تسریع شده هیدراتاسیون ، مانند عمل آوری اعضای بتنی پیش ساخته در بخار ، استفاده می شود ، اختلاف در فعالیت پوزولانی اثر چندانی در روند کسب مقاومت محصولات ندارد.

بتن غلتکی مزایا و مبانی طراحی ضخامت

کاملاً واضح است که اگر به جای سیمان ، قسمتی از سنگدانه های ریز با پوزولان جایگزین گردد ، بتن در سنین اولیه ، مقاومت کمی نخواهد داشت. در حقیقت ، جایگزینی قسمتی از ماسه با خاکستر بادی یا سرباره سبب افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت بتن ، در سنین اولیه آن می شود ، به شرطی که مقدار آب مورد نیاز در مخلوط بتن اضافه نگردد. توجه به این نکته مهم است که استفاده از این روش ، صرفه اقتصادی ندارد و احتمال خطر ترک خوردگی حرارتی را در اعضای بزرگ کاهش نمی دهد (زیرا مقدار سیمان کاهش نیافته است) ، ولی با این وجود ، این کار ، روش مناسبی برای افزایش مقاومت بتن در سنین اولیه است. طبق گزارش های منتشر شده ، هر دو روش جایگزین کردن قسمتی از سیمان و ماسه با پوزولان ، یک مزیت محسوب می گردد.

بتن بسیار روان شده بتن پر مقاومت

اگرچه ، از مواد افزودنی فوق [روان کننده](#) ، به منظور ساخت مخلوط های بتن با مقاومت زیاد استفاده می شود ، ولی همان طور که در جدول قبل مشاهده می شود ، بتن با قوام زیاد اسلامپ ۲۰۰ میلیمتر تا ۲۵۰ و مقاومت بیش از ۷۰ مگاپاسکال (نسبت آب به سیمان کمتر از ۰٫۳) ، با استفاده از فوق روان کننده ها به راحتی قابل تولید می باشد. به طور کلی تجربه نشان میدهد که افزودن ماده فوق روان کننده به بتن به مقدار ۰٫۵ تا ۱٫۵ درصد وزن سیمان ، اسلامپ بتن را از ۵۰mm تا ۷۵mm به مقدار قابل توجه ۲۰۰mm تا ۲۵۰mm افزایش می دهد. با این وجود ، این قوام زیاد بتن ، پس از ۳۰ تا ۶۰ دقیقه به حالت اولیه خود باز می گردد.

در مواردی که بین زمان اختلاط و ریختن بتن اختلاف کمی وجود داشته باشد کاهش سریع اسلامپ مشکلی ایجاد نمی کند ، از طرف دیگر در صنعت بتن پیش ساخته کم بودن کارایی بتن بلافاصله بعد از بتن ریزی ، یک مزیت محسوب می گردد ، زیرا در این حالت می توان [عمل آوری](#) با بخار را حذف کرد. ولی در صنعت بتن آماده ، کاهش سریع کارایی می تواند یک مشکل جدی به حساب آید. دو راه حل برای این مشکل وجود دارد. پژوهشگران نشان داده اند که اگر افزودن ماده فوق روان کننده چندین مرتبه تکرار گردد ، افزایش اسلامپ بتن بسیار روان شده برای چندین ساعت امکان پذیر است.

افزودن فوق روان کننده برای مرتبه دوم یا سوم به منظور جبران افت اسلامپ ممکن است موجب جداشدگی سنگدانه ها شود که باید در این مورد دقت شود. در روش دوم، ترکیب ماده فوق روان کننده با یک ماده کندگیر کننده اصلاح می شود و بدین ترتیب قوام برای مدت ۲ تا ۳ ساعت ثابت باقی می ماند. استفاده از فوق روان کننده های با خاصیت کاهش اسلامپ به میزان کم، در صنعت بتن آماده در مناطق گرم مرسوم شده است.

کارایی بتن پر مقاومت

مخلوطهای بتن با مقاومت زیادی که دارای مقدار زیادی مصالح ریز دانه (سیمان و پوزولان) بوده و با نسبت کم آب به سیمان و ماده افزودنی روان کننده معمولی ساخته شوند در مراحل اولیه مخلوط هایی چسبنده و سخت هستند. بتن ریزی و تراکم مخلوط های با اسلامپ صفر، بسیار مشکل است. ولی استفاده از فوق روان کننده این مشکل را حل کرده و در حال حاضر امکان تولید بتن با قوام زیاد وجود دارد. همچنین پمپاژ و یا استفاده از شوت بلند برای انتقال بتن، بدون احتمال خطر جداشدگی سنگدانه ها، حتی در نسبت آب به سیمان بسیار کم ۰٫۳، به راحتی امکان پذیر است.

مقاومت بتن پر مقاومت

امروزه بتن های با مقاومت 55MPa — 120 در سن ۲۸ روزگی، در مناطق شیکاگو، هوستون و نیویورک در مقیاس صنعتی تولید می گردد. نکته قابل توجه در مورد مقاومت، ظرفیت بتن های با مقاومت زیاد برای کسب مقاومت سریع بدون استفاده از عمل آوری با بخار است. بتن های استفاده شده در ساختمان برج آب شیکاگو و برج تجاری هوستون با عمل آوری معمولی، در مدت ۲۴ ساعت به مقاومت ۲۰ تا ۲۷ مگاپاسکال رسیده اند. مخلوط بتن با مقاومت بسیار زیاد، در مدت ۱۲ ساعت ۴۲ مگاپاسکال، و در مدت ۲۴ ساعت 64MPa مقاومت کسب می کند. در این صورت است که ارزش بتن های با مقاومت بسیار زیاد در صنعت بتن پیش ساخته و پیش تنیده مسلم می گردد. ساختار میکروسکوپی بتن پر مقاومت رابطه بین تنش و کرنش، گسیختگی، جمع شدگی ناشی از خشک شدن، و خزش براساس اصول طراحی مخلوط های بتن با مقاومت زیاد، کسب مقاومت زیاد بتن با کاهش تخلخل و ناهمگنی و ترکهای مویین، در خمیر سیمان و ناحیه انتقال امکان پذیر است. از آنجایی که وجود ترک های مویین زیاد در بتن معمولی، مبنای رفتار تنش — کرنش، خزش و گسیختگی آن است، لذا درک علت رفتار متفاوت بتن با مقاومت زیاد، که ناشی از کاهش تعداد و اندازه ترک ها در آن است، مشکل نمی باشد.

مطالعات آزمایشگاهی انجام شده در دانشگاه کرنل، در مورد افزایش ترک خوردگی در بتن های دارای مقاومت فشاری تک محوری حدود ۳۰ — ۷۵ مگاپاسکال، نشان داده شده است که:

۱- بتن با مقاومت زیاد، در مقایسه با بتن معمولی، بیشتر شبیه مصالح همگن رفتار می کند و شیب منحنی های تنش — کرنش در آن نسبت به بتن معمولی زیادتر است و رفتار آن تا نسبت های تنش — مقاومت بیشتری در مقایسه با بتن های با مقاومت معمولی، خطی است زیرا مقدار و روند افزایش ترکهای مویین در ناحیه انتقال کمتر است. بنابراین، بتن با مقاومت زیاد، در هنگام گسیختگی، تردی بیشتر و انبساط حجمی کمتری از خود نشان می دهد. مشخص شده است که این گونه بتن ها، تا نسبت های بالاتری از تنش و مقاومت قابل بار گذاری هستند، بدون آن که مکانیزم خود انتشاری در آنها شروع شده و منجر به شکست گسیختگی بشود، به عبارت دیگر درصد مقاومت باربری دراز مدت نسبت به مقاومت کوتاه مدت شان بیشتر از آن بتنهای معمولی است.

آزمایش جریان اسلامپ بتن خود تراکم

۲- میزان ترکهای میکروسکوپی در بتنهای با مقاومت زیاد، مربوط به جمع شدگی و بارگذاری کوتاه مدت آنها می باشد و میزان بار قابل تحمل آنها، به طور قابل ملاحظه ای از بتن با مقاومت معمولی کمتر است.

۳- با در نظر گرفتن موارد فوق مسلم است که بتن های با مقاومت زیاد (f از ۴۰ تا ۶۰ مگاپاسکال) اصولاً رفتاری متفاوت با بتن معمولی دارند.

براین اساس ، بسیاری از مواردی که در آیین نامه ها در مورد بتن معمولی ذکر شده است ، باید برای بتن با مقاومت زیاد تغییر یابد. برای مثال، به جای رابطه ذکر شده در ACI برای محاسبه مدول ارتجاعی استاتیکی بتن معمولی از روی مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن ، از رابطه زیر، که برای بتن با مقاومت زیاد مناسب است استفاده شود.

$$E_c = 40000\sqrt{f'_c} + 1 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$f_r = 11.7\sqrt{f'_c}$$

ضمناً توصیه می گردد که مقاومت خمشی آنها از رابطه Fr محاسبه شود. یاماموتو و شی (Kobayashi & Yamamoto) برای تخمین مقاومت کششی برزلی بتن با مقاومت ۴۰ تا ۱۰۰ مگاپاسکال ، رابطه زیر را ارائه داده اند.

$$f_r = 0.06f'_c + 0.8 \text{ (Mpa)}$$

شایان ذکر است که مقادیر آزمایشگاهی به دست آمده برای مدول ارتجاعی استاتیکی فشاری ، برای سه مخلوط بتن (که از چپ به راست در جدول ۱۱-۳ نشان داده شده است)، به ترتیب برابر ۵،۷ ، ۶،۲۵ و در ۱۰۰۰۰۰۰ psi است. کرنش های ناشی از جمع شدگی و خزش در سن یک سالگی بتن با مقاومت بسیار زیادی که با استفاده از دوده سیلیسی و فوق روان کننده ساخته شده است ، مطابق استاندارد ASTM C ۵۱۲ اندازه گیری شده و به ترتیب برابر با ۳۱۵ و ۴۸۰*۱۰^{-۶} به دست آمده است. میزان بار اعمال شده در این آزمایش، ۱۷ MPa ، پس از ۲۸ روز عمل آوری اعمال گردیده است. این اطلاعات، منطقی به نظر می رسند زیرا مدول ارتجاعی زیاد ، تخلخل کم ، و ترک مویی کمتر در این نوع بتن‌ها، چنین نتایجی را ایجاب می کند. دوام بتن پر مقاومت

بسیاری از پژوهشگران ، نفوذ پذیری کم بتن با مقاومت زیاد را عامل دوام عالی آن در مقابل عوامل مخرب فیزیکی و شیمیایی می دانند. تا به حال ، کاربرد صنعتی بتن با مقاومت زیاد برای آن دسته از اعضای سازه ای بوده است که در شرایط سیکلهای یخ زدن - آب شدن قرار نمی گرفته اند.

بتن های دارای فوق روان کننده ، معمولاً بیشتر از بتن معمولی ، از فقدان حبابهای هوا و فضاهای خالی افزایش یافته ، دچار مشکل می شوند. با این وجود ، گرچه اندازه فضاهای خالی بتن های حاوی فوق روان کننده ، از ۲۰۰um تجاوز می کند اما دوام آنها در برابر یخ زدن - آب شدن ، که براساس استاندارد ASTM C ۶۶۶ آزمایش شده اند، کمتر از بتن معمولی نبوده و نتایج آزمایشها قابل قبول هستند. نتایج آزمایش های مختلف دوام بر روی بتن با مقاومت بسیار زیاد ، براساس گزارش ولسیفر ، ارائه شده است و خلاصه آن به شرح زیر می باشد.

با تولید حباب هوا به میزان ۶،۷ درصد ، مقاومت فشاری بتن پس از ۳۰۰ سیکل یخ زدن و آب شدن به ۷۵MPa کاهش یافته (مطابق استاندارد ASTM C ۶۶۶) و انبساط ، کاهش وزن ، و ضریب دوام آنها به ترتیب ۰،۰۰۸ ، ۰،۱۳ و ۹۷ درصد بوده است. نتایج آزمایش مقاومت آن در برابر سایش با استفاده از دستگاه دیسک گردان (ASTM C ۷۷۹) پس از ۶۰ دقیقه سایش نشان می دهد که مقدار میانگین عمق سایش برابر با ۱،۵ میلیمتر است.

اندازه گیری میزان پوسته شدن در آزمایش یخ بندان با مواد یخ زدا (ASTM C ۶۷۲) نشان میدهد که بعد از ۵۰ سیکل ، هیچگونه پوسته شدنی به وجود نمی آید و پس از ۵۰۰ سیکل فقط مقدار کمی پوسته شدن به چشم می خورد.

آزمایش نفوذ پذیری کلر در نمونه هایی با ۳ ماه سن (با ۳۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان ، ۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب دوده سیلیسی و نسبت آب به سیمان ۰،۲۷) در محلول ۳ درصد NaCl نشان می دهد که مقدار یون کلر جذب شده ۰،۰۰۳ بوده است ، این مقدار برای نمونه بتن کنترل (با ۳۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان ، نسبت آب به سیمان ۰،۳۸ و بدون پوزولان) ۰،۰۲۸ بوده

است. اما نمونه هایی که در معرض فشار آب برابر با ۴ مگاپاسکال قرار داشته اند ، عملاً نفوذناپذیر بوده اند. در بتن با مقاومت بالا (۷۰ Mpa یا بیشتر) ، میزان عبور جریان الکتریکی از نمونه ، در مدت ۶ ساعت ، مطابق آزمایش استاندارد ۸۳-۲۷۷-AASHTO T ، در حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کولن بوده است که در نتیجه ، این بتن به عنوان بتن با نفوذپذیری بسیار کم شناخته می شود.

کاربردهای بتن پر مقاومت

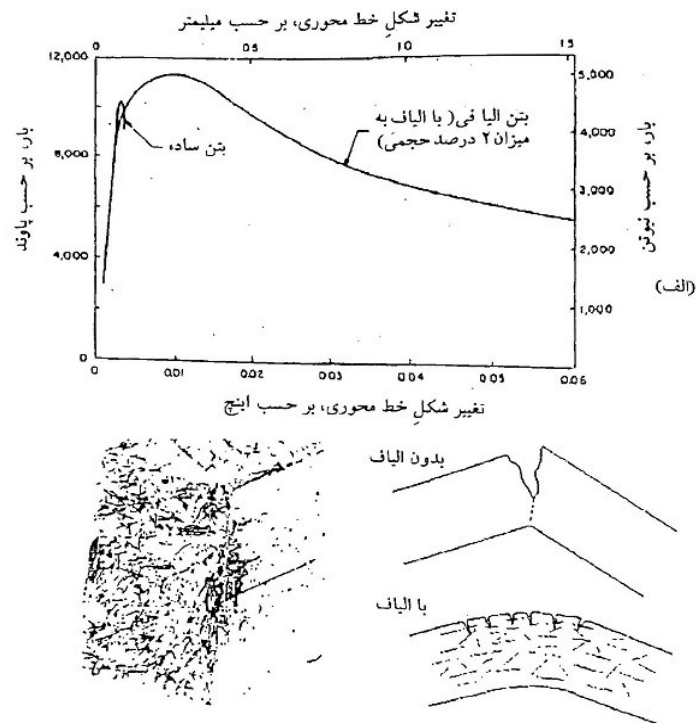
تاکنون بیشترین استفاده از بتن با مقاومت زیاد در ایالات متحده ، محدود به مناطق شیکاگو ، نیویورک و هوستون بوده است. از شروع سال ۱۹۶۵ ، پس از ساخت بتن با مقاومت ۵۲ مگاپاسکال برای ستون های برج کناره دریاچه ، در منطقه شیکاگو ، بیش از ۴۰ ساختمان بلند ساخته شده است. از سال ۱۹۷۲ ، برای ساخت ساختمان های تجاری بیش از ۵۰ طبقه ، استفاده از بتن با مقاومت ۶۰ مگاپاسکال عمومیت پیدا کرده است. می توان ادعا کرد که با استفاده از مقاومت زیاد می توان ابعاد ستون ها را به حداقل رساند و در نتیجه زیبایی آنها نیز تامین گردد. بیست و هشت طبقه پایین یک برج آب ۷۹ طبقه ، شامل ستون هایی با بتن با مقاومت ۱۹۸۹ Psi ۹۰۰۰ است. در سال ۱۹۸۲ ، از بتن به مقاومت ۱۰۰ Mpa در ساختمان تجاری شیکاگو استفاده گردید. در سال ۱۹۸۹ ستونهای شش طبقه اول یک برج در شیکاگو ، با بتن به مقاومت ۹۶ Mpa حاوی دوده سیلیسی ساخته شد. این پروژه همچنین دارای یک ستون آزمایشی ساخته شده با بتن به مقاومت ۱۱۷ Mpa بود. ساختمان پلازا در تورنتو ، و ساختمان یونیون اسکویئر در سیاتل به ترتیب دارای اعضای بتن آرمه ای به مقاومت ۹۵ Mpa و ۱۲۰ Mpa می باشند. در سال ۱۹۷۹ ، ساختمان ۵۳ طبقه هتل پالاس در نیویورک اولین سازه ای بود که در ساخت آن از بتن با مقاومت زیاد (۸۰۰۰ Psi) استفاده گردید. از این بتن برای کاهش اندازه ستون ها استفاده گردید. قبل از ساخت این ساختمان ، که در آن از قاب بتنی با دال تخت استفاده شد، همواره در ساختمان های بیش از ۳۵ طبقه نیویورک، از قاب های سازه ای فولادی استفاده می شد. از بتن با مقاومت ۸۰۰۰ Psi با فوق روان کننده ، در ساختمان ۴۶ طبقه ای در خیابان پارک استفاده گردید. این ساختمان ، دارای هسته بتنی صلب و قاب بتن آرمه از نوع تیر و شاه تیر بود. از بتن با مقاومت زیادی برای ساخت هسته و ستون های با قطر ۴۶ اینچ استفاده گردید. قاب بتنی ساختمان ۳۸ طبقه خیابان مادیسون ، با استفاده از بتن با مقاومت ۸۵۰۰ Psi ، همراه با فوق روان کننده، به منظور کاهش اندازه ستونها، ساخته شد. همانطور که قبلاً اشاره شد ، مزیت استفاده از بتن با مقاومت زیاد ، میزان حرارت هیدراتاسیون نسبتاً کم ، به ازای مقاومت واحد می باشد. بنابراین ، در این نوع بتن ها ، احتمال ترک خوردگی حرارتی کاهش می یابد. در سازه پل چورن جدید (New Tjorn) در سوئد ، که در سال ۱۹۸۱ ساخته شده است، برای اولین بار ، از دوده سیلیسی متراکم ، برای ساختن بتن با مقاومت زیاد استفاده شده است. عمده ترین هدف مصرف این ماده ، کاهش حرارت هیدراتاسیون بوده است. براساس نظریه ریکنه و اسونسان علت اصلی استفاده از دوده سیلیسی، کاهش مقدار سیمان، بدون افت مقاومت می باشد.

بتن الیافی ، تعریف و اهمیت ها

بتن ساخته شده از سیمان هیدرولیکی ، آب ، شن ، ماسه و الیاف مجزا ، بتن الیافی نامیده می شود. در بتن های الیافی مانند بتن معمولی می توان از پوزولان ها و دیگر مواد مضاف استفاده کرد. الیاف در شکل ها و اندازه های متفاوت و از جنس فولاد ، خمیری ، شیشه و مواد طبیعی مورد استفاده قرار می گیرد. با این وجود ، در بیشتر اعضای سازه ای و غیر سازه ای الیاف فولادی بیشتر از انواع دیگر الیاف استفاده می شود. بتن معمولی دارای تعداد زیادی ترک های مویین است. به دلیل توسعه سریع ترک های مویین تحت تنش های اعمال شده ، مقاومت کششی بتن کم است. در ابتدا فرض می شد که با به کار بردن الیاف در فواصل نزدیک به یکدیگر ، از توسعه ترک های مویین جلوگیری شده و در نتیجه مقاومت های کششی و خمشی بتن به میزان زیادی افزایش می یابد. همچنین الیاف شروع ترک های کششی را به تاخیر انداخته و در نتیجه باعث افزایش مقاومت کششی بتن می شود. اما مطالعات آزمایشگاهی نشان داده اند که استفاده از الیاف با حجم و اندازه های مختلف در ملات یا بتن باعث افزایش مقاومت آن ها به میزان زیاد نمی گردد. با این وجود پژوهشگران ، بهبود زیادی را در رفتار بتن های الیافی ، در مرحله پس از ترک خوردگی پیدا کرده اند به عبارت دیگر ، علی رغم آنکه مقاومت نهایی کششی به میزان زیادی افزایش نمی یابند ، اما کرنش کششی در هنگام گسیختگی افزایش می یابد. در نتیجه ، در مقایسه با بتن ساده ، بتن های الیافی سخت ترند و در مقابل ضربه مقاومت بیشتری دارند.

مکانیزم بهبود رفتار و افزایش طاقت در بتن الیافی

منحنی های متداول بار - تغییر شکل ، برای بتن ساده و بتن الیافی در شکل زیر نشان داده شده است.



هرگاه تغییر شکل مربوط به [مقاومت خمشی نهایی](#) بتن ساده زیادتر گردد ، گسیختگی ناگهانی رخ می دهد ، ولی از سوی دیگر ، بتن الیافی حتی در تغییر شکل های بسیار بیشتر از تغییر شکل نظیر شکست در بتن ساده ، به تحمل بارها ادامه می دهد. نتایج آزمایش نمونه های شکسته شده بتن الیافی نشان می دهد که در این نوع بتن ها شکست به علت بیرون کشیده شدن الیاف یا از بین رفتگی پیوستگی رخ می دهد. در نتیجه بر خلاف بتن سازه ، نمونه بتن الیافی بلافاصله پس از شروع اولین ترک شکسته نمی شود. این رفتار تاثیر الیاف بر روی افزایش کار انجام شده تا هنگام شکست را ، که طاقت نامیده می شود نشان می دهد. طاقت ، با سطح زیر منحنی بار - تغییر شکل نشان داده می شود. بر اساس نظریه Shah مکانیزم افزایش طاقت بتن الیافی به شرح زیر است.

بتن الیافی ، بعد از ایجاد اولین ترک در خمیر سیمان ، بار وارده را تحمل می کند ، به شرط آنکه مقاومت الیاف در برابر بیرون کشیده شدن آن ها در اولین ترک ، بیش از بار در هنگام وقوع اولین ترک باشد. در مقطع ترک خورده ، خمیر سیمان هیچ کششی را تحمل نمی کند و الیاف تمام بار وارد بر مقطع مرکب را تحمل می کند. با افزایش بار بر روی مقطع مرکب ، الیاف تمایل دارند که تنش های اضافی را از طریق تنش های پیوستگی به خمیر سیمان منتقل کنند. اگر این تنش های پیوستگی از مقاومت پیوستگی بیشتر نگردد در خمیر سیمان ترک های دیگری نیز به وجود می آید و این روند ترک خوردگی تا آنجا ادامه می یابد که الیاف شکسته شوند و یا اینکه به علت از بین رفتن پیوستگی ، الیاف از درون بتن کشیده می شود. اطلاعات به دست آمده از آزمایش هایی که کرنچل بر روی ملات ساده و ملات الیافی انجام داد نشان می دهد که افزودن الیاف به میزان ۰,۹ و ۲ درصد حجمی به بتن مقاومت خمشی آن را به ترتیب به مقدار تقریبی ۱۵ و ۳۰ درصد افزایش می دهد. با این وجود در هر دو مورد کرنش در هنگام شکست ۹ تا ۱۰ مرتبه بیشتر از کرنش نظیر در ملات غیر مسلح است. در ناحیه کششی بلافاصله بعد از گسیختگی نهایی ، هیچ ترکی مشاهده نمی شود. توزیع ترک های ریز نشان می دهد که الیاف به عنوان آرماتور میکروسکوپی برای توزیع ترک ها عمل می کنند.

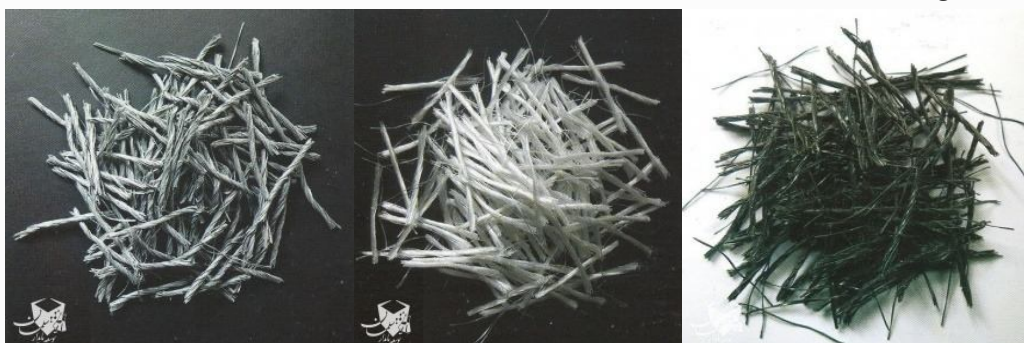
بر اساس گزارش کمیته ACI 544 کل انرژی جذب شده در هنگام از بین رفتن پیوستگی الیاف و قبل از آنکه از ماتریس جدا شود ، که از روی سطح زیر منجنی بار - افتادگی اندازه گیری می شود ، در بتن الیافی حداقل ۱۰ تا ۴۰ مرتبه بیشتر از انرژی نظیر در بتن ساده می باشد. مقدار افزایش سختی ، تابع تمرکز الیاف در خمیر سیمان ، و مقدار الیاف در برابر بیرون کشیده شدن است، که خود بستگی به نسبت ظاهر الیاف (نسبت طول الیاف به قطر آن ها) و دیگر عوامل از قبیل شکل یا بافت سطحی الیاف دارد.

نسبت اختلاط و مصالح در بتن الیافی

مشخصات متداول انواع مختلف الیاف در جدول زیر درج شده است.

نوع الیاف	مقاومت کششی (ksi)	مدول یانگ (10^3ksi)	افزایش طول نهایی (%)	چگالی
آکریلیک ^۱	۳۰-۶۰	۰/۳	۲۴-۴۵	۱/۱
آزبست ^۲	۸۰-۱۴۰	۱۲-۲۰	~۰/۶	۳/۲
کتان ^۳	۶۰-۱۰۰	۰/۷	۳-۱۰	۱/۵
شیشه ^۴	۱۵۰-۵۵۰	۱۰	۱/۵-۳/۵	۲/۵
نایلون ^۵ (سختی زیاد)	۱۱۰-۱۲۰	۰/۶	۱۶/۲۰	۱/۱
پلی استر ^۶ (سختی زیاد)	۱۰۵-۱۲۵	۱/۲	۱۱-۱۳	۱/۴
پلی اتیلن ^۷	~۱۰۰	۰/۰۲-۰/۰۶	~۱۰	۰/۹۵
پلی پروپیلن ^۸	۸۰-۱۱۰	۰/۵	~۲۵	۰/۹۰
ابریشم مصنوعی (ریون) ^۹ (با مقاومت کششی زیاد)	۶۰-۹۰	۱/۰	۱۰-۲۵	۱/۵
پشم سنگ ^{۱۰}	۷۰-۱۱۰	۱۰-۱۷	~۰/۶	۲/۷
فولاد ^{۱۱}	۴۰-۴۰۰	۲۹	۰/۵-۳۵	۷/۸

در شکل زیر انواع الیاف فولادی با شکل و اندازه های مختلف نشان داده شده است.

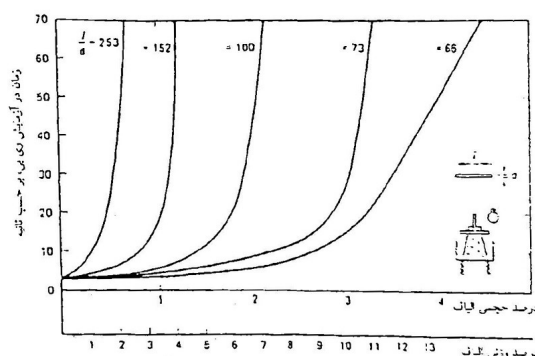


الیاف فولادی گرد ، قطرهای متفاوتی از ۰,۲۵ تا ۰,۷۵ میلیمتر دارند. ضخامت تقریبی الیاف فولادی تحت در حدود ۰,۲۵ تا ۰,۹ میلیمتر است. الیاف فولادی چین دار و آجدار ، یا در تمامی طول دارای چین و آج هستند یا اینکه فقط انتهای آن ها چیندار و آجدار شده است. برای انتقال و اختلاط آسان ، الیاف به صورت دسته های ۱۰ تا ۳۰ عددی همراه با چسب های محلول در آب موجود هستند و نسبت های ظاهر آن ها بین ۳۰ تا ۱۵۰ است. قطر الیاف شیشه ای بین ۰,۰۰۵ تا ۰,۰۱۵ میلیمتر است، ولی این الیاف را

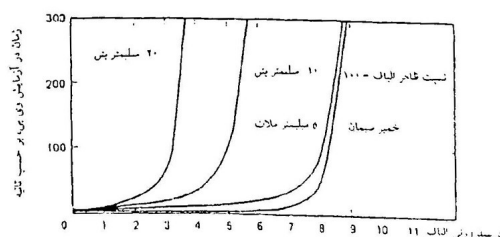
می توان به یکدیگر پیوند داده و قطر آن ها را به ۰,۰۱۳ تا ۱,۳ میلی متر افزایش داد. از آنجا که شیشه معمولی در برابر تهاجم شیمیایی وارد بر خمیر سیمان پرتلند دوام ندارد ، لذا الیاف شیشه ای مقاوم در برابر قلیایی ها و با دوام بهتر نیز تولید شده است. ملاحظات کلی: افزودن هر نوع الیاف به بتن ساده از کارایی آن می کاهد. کارایی بتن مسلح به الیاف ، از هر نوعی که باشد ، تابع حجم الیاف در بتن است. از آنجا که وجود الیاف در بتن ، پایداری توده بتن تازه را به میزان زیادی افزایش می دهد لذا استفاده از آزمایش اسلامپ برای تعیین کارایی بتن الیافی مناسب نیست. برای مثال اگر به یک بتن با اسلامپ ۲۰۰ میلی متر ، به میزان ۱,۵ درصد حجم آن الیاف فولادی یا شیشه ای اضافه شود اسلامپ مخلوط کاهش یافته و به حدود ۲۵ میلی متر می رسد. اما با این حال جای دادن و متراکم کردن بتن از طریق ویبره کردن می تواند رضایت بخش باشد بنابراین آزمایش وی بی برای سنجش کارایی بتن الیافی مناسب تر است.

آزمایش حلقه ز

پژوهشگران مرکز تحقیقات ساختمان بریتانیا تاثیر مقدار الیاف و نسبت ظاهر آن ها را بر روی زمان وی بی مورد مطالعه قرار داده اند. از دیدگاه مقاومت و سختی بتن ، ارجح آن است که نسبت ظاهر و مقدار الیاف افزایش یابد ولی از طرف دیگر اطلاعات موجود در شکل مزبور نشان می دهد که افزایش این دو متغیر موجب کاهش کارایی می شوند. در حقیقت اطلاعات به دست آمده از تحقیقات سوامی و مانگات نشان می دهند که در صورت استفاده از الیاف فولادی با نسبت ظاهری بیش از ۱۰۰ اگر درصد حجمی الیاف کم و در حدود ۱,۱۳ درصد باشد پدیده ای به نام تابیدگی یا تویی شدن حاصل می شود.



(الف)



(ب)

(الف) تأثیر نسبت ظاهر الیاف بر روی کارایی ملات، (ب) تأثیر اندازه سنگدانه و مقدار الیاف بر روی کارایی.

بنابراین نسبت ظاهر و مقدار الیاف باید به نحوی مناسب انتخاب شود. سازگاری بین مقدار الیاف و نسبت ظاهر آن ها ، بر روی انتخاب نوع الیاف و طراحی بتن الیافی تاثیر به سزایی دارد. به طور کلی مقدار الیاف فولادی در بتن باید به حدود ۲ درصد حجمی ، و نسبت ظاهر به ۱۰۰ محدود گردد. حتی وجود ۲ درصد الیاف فولادی کارایی بتن یا ملات را با افزایش اندازه سنگدانه ها به میزان قابل توجهی کاهش می دهند. در آیین نامه ACI تحت عنوان “راهنمای تعیین مشخصات ، مخلوط کردن ، جای دادن و پرداخت بتن

مسلح به الیاف فولادی" توصیه شده است که از سنگدانه های بزرگتر از ۱۹ میلی متر برای ساختن بتن مسلح به الیاف فولادی استفاده نگردد. در حقیقت ، در مراحل اولیه پیشرفت بتن الیافی ، برخی از پژوهشگران توصیه کردند که با شن های با حداکثر اندازه ۹ میلی متر بیش از ۲۵ درصد وزنی استفاده نشود. به طور کلی برای آنکه کارایی مناسب بتن های الیافی به دست آید ، می توان از مواد افزودنی روان کننده ، حباب زا و یا از میزان سیمان بیشتر (با پوزولان یا بدون آن) استفاده کرد. همچنین می توان از الیاف به هم چسبیده در بتن استفاده کرد.نسبت های اختلاط ، مشخصات و سایر کاربردهای بسیاری از بتن های الیافی ، در زیر شرح داده شده است. در حال حاضر معمولا از الیاف برای مقاصد سازه ای استفاده نمی شود.

مقایسه بین نسبت های اختلاط بتن های ساده و بتن های مسلح به الیاف (lb/yd³)

مصالح	بتن ساده	بتن مسلح به الیاف ^{۱۱}
سیمان	۷۵۲	۸۷۵
آب (نسبت آب به سیمان = ۰/۴۵)	۳۳۸	۳۹۴
سنگدانه ریز	۱۴۴۰	۱۲۸۲
سنگدانه درشت	۱۱۵۰	۱۰۲۴
الیاف (۲ درصد حجمی)	—	۲۶۵

^{۱۱} مقاربت خمشی ۱۴ روزه (۱۱۵۰ Psi) بتن مسلح به الیاف، در حدود ۲۰ درصد بیشتر از بتن ساده بوده است.

محدوده نسبت های بتن مسلح به الیاف با وزن معمولی

مصالح	مالات	حداکثر اندازه سنگدانه 3/8in	حداکثر اندازه سنگدانه 3/4in
سیمان (lb/yd ³)	۷۰۰-۱۲۰۰	۶۰۰-۱۰۰۰	۵۰۰-۹۰۰
نسبت آب به سیمان	۰/۳۰-۰/۴۵	۰/۳۵-۰/۴۵	۰/۴۰-۰/۵۰
درصد ریزدانه به درشت دانه	۱۰۰	۴۵-۶۰	۴۵-۵۵
درصد هوای ناشی از استفاده از ماده حباب هواساز	۷-۱۰	۴-۷	۴-۶
درصد حجمی الیاف:			
الیاف فولادی آجدار	۰/۵-۱/۰	۰/۴-۰/۹	۰/۳-۰/۸
الیاف فولادی صاف	۱/۰-۲/۰	۰/۹-۱/۸	۰/۸-۱/۶
الیاف شیشه	۲-۵	۰/۳-۱/۲	—

مخلوط های بتن متداول

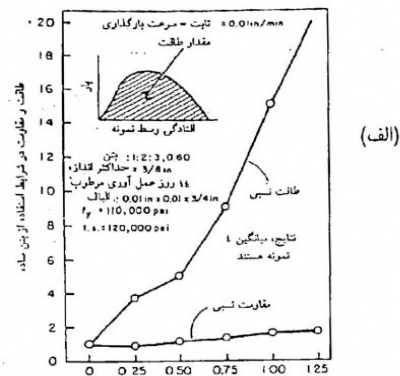
کمیت ۵۴۴ ACI اظهار می دارد که بتن مسلح به الیاف فولادی معمولا با مقدار مقاومت و الیاف مشخص گردد. معمولا در صورت استفاده از این نوع بتن ها در دال کف ، مقاومت خمشی ، و در صورت استفاده از آن ها به عنوان بتن سازه ای ، مقاومت فشاری آن ها مشخص می شود. معمولا ، یا مقاومت خمشی نمونه ۲۸ روزه این نوع بتن ها در حدود ۵-۱۰ مگاپاسکال و یا مقاومت فشاری نمونه ۲۸ روزه آن ها در حدود ۳۴-۴۸ مگاپاسکال در مشخصات قید می شود. میزان مصرف الیاف در بتن با وزن مخصوص معمولی ، که در مشخصات قید شده است بین ۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب تا ۲۲۰ کیلوگرم بر مکعب متغیر است. همچنین حداکثر میزان مصرف الیاف ، میزان ۹۵-۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب مشخص شده است.

انجمن سیمان پرتلند ، در مورد استفاده از الیاف فولادی با سطح مقطع ۱*۰.۲۲*۰.۱۰ اینچ و نسبت های اختلاط و مشخصات بتن های الیافی مناسب برای ساخت باند های فرودگاه ها و بزرگراه ها تحقیقاتی را انجام داده است. با استفاده از یک نمودار می توان افزایش مقدار سیمان و کاهش در نسبت های سنگدانه برای مقادیر مختلف الیاف ۰.۵ تا ۲ درصد را تعیین کرد.

نسبت‌های اختلاط متداول بتن‌های الیافی حاوی خاکستر بادی،
برای باندهای فرودگاهها (lb/yd³)

مخلوط #۲ حداکثر اندازه سنگدانه 3/4in	مخلوط #۱ حداکثر اندازه سنگدانه 3/8in	مصالح
۵۲۵	۵۰۰	سیمان
۲۵۰	۲۳۵	خاکستر بادی
۱۴۴۰	۱۳۷۰	سنگدانه ریز
۱۳۳۰	۱۴۷۰	سنگدانه درشت
۲۸۳	۲۵۵	آب
۸۳-۱۴۰	۸۳-۱۴۰	الیاف فولادی (۰/۶ تا ۱/۰) درصد حجمی ^{##}

با استفاده از این گراف و نسبت‌های مخلوط جدول زیر مشخص می‌شود که چطور با نسبت آب به سیمان معین، مقدار سیمان باید افزایش یافته و مطابق با آن نسبت سنگدانه‌ها کاهش یابد تا مقدار کارایی مناسبی برای بتن به دست آید. از این جدول می‌توان برای مخلوط‌های با ۲ درصد حجمی الیاف استفاده کرد. نسبت‌های توصیه شده در آیین نامه ACI 544 برای بتن و ملات الیافی با وزن معمولی که دارای حباب‌های هوا نیز هستند در جدول زیر ارائه شده است. برای دال‌های کف معمولاً به جای مقاومت فشاری، مقاومت خمشی را مشخص می‌کنند. برای کاهش هزینه بتن کف می‌توان نسبت قابل ملاحظه‌ای از سیمان را با خاکستر بادی دارای کیفیت مطلوب جایگزین کرد. این عمل سبب می‌شود که کارایی بتن بهتر شده و مقاومت خمشی ۲۸ روزه آن افزایش یابد. نسبت‌های اختلاط متداول بتن مصرفی در باند فرودگاه که دارای ۳۰ درصد وزنی خاکستر بادی جایگزین سیمان شده هستند در جدول زیر نشان داده شده است.



(ب)

طاقة نسبی	مقاومت نسبی	نسبت ظاهر (L/d)	نوع فولادگذاری
تأثیر نسبت ظاهر			
۱/۰	۱/۰۰	۰	بتن غیر مسلح
۲/۰	۱/۵۰	۲۵	
۸/۰	۱/۶۰	۵۰	الیاف تصادفی
۱۰/۵	۱/۷۰	۷۵	
۸/۵	۱/۵۰	۱۰۰	
تأثیر نوع فولادگذاری			
—	۳/۱۵	—	میله‌گذاری متداول
—	۱/۰۰	۷۵	الیاف تصادفی

عوامل موثر بر روی خواص بتن الیافی: الف) تأثیر افزایش حجم الیاف.

ب) تأثیر افزایش نسبت ظاهر

مشخصات بتن الیافی

ارزیابی بعضی از مشخصات بتن الیافی مشکل است. در این مورد گزارش ACI 544.2R توصیه هایی را ارائه کرده است که خلاصه بعضی از آن ها در زیر شرح داده شده است.

کارایی

تأثیر الیاف در روی کارایی بتن تازه ، قبلاً شرح داده شده است. برای اکثر کاربرد ها ، ملات یا بتن الیافی از کارایی بسیار کمی برخوردار است با این وجود جای گیری ، و تراکم پذیری بتن از آنچه که کارایی کم آن نشان می دهد بهتر است.

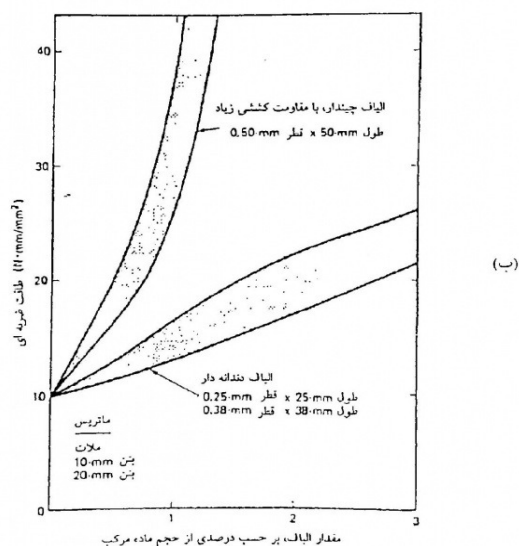
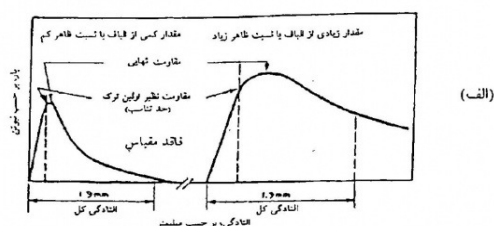
مقاومت

می توانیم نسبتاً بگوییم که تأثیر عمده الیاف ، نه بر روی مقاومت بلکه بر روی طاقت خمشی آن است. این رفتار بر مبنای گزارش های شاه (Shah) و رانگان (Rangan) در شکل زیر نشان داده شده است. نتایج آزمایش های مندرج در شکل مذکور برای نمونه های بتن الیافی با مقدار ثابت الیاف (۱ درصد حجمی) است ولی نسبت ظاهر الیاف با افزایش طول الیاف از ۰٫۲۵ تا ۱ اینچ تغییر می کند مولفان این چنین نتیجه گیری می کنند:

از نتایج به دست آمده می توان فهمید که با افزایش طول تا مقدار معینی ، مقاومت و طاقت افزایش می یابند. افزایش سختی یک برابر است در حالی که اضافه شدن مقاومت فقط به مقدار کم است. مقایسه بین الیاف و آرماتور نیز در جدولی نشان داده شده است. درصد حجمی فولاد در هر دو نمونه ۱ درصد است. آرماتورها از نوع فولاد آج دار و قطر ۰٫۲۳۳ اینچ (میلی متر) هستند و پوشش بتن روی این آرماتورها در ناحیه کششی تیر برابر با ۰٫۵ اینچ (۱۲ میلی متر) است. از نتایج ارائه شده می توان مشاهده نمود که حداکثر لنگر خمشی ، در حالتی که از آرماتور استفاده می کنیم بیش از ۳ برابر حالتی است که از بتن الیافی استفاده می شود.

کاملاً مشخص است که اگر مقاومت خمشی کمترین هدف ما باشد نمی توان از الیاف به جای آرماتور استفاده کرد. منحنی شکل زیر تاثیر حجم الیاف بر روی مقاومت خمشی و طاقت خمشی تیر بتن الیافی را نشان می دهد. تیر ها دارای الیاف فولادی به ابعاد $0,01 * 0,01 * 0,75$ اینچ ($0,25 * 0,25 * 19$ میلیمتر) هستند. مسلم است که با افزایش مقدار الیاف به مقاومت خمشی و طاقت خمشی تیر افزوده می شود بدین صورت که افزایش طاقت خمشی برای الیاف به میزان $1,25$ درصد حجمی ، 20 برابر بوده است و افزایش مقاومت به ازای همین مقدار الیاف ، کمتر از 2 برابر می باشد.

آزمایش قیف ۷ شکل



به نظر می آید که مقاومت نظیر اولین ترک و مقاومت خمشی نهایی سیستم بتن الیافی از رابطه زیر قابل پیش بینی است. سوامی و همکارانش در دانشگاه فیلد ، یک تحلیل رگرسیون بر روی نتایج آزمایش های انجام شده بر روی خمیر سیمان ، ملات و بتن الیافی انجام دادند و از انواع نسبت های اختلاط و شکل های هندسی الیاف استفاده کرد و ثابتها را به دست آورده اند. مقادیر A و B به ترتیب $0,843$ و $2,93$ برای مقاومت نظیر اولین ترک به دست آمده است. برای مقاومت نهایی ماده مرکب مقادیر A و B به ترتیب $0,97$ و $3,41$ به دست آمده اند. طبق گزارش داده شده ضریب همبستگی در تحلیل رگرسیون برابر $0,98$ بوده است.

طاقت و مقاومت در برابر ضربه

همانطور که در شکل های گذشته نشان داده شده است مزیت عمده بتن الیافی ، بهبود طاقت خمشی (کل انرژی جذب شده در هنگام شکست نمونه در خمش) است. به دلیل افزایش طاقت خمشی مقاومت در برابر خستگی و مقاومت در برابر ضربه نیز به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می یابند. متأسفانه از آن جا که انجام آزمایش مقاومت ضربه ای برای بتن الیافی چندان موفقیت آمیز نبوده است لذا پژوهشگران تاکنون موفق به تعیین کمی میزان افزایش مقاومت ضربه ای نشده اند. داده های متعارفی که نشان دهنده ی پیشرفت نسبی مقاومت ضربه ای ، بر اثر جایگزین الیاف چین دار به جای الیاف دنداندار می باشد در شکل قبل ارائه شده است.

مشخص شده است که حتی الیاف با مدول کم ، مانند نایلون و پلی پروپیلن در تولید اعضای بتنی پیش ساخته در معرض ضربه شدید بسیار موثر بوده اند. براساس گزارش جانسون یک شرکت تولید کننده در انگلستان سالیانه حدود ۵۰۰ هزار قطعه توخالی شمع پیش ساخته تولید می کند. این واحد ها که ۹۱۵ میلی متر طول و ۲۸۰ میلی متر قطر دارند و ضخامت دیواره آن ها ۵۰ میلی متر است یک قالب خارجی را تشکیل می دهند که شمع بتن آرمه معمولی در درون آن ساخته می شود. با استفاده از بتن با سنگدانه به ابعاد ۱۰ میلی متر و ۵،۰ درصد حجمی الیاف پروپیلن به طول ۴۰ میلی متر مقاومت شمع در برابر شکست در حین شمع کوبی در مقایسه با قطعات مسلح به شبکه فولادی ۴۰ درصد کاهش یافت. در خصوص مقاومت نشان داده شده است که افزودن الیاف به تیر های بتن آرمه معمولی عمر آن را در برابر خستگی افزایش می دهد و تحت بارگذاری خستگی ، عرض ترک کاهش می یابد. به طور کلی مقاومت خستگی یک تیر مسلح به الیاف که به درستی طراحی شده باشد در حدود ۹۰ درصد مقاومت استاتیکی همان تیر تحت بارهای چرخه ای با 10^6 * ۲ دور بارگذاری می باشد مشروط بر آنکه جهت اعمال بار چرخه ای تغییر نکند. اگر جهت اعمال بار چرخه ای کاملاً تغییر کند مقاومت خستگی در حدود ۷۰ درصد مقاومت استاتیکی تحت بار چرخه ای با همان تعداد دور بارگذاری خواهد بود.

مدول ارتجاعی ، خزش و جمع شدگی ناشی از خشک شدن

افزودن الیاف فولادی به بتن ، اثر ناچیزی بر روی مدول ارتجاعی ، جمع شدگی ناشی از خشک شدن و خزش فشاری دارد. خزش کششی تا حدی کاهش می یابد ولی اگر از الیاف کربنی خیلی قوی استفاده شود خزش خمشی به مقدار زیادی کاهش می یابد با این وجود در اکثر تحقیقات الیاف به دلیل حجم کم آن فقط به عنوان یک ماده صلب درون خمیر عمل کرده است بدون آنکه اثر مهمی در پایداری ابعاد ماده مرکب داشته باشد.

دوام

معمولاً بتن مسلح با الیاف ، با مقدار زیاد سیمان و نسبت کم آب به سیمان ساخته می شود. اگر بتن حاوی الیاف فولادی به طور مطلوبی متراکم شده و عمل آوری شود تا زمانی که الیاف توسط خمیر سیمان محافظت می شود ، از دوام عالی برخوردار خواهد بود. در اکثر شرایط محیطی ، به خصوص در محیط هایی که کلرید وجود دارد ، امکان زنگ زدگی الیاف واقع در حوالی سطح بتن وجود دارد اما الیاف واقع در بخش درونی بتن بدون خوردگی باقی می ماند. آزمایش دراز مدت بر روی بتن حاوی الیاف فولادی در آزمایشگاه (Battelle) در اوهایو نشان داد که الیاف دچار کمترین زنگ زدگی شده اند و پس از ۷ سال قرارگیری در معرض نمک های یخ زدا دچار کمترین مشکل شده اند. همانطور که قبلاً بیان شد به دلیل تهاجم شیمیایی قلیایی موجود در خمیر سیمان ، الیاف شیشه ای معمولی را نمی توان در بتن یا ملات با سیمان پرتلند استفاده کرد. زیرکنا و دیگر الیاف شیشه ای مقاوم در برابر قلیا از دوام بهتری در محیط قلیایی برخوردارند. اما دیده شده است که حتی این نوع الیاف نیز به مرور زمان دچار آسیب تدریجی می شود. به همین ترتیب اکثر الیاف طبیعی مثل کتان و پشم و بسیاری از پلیمرهای مصنوعی در محیط قلیایی خمیر سیمان پرتلند دوام ندارند. براساس آیین نامه ACI 544 بتن های مسلح به الیاف فولادی از نظر دوام در برابر سایش سطحی و خللازی تحت تحقیق قرار گرفته اند. آزمایش هایی که سپاه مهندسی انجام داد نشان می دهد که مقاومت در برابر سایش ناشی از حرکت ذرات ریز با سرعت کم بر روی سطح بتن باشد ، کیفیت سنگدانه و سختی سطح تعیین کننده سرعت سایش است. افزودن الیاف در بتن سبب بهبود این امر نمی شود در واقع اگر استفاده از الیاف باعث افزایش نسبت آب به سیمان و جم بیشتر خمیر سیمان شد ، احتمال سایش افزایش نیز می یابد. با این وجود اگر آسیب وارد بر بتن ناشی از خللازی حاصل از ضربه ذرات درشت باشد ، بتن الیافی سبب بهبود دوام بتن می گردد.

آزمایش های دوام بتن

در این پست آزمایش های دوام بتن تشریح شده اند. تعداد این آزمایش ها زیاد است اما در این نوشته به بخشی از آزمایش های مربوط به نفوذپذیری و خوردگی آرماتورها اشاره شده است.

شرایط محیطی

دوام بتن فقط تابع ساختار و ریزساختار بتن نیست، بلکه شرایط محیطی نقش مهمی دارد. یک سازه بتنی ممکن است در شرایط معین، عمر مفید دراز مدت داشته باشد اما همان سازه در شرایط دیگر ممکن است از مدت کوتاه سرویس دهی برخوردار باشد. به طور کلی شرایط محیطی به دو گروه ریز محیطی و کلان محیطی تقسیم بندی می شوند. کلان محیطی به این مفهوم است که سازه در چه موقعیت جغرافیایی قرار دارد، برای مثال سازه ای که در ۲۰۰ متری از ساحل قرار دارد. اما ریز محیط مربوط به بخش هایی از سازه است که در معرض آن محیط باشد. برای مثال همان سازه که در ۲۰۰ متری خط ساحلی است، بخش هایی دارد که در زیر زمین هستند و احتمالا در معرض سولفات ها و کلرید ها در خاک و یا آب زیر زمینی هستند. بخش هایی نزدیک زمین هستند که در معرض بالا آمدن نمک های آب زیر زمینی از طریق مکش مویینه و بخش هایی که بالاتر هستند در معرض کرناسیون و کلرید های موجود در هوا قرار دارند.

خوردگی آرماتور

یکی از مهم ترین عوامل آسیب دیدگی محیطی سازه های بتنی، خوردگی آرماتور است که تاکنون بیشترین خسارت را در میان بقیه آسیب ها در دنیا وارد کرده است. عامل اصلی خوردگی آرماتور، کرناسیون و نفوذ کلرید است. خوردگی آرماتور سبب می شود حجم محصول زنگ، بیشتر از فولاد باشد در نتیجه ترک خوردگی و قلوه کن شدن در بتن رخ دهد. افزایش حجم فولاد به نوع محصول زنگ بستگی دارد.



مکانیزم نفوذ کلریدها

مکانیزم نفوذ کلرید تابع شرایط محیطی (ریز محیطی) است که اعضای بتنی در معرض آن قرار دارند. در جدول زیر مکانیزم ها لیست شده است.

تست RCPT یا نفوذ پذیری کلرید سریع

شرایط	مثال سازه	مکانیزم اولیه انتقال کلرید
در زیر آب	بخش هایی از سازه که زیر جزر و مد است.	انتشار
	دیوارهای زیر زمین یا روکش های تونل زیر جزر و مد	نفوذ پذیری و انتشار
جزر و مد	بخش هایی از سازه که در منطقه جزر و مد قرار دارند.	جذب مویینه و انتشار

پاشیده شدن آب	بخش هایی از سازه که در بالای جزر و مد قرار دارند.	جذب آب، انتشار کربناسیون
ساحلی	سازه های ساحلی	جذب مویینه و کربناسیون

آزمایش های دوام

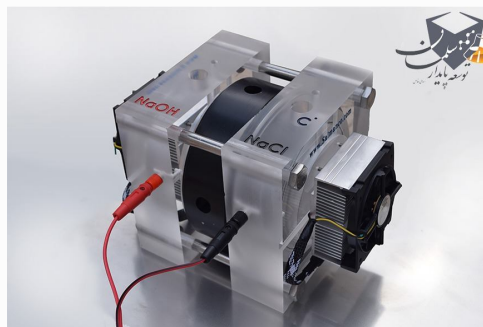
در جدول زیر بخشی از آزمایش های دوام بتن لیست شده که با کلیک روی عنوان آزمایش به صفحه مربوطه منتقل می شوید.

گروه آزمایش	نوع آزمایش
انتشار و نفوذپذیری کلریدها	پروفیل کلرید، ضریب نفوذپذیری نفوذپذیری کلرید سریع ضریب مهاجرت کلرید
کربناسیون	شناساگر فنل فتالئین
خوردگی آرماتور	پتانسیل خوردگی مقاومت پلاریسیون خطی گراویمتری خوردگی ماکروپیل مقاومت الکتریکی
جذب آب نفوذپذیری	جذب مویینه نفوذپذیری آب جذب آب

تخلخل کل توزیع اندازه نافذ	تخلخل
-------------------------------	-------

انتشار و نفوذ پذیری کلرید

انتشار روندی است که ماده از یک محل با غلظت بیشتر به محل دیگری با غلظت کمتر منتقل می شود. این نوع از انتقال در مصالح کاملاً اشباع رخ می دهد. انتشار یون های کلرید در محلول همگن رخ نمی دهد. بتن یک ماتریس متخلخل است که هر دو اجزای محلول و جامد را دارد. بنابراین نرخ انتشار نه تنها توسط ضریب انتشار در یک محلول منافذ، بلکه خصوصیات فیزیکی منافذ مویینه نیز کنترل می شود. از طرف دیگر بخشی از یون های کلرید، پیوند های فیزیکی و شیمیایی با محصولات هیدراتاسیون ایجاد می کنند، بنابراین تمایل به انتشار به سمت جلو تا حدی کاسته می شود. لذا در آزمایش از ضریب انتشار موثر استفاده می شود که به مفهوم ضریب انتشار بتن به صورت کلی است، در غیر این صورت برای آنکه تاثیر این متغیرها در نظر گرفته شود، باید از فرمول استفاده شود.



کربناسیون

یکی از آزمایش های دوام بتن مربوط به کنترل کربناسیون است. کربناسیون، نفوذ دی اکسید کربن به درون بتن است که با وجود آب با هیدروکسید کلسیم ترکیب شده و کربنات کلسیم را تشکیل می دهد. در نتیجه PH بتن از ۱۳ به ۱۰ کاهش می یابد. اگر نفوذ دی اکسید کربن پیشرفت کند و به سطح آرماتور برسد، لایه انفعالی و محافظ سطح میلگردها تخریب و خوردگی آغاز می شود. همچنین دی اکسید کربن با آلومینات سیلیکات کلسیم هیدراته شده واکنش می دهد و ژل C-S-H در معرض کربناسیون قرار می گیرد. ژل به کربنات کلسیم تجزیه می شود. در اثر کربناسیون، ظرفیت پیوند ترکیبات سیمان کاهش می یابد و کلریدهای آزاد افزایش می یابند و خطر خوردگی آرماتور نیز افزایش می یابد.

خوردگی آرماتور

یکی دیگر از آزمایش های دوام بتن تست خوردگی میلگردها هستند. این نوع آزمایش متعدد بوده و به صورت زیر است.

- آزمایش پتانسیل خوردگی یا پتانسیل نیم پیل
- آزمایش مقاومت پلاریسیون خطی
- آزمایش گراویمتری
- آزمایش خوردگی ماکروپیل
- آزمایش مقاومت الکتریکی

آزمایش پتانسیل خوردگی، وضعیت میلگرد را از نظر فعال بودن یا فعال نبودن نشان می دهد. آزمایش مقاومت پلاریسیون خطی، برای شدت یا نرخ خوردگی استفاده می شود. این آزمایش نیاز به دستگاه تخصصی دارد اما در صورت موجود نبودن دستگاه می توان از آزمایش خوردگی ماکروپیل استفاده کرد.

تخلخل

برای اندازه گیری تخلخل در بتن از روش اشباع در خلا طبق جزئیات ارائه شده در RILEM CPC 113 استفاده می شود. نمونه ها با قطر ۱۰۰ میلی متر و با ضخامت ۵۰ میلی متر در گرمخانه ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده می شوند. وزن نمونه ها پس از خارج شدن از گرمخانه و قرار دادن در محیط آزمایشگاه، اندازه گیری می شوند. سپس نمونه ها در ظرف آب تحت خلا نگه داری می شوند. پس از مدت ۱ ساعت، پمپ خلا خاموش می شوند تا نمونه ها برای ۱۲ ساعت در ظرف آب باقی بمانند. وزن نمونه ها اندازه گیری می شوند.

منبع: کتاب [بتن خود متراکم](#)، دکتر پرویز قدوسی، علی اکبر رمضانیان پور، دکتر محمد شکرچی زاده و همکاران

بتن سبک سازه ای چیست؟ تعاریف و خصوصیات

بتن سبک سازه ای، همانند بتن سازه ای معمولی است، با این تفاوت که فقط بنا به دلایل اقتصادی، در ساخت آن از سنگدانه های سبک استفاده می شود. به این ترتیب وزن مخصوص آن تقریباً $\frac{3}{2}$ وزن مخصوص بتن ساخته شده با سنگدانه های طبیعی معمولی است. در ساخت بتن های سبک سازه ای سازه ای، مهمترین عامل، سبک بودن وزن آن است و میزان مقاومت آن مهم نیست، از این رو در آیین نامه ها، حداکثر وزن مخصوص مجاز را قید می کنند. از آنجا که سنگدانه های سبک معمولاً متخلخل اند و مقاومت بتن را به میزان زیادی کاهش می دهند، لذا به منظور کسب اطمینان از کیفیت سازه ای بتن، در دفترچه مشخصات، حداقل مقاومت مورد نیاز در سن ۲۸ روزه ارائه می شود. آیین نامه ۸۷-ACI 213R تحت عنوان «راهنمایی برای بتن سازه ای با سنگدانه های سبک»، این نوع بتن را چنین تعریف می کند: بتن سازه ای با سنگدانه های سبک، بتنی است که مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن بیش از ۱۷ مگاپاسکال بوده و وزن مخصوص خشک شده در هوای آن از ۱۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بیشتر نباشد. بتن ممکن است تماماً از سنگدانه های سبک و یا بنا به دلایلی خاص از مخلوطی از سنگدانه های معمولی و سبک ساخته شود. به منظور پاسخگویی به نیازهای کارایی و دیگر خصوصیات، معمولاً در عمل از ماسه و مصالح سنگی ریز دانه معمولی استفاده می شود.

حداکثر اندازه سنگدانه های سبک به ۲۰ میلیمتر محدود شده است. مطابق ASTM C330، حداکثر وزن مخصوص خشک مصالح سنگی سبک ریزدانه و درشت دانه به ترتیب ۱۲۲۰ و ۸۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. در این آیین نامه، همچنین مشخصات دیگری مانند دانه بندی، مواد زیان آور و خواص سنگدانه های موجود در بتن ساخته شده، نظیر مقاومت، وزن مخصوص، جمع شدگی ناشی از خشک شدن، و دوام بتن حاوی سنگدانه ارائه شده است. مقادیر مقاومت فشاری و کششی و وزن مخصوص بتن سبک سازه ای، مطابق استاندارد ASTM C ۳۳۰، در جدول زیر آورده شده است.

نکته مهم قابل ذکر دیگر اینکه اختلاف در پتانسیل های الکتروشیمیایی می تواند از تفاوت هایی در محیط بتن ایجاد شود. برای مثال وقتی که قسمتی از بتن به صورت دائم در آب غرقاب است و قسمتی دیگر در معرض تر و خشک شدن متناوب قرار می گیرد و یا وقتی یک تفاوت قابل ملاحظه در ضخامت پوشش روی مجموعه میلگردها که به صورت الکتریکی با یکدیگر مرتبط هستند وجود داشته باشد وضعیت مشابهی می تواند ایجاد شود. و یا پیل های الکتروشیمیایی در اثر تغییرات در غلظت نمک های موجود در آب منفذی و یا دسترسی غیر یکنواخت به اکسیژن تشکیل شود.



معيار نسبت های اختلاط

استفاده از روش حجم مطلق ، که اساس روش ACI برای مخلوطهای بتنی با وزن معمولی را تشکیل می دهد ، برای طرح اختلاط بتن سبک مناسب نیست. دلیل آن هم این است که اولاً در آن از رابطه بین مقاومت و نسبت آب به سیمان نمی توان استفاده کرد ، زیرا مقدار آبی که جذب سنگدانه می شود ، قابل اندازه گیری نیست؛ ثانياً علاوه بر این که قسمتی از آب (۱۰ تا ۲۰ درصد) جذب سنگدانه های متخلخل می شود ، عمل جذب آب بعضی از آنها نیز چندین هفته به طول می انجامد. بنابراین، تخمین واقعی رطوبت، براساس حالت اشباع با سطح خشک (SSD) و وزن مخصوص انبوهی SSD بسیار مشکل است. همچنین، برخلاف سنگدانه های با وزن معمولی ، وزن مخصوص انبوهی سنگدانه های سبک با تغییر دانه بندی تغییر می کند.

کارآیی بتن تازه ای که از سنگدانه های سبک ساخته شده ، نیاز به توجه خاصی دارد ، زیرا سنگدانه ها ، در مخلوطهای دارای قوام زیاد ، تمایل به جدا شدن دارند و بر سطح بتن شناور می شوند. برای جبران این ضعف ، اغلب لازم است که حداکثر اسلامپ محدود شده و از ماده افزودنی حباب هواساز (قطع نظر از افزایش [دوام بتن](#) در برابر خطر یخ زدگی) استفاده شود. اغلب نیاز به افزودن ۵ تا ۷ درصد [ماده حباب ساز](#) است تا بدون اینکه جداسدگی سنگدانه ها و آب انداختگی اتفاق بیفتند ، مقدار آب مخلوط کاهش یافته و اسلامپ موردنظر به دست آید. در نتیجه ، در مشخصاتی که برای مهندسان سازه ارائه می شود، معمولاً حداقل مقادیر مجاز مقاومت فشاری ، حداکثر مقادیر وزن مخصوص و اسلامپ ، و حداقل و حداکثر مقدار حباب هوا ذکر می شود.

در طرح اختلاط، معمولاً مقاومت فشاری بتن دارای سنگدانه های سبک ، به مقدار سیمان و اسلامپ آن ارتباط دارد ، و نسبت آب به سیمان بتن معیار طراحی نمی باشد. در بسیاری موارد ، با ثابت نگه داشتن مقادیر سیمان و آب و کاهش اندازه سنگدانه ها تا حد امکان ، و یا با جایگزین کردن مقداری از ماسه سبک با ماسه طبیعی مناسب ، می توان مقاومت فشاری را افزایش داد. رابطه تقریبی بین مقاومت فشاری و مقدار سیمان بتن دارای سنگدانه های سبک و بتن دارای ماسه سبک ، مطابق با ACI – 213R 79 در جدول زیر ارائه شده است. باید توجه کرد که در صورت جایگزین کردن سنگدانه های سبک با ماسه طبیعی ، وزن مخصوص بتن تا ۱۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش می یابد بدون آنکه مقاومت فشاری آن تغییر کنید.

جدول ۱۱-۱- ویژگیهای بتن سازه‌ای سبک*

حدّ اقل مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه (بر حسب MPa)	حدّ اقل مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه (بر حسب MPa)	حدّ اکثر وزن مخصوص خشک در سن ۲۸ روزه (بر حسب kg/m^3)
در صورت استفاده از سنگدانه‌های سبک		
۲۸	۲/۲	۱۷۶۰
۲۱	۲/۱	۱۶۸۰
۱۷	۲/۰	۱۶۰۰
در صورت استفاده از ترکیبی از ماسه معمولی و سنگدانه‌های سبک		
۲۸	۲/۳	۱۸۴۰
۲۱	۲/۱	۱۷۶۰
۱۷	۲/۱	۱۶۸۰

در مورد بعضی از سنگدانه‌های سبک، می‌توان از روش حجمی ارائه شده در ACI ۲۱۱ بهره جست. این روش برای طرح اختلاط بتن با وزن معمولی تدوین شده است اما با تنظیم نسبت‌ها بر مبنای آزمایش و خطا می‌توان به کارآیی مناسب بتن تازه و خصوصیات فیزیکی مورد نیاز دست یافت. مناسب‌ترین روش این است که ابتدا حجم مساوی از شن و ماسه در نظر گرفته شود و به منظور حداقل رساندن پدیده جداشدگی سنگدانه‌ها و اسلامپ مورد نظر، نسبت‌های شن و ماسه مجدداً تنظیم گردد. در مواردی که به طرح اختلاط با دقت زیاد نیاز باشد، می‌توان به استاندارد ACI ۲۱۱ تحت عنوان “توصیه‌هایی برای انتخاب نسبت‌های بتن سازه‌ای سبک” مراجعه کرد.

جدول ۱۱-۲- رابطه تقریبی بین مقاومت فشاری متوسط و مقدار سیمان

مقاومت فشاری MPa	مقدار سیمان kg/m^3
تمام سنگدانه‌ها از نوع سبک	ترکیبی از ماسه و سنگدانه سبک
۱۷/۲۴	۳۰۵-۲۴۰
۲۰/۶۸	۳۳۵-۲۶۰
۲۷/۵۸	۳۹۵-۳۲۰
۳۴/۴۷	۴۵۰-۳۷۵
۴۱/۳۷	۵۰۰-۴۴۰

خواص بتن سبک سازه‌ای

کارایی، خصوصیات بتن تازه ساخته شده با سنگدانه های سبک وزن، و عوامل موثر بر آنها، همانند بتن با وزن معمولی است. در این نوع بتن، به دلیل کم بودن وزن مخصوص و خشن بودن بافت سنگدانه های متخلخل، به خصوص در مرحله گسیختگی، باید به کارایی بتن اهمیت زیادی داده شود. به طور کلی، ریختن، تراکم، و پرداخت بتن سبک نیاز به انرژی کمتری دارد و معمولاً ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر کافی است تا کارایی معادل اسلامپ ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلیمتر در بتن با وزن معمولی به دست آید. در مورد مخلوط بتن های ساخته شده با سنگدانه های سبک، اسلامپ زیاد و ویبره کردن زیاد، دو عاملی هستند، در حالی که هنوز نیاز به پرداخت وجود دارد، موجب فرونشستن و دور شدن ملات سنگین تر از سطح بتن می شوند. به این پدیده، «شناور شدن سنگدانه های درشت» می گویند و در آن عمل شناور شدن سنگدانه ها بر خلاف بتن با وزن معمولی است، زیرا در پدیده جدا شدگی سنگدانه ها در بتن معمولی، ملات در سطح بتن ظاهر می شود. بر طبق ACI 213R-۷۹، برای پرداخت سطح کف های ساخته شده از بتن دارای سنگدانه های سبک، حداکثر اسلامپ باید ۱۰۰ میلیمتر باشد. در این مورد کاهش اسلامپ برای سنگدانه های که به جذب آب ادامه می دهند می تواند مشکل جدی ایجاد کند. برای کنترل این مشکل، می توان سنگدانه ها را در شرایط مرطوب نگه داشت.

روان کننده بتن، انواع و اثرات آن در بتن

وزن مخصوص بتن سبک سازه ای

بعد از کارایی، وزن مخصوص و مقاومت دو خاصیت مهم بتن سازه ای سبک اند. اصولاً از مزایای هر مصالحی بالا بودن نسبت مقاومت به وزن مخصوص، و پایین بودن هزینه بتن ساخته شده با آن مصالح می باشد. آیین نامه ها، حداکثر وزن مخصوص خشک بتن را ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب ذکر می کنند ولی برای حداقل آن محدودیتی قایل نشده اند. با این وجود، تجربه نشان می دهد که اگر حداکثر اندازه سنگدانه های متخلخل ۲۰ میلیمتر باشد وزن مخصوص بتن ممکن است به کمتر از ۱۴۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش یابد، ولی امکان اینکه مقاومت ۲۸ روزه بتن، از حداقل مجاز بتن سبک سازه ای یعنی ۱۷۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، کمتر شود وجود نداشته باشد. استفاده از ماسه معمولی، برای کنترل خصوصیات بتن سخت شده باعث می شود که وزن مخصوص آن افزایش یابد، اما مصرف ماده حباب هواساز سبب می شود که وزن مخصوص، تا اندازه ای کاهش یابد. در عین حال، ماده حباب هواساز کارایی بتن را افزایش می دهد. وزن مخصوص بیشتر بتن های سازه ای سبک بین ۱۶۰۰-۱۷۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب است، ولی در بعضی موارد خاص ممکن است این مقدار، تا ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب نیز افزایش می یابد.

مقاومت بتن سبک سازه ای

معمولاً در طرح اختلاط، مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن 20MPa - 35 در نظر گرفته می شود. در برخی از کارخانه های قطعات پیش ساخته و پیش تنیده موفق شده اند، با استفاده از مقدار زیادی سیمان و سنگدانه های سبک کوچک و با کیفیت خوب (با حداکثر اندازه ۹-۱۳ میلیمتر)، بتن هایی با مقاومت ۴۰ - ۴۸ مگاپاسکال تولید کنند. امروزه، با استفاده از سنگدانه های سبک با تخلخلهای میکروسکوپی، بتنی با مقاومت 75MPa - 70 و وزن مخصوص حدود ۲۰۰۰ - ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب تولید شده است. اندازه گیری مقاومت کششی دو نیم شدن (مقاومت کششی برزلی) با استفاده از نمونه های استوانه ای بتن (مطابق ۴۹۶ ASTM)، روشی برای اندازه گیری نسبی مقاومت کششی می باشد. مطابق اطلاعات ارائه شده در جدول ۱، با افزایش مقاومت فشاری، نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری بتن سبک، همانند بتن با وزن مخصوص معمولی، کاهش می یابد. مدول گسیختگی بتن سبک، که در شرایط کاملاً مرطوب عمل آوری شده است، نیز دارای همین رفتار می باشد. نتایج آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های خشک شده نشان می دهد که رطوبت نمونه، یکی از عوامل این امر می باشد. بررسی رفتار شکست، از روی شکستن نمونه های بتن دارای سنگدانه ها نشان می دهد که برخلاف بتن معمولی نقاط ضعیف در ناحیه انتقال نیست، بلکه در این سنگدانه ها شکسته می شوند. هالم (Holm) و همکارانش با انجام آزمایش ریزنگاری الکترونی روبشی نشان داده اند که به دلیل واکنش پوزولانی، پیوند بین سنگدانه - خمیر سیمان در محل سنگدانه های سبک، قوی تر از خود ذرات سنگدانه می باشد.

پایداری ابعادی

در توصیه نامه ACI-318 مدول ارتجاعی بتن با وزن معمولی یا بتن سازه ای بیک ، از رابطه زیر به دست می آید:

$$E_c = 33W^{3/2}\sqrt{f_c}$$

مقادیر مدول ارتجاعی که از رابطه فوق به دست می آید، ممکن است حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد با نتایج حاصل از آزمایش استاندارد ASTM C ۴۶۹ اختلاف داشته باشد. در آزمایش های انجام شده توسط شیدلر (Schideler) بر روی بتن های دارای سنگدانه های رسی منبسط شونده با مقاومت ۲۱ و ۴۱ مگاپاسکال مدول ارتجاعی استاتیکی به ترتیب برابر با ۱۰۵*۱۰^۶ و ۱۰۲*۱۰^۶ مگاپاسکال به دست آمده است. چنانچه ماسه معمولی جایگزین تمامی ماسه های سبک شود ، مدول ارتجاعی، ۱۵ تا ۳۰ درصد افزایش می یابد. تحقیقات آزمایشگاهی نشان می دهند که کرنش نهایی فشاری بیشتر سنگدانه های سبک ، کمی بیشتر از ۰,۰۰۳ ای است که در طراحی فرض می شود. بتن های دارای سنگدانه های سبک، در مقایسه با بتن با وزن معمولی ، رطوبت بیشتری از خود عبور می دهند ، و بنابراین دارای جمع شدگی حاصل از خشک شدن و خزش بیشتری هستند ، و جمع شدگی نهایی حاصل از خشک شدن آنها ، که معمولاً در حدود ۸۰۰ در ده به توان منفی شش in/in است ، و خزش نهایی آنها ، که معمولاً در حدود ۱۶۰۰ در ده به توان منفی شش in/in است، بیشتر از آن بتن با وزن معمولی است. به نظر می رسد که کم بودن مقاومت و مدول ارتجاعی ، تأثیر بیشتری بر روی خزش ، در مقایسه با جمع شدگی ناشی از خشک شدن ، دارند. تأثیر جایگزینی سنگدانه های سبک با ماسه معمولی بر روی خزش و جمع شدگی ، در شکل زیر نشان داده شده است. از آنجا که مقاومت کششی بتن سبک نسبتاً کم است (۳۰۰Psi تا ۴۰۰) ، لذا انتظار می رود که این نوع بتن ها تمایل زیادی به ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی حاصل از خشک شدن داشته باشند، اما به دلیل کم بودن مدول ارتجاعی و زیاد بودن قابلیت انبساط بتن های سبک، این تمایل تا حدودی کاهش می یابد. به نظر کولکا و پولیفکا (Polivka & Kulka) ، خزش و جمع شدگی بتن سبک در سازه ها کمتر از مقادیر به دست آمده نظیر در آزمایشگاه می باشد (البته این موضوع در مورد بتن معمولی نیز صدق می کند). در طراحی سازه یک پل با بتن های سبک ، مقادیر جمع شدگی و خزش حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد به دلیل اثر اندازه عضو ، ۱۰ تا ۱۵ درصد به دلیل رطوبت محیط ، و ۱۵ تا ۲۰ درصد به علت آرماتور ، کمتر می باشد (یعنی مقادیر فوق، در مجموع، در حدود ۵۰ درصد کاهش می یابند).

واکنش قلیایی سنگدانه ها ، مکانیزم ها و راه های پیشگیری

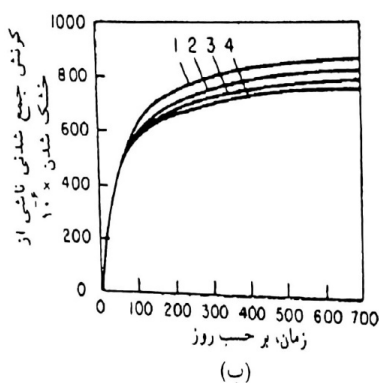
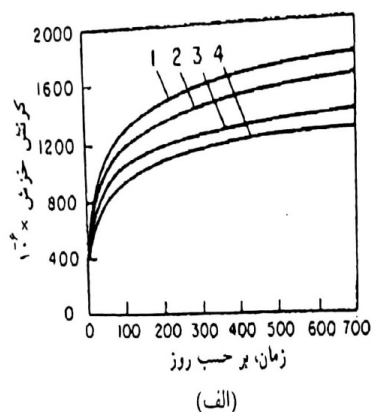
دوام

مقاومت بتن سبک حباب هوادار در برابر سیکلهای یخ زدن - آب شدن، مشابه مقاومت بتن با وزن معمولی است. ماده افزودنی حباب هواساز به خصوص برای سنگدانه های نزدیک به اشباعی که در معرض یخ زدگی هستند، بسیار مفید است. فشار هیدرولیکی ناشی از انبساط آب در سنگدانه ها توسط حباب های موجود در ملات سیمان خنثی شده و در نتیجه از تخریب بتن جلوگیری می شود. تمایل به جذب زیاد آب در بتن های دارای سنگدانه های سبکی که در محیط خشک قرار گرفته اند، به معنای نفوذ پذیری زیاد آنها نیست. در واقع ، نفوذ پذیری بتنهای سبک کم ، و دوام آنها در مقابل محلولهای شیمیایی خوب است. هالم (Holm) و همکارانش در سال ۱۹۷۳ گزارش کرده اند که در مغزه های گرفته شده از بتن سبک دالی به طول ۳,۲۵ مایل (۵,۲ کیلومتر)، با ۲۰ سال سن، فقط تعداد کمی ترک های مویی مشاهده کرده اند، در صورتی که نمونه های گرفته شده از بتن معمولی دارای سنگدانه های کوارتز در همان محل دارای ترک های بزرگی بوده است. همچنین ، مغزه های گرفته شده در سال ۱۹۸۰ از بتن سبک بار انداز سلما در شورو ، که در زمان جنگ جهانی اول ساخته شده و به مدت ۶۰ سال در معرض محیط دریایی قرار داشت ، دارای ترکهای موبین کمی بوده اند. دلیل اصلی نفوذ پذیری کم و دوام عالی بتن سبک ، عدم وجود ترکهای موبین در ناحیه انتقال بین خمیر سیمان - سنگدانه می باشد که براساس نظریه هلم و همکارانش ، به علت تشابه مدول ارتجاعی بین سنگدانه های سبک و ملات می باشد.

همچنین به علت واکنش پوزولانی بین سیلیکاتهای آلومینیم سنگدانه های سبک (که با حرارت فعال شده اند) و هیدروکسید کلسیم خمیر سیمان، معمولاً ناحیه انتقال سخت و مقاوم می باشد. البته سنگدانه های سبک متخلخل اند و در مقایسه با سنگدانه های معمولی به آسانی قابل شکستن می باشند. بنابراین، معمولاً مقاومت بتن های دارای سنگدانه های سبک در برابر سایش کم است و جایگزین کردن ماسه سبک با ماسه طبیعی، روشی برای افزایش مقاومت آن در برابر سایش است.

ضریب انبساط حرارتی

بتن های حاوی سنگدانه های سبک شیل منبسط شده بین ۶ تا ۸ در ده به توان منفی شش برای هر درجه سانتی گراد است. از نظر مقاومت در برابر جریان حرارت، بتن های سبک عایق بندی، به علت چگالی کمتر سنگدانه های سبک آنها، مناسب تر از بتن های سبک سازه ای هستند. هدایت حرارتی بتن های سبک سازه ای حدود نصف مقدار نظیر در بتن های معمولی است و بنابر این مقاومت آنها در برابر آتش بهتر است. مقادیر متداول هدایت حرارتی بتن های حاوی سنگدانه های رس منبسط شده، و بتن های حاوی سنگدانه درشت رس منبسط شده و ماسه طبیعی به ترتیب ۰,۲۲ و ۰,۳۳ می باشد.



استوانه هایی به ابعاد 150×300 میلیمتر،
از بتن به مقاومت 35 MPa
بدون هیچگونه جایگزینی
جایگزینی به میزان $\frac{1}{3}$
جایگزینی به میزان $\frac{2}{3}$
جایگزینی به میزان 100 درصد

شکل ۱۱-۲- تأثیر جایگزینی سنگدانه های ریز دانه با ماسه طبیعی، بر روی
الف) کرنش ناشی از خزش ب) کرنش حاصل از جمع شدگی ناشی از خشک شدن.

براساس ACI 213 R - ۸۷ استفاده از بتن سبک در سازه ها ، به دلیل هزینه کلی کمتر آنها است. علی رغم آنکه هر متر مکعب بتن سبک ، در مقایسه با بتن با وزن معمولی ، گران تر است ولی به علت کمتر بودن وزن مرده و ابعاد پی در آنها ، هزینه سازه های ساخته شده با این نوع بتن ها کمتر است. ویلسن با چندین مثال نشان داده است که کاربرد بتن سبک می تواند موجب کاهش هزینه پی ها آرماتور و ساخت سازه ها گردد. در سال ۱۹۳۶ ساخت عرشه پل «اوکلند سانفرانسیسکو» با بتن سبک، موجب صرفه جویی در مصرف فولاد به میزان ۳ میلیون دلار گردید. از آن زمان تاکنون، تعداد زیادی عرشه پل بتن سبک در تمام دنیا ساخته شده است. در دالهای سقف مقاومت عامل اصلی نیست، بنابراین ، از مقدار زیاد سنگدانه سبک برای کاهش وزن مرده بتن در سقف های سازه های بلند استفاده می شود. مثالی از این نوع کاربرد ، برج «لیک پوینت» در «شیکاگو، ایلینویز» است که در سال ۱۹۶۸ با ۷۱ طبقه ساخته شد. دالهای طبقات دوم تا هفدهم ، و دال کف گاراژ ، با بتن درجا با جرم مخصوص ۱۷۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری ۷ روزه (نمونه استوانه ای ۱۵۰ در ۳۰۰ میلیمتر) ۲۰ تا ۲۲ MPa ساخته شده بود. در سال ۱۹۶۷ یک برج مدور ۵۰ طبقه، با ارتفاع ۱۸۴ متر و قطر ۴۲،۵ متر ، در سیدنی استرالیا ساخته شد. با استفاده از ۳۱۰۰۰ متر مکعب بتن سبک در تیرها، ستونها ، و سقف ها از طبقه هفتم به بالا، ۱۳ درصد در هزینه ساخت صرفه جویی گردید. مقاومت فشاری میانگین بتن ۳۴،۳ مگاپاسکال و جرم مخصوص میانگین آن ۱۷۹۲ کیلوگرم بر متر مکعب در ۲۸ روزگی بوده است. در سال ۱۹۶۹ در هوستون ، تگزاس یک ساختمان تجاری ۵۲ طبقه با بتن سازه ای سبک ساخته شد که شامل یک پی گسترده به ابعاد ۷۰*۵۲*۲،۵ متر در تراز ۱۸ متری زیر سطح زمین بوده است. جرم مخصوص بتن ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن برای دیوارهای برشی ، ستونها ، و پی های گسترده برابر با ۴۱ MPa و برای کفهای سازه برابر با ۳۱،۳ MPa بوده است. اگر از بتن معمولی استفاده می گردید فقط امکان طراحی ۳۵ طبقه سازه ایمن وجود داشت زیرا که ظرفیت باربری خاک محدود بود.

کولکا و پولیفکا (۷) توصیه می کنند که عامل اصلی اقتصادی بودن بتن سبک در صرفه جویی آرماتور در آنها است. در بتن های مسلح معمولی، مزیت اقتصادی، مانند بتن های پیش تنیده چشمگیر نیست. در بیشتر موارد نیروی پیش تنیدگی بر مبنای بار مرده سازه محاسبه می گردد، و در نتیجه، ۲۵ درصد کاهش وزن باعث کاهش وزن چشمگیر کابل های پیش تنیدگی می شود. از دیگر مزایای کاهش وزن بتن ، افزایش مقاومت اعضای برشی در برابر نیروی زلزله است ، زیرا نیروهای لرزه ای عمدتاً تابع مستقیم وزن مرده سازه است. باید توجه داشت که کاربرد اصلی بتن سبک در تمام دنیا ، همچنان تولید اعضای پیش ساخته بتنی و پانلهای پیش ساخته است. به دلیل هزینه کمتر انتقال، جابه جایی و ساخت، محصولات بتن سبک برای این نوع ساخت ایده آل می باشند. هر چند که سنگدانه های رس و شیل منبسط شده ، برای تولید بتن سبک با کیفیت سازه ای مناسب ترین مصالح هستند ، اما افزایش هزینه سوخت در دهه ۱۹۷۰ سبب شد که این نوع سنگدانه ها از بازار خارج شوند. در نتیجه، مسئله یافتن سنگدانه سبک طبیعی با کیفیت مناسب مجدداً نظر ها را جلب کرد.

خوردگی میلگرد (آرماتور) در بتن مسلح در اثر حمله کلریدی

یکی از عمده ترین خرابی ها در سال های اخیر در سازه های بتن مسلح در مناطق گرم و جنوب و به خصوص در مناطق حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، خوردگی میلگرد می باشد. خوردگی میلگرد های فولادی باعث بروز ترک در پوشش بتنی میلگردها شده این خوردگی با بروز پدیده کربناتاسیون و به ویژه نفوذ یون کلرید آغاز شده و شدت می یابد و نهایتاً به ترک خوردگی و ریختن سازه می انجامد. از نظر خوردگی فقط یون های آزاد کلرید مضر هستند و کلیه یون های کلرید موجود در منافذ به صورت آزاد نیستند، بلکه بخشی از یون های کلرید با محصولات هیدراتاسیون سیمان پیوند فیزیکی و یا شیمیایی برقرار می کنند. یون های کلرید در بتن در سه حالت به شرح زیر یافت می شوند.

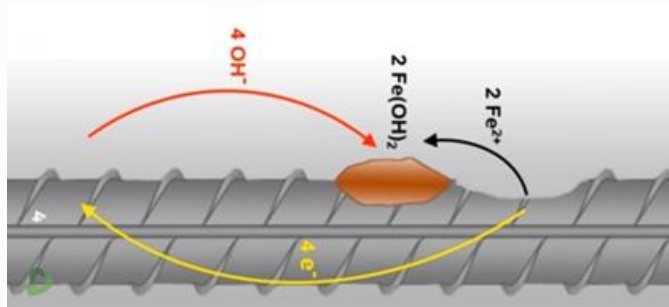
۱. پیوند شیمیایی: مهم ترین محصول هیدراتاسیون که قابلیت پیوند شیمیایی با یون های کلرید را دارد C3A است. بر اثر ترکیب این ماده با یون های کلرید $C_3A.CaCl_2.10H_2O$ (کلروآلومینات کلسیم) تشکیل می گردد. بر اثر این ترکیب یون های کلرید به صورت غیر فعال در می آیند. بنابراین استفاده از سیمان پرتلند نوع ۵ و یا سیمان های ضد سولفات که

- دارای C3A کم می باشند و پیوند یون های کلرید با C3A به میزان کمتری صورت می پذیرد و در نتیجه کلرید آزاد بیشتری به سطح میلگرد میرسد به هیچ وجه مناسب نبوده و در نتیجه خوردگی میلگرد افزایش پیدا می کند.
۲. پیوند فیزیکی: یون های کلرید به سطح محصولات هیدراتاسیون جذب فیزیکی می شوند و این بخش از یون های کلرید به صورت فیزیکی پیوند یافته و غیر فعال می گردند.
۳. یون های کلرید آزاد: بقیه یون های کلرید که پیوند ایجاد نکرده اند به صورت آزاد در بتن باقی می مانند و تنها این کلرید آزاد در بتن نقش خوردگی دارد.
- معمولا میلگردها در بتن در محیط محافظت شده ای قرار دارند. (مدفون در بتن) این محافظت ناشی از دو عامل فیزیکی و شیمیایی است.
- عامل شیمیایی: به دلیل وجود یک قشر میکروسکوپی که بر سطح فولاد ایجاد می گردد در مخلوط بتن اساسا فولاد توسط خود بتن در برابر خوردگی محافظت می گردد زیرا در بتن تازه به علت بالا بودن درجه قلیایی آن که ناشی از ایجاد هیدروکسید کلسیم و قلیایی های سدیم و پتاسیم در هیدراتاسیون سیمان است ، یک لایه محافظتی روی میلگردها تشکیل می گردد، PH زیاد محیط اطراف فولاد که حدود ۱۳ الی ۱۴ می باشد ، اجازه تشکیل یک لایه اکسید میکروسکوپی بر روی سطح فولاد می دهد که به صورت مانعی در مقابل انحلال و متلاشی شدن فولاد عمل می نماید و از آن محافظت می کند. در این وضعیت بروز زنگ زدگی و خوردگی غیر ممکن است حتی اگر شرایط دیگر جهت تحقق این امر مانند رطوبت و اکسیژن نیز وجود داشته باشد.
 - عامل فیزیکی: عامل دومی که از میلگردها محافظت می کند پوشش بتنی روی میلگرد است که یک مانع فیزیکی ایجاد می کند. این مانع نفوذ عناصر مخرب، مانند کلرید و دی اکسید کربن را به تاخیر می اندازد. اثر پوشش بتن در به تاخیر انداختن خوردگی تابع ضخامت و کیفیت پوشش است.

جداشدگی بتن ، علل و راهکارهای پیشگیری

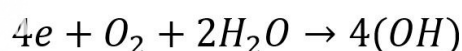
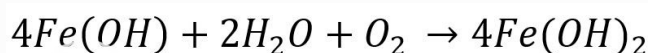
- خوردگی فولاد در بتن یک فرآیند الکتروشیمیایی است. پتانسیل های الکتروشیمیایی که تشکیل پیل های خوردگی را می دهند به یکی از دو صورت زیر به وجود می آید.
- هنگامی که دو فلز متفاوت در بتن قرار داده شوند. نظیر وجود همزمان میلگردهای فولادی و لوله های آلومینیومی در بتن یا وقتی اختلاف زیادی در مشخصات سطحی فولاد وجود داشته باشد پیل های خوردگی تشکیل می گردد. در این حالت یکی از دو فلز آند و دیگری کاتد می گردد.
 - پیل های متمرکز تشکیل گردد: این پیل ها به علت تفاوت تمرکز یون های حل شده در بتن در نزدیکی فولاد به وجود می آید مانند تشکیل یون های قلیایی ها و کلرایدها و اکسیژن تشکیل می شود. در این حالت یون ها و الکترون ها بین دو بخش مختلف سطح فولاد که در پتانسیل الکتروشیمیایی اختلاف دارند حرکت می کنند این دو بخش آند و کاتد را می دهند.

مکانیزم شیمیایی خوردگی میلگرد

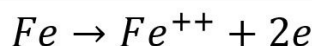


توصیف مختصری از پدیده خوردگی به شرح زیر است. وقتی که اختلاف پتانسیل الکتریکی در امتداد طول میلگرد فولادی در بتن به وجود می آید، یک پیل الکترو شیمیایی به وجود می آید و مناطق آندی و کاتدی به وجود می آیند که با الکترولیت (آب منفذی در خمیر سفت شده سیمان) با یکدیگر مرتبط می شوند. یون فرو با شار مثبت Fe^{++} در آند وارد محلول می شود در حالی که الکترون های آزاد با شار منفی از میان فولاد عبور کرده و به کاتد می روند و در آنجا وارد الکترولیت شده و با آب و اکسیژن ترکیب شده و یون های هیدروکسید ($-OH$) را به وجود می آورند. این یون ها از میان الکترولیت عبور کرده و با یون های فرو ترکیب می شوند و هیدروکسید آهن را به وجود می آورند که با اکسیداسیون بعدی به زنگ آهن تبدیل می شود.

واکنش های آندی



واکنش های کاتدی



می توان مشاهده نمود که اکسیژن مصرف می گردد و آب دوباره ساخته می شود اما این واکنش برای تداوم ضروری است. بنابراین در بتن خشک احتمالاً با رطوبت نسبی کمتر از ۶۰ درصد، هیچ گونه خوردگی وجود نخواهد داشت. مناسبت ترین رطوبت نسبی برای خوردگی ۷۰ الی ۸۰ درصد است در رطوبت های نسبی زیادتر پخش اکسیژن در داخل بتن به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.

نقش کلر در خوردگی میلگرد

همانگونه که قبلاً نیز بیان شد بر روی فولاد مدفون در خمیر سیمان در حال هیدراته شدن به سرعت لایه ای غیر فعال از اکسیدی تشکیل می شود که به شدت به لایه فولاد زیرین می چسبد و از آن به طور کامل در برابر واکنش با اکسیژن و آب محافظت می کند (به عبارت دیگر از تشکیل زنگ زدگی و خوردگی محافظت می کند). به این لایه ایجاد شده لایه خنثی ساز گفته می شود. این حالت فولاد به نام حالت غیر فعال گفته می شود. حفظ حالت بی اثری منوط به PH به اندازه کافی زیاد آب منفذی در تماس با لایه غیر فعال است بنابراین وقتی که جبهه PH کم به حوالی سطح میلگردهای فولاد می رسد لایه اکسید برداشته می شود و خوردگی می تواند رخ دهد. به شرط آنکه اکسیژن و رطوبت کافی برای واکنش خوردگی فراهم باشد برای آغاز لازم است تا لایه غیر فعال سوراخ شود. یونهای کلرید سطح فولاد را فعال می سازند و یک آند به وجود می آورند و سطح خنثی ساز به صورت کاتد عمل خواهد نمود. به دلیل سطح کوچک آند نسبت به سطح بزرگ کاتد شدت خوردگی در محل آند بسیار زیاد است.

ذکر این نکته در همینجا لازم است که نقاط آند و کاتد همیشه بر سطح یک میلگرد تشکیل نمی شود. به عنوان مثال معمولاً اعضای بتنی مسلح دارای دو شبکه میلگرد می باشند که توسط خاموت ها با یکدیگر ارتباط الکتریکی دارند، ممکن است یک شبکه در معرض نفوذ آب و کلرید قرار گیرد و شبکه دیگر که بتن اطراف آن خشک است در معرض نفوذ اکسیژن قرار گیرد. شبکه ای که در معرض یون کلرید است به صورت آند و شبکه دیگر که در معرض اکسیژن است به صورت کاتد عمل می کند.

واکنش قلیایی سنگدانه ها

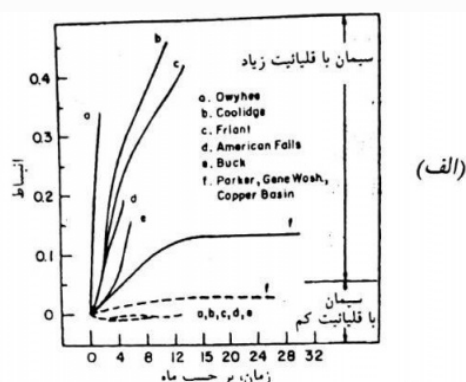


انبساط و ترک خوردگی ای که منجر به کاهش مقاومت، الاستیسیته، و دوام بتن می شود، می توانند به علت واکنش های شیمیایی بین یون های قلیایی ناشی از سیمان پرتلند (یا از منابع دیگر)، یون های هیدروکسیل، و بعضی از مواد متشکله سیلیسی ای که ممکن است در سنگدانه ها موجود باشند، به وجود آیند. در نوشتار جدید، از این پدیده بنام واکنش قلیایی - سیلیسی یاد می کنند. بیرون پدیدگی و تراوش مایع لزج قلیایی - سیلیکاتی، از ظواهر دیگر این پدیده می باشد که تشریح آن اولین بار به وسیله استنتون (Stanton) در سال ۱۹۴۰ از بررسی های سازه های بتنی ترک خورده کالیفرنیا، انتشار یافت. از آن موقع تاکنون، موارد متعددی از آسیب دیدگی بتن از جاهای دیگر دنیا گزارش شده اند که نشان می دهد واکنش قلیایی - سیلیسی، حداقل یکی از علل آسیب دیدگی سازه های واقع در محیط های مرطوب، مانند: سدها، پایه های پل ها، و دیوارهای دریایی، می باشد. انواع سیمان ها و سنگدانه هایی که در واکنش شرکت می کنند مصالح خام استفاده شده در ساخت سیمان پرتلند، علت وجود قلیائی ها در سیمان می باشند. مشخصا در محدوده ۲/۰ تا ۵/۱ درصد معادل Na_2O ، بسته به مقدار قلیایی سیمان، PH مایع منفذی در بتن معمولی به طور کلی ۵/۱۲ تا ۵/۱۳ می باشد. این PH نشان دهنده مایع سوز آور یا با درجه قلیایی بالا است که بعضی از سنگ های اسیدی (یعنی سنگدانه های متشکله از سیلیس و مواد معدنی سیلیسی) در آن در دراز مدت پایدار نمی مانند. هم داده های آزمایشگاهی و هم داده های کارگاهی به دست آمده از چندین مطالعه انجام شده در ایالات متحده، نشان می دهند که سیمان های پرتلند دارای بیش از ۶/۰ درصد معادل Na_2O ، وقتی که به صورت مخلوط با سنگدانه های قلیایی واکنش را استفاده شوند، موجب انبساط های زیاد ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه ها می شوند. بنابراین، استاندارد ASTM C ۱۵۰ سیمان های با کمتر از ۶/۰ درصد معادل Na_2O را به عنوان با قلیائیت کم و سیمان های با بیشتر از ۶/۰ درصد معادل Na_2O را به عنوان با قلیائیت زیاد معرفی می کند.

در عمل، مقادیر ۶/۰ درصد یا کمتر برای قلیایی سیمان، معمولا برای جلوگیری از آسیب دیدگی ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه ها، بدون توجه به نوع سنگدانه های واکنش را، کافی شناخته شده اند. در بتن های دارای مقدار سیمان خیلی زیاد، حتی مقادیر کمتر از ۶/۰ درصد قلیایی در سیمان نیز ممکن است مضر باشد بررسی های انجام شده در آلمان و انگلستان نشان داده اند که اگر مقدار کل قلیایی بتن حاصل از همه منابع کمتر از ۳ کیلوگرم در متر مکعب باشد، احتمالا آسیب دیدگی اتفاق نخواهد افتاد. همانطور که در زیر بحث شده است، وجود هم یون هیدروکسیل و هم فلز قلیایی برای پدیده انبساط لازم به نظر می رسد. به علت مقدار زیاد هیدروکسید کلسیم در سیمان های پرتلند هیدراته شده غلظت یون هیدروکسیل در مایع منفذی، حتی در سیمان های با قلیائیت کم، در حد بالایی باقی می ماند. بنابراین، در این صورت پدیده انبساط زایی با ذخیره کم یون های فلز قلیایی محدود خواهد شد مگر اینکه این یون ها به وسیله منبع دیگری مانند مواد افزودنی محتوی قلیاء سنگدانه های آلوده به نمک و نفوذ آب دریا با محلولهای یخ زدای دارای کلرید سدیم به داخل بتن، فراهم گردند. در سنگدانه های مستعد واکنش قلیایی، تمام سیلیکات یا مواد معدنی سیلیسی، به علاوه سیلیس آبدار (اپال) یا سیلیس بی شکل (آمورف) (آبسدین، شیشه سیلیسی)، می توانند با محلولهای قلیایی واکنش انجام دهند، اگر چه تعداد زیادی از مواد معدنی فقط تا درجه خیلی کمی واکنش انجام می دهند. میزان این واکنش، به زمان، دما، و اندازه ذره بستگی دارد. فلدسپار ها، بیروکسینها، آمفیبولها، میکاها و کوارتز، که مواد معدنی متشکله گرانیتها،

گنایسها، شیشتها، ماسه سنگها، و بازالتها هستند، جزء مواد معدنی بی ضرر طبقه بندی شده اند. اپال، شیشه سنگ، کریستوبالیت، تری دیمیت کلسدونی، چرت، سنگهای آتشفشانی نهان بلورین (آندزیتها و ریولیتها)، و کوارتز فشرده یا کوارتز دگرگونی، که به ترتیب کاهش میزان واکنش زایی شان ذکر شدند، به عنوان مواد مستعد واکنش قلیایی شناخته شده اند. فهرست جامعی از مواد مسبب آسیب دیدگی بتن بر اثر واکنش قلیایی سنگدانه در شکل زیر ارائه شده است. تعداد کمی از موارد واکنش بین قلیایی و سنگهای کربناتی گزارشها و منابع فنی درج شده اند که در اینجا در مورد آنها بحث نمی شود.

بتن اسفنجی، خصوصیات و کاربردها



سنگها، مواد معدنی و مواد مصنوعی واکنش زای زیان آور

مواد واکنش زا	ترکیب شیمیایی	مشخصه فیزیکی
سنگ عقیق (اوپال)	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	آمورف (بی شکل)
کلسدونی	SiO_2	میکروکریستالی تا کریستوگرایستالی، الباف معمولی
بعضی از شکلهای کوارتز	SiO_2	الف) میکروکریستالی تا کریستوگرایستالی ب) کریستالی ولی بشدت شکسته یافته، کرنش یافته، و / یا گنجایش پر شده.
کریستوبالیت	SiO_2	کریستالی
تری دیمیت	SiO_2	کریستالی
ریولیت، داسیت، لاتیت، یا شیشه آندزیتی یا محصولات کدر شده نهان بلورین	سیلیسی با نسبتهای کمتر از $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$ قلیایی خاکی و قلیانیتها	شیشه یا مواد کریستوگرایستالی به عنوان ماتریس سنگهای آتشفشانی یا خورده های توفیا
شیشه های سیلیسی مصنوعی	سیلیسی، با نسبتهای کمتر از قلیانیتها، آلومین، و / یا مواد دیگر	شیشه

مهمترین سنگهای مستعد واکنش قلیایی (یعنی، سنگهای دارای مقادیر زیادی از یک یا چند ماده مذکور در بالا) عبارتند از: چرنهای اوپالی، چرنهای کلسدونی، چرنهای کوارتزی، سنگ آهکهای سیلیسی، دولومینهای سیلیسی، ریولیتها و توفیا، داسیتها و توفیا.

نوجه: یک سنگ ممکن است مثلاً جزء سنگهای آهک سیلیسی طبقه بندی شود و در عین حال، اگر مواد مشکله سیلیسی اش غیر از آنچه که در بالا لیست شده اند باشد، بی ضرر باشد.

شکل ۵ - ۱۴ سنگهای قلیایی واکنش زا در بتن با سیمان پرتلند.

ترکیبی از سیمان پرتلند با قلیایی زیاد (بیشتر از ۶٪ درصد معادل Na_2O) و بعضی از سنگدانه های سیلیسی که برای ساخت بتن چندین صد آمریکا استفاده شد، انبساطهای نامطلوب زیاد در منشورهای ملات نشان دادند [نیمت (الف)]. همان سنگدانه ها انبساطهای ناچیزی را وقتی که سیمان با قلیایی کم در آزمایش استفاده شد، نشان دادند. لیست جامعی از سنگدانه های قلیایی واکنش زا در قسمت (ب) داده شده است.

مکانیزم های انبساط

بسته به درجه بی نظمی ساختمان سنگدانه و تخلخل و اندازه ذرات آن ، ژلهای قلیایی – سیلیکاتی با ترکیب شیمیایی متغیر در حضور هیدروکسیل و یونهای فلز قلیایی تشکیل می شوند نوع حمله بتن می تواند شامل پلیمریزاسیون زدایی یا شکستن ساختمان سیلیسی سنگدانه توسط یون های هیدروکسیل ، و به دنبال آن جذب یون های فلز قلیایی واقع بر روی سطح محصولات تا وجود آمده حاصل از واکنش ، باشد.

در این جا نیز ، مثل خاکهای دریایی دارای سدیم با پتاسیمی سطح آنها جذب شده اند، وقتی که ژل های سیلیکات قلیایی در تماس با آب قرار می گیرند، بر اثر جذب کردن مقدار زیادی آب از طریق اسمزی، متورم می شوند. فشار هیدرولیکی ای که به این صورت توسعه می یابد ممکن است منجر به انبساط و ترک خوردگی ذرات سنگدانه ای که تحت تأثیر قرار می گیرند، ماتریس خمیر سیمان احاطه کننده سنگدانه ها، و بتن شود. حلالیت ژلهای سیلیکاتی قلیایی در آب، دلیل تحرک آنها از داخل سنگدانه به نواحی ریز ترکهای موجود در هم داخل سنگدانه و هم داخل بتن ، می باشد. در دسترس بودن پیوسته آب در داخل بتن، باعث بزرگ شدن و توسعه یافتن این ریز ترکها می شود تا آنکه نهایتا به سطح بیرونی بتن برسند. شکل ترک، نامنظم و بی قاعده است و در نتیجه به آن ترک نقشه ای گفته می شود. بایستی دانست که شواهد دال بر واکنش قلیایی سنگدانه ها در بتن ترک خورده ، لزوما ثابت نمی کند که علت اصلی ترک خوردگی ، این واکنش می باشد. در بین عوامل دیگر ، توسعه تنش های داخلی بستگی به مقدار ، اندازه ، و نوع سنگدانه واکنش زای موجود و ترکیب شیمیایی ژل سیلیکات قلیایی تشکیل شده دارد. مشاهده گردیده است که وقتی مقدار زیادی از مصالح واکنش زا به صورت ذرات ریز جدا از هم (یعنی کمتر از $umy5$) باشند ، ممکن است شواهد قابل توجهی از واکنش وجود داشته باشد، ولی انبساطی به اندازه قابل توجه ، رخ ندهد. از طرف دیگر ، خیلی از سوابق مورد مطالعه در مورد انبساط و ترک خوردگی بتن ، که به واکنش قلیایی سنگدانه ها نسبت داده می شوند همراه با وجود ذرات واکنش زای قلیایی ، به اندازه ماسه ، در سنگدانه ، خصوصا در اندازه بین ۱ تا ۵ میلیمتر هستند. توضیحات قانع کننده ای برای این مشاهدات ، به علت فعل و انفعال همزمان چند عامل پیچیده، در دسترس نمی باشد. به هر حال، تمایل به جذب آب کمتر ژلهای قلیایی – سیلیسی با نسبت سیلیس به قلیایی بیشتر ، و آزاد شدن فشار هیدرولیکی در سطح ذره واکنش زا وقتی که اندازه آن خیلی کوچک است ، ممکن است به طور جزئی این مشاهدات را توجیه نماید.

موارد برگزیده ای از سوابق آسیب دیدگی ها

به توجه به گزارش های انتشار یافته در مورد آسیب دیدگی بتن بر اثر واکنش قلیایی سنگدانه ها ، به نظر می رسد که ذخایر سنگدانه های قلیایی واکنش زا ، به طور کاملا گسترده ای در ایالات متحده و کانادا ، استرالیا ، نیوزیلند ، افریقای جنوبی ، دانمارک ، آلمان ، انگلستان و ایسلند ، وجود دارند. بلنکس و کندی (Kennedy & Blanks) بعضی از موارد اولیه را در ایالات متحده ، تشریح نمودند. طبق گفته مولفین ، آسیب دیدگی ناشی از این امر ، اولین بار در سال ۱۹۲۲ ، یعنی ده سال پس از ساخت نیروگاه هیدرولیکی باک (BUCK) بر روی رودخانه نیوربور (New River) واقع در ایالت ویرجینیا (Virginia) مشاهده گردید. هولین (Holden) در سال ۱۹۳۵ از مطالعات سنگ شناسی بتن نتیجه گیری کرد که انبساط و ترک خوردگی ، ناشی از واکنش شیمیایی بین سیمان و سنگ فیلیت استفاده شده به عنوان سنگدانه، بوده است. بر اثر واکنش قلیایی سنگدانه ها ، انبساط خطی بیش از ۵/۰ درصد در بتن یافت شده بود. تغییر شکل تاج یک سد قوسی در کالیفرنیا، در بالا دست آن، ۹ سال پس از ساخت آن در سال ۱۹۴۱ ، به میزان حدود ۱۲۷ میلیمتر بود. اندازه گیری های انجام شده بر روی سد پارکر (Parker) (در ایالات کالیفرنیا و آریزونا) نشان دادند که انبساط بتن ، به تدریج از سطح تا عمق ۳ متری افزایش داشت و انبساط خطی تا حدود ۱/۰ درصد نیز یافت گردید.

شاتکریت چیست؟ انواع ، مشخصات فنی و شیوه اجرا

از آنجا که واکنش های شیمیایی تابعی از دما هستند ، در ابتدا فکر می شد که در کشورهای سردسیر ، مثل دانمارک ، آلمان و انگلستان ، واکنش قلیایی سیلیسی ممکن نیست که مشکل ساز باشد. تجربه بعدی با بعضی از سنگهای قلیایی واکنش زا نشان داده است که این فرض نادرست بوده است. برای مثال ، در سال ۱۹۷۱ کشف کردند که بتن سد Val – de – La – Mare در

انگلستان ، بر اثر واکنش قلیایی – سیلیسی آسیب دیده است. این واکنش احتمالا در نتیجه استفاده از سنگ “دیوریت شکسته شده دارای رگه های سیلیس بی شکل بوده است.

برای حصول اطمینان از ایمنی سد به روش های مفید زیادی احتیاج بود. تا سال ۱۹۸۱ ، شواهد آسیب دیدگی بتن مربوط به واکنش قلیایی – سیلیسی ، در ۲۳ سازه به عمرهای ۶ تا ۱۷ سال ، واقع در اسکاتلند ، میدلندز ، ولز ، و جاهای دیگر جنوب غربی انگلستان یافت شدند.

در بسیاری از این سازه ها بتنی به کار رفته شده بود که در آن از سنگدانه های لایروبی شده از دریایی که در حد مطلوب شکسته شده بودند استفاده گردیده است بود.



کنترل انبساط

از توضیحاتی که در مورد سوابق آسیب دیدگی و مکانیزمهای اساسی انبساط مربوط به واکنش قلیایی سنگدانه ها ، داده شد می توان نتیجه گرفت که مهم ترین عامل های موثر در این پدیده عبارتند از :

- مقدار قلیایی سیمان و مقدار سیمان در بتن
- شرکت یون قلیایی از منابعی به غیر از سیمان پرتلند، مانند مواد افزودنی ، سنگدانه های آلوده به نمک ، و نفوذ آب دریا با محلول نمک یخ زدا به داخل بتن
- مقدار ، اندازه و واکنش زایی اجزای تشکیل دهنده قلیایی واکنش زای موجود در سنگدانه
- دسترسی رطوبت به سازه بتنی
- دمای محیط

هنگامی که سیمان تنها منبع یون های قلیایی بتن باشد و ضمنا به وجود اجزای تشکیل دهنده قلیایی واکنش زا در سنگدانه مشکوک باشیم ، تجربه نشان می دهد که استفاده از سیمان پرتلند قلیایی کم (کمتر از ۶/۰ درصد معادل Na_2O) ، بهترین روش محافظت در برابر حمله قلیایی می باشد. اگر قرار است که از ماسه ساحلی یا ماسه و شن لایروبی شده از دریا استفاده شود سنگدانه ها بایستی با آب شیرین شسته شوند تا این اطمینان حاصل شود که مقدار کل قلیایی های ناشی از سیمان و سنگدانه ها ، از ۳ کیلوگرم بر متر مکعب بتن تجاوز نمی کند. در صورتی که سیمان پرتلند با قلیایی کم ، در دسترس نباشد ، برای کاهش مقدار کل قلیایی های بتن می توان مقداری از سیمان با قلیایی زیاد را با مواد افزودنی سیمانی یا پوزولانی ، نظیر روباره آهنگدازی دانه ای شده ، شیشه آتشفشانی (پامیس آسیاب شده) ، رس کلسینه، خاکستر بادی یا دوده سیلیس متراکم جایگزین کرد.

شایان ذکر است که در این جا هم نظیر قلیاهای به خوبی پیوند بافت موجود در بیشتر مواد معدنی فلدسپاری، قلیاهای موجود در سرباره ها و پوزولانها نیز در اسید حل نمی شوند و ضمنا نیز برای انجام واکنش با سنگدانه ها در دسترس نیستند.

استفاده از مواد افزودنی پوزولانی ، علاوه بر کاهش مقدار موثر قلیایی ها ، موجب تشکیل محصولات قلیایی – سیلیکاتی با انبساط کم و نسبت سیلیس به قلیایی بالا می شود. در کشورهایی نظیر ایسلند ، که فقط سنگهای آتشفشانی مستعد واکنش قلیایی در

دسترس هستند و مصالح اولیه سیمان به گونه ای است که فقط سیمان پرتلند با قلیایی زیاد تولید می شود ، امروزه تمامی سیمانهای پرتلند با دوده سیلیس تغلیظ شده مخلوط می گردند.

در سنگدانه های با استعداد واکنش زایی ملایم ، یک راه دیگر برای کاهش انبساط بتن ، در صورت اقتصادی بودن ، شیرین کردن سنگدانه های واکنش زا با ۲۵ تا ۳۰ درصد سنگ آهک یا هر سنگدانه غیر واکنش زای دیگر می باشد. در خاتمه ، بایستی یاد آوری شود که برای صورت پذیرفتن انبساط ، دسترسی به رطوبت ، متعاقب یا همزمان با پیشرفت واکنش ، ضروری است. بنابراین ، کنترل امکان دسترسی آب به بتن ، از طریق تعمیر فوری درزهایی که آب را از خود عبور می دهند، به منظور جلوگیری از انبساط های بیش از حد بتن بسیار مطلوب می باشد.

تعیین عمق کربناسیون بتن

عمق کربناسیون بتن ، نفوذ دی اکسید کربن به درون بتن است که با وجود آب، با هیدروکسید سدیم ترکیب شده و کربنات کلسیم تشکیل می شود. در نتیجه PH بتن از ۱۳ به ۱۰ کاهش می یابد.

اگر نفوذ دی اکسید کربن پیشرفت کند و به سطح آرماتور برسد، لایه انفعالی و محافظ سطح میلگردها تخریب و [خوردگی](#) آغاز می شود. همچنین دی اکسید کربن با آلومینات سیلیکات کلسیم هیدراته شده واکنش می دهد و ژل C-S-H در معرض کربناسیون قرار می گیرد. ژل به کلسیم کربنات تجزیه می شود. در اثر کربناسیون، ظرفیت پیوند ترکیبات سیمان کاهش می یابد و کلریدهای آزاد افزایش می یابند و خطر خوردگی آرماتور نیز افزایش می یابد. عمق نفوذ دی اکسید کربن از قانون اول فیک تبعیت می کند.

$$x=c * (t)^{0.5}$$

که در آن X عمق کربناسیون در زمان t (متر)، t زمان بر حسب ثانیه و c یک عدد ثابت است.

فنل فتالئین برای تعیین عمق کربناسیون بتن

برای تعیین عمق کربناسیون از آزمایش ساده اسپری کربناسیون بر سطح بتن تازه استفاده می شود. محلول فنل فتالئین به رنگ بنفش است اما وقتی بر سطح بتن تازه پاشیده می شود، عمق کربناته شده بتن، بی رنگ می شود. اغلب تحقیقات به کار رفته در حوزه کربناسیون بتن از شناساگر فنل فتالئین برای تعیین عمق کربناسیون بتن استفاده کرده اند. این تست شامل اسپری کردن محلول ۱ درصد فنل فتالئین در ۷۰ درصد اتیل الکل بر سطح ترک خورده بتن پس از مقاومت خمشی است.

اجرای بتن خود تراکم

اگر PH محلول نفوذ کرده کمتر از ۷,۵ باشد درصد کربناسیون صد درصد است.

اگر PH بین ۷,۵ تا ۹ باشد، درصد کربناسیون بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد می باشد.

اگر PH بین ۹,۵ تا ۱۱,۵ باشد، درصد کربناسیون بین ۰ تا ۵۰ درصد است.

و در صورتی که PH بیشتر از ۱۱,۵ باشد نمونه کربناته نشده است.

حمله ی سولفات ها در بتن

حمله سولفات ها در بتن یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در کاهش [دوام بتن](#) است. (به طور کلی حمله ی سولفات ها در بتن عبارت است از حرکت یون های سولفات به داخل بتن و ترکیب آن ها با آلومینات ها و در نتیجه تورم و ترکیدگی بتن در جایی که واکنش های شیمیایی مضر اتفاق میافتد). یکی از موضوعات پر اهمیت در طراحی و ساخت سازه های بتنی ، عمر سرویس دهی آنهاست. از پارامترهای تاثیر گذار در میزان عمر سرویس دهی سازه های بتنی ، شرایط محیطی و کیفیت بتن می باشد.

خرابی سولفاتی یکی از جدی ترین مشکلاتی است که عمر سرویس دهی سازه های بتنی را کاهش می دهد. نمک های سولفات موجود در خاک ، آبهای زیر زمینی و آب دریا با فازهای مختلف خمیر سیمان هیدراته شده نظیر هیدرات مونو سولفات و هیدروکسید کلسیم واکنش داده و بلورهای سوزنی شکل اترینگایت و سولفات کلسیم (گچ) تولید می کنند.

حجم این بلورها از حجم مواد اولیه تشکیل دهنده بیشتر می باشد و این موضوع سبب ایجاد فشار در حفره های بتن و در نتیجه بروز ترک هایی در آن می شود. رفته رفته این ترک ها گسترش یافته و کاهش مقاومت را در بتن سبب می شود. از روش های معمول و مورد استفاده محدود کردن آثار مخرب حمله سولفاتی استفاده از سیمان های پرتلند تیپ ۲ و ۵ به جای سیمان پرتلند تیپ ۱ می باشد. (سیمان نوع دو پنج پرتلند به خاطر درصد کلسیم آلومینیت پایین ، در برابر حملات سولفاتی ، مقاومت خوبی دارد).

پوسته پوسته شدن بتن ، عوامل و اثرات

همچنین استفاده از مواد جایگزین سیمان نظیر خاکستر بادی ، میکروسیلیس و پوزولان های طبیعی می تواند در بهبود مقاومت بتن در مقابل حمله سولفاتی موثر باشد. امروزه بتن به عنوان ماده ای پرکاربرد در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. بسته به نوع کاربرد بتن ، می توان خواص متفاوتی را از آن انتظار داشت. استفاده های فراوان در صنایعی از قبیل پل سازی ، سد سازی ، محوطه سازی ، سازه های ساختمانی ، ایجاد بندرها ، اسکله ها و سازه های خاص موجب گردیده این ماده ارزشمند ، به عنوان مرکز توجه بسیاری از محققین و دانشمندان قرار گیرد. بسته به نوع کاربرد و محل استفاده از بتن ، این ماده دارای محدودیت ها و مشکلات نیز می باشد.

یکی از عوامل ایجاد خسارت های جبران ناپذیر به چرخه صنعت و اقتصاد کشورها ، خرابی های بتن در طولانی مدت است ، که امروزه در خواص دوامی بتن موجب توجه ویژه دانشمندان قرار گرفته است. بتن های با دوام و پایداری زیاد ، علاوه بر افزایش عمر مفید سازه ، موجب کاهش خسارت های جبران ناپذیر به محیط زیست می گردند. حملات سولفاتی در بتن ها ، یکی از عواملی است که ممکن است در طولانی مدت باعث کاهش عمر مفید سازه گردیده ، به طوری که ترمیم آن نیز به سادگی امکان پذیر نمی باشد. بر همین اساس محققین همواره تلاش نموده اند راهکارهایی موثر در همین راستا ارائه نمایند. افزودن پوزولان ها و مواد معدنی متفاوت ، ممکن است خواص دوامی بتن را ارتقاء داده و آسیب پذیری این ماده ارزشمند را در مقابل حملات سولفاتی به حداقل برسانند.

چگونه ترک بتن را تعمیر کنیم؟

قسمت هایی از سیمان هیدراته ، دارای هیدروکسید کلسیم و آلومین هستند که آسیب پذیری بتن و سیمان را در مقابل حملات یون های سولفات افزایش می دهد. در واقع حملات تخریبی سولفات مربوط به اترینگایت می باشد. اعمال فشار ناشی از بلورهای در حال رشد اترینگایت و متورم شدن ناشی از جذب آب در محیط قلیایی توسط اترینگایت ، عواملی هستند که می توانند موجب خرابی در بتن شوند.

سولفات های متداول عبارت اند از سولفات سدیم ، پتاسیم ، منیزیم و کلسیم که در خاک یا در آب زیرزمینی وجود دارند ، سولفات های موجود در آب های زیرزمینی معمولاً منشأ طبیعی دارند ، اما ممکن است از کوه ها یا از فاضلاب های صنعتی نیز به وجود آمده باشند.

حمله سولفات ها ممکن است همراه با واکنش های زیر باشد[۵]:

۱ - تبدیل $C_a(OH)_2$ به سولفات کلسیم که با انبساط و تخریب بتن همراه است.

۲ - تبدیل آلومینات ها به اترینگایت که سبب انبساط و تخریب بتن می شود.

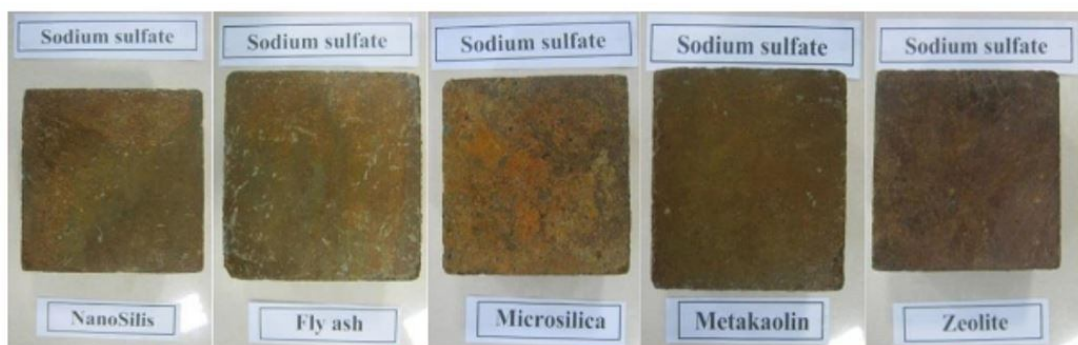
۳ - تجزیه C-S-H (همان چسب سیمان) که سبب نرم شدن بتن و کاهش مقاومت آن می شود.

✧ اگر سولفات کلسیم به بتن حمله کند فقط واکنش ۲ رخ می دهد.

✧ اگر سولفات سدیم به بتن حمله کند واکنش ۱ و ۲ انجام می شود.

✧ اگر سولفات منیزیم به بتن حمله کند واکنش های ۱ ، ۲ و ۳ انجام می شود.

مصرف پوزولان ها در بتن ها ، موجب کاهش مصرف سیمان ، کاهش سرعت و میزان حرارت زایی سیمان ، بهبود کارایی بتن ، افزایش مقاومت بتن و افزایش پایداری بتن به دلیل کاهش نفوذپذیری می گردد. حال به بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها مطابق عکس های ذیل می پردازیم.



تصویر شماره ۳: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات سدیم



تصویر شماره ۴: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات منیزیم



تصویر شماره ۵: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات کلسیم



تصویر شماره ۶: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات آهن

و در پایان انواع واکنش های احتمالی در بتن تحت اثر حمله سولفاتی به شکل چکیده در جدول زیر آمده است.

واکنش	نوع فرآیند	اثر تخریبی
A	تبدیل $\text{Ca}(\text{OH})_2$ به سولفات کلسیم	با اتساع و تخریب بتن
B	تبدیل آلومینات ها به اترینگایت	سبب اتساع و تخریب بتن
C	تجزیه حلقه C-S-H	نرم شدن بتن - کاهش مقاومت آن

منابع

- نشریه ی دانشگاه امیرکبیر (دکتر علی اکبر رمضانیان پور)
- کتاب تعمیر سازه های بتنی (انتشارات شهر و سازه)
- کتاب تکنولوژی پیشرفته بتن (انتشارات فروزش)
- کتاب خواص بتن (انتشارات ابوریحان بیرونی)
- ASTM Standard C150, "Standard specification for Portland cement", vol 04.01 ASTM Publication, United States, 1995
- Irassar, F.; Gonzalez, M.; Rahhal, V.; "Sulfate resistance of type V cements with limestone filler and Natural Pozzolan", Cement and Concrete Composites, pp.361-802, 2000

آسیب دیدگی بر اثر یخ زدگی بتن

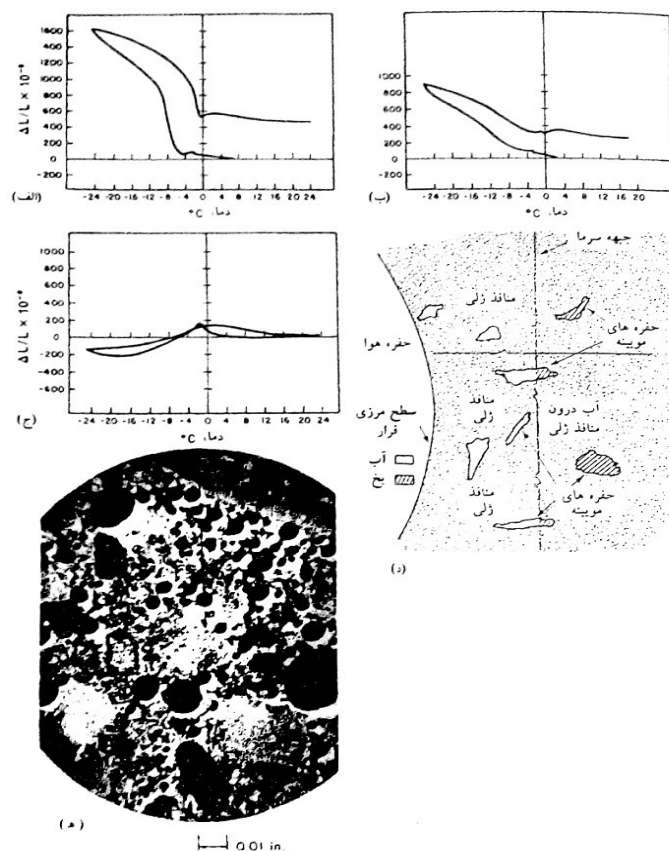
در اقلیم های سرد ، آسیب دیدگی روسازی های بتنی ، دیوارهای حایل ، عرشه های پل ها و نرده ها ، که به عمل یخ زدگی (دوره های یخ زدن و آب شدن) نسبت داده می شوند ، یکی از مشکلات اصلی است که نیاز به هزینه سنگین برای تعمیر و تعویض دارند. علل آسیب دیدگی بتن سخت شده بر اثر عمل یخ زدگی را می توان به ساختمان ذره ای پیچیده مصالح مربوط دانست. در هر حال، تأثیرات زیان آور، نه تنها به مشخصات بتن، بلکه به شرایط محیطی ویژه آن نیز بستگی دارد. بنابراین، بتنی که تحت یک شرایط یخ زدگی و آب شدگی مشخص در برابر یخ زدگی مقاوم باشد می تواند تحت شرایط دیگر تخریب گردد. آسیب ناشی از یخ زدگی در بتن می تواند به چند شکل بوجود آید. عمومی ترین نوع آن ترک خوردگی و پکیدن بتن است که علت آن ، انبساط پیشرونده ماتریس خمیر سیمان بر اثر دوره های یخ زدن و آب شدن مکرر است.

دال های بتنی ای که در معرض یخ زدن و آب شدن همراه با حضور رطوبت و مواد شیمیایی یخ زدا قرار می گیرند ، مستعد پوسته شدن (یعنی ورقه ورقه شدن سطح پرداخت شده) هستند.

بعضی از سنگدانه های درشت در دال های بتنی شناخته شده اند که باعث ترک خوردگی معمولاً موازی درزها و لبه ها) می شوند و نهایتاً شکلی را که شبیه حرف D بزرگ لاتین است ایجاد می کنند. (یعنی اینکه در دو گوشه از چهار گوشه دال ، ترک ها انحنای پیدا می کنند. این نوع ترک خوردگی با عبارت ترک خوردگی نوع D توصیف می گردد.

عمل یخ زدگی در خمیر سیمان سخت شده

پاورز به گونه ای مناسب ، مکانیزم های عمل یخ زدگی در خمیر سیمان را تشریح کرده و همچنین دلیل تأثیر هوازایی را بر کاهش انبساط مرتبط با این پدیده به صورت زیر توضیح داده است. وقتی که آب شروع به یخ زدن در یک حفره موئینه می کند افزایش حجم همراه با یخ زدگی آب ، نیاز به انبساط حفره به میزان ۹ درصد حجم آب یخ زده ، و یا نیاز به بیرون راندن مقدار آب اضافی از سطوح مرزی نمونه ، و یا نیاز به مقادیری از هر دو اثر دارد. در ضمن این فرآیندها ، فشار هیدرولیکی تولید می شود و مقدار این فشار بستگی به فاصله تا سطح مرزی فرار ، نفوذ پذیری مصالح فیما بین ، و میزان تشکیل یخ دارد. تجربه نشان می دهد که فشارهای گسیختگی در نمونه اشباع شده خمیر توسعه خواهند یافت مگر آنکه تمام حفرات موئین خمیر، از نزدیکترین سطح مرزی فرار بیش از یک دهم تا هفت صدم میلیمتر فاصله نداشته باشند. این چنین سطوح مرزی نزدیک به هم ، از طریق استفاده صحیح از مواد هوازای مناسب میسر می شود. داده های پاورز و تصویر شماتیک فرضیات وی در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۵-۶- عکس العمل خمیر سیمان اشباع شده با حباب هوا و بدون حباب هوا در برابر یخ زدن و آب شدن.

در حین یخ زدگی تا دمای ۲۴- درجه سانتی گراد ، نمونه خمیر سیمان اشباع شده بدون حباب هوا ، حدود ۱۶۰۰ میلیونیم ، طولیل شد و در حین آب شدن در دماهای اصلی ، حدود ۵۰۰ میلیونیم از دیاد طول دائمی در آن مشاهده گردید.

نمونه های محتوی ۱۰ درصد حباب هوا ، هیچ گونه انبساط قابل ملاحظه ای در مدت یخ زدگی و هیچگونه انبساط اضافی ای در پایان دوره آب شدن از خود نشان ندادند. همچنین قابل توجه است که خمیر با حباب هوا ، در مدت یخ زدگی از خود انقباض نشان داد. پاورز همچنین پیشنهاد کرد که علاوه بر فشار هیدرولیکی ، که به سبب یخ زدن آب در حفره های ورک بوجود می آید ، فشار اسمزی ناشی از یخ زدگی جزیی محلولهای حفره ها می تواند سرچشمه سایر انبساط های مخرب در خمیر سیمان باشد.

آب داخل حفره ها خالص نیست و دارای چندین ماده قابل حل مانند قلیائتها ، کلریدها و هیدرواکسید کلسیم می باشد. محلولها در دماهای پایین تر از آب خالص یخ می زنند و به طور کلی ، هر چه که غلظت یک نمک در یک محلول بیشتر باشد ، نقطه انجماد آن نیز پایین تر می رود. وجود گرادیان غلظت نمکی موضعی بین حفره ها ، سرچشمه فشار اسمزی به شمار می رود.

به نظر نمی رسد که فشار هیدرولیکی ایجاد شده ناشی از افزایش حجم ویژه آب در حفره های بزرگ ناشی از یخ زدگی ، و فشار اسمزی بوجود آمده بر اثر اختلاف غلظت نمک در مایع منفذی تنها علت انبساط خمیر سیمان در معرض یخ زدگی باشد. انبساط نمونه های خمیر سیمان ، حتی وقتی که به جای آب ، از بنزین (که بر اثر یخ زدگی انقباض پیدا می کند به عنوان مایع منفذی استفاده شده باشد مشاهده گردیده است. مشابه تشکیل عدسی های یخی در خاک ، اثر مویینگی ، که شامل مهاجرت مقادیر زیادی آب از منافذ کوچک به حفره های بزرگ نیز می شود ، علت اصلی انبساط در اجسام متخلخل شناخته شده است.

طبق تئوری توسعه یافته توسط لیتوان (Litvan)، آب محکم نگاه داشته شده به وسیله $C - S - H$ (هم در لایه های داخلی و هم جذب شده در منافذ ژلی) در خمیر سیمان نمی تواند خود را به گونه ای آرایش دوباره دهد که تشکیل یخ، در نقطه انجماد معمولی آب رخ بدهد، زیرا تحرک آب در حالت منظم موجود کمی محدود می شود. به طور کلی هر چه آب محکمتر نگاه داشته شده باشد، نقطه انجماد پایین تر می آید. بخاطر داشته باشید که سه نوع آب به طور فیزیکی در خمیر سیمان نگاه داشته می شوند، که به ترتیب افزایش استحکام آنها عبارتند از: آب حفره ای در حفره های کوچک (۱۰ تا ۵۰ نانومتر)، آب جذب شده سطحی در منافذ ژلی و آب موجود در لایه داخلی ساختمان $C - S - H$.

تخمین زده شده است که آب منافذ ژلی تا بالای $-C_{VH}$ یخ نمی زنند. بنابراین، وقتی که یک خمیر سیمان اشباع شده در معرض شرایط یخ زدگی قرار می گیرد، با اینکه آب حفره های بزرگ به یخ تبدیل می شود ولی آب موجود در منافذ ژلی به صورت مایع، ولی در عین حال در حالت فوق العاده سرد باقی می ماند. این خود حالت بی نظمی ترمودینامیکی بین آب یخ زده در حفره ها (که حالت انرژی کم را به دست می آورد) و آب فوق العاده سرد منافذ ژلی (که حالت انرژی زیاد را دارد) را بوجود می آورد این تفاوت در درجه بی نظمی مولکولی (آنتروپی) یخ و آب فوق العاده سرد، آب فوق العاده سرد را

مجبور به انتقال به مناطق با انرژی کمتر (حفره های بزرگ)، یعنی جایی که می تواند یخ بزند، می کند. این آب تازه رسیده از منافذ ژلی به منافذ حفره ای، به طور مداوم باعث افزایش حجم یخ در منافذ حفره ای می شود تا اینکه دیگر جایی برای پذیرش یخ بیشتر، وجود نداشته باشد. تمایلات بعدی آب فوق العاده سرد برای جریان پیدا کردن به نواحی یخ دار، باعث ایجاد فشارهای داخلی و انبساط سیستم می گردد. همچنین، به گفته لیتوان، انتقال رطوبت مرتبط با سرد شدن اجسام متخلخل اشباع شده، الزاما به آسیب مکانیکی بتن منجر نمی شود. آسیب مکانیکی وقتی اتفاق می افتد که میزان انتقال رطوبت به میزان زیادی کمتر از رطوبت مقتضی شرایط (مثلا گرادیان حرارتی زیاد، تراوایی کم، و درجه اشباع بالا) باشد.

شایان ذکر است که در حین عمل یخ زدگی در خمیر سیمان، تمایل بعضی از نواحی برای انبساط، منقبض شدن نواحی دیگر (مثلا کم شدن آب جذب شده سطحی از $C - S - H$) تعدیل می شوند.

اثر خالص آن بر روی نمونه، آشکارا نتیجه این دو تمایل مخالف هم می باشد. این امر، به طور رضایت بخشی توضیح می دهد که چرا خمیر سیمان بدون حباب هوا ازدیاد طول زیادی نشان داده است، در صورتی که خمیر سیمان محتوی ۱۰ درصد حباب هوا در مدت یخ زدگی انقباض نشان داده است.

واکنش قلیایی سنگدانه ها، مکانیزم ها و راه های پیشگیری

عمل یخ زدگی در سنگدانه ها

بسته به اینکه سنگدانه ها چطور در مقابل یخ زدگی واکنش نشان دهند، بتنی که در ماتریس خمیر سیمان آن حباب هوا ایجاد شده باشد هنوز هم می تواند آسیب پذیر باشد. مکانیزمی که در توسعه فشار داخلی ناشی از یخ زدگی خمیر سیمان اشباع شده حاکم است، برای اجسام تخلخل دیگر نیز کاربرد دارد. این مطلب شامل سنگدانه های تولید شده از سنگدانه های متخلخل، مانند بعضی از چرتها، ماسه سنگها، سنگهای آهکی و شیلها می شود. تمام سنگدانه های متخلخل، مستعد آسیب دیدگی ناشی از یخ زدگی نیستند. رفتار یک دانه سنگدانه وقتی که در معرض دوره های یخ زدن و آب شدن قرار می گیرد اساسا بستگی به اندازه، تعداد و پیوستگی منافذ (یعنی به توزیع اندازه منافذ و تراوایی) آن دارد.

از نقطه نظر عدم دوام بتن در مقابل عمل یخ زدگی، که می تواند به سنگدانه ها نسبت داده شود، ورک ولندگرن (Verbceek & Landgren)، سه گروه سنگدانه را پیشنهاد کرده اند. گروه اول، سنگدانه های با تراوایی کم و مقاومت زیاد هستند که بر اثر یخ زدن آب، کرنش ارتجاعی در دانه ها بدون بروز شکستگی انجام می گیرد. گروه دوم شامل سنگدانه های با تراوایی متوسط، یعنی آنهایی که قسمت اعظم تخلخل آنها شامل منافذ کوچک در حد ۵۰۰ نانومتر یا کمتر می شوند، می باشند. نیروهای حفره ای در چنین منافذ کوچکی باعث راحت اشباع شدن و سهولت نگهداری آب در سنگدانه می شوند. در هنگام یخ زدگی، مقدار فشار توسعه یافته اصولا بستگی به میزان افت حرارتی و نیز فاصله ای دارد که آب تحت فشار باید طی کرده تا یک سطح مرزی فرار را برای آزاد

کردن فشار بیاید. آزاد شدن فشار ممکن است از طریق منافذ خالی داخل سنگدانه (مشابه با حباب هوا در خمیر سیمان و یا در سطح سنگدانه، قابل دسترسی باشد. فاصله بحرانی برای آزاد شدن فشار در خمیر سیمان سخت شده در حد ۰,۲ میلیمتر می باشد. بخاطر تراوایی بیشتر سنگدانه ها نسبت به خمیر سیمان، در اکثر سنگها فاصله بحرانی بیشتر از این حد می باشد. ملاحظات فوق، به مفهوم اندازه بحرانی سنگدانه ها، از نقطه نظر آسیب ناشی از یخ زدگی ارزش بیشتری می دهد. با یک میزان مشخص از یک توزیع اندازه منافذ، تراوایی، درجه اشباع و میزان یخ زدگی، سنگدانه بزرگ ممکن است باعث آسیب شود ولی ذرات کوچکتر از همان سنگدانه باعث آسیب بتن نشوند. برای مثال، وقتی که نمونه های بتنی ۱۴ روزه محتوی مخلوطی از اندازه های مختلف درشت دانه کوارتز و چرت به نسبت ۵۰ : ۵۰، در معرض دوره های یخ زدن و آب شدن قرار گیرند، برای نمونه های دارای چرت به ابعاد ۲۵ تا ۱۲ میلیمتر، ۱۸۳ دوره لازم است تا ۵۰ درصد کاهش در مدول ارتجاعی آن به وجود آید. در مقایسه با آن، نمونه های بتنی دارای چرت به ابعاد ۱۲ تا ۵ میلیمتر، که در شرایط مشابهی عمل آوری شده اند، به ۴۴۸ دوره برای این مقدار کاهش احتیاج دارند.

برای یک نوع سنگدانه، یک مقدار بحرانی منحصر بفرد وجود ندارد، زیرا این مقدار، به میزان یخ زدگی، درجه اشباع، و تراوایی سنگدانه بستگی دارد. تراوایی، یک نقش دو جانبه را بازی می کند: اول اینکه درجه اشباع یا میزانی که آب در مدت مشخص جذب سطحی می شود را تعیین می کند و دوم اینکه میزان خروج آب از سنگدانه در موقع یخ زدگی (و در نتیجه توسعه فشار هیدرولیکی) را تعیین می کند. به طور کلی، وقتی که سنگدانه های بزرگتر از اندازه بحرانی در بتن موجودند، یخ زدگی با بیرون پریدگی همراه است، یعنی اینکه شکست سنگدانه به گونه ای است که یک قسمت از آن در بتن باقی می ماند و قسمت دیگر آن با پوسته ملات بیرون می آید. سنگدانه های با تراوایی زیاد که کلا شامل تعداد زیادی منافذ بزرگ می باشند، به گروه سوم سنگدانه ها تعلق دارند. با اینکه این سنگدانه ها برای ورود و خروج آب مزاحمت ایجاد نمی کنند، اما قادر به ایجاد مشکلاتی از نظر دوام هستند. این پدیده به آن دلیل است که امکان دارد که ناحیه انتقالی بین سطح سنگدانه و ماتریس خمیر سیمان، وقتی که آب تحت فشار از سنگدانه به بیرون رانده می شود، آسیب ببیند. در چنین مواردی، سنگدانه ها خودشان در نتیجه عمل یخ زدگی آسیب نمی بینند. ضمناً این پدیده نشان می دهد که چرا نتایج حاصل از انجام آزمایش های یخ زدن و آب شدن و سلامت (ثبات حجمی) بر روی سنگدانه های تنها، همیشه در پیش بینی رفتارشان در بتن قابل اعتماد نیستند. اعتقاد بر این است که در روسازی های بتنی ای که در معرض عمل یخ زدگی قرار می گیرند، بعضی از سنگدانه های ماسه سنگی یا سنگ آهکی مسئول پدیده ترک خوردگی نوع D می باشند. به نظر می رسد که سنگدانه هایی که احتمالاً باعث ترک خوردگی می شوند دارای یک توزیع اندازه منافذ خاص باشند. این توزیع خاص، با حجم بزرگی از منافذ خیلی ریز (یعنی با قطر کوچکتر از ۱ میکرومتر) مشخص می شود.

عامل های کنترل کننده مقاومت بتن در برابر یخ زدگی

تا به حال بایستی آشکار شده باشد که مقاومت یک بتن در مقابل آسیب دیدگی ناشی از عمل یخ زدگی بستگی به مشخصات هم خمیر سیمان و هم سنگدانه ها دارد. با این وجود، در هر مورد، عملاً تداخل اثر چندین عامل، نتیجه را کنترل می کنند. این عوامل، از جمله عبارتند از: محل سطح های مرزی فرار (فاصله ای که آب برای آزاد شدن فشار باید بپیماید)، ساختمان منفذی سیستم (اندازه، تعداد و پیوستگی منافذ)، درجه اشباع (مقدار موجود آب قابل یخ زدن)، میزان خنک کنندگی و ... آب کشی مصالح که بایستی کشش در مصالح از آن حد بگذرد تا گسیختگی به وجود آید. همانطور که در زیر بحث شده است، ایجاد سطح های مرزی فرار در ماتریس خمیر سیمان و تغییر ساختمان منفذی آن، دو پارامتری هستند که نسبتاً آسان کنترل می شوند. اولی را می توان به وسیله میزان حباب هوای بتن کنترل نمود و دیگری را از طریق نسبت های مخلوط و عمل آوری درست کنترل نمود.

میزان حباب هوا: این مقدار، کل هوا نیست بلکه حجم حفره های در حد ۰,۱ تا ۰,۲ میلیمتر در هر نقطه از خمیر سیمان است که برای محافظت بتن در مقابل آسیب دیدگی ناشی از یخ زدگی لازم است.

با اضافه کردن مقدار کمی از بعضی از مواد حباب هوازا به خمیر سیمان (مثلاً به میزان پنج صدم درصد وزنی سیمان) می توان حباب های ۰,۵ تا یک میلیمتر را در خمیر بوجود آورد. در نتیجه، برای یک حجم داده شده از هوا، تعداد حفره های خالی، فاصله های

حفره ای و درجه محافظت در مقابل عمل یخ زدگی می تواند به مقدار زیادی تفاوت کنند ، که این تغییرات به اندازه حباب های هوا بستگی دارند.

در یک آزمایش ۵ تا ۶ درصد هوا در داخل بتن ، با استفاده از یکی از پنج نوع مواد حباب هوازا بوجود آمد. مواد A, B, D, E و F بترتیب ۲۴۰۰۰ ، ۴۹۰۰۰ ، ۵۵۰۰۰ ، ۱۷۰۰۰۰ ، ۸۰۰۰۰۰ حباب هوا در هر سانتیمتر مکعب از خمیر سیمان سخت شده تولید کردند و نمونه های بتنی نظیر ، برای انبساط به میزان ۰.۱ درصد ، به ترتیب احتیاج به ۲۹ ، ۳۹ ، ۸۲ ، ۱۰۰ ، ۵۵۰ دوره یخ زدن و آب شدن داشتند.

عمل آوری بتن با بخار در فشار متعارف

با آنکه حجم هوای بتن ، ملاک مناسبی برای محافظت بتن در برابر عمل یخ زدگی نمی باشد ولی با فرض اینکه حبابهای هوا اغلب ریز می باشند ، آنگاه حجم هوای بتن راحت ترین معیار به منظور کنترل کیفیت مخلوط های بتنی می باشد. از آنجا که کلا مقدار خمیر سیمان به حداکثر اندازه سنگدانه ها ارتباط دارد ، لذا بتن های کم مایه با سنگدانه های بزرگ ، دارای خمیر سیمان کمتری نسبت به بتن های پر مایه با سنگدانه های کوچک می باشند. بنابراین ، بتن های پر مایه دارای سنگدانه های کوچک نیاز به حباب هوای بیشتری برای داشتن درجه مقاومت یکسان در برابر یخ زدگی ، دارند. مقدار هوای کل تعیین شده توسط آیین نامه ساختمانی شماره ۳۱۸ موسسه بتن آمریکا ACI برای مقاومت در برابر یخ زدگی بتن در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۵ - ۴ مقدار هوای کل برای مقاومت بتن در برابر یخ زدگی

درصد هوا (%)		حداکثر اسمی اندازه سنگدانه (mm) in. (*)
شرایط محیطی معتدل	شرایط محیطی شدید	
۶	$7\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$ (۹)
$5\frac{1}{2}$	۷	$\frac{1}{2}$ (۱۲/۵)
۵	۶	$\frac{3}{4}$ (۱۹)
$4\frac{1}{2}$	۶	۱ (۲۵)
$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$ (۳۷/۵)
۴	۵	۲ (۵۰) (**)
$3\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	۳ (۷۶) (**)

*. برای رواداری مربوط به اندازه های بزرگتر از حداکثر اندازه اسمی مختلف به استاندارد ASTM C33 مراجعه نمایید.

** این مقادیر هوا برای کل مخلوط اعمال می شوند. در هر حال، وقتی که بتنی آزمایش می شود، سنگدانه های بزرگتر از ۳۷/۵ با دست یا با الک جدا می شوند و مقدار هوا برای اندازه های زیر ۳۷/۵ میلیمتر مخلوط تعیین می گردد. رواداری مقدار بتن به این مقدار هوا مربوط می شود. مقدار هوای کل مخلوط، از روی مقدار تعیین شده برای قسمت زیر ۳۷/۵ میلیمتر، محاسبه می شود. (منبع: آیین نامه ساختمانی ACI شماره ۳۱۸)

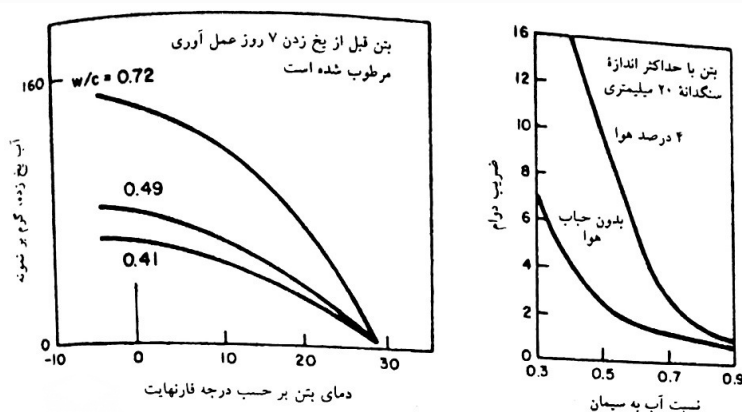
دانه بندی سنگدانه ها همچنین بر روی حجم حباب هوا ، که با اضافه کردن ذرات ماسه خیلی ریز کاهش می یابد ، تأثیر می گذارد. اضافه کردن مواد افزودنی معدنی مثل خاکستر بادی ، با استفاده از سیمان خیلی ریز آسیاب شده نیز تأثیر مشابهی دارد. به طور کلی ، مخلوط بتنی با چسبندگی بیشتر قادر به نگهداری هوای بیشتری نسبت به بتن خیلی خیس و یا خیلی خشک می باشد. همچنین بریدن ناکافی یا بیشتر از حد مخلوط کردن ، زمان زیادتری صرف جابه جایی یا حمل و نقل بتن دیدن ، و ارتعاش بیش از حد دادن ، موجب کاهش یافتن مقدار هوای بتن می شود.

به همین دلایل ، توصیه شده است که مقدار هوا ، می باید برای بتن ریخته شده تعیین شود و حجم کافی حفره ها به وسیله روش تعیین دره بینی تشریح شده در استاندارد ASTM C457 تخمین زده شود.

نسبت آب به سیمان ، و عمل آوری : پیش از این توضیح داده شد که چگونه ساختمان منفذی خمیر سیمان سخت شده ، از روی نسبت آب به سیمان و درجه هیدراتاسیون تعیین می گردد. به طور کلی ، برای یک درجه هیدراتاسیون مشخص هر چه که نسبت آب به سیمان بیشتر باشد ، و یا برای یک نسبت مشخص آب به سیمان هر چه که درجه هیدراتاسیون کمتر باشد ، حجم منافذ بزرگ در خمیر سیمان هیدراته بیشتر می شود (شکل ۲-۸).

از آنجا که آب قابل یخ زدن به آسانی در منافذ بزرگ ته نشین می شود ، بنابراین می توان به این فرضیه رسید که در یک دمای یخ زدگی مشخص ، مقدار آب قابل یخ زدن برای نسبت های آب به سیمان بالاتر و در زمانهای اولیه عمل آوری ، بیشتر خواهد بود. داده های آزمایشی وربک و کلیگر (Klieger & Verbeck) این فرضیه را تأیید می کنند (شکل ۵-۷ الف). تأثیر نسبت آب به سیمان در مقاومت یخ زدگی بتن در شکل (۵-۷ ب) نشان داده شده است.

میزان اهمیت نسبت آب به سیمان در مقاومت بتن در برابر یخ زدگی ، به وسیله آیین نامه های ساختمانی مشخص شده است. برای مثال ، نشریه ۳۱۸ موسسه بتن آمریکا ۳۱۸ - ۱۹۸۳ ACI لازم می داند که در بتنهای با وزن معمولی ای که در معرض یخ زدن و آب شدن در شرایط مرطوب قرار می گیرند ، باید حداکثر نسبت آب به سیمان آنها در مورد جدول بندی ها ، آبروها ، نرده های محافظ یا قسمتهایی از آنها برابر با ۰.۴۵ و برای باقی قطعات برابر با ۰.۵ باشد. واضح است که این حدود نسبت آب به سیمان ، مبتنی بر فرض بر هیدراتاسیون کافی سیمان هستند. بنابراین ، حداقل مدت ۷ روز عمل آوری در شرایط مرطوب و در دمای معمولی ، قبل از اینکه بتن در معرض یخ زدگی قرار گیرند توصیه می شود.



شکل ۵-۷ تأثیر نسبت آب به سیمان و مقدار هوا بر روی دوام بتن در برابر عمل یخ زدگی

شکل سمت چپ نشان می دهد که مقدار آبی که می تواند در بتن با نسبت آب به سیمان معین یخ بزند با کاهش دما ، افزایش می یابد. این شکل همچنین نشان می دهد که مقدار آبی که در یک دمای معین ، یخ می زند با افزایش نسبت آب به سیمان افزایش می یابد. تأثیر مشاهده شده نسبت آب به سیمان به طور ساده این است که نسبت های بیشتر منجر به بزرگتر شدن تعداد منافذ مویینه ای می شود که آب قابل یخ زدن بیشتری می توانند در خود داشته باشند.

شکل سمت راست نشان می دهد که ترکیبی از نسبت آب به سیمان کم و حباب هوا ، دوام زیادی را در برابر عمل یخ زدگی تأمین می کند. طبق روش استاندارد ۸۰ - ۶۶۶ (ASTM) ، لازم است به دوره های یخ زدن و آب شدن تا ۳۰۰ دوره یا تا زمانی که مدول ارتجاعی دینامیکی به ۶۰ درصد مقدار اصلی کاهش یابد (هر کدام که زودتر اتفاق افتد) ادامه داد. سپس ، دوام از فرمول زیر به دست می آید.

$$\text{ضریب دوام} = 300 / (\text{درصد مدول اصلی} * \text{تعداد دوره ها در پایان آزمایش})$$

درجه اشباع : به خوبی معلوم شده است که مواد خشک یا نیمه خشک ، بر اثر یخ زدگی آسیب نخواهند دید. درجه اشباع بحرانی ای وجود دارد که بیشتر از آن ، احتمال دارد که بتن وقتی که در معرض دماهای پایین قرار می گیرد ، ترک خورده و پکیده شود. در حقیقت ، این تفاوت با اشباع بحرانی و واقعی است که مقاومت یخ زدگی بتن را ، همانطور که در شکل ۵-۸ نشان داده شده است ،

تعیین می کند. بتن ممکن است بعد از عمل آوری کافی، به زیر درجه اشباع بحرانی بیافتد، ولی بسته به تراوایی آن، ممکن است وقتی که در معرض شرایط محیطی مرطوب قرار می گیرد، دوباره به درجه اشباع بحرانی رسیده یا از آن تجاوز نماید. بنابراین، تراوایی بتن در عمل یخ زدن اهمیت دارد، زیرا نه تنها فشار هیدرولیکی مربوط به حرکت آب داخلی در موقع یخ زدگی را کنترل می کند بلکه درجه اشباع بحرانی قبل از یخ زدگی را نیز کنترل می نماید. از نقطه نظر آسیب دیدگی ناشی از یخ زدگی، اثر افزایش تراوایی، که می تواند حاصل ترک خوردگی ناشی از هر علت فیزیکی و شیمیایی باشد، بایستی تا بحال برای خواننده آشکار شده باشد. حشرات در زمستان بر اثر یخ زدگی نمی میرند. بعضی از حشرات قادرند مقدار آب داخل بدنشان را کاهش دهند، به طوری که بتوانند بدون یخ زدگی زمستان را در بیهوشی به سر ببرند؛ بعضی دیگر دارای ضد یخ طبیعی در خونشان هستند.

مقاومت: اگر چه به طور کلی رابطه مستقیمی بین مقاومت و دوام بتن وجود دارد ولی در مورد آسیب ناشی از یخ زدگی این رابطه صدق نمی کند. برای مثال، وقتی که بتن بدون حباب هوا و بتن دارای حباب هوا با یکدیگر مقایسه می شوند، ممکن است که بتن بدون حباب هوا مقاومت بیشتری داشته باشد ولی بتن با حباب هوا، به دلیل محافظت علیه توسعه فشارهای هیدرولیکی زیاد، دوام بهتری در مقابل عمل یخ زدگی از خود نشان دهد. به عنوان یک قاعده معمول می توان اظهار داشت که برای هر یک درصد افزایش در هوازایی بتن، به طور متوسط در حدود ۵ درصد از مقاومت بتن کاهش می یابد. بنابراین ۵ درصد هوازایی بدون تغییر نسبت آب به سیمان، مقاومت بتن را ۲۵ درصد کاهش می دهد. به دلیل بهتر شدن کارایی در نتیجه هوازایی، می توان مقاومت کاهش یافته را از طریق کم کردن جزیی نسبت آب به سیمان، در ضمن نگه داشتن سطح کارایی در حد مورد نظر، جبران نمود. به هر حال، به طور کلی بتن دارای حباب هوا مقاومت کمتری از بتن مشابه بدون حباب هوا دارد.

منبع: ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)

بتن هوازایی شده

در اقلیم های سرد، آسیب دیدگی روسازی های بتنی، دیوار حائل، عرشه های پل ها و نرده ها، که به **عمل یخ زدگی** (دوره های یخ زدن و آب شدن) نسبت داده می شوند، یکی از مشکلات اصلی است که نیاز به هزینه سنگین برای تعمیر و تعویض دارند. از راهکار های مقابله با این پدیده بتن هوازایی شده است. علل آسیب دیدگی بتن سخت شده بر اثر عمل یخ زدگی را می توان به ساختمان ذره ای پیچیده مصالح مربوط دانست. در هر حال، تاثیرات زیان آور، نه تنها به مشخصات بتن، بلکه به شرایط محیطی ویژه آن نیز بستگی دارد. بنابر این، بتنی که تحت یک شرایط یخ زدگی و آب شدگی مشخص در برابر یخ زدگی مقاوم باشد می تواند تحت شرایط دیگر تخریب گردد.

۲- آسیب ناشی از یخ زدگی بتن

آسیب ناشی از یخ زدگی در بتن می تواند به چند شکل بوجود آید. عمومی ترین نوع آن ترک خوردگی و پکیدن بتن است که علت آن، انبساط پیش رونده خمیر سیمان بر اثر دوره های یخ زدن و آب شدن مکرر است. دالهای بتنی ای که در معرض یخ زدن و آب شدن همراه با حضور رطوبت و مواد شیمیایی یخ زدا قرار می گیرند، مستعد پوسته شدن (یعنی ورقه ورقه شدن سطح پرداخت شده) هستند. بعضی از سنگدانه های درشت در دالهای بتنی شناخته شده اند که باعث ترک خوردگی (معمولا موازی درز ها و لبه ها) می شوند و نهایتا شکلی را که شبیه حرف **D** بزرگ لاتین است ایجاد می کنند. (یعنی اینکه در دو گوشه از چهار گوشه دال، ترک ها انحنای پیدا می کنند) این نوع ترک خوردگی با عبارت **ترک خوردگی نوع D** توصیف می گردد.

بتن اصلاح شده با لاتکس

۳- یخ زدگی در خمیر سیمان سخت شده

پاورز به گونه ای مناسب، مکانیزم های یخ زدگی در خمیر سیمان را تشریح کرده و همچنین دلیل تاثیر هوازایی را بر کاهش انبساط مرتبط با این پدیده به صورت زیر توضیح داده است: وقتی که آب شروع به یخ زدن در یک حفره مویینه می کند افزایش حجم همراه با یخ زدگی آب، نیاز به انبساط حفره به میزان ۹ درصد حجم آب یخ زده، و یا نیاز به راندن مقدار آب اضافی از سطوح مرزی نمونه

و یا نیاز به مقادیری از هر دو اثر دارد. در ضمن این فرایند ها، فشار هیدرولیکی تولید می شود و مقدار این فشار بستگی به فاصله تا سطح مرزی فرار، نفوذ پذیری مصالح فی مابین، و میزان تشکیل یخ دارد. تجربه نشان می دهد که فشار های گسیختگی در نمونه اشباع شده خمیر توسعه خواهند یافت مگر آنکه تمام حفرات مویینه خمیر، از نزدیکترین سطح مرزی فرار بیش از یک دهم تا هفت صدم میلیمتر فاصله نداشته باشند. این چنین سطوح مرزی نزدیک به هم از طریق استفاده صحیح از مواد هوازایی مناسب میسر می شود.

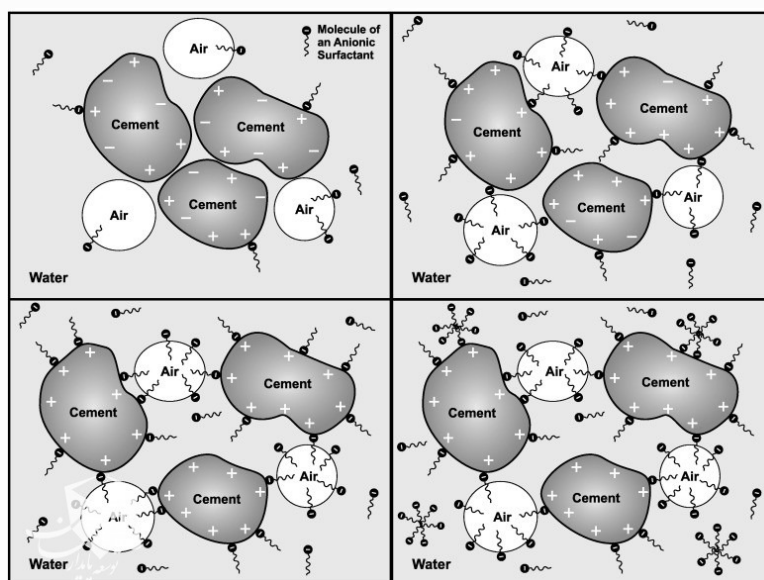


۴- بتن هوازایی شده

ثابت شده است هوازایی یک روش موثر برای کاهش میزان خطر ناشی از آسیب دیدگی بتن بر اثر عمل یخ زدگی می باشد. به طور کلی می بایست از بتن سخت شده در مقابل چرخه های یخ زدن و آب شدن با افزودن حباب های عمدی هوا در بتن با استفاده از افزودنی مناسب مراقبت نمود. این هواهای (عمدی) میبایست به طور مشخص از هوای ناخواسته تصادفی وارد شده در بتن که به شکل حباب های بزرگ که در حین تراکم دادن بتن تازه بر جای می مانند متمایز گردند.

بتن پیش آکنده

وقتی افزودنی های هوازا در بتن مخلوط می شود ایجاد حفرات گسسته ی حباب هوا می کند که در خمیر سیمان گنجانده می شوند



ماده اصلی تشکیل دهنده افزودنی هوازا یک فعال سطحی است که با کاهش کشش سطحی آب شکل گیری حباب های هوا را تسهیل و در نهایت تثبیت آنها را تضمین میکند.

منابع

[۱] ریزساختار، خواص و اجزای بتن تالیف: پروفیسور مهتا، پروفیسور مونته ئیرو؛ ترجمه: دکتر علی اکبر رمضانیان پور دکتر پرویز قدوسی، دکتر اسماعیل گنجیان؛ انتشارات دانشگاه امیر کبیر.

NEVILLE J.J. .Concrete Technology A.M [۲]

عمل آوری بتن با بخار در فشار متعارف

عمل آوری بتن با بخار برای سازه های بتنی در محیط های بسته یا قطعات پیش ساخته به کار می رود و با توجه به مشخصات سازه و شرایط محیط، عمل آوردن بتن با رعایت نکات ذیل انجام می شود. هدف اصلی از عمل آوری کسب مقاومت اولیه ایی است که به اندازه کافی زیاد باشد به طوری که بتوان محصول بتنی را در زمان کوتاهی پس از درجا ریختن ، جابه جا کرد از قالب خارج کرد و انبار نمود.



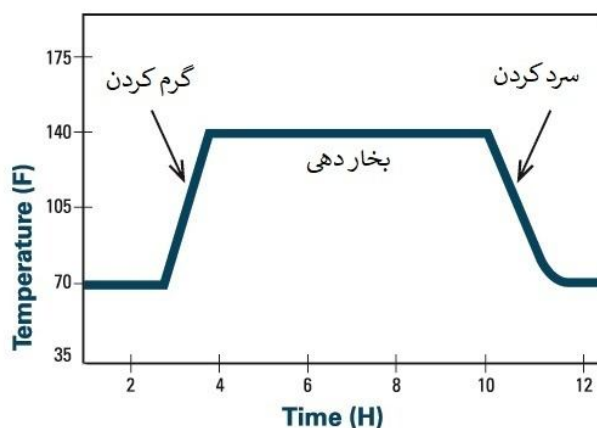
مراحل عمل آوری

عمل آوری بتن با بخار شامل مراحل زیر است.

- مرحله قبل از گرم کردن، ریختن و متراکم کردن بتن و حفظ آن در هوای آزاد تا بتن سخت شود، این زمان معروف به زمان پیش از گیرش نهایی است.
 - مرحله افزایش درجه حرارت، افزایش دمای محیط اطراف بتن تا رسیدن به دمای حداکثر. این مرحله حداقل باید ۲,۵ ساعت طول بکشد به طوری که از شیب های حرارتی تند در بتن جلوگیری شود آیین نامه ACI سی و سه (۳۳) درجه بر ساعت را برای نمونه با ابعاد کوچک و ۱۱ درجه بر ساعت را برای نمونه های بزرگ توصیه نموده است. برای نمونه هایی که در معرض شرایط محیطی مهاجم قرار گرفته اند استاندارد اروپایی ENV 206 محدودیت های سختی را در نظر گرفته است. روند افزایش دما اثر نامطلوب کمی بر مقاومت دراز مدت بتن دارد ولی حداکثر دما و زمان نگهداری بتن در دمای حداکثر یک عامل اصلی در کاهش مقاومت بتن در ۲۸ روزگی و بعد دارد.
 - مرحله ثابت نگه داشتن درجه حرارت حداکثر، مدت زمان این مرحله بین ۳ الی ۱۲ ساعت متفاوت است هرچه دما بالاتر باشد زمان کوتاهتر و هرچه دما پایین باشد زمان بلندتر می گردد.
 - مرحله سرد کردن ، سومین مرحله کاهش تدریجی دما از دمای حداکثر به دمای مورد نظر در مدت حداقل ۲,۵ ساعت.
 - عمل آوری در رطوبت ممکن است این عمل برای جلوگیری از خشک شدن سریع و افزایش بعدی مقاومت موثر می باشد.
- . بتن ریزی در هوای سرد ، تعاریف و دستورالعمل ها



نکته مهم در عمل آوری بتن با بخار اینکه مخلوط های بتن با نسبت آب به سیمان پایین خیلی بهتر از مخلوط هایی با نسبت آب به سیمان زیاد به عمل آوری با بخار جواب می دهند و عوارض نامطلوب کمتری دارند. به طور خلاصه یک چرخه رضایت بخش برای اعضای سازه ای معمولی از مراحل زیر تشکیل می گردد. زمان تاخیری به مدت ۲ الی ۵ ساعت حرارت دادن با روند ۲۲ الی ۲۴ درجه در ساعت تا حداکثر دمای ۵۰ الی ۷۵ درجه سانتی گراد نگهداری در دمای حداکثر و بالاخره فاصله زمانی سرد شدن مانند روند حرارت دادن کل چرخه بدون در نظر گرفتن زمان تاخیر بیش از ۱۸ ساعت طول نمی کشد. برای بتن های سبکدانه می توان حرارت حداکثر را تا دمای ۸۸ درجه سلسیوس افزایش داد ولی چنین پیشنهادی نمی شود. بتن های عمل آمده در بخار در روش اتوکلاو نسبت به بتن های عمل آمده در آب دارای نفوذناپذیری بیشتری هستند.



منبع : تکنولوژی بتن و آزمایشگاه همراه با طرح اختلاط نوشته مهندس فرهاد مصباح ایران دوست

مقاومت خمشی بتن روابط و نحوه آزمایش

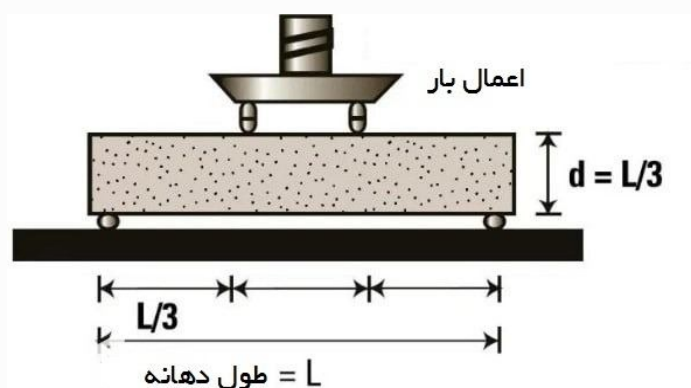
عدم وجود ترک در حفظ و تداوم سازه های بتنی به جهت حفظ میلگردها و جلوگیری از خوردگی میلگردهای فولادی بسیار حائز اهمیت می باشد. از آنجایی که اعمال کشش محوری به نمونه بتنی مشکل می باشد مقاومت کششی بتن به روش های غیر مستقیم یعنی آزمایش خمش و آزمایش برزلی (شکافتن) تعیین می گردد. این روش ها به مقاومت هایی منتهی می شود که از مقاومت واقعی تحت بار کششی محوری بیشتر می باشد. در آزمایش مقاومت خمشی تنش کششی ماکزیمم تئوریکی در تارهای پائینی تیر مورد آزمایش به وجود می آید که مدول گسیختگی نامیده می شود و در طراحی بزرگراه ها و روسازی فرودگاه ها به کار می رود.

(روش این آزمایش در BS 5328-81 توصیه شده است). مقدار مدول گسیختگی به ابعاد تیر و بالاتر از همه به شکل بارگذاری بستگی دارد. امروزه بارگذاری لنگر خمشی ثابتی بین نقاط اعمال بار ایجاد می شود طوری که ۳/۱ دهانه در معرض تنش ماکزیمم قرار می گیرد و در نتیجه در این منطقه است که تمایل به ترک خوردن به وجود می آید.



بر طبق بند ۴ استاندارد ۴۹۰ ایران "فاصله بین نقطه تمرکز بار و نزدیکترین عکس العمل نباید از ارتفاع تیر کمتر باشد. دهانه نمونه آزمایشی باید حداقل ۳ برابر ارتفاع تیر مورد استفاده باشد. بار اولیه که می تواند سریعاً وارد شود حداکثر تا ۵۰ درصد بار گسیختگی نمونه است و از آن به بعد سرعت ازدیاد بار باید به نحوی تنظیم گردد که تنش تارهای انتهایی مقطع در هر دقیقه بیشتر از ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، افزایش نیابد".

بتن پیش آکنده



این آزمایش در استاندارد انگلستان به شماره BS1881-83 و BS1881-170 توصیه شده که در آن ابعاد تیر ۷۵۰*۱۵۰*۱۵۰ و یا ۵۰۰*۱۰۰*۱۰۰ میلی متر و سرعت بارگذاری در تارهای پائینی در محدوده پایی در محدوده ۰,۲ تا ۰,۱ مگاپاسکال در ثانیه (۱ الی ۰,۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) باشد. سرعت پایین بارگذاری برای بتن های با مقاومت کم و سرعت های بالا برای بتن های با مقاومت زیاد به کار می رود. این آزمایش در ASTM C78-94 توصیه شده است که در آن ابعاد تیر ۵۰۸*۱۵۲*۱۵۲ میلی متر و سرعت بارگذاری بین ۰,۱۴۳ تا ۰,۲ مگاپاسکال در ثانیه (۰,۱۴۳ الی ۰,۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در ثانیه) می باشد. بر اساس بند ۶ استاندارد ۴۹۰ ایران "چنانچه شکستگی در ۳/۱ میانی تیر رخ دهد مدول گسیختگی بر اساس تئوری ارتجاعی معمول به صورت رابطه ۱۲ محاسبه می شود.

$$F_{bt} = \text{مدول گسیختگی مقطع}$$

$$M = \text{ممان اینرسی مقطع}$$

y = حداکثر فاصله تا تار خنثی

I = ممان اینرسی مقطع در حول محور خنثی

P = حداکثر نیروی وارده

L = طول موثر تیر

d = ارتفاع تیر

$$f_{bt} = \frac{My}{I} + \frac{P\left(\frac{L}{c}\right)\left(\frac{d}{2}\right)}{\left(\frac{d^4}{12}\right)} = \frac{PL}{d^3}$$

چنانچه ترک در خارج از فاصله بین دوبار باشد مشروط بر آن که تا نقطه بارگذاری از ۵ درصد طول تیر تجاوز ننماید مقاومت خمشی نمونه از رابطه زیر بدست می آید.

$$f_{bt} = \frac{My}{I} = \frac{3Pa}{d^3}$$

که در آن

a فاصله بین مقطع ترک خورده با نزدیکترین تکیه گاه بر حسب سانتی متر است. این فاصله در امتداد محور طولی سطح زیرین نمونه اندازه گیری می شود.

یادآوری: چنانچه ترک خارج از فاصله بین دو نقطه بارگذاری بوده و فاصله آن تا نقطه بارگذاری بیش از ۵ درصد طول تیر باشد آزمون باید تکرار گردد.

پوزولان چیست؟ انواع و تاثیر آن در بتن

مطابق BS1881-83 اگر شکستگی خارج از ۳/۱ میانی تیر رخ دهد آنگاه نتایج آزمایش رد می شوند.

ASTM C78-84 اجازه می دهد گسیختگی خارج از ۳/۱ میانی تیر در فاصله $a > 3/1$ از نزدیکترین تکیه گاه رخ دهد و مدول گسیختگی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$p_{bt} = \frac{My}{I} + \frac{\left(\frac{pa}{2}\right)\left(\frac{d}{2}\right)}{\left(\frac{d^4}{12}\right)} = \frac{3pa}{d^3}$$

در آیین نامه ASTM C 293-94 و آیین نامه AASHTO T97 و دت ۶۰۸ آزمایش برای تعیین مقاومت خمشی تجویز شده است که در آن مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در وسط دهانه صورت می گیرد (Flexural strength of concrete center point loding) ولی معمولاً برای تعیین مقاومت خمشی از روش شرح داده شده (تعیین مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در نقاط یک سوم دهانه) استفاده می گردد.



منبع : تکنولوژی بتن و آزمایشگاه همراه با طرح اختلاط نوشته مهندس فرهاد مصباح ایران دوست

بتن متخلخل

با توجه به گسترش و پیشرفت علم و پیدایش تکنولوژی‌های فراوان در قرن اخیر ، شناخت بتن و خواص آن نیز توسعه قابل ملاحظه‌ای داشته است ، به نحوی که امروزه شاهد کاربرد انواع مختلف بتن مانند بتن متخلخل با مصالح مختلف هستیم که هر یک خواص و کاربری مخصوص به خود را داراست. در حال حاضر انواع مختلفی از سیمانها که شامل پوزولان ها ، سولفورها ، پلیمرها ، الیافهای مختلف و افزودنی های متفاوتی هستند ، تولید می‌شوند. بتن در مفهوم وسیع به هر ماده یا ترکیبی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد گفته می‌شود. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان و نیز پوزولان ها ، سرباره کوره ها ، مواد مضاف ، گوگرد ، مواد افزودنی ، پلیمرها ، الیاف و غیره تهیه شود. همچنین در نحوه ساخت آن ممکن است حرارت ، بخار آب ، اتوکلاو ، خلا ، فشارهای هیدرولیکی و متراکم کننده‌های مختلف استفاده شود.

بتن متخلخل

بتن متخلخل مخلوطی از بتن شامل سیمان ، آب ، سنگدانه درشت یکنواخت درجه بندی شده ، و سایر افزودنی ها می باشد. مقدار کم و هیچ ماسه ای در مخلوط به کار نمی رود ، که ایجاد حفره در ساختار پرمنفذ کند ، که به آب و هوا اجازه می دهد تا از طریق بتن انتقال پیدا کند. بعد از جایگذاری ، سطح بتن متخلخل حالت بافت پیدا می کند ، که افزایش اصطکاک بین روسازی و لاستیک را به همراه دارد ، و باعث افزایش ایمنی جاده ها به طور کلی می شود. مقاومت فشاری ، کششی و خمشی بتن متخلخل با توجه به نسبت تخلخل بالا و عدم وجود مصالح ریزدانه ، کمتر از بتن معمولی می باشد (پوتمن و همکاران، ۲۰۱۱).

تاریخچه و ویژگی های بتن متخلخل

بتن متخلخل از سال ۱۹۷۰ در مناطق معتدل ایالات متحده استفاده شده ، و در سراسر جهان از سال ۱۸۰۰ به کار گرفته می شود (کورن و همکاران، ۲۰۰۹). اجرای مناسب روسازی های بتنی متخلخل می تواند مقاومتی بیش از ۲۰ مگاپاسکال را به همراه داشته باشد، که در حجم کم و روسازی پارکینگ بیش از حد کافی است (تنیس و همکاران، ۲۰۰۴).

در سراسر کشور آمریکا ، روسازی های بتنی متخلخل محبوبیت زیادی در سیستم های مدیریت سیلاب به دست آورده است (بوری و همکاران، ۲۰۰۶). هدف اصلی مدیریت سیلاب حفظ شرایط قبل از توسعه در مکان های به تازگی توسعه یافته است (لیندسی و همکاران، ۱۹۹۲). نفوذ پذیری بالا و پتانسیل برای کاهش رواناب باعث شده است که سازمان حفاظت محیط زیست ، بتن متخلخل به عنوان یکی از بهترین روش های مدیریت سیلاب تعریف کند (موسسه پرتلند، ۲۰۰۲).

مزایای بتن متخلخل

مزایای بتن متخلخل نیز شامل کاهش دوره بهبود و کاهش منطقه غیر قابل نفوذ است. کاهش حجم رواناب کاهش در مقدار آب تخلیه شده به املاک اطراف را به همراه دارد ، و این کاهش نیاز به تسهیلات مدیریت آب را به حداقل می رساند. کاهش دوره بهبود ، باعث کاهش در مقدار آبی می شود که نیاز به تصفیه دارد ، و فشار بر روی سیستم فعلی و نیاز به تاسیسات تصفیه آب جدید را

کاهش می دهد. بسیاری از شهرداری ها ، مقدار منطقه غیر قابل نفوذ مجاز بر روی یک سایت پروژه را محدود کردند. کاهش مقدار امکانات غیر قابل نفوذ اجازه توسعه بیشتر را طبق دستورالعمل های شهرداری و قابلیت حمایت محیط زیست از سایت را می دهد (ACI. 2010). از آنجا که بتن متخلخل دارای منافع در به حداقل رساندن رواناب سیلاب و پیشگیری از افزایش آلودگی می باشد ، توانایی برای به دست آوردن اعتبار در شورای ساختمان سازی سبز ایالات متحده سرآمد در طراحی انرژی و محیط زیست (LEED) سیستم امتیاز دهی ساختمان سازی سبز ، بازیافت محتوا ، و مواد منطقه ای را دارد (متا، ۲۰۰۹).

رئولوژی بتن خود متراکم

در آب و هوای سرد ، بتن متخلخل به صورت بهتری در برابر سیکل ذوب یخ نسبت به روسازی های سنتی محافظت می کند. هوا مصالح در زیر بستر بتن می تواند به عنوان یک لایه عایق باشد که شکل گیری لایه یخ را به تاخیر می اندازد در حالی که نفوذپذیری را همچنان حفظ می کند. حتی پس از اینکه درجه حرارت هوا زیر نقطه انجماد رفت ، بتن متخلخل به اندازه ای کافی گرم است که اجازه می دهد تا آب نفوذ کرده و وارد لایه ذخیره سازی شود. همچنین بتن متخلخل ، بطور قابل توجهی سریع تر از سیستم های سنتی ذوب می شود ، زیرا حفره های هوا باز اجازه می دهد که هوای گرم نفوذ کند و یخ آن روسازی ذوب شود (کورن و همکاران، ۲۰۰۹). یکی دیگر از مزیت های عمده بتن متخلخل که به طور مستقیم با ایمنی در ارتباط است ، حذف جمع شدگی آب ، پاشیده شدن آب ، و جلوگیری از خطر سر خوردن در رانندگی است. آب باران می تواند بلافاصله از روسازی حذف شود زیرا نیازی نیست به صورت عرضی از سطح خارج شود. بافت سطحی ایمنی را با افزایش مقاومت ترمز ماشین در محیط های مرطوب و خشک بهبود داده است. روسازی بتن متخلخل ، نسبتاً آرام است.

با توجه به حضور حجم زیادی از منافذ به هم پیوسته ، بتن متخلخل در جذب صوتی بسیار مؤثر است. این مواد را می توان به عنوان وسیله ای برای کاهش سر و صدای تولید شده توسط تعامل روسازی و تایر به کار گرفته شود. کاهش سر و صدا ترکیبی از کاهش تولید نویز و افزایش جذب صدا می باشد (ACI. 2010). بخاطر رنگ روشن آن ، بتن های متخلخل جذب حرارت کمتری در طول روز دارند ، که باعث کاهش تجمع حرارت در شهرستان ها می شود که به عنوان اثر گرما جزیره شهری شناخته شده است. اگر چه دمای سطح بتن متخلخل به دلیل سطح ناهموار آن گرم تر می باشد، حفره های زیر سطح به عنوان یک مکانیسم عایق عمل کرده و کاهش انتقال گرما به سطح زیری را به همراه دارد (حاصلباج، ۲۰۰۹). دانه بندی درشت دانه نیز ایده آل برای رشد و حفاظت از درختان در محیط روسازی می باشد ، که به درختان امکان دریافت آب و هوا را ایجاد می کند ، در حالی که هنوز هم استفاده کامل از روسازی را به همراه دارد (تنیس و همکاران، ۲۰۰۸). استفاده از بتن متخلخل به عنوان یک روش مدیریت سیلاب ، با کاهش آب های سطحی و افزایش نفوذ ، اثرات منفی استفاده از زمین را کاهش می دهد (وانیلیستا و همکاران، ۲۰۰۷). از خدمات بتن متخلخل کاهش اثر جزیره حرارتی شهری می باشد که به سرعت گرما را پس از غروب آفتاب به دلیل مقدار زیادی از سطح کم و پخش می کند. علاوه بر کاهش حجم رواناب ، بتن متخلخل دارای برخی از خواص تصفیه می باشد که به طور کلی ، کاهش ناخالصی های ناشی از خودروها و سایر منابع و بالا بردن کیفیت سیلاب را می توان ذکر کرد (کورن و همکاران، ۲۰۰۵). از آنجا که سیلاب امکان ورود به آبهای زیرزمینی و شارژ آبخوان را دارد ، بتن متخلخل تاثیر کلی توسعه انسان بر اکوسیستم های موجود را کاهش می دهد.

کاربردهای غیر رویه ای بتن متخلخل

- دیوارهای سازه ای هنگامی که سبکی و عایق بودن سازه مهم باشد.
- لایه زهکش صلب زیر پیاده روهای پر درخت
- خاگریز پل ها
- محوطه استخرهای شنا
- سازه های ساحلی
- حوضچه های تصفیه خانه های فاضلاب
- زمین های تنیس، باغ وحش و کف گلخانه ها (غفوری و دووتا، ۱۹۹۵).

مسائل و مشکلات بتن متخلخل

جداشدگی شایع ترین نقص سطحی در بتن متخلخل است ، و می تواند با استفاده از مخلوط خوب بتن ، پیمانکار با تجربه ، و عمل آوری مناسب به حداقل برسد (کورن، ۲۰۱۰). جداشدگی از مشکلات سطحی شناسایی شده توسط ذرات درشت دانه است از ترکیب مخلوط جدا شده اند، که باعث باقی ماندن شن های سست بر روی سطح روسازی می شود.

بتن خود تراکم چیست؟

نقطه ضعف عمده بتن متخلخل، مقاومت کم آن است. در حالی که مواد افزودنی و ترکیبات خاص را می توان برای افزایش قدرت مقاومت مورد استفاده قرار داد ، ولی بتن متخلخل هنوز هم دارای مقاومت قابل ملاحظه ای پایین تر از بتن سنتی است (بوری، ۲۰۰۶). این محدودیت سبب می شود که از آن در مناطق کم ترافیک، به طور کلی پارکینگ ها و جاده های محله استفاده شود (ACI. 2010). مراقبت های ویژه باید انجام شود تا رانندگی تجهیزات سنگین و کامیون ها در بتن متخلخل، به عنوان افزایش بار محسوب می شود ، منجر به نارسایی زودرس شود.

عدم وجود ریزدانه ها در بتن ایجاد یک مخلوط خشن می کند، که می تواند باعث ایجاد مشکلات را در کارهای سایت و چالش ها در قرار دادن شود. ساختار خالی و باز می تواند منجر به از دست دادن سریع رطوبت شود، که باعث سفت شدن سریع مواد شود(بوری، ۲۰۰۶).

درصد تخلخل و نفوذپذیری بتن متخلخل

درصد تخلخل بتن های سبک هوادار یا متخلخل بین ۱۵ تا ۲۵ درصد می باشد و نفوذپذیری آن نیز حدود ۲ تا ۶ میلی متر بر ثانیه است (یوانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

آزمایش نفوذپذیری بتن متخلخل

به منظور انجام تست نفوذپذیری ، باتوجه به محدوده بالای نفوذپذیری بتن های متخلخل از روش آزمایش نفوذپذیری با بار ثابت استفاده می شود. جنس ظرف آزمایش از نوع پلکسی گلاس بوده و ابعاد داخلی ظرف آزمایش ۱۶۰*۱۶۰ میلی متر و ارتفاع آن ۵۰۰ میلی متر می باشد.



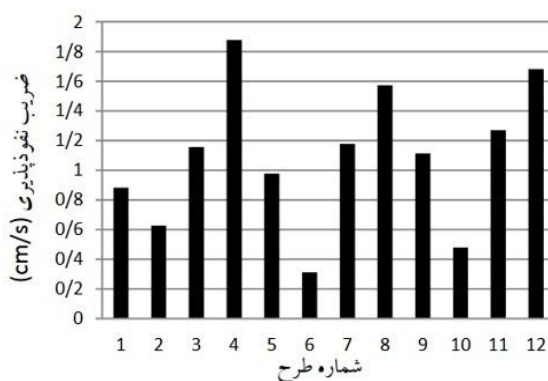
به منظور جلوگیری از تاثیر تمرکز سیمان ، نمونه ها از بالا و پایین به میزان ۲,۵ سانتی متر (معادل ۱ اینچ) برش زده می شود. برای جلوگیری از نشت آب از کناره های نمونه ، ابتدا نمونه به وسیله پارافین آب بندی شده ، سپس در ظرف آزمایش قرار می گیرد. رستمی و بهرامی (۱۳۹۶) در تحقیق خود به بررسی پارامترهای موثر در تولید بتن متخلخل از طریق آزمایش میزان نفوذپذیری پرداختند. طرح اختلاط در نظر گرفته شده برای این تحقیق مطابق جدول زیر می باشد.

شماره طرح	سنگدانه (Kg/m ³)	دانه بندی	آب (Kg/m ³)	HRWR/C (%)
۱	۱۸۹۰ (LS)	A	۱۰۵	۰/۸
۲	۱۸۹۰ (LS)	B	۱۰۵	۰/۸
۳	۱۸۹۰ (LS)	C	۱۰۵	۰/۸
۴	۱۸۹۰ (LS)	D	۱۰۵	۰/۸
۵	۱۸۹۰ (M)	A	۸۷/۵	۰/۶
۶	۱۸۹۰ (M)	B	۸۷/۵	۰/۶
۷	۱۸۹۰ (M)	C	۸۷/۵	۰/۶
۸	۱۸۹۰ (M)	D	۸۷/۵	۰/۶
۹	۱۸۹۰ (BG)	A	۸۷/۵	۰/۶
۱۰	۱۸۹۰ (BG)	B	۸۷/۵	۰/۶
۱۱	۱۸۹۰ (BG)	C	۸۷/۵	۰/۶
۱۲	۱۸۹۰ (BG)	D	۸۷/۵	۰/۶

برای اندازه گیری نفوذپذیری ، زمان تغییر افت هد آب با استفاده از فرمول دارسی به دست می آید. ارتفاع ستون آب جهت اندازه گیری نفوذ پذیری ، طوری تعیین می گردد که معمولا روسازی ها این هد را تجربه می کنند (حدود ۲۰ سانتی متر). نفوذپذیری از رابطه زیر قابل محاسبه است که نمودار نتایج آن نیز نشان داده شده است.

$$K = \frac{V.L}{A.h(t_2-t_1)}$$

K: ضریب نفوذپذیری بر حسب cm/s، V: حجم آب عبوری از نمونه از زمان t_1 تا t_2 ، L: ارتفاع نمونه بتنی بر حسب cm، A: سطح مقطع نمونه بتنی بر حسب cm^2 و h: اختلاف تراز سطح آب در بالا و پایین نمونه بر حسب cm می باشد.



آزمایش مقاومت کششی بتن متخلخل

در آزمایش مقاومت کششی از استاندارد M-04 ASTM C496 استفاده می شود. مقاومت کششی از طریق انجام آزمایش کشش غیر مستقیم (آزمایش برزیلی) به دست می آید. دستگاه بارگذاری در این آزمایش همان دستگاه مقاومت فشاری است. به ترتیبی که نمونه استوانه ای به صورت افقی روی فک تحتانی قرار گرفته و با سرعت ۲,۱ مگاپاسکال بر دقیقه طبق استاندارد فوق الذکر به سمت بالا حرکت می کند.



آزمایش مقاومت فشاری بتن متخلخل

آزمایش مقاومت فشاری مطابق با استاندارد ASTM C39M-03 استفاده می شود. به منظور انجام آزمایش نمونه های بتن متخلخل ، از دستگاه بارگذاری با یک فک ثابت و یک فک متغیر استفاده می شود. نحوه انجام آزمایش به ترتیبی است که ابتدا سطح فوقانی نمونه های استوانه ای که به دلیل ساختار متخلخل بتن ناهموار است، با انجام آزمایش سرپوش گذاری هموار می گردد. به منظور اجرای صحیح عملیات سرپوش گذاری ابتدا سطوح ناهموار نمونه ها توسط دستگاه برش هموار می گردد.



آزمایش جریان اسلامپ بتن خود تراکم

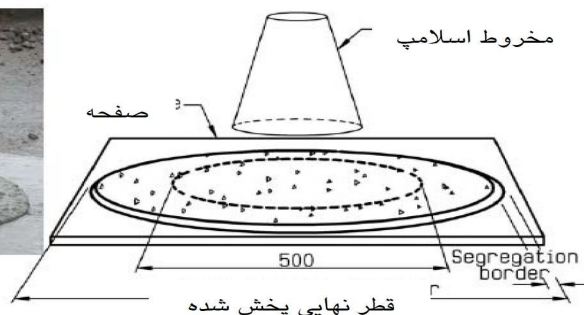
آزمایش جریان اسلامپ که در شکل زیر نشان داده شده است، از متداول ترین آزمایش های بتن خود تراکم است که نخستین بار در کشور ژاپن برای بررسی کارایی بتن های اجرا شده در زیر آب مورد استفاده قرار گرفت. هدف از این آزمایش تعیین قابلیت جاری شدن بتن تازه، تحت اثر وزن خود بدون هیچ قیدی جز اصطکاک صفحه جریان است.



در آزمایش جریان اسلامپ قطر دایره ایجاد شده بعد از بلند کردن مخروط که به جریان اسلامپ معروف است به عنوان معیاری برای روانی بتن اندازه گیری می شود و زمان رسیدن بتن به قطر ۵۰ سانتیمتر T50 نیز، به عنوان معیاری از ویسکوزیته بتن است. استاندارد این آزمایش مطابق با ASTM C1611 است. در صورت استفاده از قیف با قرار دادن آن روی مخروط آبرام و ایستادن بر روی جاپاهای مخصوص مخروط، اطمینان حاصل می شود که بتن نمی تواند از زیر مخروط عبور کند.



بایستی داخل مخروط تمیز و مرطوب شود و حدود ۶ لیتر بتن در آن ریخته شود و سپس مخروط مطابق شکل به صورت عمودی و با سرعت ثابت بالا آورده شود تا بتن بر روی صفحه پخش شود.



آزمایش جریان اسلامپ بتن خود تراکم

اگر زمان T50 مورد نظر باشد، لازم است بلافاصله بعد از بلند کردن مخروط زمان رسیدن بتن به قطر ۵۰ سانتیمتر اندازه گیری شود. علاوه بر اندازه گیری زمان T50 قطر دایره ای که بعد از پخش شدن ایجاد می شود نیز اندازه گرفته می شود. بر همین اساس قطر نهایی به صورت میانگین ۲ قطر عمود بر هم به طوری که یکی از دو قطر حداکثر قطر ممکن باشد اندازه گیری می شود.

بتن متخلخل، کاربردها، مزایا و آزمایش ها

قطر نهایی بتن نشان دهنده تنش تسلیم بتن تازه و معیار سنجش قابلیت پرکنندگی بتن تازه است، به طوری که اگر میانگین دو قطر کمتر از ۵۵ سانتیمتر باشد، تنش تسلیم بتن زیاد و کارپذیری آن کم است. در صورتی که این مقدار بیش از ۸۵ سانتی متر باشد ویسکوزیته خمیری کم بوده و احتمال ناپایداری وجود دارد.

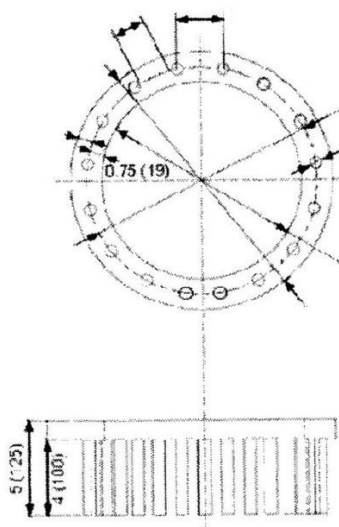


مدت زمان رسیدن به قطر ۵۰ سانتی متر، T50 نیز معیاری برای ویسکوزیته خمیری بتن است. برخی از محققان معتقدند که از T50 نمی توان مستقیماً برای محاسبه ویسکوزیته استفاده کرد. برای مثال، با افزایش جریان اسلامپ، T50 کمتر خواهد بود، حتی اگر ویسکوزیته بتن ثابت باشد. بر همین اساس این محققان معتقدند فقط در صورتی که جریان اسلامپ نمونه ها ثابت باشد، می توان از T50 در ارزیابی بتن های با ویسکوزیته مختلف استفاده کرد.

Efnarc زمان رسیدن به قطر ۵۰ سانتی متر را بین ۳ تا ۷ ثانیه برای کاربردهای مهندسی متداول و بین ۲ تا ۵ ثانیه برای کاربردهای سازه های بلند قابل قبول می داند. انجمن مهندسان عمران ژاپن حداقل قطر قابل قبول جریان اسلامپ را برای بتن خودتراکم ۶۰۰ میلی متر بیان میکند. این مؤسسه همچنین زمان رسیدن بتن خودتراکم تازه به قطر ۵۰۰ میلی متر را بین ۳ تا ۱۵ ثانیه قابل قبول می داند. آزمایش جریان اسلامپ به دلیل سادگی اجرا، برای تعیین کارپذیری بتن خودتراکم بسیار متداول است. این آزمایش اگرچه اطلاعاتی در مورد چگونگی عبور بتن از بین آرماتورها به دست نمیدهد، اما ممکن است به صورت کیفی مقاومت بتن در برابر انسداد را مشخص کند. هرچند T50 معیاری برای سنجش ویسکوزیته است، ولی باید دقت کرد که این امر در صورتی درست است که جریان اسلامپ نمونه ها یکسان باشد. در واقع نمی توان مستقیماً از T50 برای محاسبه ویسکوزیته استفاده کرد.

آزمایش حلقه J

هنگامی که [بتن خودتراکم](#) در قالب هایی که شامل آرماتور فولادی است قرار گیرد، بایستی همگنی خود را حفظ کند و در هنگام جریان یافتن بتن، سنگدانه نباید از مخلوط بتنی جدا شوند. آزمایش حلقه J در واقع شبیه سازی عبور بتن از میان آرماتور است و به منظور بررسی قابلیت عبور به کار برده می شود. این دستگاه و جزئیات ابعاد آن، مطابق شکل زیر نشان داده شده است. Dazcko ابعاد این دستگاه را در سایر مراجع بررسی کرده که نتیجه آن در جدول زیر خلاصه شده است.



مرجع	قطر حلقه (میلی متر)	ارتفاع آرماتور (میلی متر)	قطر آرماتور (میلی متر)	فاصله خالص بین آرماتورها (میلی متر)
انجمن امریکایی مصالح و روشهای آزمایش	300	100	16	44
Efnarc	300	100	10	48±2
انجمن بتن نروژ	235	120	12	34
انجمن بتن سوئیس	270	110	نامشخص	1 تا 3 برابر طول الیاف
انجمن بتن پیش ساخته/پیش تنیده	284	110	16	14، 19 یا 39 بسته به حداکثر اندازه سنگدانه
Dazcko	285	100	15	35 یا 50 بسته به حداکثر اندازه سنگدانه ها

در این آزمایش، زمان رسیدن بتن به قطر ۵۰ سانتی متر و قطر نهایی بتن با آزمایش جریان اسلامپ مقایسه می شوند. بازشدگی بتن در آزمایش حلقه نشان دهنده توانایی عبور بتن از بین میلگردهاست. هرچه مقدار بازشدگی بیشتر باشد، به این معنی است که بتن خودتراکم تا مسافت بیشتری می تواند تحت اثر وزن خود، از بین میلگردها عبور کند و سریعتر می تواند قالب بتن با میلگردهای متراکم را پر کند. تفاوت بین جریان اسلامپ با حلقه J و جریان اسلامپ غیرمقید می تواند نشان دهنده درجه عبور بتن از بین آرماتورها باشد.

بتن چیست؟

مطابق استاندارد illinoise، برای اندازه گیری توانایی عبور بتن خودتراکم با استفاده از حلقه J و مخروط اسلامپ، از جدول استفاده می شود.

تفاوت بین <u>جریان اسلامپ</u> با حلقه <u>J</u> و <u>جریان اسلامپ</u> غیر مقید (میلی متر)	درجه عبور	ملاحظات
0-25		توانایی عبور زیاد
25-50	1	توانایی عبور متوسط
>50	2	توانایی عبور کم

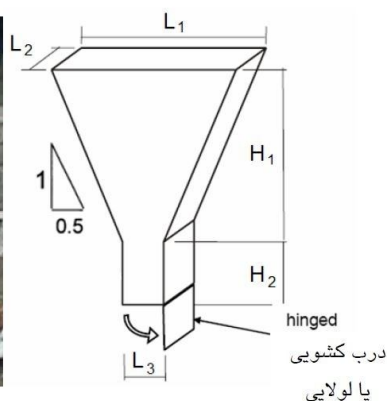
آزمایش قیف V شکل

آزمایش قیف V، نخستین بار در کشور ژاپن، توسط ozawa و همکارانش مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه این آزمایش، شامل یک قیف V شکل است که زمان خروج بتن از آن، با ویسکوزیته بتن و توانایی عبور بتن از مقاطع باریک مرتبط است.





قیف ۷ شکل در ابعاد مختلف مورد استفاده قرار می گیرد، این دستگاه در شکل زیر نشان داده شده و ابعاد مختلف پیشنهادی آن، در جدول زیر ارائه شده است.



ارتفاع نازل (میلیمتر)	ارتفاع بخش شیبدار (میلی متر)	ابعاد نازل خروجی (میلی مترمربع)	ابعاد ورودی (میلی مترمربع)	مرجع
150	425	75*65	490*75	Efanrc- Okamura 2002
150	425	75*75	500*75	Khayyat و همکاران
150	450	75*65	515*75	انجمن بتن هلند ۲۰۰۵
250	465	125*125	595*75	Grünwald برای تن الیافی)

نوع دیگری از این قیف، با مقطع دایره که به قیف O شکل معروف است، نیز در ژاپن استفاده می شود، که ابعاد آن در شکل زیر نشان داده شده است. این آزمایش، برای اندازه گیری توانایی عبور بتن با حداکثر اندازه ۲۰ میلی متر قابل استفاده است.



برای انجام دادن این آزمایش که به منظور بررسی قابلیت پرکنندگی و عبور بتن از بین فضاهای باریک استفاده می شود، حدود ۱۲ لیتر بتن مورد نیاز است. قیف بایستی بدون آنکه تراکمی صورت گیرد و یا ضربهای به بدنه ظرف وارد شود، از بتن پر شود و سطح آن صاف شود. بعد از گذشت ۱۰ ثانیه باید دریچه باز و اجازه داده شود بتن تحت اثر وزن خود از قیف خارج شود؛ زمان تخلیه کامل بتن نیز اندازه گرفته شود. (زمان جریان) طبق تعریف، زمان تخلیه کامل بتن زمانی است که در صورتی که از بالای قیف به آن نگاه شود نور ظاهر شود. این قسمت از آزمایش باید حداکثر در مدت ۵ دقیقه انجام شود.

در ادامه، بار دیگر بدون تمیز و یا مرطوب کردن قیف، باید در همان شرایط قیف از بتن پر شود و به مدت ۵ دقیقه رها گردد، تا ته نشین شود. سپس باید دریچه باز و زمان تخلیه کامل بتن اندازه گرفته شود (زمان جریان در مدت ۵ دقیقه). این قسمت از آزمایش باید بلافاصله بعد از قسمت اول انجام شود. بنابر پیشنهاد مؤسسه Efanrc زمان مناسب تخلیه بتن از قیف ۷ شکل بین ۶ تا ۱۲ ثانیه است. اگر زمان تخلیه بتن بیشتر از ۱۲ ثانیه باشد، بیانگر ویسکوزیته خمیری زیاد بتن است و اگر زمان تخلیه بتن کمتر از ۶ ثانیه باشد، نشان دهنده ویسکوزیته کم بتن است که در این حالت احتمال وقوع پدیده جداسازی وجود دارد.

منبع: بتن خود متراکم، دکتر پرویز قدوسی، علی اکبر رمضانپور، دکتر محمد شکرچی زاده و همکاران

از زمان معرفی بتن خودتراکم تا به امروز روش های متعددی برای طرح اختلاط بتن خود تراکم ارائه شده است. این روش ها یا به صورت مقاله از طرف پژوهشگران ارائه شده و یا توصیه هایی است که از طرف انجمن ها و مؤسسات بین المللی مطرح شده است. نکته قابل توجه این است که هنوز یک روش استاندارد با مقبولیت جهانی معرفی نشده است. بعضی از روش های موجود طرح نسبت های مخلوط بتن خود تراکم بر مبنای چگالی انباشتگی و بعضی دیگر بر اساس نظریه حداقل مقدار خمیر سیمان و تعدادی از روش ها نیز بر مبنای تجربه مطرح شده اند.

روش های طرح اختلاط بتن خود تراکم

جدول زیر به طور خلاصه روش ها و یا توصیه نامه های موجود برای طرح اختلاط بتن خود تراکم را به همراه سال ارائه نشان می دهد. سپس هر کدام از این روش ها گام به گام شرح داده خواهند شد.

سال ارائه	ارائه دهنده روش یا راهنما	
1996	انجمن مهندسين ژاپن	1
2001	Su و همکاران	2

2002	EFNARC	3
2005	اتحادیه اروپایی	4
2007	انجمن بتن آمریکا ACI 237	5
2007	موسسه ICAR	6
2010	Santhanam و همکاران	7
2010	Shen و همکاران	8
2010	Ghazi و همکاران	9

روش ساده طرح اختلاط بتن خود تراکم

اساس این روش که توسط Su و همکاران ارائه شده مفهوم چگالی انباشتگی ذرات است که به صورت فاکتور انباشتگی بیان شده است. مراحل گام به گام این روش به شرح زیر می باشد.

گام اول: محاسبه مقدار سنگدانه ریز و درشت

در این مرحله با استفاده از معادلات ۱ و ۲ مقدار وزنی سنگدانه ریز W_s و مقدار سنگدانه درشت W_g محاسبه می شود.

$$W_g = PF \times W_{g1} \left(1 - \frac{s}{a}\right)$$

$$W_s = PF \times W_{s1} \times \frac{s}{a}$$

که W_{g1} و W_{s1} به ترتیب جرم حجمی سنگدانه های ریز و درشت اشباع با سطح خشک در حالت غیرمتراکم و PF فاکتور انباشتگی است که به صورت نسبت جرمی سنگدانه های متراکم شده در بتن خودتراکم به سنگدانه های غیرمتراکم می باشد. S/a نسبت حجمی سنگدانه ریز به کل سنگدانه است که این نسبت عددی بین ۵۰ تا ۵۷ درصد است.

آزمایش قیف ۷ شکل

گام دوم: محاسبه مقدار سیمان

در این مرحله مقدار وزنی سیمان محاسبه می شود. با توجه به این که در تایوان و ژاپن به ازای هر کیلو سیمان، مقاومت فشاری بتن 20 PSI یا ۰٫۱۴ مگا پاسکال است. از معادله زیر مقدار سیمان (C) بر حسب کیلوگرم در متر مکعب محاسبه می شود.

$$C = \frac{f'_c}{20}$$

که f'_c برابر مقاومت فشاری مورد نیاز بتن خود تراکم در پروژه بر حسب PSI است.

گام سوم: محاسبه مقدار آب آزاد

در این مرحله، مقدار آب آزاد بتن خود تراکم (W_{WC}) از معادله زیر محاسبه می شود.

$$W_{WC} = \left(\frac{W}{C} \right) C$$

که W/C برابر نسبت وزنی آب به سیمان است و می تواند از مقادیر ACI 318 و یا دیگر توصیه نامه های بتن خود تراکم تعیین شود.

گام چهارم: محاسبه مقدار خاکستر بادی و سرپاره

در این مرحله مقدار حجمی خاکستر بادی V_{pf} و سرپاره V_{pb} در صورتی که در بتن خود تراکم استفاده شده باشد محاسبه شود. ابتدا مقدار مجموع $V_{pf} + V_{pb}$ از معادله زیر به دست می آید.

$$V_{pf} + V_{pb} = 1 - \frac{W_g}{1000 \times G_g} - \frac{W_s}{1000 \times G_s} - \frac{C}{1000 \times G_c} - \frac{W_{WC}}{1000 \times G_W} - V_a$$

در این معادله:

G_g و G_s و G_c و G_W به ترتیب برابر وزن مخصوص سنگدانه درشت، سنگدانه ریز، سیمان و آب و V_a درصد مقدار هوا در بتن خود تراکم است. حال از معادله زیر مقدار کل مواد پوزولانی استفاده شده در بتن خود تراکم W_{pm} محاسبه می شود.

$$V_{pf} + V_{pb} = \left(1 + \frac{W}{F} \right) \times A\% \times \frac{W_{pm}}{1000 \times G_f} + \left(1 + \frac{W}{S} \right) \times B\% \times \frac{W_{pm}}{1000 \times G_B}$$

در این معادله

A و B به ترتیب درصد وزنی استفاده از خاکستر بادی و سرپاره در بتن و G_f و G_B به ترتیب برابر وزن مخصوص خاکستر بادی و سرپاره است. سپس از معادله های زیر مقدار خاکستر بادی W_f و سرپاره W_b بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه می شود.

$$W_f = A\% \times W_{pm}$$

$$W_B = B\% \times W_{pm}$$

حال از معادله های زیر به ترتیب مقادیر آب مورد نیاز خمیر ساخته شده با خاکستر بادی W_{wf} و سرپاره W_{wB} محاسبه می شود. در این معادلات، W/F برابر نسبت وزنی آب به خاکستر بادی و W/S نسبت وزنی آب به سرپاره است.

$$W_{wf} = \left(\frac{W}{F} \right) W_f$$

$$W_{wB} = \left(\frac{W}{S} \right) W_B$$

گام پنجم: محاسبه مقدار آب اختلاط

در این مرحله مقدار آب اختلاط W_w از رابطه زیر محاسبه می شود. در این مقاله با توجه به توصیه جامعه مهندسان ژاپن درباره مقدار آب اختلاط بتن خودتراکم که بین ۱۶۰ تا ۱۸۵ کیلوگرم در مترمکعب است، بیان گردیده که مقدار آب اختلاط محاسباتی باید در این محدوده باشد.

آزمایش جریان اسلامپ بتن خود تراکم

$$W_w = W_{WC} + W_{wf} + W_{WB}$$

گام ششم: محاسبه مقدار و درصد فوق روان کننده مورد نیاز

در این مرحله مقدار فوق روان کننده مورد نیاز W_{sp} و مقدار آب موجود در فوق روان کننده W_{wsp} از معادله های زیر محاسبه می شود.

$$W_{sp} = n\% (C + w_f + W_B)$$

$$W_{wsp} = (1 - m\%) W_{SP}$$

که در این معادله n درصد استفاده از فوق روان کننده به مواد پودری و m درصد مواد جامد در فوق روان کننده است.

مزایا و محدودیت های روش ارائه شده برای طرح اختلاط بتن خود تراکم توسط SU و همکاران به شرح زیر است.

- این روش مفهوم واقعی چگالی انباشتگی ذرات در بتن خودتراکم را با فاکتور PF اعمال نموده است و مقدار سیمان غیرمستقیم وابسته به این فاکتور است. با افزایش این فاکتور و استفاده از دانه بندی های بهتر و کاهش فضای خالی ، مقدار سیمان کاهش خواهد یافت که مزیت بزرگی است.
- نحوه محاسبه فاکتور انباشتگی PF دارای ابهام است و خود نویسندگان مقاله هم مقدار این فاکتور را فرضی تعیین نموده اند. زیرا اندازه گیری انباشتگی ذرات در داخل بتن پس از ساخت بسیار مشکل است. بنابراین مشخص نیست مقدار فرض شده در مقاله با مقدار واقعی که در بتن رخ می دهد یکسان باشد.
- محاسبه مقدار سیمان با فرض اینکه هر کیلوگرم سیمان مقاومت 0.14 مگاپاسکال تولید می نماید، انجام می شود. نویسندگان مقاله ذکر کرده اند که این عدد صرفاً برای مناطق ژاپن و تایوان است و عمومی نیست. پس اگر در منطقه دیگری از این روش استفاده شود باید عدد مذکور با توجه به سیمان آن منطقه اصلاح شود.
- مباحث مربوط به دانه بندی، حداقل و حداکثر پودر، حجم خمیر و مواد پرکننده در بتن خودتراکم در نظر گرفته نشده است. این نوشته در حال بروزرسانی است و به مرور سایر روش ها به آن اضافه می شود.

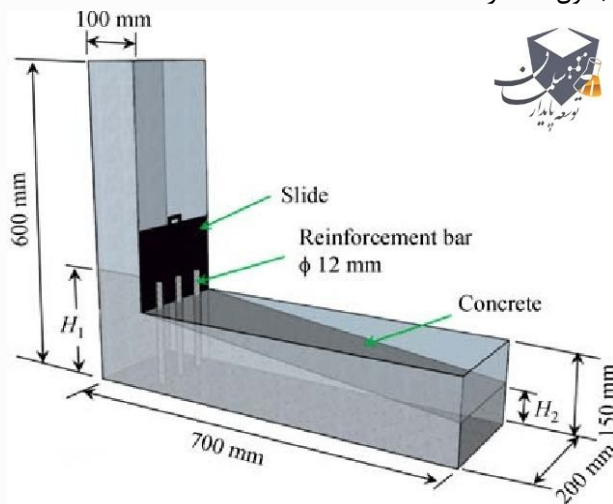
منبع : بتن خود متراکم، دکتر پرویز قدوسی، علی اکبر رمضانیان پور، دکتر محمد شکرچی زاده و همکاران

آزمایش جعبه L شکل

آزمایش جعبه L شکل برای آزمایشگاه ها و کارگاه ها مناسب است. هدف از این آزمایش بررسی قابلیت پرکنندگی و قابلیت عبور بتن تراکم است، به طوری که افزایش حجم خمیر سیمان سبب افزایش قابلیت عبور می شود. همچنین می توان وجود یا عدم پدیده انسداد ناشی از حضور میلگردها را مشاهده کرد.



روش انجام آزمایش به این صورت است که بعد از پر کردن دستگاه از بتن و بلند کردن دریچه، نسبت اسداد، h_2/h_1 اندازه گرفته می شود. معیار های h_1 و h_2 در ادامه توضیح داده می شوند. همچنین مدت زمان رسیدن بتن به فواصل ۲۰ و ۴۰ سانتی متری T20 , T40 نیز که معیاری برای سنجش ویسکوزیته خمیری بتن است اندازه گرفته می شود. دستگاه این آزمایش و ابعاد آن، مطابق توضیح Efnarc در شکل زیر نشان داده شده است. ابعاد این دستگاه را در مراجع مختلف در جدولی خلاصه کرده است که در جدول ۶-۶ ارائه شده است.



مرجع	ابعاد قسمت عمودی (میلی متر)	ابعاد قسمت افقی (میلی متر)	قطر آرماتور (میلی متر)	فاصله خالص بین آرماتورها (میلی متر)

35/45	13	800*200*150	600*200*100	Efnarc
—	—	800*200*160	40*200*80	جامعه مهندسان عمران ژاپن
				انجمن بتن نروژ
35/45	12	800*200*150	600*200*100	انجمن بتن سوییس
35/45	13	800*200*150	600*200*100	انجمن بتن پیش ساخته / پیش تنیده
35/45	12	700*200*150	600*200*100	Rilem
35/45	12	700*200*150	600*200*100	Dazcko

شیوه انجام

برای انجام این آزمایش، قسمت عمودی دستگاه از بتن خودتراکم پر می شود. پس از ۱ دقیقه، دریچه باز می شود تا بتن در بخش افقی جریان پیدا کند. بعد از بلند کردن دریچه، اجازه داده می شود که بتن در قسمت افقی جاری شود و زمان رسیدن بتن به فواصل ۲۰ و ۴۰ سانتی متری اندازه گیری می شود.

وزن مخصوص بتن

پس از توقف جریان، ارتفاع بتن در انتهای بخش افقی h_2 و انتهای بخش عمودی h_1 تعیین و از رابطه h_2/h_1 که به نسبت اسناد معروف است، استفاده می شود. کل آزمایش باید در مدت حداکثر ۵ دقیقه انجام شود. برخی از مراجع h_1 را ارتفاع بتن بلافاصله بعد از میلگردها و برخی دیگر آن را ارتفاع قسمت عمودی در نظر می گیرند. در مورد h_2 نیز بهتر است میانگین ارتفاع بتن در انتهای جعبه در سه نقطه مرکز و گوشه ها اندازه گیری شود. موسسه ICAR مقدار مناسب اسناد را بین ۰٫۸ تا ۰٫۸۵ پیشنهاد کرده است. موسسه Efnarc و انجمن بتن آمریکا مقدار مناسب این نسبت را بین ۰٫۸ تا ۱ مناسب می دانند. حداکثر مقدار اسناد برابر یک است که در این صورت روانی بتن بسیار زیاد و در حد آب خواهد بود.

آزمایش مقاومت کششی بتن یا تست برزیلی

این آزمایش با نام مقاومت کششی بتن به روش دو نیم کردن (splitting tensile strength) یا تست برزیلی در استاندارد ملی ایران ۶۰۴۷ و دت ۶۰۶ و ASTM C496 و BS 1881-4 شرح داده شده است.



Azman

قالب کششی بتن روش برزیلین

اگر چه معمولاً بتن به گونه ای طراحی نمی گردد که تنش کششی مستقیم را تحمل نماید، ولی دانستن مقاومت کششی بتن در تخمین باری که ترک ها در آن توسعه می یابند، با ارزش است. عدم وجود ترک در حفظ تداوم سازه های بتنی و در بسیاری موارد در جلوگیری از خوردگی میلگردهای فولادی حائز اهمیتی قابل توجه است. مقاومت در کشش همچنین در سازه های بتنی غیر مسلح مانند سدها تحت شرایط زلزله مورد توجه می باشد. سازه های دیگر مانند جاده ها و فرودگاه ها بر اساس مقاومت خمشی که در برگیرنده مقاومت کششی می شود طراحی می گیرند.

آزمایش تعیین مقاومت کششی معمولاً بر روی نمونه استوانه ای (به ندرت مکعبی) انجام می گیرد. آزمایش مقاومت کششی بر روی نمونه های مکعبی در بخش ۱۱۷ آیین نامه BS 1881-83 شرح داده شده است و نکته مهم اینکه نتایج بدست آمده در نمونه های استوانه ای و نمونه های مکعبی یکسان می باشد. بر طبق بند ۵-۲ استاندارد شماره ۶۰۴۷ ایران "قطر آزمونه را با دقت ۰,۲۵ میلی متر از طریق محاسبه میانگین سه قطر که در نزدیکی دو انتها و وسط آزمونه در امتداد دو قطر نشانه گذاری شده اندازه گیری شده اند، تعیین نمایید. با دو بار اندازه گیری و با دقت ۰,۲۵ میلیمتر طول آزمونه در صفحه قطرهای نشانه گذاری شده در دو انتها و تعیین میانگین از آنها طول آزمونه را محاسبه نمایید." نمونه طوری بین صفحات دستگاه جک بتن شکن قرار می گیرد که محور آن افقی باشد و سپس بار افزایش می یابد تا گسیختگی به صورت دو نیم شدن در صفحه شامل قطر قائم نمونه به وجود آید این روش آزمایش در بخش ۱۱۷ ASTM C496-71 و BS 1881-8371 (بازبینی شده در سال ۱۹۷۹ و ۱۹۹۰) توصیه شده است. برای جلوگیری از تنش های فشاری موضعی خیلی بالا در خطوط بارگذاری بر طبق آیین نامه ASTM C496-90 نوارهای تخته سه لایی باریکی به ضخامت ۳ میلی متر و به عرض ۲۵ میلی متر و طولی برابر با طول قالب استفاده گردد.

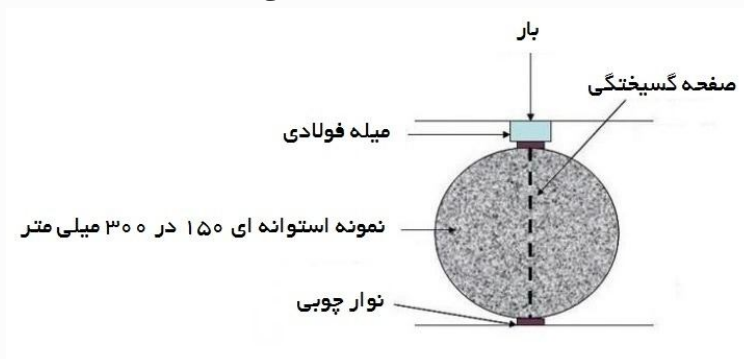
محاسبه جرم مخصوص سیمان

در بخش ۱۱۷ استاندارد BS 1881-8371 باید از نوارهای تخته فیبری به ضخامت ۴ میلی متر و عرض ۱۵ میلی متر و طولی برابر با طول قالب استفاده نمود. بر طبق بند ۳-۱-۲ استاندارد شماره ۶۰۴۷ ایران "دو نوار تکیه گاهی از جنس تخته چند لا با ضخامت اسمی ۳,۲ میلی متر، بدون ناصافی با عرض تقریبی ۲۵ میلی متر و یا طولی برابر یا کمی بیشتر از طول آزمونه باید برای هر آزمونه آماده گردد. این نوارها بایستی بین آزمونه و رکاب های بالا و پایین دستگاه آزمایش، یا بین آزمونه و صفحات تکیه گاهی مکمل (در صورت نیاز) قرار گیرند نوارهای تکیه گاهی نباید بیش از یکبار مصرف شوند."

طبق بند ۳-۵ استاندارد شماره ۶۰۴۷ ایران "مرکز یکی از نوارهای چوبی چند لایه را بر مرکز رکاب پایین منطبق نمایید، آزمون را روی نوار چوبی چند لایه طوری قرار دهید که خطوط قطری در انتهای آزمون در امتداد عمود بر محور نوار چوبی و در وسط نوار چوبی باشند. وسط نوار چوبی دوم را نیز با توجه به خطوط قطری دو انتهای آزمون روی آن قرار دهید."

تحت این شرایط مقاومت فشاری افقی زیادی در بالا و پایین استوانه به وجود می آید اما چون این تنش با تنش فشاری قائمی با همان اندازه همراه می باشد حالتی از فشار تک محوری به وجود می آید به طوری که گسیختگی در این نقاط به وجود نمی آید در عوض گسیختگی در اثر تنش کششی افقی و یکنواخت در بقیه مقاطع استوانه به وجود می آید. در صورتی که از نوارهای چوبی استفاده نگردد مقاومت کششی ثبت شده استوانه در حدود ۸ درصد کمتر خواهد شد.

مطابق شکل زیر با استفاده از گیره نگهدارنده نوارهای تکیه گاهی، آزمون و میله تکیه گاهی را طوری در جای خودشان قرار دهید که میله تکیه گاهی و محور آزمون مستقیماً زیر امتداد اعمال بار رکاب تکیه گاهی کروی قرار بگیرند.

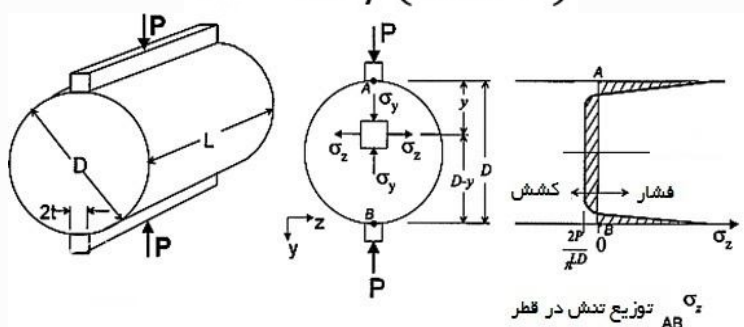


بر طبق بند ۵-۵ استاندارد شماره ۶۰۴۷ ایران "بار به طور مداوم، یکنواخت و بدون تغییرات ناگهانی با سرعت ثابتی در حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ کیلو پاسکال بر دقیقه تا هنگام گسیختگی آزمون، اعمال می شود. (برای استوانه های ۳۰۰*۱۵۰ میلیمتر حدود سرعت اعمال تنشی کششی دو نیم شدن با اعمال بار در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ کیلو نیوتن در دقیقه مطابقت می نماید.)"

بتن اسفنجی، خصوصیات و کاربردها

بیشترین بار اعمال شده در زمان گسیختگی که توسط دستگاه آزمایش نشان داده می شود را ثبت نموده و به نوع گسیختگی و ظاهر بتن نیز توجه شود. بر طبق بند ۶-۱ استاندارد شماره ۶۰۴۷ ایران مقاومت کششی دو نیم شدن آزمون به کمک رابطه زیر محاسبه می شود.

$$T = 2P / (\pi \cdot L \cdot d)$$



T = مقاومت کششی دو نیم شدن کیلو پاسکال (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)

P = حداکثر بار اعمال شده، کیلو نیوتن (کیلوگرم)

L = طول آزمون، سانتی متر مربع

d = قطر آزمون، سانتی متر

بر طبق BS 1881-83 بار با سرعت ثابت بین ۰,۲ الی ۰,۴ مگا پاسکال در ثانیه اعمال می گردد و بر طبق ASTM C496-71 بین ۰,۱۱ تا ۰,۲۳ مگاپاسکال در ثانیه اعمال می گردد و مقاومت کششی از رابطه بالا حساب می گردد. بر طبق آیین نامه ACI 318-89 (تجدید نظر شده در سال ۱۹۹۲) و همچنین آبا آزمایش های مقاومت کششی بتن به روش دو نیم کردن نمونه های استوانه ای و به طور کلی هیچ نوع آزمایش کششی دیگر نباید مبنای پذیرش بتن در کارگاه باشد. در صورتی که آزمایش مقاومت کششی بر روی نمونه مکعبی مطابق شکل زیر صورت پذیرد مقدار تنش کششی از رابطه زیر محاسبه می گردد که در آن a ضلع مکعب می باشد.

$$f_{st} = \frac{2p}{\pi a a}$$

این بدان معنا است که فقط بتن واقع شده در داخل استوانه محاطی در مکعب در مقابل بار وارده مقاومت خواهد نمود. آزمایش تعیین مقاومت کششی بر روی نمونه های مکعبی فقط در کشورهایی مورد توجه قرار دارد که آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن نیز روی نمونه های مکعبی انجام می گیرد. توسط روابط تجربی می توان مقاومت فشاری را به مقاومت کششی مربوط نمود رابطه زیر هرچند در آیین نامه بتن ایران (آبا) معرفی نشده است لیکن از لحاظ تجربی حاکی از دقت مناسب آن می باشد.

$$f_{st} = 0.55 \sqrt{f_c}$$

F_c مقاومت فشاری مشخصه

f_{st} مقاومت کششی مستقیم بتن

همانطور که رابطه بالا نشان می دهد با افزایش مقاومت فشاری مقاومت کششی نیز افزایش پیدا می کند ولیکن این ازدیاد با یک روند کندی صورت می گیرد.

منبع : تکنولوژی بتن و آزمایشگاه همراه با طرح اختلاط نوشته مهندس فرهاد مصباح ایران دوست

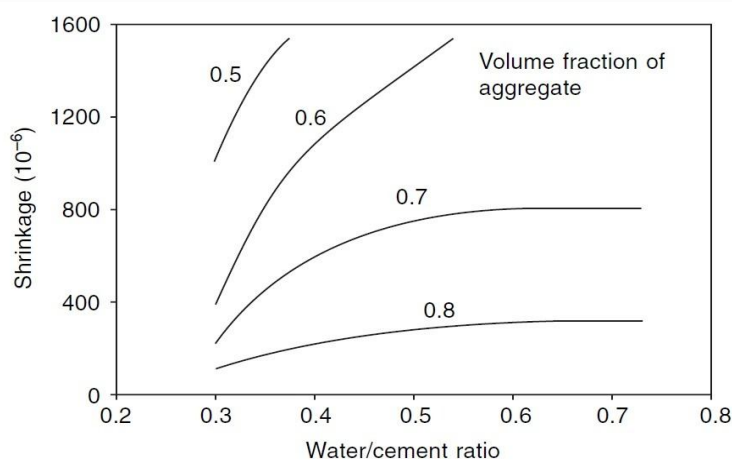
افت ، انقباض ، جمع شدگی در بتن ، عوامل و راهکارها

جمع شدگی ، انقباض یا افت بتن عبارت است از تغییر حجم بتن بدون وابستگی به تاثیر نیروی خارجی می باشد. (خزش به جمع شدگی بتن در اثر نیروی خارجی اطلاق می گردد). هیدراتاسیون ترکیبات سیمان مانند بسیاری از واکنش های شیمیایی گرمازا است. هر گرم از سیمان تا حدود ۵۰۰ ژول (۱۲۰ کالری) گرما آزاد می کند از آنجا که هدایت حرارتی بتن نسبتا کم است، به عنوان عایق حرارتی عمل می نماید و در داخل یک جرم عظیم بتنی ، هیدراتاسیون می تواند به یک افزایش شدید دما منجر شود. هم زمان سطح خارجی بتن مقداری از گرمای خود را از دست می دهد ، به طوری که شیب حرارتی زیادی ایجاد گردیده و در نتیجه ممکن است در جریان سرد شدن بعدی ، در قسمت داخلی بتن ، ترک های عمیقی به وجود آید. تغییرات حجم بتن را که از زمان آغاز گیرش بتن شروع و در طول مدت سخت شدن ادامه پیدا می کند افت یا انقباض گویند. در واقع افت بتن کاهش حجمی است که در طول زمان ایجاد می شود. اگرچه خزش پدیده ای جدا از افت بتن (جمع شدگی) می باشد ولی به علت اینکه عوامل موثر بر جمع شدگی بتن همانند عوامل موثر بر خزش می باشند همواره این دو مورد با هم مورد بررسی قرار میگیرد. در شرایط معمولی افت بتن بین ۰,۰۰۲ الی ۰,۰۰۸ حجم است که ۱۵ تا ۳۵ درصد آن در دو هفته اول و ۴۰ تا ۸۰ درصد آن در سه ماهه اول و ۶۵ الی ۹۰ درصد آن در یک سال اول عمر بتن روی می دهد.

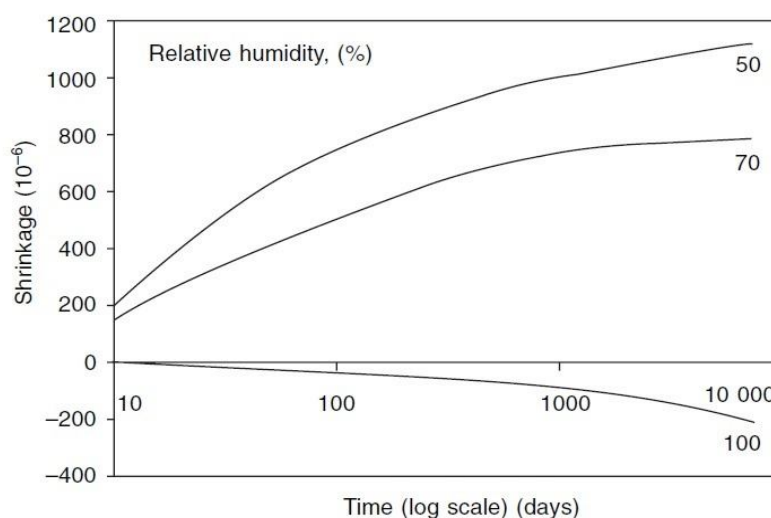
عمل آوری بتن ، تعاریف و دستورالعمل ها

عوامل موثر

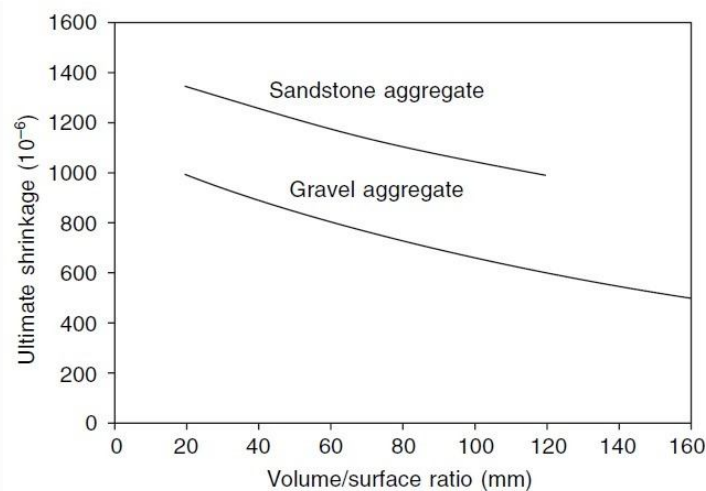
۱. مقدار آب در بتن (نسبت آب به سیمان) : نسبت آب به سیمان با مقدار افت بتن رابطه مستقیم دارد بنابراین با مقاومت فشاری بتن رابطه معکوس دارد ، هرچه نسبت آب به سیمان در بتن بیشتر باشد مقدار افت در بتن بیشتر می شود. معمولا در بتنی که نسبت آب به سیمان بالا است مقداری از آن به صورت آزاد باقی می ماند که پس از زمان گیرش اولیه و تبخیر شدن این آب اضافی بتن دچار افت می گردد. بهترین راه کاستن جمع شدگی ، کاهش مقدار آب در مخلوط بتن می باشد.
۲. رطوبت : محیط خشک موجب می شود که بتن به سرعت آب خود را از دست دهد و در این محیط افت بتن بیشتر است.
۳. درصد دانه های سنگی : هرچه درصد دانه های سنگی در بتن بیشتر باشد افت بتن کمتر خواهد بود.
۴. نوع سنگدانه ها : هرچه در بتن از مصالح سنگی مرغوب تری استفاده شود افت بتن کمتر است.
۵. عمر بتن : بیشترین مقدار افت بتن ۹۰ درصد در یک سال اول روی می دهد.
۶. استفاده از آرماتور در بتن : در قطعات بتن مسلح آرماتورها از جمع شدن قطعه بتن جلوگیری می کند و نتیجه این عمل به وجود آوردن نیروهای فشاری در فولاد است.



اثر نسبت آب به سیمان بر انقباض بتن بر اساس سنگدانه های مختلف



اثر نسبت زمان بر انقباض بتن بر اساس درصد رطوبت های مختلف



تأثیر نسبت حجم به سطح به افت ، انقباض و جمع شدگی در بتن

منبع : تکنولوژی بتن و آزمایشگاه همراه با طرح اختلاط نوشته مهندس فرهاد مصباح ایران دوست

۱- انواع بتن پلیمری

در بتن پلیمری از یک پلیمر به عنوان ماده چسبنده به جای سیمان استفاده می شود. انواع بتن های پلیمری را می توان به سه دسته زیر تقسیم کرد.

۱. بتن پلیمری (PC)، که از پلیمریزاسیون (بسیارش) مخلوطی از مونومر و سنگدانه ها تشکیل می شود و در آن هیچ نوع دیگری از مصالح چسبنده وجود ندارد.
۲. بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC) ، که به بتن پلیمری با سیمان پرتلند (PPCC) نیز موسوم است، و همان بتن با سیمان پرتلند معمولی است که معمولاً از جایگزین کردن یک لاتکس (امولسیون پلیمر) به جای بخشی از آب بتن ساخته می شود.
۳. بتن با پلیمر تزریقی (PIC) ، که از طریق تزریق کردن یا نفوذ دادن مونومر به درون بتن با سیمان پرتلند سخت شده و متعاقب آن پلیمریزاسیون مونومر در محل تولید می شود.



هر دوی PC و LMC ، از سال های دهه ۱۹۵۰ به صورت تجاری استفاده شده اند؛ PIC دیرتر ابداع شد و از دهه ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفت. بسته مصالح به کار برده شده، PC می تواند مقاومت های فشاری در حد ۱۴۰ مگاپاسکال را ظرف مدت یک ساعت و یا حتی چند دقیقه کسب کند و بنابراین برای کارهای بتنی فوری در معادن، تونل ها و جاده ها مناسب است.

LMC دارای قابلیت پیوستگی عالی به بتن قدیم است و از دوام زیاد در مقابل محلول های مخرب نیز برخوردار است؛ بنابراین عمدتاً برای روکش های کف های صنعتی و نیز برای بازسازی دال های آسیب دیده به کار گرفته می شود. در مورد PIC می توان گفت که به دلیل درزگیری ریز ترک ها و منافذ مویینه امکان تولید محصول غیر قابل نفوذی که مقاومت نهایی آن در حد PC باشد، وجود دارد. PIC برای تولید محصولات پیش ساخته با مقاومت زیاد و نیز برای بهبود دوام سطوح دال پل ها مورد استفاده قرار می گیرد. به دلیل هزینه زیاد این مصالح و دردسر های زیاد فناوری تولید (آنها به جز LMC) استفاده از بتن های حاوی پلیمر خیلی محدود است. در نتیجه فقط مرور خلاصه ای بر مواد، فن آوری تولید و خواص این نوع بتن ها خواهیم کرد.

۲- بتن پلیمری PC

آنچه که با عنوان بتن پلیمری (PC) نامیده می شود، مخلوطی از سنگدانه ها و یک پلیمر، به عنوان چسبنده است. برای به حداقل رساندن مقادیر چسبنده، بسیار مهم است که حداکثر ممکن جرم مخصوص توده خشک سنگدانه ها حاصل گردد. برای مثال، در یک تحقیقات انجام شده در انستیتوی تحقیقات ساختمان در اوهاما، در کشور ژاپن با استفاده از سنگدانه ی درشت با دو نوع دانه بندی مختلف ولی با حداکثر اندازه ۱۹mm و ماسه با پنج نوع دانه بندی سعی گردید که منحنی فولر برای حداکثر جرم مخصوص مخلوط سنگدانه ها به دست آید. منافذ محدوده ی ۲۰ تا ۲۵ درصد با مخلوطی از رزین پلی استر غیر اشباع ۱:۱ و سنگ آهک پودر شده، پر شدند. مهم آن بود که از سنگدانه های خشک استفاده شود، زیرا رطوبت سبب آسیب دیدگی جدی در خواص این نوع بتن می شود. در تحقیقات فوق الذکر، که در ژاپن صورت گرفت، یک کاتالیزور پروکسیدی و یک تسریع کننده، با مونومر مخلوط گردیدند تا در نتیجه، پلیمریزاسیون بتن توسعه پیدا کند. برای عمل آوری، از دو روش مختلف استفاده شد. یک عمل آوری حرارتی در ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد، و دیگری عمل آوری در دمای اتاق در ۲۰ درجه سانتی گراد. مقاوت فشاری نمونه های عمل آوری شده با حرارت، ظرف مدت ۵ ساعت به حدود $\text{Psi } 2000$ رسید، در حالی که نمونه هایی که به طور معمولی عمل آوری شده بودند، پس از ۷ روز در حدود $\text{Psi } 1500$ مقاومت داشتند. رزین های پلی استر خواستار بیشتری دارند، زیرا نسبت به بقیه محصولات از هزینه نسبتاً کمتری برخوردارند. محصولات تجاری با فرمول های مختلفی موجودند، که بعضی از آنها قابلیت سخت شدن و کسب مقاومت در حد $\text{Psi } 1500$ در مدت چند دقیقه بدون اعمال حرارت را دارند. رزین های اپوکسی گران ترند، ولی می توانند مزایایی نظیر چسبندگی به سطوح خیس را داشته باشند. به نظر می رسد که استفاده از مونومر استایرن، و متیل متاکریلیت (MMA) همراه با کاتالیزور پروکسید بنزوئیلی و یک پیش برنده ی آمینی، در بتن های پلیمری (PC) رو به گسترش باشد. با افزودن یک ماده ی جفت کننده ی سیلانی به سیستم مونومر بتن پلیمری، چسبندگی بین پلیمر و سنگدانه زیاد می شود و در نتیجه محصولی با مقاومت بیشتر به دست می آید.



خواص بتن پلیمری (PC) عمدتاً، تابع مقدار و خواص پلیمر در بتن است؛ برای مثال، PC ساخته شده با MMA ماده ای ترد است که رابطه ی تنش - کرنش در آن، تقریباً خطی، و مقاومت نهایی آن زیاد است. مشخصات متعارف یک بتن پلیمری پلی استری و

یک بتن پلیمری با پلی متیل متاکریلیت در جدول ذیل درج شده است. گوگرد، که یک محصول جنبی پالایشگاه نفت است، دارای لزجت کم در دمای ۱۲۰ درجه است. این ماده، به طور موفقیت آمیزی برای ساخت PC به کار رفته است. به دلیل مقاومت شیمیایی خوب و مقاومت اولیه و مدول ارتجاعی زیاد بتن های پلیمری، کاربرد صنعتی آنها عمدتاً در روکش ها و کارهای تعمیراتی است.

بتن خود تراکم چیست؟

خصوصیات حرارتی و خزشی بتن پلیمری، معمولاً از نظر استفاده از آن در سازه مناسب نیست. طبق نظر لات (Lott) و همکارانش، بتن های پلی استری ویسکوالاستیک هستند و تحت بارگذاری فشاری ثابت، در حد تنش های ۲۵ درصد برای بارگذاری ۱۰۰۰ ساعت سبب کاهش ظرفیت مقاومت نهایی آن نگردید. بنابر این پژوهشگران توصیه می کنند که در هنگام استفاده از بتن استری در سازه هایی که دارای نسبت زیاد بار زنده به بار مرده هستند. نیز در سازه های مرکبی که در آنجا بتن پلی استر ممکن است در بارگذاری دراز مدت دچار وادادگی شود، توجه خاصی به رفتار آن بشود.

۳- بتن پلیمری اصلاح شده با لاتکس LMC

در خصوص بتن اصلاح شده با لاتکس در یک نوشته جدا مطالبی تهیه شده که از اینجا می توانید آن را مطالعه کنید.

۴- بتن پلیمری تزریقی PIC

همانطور که قبلاً ذکر کردیم، اهمیت عمده PIC اساساً در این است که اگر بپذیریم که منافذ، مسئول مقاومت کم و همچنین دوام ضعیف بتن در محیط های سخت هستند، لذا می توانیم نتیجه بگیریم که حذف آنها، از طریق پر کردن آنها با پلیمر باید خصوصیات مصالح را بهبود بخشد. در بتن سخت شده، منافذ مویینه و ریز ترک ها، خیلی پیچ و خم دار است. چنانچه لزجت مایع زیاد باشد و منافذ باشد و منافذ موجود در بتن، خالی نباشند (زیرا آنها شامل آب و هوا هستند)، لذا برای یک مایع بسیار مشکل است که بتواند به داخل آن نفوذ کند. بنابراین، برای تولید PIC، نه تنها انتخاب یک مایع با لزجت کم، برای نفوذ به داخل بتن، ضروری است بلکه همچنین، بتن، قبل از آنکه در معرض فرآیند نفوذ قرار گیرد، می باید خشک و مکیده شود.

معمولاً، از مونومر هایی نظیر متیل متاکریلیت (MMA) و استایرن، که دارای لزجت کم، نقطه ی جوش زیاد (افت کم ناشی از تبخیر) و قیمت کم هستند، برای تزریق به داخل بتن استفاده می شود. مونومر، پس از نفوذ به داخل بتن، باید در محل پلیمریزه شود. این روند به سه طریق قابل انجام است. یک ترکیب از مواد پیش برنده شیمیایی و کاتالیزور ها، برای پلیمریزه شدن در دمای اتاق قابل استفاده می باشد؛ اما این روش چندان رضایت بخش نیست زیرا روند آن کند است و کمتر قابل کنترل می باشد. همچنین اشعه گاما می تواند موجب پلیمریزاسیون در دمای اتاق بشود، اما خطر این اشعه برای سلامتی، سبب شده است که از پذیرش وسیع این روش، در عمل اجتناب شود.

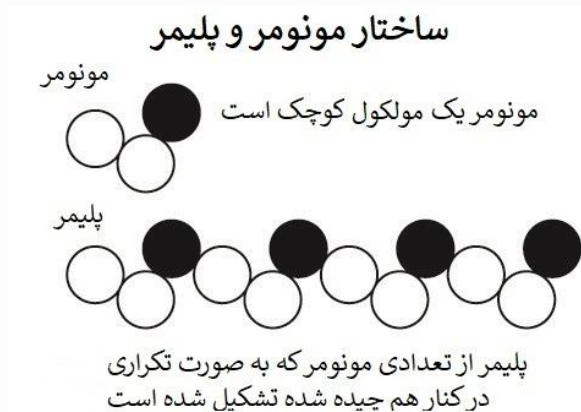
روش سوم، که معمولاً به کار گرفته می شود، شامل استفاده از مخلوطی از مونومر و کاتالیزور برای تزریق است و در نتیجه آن، پلیمریزاسیون مونومر، از طریق حرارت دادن بتن در دمای ۷۰ الی ۹۰ بخار، آب داغ و یا اجاق های اشعه مادون قرمز انجام می شود. با توجه به مطالب فوق، چنین به نظر می رسد که فن آوری تولید PIC بسیار پیچیده تر از بتن معمولی است. هر چند که فن آوری هایی ابداع شده است که تزریق در بتن سخت شده بتواند در محل انجام شود، ولی بنا به دلائل مسلم، اعضای PIC معمولاً در کارخانه های محصولات پیش ساخته، ساخته می شوند.

۱-۴- توالی عملیات تزریق پلیمر در بتن

• **ساخت اعضای بتن معمولی در جا:** همانطور که بعداً تشریح می شود، از آنجاییکه کیفیت بتن قبل از نفوذ، از نظر خواص محصول نهایی مهم نیست، هیچگونه مراقبت خاصی در انتخاب مصالح و نسبت اختلاط بتن لازم نیست. ضخامت مقطع به طور کلی به حد اکثر حدود ۱۵۰ mm محدود می باشد، زیرا نفوذ کامل در مقاطع ضخیم مشکل است.

عمل آوری اعضا: پس از خارج کردن اعضا از قالب ها، عمل آوری آنها در دماهای محیط، از طریق عمل آوری مرطوب معمولی برای مدت ۲۸ روز و یا ۷ روز مناسب است، زیرا خواص نهایی PIC تابع کیفیت تراوایی بتن نیست. برای برنامه زمان بندی تولید سریع، ممکن استفن آوری های عمل آوری نیز اعمال گردد.

خشک کردن و مکش: زمان و دمای مورد نیاز برای خارج کردن آب آزاد از منافذ مویینه از محصولاتی که با رطوبت عمل آور شده اند، تابع ضخامت عضو است. ممکن است لازم باشد که یک نمونه استوانه ای با ابعاد $150 \times 300 \text{ mm}$ به مدت ۳ تا ۷ روز در دمای خشک شدن معمولی یعنی (۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس) قرار گیرد تا همه ی آب آزاد آن خارج شود. دماهایی در حد ۱۵۰ تا ۱۷۵ درجه می تواند روند خشک شدن را تسریع بخشد، بنابر این فرآیند در ۱ تا ۲ روز کامل می شود؛ اگر تمام منافذ و ریز ترک ها در نتیجه نفوذ مونومر پر شوند، ممکن است که خطر ترک خوردگی حرارتی ناشی از حرارت دادن و سرد کردن سریع چندان اهمیت نداشته باشد.



اگر نفوذ نسبتاً سریع (در مدت ۱ ساعت) و عین حال کامل، مد نظر باشد، اعضای خشک شده باید قبل از غوطه ور شدن در مونومر باید مکیده شوند. انجام این روند ممکن است در کار بردهای دوام ضروری نباشد. در چنین حالتی، غوطه ور کردن بتن خشک شده در درون مونومر در تمامی طول شب، بدون مکش قبلی آن، موجب می شود که عمق نفوذ، به نصف تا سه چهارم ضخامت، نسبت به سطح ورود مونومر برسد.

غوطه ور کردن بتن خشک شده، در داخل مونومر: تزریق درجای بتن در کارگاه ممکن است از طریق به شکل حوضچه در آوردن سطح آن حاصل شود، اما اعضای پیش ساخته مستقیماً در مخلوط مونومر – کاتالیزور غوطه ور می گردند. مونومرهای تجاری شامل بازدارنه ها هستند. این مواد، از پلیمریزه شدن زودرس پلیمرها در هنگام انبار کردن آنها جلوگیری می کنند؛ کاتالیزور ها، برای غلبه بر تاثیر ناشی از استفاده از بازدارنده ها به کار می روند. در صورت استفاده از MMA، می توان به میزان ۳ درصد وزنی پروکسید بنزویلی را به عنوان کاتالیزور به کار برد.

بتن با مقاومت زیاد (بتن پر مقاومت) یا HSC

همانطور که قبلاً ذکر شد، به دلیل سیستم منافذ پیچ و خم دار بتن سخت شده، تزریق کامل نمونه های خشک شده از طریق غوطه ور کردن یا تراوش خیلی مشکل است. در مطالعه ای که ساپلر (Sopler) و همکارانش انجام دادند، مکعب های ۱۵ سانتی متری بتن با نسبت های آب به سیمان ۰.۵۶، برای مدت ۷ روز تحت عمل آوری مرطوب قرار گرفتند. سپس به مدت ۴ روز، در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس خشک شدند، و برای مدتی بین ۵ دقیقه تا ۴۸ ساعت در MMA غوطه ور شدند. بازرسی نمونه های پلیمریزه شده غوطه ور به مدت ۴۸ ساعت نشان داد که کل وزن پلیمر حدود ۴.۵ درصد وزن بتن بوده است و به درون مغزه ۳ سانتیمتری میانی نمونه، هنوز نفوذی صورت نگرفته است (بنابر این ۳.۵ سانتیمتر عمق نفوذ از هر سطح حاصل شده است). در ۵ دقیقه اول در معرض قرارگرفتن بتن، حدود ۳۸ درصد از نفوذ ۴۸ ساعته پلیمر تحقق یافت؛ بنابر این، به تدریج سرعت نفوذ کاهش یافت.

عمق نفوذ در زمانهای ۱۰۰ دقیقه، ۴ ساعت و ۸ ساعت به ترتیب برابر با ۲، ۲.۵ و ۳ سانتیمتر بوده است. در نتیجه وقتی که تزریق کامل مد نظر باشد، غیر از غوطه ور شدن نمونه ضروری است که مونومر تحت فشار تزریق شود.

• **عایق کردن مونومر:** برای جلوگیری از افت مونومر از طریق تبخیر در مدت حمل و پلیمریزاسیون، اعضای تزریق شده می باید به گونه ای موثر، از طریق قرارگیری آنها در ظروف فولادی، یا پوشانیدن چند لایه فویل آلومینیومی به دور آنها عایق شوند؛ در بازسازی دال های پل ها، این امر، از طریق پوشانیدن سطح با ماسه حاصل می شود.

پلیمریزه کردن مونومر: همانطور که قبلا تشریح شد، روش پلیمریزاسیون کاتالیزوری - حرارتی ترجیح داده می شود. زمان لازم برای تکمیل پلیمریزاسیون مونومر در اعضای عایق شده ی قرار گرفته در معرض بخار، آب داغ یا هوا، یا حرارت مادون قرمز در ۷۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس ممکن است از یک تا چندین ساعت باشد.

در مورد مخلوط MMA و پروکسید بنزوئیلی، هیچ اختلافی بین مقاومت نمونه های پلیمریزه شده در دمای ۷۰ با هوای داغ برای برای مدت ۱۶ ساعت، یا آب داغ برای مدت ۴ ساعت مشاهده نگردید. پلیمریزه کردن در آب داغ، روند تولید پیش ساخته را با حذف نیاز به عایق بندی، آسان می کند. خواص مکانیکی PIC در جدول فوق نشان داده شده است. مطالعات مختلف نشان داده است که خواص PIC تحت تاثیر کیفیت اولیه بتن تزریق نشده نمی باشد. برای مثال، ساپلر و همکارانش، بتن هایی با سه کیفیت مختلف ۳۰۰۰ Psi یا ۲۰ MPa (نسبت آب به سیمان ۰,۳۸) را در معرض یک فرایند یکسان قرار دادند؛ تمامی این بتن ها، خصوصیات مقاومتی مشابهی را کسب کردند، یا این وجود در بتن با نسبت آب به سیمان ۰,۸۳ به پلیمر زیاده تری نیاز بود.

همانطور که انتظار می رود، درزگیری ریز ترک ها و منافذ، تردی ماده را تغییر می دهد. منحنی تنش - کرنش در فشار ، تا حدود ۷۵ درصد بار نهایی، خطی باقی می ماند و میزان انحراف از خطی بودن در هنگام گسیختگی، فقط در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد است. به دلیل فقدان آب جذب شده، جمع شدگی و خزش چشمگیر نیستند.

با وجود مقاومت زیاد اعضای PIC این اعضا برای استفاده سازه ای از اهمیت کمی برخوردار هستند. زیرا ابعاد و اندازه ی آنها محدودیت دارد. در مواردی که هدف اصلی دوام عالی مصالح در برابر سایش، عمل یخ زدگی و تهاجم ناشی از محلول های شیمیایی قوی می باشد، توجه زیاد و ویژه ای به استفاده از PIC شده است. خصوصیات دوام PIC، نوید بخش اصلاح زیر کار بتن، در ترمیم بتن عرشه های پل ها است. بدیهی است که سیستم های روکش هایی که عموما برای ترمیم جاده های تخریب شده (PC, LMC, یا بتن ساده با مقاومت زیاد با سیمان پرتلند) استفاده می شود، ممکن است کاملا با زیرکار بتن ترمیم نشده سازگار نباشد.

کید (Cady) و همکارانش ترکیبی از چندین اصلاح زیر کار بتن و بتن روکش را تحقیق کرده و نتیجه گرفته اند که فقط زیر کار از نوع MMA (اعم از غوطه ور شده یا تزریق شده) بر اثر جداسدگی ، آسیب ندید و دوام بسیار خوبی در مقابل عمل یخ زدگی از خود نشان داد.

خزش در بتن

مشاهده گردیده است که رابطه بین تنش و تغییر شکل نسبی بتن تابعی از زمان است ، افزایش تدریجی تغییر شکل نسبی تحت بار با گذشت زمان را خزش می نامند. به عبارت دیگر خزش آن خاصیتی از بتن می باشد که به علت آن ، بتن به تغییر شکل خود در اثر بارهای دراز مدت تحت تنش ثابت در محدوده قابل قبول الاستیک (کمتر از ۰,۵fc) ادامه می دهد. با افزایش زمان بارگذاری ، مقدار این تغییر شکل غیر الاستیک نیز افزایش یافته و مقدار کل آن ممکن است چند برابر تغییر شکل های کوتاه مدت الاستیک باشد. ولی با گذشت زمان سرعت افزایش تغییر شکل کاهش یافته و منحنی خزش دارای مجانب خواهد بود. از آنجایی که تغییر شکل در دراز مدت می تواند چندین برابر بزرگتر از تغییر شکل نسبی در هنگام بارگذاری باشد ، بنابراین مسئله خزش در سازه های بتنی از اهمیت خاصی برخوردار است. بتن فقط در برابر بارهای کوتاه مدت به طور الاستیک رفتار می کند و به علت تغییر شکل های اضافی در اثر زمان ، رفتار اصلی آن به صورت مصالح غیر الاستیک می باشد.

عوامل موثر بر خزش

مهم ترین عوامل موثر بر خزش عبارتند از

۱. جنس و مقدار مصالح سنگی: هرچه در بتن نسبت مصالح سنگی به سیمان بیشتر باشد و سنگدانه ها سخت تر باشد مقدار خزش کمتر خواهد بود. افزایش مقدار حجمی سنگدانه ها از ۶۵ درصد به ۷۵ درصد می تواند خزش را به میزان ده درصد

کاهش دهد. علاوه بر مقدار مصالح سنگی در بتن عواملی مانند دانه بندی سنگدانه ها، حداکثر اندازه سنگدانه در بتن، شکل ظاهری سنگدانه، مدول الاستیسیته سنگدانه در بتن و تخلخل آن ها عوامل موثر بر میزان خزش می باشد.

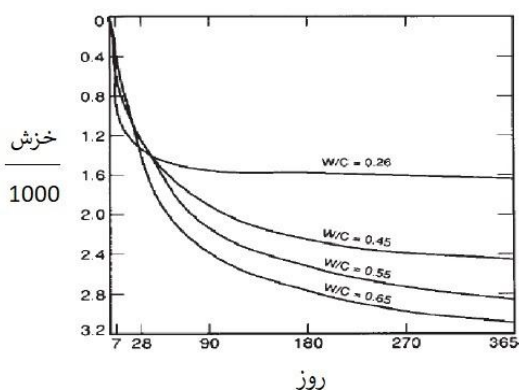
۲. سن بتن در موقع بارگذاری و مدت بارگذاری بتن: تاخیر در بارگذاری موجب کاهش خزش بتن می شود. خزش در بتن برای مدت خیلی طولانی ادامه می یابد، دراز مدت ترین آزمایشی که تاکنون انجام شده است نشان می دهد که بعد از گذشت ۳۰ سال افزایش کمی در خزش صورت گرفته است. پس از این مدت به علت تداخل اثر کرناته شدن نمونه ها با اثر خزش آزمایشات متوقف گردیدند.

۳. مقاومت فشاری بتن: خزش با مقاومت فشاری بتن رابطه معکوس دارد بنابراین با نسبت آب به سیمان ارتباط مستقیم دارد. از آنجا که مقدار سیمان بر مقاومت فشاری بتن در عمر مشخص تاثیر می گذارد بنابراین بر میزان خزش نیز موثر است. ولی نوع سیمان تا آنجا بر خزش اثر می گذارد که بر مقاومت بتن در هنگام وارد آمدن بار موثر است.

۴. رطوبت و دمای محیط: هرچه رطوبت نسبی هوا کمتر باشد مقدار خزش بیشتر است.

۵. شدت تنش وارده در بتن: هرچه تنش وارده کمتر باشد مقدار خزش نیز کمتر است.

بتن اتوکلاو شده (عمل آوری بتن تحت فشار زیاد)



راهکارهای کاهش مقدار خزش

۱. کم کردن عواملی که موجب تشدید خزش می گردد که مهمترین آن ها در قسمت قبل بیان شد.

۲. استفاده از حداکثر مقدار مجاز میلگرد

روان کننده بتن، انواع و اثرات آن در بتن

روان کننده ها در بتن به منظور دست یابی به یک یا چند مورد از موارد ذیل در بتن مورد استفاده قرار می گیرد.

۱. کاهش نسبت آب به سیمان با حفظ کارایی و رسیدن به مقاومتی بالاتر

۲. بالا بردن کارایی و سادگی بتن ریزی در قالب خصوصا در سازه های بتن آرمه با میلگرد فشرده و موقعیت های غیر قابل دسترس

۳. کاهش مقدار سیمان مصرفی با حفظ کارایی و در نتیجه کاهش حرارت ناشی از هیدراتاسیون در بتن

روان کننده ها مطابق با آیین نامه ASTM C494-92 به سه نوع زیر تقسیم بندی می شود.

- نوع A: افزودنی کاهش دهنده ی آب (ماده افزودنی کندگیر کننده)

- نوع D: کاهش دهنده ی آب و کندگیر کننده

- نوع E: کاهش دهنده ی آب و تسریع کننده



مواد افزودنی نوع A در آیین نامه [ASTM](#) کاهش دهنده ی آب می باشد، اما اگر خاصیت کاهش دهنده ی آب آن ها همراه با ایجاد تاخیر در گیرش باشد در گروه D قرار می گیرند و اگر خاصیت کاهش دهنده ی آب همراه با تسریع در گیرش باشد در گروه E قرار میگیرد. در استاندارد ملی ایران مواد افزودنی که بر روی چند خاصیت بتن تازه یا سخت شده اثر می گذارند و بیش از یک عملکرد مشخص را دارا باشد ماده افزودنی چند منظوره می نامد. آیین نامه بتن ایران بیان می دارد که ماده افزودنی کاهنده آب به منظور تقلیل مقدار آب مصرفی در شرایط یکسان روانی بتن ، با افزایش روانی بتن در شرایط یکسان میزان آب مصرفی به کار می رود. این موارد به دو نوع کاهنده معمولی و کاهنده قوی آب تقسیم می شود. آیین نامه بتن ایران بیان می دارد ماده افزودنی کندگیر کننده به منظور تاخیر انداختن گیرش بتن به کار می رود و به سه نوع کندگیر کننده، کندگیر کننده و کاهنده آب و کندگیر کننده و کاهنده قوی آب تقسیم می شود. هدف از به کار بردن مواد افزودنی کاهش دهنده آب در بتن کاستن از مقدار نسبت آب به سیمان با حفظ روانی مورد نظر و یا افزایش روانی در یک نسبت آب به سیمان ثابت و افزایش مقاومت فشاری و کاهش خطراتی مانند آب انداختن بتن، جداسدگی ، افت ، خزش و ... در بتن می باشد. مطابق با استاندارد ملی ایران ماده افزودنی کاهنده آب روان کننده ماده افزودنی است که بدون تغییر روانی ، مقدار آب مخلوط بتن را کاهش می دهد یا بدون تغییر در مقدار آب، اسلامپ و روانی را افزایش می دهد یا هر دو اثر را به طور همزمان ایجاد می کند. به طور کلی مواد افزودنی کاهش دهنده آب بر روی انواع سیمان های پرتلند و همچنین سیمان های پر آلومین و یا سیمان های پوزولانی موثر هستند ولی تاثیر این مواد بر روی سیمان های گوناگون متفاوت است (بیشترین اثر بر روی سیمان پوزولانی دارد) میزان واقعی تاثیر هر ماده افزودنی کاهش دهنده ی آب به مقدار سیمان، مقدار آب، نوع و اندازه سنگدانه ها ، وجود پوزولان ها ، مواد حباب زا و دما بستگی دارد.

خوردگی میلگرد (آرماتور) در بتن مسلح در اثر حمله کلریدی

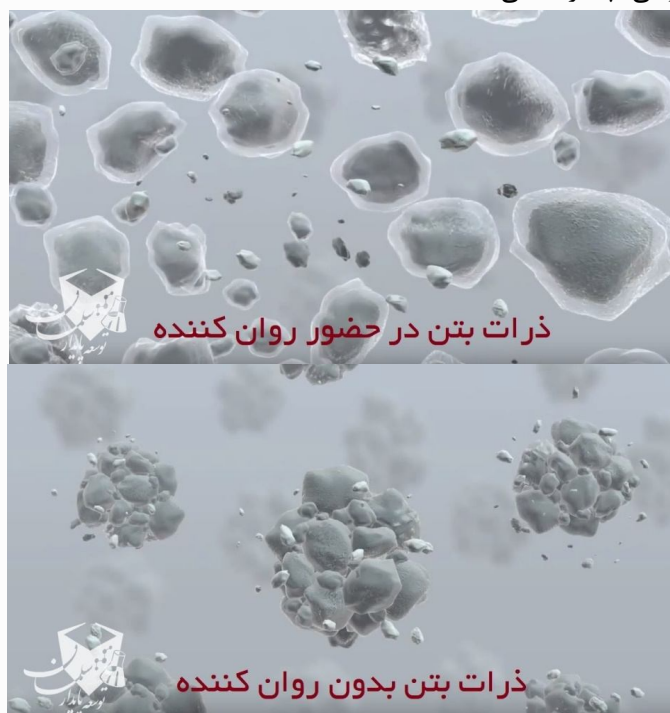
مطابق با آیین نامه بتن ایران کاهنده های معمولی (روان کننده ها) حداقل ۵ درصد و کاهنده های قوی (فوق روان کننده ها) حداقل ۱۲ درصد آب اختلاط بتن را در کارایی ثابت ، نسبت به بتن شاهد تقلیل می دهند. افزودنی های کاهنده معمولی می تواند کندگیر کننده و یا تسریع کننده باشد در حالی که افزودنی های کاهنده قوی آب معمولاً عملکرد کندگیر کننده دارند. در بتن های ساخته شده با بعضی از افزودنی های کاهنده آب ، با وجود کاهش مقدار آب ، افزایش قابل توجه در میزان جمع شدگی خشک بتن قابل مشاهده است.

مقررات ملی ساختمان حداکثر میزان مصرف مواد افزودنی را ۵ درصد وزنی سیمان تعیین کرده است. استفاده از کلرید کلسیم فقط در بتن بدون فولاد مجاز است و حداکثر مقدار مصرف آن ۲ درصد وزنی سیمان است. در هر حال مواد افزودنی نباید بیشتر از مقداری که تولید کننده مشخص کرده است مصرف شوند. هنگامی که بتنی با نسبت آب به سیمان پایین ساخته می شود چنانچه از روان کننده در این بتن استفاده نگردد بتنی با یکنواختی یکسان به دست نمی آید. زیرا اولاً آب دارای کشش سطحی زیاد است و ثانیاً ذرات سیمان تمایل به جمع شدگی و به هم پیوستن و تشکیل گلوله های سیمانی را دارند. برای رفع این مشکل استفاده از روان کننده ها در بتن بسیار کارساز خواهد بود.

عملکرد اینگونه مواد افزودنی در بتن به این صورت است که این مواد همراه با آب جذب سطح سیمان می شوند و در سطح مشترک دو فاز آمیخته نشدنی بار منفی ایجاد می نماید و نیروهای فیزیکی و شیمیایی موثر بر سطح مشترک را تغییر می دهند. این بار منفی ایجاد شده نیروی دافعه ای بین کلیه ذرات بتن ایجاد می نماید و موجب پراکنده شدن آن ها و باعث پخش و یکنواختی بیشتر بتن می گردد. در اثر این بار منفی ایجاد شده ، حباب های هوا نیز دفع شده و نمی توانند به ذرات سیمان بچسبند و این بار منفی ایجاد شده از لخته شدگی که باعث محبوس شدن قسمتی از آب بتن و متمرکز شدن بتن در یک محل می گردد جلوگیری می نماید در نتیجه به علت پخش شدن یکنواخت سیمان مساحت سطح سیمان را که می تواند در مقاومت شرکت کند افزایش می یابد و از طرف دیگر به علت عدم محبوس شدن آب در بین ذرات سیمان ، آب موجود برای هیدراتاسیون افزایش می یابد.

الزامات برای بتن های در معرض یون کلراید در پیش نویس مبحث نهم

علاوه بر مطالب فوق که باعث یکنواختی بیشتر بتن می گردد بار الکتریسیته ساکن ایجاد شده سبب می شود که در اطراف هر ذره سیمان قشری از مولکول های جهت داده شده آب ، که از نزدیک شدن ذرات به یکدیگر جلوگیری می نماید تشکیل گردد. بنابراین ذات قابلیت تحرک بیشتری پیدا می کنند و روانی افزایش می یابد از طرف دیگر به علت پخش شدن یکنواخت ذرات سیمان در بتن مساحت سطح بیشتری از ذرات سیمان هیدراته شده و در کسب مقاومت شرکت خواهد کرد و بنابراین هیدراتاسیون با روند سریع تری (نسبت به بتن بدون افزودنی) پیشرفت می نماید.



روان کننده ها در بازار به نام پلاستی سائزر نامیده می شوند.

میزان تاثیر مواد افزودنی در رابطه با مقاومت ، به میزان قابل ملاحظه ای با ترکیبات سیمان تغییر می کند. بیشترین تاثیر وقتی است که سیمان حاوی قلیایی کم و با مقدار کم $C3A$ باشد بنابراین مواد افزودنی کاهش دهنده ی آب در بتن هایی که با سیمان های پوزولانی ساخته می شوند عملکرد بهتری نسبت به سیمان های پرتلند (پرتلند نوع ۱ الی ۵) از خود نشان می دهند.

در حالی که ازدیاد مصرف مواد افزودنی کاهش دهنده ی آب کارایی را افزایش می دهد باعث تاخیر قابل ملاحظه ای در گیرش می گردد ولی این تاخیر در گیرش باعث کاهش مقاومت دراز مدت بتن نمی گردد.

ماده اولیه روان کننده نوع D به دو گروه اصلی تقسیم می گردند.

- اسیدهای لیگنوسولفونیک و نمک های آن
- اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک و نمک های آن

مشتقات این مواد به عنوان کندگیر کننده عمل نمی نمایند و حتی ممکن است رفتار تسریع کنندگی نیز داشته باشند بنابراین اینگونه مشتقات برای مواد افزودنی کاهش دهنده ی آب از نوع A و E به کار برده می شود. در مواقعی که پایه اصلی مواد افزودنی کاهش دهنده ی آب در مبنای لینگوسولفونات باشد می تواند تاثیراتی بر [هوازایی](#) بتن داشته باشد این مسئله از دو نظر اهمیت دارد:

۱. از آن جایی که این امر باعث کاهش مقاومت بتن می گردد باید با افزودن مقدار کمی از یک افزودنی کاهنده ی هوا مانند تری بوتیل فسفات مقدار حباب زایی بتن را کنترل نمود.
۲. از طرف دیگر حباب های هوا تولید شده کارایی بتن را بهبود می بخشد. مواد افزودنی کاهش دهنده ی آب که دارای پایه لینگوسولفونات هستند خطر جمع شدگی بتن را افزایش می دهد اما دیگر مواد افزودنی این خطر را ندارند.

منبع: [تکنولوژی بتن و آزمایشگاه همراه با طرح اختلاط](#) نوشته مهندس فرهاد مصباح ایران دوست

- مقدمه

واژه زئولیت در زبان یونانی از معنای سنگ جوشان اقتباس شده است زیرا هنگامی که در برابر فوتک کانی شناسی قرار می گیرد و گرم می شود، آب آن به صورت بخار بیرون می آید و منظره ای مانند جوشیدن پدید می آورد. این کانی از نظر ترکیب و محل پیدایش با همدیگر همسانی چشمگیر دارند. این کانی ها دربردارنده مقدار زیادی آب هستند و سختی آن ها از ۳٫۵ تا ۵٫۵ و جرم حجمی آن ها از ۲ تا ۲٫۴ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر است. [این کانی ها](#) بزرگترین گروه تکتوسیلیکات ها را تشکیل می دهند و ۳۵ نوع توپولوژی مختلف در آن ها شناسایی شده است که احتمالا انواع بیشتری نیز وجود خواهد داشت. تاکنون بیش از ۴۰ نوع زئولیت طبیعی و بیش از ۱۵۰ نوع مصنوعی شناخته یا ساخته شده است.



انواع مختلف زئولیت در ساختمان شبکه سه بعدی سیلیکات های آب دار نوع داربستی (تکتوسیلیکات) متبلور می شوند. زئولیت ها کانی های آلومینوسیلیکات آب دار که دارای عناصر فلزی قلیایی و یا قلیایی خاکی به ویژه سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، استرانسیم و باریم است. این کانی ها ارتباط تنگاتنگی با فلدسپات ها و فلدسپاتوئیدها دارند. در ذیل برخی از کانی های خانواده زئولیت لیست شده اند. خواص فیزیکی و شیمیایی این کانی های طبیعی متفاوت بوده و در بین نمونه های مختلف یک نوع خاص از زئولیت نیز تفاوت هایی در خواص فیزیکی (اندازه منفذ، اندازه بلور، ظرفیت تبادل یونی و ظرفیت جذبی) و ترکیب شیمیایی وجود دارد.

- آنالسیم $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- ناترولیت $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- اسکولسیت $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- تامسونیت $\text{NaCl}_2\text{Al}_5\text{H}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- هیولاندیت $\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_{14}\text{O}_{36} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
- فیلیپسیت $(\text{K}_2, \text{Na}_2, \text{Ca})(\text{Al}_2\text{Si}_6)\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- هارموتوم $(\text{K}_2, \text{Ba})(\text{Al}_2\text{Si}_6)\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- استیلیت $(\text{Na}_2, \text{Ca})(\text{Al}_2\text{Si}_7)\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- شابازیت $(\text{Na}_2, \text{Ca})(\text{Al}_2\text{Si}_4)\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- لامونتیت $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4)\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- موردنیت $(\text{K}_2, \text{Na}_2, \text{Ca})(\text{Al}_2\text{Si}_{10})\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- کلینوپتیولیت $\text{KNa}_2\text{Ca}_2(\text{Si}_{29}\text{Al}_{17})\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$

۲- نحوه تشکیل

- زئولیت های طبیعی که شامل تشکیل زئولیت در دریاچه های قلیایی و نمکی، سیستم های باز آب های زیر زمینی، خاک های محیط های قلیایی و رسوبات عمیق دریایی است.
- تولید به روش مصنوعی: ابتدا سه مولکول آب و یک مولکول آلومینیم اکسید را در محلول داغ سدیم هیدروکسید حل و سپس با سیلیکات سدیم مخلوط می نمایند، مخلوط حاصل به مخازن ویژه تشکیل ژل منتقل می شود. بلورهای زئولیت در حدود دمای ۹۴ درجه سانتی گراد از محلول ژل شروع به تبلور می نماید.
- روش دیگر آلتراسیون کائولین است که ابتدا کائولین حرارت داده می شود تا به متاکائولین تبدیل شود بعد آن را کلسینه نموده و سپس با استفاده از محلول اسیدی مقداری از سیلیس آن را آزاد نموده و محصول را با NaOH شستشو می دهند.

۳- طبقه بندی زئولیت ها

چند نوع طبقه بندی برای زئولیت ها انجام شده است. یک طبقه بندی قدیمی بر اساس شکل بلور است. در این طبقه بندی زئولیت ها به بلور های رشته ای، ستونی و مختلط تقسیم بندی می شوند. یک نوع طبقه بندی دیگر بر اساس منشا شکل گیری آن ها است. که از این نظر زئولیت ها به دو دسته رسوبی و آتش فشانی تقسیم بندی می شوند.

زئولیت های موجود در ایران رسوبی هستند در حالی که اکثر گونه های طبیعی موجود در جهان از نوع آتش فشانی هستند. نوع سوم طبقه بندی بر اساس خواص اسیدی یا بازی زئولیت ها بنا شده است. در این تقسیم بندی زئولیت هایی که نسبت آلومینیوم به سیلیسیم در آن ها در دامنه ۰٫۸ به بالا باشند جز زئولیت های اسیدی و آن هایی که نسبت بین ۰٫۵ تا ۰٫۶ و کمتر باشد جز زئولیت های قلیایی محسوب می شوند.

۴- خواص ژئولیت ها

به طور کلی تراکم ژئولیت های طبیعی در دامنه ۱,۹ تا ۲,۲ میلی گرم در متر مکعب است. با وجود این تراکم ژئولیت هایی که مقادیر زیادی باریم و استرانسیم دارند، ممکن است در حدود ۲,۵ تا ۲,۸ میلی گرم در متر مکعب باشند. اکثر مواد ژئولیتی بی رنگ یا سفید هستند با این حال بعضی از آن ها که حاوی مقادیر جزئی یا کم آهن هستند به رنگ زرد کم رنگ یا قهوه ای مایل به قرمز دیده می شوند. ژئولیت ها در حالت تعلیق باعث به وجود آوردن PH های ۹,۵ تا ۱۰,۵ شده و در نتیجه تجزیه کامل یا نسب موجب ایجاد PH های بالاتری نیز می گردند.



اگرچه اغلب ژئولیت های حاوی سیلیسیم Si کم یا متوسط (نسبت Si به Al به ترتیب برابر ۱,۵ به ۱ و ۲ به ۱,۵) در محلول های اسیدی با PH پایین تر از ۳ متلاشی می شوند. بعضی گونه های حاوی Si زیاد مثل کلینوپتیلولیت و مordenit در PH حدود ۲ نیز پایدار می باشند.

۵- مشخصه های اصلی ژئولیت

- ۱- درجه بالای آبدار (دهیدراته) شدن
 - ۲- در زمان بی آب (دهیدراته) شدن، تراکم پایین و فضاهای خالی بالایی دارند.
 - ۳- ساختمان بلوری اغلب ژئولیت ها موقع بی آب شدن، پایدار می ماند.
 - ۴- دارای خاصیت تبادل کاتیونی هستند.
 - ۵- بلور دهیدراته دارای کانال های یکنواختی از نظر مولکولی و اندازه می باشد.
 - ۶- خواص فیزیکی متنوعی از قبیل هدایت الکتریکی، خواص کاتالیتیکی، جذب و شبکه یونی دارند.
 - ۶- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی
- ژئولیت ها معمولا دارای چگالی بین ۲ تا ۲,۳ گرم بر سانتی متر مکعب هستند. اما ژئولیت های غنی از باریم، استثنا بوده و چگالی آن ها ممکن است بین ۲,۵ تا ۲,۸ گرم بر سانتی متر مکعب باشد.
- عموما ساختمان این نوع کانی باز است و در نتیجه سطح ویژه ای شبیه به کانی های سیلیکاتی ۱:۲ قابل انبساط از خود نشان می دهد. جذب آب در هر واحد سلولی ژئولیت نسبتا زیاد است.

البته میزان جذب آب بستگی به نوع زئولیت و همچنین نوع کاتیون های موجود در کانال های آن دارد. به طور کلی عرض کانال ها، اندازه کاتیون و انرژی هیدراسیون، تعیین کننده میزان آب جذب شده به وسیله این کانی ها هستند. ظرفیت تبادل کاتیونی زئولیت ها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم آن گزارش شده است.

به طور کلی عرض کانالها، انتشار یونی یا مولکولی، مقدار آب و هیدراته شدن، از عوامل مهم و تعیین کننده میزان ظرفیت تبادل کاتیونی آن ها است. زئولیت های می توانند مانند غربال عمل کنند. به عنوان مثال آنالیز می تواند سدیم را آزادانه با Ag, Ti, NH₄, K و Rb مبادله کند.

۷- کاربرد های زئولیت

از آنجا که این کانی کاربرد های وسیعی در صنایع مختلف دارند، تقاضای مصرف انواع طبیعی و مصنوعی بر حسب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (که مستقیماً به ساختمان بلوری و ترکیب شیمیایی بستگی دارد) متفاوت بوده و به سرعت رو به افزایش است.

۱. استفاده در مصالح ساختمانی: کاربرد زئولیت ها به عنوان ماده اولیه در صنایع سرامیک به دلیل توانایی تغییر ترکیب شیمیایی آن ها به روش تبادل یون، مزایای زیادی دارد. از جمله این مزایا می توان تولید سرامیک های رنگی را نام برد. به عنوان مثال وارد کردن آهن به صورت یون آهن دو ظرفیتی به ایجاد ماده ای با رنگ سبز منجر خواهد شد. از پدیده پف کردن و خارج شدن حباب ها از داخل زئولیت ها در ساختن سرامیک های متخلخل با دانسیته پایین استفاده می شود. همچنین کاربری آن ها در سیمان پوزولانی و بتن نیز متداول گشته است.

۲. استفاده در صنعت سیمان: در چند سال گذشته با توجه به خصوصیتی که این نوع کانی ها از نظر جذب آب و بعد از دهیدراته شدن پیدا می کنند، مورد توجه کارشناسان صنعت سیمان قرار گرفته است. زیرا که با استفاده از این کانی در مواد اولیه سیمان باعث تغییراتی در جذب آب و مشخصات فیزیکی بتن می شود که می تواند در دوام و پایداری بتن نقش مثبت و ارزنده ای داشته باشد.

۳. استفاده به عنوان پر کننده در صنایع کاغذسازی: زئولیت به دلیل وزن کم و دارا بودن خاصیت پوزولان می تواند به عنوان پر کننده در صنعت کاغذ مورد استفاده قرار گیرد.

۴. استفاده در داروسازی و پزشکی: از کلینوپتیلولایت می توان به عنوان جلادهنده در خمیر دندان حاوی فلوراید استفاده نمود. وجود این کانی باعث می شود یون های بیشتری به صورت همان یون باقی بمانند.

۵. استفاده به عنوان حام در سموم دفع آفات: با اضافه کردن کلینوپتیلولایت به این قبیل سموم مدت زمان تاثیر آن ها افزوده شده و باقیمانده آن در محیط زیست خطری در بر نخواهد داشت. استفاده از این ماده حتی در سموم دفع پرازیت های جلدی حیوانات مثل کنه، شپش، مایت یا جرب و غیره متداول گشته است.

۶. استفاده در شوینده: زئولیت ها بر خلاف فسفات هایی که هنوز در شوینده به کار می روند هیچگونه آلودگی محیط زیستی ایجاد نمی کنند. یون های کلسیم و منیزیم که باعث افزایش سختی آب می شوند و در فرآیند پاک کنندگی شوینده ها دخالت می نماید با استفاده از زئولیت های جذب می شوند. با استفاده از این نوع کانی خاصیت تولید کف شوینده و در نتیجه قدرت پاک کنندگی آن افزایش می یابد.

۷. استفاده در صنعت نفت به عنوان کاتالیز: امروزه بیشتر کاتالیزها از زئولیت ساخته می شود. با شناخت خواص کاتالیزوری زئولیت ها بسیاری از پژوهشگران علوم مختلف شیمی و پتروشیمی، واکنش های بسیاری را به کمک این کانی انجام داده اند.

۸. استفاده در صنعت نفت به عنوان جذب نفت و رفع آلودگی های نفتی: یکی از اصلی ترین کاربردهای زئولیت ها در صنعت نفت، اثرات جذب کنندگی آن است. با استفاده از زئولیت ها می توان لکه های نفتی را جذب و محیط زیست را از آلودگی پاک نمود. تجربیات متعدد نشان می دهد که مخلوطی از زئولیت، پرلیت، کربنات سدیم، اسید تارتاریک یک محلول آلی که بر روی هم وزن مخصوص نزدیک ۰.۵ گرم در سانتی متر مکعب دارد، قادر است بیش از ۲۰۰ ساعت در سطح آ باقی بماند و نفت را از سطح آب جذب و جمع آوری نماید. از این خاصیت در زمان وجود نشت نفت از تانکرهای بزرگ نفتی و یا سوانح اتفاق افتاده

برای این قبیل از تانکرها که باعث رها شدن حجم زیادی از نفت بارگیری شده در سطح دریاها می شود، می توان استفاده نمود.

عمق کربناسیون بتن

۸- نتیجه گیری

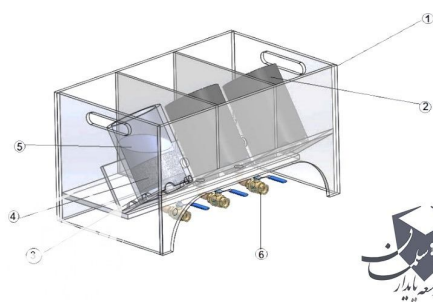
خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد کانی های ژئولیتی سبب کاربرد فراوان آن در صنایع مختلف شده است. در حال حاضر کاربرد آن به عنوان ماده افزودنی به سیمان جهت بهبود کیفیت بتن مد نظر قرار گرفته است. زیرا که با استفاده از این کانی در مواد اولیه سیمان باعث تغییراتی در جذب آب، مشخصات فیزیکی بتن می شود که می تواند در دوام و پایداری بتن نقش مثبت و ارزنده ای داشته باشد.

منبع

ژئولیت و کاربرد های آن در بتن. احمد زینالی. ماهنامه علمی تخصصی فن آوری سیمان اسفند ماه ۱۳۹۳ شماره ۸۰.

تست RCMT یا مهاجرت کلرید NT BUILD 492

این آزمایش شبیه سازی حالت غیر پایدار است و مقاومت بتن را در مقابل نفوذ کلرید ارزیابی می کند. نمونه ها به قطر ۱۰۰ میلی متر و ضخامت ۵۰ میلی متر استفاده می شوند. در تست RCMT مطابق شکل زیر نمونه ها در مخزن محلول ۱۰ درصد نمک طعام به عنوان محلول کاتولیت قرار داده می شوند و محلول ۰,۳ مول سدیم هیدروکسید به عنوان آنولیت بر روی نمونه ها ریخته می شود.



- ۱- محفظه کلی
- ۲- استوانه نگهداری نمونه بتنی
- ۳- محلول NACL
- ۴- نمونه بتن عمل آوری شده
- ۵- محلول NaOH

سپس ۳۰ ولت پتانسیل بین الکترودها اعمال می شود. البته جریان اندازه گیری می شود و اگر ضروری باشد پتانسیل اعمال شده باید تنظیم شود. مدت آزمایش بستگی به پتانسیل اعمال شده دارد. برای مثال اگر جریان اولیه حدود ۳۵ میلی آمپر باشد نشان می دهد که پتانسیل ۳۰ ولت مناسب است، بنابراین مدت ۲۴ ساعت کافی است.

شرکت دانش بنیان توسعه پایدار سلمان با ساخت اولین دستگاه تست RCMT با قابلیت همزمان تست های RCPT و هدایت الکتریکی گام بلندی را در عرصه تولید تجهیزات تست بتن برداشته است. برای مشاهده جزئیات این دستگاه اینجا را کلیک کنید. روش آزمایش در ASTM C1202 آمده است. در پایان آزمایش می توان ضریب مهاجرت را طبق فرمول زیر محاسبه کرد.

$$D_{nssm} = \frac{0,0239 (273 + T)L}{(U - 2)t} [x_d - 0,0238 \sqrt{\frac{(273 + T)Lx_d}{U - 2}}]$$

D_{nssm} : ضریب مهاجرت حالت غیر پایدار در ۱۰ به توان ۱۲

U: ولتاژ اعمال شده

T: مقدار میانگین دمای اولیه و نهایی در محلول آنولیت بر حسب سانتی گراد

L: ضخامت نمونه بر حسب میلی متر

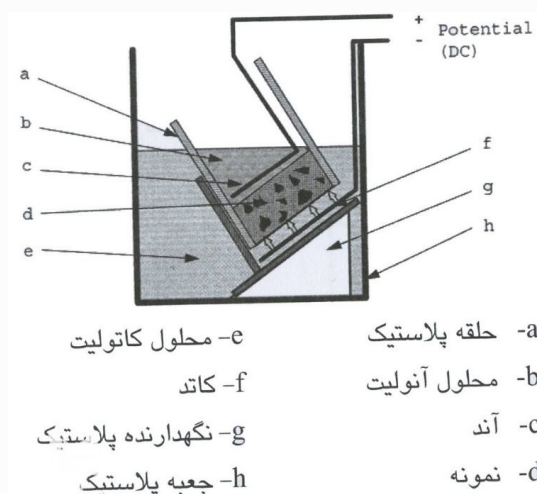
xd: مقدار میانگین، عمق نفوذ بر حسب میلی متر

آزمایش حلقه ز

t: مدت زمان انجام آزمایش بر حسب ساعت

برای آنکه عمق نفوذ کلرید اندازه گیری شود، نمونه ها را پس از اتمام آزمایش به دو نیم تقسیم می کنند و سپس محلول نیترات نقره $N_0.1$ بر روی سطح شکسته شده اسپری می شود. عمق بتن که تغییر رنگ پیدا می کند به عنوان عمق نفوذ کلرید در نظر گرفته می شود.

نحوه آزمایش در شکل زیر نشان داده شده است.



مقدمه

هرچند اصول اجرای **بتن خود تراکم** مشابه بتن معمولی است، به دلیل تفاوت در مصالح از نظر نوع و کمیت و تفاوت در ماهیت بتن تازه، باید به نحوه اجرا اهمیت بیشتری داده شود. عدم نیاز به ویبره کردن، استمرار در عملیات بتن ریزی، تغلیظ پذیری و عدم رو آمدن آب از جمله تفاوت ها در بتن های خودتراکم با بتن ریزی است که اثر مستقیم در عملیات اجرا دارند.

در این نوشته مراحل مختلف اجرا تشریح شده است.

الزامات آماده سازی کارگاه در اجرای بتن خود تراکم

بر اساس دستورالعمل انجمن بتن آماده کانادا نکات زیر برای آماده بودن کارگاه جهت بتن ریزی ضروری است.

- باید طرح مخلوط با شرایط کارگاه پروژه متناسب باشد و قبل از سفارش مورد تایید قرار بگیرد.
- باید مقدار و زمان مناسب پیمانته های مخلوط انتخاب شوند.
- باید روش های آزمایش های پذیرش در کارگاه مستندسازی شوند و مورد موافقت کارفرما، پیمانکار و تولیدکننده بتن قرار گیرند.
- اگر گروه برای اولین بار با بتن خود تراکم کار می کنند، باید اطمینان حاصل شود که از اختلاف بتن SCC و بتن معمولی آگاهی کامل دارند.
- باید اطمینان حاصل کرد که قالب ها دقیق طراحی و اجرا شده اند.

انبارش مصالح

انبارش مصالح SCC مشابه مصالح برای بتن معمولی است، اما به دلیل حساسیت بیشتر به تغییرات، توجه و اهمیت بیشتری باید شود. سنگدانه ها با اندازه های متفاوت باید جداگانه (برای مثال با استفاده از دیوار جداکننده) دپو شوند. تغییرات رطوبت سنگدانه ها مستمراً رصد و اندازه گیری شود و مقدار رطوبت در تعیین نسبت مخلوط در نظر گرفته شود.



مخلوط کن ها

استفاده از هر نوع دستگاه مخلوط کن برای SCC بلامانع است، اما شرایط مکانیکی دستگاه باید در حد مطلوب باشد تا از مخلوط شدن یکنواخت مصالح اطمینان حاصل شود. تجربه نشان می دهد، زمان مورد نیاز برای مخلوط شدن کامل SCC ممکن است طولانی تر از بتن معمولی باشد تا نیروهای اصطکاکی کاهش یابند و فوق روان کننده کاملاً فعال شود.

نکته حائز اهمیت این است که ابتدا مخلوط های آزمایش ساخته شود تا مدت مورد نیاز و ترتیب اضافه کردن مواد و مصالح تعیین شود. راهنمای EFNARC نیز همه نوع مخلوط کن ها را برای SCC مناسب می داند و مدت ضروری برای مخلوط کردن را بر اساس آزمون و خطا توصیه می کند.

روش های مخلوط کردن در کارخانه – اجرای بتن خود تراکم

بر اساس توصیه های دستورالعمل اروپایی به دلیل مقدار زیاد خمیر و روان پذیری SCC رسیدن به مخلوط یکنواخت سخت تر از بتن معمولی است. احتمال دارد کلوخه شدن مصالح در مخلوط رخ دهد و وقتی این کلوخه ها تشکیل شدند، شکستن آنها مشکل است. بنابراین، بهتر است ابتدا مخلوط با مقدار آب و فوق روان کننده کمتر ساخته شود تا مخلوط یکنواخت تولید شده و سپس آب و فوق روان کننده بیشتری افزوده شوند. زمان افزودن مواد افزودنی شیمیایی در هنگام مخلوط کردن بر مؤثر بودن آنها تأثیرگذار است. در هنگام استفاده از VMA تا حد امکان باید با تأخیر به مخلوط افزوده شود. بر اساس مخلوط های آزمایشی باید یک روش استاندارد در کارخانه اعمال شود تا از تغییرات پیمان به پیمان کاسته شود. مواد افزودنی شیمیایی نباید مستقیماً بر مصالح خشک اضافه شوند بلکه باید همراه با آب مخلوط به بتن اضافه شوند. مقدار مواد افزودنی باید دقیقاً اندازه گیری شوند.

بهتر است ترتیب افزودن مصالح به این شرح باشد: ابتدا سنگدانه ها درون مخلوط کن ریخته و سپس سیمان اضافه شود. بلافاصله آب مخلوط همراه با فوق روان کننده اضافه شود. VMA با آب نهایی به مخلوط اضافه شود، اما اگر مصالح مستقیماً به تراک میکسر ریخته می شوند، ابتدا حدود دو سوم آب مخلوط به جام ریخته شود و سپس سنگدانه ها و سیمان اضافه شوند. وقتی مخلوط یکنواخت حاصل شد، بقیه آب با فوق روان کننده افزوده شود. در مواردی که VMA استفاده می شود، آن را باید پس از فوق روان کننده و قبل از افزودن آب نهایی به مخلوط اضافه کرد.

انتقال بتن – اجرای بتن خود تراکم

بر اساس ACI 237 R بتن خود تراکم را می توان با تمام وسایلی که برای بتن معمولی استفاده می شوند، انتقال داد، اما احتیاطات بیشتری باید اعمال شوند.

- تراک میکسر

به دلیل روانی فوق العاده SCC، حجم مخلوط در جام کامیون نباید بیشتر از ۸۰ درصد ظرفیت جام باشد. این نکته بسیار حائز اهمیت است، زیرا وقتی کامیون در شیب حرکت می کند، بتن به دو قسمت در جلو و عقب جام تقسیم نمی شود. تراک میکسر برای مخلوط های SCC با سطوح اسلامپ جاری بین ۴۵۵ تا ۷۶۰ میلی متر مناسب است.



• بتن ریزی با جام و شوت

راهنمای اروپایی توصیه می کند وقتی از شوت استفاده می شود، خروجی شوت باید به سمت دورترین نقطه قالب هدایت شده و با ادامه بتن ریزی، شوت حرکت داده شود. روش بتن ریزی با جام برای حجم کم بتن ریزی معمولاً ۱۲-۲۰ متر مکعب بر ساعت مناسب است. جام نباید در معرض تکان شدید باشد، در غیر این صورت احتمال جدا شدن ذرات وجود دارد. وقتی مخلوط مدت طولانی در جام باقی بماند، سبب سفت شدن تغلیظ پذیری می شود و مخلوط به راحتی از جام خارج نمی شود. انتقال بتن با سرعت آهسته باعث سفت شدن تغلیظ پذیری می شود و می تواند منجر به ایجاد علایم افقی در بین لایه ها شود. در هنگام بتن ریزی دیوارهای نازک یا ارتفاع زیاد، باید از لوله های ترمی برای بتن ریزی با جام استفاده شوند. اگر از ترمی استفاده می شود، باید انتهای ترمی پایین تر از سطح بتن قرار داده شود و اطمینان حاصل شود که هوا وارد بتن نمی شود.

از نظر [ACI 237](#) محدود بودن حجم جام، می تواند سبب وقفه در نرخ بتن ریزی شود، بنابراین توصیه شده است از جام برای حجم کم بتن ریزی استفاده شود. مخلوط [بتن خود تراکم](#) باید اسلامپ جاری بین ۶۱۰ تا ۷۱۰ میلی متر داشته باشد تا بتن ریزی تسهیل شود و امکان تراکم بین پیمانه های متوالی فراهم شود. استفاده از شوت با جام کمک می کند تا بتن در محل مورد نظر تخلیه شود. همچنین انجمن بتن آماده کانادا در خصوص استفاده از جام، مواردی به شرح زیر را توصیه می کند:

۱. استفاده از جام به طور چشمگیری پتانسیل نرخ بتن ریزی را کاهش می دهد، بنابراین برای حجم کم بتن مانند ستون ها مناسب است.
۲. نرخ آهسته بتن ریزی با جام ممکن است سبب علایم قابل مشاهده، بین لایه های بتن ریزی شود.
۳. نباید جام در روند بالا بردن، دچار لرزش های شدید شود.
۴. در صورت بتن ریزی در اعضای بسیار نازک، بتن باید با ترمی یا شوت عمودی ریخته شود.
۵. همچنین انجمن بتن آماده کانادا در هنگام استفاده از شوت توصیه می کند ارتفاع شوت ۱ متر برسد و جریان افقی به ۱۰ متر محدود شود.

• پمپاژ

اگر مخلوط بتن در مقابل جداشدگی ذرات مقاومت مطلوب داشته باشد، پمپاژ بتن از پایین قالب مناسب است. این روش سبب ایجاد سطح تمیز و صاف بتن می شود. همچنین هوای کمتری در مخلوط باقی می ماند و نرخ سریع تر بتن ریزی را ممکن می سازد. محل تغذیه مخلوط بتن و خط لوله پمپ باید کاملاً پر از بتن باشند تا اطمینان حاصل شود که هوا وارد مخلوط نمی شود. برای پمپاژ بتن از پایین قالب باید در فواصل مناسب در ارتفاع قالب، شیرهای پمپاژ نصب شوند. پس از بتن ریزی شیر بسته و قفل می شود.

حمله ی سولفات ها در بتن

وقتی پمپاژ بتن از بالای قالب انجام می شود، باید سر شیلنگ درون بتن باشد تا احتمال وارد شدن حباب های هوا کاهش یابد. بتن ریزی باید در پایین ترین بخش قالب بوده و سر شیلنگ باید در حد امکان نزدیک به کف قالب باشد. ACI 237 مزایای پمپاژ بتن خود تراکم در مقایسه با بتن معمولی را به شرح زیر ارائه داده است.

- فشار پمپ به حد قابل توجهی کاهش می یابد.
- حباب های هوا (ماده افزودنی حباب ساز) پایدار باقی می ماند.
- پمپاژ اولیه با دوغاب سیمان (برای کاهش اصطکاک خطوط شیلنگ) ضروری نیست.
- پمپاژ در ابتدا با فشار خیلی کم شروع می شود، زیرا فشار اولیه در حد زیاد سبب جدا شدن سنگدانه های درشت می شود و می تواند سبب مسدود شدن لوله شود.

انجمن بتن آماده کانادا نیز توصیه می کند در صورت استفاده از پمپاژ ، بتن از پایین قالب پمپ شود، بنابراین پیمانکار باید محل مناسبی جهت تزریق همراه با شیر در پایین قالب ها تعبیه نماید. اما فشار قالب باید بیشتر از فشار هیدرواستاتیک در نظر گرفته شود، چون غیر از وزن بتن، فشار پمپ نیز بر قالب اعمال می شود.

بتن ریزی در اجرای بتن خود تراکم

بر اساس توصیه راهنمای اروپایی قبل از بتن ریزی، باید مشخصات قالب و آرماتور با نقشه ها مطابقت داده شوند. طول مناسب جریان بتن کمک می کند هوای اضافی حذف شوند. هرچند طول جریان نباید بیشتر از ۱۰ متر باشد، زیرا احتمال دارد ریسک جدا شدن دینامیکی ذرات یا هوای محبوس شده افزایش یابد. نرخ سریع بتن ریزی عمودی ممکن است به هوای درون بتن اجازه خروج از بتن ندهد و حباب های هوا درون بتن افزایش یابند. استمرار در بتن ریزی بدون توقف، کمک می کند تغییرات رنگ در سطوح کاهش یابد.

بعضی از مخلوط ها، به خصوص مخلوط هایی که نرخ جریان آهسته دارند، تمایل به تغلیظ پذیری دارند و در هنگام استراحت شروع به سفت شدن می کنند، اما در هنگام اعمال برش یا هم زدن مجدداً جریان پذیری خود را حفظ می کنند. قبل از بتن ریزی، در انتقال بتن به کارگاه، با حرکت آهسته جام تراک میکسر (سرعت بهم زدن) تغلیظ پذیری کاهش می یابد.

بتن ریزی باید بدون توقف باشد و نقاط بتن ریزی در قالب باید به نحوی انتخاب شوند که جبهه بتن ریزی تمام وقت در حال حرکت باشد. وقتی بتن ریزی به اتمام رسید، تغلیظ پذیری می تواند مفید باشد و فشار قالب و نشتی در درزهای قالب کاهش می یابد.

احتمال دارد سقوط آزاد بتن از ارتفاع سبب جدا شدن ذرات شود، بنابراین باید ارتفاع بتن ریزی محدود شود و با آزمایش اثر ارتفاع تعیین شود. وقتی بتن ریزی در سطوح افقی انجام می شود، باید یک بخش از کل سطح به اتمام برسد، سپس بخش دیگر بت ریزی شود. راهنمای EFNARC نیز دو محدوده را در خصوص فاصله بتن ریزی توصیه می کند. فاصله بتن ریزی آزاد در ارتفاع به ۵ متر محدود شود و فاصله افقی مجاز برای جاری شدن بتن ۱۰ متر باشد. ACI 237R برای هر یک از اعضای سازه توصیه هایی برای بتن ریزی ارائه داده است. برای بتن ریزی تیرها با استفاده از SCC انواع شکل های تیر امکان پذیر است.

حتی تیرهای عمیق تا ۴/۲ متر به راحتی بتن ریزی می شوند. بهتر است نقطه بتن ریزی در نزدیک یک انتهای تیر انجام شود تا تمام قالب پر شود. برای تیرهای عمیق با آرماتور در حد زیاد، اسلامپ جاری بین ۶۱۰ تا ۷۱۰ میلی متر توصیه شده است.

بتن ریزی دال ها با استفاده از SCC با بتن معمولی متناوب است، زیرا SCC خود تراز است. SCC باید در یک نقطه تخلیه شده و قبل از آن که نقطه بتن ریزی تغییر داده شود، تا حدی که می تواند جاری شود. حداکثر فاصله مجاز بتن تابع پایداری مخلوط است اما معمولاً تا ۱۰ متر محدود می شود. برای بتن ریزی دیوارها، باید SCC در مرکز دیوار ریخته شده و اجازه داده شود مخلوط به دو طرف سمت انتهای دیوار جاری شود. استمرار در بتن ریزی باعث می شود مخلوط خود یک ستون انتقال ایجاد کند و مانند لوله ترمی نامرئی عمل کند. روش دیگر بتن ریزی در دیوارها استفاده از پمپ از پایین قالب است. این روش سبب می شود هوای مخلوط به خارج از قالب انتقال یابد. در سازه هایی مانند منابع آب مستطیلی، بهتر است در یک جهت (یک دیوار) بتن ریزی شود. لذا می

توان از موانع در قالب استفاده کرد تا بتن در امتدادهای مختلف جاری نشود. بتن ریزی تنها در یک امتداد سبب می شود SCC انرژی تخلیه بیشتری داشته باشد و هوا آسان تر از سطح خارج شود. اسلامپ جاری ۶۶۰ تا ۷۰۰ میلی متر برای دیوارها مناسب است. بتن ریزی ستون ها باید استمرار داشته باشد و مانند دیوار می توان پمپاژ را از پایین قالب انجام داد. به عنوان یک قانون کلی، باید از سقوط آزاد SCC تا حد امکان اجتناب شود، در غیر این صورت حباب های هوای ناخواسته در مخلوط بیشتر می شوند. اما در مواردی که مخلوط به نحوی طراحی شده باشد که بتوان در سقوط آزاد استفاده کرد و آن مخلوط مورد آزمایش قرار گرفته باشد، بلامانع است. ویریه کردن SCC مجاز نیست، زیرا منجر به نشست سنگدانه های درشت می شود. اگر مخلوط نشان می دهد که نیاز به ویریه دارد، باید نسبت مخلوط و مواد معدنی مجدداً بررسی شوند. اگر مشخصات مواد و نسبت مخلوط با مشخصات فنی مطابقت دارند، اما نیاز به ویریه است، باید مشخصات فنی بازبینی شود. فقط در مواردی به شرح زیر استفاده از ابزار ویریه به صورت ضعیف بلامانع است.

- در بعضی از اعضای سازه به دلیل شکل خاص قالب ممکن است منجر به محبوس شدن حباب هوا در محل هایی از قالب شود.
- در چنین مواردی می توان از میله زنی در محل های مورد نظر استفاده کرد.
- در مواردی که بتن ریزی در دال انجام می شود و به خصوص اسلامپ جاری آن در حد کم است، می توان از میله زنی ملایم و یا ویریه بسیار ضعیف استفاده کرد تا سطح پرداخت مناسب ایجاد شود. بهتر است ویریه به میله تراز کردن نصب شود.
- وقتی توقف در بتن ریزی رخ می دهد، برای جلوگیری از ایجاد درز سرد می توان از میله زنی ملایم استفاده کرد.

پرداخت دال ها در اجرای بتن خود تراکم

معمولاً دال ها نیاز به اسلامپ جاری کمتری نسبت به ستون ها و دیوارها دارند. این کارایی همراه با عدم روآوری آب و تمایل به سفت شدن ناشی از تغلیظ پذیری می توانند سبب چسبندگی زیاد بتن و مشکل شدن پرداخت شوند. به محض بتن ریزی، پرداخت اولیه باید انجام شود و این عمل باید قبل از سفت شدن ناشی از تغلیظ پذیری و خشک شدن سطح بتن رخ دهد.

واکنش قلیایی سنگدانه ها ، مکانیزم ها و راه های پیشگیری

شمشه و ماله با ویریه ضعیف در پرداخت SCC مؤثرند ولی به شرطی که دال شیب نداشته باشد. ماله فولادی بهتر از ابزار چوبی عمل می کند.

در صورتی که دال بیش از ۲ تا ۳ درصد شیب داشته باشد، استفاده از ابزار حتی با ویریه ضعیف سبب حرکت مخلوط بتن می شود. تراز (تسطیح) دال ها با ماله دسته کوتاه یا بلند مناسب است، زیرا باعث تراکم مطلوب بتن می شود بدون آنکه جداسدن سنگدانه ها رخ دهد. مراحل بعدی پرداخت مانند پرداخت نهایی با ماله فولادی بدون اشکال است. هرچند، اگر SCC سفت شدن ناشی از تغلیظ پذیری را نشان دهد، قضاوت در مورد زمان مناسب پرداخت با ماله فولادی و پرداخت نهایی سخت است.

براساس ACI 237R پرداخت SCC مشابه بتن معمولی است، اما نیاز به تراکم ندارد. به دلیل خود تراکم بودن SCC برای تراز نهایی مخلوط حداقل تلاش لازم است. اگر تراز در حد کم لازم است، می توان از شمشه استفاده کرد، حتی می توان از شمشه مجهز به ویریه ضعیف بهره برد. روند تراز کردن (شمشه کاری) باعث فرو بردن سنگدانه های درشت به درون بتن می شود و در نتیجه نیاز به ماله کشی با ماله دسته بلند یا کوتاه به حداقل می رسد و یا می توان این مرحله را حذف کرد. همچنین می توان از پرداخت نهایی نیز استفاده نمود. اگر قبل از اجرای پروژه، یک دال آزمایشی ساخته شود و پرداخت بر روی آن انجام گیرد، اطلاعات ضروری برای پروژه را فراهم می کند. RILEM معتقد است عملیات پرداخت برای SCC به دلیل تغلیظ پذیری و گاهی رفتار چسبندگی، مشکل تر از بتن معمولی است. فقدان رو آمدن آب حتی عملیات را مشکل تر می کند و عملیات پرداخت باید با مدت گیرش مخلوط در شرایط واقعی مطابقت داده شود. همچنین توصیه شده است پیش از شروع پرداخت، در کارگاه، بررسی آزمون و خطا برای بهبود برنامه ریزی و زمان بندی پرداخت انجام شود.

عمل آوری در اجرای بتن خود تراکم

عمل آوری برای همه نوع بتن ضروری است، اما برای بتن خود تراکم اهمیت بیشتری دارد. این نوع بتن سریع تر خشک می شود، زیرا مقدار خمیر آن بیشتر، نسبت آب به پودر کمتر و بدون روآوری آب است. بنابراین بلافاصله پس از اتمام پرداخت بتن، برای کاهش ریسک خشک شدن و جمع شدگی، عمل آوری آغاز می شود.

ACI 237R توصیه می کند عمل آوری بتن خود تراکم مانند بتن معمولی انجام شود و ضروری است برای جلوگیری از افت سریع رطوبت و جمع شدگی پلاستیک، عمل آوری پس از پرداخت آغاز شود. راهنمای EFNARC نیز توصیه مشابه ACI ارائه داده است و به دلیل سریع خشک شدن SCC در مقایسه با بتن معمولی باید بلافاصله پس از بتن ریزی حفاظت از بتن آغاز شود.

کنترل کیفیت در اجرای بتن خود تراکم

بر اساس توصیه ACI 237R قبل از تولید بتن و بتن ریزی باید اطمینان حاصل شود که تمام کارکنان دست اندرکار از کارگر تا مهندس یا بازرس کنترل کیفیت بر اساس مسئولیت های مربوط از تمام مراحل ساخت و اجرا مانند انبارش مصالح و مواد، ساخت بتن، انتقال بتن و بتن ریزی و آزمایش های بتن تازه آگاهی دارند و از آموزش کافی برخوردار شده اند.

به طور کلی کنترل کیفیت و تضمین کیفیت را می توان به دو بخش تقسیم کرد.

- بررسی قبل از تولید

- کنترل کیفیت در تولید

کنترل کیفیت قبل از تولید

قبل از تولید، ابتدا پیمانکار باید برنامه جزئیات کار به شرح زیر را به کارفرما تحویل دهد:

- خصوصیات مصالح، نسبت های مخلوط و داده های آزمایش های مربوط.

- روش های ساخت شامل پیمانه کردن، مخلوط کردن، انتقال، بتن ریزی، پرداخت و عمل آوری

- برنامه کنترل کیفیت شامل روش های آزمایش برای مصالح و خصوصیات بتن تازه و بتن سخت شده

سیس باید پیمانه های آزمایشی در آزمایشگاه ساخته شوند و دقیقاً بررسی شوند. مخلوط ها باید از نظر قابلیت پرتشدگی، قابلیت عبور و مقاومت در مقابل جداسدگی بررسی شوند.

آزمایش های اسلامپ جاری، حلقه J، جعبه L، قیف V و ستون جداسدگی باید انجام شود. همچنین وزن مخصوص زمان گیرش و مقدار هوا باید مورد آزمایش قرار بگیرند. مقاومت فشاری نمونه ها در سن ۳، ۷ و ۲۸ روزه آزمایش شوند.

به دلیل حساسیت کارایی SCC به تغییرات کم به خصوص در مقدار آب، باید آزمایش های کارایی در محدوده ای از تغییرات

مقدار آب انجام شوند. همچنین اندازه گیری مقدار آب بسیار حائز اهمیت است، زیرا به دلیل استفاده از مواد افزودنی شیمیایی

احتمال افزایش مقدار هوای بتن تازه زیاد می شود. از طرف دیگر، آزمایش زمان گیرش برای برنامه ریزی بتن ریزی و زمان

پرداخت حائز اهمیت است. پس از حصول اطمینان از مخلوط های ساخته شده در آزمایشگاه، باید در حد امکان نمونه ای واقعی

در شرایط کارگاه تولید شود و تمام آزمایش های ذکر شده امتحان شوند.

غیر از آزمایش ها می توان از مشاهدات نسبت به کارایی مطلوب بتن به شرح زیر اطمینان حاصل کرد:

قابلیت پرتشدگی: آیا بتن تحت وزن خود جاری می شود؟ آیا بتن مانند بتن معمولی ویریه شده، متراکم می شود؟ آیا بتن به طور

کامل گوشه های قالب را پر می کند؟ قابلیت عبور: آیا بتن در اطراف آرماتور جاری می شود؟ آیا توزیع سنگدانه ها در اطراف میلگردها

یکنواخت است؟ مقاومت در مقابل جداسدگی: آیا بتن در هنگام تخلیه از وسیله انتقال، جداسدگی نشان می دهد؟ آیا بتن در هنگام

جاری شدن در قالب، یکنواخت باقی می ماند؟ آیا بتن در هنگام ریختن در ارتفاع جداسدگی نشان می دهد؟ وقتی جاری شدن بتن

به اتمام رسید، در یک سانتی متری سطح بتن، سنگدانه های درشت مشاهده می شود؟

وضعیت سطح: آیا سطح بتن پس از قالب برداری بهتر از بتن معمولی ویریه شده به نظر می آید؟ آیا آسیب هایی مانند متخلخل

شدن و حفره شدن در سطح مشاهده می شود؟

کنترل کیفیت در تولید

پیمانکار باید جزئیات برنامه کنترل کیفیت را به کارفرما ارائه دهد. این برنامه باید نشان دهد که چگونه کیفیت پیمانها یکنواخت و شامل الزاماتی به شرح زیر باشد:

– مشخصات فنی شامل کارایی و خواص بتن سخت شده

– روش های تولید و آزمایشی

در هنگام تولید کارفرما باید اطمینان حاصل کند برنامه کنترل کیفیت به نحو مطلوب اجرا می شود. استفاده از ابزارهای کنترل کیفیت مانند نمونه های کنترل کمک می کنند تا از تغییرات در خواص در پیمانها ها در حد مجاز اطمینان حاصل شود. برنامه کنترل کیفیت باید تمام مراحل اجرا مانند نحوه پرداخت سطح و روش عمل آوری را شامل شود.

منبع : کتاب بتن خود متراکم، دکتر پرویز قدوسی، علی اکبر رضانیان پور، دکتر محمد شکرچی زاده و همکاران

مواد مضاف هوازا موادی هستند که سبب تشکیل حباب های بسیار ریز هوا که به طور یکنواخت در حجم بتن یا ملات توزیع شده اند، می گردند. این حباب ها پس از سخت شدن بتن یا ملات در آن باقی می ماند. طبق آبا مواد مضاف هوازا موادی هستند که سبب تشکیل حباب های هوای بسیار ریز که به طور یکنواخت در حجم بتن یا ملات توزیع شده اند، می گردد این حباب ها باید پس از سخت شدن بتن و یا ملات در آن باقی بمانند. حباب های هوا، پایایی بتن را در برابر رطوبت، یخ زدن و آب شدن های مکرر افزایش می دهند و مقاومت بتن را در برابر پوسته پوسته شدن سطحی ناشی از یخ زدهای شیمیایی زیاد می کند. همچنین با مصرف این مواد کارایی بتن تازه و نفوذناپذیری بتن سخت شده، به میزان قابل توجه بیشتر می شود و نیز جدا شدن دانه ها و آب انداختن بتن کاهش می یابد و یا از بین می رود. اندازه حباب های هوا تولید شده، در اثر وجود مواد حباب زا در بتن در مقایسه با ذرات ماسه بسیار ریزتر بوده در حالی که همین حباب ها در مقایسه با لوله های موئینه موجود در خمیر سیمان سخت شده بسیار بزرگ هستند. اندازه حباب های هوا در بتن های معمولی در مقایسه با بتن های دارای مواد مضاف هوازا بسیار بزرگ می باشد. این حباب های هوا (حباب های ایجاد شده در اثر مواد افزودنی) موجب ازدیاد پلاستیسیته بتن و افزایش حجم خمیر سیمان می گردد.

دانه بندی مصالح سنگی ریز بر روی میزان هوای تولید شده در داخل بتن به صورت زیر تاثیر می گذارد.

۱. افزایش ماسه بسیار ریزدانه (تا ۰٫۲ میلی متر) موجب کاهش میزان هوای تولید شده در داخل بتن می گردد.

۲. افزایش ماسه ریزدانه (در محدوده ۰٫۳ الی ۱ میلی مافتر) موجب افزایش میزان هوای تولید شده در داخل بتن می گردد.

۳. ماسه با دانه بندی ۰٫۱۵ الی ۰٫۴ میلیمتر دارای کمترین میزان تاثیر (افزایش و یا کاهش) در میزان هوای تولید شده در بتن می باشند.

۴. مصالح سنگی شکسته و یا کانی های کوارتزی هوازایی را تشدید می کنند. مصالح درشت نیز بر روی درصد حباب هوای بتن تازه اثر می گذارد.

روان کننده بتن ، انواع و اثرات آن در بتن

مقررات ملی ساختمان مبحث نهم مطابق جدول زیر می باشد.

جدول ۹-۴ مقدار کل حباب‌های هوا برای بتن مقاوم در برابر یخ زدن و آب شدن

مقدار درصد هوا* در شرایط محیطی		حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (میلیمتر)
الف	ب و ج	
۶	۷/۵	۹/۵
۵/۵	۷	۱۲/۵
۵	۶	۱۹
۴/۵	۶	۲۵
۴/۵	۵/۵	۳۸
۴	۵	۵۰
۳/۵	۴/۵	۶۳

* رواداری مقدار هوا در محل مصرف $\pm 1/5$ درصد است.

محاسن استفاده از بتن هوادار را به صورت فهرست وار به شرح زیر می توان اعلام نمود.

افزایش مقاومت در برابر یخبندان

در یک بتن معمولی در اثر یخبندان و انبساط آب، اضافه حجم پیدا می کند، زمانی که یخ آب می شود، حجم قطعه بتنی به حالت اولیه خود بر نمی گردد و همیشه مقداری از انبساط حجمی در آن باقی می ماند، به دنباله این اضافه حجم، خلل و فرج های داخل بتن نیز بزرگتر شده و در سیکل های یخبندان قطعه بتنی آب بیشتری می مکد و در نتیجه در برابر انبساط یخ در فشار بیشتری قرار می گیرد و این پدیده در چند سیکل یخبندان و ذوب شدن موجب متلاشی شدن قطعه بتنی می گردد.

عملکرد حباب های هوا به این صورت است که ضمن اینکه نفوذ آب را به بتن محدود تر می کند، چنانچه آب به مقدار کمی نفوذ کند و یخ بزند ، حفرات هوا افزایش حجم ناشی از یخ زدن را جبران می کند و از خراب شدن بتن جلوگیری می کند.

مقاومت در برابر تورق

در بتن های معمولی که در سطح جاده ها و باند فرودگاه ها مورد استفاده قرار می گیرند برای جلوگیری از یخ زدن سطح باند یا جاده بر روی آن نمک می ریزند، نمک بر روی بتن تاثیر نامطلوب گذاشته و به مرور زمان موجب ورقه ورقه شدن بتن می گردد. استفاده از بتن هوادار موجب افزایش مقاومت بتن در برابر ورقه ورقه شدن بتن در برابر نمک می گردد.

افزایش قابلیت آب بندی (نفوذ ناپذیری) و کاهش میزان جذب آب

هرچه بتن های معمولی را خوب متراکم کنیم هرگز نمی توانیم درصد هوای موجود در بتن را به صفر برسانیم. و هیچگاه نمی توانیم نفوذ آب را به داخل بتن به صفر برسانیم. نفوذ آب به داخل به خصوص در مواردی که قطعه بتنی در مجاورت نمک ها و سولفات ها قرار داشته باشد موجب خوردگی آرماتور ها و خرابی بتن می گردد. بتن های هوادار در مقابل نفوذ آب، نسبت به بتن های معمولی مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد در نتیجه آسیب های ناشی از نفوذ آب به حداقل می رسد.

افزایش کارایی

با تولید حباب هوا در بتن، ساختن، ریختن، عمل آوردن بتن آسان می گردد زیرا حباب هاب هوا در بتن مانند ساچمه عمل می کنند و ضمناً می توان آب لازم برای ساختن بتن در هر متر مکعب را ۱۰ الی ۱۵ لیتر کم نمود. بتن با حباب هوا بهتر به فولاد می چسبد و در برابر گرمای زیاد و سرمای زیاد و یخبندان و اثرات شیمیایی مقام تر است.

خاکستر بادی یا fly ash ، ویژگی ها و نحوه مصرف

کاهش امکان جداشدگی دانه ها

جداشدگی را می توان به صورت جدا شدن مواد متشکله یک مخلوط غیر همگن از یکدیگر تعریف کرد، به صورتی که توزیع مواد در مخروط یکنواخت نباشد. در بتن اختلاف بین اندازه ذرات (دانه بندی نامناسب) و همچنین اختلاف بین وزن مخصوص و عدم دقت

در حمل بتن دلایل اصلی جداسدگی است. در مخلوط هایی با نسبت آب به سیمان کم خطر جداسدگی دانه ها کمتر اتفاق می افتد و از آنجایی که استفاده از مواد حباب زا باعث کاهش میزان آب مصرفی در بتن می گردد موجب کاهش احتمال جداسدگی در بتن می شود.

موارد دیگر

مانند بهبود قابلیت پمپ کردن، حصول ساخت یکنواخت تر و صاف تر در بتن، مقاومت عالی در زیر آب، پیشگیری از جمع شدن آب در زیر آرماتورها در بتن آرمه، پایداری در مقابل حمله مواد شیمیایی و حمله سولفات ها، افزایش مقاومت خمشی و سایشی در اثر استفاده از مواد [افزودنی حباب](#) زا به وجود می آید. با توجه به تمام مطالب بیان شده به طور کلی، استفاده از مواد حباب زا در اکثر کارهای بتنی به ویژه در هوای سرد و در شرایط یخبندان می توان اثرات مطلوبی داشته باشد. با ایجاد حباب های هوا در مخلوط بتن مقاومت فشاری و خمشی کاهش می یابد، ولی با توجه به افزایش کارایی و در نتیجه کاهش آب اختلاط و نیز تقلیل مقدار ماسه در بتن حاوی مواد حباب زا، می توان در طرح اختلاط اصلاحاتی را انجام داد که کاهش مقاومت فشاری و خمشی بتن، جبران شود. طبق مشخصات دت ۴۰۲ کاهش مقاومت فشاری و خمشی بتن دارای مواد مضاف هوازا در سنین ۷ و ۲۸ روزه نسبت به بتن شاهد (بتن بدون مواد حباب ساز) نباید بیشتر از ۱۰ درصد باشد.

منبع: تکنولوژی بتن و آزمایشگاه همراه با طرح اختلاط نوشته مهندس فرهاد مصباح ایران دوست

پوزولان چیست؟ انواع و تاثیر آن در بتن

پوزولان از اسم دهکده pouzzuoli در نزدیکی آتش فشان وزو قرار دارد و برای اولین بار خاکستر آتش فشانی را در این محل پیدا نموده اند، گرفته شده است. این سیمان ها از آسیاب کردن و مخلوط کردن پوزولان ها (خاک های طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می شود. بر طبق آیین ناهای ASTM C618-94a پوزولان را چنین تعریف کرده اند: پوزولان سیلیسی یا سیلیس آلومینیومی است که به تنهایی خاصیت چسبندگی ندارد و یا چسبندگی کمی دارد. این مصالح در حالت گرد شدن (ذرات ریز) و در مجاورت رطوبت و حرارت معمولی طی واکنش های شیمیایی با هیدروکسید کلسیم ترکیب هایی با خاصیت سیمانی به وجود می آورد. در استاندارد ملی ایران پوزولان ها را چنین معرفی نموده "مواد سیلیسی یا آلومینو سیلیسی که خود دارای قابلیت سیمانی شدن کم یا هیچ باشند اما به صورت پودر شده بسیار نرم در حضور رطوبت با هیدرواکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی در دمای معمولی واکنش های شیمیایی می دهند تا ترکیباتی را که خواص سیمانی شدن را دارند تشکیل دهند یا به تشکیل آن ها کمک کنند." مقررات ملی ساختمان پوزولان را چنین مشخص می کند "پوزولان ها عبارتند از مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومینی که خود بتن هایی فاقد ارزش چسبانندگی هستند یا ارزش چسبانندگی آن ها کم است، اما به صورت ذرات بسیار ریز، در دمای متعارف در مجاورت رطوبت با هیدرواکسید کلسیم واکنش می دهد و ترکیباتی را تولید می کنند که ساختار آن ها تا حدودی شبیه ترکیباتی است که بر اثر آبگیری سیمان پرتلند تولید می شود. پوزولان ها بر دو نوع هستند.

پوزولان های طبیعی و پوزولان های مصنوعی یا صنعتی

پوزولان های طبیعی در انواع خام و یا تکلیس شده وجود دارند و به طور عمده شامل خاکستر های آتش فشانی غیر بلورین باشند. پوزولان های مصنوعی یا صنعتی به طور عمده شامل دوده سیلیسی، خاکستر بادی و خاکستر پوسته برنج می باشند. دوده سیلیسی یا میکروسیلیس محصول فرعی کوره های قوس الکتریکی صنایع فروآلیاژ و فروسیلیس بوده و ماده ای است با فعالیت پوزولانی بسیار شدید که بیش از ۸۵ درصد سیلیس بلوری نشده دارد.

خاکستر بادی محصول فرعی زغال سنگ است که شامل سیلیس، آلومین و اکسید آهن و کلسیم است.

خاکستر بادی در انواع F و C وجود دارد. نوع C خاکستر بادی به دلیل دارا بودن بیش از ده درصد اکسید کلسیم خاصیت سیمانی شدن دارد. خاکستر پوسته برنج از سوختن پوسته برنج به دست می آید و دارای میزان زیادی سیلیس غیر کریستالی است. بنابراین

ضروری است که باید ماده پوزولانی به شکل پودر نرم باشد زیرا فقط در این صورت پوزولان ها می تواند در مجاورت آب با هیدروکسید کلسیم تشکیل سیلیکات های کلسیم پایدار که دارای خواص چسبندگی است بدهد.

مصرف مواد پوزولانی در بتن می تواند برای تامین یک یا چند خاصیت مشروح زیر باشد.

۱. کاهش میزان سیمان به کار رفته در بتن
 ۲. کاهش سرعت و میزان حرارت حاصل از فرآیند آبگیری سیمان
 ۳. بهبود کارایی بتن
 ۴. افزایش مقاومت دراز مدت بتن
 ۵. افزایش پایداری بتن از طریق کاهش نفوذپذیری و عملکرد مناسب در برابر تهاجم یون کلرید و سولفات
- عملکرد پوزولان ها برای هریک از خواص فوق ، باید قبل از مصرف مورد تایید قرار گیرد.

پوزولان ها بر دو نوع هستند.

۱. پوزولان های طبیعی خام یا تکلیس شده که به طور عمده شامل خاکستر های آتش فشانی غیر بلورین است. استاندارد ملی ایران پوزولان های طبیعی را چنین بیان می کند “خاک های دیاتمه دار، شیل و چرت های اوپالینی ، توف های شیشه ای ، خاکستر های آتش فشانی و پوک سنگ های طبیعی نمونه هایی از انواع پوزولان های است که هر کدام از آن ها به صورت کلسینه شده یا نشده به کار برده می شود. بعضی از خاک رس و شیل ها نیز پس از کلسینه شدن خواص پوزولانی قابل قبولی پیدا می کند.
۲. پوزولان های مصنوعی یا صنعتی که به طور عمده شامل خاکستر های بادی و دوده سیلیسی و خاکستر پوسته برنج است. در استاندارد ملی ایران خاکستر بادی را چنین معرفی نموده ، مواد باقی مانده بسیار نرم که حاصل احتراق ذغال سنگ پودر یا آسیاب شده که از دیگ بخار به وسیله گاز های دودکش به بیرون منتقل شده می باشد.

میکروسیلیس و کاربرد آن در بتن

پوزولان های طبیعی

پوزولان های طبیعی شامل خاک های دیاتمه دار، شیل و چرت های اوپالینی، توف های شیشه ای، خاکستر های آتش فشانی و پوک سنگ های طبیعی نمونه هایی از انواع پوزولان ها که به هنگام بیرون ریختن از دهانه آتش فشان ها به سرعت در هوا یا در زیر آب سرد شده به طوری که سیلیس موجود در آن بلوری نشده است و همچنین مواد دیگری مانند بعضی از رس ها شیل ها که برای بروز خواص پوزولانی نیاز به عملیات تکلیس دارند و از آن جمله می توان متاکائولین را نام برد. متاکائولین از کلسینه شدن کائولین به دست می آید و در کنار واکنش های سیلیکاتی – قلیایی به کار می رود. ذخایر بزرگی از پوزولان های طبیعی در نقاط مختلف کشور وجود دارد که از آن جمله می توان تراس جاجرود ، پوک سنگ هراز (دماوند) ، پوک سنگ سهند و پوک سنگ تفتان را نام برد. در صورتی که این پوزولان ها به صورت گرد با سیمان پرتلند مخلوط شوند، هیدرواکسید کلسیم که محصول آبگیری سیمان در مجاورت رطوبت است با این سیلیس بلوری نشده در دمای محیط تشکیل سیلیکات کلسیم می دهد و سیلیکات کلسیم چسباننده اصلی کلیه ملات های آبی است.

پوزولانهای مصنوعی

پوزولان های مصنوعی واحد های نیروگاه های برقی که از ذغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می کنند و کوره های متالورژیکی تولید چدن، فلز سیلیسیم و آلیاژهای فرو سیلیسیم مواد اصلی زاید صنعتی هستند که در این مراکز تولید می شوند. دوده سیلیسی یا میکروسیلیس محصول فرعی کوره های صنایع فرو آلیاژ و فرو سیلیس بوده و تولید شده از کوارتز با درجه خلوص زیاد و ذغال در کوره های الکتریکی با قوس مستغرق می باشد این فرآورده صنعتی با بیش از ۸۵ درصد سیلیس بلوری نشده با ذرات بی نهایت ریز و کروی شکل با قطر متوسط حدود ۰٫۱ الی ۰٫۲ میکرون (لازم به ذکر است که در همین جا عنوان گردد دانه سیمان به طور متوسط بین ۱۰ الی ۲۴ میکرون است) یک ماده به شدت فعال پوزولانی است. وزن مخصوص دوده سیلیسی حدود ۲٫۲ گرم بر سانتی متر

مکعب است. سطح مخصوص دوده سیلیسی حداقل ۳۵ و حداکثر ۱۰۰ برابر بیشتر از سطح مخصوص سیمان پرتلند است. سطح مخصوص زیاد و ذرات بسیار ریز دوده سیلیسی موجب می شود که در بتن حاوی ۱۵ درصد دوده سیلیسی جایگزین شده با سیمان تقریباً برای هر دانه سیمان حدود دو میلیون دانه دوده سیلیسی وجود داشته باشد. که این تناسب می تواند معرف تاثیر قابل ملاحظه دوده سیلیسی بر روی خواص بتن باشد.

مدت زمان اختلاط بتن حاوی دوده سیلیسی به درصد دوده سیلیسی مصرفی و شرایط اختلاط بستگی دارد. حتی در صورت استفاده از افزودنی های شیمیایی کاهنده قوی آب (فوق روان کننده ها) برای کسب توزیع یکنواخت دوده سیلیسی در بتن باید زمان اختلاط را افزایش داد. با وجود استفاده از فوق روان کننده ها در بتن حاوی دوده سیلیسی در مقایسه با بتن بدون دوده سیلیسی از چسبندگی بیشتر و گرایش کمتر به جدا شدگی و نیز کاهش آب انداختن و قابلیت بیشتر پمپ شدن برخوردار است. ابعاد بی نهایت ریز ، سطح مخصوص زیاد و حضور بیش از ۸۵ درصد سیلیس غیر بلوری موجب شده است که واکنش پوزولانی دوده سیلیسی بسیار سریع تر از پوزولان های معمولی مانند خاکستر بادی و پوزولان های طبیعی باشد. در این واکنش دوده سیلیسی با هیدرواکسید کلسیم C-H حاصل از آگیری سیمان ، سیلیکات کلسیم هیدراته C-S-H تشکیل می دهد.

بتن پیش آکنده

مصرف دوده سیلیسی می تواند برای تهیه بتن با مقاومت زیاد ، بتن با نفوذپذیری کم و مقاومت وزنی زیاد در برابر عوامل مخرب شیمیایی نتایج موفقیت آمیزی داشته است. مقدار وزنی دوده سیلیسی چنین بتن هایی تقریباً ۲۵ درصد وزن سیمان است ، که این میزان دوده سیلیسی موجب افزایش آب اختلاط بتن نیز می شود، لذا برای افزایش میزان آب اختلاط باید از روان کننده ها ترجیحاً فوق روان کننده استفاده نمود. خاکستر بادی محصول فرعی سوخت ذغال سنگ است. کانی های اصلی تشکیل دهنده خاکستر بادی شامل اکسیدهای سیلیس ، آلومین ، آهن و کلسیم است. در نیروگاه هایی که از ذغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می کنند، ذرات شیشه ای و کروی شکل بسیار ریز به ابعاد ۱ الی ۸۰ میکرون و در درجه ۱۶۰۰ درجه سیلیسیوس به عنوان محصول فرعی تولید می شود. که از بالای کوره احتراق خارج شده و به سرعت سرد می شود. این محصول که خواص پوزولانی دارد و خاکستر بادی نامیده می شود از اختلاط دو فاز شیشه ای یا بلوری نشده که این فاز حدود ۶۰ الی ۹۰ درصد وزنی محصول را تشکیل می دهد و فاز بلوری نشده که ۱۰ الی ۴۰ درصد وزنی محصول را تشکیل می دهد تشکیل شده است. چنانچه مجموع درصد وزنی سه کانی اکسیدهای سیلیس و آلومینیوم آهن حداقل ۷۰ درصد وزنی محصول را تشکیل دهند و اکسید کلسیم آن کمتر از ۱۰ درصد باشد. این محصول به نام خاکستر بادی نوع F یا خاکستر بادی کم کلسیم نامیده می شود. چنانچه مجموع درصد وزنی سه کانی اکسید های سیلیس و آلومینیوم و آهن حداقل ۵۰ درصد وزنی محصول را تشکیل دهند و اکسید کلسیم آن بیشتر از ۱۰ درصد باشد. این محصول به نام خاکستر بادی نوع C یا خاکستر بادی پر کلسیم نامیده می شود. خاکستر بادی نوع F فقط خاصیت پوزولانی دارد در حالی که خاکستر بادی نوع C علاوه بر ویژگی های پوزولانی ، خواص سیمانی نیز دارد. خاکستر پسته برنج از سوختن پسته برنج به دست می آید و دارای میزان زیادی سیلیس غیر کریستالی است. آیین نامه ASTM C618-94a خاکستر آتش فشانی ، پوک سنگ ، سنگ رسی ، چرت اوپالینی ، خاک دیاتومه ای گلستینه شده ، خاک رس پخته شده را به عنوان پوزولان طبیعی و خاکستر بادی و دوده سیلیسی را به عنوان پوزولان مصنوعی معرفی می نماید. بخش اول آیین نامه بتن ایران مواد افزودنی را چنین تعریف می نماید “مواد افزودنی را نباید مواد مضاف و یا افزونه ها اشتباه کرد مواد مضاف ماده ای است که برای خواصی ویژه به منظور کمک به امر تولید سیمان با سیمان پرتلند و یا کلینکر آن در حین تولید در کارخانه آسیاب می شود. برای مثال به منظور تولید سیمان پرتلند آمیخته درصد معینی از روباره یا پوزولان (۵ تا ۷۰ درصد) که مواد مضاف معدنی نام دارند در کارخانه و در موقع آسیاب کردن به سیمان افزوده می شود. در حالی که ماده افزودنی (مثل روان کننده یا فوق روان کننده و یا مواد حباب زا و یا میکروسیلیس و یا ...) به مقدار کم در زمان اختلاط بتن با مصالح و اجزا متشکله آن مخلوط می گردد ، وزن مواد افزودنی در نسبت های اختلاط دخالت داده نمی شود.”

آیین نامه بتن ایران مقادیر زیر را برای انواع افزودنی های معدنی بر حسب کل مواد چسبنده سیمانی جهت بتن های سازه ای مورد آزمایش قرار داده تا مقدار بهینه مواد افزودنی معدنی انتخاب شود.

پوزولان های طبیعی مطابق مشخصات دت ۴۰۳ : ۲۰ الی ۱۰ درصد

خاکستر بادی نوع F مطابق مشخصات دت ۴۰۳ : ۲۵ الی ۱۵ درصد

خاکستر بادی نوع C مطابق مشخصات دت ۴۰۳ : ۳۵ الی ۱۵ درصد

دوده سیلیسی مطابق مشخصات دت ۴۰۹ : ۵ درصد

منبع : تکنولوژی بتن و آزمایشگاه همراه با طرح اختلاط نوشته مهندس فرهاد مصباح ایران دوست

- تکنولوژی تولید بتن گوگردی
- نحوه ی ساخت بتن گوگردی
- تعریف سیمان گوگردی
- مصرف سیمان گوگردی
- ترکیبات سیمان گوگردی
- خواص فیزیکی بتن گوگردی
- سطح نهائی بتن گوگردی
- عوامل موثر در خواص مکانیکی بتن گوگردی
- فرمولاسیون سیمان های گوگردی
- اختلاط بتن گوگردی
- جدول آزمایش مقاومت خوردگی مواد متراکم در فرمولاسیون
- بتن گوگردی اصلاح شده
- موارد استفاده از بتن گوگردی
- دستگاه های تولید سیمان گوگردی
- مزایای بتن گوگردی در مقایسه با بتن معمولی
- نتایج آزمایش فیزیکی بتن گوگردی
- مقایسه بتن گوگردی با بتن معمولی
- _خواص فیزیکی بتن گوگردی
- _سطح نهائی بتن گوگردی
- _عوامل موثر در خواص مکانیکی بتن گوگردی
- _فرمولاسیون سیمان های گوگردی
- سیمان گوگردی
- طرح تولید بتن گوگردی

بتن گوگردی یه ماده ساختمانی ترکیبی است که عمدتا از گوگرد و سنگدانه تشکیل شده است (عموما یک سنگدانه درشت ساخته شده از شن یا سنگ های خرد شده و سنگدانه خوب دانه بندی شده مانند ماسه). سیمان و آب که ترکیبات مهم در بتن معمولی هستند در ساخت بتن گوگردی به کار نمی روند. بتن در دمایی بیش از نقطه ذوب گوگرد (بالای ۱۴۰ درجه سانتی گراد) گرم شده است. بعد از خنک شدن، بتن به مقاومت بالایی می رسد و بدون نیاز به زمان زیاد، مانند بتن معمولی بهبود می یابد. بتن گوگردی به برخی از ترکیبات مثل اسیدها که به بتن معمولی حمله می کنند، مقاوم است. بتن گوگردی به عنوان ماده ساختمانی

برای رها شدن مقدار زیادی از گوگرد ذخیره شده تولیدی توسط هیدروژن سولفوریزاسیون گاز و روغن توسعه یافته است. بتن گوگردی همچنین یک ماده ساختمانی امکان پذیر برای پایه ماه قمری است. از سال ۲۰۱۱، بتن گوگردی در مقادیر کم فقط زمانی که عمل آوری سریع یا مقاومت در برابر اسید نیاز است، استفاده شده است. گوگرد یکی از مهمترین و سودمندترین مواد صنعتی است. بعضی از کشورهای جهان نظیر ایران دارای معادن فراوان گوگرد می باشند و علاوه بر آن مقادیر زیادی گوگرد نیز از تصویه گازهای ترش بدست می آید. در چند دهه ی اخیر تولید گوگرد بر مصرف آن بشدت پیشی گرفته به نحوی که تولید گوگرد در پالایشگاهها به مشکل زیست محیطی تبدیل شده است. برای رفع این مشکل نیاز است مصارف جدیدی برای گوگرد ارایه گردد. یکی از کاربردهای گوگرد در صنعت ساختمان تولید بتن گوگردی می باشد سالهای زیادی است که بتن به عنوان یک عنصر مهم و تاثیرگذار در صنعت ساختمان به شمار می آید. با توجه به گسترش روزافزون استفاده از سازههای بتنی مواد افزودنی متفاوتی به عنوان جایگزین یا در جهت کاهش مصرف سیمان به کار گرفته شده اند که مصرف اینگونه مواد باعث تولید انواع مختلفی از بتن با خواص و ویژگیهای متفاوتی شده است. از جمله مهمترین ویژگیهای بتن گوگردی میتوان به مقاومت بالا در محیطهای اسیدی، کسب مقاومت سریع، مقاومت بالا، عدم استفاده از آب در ساخت آن و امکان بازیافت و نفوذپذیری کم آن اشاره کرد. بتن گوگردی از ترکیب گوگرد مذاب با مصالح سنگی و فیلر ساخته میشود که برای اصلاح خواص آن از مواد افزودنی در ساخت آن استفاده میگردد. افزایش مقدار سیمان گوگردی در بتن گوگردی تا یک حد آستانه سبب افزایش مقاومت ولی تجاوز از این حد آستانه منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن می شود میزان گوگرد در بتن گوگردی باعث تغییرات مقاومتی در بتن گوگردی میشود. برای دستیابی به بالاترین مقاومت مقدار گوگرد کافی برای پر کردن فضای خالی مصالح لازم است بتن گوگردی محصول جدیدی است که با وجود این که ظاهری نهایی آن مانند بتن معمولی است، اما طرز تولید، نگهداری و استفاده از آن متفاوت است. امروز این بتن که دارای مزایای بسیار از جمله مقاومت در برابر اسیدها و مواد خورنده، قابلیت ذوب چند باره و مصرف مجدد، دارا بودن مقاومتهای خوب خمشی و فشاری می باشد مورد توجه قرار گرفته مصرف بتن گوگردی در مناطقی که خطر خوردگی شدید باشد، توصیه شده است. بتن گوگردی از مخلوط کردن داغ گوگردی و سنگدانه های معدنی ایجاد می شود (همانند روش تولید آسفالت) و یک ماده ترموپلاستیک به حساب می آید. (فاقد آب و سیمان می باشد) بهترین نسبت وزنی برای تهیه بتن گوگردی به صورت ۲۰٪ گوگرد، ۳۲٪ ریزدانه، ۴۸٪ ندرشت دانه و ۵۰٪ پودر سیلیس می باشد. بتن گوگردی مصالح نسبتاً جدیدی است، گرچه ظاهر آن در نهایت شبیه بتن معمولی می باشد اما ساخت، حمل، کاربرد و آزمایش آن متفاوت است. هدف این راهنما آشنائی مهندسین، پیمانکاران، سازندگان و مصرف کنندگان این بتن، کاربردها و کمک برای انتخاب مصالح، نسبت های اختلاط و خواص آن جهت استفاده بهینه بتن گوگردی است. بتن گوگردی مصالحی ترموپلاستیک است که با اختلاط سیمانهای گوگردی بصورت گرم با سنگدانه های معدنی ساخته می شود. بتن گوگردی سریعاً در اثر خنک شدن سخت می شود و کسب مقاومت می کند. اگر سنگدانه های مقاوم در برابر اسیدها و نمکها بکار رود بتن گوگردی پر مقاومت و بادوام می تواند تولید شود و در مواردی که سایر بتن ها سریعاً از بین می روند بخوبی مصرف گردد. بتن گوگردی در محیط های قلیائی و اکسید کننده ها پایدار نیست اما در محیط های اسیدی و نمکها عملکرد عالی دارد. مصرف گوگرد بعنوان عامل مذاب چسباننده به دوران ما قبل تاریخ بر می گردد. در قرن ۱۷ میلادی از گوگرد برای اتصال فلزات در سنگ استفاده می شد و هنوز در امریکای لاتین استفاده های مشابه صورت می گیرد. پس از جنگ جهانی اول (۱۹۱۹) تقاضای گوگرد به ایجاد گنبد های بزرگ گوگرد در نزدیک Matagorda تگزاس انجامید. این امر تولید گوگرد را در ایالات متحده دوجندان نمود و به تولید مازاد منجر گردید.

بهر حال با مصرف سیمانهای گوگردی اصلاح شده دوام بتن های گوگردی افزایش یافت و کاربرد آن را بعنوان مصالح ساختمانی امکان پذیر نمود. در این حالت این نوع بتن برخی خواص منحصر بفرد را به اثبات رسانده است که عبارتند از:

الف - مقاومت زیاد و مقاومت در برابر خستگی

ب - مقاومت عالی در برابر بیشتر اسیدها و نمکهای آنها

ج - گیرش فوق‌العاده سریع و کسب مقاومت زود هنگام یکی از بیشترین کاربردهای بتن گوگردی، استفاده آن بعنوان کف‌های صنعتی است که در برابر مواد شدیداً خورنده قرار می‌گیرند. خواص بتن گوگردی بتن گوگردی همچنین دارای خواص فرسودگی و مقاومت در برابر اسیدها و نمکها و بسیاری ترکیبات دیگر می باشد. به خوبی کار کرده و به راحتی مواد آن قابل تعمیر و جایگزینی می باشد. تن گوگردی دارای خواص نامطلوبی نیز می باشد. مقاومت آن زمانی که در برابر تغییر در درجه حرارت های بالا بسیار ضعیف می باشد تحت بعضی شرایط خیس می گردد. این مواد همچنین شکننده می باشند. تمام این خصوصیات از جهت بعضی جزئیات و اصلاح کننده ها مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و مشاهده گردیده که می‌توان بر این خواص غیرقابل قبول، غلبه نمود. عوامل موثر در خواص مکانیکی بتن گوگردی درصد گوگرد مصرفی ماده مضاف برای عمل آوری گوگرد نحوه ویریه کردن بتن کیفیت مصالح سنگی استفاده شده در تهیه بتن اجزاء تشکیل دهنده بتن و خواص آنها سیمان: حدود ۷ الی ۱۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد آب: حدود ۱۴ الی ۲۱ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد دانه های سنگی (شن و ماسه): حدود ۶۰ الی ۷۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد هوا: در بتن بدون هوا میزان حجم هوای موجود بین ۵/۰ تا ۳۰ درصد است و در بتن هوادار میزان حجم هوای موجود بین ۴ الی ۸ درصد است مواد مضاف: مواد شیمیایی هستند که به میزان جزئی و به صورت درصدی از وزن سیمان به مخلوط اضافه میشوند تا خواص مطلوب مورد نظر را در بتن ایجاد کنند مزایا و نکات مربوط به بتن گوگردی ۱ - دارای تاب فشاری و کششی و مقاومت بهتر در خستگی نسبت به بتن سیمانی می‌باشد. جدول (۱-۱) مقایسه‌ی دو نوع بتن را نشان می‌دهد. بتن با سیمان نوع یک پرتلند (۳۰۰) کیلو گرم در متر مکعب (و سنگدانه ۱ اینچ ساخته شده است. ۲- بتن گوگردی مقاومت بسیار عالی در برابر هجوم اسیدها و نمک ها دارد. ۳- بتن گوگردی دارای سرعت گیرش فوق‌العاده است و ظرف ۲۴ ساعت حدود ۷۰ - ۸۰ درصد تاب نهایی خود را کسب می‌کند. ۴ - بتن گوگردی می‌تواند سال‌ها در شرایط یخبندان دوام بیاورد. ۵ - دارای قابلیت عبور آب کمتری می‌باشد. ۶ - عدم نیاز به آب شیرین در تولید. ۷ - کاهش مصرف انرژی در مقایسه با بتن سیمانی ۸ - کاهش سرمایه گذاری ۹ - امکان کاربرد در ساخت اسکله ها و عملیات دریایی ۱۰ - اگر چه درجه حرارت زیاد (بالتر از ۱۲۰ سانتی گراد) مجدداً ذوب می‌شود ولی در شرایط معمولی محیط درست نظیر بتن معمولی عایق حرارت و صوت می‌باشد. ۱۱ - اگر چه در حرارت بالا تولید و در حرارت محیط جامد می‌گردد ولی هیچ محدودیتی در کاربرد آن در محیط های بسیار گرم

و یا بسیار سرد ندارد) در محیط ۵۵الی ۴۰- درجه سانتیگراد قابل تولید و کاربرد است).

۱۲ - دارای چسبندگی خوب با میلگرد فولادی است.

ویژگی‌های دیگر بتن گوگردی

مقاومت‌های کششی، فشاری و خمشی و عمر خستگی بتن گوگردی بیشتر از بتن معمولی است.

بتن گوگردی مقاومت عالی در برابر حمله بسیاری از اسیدها و نمک‌ها و برخی محلول‌های خیلی غلیظ از خود نشان می‌دهد.

بتن گوگردی سریعاً می‌گیرد و به ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت فشاری نهائی در مدت ۲۴ ساعت می‌رسد.

بتن گوگردی را می‌توان در تمام طول سال در سرمای شدید زیر صفر ریخت.

نفوذپذیری بتن گوگردی در برابر آب بسیار کم است.

بتن گوگردی در تغییر شکل بیشتر به مقدار مقاومت حداکثر خود می‌رسد.

افزایش درصد گوگرد و در نتیجه‌ی افزایش مقاومت فشاری بتن گوگردی با افزایش ضریب ارتجاعی آن همراه است.

مقاومت آن در برابر محیط‌های خورنده به خصوص محیط‌های اسیدی، حملات نمک‌ها، کلرها، و سولفات بسیار قابل توجه است

که خود از مزیت‌هایی است که قابلیت استفاده از آن را در پوشاندن کف محیط‌هایی که با مواد خورنده در تماس هستند و یا

استفاده از آن در ساختار سل‌های الکترولیت در حوضچه‌های اسیدی، ساخت مخزن اسیدی و کف‌های عمومی در محیط‌های

اسیدی و خورنده را به صورت قابل توجهی افزایش می‌دهد. بتن گوگردی در قیاس با بتن با سیمان پرتلند زودگیرتر است.

بتن گوگردی ساخته شده با سنگدانه‌ی شکسته دارای مقاومتی به مراتب بیش‌تر از بتن ساخته شده با سنگدانه‌ی معمولی است.

مقاومت این بتن در اثر تغییر دما تغییر می‌یابد، به طوری که با افزایش دما بیش‌تر از ۵۰ درجه، مقاومت آن کاهش می‌یابد. لذا

استفاده از آن تا دمای ۸۰ درجه سانتی گراد محدود است.

بتن گوگردی دارای خاصیت شکنندگی است که یکی از خصوصیات نامطلوب آن است که با استفاده از الیاف تقویت کننده با مواد

شیمیایی قابل اصلاح و بهبود است. این بتن دارای خزش بیش‌تری نسبت به بتن سیمان پرتلند است.

قابلیت بازیافت این نوع بتن یکی از خواص جالب و قابل توجه آن است. بدین معنی که هر زمان که لازم باشد می‌توان این بتن را

ذوب نمود، گوگرد و سنگدانه‌ها را جدا نمود و دوباره از آن‌ها در ساخت بتن استفاده کرد.

به لحاظ افزایش قابل توجه قیمت سوخت که باعث افزایش قیمت سیمان و در نتیجه‌ی آن افزایش هزینه‌ی ساخت بتن با سیمان

پرتلند می‌شود.

هزینه‌ی ساخت بتن گوگردی امروزه در قیاس با بتن معمولی قابل رقابت است.

کارکرد بتن گوگردی

مواد ساختمانی بتن گوگردی امروزه دارای کاربردهای بسیار ویژه‌ای در میان صنایع و حمل و نقل می‌باشند .

این مواد ساختاری جدید ترموپلاستیک می‌باشند و می‌توانند فشار کششی بیش از ۹۰۰ psi را در بیش از یک روز تحمل کنند.

این مواد در برابر رطوبت نفوذناپذیر بوده و بسیار در برابر حمله اسیدهای معدنی و نمک‌ها مقاوم می‌باشد .

کد آیسیک مرتبط با صنعت تولید بتن گوگردی

کد آیسیک مخفف International Standard Industrial Classification (سیستم بین المللی طبقه بندی استاندارد

صنایع) است. کد گذاری به عنوان روش ساده و دقیق برای تعیین هویت کالا، قطعات ، مدارک و اموال ، سالها است که در سطح

شرکت هاو زنجیره های تأمین مورد استفاده قرار می گیرد.

کد آیسیک بتن گوگردی

کد تعرفه گمرکی مرتبط با صنعت تولید بتن گوگردی

با جستجو در اطلاعات گمرک تا امروز تعرفه گمرکی اختصاصی به این محصول اختصاص نیافته لذا میزان واردات و صادرات آن نا

مشخص میباشد.

فرآیند و مراحل بتن ریزی

در بتن ریزی چند مرحله طی می شود که عبارتند از:

تهیه کردن بتن (مخلوط کردن آب، سیمان، سنگدانه و مواد دیگر)

اولین مرحله بتن ریزی تهیه بتن است. آماده کردن بتن پروسه ای بسیار حساس و تخصصی می باشد و نیازمند دانش و تجربه کافی در این زمینه است. به همین دلیل می توانید از بتن آماده استفاده کرده و بتن را از کارخانه های سیمان خریداری کنید که در این صورت هدر رفتن مواد اولیه کاهش پیدا می کند.

قالب بندی (آرماتور)

دومین مرحله بتن ریزی قالب بندی است. این مرحله مهم ترین بخش بتن ریزی می باشد. در آغاز باید به نحوه بسته شدن قالب توجه زیادی کرد. سپس باید قطر، اندازه، فاصله و تعداد آرماتورها و تعداد میلگرد ها را مشخص کرد. به طور معمول در اطراف و زیر آرماتورها فضای اندکی برای جایگذاری قالب های نگهدارنده در نظر می گیرند.

بتن ریزی

اصلی ترین مرحله انواع بتن ریزی (بتن ریزی کف، بتن ریزی سقف، بتن ریزی کف سوله، بتن ریزی کف پارکینگ، بتن ریزی کف محوطه) در این مرحله صورت می گیرد. سقف، ستون، کف و پی ساختمان را بتن ریزی می کنند. همانطور که قبلاً گفته شد باید بتن در قالب های در نظر گرفته شده ریخته شود. در قسمت پی و سقف به دلیل حجم زیاد بتن، بتن ریزی مستلزم دستگاه های مختلفی برای انتقال بتن می باشد اما ریختن بتن در ستون ها به صورت دستی یا به کمک دستگاه پمپاژ انجام می گیرد. بتن ریزی سقف باید سریعاً و در یک مرحله صورت گیرد زیرا نباید در سقف ترک خوردگی مشاهده شود و سقف باید کاملاً یکپارچه و یکدست باشد.

به هم فشردن بتن و ویبره کردن

یکی از مهمترین مراحل بتن ریزی ویبره کردن است. در این مرحله باید اطمینان یابیم که هوایی در میان ذرات و ورقه های بتن وجود ندارد زیرا وجود هوا باعث متخلخل شدن بتن و کاهش استحکام و پایداری آن می شود. دو روش برای متراکم کردن بتن وجود دارد. برای بتنی که کلفتی و ضخامت آن از ۱۵ سانتی متر کمتر است استفاده از ماله پروانه برای صاف کردن بتن کافی است. ولی برای بتن های ضخیم تر از ویبراتور های فشاری، لرزشی و لرزشی_فشاری استفاده می گردد. بتن برای خشک شدن به یک شبانه روز زمان نیاز دارد. پس از خشک شدن باید قالب ها را جدا و از بتن در برابر ترک خوردگی نگهداری کرد.

فرایند گیرش و سخت شدگی بتن گوگردی بسیار سریع است. به طوری که سخت شدگی و کسب مقاومت مطلوب جهت خارج ساختن از قالب ها بعد از چند ساعت از قالب گیری و سرد شده قالب ها، اتفاق می افتد.

بتن گوگردی برخلاف بتن سیمانی پرتلند، به عمل آوری خاصی نیاز ندارد.

با کاهش دما، نرخ کسب مقاومت بتن گوگردی افزایش می یابد. لذا در فصول سرد مثل زمستان نیز امکان بتن ریزی وجود دارد.

حتی بتن گوگردی را می تواند در تمام طول سال زیر دمای صفر نگه داشت.

برای ساخت بتن گوگردی، نیازی به آب نیست. با توجه به محدودیت منابع آب در ایران، به خصوص هنگام ساخت سازه هایی که از

منابع آبی به دور هستند و همچنین مشکلات حمل آب به این مکان ها، بتن گوگردی از این نظر، اهمیت خاصی پیدا می کند.

بتن گوگردی دوام نسبتاً خوبی در برابر ذوب و یخبندان دارد (خصوصاً با افزایش درصد گوگرد). لذا در مناطق سردسیر با افزایش

دادن درصد گوگرد می توان از آن استفاده نمود.

بتن گوگردی در برابر محیط های خورنده اسیدی، نمکی و قلیایی از دوام خوبی برخوردار است. بنابراین در مکان هایی که این مواد خورنده وجود دارند، مثل باران اسیدی، فاضلاب ها و ضایعات خورنده کارخانجات، خاک های اسیدی و قلیایی، اسکله ها، پل ها و دیگر سازه های دریایی و ... کاربرد و عملکرد مناسبی خواهد داشت.

بتن و ترکیبات گوگردی به علت پایداری و واکنش ناپذیر بودن با آب، بر کیفیت آب تاثیر قابل توجهی ندارند. همچنین ایمنی سازه‌های ساخته شده از کامپوزیت‌های گوگردی، مثل ایمنی در برابر تاثیر اشعه‌های فعال، تاثیر بارندگی، دما، جریان‌های سطحی، هوازدگی شیمیایی، فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و ... از نظر زیست محیطی به اثبات رسیده است.

بازار جهانی تولید گوگرد

دنیایی از تغییرات، صنعت گوگرد را نسبت به ۲۰ سال پیش به شرایط کنونی رسانده و با راه اندازی طرح‌های جدید تولید گوگرد به ویژه در منطقه خاورمیانه، بازار عرضه گوگرد دنیا در آستانه تحولی بزرگ قرار دارد.

در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی، تولید جهانی گوگرد ۶۰ میلیون تن بود که ۲۵ درصد آن به آمریکای شمالی به عنوان بزرگترین تولیدکننده این محصول تعلق داشت. اما در سال ۲۰۱۹ میلادی و براساس پیش بینی‌ها، با راه اندازی طرح‌های جدید ظرفیت تولید سالانه گوگرد از مرز ۷۰ میلیون تن فراتر خواهد رفت. بدین ترتیب بازار کنونی گوگرد که عرضه و تقاضای آن در حالت تعادل قرار دارد، با ۵ میلیون تن مازاد عرضه روبرو خواهد شد.

نگاهی به گذشته

گوگرد از دیرباز مورد استفاده مردم بوده است. اما رشد مصرف آن به قرن ۱۳ میلادی مربوط می‌شود. در آن دوره، چینی‌ها یک پودر سیاه رنگ حاوی گوگرد کشف کردند. با توسعه دانش شیمی در قرن ۱۷ میلادی و تبدیل آن به یک صنعت در قرن ۱۸ میلادی، گوگرد به عنوان منبع تولید اسید سولفوریک شناخته شد.

اسیدی که در زندگی امروز نقش مهمی داراست. در گذشته، گدازه‌های آتشفشانی به ویژه در سیسیل ایتالیا، مهمترین منبع تامین گوگرد به شمار می‌رفت. اما بعدها با کشف امکان استخراج این محصول از معادن زیرزمینی، منابع عرضه آن دگرگون شد. گوگرد در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد ذوب می‌شود و انتقال آن به صورت مایع مذاب، آسان است. اما از سال‌های دهه ۱۹۵۰ میلادی، بازیافت گوگرد از فرآیند پالایش گاز طبیعی و نفت خام با رشدی چشمگیر روبرو شده است. و امروزه مهمترین منبع تولید گوگرد، پالایشگاه‌های نفت خام و گاز طبیعی می‌باشند.

جمع بندی

در سال ۲۰۱۶ میلادی، ما شاهد رشد تولید گوگرد در دنیا خواهیم بود. در چند سال آینده، مقدار گوگرد تولید شده از مرز ۷۰ میلیون تن خواهد گذشت. سهم ۵۰ درصدی صنایع تولید کودهای شیمیایی مصرفی در حوزه کشاورزی از گوگرد تولیدی نیز همچنان ادامه خواهد یافت. یک مطالعه صورت گرفته توسط انستیتوی گوگرد نشان می‌دهد برای حفظ شرایط کنونی محصولات کشاورزی ما به مصرف سالانه ۱۰ میلیون تن گوگرد در صنایع تولید کود شیمیایی نیازمندیم. اما بی تردید، همچنان کاربردهای جدیدی یزی گوگرد در راه است.

بتن گوگردی

پس از انقلاب صنعتی و رونق صنعت ساختمان، بسیاری تلاش داشتند تا با شناخت مصالح و تسلط بر آن‌ها گام بلندی در راستای بهینه سازی ساختمان بردارند. بتن از این قبیل مصالح است. اما دانستن این نکته حایز اهمیت است که این محصول مانند بیشتر محصولات ساخته‌ی دست انسان بی نقص نمی‌باشد. در این راستا می‌توان به ناچیز بودن مقاومت کششی (حدود ۱۰٪ مقاومت فشاری)، مصالح مصرفی گران قیمت (سیمان)، استفاده بیش از اندازه منابع آب شرب، عدم انطباق پذیری با مسئله‌ی انقباض و انبساط، عدم بازیافت، شوره‌دهی و سولفات‌شدن اشاره کرد. تا به حال بتن به صورت مشابه در سراسر جهان ساخته شده است. اما در این پژوهش سعی بر آن است تا با بررسی نوع دیگری از بتن، سازه‌ای با مقاومت کششی و فشاری بیشتر و نیز بازده و کارایی بیشتری را معرفی کنیم. بتن گوگردی مصالح نسبتاً جدیدی است، گرچه ظاهر آن در نهایت شبیه بتن معمولی می‌باشد اما ساخت، حمل، کاربرد و آزمایش آن متفاوت است. هدف این پژوهش آشنائی مهندسين و کاربردها و کمک برای انتخاب مصالح، نسبت‌های اختلاط و خواص آن جهت استفاده بهینه بتن گوگردی است. بتن گوگردی مصالحی ترموپلاستیک است که با اختلاط سیمان‌های گوگردی به صورت

گرم با سنگدانه‌های معدنی ساخته می‌شود. بتن گوگردی سریعاً در اثر خنک شدن سخت می‌شود و کسب مقاومت می‌کند. اگر سنگدانه‌های مقاوم در برابر اسیدها و نمک‌ها به کار رود بتن گوگردی پر مقاومت و بادوام می‌تواند تولید شود و در مواردی که سایر بتن‌ها سریعاً از بین می‌روند بخوبی مصرف گردد. بتن گوگردی در محیط‌های قلیائی و اکسید کننده‌ها پایدار نیست اما در محیط‌های اسیدی و نمک‌ها عملکرد عالی دارد. بتن‌های گوگردی اولیه که با گوگردهای اصلاح نشده ساخته می‌شدند از نظر دوام مشکل داشتند. حتی وقتی از مصالح مقاوم و بادوام برای تولید این بتن استفاده گردید، این بتن‌ها در زمان نسبتاً کوتاهی از بین می‌رفت و خراب می‌گشت. بهر حال با مصرف سیمان‌های گوگردی اصلاح شده دوام بتن‌های گوگردی افزایش یافت و کاربرد آن را به عنوان مصالح ساختمانی امکان پذیر شد. در ادامه این پژوهش سعی بر آن است تا با اشاره به برخی خواص منحصر بفرد بتن گوگردی گامی در معرفی این نوع بتن برداریم.

۱-۱ مقدمه

بتن گوگردی مصالح نسبتاً جدیدی است، گرچه ظاهر آن در نهایت شبیه بتن معمولی می‌باشد اما ساخت، حمل، کاربرد و آزمایش آن متفاوت است. هدف این راهنما آشنائی مهندسین، پیمانکاران، سازندگان و مصرف کنندگان این بتن، کاربردها و کمک برای انتخاب مصالح، نسبت‌های اختلاط و خواص آن جهت استفاده بهینه بتن گوگردی است. بتن گوگردی مصالحی ترموپلاستیک است که با اختلاط سیمان‌های گوگردی به صورت گرم با سنگدانه‌های معدنی ساخته می‌شود. بتن گوگردی سریعاً در اثر خنک شدن سخت می‌شود و کسب مقاومت می‌کند. اگر سنگدانه‌های مقاوم در برابر اسیدها و نمک‌ها به کار رود بتن گوگردی پر مقاومت و بادوام می‌تواند تولید شود و در مواردی که سایر بتن‌ها سریعاً از بین می‌روند بخوبی مصرف گردد. بتن گوگردی در محیط‌های قلیائی و اکسید کننده‌ها پایدار نیست اما در محیط‌های اسیدی و نمک‌ها عملکرد عالی دارد.

بتن‌های گوگردی اولیه که با گوگردهای اصلاح نشده ساخته می‌شوند از نظر دوام مشکل داشتند. حتی وقتی از مصالح مقاوم و بادوام برای تولید این بتن استفاده می‌شد، این بتن‌ها در زمان نسبتاً کوتاهی از بین می‌رفت و خراب می‌گشت. بهر حال با مصرف سیمان‌های گوگردی اصلاح شده دوام بتن‌های گوگردی افزایش یافت و کاربرد آن را به عنوان مصالح ساختمانی امکان پذیر نمود. در این حالت این نوع بتن برخی خواص منحصر بفرد را به اثبات رسانده است که عبارتند از:

الف - مقاومت زیاد و مقاومت در برابر خستگی

ب - مقاومت عالی در برابر بیشتر اسیدها و نمک‌های آنها

ج - گیرش فوق‌العاده سریع و کسب مقاومت زود هنگام

یکی از بیشترین کاربردهای بتن گوگردی، استفاده آن به عنوان کف‌های صنعتی است که در برابر مواد شدیداً خورنده قرار می‌گیرند.

۱-۲ تحقیقات اولیه

مصرف گوگرد به عنوان عامل مذاب چسباننده به دوران ما قبل تاریخ بر می‌گردد. در قرن ۱۷ میلادی از گوگرد برای اتصال فلزات در سنگ استفاده می‌شد و هنوز در آمریکای لاتین استفاده‌های مشابه صورت می‌گیرد. پس از جنگ جهانی اول (۱۹۱۹) تقاضای گوگرد به ایجاد گنبد‌های بزرگ گوگرد در نزدیک تگزاس افزایش یافت. این امر تولید گوگرد را در ایالات متحده دوچندان نمود و به تولید مازاد منجر گردید. پژوهشگران در سال ۱۹۲۱ گزارشی را در رابطه با مصارف گوگرد در مصالح ساختمانی و مصرف این ماده زائد و اضافی ارائه دادند. آنها بسیاری از افزودنی‌های (افزونه) پیشنهادی را برای اصلاح خواص گوگرد برای مصارف خاص آزمایش نمودند و دریافتند که اغلب آنها نامناسب می‌باشند. آنها متوجه شدند که مخلوط ۶۰ درصد ماسه و ۴۰ درصد گوگرد، مصالحی مقاوم در برابر اسید و با مقاومت عالی را به وجود می‌آورد. در ادامه خواص ضد اسیدی مصالح ساخته شده از گوگرد و کک را گزارش گردید. و در سال ۱۹۳۴ دریافت که مخلوط ۶۰ درصد ماسه و ۴۰ درصد گوگرد در چرخه‌های حرارتی افزایش حجم توأم با کاهش مقاومت خمشی را به وجود می‌آورد. وی قادر بود هر دو خاصیت افزایش حجم و کاهش مقاومت ناشی از چرخه‌های حرارتی را با استفاده از اصلاح گوگرد با یک پلی سولفاید اولفین کاهش دهد. مصرف افزونه‌های مختلف برای پایداری کردن هرچه بیشتر باعث شد تا به کارگیری بتن گوگردی در صنعت بیشتر شده و تحقیقات بیشتری برای بهبود محصولات گوگردی به عنوان ملات‌ها و

پرکننده‌های مقاوم در برابر اسید به انجام رسد. پژوهشگران در سال ۱۹۴۰ روشهای آزمایش برای مصالح گوگردی را مطرح نمود که در انستیتو ملون [۱] موفقیت آمیز شناخته شد. بیشتر این روشها در ASTM به عنوان آزمایش و مشخصات ملاتهای گوگردی ضد اسید مورد اقتباس قرار گرفتند. پیشرفتهائی در امکان اصلاح گوگرد و تولید محصولات با دوام‌تر، علاقه به تحقیقات را در فعالیتهای تجاری بیشتر نمود. تحقیقات به دو دسته تقسیم شد که شامل بتن گوگردی و بتن گوگردی تزریقی بود. این گزارش عمدتاً بر روی استفاده از بتن گوگردی متمرکز می‌شود زیرا بتن گوگردی تزریقی هنوز به مصارف گسترده و در مقیاس بزرگ و واقعی دست نیافته است.

۳-۱- تحقیقات اخیر در باره بتن گوگردی

پیشرفت‌های عمده در توسعه و کاربرد بتن گوگردی در دهه اخیر (دهه ۸۰) حاصل شد. تحقیقات حول این مسئله بنا شد که بتن گوگردی مصالح ساختمانی ماندگار و بادوام باشد و سیمانهای گوگردی بهبود یافته و طرح اختلاط بهتر برای تولید محصولات یکنواخت با روش عادی ساخته شود. در اواخر دهه ۶۰، پژوهشگران روی ساختار سیستم گوگرد - سنگدانه کار کردند و به لزوم استفاده از سنگدانه خوب دانه‌بندی شده برای دستیابی به مقاومت بهینه اشاره نمودند. با ادامه این تحقیقات بتن گوگردی بازالتی پر مقاومت مورد بررسی قرار گرفت. اداره معادن وزارت کشور ایالات متحده وانستیتو گوگرد یک برنامه همکاری را در سال ۱۹۷۱ برای تحقیق و توسعه در زمینه مصارف جدید گوگرد شروع نمودند. تقریباً در همین زمان، مرکز فن آوری انرژی و مواد معدنی کانادا [۲] و انجمن تحقیقات ملی [۳] کانادا برنامه تحقیقات خاصی را در ارتباط با بتن گوگردی شروع کردند. این کار با تحقیقات انجام شده در دانشگاه کلمبری در آلبرتا کانادا دنبال شد.

در ۱۹۷۳، انستیتو کاربرد گوگرد کانادا [۴] با دولت فدرال کانادا و دولت محلی آلبرتا و تولید کنندگان گوگرد کانادا به طور مشترک سعی نمودند بازارهای جدید مصرف بری گوگردهای مازاد کانادا به وجود آمدند. در ۱۹۷۸، CANMET و SUDIC یک کنفرانس بین‌المللی را تدارک دیدند، در مورد مصرف گوگرد در ساخت و اجراء تبادل نظر گردد. همچنین در این ایام، تعدادی از محققان مقالات و گزارشاتی را با عناوین و اهداف و منظوره‌های گوناگون در مورد گوگرد و بتن گوگردی منتشر نمودند. همه این فعالیت‌ها به افزایش آگاهی در ارتباط با استعداد مصرف گوگرد به عنوان مصالح ساختمانی منجر گردید. با عنایت به اینکه بتن گوگردی با استفاده از گوگرد اصلاح نشده و اختلاط گرم با سنگدانه تهیه می‌شد، دوام محصول تولیدی یک مشکل محسوب می‌گردید. بتن گوگردی اصلاح نشده، وقتی در معرض یخ بندان و آب‌شدگی، شرایط مرطوب یا غوطه‌وری در آب قرار می‌گرفت خراب می‌شد. هدف تحقیقات، تبیین دلالتی خرابی این بتن‌های گوگردی و راهکارهای جلوگیری از این خرابی‌ها بود. وقتی سنگدانه و گوگرد اصلاح نشده گرم مخلوط شده در قالب ریخته و سرد می‌شود تا محصولات بتن گوگردی حاصل گردد، چسب گوگردی بهنگام سرد شدن و فاصله گرفتن از حالت مایع، در ابتدا به عنوان گوگرد منوکلینیک (SB) در 114°C تبلور می‌یابد و با کاهش حجم ۷ درصدی همراه می‌گردد. با ادامه سرد شدن تا دمای کمتر از 96°C ، SB به گوگرد ارتورومبیک تبدیل می‌شود که شکل پایدار گوگرد در دماهای محیط مجاور است. این تبدیل سریع انجام می‌شود و به طور کلی در کمتر از ۲۴ ساعت بوقوع می‌پیوندد. از آنجا که شکل متراکم‌تر و توپرتر از می‌باشد، تنش زیادی در آن بواسطه جمع‌شدگی گوگرد جامد ایجاد می‌شود. بنابراین چسبیده گوگردی تحت تنش قرار می‌گیرد می‌تواند خراب شود. انبساط منشور ملات گوگرد و ماسه مثالی از خرابی یک محصول گوگردی به دلیل آزاد شدن تنش به وسیله چرخه حرارتی است. لازم بود یک راه حل و وسیله اقتصادی برای اصلاح گوگرد برای تولید بتن گوگردی با دوام خوب مشخص گردد. در حالیکه افزونه‌های پلی سولفید اولیفینی در این رابطه مفید قلمداد شد، قیمت و هزینه آن مانعی در راه تولید بتن گوگردی در کارهای اجرائی در مقیاس واقعی بزرگ ایجاد می‌نمود. در ۱۹۷۳ اقدامی توسط وروم [۵] با کمک و همکاری انجمن ملی و تحقیقات کانادا از دانشگاه مکگیل در مونترال کانادا صورت گرفت. در این رابطه گوگرد به وسیله واکنش با پلیمرهای هیدروکربن اولیفینی، اصلاح شد. همچنین روشن شد که یک واکنش مشابه، گوگرد محلول در پلیمر بدست می‌دهد. بتن گوگردی حاصله در ابتدا در کلگری واقع در آلبرتا و در سال ۱۹۷۵ برای مصارف تجاری تولید شد. اصلاح گوگرد با واکنش با دی سیکلوپنتادین [۶] به وسیله بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفت. اما کاربرد آن در مصارف تجاری صنعتی محدود بود، زیرا واکنش بتن گوگرد و DCPD

به صورت اکسوترمیک (exothermic) می‌باشد و نیاز به کنترل نزدیک و زیاد دارد. همچنین سیمان گوگردی اصلاح شده با DCPD هنگامیکه در معرض دمای زیاد (بیشتر از 140°C) قرار می‌گیرد ناپایدار می‌شود به طوریکه وقتی با سنگدانه داغ مخلوط می‌گردد ممکن است واکنش ناپایدار کننده‌ای را برای محصول گوگردی به وجود آورد و به تبدیل شود. محققان این مسئله را از طریق فرآیندی برای تهیه سیمان گوگردی اصلاح شده حل نمودند که در آن به همان شکل پایدار بماند و در هنگام اختلاط به دمای موجود حساس نباشد. اینکار، واکنش کنترل شده سیکلوپنتادین [۷] را به وجود آورد.

از ۱۹۷۶ محصولات تجاری و کاربرد بتن گوگردی مقاوم در برابر مواد خورنده به طور روزافزون به کار گرفته شد. بتن گوگردی به صورت پیش ساخته و درجا در کارهای صنعتی به کار رفت در حالیکه بتن معمولی قبلاً در این پروژه خراب شده بود و خوردگی در برابر اسید و نمکها را تحمل ننموده بود. مصرف این بتن‌ها عمدتاً در کف و دالهای روی زمین، جدول، دیوار و زهکش ترانشه، چاله‌های فاضلاب، مخازن، محفظه‌های الکترولیت، پمپ خانه، پایه‌ها، شالوده‌ها و لوله‌ها و اندود روکش بود. موارد مندرج در این گزارش نتیجه کاربرد این نوع بتن در کارهای صنعتی و تجاری و تجارت حاصله است.

۴-۱- مزایا و نکات مربوط به بتن گوگردی

مزیت عمده بتن گوگردی، کاربرد آن به عنوان ماده با دوام ساختمانی و جایگزین بتن معمولی در نقاطی است که اسید و نمک در محیط مجاور آن می‌تواند باعث خرابی آن شود. چندین مزیت در به کارگیری بتن گوگردی برای عملیات اجرائی در محیط‌های خورنده اسیدی وجود دارد. اولین آنها عمر زیاد این نوع بتن‌ها نسبت به بتن معمولی در این شرایط است. مزایای دیگر بتن گوگردی، زمان سریع گیرش و کسب سریع مقاومت در سنین اولیه است. از آنجا که در کم‌تر از یک روز به درصد قابل توجهی از مقاومت نهائی دست می‌یابیم، می‌توان قالب‌ها را سریعاً برداشت و بدون زمان عمل‌آوری طولانی از این نوع بتن بهره‌برداری نمود. به طور کلی بتن گوگردی ویژگیهای مفید زیر را داراست:

- مقاومت‌های کششی، فشاری و خمشی و عمرخستگی بتن گوگردی بیشتر از بتن معمولی است شکل ۱-۴ رابطه مقاومت فشاری این دو نوع بتن را در مقایسه با هم نشان می‌دهد. سیمان پرتلند معمولی (نوع I) به میزان 350 kg/m^3 و سنگدانه با حداکثر اندازه ۳۸ میلی‌متر در بتن معمولی به کار رفته است.
- بتن گوگردی مقاومت عالی در برابر حمله بسیاری از اسیدها و نمکها و برخی محلولهای خیلی غلیظ از خود نشان می‌دهد.
- بتن گوگردی سریعاً می‌گیرد و به ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت فشاری نهائی در مدت ۲۴ ساعت می‌رسد.
- بتن گوگردی را می‌توان در تمام طول سال در سرمای شدید زیر صفر ریخت.
- نفوذپذیری بتن گوگردی در برابر آب بسیار کم است.

جایجائی اختلاط و استفاده از بتن گوگردی باید، احتیاط رعایت نکات ایمنی انجام گیرد. این گزارش جنبه کلی دارد و نمی‌تواند همه نکات و ملاحظات ایمنی را شامل می‌شود. محدوده دمای اختلاط 127°C تا 141°C می‌باشد تا گازهای مضر به حداقل برسد. تهویه کافی بهنگام اجرا و ملاحظات معمول و استاندارد برای حمل و نقل مواد داغ مایع مد نظر قرار گیرد (لباس و دستکش محافظ کامل، محافظ چشم و کلاه ایمنی). این ملاحظات ایمنی توسط «انجمن ملی ایمنی (NSC)» تدوین شده است. اگر دمای محیط از نقطه ذوب سیمان و بتن گوگردی بالاتر رود، بتن دچار کاهش شدید مقاومت شده و نرم و شل می‌گردد.

ساخت، حمل، بتن ریزی و پرداخت

• وسایل لازم

بتن گوگردی با اختلاط سنگدانه گرم شده (۱۷۷ تا 204°C درجه سانتی‌گراد)، سیمان گوگردی اصلاح شده و پودرهای معدنی (با دمای معمولی) به منظور دستیابی به مخلوط یکنواخت و همگن حاصل می‌گردد. در این مدت و تا هنگام بتن ریزی، دمای آن باید بین ۱۳۲ تا 141°C سانتی‌گراد باشد. سنگدانه داغ شده سیمان گوگردی را ذوب می‌کند و پرکننده‌های ریز معدنی را گرم می‌نماید.

حداقل و حداکثر دمای بتن گوگردی ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد است زیرا سیمان گوگردی اصلاح شده در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود و در دمای بیش از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد سریعاً لزجت آن افزایش می‌یابد و مخلوط ناکارآمد حاصل می‌گردد. بنابراین دمای ۱۳۲ تا ۱۴۱ درجه سانتی‌گراد به عنوان محدوده دمای بهینه توصیه شده است تا فرصت کافی برای حمل، ریختن و پرداخت بتن گوگردی قبل از سخت شدن فراهم آید.

وسایل و روشهای ساخت بتن معمولی و بتن قیری در ساخت، حمل، بتن ریزی و پرداخت بتن گوگردی نیز به کار می‌رود. این وسایل برای ریختن بتن گوگردی در کارگاه شامل موارد زیر است:

۱. وسایل خشک کننده سنگدانه و گرم کننده آن
۲. قیف یا باسکول توزین برای سنجش مقادیر و نسبت‌های مواد
۳. وسایل اختلاط و حمل
۴. وسایل دستی ریختن و پرداخت بتن

• وسایل خشک کننده و گرم کننده سنگدانه

یک وسیله مؤثر برای خشک کردن و داغ نمودن سنگدانه‌ها، کوره‌های استوانه‌ای چرخان (مثل وسایل ساخت بتن قیری) می‌باشد. بویژه تراک میکسرهای گرم کن دار می‌تواند با تغییراتی برای تهیه و حمل بتن گوگردی به کار گرفته شود. شن و ماسه جداگانه در سیلوها (کندوها) ریخته شده و به صورت سرد مقدار و نسبت آنها تنظیم می‌شود و سپس داخل کوره چرخان ریخته و مخلوط می‌شود و در همین زمان حرارت می‌خورد که این گرما توسط یک مشعل گازی یا پروپانی تولید شده و باعث خشک و داغ شدن سنگدانه‌ها می‌گردد و به حدی بالاتر از دمای ذوب سیمان گوگردی می‌رسد. در این حالت در خروجی گازها ریزدانه‌ها جمع‌آوری شده و مجدداً مخلوط می‌گردد. خروجی گاز و بخار ناشی از سوختن مواد سوختی و تبخیر رطوبت و غبار حاصله از ضروریات است. پس از تخلیه سنگدانه‌های داغ از طریق جام یا تسمه زنجیری فولادی، به درون مخلوط کن و وسیله حمل ریخته می‌شود. در مواقعی در این مرحله سنگدانه داغ توزین می‌شود و این امر برای دقت بیشتر صورت می‌گیرد. چند کنترل کیفی در مرحله ساخت و اختلاط بتن گوگردی باید صورت گیرد:

۱. حفاظت محل انبار مصالح برای جلوگیری از آلودگی به مواد مضر
 ۲. کنترل و تأیید مصالح در محل انبار از نظر دانه‌بندی، رطوبت، جذب آب، مقاومت در برابر اسید و حضور رس‌های متورم شونده
 ۳. کالیبره وسایل توزین مصالح
 ۴. نمونه گیری از بتن گوگردی حاصله جهت انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، جذب آب، دانسیته و غیره
- سنگدانه‌ها باید آنقدر داغ شوند که مخلوط نهائی بتن گوگردی به دمای ۱۳۲ تا ۱۴۱ درجه سانتی‌گراد برسد. به طور کلی وقتی سیمان پودری جامد به کار می‌رود دمای سنگدانه باید ۱۷۷ تا ۲۰۴ درجه سانتی‌گراد باشد تا دمای مورد نظر در مخلوط حاصل گردد.

• وسیله اختلاط و حمل

نیازهای ملزومات اختلاط و حمل با خواص منحصر بفرد و ترموپلاستیک بتن گوگردی بشرح زیر در ارتباط است.

۱. بتن گوگردی باید به صورت مذاب در محدوده باریکی از دما باقی بماند.
 ۲. مخلوط بتن گوگردی باید بخوبی درهم شود به نحوی که سیمان گوگردی مذاب بقدر کافی روی سطح سنگدانه‌های ریز و درشت و پر کننده‌ها را بپوشاند و باید حداقل جدا شدگی را دارا باشد.
- ملاحظات ویژه‌ای باید به صورت اقلام زیر برای داشتن کنترل کیفی خوب در نظر گرفته شود.
- الف) مصالح باید در موارد زیر توزین گردد:

۱. شن و ماسه داغ شده
 ۲. سیمان گوگردی اصلاح شده و یا گوگرد و ماده غلیظ اصلاح کننده
 ۳. پرکننده ریز معدنی، خاکستر بادی (نوع F)، گرد سیلیس (افزودن پرکننده‌ها پس از گوگرد، از بروز مشکل غبار و گلوله شدن یا کلوخه شدن پرکننده‌ها جلوگیری می‌نماید).
 ۴. الیاف (در صورت نیاز به مصرف)
- ب) دمای مخلوط دائماً باید اندازه‌گیری و مشخص گردد تا از کاهش یا افزایش بی‌مورد دما جلوگیری شود. با این عمل و تنظیم مشعل (از نظر تغذیه سوخت) می‌توان دما را در محدوده باریکی نگهداشت تا در هنگام ریختن از مشکلات ناشی از کاهش یا افزایش دما در امان باشیم.
- ج) بتن گوگردی ظاهری سفت و خشک را در دمای بالاتر از ۱۴۹ درجه سانتی‌گراد از خود بروز می‌دهد و پیمانکار نباید تلاش کند گوگرد اضافی به داخل دیگ مخلوط کن یا حمل بریزد. در چنین موردی دما باید کنترل و کاهش یابد و اینکار در اسرع وقت با مشخص شدن اضافه دما انجام گیرد. در این حالت چنانچه میزان سیمان گوگردی اضافه شده در ابتدا صحیح باشد بتن گوگردی با کاهش دما و رسیدن به دمای مناسب، سیالیت و کارآئی بیشتری را بدست خواهد آورد.

• قالب بندی و مسلح نمودن

هر دو نوع قالب چوبی و فلزی می‌تواند به کار رود. سطح قالب باید با مواد نفتی اصلاح شده آغشته گردد. این عمل برای سطوح قائم و دیواره‌ها لازمست اما برای قالب دال ضرورت ندارد. وقتی از قالب فولادی در سطح بزرگ استفاده می‌شود باید آن را گرم نمود تا از ایجاد یک پوسته سطحی سیمان گوگردی به دلیل گیرش ناگهانی آن در سطح قالب جلوگیری نمود.

بتن گوگردی را می‌توان با میلگردهای فولادی درجه ۶۰ (ASTM A616,617,706) و یا میلگردهائی با پوشش اپوکسی (ASTM A775) مسلح نمود و این در حالی است که میلگرد با گوگرد اصلاح شده واکنش نمی‌دهد. همچنین می‌توان از الیاف شیشه‌ای جهت مسلح نمودن استفاده نمود. جزئیات میلگرد گذاری با بتن معمولی یکسان است. فاصله بین قالب و میلگردهای فولادی باید کمی افزایش یابد تا از بروز مشکل در هنگام ریختن و انجماد بتن گوگردی در این محل جلوگیری شود. راه حل دیگر بجای افزایش فاصله قالب و میلگرد، گرم نمودن قالب و میلگردها با وسایل گرمایشی غیر مستقیم مانند اشعه مادون قرمز قبل از ریختن بتن گوگردی در قالب است.

الیاف شیشه به عنوان عامل کنترل کننده ترکهای ناشی از جمع شدگی و بهبود خواص شکل‌پذیری و مقاومت در برابر ضربه در رابطه با کاربردهای کارگاهی بسیار مؤثر بوده است. استفاده از الیاف شیشه‌ای ۱۳ تا ۳۸ میلی متری به مقدار تقریبی ۹ تا ۱۲ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن گوگردی توصیه شده است. اطلاعات بیشتر را باید از نشریه شماره ۸۹۶۵ گزارش تحقیقات در بررسیهای اداره معادن وزارت کشور ایالات متحده بدست آورد.

• ریختن جابدهی و پرداخت

کلیات

نکات کلیدی در بتن‌ریزی و پرداخت موفقیت آمیز بتن گوگردی داشتن دمای ۱۳۲ تا ۱۴۱ درجه سانتی‌گراد در لحظه ریختن بتن، سرعت، جابدهی و پرداخت بتن می‌باشد.

فرغون و دمپر می‌تواند برای حمل بتن گوگردی داغ و ریختن در داخل قالب به کار رود. هر چند عایق بندی این وسایل ممکن می‌باشد اما ضروری نیست. این وسایل باید تا حدی پر شود که خطری را برای کارگران در هنگام حمل نداشته باشد و سریعاً تخلیه گردد. بتن گوگردی باید تا حد امکان به سرعت ریخته شود به نحوی که تراکم و پرداخت آن در حالیکه هنوز داغ است امکان پذیر گردد.

اجراء کف

تراکم و ضربه زدن و پرداخت بتن گوگردی می‌تواند با وسایل دستی و مشابه بتن معمولی انجام شود. مسلماً امکانات و وسایل و افراد باید بقدر کافی تأمین شود تا بتوان دال کف را با ضخامت مورد نظر به نحوی ریخت تا سرد نگردد. حداکثر ضخامت دال معمولاً به قدرت اجرایی افراد وسایل برای ریختن و پرداخت بتن در حالیکه داغ است محدود می‌شود. می‌توان دال را با یک شمشه و ماله ساده به صورت دستی متراکم نمود و اینکار را با زدن ضربه انجام داد. در مورد دال‌ها استفاده از ویراتورهای خرطومی معمولاً ضرورت ندارد اما ماله لرزننده می‌تواند در دستیابی به سطح صاف موثر است.

وقتی دال را با زدن ضربه توسط ماله متراکم می‌نمائیم با توجه به دمای محیط مجاور فرصت کمی (در حدود چند دقیقه) برای اینکار وجود دارد. وقتی دال را با ضخامت ۵ سانتی‌متر می‌ریزیم بین ۲ تا ۱۰ دقیقه برای پرداخت سطح فرصت داریم در غیر این صورت سطح آن شروع به سخت شدن می‌کند. در دالی به ضخامت ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر زمانی در حدود ۵ تا ۲۰ دقیقه به صورت فرصت کاری وجود دارد. کشیدن ماله در سطح در یک نوبت وقتی بتن هنوز به صورت سیال و مذاب است کافی می‌باشد. از ماله‌های چوبی و فلزی مرغوب می‌توان به این منظور استفاده نمود. اگر سطح شروع به سرد و سخت شدن نماید در حین ماله کشی بریده بریده می‌شود و پرداخت بدی حاصل می‌گردد. در اینصورت می‌توان با یک مشعل گاری کوچک می‌توان سطح را گرم نمود و به صورت مذاب درآورد و مجدداً آن را پرداخت نمود.

وقتی سطح بتن گوگردی را با ماله صاف می‌کنیم، لایه‌ای از سیمان گوگردی و مواد ریز به سطح ماله می‌چسبد و سخت می‌گردد. پرداخت کننده سطح باید در کنار خود سطلی از آب داشته باشد و ماله را سریعاً در آب خنک فروبرد تا موجب گیرش سریع سیمان گوگردی چسبیده به سطح شود سپس ماله را محکم به سطح سخت می‌زنیم تا گوگرد و ملات ترد آن خرد و جدا شود. اگر بتن گوگردی سهواً در نقطه اشتباهی ریخته شود نباید اصرار داشت تا با سرعت آن را از سطح مزبور جدا کرده و برداریم زیرا لایه نازکی از آن باقی خواهد ماند بلکه لازمست اجازه دهیم بتن در محل مزبور کاملاً سرد و سخت گردد سپس با یک میله یا بیل به آن ضربه می‌زنیم تا خرد شده و جدا گردد در این حالت اثری از آن باقی نخواهد ماند. سطح نهائی تمام شده و پرداخت شده با ماله در این نوع بتن‌ها برای بیشتر کارها مناسب است. سطح دال بتن گوگردی سخت شده، توپر قابل شستشو و مقاوم در برابر سایش می‌باشد.

ساخت دیوار

در ساخت دیوار باید به نکاتی توجه نمود که در ادامه به آن موارد خواهیم پرداخت. گرم کردن قالب و میگردها با وسایل گرمایشی مناسب بویژه لامپ‌های مادون قرمز قبل از ریختن بتن برای جلوگیری از سرد شدن و گیرش ناگهانی ضروری است. عایق بندی دیواره قالب برای جلوگیری از اتلاف سریع دما می‌تواند مؤثر باشد و اجازه کار طولانی مدت و بیشتری را به ما بدهد. چرب کردن سطوح قالب با موادی مناسب و برپایه مواد نفتی ضرورت دارد تا قالب‌ها به آسانی جدا و آزاد گردد. استفاده از ویراتور خرطومی ضعیف و به مدت کم می‌تواند مفید باشد اما افزایش زیاد می‌تواند به جاشدگی بیانجامد. لرزاننده‌های خارجی و متصل شونده به قالب به صورت مؤثری برای تراکم دیوار به کار رفته است.

بتن ریزی سطوح و زمینهای شیبدار

بتن ریزی روی سطوح شیبدار با محدودیت جدی روبرو می‌باشد. تجربیات اخیر نشان می‌دهد که می‌توان روی سطوحی با شیب ۲/۱ تا ۶/۵ درصد را با بتن گوگردی حاوی سنگدانه‌های تیز گوشه و کنترل ویژگی‌های زیر بتن‌ریزی نمود.

۱. اگر بتن گوگردی دارای پودر سیلیس به عنوان پرکننده باشد می‌توان آن را روی سطوحی با شیب بیشتر ریخت در حالیکه با استفاده از خاکستر بادی نمی‌توان اینکار را بخوبی انجام داد. مخلوطهای حاوی گرد سیلیس معمولاً خمیری و سفت تر بوده و از سیالیت و روانی کمتری برخوردار است.

۱. مشکل روان شدگی و سیالیت زیاد را می‌توان با کاهش میزان مصرف سیمان گوگردی در مخلوط کنترل نمود.

۲. احتمالاً با کنترل دما نیز می‌توان به روانی کمتر دست یافت تا بتوان سطح شیبدار را بتن ریزی نمود.

۶-۴-۲- تعمیر سطوح آسیب دیده

اگر سطح بتن خوب پرداخت نشده باشد و یا بدلایلی سطح آن آسیب دیده باشد می توان با حرارت دادن این سطوح مجدداً آن را پرداخت نمود و سطح مناسبی را بدست آورد. با استفاده از حرارت دهی غیر مستقیم مانند لامپهای مادون قرمز می توان اینکار را بخوبی انجام داد اما باید در اینکار تسریع بعمل آورد. توصیه می شود از وسایل حرارتی مستقیم و متمرکز استفاده نگردد، زیرا حرارت مستقیم و متمرکز بر سطح بتن گوگردی سرد و سخت می تواند به بروز ترک بویژه در مقاطع نازک منجر شود. می توان حفرات، فرورفتگی ها و بریدگی ها و سوراخهای موجود در سطح بتن را با استفاده از بتن گوگردی ریخته شده و یا حرارت دهی مجدد سطح مزبور اصلاح و پرداخت شود.

درزها و درزگیرها

درزها برای کنترل ترک خوردگی (جمع شدگی) و انبساط و انقباض حرارتی و اجرائی لازمست موقعیت درزها باید با ملاحظه نوع کار و سایر ملاحظات مشخص گردد. معمولاً عرض یک قطعه به حدود $2/2$ تا $3/7$ متر به دلیل محدودیت در پرداخت محدود می شود. فاصله ترک های جمع شدگی معمولاً بر حدود ۳۵ برابر ضخامت دال محدود می شود. ترکهای انقباضی (جمع شدگی) معمولاً ۶ تا ۹ میلی متر عرض را دارا می باشد و عمق آن ۲۰ تا ۲۵ درصد ضخامت دال است (حداقل عمق).

اگر درز اجرائی (ساخت) در پایان عملیات اجرائی ریختن بتن به کار رود گذاشتن کلیه برشی مفید است اما ضروری نیست درزهای انبساط معمولاً ۱۰ تا ۱۳ میلی متر عرض دارند تا بتوانند از بروز تنش های حرارتی در دالها جلوگیری کنند.

حداکثر فاصله درزهای انبساط به حدود ۱۸ متر برای مخلوط های عادی محدود می شود. اگر مقادیر سیمان گوگردی بیش از ۱۸ درصد وزن بتن باشد حداکثر فاصله درزها باید کاهش یابد. از مواد قیری اشباع شده از الیاف که منطبق با ASTM D 1751 می توان به صورت رضایت بخش استفاده نمود. درزگیر انعطاف پذیر سازگار با شرایط محیطی طبق ACIS04 (راهنمای مصرف درزگیرها برای سازه های بتنی) می تواند به کار رود اما عمق ماده درزگیر در درز نباید از عرض آن بیشتر شود. در قسمت زیرین این مواد باید از پرکننده هایی استفاده کرد که مصرف این ماده در عمق محدود شود (فوم های پلی اتیلن) و ماده درزگیر از زیر درز نریزد. (جاویدروزی، ۱۳۹۵، et al.)

منابع

بابکی، پ.، مهدوی، ا.، محمودی، م.، دهقانی، م.، ۱۳۹۵. تأثیر و اهمیت میزان گوگرد مصرفی در و مزایای بتن گوگردی / این بتن. تبریز، دومین کنفرانس بین المللی انسان، معماری، عمران و شهر، تبریز، مرکز مطالعات راهبردی معماری و شهرسازی. جاویدروزی، م.، قاسمی، ع.، ملکی، م.، ۱۳۹۵. بتن گوگردی؛ معیارها و مصارف. تهران، چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران.

جلگه نژاد، خ.، سیدمصطفی، و. مهدی آباد، م.، ۱۳۹۵. بررسی پارامترهای موثر در بتن گوگردی. استان البرز، دومین همایش بین المللی معماری، عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران، کنسرسیوم آناافت شهر انجمن معماری و شهرسازی.

جوزم، ب. جواد، د.، ۱۳۹۷. بتن گوگردی، مزایای فنی و زیست محیطی. پنجمین همایش ملی مصالح ساختمانی و فناوری های نوین در عمران، معماری و شهرسازی.

قنبری، انجفی، م.، ۱۳۹۷. مروری بر عملکرد پارامترهای موثر بر ساخت و تقویت بتن گوگردی. کنفرانس بین المللی عمران.

بتن گوگردی چیست؟ | مزایا، معایب، کاربرد و محل مصرف بتن گوگردی

بتن گوگردی مصالح نسبتاً جدیدی است، گرچه ظاهر آن در نهایت شبیه بتن معمولی می باشد اما ساخت، حمل، کاربرد و آزمایش آن متفاوت است. هدف این راهنما آشنائی مهندسين، پیمانکاران، سازندگان و مصرف کنندگان این بتن، کاربردها و کمک برای انتخاب مصالح، نسبت های اختلاط و خواص آن جهت استفاده بهینه بتن گوگردی است. بتن گوگردی مصالحی ترموپلاستیک است که با اختلاط سیمانهای گوگردی بصورت گرم با سنگدانه های معدنی ساخته می

فصل ۱- تاریخچه

۱-۱- مقدمه

بتن گوگردی مصالح نسبتاً جدیدی است، گرچه ظاهر آن در نهایت شبیه بتن معمولی می‌باشد اما ساخت، حمل، کاربرد و آزمایش آن متفاوت است. هدف این راهنما آشنائی مهندسين، پیمانکاران، سازندگان و مصرف کنندگان این بتن، کاربردها و کمک برای انتخاب مصالح، نسبت‌های اختلاط و خواص آن جهت استفاده بهینه بتن گوگردی است. بتن گوگردی مصالحی ترموپلاستیک است که با اختلاط سیمانهای گوگردی بصورت گرم با سنگدانه‌های معدنی ساخته می‌شود. بتن گوگردی سریعاً در اثر خنک شدن سخت می‌شود و کسب مقاومت می‌کند. اگر سنگدانه‌های مقاوم در برابر اسیدها و نمکها بکار رود بتن گوگردی پر مقاومت و بادوام می‌تواند تولید شود و در مواردی که سایر بتن‌ها سریعاً از بین می‌روند بخوبی مصرف گردد. بتن گوگردی در محیط‌های قلیائی و اکسید کننده‌ها پایدار نیست اما در محیط‌های اسیدی و نمکها عملکرد عالی دارد.

بتن‌های گوگردی اولیه که با گوگردهای اصلاح نشده ساخته می‌شوند از نظر دوام مشکل داشتند. حتی وقتی از مصالح مقاوم و بادوام برای تولید این بتن استفاده می‌شد، این بتن‌ها در زمان نسبتاً کوتاهی از بین می‌رفت و خراب می‌گشت. بهرحال با مصرف سیمانهای گوگردی اصلاح شده دوام بتن‌های گوگردی افزایش یافت و کاربرد آن را بعنوان مصالح ساختمانی امکان پذیر نمود. در این حالت این نوع بتن برخی خواص منحصر بفرد را به اثبات رسانده است که عبارتند از:

الف - مقاومت زیاد و مقاومت در برابر خستگی

ب - مقاومت عالی در برابر بیشتر اسیدها و نمکهای آنها

ج - گیرش فوق‌العاده سریع و کسب مقاومت زود هنگام

یکی از بیشترین کاربردهای بتن گوگردی، استفاده آن بعنوان کف‌های صنعتی است که در برابر مواد شدیداً خورنده قرار می‌گیرند.

۱-۲- تحقیقات اولیه

مصرف گوگرد بعنوان عامل مذاب چسباننده به دوران ما قبل تاریخ بر می‌گردد. در قرن ۱۷ میلادی از گوگرد برای اتصال فلزات در سنگ استفاده می‌شد و هنوز در امریکای لاتین استفاده‌های مشابه صورت می‌گیرد. پس از جنگ جهانی اول (۱۹۱۹) تقاضای گوگرد به ایجاد گنبدیهای بزرگ گوگرد در نزدیک Matagorda تگزاس انجامید. این امر تولید گوگرد را در ایالات متحده دوچندان نمود و به تولید مازاد منجر گردید.

Bacom و Davis در ۱۹۲۱ گزارشی را در رابطه با مصارف گوگرد در مصالح ساختمانی و مصرف این ماده زائد و اضافی ارائه دادند. آنها بسیاری از افزودنی‌های (افزونه) پیشنهادی را برای اصلاح خواص گوگرد برای مصارف خاص آزمایش نمودند و دریافته‌اند که اغلب آنها نامناسب می‌باشند. آنها متوجه شدند که مخلوط ۶۰ درصد ماسه و ۴۰ درصد گوگرد، مصالحی مقاوم در برابر اسید و با مقاومت عالی را بوجود می‌آورد.

Kabbe در ۱۹۲۴ خواص ضد اسیدی مصالح ساخته شده از گوگرد و کک را گزارش نمود.

Duecker در ۱۹۳۴ دریافت که مخلوط ۶۰ درصد ماسه و ۴۰ درصد گوگرد در چرخه‌های حرارتی افزایش حجم توأم با کاهش مقاومت خمشی را بوجود می‌آورد. وی قادر بود هر دو خاصیت افزایش حجم و کاهش مقاومت ناشی از چرخه‌های حرارتی را با استفاده از اصلاح گوگرد با یک پلی سولفاید اولفین کاهش دهد. مصرف افزونه‌های مختلف برای پایداری کردن هرچه بیشتر باعث شد تا بکارگیری بتن گوگردی در صنعت بیشتر شده و تحقیقات بیشتری برای بهبود محصولات گوگردی بعنوان ملاترها و پرکننده‌های مقاوم در برابر اسید به انجام رسد.

Mckinney در ۱۹۴۰ روشهای آزمایش برای مصالح گوگردی را مطرح نمود که در انستیتو Mellon موفقیت آمیز شناخته شد. بیشتر این روشها در ASTM بعنوان آزمایش و مشخصات ملاتهای گوگردی ضد اسید مورد اقتباس قرار گرفتند.

پیشرفتهائی در امکان اصلاح گوگرد و تولید محصولات با دوام‌تر، علاقه به تحقیقات را در فعالیتهای تجاری بیشتر نمود. تحقیقات به دو دسته تقسیم شد که شامل بتن گوگردی و بتن گوگردی تزریقی بود. این گزارش عمدتاً بر روی استفاده از بتن گوگردی متمرکز می‌شود زیرا بتن گوگردی تزریقی هنوز به مصارف گسترده و در مقیاس بزرگ و واقعی دست نیافته است.

۱-۳- تحقیقات اخیر در باره بتن گوگردی

پیشرفت‌های عمده در توسعه و کاربرد بتن گوگردی در دهه اخیر (دهه ۸۰) حاصل شد. تحقیقات حول این مسئله بنا شد که بتن گوگردی مصالح ساختمانی ماندگار و بادوام باشد و سیمانهای گوگردی بهبود یافته و طرح اختلاط بهتر برای تولید محصولات یکنواخت با روش عادی ساخته شود.

در اواخر دهه ۶۰، Ludwig و Dale روی ساختار سیستم گوگرد - سنگدانه کار کردند و به لزوم استفاده از سنگدانه خوب دانه‌بندی شده برای دستیابی به مقاومت بهینه اشاره نمودند.

این تحقیقات بوسیله Crow و Bates دنبال شد و بتن گوگردی بازالتی پر مقاومت مورد بررسی قرار گرفت. اداره معادن وزارت کشور ایالات متحده وانستیتو گوگرد یک برنامه همکاری را در سال ۱۹۷۱ برای تحقیق و توسعه در زمینه مصارف جدید گوگرد شروع نمودند. تقریباً در همین زمان، مرکز فن آوری انرژی و مواد معدنی کانادا (CANMET) و انجمن تحقیقات ملی (NCR) کانادا برنامه تحقیقات خاصی را در ارتباط با بتن گوگردی شروع کردند. این کار با تحقیقات انجام شده در دانشگاه Calgary در آلبرتا Alberta کانادا دنبال شد.

در ۱۹۷۳، انستیتو کاربرد گوگرد کانادا (SUDIC) با دولت فدرال کانادا و دولت محلی آلبرتا و تولید کنندگان گوگرد کانادا بطور مشترک سعی نمودند بازارهای جدید مصرف برای گوگردهای مازاد کانادا بوجود آورند. در ۱۹۷۸، CANMET و SUDIC یک کنفرانس بین‌المللی را تدارک دیدند، در مورد مصرف گوگرد در ساخت و اجراء تبادل نظر گردد. همچنین در این ایام، تعدادی محقق شامل Lee، Diehl، Hackl، Gregor و همکاران، Loov، Yuan، Vroom، Malhotra، Sullivan، McBee و دیگران مقالات و گزارشهایی را با عناوین و اهداف و منظوره‌های گوناگون در مورد گوگرد و بتن گوگردی منتشر نمودند. همه این فعالیت‌ها به افزایش آگاهی در ارتباط با استعداد مصرف گوگرد بعنوان مصالح ساختمانی منجر گردید.

با عنایت به اینکه بتن گوگردی با استفاده از گوگرد اصلاح نشده و اختلاط گرم با سنگدانه تهیه می‌شد، دوام محصول تولیدی یک مشکل محسوب می‌گردید. بتن گوگردی اصلاح نشده، وقتی در معرض یخ‌بندان و آب‌شدگی، شرایط مرطوب یا غوطه‌وری در آب قرار می‌گرفت خراب می‌شد. هدف تحقیقات، تبیین دلائلی خرابی این بتن‌های گوگردی و راهکارهای جلوگیری از این خرابی‌ها بود.

وقتی سنگدانه و گوگرد اصلاح نشده گرم مخلوط شده در قالب ریخته و سرد می‌شود تا محصولات بتن گوگردی حاصل گردد، چسب گوگردی بهنگام سرد شدن و فاصله گرفتن از حالت مایع، در ابتدا بعنوان گوگرد منوکلینیک (S_B) در ۱۱۴ °C تبلور

می‌یابد و با کاهش حجم ۷ درصدی همراه می‌گردد. با ادامه سرد شدن تا دمای کمتر از ۹۶ °C، S_B به گوگرد ارتورومبیک (تبدیل می‌شود که شکل پایدار گوگرد در دماهای محیط مجاور است. این تبدیل سریع انجام می‌شود و بطور کلی در کمتر از ۲۴

ساعت بوقوع می‌پیوندد. از آنجا که شکل متراکم‌تر و توپرتر از می‌باشد، تنش زیادی در آن بواسطه جمع‌شدگی گوگرد جامد ایجاد می‌شود. بنابراین چسبنده گوگردی تحت تنش قرار می‌گیرد می‌تواند خراب شود. انبساط منشور ملات گوگرد و ماسه مثالی از خرابی یک محصول گوگردی بدلیل آزاد شدن تنش بوسیله چرخه حرارتی است که توسط Duecker مشاهده شده بود. لازم بود یک راه حل و وسیله اقتصادی برای اصلاح گوگرد برای تولید بتن گوگردی با دوام خوب مشخص گردد. در حالیکه افزونه‌های پلی سولفید اولیفینی در این رابطه مفید قلمداد شد، قیمت و هزینه آن مانعی در راه تولید بتن گوگردی در کارهای اجرائی در مقیاس واقعی بزرگ ایجاد می‌نمود.

در ۱۹۷۳ اقدامی توسط Vroom با کمک و همکاری انجمن ملی و تحقیقات کانادا و Ortega از دانشگاه Mc Gill در Montreal کانادا صورت گرفت. در این رابطه گوگرد بوسیله واکنش با پلیمرهای هیدروکربن اولیفینی، اصلاح شد. همچنین روشن شد که یک واکنش مشابه، گوگرد محلول در پلیمر بدست می دهد. بتن گوگردی حاصله در ابتدا در Calgary واقع در Alberta و در سال ۱۹۷۵ برای مصارف تجاری تولید شد. اصلاح گوگرد با واکنش با دی سیکلوپنتادین (DCPD) بوسیله بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفت. اما کاربرد آن در مصارف تجاری صنعتی محدود بود، زیرا واکنش بتن گوگرد و DCPD بصورت اکسوترمیک (exothermic) می باشد و نیاز به کنترل نزدیک و زیاد دارد. همچنین سیمان گوگردی اصلاح شده با DCPD هنگامیکه در معرض دمای زیاد (بیشتر از 140°C) قرار می گیرد ناپایدار می شود بطوریکه وقتی با سنگدانه داغ مخلوط می گردد ممکن است واکنش

ناپایدار کننده ای را برای محصول گوگردی بوجود آورد و به تبدیل شود. MCBee و Sullivan این مسئله را از طریق

فرآیندی برای تهیه سیمان گوگردی اصلاح شده حل نمودند که در آن به همان شکل پایدار بماند و در هنگام اختلاط به دمای موجود حساس نباشد. اینکار، واکنش کنترل شده سیکلوپنتادین (CPD) را بوجود آورد.

پژوهشگران دیگر روشهایی را برای اصلاح گوگرد جهت ساخت بتن گوگردی گزارش نموده اند. این افراد عبارتند از: Leutner و Diehl با استفاده از DCPD، Gillott و همکاران با استفاده از افزونه های Polyol و نفت خام، Schneider و Simic با استفاده از DCPC یا یک گلیکول، Woo با استفاده از اسید فسفریک برای بهبود مقاومت در برابر یخبندان و آبشستگی و Nimer و Campbell با استفاده از ارگانوسیلان (Organosilane) برای بهبود پایداری در برابر آب همچنین Gregor و Hackl کارهای آزمایشگاهی را برای محصولات بتن گوگردی اصلاح شده با DCPD گزارش نمودند، Bright و همکاران کارهایی بر روی سیستمهای گوگردی اصلاح شده انجام دادند و Bordoli و Pierce بر روی پایداری گوگرد اصلاح شده با DCPD کار نمودند.

از ۱۹۷۶ محصولات تجاری و کاربرد بتن گوگردی مقاوم در برابر مواد خورنده بطور روزافزون بکار گرفته شد. بتن گوگردی بصورت پیش ساخته و درجا در کارهای صنعتی بکار رفت در حالیکه بتن معمولی قبلاً در این پروژه خراب شده بود و خوردگی در برابر اسید و نمکها را تحمل نموده بود. مصرف این بتن ها عمدتاً در کف و دالهای روی زمین، جدول، دیوار و زهکش ترانشه، چاله های فاضلاب، مخازن، محفظه های الکترولیت، پمپ خانه، پایه ها، شالوده ها و لوله ها و اندود روکش بود. موارد مندرج در این گزارش نتیجه کاربرد این نوع بتن در کارهای صنعتی و تجاری و تجارت حاصله است.

۱-۴- مزایا و نکات مربوط به بتن گوگردی

مزیت عمده بتن گوگردی، کاربرد آن بعنوان ماده با دوام ساختمانی و جایگزین بتن معمولی در نقاطی است که اسید و نمک در محیط مجاور آن می تواند باعث خرابی آن شود.

چندین مزیت در بکارگیری بتن گوگردی برای عملیات اجرائی در محیط های خورنده اسیدی وجود دارد. اولین آنها عمر زیاد این نوع بتن ها نسبت به بتن معمولی در این شرایط است. مزایای دیگر بتن گوگردی، زمان سریع گیرش و کسب سریع مقاومت در سنین اولیه است. از آنجا که در کمتر از یک روز به درصد قابل توجهی از مقاومت نهائی دست می یابیم، می توان قالب ها را سریعاً برداشت و بدون زمان عمل آوری طولانی از این نوع بتن بهره برداری نمود. بطور کلی بتن گوگردی ویژگیهای مفید زیر را داراست:

۱. مقاومت های کششی، فشاری و خمشی و عمرخستگی بتن گوگردی بیشتر از بتن معمولی است شکل ۱-۴ رابطه مقاومت فشاری این دو نوع بتن را در مقایسه با هم نشان می دهد. سیمان پرتلند معمولی (نوع I) به میزان 350 kg/m^3 و سنگدانه با حداکثر اندازه ۳۸ میلی متر در بتن معمولی بکار رفته است.

۲. بتن گوگردی مقاومت عالی در برابر حمله بسیاری از اسیدها و نمکها و برخی محلولهای خیلی غلیظ از خود نشان می دهد.

۳. بتن گوگردی سریعاً می گیرد و به ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت فشاری نهائی در مدت ۲۴ ساعت می رسد.

۴. بتن گوگردی را می توان در تمام طول سال در سرمای شدید زیر صفر ریخت.

۵. نفوذپذیری بتن گوگردی در برابر آب بسیار کم است.

جابجائی اختلاط و استفاده از بتن گوگردی باید، احتیاط رعایت نکات ایمنی انجام گیرد. این گزارش جنبه کلی دارد و نمی‌تواند همه نکات و ملاحظات ایمنی را شامل می‌شود. محدوده دمای اختلاط ۱۲۷ تا ۱۴۱ °C می‌باشد تا گازهای مضر به حداقل برسد. تهویه کافی بهنگام اجرا و ملاحظات معمول و استاندارد برای حمل و نقل مواد داغ مایع مد نظر قرار گیرد (لباس و دستکش محافظ کامل، محافظ چشم و کلاه ایمنی). این ملاحظات ایمنی توسط «انجمن ملی ایمنی (NSC)» تدوین شده است. اگر دمای محیط از نقطه ذوب سیمان و بتن گوگردی بالاتر رود، بتن دچار کاهش شدید مقاومت شده و نرم و شل می‌گردد.

فصل دوم – راهنمای مصرف کننده بتن گوگردی در ساخت و اجرا

۱-۲- سنگدانه‌ها و گوگرد اصلاح شده

۱-۱-۲- سیمان گوگردی اصلاح شده

از سال های دهه ۱۹۳۰ به این فکر افتادند تا پایانی و دوام گوگرد را در بتن افزایش و انبساط و انقباض را در اثر تغییرات دما کاهش دهند. سیمان‌های گوگردی اصلاح شدند تا پایداری و دوام را بهبود بخشد. چند روش جهت این هدف بکار گرفته شد. دو روش امروزه در امریکای شمالی برای تولید سیمانهای گوگردی بکار می‌رود که نامهای تجاری خاصی را داراست. روش اول بر پایه واکنش پلیمری گوگرد با یک اصلاح کننده شامل قسمتهای مساوی از سیکلو پنتادین اولیگومر و دی سیکلوپنتادین استوار است (cyclopentadiene oligomer و dicyclopentadiene) ترکیب و خواص سیمان گوگردی اصلاح شده روش اول به شرح زیر است:

گوگرد، درصد وزنی $1/0 \pm 95/0$ درصد

کربن، درصد وزنی $0/5 \pm 5/0$ درصد

هیدروژن، درصد وزنی $0/5 \pm 0/5$ درصد

چگالی در 25°C $1/90 \pm 0/02$

لزجت در 135°C ۱۰۰-۲۵ سانتی پواز

در روش دوم گوگرد اصلاح شده تغلیظ شده با ترکیب و اختلاط گوگرد و پلیمرهای هیدروکربن اولیفینی مانند Escopol بدست می‌آید. این ماده غلیظ سپس در محل با گوگرد خالص به نسبت ۱ به ۱۰ وزنی مخلوط می‌شود. بتن حاصله از بکارگیری گوگرد اصلاح شده بدست آمده از روش دوم شامل ترکیب تقریبی زیر می‌باشد:

گوگرد

درصد وزنی ۸۰

کربن، درصد وزنی ۱۸

هیدروژن، درصد وزنی ۲

هر دو روش گوگرد اصلاح شده‌ای با طول عمر نگهداری خیلی زیاد را در حالت جامد بدست می‌دهند. اگر این مواد در حالت مذاب نگهداری شوند، هر دو نوع گوگرد اصلاح شده (دو نوع اصلاح کننده)، واکنش را ادامه داده و بتن هائی نامرغوب را بوجود می‌آورند.

در این حالت مصرف کننده باید توصیه های محدوده زمانی نگهداری ماده مذاب در حالت مایع را برای گوگرد اصلاح شده رعایت نماید. روشهای آزمایش برای سیمانهای گوگردی اصلاح شده در زیر از نظر می گذرد.

۱. گوگرد و کربن با احتراق سیمان گوگردی توسط یک آنالیز در کربن / گوگرد تعیین می‌شود.

۲. چگالی سیمان گوگردی طبق ASTM D70 در دمای 25°C انجام می گردد.

۳. لزجت ماده سیمان گوگردی مذاب در دمای °C ۱۳۵ با استفاده از یک لزجت سنج (ویسکومتر) نوع دوکی شکل چرخان (Rotating Spindle-type Viscometer) مجهز به محفظه‌ای که با برق گرم شده و کنترل دما (ترموستات) داشته باشد اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۱-۲- سنگدانه ها

انتخاب کیفیت سنگدانه مناسب برای هر کاربرد در ساخت بتن گوگردی ضروری است. سنگدانه‌ها باید با مشخصات ASTM C33 از نظر دوام، تمیزی و میزان مواد زیان آور سازگار باشند. سنگدانه ها باید در برابر حملات شیمیائی مورد نظر در محیط بهره‌برداری مقاوم باشند. مثلاً سنگدانه های کوارتزی برای محیط‌های اسیدی و نمکی مناسب هستند در حالیکه سنگدانه های آهکی فقط برای محیط‌های حاوی املاح کاربرد دارند و در محیط اسیدی دوام ندارند. سنگدانه‌های شکسته (تیز گوشه) نسبت به سنگدانه گرد گوشه بدلیل افزایش مقاومت بتن گوگردی ارجحیت دارند. سنگدانه‌ها باید ویژگیهای زیر را برآورده نمایند.

۲-۱-۲-۱- دانه‌بندی سنگدانه

سنگدانه های دانه‌بندی شده باید در ساخت بتن گوگردی بکار رود تا مصرف سیمان گوگردی (چسباننده) را به حداقل رساند. سه بخش اندازه ای از سنگدانه معمولاً برای تولید بتن توپرومتراکم بکار می‌رود که عبارتند از :

الف - سنگدانه درشت (شن)

ب - سنگدانه ریز (ماسه)

ج - پرکننده معدنی (ریزتراز ۷۵٪ میلی متر)

دانه‌بندی باید حداقل حفرات و فضای خالی را در سنگدانه‌های معدنی بدست دهد (VMA). جدول ۱-۲-۱-۲ طبق ASTM D3515 ارائه شود و بعنوان یک راهنما برای دستیابی به حداقل خطرات در مخلوط می‌تواند بکار رود.

۲-۱-۲-۲- مقاومت در برابر خوردگی

سنگدانه‌های بتن گوگردی در محیط‌های اسیدی نباید هیچ گونه جوشش و ترکیبی را در برابر اسید با غلظت مورد نظر در دمای خاص محیط نشان دهد. سنگدانه های بکار رفته در چنین محیطی نباید کاهش وزنی بیش از ۲ درصد را در برابر اسید با غلظت مورد نظر در دمای °C ۶۰ ± ۳ در طی ۲۴ ساعت از خود نشان دهد.

سنگدانه بتن گوگردی در محیط نمکی نباید واکنش و یا تجزیه شدگی را طی ۲۴ در محلول مورد نظر و در دمای °C ۳۰ ± ۶۰ به نمایش گذارد.

جدول ۱-۲-۱-۲- محدوده دانه‌بندی توپو و متراکم سنگدانه (طبق ASTM D3515)

حداکثر اندازه (م.م)	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵
اندازه الک (م.م)				
۳۷/۵	۱۰۰			
۲۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰		
۱۹		۹۰-۱۰۰	۱۰۰	
۱۲/۵	۵۶-۸۰		۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۹/۵		۵۶-۸۰		۹۰-۱۰۰
۴/۷۵	۲۹-۵۹	۳۵-۶۵	۴۴-۷۴	۵۵-۸۵
۲/۳۸	۱۹-۴۵	۲۳-۴۹	۲۵-۵۸	۳۲-۶۷

۰/۳	۵-۱۷	۵-۱۹	۵-۲۱	۷-۲۳
٪۷۵	۱-۷	۲-۸	۲-۱۰	۲-۱۰

۷- الف

۲-۱-۲-۳- جذب آب سنگدانه

سنگدانه های متخلخل و پوک نباید بکار رود. سنگدانه باید کاملاً نفوذناپذیر و مقاوم در برابر تنش های یخ بندان و آبشستگی باشد. حداکثر جذب آب سنگدانه درشت باید کمتر از ۱ درصد و برای سنگدانه ریز کمتر از ۲ درصد باشد (آزمایش باید طبق ASTM C127 و ASTM C128 انجام گیرد).

۲-۲- آماده سازی مخلوط و آزمایش

۲-۲-۱- آماده سازی مخلوط

تولید بتن گوگردی بادوام و مقاوم در برابر خوردگی نیاز به کنترل کیفی همه اجزاء و مصالح مورد استفاده دارد. روشهای ساخت مناسب نیز برای اختلاط و اجرا (ریختن) در محل لازمست. پیمانکار باید قادر باشد نسبت ها و مقادیر هر یک از اجزاء مخلوط را دقیقاً کنترل و گزارش نماید.

۲-۲-۱-۱- خواص

جدول ۲-۲-۱-۱ خواص بتن مورد نظر را یک روز پس از خنک شدن بدست می دهد.

جدول ۲-۲-۱-۱- خواص بتن گوگردی پس از یک روز خنک شدن

ویژگی	حداقل مقاومت فشاری	حداقل مقاومت خمشی	حداقل مقاومت کششی شکافتی	حداکثر جذب آب یکروزه در آب	حفرات موجود	حداکثر ضریب انبساط حرارتی	مدول الاستیسته E	حداقل دوام در برابر یخ بندان و آبشستگی (کاهش مدول الاستیسته دینامیکی پس از ۳۰۰ چرخه طبق ASTM C666-A
واحد	MPa	MPa	MPa	٪	٪	برای °C ۱	GPa	٪
مقدار	۲۷/۶	۵/۲	۴/۱	۰/۱	۴-۸	۱۵×۱۰ ^{-۶}	۲۰/۷-۲۷/۶	۶۰

* نحوه آزمایش در بخش ۲-۳-۲-۶ ارائه شده است.

۲-۲-۲- نسبت های اختلاط

۲-۲-۲-۱- کلیات

نسبت‌های مخلوط، مقادیر اجزاء بتن گوگردی شامل سنگدانه درشت، سنگدانه ریز، پرکننده‌های معدنی و سیمان گوگردی لازم برای دستیابی به کیفیت مطلوب و بالا می‌باشد. در این راهنما، واژه طرح مخلوط برای تعیین مخلوط بهینه با توجه به ملاحظات و روش‌های ارائه شده می‌باشد و نباید با طراحی سازه‌ای اشتباه گرفته شود.

طرح مخلوط بتن گوگردی با بتن معمولی کاملاً متفاوت است. دانه‌بندی مخلوط سنگدانه باید طبق ASTM D3515 باشد که بتن کارآتری را در مقایسه با ویژگیهای ASTM C33 برای دانه‌بندی هر یک از سنگدانه‌ها بوجود می‌آورد.

بهرحال مانند بتن معمولی و بتن قیری، طرح مخلوط بهینه بتن گوگردی با عنایت به خواص مورد نظر و کاربرد ویژه آن بدست می‌آید. طرح‌های مخلوطی که در اینجا مورد توجه قرار می‌گیرد برای بتن‌های گوگردی است که در ساخت کف‌ها، شالوده‌ها، کف پوش‌ها، مخازن فاضلاب، دیواره‌ها و محفظه الکترولیت جهت استفاده در محیط‌های اسیدی و نمکی بکار می‌رود. روش کار طرح مخلوط بتن گوگردی با عنایت به نکات و خصوصیات زیر انجام می‌شود.

۱. مقاومت در برابر حمله بیشتر اسیدها و یا محلولهای نمکهای مختلف

۲. حداقل جذب آب

۳. مقاومت مکانیکی بیش از بتن معمولی و یا معادل آن

۴. سیالیت کافی برای ایجاد کارآئی خوب

۵. حداقل رساندن جمع شدگی در هنگام سخت شدن (انجماد)

۲-۲-۲-۲- سیمان گوگردی مورد نیاز

مقدار سیمان گوگردی باید چنان تعیین شود که تعادلی مطلوب بین خواص مکانیکی، چگالی زیاد، جذب آب کم و کارآئی خوب حاصل گردد. جدول ۲-۲-۲-۲ الف محدوده مقادیر سیمان گوگردی را برای حداکثر اندازه سنگدانه با دانه‌بندی متراکم و توپر نشان می‌دهد. مخلوط باید چنان طرح شود که جذب آب بتن کمتر از ۰/۱ درصد وزن آن باشد.

جدول ۲-۲-۲-۲ الف - محدوده میزان سیمان مورد نیاز در بتن گوگردی

حداکثر اندازه (م.م)	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	* ۶/۳۵	* ۴/۷۵
درصد وزنی سیمان گوگردی	۱۲-۱۵	۱۳-۱۶	۱۴-۱۷	۱۶-۱۹	۱۷-۲۰	۱۹-۲۳

* این مقادیر در جدول اصلی نبوده است و مترجم آنرا اضافه نموده است.

جدول ۲-۲-۲-ب شامل اطلاعات تشریحی در مورد خواص حاصله مخلوطهایی از بتن گوگردی است که با سنگدانه کوارتزی با دانه‌بندی توپر و متراکم و حداکثر اندازه ۹/۵ میلی‌متر و مقادیر متفاوت سیمان گوگردی ساخته شده است. با بکارگیری سنگدانه توپر و متراکم از نظر دانه بندی و سیمان گوگردی اصلاح شده، محدوده سیمان گوگردی با توجه به نوع، اندازه و دانه‌بندی سنگدانه تعیین می‌گردد. جداول ۲-۲-۲-۲ الف و ۲-۲-۲-۲ ب می‌تواند برای انتخاب مقادیر تقریبی حدود سیمان گوگردی در طرح مخلوط بکار رود. مقادیر و نسبت‌های واقعی طرح مخلوط ممکن است تا حد کمی بیرون از این محدوده واقع شود.

۲-۲-۲-۳- حفرات

به دودلیل، حفرات بتن گوگردی مهم هستند. اول اینکه محلی برای آزاد کردن تنش‌ها می‌باشد و دوام مصالح را بهبود می‌بخشد و دوم آنکه وجود حفرات هوا باعث می‌شود میزان سیمان گوگردی مصرفی کاهش یابد و عمدتاً بعنوان چسب سطح سنگدانه‌ها را بپوشاند و نقش پرکننده ایفا نکند و در نتیجه جمع شدگی ناشی از سردشدن چسب سیمانی را کاهش دهد. حفرات حاصله در هنگام اختلاط بصورت مجزا و نا پیوسته هستند و در زیر میکروسکپ نیز این ناپیوستگی مشاهده می‌شود. در نتیجه این حفرات

باعث افزایش جذب آب بتن گوگردی نمی‌شوند. بطور کلی بین ۴ تا ۸ درصد حباب حبس شده در هنگام اختلاط بتن گوگردی بوجود می‌آید.

جدول ۲-۲-۲-ب اطلاعات طرح مخلوط بتن گوگردی با استفاده از سنگدانه کوارتزی کوچکتر از ۹/۵

درصد وزنی سنگدانه	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۲/۵	۸۰
درصد وزنی سیمان گوگردی	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰
چگالی بتن گوگردی	۲/۲۰۹	۲/۲۹۷	۲/۳۷۰	۲/۳۷۲	۲/۳۶۵
حفرات و درصد حجمی هوای بتن	۱۳/۷	۹/۷	۶/۳	۵/۵	۵/۱
مقاومت فشاری * بتن MPa	۲۰/۴	۴۲/۱	۵۰/۸	۵۱/۴	۴۵/۰
درصد وزنی جذب آب بتن	۱/۰۶	۰/۵۴	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱
کارایی بتن گوگردی	سبباً خشک	سبباً خشک	سفت	سیال	سوپ مانند

میلی متر و با دانه بندی توپر

*مقاومت فشاری مربوط به نمونه های استوانه ای است.

** برای هر طرح مخلوط با توجه به نوع سنگدانه، حداکثر اندازه و دانه بندی موجود باید این مقادیر بدست آید و این اطلاعات بعنوان راهنما منظور گردد.

۲-۲-۳- آزمایش خواص بتن گوگردی

۲-۳-۱- آماده سازی نمونه

نمونه های آزمایشی بتن گوگردی باید با اختلاط مواد در دمای ۱۳۲ تا ۱۴۱ °C تهیه و در قالب های استاندارد ASTM طبق مشخصات قالب های فولادی ASTM C31 ریخته شود. قالب ها می تواند تا دمای تقریبی ۱۳۸ °C قبل از ریختن بتن گوگردی در آن داغ شود. مواد ریخته شده در قالب بایستی با میله ۱۶ میلی متری داغ شده که سر آن گرد شده است متراکم گردد. نمونه ها در وضعیت قائم قرار گرفته تا سرد شود و به دمای اتاق برسد و سپس از قالب درآید. قبل از آزمایش، نمونه ها بمدت یک روز در دمای اتاق نگهداری و خنک می شود.

۲-۳-۲- مقاومت فشاری

تعیین مقاومت فشاری بتن طبق ASTM C39 یا ASTM C109 باید انجام شود. آزمونه ها نباید زودتر از ۲۴ ساعت پس از قالب گیری مورد آزمایش قرار گیرد. در موارد خاص وقتی مقاومت زود هنگام مورد نظر است می توان آزمونه ها را در زمان کوتاهی (مثلاً چند ساعته) تحت فشار قرارداد.

بتن گوگردی در حدود ۷۰ درصد مقاومت نهائی خود را ظرف چند ساعت پس از سرد شدن بدست می آورد و حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد مقاومت نهائی را پس از ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ °C کسب می نماید. مقاومت نهائی بتن گوگردی معمولاً پس از ۱۸۰ روز در دمای ۲۰ °C اندازه گیری می شود. آهنگ رشد مقاومت به دمای محیط و بتن در هنگام نگهداری بستگی دارد. در دمای بالاتر رشد مقاومت آهسته تر و در دمای کم سریعتر می باشد. در بتن های حجیم بتن گوگردی به آرامی خنک می شود و بدین دلیل مقاومت آن به کندی بالا می رود. اما در نهایت به همان مقاومت نهائی خود می رسد. این عوامل باید در نظر گرفته شود و مشخص شود آزمونه ها در چه سنی مورد آزمایش قرار گیرند.

۲-۳-۳- مقاومت خمشی

مقاومت خمشی بتن گوگردی طبق ASTM C78 انجام می گیرد.

۲-۲-۳-۴- مقاومت کششی شکافتی (برزیلی)

این آزمایش نیز باید طبق ASTM C496 صورت گیرد.

۲-۲-۳-۵- حفرات

میزان حفرات به دو روش زیر تعیین می شود:

۱. با تعیین چگالی بتن گوگردی طبق ASTM C642 می توان بصورت محاسباتی درصد هوا (حفرات) را با عنایت به اندازه گیری چگالی حاصله و چگالی محاسباتی مخلوط سنگدانه و سیمان گوگردی بدست آورد. تمیز بین حفرات مجزا و بهم پیوسته باید طبق ASTM C642 انجام می شود.

۲. با برش زنی و تعیین هوا بصورت میکروسکوپی طبق ASTM C457 و با استفاده از روش پیمایش خطی Rosiwal می توان درصد هوا را بدست آورد.

۲-۲-۳-۶- جذب آب

بتن گوگردی ابتدا بصورت خشک اولیه وزن می شود و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب 20°C غوطه ور می شود. سپس اطراف آن با پارچه جاذب خشک می شود و مجدداً توزین می گردد. درصد جذب آب طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

A درصد وزنی جذب آب ، B وزن نمونه خشک و C وزن نمونه اشباع با سطح خشک پس از غوطه وری می باشد. آزمون های استوانه ای 152×76 میلی متر در این آزمایش بکار می رود.

۲-۲-۳-۷- ضریب انبساط حرارتی

ضریب انبساط حرارتی خطی بتن گوگردی به کمک آزمون های منشوری $13 \times 13 \times 25$ میلی متری که از پریدن نمونه استوانه ای 152×76 میلی متری حاصل می گردد تعیین می شود. انبساط در محدوده دمای ۲۵ تا 100°C اندازه گیری می گردد که با آهنگ ثابت به میزان $1/1 \pm 3$ در هر دقیقه بالا می رود. در این حالت حداکثر اندازه سنگدانه به $9/5$ میلی متر محدود می شود.

۲-۲-۳-۸- دوام در برابر یخ بندان و آبشستگی

اندازه گیری دوام در برابر یخ بندان و آبشستگی طبق روش A دستورالعمل ASTM C666 با عنوان « یخ بندان و آبشستگی سریع در آب » بر روی منشورهای بتنی $356 \times 76 \times 76$ میلی متری انجام می شود. آزمایش تعیین مدول ارتجاعی دینامیکی نیز طبق ASTM C215 به انجام می رسد.

۲-۲-۳-۹- مدول ارتجاعی

مدول ارتجاعی طبق ASTM C469 و بر روی استوانه 152×76 میلی متری انجام می گردد.

۲-۲-۳-۱۰- دانه بندی سنگدانه بتن

نمونه استوانه ای بتن گوگردی به قطر ۷۶ و ارتفاع ۱۵۲ میلی متری در کوره سوزانده می شود تا مواد سیمانی آن بسوزد. دمای احتراق اولیه 150°C می باشد. باقیمانده مواد سیمانی سوخته شده در کوره با دمای 440°C به وزن ثابت می رسد. پس از سرد کردن و رسیدن به دمای اتاق، دانه بندی سنگدانه ها طبق ASTM C136 انجام می شود.

همچنین در این حالت با توزین نمونه اولیه و تعیین میزان کاهش وزن آن پس از سوختن مواد سیمانی در کوره به دمای 440°C مقدار تقریبی سیمان گوگردی موجود در بتن بدست می آید. درصد وزن گوگرد در بتن را بدین ترتیب بدست می آوریم ۲۰-

۲-۲-۳-۱۱- تورم رس در بتن گوگردی

رس متورم شونده در بتن گوگردی نباید وجود داشته باشد، زیرا این رس ها در اثر جذب رطوبت باد کرده و موجب خرابی بتن می گردند. آزمایش مؤثر در این رابطه آن است که نمونه $152 \times 152 \times 25$ میلی متری بتن گوگردی در آب غوطه می شود. نمونه ابتدا وزن شده و سپس در آب قرار می گیرد و پس از در آوردن از آب اطراف آن خشک شده و سپس توزین می گردد. سپس نمونه

در آب داغ 82°C و دست کم بمدت ۲۴ ساعت قرار می گیرد. پس از خاتمه کار نمونه از آب بیرون آورده و سطح آن خشک می گردد و مجدداً وزن می شود. اینکار مجدداً هر روز انجام می گردد تا خرابی مشاهده شود. اولین علامت ایجاد خرابی معمولاً دستیابی به افزایش وزن ۱ درصد یا بیشتر است. این خرابی در صورت وجود متورم شونده پس از روز دوم تا چهارم حاصل می شود. پس از این افزایش وزن بروی آثار طبله کردن، ریختن، ترکهای موئی و افزایش شدید وزنی در حدود ۳ تا ۵ درصد مشاهده می گردد. اگر مقدار رس متورم شونده زیاد باشد، ترک آنقدر شدید می شود که ممکن است نتوان نمونه را از آب داغ خارج نمود.

۲-۳- آماده سازی محل ریختن بتن گوگردی

مهم ترین مسئله خشکی محل بتن ریزی بر روی سطح زمین (زیراساس) می باشد. وقتی زیراساس نسبتاً عادی از آب است یک لایه ۵ تا ۱۰ سانتی متری از ماسه خشک باید بکار رود تا به سطح مورد نظر برسیم وقتی رطوبت موجود است یک ورق نازک نایلونی به ضخامت ۰/۱۵ تا ۰/۲ میلی متر یا یک لایه ضد آب و بخار باید روی ماسه یا خاک قرار گیرد تا از رسیدن بخار به بتن گوگردی در هنگام ریختن جلوگیری نماید. سطح بتن ریزی باید بخوبی متراکم و محکم شده باشد. اگر بتن گوگردی روی سطح بتن معمولی موجود ریخته شود، سطح زیرین باید سالم و خشک باشد و ذرات سست و خرد شده باید در ابتدا جدا و برداشته شود. در این حالت نیز اگر بتن زیرین مرطوب باشد می توان از یک غشاء محافظ رطوبت استفاده نمود.

۲-۴- ساخت، حمل، ریختن و پرداخت

۲-۴-۱- وسایل لازم

بتن گوگردی با اختلاط سنگدانه گرم شده (۱۷۷ تا 204°C) و سیمان گوگردی اصلاح شده و پودرهای معدنی (با دمای معمولی) و تا دستیابی به مخلوط یکنواخت و همگن ادامه می یابد و حاصل می گردد. در این مدت و تا هنگام ریختن دمای آن باید بین ۱۳۲ تا 141°C باشد. سنگدانه داغ شده سیمان گوگردی را ذوب می کند و پرکننده های ریز معدنی را گرم می نماید. حداقل و حداکثر دمای بتن گوگردی ۱۲۰ و 150°C است زیرا سیمان گوگردی اصلاح شده در دمای 120°C ذوب می شود و در دمای بیش از 150°C سریعاً لزجت آن افزایش می یابد و مخلوط ناکاراً حاصل می گردد. بدین دلایل دمای ۱۳۲ تا 141°C بعنوان محدوده دمای بهینه توصیه شده است تا فرصت کافی برای حمل، ریختن و پرداخت بتن گوگردی قبل از سخت شدن فراهم آید. وسایل و روشهای ساخت بتن معمولی و بتن قیری در ساخت، حمل، ریختن و پرداخت بتن گوگردی نیز بکار می رود. این وسایل برای ریختن بتن گوگردی در کارگاه شامل موارد زیر است:

۱. وسایل خشک کننده سنگدانه و گرم کننده آن

۲. قیف یا باسکول توزین برای سنجش مقادیر و نسبت های مواد

۳. وسایل اختلاط و حمل

۴. وسایل دستی ریختن و پرداخت بتن

۲-۴-۲- وسایل خشک کننده و گرم کننده سنگدانه

یک وسیله مؤثر برای خشک کردن و داغ نمودن سنگدانه ها، کوره های استوانه ای چرخان (مثل وسایل ساخت بتن قیری) می باشد. بویژه تراک میکسرهای گرم کن دار می تواند با تغییراتی برای تهیه و حمل بتن گوگردی بکار گرفته شود. شن و ماسه جداگانه در سیلوها (کندوها) ریخته شده و بصورت سرد مقدار و نسبت آنها تنظیم می شود و سپس داخل کوره چرخان ریخته و مخلوط می شود و در این اثنا حرارت می خورد که این گرما توسط یک مشغل گازوئیلی یا پروپانی تولید شده و باعث خشک و داغ شدن سنگدانه ها می گردد و به حدی بالاتر از دمای ذوب سیمان گوگردی می رسد. در این حالت در خروجی گازها ریزدانه ها جمع آوری شده و مجدداً مخلوط می گردد. خروجی گاز و بخار ناشی از سوختن مواد سوختی و تبخیر رطوبت و غبار حاصله از ضروریات است. پس از تخلیه سنگدانه های داغ از طریق جام یا تسمه زنجیری فولادی، به درون مخلوط کن و وسیله حمل ریخته می شود. گاه در این مرحله سنگدانه داغ توزین می شود و این امر برای دقت بیشتر صورت می گیرد. چند کنترل کیفی در مرحله ساخت و اختلاط بتن گوگردی باید انجام گردد:

۱. حفاظت محل انبار مصالح برای جلوگیری از آلودگی به مواد مضر
 ۲. کنترل و تأیید مصالح در محل انبار از نظر دانه‌بندی، رطوبت، جذب آب، مقاومت در برابر اسید و حضور رس های متورم شونده
 ۳. کالبره وسایل توزین مصالح
 ۴. نمونه گیری از بتن گوگردی حاصله جهت انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، جذب آب، دانسیته و غیره
- سنگدانه‌ها باید آنقدر داغ شوند که مخلوط نهائی بتن گوگردی دمای ۱۳۲ °C تا ۱۴۱ °C را دارا شود. بطور کلی وقتی سیمان پودری جامد بکار می‌رود دمای سنگدانه باید ۱۷۷ °C تا ۲۰۴ °C باشد تا دمای مورد نظر در مخلوط حاصل گردد.

۲-۴-۳- وسیله اختلاط و حمل

نیازهای ملزومات اختلاط و حمل با خواص منحصر بفرد و ترموپلاستیک بتن گوگردی بشرح زیر در ارتباط است.

۱. بتن گوگردی باید به صورت مذاب در محدوده باریکی از دما باقی بماند.
 ۲. مخلوط بتن گوگردی باید بخوبی درهم شود به نحوی که سیمان گوگردی مذاب بقدر کافی روی سطح سنگدانه های ریز و درشت و پرکننده‌ها را بپوشاند و باید حداقل جدا شدگی را دارا باشد.
 - ملاحظات ویژه‌ای باید بصورت اقلام زیر برای داشتن کنترل کیفی خوب در نظر گرفته شود.
- الف (مصالح باید در موارد زیر توزین گردد:

۱. شن و ماسه داغ شده
۲. سیمان گوگردی اصلاح شده و یا گوگرد و ماده غلیظ اصلاح کننده
۳. پرکننده ریز معدنی، خاکستر بادی (نوع F)، گرد سیلیس (افزودن پرکننده‌ها پس از گوگرد، از بروز مشکل غبار و گلوله شدن یا کلوخه شدن پرکننده‌ها جلوگیری می نماید) .

۴. الیاف (در صورت نیاز به مصرف)

ب (دمای مخلوط دائماً باید اندازه‌گیری و مشخص گردد تا از کاهش یا افزایش بی مورد دما جلوگیری شود. با این عمل و تنظیم مشعل (از نظر تغذیه سوخت) می‌توان دما را در محدوده باریکی نگهداشت تا در هنگام ریختن از مشکلات ناشی از کاهش یا افزایش دما در امان باشیم .

ج (بتن گوگردی ظاهری سفت و خشک را در دمای بالاتر از ۱۴۹ °C از خود بروز می‌دهد و پیمانکار نباید تلاش کند گوگرد اضافی به داخل دیگ مخلوط کن یا حمل بریزد. در چنین موردی دما باید کنترل و کاهش یابد و اینکار در اسرع وقت با مشخص شدن اضافه دما انجام گیرد. در این حالت چنانچه میزان سیمان گوگردی اضافه شده در ابتدا صحیح باشد بتن گوگردی با کاهش دما و رسیدن به دمای مناسب، سیالیت و کارآئی بیشتری را بدست خواهد آورد.

۲-۴-۴- قالب بندی و مسلح نمودن

هر دو نوع قالب چوبی و فلزی می‌تواند بکار رود. سطح قالب باید با مواد نفتی اصلاح شده آغشته گردد. این عمل برای سطوح قائم و دیواره ها لازمست اما برای قالب دال ضرورت ندارد. وقتی از قالب فولادی در سطح بزرگ استفاده می‌شود باید آنرا گرم نمود تا از ایجاد یک پوسته سطحی سیمان گوگردی بدلیل گیرش ناگهانی آن در سطح قالب جلوگیری نمود.

بتن گوگردی را می‌توان با میلگردهای فولادی درجه ۶۰ (ASTM A616,617,706) و یا میلگردهائی با پوشش اپوکسی (ASTM A775) مسلح نمود و میلگرد با گوگرد اصلاح شده واکنش نمی دهد. همچنین می‌توان از الیاف شیشه‌ای جهت مسلح نمودن استفاده نمود. جزئیات میلگرد گذاری با بتن معمولی یکسان است. فاصله بین قالب و میلگردهای فولادی باید کمی افزایش یابد تا از بروز مشکل در هنگام ریختن و انجماد بتن گوگردی در این محل جلوگیری شود. راه حل دیگر بجای افزایش فاصله قالب و میلگرد، گرم نمودن قالب و میلگردها با وسایل گرمایشی غیر مستقیم مانند اشعه مادون قرمز قبل از ریختن بتن گوگردی در قالب است .

الیاف شیشه بعنوان عامل کنترل کننده ترکهای ناشی از جمع شدگی و بهبود خواص شکل پذیری و مقاومت در برابر ضربه در رابطه با کاربردهای کارگاهی بسیار مؤثر بوده است. استفاده از الیاف شیشه‌ای ۱۳ تا ۳۸ میلی متری به مقدار تقریبی ۹ تا ۱۲ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن گوگردی توصیه شده است. اطلاعات بیشتر را باید از نشریه شماره ۸۹۶۵ گزارش تحقیقات در بررسیهای اداره معادن وزارت کشور ایالات متحده بدست آورد.

۲-۴-۵- ریختن جایدگی و پرداخت

۲-۴-۵-۱- کلیات

نکات کلیدی در ریختن و پرداخت موفقیت آمیز بتن گوگردی داشتن دمای ۱۳۲ تا ۱۴۱ °C در لحظه ریختن و سرعت در ریختن و جایدگی و پرداخت بتن می‌باشد. فرعون و دمپر می‌تواند برای حمل بتن گوگردی داغ و ریختن در داخل قالب بکار رود. هر چند عایق بندی این وسایل ممکن می‌باشد اما ضروری نیست. این وسایل باید تا حدی پر شود که خطری را برای کارگران در هنگام حمل نداشته باشد و سریعاً تخلیه گردد. بتن گوگردی باید تا حد امکان به سرعت ریخته شود به نحوی که تراکم و پرداخت آن در حالیکه هنوز داغ است امکان پذیر گردد.

۲-۴-۵-۲- اجراء کف

تراکم و ضربه زدن و پرداخت بتن گوگردی می‌تواند با وسایل دستی و مشابه بتن معمولی انجام شود. مسلماً امکانات و وسایل و افراد باید بقدر کافی تأمین شود تا بتوان دال کف را با ضخامت مورد نظر به نحوی ریخت تا سرد نگردد. حداکثر ضخامت دال معمولاً به قدرت اجرائی افراد وسایل برای ریختن و پرداخت بتن در حالیکه داغ است محدود می‌شود. می‌توان دال را با یک شمشه و ماله ساده بصورت دستی متراکم نمود و اینکار را با زدن ضربه انجام داد. در مورد دالها استفاده از ویبراتورهای خرطومی معمولاً ضرورت ندارد اما ماله لرزنده می‌تواند در دستیابی به سطح صاف مؤثر است.

وقتی دال را با زدن ضربه توسط ماله متراکم می‌نمائیم با توجه به دمای محیط مجاور فرصت کمی (در حدود چند دقیقه) برای اینکار وجود دارد. وقتی دال را با ضخامت ۵ سانتی متر می‌ریزیم بین ۲ تا ۱۰ دقیقه برای پرداخت سطح فرصت داریم وگرنه سطح آن شروع به سخت شدن می‌کند. در دالی به ضخامت ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر زمانی در حد ۵ تا ۲۰ دقیقه بصورت فرصت کاری وجود دارد. کشیدن ماله در سطح در یکنوبت وقتی بتن هنوز بصورت سیال و مذاب است کافی می‌باشد. از ماله‌های چوبی و فلزی مرغوب می‌توان به این منظور استفاده نمود. اگر سطح شروع به سرد و سخت شدن نماید در حین ماله کشی بریده بریده می‌شود و پرداخت بدی حاصل می‌گردد. در اینصورت می‌توان با یک مشعل گاری کوچک می‌توان سطح را گرم نمود و بصورت مذاب درآورد و مجدداً آنرا پرداخت نمود.

وقتی سطح بتن گوگردی را با ماله صاف می‌کنیم، لایه‌ای از سیمان گوگردی و مواد ریز به سطح ماله می‌چسبد و سخت می‌گردد. پرداخت کننده سطح باید در کنار خود سطلی از آب داشته باشد و ماله را سریعاً در آب خنک فروبرد تا موجب گیرش سریع سیمان گوگردی چسبیده به سطح شود سپس ماله را محکم به سطح سخت می‌زنیم تا گوگرد و ملات ترد آن خرد و جدا شود.

اگر بتن گوگردی سهواً در جایی ریخت که ریختن آن در آن لازم نبوده است نباید اصرار داشت تا با سرعت آنرا از سطح مزبور جدا کرده و برداریم زیرا لایه نازکی از آن باقی خواهد ماند بلکه لازمست اجازه دهیم بتن در محل مزبور کاملاً سرد و سخت گردد سپس با یک میله یا دیلم یا بیل به آن ضربه می‌زنیم تا خرد شده و جدا گردد در این حالت اثر آن ناخوشایند نیست. سطح نهائی تمام شده و پرداخت شده با ماله در این نوع بتن ها برای بیشتر کارها مناسب است. سطح دال بتن گوگردی سخت شده، توپر قابل شستشو و مقاوم در برابر سایش می‌باشد.

۲-۴-۵-۳- ساخت دیوار

به دلائل مختلفی که ذکر شد در ساخت دیوار باید به نکاتی توجه نمود. گرم کردن قالب و میگردها با وسایل گرمایشی مناسب بویژه لامپهای مادون قرمز قبل از ریختن بتن برای جلوگیری از سرد شدن و گیرش ناگهانی ضروری است. عایق بندی دیواره قالب برای جلوگیری از اتلاف سریع دما می‌تواند مؤثر باشد و اجازه کار طولانی مدت و بیشتری را به ما بدهد.

چرب کردن سطوح قالب با موادی مناسب و برپایه مواد نفتی ضرورت دارد تا قالب ها به آسانی جدا و آزاد گردد. استفاده از ویراتور خرطومی ضعیف و به مدت کم می تواند مفید باشد اما افزایش زیاد می تواند به جداسازی بیانجامد. لرزاننده های خارجی و متصل شونده به قالب بصورت مؤثری برای تراکم دیوار بکار رفته است.

۲-۴-۵-۴- بتن ریزی سطوح و زمینهای شیبدار

- بتن ریزی روی سطوح شیبدار با محدودیت جدی روبرو می باشد. تجربیات اخیر نشان می دهد که می توان روی سطوحی با شیب ۲/۱ تا ۶/۵ درصد را با بتن گوگردی حاوی سنگدانه های تیز گوشه و کنترل ویژگی های زیر بتن ریزی نمود.
۱. اگر بتن گوگردی دارای پودر سیلیس بعنوان پرکننده باشد می توان آنرا روی سطوحی با شیب بیشتر ریخت در حالیکه با استفاده از خاکستر بادی نمی توان اینکار را بخوبی انجام داد. مخلوطهای حاوی گرد سیلیس معمولاً خمیری و سفت تر بوده و از سیالیت و روانی کمتری برخوردار است.
 ۲. مشکل روان شدگی و سیالیت زیاد را می توان با کاهش میزان مصرف سیمان گوگردی در مخلوط کنترل نمود.
 ۳. احتمالاً با کنترل دما نیز می توان به روانی کمتر دست یافت تا بتوان سطح شیبدار را بتن ریزی نمود.

۲-۴-۶- تعمیر سطوح آسیب دیده

اگر سطح بتن خوب پرداخت نشده باشد و یا بدلایلی سطح آن آسیب دیده باشد می توان با حرارت دادن این سطوح مجدداً آنرا پرداخت نمود و سطح مناسبی را بدست آورد. با استفاده از حرارت دهی غیر مستقیم مانند لامپهای مادون قرمز می توان اینکار را بخوبی انجام داد اما باید در اینکار تسریع بعمل آورد. توصیه می شود از وسایل حرارتی مستقیم و متمرکز استفاده نگردد، زیرا حرارت مستقیم و متمرکز بر سطح بتن گوگردی سرد و سخت می تواند به بروز ترک بویژه در مقاطع نازک منجر شود. می توان حفرت ، فرورفتگی ها و بریدگی ها و سوراخهای موجود در سطح بتن را با استفاده از بتن گوگردی ریخته شده و یا حرارت دهی مجدد سطح مزبور اصلاح و پرداخت شود.

۲-۵- درزها و درزگیرها

درزها برای کنترل ترک خوردگی (جمع شدگی) و انبساط و انقباض حرارتی و اجرایی لازمست موقعیت درزها باید با ملاحظه نوع کار و سایر ملاحظات مشخص گردد. معمولاً عرض یک قطعه به حدود ۲/۲ تا ۳/۷ متر بدلیل محدودیت در پرداخت محدود می شود.

فاصله ترکهای جمع شدگی معمولاً بر حدود ۳۵ برابر ضخامت دال محدود می شود. ترکهای انقباضی (جمع شدگی) معمولاً ۶ تا ۹ میلی متر عرض را دارا می باشد و عمق آن ۲۰ تا ۲۵ درصد ضخامت دال است (حداقل عمق) .

اگر درز اجرایی (ساخت) در پایان عملیات اجرایی ریختن بتن بکار رود گذاشتن کلیه برشی مفید است اما ضروری نیست درزهای انبساط معمولاً ۱۰ تا ۱۳ میلی متر عرض دارند تا بتوانند از بروز تنش های حرارتی در دالها جلوگیری کنند.

حداکثر فاصله درزهای انبساط به حدود ۱۸ متری برای مخلوطهای عادی محدود می شود. اگر مقادیر سیمان گوگردی بیش از ۱۸ درصد وزن بتن باشد حداکثر فاصله درزها باید کاهش یابد. از مواد قیری اشباع شده از الیاف که منطبق با ASTM D 1751 می توان بصورت رضایت بخش استفاده نمود. درزگیر انعطاف پذیر سازگار با شرایط محیطی طبق ACIS04 (راهنمای مصرف درزگیرها برای سازه های بتنی) می تواند بکار رود اما عمق ماده درزگیر در درز نباید از عرض آن بیشتر شود. در زیر این مواد باید از پرکننده هایی استفاده کرد که مصرف این ماده در عمق محدود شود (فوم های پلی اتیلن) و ماده درزگیر از زیر درز نریزد.

بتن گوگردی

بتن گوگردی محصول جدیدی است که با وجود این که ظاهری نهایی آن مانند بتن معمولی است، اما طرز تولید، نگهداری و استفاده از آن متفاوت است. بتن های گوگردی یک عنوان کلی برای مجموعه ای از محصولات استفاده می شود که از نظر نوع و نسبت ترکیبات استفاده شده متفاوت است. این مواد کلاً جزء دسته مواد ترمو پلاستیک بوده که از ترکیبات گرمایی نوع خاصی از گوگرد، ترکیبات معدنی و افزودنی های مورد نیاز بدست می آید و بطور کلی شامل اجزاء ذیل است.

- سولفور
- مواد متراکم ریزدانه و درشت دانه
- مواد پرکننده
- مواد افزودنی

بتن گوگردی سریعاً در اثر خنک شدن سخت می‌شود و کسب مقاومت می‌کند. اگر سنگدانه‌های مقاوم در برابر اسیدها و نمک‌ها به کار رود بتن گوگردی پر مقاومت و بادوام می‌تواند تولید شود و در مواردی که سایر بتن‌ها سریعاً از بین می‌روند بخوبی مصرف شود. بتن گوگردی در محیط‌های قلیائی و اکسید کننده‌ها پایدار نیست اما در محیط‌های اسیدی و نمک‌ها عملکرد عالی دارد. بتن‌های گوگردی اولیه که با گوگردهای اصلاح نشده ساخته شده‌اند از نظر دوام مشکل داشته و وقتی از مصالح مقاوم و بادوام برای تولید این بتن استفاده شده، این بتن‌ها در زمان نسبتاً کوتاهی از بین رفته و خراب شده است. به هر حال با مصرف سیمان‌های گوگردی اصلاح شده دوام بتن‌های گوگردی افزایش یافته و کاربرد آن را به عنوان **مصالح ساختمانی** امکان پذیر نموده است. در این حالت این نوع بتن برخی خواص منحصر بفرد را به اثبات رسانده است.

- مقاومت زیاد و مقاومت در برابر خستگی
- مقاومت عالی در برابر بیشتر اسیدها و نمک‌های آنها
- گیرش فوق‌العاده سریع و کسب مقاومت زود هنگام

یکی از بیشترین کاربردهای بتن گوگردی، استفاده آن به عنوان کف‌های صنعتی است که در برابر مواد شدیداً خورنده قرار می‌گیرند.

مزایا و نکات مربوط به بتن گوگردی

مزیت عمده بتن گوگردی، کاربرد آن به عنوان ماده با دوام ساختمانی و جایگزین بتن معمولی در نقاطی است که اسید و نمک در محیط مجاور آن می‌تواند باعث خرابی آن شود.

چندین مزیت در به کارگیری بتن گوگردی برای عملیات اجرائی در محیط‌های خورنده اسیدی وجود دارد. اولین آنها عمر زیاد این نوع بتن‌ها نسبت به بتن معمولی در این شرایط است. مزایای دیگر بتن گوگردی، زمان سریع گیرش و کسب سریع مقاومت در سنین اولیه است. در کمتر از یک روز به درصد قابل توجهی از مقاومت نهایی دست یافته و بنابراین می‌توان قالب‌ها را سریعاً برداشت و بدون زمان عمل‌آوری طولانی از این نوع بتن بهره‌برداری نمود.

ویژگی‌های دیگر بتن گوگردی

- مقاومت‌های کششی، فشاری و خمشی و عمر خستگی بتن گوگردی بیشتر از بتن معمولی است.
- بتن گوگردی مقاومت عالی در برابر حمله بسیاری از اسیدها و نمک‌ها و برخی محلول‌های خیلی غلیظ از خود نشان می‌دهد.

- بتن گوگردی سریعاً می‌گیرد و به ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت فشاری نهایی در مدت ۲۴ ساعت می‌رسد.
- بتن گوگردی را می‌توان در تمام طول سال در سرمای شدید زیر صفر ریخت.
- نفوذپذیری بتن گوگردی در برابر آب بسیار کم است.
- بتن گوگردی در تغییر شکل بیشتر به مقدار مقاومت حداکثر خود می‌رسد.
- افزایش درصد گوگرد و در نتیجه‌ی افزایش مقاومت فشاری بتن گوگردی با افزایش ضریب ارتجاعی آن همراه است.
- مقاومت آن در برابر محیط‌های خورنده به خصوص محیط‌های اسیدی، حملات نمک‌ها، کلرها، و سولفات بسیار قابل توجه است که خود از مزیت‌هایی است که قابلیت استفاده از آن را در پوشاندن کف محیط‌هایی که با مواد خورنده در تماس هستند و یا استفاده از آن در ساختار سل‌های الکترولیت در حوضچه‌های اسیدی، ساخت مخزن اسیدی و کف‌های عمومی در محیط‌های اسیدی و خورنده را به صورت قابل توجهی افزایش می‌دهد.

- بتن گوگردی در قیاس با بتن با سیمان پرتلند زودگیرتر است.
- بتن گوگردی ساخته شده با سنگدانه‌ی شکسته دارای مقاومتی به مراتب بیش‌تر از بتن ساخته شده با سنگدانه‌ی معمولی است.
- مقاومت این بتن در اثر تغییر دما تغییر می‌یابد، به طوری که با افزایش دما بیش‌تر از ۵۰ درجه، مقاومت آن کاهش می‌یابد. لذا استفاده از آن تا دمای ۸۰ درجه سانتی گراد محدود است.
- بتن گوگردی دارای خاصیت شکنندگی است که یکی از خصوصیات نامطلوب آن است که با استفاده از الیاف تقویت کننده با مواد شیمیایی قابل اصلاح و بهبود است.
- این بتن دارای خزش بیش‌تری نسبت به بتن سیمان پرتلند است.
- قابلیت بازیافت این نوع بتن یکی از خواص جالب و قابل توجه آن است. بدین معنی که هر زمان که لازم باشد می‌توان این بتن را ذوب نمود، گوگرد و سنگدانه‌ها را جدا نمود و دوباره از آن‌ها در ساخت بتن استفاده کرد.
- به لحاظ افزایش قابل توجه قیمت سوخت که باعث افزایش قیمت سیمان و در نتیجه‌ی آن افزایش هزینه‌ی ساخت بتن با سیمان پرتلند می‌شود.
- هزینه‌ی ساخت بتن گوگردی امروزه در قیاس با بتن معمولی قابل رقابت است.

بتن گوگردی اصلاح شده

اصلاح بتن مبتنی بر اصلاح ساختار سیمان بوده به نحوی که با استفاده از مواد افزودنی خاص در حین اختلاط بتوان خواص مورد نظر را در محصول نهایی ارتقاء بخشید. بتن‌های گوگردی به تنهایی و بدون افزودنی‌هایی که به منظور بهبود خواص آن در فرمولاسیون منظور میشود از کارایی چندانی خصوصاً به عنوان ماده مقاوم در محیط‌های اسیدی و نمک‌های شیمیایی برخوردار نبوده لذا در فرمولاسیون نهایی انواع افزودنی وجود دارد که عمدتاً در راستای پایداری آن در سیستم‌های فرساینده اضافه می‌شود. افزودنی دیگری در راستای کاهش انبساطی حین فشار انقباض حرارتی که در اثنای سفت شدن بتن وجود دارد، در فرمولاسیون منظور میشود. همچنین در راستای حفاظت بتن حین سیکل‌های متوالی انجماد-ذوب، استفاده از ماده افزودنی مناسب از جمله تمهیدات خاصی است که در ساخت بتن‌های گوگردی اعمال می‌شود. بتن‌های گوگردی از قابلیت تقویت با استفاده از تکنولوژی آرمه‌های الیافی ویژه به منظور ارتقاء سختی و بهبود قابلیت جلوگیری از پیشرفت شکاف در بدنه بتنی برخوردار است. در بسیاری از کاربردها تقویت با آرمه‌های الیافی استفاده شده و از شبکه‌های فلزی که خوردگی سیستم بتنی در محیط‌های سولفور را تسریع می‌نمایند بی‌نیاز می‌سازد.

مشخصات و ویژگی‌های بتن‌های گوگردی اصلاح شده

- مقاومت در مقابل فشار بسیار زیاد
- مقاومت در برابر فرسودگی بسیار کم
- زمان جا افتادن – شکل گیری و سفت شدن بسیار سریع
- قدرت بالا.

موارد استفاده و کاربرد

بتن‌های گوگردی اصلاح شده در مکان‌هایی که مواد دیگر ساختمانی سریعاً تخریب می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرد. عموماً بتن‌های گوگردی در محیط‌های اسیدی و نمک‌ها از خود مقاومت و کارایی بسیار عالی نشان می‌دهند. از مزایای اصلی استفاده از بتن‌های سولفور خاصیت آن در مقابل محیط‌های خورنده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- مزیت در استفاده از پوشاندن کف و محیط‌هایی که با مواد خورنده در تماس هستند، بصورت پوشش‌های مقاوم کف و همچنین ساختارهای سیمانی قطعات از پیش قالب گیری شده بتن‌های سولفور در منطقه بارگیری اسید در کارخانجات تولیدی.
- این قطعات را می‌توان بصورت پوشش در روی سیمان معمولی بکار گرفت.
- قطعات از پیش قالب گیری شده و بتن‌های سولفور در ساختار سل‌های الکترولیت در حوضچه‌های Leaching اسیدی
- ساخت مخازن اسیدی
- کف‌های عمومی در محیط‌های اسیدی و خورنده

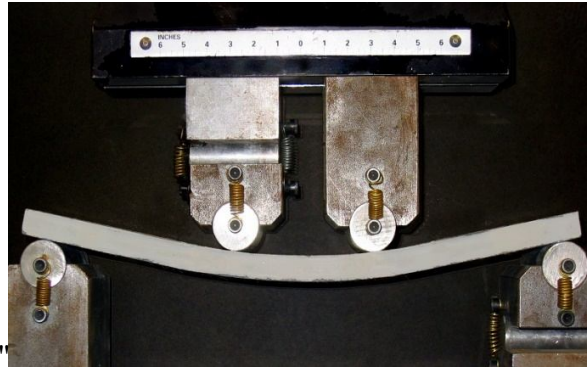
بتن گوگردی اصلاح شده دارای خواص مناسبی همچون مقاومت زیادی در برابر خوردگی در محیط‌های نمکی و اسیدی عدم استفاده از آب در ساخت، مقاومت بالا، سرعت گیرش فوق العاده، کسب مقاومت سریع، امکان بازیافت، نفوذ پذیری کم، چسبندگی بسیار بالا به فلزات و دوام بالا در شرایط یخبندان است که متناسب با آنها می‌توان موارد کاربرد فراوانی برای آن یافت. این نوع بتن از بهترین مصالح مورد استفاده در ساخت منابع ذخیره اسید لوله و مخازن فاضلاب، ساخت اسکله‌ها، ساخت و ترمیم سازه‌های آبی، روکش پل‌های فلزی و هوایی، سازه‌های دریایی، سد و دیوار ساحلی به شمار می‌رود. به کارگیری این بتن در بنای یک سازه علاوه بر موارد یاد شده از مزایایی همچون عایق بودن سازه در برابر رطوبت و سرعت بالای اجرا نیز برخوردار است.

ساخت بتن گوگردی

- فرایند گیرش و سخت شدگی بتن گوگردی بسیار سریع است. به طوری که سخت شدگی و کسب مقاومت مطلوب جهت خارج ساختن از قالب‌ها بعد از چند ساعت از قالب‌گیری و سرد شده قالب‌ها، اتفاق می‌افتد.
- بتن گوگردی برخلاف بتن سیمانی پرتلند، به عمل آوری خاصی نیاز ندارد.
- با کاهش دما، نرخ کسب مقاومت بتن گوگردی افزایش می‌یابد. لذا در فصول سرد مثل زمستان نیز امکان بتن ریزی وجود دارد. حتی بتن گوگردی را می‌تواند در تمام طول سال زیر دمای صفر نگه داشت.
- برای ساخت بتن گوگردی، نیازی به آب نیست. با توجه به محدودیت منابع آب در ایران، به خصوص هنگام ساخت سازه‌هایی که از منابع آبی به دور هستند و همچنین مشکلات حمل آب به این مکان‌ها، بتن گوگردی از این نظر، اهمیت خاصی پیدا می‌کند.
- بتن گوگردی دوام نسبتاً خوبی در برابر ذوب و یخبندان دارد (خصوصاً با افزایش درصد گوگرد). لذا در مناطق سردسیر با افزایش دادن درصد گوگرد می‌توان از آن استفاده نمود.
- بتن گوگردی در برابر محیط‌های خورنده اسیدی، نمکی و قلیایی از دوام خوبی برخوردار است. بنابراین در مکان‌هایی که این مواد خورنده وجود دارند، مثل باران اسیدی، فاضلاب‌ها و ضایعات خورنده کارخانجات، خاک‌های اسیدی و قلیایی، اسکله‌ها، پل‌ها و دیگر سازه‌های دریایی و ... کاربرد و عملکرد مناسبی خواهد داشت.
- بتن و ترکیبات گوگردی به علت پایداری و واکنش ناپذیر بودن با آب، بر کیفیت آب تاثیر قابل توجهی ندارند. همچنین ایمنی سازه‌های ساخته شده از کامپوزیت‌های گوگردی، مثل ایمنی در برابر تاثیر اشعه‌های فعال، تاثیر بارندگی، دما، جریان‌های سطحی، هوازگی شیمیایی، فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و ... از نظر زیست محیطی به اثبات رسیده است.

بتن خم شونده

یکی از ضعف‌های مشهور در بتن، ترک خوردگی مصالح بتنی و در نتیجه کاهش ایمنی و دوام سازه‌ها است. در سالیان اخیر نسل جدیدی از [بتن‌های الیافی](#) شکل پذیر تحت عنوان کامپوزیت‌های مهندسی بر پایه مصالح سیمانی ابداع شده است. این مواد به دلیل رفتار کششی با شکل پذیری زیاد و قابلیت ترک خوردگی متعدد، عرض ترک‌ها را بسیار کوچک نگه داشته و سبب ترمیم خود به خود ترک‌ها، بدون نیاز به دخالت انسان و فقط به کمک آب و دی اکسید کربن هوا می‌شود. و پس از ترمیم بتن تقریباً با همان سختی و مقاومت نمونه نو و بارگذاری نشده رفتار می‌نماید.



"بتن خم شونده"

ترک خوردگی یک مشکل بزرگ برای بسیاری از سازه‌هاست که در بتن به علت مقاومت کم کششی ایجاد می‌شود در واقع تغییرات داخلی و خارجی به شکل فرایندهایی باعث شکل گیری هزاران ترک ریز در ناحیه دست نخورده داخلی بتن می‌شوند جابجایی مواد مضر از بین فضاهای کوچک بتن باعث زوال سازه بتنی و [خوردگی آرماتورها](#) که در جریان آب و اکسیژن قرار می‌گیرند، می‌شود. دوام بتن نیز با این ترک‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرد زیرا این ترک‌ها مسیر سازه‌هایی جهت انتقال مایع و گازهایی که خود شامل مواد مضر هستند ایجاد می‌کنند. برای ترمیم ترک بتن روش‌های مختلفی وجود دارد ولی سیستم‌های ترمیم سنتی جنبه‌های غیر مفیدی مانند ضریب پخش گرمای متفاوت دارند.

تولید بتن خم شونده

ساخت بتن خم شونده، شامل خرد کردن مواد اولیه آن، اختلاط آنها در نسبت‌های معین و سوزاندن آن در یک استوانه دوار با دمای بالای ۱۴۵۰۰ درجه است. نتیجه این پروسه، سفت شدن مواد و تشکیل گلوله‌هایی معروف به کلینکر است. کلینکر خنک شده و سپس همراه مقداری سنگ گچ کوبیده می‌شود تا به پودر تبدیل شود در نهایت [سیمان پرتلند](#) بدست می‌آید که در همه جای جهان از آن استفاده می‌شود. برای ساخت این نوع سیمان در حدود ۸۰٪ تن کربن دی اکسید به ازای هر یک تن از سیمان در هوا آزاد می‌شود.

بتن خم شونده با قابلیت خود ترمیمی

بتن خود ترمیم نوعی از بتن است که در آن اگر شکستگی با ترکی ایجاد شود بدون اینکه انسان در ساخت و بازسازی آن نقشی داشته باشد درست می‌شود که این بازسازی توسط آب و کربن دی اکسید و سایر عوامل صورت می‌گیرد. بنابراین تنها چند روز باران یا برخورد آب با بتن‌های خود ترمیم شونده کافی است تا بازسازی در آنها صورت بگیرد بدون اینکه انسان دخالتی در بازسازی آنها داشته باشد. البته توجه داشته باشید که اگر ترک زیاد بزرگ باشد بتن خود ترمیمی نیز قادر به بازسازی آن نخواهد بود پس بتن خود ترمیم در ترک‌های کوچک کاربرد دارد و مانع از گسترش این ترک‌ها و بیشتر شدن ابعاد ترک می‌شود. بتن خم شونده در زیر فشار قابلیت خم شدن را دارند، همچنین می‌تواند خود را ترمیم کند. در واقع در زمان خم شدن این بتن ترک‌های ریز زیادی آن بوجود می‌آید که باعث پخش شدن فشار در مساحت آن می‌شود. سپس این ترک‌های ریز با قرار گرفتن کلسیم کربونیت در تماس آب باران و کربن دی اکسید شروع به بازسازی می‌کنند. این قابلیت باعث می‌شود بتن بتواند کشش بیشتری را تحمل کند (مقاومت کششی بتن معمولی در حدود ۱۰/۱ مقاومت فشاری آن است).

ترمیم خود به خود ترک در بتن

در بتن ترک خورده اگر اجازه داده شود ترک‌های ریز بدون تغییر مکان مماسی بسته شوند، در شرایط مطلوب کاملاً از بین خواهند رفت. این پدیده به عنوان ترمیم خود به خود شناخته می‌شود و اساساً ناشی از هیدراتاسیون ذرات سیمان است که تا آن زمان هیدراته نشده و در هنگام باز شدن ترک‌ها در معرض آب قرار می‌گیرند. ترمیم همچنین توسط تشکیل کربنات کلسیم غیر محلول از هیدروکسید کلسیم موجود در سیمان هیدراته شده (چنانچه کربناته شدن اتفاق افتد) بهتر انجام می‌شود. چنانچه ذرات خیلی ریز در آب معلق باشند، می‌توانند به صورت مکانیکی باعث بند آوردن ترک‌ها شوند.

حداکثر عرض ترک‌هایی که می‌توانند تحت تأثیر ترمیم خود به خود قرار گیرند، بین ۱/۰ تا ۲/۰ میلی متر تخمین زده شده و شرایط رطوبتی لازم، شامل مرطوب نمودن در دوره‌های پی در پی و همچنین غوطه ور نمودن است. اما نباید از آب با جریان سریع یا فشار زیاد که موجب کاهش حرکت آب از میان ترک‌ها می‌شود، استفاده نمود. اعمال فشار در دو طرف ترک‌ها به ترمیم کمک می‌کند.

اگر عرض ترک‌ها در بتن جوان کمتر از ۱/۰ میلی متر باشد، می‌تواند پس از چند روز ترمیم شود. اما ترک‌های با عرض ۲/۰ میلیمتر به چند هفته زمان نیاز دارند. به طور کلی هر چه بتن جوان‌تر باشد (یعنی سیمان هیدراته نشده بیشتری را در بر داشته باشد)، کسب مجدد مقاومت آن زیادتر خواهد بود، اما ترمیم بدون افت مقاومت تا عمرهای سه سال مشاهده شده است. حتی وقتی که ترک‌ها ترمیم می‌شوند، محل آنها منطقه ضعیفی را به وجود می‌آورد که در آن منطقه تحت شرایط نامساعد آتی، ممکن است بتن ترک بخورد.

متوسط عرض ترک‌ها در بتن‌های خود ترمیمی کمتر از ۶۰ میکرومتر است که در حدود نصف ضخامت موی بدن انسان است. دستور العمل ایشان این اطمینان خاطر را به مخاطب می‌دهد که سیمان بسیار خشک داخل بتن می‌تواند با دی اکسید کربن و آب واکنش نشان داده تا ترمیم شود و رگه‌ای نازک از کربنات کلسیم را شکل می‌دهد. کربنات کلسیم ترکیب مقاومی است که به صورت طبیعی در صدف‌های دریایی یافت می‌شود. در شرایط آزمایشگاهی جهت تکمیل پروسه ترمیم مواد، بایستی ۵ بار چرخه خشک و تر شدن دوباره انجام گیرد.

طراحی شاتکریت الیافی

علیرغم کاربردهای زیادی شاتکریت برای نگهداری صخره‌ها فاقد اصول روشنی برای اندازه‌گیری و کار بستن آن است. بطور خلاصه مراحل مبتنی بر طراحی شاتکریت الیافی ذکر می‌شود.

- بررسی موقعیت پیشینه
- طبقه‌بندی مهندسی توده صخره‌ها
- اندازه‌گیری تغییر شکل



طراحی شاتکریت الیافی

طراحی تجربی شاتکریت

از آنجا که شاتکریت به ندرت به تنهایی به عنوان سیستم نگهداری به کار می‌رود و معمولاً همراه با راکبوت، کابل‌های مهاری، قاب‌های فلزی و دیگر وسایل نگهداری استفاده می‌شود، تحلیل نگهداری با شاتکریت پیچیده‌تر می‌شود.

طراحی تحلیلی شاتکریت

در روش‌های تحلیلی، تکیه گاه شاتکریت همانند یک عضو سازه‌ای در نظر گرفته می‌شود و به منظور ساده کردن محاسبات، موارد زیر فرض شده است.

۱. تونل دارای مقطع دایره‌ای کامل است.
۲. ضخامت شاتکریت یکنواخت است (استوانه با جدار نازک)

۳. مقاومت شاتکریت در حدی است که بتواند از افزایش فشار سست شدگی یا گسترش منطقه پلاستیک جلوگیری کند.

۴. نیروهای وارده بر پوشش شاتکریت در کلیه جهات یکنواخت و برابر هستند.

فرمول‌هایی ارائه شده که به شرح زیر است..

دیر (Deere) در سال ۱۹۶۹ ضخامت شاتکریت را بر مبنای نیروی محوری لازم برای مقابله با فشار سنگ، به صورت استوانه‌ای جدار نازک محاسبه کرد. در این روش ضخامت لازم از فرمول زیر به دست می‌آید.

$$t = \pi \times r / \sigma_{all}$$

که در آن:

t ضخامت شاتکریت بر حسب سانتیمتر

pi فشار یکنواخت موثر بر تونل بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

r شعاع تونل بر حسب سانتیمتر

σall تنش مجاز شاتکریت بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

استفاده از شاتکریت در ایران

همانگونه که ذکر شد شاتکریت در سال ۱۹۳۰ توسط پروفیسور رابسون در جریان تحقیقات وی، وارد ایران شد و از آن پس در پروژه‌های عمرانی مورد استفاده قرار گرفت اما نکات زیر جهت توجه بیشتر ذکر می‌شود.

- نیاز شدید کارگران فعال در این بخش به آموزش مناسب
- توجه بیشتر به ساختار زمین و ارائه طرح مناسب
- نیاز به ایجاد آزمایشگاه‌های مناسب و تربیت نیروی متخصص آزمایشگاهی در ارتباط با شاتکریت
- ضرورت توجه به این محصول از طرف مهندسين عمران و گرایش‌های مرتبط
- ضرورت تحقیق بیشتر برای شرایط کشور و حتی ارائه فرمول‌ها و روابط مناسب برای طراحی شاتکریت به عنوان پوشش موقت یا نهایی

نیازها و چشم انداز آینده

نیاز روز افزون به این محصول و کاربردهای فراوان آن که امروزه حتی در ساختمان سازی نیز مشاهده می‌شود بر رشد صنعت شاتکریت در آینده حکایت دارد اما آنچه به نظر می‌رسد برای تحقیق و بررسی جایگاه مناسبی را دارا است. از جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد.

- بررسی نقش شاتکریت در روش‌های نگهداری سطوح حفاری زیر زمینی
- بررسی و ارائه فرمول‌ها و روابط مناسب برای طراحی شاتکریت در تحکیمات موقت
- بررسی شاتکریت و ارائه فرمول‌ها و روابط برای طراحی شاتکریت به عنوان پوشش نهایی
- بررسی روش پاشیدن شاتکریت به جای بتن ریزی در قطعات سازه‌ای

اثر مواد افزودنی بر رفتار ملات‌های تعمیراتی

استفاده از [میکروسیلیس](#) هر چند موجب افزایش جزئی مقدار جمع شدگی ملات‌های تعمیراتی شده، ولی بر روی مشخصات مکانیکی ملات‌ها تأثیر مثبتی گذارده است. همچنین استفاده از ماسه سیلیسی موجب افزایش قابل توجه مدول الاستیسیته و کاهش جمع شدگی شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نمایانگر افزایش شدید مقدار جمع شدگی و همچنین کاهش مشخصات مکانیکی ملات‌ها در اثر استفاده از مصالح سنگی ریز دانه‌تر هستند.

استفاده از مصالح تعمیراتی مناسب برای سازه‌های بتنی، با توجه به گستردگی استفاده از بتن به عنوان مصالح مقاوم سازه‌ای از جایگاه ویژه‌ای در مراحل مختلف ترمیم و تعمیر سازه‌های بتنی بر خوردار است. برای اینکه عملیات ترمیم به نحوه مطلوب صورت

گیرد و عضو تعمیر شده توانایی ارائه سرویس مجدد برای مدت زمان بیشتری را داشته باشد، عوامل مختلفی که بر روی عملکرد وصله‌های تعمیری اثر می‌گذارند، باید مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند.

از جمله عوامل مؤثر بر روی عملکرد وصله‌های صورت گرفته، ویژگی‌های مکانیکی و رفتار جمع شدگی مواد تعمیری بکار رفته در تعمیر عضو آسیب دیده است. این ویژگی‌ها بخصوص از نظر سازگاری با بتن پایه اهمیت دو چندان می‌یابد. منظور از ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری و مقاومت کششی و مدول الاستیسته است. که این ویژگی‌ها مستقیماً وابسته به نوع مواد افزودنی به ملات تعمیری و نسبت‌های اختلاط این مواد است. رفتار جمع شدگی ملات‌ها نیز کاملاً وابسته به نوع و ترکیب مواد تعمیری است.



اثر مواد افزودنی بر رفتار ملات‌های تعمیری جمع شدگی آزاد

این امر به دلیل اثر مهم و تعیین کننده جمع شدگی بر روی مقاومت پیوستگی بین بتن پایه و ملات تعمیری، بسیار پر اهمیت است. پایین ترین مقدار جمع شدگی را نیز ملات با ماسه سیلیس از خود نشان داده است. استفاده از میکروسیلیس تا حدودی موجب افزایش مقدار جمع شدگی شده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌ها، استفاده از میکروسیلیس، موجب افزایش مقاومت فشاری شده ولی بر روی مقاومت کششی و مدول الاستیسته دینامیکی تأثیر قابل ملاحظه‌ای نگذاشته است. همچنین استفاده از میکروسیلیس موجب افزایش مختصر جمع شدگی آزاد شده است. افزایش مقاومت فشاری را می‌توان به کاهش ناپایداری هیدروکسید کلسیم و افزایش چسبندگی و پیوستگی سیمان و سنگدانه‌ها ارتباط داد.

در مورد اثر مواد پلیمری نیز همانگونه که از نتایج مشاهده می‌شود استفاده از این مواد کلاً موجب افت مشخصات مکانیکی ملات‌ها شده است. همچنین استفاده از این مواد در کل موجب افزایش جمع شدگی شده است. اثر منفی این مواد بر روی ملات‌های تعمیری احتمالاً به خاطر عدم استفاده از مواد ضد کف (دیفمها و آنتیفمها) در ترکیب این مواد است. که این امر ضرورت استفاده از آزمایش‌های کنترل کیفی را قبل از استفاده از چنین موادی بیشتر آشکار می‌سازد.

با توجه به نتایج حاصل استفاده از سنگدانه‌های سیلیسی باعث بهبود مشخصات مکانیکی (بویژه مدول الاستیسته) و رفتار جمع شدگی ملات‌ها شده است. کاهش قابل توجه جمع شدگی ملات با سنگدانه‌های سیلیسی را می‌توان به بالا بودن مدول این سنگدانه‌ها و ایجاد قید در برابر جمع شدن خمیر سیمان مربوط دانست. همچنین استفاده از دانه بندی ریزتر موجب کاهش مشخصات مکانیکی و افزایش قابل توجه مقدار جمع شدگی ملات‌های تعمیری شده است.

هیدراتاسیون سیمان و ترک در بتن

ترک در بتن را می‌توان در اغلب موارد به هیدراتاسیون [سیمان](#) نسبت داد. هیدراتاسیون حرارتی ایجاد می‌کند که باعث افزایش دمای بتن می‌شود. اگر این افزایش بطور یکنواخت در سرتاسر یک قطعه بتنی معین، بدون هر گونه محدودیت خارجی اتفاق افتد، در این صورت قطعه تا زمانی که به حداکثر دمای خود برسد، انبساط حاصل می‌کند. بنابراین، هیچ گونه تنش‌های حرارتی در داخل قطعه بوجود نمی‌آید. وقتی سطح بتن می‌تواند به محیط اطراف حرارت پس دهد، احتراق حرارتی بین قسمت خارجی سرد و هسته مرکزی داغ قطعه بتنی ایجاد می‌شود. به دلیل پخش حرارتی کم بتن، حرارت نمی‌تواند با سرعت کافی به خارج راه یابد، در نتیجه، انبساط حرارتی آزاد در قسمت‌های مختلف قطعه بتنی نابرابر خواهد بود. محدود نمودن انبساط آزاد، منجر به تنش‌های

فشاری و کششی خواهد شد. چنانچه تنش کششی در سطح قطعه، ناشی از انبساط هسته مرکزی، بیش از مقاومت کششی بتن باشد منجر به تغییر شکل نسبی کششی می‌شود که بیشتر از ظرفیت بتن است و در این صورت ترک‌های سطحی در بتن توسعه می‌یابند.

عوامل مهم فنی و اجرایی ایجاد کننده ترک در بتن

ترک‌های موجود در سطح بتن، کانال‌های آبیاری و زهکشی که باعث ایجاد درز و شکاف و در نهایت تخریب رویه بتنی کانال‌ها می‌شود، از عواملی هستند که هر ساله باعث هدر رفتن مقادیر زیادی از منابع آبی کشور به صورت نشت و خسارات مالی می‌شوند. لذا باید ضمن جلوگیری از به وجود آمدن آنها در صورت بروز، ضمن کنترل، مقادیرشان را به حداقل رسانید. تغییر شکل‌های بوجود آمده در سطح بتن که در نهایت به ترک‌های موجود در سطح منجر می‌شود ممکن است حاصل اعمال تنش، تغییرات حجم در اثر جمع شدگی، خشک شدن و تغییرات دما باشد. از آنجائیکه بتن در مقابل کشش بسیار ضعیف بوده و مستعد ترک خوردن است. هیچکس نمی‌تواند تضمین کند که در بتن ترک ایجاد نخواهد شد و احتمالاً مقداری ترک خوردگی وجود دارد. انواع مختلف ترک ممکن است رخ دهد. ولی با اجرای دقیق و مصالح مناسب می‌توان ترک‌ها را کاهش داد و از ایجاد ترک‌ها جلوگیری نمود و ضمن کنترل، مقدار آنها را به کم‌ترین حد ممکن محدود نمود زیرا ترک‌ها به پایایی بتن آسیب رسانده و از نظر زیبایی نیز نامطلوب است. دو عامل اصلی برای ترک در بتن موثر هستند.

- تنش بر اثر بارهای وارده (Control joints)
 - تنش بر اثر آب رفتگی در حین خشک شدن یا تغییرات دما (Restraint)
- اکثر ترک‌های بتنی معمولاً به علت طراحی نادرست و روش‌های اجرایی نامناسب مانند موارد زیر حاصل می‌شوند.
- حذف درزهای جدا کننده و کنترلی و روش‌های ناصحیح اجرای اتصالات و درزها
 - آماده سازی زیربنایی (بستر زیرکار) به روش نادرست
 - استفاده از بتن با اسلامپ بالا یا افزودن آب اضافی هنگام تخلیه به بتن
 - پرداخت کاری ناصحیح و ماله کشیدن به روش نادرست
 - عدم عمل آوری به موقع یا عمل آوری ناکافی و نامناسب.

دلایل ترک در بتن

به طور کلی، ترک در بتن علل زیادی دارند. ترک ممکن است فقط ظاهری باشد یا نشانه‌ای از یک تنش سازه‌ای مهم یا فقدان مقاومت و دوام سازه. ممکن است وسعت خرابی را نشان دهد یا نشانه حجم بیشتری از مشکلات باشد. اهمیت آنها بستگی به نوع سازه و نوع ترک خوردگی دارد. انواع ترک‌هایی که برای سازه‌های ساختمانی قابل قبول هستند، برای سازه‌های دیوار حائل آبی قابل قبول نیستند. تعمیر مناسب ترک‌ها بستگی به دانستن علت ترک‌ها و انتخاب مراحل تعمیر متناسب با این علت‌ها دارد و گرنه ترک‌ها ممکن است موقت و زودگذر باشند.

ترک‌ها ممکن است در بتن نرم و خمیری روی دهد یا در بتن سخت. ترک‌های بتن نرم به دلیل افت بتن و ترک‌های ناشی از نشست رخ می‌دهد و بعد از سخت شدن ترک‌های جمع شدگی بتن خشک روی می‌دهد. در انتخاب روش تعمیر ترک علاوه بر توجه به علت و وسعت ترک برداری، باید به وضعیت فعلی ترک در بتن هم توجه کرد. در غیر این صورت چه بسا روش تعمیری نامناسب و در نتیجه نامؤثر انتخاب شود. انتخاب روش تعمیر نه تنها از علت و وسعت ترک، بلکه از محل و شرایط محیطی حضور ترک در بتن نیز تأثیر می‌پذیرد. باید به امکان وجود رطوبت، آب یا مواد آلوده کننده در درون ترک توجه داشت معمولاً روش‌های تعمیر ترک در بتن باعث ناپدید شدن ترک‌ها نمی‌شوند و در جایی که زیبایی اهمیت دارد، ظاهر قابل رؤیت بخش تعمیر شده بایستی ارزیابی شود. استفاده از اندوهای مناسب برای تمام سطح بعد از تمام شدن تعمیر معمولاً ظاهر قابل رؤیت را مناسب خواهد کرد. از جمله عواملی که موجب ترک در بتن، خوردگی و فرسودگی و تخریب سازه‌های بتنی می‌شود

نفوذ نمک‌ها (INGRESS OF SALTS)

نمک‌های ته نشین شده که حاصل تبخیر و یا جریان آب‌های دارای املاح هستند و همچنین نمک‌هایی که توسط باد در خلل و فرج و ترک‌ها جمع می‌شوند، هنگام کریستالیزه شدن می‌توانند فشار مخربی به سازه‌ها وارد کنند که این عمل علاوه بر تسریع و تشدید زنگ زدگی و خوردگی آرماتورها به واسطه وجود نمک‌هاست.

اشتباهات طراحی (SPECIFICATION ERRORS)

به کارگیری استانداردهای نامناسب و مشخصات فنی غلط در رابطه با انتخاب مواد، روش‌های اجرایی و عملکرد خود سازه، می‌تواند به خرابی بتن منجر شود.

اشتباهات اجرایی (CONSTRUCTION ERRORS)

کم‌کاری‌ها، اشتباهات و نقص‌هایی که به هنگام اجرای پروژه‌ها رخ می‌دهد، ممکن است باعث آسیب‌هایی چون پدیده لانه زنبوری، حفره‌های آب انداختگی، جداشدگی، ترک‌های جمع شدگی، فضاهای خالی اضافی یا بتن آلوده شده، شود که همگی آنها به مشکلات جدی می‌انجامند.

حملات کلریدی (CHLORIDE ATTACK)

وجود کلرید آزاد در بتن می‌تواند به لایه حفاظتی غیر فعالی که در اطراف آرماتورها قرار دارد، آسیب وارد نموده و آن را از بین ببرد.

حملات سولفاتی (SULPHATE ATTACK)

محلول نمک‌های سولفاتی از قبیل سولفات‌های سدیم و منیزیم به دو طریق می‌توانند بتن را مورد حمله و تخریب قرار دهند. در طریق اول یون سولفات ممکن است آلومینات سیمان را مورد حمله قرار داده و ضمن ترکیب، نمک‌های دوتایی از قبیل: THAUMASITE و ETTRINGITE تولید نماید که در آب محلول هستند. وجود این گونه نمک‌ها در حضور هیدروکسید کلسیم، طبیعت کلوئیدی (COLLOIDAL) داشته که می‌تواند منبسط شده و با ازدیاد حجم، تخریب بتن را باعث شود. طریق دومی که محلول‌های سولفاتی قادر به آسیب رسانی به بتن هستند عبارتست از: تبدیل هیدروکسید کلسیم به نمک‌های محلول در آب مانند گچ (GYPSUM) و میرابلیت MIRABILITE که باعث تجزیه و نرم شدن سطوح بتن می‌شود و عمل LEACHING یا خلل و فرج دار شدن بتن به واسطه یک مایع حلال، به وقوع می‌پیوندد.

حریق (FIRE)

سه عامل اصلی وجود دارد که می‌توانند مقاومت بتن را در مقابل حرارت بالا تعیین کنند. این عوامل شامل موارد زیر هستند.

- توانایی بتن در مقابله با گرما و همچنین عمل آب بندی، بدون اینکه ترک، ریختگی و نزول مقاومت حاصل شود.
- رسانایی بتن (CONDUCTIVITY)
- ظرفیت گرمایی بتن (HEAT CAPACITY)

عمل یخ زدگی (FROST ACTION)

برای بتن‌های خیس، عمل یخ زدگی یک عامل تخریب است، چون آب به هنگام یخ زدن ازدیاد حجم پیدا کرده و باعث تولید تنش‌های مخرب درونی شده و لذا بتن ترک می‌خورد.

نمک‌های ذوب یخ (DE-ICING SALTS)

اگر برای ذوب نمودن یخ بتن، از نمک‌های ذوب یخ استفاده شود، علاوه بر خرابی‌های حاصله از یخ زدگی، ممکن است همین نمک‌ها نیز باعث خرابی سطحی بتن گردند.

کربناسیون (CARBONATION)

نفوذ دی اکسید کربن از هوا، عکس العملی را با بتن آلكالین ایجاد می‌نماید که حاصل آن کربنات خواهد بود و در نتیجه درجه PH بتن کاهش می‌یابد. همچنان که این عمل از سطح بتن شروع شده و به داخل بتن پیشروی می‌نماید آرماتور بتن تحت تأثیر این عمل دچار خوردگی می‌شود

تأثیر عوامل بیرونی بر پایداری بتن

به مقاومت بتن ساخته شده از [سیمان پرتلند](#)، در برابر عوامل جوی 'حملات شیمیایی' سایش، فرسایش و فرآیندهای تخریبی دیگر پایداری بتن گفته می‌شود. بتن پایا در شرایط محیطی مورد نظر، کیفیت و قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ می‌کند. ساخت بتن پایا در کشورهای گرمسیر در قیاس با شرایط گرمایی کشورهای اروپایی معمولاً دارای مسایل بیشتری است. در مناطق سرد سیر نیز، یخ‌زدن و آب‌شدن‌های مکرر بتن، باعث تخریب بتن می‌شود. مواد شیمیایی یخ‌زدا باعث شدت این خرابی می‌شوند. برای برطرف کردن این مشکل، بتن باید با استفاده از مواد حباب ساز 'سنگدانه‌های مناسب' نسبت آب به سیمان پایین و نفوذپذیری کم ساخته شود.



درجه حرارت و رطوبت در نواحی گرمسیر

از نظر متوسط درجه حرارت سالانه، تفاوت زیادی بین نواحی گرم و مرطوب و گرم و خشک وجود ندارد. در نواحی گرم و خشک تغییرات درجه حرارت شبانه روز به ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد برسد. حال آنکه تغییرات درجه حرارت در شبانه روز در نواحی گرم و مرطوب به نسبت پایین است. در اقلیم‌های گرم و مرطوب، متوسط درصد رطوبت بسیار بالا بوده و در نواحی گرم و خشک درصد رطوبت متوسط خیلی پایین است. اگر چه میزان رطوبت در سال دستخوش تغییرات بزرگی است. به علاوه در نواحی گرم و خشک اختلاف‌های قابل ملاحظه‌ای بین رطوبت نسبی نواحی ساحلی و غیر ساحلی وجود دارد.

عوامل موثر	تأثیر بر بتن
عوامل بیرونی	کاهش قابلیت کاربرد بتن هنگام بتن ریزی ترک ناشی از جمع شدن در اثر خشک شدن نفوذ سریع یون‌های خورنده حاصل از کلرورها، سولفات‌ها، اسید کربنیک و ... آغاز سریع خوردگی و افزایش سرعت آن
درجه حرارت زیاد و کاهش و افزایش متناوب میزان رطوبت	

تأثیر بر بتن	عوامل موثر		
آغاز خوردگی توسط یون کلر خرابی سطح به علت رسوب نمک‌های منبسط شونده شسته شدن عمقی بتن آب‌های نرم در نواحی گرم و مرطوب	آب موجود در اطراف بتن، آب زیرزمینی، آب دریا و آب‌های نرم		
کاهش پوشش موثر بتن روی میلگردها آغاز سریع‌تر خوردگی به واسطه یون کلر	حملات بیوشیمایی ناشی از وجود نرم تنان روی سازه‌های دریایی		
سایش ترک	طوفان ماسه		
مقاومت کم در مقابل نفوذ یون کلر	سیمان پرتلند ضد سولفات	عوامل درونی انتخاب مصالح	
کاهش قابلیت کاربرد بتن هنگام بتن ریزی نفوذ بیشتر یون‌های خورنده افزایش میزان جمع شدن در اثر خشک شدن و خزش بتن پایداری شکل کم در اثر خرابی سریع سطح بتن ناشی از رسوب نمک‌ها	شن و ماسه متخلخل		
افزایش مقدار آب مورد نیاز که نتیجه آن عبارت است از افزایش میزان جمع شدگی در اثر خشک شدن، افزایش میزان خزش، کم بودن مقاومت و نفوذپذیری زیاد	مصالح سنگی غبار آلود		
آغاز خوردگی در اثر یون کلر خرابی سطوح در اثر رسوب نمک‌های منبسط شونده	شن و ماسه حاوی کلرور و سولفات		
از دست رفتن شیره بتن جمع شدن در اثر خشک شدن (پلاستیکی) نیاز به آب فراوان که نتیجه آن تخلخل بیشتر بتن است.	شن و ماسه تیز گوشه و یکنواخت		
ترک و طبله کردن و در نتیجه کاهش پوشش موثر فولاد	مصالح سنگی حساس در قبال قلیایی‌ها		

عوامل موثر	تأثیر بر بتن
خطاهای اجرایی	انبار کردن ناصحیح مصالح
	وجود حفره‌ها و فضاهای خالی که موجی نفوذ سریع تر عوامل خورنده می‌شود.
	نفوذپذیری زیاد عمل آوردن با آب حاوی املاح که خود موجب نفوذ سریع یون کلر می‌شود.
	مسایل دیگر مانند خرابکاری در ساخت بتن

تأثیر آب و هوا بر ساخت بتن

هنگامی که درجه حرارت بتن تازه بالا رود آثار زیر بروز می‌نماید.

- میزان آب مورد نیاز برای حصول قابلیت کاربرد مشخص افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر نسبت آب به سیمان یا سیمان بیشتری مورد نیاز خواهد بود.
- قابلیت کاربرد بتن تازه خیلی سریع کاهش می‌یابد. نتیجه این امر بروز اشکال در قابلیت کاربرد و تراکم بتن خواهد بود، در نتیجه افزایش آب که همانا افزایش نسبت آب به سیمان است، ضروری خواهد داشت.
- هر دو عامل یعنی تراکم نامناسب یا نسبت آب به سیمان بالاتر بر پایداری بتن اثر نامطلوب دارد.
- احتمال ترک در سطح بتن به لحاظ جمع شدن که در نواحی گرم و خشک افزایش می‌یابد. درجه حرارت بتن و هوای اطراف، رطوبت نسبی و سرعت باد از عوامل اصلی موثر بر این پدیده هستند.

بسط و انتشار درجه حرارت در اثر آبگیری سیمان

تشکیل لایه‌ای نرم و متخلخل در سطح بتن در نتیجه تبخیر سریع آب، موجب افزایش درجه حرارت بتن‌های تازه می‌شود که در نتیجه آن احتمال ایجاد ترک در اثر خشک شدن افزونی می‌یابد.

اقدامات لازم برای جلوگیری از ترک و خشک شدن بتن

- استفاده از مواد افزودنی که میزان آب مورد نیاز را کاهش می‌دهند (روان کننده‌ها).
- پایین نگه داشتن درجه حرارت بتن تازه تا حد امکان
- استفاده از خرده‌های یخ در بتن
- ممانعت از تابش مستقیم نور خورشید و وزش باد، از طریق پوشاندن بتن (سایبان) و نصب موانع (بادشکن).
- ممانعت از تبخیر آب برای حداقل چهارده روز تا حصول ۷۰ درصد مقاومت فشاری.

تأثیر حرارت بر روند خرابی بتن سخت شده

بالا بودن قابل توجه درجه حرارت در نواحی گرمسیر در قیاس با اروپا موجب تفاوت‌های بزرگی در شدت خوردگی بتن و فولاد است. نفوذ عوامل خورنده از قبیل یون کلر، در اکسید کربن، یون‌های منیزیم و یون‌های سولفات در مناطق گرمسیر با سرعت بیشتری صورت می‌پذیرد.

از نقطه نظر **خوردگی بتن** در اثر نمک‌های مضاعفی نظیر Ettringite و Thaumassite آسیب پذیری در درجه حرارت‌های بالاتر کمتر است و خوردگی به علت عدم انبساط نمک‌های سولفات ممکن است اصلاً بروز ننماید. توجیه این امر از این قرار است که میزان حلالیت هیدروکسید کلسیم در درجه حرارت بالا کمتر است در حالیکه در مورد سولفات کلسیم، Ettringite یا دیگر نمک‌های مضاعف میزان حلالیت با بالا رفتن درجه حرارت افزایش می‌یابد.

تأثیر رطوبت بر روند خرابی بتن سخت شده

رطوبت بتن از عوامل مهمی است که از جنبه‌های فیزیکی و مکانیکی بر پایداری بتن اثر می‌گذارد. تقریباً تمام عوامل مخرب به منظور ورود در فعل و انفعالات تخریبی به آب احتیاج دارند. وجود آب در خلل و فرج بتن عاملی برای شکل‌گیری فعل و انفعالات شیمیایی مخرب بتن است. که بایستی به لحاظ میزان رطوبت با محیط اطراف خود به تعادل برسد. به هنگام رویایی با آب جسم بتن به سرعت خیس می‌شود. خشک شدن آن به کندی صورت می‌گیرد و مستلزم زمان بیشتری خواهد بود و این امر امکان انجام فعل و انفعالات شیمیایی را برای زمان بیشتری فراهم می‌سازد.

در نواحی گرم و خشک نمک‌های مخرب موجود در خاک، بنا به خاصیت لوله‌های موئین همواره رطوبت خود را به سطوح بتن در اطراف زمین رسانده و موجب تخریب بتن می‌شوند. تخریب بتن به وسیله نمک‌های مخرب در نقاطی که بتن با آب شور در تماس است، نیز صورت می‌گیرد.

رطوبت علاوه بر اینکه موجب خوردگی بتن می‌شود فولاد را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. حتی اگر فولاد به علت تشکیل کربنات‌ها پتانسیل خوردگی را نیز داشته باشد، این عمل اتفاق نمی‌افتد. زیرا مقاومت الکتریکی بتن بسیار زیاد است. آب احاطه کننده

در اراضی پست نواحی گرم و خشک، خاک اغلب حاوی نمک است زیرا نمک موجود در آب زیرزمینی ممکن است به سطح زمین برسد. در نواحی ساحلی سولفات‌ها و کلرورها املاح اصلی هستند و میزان سولفات‌ها نسبت به نواحی غیر ساحلی بیشتر است. حضور این املاح ممکن است موجب بروز خرابی سطوح بیرونی بتن در تراز سطح زمین شوند. و چنانچه کلرور بین املاح وجود داشته باشد ممکن است خوردگی فولاد آغاز شود. به طور کلی به منظور جلوگیری از این پدیده‌ها توصیه می‌شود پی و قسمت‌هایی از ساختمان که در درون زمین واقع می‌شوند با لایه‌های غیر قابل نفوذ نظیر پوشش‌های پلاستیکی یا قیر اندود پوشانیده شوند. در مجاورت آب دریا، سطح بتن تحت تأثیر یون‌های خورنده موجود در آب شسته می‌شود. سپس در اثر خورده شدن آهک، حفره‌هایی در سطح بتن ظاهر می‌شود. در مورد بتن متراکم که خوب عمل آوری شده باشد این تأثیر، سطحی و محدود خواهد بود. سیمان سرباره به دلیل میزان آهک کمتر و سخت‌تر بودن خمیر آن مقاومت بیشتری در مقابل حملات یاد شده دارد. در مورد ساختمان‌های دریایی مناطق گرمسیر در قیاس با نقاط معتدل، آب‌های مجاور ساختمان گرم‌تر و غالباً حاوی مقادیر بیشتر نمک هستند. در این نواحی گر چه غلظت نمک زیادتر است، تأثیر درجه حرارت نیز باید به عنوان عاملی جدید تلقی شود. در نواحی گرمسیر مجاورت آب شیرین و بتن ممکن است موجب شسته شدن سطح بتن شود. معمولاً آب‌های نرم دارای خاصیت خورندگی بیشتری هستند. زیرا غلظت نمک‌های محلول آنها کمتر بوده و حاوی اسید کربنیک بیشتری هستند. حملات زیستی (بیولوژیکی)

در نواحی گرم و مرطوب رشد جلبک‌ها و خزه‌ها روی سطوح بتن شدیدتر از نواحی معتدل است. اگر بتن از کیفیت خوبی برخوردار باشد تأثیر این قبیل روئیدنی‌ها کمتر خواهد بود. حتی شاید در بعضی موارد بتوان گفت این روئیدنی‌ها پایداری بتن را افزایش می‌دهند.

بتن در سازه‌های دریایی ممکن است تحت تاثیر مخرب انواع معینی از صدف‌ها و اسفنج‌ها واقع شود. این جانوران معمولاً سنگ آهک را سوراخ می‌کنند. ممکن است در بتن حفره‌هایی ایجاد نموده باعث تضعیف آن شوند.

سایش و فرسایش

در نواحی گرم و خشک پوسته خارجی بتن ممکن است در اثر توفان‌های ماسه سائیده شود. نتیجه امر تا حدود زیادی با ماسه پاشی (SAND BLASTING) قابل مقایسه است. به نظر نمی‌رسد این امر به طور مشخص بر دوام بتن آسیبی وارد نماید. گرچه ممکن است توفان‌های ماسه گرد و خاک را روی زوایا و فرو رفتگی‌های ساختمان بنشانند. از آنجا که این گرد و خاک حاوی املاح خورنده است، خوردگی بتن در نقاطی رخ می‌دهد که انتظار نمی‌رود. در اتصالات و مفاصل رسوب گرد و خاک ممکن است آزادی حرکت قطعه بتنی را سلب نماید که در نتیجه آن تنش‌های ناشی از تغییر شکل‌های پیش بینی نشده موجب خرابی می‌شود.

تاثیر نوع سیمان بر پایای بتن

مسایل اساسی مرتبط با پایایی بتن که به نوع سیمان مربوط می‌شود شامل موارد زیر هستند.

- خوردگی فولاد به واسطه نفوذ کلرور
- حمله سولفات‌ها
- اثر متقابل مواد قلیایی موجود در سیمان و مصالح سنگی
- تغییر شکل‌های حرارتی ضمن سخت شدن بتن
- مسائلی که کمتر تحت تاثیر نوع سیمان هستند به شرح زیر است.
- زمان گیرش
- جمع شدن پلاستیکی و جمع شدن در اثر خشک شدن
- ریختن و متراکم ساختن بتن تازه
- تاثیر حرارت اعم از تغییرات فصلی و تغییرات شبانه روزی

خوردگی فولاد به واسطه نفوذ کلرور

به طور معمول خرابی سازه‌های بتن آرمه در نواحی گرمسیر به واسطه نفوذ کلرورها و خوردگی فولاد رخ می‌دهد. سطوح بتنی‌هایی که در هوای مرطوب واقع می‌شوند در اثر وزش باد یا تابش خورشید فقط تا عمق چند میلیمتر خشک می‌شوند. بنابراین قبل از اینکه نفوذ کلرورها به جسم بتن از طریق لوله‌های موئین صورت پذیرد از طریق ذرات آب موجود در جسم آن رخ می‌دهد. در مورد سیمان پرتلند ضد سولفات که در مناطق گرمسیر به مقیاس وسیعی مورد استفاده است، سرعت انتشار یون مخرب کلر به میزان قابل توجهی بیشتر از سیمان پرتلند معمولی است. این سرعت علاوه بر درجه حرارت تابع عوامل زیر است.

- میزان یون‌های کلر آزاد که با خمیر سیمان پیوند ندارند

- وزن مخصوص و تخلخل بتن

تغییر شکل‌های حرارتی

در مناطق گرمسیر اختلاف درجه حرارت زیادی بین ساعات شبانه روز وجود دارد. در نقاط گرم و خشک ممکن است اختلاف درجه حرارت شب و روز به ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد برسد. اختلاف درجه حرارت موجب تغییر شکل در ساختمان‌های بتنی می‌شود. به منظور جلوگیری از ترک‌های ناشی از این اختلاف درجه حرارت لازم است قبل از هر چیز نکات ویژه‌ای در طراحی و اجرا مد نظر قرار بگیرد.

- حرارت ناشی از جذب آب سیمان به هنگام گیرش و سخت شدن موجب نوعی تغییر شکل حرارتی شود. هر قدر درجه حرارت اولیه بتن تازه بیشتر باشد گرمای حاصل از جذب آب سیمان زودتر آزاد می‌شود. این امر موجب اختلاف فاحش درجه حرارت بین بتن جوان و محیط اطراف می‌شود.

- اختلاف درجه حرارت را می‌توان به کمک عایق بندی حرارتی قالب‌ها و کاهش درجه حرارت حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی آب و سیمان محدود کرد.

اصول اولیه ترمیم بتن و نحوه انتخاب ترمیم‌کننده بتن

ترمیم‌کننده بتن، ملاتی آماده و پودی بر پایه [سیمان](#) است که به منظور ترمیم و اصلاح آسیب‌دیدگی‌ها، ترک خوردگی‌ها، شکستگی‌ها و ناهمواریهای سطوح بتنی به کار می‌رود، با توجه به پلیمرهایی که در ساخت آن بکار رفته از چسبندگی و مقاومت فشاری بالایی برخوردار است. قبل از انجام عملیات ترمیم بتن و انتخاب نوع ترمیم‌کننده بتن شناسایی دقیق و درست علت یا دلایل تخریب و آسیب بتن ضروری و پر اهمیت است. عدم شناخت کافی یا شناخت اشتباه مسئله، شکست و عدم موفقیت عملیات ترمیم و بازسازی را در پی خواهد داشت. با در نظر گرفتن این مهم که همگی آسیب دیدگی‌های بتن به بازسازی و ترمیم نیاز ندارد ضرورت نیاز به ترمیم، گامی اساسی در مطالعات و شناخت فرایند ترمیم به شمار می‌رود. زمان بازسازی و ترمیم نیز مسئله مهمی است و باید طوری اعمال شود که منجر به افزایش ایمنی و طول عمر سرویس سازه را شود.



هفت گام مهم برای بازسازی و ترمیم بتن

- مشخص کردن علت آسیب
- ارزیابی شدت آسیب
- مشخص کردن ضرورت
- انتخاب شیوه‌ای سیستماتیک
- بسترسازی بتن قدیمی
- اعمال سیستم بازسازی و ترمیم
- عمل‌آوری صحیح سطوح ترمیم شده

سطح زیر کار بایستی عاری از هرگونه چربی، گرد و غبار و ذرات سست باشد. مواد استاندارد بازسازی و ترمیم بتن و روش‌های آن توسط موسسه‌ی Bureau of Reclamation و در دوره‌ای ۹۰ ساله گردآوری شده است. متأسفانه در طول این مدت عدم موفقیت در بازسازی و ترمیم‌ها با وجود استفاده از مواد مقاوم و با دوام رخ داده است. سه حجم پودر ترمیم‌کننده بتن را با یک حجم آب داخل یک همزن ریخته تا به دست آمدن خمیری همگن عمل اختلاط را ادامه می‌دهند، ابتدا سطح زیر کار را مرطوب نموده، سپس ملات آماده شده را به وسیله ماله یا کاردک روی سطوح از پیش مرطوب شده اجراء می‌کنند. توجه فرمائید همیشه مقداری از مواد را با آب مخلوط کرده که حداکثر در مدت زمان کمتر از ۲۰ دقیقه مورد استفاده قرار گیرد، مرطوب نگه داشتن مقاطع مرمت شده تا مدت زمان ۴۸ ساعت الزامی است.

ترمیم بتن

ترمیم بتن به چهار دسته کلی ترمیم ترک، ترمیم سطح، ترمیم سازه‌ای و ترمیم بخش‌های زیر آب تقسیم بندی می‌شود.

ترمیم ترک

در ترمیم ترک باین نکاتی زیر را همواره در نظر داشت که ترک‌ها ممکن است فقط ظاهری باشند یا نشانه‌ای از یک تنش سازه‌ای مهم و یا فقدان مقاومت و دوام سازه. در برخی موارد نیز ترک‌ها ممکن است وسعت خرابی را نشان دهند. اهمیت ترک‌ها بستگی به نوع سازه و نوع ترک خوردگی دارد. با توجه به سطح عملکرد و دغدغه‌های طراحی در بسیاری از موارد مشاهده می‌شود که انواع ترک‌هایی که برای سازه‌های ساختمانی قابل قبول هستند ممکن است برای سازه‌هایی نظیر مخازن آب قابل قبول نباشند. شناسایی علت ترک و انتخاب مراحل متناسب با این علت‌ها در نهایت منجر به ترمیم مناسب خواهد شد. در انتخاب روش ترمیم ترک علاوه بر توجه به علت و وسعت ترک، باید به وضعیت فعلی ترک‌ها نیز توجه کرد. انتخاب روش ترمیم نه تنها از علت و وسعت ترک، بلکه از محل و شرایط محیطی حضور ترک نیز تاثیر می‌پذیرد. همچنین شیوه‌هایی که برای ترمیم ترک‌های ناشی از بارهای ثقلی به کار می‌روند، اغلب در سطوح افقی موفقیت آمیزند ولی به ندرت در سطوح عمودی کارساز و موفق خواهند بود. در جایی که زیبایی ظاهری سطح تمام شده کار اهمیت دارد، اغلب روش و مواد ترمیم‌کننده بتن از لحاظ ظاهری و زیبایی ارزیابی می‌شود و مقاومت یا آب بندی و دیگر معیارها کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. در نهایت با توجه به اینکه روش‌های ترمیم ترک باعث ناپدید شدن ترک‌ها نمی‌شوند در انتخاب روش‌ها و مواد ترمیمی باید به شرایط محیطی پس از ترمیم و امکان نفوذ رطوبت، آب یا مواد آلوده کننده در درون ترک توجه ویژه‌ای کرد. برای یک ترمیم موفق ضروری است از عدم پیشروی ترک خوردگی کسب اطمینان نمود چرا که ممکن است بدون اعمال اصلاحات لازم برای جلوگیری از پیشروی مجدد ترک پس از ترمیم مجدداً عضو بتنی در ناحیه‌های دیگری دچار ترک خوردگی شود. بنابراین در ابتدای امر رفع علل ترک خوردگی برای جلوگیری از ترمیم های آتی الزامی است.

کاربرد ترمیم‌کننده بتن

ترمیم‌کننده بتن اغلب برای ترمیم و اصلاح آسیب دیدگی‌های سطحی در سازه‌ها، سطوح و نماهای بتنی، شکستگی، ترک خوردگی، بریدگی و ناهمواری سطوح زیر به کار می‌رود.

- تسطیح و آماده‌سازی کف سالن‌ها قبل از نصب پوشش جدید
- ترمیم مخازن آب، استخرها، پل‌ها، اسکله‌ها، برج‌های خنک‌کننده و کلایفایرها
- تعمیر اماکن قدیمی یا بازسازی سازه‌های بسیار قدیمی و آثار تاریخی

انواع ترمیم‌کننده بتن

ترمیم‌کننده بتن ویژه

این نوع از ترمیم‌کننده بتن، بر پایه‌ی سیمان بوده و حاوی انواع پلیمرهای نیمه فعال و فعالی است که به واسطه وجود رزین پلیمری در ساختار خود قدرت چسبندگی بالایی به انواع سطوح داشته و ضمن مرمت و بازسازی نقاط آسیب دیده امکان آب‌بندی قطعات را نیز فراهم می‌آورد. پودر ویژه ترمیم‌کننده بتن یکی از بهترین و مؤثرترین ملات‌های ترمیم‌کننده بتن است که در انواع مراحل ساخت و آب‌بندی استخر و ترمیم نقاط آسیب‌دیده بتن قابل استفاده است. با توجه به وجود فشارات هیدرولیکی بالا در استخرها و حساسیت آب‌بندی آن، استفاده از ملات ویژه ترمیم‌کننده بتن به عنوان ماهیچه می‌تواند مقاومت کنج استخر را در مقابل نیروی وارده افزایش دهد و آب‌بندی استخر را تا حدود زیادی تضمین کند.

این ترمیم‌کننده ویژه برای مرمت و بازسازی سازه‌های بتنی مانند پل و اسکله، تعمیر قطعات پیش ساخته بتنی، تعمیر و محافظت سازه‌های بتنی دریایی، مرمت قطعات بتنی با میزان تخریب زیاد، ماهیچه‌گذاری در کنج‌های سازه‌های آبی و تمام سطوحی که در تماس مستقیم با آب هستند، قابل استفاده است.

ترمیم‌کننده بتن ویژه BC69

این نوع از ترمیم‌کننده ویژه بتن بر پایه سیمان بوده و برای استفاده تنها نیاز به استفاده از آب دارد و جهت ترمیم و آسیب دیدگی‌های سطحی در سازه و نمای بتنی به کار می‌رود. تاثیر اصلی این ترکیب کاهش هزینه‌های ترمیمی سازه و افزایش دوام و عمر مفید آن است. سهولت استفاده و قدرت چسبندگی زیاد از ویژگی‌های منحصر به فرد این محصول است. این محصول با

استاندارد ASTM C 260 مطابقت کامل دارد و بیشتر در زمینه ترمیم قطعات سیمان، آزیست و قطعات موزائیک، ساخت پله‌ها، نماها، کلیه قطعات پیش ساخته بتنی، مخازن آب با سازه بتن و ... کاربرد دارد.

ترمیم‌کننده بتن ویژه BCS160

ترمیم‌کننده بتن ویژه BCS160 پودری است بر پایه سیمان که دارای انواع رزین‌ها بوده و محتوی مواد افزودنی خاصی است که به راحتی با آب ترکیب شده و خمیری با کاربری آسان بدست می‌آید. به دلیل افزودنی‌های خاص، چسبندگی عالی به انواع سطوح بتنی و مصالح معدنی داشته و نیاز به مواد کمکی ندارد، به دلیل انقباض خشک‌شدن بسیار ناچیز، به راحتی روی سطوح افقی و عمودی قابل اجراست و از طرفی به دلیل مقاومت کششی فوق‌العاده بالا و الاستیسیته عالی به هیچ وجه دچار جمع شدگی و ترک خوردگی نمی‌شود. مقاومت بالایی در برابر یخبندان، ذوب و عوامل خورنده شیمیایی دارد. به راحتی با آب مخلوط شده و خمیری صاف و همگن و کار پذیر بدست می‌آورد. ترمیم‌کننده بتن BCS160، در ترمیم آسیب‌دیدگی‌های سطحی بتن از قبیل ترک خوردگی، شکستگی، تخلخل، خراشیدگی، اعوجاج و ایجاد سطحی صاف و بدون درز برای اجرای انواع نماها، ترمیم ناهمواری و آسیب‌دیدگی پله‌ها، نماها، قطعات پیش ساخته، مخازن بتنی آب، قطعات سیمانی، آزیستی و موزایک، زیرسازی عملیات کاشی‌کاری یا نصب پوشش بر روی آنها کاربرد دارد.

ترمیم‌کننده بتن معمولی

ترمیم‌کننده بتن معمولی با دانه‌بندی مناسب و بدون انقباض است که با توجه به پلیمرهای فعال شونده‌ای که در ساخت این چسب پودری به کار رفته، از چسبندگی قابل توجهی به سطوح زیر کار برخوردار بوده و مقاومت فشاری بالایی را تحمل می‌نماید. از ویژگی‌های ترمیم‌کننده معمولی بتن می‌توان به سهولت در اجرا، چسبندگی زیاد به مصالح پایه سیمانی، مقاومت در برابر سایش، خراش و ترک، نفوذپذیری کم اشاره کرد و در زمینه ترمیم سطوح ترک خورده، تسطیح سطوح متخلخل، پر نمودن خلل و فرج‌های بتن کاربرد دارد. روش اجرا بدین صورت است که سطح زیر کار یکدست و فاقد گودال‌های کوچک، عاری از هر گونه آلودگی، چربی و گرد و غبار باشد. قبل از اجرا، سطح زیر کار را کاملاً مرطوب نموده تا خشک بودن سطح زیر کار موجب ایجاد ترک نشود و چسبندگی، به خوبی صورت بگیرد و در صورت وجود ترک‌های عمیق، می‌بایست ترک را کاملاً باز کرده خمیر را با کمی ماسه مخلوط نموده تا داخل ترک را پر کرد.

ترمیم‌کننده معمولی بتن BC68

ترمیم‌کننده بتن معمولی بر پایه سیمان بوده و برای استفاده تنها نیاز به استفاده از آب می‌باشد و جهت ترمیم و آسیب‌دیدگی‌های سطحی در سازه و نمای بتنی به کار می‌رود. تاثیر اصلی این ترکیب کاهش هزینه‌های ترمیمی سازه و افزایش دوام و عمر مفید آن است.

این محصول با استاندارد ASTM C 928 مطابقت کامل دارد. سهولت در اجرا، انبساط حرارتی برابر بتن، چسبندگی با انواع زیر سازی‌های بتن، عدم نیاز به افزودنی کمکی از ویژگی‌های منحصر به فرد ترمیم‌کننده بتن است. ترمیم‌کننده معمولی بتن در زمینه ترمیم قطعات سیمان، آزیست و قطعات موزائیک، ساخت پله‌ها، نماها، کلیه قطعات پیش ساخته بتنی، مخازن آب با سازه بتن، و ... کاربرد دارد.

ترمیم‌کننده معمولی بتن BCS 150

ترمیم‌کننده بتن BCS 150 پودری است بر پایه سیمان، که دارای انواع رزین‌ها بوده و محتوی مواد افزودنی خاصی است که به راحتی با آب ترکیب شده و خمیری با کاربری آسان بدست می‌آید. به دلیل افزودنی‌های خاص، چسبندگی عالی به انواع سطوح بتنی و مصالح معدنی داشته و نیاز به مواد کمکی ندارند، انقباض خشک‌شدن آن بسیار ناچیز بوده، به راحتی روی سطوح افقی و عمودی قابل اجراست و به دلیل مقاومت کششی بالا و الاستیسیته عالی به هیچ وجه دچار جمع شدگی و ترک خوردگی نمی‌شود. مقاومت بالایی در برابر یخبندان، ذوب و عوامل خورنده شیمیایی دارد. ترمیم‌کننده بتن BCS 150 در زمینه ترمیم آسیب‌دیدگی‌های سطحی بتن از قبیل ترک خوردگی، شکستگی، تخلخل، خراشیدگی، اعوجاج، ایجاد سطحی صاف و بدون درز

برای اجرای انواع نماها، ترمیم ناهمواری، آسیب دیدگی پله‌ها، نماها، قطعات پیش ساخته، مخازن بتنی آب، قطعات سیمانی، آزیستی و موزاییک، زیرسازی عملیات کاشی کاری و نصب پوشش بر روی آنها کاربرد دارند

ترمیم کننده بتن معمولی (پایه سیمانی K755B)

ترمیم کننده بتن K755B، نوعی ملات آماده بر پایه سیمان است که برای ترمیم و رفع آسیب دیدگی‌های سطحی بتن و ملات به کار می‌رود. این محصول با استانداردهای ASTM C928, ASTM C1583 مطابقت دارد. برای افزایش بهتر چسبندگی، بایستی سطح زیر کار زبر و مرطوب باشد و به میزان ۳۰٪ از وزن پودر، آب را داخل مخلوط کن ریخته، سپس پودر ترمیم کننده بتن را به آرامی روی آن ریخته و هم‌زمان با همزن مکانیکی، مخلوط را به هم زده تا خمیر همگنی به دست آید. ملات آماده شده را می‌توان حداکثر تا یک ساعت مصرف کرد. ترمیم کننده بتن K755B در ترمیم سطوح بتنی که از مقاومت کششی بالایی برخوردار است و هرگز دچار جمع شدگی، ترک خوردگی و بریدگی نمی‌شود، اصلاح نمای متخلخل و کرموی بتن، پر کردن ترک‌ها، شکستگی‌های سطحی، زیرسازی سطوح قبل از اجرای عملیات پوششی مانند رنگ نما، پارکت، لمینت کاربرد دارد. مقاوم در برابر سیکل‌های یخبندان، ذوب و مواد یخ زدا است.

ترمیم کننده بتن اپوکسی Epoxy Repair

ترمیم کننده بتن اپوکسی، ترکیبی دو جزئی بر پایه رزین اپوکسی که از مقاومت بسیار بالایی برخوردار بوده و جهت ترمیم آسیب دیدگی‌های سطحی در مکان‌های پر تردد و مکان‌های در معرض مواد شیمیایی خورنده، به کار می‌رود. ملات اپوکسی، ملات بسیار قوی و مقاوم بر پایه رزین‌های اپوکسی که از خاصیت چسبندگی بالایی برای پیوند دادن بین بتن جدید و قدیم و سایر اجزا برخوردار است. علاوه بر این از آنجایی که سطوح مختلف همواره در معرض انواع ضربه‌های مکانیکی از قبیل فشاری و سایشی قرار می‌گیرند لذا فرسایش حاصل از این عوامل به ایجاد پستی و بلندی در سطح و معلق شدن ذرات و آلودگی محیط را سبب می‌شود. همچنین در اثر تأثیر مواد گوناگون شیمیایی بر روی سطوح کف، خوردگی سطوح بتنی و فلزی اجتناب ناپذیر است در نتیجه راهکار مناسب جهت پیشگیری از مشکلات فوق استفاده از پوشش‌هایی است که بتواند سطوح را در برابر ضربات، نیروهای مکانیکی و عوامل خورنده شیمیایی حفظ نماید و چسبندگی، مقاومت مکانیکی بسیار بالا، قابلیت شستشو حتی با مواد شوینده، تنوع رنگ، قابلیت مصارف بهداشتی، قابلیت ترمیم آسان، مقاوم در برابر خوردگی و مواد شیمیایی (مواد اسیدی و قلیایی)، پایداری در برابر تغییرات درجه حرارت و ضریب انبساط حرارتی کم، عدم جمع شدگی و ترک خوردگی، مقاومت کششی، خمشی و فشاری بالا، نفوذ ناپذیری در برابر آب و محلول‌های شیمیایی، به سطوح زیر کار دهد.

ترمیم کننده بتن اپوکسی K756

ترمیم کننده بتن اپوکسی K756 ماده‌ای است بر پایه اپوکسی که می‌توان برای ایجاد پوشش مقاوم در سطوح، با تردد زیاد و محیط‌های شیمیایی خورنده، آب‌بندی سطوح مختلف استفاده کرد که سطح زیر کار باید عاری از هرگونه گرد و غبار و چربی باشد. برای زیر سازی بهتر می‌توان از پرایمر اپوکسی استفاده کرد تا چسبندگی و نفوذ مواد اپوکسی به داخل بتن با بالاترین کیفیت صورت گیرد. این محصول با استاندارد EN52615 مطابقت دارد. خواص، اثرات و موارد کاربرد ترمیم کننده بتن اپوکسی K756

- ایجاد پوشش مقاوم در برابر مواد خورنده، قلیایی و اسیدی
- آب‌بندی سطوح بتنی مختلف و مخازن آب شرب
- ترمیم و آسیب دیدگی کف‌های بتنی که در معرض تردد بالا هستند.
- کف‌سازی محوطه کارخانه‌ها، سالن‌های صنعتی، صنایع غذایی، دارویی، پمپ بنزین‌ها و کف پارکینگ‌ها
- ضریب انبساطی حرارتی کم و پایداری در برابر تغییر درجه حرارت
- کاشت بولت در سطوح افقی و سطوح با شیب کم
- پر کردن ناهمواری‌های بتن، ترک‌ها، شکستگی‌ها، شکاف‌ها و درزهای عمیق که پهنای بسیار کمی دارند.
- افزایش مقاومت چسبندگی، کششی، فشاری و خمشی بالا

ترمیم‌کننده بتن نانو Nano Material

ترمیم‌کننده بتن نانو محصولاتی با مشخصات و مکانیسم ویژه، به همراه چسبندگی فوق العاده زیاد، در تمام محیط‌های خورنده با PHهای مختلف قابل استفاده بوده و بهترین محصول برای ترمیم سازه‌هایی است که در مناطق مرطوب قرار دارند. محصولات نانو می‌توانند تا عمق بیشتر از ۱۵۰ سانتی‌متر در ترک‌های موئین بتن نفوذ کنند. همچنین ذرات نانو به طور طبیعی بر روی میلگردها، پوششی ایجاد کرده که این عمل بر اساس حفاظت کاتدیک بوده و از فرسایش و خوردگی میلگردها جلوگیری می‌کند. از دیگر مزایای مصالح نانو توانایی تعمیر ترک‌ها در سازه‌های بتنی مسلح، که ترمیم حفره‌های با عمق بزرگتر از ۱۰۰ میلی‌متر و کرم‌شدگی بتن و ترمیم گسترده در مکان‌هایی که استفاده از قالب امکان‌پذیر نیست، می‌باشد. از جمله کاربردهای نانو مصالح می‌توان به ترمیم و مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی مانند پایه و عرشه پل‌ها، استخرها، مخازن آب، اسکله‌ها، برج‌های خنک‌کننده، پالایشگاه‌ها و تجهیزات صنعتی و پتروشیمی، مراکز تصفیه آب و فاضلاب و تعمیر ساختمان‌های تاریخی و بازسازی آثار باستانی اشاره کرد.

سیمان ترمیم‌کننده بتن نانو (Nano CX1)

بازسازی سازه‌های بتنی و تعمیرات بتن با روش‌های سنتی بدلیل اینکه بتن جدید بر روی بتن قدیمی بعد از هیدراته سیمان، هرگز پیوند برقرار نمی‌کند، عملاً غیرممکن و بعید به نظر می‌رسد. با استفاده از NANO CX1 می‌توان تمامی بتن‌های آسیب دیده را تعمیر و بازسازی نمود. از این محصول می‌توان برای بازسازی جداول خیابانی که هزینه بسیار بالایی جهت تعویض آنها صرف می‌شود، استفاده نمود و در تمامی تیرهای سیمانی انتقال شبکه برق رسانی داخل شهری، خصوصاً مناطق جنوبی و شمالی کشور که در معرض خوردگی یون کلر دارند بدون تعویض تیرهای سیمانی بهره برد. سیمان ترمیم‌کننده بتن نانو هیچ گونه مشابه خارجی نداشته و با تلاش محققین و دانشمندان کشور فرموله و ساخته شده است. با توجه به دارا بودن مکانیسم خاص بدلیل چسبندگی بسیار زیاد (psi450) با سازه‌های قدیمی پیوند خورده و بصورت یکپارچه در می‌آید بطوری‌که، جدا کردن ماده Nano CX1 از بتن قدیمی بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی عملاً امکان‌پذیر نیست.

Nano CX1 در کلیه محیط‌های خورنده و در مقابل تغییرات اسیدی و بازی شدید، قابلیت کاربری داشته و به اعتقاد شرکت تولید کننده بهترین محصول جهت ترمیم سازه‌ها به ویژه در مناطق مرطوب است.

استانداردهای مورد استفاده در ساخت ترمیم‌کننده بتن

ASTM C1583, ASTM C39, ASTM C191, ASTM C928-05, BS EN 12637-3, DIN EN1504-1, DIN EN15184, DIN EN15183

لکه گیری و ترمیم بتن

سطوحی که در معرض دید نیستند شامل موارد زیر هستند.

- سطوحی که با نماسازی یا با مصالح پرداختی پوشیده خواهند شد.
- سطوحی که وجود لکه‌ها و عدم یکنواختی رنگ آنها از نظر ظاهری اهمیتی ندارد.
- در این حالت ترمیم به سطوح **کرمو** و پر کردن حفره‌های به جا مانده از میله‌های مهاری قالب‌ها محدود می‌شود تا از نفوذ و رسیدن رطوبت به میلگردها جلوگیری کند.
- سطوحی که در معرض دید هستند شامل موارد زیر هستند.
- سطوح نماسازی شده با قالب، بتن‌های شسته و سطوح تخته مال‌های که ظاهر آنها بسیار مهم است (در این حالت باید قسمت‌های کرمو و سوراخ‌ها طوری ترمیم شوند که دارای پایایی باشند). همچنین قسمت‌های لکه گیری شده نباید از نظر ظاهری از بقیه‌ی قسمت‌ها تشخیص داده شوند.
- لکه‌های دیگر، مانند سطوح حفره‌دار و سطوح ماسه زده باید به گونه‌ای ترمیم شوند که از نظر ظاهر و رنگ نقاط ترمیم شده با بتن اصلی مطابقت داشته باشند.

ضمناً برای ترمیم بهتر، توجه به این نکات الزامی است.

- هر گونه تعمیر یا لکه گیری در سطح بتن بدون بررسی کیفیت باعث به وجود آمدن سطوحی می شود که نسبت به بتن اطراف رنگی متفاوت دارد.
- لکه هایی که در مقایسه با محیط اطراف از نظر تعداد، سطح و گستردگی کوچک هستند بهتر دست نخورده باقی بمانند.
- لکه هایی که از فاصله ی ۱ تا ۲ متری دیده نمی شوند. در خورد توجه نیستند، به این دلیل تنها قسمت هایی که در معرض دید قرار دارند (حداقل از فاصله ی ۲ متری دیده میشوند) ترمیم می شوند.
- رسیدن به رنگ بتنی یکنواخت در بتن سفید ساده تر از بتن خاکستری است.
- ساخت بتنی با رنگ یکنواخت و بدون لکه بسیار مشکل است.



انواع ترمیم

ترمیم بیرن زدن دوغاب

پوشش ناقص قالب در محل درز اجرایی، سبب بیرون آمدن دوغاب یا ملات می شود. در نتیجه سطح کار تکمیل شده را می پوشاند. اگر نتوانیم فوراً دوغاب را پاک کنیم باید آنقدر باقی بماند تا به اندازه ی کافی شکننده شود و به وسیله ی قطعه ای چوب سخت یا یک قلم به دقت خرد شود. این کار معمولاً به گونه ای انجام می شود که فقط دوغاب برداشته شده و به سطح قبلی آسیب نرسد.

اگر برداشتن دوغاب پس از بیرون آمدن بتن از قالب انجام شود، سطح بتن تمیز شده و بسیار زیبا خواهد شد.

ترمیم لبه دار شدن در درزهای افقی و قائم

اگر برای ادامه ی کار، قالب به خوبی به بالای قسمت قبلی فشرده نشود، نه تنها احتمال بیرون آمدن دوغاب وجود دارد بلکه ممکن است مقداری سطوح کرم و ماسه زده و سطوح لبه دار در سطح بتن ایجاد شود. در حالی که بتن در نما نیست، لبه دار شدن نیاز بخ ترمیم ندارد. اما در قسمت های نمادار لازم است که لبه های بیرون آمده خرد و سپس سطح کار ترمیم شود.

ترمیم لبه ها و نبشی ها

تعمیر اساسی لبه ها و گوشه هایی که در اثر ضربه های تصادفی یا سهل انگاری در هنگام برداشتن قالب ها، به خصوص در نما، به وجود آمده اند بسیار مشکل است و به دقت زیادی نیاز دارد. پیشنهاد می شود که گوشه ها و لبه ها را با خرد شدگی تا ۱۰ میلیمتر رها کنیم. برای تعمیر بهتر است اطراف قسمت مورد نظر آماده و زبر شود و پس از خیس کردن سطح قطعه برای ترمیم آن اقدام شود.

لبه های شکسته شده باید کمی عمیق شوند تا بتن جدید در داخل آن قرار گیرد و با فشار سطح بتن یکنواخت شود. قبلاً باید بتنی انتخاب شود که از نظر رنگ با بتن قبلی مطابقت داشته باشد.

ترمیم محل سوراخ های گیره ی قالب

پر کردن سوراخ‌های به جا مانده از میل مهارها به گونه‌ای که رنگ آنها با رنگ بتن همانند شود تقریباً غیر ممکن است. حتی اگر در ابتدا شبیه سازی رنگ به خوبی انجام شود ملات پر کننده در معرض هوا رنگ متفاوتی پیدا خواهد کرد. به این دلیل توصیه می‌شود که موقعیت سوراخ‌های میل مهارها در سطح نمای بتنی از قبل طوری تعیین شود که بتوان وضعیت آنها را با وضعیت فرو رفته (پر کردن تا سطحی عقب تر از سطح بتن) مقایسه کرد. به هنگام پر کردن هم سطح سوراخ‌ها باید دقت کرد که از برخورد ملات با بتن اطراف جلوگیری شود.

برای نفوذ بهتر و پایا بودن ترمیم این نکات را باید مراعات کرد.

- تمیز کردن کامل سوراخ با فرو کردن قطعه‌ای پارچه به داخل آن
- خیس کردن داخل سوراخ‌ها برای کنترل مکش
- ساخت مقداری از مخلوط با ترکیبی که رنگی شبیه بتن را فراهم کند.
- فرو کردن ملات به داخل سوراخ و سنبه زدن آن به طور کامل، در هر مرحله تنها ۲۵ میلیمتر از سوراخ با ملات پر می‌شود.
- استفاده از یک قطعه چوب برای پر کردن سوراخ‌های فرورفته. با کوبیدن چوب به وسیله ی چکش، فرو رفتگی‌هایی با عمق یکسان به وجود می‌آید.

ترمیم محل حباب‌های سطحی

اگر حباب‌های سطحی کوچک نامشخص باشند، پر کردن آنها معمول و ضروری نیست، اما اگر قطر آنها بیش از ۵ میلیمتر باشد و از فاصله‌ای بین ۲ تا ۴ متر در سطح بتن دیده شوند، انجام اصلاحات ضروری است. حباب‌های سطحی باید به گونه‌ای پر شوند که رنگ و بافت بتن به همان صورت باقی بماند. ملات مورد استفاده می‌تواند شامل یک قسمت سیمان و ۵/۱ قسمت ماسه نرم باشد. تعمیر و ترمیم قسمت‌های کرمو

در قسمت‌های کرمو که عمق خرابی آنها از ۱۰ میلیمتر بیشتر است ترمیم به صورت وصله ضرورت دارد. در این مورد قسمت‌های کرمو را تا رسیدن به بتن سالم خرد کرده. سپس محیط اطراف قسمت کنده شده را با قلم ضربدر می‌زنند تا لبه‌هایی تمیز و تقریباً راست گوشه به عمق ۱۰ میلیمتر ایجاد شود. عمق وصله تا حد امکان باید یکنواخت باشد و معمولاً لازم نیست که کندن قسمت‌هایی کرمو تا پشت میلگردها ادامه یابد. مگر این که کرموشدن آنها تا پشت میلگردهای فولادی گسترش یافته باشد. برای تعمیرات کم عمق (کمتر از ۵۰ میلیمتر) استفاده از ملات ارجح است. نوع ملات به پرداخت مورد نظر بستگی دارد. برای تعمیر لکه‌هایی عمیق باید قبل از لکه گیری در بتن قدیمی، میلگردهایی به منظور تقویت لکه گذاشته شود انواع ترک در بتن و روش‌های ترمیم آن

انواع ترک در بتن ممکن است فقط ظاهری یا نشانه‌ای از یک تنش سازه‌ای مهم، فقدان مقاومت و دوام سازه یا نشان دهنده وسعت خرابی و حجم بیشتری از مشکلات باشند. اهمیت آنها بستگی به نوع سازه و نوع ترک خوردگی دارد. انواع ترک‌هایی که برای سازه‌های ساختمانی قابل قبول است، ممکن است برای سازه‌های دیوار حائل آبی قابل قبول نباشند و تعمیر مناسب انواع **ترک در بتن** بستگی به علت ترک و انتخاب مراحل تعمیر متناسب با این علت‌ها دارد و گرنه ترک‌ها ممکن است موقت و زودگذر باشند.



انواع ترک در بتن

ترک خمشی

زمانی که مقاومت خمشی مقطع بتن پایین بوده و تار کششی بیشترین عرض را داشته و به سمت تارهای دیگر همگرا شده به تنهایی یا گروهی اتفاق می‌افتد. این نوع ترک در سلامت سازه تاثیر گذاشته و باید بررسی شود.

ترک برشی

زمانی که مقاومت برشی مقطع بتن پایین بوده و در ناحیه‌ای با برش ماکزیمم (بیشترین عرض را در میانه عمق) به سمت بالا و پایین به تنهایی یا گروهی گسترش یافته، رخ می‌دهد و تاثیر زیادی در سلامتی سازه دارد.

ترک پیچشی

در مقطع با مقاومت پیچشی پایین که عرض یکنواختی دارد، در فرم مارپیچ و به تنهایی رخ می‌دهد.

ترک‌های مربوط به لغزش اتصالات میلگردها

به دلیل انقطاع سریع میلگردها زمانی که مرز کافی در اتصالات وجود ندارد، اتفاق می‌افتد.

گسترش ترک در طول تیر

به دلیل نبود تکنیک کافی حین ساخت و مشکل در قالب‌بندی اتفاق می‌افتد.

ترک کششی

به دلیل نبود آرماتوربندی کافی در مقطع تحت کشش و پایین بودن کیفیت بتن اتفاق می‌افتد.

ترک ستون

ترک‌های افقی به دلیل [خوردگی آرماتورها](#) و عدم طراحی مقطع ستون برای خمش اتفاق می‌افتد. ترک‌های اریب به دلیل در نظر نگرفتن نیروهای جانبی و پایین بودن مقاومت در تحمل بار محوری بوجود می‌آیند.

ترک‌های خوردگی

به دلیل خوردگی آرماتورها، عدم پوشش کافی و کیفیت پایین بتن اتفاق می‌افتد.

ترک‌های خمشی در دال

به دلیل نقص در طراحی تحت بارگذاری، اضافه بار در مقطع و کیفیت پایین بتن اتفاق می‌افتد.

ترک‌های بالای خمشی در دال

به دلیل توزیع ناکافی میلگردها و عدم امتداد کامل میلگرد اصلی اتفاق می‌افتد.

ترک‌های جمع شدگی در دال طره‌ای

به دلیل نسبت آب به [سیمان](#) بالا در بتن، عمل آوری نامناسب و عدم مهار در گوشه‌ها اتفاق می‌افتد.

انواع ترک در سطوح بتن

بتن، مانند دیگر [مصالح ساختمانی](#) با تغییرات موجود در رطوبت و درجه حرارت، انقباض و انبساط می‌یابد و با توجه به بار وارده و شرایط نگهداری، تغییر شکل می‌دهد. زمانی که تمهیداتی برای این حرکات در طراحی و اجرا فراهم نشود، آنگاه ترک‌ها ایجاد می‌شود. برخی انواع ترک در بتن معمولی عبارتند از: ترک خمیری، ترکیدگی ناشی از جمع شدگی پلاستیک، ترک‌های جمع شدگی ناشی از خشک شدن، ترک‌های حرارتی سنین اولیه، جمع شدگی ناشی از کرناتاسیون، ترک‌های ناشی از اتصال ناصحیح، ترک‌های ناشی از قیود خارجی پیوسته (مثلاً دیوار درجا ریخته شده مقید در امتداد لبه تحتانی بر روی پی نواری)، ترک‌های کف زیرزمین، ترک‌های موازی لبه قطعات صفحه‌ای ناشی از انجماد و آب شدگی و ترک‌های پوست ماری.

ترک‌های خمیری

در نتیجه کاهش آب از خمیر سیمان (در اثر عوامل بوجود آورنده)، جمع شدگی حجمی در بتن بوجود می‌آید، این جمع شدگی به عنوان جمع شدگی خمیری (پلاستیک) شناخته می‌شود. ترک‌های جمع شدگی خمیری معمولاً به صورت موازی به فاصله ۳/۰ تا

۱ متر از یکدیگر ایجاد می‌شوند و عمق قابل ملاحظه‌ای دارند. این نوع ترک‌ها در بتن معمولاً تا لبه‌های آزاد بتن ادامه نمی‌یابند زیرا در آن نقاط امکان انقباض آزاد وجود دارد. زمان ظهور این نوع ترک ۳۰ دقیقه تا ۶ ساعت پس از بتن ریزی است. هیدراتاسیون، کربناتاسیون و نیز مکش آب از سوی بتن خشک زیرین یا بستر خاکی، کاهش آب در نتیجه تبخیر از سطح بتن از عوامل بوجود آورنده جمع شدگی خمیری است. هر چه سرعت تبخیر بیشتر باشد جمع شدگی خمیری بیشتر خواهد بود. سرعت تبخیر با دمای هوا، دمای بتن و سرعت باد، نسبت مستقیم و با رطوبت نسبی هوا نسبت معکوس دارد یعنی هر چه دمای هوا، دمای بتن و سرعت باد بیشتر باشد سرعت تبخیر نیز بیشتر و هر چه رطوبت نسبی هوا بیشتر، سرعت تبخیر کمتر خواهد بود. ممانعت کامل از تبخیر، بلافاصله بعد از ریختن بتن، جمع شدگی خمیری را کاهش می‌دهد.

ترک‌های جمع شدگی ناشی از خشک شدن در بتن (ترک‌های انقباضی) خروج آب از بتن سخت شده در هوای غیر اشباع باعث جمع شدگی ناشی از خشک شدن خواهد شد. هنگامی که بتن خشک می‌شود آب موجود در حفره‌ها کاهش می‌یابد و خروج آب از حفره‌ها باعث تغییر رطوبت خمیر سیمان می‌شود که در نتیجه دو عامل فوق، بتن جمع می‌شود. در واقع می‌توان گفت ترک‌های انقباضی در اثر از دست دادن آب، وقتی که درخشندگی آب از سطح بتن محو می‌شود و از بین می‌رود شکل گرفته و ظاهر می‌شوند. البته این جمع شدگی به کندی صورت گرفته و پس از چندین هفته یا ماه اتفاق می‌افتد این ترک‌ها معمولاً در هم و مستقیم هستند و اصولاً در سطح داخلی دال رخ می‌دهند و به ندرت تا لبه گسترش می‌یابند. این ترک‌ها سطحی و کم عمق هستند و مشکل جدی غیر از تغییر ناخوشایند ظاهر بتن ندارند. جمع شدگی ناشی از کربناتاسیون

CO₂ موجود در هوا با وجود رطوبت تشکیل اسید کربنیک داده که Ca(OH)_2 را تشکیل می‌دهد. دیگر ترکیبات سیمان هم با کربنات کلسیم حاصل از هیدراتاسیون سیمان واکنش داده و تجزیه می‌شوند. پس از انجام کربناتاسیون مقداری جمع شدگی در بتن بوجود می‌آید که به عنوان جمع شدگی ناشی از کربناتاسیون شناخته می‌شود. عمل کربناتاسیون از سطح بتن شروع و به داخل آن ادامه می‌یابد که سرعت آن بسیار پایین است. سرعت کربناتاسیون به نفوذپذیری، مقدار و رطوبت بتن، همچنین درصد O₂ و رطوبت نسبی هوا بستگی دارد.

ترک‌های حرارتی سنین اولیه از عوامل مهم اثرگذار در انواع ترک در بتن، درجه حرارت محیط است. بتن‌ریزی در هوای گرم است که باعث افزایش میزان تبخیر آب بتن شده و در نتیجه عمل هیدراتاسیون بخوبی صورت نگرفته و باعث ایجاد ترک‌هایی در بتن می‌شود. به وجود آمدن انواع ترک در بتن سخت شده در اثر تبخیر از آب اختلاط اولیه مورد نیاز، بیشتر در هوای گرم یا در اثر تبخیرات حجمی ناشی از خنک شدن از درجه حرارت بالا در هنگام بتن ریزی به درجات پایین در هنگام بهره برداری اتفاق می‌افتد. در مقاطع با ابعاد بزرگ، اختلاف میان دمای داخلی و خارجی ممکن است سبب تنش‌هایی شود که برای ایجاد انواع ترک در بتن کافی است. هوای گرم روی حباب‌های هوا نیز اثر گذاشته که در درجه حرارت بالا، بتن نیاز به افزایش در مقدار ماده افزودنی حباب زا برای رسیدن به مقدار هوای کل مورد نظر خواهد داشت.

ترک‌های سازه‌ای در عضوهای مثل تیر، ستون و دال دیده می‌شود. ترک‌های مویی در تیرها در نقاط با ممان ماکزیمم رخ می‌دهد که توانایی مقطع در تحمل ممان پایین است و آرماتورگذاری کافی وجود ندارد.

تعمیر صحیح انواع ترک در بتن اصولاً تعمیر صحیح انواع ترک در بتن به علت وقوع و همچنین انتخاب روش درخور آن بستگی دارد، در غیر این صورت تعمیرات ممکن است بصورت موقت باشند. لذا برای یک تعمیر موفق و همیشگی بایستی از عدم پیشروی علل ترک خوردگی کسب اطمینان نمود چرا که ممکن است برخی روش‌های رایج که برای تعمیر و اصلاح ترک‌ها در اعضاء بتنی بکار گرفته می‌شوند، شامل موارد زیر است.

- تزریق رزین اپوکسی

- مسیریابی و آب بندی ترک
- بخیه زدن
- افزودن میلگرد محاسباتی
- حفاری و اتصال
- خورانش ثقلی
- پر کردن با گروت

ترک در ساختمان

افت پی بر اثر عواملی همچون رطوبت و فشارهای وارده از طبقات، عدم مقاومت خاک و عملکردهای آن پیش می‌آید. همچنین نوع مصالح مصرفی و اجرای غیر فنی، سبب نشست‌های پی می‌شود. در مجموع، بر اثر حرکات زمین، اسکلت بنا حرکت می‌کند و شکست‌های مختلف که شامل ترک‌های عمیق یا معمولی و در مواردی به شکل مویی است، نمایان می‌شود.

موقعیت ترک ساختمان

ترک‌های عمیق

این ترک‌ها گاهی به طور دائمی به وجود می‌آید و دلیل آن نشست مرتب پی است که در این صورت، بودن ساکنان در ساختمان خطرناک است.

ترک‌های ثابت

معمولاً پس از نشست پی، تحرک ساختمان کم می‌شود. این پدیده بر اثر قطع رطوبت و فشرده شدن سطح زیر پی پیش می‌آید. در نتیجه، شکست و افت دیوارها و اسکلت بنا نیز متوقف و حالت ترک ثابت می‌شود.

ترک‌های مویی معمولی

این ترک‌ها در اثر افت‌های کوچک در اسکلت بنا و به واسطه نیروها و در مواردی به علت نوع مصالح اندود به وجود می‌آیند. رطوبت، انقباض و انبساط حاصل در مقابل خشک شدن سطوح مرطوب، باعث ایجاد ترک‌های مویی می‌شود.

انواع ترک در ساختمان

- سازه‌ای
- غیر سازه‌ای

معمولاً ترک‌های با عرض و عمق کم، ترک‌های غیر سازه‌ای هستند و از اهمیت زیادی به لحاظ تخریب ساختمان و خطرات جانی برخوردار نیستند ولی ترک‌هایی با عرض $\frac{5}{1}$ تا ۲ میلیمتر و عمق $\frac{5}{1}$ تا ۲ سانتیمتر ترک‌های سازه‌ای هستند که به لحاظ اهمیت می‌بایست مورد توجه قرار گیرد که بعضاً موجب تخریب و آسیب‌های جانی نیز می‌شوند. در مواردی که ترک سازه‌ای به وجود آمده است، آن عضو ترک خورده می‌بایست یا تخریب و از نو بازسازی شود یا اینکه در محل ترک به روش خاص دوخته شود.

جهت ترک‌های ساختمان

ترک‌های افقی

ترک‌هایی که در راستای افق و در طول دیوار ایجاد می‌شوند، ترک‌های افقی گویند و معمولاً به دو دلیل عمده بوجود می‌آیند.

- به هنگام اجرای دیوار، می‌بایست دیوار را تا ارتفاع نیمه از تراز انتهایی اجرا نماید و پس از خشک شدن و گیرش دیوار در مرحله بعد آنرا تا تراز ارتفاعی نهایی برساند. این ناپیوستگی در اجرا موجب نشست گرد و غبار خاک بر روی محل ناپیوسته دیوار می‌شود. این گرد و غبار از جنس دانه‌های رس است که حالت چربی دارند. در صورتی که قبل از اجرای نیمه دوم دیوار محل ناپیوستگی را از گرد و غبار شسته نشود پس از اجرا، احتمال وجود ترک افقی در محل ناپیوستگی بسیار محتمل است.

- در صورتی که دیوار در یک مرحله اجرا شود، طبق روش توضیح داده در بند یک نباشد، دیوار کمانش کرده و یا در اصطلاح دیوار شکم می‌دهد و موجب ایجاد ترک افقی در دیوار می‌شود.

ترک‌های عمودی

ترک‌هایی که در راستای ارتفاع دیوار عمود بر راستای افق ایجاد می‌شوند، ترک‌های عمودی هستند. این نوع ترک در بتن هنگامی رخ می‌دهد که عمق یا عرض این ترک‌ها زیاد یا در اعضای دیگر سازه همچون سقف، کف و ... یا در سنگ قرنیز ادامه داشته باشند.

علل ایجاد ترک‌های عمودی

- ترک‌های سازه‌ای عمودی عمدتاً به دلیل نبود شناژ قائم یا کمبود آن و ایجاد فاصله زیاد بین شناژها ایجاد و در اصطلاح عامیانه دیوار کمر می‌شکند.
- در صورتی که پی زیر دیوار حرکت کند ترک‌های عمودی ایجاد می‌نماید.
- در اثر اجرای نادرست هشتگیر در تقاطع دیوارها ترک‌های عمودی ایجاد می‌شود.

ترک‌های مورب

ترک‌های مورب، ترک‌هایی هستند که معمولاً زاویه ۴۵ درجه نسبت به راستای افق دارند. این ترک‌ها اغلب در اثر نشست دیوار ایجاد شده و نشانه شکسته شدن دیوار است و این نوع ترک در بتن بسیار خطرناک است. جهت تعیین محل نشست دیوار، ابتدا راستای ترک را معین کرده، عمود بر راستای ترک به سمت پایین طرف نشست کرده دیوار را مشخص می‌نمایید.

فوق‌روان‌کننده‌ها (فوق‌کاهنده‌های آب)

فوق‌روان‌کننده‌ها، ماده‌ای که بدون تغییر روانی، مقدار آب مخلوط بتن را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داده یا بدون تغییر مقدار آب، اسلامپ و روانی را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد. بعضی از انواع این مواد به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش آب را در مخلوط ممکن می‌کنند. کاربرد این افزودنی‌ها منجر به کاهش سریع کارایی می‌شود.

کاهش دهنده‌های آب (فوق‌روان‌کننده‌ها) دسته‌ای از مواد افزودنی هستند که بطور چشمگیری کارپذیری (Workability) ملات‌ها و بتن‌ها را با ثابت نگهداشتن نسبت آب به سیمان افزایش می‌دهند. عموماً مدت تاثیر آنها روی کارپذیری موقت یا متغیر است. می‌توان ملات‌ها و بتن‌های دارای یک کارپذیری یکسان را با مقدار کمتری آب، با کاهش بیش از ۱۲ درصد بدون تاخیر در گیرش، مقدار اضافی هوا یا آب آوری مضر، ساخت.



خواص فوق‌روان‌کننده‌ها

- با یک نسبت آب به سیمان (W/C)، بتن با کارپذیری بالاتری نسبت به بتن ساده بسازند.
- در یک کارپذیری ثابت (یکسان) به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت آب به سیمان را کاهش دهند، که نتیجه آن تولید بتن با مقاومت بالا است.

مکانیزم عمل فوق‌روان‌کننده‌های بتن

- مکانیزم عمل فوق روان کننده عمدتاً بر اساس قابلیت جذب شدن آنها روی ذرات سیمان و بهبود رفتار Rheologic ماتریس سیمان است. سرعت جذب فوق روان کننده‌های بتن بستگی به ترکیبات معدنی، نرمی (سطح ویژه) و مقدار سیمان دارد. مشخص شده است که آلومینات کلسیم مولکول‌های فوق روان کننده را بسیار سریع جذب می‌کند. عمل افزایش کارپذیری با استفاده از فوق روان کننده‌ها با خواص زیر توضیح داده می‌شود.
- مقدار پتانسیل Zeta لایه الکتریکی دوبلی که روی ذرات سیمان توسط گروه‌های قطبی زنجیره‌های فوق روان کننده جذب شده ایجاد می‌شود.
 - وزن مولکولی فوق روان کننده‌ها و نرخ کاهش کارپذیری به مقدار زمان به تاخیر افتادن گیرش در هیدراسیون سیمان مربوط می‌شود.

چگونگی مصرف

مواد افزودنی فوق روان کننده بتن معمولاً به صورت مایع با محتوای ۳۰ تا ۴۰۰ درصد وزنی ماده فعال جامد هستند. معمولاً با آب اختلاط به مخلوط سیمان اضافه می‌شوند. مشخص شده که افزودن آنها پس از افزودن آب اختلاط عملکرد بهتری دارد. بعضی از مواد فوق روان کننده بصورت پودری مصرف می‌شوند. در این حالت این مواد قبل از افزودن آب به مصالح و سیمان اضافه می‌شوند.

تأثیر فوق روان کننده (کاهش دهنده آب طیف بالا) بر خواص بتن

وزن مخصوص

وزن مخصوص بتن با استفاده از مواد فوق روان کننده افزایش می‌یابد.

کار پذیری

فوق روان کننده‌ها به شدت، قابلیت بتن را برای روان شدن افزایش می‌دهند.

چسبندگی (Cohesion)

چسبندگی با استفاده از فوق روان کننده‌های بتن در نتیجه کاهش آب بتن به مقدار زیادی افزایش می‌یابد.

مقدار حباب هوا

محتوای حباب هوای بتن، اندکی افزایش می‌یابد، بخصوص در موردی که مقدار مصرف ماده افزودنی به عنوان فوق روان کننده زیاد باشد.

کاهش اسلامپ

با یک کارپذیری یکسان، کاهش اسلامپ (Slump loss) در بتن‌های دارای کاهش دهنده آب، بالاتر از بتن بدون مواد افزودنی است. در یک نسبت آب به سیمان واحد، کاهش اسلامپ بتن دارای فوق روان کننده، بالاتر یا پائین‌تر از بتن شاهد است.

قابلیت پمپ شدن

قابلیت پمپ شدن بتن با استفاده از فوق روان کننده در نتیجه افزایش کارپذیری و در مورد استفاده از کاهش دهنده آب طیف بالا در نتیجه افزایش چسبندگی، بهتر می‌شود.

جداشدگی دانه‌ها

جداشدگی دانه‌ها در هر دو موردی که از ماده افزودنی به عنوان فوق روان کننده استفاده می‌شود، کاهش می‌یابد مشروط بر اینکه طراحی بتن صحیح باشد.

مرحله گیرش

بطور معمول وقتی ماده افزودنی به عنوان فوق روان کننده استفاده شود مختصری گیرش بتن را به تاخیر می‌اندازد. در حالی که وقتی به عنوان کاهش دهنده آب با مقدار مصرف معمولی (صحیح) استفاده شود تاخیر محسوسی نمی‌دهد.

افت پلاستیک (Plastic Shrinkage)

افت پلاستیک می تواند در اثر مصرف فوق روان کننده های بتن افزایش یابد.

آب آوری (Bleeding)

با استفاده از فوق روان کننده های بتن، کاهش می یابد. در صورت نادرست بودن طراحی، آب آوری می تواند با اضافه کردن فوق روان کننده به بتن، زیاد شود.

مقاومت

مقاومت هنگامی که از فوق روان کننده های بتن استفاده می شود به دلیل کاهش آب به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد، در حالی که در مورد مصرف فوق روان کننده مقاومت اساساً بهبودی نمی یابد.

جذب موئینه (Capillary Absorption)

وقتی از فوق روان کننده ها استفاده می شود جذب موئینه بتن به شدت کاهش می یابد.

نفوذپذیری (Permeability)

نفوذپذیری بتن مستقیماً به تخلخل موئینه آن که تحت تاثیر نسبت آب به سیمان است مربوط می شود.

سیکل انجماد و ذوب یخ

معمولاً کاهش دهنده آب طیف بالا (فوق روان کننده) مقداری هوا در مخلوط بتن تولید می کنند ولی بعضی از حباب های تولید شده هوا بزرگتر از حباب های تولید شده با عوامل هوازا هستند، بنابراین برای افزایش دوام بتن در مقابل یخ زدگی و ذوب یخ، مفید نیستند.

حمله محلول های مضر (خورنده)

ایستادگی (پایداری) بتن ها در مقابل محلول های خورنده در اثر استفاده از فوق روان کننده ها به دلیل کاهش تخلخل موئینه بتن زیاد می شود. اگر ماده افزودنی به عنوان فوق روان کننده مصرف شود این پایداری را ایجاد نمی کند.

تفاوت روان کننده بتن با فوق روان کننده

روان کننده های بتن برای سه منظور در بتن به کار می روند.

۱. در بتن با نسبت آب به سیمان برابر با بتن شاهد، باعث افزایش روانی بتن شده و بتن را بدون کاهش مقاومت، کار پذیر می کنند.

۲. در بتن با نسبت آب به سیمان کمتر نسبت به بتن شاهد، روانی کافی را به بتن می دهند و باعث افزایش مقاومت بتن می شوند.

۳. در بتن با عیار سیمان کمتر، می توانند به وسیله کاهش نسبت آب به سیمان و تامین روانی باعث صرفه جویی در مصرف سیمان شوند.

از مواد فوق روان کننده می توان به عنوان فوق کاهنده آب استفاده کرد. برخی از آنها می توانند تا ۳۵ درصد کاهش آب و در نتیجه ۳۵ درصد کاهش نسبت آب به سیمان را در پی داشته باشند. با کاهش نسبت آب به سیمان، مقاومت های اولیه از رشد خوبی برخوردار می شوند و سرعت هیدراسیون و گرمازایی نیز بیشتر می شود. این امر موجب افزایش مقاومت و دوام بتن در دراز مدت نیز می شود در حالی که با مصرف مواد زود سخت کننده (به غلظت ضد یخ) نمی توان چنین انتظاراتی را دنبال نمود. یخ زدن بتن پس از مدت حفاظت و عمل آوری مشکلی را برای بتن هایی که بدین طریقه ساخته می شوند بوجود نمی آورد.

مصرف بیش از حد مواد افزودنی کاهنده آب یا روان کننده و هم چنین مواد فوق روان کننده یا فوق کاهنده آب برای ایجاد روانی یا کاهش نسبت آب به سیمان یا کاهش مصرف سیمان می تواند به جداسازی شدید، آب انداختن فوق العاده زیاد و هم چنین تاخیر زیاد در زمان گیرش اولیه و نهائی بتن منجر شود به نحوی که بتن به مرحله گیرش نهائی نمی رسد و کسب مقاومت فشاری به شدت به عقب می افتد. به هر حال در صورت وجود تبخیر زیاد از سطح بتن ممکن است ترک خوردگی در سطح بتن تشدید شود.

گی

مزایای اسفاده از فوق روان کننده

- افزایش روانی بتن (افزایش اسلامپ)
- افزایش چشمگیر مقاومت اولیه بتن، بدون افزایش میزان سیمان مصرفی، این امر به ویژه در بتن‌های پیش ساخته مفید بوده زیرا باز کردن سریع قالب‌ها را امکان پذیر می‌نماید.
- تولید بتن‌های روان بدون افزایش میزان آب مصرفی هم چنین سهولت در اجرا و تراکم سریع تر بتن و کاهش هزینه‌های نیروی انسانی.
- افزایش چسبندگی و روانی بتن و قابلیت پمپ پذیری بدون آب انداختگی و جدایی سنگ دانه‌ها
- افزایش انسجام بتن و کاهش نفوذ پذیری بتن
- کاهش ۱۰٪ تا ۲۰٪ میزان آب مصرفی در مخلوط بتن

موارد کاربرد فوق روان کننده

- [بتن ریزی در هوای سرد](#)
- [بتن‌های پیش تنیده](#) و پیش ساخته و قالب‌های لرزان
- بتن ریزی در مقاطع با تراکم آرماتور بالا
- بتن‌های میکروسیلیسی
- بتن ریزی کف‌های سخت صنعتی
- برای افزایش قابل توجه کارایی بتن، بدون نیاز به افزایش آب موجود در مخلوط (بتن با نسبت آب به سیمان کم)

انواع فوق روان کننده‌های بتن

فوق روان کننده دیر گیر

این محصول باعث روانی بتن و کاهش آب مصرفی و نیز ایجاد تاخیر در زمان آغاز واکنش هیدراتاسیون میشود. یک فوق روان کننده ویژه نسل سوم و فاقد کلراید است. جهت تسریع روند کسب مقاومت نهایی بتن و تاخیر در زمان آغاز واکنش هیدراتاسیون میشود. این امر باعث افزایش قابل توجه کارایی و خاصیت حفظ اسلامپ بتن بدون نیاز به آب موجود و هم چنین افزایش دوام بتن به واسطه افزایش مقاومت نهایی و کاهش نفوذ پذیری در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[کاربرد](#)

- [بتن‌های حجیم](#)
- بتن‌های عمل آوری شده در شرایط آب و هوایی گرم
- بتن‌های خود متراکم شونده و خود تراز شونده
- بتن ریزی در مقاطع با تراکم آرماتور بالا، بتن‌های پیش تنیده
- بتن‌های میکروسیلیسی
- بتن‌های سدها، پی‌ها، ستون‌ها، دیوارها و پل‌ها و سایر سازه‌های بتنی

[خواص و اثرات](#)

- تاخیر در زمان گیرش
- افزایش روانی بتن (اسلامپ) و بهبود کارایی آن
- سهولت پمپاژ
- کاهش استهلاک تجهیزات ساخت و انتقال بتن
- افزایش انسجام بتن
- جبران افت اسلامپ در هوای گرم

- امکان حمل وانتقال بتن در مسافتهای طولانی
 - سازگاری با انواع سیمانهای پرتلند
 - کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت بتن
 - افزایش زمان کارایی بتن
- فوق روان کننده کاهنده آب بر پایه کربوکسیلات
- فوق روان کننده کاهنده آب بر پایه کربوکسیلات، کاهنده قوی آب اختلاط بتن بوده و افزایش قوی کارایی بتن با عملکرد بالا است. به نحو چشمگیری پخش شدن ذرات سیمان را بهبود می بخشد.

موارد کاربرد

- قالبهای تونلی – لغزان
- یا خود متراکم شونده SCC مورد استفاده در بتنهای ویژه تخصصی
- مورد استفاده در بتنهای ویژه SLC یا خود تراز شونده
- در بتنهای تخصصی و ویژه‌ای که سطوح با پرداخت عالی و با صرف حداقل انرژی نیاز است.
- بتنهای تخصصی HPC با حداقل W/C و حداکثر دوام و پایداری
- بتن ریزی با لوله ترمی و بتن ریزی در زیر آب
- بتن ریزی در مقاطع باریک و پر آرماتور
- صنایع قطعات بتنی پیش ساخته

خواص و اثرات

- افزایش روانی یا کارایی بتن
- امکان کاهش نسبت آب به سیمان
- کاهش عیار سیمان
- کاهش استهلاک پمپ بتن
- ایجاد بتنهای خوش نما یا اکسپوز
- عدم نیاز به ویبراتور
- افزایش انسجام بتن
- جلوگیری از حبس هوا در بتن
- سازگاری با انواع سیمانهای پرتلند
- افزایش مقاومت فشاری
- امکان باز نمودن قالبها در حدود ۸ الی ۳۳ ساعت پس از اتمام بتن ریزی
- جلوگیری از جدا شدن سنگدانه‌ها
- قابل کاربرد همزمان با میکروسیلیس یا خاکستر بادی

فوق روان کننده زودگیر

فوق روان کننده زودگیر، افزودنی مایع بر پایه پلی نفتالین سولفونات است که علاوه بر روانی بتن و کاهنده قوی آب باعث تسریع در زمان گیرش و افزایش مقاومت‌های اولیه و نهایی می‌شود. همچنین اثرات منفی تأخیر گیرش را در دمای پایین جبران می‌کند. این محصول مخصوص بتن ریزی در هوای سرد است. ف

خواص و اثرات

- افزایش کارایی بتن

- کاهش نسبت آب به سیمان (حدود ۲۰ درصد)
- افزایش مقاومت فشاری و نفوذ ناپذیری
- افزایش انسجام و سهولت پمپاژ
- افزایش اسلامپ

کاربرد

- بتن ریزی در هوای سرد
- جهت استفاده در کارخانجات تولید بتن آماده
- بتن ریزی در مقاطع با تراکم آرماتور بالا
- بتن‌های حجیم
- قالب‌های لغزان و پیش تنیده

ارزیابی عملکرد فوق روان کننده‌ها در سیمان و بتن

فوق روان کننده‌ها در اثر تماس با آب ایجاد بار منفی کرده و پس از جذب شدن بر روی ذرات سیمان مانع از نزدیک شدن این ذرات به یکدیگر می‌شوند و به این ترتیب در روانی و کارایی بتن موثرند. از طرفی، استفاده از فوق روان کننده‌ها در بتن نسبت آب به سیمان را بدون از دست رفتن کارایی بتن، کاهش می‌دهد و در این صورت بتن پر مقاومت و با دوام کافی جایگزین خواهد شد.

بتن پلیمری

اکثر مواد و مصالح طبیعی به دلیل ناپیوستگی‌های سطحی و ترکیباتی که در خود دارند دارای مقاومت لازم برای تحمل تنش‌های زیاد نیستند و لازم است تا با مواد دیگری مسلح شوند. دانشمندان به دنبال موادی هستند که در ضمن مسلح کردن بتن، دارای وزن کمتر، مقاومت بیشتر در برابر عوامل جوی، رفتار بهتر در بارگذاری‌های متناوب باشد و بتواند مقاومت خود را در دماهای بالا مثل دمای کوره حفظ کند. یکی از مشهورترین این مصالح کامپوزیت‌های پلیمری هستند. بتن پلیمری مخلوطی متشکل از الیاف، رزین‌های پلیمری و سنگ دانه‌های ریز دانه و درشت دانه است. در اختلاط بتن‌های پلیمری از آب استفاده نمی‌شود. در عوض، رزین مایع معروف به مونومر، به وسیله‌ی واکنش‌های شیمیایی که با عنوان پلیمری شدن شناخته می‌شوند، باعث چسبندگی، سفت شدن و کسب مقاومت می‌شود.

در فرآیند پلیمری شدن، مولکول‌های مونومر به طور شیمیایی به هم متصل می‌شوند تا پلاستیکی سخت و شیشه‌ای مانند، به نام پلیمر را ایجاد نمایند. پلیمرهای استفاده شده در بتن پلیمری برای ایجاد خواص مورد نیاز تعمیراتی فرموله شده‌اند. این سیستم تعمیراتی به علت کسب مقاومت و عمل آوری سریع، برای تعمیرات سازه‌هایی که نیازمند بازگشت سریع به مدار بهره برداری است، مناسب است. از بتن‌های پلیمری برای ترمیم و پر نمودن حفرات و تخریب‌های موجود در عرشه پل‌های بزرگراه‌ها استفاده می‌شود تا دیگر نیازی به بسته شدن بلند مدت و پر هزینه بزرگراه و یا ایجاد راه‌های انحرافی، نباشد. همچنین استفاده از بتن‌های پلیمری برای تعمیر سازه‌هایی مانند درزهای تونل‌ها که امکان خشک نمودن آنها فقط برای زمان کوتاهی وجود داشته یا می‌بایست در آب و هوای سرد با دماهای پایینتر از ۱۵ درجه فارنهایت به این کار اقدام نمود، مناسب است. اگر تمهیدات مناسب صورت گیرد از بتن‌های پلیمری می‌توان برای ترمیم با ضخامت‌های مختلف از ۵/۰ اینچ تا چند فوت استفاده کرد.



مهمترین دلیل استفاده از پلیمر در بتن

- وزن کم
- قابلیت ایجاد معماری زیبا
- مقاومت در برابر شرایط جوی
- خواص ضد خوردگی
- وجود سازه‌هایی که در آنها نباید از فلز استفاده کرد.

عمل آوری بتن پلیمری

بتن‌های پلیمری خیلی سریع تحت شرایط محیطی سفت و پلیمری می‌شوند و تقریباً پس از یک تا دو ساعت کاملاً مستحکم می‌شوند. در طول این مدت، بتن تازه باید در برابر آب محافظت شده و آسیب نبیند. اگر دما کمتر از ۴۰ درجه فارنهایت باشد، سرعت واکنش پلیمری شدن کاهش می‌یابد، مگر اینکه غلظت آغاز کننده‌ها یا دمای هنگام اجرا عملیات را تا بالای ۷۰ تا ۸۰ فارنهایت افزایش دهیم. متقابلاً، پلیمری شدن در دمای بیش از ۹۰ تا ۱۰۰ درجه فارنهایت می‌تواند خیلی سریعتر از انجام گیرد. کاهش غلظت آغاز کننده‌ها یا انجام عملیات در خنک‌ترین ساعات شبانه روز می‌تواند این مشکل را حل می‌کند.

انواع پلیمرهای مصرفی در بتن

پلیمرهایی رایج در بتن به چهار دسته تقسیم شده‌اند.

۱. متیل متاکریلیت
۲. پلی استر
۳. پری پلیمر - استیرن
۴. بتن پلیمری

انواع بتن‌های پلیمری

بتن‌های باردار شده توسط پلیمر (PIC)

شامل بتن پرتلند پیش ریخته شده که توسط یک سیستم مونومری باردار شده و متعاقباً در محل پلیمریزه می‌شود.

بتن‌های پلیمر - سیمان (PCC)

شامل یک مونومر است که به مخلوط آب بتن تازه افزوده می‌شود و متعاقباً در محل پلیمریزه می‌شود.

بتن‌های پلیمری (PC)

شامل یک سیستم مخلوط از سنگریزه (Aggregate) و پراکنده (Filler) در مونومر است که متعاقباً در محل پلیمریزه می‌شود.

بتن‌های پلیمر - گوگرد (PSC)

شامل یک سیستم مخلوط از بتن‌های گوگردی است که توسط پلیمرهای اصلاح خواص پیدا کرده است.

نحوه تولید بتن‌های پلیمری (حالت غیر جامد)

بتن‌های پلیمری از ۸۰ تا ۹۵ درصد پرکننده‌های معدنی و گاهی آلی تشکیل شده‌اند و حدود ۵ تا ۲۰ درصد بایندر پلیمری نیز بتن را نگاه می‌دارد. (بایندر به معنای پیوند دهنده یا متصل کننده است و منظور همان محلول مونومر است که پس از فرایند پلیمریزاسیون بتن را نگاه می‌دارد). خواص بتن‌های پلیمری برتر از بتن‌های سیمانی است. نمونه‌های بتن پلیمری با بایندر اپوکسی و پلی استر استحکام بالاتری دارند. نمونه‌های بتن پلیمری با بایندر پلی یورتان ازدیاد طول بسیار زیادی دارند.

تغییر خواص بتن پلیمری بر حسب تغییر پرکننده‌ها
پر کننده‌ها از دو دسته تشکیل می‌شوند.

۱. جز زبر (دانه بندی درشت)

۲. جز نرم (دانه بندی ریز)

پر کننده‌های سبک وزن شامل سه دسته سنگ‌های رسی سبک، پرلیت و سنگ پا می‌شوند و پرکننده‌های سنگین شامل ۴ دسته قطیر، همتیت، ایلیمینیت و باریت می‌شوند.

از این مواد برای تولید بتن‌های پلیمری با وزن مخصوص بین ۶۴۰ تا ۵۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌توان استفاده کرد. پر کننده‌های بسیار نرم برای کاهش حجم خالی بتن به کار برده می‌شود. ماند پودر سیسیلیس، کربنات کلسیم، خاکستر، کائولین، میکا، تالک، تری هیدرات آلومینا، سولفات کلسیم و سیمان پرتلند. پر کننده‌های سبک می‌توانند سبک باشند مانند دانه‌های شیشه‌ای سوراخ دار سرامیک یا گلوله‌های پلاستیک.

استفاده از پر کننده‌های معدنی مثل کربن، یا پودرهای فلزی، می‌توان بتن را از نظر الکتریکی رساناتر کرد. افزودنی‌های مثل فیبرهای شیشه‌ای، آلی و فلزی برای اصلاح استحکام ضربه‌ای، خمشی و همچنین برای کاهش پدیده انقباض ناشی از پخت به کار می‌رود. عوامل تر کننده باعث کاهش سطحی زیرین مایع و سهولت تر شدگی سطوح پرکننده می‌شود. جهت تامین رنگ و همچنین رنگ و همچنین گاهی اوقات به منظور پایداری در مقابل نور از رنگدانه‌ها استفاده می‌شود.

با افزودن لاتکس‌های SBR و اپوکسی به بتن معمولی به عنوان بتن [سیمان پرتلند](#)، پلیمری استفاده شده است که باعث بهبود خواص مهندسی و [پایایی بتن](#) می‌شود و همچنین با افزودن رزین‌های پلی اسراسیترن و اپوکسی به مصالح سنگی به عنوان بتن پلیمری که در مورد رزین پلی اسراسیترن، خواص مهندسی و پایایی بتن به طور چشمگیری بهبود می‌یابد.

خواص بتن پلیمری

- مقاومت خوب در برابر حمله شیمیایی و دیگر خورنده‌ها
- خاصیت جذب آب پایین
- مقاومت خوب در برابر ساییدگی و ثبات و پایداری در مقابل پدیده یخ زدگی - ذوب
- همچنین مقاومت بالای بتن پلیمری در مقایسه با بتن سیمان پرتلند اجازه مصرف تا بالای ۵۰٪ کمتر از مواد را به ما می‌دهند. این شرایط باعث می‌شوند که بتن پلیمری در یک سطح قابل رقابت با بتن سیمان پرتلند در کاربری‌های ویژه قرار بگیرد.

بتن

بتن نمونه مناسبی برای توصیف یک ماده نفوذ پذیر و متخلخل است. آب به عنوان ویرانگر بزرگ (حلال و واسطه واکنش) مهمترین عامل نابودی [مصالح ساختمانی](#) به شمار می‌رود. منافذ و سوراخ‌های داخلی بتن را تخلخل آن می‌نامند که به صورت درصدی از مجموع حجم کل ماده نشان داده می‌شود. نفوذ پذیری توانایی عبور آب در فشار بین منافذ ماده و مدت زمان نشت از منافذ است. این خاصیت‌ها به کمک یکدیگر، اجازه تشکیل مسیری برای انتقال آب به درون ماده را همراه با ایجاد شکافی که هنگام انقباض بوجود می‌آید، می‌دهد.

برای اینکه بتن را واترپروف کنیم باید از مواد مضاف دیگری که منافذ بتن را به صورت یکنواخت، میکرونیزه استفاده نمود. این مواد باید در واکنش‌های هیدراسیونی و در زمان ژل شدن و فرم‌گیری سیمان، عامل تولید سیلیکات و کریستاله شدن آن در جدار منافذ باشند. نفوذپذیری با یک مقدار مشخص مثل ضریب نفوذپذیری توضیح داده می‌شود. عموماً به ضریب دارسی باز می‌گردد. نفوذپذیری آب در یک ترکیب بتنی شاخص خوبی برای سنجش کیفیت کارایی بتن است. ضریب دارسی کم، نشان دهنده غیر قابل نفوذ بودن و کیفیتی بالا برای مصالح است با اینکه بتن ماده‌ای با نفوذپذیری نسبتاً کم است، اما برای دست‌یابی به بتن با کارایی‌های خاص نیاز به ضد آب کردن برای جلوگیری از نشت میان شکاف‌ها دارد.



تأثیر جریان بخار و رطوبت ناشی از آن در بتن

آب همچنان در قالب بخار همانند رطوبت نسبی انتقال می‌یابد. رطوبت نسبی همان آب موجود در هوا به صورت یک گاز محلول است. زمانی که دمای بخار آب بالا می‌رود، آب زیاد آن فشار بخاری ایجاد می‌کند. آب به صورت بخار نیز به میان بتن انتقال می‌یابد. مسیر جریان از فشار بخار زیاد، به فشار بخار کم با یک فرایند انتشار است. مسیر انتشار بسیار متکی بر شرایط محیطی است. جریان انتشار بخار، زمانی که اجرای ضد آب کردن در مکان‌هایی که فشار بخار آب موجود به صورت غیر یکنواخت بوده، بحرانی است.

چند نمونه از این شامل موارد زیر است.

- استفاده از پوسته‌ای کدر مقابل بخار بسیار کم نفوذپذیر است، مانند یک پوشش حرکتی روی یک بتن مرطوب در یک روز گرم. در اثر فشار بخار، فشار موجود افزایش یافته و باعث طبله شدن یا تاول زدن بتن می‌شود.
- بکار بردن یک اندود یا بتونه برای دیوارهای خارجی یک بنا ممکن است در صورت نفوذ پذیر نبودن بتونه در مقابل بخار، رطوبت را به داخل دیوارها انتقال دهد.
- استفاده از کف با قابلیت نفوذ پذیری کم در مقابل بخار روی یک دال شیبدار در محل‌های زیر سطحی در برخورد بار طوبت بالا، ممکن است باعث تورق (لایه لایه شدن) کف شود.

عموماً یک بتونه یا پوشش کم نفوذ در برابر بخار نباید روی سطح داخلی یک بنا یا سازه قرار داده شود. فشار بخار یا فشار آب برای خراب کردن یا طبله کردن اندود عمل خواهد کرد. بعضی از انواع پوشش‌ها و افزودنی‌های کاهنده آب در بتن حرکت بخار آب را به طور قابل ملاحظه‌ای اصلاح می‌کنند و بدین صورت اجازه می‌دهند از آنها در قسمت داخلی استفاده شود. مثال‌های اولیه پوشش‌های ضد آب سیمانی و مواد افزودنی تقلیل دهنده نفوذ آب است.

چگونگی عملکرد فناوری ضد آب کردن کریستالی

ضد آب بودن بر پایه دو واکنش ساده شیمیایی و فیزیکی اتفاق می‌افتد. بتن ماده‌ای شیمیایی است و زمانی که ذرات سیمان هیدراته می‌شوند، واکنش بین آب و سیمان باعث می‌شود بتن شروع به سختی کند، توده‌ای صلب شود. همچنین واکنشی شیمیایی با مواد پنهان داخل بتن اتفاق می‌افتد. ضد آب کردن کریستالی، مجموعه‌ای از مواد شیمیایی دیگر را در بتن جمع می‌کند. زمانی که مواد شیمیایی اجزاء سیمان هیدراته شده و مواد شیمیایی کریستالی در حضور رطوبت قرار می‌گیرند، واکنشی

شیمیایی اتفاق می‌افتد. محصول نهایی این واکنش ساختار کریستالی غیر قابل حلی است. این ساختار کریستالی فقط در مکان‌های مرطوب می‌تواند اتفاق بیفتد و بدین ترتیب در منافذ، شیارهای موئین و ترک‌های ناشی از جمع شدگی بتن شکل خواهد گرفت. هر جایی نشت آب صورت پذیرد ضد آب کریستالی با پر کردن منافذ و سوراخ‌ها و شکاف‌ها ایجاد خواهد شد. زمانی که ضد آب کریستالی در سطوح همانند یک پوشش یا همانند عملکرد پاشش خشک روی دال بتنی تازه بکار گرفته می‌شود، فرایندی به نام انتشار شیمیایی رخ می‌دهد. طبق نظریه انتشار، محلول با دانسیته بالا، میان محلولی با دانسیته پائین جا خواهد گرفت تا این دو متعادل شوند.

الهام از برگ گل نیلوفر

تکنولوژی نانوی بکار رفته در تولید بتن کریستالی از مکانیزم برگ گل نیلوفر آبی الهام گرفته شده است.

خاصیت بتن کریستالی

- خود آب گریز و قابلیت تنفس بتن (جلوگیری از نفوذ آب به داخل بتن)
- جلوگیری از یون کلر و سایر مواد شیمیایی خورنده به داخل بتن
- جلوگیری از حملات سولفاتی و قلیایی شدن
- مقاوم سازی سازه در برابر نمک‌های یخ زدا
- ممانعت از ایجاد جلبک بر روی سطح بتن

انواع بناها و کاربرد مناسب فناوری کریستالی

فناوری حفاظت و ضدآب کردن کریستالی در دو شکل پودر و مایع وجود دارد. سه روش بکارگیری متفاوت شامل موارد زیر است.

- استفاده کردن بر روی یک ساختار موجود به عنوان مثال یک دیوار سازه‌ای با یک دال کف
- ترکیب مستقیم با مقداری بتن در کارگاه همانند یک افزودنی
- پاشیده مثل یک پودر خشک، کاربرد سبز یا بدون رطوبت ماده خشک روی سطح بتن

فناوری کریستالی دوام و کارایی ساختار بتن را بهبود بخشیده، هزینه‌های نگهداری آن را پائین آورده و با محافظت کردن بتن در مقابل تاثیرات مواد شیمیایی مهاجم، طول عمر آن را افزایش می‌دهد. این کیفیت کارایی بالا از راه کار با فناوری کریستالی منتج میشود.

انواع خرابی‌های روسازی‌های آسفالتی

روسازی آسفالتی چنانچه به نحو صحیح طراحی و اجرا شده باشد، سال‌های زیادی به نحو مناسب خدمت رسانی خواهد کرد. با این وجود، روسازی‌های آسفالتی پس از بهره برداری و با گذشت زمان نیاز به تعمیر و نگهداری خواهند داشت. روسازی راه در نتیجه عواملی از قبیل بارگذاری ترافیکی، دما، رطوبت، جابجایی خاک بستر و... در معرض تنش‌های مختلفی قرار دارد که خرابی‌های کوچکی را به روسازی وارد می‌سازند. این نوع خرابی‌ها می‌توانند منجر به خرابی‌های بزرگتری در روسازی آسفالتی شوند.

ترک خوردگی‌ها، چاله‌ها، بروز ناهمواری‌ها و سایر انواع خرابی‌ها، نتیجه شکلگیری خرابی‌های کوچک هستند. توانایی مهندس و یا متخصص تعمیر و نگهداری در شناخت انواع مختلف خرابی‌ها این امکان را به وجود می‌آورد که خرابی‌ها به نحو صحیح شناسایی شده و ترمیم و تعمیر مناسب هر خرابی اعمال شود تا از بروز خرابی‌های بیشتر در روسازی جلوگیری به عمل آید. احتمال وقوع تمامی خرابی‌های مذکور، بر روی روسازی‌های آسفالتی کم است. با این وجود، شرایط محیطی و شرایط ترافیک از قبیل وزن و تعداد محورهای عبوری از روی روسازی، نوع خرابی را مشخص می‌کنند. به عنوان مثال روسازی آسفالتی که در شهر اهواز اجرا شده است به ندرت دمای پایین را تجربه نموده و به احتمال کم از خرابی‌های ناشی از آن آسیب خواهد دید. در مقابل خرابی‌های روسازی آسفالتی اجرا شده در شهر تبریز عمدتاً ناشی از دمای پایین است.

علاوه بر این، بزرگراه‌ها و آزادراه‌های با ترافیک بالا می‌توانند در معرض نوعی از خرابی به نام [شیار افتادگی](#) قرار گیرند در حالی که روسازی آسفالتی پارکینگ‌ها به ندرت این نوع از خرابی را تجربه می‌کنند. همچنین شدت خرابی می‌تواند دربرگیرنده تغییر مختصر در سطح راه تا خرابی‌های اساسی سازه‌ای باشد. بسیاری از خرابی‌های روسازی اگر در زمان مناسب تشخیص داده شوند، می‌توانند به سرعت و با هزینه اندک ترمیم شده و تأثیر چندانی نیز بر خدمت دهی روسازی نداشته باشند.

در حقیقت تشخیص و شناسایی سریع و تعمیر به موقع خرابی‌ها در روسازی از توسعه خرابی‌های کوچک و مبدل شدن آنها به خرابی‌های بزرگ پیشگیری می‌نماید. ترک‌ها و سایر خرابی‌ها عموماً در هنگام آغاز بسیار ریز هستند و تنها با راه رفتن بر روی روسازی و مشاهده از نزدیک می‌توان آنها را شناسایی نمود. وجود چاله‌های آبر روی روسازی پس از بارندگی می‌تواند نشانه دیگری از پتانسیل بروز برخی از خرابی‌ها باشد. این موضوع که آب باران به سرعت از روی روسازی زهکش گردد اهمیت زیادی دارد. تمیز و باز بودن سیستم زهکشی تضمین کننده این موضوع است که آب باران به سرعت زهکش شود و زمینه بروز برخی از خرابی‌ها را فراهم نسازد. وجود آب به گونه‌ای غیرعادی بر روی روسازی نشانگر آن است که زهکش سطحی یا زیرسطحی به خوبی طراحی، اجرا یا نگهداری نشده است.

سیستم‌های متداول شناسایی و ارزیابی خرابی‌ها

از سال‌ها پیش، تهیه دستورالعمل برای تشخیص نوع خرابی و ارائه راه حل مشخص برای ترمیم خرابی سطح روسازی آسفالتی یکی از مهم‌ترین وظایف مراکز تحقیقاتی برای هدفمند نمودن عملیات تعمیر و نگهداری انجام گرفته توسط ادارات متولی تعمیر و نگهداری بوده است. کشورهای مختلفی اقدام به ارائه دستورالعمل‌های مختلف به منظور تشخیص نوع خرابی و شدت آن و همچنین پیشنهاد تعمیرات مناسب برای هر یک از انواع خرابی‌ها نموده‌اند. یکی از مهم‌ترین این کشورها، ایالات متحده آمریکا بوده است. شایان ذکر است که شدت، نوع و تعریف هر یک از خرابی‌های روسازی عموماً بر اساس برنامه استراتژیک تحقیقات بزرگراه‌ها SHRP و بر اساس عملکرد بلند مدت روسازی یا به اختصار LTPP با آنچه سیستم مدیریت روسازی کمیسیون حمل و نقل کلان شهری MTC در کشور آمریکا استفاده می‌نماید تا حدودی متفاوت هستند.

MTC هفت نوع خرابی را برای راه‌های آسفalte طبقه بندی نموده است که شامل موارد زیر است.

- ترک‌های پوست سوسماری
 - ترک‌های بلوکی
 - اعوجاج
 - ترک‌های عرضی و طولی
 - شیار افتادگی
 - خرابی وصله‌ها
 - اکسیدشدگی (هوازدگی) و شن زدگی
- در سیستم LTPP این طبقه بندی در هشت دسته انجام پذیرفته است.
- ترک‌های خستگی (پوست سوسماری)
 - ترک‌های بلوکی
 - ترک‌های طولی (در دو دسته ترک‌های واقع در محل عبور چرخ و ترک‌های خارج از محل عبور چرخ)
 - ترک‌های عرضی
 - خرابی در محل وصله‌ها
 - پس زدگی رویه
 - شن زدگی
 - تغییر پروفیل عرضی (برای تخمین رخداد شیار افتادگی استفاده می‌شود)

بر اساس دستورالعمل ASTM D6433 خرابی‌ها به ۲۰ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند.

- کیفیت نامطلوب سواری
- ترک‌های پوست سوسماری
- قیر زدگی
- ترک‌های بلوکی
- برآمدگی و فرورفتگی
- موج‌زدگی
- نشست‌های موضعی
- ترک خوردگی لبه
- ترک خوردگی انعکاسی
- پایین افتادگی خط یا شانه
- ترک خوردگی طولی
- ترک خوردگی عرضی
- وصله و خرابی وصله
- صیقلی شدن سنگ دانه‌ها
- چاله
- شیار افتادگی
- پس زدگی رویه
- ترک خوردگی لغزشی
- تورم
- هوازگی و شن زدگی

ترک خوردگی

ترک خستگی (پوست سوسماری)

ترک خوردگی پوست سوسماری از تقاطع و به هم پیوستگی ترک‌های کوچکی تشکیل شده است که روسازی را به قطعات بین ۲۵ تا ۱۵۰ میلیمتری تقسیم می‌نماید. این ترک‌ها روسازی را به شکلی مشابه پوست سوسمار در می‌آورند. این نوع ترک‌ها تنها حاصل بارگذاری و یا خستگی روسازی هستند. در واقع عدم کفایت باربری خاک بستر یا زیرسازی راه می‌تواند موجب رخداد این نوع از ترک‌ها شود.

زمانی که روسازی تحت بارگذاری چرخ وسایل نقلیه قرار می‌گیرد در صورتی که کرنش کششی کف لایه آسفالتی به دلیل ضعف سازه‌ای خاک بستر یا زیرسازی راه از مقدار قابل تحمل توسط رویه آسفالتی بیشتر شود و یا تحت اثر خستگی، ترک خوردگی آغاز می‌شود. این ترک‌ها که ناشی از تأثیر بارگذاری هستند، معمولاً در محدوده عبور چرخ‌ها رخ می‌دهند. شروع این ترک‌ها از زیر لایه آسفالتی است و در اثر تکرار بارگذاری به سطح رویه می‌رسند. واحد اندازه‌گیری این نوع ترک خوردگی، مترمربع است. به بیان انستیتو آسفالت پنج عامل زیر می‌تواند موجب بروز پدیده ترک خوردگی پوست سوسماری شود.

۱. بارگذاری بیش از اندازه
۲. خاک بستر، اساس و یا رویه ضعیف
۳. خاک بستر یا رویه نازک
۴. زهکشی ناکافی

۵. هر ترکیبی از عوامل اول تا چهارم

ترک بلوکی

ترک بلوکی یکی از انواع ترک غیر مرتبط با بارگذاری است که به آن ترک جمع شدگی نیز گفته می‌شود. در این نوع خرابی روسازی هم در راستای طولی و هم در راستای عرضی دچار ترک خوردگی می‌شود و در نهایت با اتصال این ترک‌ها به یکدیگر روسازی به شکل بلوک‌های مربعی یا مستطیلی بزرگ با ابعاد عمدتاً نیم متر تا سه متر در می‌آید. این نوع از ترک‌ها به دلیل تغییر حجم یا جمع شدگی در رویه آسفالتی یا اساس و یا خاک بستر رخ می‌دهند. مخلوط‌های آسفالتی که در آن‌ها قیر به هر دلیل دچار اکسیداسیون شده باشد و یا سختی آن بالا باشد، از این نوع ترک خوردگی مصون نیست. استفاده از لایه آستر که بیشتر برای مناطق با ترافیک بالا استفاده می‌شود، در مناطق کم ترافیک و یا پارکینگ‌ها موجب افزایش ترک‌های بلوکی می‌شود. ترک‌های بلوکی اکثراً در مناطق با ترافیک کم رخ می‌دهند، این موضوع تا حدودی به این دلیل است که در شرایط ترافیک کم اگر به هر دلیل آسفالت به خوبی متراکم نشده باشد، امکان تراکم مضاعف توسط ترافیک را نخواهد داشت و لذا در برابر رخداد این گونه ترک‌ها آسیب‌پذیرتر خواهد بود.

در صورتی که قیر موجود در آسفالت اکسید شود، سخت شده باشد و یا ترد شود، مخلوط آسفالتی ترد شده و در اثر انقباض و انبساط‌های حرارتی می‌شکند و ترک‌های بلوکی به وجود می‌آیند. انتخاب آسفالت مناسب برای محل‌های با تردد کم و پارکینگ‌ها معمولاً موجب کاهش رخداد ترک‌های بلوکی می‌شود. همچنین متراکم نمودن آسفالت به نحو مناسب می‌تواند رخداد ترک خوردگی بلوکی را کاهش دهد. تمایز قائل شدن بین ترک خوردگی بلوکی با ترک خوردگی پوست سوسماری که در بخش قبل بیان شد، در برخی موارد دشوار است. این در حالی است که منشأ این دو خرابی کاملاً با یکدیگر متفاوت است و متولیان تعمیر و نگهداری باید در مورد آن دقت و توجه لازم را مبذول دارند.

به بیان انستیتو آسفالت عوامل به وجود آوردن ترک بلوکی به چهار دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

۱. به کارگیری قیر نامرغوب در ساخت روسازی

۲. اجرای نامناسب روسازی

۳. عدم جذب قیر کافی در سنگ دانه‌ها

۴. عبور بار ترافیکی با حجم کم

وجه تمایز ترک خوردگی بلوکی با ترک خوردگی پوست سوسماری آن است که در ترک خوردگی پوست سوسماری روسازی به بلوک‌هایی با اندازه بسیار کوچک‌تر تقسیم می‌شود و بلوک‌های به وجود آمده گوشه‌های تیزی خواهند داشت. در حالی که گوشه‌های ترک خوردگی بلوکی تقریباً قائمه بوده و روسازی را به قطعات بزرگ‌تری تقسیم بندی می‌کنند. اندازه‌گیری ترک‌های بلوکی بر اساس مترمربعی از سطح صورت می‌گیرد که توسط ترک‌ها پوشانیده شده‌است. از ترک‌های بلوکی با شدت کم می‌توان صرف‌نظر نمود، تا زمانی که به ترک‌های با شدت متوسط تبدیل شوند و بتوان آنها را توسط درزگیری ترمیم نمود. برای ترمیم ترک‌های بلوکی با شدت بالا می‌باید روسازی مجدداً نوسازی شود و یا روسازی قدیمی توسط روکش پوشانیده شود.

ترک‌های طولی

ترک‌های طولی در راستای تقریبی محور طولی رویه روسازی و ترک‌های عرضی در جهت عمود بر آن و به یکی از علل زیر به وجود می‌آیند.

۱. بروز ترک خوردگی در درزهای ساخت روسازی

۲. جمع شدگی و انقباض لایه آسفالتی

۳. سیکل دمایی روزانه

۴. انعکاس رو به بالای ترک موجود در لایه زیرین روسازی

۵. جداسازی سنگ دانه به دلیل عملکرد نامناسب دستگاه پخش آسفالت (فینیشر)

ترک خوردگی طولی به دودسته ترک خوردگی در مسیر چرخ‌ها و در خارج از مسیر چرخ‌ها تقسیم می‌شود.

ترک خوردگی در مسیر چرخ‌ها

این نوع ترک بر اساس طول ترک خوردگی برحسب متر در محل عبور چرخ خودروها تعریف و اندازه‌گیری می‌شود. البته باید توجه نمود که در سیستم، MTC هر گونه ترک طولی که در محل عبور چرخ به وجود آید و پراکندگی تصادفی داشته باشد، ترک طولی ارزیابی نشده و ترک خستگی ناشی از بارگذاری محسوب می‌شود.

ترک خوردگی در خارج از مسیر چرخ‌ها

این نوع ترک‌ها به موازات محور روسازی و در خارج از محل عبور چرخ‌ها تشکیل می‌شوند. در هر دو نوع از ترک طولی، دوام کم روسازی در محل درزهای طولی در روسازی آسفالتی یکی از مشکلاتی است که پس از به وجود آمدن ترک‌های طولی، موجب کاهش عمر روسازی می‌شود. بعد از گذشت مدت زمان کوتاه و قرارگیری مسیر تحت بار ترافیکی، لبه‌های ترک‌های طولی شروع به قلوه کن شدن نموده و این فرسایش در برخی موارد تا حدی افزایش می‌یابد که در نهایت موجب به وجود آمدن چاله در حد فاصل لینه‌های عبور در مسیر می‌شود. فاکتورهای متفاوتی در زمان ساخت بر دوام درزهای طولی روسازی آسفالتی تأثیرگذار هستند. یکی از مهم‌ترین آن‌ها نحوه تراکم لبه آزاد روسازی در هنگام اجرای اولین لین مسیر است.

ترک‌های عرضی

این نوع از ترک‌ها عمدتاً به دلیل تغییرات حرارتی روسازی رخ می‌دهند و بنابراین به آنها ترک‌های حرارتی نیز گفته می‌شود. این ترک‌ها عمدتاً در عرض روسازی اتفاق می‌افتند و بر محور اصلی راه عمود هستند. یکی از مهمترین خصوصیات این نوع از ترک‌ها فواصل منظم رخداد آن است دلایل به وجود آمدن ترک‌های عرضی را می‌توان ناشی از کاهش شدید دمای روسازی و شکست روسازی و یا خستگی مصالح به دلیل وقوع سیکل‌های حرارتی و افزایش و کاهش‌های متناوب دما دانست. باید توجه داشت در صورتی که ترک از میان محدوده‌ای که در آن ترک خوردگی خستگی (پوست سوسماری) وجود دارد، عبور کرده باشد، آن طولی از ترک که در این محدوده قرار دارد به عنوان ترک خوردگی عرضی محسوب نمی‌شود. همچنین ترک‌های با طول کمتر از ۳۰ سانتیمتر در محاسبه طول ترک خوردگی عرضی به حساب نمی‌آیند.

ترک خوردگی لبه

این نوع از ترک خوردگی تنها در روسازی‌های با شانه خاکی به چشم می‌خورد. این ترک‌ها در کناره‌های روسازی به وجود می‌آیند و شکلی مشابه هلال ماه دارند. ترک‌های لبه نسبتاً پیوسته بوده که به بیان FHWA غالباً همراه ترک‌های طولی در خارج از مسیر چرخ‌ها و در فاصله ۶/۰ متر از لبه روسازی نمایان شده و به لبه روسازی ختم می‌شوند.

از نقطه نظر ASTM فاصله وقوع این ترک‌ها در حدود ۳/۰ الی ۵/۰ متر از لبه روسازی است و همچنین بخش بین ترک و لبه خارجی روسازی عمدتاً شکسته شده فرض می‌شود. این عارضه که به دلیل ضعف اساس یا خاک بستر به وجود می‌آید، با بارگذاری ترافیکی شدت می‌گیرد و سیکل‌های ذوب و یخبندان که معمولاً در ضعیف نمودن اساس و خاک بستر نقش چشمگیری دارند، بر شدت آن می‌افزایند.

به بیان FHWA در صورتی که ترک بدون شکستن لبه و یا جدا شدن مصالح رخ دهد، با شدت کم محسوب می‌شود. ترک خوردگی اگر به گونه‌ای باشد که ۱۰ درصد از طول منطقه ترک خورده را تحت تأثیر خود قرار دهد با شدت متوسط ارزیابی می‌شود و بیش از این مقدار، خرابی از نوع شدید محسوب می‌شود.

اندازه‌گیری این نوع ترک خوردگی نیز بر اساس توصیه FHWA با توجه به طولی از لبه روسازی که تحت تأثیر این نوع ترک خوردگی قرار دارد (برای هر شدتی طول مربوط به آن شدت از ترک خوردگی) انجام می‌پذیرد.

ترک‌های انعکاسی

یکی از مهمترین روش‌های تعمیر و نگهداری راه‌ها، اجرای روکش است. همچنین یکی از روش‌های تسطیح و افزایش اصطکاک روسازی‌های بتنی نیز اجرای یک لایه روکش آسفالتی بر روی آن است. در این خصوص، پس از آن که عملیات ساخت روکش به اتمام رسید، وقوع هر گونه جابجایی افقی یا عمودی روسازی زیرین در محل ترک، که منشأ آن بارگذاری و یا تغییر درجه حرارت محیط باشد، به تدریج موجب گسترش ترک‌ها از روسازی زیرین به روسازی جدید فوقانی شده و خرابی آن را نیز در پی خواهد داشت. الگوی این ترک‌ها مشابه ترک‌های پیشین بوده و اصطلاحاً ترک‌های انعکاسی نامیده می‌شوند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت پس از اجرای روکش بتن آسفالتی جدید بر روی روکش قبلی، در صورتی که شرایط محیطی و الگوی بارگذاری وارده بر معبر مورد نظر تغییر نکند، پس از مدتی ترک‌های جدیدی بر روی روکش جدید پدیدار خواهند شد که به مانند قبل روسازی را دچار مشکل خواهند نمود.

وقوع این جابجایی‌ها موجب قله‌کن شدن بدنه روسازی شده و عملاً شرایط را برای ورود آب‌های سطحی به لایه‌های اساس، زیراساس و خاک بستر مهیا می‌سازد که نهایتاً کاهش کیفیت سواری و افزایش سرعت تخریب لایه‌های روسازی و زیرسازی را به دنبال خواهد داشت.

ترک خوردگی انعکاسی یکی از جدی‌ترین خرابی‌هایی است که روکش اجراشده بر روی روسازی‌های آسفالتی و بتنی که معمولاً به صورت لایه نازکی از آسفالت قیری است را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

توجه به ماهیت این نوع از خرابی، نظرات متفاوتی در مورد منشأ و شرایط بروز آن مطرح شده است. اما به طور کلی سه مکانیزم ذیل در به وجود آمدن ترک‌های انعکاسی مؤثر هستند.

۱. وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر بارگذاری حرارتی که طی آن انبساط و انقباض متفاوت روسازی و روکش، موجب ایجاد تنش در روکش می‌شود و در صورتی که ترک خوردگی موجود باشد، تمرکز تنش در نوک ترک منجر به بروز خرابی می‌شود.

۲. وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر جابجایی نامتقارن سطح زیرین که می‌تواند به دلیل نشست یا تورم خاک بستر رخ دهد.

۳. وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر بارگذاری ترافیکی و در نتیجه به وجود آمدن تنش‌های خمشی و برشی در روکش رخ می‌دهد.

زمانی که چرخ به محل ترک در لایه ترک خورده زیرین نزدیک می‌شود، تنش خمشی و همچنین تنش برشی افزایش می‌یابند و پس از آنکه محل چرخ به ترک رسیده و شروع به قرارگیری بر روی ترک می‌نماید تنش برشی در لایه روکش کاهش می‌یابد. با این وجود تنش ناشی از خمش رو به افزایش است و نهایتاً هنگامی که محور چرخ بر روی محور ترک منطبق می‌شود، تنش ناشی از خمش به بیشترین مقدار خود رسیده و موجب شکل‌گیری ترک در روسازی می‌شود.

ترک‌های لغزشی

ترک‌های لغزشی ترک‌هایی به شکل هلال ماه یا نیمه ماه هستند که عموماً در عرض مسیر عبور به وجود می‌آیند. این نوع ترک‌ها زمانی رخ می‌دهند که ترمزگیری یا تغییر مسیر و دور زدن چرخ وسیله نقلیه بر روی آسفالت موجب لغزش یا تغییر شکل سطح روسازی می‌شود. عدم اتصال مناسب میان روکش روسازی و سایر لایه‌های آن موجب به وقوع پیوستن این نوع خرابی می‌شود. هوشمند سازی ساختمان

ساختمان‌ها و زندگی در آنها در طول دو دهه گذشته بسیار تغییر کرده است. در واقع می‌توان گفت که به جز تعداد کمی از استثنای موجود، ساختمان‌های کنونی از آن نوع زیستگاه‌ها نیستند که به حال حاضر تعلق داشته باشند. با توسعه در زمینه مصالح، فرآورده‌ها و روش‌های ساخت ابداعاتی، حرکت به سوی ساختمان‌هایی با کارایی بالاتر و صرفه اقتصادی بهتر و سازگار با محیط زیست امری ضروری می‌نماید. ما در حال حاضر در آستانه نسل بعدی ساختمان‌ها هستیم. ساختمان‌هایی با درجات متعددی که کاملاً رفتار اکولوژیکی دارند و قادرند با بهره‌گیری هوشمندانه از مصالح سازگار و عملکرد (Hi-Tech) تکنولوژی

جدید مناسب، در برابر تغییرات مستقیم و غیر مستقیم پیرامون خود واکنش نشان دهند و خود را با شرایط مناسب تطبیق دهند. این نوآوری‌ها وظایف جدیدی را برای طراحان و معماران ایجاد می‌کند که از قافله پر سرعت تکنولوژی عقب نمانده و آنها را در طرح‌های خود بکار گیرند.



مصالح و فرآورده‌های نوین

در حال حاضر طیف وسیعی از فرآورده‌ها و مصالح، در دسترس قرار گرفته‌اند یا اینکه در حال عرضه به بازار هستند. برخی از آنها به طور خاص برای استفاده در زمینه معماری تولید شده و برخی نیز برای کاربردهای دیگری مثل صنعت منسوجات، اتومبیل سازی و ... در نظر گرفته شده‌اند. اما نکته اصلی اینجاست که چگونه این مصالح نوین در دسترس معماران و طراحان قرار گیرد. اگر برای معماران این امکان فراهم آید که بتوانند تمام این مصالح و فرآورده‌ها را مستقیماً یا به شکل اصلاح شده در پروژه‌های خود به کار گیرند، آنگاه سیل عظیمی از امکانات تازه و جالب برای طراحی ساختمان‌ها و روش‌های ساخت را به دنبال خواهد داشت. معماران خلاق می‌توانند مصالح و فرآورده‌های نوین را برای کاربردهای خاص معماری توسعه دهند و قادر خواهند بود صنعت تازه‌ای را در معماری بر پایه مصالح نوین پدید آورند.

مصالح بازیافتی

این مصالح اساساً از مواد دست دوم و زباله‌های تمیز، تهیه می‌شوند. برای تهیه مصالح بازیافتی، قسمت‌های ارزشمند مصالح دست دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی به هر حال فرآورده حاصله معمولاً کیفیت پایین‌تری نسبت به مصالح اصلی دارد. امروزه استفاده از مصالح بازیافتی با توجه به اصول معماری پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

مصالح تجزیه پذیر زیستی

ترکیبات تشکیل دهنده این مصالح به گونه‌ای است که پس از پایان عمر و مدفون شدن در زیر خاک به طور کلی توسط جانوران میکروسکوپی موجود در خاک تجزیه می‌شوند. بنابراین تهدیدی برای آلودگی محیط زیست محسوب نمی‌شوند.

زیست مواد

شامل پلاستیک‌ها و مصالح دیگری است که از منابع تجدیدپذیر ساخته می‌شوند. تحقیقی که در حال حاضر بر روی این مواد بسیار مورد توجه است، استفاده از باکتری خاصی است که مصرف می‌کند و قادر به متلاشی نمودن گاز دی اکسید کربن این پلاستیک‌هاست.

مصالح تغییر ناپذیر

مصالحی هستند که تاثیرات فیزیکی و شیمیایی بر آنها اثر ندارد. مثالی از این نوع مصالح، آلیاژ فولاد است.

مصالح هوشمند

این مصالح مواد و فرآورده‌هایی هستند که خاصیت تغییرپذیری دارند و قادرند مشخصه‌های ظاهری یا درونی خود را در پاسخ به تاثیرات فیزیکی و شیمیایی به صورت برگشت‌پذیر تغییر دهند.

مصالح هیبرید یا پیوندی

این مصالح با تلفیق حداقل دو ترکیب متفاوت ساخته می‌شوند. مثل تلفیق ترکیبات طبیعی و مصنوعی.

مصالح با ساختار فسیل واره

این‌ها نوعی مصالح مرکب با لایه‌های ملحق شده تدریجی هستند. این مصالح نتیجه یک تغییر پیوسته در ویژگی‌های مصالح است. مثالی از این نوع مصالح نفت خام است که از قرار گرفتن لایه‌های متعدد در طول سالیان متمادی ایجاد می‌شود.

نانو متریال (مصالح نانو)

مصالحی هستند که از موادی با مقیاس نانو (یک میلیاردم) ساخته می‌شوند و نقاط اشتراک زیادی با مصالح هوشمند دارند. مواد با ساختار نانو به عنوان پوشش نهایی در ساخت فرآورده‌ها به کار می‌روند. به عنوان مثال در پوشش‌های هوشمند ضد خوردگی، تصفیه کننده هوا، تمیز کننده سطوح و پوشش های زیست فعال کاربرد دارند.

مصالح هوشمند

مصالح هوشمند یک اصطلاح جدید برای مصالح و فرآورده‌هایی است که توانایی درک و پردازش رویدادهای محیطی را داشته و نسبت به آن واکنش مناسب نشان می‌دهند. به بیان دیگر این مصالح قابلیت تغییرپذیری داشته و قادرند شکل، فرم، رنگ و انرژی درونی خود را به طرز برگشت پذیر در پاسخ به تأثیرات فیزیکی یا شیمیایی محیط اطراف تغییر دهند. اگر مصالح را به سه گروه مصالح غیر هوشمند، نیمه هوشمند و هوشمند طبقه بندی کنیم، گروه اول یعنی مصالح غیر هوشمند ویژگی خاص بالا را ندارند، نیمه هوشمندها تنها قادرند در پاسخ به تأثیرات محیطی شکل و فرم خود را برای یک بار یا مدت زمان اندکی تغییر دهند اما در مصالح هوشمند این تغییرات تکرارپذیر و قابل برگشت خواهد بود.

مصالح هوشمند تحت عنوان مصالح انعطاف پذیر و تطبیق پذیر نیز شناخته می‌شوند و این به دلیل ویژگی خاص آنها در تنظیم نمودن خود با شرایط محیطی است. متغیرهای تأثیرگذار شیمیایی و فیزیکی که در زیر معرفی شده‌اند، محرک‌هایی هستند که مصالح هوشمند در برابر آنها از خود عکس العمل نشان می‌دهند.

- نور، اشعه UV، بخش فرابنفش و مرئی اشعه الکترومغناطیس
- دما، تغییرات دمایی که یک سیستم فیزیکی مثل بدن انسان ایجاد می‌نماید.
- فشار، اختلاف فشار ایجاد شده در یک ناحیه.
- میدان الکتریکی، میدان ایجاد شده پیرامون یک بار الکتریکی.
- میدان مغناطیسی، میدان ایجاد شده پیرامون یک آهن ربا یا یک بار الکتریکی متحرک.
- محیط شیمیایی، حضور یک عنصر یا ترکیب شیمیایی خاص مثل آب.

طبقه بندی مصالح هوشمند

به طور کلی مصالح ساختمانی موجود اعم از سنتی، طبیعی و مصنوعی با توجه به خصوصیات آنها، ازجمله نمود ظاهری، بافت، ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی و فیزیکی، اثر محیطی و ... طبقه بندی می‌شوند. اما در طبقه بندی مصالح هوشمند علاوه بر در نظر داشتن مشخصه‌های فوق، خواص دیگری که به طور ویژه به تمیز دادن مصالح هوشمند از مصالح سنتی مربوط می‌شود نیز لحاظ شده است. در واقع طبقه بندی پیشنهادی مصالح هوشمند بر پایه سه خاصیت زیر ارائه شده است.

مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر خواص درونی

۱. مصالح هوشمند تغییر شکل دهنده
۲. مصالح هوشمند تغییر رنگ دهنده
۳. مصالح هوشمند تغییر پیوند دهنده

مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی

مصالح هوشمند دارای قابلیت مبادله انرژی

۱. مصالح هوشمند ساطع کننده نور

۲. مصالح هوشمند تولید کننده الکتریسیته

۳. مصالح هوشمند ذخیره کننده انرژی

مصالح هوشمند تغییر شکل دهنده

این گروه از مصالح هوشمند که دارای قابلیت تغییر خواص درونی خود هستند در پاسخ به محرکات خارجی تغییراتی در شکل و ابعاد خود ایجاد می کنند که این تغییرات بستگی به نوع توزیع و آرایش ترکیبات تحریک پذیر درونی آنها دارد.

مصالح هوشمند دما واکنشی

این نوع از مصالح هوشمند که زیر مجموعه مصالح هوشمند تغییر شکل دهنده هستند، نوعی ویژگی ذاتی دارند که آنها را قادر می سازد تا در برابر تغییرات دمای محیط پیرامون به طور برگشت پذیر واکنش نشان دهند. تغییرات دمایی ممکن است تاثیر غیر فعال داشته باشد به طوری که مصالح به طور مداوم وضعیت دمای داخلی خود را با وضعیت طبیعی پیرامونش از طریق پوسته بیرونی تنظیم کند و اگر تاثیرات آن به صورت فعال باشد، نوعی گرمایش فعال با بکار بردن یک میدان الکتریکی از طریق تماس ایجاد می شود. مصالح دما واکنشی، به نوبه خود انواع و اقسام متنوعی از متریال ها را شامل می شوند اما تعداد محدودی از آنها در معماری کاربرد دارند.

مصالح منبسط شونده نمونه ای از مصالح دما واکنشی هستند که دارای ضریب انبساط گرمایی اند. گرماسنج ها از اولین سیستم هایی بودند که با بکارگیری چنین مصالحی ساخته شد. اما مهمترین کاربرد آنها در معماری در ترموستات های گرمایشی برای سرویس های خدماتی ساختمان و همچنین به عنوان محرک های ویژه ای در گلخانه ها و در نمای ساختمان ها برای کنترل و مدیریت انرژی به کار می روند.

کاربرد دیگر آنها در سیستم تهویه اتاق های ساختمان است. با وجود اینکه مصالح منبسط در دهه های اخیر به عنوان اجزای (TEM) شونده ترموستات ها بکار می رفته اند اما استفاده از آنها برای تهویه اتوماتیک ساختمان مربوط به چند سال اخیر می شود. طرز کار این سیستم نیز به گونه ای است که در دماهای مشخص سیستم باز یا بسته می شود تا شرایط تهویه مناسب فضا را فراهم سازد. آنها همچنین می توانند با بالا بردن یا پایین آوردن بخش هایی از پوشش بام به صورت اتوماتیک، به عنوان اجزای سیستم تهویه در نمای ساختمان ها طراحی شوند.

مصالح هوشمند تغییر رنگ دهنده

همانطور که از اسم این مصالح پیداست آنها قادرند رنگ یا مشخصه های بصری خود را در پاسخ به یک یا چندین محرک خارجی به صورت برگشت پذیر تغییر دهند. این مصالح با توجه به محرک انگیزاننده خود انواع مختلفی را شامل می شوند ولی تعدادی از آنها که در کاربردهای معمارانه بسیار مورد توجه اند شامل مصالح فتوکرومیک، ترموکرومیک و الکتروکرومیک هستند. این مصالح با قرار گیری در برابر نور با تغییر رنگ از خود واکنش می دهند.

هم اکنون مصالح فتوکرومیک یا به صورت رنگ دانه های فتوکرومیک، شیشه های فتوکرومیک و پلاستیک ها یا پلیمرهای فتوکرومیک در دسترس هستند. استفاده از این مصالح در معماری و در پوشش نمای بناها باب شده است. هر چند که در ابتدا بکارگیری این مصالح بخاطر جنبه زیبایی آنها بود (بخاطر طیف رنگی که در برابر نور ایجاد می نمودند). کاربرد مصالح الکتروکرومیک نیز در معماری شیشه های الکترواپتیکال هستند. مصالح الکترواپتیکال با قرارگیری در معرض اشعه خورشید مشخصه بصری یعنی میزان شفافیت خود را تغییر می دهند.

مصالح هوشمند ساطع کننده نور

مصالح و فرآورده هایی هستند که مولکول های درون آنها با تاثیر انرژی هایی مثل روشنایی یا میدان الکتریکی، برانگیخته شده و از خود نور تولید می کنند. این پدیده در واقع یک حالت موقتی برای مولکول ها است که بر اثر تاثیر انرژی بالاتر اتفاق می افتد که در این زمان بخشی از انرژی جذب شده توسط مولکول ها به شکل اشعه الکترومغناطیسی مرئی ساطع می شود بدون آنکه حرارت اشعه

خارج شود. از این پدیده با عنوان تابناکی یاد می‌کنند. از مهمترین و کاربردی‌ترین آنها در زمینه معماری، مصالح فتولومینس و الکترولومینس هستند.

استفاده از مصالح هوشمند ساطع کننده نور : LED و سلول‌های خورشیدی

مصالح هوشمند ذخیره کننده انرژی

این مصالح و فرآورده‌ها قادرند انرژی را چه به صورت نمایان و چه نهانی در خود ذخیره نمایند، مثلاً به شکل نور، گرما، هیدروژن یا الکتریسته. این مصالح قابلیت برگشت پذیری نیز دارند. بنابراین این مصالح قادر به ذخیره انرژی بصورت‌های مختلفی هستند. اما در این بین مصالح هوشمند ذخیره کننده حرارت (گرما) بیشتر مورد توجه بوده‌اند. این مصالح نوعی ویژگی ذاتی دارند که آنها را قادر می‌سازد که انرژی را بصورت گرما یا سرما (معکوس گرما) بصورت انرژی نهانی در خود ذخیره کنند. این مصالح در معماری دارای کاربرد و مورد توجه بسیار هستند. پرکاربردترین آنها که با عنوان مصالح تغییر حالت دهنده مشهور هستند. به آن دسته از مصالح و فرآورده‌هایی اطلاق می‌شود که می‌توانند به عنوان واسطه تنظیم دما عمل کنند مثلاً به عنوان عنصر واسطه ذخیره سرما یا گرمای نهانی تنظیمات دمای داخل اتاق مصالح PCM این ویژگی را دارند که وضعیت خود را از حالت مایع به جامد بوسیله کریستاله شدن (بلوره شدن) تغییر دهند و میزان مشخصی از انرژی گرمایی که قبلاً در درجه حرارت بالاتر ذخیره کرده بودند، از خود آزاد کنند و در حالت معکوس با تغییر وضعیت از جامد به مایع در زمان ورود انرژی گرمایی میزان حرارت یا دما را ثابت نگه دارند. ذکر این نکته ضروری است که مصالحی با ظرفیت ذخیره حرارتی بالا یا اتلاف حرارتی پایین در این دسته از مصالح هوشمند جای نمی‌گیرند.

سیستم نما عبور کرده و علاوه بر گرم نمودن فضای داخل باعث گرم شدن پانل‌های PCM می‌شود. این، گرما هیدرات نمک را از حالت جامد به مایع تبدیل کرده و گرمای حاصله به صورت گرمای نهانی در سیستم ذخیره می‌شود. زمانی که حرارت اتاق از ۲۶ درجه سانتیگراد پایین‌تر می‌آید مثلاً در طول شب یا روزهای ابری آنگاه هیدرات نمک متبلور شده و انرژی گرمایی ذخیره شده خود را در اتاق آزاد می‌کند.

مزیت دیگر این سیستم این است که وضعیت شارژ بودن یا نبودن این سیستم ذخیره کننده حرارت از ظاهر بصری آن قابل مشاهده است به این ترتیب که اگر نما مات به نظر برسد، هیدرات نمک شارژ نشده است. یعنی ذخیره حرارتی ندارد و اما اگر نما حالت شفاف یا نیمه مات داشته باشد هیدرات نمک در نما شارژ بوده و ذخیره حرارتی آن پر است.

مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی

می‌توانند مواد را در فرم مولکول و به شکل گاز، مایع یا جامد با فرایندهای مختلف فیزیکی یا شیمیایی، در خود محصور و یا اینکه آزاد کنند. عملکرد این

مصالح به صورتی است که با قرار گرفتن در برابر انواع گاز، بخار آب، آب و یا حتی محلول‌های آبدار، با چسباندن آنها به سطح داخلی خود و یا اضافه کردن آنها به حجم خود واکنش نشان دهند. این مصالح با خصوصیات ذکر شده به طور عمده می‌توانند در نمای خارجی یا داخلی ساختمان‌ها استفاده شوند و معروفترین آنها مواد و مصالحی هستند که خودبخود تمیز می‌شوند و همچنین پوشش‌ها و لایه‌هایی هستند که با قرار گرفتن روی سطوح ساختمان آلاینده‌های موجود در هوا را بی‌اثر کرده و از بین می‌برند. به طور کلی این متریال‌ها با انجام فرایندهای درونی خاص خود می‌توانند خصوصیات و ویژگی‌های زیر را از خود نشان دهند.

- ضد آب نمودن نما، تمیز نمودن خود نما، بالا بردن کیفیت هوای فضای داخل، از بین بردن آلودگی هوای اطراف، جاذب صدا، ایجاد بوی معطر در فضا

نمونه‌ای از مصالح ضد آب در این دسته بنتونیت است. که از مهمترین فرآورده‌های معدنی مورد استفاده در [مصالح ساختمانی](#) است.

نمونه دیگر در این دسته از مصالح هوشمند که به مصالح خود پاک شونده معروفند، دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) است. این ماده دارای خواص و ویژگی‌های منحصر به فردی است. به طوری که به هنگام قرارگیری در معرض اشعه ماورای بنفش نور خورشید، به

یک ماده بشدت فعال و واکنش پذیر تبدیل می شود. واکنش پذیر شدن و فعالیت شیمیایی شدید این ماده در مجاورت اشعه ماورای بنفش، می تواند از چسبیدن باکتری ها و کثیفی ها بر روی دیوارها و ساختمان ها جلوگیری کند و سبب می شود تا این آلودگی ها با بارش یک باران، به آسانی از روی دیوارها شسته و پاک شوند. تولید گسترده و انبوه مصالح خودپاک شونده و استفاده گسترده آن در ساختار ساختمان ها و پنجره ها در مناطق گوناگون، سبب می شود که از این پس بتوانیم در شهرهایی زندگی کنیم که از نما و سیمای بسیار تمیز، پاکیزه و درخشانی برخوردارند و نیازی به تمیز کردن نمای دیوارها و پنجره ها به طور دوره ای نخواهد داشت. این ویژگی مصالح خود پاک شونده از مهمترین کاربرد این مصالح در حیطه طراحی شهری است که می توانند به پاکیزگی شهرهای بزرگ و کاهش آلودگی هوا در آنها کمک شایانی نمایند.

نانو در صنعت ساختمان

فناوری نانو به عنوان یک فناوری کلیدی و بین رشته ای، فرصت های زیادی را جهت تقویت رقابت در صنعت ساخت و ساز نظیر ساخت و ساز سریع تر، منعطف تر، پایدارتر و مقرون به صرفه تر را فراهم کرده است. و زمینه های کاربردی این فناوری، تقریباً در تمام بخش های ساختمان شامل اسکلت، طراحی نما، مهندسی ساختمان (سیستم های ساختمانی) و طراحی داخلی را شامل می شود. کنترل خواص مواد در مقیاس نانو و نیز کنترل اثرات فیزیکی و شیمیایی مربوطه، تولید مصالح ساختمانی چندمنظوره با کارایی بالا را ممکن می سازد، که این امر باعث ایجاد ارزش افزوده، افزایش دوام، کیفیت و پایداری محیط زیست می شود. قابل ذکر است این فناوری کاربرد وسیع و چشمگیری در احداث زیرساخت های اصلی نظیر سدها، راهها، پل ها و کانال ها و ... دارد.



ملزومات صنعت ساختمان

- یکی از چالش های اصلی در صنعت ساخت و ساز، بازسازی ساختمان های تجاری و مسکونی موجود از نظر کارایی انرژی است. به عنوان مثال تقریباً ۸۰ درصد ساختمان های موجود بیشتر از دو برابر ساختمان های جدید گرما مصرف می کنند. بنابراین، نیاز به مدیریت انرژی و سیستم های [عایق حرارتی](#) و همچنین منابع انرژی بهینه و تجدید پذیر (مانند فتوولتائیک) در سطح بالایی قرار دارد. چالش های دیگری که صنعت ساخت و ساز در آینده با آنها مواجه می شود شامل موارد زیر است.
- ترکیب عملکردها و حفظ ارزش بخش های مختلف ساختمان، برای مثال نمای چندمنظوره، که دما و نور مطلوب را ایجاد می کند و همزمان در برابر خوردگی، حمله ی قارچ یا ضربات شدید از بنا محافظت می کند.
 - برطرف نمودن نیازهای رو به رشد مشتریان (آسایش مشتری) در زمینه ی طراحی و آسایش مسکن و نیز حذف اختلالاتی همچون آلودگی، سرو صدا، رطوبت یا بوی نامطبوع.
 - ایجاد سازه های ایمنی محور با توجه به افزایش خطرات زیست محیطی.
 - صرفه جویی در انرژی و مواد اولیه با تولید مصالح ساختمانی ویژه و نیز ساخت و ساز و بهره برداری از زیرساخت ها و ساختمان های مسکونی.
 - اختصاص اولویت به آموزش و تحصیلات تکمیلی به عنوان پیش نیاز نوآور

فناوری نانو، می‌تواند مشارکت قابل توجهی را در پاسخگویی به این نیازها داشته باشد.

تأثیر فناوری نانو در صنعت ساختمان، عمدتاً در مراحل اولیه زنجیره‌ی ارزش به ویژه در حوزه‌ی شیمی ساخت قابل توجه است.

- مواد بتنی خود متراکم که به واسطه‌ی افزودنی‌های بهینه بر پایه عامل‌های پلیمر در مقیاس نانو ایجاد می‌شوند.
- بتن با کارایی بالا (بتن فوق قوی) به واسطه‌ی بهینه سازی ساختار دانه
- سیستم عایق بندی کارآمد از جنس نانو مواد متخلخل با رسانایی گرمایی حداقل و با انعکاس یکنواخت
- رنگ نمای مقاوم در برابر کثیفی و آلودگی دارای ساختار نانو

کاربردهای فناوری نانو در صنعت ساختمان

کاربرد نانو فناوری در صنعت بتن

یکی از جنبه‌های اصلی نانو تکنولوژی ماهیت میان رشته‌ای آن است. تعامل این علم با علم بتن می‌تواند نقطه عطفی در صنعت ساخت و ساز ایجاد کند. هدف نهایی از بررسی بتن در مقیاس نانو، یافتن نسلی جدید از مصالح ساختمانی با عملکردهای بالا و با خواصی جدید و متفاوت نسبت به خواص مصالح معمولی است. اولین گام برای ورود به این عرصه، شناخت بتن است. بتن از پر کاربرد ترین [مصالح ساختمانی](#) است. استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت بتن به چند سال اخیر برمی‌گردد. ثابت شده که استفاده از ذرات ریزتر از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده است.

در حال حاضر هزینه‌های بالای نانو ذرات مانع از توسعه روزافزون این محصولات و استفاده آن‌ها در صنعت می‌شود، برای همین بهره‌برداری از نانو تکنولوژی در صنعت بتن در مقیاس تجاری همچنان به چند محصول قابل عرضه در بازار محدود شده است. مشکل دیگر در زمینه استفاده از نانو موادمها توزیع یکنواخت آن‌ها در ماتریس بتن است. معمولاً این مواد در حین افزوده شدن به بتن به صورت کلوخه انباشته می‌شوند و در مخلوط به خوبی توزیع نمی‌شوند، البته برای این حل مشکل می‌توان از دستگاه‌های مخلوط کن قوی استفاده کرد.

اشکال دیگر در این زمینه جذب آب بسیار بالای ذرات نانو است. این ذرات به علت سطح ویژه بسیار بزرگی که دارند مقدار زیادی آب جذب می‌کنند و ممکن است بر کارایی بتن تأثیر گذار باشد.

مصالح ساختمانی سیمانی

افزایش مقاومت در بتن به ساختار بلورین آن بستگی دارد که اندازه آن تنها چند نانومتر است. در سال‌های اخیر و با شروع بهسازی مواد در حوزه مصالح ساختمانی سیمانی، نانو مواد به عنوان مواد مکمل در مصالح کاربرد دارد. فناوری نانو از طریق به کارگیری نانو پودرها به عنوان مواد مکمل در مخلوط سیمان باعث بهبود در مقاومت، استحکام و فرآیندپذیری مصالح شده و تغییر در خواص دیگری مانند حفاظت الکترومغناطیسی، محافظت گرمایی، کنترل هدایت حرارتی، تغییر رنگ و واکنش‌های کاتالیزتی می‌شود. از جمله مواد مکمل برای بهینه کردن خواص ملات بتن در مقیاس نانو می‌توان به اکسیدهای فلزی نانو مقیاس (برای مثال دی اکسید سیلیکون کلئیدی) یا کوپولیم‌های بلوکی که به صورت تجاری تولید می‌شوند، اشاره نمود. با استفاده از دی اکسید سیلیکون کلئیدی که اندازه ذرات آن به طور معمول در محدوده ۵ تا ۳۰ نانومتر است، استحکام و مقاومت بتن در برابر خوردگی اسیدی افزایش می‌یابد.

نمای بیرونی و بام ساختمان

فناوری نانو روش‌های زیادی برای بهبود خواص سطوح نمای ساختمان چه از نظر عملکرد و چه زیبایی عرضه می‌کند. با استفاده از نانو مواد، خواص سطوح در برابر آب و ذرات گرد و خاک (ذرات کثیف) با تنوع نسبتاً زیاد و به صورت دلخواه قابل تنظیم است، که از آن جمله می‌توان به سطوح آب دوست (Hydrophilic)، سطوح آبگریز (Hydrophobic) یا سطوح مقاوم در برابر روغن (Oleophobic) اشاره کرد.

استفاده از پودر تیتانیوم دی اکسید در مقیاس نانو، اثربخشی لایه را افزایش می‌دهد و با توجه به کوچکی ذرات، از پخش نور جلوگیری می‌شود، بنابراین با استفاده از آن در جداره پنجره‌ها شفافیت مورد نیاز این پوشش تأمین می‌شود. در حال حاضر دامنه

تولید سیستم پوششی فوتوکاتالیستی نسبتاً وسیع و شامل سطوح ابر آبدوست است که در مثال‌های متنوعی چون آیین، [پنجره‌های خود تمیز شونده](#)، قاب پنجره‌ها یا آجر (سفال) استفاده میشود.

عایق حرارتی

استفاده از عایق حرارتی در [نمای خارجی](#)، هم از نظر هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای ساختمان‌سازی جدید و بازسازی ساختمان‌ها و هم از نظر هزینه‌های عملیاتی از عوامل ضروری در اقتصاد ساختمان است. تنها در آلمان قریب به ۶ میلیارد متر مربع سطوح نما وجود دارد که تقریباً ۸۰۰ میلیون متر مربع از آن سطوح پنجره است و این در حالی است که بخش بزرگی از آن نیازمند بازسازی است. در اروپای غربی بازار عایق حرارتی در صنعت ساختمان تقریباً ۶ میلیارد یورو تخمین زده می‌شود. پنجره‌ها و جداره‌ها

شیشه به دلیل شفافیت و مقاومت بالا با هر شکل و رنگی به عنوان مصالح ساختمانی برای پنجره و نما شناخته شده است. البته لکه دار شدن سریع، انعکاس نامطلوب و عملکرد بد آن به عنوان یک عایق حرارتی، از نکات منفی آن است. پوشش‌های نانویی این خواص منفی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند و بدین وسیله زمینه‌های عملکردی جدیدی را برای نمای شیشه‌ای به ارمغان می‌آورد.

- بهبود حفاظت از حرارت با استفاده از پوشش‌های ذخیره‌کننده انرژی (Low-E)
- شیشه ضد آفتاب (حفاظت در برابر آفتاب) با استفاده از شیشه‌های رنگ متغیر (الکتروکرومیک)
- بهبود استفاده از نور روز با به کارگیری آرایش یکنواخت میکروآینه‌ای
- خود تمیز شوندگی با استفاده از پوشش فوتوکاتالیستی
- پوشش‌های ضد انعکاس با استفاده از لایه‌ی SiO_2 نانو حفره

پوشش‌های ضد انعکاس

از پیشرفت‌های فناوری نانو در صنعت ساختمان و قابل عرضه در بازار، پوشش‌های ضد انعکاس برای شیشه‌های مسطح است که افزایش انتقال نور بیشتری دارند و برای نمونه در کلکتورهای خورشیدی و یا جداره شیشه‌های ساختمان کاربرد دارند. انتظار می‌رود که با این روش اتلاف انعکاسی نور (نوری که به وسیله‌ی بازتابش به بیرون منعکس می‌شود) در پانل‌های شیشه‌ای به طور معمول از ۸ درصد به ۲ درصد کاهش می‌یابد.

پنجره‌های هوشمند

واژه‌ی پنجره هوشمند به پانل شیشه‌ای اطلاق می‌شود که بسته به نوع تأثیرات محیطی، خواص خود را خصوصاً در مورد انتقال نور می‌تواند تغییر دهد. بدین منظور از مواد کروموژنیک استفاده می‌شود که رنگ یا شفافیت خود را می‌تواند با توجه به محرک‌های (عوامل) برگشت پذیر فیزیکی یا شیمیایی تغییر دهد.

این گونه شیشه‌ها می‌توانند به عنوان جایگزین برای انواع سیستم‌های سایه از قبیل سیستم‌های ضد تابش و پرده‌ها در نظر گرفته شود. شیشه‌های هوشمند از طریق فناوری‌های مختلفی تولید می‌شوند که این فناوری‌ها تا حد زیادی مبتنی بر استفاده از نانو مواد و سیستم‌های پوششی نانو مقیاس است.

انرژی و تکنیک‌های نورپردازی

فناوری نانو گزینه‌های متعددی برای افزایش بهره‌وری و توسعه روش‌های جدید تولید انرژی و تکنیک‌های نورپردازی در ساختمان ارائه می‌کند که برخی از این نمونه‌ها به شرح زیر است.

- دیودهای نوری به عنوان تکنیک نورپردازی با بازده انرژی بالا برای کاربردهای ویژه در ساختمان (نورپردازی نما، نورهای راهنما، نورهای رنگی).
- مواد ارگانیک با توانایی بالا برای استفاده در تکنیک نورپردازی بر روی زیرلایه‌های انعطاف پذیر.

- سلول‌های خورشیدی رنگی با ویژگی شفافیت و زیبایی (تزئینی)، برای مثال در نماهای شیشه‌ای به عنوان جایگزینی برای سلول‌های خورشیدی پایه سیلیکون.
- پوسته‌های (غشا) نانو ساختار و کاتالیزورها، برای بازدهی بیشتر پیل‌های سوختی در بخش الکتروسیسته و گرما و با استفاده از گاز طبیعی.

با توجه به مصرف کم انرژی، رنگ زیبا و ابعاد بسیار کوچک LED (که مبتنی بر پوشش‌های نیمه‌هادی در مقیاس نانو است)، معماران قادرند هنر خود را در نور پردازی ساختمان و طراحی نما در معرض عموم قرار دهند.

حفاظت در برابر آتش

فناوری نانو روش‌های متنوعی برای توسعه مواد ضد آتش (ضد حریق) و بهبود خواص آن و به عنوان جایگزین مواد آلاینده که در این زمینه استفاده می‌شده، عرضه می‌کند. نقطه عطف پژوهش‌ها، ذرات سیلیکات نانو ساختار هستند (نانو رس) که به عنوان پرکننده پلیمرها و برای بالا بردن خواص ضد آتش و مقاومت در برابر حرارت استفاده می‌شود. در ساختمان، پلیمرها در پوشش کابل‌ها، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. برای مثال در فیوز، پریز برق و محفظه لامپ‌ها و ... خاصیت ضد حریق کامپوزیت‌های نانو رس نشانگر این مسأله است که هم اتلاف حرارت و توسعه دود به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و همزمان ایجاد جرقه (جرقه زنی) به تعویق می‌افتد. از دیگر جنبه‌های کاربردی پوشش ضد حریق برای چوب، فلز، پلاستیک یا بتن است که توسعه آتش در مصالح به وسیله این نوع پوشش به تأخیر می‌افتد و مانع گسترش کنترل نشده آتش می‌شود.

در مورد جداره‌های شیشه‌ای نیز، فناوری نانو به بهبود عمل حفاظت در مقابل آتش (مقابله با آتش) کمک می‌کند.

دکوراسیون داخلی

در دکوراسیون داخلی، فناوری نانو برای هر نوع کارکردی، سطوح مناسب آن را ایجاد می‌کند. با استفاده از نانو ذرات اصلاح شده، پوشش‌های متنوعی را می‌توان تولید کرد، که به شرح زیر است.

- پوشش ضد گرد و غبار
- پوشش‌های آبگریز
- پوشش‌های ضد اثر انگشت
- پوشش‌های ضد خراش
- پوشش‌های آنتی باکتریال
- پوشش‌های چند منظوره

زیرساخت

افزایش عمر مفید و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات با منافع اقتصادی زیادی همراه خواهد بود. فناوری نانو، فرصتی را فراهم می‌کند تا نوآوری‌های جدید در بخش احداث جاده، پل و نیروگاه برق به وقوع بپیوندد.

با استفاده از نانوسیلیس در بتن، برخی مواد افزودنی قلیایی مضر برای محیط زیست منسوخ خواهد شد و بتن با کیفیت و مقاومت بهتری به وجود خواهد آمد. این روش برای اجرا در ساختمان نیز مورد تایید است. هم اکنون نانو سیلیس در ساخت بتن‌های مقاوم به اسید برای برج‌های خنک کننده نیروگاه نیز به کار گرفته شده که باعث بهبود ساختار و خواص شیمیایی بتن شده است. برای استفاده از بتن‌های مقاوم به اسید این بتن‌ها می‌توانند با هزینه معمول و پوشش‌های نگهدارنده آلی تولید شوند.

در **بتن الیافی**، مقاومت در برابر خوردگی افزایش یافته و انتقال نیرو و مقاومت اتصالات بین الیاف و ماتریس سیمان کاملاً افزایش می‌یابد. مقاومت ساختاری (مقاومت بار) و طول عمر این ترکیب با اثرات متفاوت پوشش به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. بدین ترتیب استفاده از آن در ساخت پل‌های دارای دهانه بزرگ، سالن‌ها، سازه‌های پوسته‌ای، ستون‌های متحمل بار زیاد و در زیر ساخت‌های سازه‌ای امکان می‌یابد.

مواد استعمال شاتکریت تقویتی با الیاف

شاتکریت الیافی در زمینه‌های تعمیر و مرمت شیب صخره‌ها، معادن، تونل‌ها، سدها، نیروگاه‌ها، پل‌های قوسی، پوشش نازک روی ساختارهای کتیبه‌ای شکل، سنگ غارهای زیرزمینی، مخازن نفت، بدنه کشتی، تثبیت ریزش خاک کوه کنار جاده، تعمیر سطوح ترک خورده بتن استفاده می‌شود.

تثبیت شیب دامنه‌ها

یکی از کاربردهای وسیع شاتکریت مسلح با الیاف در ژانویه ۱۹۷۴ میلادی در طول رودخانه مارپیچی در ایالت واشنگتن که سد کوچکی نزدیک رودخانه بود انجام شد. شاتکریت برای پایا ساختن یک قسمت خراب شده مربوط به شیب صخره بالای راه آهن (Camas prairie) استفاده شد که کار شامل سنجش، نصب کردن راک بلت‌ها و به کارگیری شاتکریت با حداقل ضخامت ۲/۵ اینچ (۶۳ میلیمتری) می‌شد.

کاربردهای زیرزمینی منتخب

در دسامبر ۱۹۷۲ شاتکریت الیافی، مسیری به طول ۴۰ فوت (۱۲ متر) در راهرو تونل اکتشافی معدن و در پایه کناری سد Rivie در Idaho استفاده شد. ضخامت ۳ اینچ (۷۷ میلی متر) بود و مقاومت خمشی ۳۴ روز مربوط به قطعه تیرها ۹۱۰ پوند بر اینچ مربع (۶/۳ مگاپاسکال) بود.

دستاوردهای جدید

تقویت شاتکریت با تقویت الیاف فولادی میکروسیلیس

پیشرفت‌های زیادی در تکنولوژی شاتکریت در سال‌های اخیر بوده است و تا از پراهمیت‌ترین استفاده از بخار سیلیس که در مخلوط ملاط سیمانی وارد شده و [الیاف فولادی](#) نیز استفاده می‌شود. بخار سیلیس یا [میکروسیلیس](#) یک محصول فرعی از صنعت فلز فراسیلیکون یک محصول فرعی از صنعت فلز فراسیلیکون است و یک پوزولان بسیار خوب است. پوزولان‌ها مواد سیمانی هستند که در طول آبدهی سیمان با هیدروکسید کلسیم واکنش می‌دهد. بخار سیلیس به مقدار زیاد در حدود ۸ تا ۱۳ درصد وزن سیمان اضافه شده و شاتکریت موجود دارای مقاومت فشاری دو یا سه برابر مخلوط‌های شاتکریت عادی است. این شاتکریت به شدت محکم، غیرقابل نفوذ و با دوام و پایدار است. مزایای دیگر این شاتکریت شامل کاهش خاصیت ارتجاعی، بهبود مقاومت خمشی، بهبود پیوستگی توده سنگ، قابلیت نگهداری لایه‌هایی تا حدود ۲۰۰ میلی‌متر ضخیم بعلت وجود چسبندگی شاتکریت است. هر چند، در موقعی که از شاتکریت تر استفاده می‌شود این چسبندگی [کارائی بتن](#) را کاهش می‌دهد که از مواد نرم کننده و افزودنی‌هایی برای بازسازی این کارائی بتن استفاده می‌شود.

الیاف پلی پروپیلن

الیافی که در شاتکریت استفاده می‌شوند طول آنها از ۵ تا ۲/۵ اینچ است. به طور معمول ۱ تا ۲ پوند از الیاف پلی پروپیلن در هر یارد مکعب از شاتکریت استفاده می‌شود. مزیت عمده این الیاف این است که انبساط و انقباض بتن ناشی از ترک را کنترل می‌کند. هنگامی که الیاف پلی پروپیلن استفاده شد خطر خاصیت ارتجاعی نیز کمتر شد. بیشترین طول مشخص شده متداول برای الیاف پلی پروپیلن ۱/۵ اینچ است. هر چند که الیاف بلندتر نیز مشکلی ندارند.

الیاف شیشه

الیاف شیشه‌ای از فلز زیرکونیم قلیایی با مقاومت که شیشه AR است ساخته می‌شوند. در الیاف شیشه‌ای برای تقویت از پشم شیشه استفاده می‌شود که در این حالت از ملاط سیمان پرتلند نباید استفاده شود. هنگامی که شیشه‌ای کوچکتر از ۰۰۰۲/۰ اینچ می‌شوند آنها معمولاً با هم اتصال داده می‌شود. در داخل اعضایی که قطر آنها ۰۰۰۵/۰ تا ۰۰۵/۰ اینچ است بر طول الیاف به طور نمونه ۱ تا ۲ اینچ است.

مقدار الیاف فولادی

طول الیاف فولادی در شاتکریت به طور نمونه ۱ اینچ و اما اغلب در حد فاصل ۱/۵ اینچ است. الیاف باید حداقل اینچ بیشتر از مقدار قطر بزرگترین مصالح دانه‌ای باشد. الیاف کوتاه‌تر به راحتی داخل سیستم پمپ می‌شوند. هرچند برای کارایی معادل نیاز خواهیم داشت. نسبت الیاف داخل شاتکریت بین ۵ تا ۲ درصد از حجم است.

روش جدید استفاده از الیاف فولادی دابل به صورت قلابی (لنگری شکل)

تغییر شکل‌پذیری بالا و معین شاتکریت از الزاماتی است که در تعمیر، نوسازی، تثبیت شیب‌ها، نگهداری زمین و صخره‌ها و نیز کاربردهای دیگر باید رعایت شود که در این صورت از الیاف فولادی در شاتکریت استفاده می‌شود که روز به روز در حالت ارتقا یافتن است. همچنین این ترقی به گونه‌ای است که احاطه آن استفاده از الیاف در شاتکریت و حتی استفاده آن را در فرآیند خشک با الیاف با خاصیت ارتجاعی زیاد را نیز در بر گرفته است اما بعلت فقدان تکنیک آزمایش استاندارد شده و نیز عدم فهم کامل از مکانیزم تقویت کردن در شاتکریت خشک کمتر استفاده می‌شود.

در زمینه خاصیت ارتجاعی، متأسفانه مواردی که برای کاهش خاصیت ارتجاعی نیاز است اغلب با مواردی برخورد می‌شود که باید سختی مواد مورد نیاز را بالا برد.

الیاف جدید از دو انکر دابل اصلی برگرفته شده است و برای هر دو حالت کاهش خاصیت ارتجاعی و نیز افزایش سختی در شاتکریت سفت و محکم شده بهینه‌سازی کرده است.

- شاتکریت، هنگامی که برای پوشش یا نگهداری سطح زمین استفاده می‌شود.
- اغلب در معرض خطر است که شامل حرکات شبه استاتیکی زمین و تغییر شکل‌های ناشی از دینامیک در زمین است که اغلب بسیار با اهمیت است.
- غالفگیر کننده نیست در مواردی که تغییر شکل مواد، سختی و انرژی جذبی اغلب در این شاتکریت‌های تقویتی با الیاف نسبت به شاتکریت‌های تقویتی با الیاف عادی بسیار بیشتر است.
- یکی از عوامل اصلی مربوط به روش شاتکریت خشک خاصیت ارتجاعی زیاد است. نزدیک به ۲۰ تا ۴۰ درصد از مواد و بالای ۷۵ درصد از الیاف ممکن است به علت خاصیت ارتجاعی از بین بروند.
- در جریان خاصیت ارتجاعی، خواص زیادی از الیاف از بین می‌رود و این اثر روی بتن می‌گذارد و در نتیجه زائد شده و از بین می‌رود.
- از بین رفتن الیاف بعلت این خاصیت ارتجاعی به این معنی قابل تعبیر است که خسارات عظیمی از جمله کاهش سختی، تغییر شکل پذیر و نیز مجموعه شکافی در ظرفیت باربری شاتکریت خواهد داشت.
- هنگامی که اثر خاصیت ارتجاعی بالا در شاتکریت خشک تأیید شد، با توجه به نظرات در مورد عوامل فوق، به این نتیجه رسید که مخلوطی طراحی شود (سیمان - مقدار بخار سیلیس یا Silica fume)، نسبت مصالح به سیمان و غیره و یا جابجایی متغیرها (فشار هوا و نیز حجم هوا - نوع نازل، فاصله یا جهت نازل و غیره) که در کنترل خاصیت ارتجاعی موثر باشد.
- در نوع الیاف، هر چند خاصیت ارتجاعی هر تار الیاف همیشه این شک را بوجود می‌آورد که شکل هندسی الیاف را در نظر می‌گیرند که تأثیر مثبت هندسه الیاف بر خاصیت ارتجاعی الیاف خوب درک نمی‌شود.

خاصیت ارتجاعی الیاف و کاهش آن

روشن است که میزان خاصیت ارتجاعی الیاف به طور جدی بر سختی آن اثر می‌گذارد که نتیجه آن این است که بر شاتکریت الیافی اثر کرده کاهش خاصیت ارتجاعی کلیدی است تا یک شاتکریت با سختی بسیار بالا داشته باشیم. برای یک طراحی معقول و منطقی شاتکریت از الیافی با هدف کاهش خاصیت ارتجاعی استفاده می‌شود.

مکانیزم‌های مهاربندی الیاف

جدیدترین تکنولوژی در طراحی الیاف به دو قسمت و گروه بزرگ با توجه به مکانیزم مهاربندی تقسیم می‌شوند. الیافی که به انکر ساکن تکیه دارند و الیافی که به انکر قلابی یا انکر کشیده شده (متحرک) تکیه دارند. انکرهای ساکن معمولاً از الیاف تغییر شکل یافته با یک قلاب یا مخروط مجاور که به انتهای هر کدام از آنها هستند تولید می‌شوند. در زیر تنش در یک ردیف الیاف (یعنی، در زیر تنش محوری) معمولاً انکری طراحی می‌شود تا در حداکثر مقاومت موجود در آن که در زیر مقاومت فولاد است گسیخته می‌شود.

هر چند این انکرهای ساکن بعد از گسیختگی یک حجم قابل ملاحظه‌ای از تغییر مکان کششی را برای پایداری کاهش می‌دهد. انکرهای قلابی یا کششی، از طرف دیگر، بطور کلی انتهای یک سری الیاف منظم کنار هم را طوری تشکیل می‌دهد تا در جریان کشش با یک اصطکاک زیادی شبکه‌ای از الیاف را به خارج از بتن می‌کشاند. این نوع از الیاف معمولاً با یک مقاومت کششی ماکسیمم پائین تر نسبت به انکر ساکن است. اما اثر آن در انتهای الیاف باعث پایداری تغییر مکان کششی زیاد می‌شود و بنابراین افزایش انرژی کششی در مرحله توسط انتها مصرف می‌شود

مزایای استفاده از شاتکریت تقویتی با الیاف چنگکی

- در هر دو حالت شاتکریت خشک و تر استفاده می‌تواند بشود.
- فضای کمتری نسبت به شبکه مش نیاز دارد.
- خاصیت ارتجاعی کمتر می‌شود.
- مصرف بتن در مدت کار کمتر است.
- کاهش نیروی انسانی
- بهبود مقاومت ترکیدگی صخره
- اطمینان بسیار بالا

الیاف تقویت شده اصلاحی در شاتکریت توصیف شده الیاف از دو انکر اصلی برگرفته شده است که هر دو انکر مرده و کششی در همان الیاف ترکیب شده است. انکر ساکن (مرده) در نتیجه تنش‌های نهایی تا قسمت رابط سست در الیاف شکسته و گسیخته می‌شود. این عامل سپس به انکر کششی هدایت می‌شود و بدون گسیختگی الیاف این انکر از طریق اصطکاک مقاومت کششی از خود نشان می‌دهد، انکر مرده نخست اطراف شکاف را استحکام می‌بخشد و انکر کششی ظرفیت کل جذب انرژی را بهبود می‌بخشد. همچنین الیاف برای کاهش خاصیت ارتجاعی در شاتکریت خشک متعادل می‌شوند و متناسب هستند. هنگامی که یک شاتکریت الیافی واقعی محقق می‌شود که خاصیت ارتجاعی کم و ترکیب با راه کار جدید انکرهای دابل باشد.

استفاده از شاتکریت الیافی به عنوان پوشش دائمی

امروزه در برخی از مناطق دنیا تحقیق برای استفاده از شاتکریت و بخصوص شاتکریت الیافی برای پوشش دائمی تونل‌ها در حال انجام است و حتی بعضی از تحقیقات به نتایج مناسبی رسیده است اجرای شاتکریت به عنوان پوشش دائمی علاوه بر اینکه نیاز به قالب بندی را از بین می‌برد. این امکان را به ما می‌دهد که بتوانیم تحکیمات دائمی تونل را در زمان حفاری انجام دهیم بدین ترتیب از نظر زمانی و اقتصادی بسیار به صرفه خواهد بود.

کاربرد الیاف فولادی در شاتکریت تر برای پوشش تونل‌ها

روش شاتکریت تر نسبت به شاتکریت خشک اهمیت بالایی از لحاظ خاصیت ارتجاعی و وضعیت کاری دارد. استفاده از [افزودنی‌های مختلف در بتن](#)، میکروسلیس، الیاف تقویت کننده، به اضافه بهبود روش عمومی، ممکن شده تا بتنی با ظرفیت مقاومتی بالا تولید شود. الیاف فولادی در شاتکریت تر در حدود ۴ سال قبل از نروژ مطرح شد و تاکنون بیشتر از ۵۰ درصد از شاتکریت بازار را از این الیاف استفاده می‌کنند.

نتایج آزمایش‌ها یک تجزیه مهمی در برداشت که نشان می‌داد الیاف فولادی (که حجم معمولی آن کمی بیشتر از ۱ درصد کل است) با موفقیت می‌توان جایگزین شبکه فلزی مش کرد که ضخامت پوشش آن تا میزان ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد و پوشش بگونه‌ای است که حداقل مقاومت تقریباً مساوی و شکل‌پذیری بیشتر می‌شود. استفاده از **بتن مسلح** با الیاف با یک مقاومت اولیه بالا توسط تجهیزات شاتکریت که کنترل شود بطور قابل ملاحظه‌ای تعلل در مورد شاتکریت را کاهش می‌دهد. استفاده از بتن مسلح با الیاف ۳ تا ۶ برابر بیشتر در پوشش در ضخامت یکنواخت انجام می‌گیرد. هر چند هزینه مواد در بتن تقویتی با الیاف در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد بالاتر از هزینه بتن با تقویت مش است محصول نهایی ۱۰ تا ۲۰ درصد ارزانتر در می‌آید. علاوه بر آن نیز شما در وقت هم صرفه جویی می‌کنید. استفاده از الیاف فولادی در شاتکریت در ترکیبا با راک بلت‌ها خیلی مناسب برای ترکیب موقتی و نگهداری نهایی است.

شاتکریت الیافی در پوشش موقت

در صخره‌های مشکل‌ساز یکی از قسمت‌های عملیات کار، نگهداری با سرعت است که معمولاً فعالیتی بحرانی است.

مزایای اساسی شاتکریت الیافی در حالت تو برای نگهداری موقت

- افزایش سرعت در عملیات (۱۰ تا ۱۴ مترمکعب در هر ساعت با دستگاه خودکار)
- تقویت (فولادگذاری) به سرعت انجام می‌گیرد و یک اثر تقویت هم سریع است.
- مشکلات با پوشش آرماتورها در شاتکریت از بین می‌رود.
- بتن تازه شامل الیاف قبل از پمپ کردن به طور کامل با هم ترکیب می‌شوند (ضریب آب به سیمان و مقدار الیاف ثابت هستند)
- شرایط کار بواسطه استفاده از دستگاه خودکار کنترل از راه دور در تمام مراحل مناسب و قابل اطمینان است.
- کاهش خاصیت ارتجاعی (۵ تا ۱۰ درصد)

یکی از نکات مهم در صخره‌های تونل نگهداری تونل به صورت پایداری و مداوم است. به این معنی که از جدا شدن یا ریزش سنگ‌ها جلوگیری کند. علاوه بر آن سرعت نگهداری شاتکریت الیافی حجم موردنیاز سنجیده شده را کاهش خواهد داد. در زمین‌های نامناسب در سطوح متقاطع فرضی به راحتی ساخته و نگهداری می‌شود.

هر جا که سرعت نگهداری بالاست در ابتدا مقاومتی بالا برای مخلوط باید مشخص شود. استفاده از **سیمان پرتلند** با سرعت سخت شدگی بالا، نرم کننده‌های سریع، مواد افزودنی به شاتکریت و دمای بتن هم ۲۰ تا ۳۰۰ درجه پیشنهاد شده است.

اختلاف زیادی بین شاتکریت عادی و مسلح به الیاف است که اثر پی‌آمد آن در شکل‌پذیری یا رفتار مشابه به شکل‌پذیریکه از گسترش ترک و بخش آن جلوگیری می‌کند. این نرمی بالا ظرفیت باربری را افزایش می‌دهد اما این در شروع بستگی زیادی به موقعیت بار و شرایط حدیدارد. نظریه تسلیم الاستیک و مدل‌های مواد غیر الاستیک (غیرخطی) و غیره باید در هنگام جستجو در ظرفیت باربری الیاف پوششی ترجیحاً تئوری الاستیته خطی استفاده گردد.

بطور کلی دوام بتن با کاهش نسبت آن به سیمان بهبود می‌یابد. استحکام سیمان‌های مخصوص با آب و مایعات بهتر می‌شود. بعنوان مثال ملات سیمانی با سولفات پایدار، روشی دیگر برای افزایش فزاینده دوام استفاده از میکروسیلیس است. زمانی که شاتکریت با مقاومت بالا نیاز باشد استفاده از میکروسیلیس نیاز است.

امروزه به رحال میکروسیلیس تقریباً در شاتکریت الیافی در حالت تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بتن با پودر لاستیک و خورده لاستیک

گسترش صنعت خودروسازی سبب شده تا وجود لاستیک‌های مستعمل به عنوان یکی از آلوده کننده‌های زیست محیطی در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار بگیرد. امکان دفع لاستیک‌های مستعمل در محیط زیست وجود ندارد زیرا تایر با سرعت بسیار کمی تجزیه می‌شود و آلودگی‌های بسیار زیادی تولید می‌کند. جدای از مشکلات زیست محیطی ایجاد کننده به علت عدم تجزیه، محیطی مناسب جهت رشد پشه‌ها را فراهم می‌کنند. بنابراین استفاده بهینه از این ضایعات به یک ضرورت در جهت

کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تبدیل شده است. این ضایعات را می‌توان در جهت بهبودی برخی از خواص مکانیکی بتن استفاده کرد.



در عصر حاضر، وجود مواد زاید حاصل از فرآیندهای مختلف فیزیکی و شیمیایی، یکی از معضلات مهم کشورهای صنعتی و در حال توسعه است. به طوری که تحقیقات وسیعی برای روش‌های بازیافت یا دفع آنها به حداقل رساندن آسیب‌های وارده به محیط زیست در حال اجرا است. در این راستا محققان ساختمان نیز همانند سایر صنایع تولیدی و بازیافت، در جهت استفاده این مواد زاید به پیشرفت‌هایی نائل شده‌اند. یکی از مواردی که به عنوان مواد غیر قابل بازیافت وارد محیط زیست می‌شود، لاستیک‌های مستعمل خودرو است.

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد لاستیک‌های مستعمل از موادی تشکیل شده‌اند که به دلیل عدم تجزیه آنها در شرایط معمول، سبب ایجاد آلودگی‌های محیط زیست می‌شوند. یکی از راه‌های تجزیه آنها سوختن است. اما گاز حاصل از سوختن، آلودگی‌های زیادی به دنبال دارد. براساس تحقیقات مورد صورت گرفته، یکی از راه‌های حذف این مواد استفاده از آنها در بتن است.

در اغلب کشورهای جهان هر ساله مقادیر بسیاری زیادی تایلر فرسوده دور انداخته می‌شوند. به طور مثال هر ساله در ایران بیش از ۱۰ میلیون تایلر فرسوده از دایره مصرف خارج می‌شود. عمدتاً ارزان‌ترین و ساده‌ترین راه تجزیه و متلاشی کردن تایلرهای ضایعاتی، سوزاندن آنها است. بدین سبب آلودگی و دود زیادی که بدین طریق ایجاد می‌شود غیر قابل قبول بوده و قانون برخی از کشورها سوزاندن آنها را ممنوع کرده‌اند. با این وجود راه حل معمول دیگر، انبار کردن آنها در زمین‌های بایر است. آن هم به طور غیر مستقیم، مشکلاتی مثل خطر آتش سوزی داشته و محل سکونت حشرات و حیوانات خواهد شد. بنابراین بازیافت تایلرهای فرسوده جهت استفاده در بتن، راهکار مناسبی برای نیل به دو هدف، دفع مواد زاید و دستیابی به خواص مثبت در بتن است.

همچنین با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای مسکن و به تبع آن [مصارح ساختمانی](#)، بازیافت تایلرهای فرسوده جهت استفاده در بتن و مصالح ساختمانی گامی موثر در این راستا است.

خواص لاستیک در بتن

اضافه کردن خرده‌های لاستیک در بتن باعث بهبود برخی از خصوصیات مکانیکی و دینامیکی بتن از قبیل جذب انرژی بیشتر بتن، امکان تغییر شکل بهتر و مقاومت در برابر ترک خوردگی می‌شود.

استفاده از لاستیک در بتن باعث بهبودی بسیاری از خصوصیات بتن از قبیل افزایش مقاومت در برابر صوت، حرارت نفوذ یون کلر، بارهای ضربه‌ای، سیکل ذوب و یخ، لغزش، سایش و ترک خوردگی می‌شود. همچنین این گونه بتن‌ها سبکتر، انعطاف پذیرتر و قابلیت جذب انرژی آنها بالا است.

با افزایش محتوای لاستیکی، مقاومت فشاری بتن به صورت سینماتیک کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه دیگر این است که مقاومت فشاری در بتن، با افزودن درشت دانه لاستیکی بیش از ریز دانه لاستیکی کاهش می‌یابد.

محققین سه دلیل برای کاهش مقاومت در مخلوط‌های بتنی حاوی لاستیک ارائه کرده‌اند.

۱. از آنجا که دانه‌های لاستیکی قابلیت ارتجاعی بیشتری نسبت به خمیر سیمان محاط به آن دارند. در حین بار گذاری، ترک‌ها ابتدا در اطراف دانه‌های لاستیکی در مخلوط ایجاد می‌شوند که باعث شتاب دادن به گسیختگی ماتریس سیمان - لاستیک می‌شود.

۲. به دلیل فقدان چسبندگی بین دانه‌های لاستیکی و خمیر سیمان، دانه‌های لاستیکی نرم را می‌توان به صورت حفره‌هایی در مخلوط بتن فرض کرد. این افزایش حفرات در بتن باعث کاهش در مقاومت می‌شود.

۳. مقاومت بتن معمولی به میزان زیادی وابسته به نوع سنگدانه‌ها، دانسیته، ابعاد و سختی سنگ دانه‌ها است. از آنجا که سنگ دانه‌ها با دانه‌های لاستیکی جایگزین شده‌اند، کاهش در مقاومت فشاری طبیعی به نظر می‌رسد. تحقیقات نشان می‌دهد که اگر دانه‌های لاستیکی سطح خشن‌تری داشته باشند یا پیش عمل آوری روی آنها انجام شود، چسبندگی بهتری بین آنها با مخلوط بتنی ایجاد می‌شود و بنابراین ممکن است منجر به ایجاد مقاومت فشاری بالاتری شود پیش عمل آوری می‌تواند از شستن دانه‌های لاستیکی با آب یا اسید یا غیره باشد. بتن حاوی لاستیک ریز شده به علت ایجاد پل بین دو سطح شکسته شده از دو نیم شدن تحت شکست خمشی جلوگیری می‌کند. حجم لاستیک در مخلوط، خطر پوسته شدن ناگهانی بتن با مقاومت بالا را در دماهای زیاد کاهش می‌دهد. زیرا بخار آب از طریق مجراهایی که در اثر سوختن ذرات پلیمری ایجاد می‌شود، از بتن خارج شده، همچنین افزایش درصد لاستیک باعث کاهش عمق نفوذ دما در بتن می‌شود.

شاتکریت خشک

در این روش سنگدانه‌ها با سیمان ترکیب شده (حداکثر مقدار آب در ترکیب اولیه حدود ۵٪ بوده که به منظور جلوگیری از ایجاد گرد و غبار با مصالح ترکیب می‌شود) و به وسیله دستگاهی موسوم به پمپ [شاتکریت](#) توسط هوای فشرده به داخل لوله‌های لاستیکی پمپ شده و از طریق افشانه به سطح مورد نظر پاشیده می‌شود آب مورد نیاز مخلوط در افشانه (نازل) با فشار حدود ۱۰ تا ۱۵ بار به مخلوط اضافه می‌شود.

امروزه روش خشک با استفاده از تجارب علمی و روش‌ها و ماشین آلات جدید به حد قابل قبولی از کیفیت و اقتصاد رسیده است این روش که از ابتدای ابداع شاتکریت مرسوم بوده است با توجه به دستگاه‌های اجرایی کوچک و عدم نیاز به تراکم‌بکسر و ماشین‌های حمل بتن انتظار می‌رود در آینده نیز نقش اساسی را در تحکیمات حفاری‌ها به عهده داشته باشد در این روش انتقال مصالح و نگهداری مصالح خشک به صورت طولانی مدت امکانپذیر بوده و امکان پمپ کردن مصالح از محل دستگاه تا ارتفاع ۱۰۰ متر و طول ۳۰۰ متر وجود دارد این فواصل تقریباً ۱۰ برابر فواصل پمپ کردن در روش تر که متعاقباً شرح داده خواهد شد، است. در فرآیند شاتکریت ترکیبی خشک مواد ترکیبی شامل (سیمان، مصالح دانه‌ای و سنگی و مواد افزودنی) پمپاژ می‌شوند و به داخل یک مجرای حامل در حالت خشک و آب نیز درست در قسمت دهانک نازل قبل از پرتاب شدن روی سطح مهیا شده مخلوط و اضافه می‌شود.



اشکالات روش خشک

یکی از مشکلات روش خشک فرسایش بوش‌ها، واشرهای لاستیکی و قطعات تحت اصطکاک است. مسئله دیگر تولید گرد و غبار زیاد است که با توجه به فضاهای بسته زیرزمینی مشکلات زیادی را در بر دارد برای مقابله با گرد و غبار با افزایش فشار آب تا ۸۰ بار به نتایج مناسبی دست یافته‌اند که تامین این فشار هزینه زیادی را در بر خواهد داشت یکی دیگر از مشکلات روش خشک پس ریز زیاد مصالح در حدود ۱۵ تا ۳۵ درصد است.

آب انداختگی بتن

آب انداختن بتن در حقیقت نوعی جدایی در بتن است که در آن قسمتی از آب مخلوط به بالا و سطح بتن آمده و از دانه‌ها جدا می‌شود. در حقیقت علت آن عدم توانایی ذرات جامد در نگهداشتن همه آب مخلوط بین خود و جلوگیری از ته نشین شدن آنها است.

در اثر آب انداختن بتن لایه بالای بتن بسیار پرآب شده و با ریختن لایه بعدی بتن بر روی آن و محبوس شدن این آب اضافی، لایه‌ای بسیار ضعیف و متخلخل و کم دوام از بتن بین هر دو لایه ایجاد می‌شود. در صورت مخلوط کردن مجدد این آب اضافی سطحی به هنگام پرداخت بتن، لایه سطحی کم مقاومتی در مقابل سایش ایجاد می‌شود. برای اجتناب از این مسأله می‌توان عمل پرداخت بتن را با تبخیر آب رو زده به تأخیر انداخت. همچنین استفاده از تخته ماله نیز جهت تحریک کمتر سطح مناسب است. از طرف دیگر اگر سرعت تبخیر آب سطحی بتن بیش از سرعت آب انداختن آن باشد. [ترک‌های جمع شدگی پلاستیک](#) بوجود خواهد آمد.

علاوه بر جمع شدن آب در سطح بتن، مقداری از آب بالا آمده نیز در زیر سنگدانه‌های درشت و یا زیر آرماتور محبوس شده و ناحیه‌ای از چسبندگی بسیار ضعیف را ایجاد می‌کند. جنس آبی از خود فضاهای خالی بجای گذاشته و چون این فضاها در یک جهت قرار می‌گیرند. در نتیجه نفوذپذیری بتن در صفحه افقی افزایش می‌یابد. به هر حال در بتن تعداد حفره‌های بتن بخصوص در دال‌های نازک و روسازی‌های خطر یخبندان بتن را تشدید می‌کند.

آب انداختن بتن لزوماً عملی زیانبار نیست. اگر این عمل درست نخورده بماند (و آب بخار شود) نسبت آب به سیمان مؤثر مخلوط پایین آمده و مقاومت افزایش می‌یابد. اما در صورتی که آب بالا آمده به همراه خود مقدار قابل توجهی ذرات ریز سیمان را به بالای سطح بتن بیاورد. لایه‌ای از شیر به بتن روی سطح تشکیل می‌شود. این لایه در بالای دال یک سطح کاملاً متخلخل و کم مقاومت در مقابل سایش پدید می‌آورد. همچنین در بالای هر قسمت بتن ریزی شده این سطح ضعیف تشکیل می‌شود که چسبندگی آن با لایه بسیار بالا بسیار کم خواهد بود. به همین دلیل همواره باید شیر به فوق با برس زدن و شستن از سطح بتن پاک شود.

اگر چه آب انداختن به میزان آب مخلوط بستگ دارد لیکن تا حد زیادی به خواص سیمان نیز وابسته است. آب انداختن بتن با ریزتر شدن سیمان کاهش می‌یابد و پاره‌ای از واکنش‌های سیمان را نیز در آن اثر می‌گذارند. بعنوان مثال سیمانی با خاصیت قلیایی بالا، آب انداختن را کاهش می‌دهد. همچنین بالا رفتن در سیمان و یا اضافه کردن کلورور کلسیم به سیمان محدوده طبیعی

دمای بالاتر سرعت آب انداختن ز را زیاد می کند ولی کل ظرفیت آب انداختن بتن بی تغییر باقی می ماند. مخلوط های پر عیار نیست به مخلوط های کم عیار خطر آب انداختن کمتری دارند اضافه کردن مواد پوزولانی و یا پودر آلومینیوم این خطر را کاهش می دهد اضافه کردن [مواد هوازا](#) خطر آب انداختن را کم کرده و می توان پرداخت بتن را بعد از ریختن آب بدون تأخیر انجام داد.



انواع آب انداختگی

آب انداختگی به دو شکل در بتن اتفاق می افتد.

آب انداختگی نرمال

آب انداختگی بصورت یکنواخت در تمام سطح اتفاق می افتد که معمولاً در مقاطع با عمق کم تر رخ می دهد مانند دال، سقف و ... (در این نوع آب انداختگی ذرات سیمان، ذرات ریز ماسه به همراه آب در سطح بتن بصورت یکنواخت جمع می شود و تفاوت رنگ با بتن اصلی به دلیل پخش یکنواخت قابل تشخیص نمی باشد).

آب انداختگی کانالی

آب انداختگی در حال افزایش (به صورت چشمه) در مسیرهای خاص که معمولاً در مقاطع با عمق بیشتر مانند دیوار، پی ها و ... (در این نوع آب انداختگی ذرات سیمان، ذرات ریز ماسه به همراه آب در سطح بتن با یک رنگ متفاوت و به صورت چشمه ای جمع می شود).

در حقیقت آب انداختگی در بتن به علت عدم توانایی ذرات جامد در نگه داشتن همه آب مخلوط بین خود و جلوگیری از ته نشین شدن آنها است و معمولاً بعد از سخت شدن بتن متوقف می شود. عامل اصلی در نرخ آب انداختگی بتن نسبت آب به سیمان است و با بالاتر رفتن آن میزان آب انداختن بتن افزایش می یابد. همچنین نوع سیمان و میزان ریزدانه های بتن (فیلر) نیز روی نرخ آب انداختگی تاثیر دارند. بتن با سیمان ریزتر و فیلر مناسب نرخ آب انداختگی کمتری خواهد داشت. همچنین نرخ آب انداختگی بتن به ارتفاع بتن (فشار بتن) نیز ارتباط مستقیمی دارد و با افزایش ارتفاع، نرخ آب انداختگی افزایش می یابد. آب انداختگی بتن لزوماً عملی زیانبار نیست و اگر این عمل دست نخورده بماند و آب سطحی بخار شود، نسبت آب به سیمان موثر مخلوط پایین می آید و مقاومت افزایش می یابد. ولی لایه سطحی را سست می کند و مقاومت سایشی را پایین می آورد. همچنین بخشی از آب در هنگام بالا آمدن در زیر سنگدانه های درشت محبوس شده و چسبندگی سنگدانه به خمیر سیمان را کاهش می دهد و چون این فضاها در یک جهت قرار می گیرند، نفوذپذیری بتن را در صفحه افقی افزایش می دهد.

راه جلوگیری از آب انداختگی بتن

آب انداختن امری نامطلوب نیست و به خود نگهداری از بتن منجر می شود اما در صورت عدم توجه به روش صحیح پرداخت سطح بتن می تواند مشکلزا باشد. در جداول بتنی معمولاً این امر مشکل جدی بوجود نمی آورد. به هر حال با کاهش استعداد آب انداختن بتن می توان به نتیجه رسید ولی کم کردن شدید آب انداختن ممکن است در شرایطی که هوا گرم و خشک است و باد می وزد، ترک های سطحی را افزایش دهد.

دلایل ترک در بتن

به طور کلی، **ترک در بتن** علل زیادی دارند. ترک ممکن است فقط ظاهری باشد یا نشانه‌ای از یک تنش سازه‌ای مهم یا فقدان مقاومت و دوام سازه. ممکن است وسعت خرابی را نشان دهد یا نشانه حجم بیشتری از مشکلات باشد. اهمیت آنها بستگی به نوع سازه و نوع ترک خوردگی دارد. انواع ترک‌هایی که برای سازه‌های ساختمانی قابل قبول هستند، برای سازه‌های دیوار حائل آبی قابل قبول نیستند. تعمیر مناسب ترک‌ها بستگی به دانستن علت ترک‌ها و انتخاب مراحل تعمیر متناسب با این علت‌ها دارد و گرنه ترک‌ها ممکن است موقت و زودگذر باشند.

ترک‌ها ممکن است در بتن نرم و خمیری روی دهد یا در بتن سخت. ترک‌های بتن نرم به دلیل افت بتن و ترک‌های ناشی از نشست رخ می‌دهد و بعد از سخت شدن ترک‌های جمع شدگی بتن خشک روی می‌دهد. در انتخاب روش تعمیر ترک علاوه بر توجه به علت و وسعت ترک برداری، باید به وضعیت فعلی ترک در بتن هم توجه کرد. در غیر این صورت چه بسا روش تعمیری نامناسب و در نتیجه نامؤثر انتخاب شود. انتخاب روش تعمیر نه تنها از علت و وسعت ترک، بلکه از محل و شرایط محیطی حضور ترک در بتن نیز تأثیر می‌پذیرد.

باید به امکان وجود رطوبت، آب یا مواد آلوده کننده در درون ترک توجه داشت معمولاً روش‌های تعمیر ترک در بتن باعث ناپدید شدن ترک‌ها نمی‌شوند و در جایی که زیبایی اهمیت دارد، ظاهر قابل رؤیت بخش تعمیر شده بایستی ارزیابی شود. استفاده از اندودهای مناسب برای تمام سطح بعد از تمام شدن تعمیر معمولاً ظاهر قابل رؤیت را مناسب خواهد کرد.

انواع ترک در سطوح بتن

بتن، مانند دیگر **مصالح ساختمانی** با تغییرات موجود در رطوبت و درجه حرارت، انقباض و انبساط می‌یابد و با توجه به بار وارده و شرایط نگهداری، تغییر شکل می‌دهد. زمانی که تمهیداتی برای این حرکات در طراحی و اجرا فراهم نشود، آنگاه ترک‌ها ایجاد می‌شود. برخی انواع ترک در بتن معمولی عبارتند از: ترک خمیری، ترکیدگی ناشی از جمع شدگی پلاستیک، ترک‌های جمع شدگی ناشی از خشک شدن، ترک‌های حرارتی سنین اولیه، جمع شدگی ناشی از کرناتاسیون، ترک‌های ناشی از اتصال ناصحیح، ترک‌های ناشی از قیود خارجی پیوسته (مثلاً دیوار درجا ریخته شده مقید در امتداد لبه تحتانی بر روی پی نواری)، ترک‌های کف زیرزمین، ترک‌های موازی لبه قطعات صفحه‌ای ناشی از انجماد و آب شدگی و ترک‌های پوست ماری.

ترک پلاستیک بتن

افزایش دما و تسریع تبخیر آب، تأثیر مستقیمی بر سطوح و مقاطع بتنی دارد. به صورتی که سبب ترک‌هایی در سطح و مقطع بتنی می‌شود. با در نظر گرفتن برخی تمهیدات می‌توان مانع این نوع ترک خوردگی‌ها شد. با توجه به این نکته که کشور ما در زمره کشورهای گرمسیر است و همواره با گرم شدن و افزایش میانگین دمای هوا، تبخیر آب نیز افزایش می‌یابد، ترک‌هایی در برخی بناها ایجاد می‌شود که به آن ترک‌های پلاستیک می‌گویند و باعث ایجاد ترس و شبهه در میان سازندگان و مالکین ساختمان‌ها می‌شود.

این در حالی است که این ترک‌ها لزوماً دلیلی بر بی کیفیت بودن بتن نیست و با انجام برخی اقدامات پیشگیرانه می‌توان مانع بروز این گونه ترک خوردگی‌ها شد.

برخی از اقداماتی که مانع ترک خوردگی بتن می‌شود.

- آبرسانی مستمر و مرطوب نگهداشتن سطح بتن
- ساختن بتن بر اساس رده مقاومتی مناسب
- کاهش دمای میلگرد و اجزای فلزی استفاده شده در بتن
- همچنین به حداقل رساندن زمان بتن ریزی،

استفاده از سایه بان و باد شکن‌ها در ساختمان‌های بلند، می‌تواند مانع از این گونه ترک‌ها شود.

روان کننده بتن

روان کننده بتن، ماده‌ای جهت افزودن به بتن است. بتن پس از اختلاط با این ماده، دارای نوعی نیروی دافعه میان ذرات سیمان می‌شود. این نیرو در اثر نوعی بار الکتریکی که حاصل افزودن بتن است به وجود می‌آید. در نتیجه‌ی آن، بتن حالتی نرم پیدا می‌کند.

افزودنی‌های کاهنده آب یکی از پرکاربردترین افزودنی‌های مورد استفاده در بتن هستند. روان کننده بتن، برای کاهش آب اختلاط در اسلامپ ثابت، ساخت بتنی با مقاومت بیشتر، دستیابی به مقاومت ثابت در [عیار سیمان](#) کمتر و یا افزایش اسلامپ بتن بدون نیاز به اضافه کردن آب به مخلوط بتنی استفاده می‌شود. این افزودنی‌ها موجب بهبود خواص سخت شده بتن و به خصوص افزایش مقاومت و دوام آن می‌شوند. همچنین با توجه به امکان کاهش عیار سیمان، استفاده از این افزودنی‌ها در بتن ریزی حجیم و [بتن ریزی در هوای گرم](#) برای کاهش گرمای هیدراتاسیون بسیار مناسب است. در صورت استفاده از این افزودنی‌ها در مخلوط بتنی بدون تغییر مقدار آب اختلاط، این افزودنی‌ها به عنوان روان کننده بتن عمل کرده که این ویژگی به بتن ریزی در سازه‌ای با تراکم آرماتور زیاد کمک کرده و عملیات تراکم را ساده تر می‌کند.

دسته اصلی مواد و ترکیبات روان کننده های بتن

- اسیدهای لیگنو سولفونیک (Lignosulphonic Acids) و نمک‌های آنها
- فرمول‌های اصلاح شده و مشتقات اسیدهای لیگنوسولفونیک و نمک‌های آنها
- اسیدهای کربوکسیلیک و هیدروکسیلات (Carboxylic Acids.Hydroxylated) و نمک‌های آنها
- فرمول‌های اصلاح شده و مشتقات اسید کربوکسیلیک، هیدرواکسیلات و نمک‌های آنها
- مواد دیگر شامل نمک‌های روی، فسفات‌ها، کلریدها، کربوهیدرات‌ها، پلی ساکاریدها، اسیدهای قند، بعضی از مواد پلیمری مانند مشتقات ملامین، مشتقات نفتالین و غیره.

مکانیزم عمل افزودنی‌های روان کننده

زمانی که [سیمان پرتلند](#) با آب مخلوط می‌شود، به علت کم بودن نیروی دافعه بین ذرات سیمان، این ذرات به هم چسبیده و کلوخه‌هایی را تشکیل می‌دهند. در حضور روان کننده بتن، کلوخه‌های شکل گرفته باز شده و ذرات سیمان به صورت تقریباً مجزا پراکنده می‌شوند. کاهش نیروهای جذب کننده بین ذرات سیمان اجازه حرکت بیشتری را به آنها می‌دهد. مکانیزم‌های مختلفی از قبیل جذب مولکول‌های آلی در لایه‌های مختلف، ایجاد غلافی از مولکول‌های آب، آزاد شدن آب بین ذرات سیمان، ایجاد تاخیر در فرآیند هیدراتاسیون سیمان و تغییر مورفولوژی، در توضیح اثر روان کنندگی افزودنی‌های کاهنده آب در نسبت آب به سیمان ثابت مطرح شده است.

انواع روان کننده‌های بتن

لیگنوسولفونات‌ها در روان کننده بتن

به طور کلی افزودنی‌های کاهنده آب بر پایه لیگنوسولفونات، مقدار مشخصی از هوا را به بتن اضافه می‌کنند. این ویژگی برای افزایش چسبندگی بتن‌های کم عیار و بتن‌های با ماسه زبر و دانه بندی نامناسب مطلوب است. با این وجود استفاده همزمان از یک افزودنی حباب ساز با روان کننده بتن و افزودن آن‌ها به طرح مخلوط به طور جداگانه تا زمانی که مقدار هوای مورد نیاز در بتن تامین شود، مطلوب‌تر خواهد بود. جهت کاهش مقدار هوای وارد شده در بتن، مقدار مشخصی از عامل ضد کف در فرآیند تولید افزودنی‌های کاهنده آب تجاری با پایه لیگنوسولفونات به آنها افزوده می‌شود. تریبوتیل فسفات، دی بوتیل فتالات، استرهای بورات و مشتقات سیلیکون با مقادیر حدود یک در صد لیگنوسولفونات برای این منظور استفاده می‌شوند. با توجه به قیمت مناسب لیگنوسولفونات، علاقه به استفاده از این ترکیب، حتی در زمینه ساخت افزودنی‌های فوق روان کننده، همواره وجود داشته است. لیگنوسولفونات‌های اصلاح شده که از طریق انجام فرآیندهای فیلتراسیون، شکر زدایی و یا سولفوناتاسیون به دست می‌آیند قابلیت رقابت با افزودنی‌های بر پایه سولفونات ملامین و سولفونات نفتالین را دارا هستند.

هیدروکسی کربوکسیلیک اسیدها

عموماً این ترکیبات به صورت مصنوعی ساخته شده و از آنجا که به عنوان ماده اولیه در صنایع دارویی و غذایی استفاده می‌شوند دارای درجه خلوص بالایی هستند. با این وجود می‌توان هیدروکسی کربوکسیلیک اسیدهای الیفاتیک را از تخمیر و اکسیداسیون کربوهیدرات‌ها تولید کرد و به همین دلیل به آن‌ها اسیدهای شکر نیز گفته می‌شود. هیدروکسی کربوکسیلیک اسیدها می‌توانند به تنهایی به عنوان کندگیر کننده و یا افزودنی‌های کاهنده آب کندگیر مورد استفاده قرار بگیرند. برای استفاده به عنوان روان کننده بتن معمولی یا تند گیر کننده، این ترکیبات باید همانند افزودنی‌های کاهنده آب با پایه لیگنوسولفونات، با یک افزودنی تندگیر کننده ترکیب شوند.

افزودنی‌های روان کننده بتن تند گیر کننده

معمولاً برای کاهش اثر دیر کنندگی روان کننده بتن، مقادیر مشخصی از تندگیر کننده در این افزودنی‌ها وجود دارند. عوامل تندگیر کننده غیر کلریدی برای تولید افزودنی‌های کاهنده آب استفاده می‌شوند. این افزودنی‌ها باعث کاهش زمان گیرش بتن می‌شوند. میزان تسریع در زمان گیرش بسته به نوع افزودنی، دمای محیط و نوع سیمان به کار رفته متفاوت است. در ساخت و سازهایی نظیر ساخت قطعات پیش ساخته، کانال‌ها و پوشش تونل‌ها که قالب‌های بتن پیش از ۲۴ ساعت بعد از بتن ریزی باز می‌شوند، مقاومت کسب شده توسط بتن در سنین اولیه (مثلاً در ۱۲ یا ۲۴ ساعت) حائز اهمیت زیادی است. این مساله مستلزم تسریع زمان گیرش بتن برای کسب مقاومت کافی در سنین اولیه، برای امکان پذیر بودن باز کردن قالب‌ها و حمل و نقل قطعات بتنی است. همچنین برای بهبود عملیات پرداخت دال‌های بتنی، استفاده از روان کننده بتن تندگیر کننده به خصوص در بتن ریزی در هوای سرد بسیار سودمند است.

تأثیر روان کننده بر بتن در حالت تازه و خمیری

کاهش آب با روان کننده بتن

استفاده از افزودنی‌های کاهنده آب موجب کاهش مقدار آب اختلاط در اسلامپ ثابت می‌شود. کاهش مقدار آب اختلاط موجب افزایش مقاومت یا کاهش جمع شدگی و عیار سیمان می‌شود. این مقدار کاهش آب اختلاط به عوامل مختلفی مانند نوع افزودنی مورد استفاده، نحوه اضافه کردن افزودنی، میزان اسلامپ و نسبت آب به سیمان، نوع سیمان، عیار سیمان، نوع سنگدانه‌ها، نوع و میزان استفاده از افزونه‌ها مانند روباره و خاکستر بادی و نیز مقدار هوا بستگی دارد.

افزایش کارایی

در مقدار آب ثابت، اضافه کردن روان کننده بتن موجب افزایش کارایی بتن می‌شود. تأثیر روان کننده بتن در اسلامپ‌های بیشتر، بیش از تأثیر این افزودنی‌ها بر بتن‌های با اسلامپ کمتر (مقدار آب کمتر) بوده است. با این وجود آزمایش اسلامپ به تنهایی معیار مناسبی برای سنجش کارایی مخلوط بتن نیست. استفاده از رئومتر در تعیین کارایی، قابلیت جریان و ویسکوزیته مخلوط‌های بتنی سودمند است.

گیرش

یکی از تأثیرات اصلی افزودنی‌های کاهنده آب و مشتقات آن تأثیر بر زمان گیرش بتن است. انواع مختلف افزودنی‌های کاهنده آب بسته به نوع افزودنی تأثیر متفاوتی بر گیرش بتن دارند.

افت اسلامپ

بیشتر روان کننده بتن، کندگیر کننده نیز هستند و زمان موجود برای عملیات تراکم را افزایش می‌دهند. به همین علت، می‌توان خاصیت کاهش افت اسلامپ را برای این افزودنی‌ها قائل شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزودنی‌های کاهنده آب و کندگیر کننده‌ها به طور کلی مشکلی بر روند افت اسلامپ بتن ایجاد نمی‌کند. با این وجود استفاده از افزودنی میزان افت اسلامپ را افزایش می‌دهد. در هنگام بررسی این نتایج باید بین استفاده از افزودنی در نسبت آب به سیمان ثابت و استفاده از افزودنی در اسلامپ ثابت تفاوت قائل شد. با وجود اینکه میزان افت اسلامپ در بتن‌های حاوی افزودنی بیش از بتن‌های بدون افزودنی بوده اما اسلامپ این بتن‌ها حتی بعد از ۲ ساعت بیشتر از بتن‌های بدون افزودنی بوده است.

مستقل از مکانیزم شیمیایی که باعث افزایش میزان افت اسلامپ در حضور افزودنی می‌شود، تاخیر چند دقیقه‌ای در زمان اضافه کردن افزودنی پس از اختلاط یا اضافه کردن مقدار بیشتری از افزودنی پس از کاهش کارایی، می‌تواند در موارد اجرایی مشکل افت اسلامپ بتن را، حداقل تا زمانی که اقدامات دیگری انجام شود، کاهش داده یا به طور کامل برطرف کند. روش‌های دیگر شامل تغییر تیپ سیمان یا کارخانه تولید کننده آن، تغییر نوع و یا مقدار افزودنی مورد استفاده و کاهش دمای بتن است.

مقاومت فشاری روان کننده بتن

کاهش آب اختلاط در اثر استفاده از روان کننده بتن موجب افزایش قابل توجه مقاومت ۲۸ روزه می‌شود. به طور کلی افزایش مقاومت حاصل در اثر استفاده از افزودنی کاهنده آب بیش از افزایشی است که از کاهش نسبت آب به سیمان انتظار می‌رود. به عبارت دیگر حتی با ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان، استفاده از مواد روان کننده بتن باعث بهبود مقاومت فشاری بتن می‌شود. این مساله بیشتر به علت تغییراتی است که افزودنی‌های کاهنده آب در ریز ساختار خمیر سیمان ایجاد می‌کند و باعث می‌شوند از سیمان به صورت بهیته‌تری استفاده شود.

تخلخل

تاثیر افزودنی‌های کاهنده آب بر تخلخل خمیر سیمان یا ملات به درجه هیدراتاسیون و نسبت آب به سیمان بستگی دارد. در سنن بیشتر، در صورتی که استفاده از افزودنی تاثیر چندانی بر درجه هیدراتاسیون نگذاشته باشد، با کاهش نسبت آب به سیمان تخلخل خمیر سیمان کاهش می‌یابد. بنابراین فاز ملات بتن شاهد و بتن حاوی افزودنی که در آن هم عیار سیمان و هم مقدار آب اختلاط کاهش یافته و نسبت آب به سیمان ثابت مانده، دارای تخلخل و توزیع اندازه حفرات مشابهی است. در نسبت آب به سیمان ثابت، استفاده از افزودنی به میزان کمتری بر تخلخل و توزیع اندازه خلل و فرج تاثیر می‌گذارد.

مقاومت در برابر ذوب و یخ

به طور کلی مقاومت در برابر ذوب و یخ تابعی از مقدار هوای عمدی، نحوه توزیع حباب‌های هوا در خمیر سیمان و درجه اشباع خمیر سیمان و سنگدانه‌ها است. کاهش نسبت آب به سیمان یا افزایش کارایی بتن در اثر استفاده از روان کننده بتن، می‌تواند بر ماتریس خمیر سیمان و یا بر توزیع حباب‌های هوا تاثیر بگذارد. استفاده از روان کننده بتن بدون استفاده از عوامل حباب ساز برای تامین مقاومت در برابر یخ زدن بتن کافی نیست.

مقاومت در برابر کلر و خوردگی آرماتور

حضور یون‌های کلر می‌تواند موجب [خوردگی آرماتورها](#) در بتن‌های مسلح و به ویژه در [بتن‌های پیش تنیده](#) شود. ورود یون‌های کلراید به داخل بتن می‌تواند از طریق اجزای سازنده بتن شامل افزودنی‌های مورد استفاده و همچنین از طریق قرار گرفتن در معرض این یون‌ها باشد. در مورد اول مقدار کل کلر موجود در بتن باید کمتر از مقادیر مشخص شده در ACI 318 باشد. در چنین شرایطی بر اساس مقدار کلر موجود در ترکیبات سازنده بتن، کلر موجود در افزودنی‌های کاهنده آب و تندگیر کننده باید بسیار کم و یا تقریباً در حد صفر باشد.

استفاده از روان کننده بتن نفوذپذیری بتن را کاهش می‌دهند و مقاومت بتن را در برابر حملات کلریدی افزایش می‌بخشند. بنابر این به دلیل کاهش نفوذپذیری در اثر استفاده از روان کننده بتن، بخصوص در شرایطی که مصالح در دسترس دارای مقادیری از کلر هستند، می‌توان مقدار کلر اولیه را کمی بیشتر در نظر گرفت.

تاثیر بر دوام بتن

دوام بتن نیز مانند سایر پارامترها به واسطه استفاده از مواد افزودنی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مقاومت در برابر پدیده ذوب و یخ، معمولاً به عنوان معیاری برای سنجش دوام بتن محسوب می‌شود. با این وجود، دوام بتن در واقع مقاومت بتن در برابر عوامل مهاجم شامل حملات سولفاته و کلراید نیز است.

جمع شدگی خمیری

کندگیر کننده‌ها و افزودنی‌های کاهنده آب کندگیر می‌توانند با تاخیر در زمان گیرش موجب تشدید جمع شدگی خمیری شوند، مگر در صورتی که از کاهش رطوبت بتن جلوگیری شود. در مواقعی که جمع شدگی پلاستیک علت [ترک خوردن بتن](#) است، استفاده از این افزودنی‌ها مشکل ترک خوردگی را افزایش می‌دهد. تنها در صورتی که سرعت زیاد هیدراتاسیون سیمان علت تشکیل ترک باشد کندگیر کننده‌ها و افزودنی‌های کاهنده آب کندگیر قادر خواهند بود تا مشکل ترک خوردگی را رفع نمایند. اهداف استفاده از افزودنی‌های بتن، کاهش دهنده آب

- برای افزایش کارپذیری بدون افزایش مقدار آب یا کاهش مقدار آب با ثابت نگهداشتن کارپذیری.
- برای کاهش یا ممانعت از نشست (Settlement).
- برای اصلاح نرخ یا ظرفیت آب آوری یا هر دو.
- برای کاهش جداسازی دانه‌ها.
- برای بهبود بخشیدن به قابلیت پمپ شدن.
- برای تسریع نرخ کسب مقاومت.
- برای افزایش دوام.
- برای کاهش نفوذ پذیری.
- برای افزایش چسبندگی بتن به آرماتورهای فولادی

اثر روان کننده‌های بتن روی بتن سخت شده

مقاومت الکتریکی

- کاهش مقدار آب ناشی از بکار بردن روان کننده‌ها سبب افزایش مقاومت ۲۸ روزه ملات و بتن می‌شود. با ثابت نگهداشتن کارپذیری مقاومت بین ۲ تا ۲۰ درصد و گاه تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد.
- ممکن است مقاومت ۲۴ ساعته در اثر خاصیت به تاخیر انداختن گیرش بعضی از روان کننده‌های بتن کاهش یابد، اما در موارد دیگر افزایش در سرعت گیرش و کسب مقاومت مشاهده شده است.
- کسب مقاومت با لیگنو سولفونات کلسیم برای ملات ساخته شده از سیمان پرتلند بسیار چشمگیر ولی برای [سیمان‌های پوزولانی](#) و سرباره‌ای کم است.
- عموماً مصرف بیش از اندازه لازم (Over Dosage) روان کننده‌های زود گیر کننده بتن نه تنها گیرش را به تاخیر می‌اندازد بلکه بخصوص در روزهای نخست مقاومت را کاهش می‌دهد.

تأثیر روان کننده‌های بتن روی خواص ملات و بتن

کاهش آب اختلاط (Mixing Water)

- کم کردن آب همراه با ثابت نگهداشتن کار پذیری به طور محسوسی مقاومت مکانیکی بتن را افزایش داده، خطر جداسازی دانه‌ها را کم و یکنواختی و تراکم مخلوط را بهبود می‌بخشد.
- میزان کاهش آب در اثر مصرف این نوع مواد افزودنی مشروط بر اینکه اثرات نامطلوبی مشاهده نشود از ۵ تا ۱۵ درصد است. در بسیاری از موارد بخشی از این کاهش ناشی از خاصیت هوازایی (Air-Entraining) افزودنی‌های بتن است.
- مقدار واقعی کاهش آب بستگی به مقدار سیمان، نوع مصالح سنگی، پوزولان‌ها و مواد هوازا (در صورتی که در بتن بکار رفته باشد) و شرایط محیطی دارد. بنابراین ساختن مخلوط‌های آزمایشی برای بررسی و رسیدن به خواص بهینه و مطلوب و در ضمن اطمینان از عدم وجود عوارض جانبی نامطلوب مانند جداسازی دانه‌ها، آب آوری (Bleeding) و کاهش کارپذیری با زمان (یا کم شدن اسلامپ) و... ضروری است.

افزایش کارپذیری (Workability)

- کارپذیری مخلوط با به کاربردن روان کننده بتن در حالتی که نسبت آب به سیمان ثابت نگاه داشته شود، بهبود می‌یابد.

- میزان تاثیر روان کننده بتن و مقدار مصرف بهینه آن بستگی به عوامل مختلفی که عموماً به طور همزمان عمل می کنند، دارد. از جمله ترکیب کانی کلینکر، نقش عمده ای دارد. بر همین اساس مقدار مصرف بهینه این نوع افزودنی بتن با افزایش مقدار آلومینات ها زیاد می شود.

روش افزودن مواد افزودنی بتن کاهش دهنده آب به بتن

- شن، ماسه و سیمان را با ۵۰ درصد آب اختلاط به مدت ۱۵ تا ۳۰ ثانیه هم بزنید.
- ماده افزودنی بتن را در مقداری آب (تا ۳۰ درصد آب اختلاط) حل کرده و آن را به تدریج به مخلوط فوق اضافه کنید.
- باقیمانده آب اختلاط را تا بدست آمدن کارپذیری (اسلامپ) مطلوب و مورد نظر به مخلوط بیافزاید.

کاربرد روان کننده در بتن

- بتن ریزی با استفاده از پمپ
- بتن ریزی تیرها و ستون ها و دیوارهای برشی
- بتن ریزی با مصالح سنگی که درصد جذب زیادی دارند
- قابل استفاده در بتن های مسلح و معمولی و ملات های سیمانی.

روان کننده دیرگیر

این ماده افزودنی جهت کاهش آب به سیمان و افزایش روانی و کارایی بتن با قابلیت ایجاد تأخیر در زمان گیرش اولیه است.

کاربرد

- بتن ریزی با استفاده از پمپ
- بتن ریزی تیرها، ستون ها و دیوارهای برشی
- قابل استفاده در بتن های مسلح و معمولی و ملات های سیمانی
- افزایش مقدار چسبندگی مصالح در بتن هایی که دانه بندی مناسبی ندارند
- بتن ریزی در فصل تابستان و مناطق گرمسیری

خواص و اثرات

- افزایش روانی و کارایی بتن
- سهولت پمپاژ بدون افزایش مقدار آب و افزایش مقاومت فشاری بتن
- جلوگیری از خزش و انقباض بتن
- تأخیر در زمان گیرش بتن مناسب جهت مناطق گرمسیری و استفاده در تابستان
- جلوگیری از خزش و انقباض بتن
- جلوگیری از بوجود آمدن ترک های سطحی
- کاهش نسبت آب به سیمان در حدود ۵ تا ۳۵ درصد
- افزایش مدت زمان کارایی بتن

روان کننده زودگیر

این افزودنی یک روان کننده زودگیر جهت افزایش روانی بتن و مناسب در آب و هوای سرد و زمستان است.

کاربرد

- بتن ریزی با استفاده از پمپ
- بتن ریزی با مصالح سنگی که درصد جذب زیادی دارند
- بتن ریزی تیرها و ستون ها و دیوارهای برشی
- بتن های حاوی ترکیبات پوزلانی

خواص و اثرات

- قابلیت کاهش آب اختالط به میزان حداقل ۵٪
 - جهت بتن ریزی در آب و هوای سرد زمستان
 - بهبود پرداخت پذیری بتن
 - افزایش روانی و کارایی بتن
 - سهولت پمپاژ بدون افزایش مقدار آب
 - روان کننده با کارایی مطلوب
 - افزودنی کاهنده و روان کننده بتن جهت بتن ریزی در شرایط آب و هوایی معتدل با حفظ اسلامپ در زمان محدود است.
- روان کننده با کارایی مطلوب
- افزودنی کاهنده و روان کننده بتن جهت بتن ریزی در شرایط آب و هوایی معتدل با حفظ اسلامپ در زمان محدود به کار می‌رود.

کاربرد

- بتن ریزی با استفاده از پمپ
- بتن درجا برای کاربردهای مختلف
- قابل استفاده در بتن‌های مسلح و معمولی و ملاحای سیمانی

خواص و اثرات

- کاهش نسبت آب به سیمان در حدود حداقل ۵٪
 - افزایش مدت زمان کارایی بتن
 - افزایش روانی و کارایی بتن
 - سهولت پمپاژ بدون افزایش مقدار آب و افزایش مقاومت فشاری بتن
 - کاهش جداسازی در روانی مورد نظر
- روان کننده‌ها (کاهش دهنده آب)
- روان کننده‌های بتن مواد آلی یا ترکیبی از مواد آلی و معدنی هستند که برای تامین اهداف زیر بکار می‌روند.
- رسیدن به مقاومت بالا از طریق کاهش نسبت آب به سیمان با حفظ کارپذیری بدون افزودنی‌های بتن.
 - حفظ کارپذیری با کاهش مقدار سیمان برای کم کردن گرمای ناشی از هیدراسیون در بتن حجیم.
 - افزایش کارپذیری جهت تسهیل بتن ریزی در محل‌های غیر قابل دسترسی.

شاتکریت تر

در این روش ابتدا مصالح شاتکریت و آب به وسیله بچینگ مخلوط شده و توسط تراک میکسر به محل اجراء منتقل می‌شود و توسط پمپ‌های مخصوص روش تر روی سطح حفاری شده پاشیده می‌شود. مخلوط بتن برای روش تر همانند بتن معمولی است، بدین ترتیب کنترل کیفیت شاتکریت تر آسانتر بوده، مخلوط در پمپ پیستونی تخلیه شده و با فشار وارد لوله‌های انتقال می‌شود. در افشانه هوای فشرده با نرخ ۷ تا ۱۵ متر مکعب در دقیقه و با فشار ۷ بار اضافه می‌شود. هوای فشرده باعث افزایش سرعت بتن شده و بتن را خوب به سطح می‌چسباند. عدم استفاده از هوای فشرده مناسب باعث کاهش مقاومت شاتکریت و افزایش پس ریز می‌شود.

در فرآیند شاتکریت ترکیبی مرطوب همه مواد ترکیبی به همراه آب قبل از پرتاب شدن آمیخته و مخلوط می‌شود، شاتکریت مرطوب نسبت به شاتکریت خشک برتری دارد اما شاتکریت خشک نیز در هنوز برای مقیاس‌های کوچک استفاده می‌شود. در استخراج معدن برای مثال و تعدادی از ترکیبات الیاف تقویتی فولادی بیش تنیده گسترش یافته است.

امروزه در بسیاری از کشورها و پروژه‌های بزرگ دنیا از شاتکریت به روش تر استفاده می‌شود این روش ابتدا توسط نروژی‌ها به کار گرفته شده و از اواخر دهه ۷۰ با استفاده از افزودنی‌ها در شاتکریت، جهان شاهد رشد شدید استفاده از تکنولوژی شاتکریت تر بود. نرم میانگین اجرای شاتکریت به روش تر حدود ۳۰ تا ۴۰ متر مکعب در ساعت است که در مقایسه با روش خشک این میزان حدود ۴ تا ۵ برابر است. تولید گرد و غبار بسیار کم، مزیت دیگر روش تر است. با کنترل نسبت آب به سیمان و مواد افزودنی، مقاومت فشاری اندازه گیری شده شاتکریت تا ۱۰۰ مگاپاسکال افزایش یافته است.



مقایسه روش تر و روش خشک

با دقت مناسب، پس ریز روش تر در حدود ۵ تا ۱۰ درصد است که در مقایسه با روش خشک (۱۵ تا ۳۵ درصد) کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد.

استفاده از شاتکریت الیافی در روش تر میسر است.

ایجاد گرد و غبار در روش تر بسیار کم است.

امکان اجراء شاتکریت تر در لایه‌های ضخیم وجود دارد.

مقدار آب مخلوط براحتی قابل کنترل است.

دستیابی به مقاوت‌های فشاری بالا امکان پذیر است.

ظرفیت تولید و اجرا در روش تر بیشتر و در نتیجه هزینه اجراء کمتر است.

فاصله حمل مصالح و زمان نگهداری مصالح در روش تر کوتاهتر است.

مصالح در روش تر باید کیفیت بهتری نسبت به روش خشک داشته باشند.

تمیز کردن لوله‌ها و دستگاه شاتکریت در روش تر سخت و پرهزینه است.

امکان تنظیم آب در مواجهه با شرایط طبیعی زمین حفاری شده در روش تر وجود ندارد.

دستگاه‌ها و وسایل مورد نیاز در روش خشک کوچکتر و ارزانت‌تر از روش تر است.

شاتکریت و انواع آن

شاتکریت (بتن پاشیده) نوعی بتن یا ملات پایه سیمانی است که حسب مورد در تهیه آن از مقادیر مختلف ماسه و شن استفاده می‌شود. شاتکریت خشک و شاتکریت تر دو نوع معمول این محصول است و برای اجرای هر نوع از آن سیستم و دستگاه مخصوصی به کار برده می‌شود. شاتکریت از انواع **بتن‌های ویژه** به شمار می‌رود.



شاتکریت خشک

برای اجرای شاتکریت خشک ابتدا سیمان و سنگدانه ها در مخزن اولیه مخلوط شده و توسط فشار باد حاصله از طریق لوله به سر نازل پاشش منتقل می شود. اختلاط آب و عمل هیدراتاسیون در این نوع بتن پاشی در سر نازل صورت می گیرد لذا مخلوط اولیه مصالح، روانی قابل قبولی ندارد و برای انتقال راحت در لوله ها اغلب مصالح درشت دانه در آن استفاده نمی شود. از طرفی در این سیستم کنترل چندان بر مقدار آب مورد نیاز برای اختلاط وجود ندارد و به علت سرعت زیاد خروج مصالح اغلب واکنش هیدراتاسیون به صورت کامل انجام نمی گیرد و ملات مقاومت نهایی مناسبی نخواهد داشت.



چسبندگی ملات شاتکریت خشک پایین بوده و ضخامت های بیش از ۱۰ سانتیمتر در این روش قابل اجرا نیست و بخش عمده ای از ملات به هنگام اجرا از سطح کار جدا شد و به هدر می رود. اجرای کارهای تعمیراتی و اضافه کردن روکش به سازه ها و سطوح موجود از کاربردهای عمده شاتکریت خشک است. به دلیل اختلاط خشک مصالح در ابتدای فرآیند، گرد و غبار و آلودگی ناشی از پراکنده شدن سیمان از مشکلات اجرایی آن به شمار می رود.

شاتکریت تر

در این روش پاشش بتن، مخلوط آماده بتن یا ملات به داخل مخزن پمپ بتن ریخته شده و پس از انتقال توسط نازل به سطح کار پاشیده می شود. مخلوط تر دارای اسلامپ قابل توجهی است. در طرح اختلاط آن سنگدانه های با سایز درشت نیز بکار می رود و منجر به دستیابی به مقاومت فشاری قابل قبولی می شود. حداقل مقاومت مشخصه شاتکریت، مربوط به نمونه های استوانه ای استاندارد معمولاً ۱۸ مگاپاسکال در نظر گرفته می شود. مخلوط شاتکریت تر دارای چسبندگی قابل توجهی است و با استفاده از آن امکان اجرای دیوار بتنی با ضخامت ۵۰ سانتیمتر و سقف به ضخامت ۲۰ سانتیمتر در یک مرحله امکان پذیر است.

طرح اختلاط شاتکریت

نسبت های اختلاط مواد تشکیل دهنده شاتکریت براساس تجارب کارگاهی و استفاده از مخلوط های آزمایشی با مصالح مصرفی کارگاه تعیین می شوند. در تعیین نسبت های اختلاط شاتکریت باید توجه داشت که قسمتی از مخلوط در اثر کمانه کردن سنگدانه ها و مصالح بازگشتی از دست می رود. بنابراین باید با کنترل دقیق و انجام آزمایش های لازم در مراحل مختلف بتن پاشی، طرح

اختلاط مناسبی برای ترکیب اولیه شاتکریت بدست آید. حدود متداول نسبت آب به سیمان شاتکریت ۳۵/۰ تا ۵/۰ و نسبت متداول سنگدانه به سیمان ۵/۳ تا ۵/۴ است.

به منظور حصول کارایی مطلوب شاتکریت، توصیه می‌شود از سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک در مخلوط استفاده شود. در صورت نبود اطلاعات کافی در مورد نوع و مشخصات مصالح مصرفی، می‌توان از طرح اختلاط وزنی با نسبت آب: سیمان: سنگدانه به صورت ۲۰۰ : ۴۰۰ : ۱۷۵۰ کیلوگرم استفاده کرد.

اگر شاتکریت برای پوشش تری دی پنل مورد استفاده قرار گیرد بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیشتر باشد.

الف- یک پنجم ضخامت بتن پاشیده

ب- سه چهارم بعد چشمه شبکه یا فاصله آزاد بین میلگردها

پ- سه چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد یا مفتول پانل

نکات مهم طرح اختلاط شاتکریت

در صورت استفاده از سنگدانه‌های درشت تر باید سنگدانه‌های درشت دانه و ریز دانه به طور جداگانه، وزن و مخلوط شوند تا از ایجاد دانه‌بندی ضعیف ناشی از جدایش سنگدانه‌ها جلوگیری شود. همچنین از آنجا که سنگدانه‌های درشت تر از حد مجاز، می‌توانند باعث بسته شدن لوله یا نازل شوند، لازم است این سنگدانه‌ها با غربال جدا شده و از دانه‌بندی خارج شوند.

در صورتی که در شاتکریت از سنگدانه‌های سبک استفاده می‌شود، این سنگدانه‌ها باید مطابق مشخصات سنگدانه‌ها در بتن سبک ASTM C330 باشند. به طور کلی برای سبک سازی شاتکریت می‌توان از دانه‌های سبک منبسط شده یا گلوله شده از خاک رس، دیاتومه، خاکستر بادی و غیره استفاده کرد. همچنین دانه‌های سبک طبیعی همچون پومیس و توف و یا سبکدانه‌های اسفنجی، پلی استایرن و مواد غیر آلی دانه‌ای برای تولید شاتکریت سبک می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

افزودنی‌های شاتکریت

در شاتکریت‌هایی که در معرض سیکل‌های یخ زدن و آب شدن قرار دارند می‌توان از مواد افزودنی حباب ساز استفاده کرد. از آنجا که مقدار قابل توجهی از این مواد در مرحله پاشش از دست می‌رود، لازم است با افزایش موادی افزودنی به مانند حباب سازها کمبود آن جبران شود. ماده حباب ساز همچنین باعث کارایی (اسلامپ) بیشتر مخلوط بتن و کاهش مصالح برگشتی می‌شود. بعلاوه استفاده از مواد افزودنی زودگیر در بتن پاشی‌ها، بخصوص در شرایطی که گیرش سریع یا افزایش سریع مقاومت مدنظر باشد، می‌تواند به کار رود. شایان ذکر است استفاده از کلرید کلسیم به عنوان ماده افزودنی زودگیر در شاتکریت مجاز نیست. افزودنی‌های کندگیر کننده معمولاً در شاتکریت به کار نمی‌روند، استفاده از پوزولان‌ها نیز می‌تواند علاوه بر افزایش مقاومت و کارایی بتن، قابلیت پمپ مخلوط را هم افزایش دهد و باعث کاهش میزان مصالح برگشتی شود.

کار آیی و روانی بتن پاشیده باید به اندازه‌ای باشد که به سهولت و با تراکم کافی روی سطوح قائم و افقی چسبیده، به خوبی میلگردها و سطوح را در برگردد و مصالح بازگشتی آن به حداقل برسد. کارایی شاتکریت معمولاً مابین ۴۰ تا ۸۵ میلیمتر است. آزمایشات شاتکریت

به دلیل ماهیت اجرایی شاتکریت و تفاوت‌های طرح اختلاط آن با بتن معمولی و همچنین تاثیر قابل توجه اپراتور بتن پاش در کیفیت نهایی آن، باید آزمایش‌هایی با دقت کافی قبل، حین و بعد از اجرا انجام گردد.

آزمایش‌های قبل از اجرا به منظور ارزیابی اپراتورهای بتن پاش و اصلاح طرح اختلاط به لحاظ کارایی و کاهش پرت مصالح انجام می‌شوند. جعبه‌های آزمایشی از جنس چوب یا فلز در ابعاد ۶۰۰×۶۰۰×۱۰۰ میلیمتر ساخته می‌شوند. این جعبه‌ها باید در مقابل لرزش و تغییر شکل ناشی از عملیات بتن پاشی مقاوم باشند. ضخامت مقطع چوبی یا فلزی قالب نباید به ترتیب کمتر از ۲۰ یا ۵ میلیمتر انتخاب شود. به ازای هر مخلوط نمونه، هر وضعیت بتن پاشی (افقی یا سربالا) و هر اپراتور بتن پاش، باید حداقل یک جعبه آزمایشی در نظر گرفته شود. در حین عملیات بتن پاشی برای اخذ نمونه، جعبه نباید در سطح شیب‌دار قرار داده شود و شرایط آن

باید مطابق با شرایط اجرایی کار باشد. بعد از پاشش و قبل از گیرش بتن نباید ضربه‌ای به قالب وارد شود. لازم است عمل آوری بتن پاشیده برای اخذ نمونه به انجام برسد. آزمایشهای حین اجرا به منظور تعیین مقاومت بتن و کیفیت اجرا انجام می‌شوند. آزمایش های بعد از اجرا به منظور تعیین نقاط ضعف اجرای بتن پاشیدنی صورت می‌گیرد. برای یافتن محل‌هایی که بتن پاشیده به سطح پانل نچسبیده است و یا برای تعیین حفرات موجود، اپراتور با چکش ضرباتی به بتن وارد می‌آورد. در صورتی که صدای بم و خفه به گوش رسد به معنای پوکی و وجود حفره و فاصله بین لایه های شاتکریت است. وزن چکش متناسب با ضخامت بتن پاشیده متغیر بوده و معمولاً بین ۵/۰ تا ۲ کیلوگرم است. محل های پوک و حفره دار باید تخریب شده و نسبت به بتن پاشی مجدد آن، اقدام شود.

قالب بندی

شاتکریت تر بطور معمول نیاز به قالب بندی ندارد و بدین ترتیب هزینه‌های قالب بندی و نیروی انسانی و زمان انجام عملیات بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. عدم استفاده از قالب سبب می‌شود که اپراتور دید کاملی بر جبهه کاری خود داشته و بتن ریزی مناسبی انجام دهد.

کاربرد

از عمده مزیت های استفاده از شاتکریت تر می‌توان موارد زیر را نام برد:

امکان اجرای سازه‌های بتنی با اشکال منحنی، مدور و غیر منظم (مثل استخر و آبگیر)، امکان تثبیت کوه‌ها و صخره‌ها با پوشاندن آنها با یک شبکه مش و پاشیدن بتن روی آنها، روکش کردن پایه پلها و لاینینگ تونل‌ها، افزایش ضخامت لوله‌های بتنی در محیطهای خورنده و خطرناک در مقابل آتش، چسبندگی بهتر بین بتن و میلگرد، کاهش نفوذ پذیری و آب بندی مناسب.

یکی از کاربردهای وسیع شاتکریت تر که نیاز به تخصص زیادی نیز ندارد، احداث استخر و آبگیر است. نکته اصلی در احداث سازه هایی به مانند استخر، جلوگیری از نفوذ آب به بیرون سازه است. به علت ماهیت پاششی و همچنین چسبندگی بالای شاتکریت و فشار بالای پاشش بتن، خلل و فرج پیرامون سازه به خوبی پوشش داده می‌شود و نتیجتاً آب بندی و نفوذ ناپذیری مناسبی به دست می‌آید. شاتکریت در صنعت ساخت و تعمیر سد استفاده فراوانی دارد.

مواد استعمال شاتکریت تقویتی با الیاف

شاتکریت الیافی در زمینه‌های تعمیر و مرمت شیب صخره‌ها، معادن، تونل‌ها، سدها، نیروگاه‌ها، پل‌های قوسی، پوشش نازک روی ساختارهای کتیبه‌ای شکل، سنگ غارهای زیرزمینی، مخازن نفت، بدنه کشتی، تثبیت ریزش خاک کوه کنار جاده، تعمیر سطوح ترک خورده بتن استفاده می‌شود.



تثبیت شیب دامنه‌ها

یکی از کاربردهای وسیع شاتکریت مسلح با الیاف در ژانویه ۱۹۷۴ میلادی در طول رودخانه مارپیچی در ایالت واشنگتن که سد کوچکی نزدیک رودخانه بود انجام شد. شاتکریت برای پایا ساختن یک قسمت خراب شده مربوط به شیب صخره بالای راه آهن

(Camas prairie) استفاده شد که کار شامل سنجش، نصب کردن راک بلت‌ها و به کارگیری شاتکریت با حداقل ضخامت ۲/۵ اینچ (۶۳ میلیمتری) می‌شد.

کاربردهای زیرزمینی منتخب

در دسامبر ۱۹۷۲ شاتکریت الیافی، مسیری به طول ۴۰ فوت (۱۲ متر) در راهرو تونل اکتشافی معدن و در پایه کناری سد Rivie در Idaho استفاده شد. ضخامت ۳ اینچ (۷۷ میلی متر) بود و مقاومت خمشی ۳۴ روز مربوط به قطعه تیرها ۹۱۰ پوند بر اینچ مربع (۶/۳ مگاپاسکال) بود.

دستاوردهای جدید

تقویت شاتکریت با تقویت الیاف فولادی میکروسیلیس

پیشرفت‌های زیادی در تکنولوژی شاتکریت در سال‌های اخیر بوده است و تا از پراهمیت‌ترین استفاده از بخار سیلیس که در مخلوط ملاط سیمانی وارد شده و **الیاف فولادی** نیز استفاده می‌شود. بخار سیلیس یا **میکروسیلیس** یک محصول فرعی از صنعت فلز فراسیلیکون یک محصول فرعی از صنعت فلز فراسیلیکون است و یک پوزولان بسیار خوب است. پوزولان‌ها مواد سیمانی هستند که در طول آبدهی سیمان با هیدروکسید کلسیم واکنش می‌دهد. بخار سیلیس به مقدار زیاد در حدود ۸ تا ۱۳ درصد وزن سیمان اضافه شده و شاتکریت موجود دارای مقاومت فشاری دو یا سه برابر مخلوط‌های شاتکریت عادی است. این شاتکریت به شدت محکم، غیرقابل نفوذ و با دوام و پایدار است. مزایای دیگر این شاتکریت شامل کاهش خاصیت ارتجاعی، بهبود مقاومت خمشی، بهبود پیوستگی توده سنگ، قابلیت نگهداری لایه‌هایی تا حدود ۲۰۰ میلی متر ضخیم بعلت وجود چسبندگی شاتکریت است. هر چند، در موقعی که از شاتکریت تر استفاده می‌شود این چسبندگی **کارایی بتن** را کاهش می‌دهد که از مواد نرم کننده و افزودنی‌هایی برای بازسازی این کارایی بتن استفاده می‌شود.

الیاف پلی پروپیلن

الیافی که در شاتکریت استفاده می‌شوند طول آنها از ۵ تا ۲/۵ اینچ است. به طور معمول ۱ تا ۲ پوند از الیاف پلی پروپیلن در هر یارد مکعب از شاتکریت استفاده می‌شود. مزیت عمده این الیاف این است که انقباض و انقباض بتن ناشی از ترک را کنترل می‌کند. هنگامی که الیاف پلی پروپیلن استفاده شد خطر خاصیت ارتجاعی نیز کمتر شد. بیشترین طول مشخص شده متداول برای الیاف پلی پروپیلن ۱/۵ اینچ است. هرچند که الیاف بلندتر نیز مشکلی ندارند.

الیاف شیشه

الیاف شیشه‌ای از فلز زیرکونیم قلیایی با مقاومت که شیشه AR است ساخته می‌شوند. در الیاف شیشه‌ای برای تقویت از پشم شیشه استفاده می‌شود که در این حالت از ملاط سیمان پرتلند نباید استفاده شود. هنگامی که شیشه‌ای کوچکتر از ۰۰۰۲/۰ اینچ می‌شوند آنها معمولاً با هم اتصال داده می‌شود. در داخل اعضایی که قطر آنها ۰۰۰۵/۰ تا ۰۵/۰ اینچ است بر طول الیاف به طور نمونه ۱ تا ۲ اینچ است.

مقدار الیاف فولادی

طول الیاف فولادی در شاتکریت به طور نمونه ۱ اینچ و اما اغلب در حد فاصل ۱/۵ اینچ است. الیاف باید حداقل اینچ بیشتر از مقدار قطر بزرگترین اندازه مصالح دانه‌ای باشد. الیاف کوتاه‌تر به راحتی داخل سیستم پمپ می‌شوند. هرچند برای کارایی معادل نیاز خواهیم داشت. نسبت الیاف داخل شاتکریت بین ۵ تا ۲ درصد از حجم است.

روش جدید استفاده از الیاف فولادی دابل به صورت قلابی (لنگری شکل)

تغییر شکل‌پذیری بالا و معین شاتکریت از الزاماتی است که در تعمیر، نوسازی، تثبیت شیب‌ها، نگهداری زمین و صخره‌ها و نیز کاربردهای دیگر باید رعایت شود که در این صورت از الیاف فولادی در شاتکریت استفاده می‌شود که روز به روز در حالت ارتقا یافتن است. همچنین این ترقی به گونه‌ای است که احاطه آن استفاده از الیاف در شاتکریت و حتی استفاده آن را در فرآیند خشک

- با الیاف با خاصیت ارتجاعی زیاد را نیز در بر گرفته است اما بعلت فقدان تکنیک آزمایش استاندارد شده و نیز عدم فهم کامل از مکانیزم تقویت کردن در شاتکریت خشک کمتر استفاده می‌شود.
- در زمینه خاصیت ارتجاعی، متأسفانه مواردی که برای کاهش خاصیت ارتجاعی نیاز است اغلب با مواردی برخورد می‌شود که باید سختی مواد مورد نیاز را بالا برد.
- الیاف جدید از دو انکر دابل اصلی برگرفته شده است و برای هر دو حالت کاهش خاصیت ارتجاعی و نیز افزایش سختی در شاتکریت سفت و محکم شده بهینه‌سازی کرده است.
- شاتکریت، هنگامی که برای پوشش یا نگهداری سطح زمین استفاده می‌شود.
 - اغلب در معرض خطر است که شامل حرکات شبه استاتیکی زمین و تغییر شکل‌های ناشی از دینامیک در زمین است که اغلب بسیار با اهمیت است.
 - غالب‌گیر کننده نیست در مواردی که تغییر شکل مواد، سختی و انرژی جذبی اغلب در این شاتکریت‌های تقویتی با الیاف نسبت به شاتکریت‌های تقویتی با الیاف عادی بسیار بیشتر است.
 - یکی از عوامل اصلی مربوط به روش شاتکریت خشک خاصیت ارتجاعی زیاد است. نزدیک به ۲۰ تا ۴۰ درصد از مواد و بالای ۷۵ درصد از الیاف ممکن است به علت خاصیت ارتجاعی از بین بروند.
 - در جریان خاصیت ارتجاعی، خواص زیادی از الیاف از بین می‌رود و این اثر روی بتن می‌گذارد و در نتیجه زائد شده و از بین می‌رود.
 - از بین رفتن الیاف بعلت این خاصیت ارتجاعی به این معنی قابل تعبیر است که خسارات عظیمی از جمله کاهش سختی، تغییر شکل پذیر و نیز مجموعه شکافی در ظرفیت باربری شاتکریت خواهد داشت.
 - هنگامی که اثر خاصیت ارتجاعی بالا در شاتکریت خشک تأیید شد، با توجه به نظرات در مورد عوامل فوق، به این نتیجه رسید که مخلوطی طراحی شود (سیمان - مقدار بخار سیلیس یا Silica fume)، نسبت مصالح به سیمان و غیره و یا جابجایی متغیرها (فشار هوا و نیز حجم هوا - نوع نازل، فاصله یا جهت نازل و غیره) که در کنترل خاصیت ارتجاعی موثر باشد.
 - در نوع الیاف، هر چند خاصیت ارتجاعی هر تار الیاف همیشه این شک را بوجود می‌آورد که شکل هندسی الیاف را در نظر می‌گیرند که تأثیر مثبت هندسه الیاف بر خاصیت ارتجاعی الیاف خوب درک نمی‌شود.

خاصیت ارتجاعی الیاف و کاهش آن

روشن است که میزان خاصیت ارتجاعی الیاف به طور جدی بر سختی آن اثر می‌گذارد که نتیجه آن این است که بر شاتکریت الیافی اثر کرده کاهش خاصیت ارتجاعی کلیدی است تا یک شاتکریت با سختی بسیار بالا داشته باشیم. برای یک طراحی معقول و منطقی شاتکریت از الیافی با هدف کاهش خاصیت ارتجاعی استفاده می‌شود.

مکانیزم‌های مهاربندی الیاف

جدیدترین تکنولوژی در طراحی الیاف به دو قسمت و گروه بزرگ با توجه به مکانیزم مهاربندی تقسیم می‌شوند. الیافی که به انکر ساکن تکیه دارند و الیافی که به انکر قلابی یا انکر کشیده شده (متحرک) تکیه دارند.

انکرهای ساکن معمولاً از الیاف تغییر شکل یافته با یک قلاب یا مخروط مجاور که به انتهای هر کدام از آنها هستند تولید می‌شوند. در زیر تنش در یک ردیف الیاف (یعنی، در زیر تنش محوری) معمولاً انکری طراحی می‌شود تا در حداکثر مقاومت موجود در آن که در زیر مقاومت فولاد است گسیخته می‌شود.

هر چند این انکرهای ساکن بعد از گسیختگی یک حجم قابل ملاحظه‌ای از تغییر مکان کششی را برای پایداری کاهش می‌دهد. انکرهای قلابی یا کششی، از طرف دیگر، بطور کلی انتهای یک سری الیاف منظم کنار هم را طوری تشکیل می‌دهد تا در جریان کشش با یک اصطکاک زیادی شبکه‌ای از الیاف را به خارج از بتن می‌کشاند. این نوع از الیاف معمولاً با یک مقاومت کششی

ماکسیم پائین تر نسبت به انکر ساکن است. اما اثر آن در انتهای الیاف باعث پایداری تغییر مکان کششی زیاد می‌شود و بنابراین افزایش انرژی کششی در مرحله توسط انتها مصرف می‌شود

مزایای استفاده از شاتکریت تقویتی با الیاف چنگکی

- در هر دو حالت شاتکریت خشک و تر استفاده می‌تواند بشود.
- فضای کمتری نسبت به شبکه مش نیاز دارد.
- خاصیت ارتجاعی کمتر می‌شود.
- مصرف بتن در مدت کار کمتر است.
- کاهش نیروی انسانی
- بهبود مقاومت ترکیدگی صخره
- اطمینان بسیار بالا

الیاف تقویت شده اصلاحی در شاتکریت توصیف شده الیاف از دو انکر اصلی برگرفته شده است که هر دو انکر مرده و کششی در همان الیاف ترکیب شده است. انکر ساکن (مرده) در نتیجه تنش‌های نهایی تا قسمت رابط سست در الیاف شکسته و گسیخته می‌شود. این عامل سپس به انکر کششی هدایت می‌شود و بدون گسیختگی الیاف این انکر از طریق اصطکاک مقاومت کششی از خود نشان می‌دهد، انکر مرده نخست اطراف شکاف را استحکام می‌بخشد و انکر کششی ظرفیت کل جذب انرژی را بهبود می‌بخشد. همچنین الیاف برای کاهش خاصیت ارتجاعی در شاتکریت خشک متعادل می‌شوند و متناسب هستند. هنگامی که یک شاتکریت الیافی واقعی محقق می‌شود که خاصیت ارتجاعی کم و ترکیب با راه کار جدید انکرهای دوبل باشد.

استفاده از شاتکریت الیافی به عنوان پوشش دائمی

امروزه در برخی از مناطق دنیا تحقیق برای استفاده از شاتکریت و بخصوص شاتکریت الیافی برای پوشش دائمی تونل‌ها در حال انجام است و حتی بعضی از تحقیقات به نتایج مناسبی رسیده است اجرای شاتکریت به عنوان پوشش دائمی علاوه بر اینکه نیاز به قالب بندی را از بین می‌برد. این امکان را به ما می‌دهد که بتوانیم تحکیمات دائمی تونل را در زمان حفاری انجام دهیم بدین ترتیب از نظر زمانی و اقتصادی بسیار به صرفه خواهد بود.

کاربرد الیاف فولادی در شاتکریت تر برای پوشش تونل‌ها

روش شاتکریت تر نسبت به شاتکریت خشک اهمیت بالایی از لحاظ خاصیت ارتجاعی و وضعیت کاری دارد. استفاده از [افزودنی‌های مختلف در بتن](#)، میکروسلیس، الیاف تقویت کننده، به اضافه بهبود روش عمومی، ممکن شده تا بتنی با ظرفیت مقاومتی بالا تولید شود. الیاف فولادی در شاتکریت تر در حدود ۴ سال قبل از نروژ مطرح شد و تاکنون بیشتر از ۵۰ درصد از شاتکریت بازار را از این الیاف استفاده می‌کنند.

نتایج آزمایش‌ها یک تجزیه مهمی در برداشت که نشان می‌داد الیاف فولادی (که حجم معمولی آن کمی بیشتر از ۱ درصد کل است) با موفقیت می‌توان جایگزین شبکه فلزی مش کرد که ضخامت پوشش آن تا میزان ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد و پوشش بگونه‌ای است که حداقل مقاومت تقریباً مساوی و شکل‌پذیری بیشتر می‌شود. استفاده از [بتن مسلح](#) با الیاف با یک مقاومت اولیه بالا توسط تجهیزات شاتکریت که کنترل شود بطور قابل ملاحظه‌ای تعلل در مورد شاتکریت را کاهش می‌دهد. استفاده از بتن مسلح با الیاف ۳ تا ۶ برابر بیشتر در پوشش در ضخامت یکنواخت انجام می‌گیرد. هر چند هزینه مواد در بتن تقویتی با الیاف در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد بالاتر از هزینه بتن با تقویت مش است محصول نهایی ۱۰ تا ۲۰ درصد ارزانتر در می‌آید. علاوه بر آن نیز شما در وقت هم صرفه‌جویی می‌کنید. استفاده از الیاف فولادی در شاتکریت در ترکیب با راک بلت‌ها خیلی مناسب برای ترکیب موقتی و نگهداری نهایی است.

شاتکریت الیافی در پوشش موقت

در صخره‌های مشکل‌ساز یکی از قسمت‌های عملیات کار، نگهداری با سرعت است که معمولاً فعالیتی بحرانی است.

مزایای اساسی شاتکریت الیافی در حالت تو برای نگهداری موقت

- افزایش سرعت در عملیات (۱۰ تا ۱۴ مترمکعب در هر ساعت با دستگاه خودکار)
- تقویت (فولادگذاری) به سرعت انجام می‌گیرد و یک اثر تقویت هم سریع است.
- مشکلات با پوشش آرماتورها در شاتکریت از بین می‌رود.
- بتن تازه شامل الیاف قبل از پمپ کردن به طور کامل با هم ترکیب می‌شوند (ضریب آب به سیمان و مقدار الیاف ثابت هستند)
- شرایط کار بواسطه استفاده از دستگاه خودکار کنترل از راه دور در تمام مراحل مناسب و قابل اطمینان است.
- کاهش خاصیت ارتجاعی (۵ تا ۱۰ درصد)

یکی از نکات مهم در صخره‌های تونل نگهداری تونل به صورت پایداری و مداوم است. به این معنی که از جدا شدن یا ریزش سنگ‌ها جلوگیری کند. علاوه بر آن سرعت نگهداری شاتکریت الیافی حجم موردنیاز سنجیده شده را کاهش خواهد داد. در زمین‌های نامناسب در سطوح متقاطع فرضی به راحتی ساخته و نگهداری می‌شود. هر جا که سرعت نگهداری بالاست در ابتدا مقاومتی بالا برای مخلوط باید مشخص شود. استفاده از **سیمان پرتلند** با سرعت سخت شدگی بالا، نرم کننده‌های سریع، مواد افزودنی به شاتکریت و دمای بتن هم ۲۰ تا ۳۰ درجه پیشنهاد شده است. اختلاف زیادی بین شاتکریت عادی و مسلح به الیاف است که اثر پی‌آمد آن در شکل‌پذیری یا رفتار مشابه به شکل‌پذیریکه از گسترش ترک و بخش آن جلوگیری می‌کند. این نرمی بالا ظرفیت باربری را افزایش می‌دهد اما این در شروع بستگی زیادی به موقعیت بار و شرایط حدیدارد. نظریه تسلیم الاستیک و مدل‌های مواد غیر الاستیک (غیر خطی) و غیره باید در هنگام جستجو در ظرفیت باربری الیاف پوششی ترجیحاً تئوری الاستیته خطی استفاده گردد. بطور کلی دوام بتن با کاهش نسبت آن به سیمان بهبود می‌یابد. استحکام سیمان‌های مخصوص با آب و مایعات بهتر می‌شود. بعنوان مثال ملات سیمانی با سولفات پایدار، روشی دیگر برای افزایش فزاینده دوام استفاده از میکروسیلیس است. زمانی که شاتکریت با مقاومت بالا نیاز باشد استفاده از میکروسیلیس نیاز است. امروزه به رحال میکروسیلیس تقریباً در شاتکریت الیافی در حالت تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بتن‌های دیرگداز

بتن‌های دیرگداز به مواد معمولاً غیرفلزی گفته می‌شوند که می‌توانند در درجه حرارت‌های بالا پایدار باشند. بنابراین جرم‌های نسوز باید قابلیت حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را در درجه حرارت‌های بالا و شرایط عمل داشته باشد. قدرت پایداری در درجه حرارت‌های بالا اگر چه یک عامل تعیین کننده بوده ولی با این حال بتن‌های دیرگداز باید در مقابل عوامل مخرب دیگری از جمله سایش، ضربه، شوک حرارتی، حمله شیمیایی و بار مکانیکی زیاد در شرایط دمایی بالا نیز مقاوم باشد. از طرفی دیگر طول عمر، قابل دسترس و شکل پذیر بودن، اقتصادی بودن و سهولت استعمال نسبت به دیگر مواد دیرگداز، عامل توسعه این جرم نسوز است که در حال، کاربرد وسیعی را برای خود در صنایع مختلف باز کرده است. مهندسی‌نی که با مواد دیرگداز سرو کار دارند از جمله بتن‌های دیرگداز، دارای خواص و ویژگی‌های خاص خود در نحوه تولید و کاربرد است. تکنولوژی مواد دیرگداز را می‌توان به صورت در آوردن مواد به شکل دلخواه و سپس خشک کردن در یک مدت زمان طولانی و نهایتاً در آتش قرار دادن ترسیم کرد. در حالی که تکنولوژی بتن‌های دیرگداز عبارت است تهیه مخلوط، ریختن و لرزش و سرانجام در زمان کوتاهی خشک می‌شود. استحکام مورد نیاز بدون پختن به دست می‌آید، بدین وسیله قادر به تولید شکل‌های پیچیده و مختلف بدون ترک و تغییر فرم هستیم.



مشخصات و ویژگی های بتن های دیرگداز

مخلوط های بتنی از نظر کارخانجات دیرگداز، مخلوط های خشک شدنی در هوا هستند که از مواد اولیه مقاوم در برابر حرارت با اندازه دانه بندی (۳۰-۰) میلیمتر و [سیمان](#) تشکیل شده اند. عامل های چسبندگی در چنین بتن هایی، چسب های هیدرولیکی (معمولاً سیمان ها) یا چسب های غیرهیدرولیکی (مثل چسب شیشه) است. این نوع بتن ها، موادی هستند که دارای فسفات، چسب شیشه، ماگنزی (پریکلاس) هستند. استحکام مورد نیاز بدون پخش بدست می آید و بدین وسیله قادر به تولید شکل های پیچیده و مختلف از این بتن ها هستیم. (سازه مونولیتیک)

خواص بتن های دیرگداز

بتن های دیرگداز خود خواص معینی را دارند که آگاه بودن از آنها نیز بسیار مهم است، بعلاوه در نظر داشتن آنها در هنگام انتخاب مواد و دستیابی به درک صحیح از رفتار بتن تحت شرایط کاری ضروری است. مهمترین این خواص در طبقه بندی زیر گنجانده شده است.

خواص فیزیکی و مکانیکی

مهمترین خواص فیزیکی و مکانیکی: چگالی، تخلخل، قابلیت هدایت حرارتی و انبساط حرارتی است.

وزن مخصوص: وزن مخصوص بتن های دیرگداز (مقاوم در برابر حرارت) تابعی از ترکیب آنها، نمونه سیمان، پرکننده، مخلوط و نسبت های آنها است.

چگالی: چگالی بتن های دیرگداز تابعی از دانسیته، غلظت های مواد تشکیل دهنده و حجم تخلخل موجود در بتن است.

تخلخل و نفوذ پذیری: چگالی و تخلخل نسبت معکوس با یکدیگر دارند، هر چند در استفاده های عملی مجموع تخلخل مواد نسوز مهم نبوده بلکه مورد مصرف، نسبت تخلخل بسته به تخلخل باز (ظاهری) که در تماس با اتمسفر است، می باشد. بعد از پختن تخلخل زیاد می شود، زیاد شدن تخلخل بستگی به عواملی دارد که مهمترین آنها، دما و سطح واکنش است که بین عامل اتصال و مواد پرکننده رخ می دهد. نفوذپذیری نیز تابعی از قطر و تخلخل بوده، نسبت آب به سیمان نیز عامل مهمی در نفوذپذیری است.

انبساط حرارتی: ضریب انبساط حرارتی بتن های دیرگداز به مقدار زیادی به ضریب انبساط پرکننده ها بستگی دارد.

گرمای ویژه: در بتن های دیرگداز ظرفیت حرارتی پرکننده ها معمولاً به عنوان فاکتوری تعیین کننده در ترکیب اصلی محاسبه می شود. گرمای ویژه پرکننده ها باید بدون هیچ خطای محسوسی تعیین شود.

هدایت حرارتی: هدایت حرارتی مواد دیرگداز یک خاصیت پیچیده است که به هدایت حرارتی اجزای تشکیل دهنده و همچنین به نحوه تراکم، تخلخل و درجه حرارت بستگی دارد.

مقاومت سایشی و فرسایشی: در بسیاری از استفاده های صنعتی مواد دیرگداز، ساییده شدن و فرسایش مواد مطرح است. در فرسایش، تمام سطح ماده مورد حمله قرار می گیرد ولی در حالت سایشی فقط فازهای منیرالی که کمترین مقاومت را دارند مورد

حمله قرار می گیرد. بنابراین یک رابطه مستقیم بین مقاومت فشاری با مقدار سیمان از یک طرف و میزان سایش از طرف دیگر وجود دارد.

خواص شیمیایی

در علم دیرگداز خواص شیمیایی شامل رفتار مواد دیرگداز در ارتباط با سایر مواد است، که آستر با آنها تماس پیدا می کند، این امر همچنین شامل خوردگی شیمیایی به وسیله مواد مذاب و ورود مواد خارجی به داخل آنها است که باعث تغییر خواص آنها می شود. برای بتن دیرگداز می توان، خواص شیمیایی را در حوزه های زیر بررسی کرد:

- رفتار بتن ها در حضور سرباره های حاوی اکسیدها و مواد مذاب
- رفتار در برابر فلزات مذاب
- رفتار در حضور گازها

تقسیم بندی بتن های دیرگداز

طبقه بندی جرم های نسوز بر اساس تک تک ویژگی های اصلی آنها که معمولاً دارای محدودیت هستند، انجام می شود. مواد اولیه مصرفی، همچنین روش های ساخت و کاربرد، فاکتورهای دیگری هستند که معیارهای طبقه بندی جرم های نسوز را تشکیل می دهند. از طرفی دیگر جرم های نسوز را می توان بر اساس درجه حرارت کار، نوع عامل های اتصال (چسبانده)، نوع مواد پرکننده نیز تقسیم بندی کرد.

تقسیم بندی براساس درجه حرارت

- بتن با دیر گدازی پائین کمتر از ۱۵۰۰
- بتن با دیرگدازی متوسط ۱۷۹۰ - ۱۵۰۰
- بتن با دیرگدازی بالا بیشتر از ۱۷۹۰

تقسیم بندی براساس نوع اتصالات

- بتن های دیرگداز ساخته شده از سیمان سرباره.
- بتن های دیرگداز ساخته شده از سیمان آلومینایی.
- بتن های دیرگداز با عامل چسباننده چسب شیشه.
- بتن های دیرگداز با عامل چسباننده ماگنزی.
- بتن های دیرگداز با عامل اتصال هیدرولیکی (مانند: قیر، قطران، سولفیت).
- بتن های دیرگداز با عامل اتصال شیمیایی (مانند: فسفات ها، با افزودن اسید فسفرین به مخلوط).

تقسیم بندی براساس نوع مواد پرکننده

- بتن های دیرگداز با مواد پرکننده غیرمقاوم در برابر حرارت (خرده آجر، سرباره و ...).
- بتن های دیرگداز با شاموت (خاک نسوز پخته شده).
- بتن های دیرگداز با آلومینات بالا، با کراندوم، با سیلیس، با مگنزی، با کرومیت - ماگنزی و بتن های دیرگداز با کاربرد سیلیس.

مواد اصلی بتن های دیرگداز

مواد اصلی بتن های دیرگداز به شرح زیر است.

عامل چسباننده

عامل های چسباننده یکی از مهمترین بخش های متشکله بتن های دیرگداز هستند که به دو دسته سیمان ها و چسب ها تقسیم بندی می شوند.

- سیمان‌های صنعتی معمولاً بعد از ذوب و آسیاب کردن بصورت پودر ریزی در می‌آیند که هم دارای ساختمان کریستالی و هم غیر کریستالی هستند. از انواع سیمان‌ها که بطور معمولی تهیه شده و در ساخت بتن‌های دیرگداز استفاده می‌شود. سیمان پرتلند، سیمان پرتلند آهن، سیمان کوره بلند، سیمان آلومینای معمولی (صنعتی) و سیمان آلومینای بالا را می‌توان نام برد.
- در اکثر موارد یک چسب مناسب یا ترکیبی از [چسب‌ها](#)، به مخلوط‌های پودری افزوده می‌شود این چسب‌ها استحکام کافی قطعات خام را در هنگام اجرای تمام مراحل فرایند ساخت و حتی در مرحله مصرف تامین می‌کند.

انواع چسب‌ها

چسب شیشه

واژه چسب شیشه به ترکیبات مختلف سیلیکات سدیم یا پتاسیم اطلاق می‌شود که در آب یا محلولند یا مخلوط‌های کلوئیدی تشکیل می‌دهند و تقریباً به طور کامل هیدرولیز می‌شوند. عمده ترین چسب شیشه‌ای که استفاده می‌شود سیلیکات سدیم غنی از سیلیس است که گیرش آن در هوای آزاد صورت می‌گیرد.

چسب‌های مگنزیایی

چسب‌های مگنزیای سوز آور (محرق) MgO زینتر نشده کمی حرارت دیده از محلول‌های کلرید منیزیم یا سولفات منیزیم تهیه می‌شود.

دولومیت

به خوبی شناخته شده است که اگر دولومیت تحت شرایط خاصی پخته شود می‌تواند خواص اتصال‌های هیدرولیکی را پیدا کند. با دولومیت، اتصال دارای پایداری خوب در تغییرات سریع درجه حرارت است ولی دولومیت اهمیت تجاری ندارد.

اسید فسفریک و فسفات

[آجرهای دیرگداز](#) به وسیله استفاده از اسید فسفریک یا فسفات به دست می‌آید. مقدار اسید فسفریک یا فسفات به عوامل متعددی از جمله نوع مواد پر کننده‌ای که استفاده می‌شود بستگی دارد.

مواد پرکننده

خواص حرارتی بتن‌های درجه حرارت بالا به مقدار زیادی بوسیله مواد پرکننده تامین می‌شود. بنابراین با انتخاب مواد مناسب، مقاوم در برابر حرارت، امکان تهیه بتن‌هایی با مقاومت حرارتی بالا وجود دارد. در بتن نسوز تنها مواد درشت‌تر که دارای اندازه دانه‌های بزرگتر از ۰/۲ میلیمتر است، باید مورد استفاده قرار گیرد. مواد پرکننده ریز که دانه‌های آن کوچکتر از ۱/۰ میلیمتر است به عنوان تثبیت کننده (مخصوصاً در بتن دیرگداز ساخته شده با سیمان پرتلند) مورد استفاده قرار می‌گیرند. انواع پرکننده‌ها را می‌توان بصورت زیر نام برد.

پرکننده‌های معدنی غیر مقاوم در برابر آتش

که فقط برای استفاده در بتن‌های درجه حرارت پایین مناسب است نه برای بتن‌های دیرگداز از جمله مواد طبیعی مثل دیاباس و بازالت و مواد مصنوعی مثل خاک نسوز پوک شده با نام صنعتی سرامسایت و SLATE پوک شده، ضایعات صنعتی و محصولات فرعی، ورمیکولیت پوک شده و پرلیت.

شاموت

متداولترین ماده پر کننده برای بتن‌های دیرگداز، انواع مختلف شاموت‌های مقاوم در برابر حرارت است. از شاموت‌ها به میزان زیادی به عنوان افزودنی برای بتن‌های سیمان پرتلند و بتن‌های سیمان-چسب شیشه استفاده می‌شود. شاموت از پختن کائولن‌های نسوز در درجه حرارت‌های بالا به دست می‌آید. شاموت‌ها به دو نوع کوارتزی و معمولی تقسیم می‌شوند.

مواد محتوی آلومینای بالا

شناخته شده ترین آنها گروه مولایت (ترکیبات مولایت) است که شامل ترکیبات مولایت و شاموت های کوراندومی است. مولایت دارای ضریب انبساط حرارتی پایین بوده و ضریب انتقال حرارت آن با افزایش حرارت به آهستگی کم می شود که این دو عامل پایه مقاومت خوب در برابر تغییرات دما محسوب می شود.

کراندوم

از کراندوم به علت نقطه ذوب بسیار بالای، استحکام مکانیکی و مقاومت شیمیایی آن به مقدار بسیار زیاد، به عنوان پر کننده برای بتن های دیرگداز استفاده می شود و در حالت معمولی نیز انقباض بتن را کاهش می دهد.

مواد محتوی منیزیا یا دولوما

مواد در این گروه اساس دارای منیزیای ذوب شده یا زینتر شده یا دولومیت زینتر شده هستند. منیزیا و دولوما دارای مقاومت حرارتی بسیار بالا هستند که علاوه بر استفاده در بتن های سیمانی به عنوان مواد پرکننده در بتن های منیزیتی نیز به کار می روند.

مواد محتوی کرومیت و کرومیت منیزیت

فورستریت: فورستریت ها موادی هستند که از زینتر کردن سنگ های سیلیکات منیزیم مثل سر پنتایت اولیوین یا رونیت با افزودن منیزیای زینتر شده یا قلیا به وجود می آیند که اجزا اصلی آنها فورستریت و پیرکلاس است. فورستریت خالص در دمای ۱۸۹۰ درجه سانتی گراد ذوب می شود.

کاربید سیلیسیم

کاربید سیلیسیم نام تجاری SiC است که وجود ناخالصی آن را بی اهمیت می سازد. این ماده ی سخت مقاومت زیادی در برابر حرارت های بالا دارد. نقطه ذوب ندارد و در حرارت های بالای ۲۲۰۰ درجه سانتی گراد تجزیه می شود، در درجه حرارت های بسیار بالا به آهستگی اکسید می شود و این از معایب آن است. ضریب انبساط حرارتی آن پایین است. از SiC خالص برای بتن های نسوز استفاده می شود.

افزودنی ها

افزودنی های خاص به منظور بهبود کارپذیری و شکل دادن یا کنترل ریز ساختار و محصولات دیرگداز برای دستیابی به خواص ویژه بکار گرفته می شوند. افزودنی ها تحت عناوین مواد پرکننده و چسب ها قرار نمی گیرند. عمده ترین افزودنی ها مواد پودری شکل هستند که تثبیت کننده سرامیکی نیز نامیده می شوند و برای بتن های ساخته شده با سیمان پرتلند و چسب شیشه بکار می روند. افزودنی را می توان به صورت زیر طبقه بندی نمود.

- تثبیت کننده های سرامیکی (مواد پودری شکل): که هدف آنها چسباندن و خنثی کردن آهک زیاد است.
- تثبیت کننده ها با دانه بندی خیلی ریز تا یکنواخت پخش شوند و سریعاً ترکیب شوند.

نرم کننده (خمیری کننده)

این مواد گاه به بتن اضافه می شوند تا آب مورد نیاز بتن را کم کنند و نسبت آب به سیمان را کاهش دهند. آنها خاصیت خمیر شوندگی ذرات جامد را بهبود می بخشند و در نتیجه با کم کردن آب مورد نیاز، کار پذیری، استحکام و غیر نفوذپذیری بتن را افزایش می دهند.

شتاب دهنده های گیرش

شتاب دهنده ها زمان گیرش را به طور قابل ملاحظه ای کم می کنند و همچنین سبب می شوند که سریعاً استحکام بالایی به دست آید. شناخته شده ترین شتاب دهنده ها کلرید کلسیم است که در ترکیب با سایر کلریدها استفاده می شود. با اضافه کردن درصد کمی زمان گیرش را به چند دقیقه می رساند بدون اینکه استحکام نهایی کاهش یابد یا انقباض افزایش پیدا کند. عوامل زینتر کننده

عوامل زیرتر کننده وجود منطقه استحکام بحرانی و در نتیجه محدودیت حرارتی برای استفاده از بتن‌های دیرگداز را در محدوده های درجه حرارت متوسط بهبود می‌بخشد. این با افزودن موادی که موجب زیرتر شدن و در نتیجه ایجاد واکنش‌های مناسب می‌شوند، میسر است.

عوامل تخلخل زا

برای ساخت بتن‌های متخلخل یا لانه زنبوری از این عوامل استفاده می‌شود. برای تهیه بتن‌های دیرگداز، افزودن پودر آلومینیم به سیمان پرتلند بتن باعث واکنش آلومینیوم با مخلوط آهک - قلیا می‌شود که در نتیجه هیدروژن متصاعد می‌شود و بتن متخلخل به دست می‌آید.

آب

آب دو نقش اساسی دارد.

۱. مخلوط خشک مواد پرکننده و عامل چسباننده را قابل مصرف می‌سازد.
۲. با عامل چسباننده واکنش انجام داده و واکنش‌های آگیری (هیدراسیون) و سخت شدن (گیرش) را سبب می‌شود. نسبت آب در هر یک از بتن‌هایی که احتیاج به آب دارند باید به دقت مراعات شود.

انواع بتن‌های دیرگداز

انواع بتن‌های دیرگداز را می‌توان به صورت زیر نام برد.

- بتن‌های دیرگداز با عامل اتصال سیمانی.
- بتن‌های دیرگداز با عامل اتصال چسب شیشه
- بتن‌های دیرگداز ساخته شده با چسب منیزیایی.
- مواد دیرگداز شبه بتنی با عامل اتصال فسفات.
- بتن مسلح دیرگداز

مزیت‌های بتن‌های دیرگداز نسبت به نسوزهای معمولی

- مصرف بتن‌های دیرگداز با قاب فلزی این امکان را بوجود می‌آورد که از پوشش یک لایه بتنی استفاده شود و از مصرف آجرهای چند لایه و پیچیده جلوگیری شود، به علاوه به علت سادگی کار صرفه جویی زیادی در زمان ساخت خواهد داشت.
- برای مصرف کننده به علت عوامل زیر کاهش هزینه در بردارد.
- کاهش تعداد کارگر لازم.
- کاهش زمان ساخت و تعمیر پوشش‌های لازم.
- صرفه جویی در هزینه و بهبود تولید.
- در مقایسه با آجرهای نسوز بتن‌های دیرگداز اغلب در مقابل حملات شیمیایی مقاومت بالا دارند.
- سایدگی و سایش کمتر و سیکل‌های حرارتی و سادگی مصرف، باعث افزایش روز افزون استفاده از این نوع جرم دیرگداز شده است.
- عواملی در تولید بتن دیرگداز وجود دارند که سبب کاهش هزینه تولید می‌شوند که عبارتند از: نبود یا کاهش فرآیند پرس، خشک کردن، پختن و کم کردن تعداد کارگاه‌ها و وسایل لازم.
- با مصرف قطعات بزرگ پیش ساخته این امکان بوجود می‌آید که از این روش جهت ساخت بدنه کوره‌ها استفاده شود.
- ساخت قطعات پیش ساخته توسط بتن دیرگداز منجر به افزایش راندمان تولید و امکان مکانیزه شدن فرآیند تولید در کارخانجات می‌شود.

کاربرد بتن‌های دیرگداز

بسته به نوع و کیفیت بتن‌های دیرگداز و مواد اولیه ساخت آن، در ممالک صنعتی، از آنها در قسمت‌های مختلفی استفاده می‌شود. از این مواد در کشورهای آمریکا، آلمان، فرانسه، انگلیس، چکسلواکی، هلند، رومانی و چین در کارخانه‌های صنعتی که در درجه حرارت‌های بالا کار می‌کنند، استفاده می‌نمایند.

موارد کاربرد این بتن‌ها عبارتند از استفاده در ساخت دودکش‌ها، کوره‌های حرارتی، متالورژی آهن و فولاد، تعمیر آستر کوره‌ها، کارخانجات تولید فلزات غیرآهنی، صنایع سرامیکی، صنایع شیشه‌سازی، صنایع سیمان و آهک، صنایع کک‌سازی و تولید گاز، صنعت نیرو (بویلرهای حرارتی)، صنایع شیمیایی، فرودگاه و صنایع هواپیما سازی و مهندسی هسته‌ای و مصارف خانگی. با توجه به روند تغییرات جهانی تولید و مصرف مواد دیرگداز بخصوص جرم‌های نسوز در سال‌های اخیر می‌توان ویژگی‌های آینده را به شرح زیر پیش بینی کرد:

- افزایش مصرف بتن‌های دیرگداز
- استفاده هرچه بیشتر از تکنیک‌های تعمیرات موضعی در جداره‌های دیرگداز به جای تعویض کامل آنها.
- بهینه‌سازی روش‌های تولید و تعمیر.
- کاربرد هرچه بیشتر مواد اولیه بازیافتی از مواد دیرگداز مستعمل برای تولید محصولات جدید.
- بهبود خواص جهت افزایش طول عمر و کشف عامل‌های چسباننده و پرکننده مقاوم تر در برابر حرارت‌های بالا.

نانو لوله کربنی (CNT)

نانو لوله کربنی (Carbon Nanotube) کانال‌های لوله توخالی هستند که به صورت یک دیواره (SWCNT) یا چند دیواره (MWCNT) تولید می‌شوند. نوع تک دیواره حاصل از رول شدن یک صفحه گرافیتی و نوع چند دیواره حاصل از رول شدن چند صفحه گرافیت است.



نانو لوله‌ها مستحکم‌ترین الیافی هستند که شناسایی شده‌اند. ضریب هدایت حرارتی و رسانایی الکتریکی استثنایی دارند و به شدت انعطاف پذیر هستند به طوری که قابلیت خم شدن به شکل دایره یا حتی گره خوردن را دارند.

- دانسیته کم و کارایی بهتر در طول بارگذاری فشاری از خواص دیگر نانو لوله‌هاست. به علت ویژگی منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی دارای جذابیت‌های صنعتی و علمی زیادی هستند.
- دارای وسعت کاربرد بالایی از محدودیت‌های محصولات روزمره زندگی تا کاربردهایی در مقیاس نانو در تولید نانو کامپوزیت‌ها هستند.
- نانو لوله‌های کربنی به علت نسبت هندسی بسیار بالا (نسبت طول به قطر) از حدود ۳۰ تا چند هزار، خواص مکانیکی بالایی را نشان می‌دهد و سبب تولید سیمان تقویت شده با الیاف‌هایی متداول، مانند الیاف کربن و الیاف شیشه، شده است.

- مهم‌ترین فاکتوری که باعث برگزیدن نانو لوله به عنوان رشته در مواد مرکب (کامپوزیت) شده است، وزن کم آن است. در حالی که استحکام آن بالاست. از مهم‌ترین موارد استفاده چنین مواد مرکبی می‌توان به موارد زیر از قبیل بدنه هواپیما و هلیکوپتر، زه راکت‌های تنیس اشاره کرد.

انواع نانو لوله کربنی

نانو لوله کربنی تک جداره (SWNT)

نانو لوله تک جداره به دلیل خواص الکتریکی جالب نوع بسیار مهمی از نانو لوله‌ها هستند که بدون شک با توجه به قطر کم آن، انتخاب مناسبی برای کوچک‌تر کردن اجزا و مینیاتوری کردن صنایع الکترونیک است.

نانو لوله کربنی چند جداره (MWNT)

نانو لوله کربنی تک جداره فقط از کربن و یک ساختار ساده (ورقه‌ای از شش ضلعی‌های منظم) تشکیل شده است. هدایت الکتریکی بالا بستگی به هندسه دقیق اتم‌های کربن دارد. تولید نانو لوله تک جداره دارای هزینه بالایی است و تولید به همراه پایدار کردن خصوصیات آن‌ها در حین فراوری پلیمر- نانو لوله مشکل است. بر عکس در دسترس بودن و تجاری بودن نانو لوله کربنی چند جداره باعث شده که پیشرفت‌های بیشتری در این زمینه داشته باشیم تا حدی که محصولاتی در آستانه تجاری شدن تولید شده است. به عنوان مثال از نانو لوله کربنی چند جداره (جایگزین Carbon-black) در پودرهای رنگ استفاده شده است.

یکی از معایب نانو لوله چند جداره نسبت به تک جداره این است که استحکام‌دهی آن‌ها کمتر است زیرا پیوندهای صفحات داخلی ضعیف هستند. اما از آنجا که در حال حاضر کاربرد نانو لوله‌ها در تقویت پلیمرها باعث بهبود خواص گرمایی و الکتریکی می‌شود تا بهبود خواص مکانیکی، کاربرد نانولوله کربنی چند جداره بسیار زیاد است. از طرفی تکنیک‌های موجود نیز برای تولید نانولوله‌های تک جداره به اندازه کافی بازدهی ندارد و خلوص لازم را نیز به همراه نمی‌آورد. تخلیص این مواد بسیار زحمت‌آور است و در نهایت ممکن است به ساختار نانولوله صدمه بزند.

نانو کامپوزیت‌های کربنی

نانو کامپوزیت‌های نانو لوله کربنی دارای استحکام بیشتری نسبت به کامپوزیت‌های موجود و کامپوزیت‌های مبتنی بر نانو ذرات هستند. از نظر تئوری کاربرد نانو لوله‌ها در کامپوزیت‌ها به دلیل استحکام کششی بالا مانع مصرف الیاف کربنی در کامپوزیت‌ها خواهد شد. خواص رسانایی یا حفاظت در برابر اشعه نانو لوله‌ها می‌تواند برای کامپوزیت‌ها ارزشمند باشد.

نانو لوله‌های کربنی به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌ها

نانو لوله‌ها یکی از مستحکم‌ترین مواد به شمار می‌روند. این موضوع، کاربرد نانو لوله‌های کربنی را به عنوان ماده‌ی پرکننده در تولید نانو کامپوزیت‌ها به خوبی روشن می‌سازد. مزیت اصلی استفاده از نانو لوله‌ها در کامپوزیت، افزایش سختی کامپوزیت در اثر جذب انرژی است که به دلیل رفتار الاستیک و انعطاف پذیر نانو لوله کربنی است. کامپوزیت‌های بر پایه نانو لوله‌ی کربنی دارای نسبت استحکام به وزن بالا هستند و مصارف گسترده‌ای را در صنعت خواهند داشت.

نانو کامپوزیت‌های بتن

با توجه به رشد روز افزون فناوری نانو در زمینه‌های مختلف از جمله صنعت ساختمان، نانو مواد جدیدی پا به عرصه‌ی ظهور گذاشته‌اند که از جمله‌ی آنها می‌توان به نانو کامپوزیت‌های بتن که در آنها موادی مانند نانو لوله کربنی استفاده شده، اشاره کرد. افزودن پلیمر به صورت پراکنده به سیمان، خواص مکانیکی بتن را به مقدار قابل توجهی در دراز مدت افزایش می‌دهد. به کار بردن نانو مواد در تولید سیمان و بتن می‌تواند منجر به بهبود ریز ساخت بناها شود زیرا مقاومت مکانیکی و عمر بتن وابسته به ساختار میکرو و انتقال جرم و پایداری وابسته به ساختار نانو است.

نانو لوله کربنی که اگر در ملات سیمان به مقدار صحیح استفاده شود، همانند میلگرد در بتن عمل کرده و مقاومت فشاری و خمشی بتن را افزایش می‌دهد. به علت انعطاف پذیری بالا، نانو لوله کربنی به عنوان جذب کننده‌ی شوک عمل کرده و مانع ویرانی ساختمان‌ها و سازه‌های بتنی می‌شود.

تفاوت نانو لوله کربنی (CNT) و نانو رشته کربنی (CNF) در بتن

استفاده از نانو لوله کربنی و رشته کربنی در کامپوزیت‌های پلیمری به صورت گسترده‌ای مطالعه شده ولی درباره استفاده آن‌ها در بتن و سیمان، مطالعات محدودی انجام شده است. بیش‌تر تحقیقات انجام شده، بر روی مقایسه تاثیر CNTs و CNFs بر ملات سیمان متمرکز شده است. یکی از اشکالات اصلی این افزودنی‌ها، عدم توزیع یکنواخت آن‌ها در مخلوط سیمان است و یک دلیل عمده این مسئله، آب‌گریزی بسیار بالای آن‌ها و دلیل دیگر آن جاذبه درونی بالای این نانو مواد است.

یکی دیگر از مشکلات نانو لوله‌ها یا رشته‌ها عدم چسبندگی مناسب بین CNTs/CNFs با خمیر سیمان است. یکی از روش‌های مطرح شده، اضافه کردن CNTs/CNFs به صمغ عربی و بعد، اضافه کردن آن به سیمان است. اضافه کردن SWCNTs و MWCNTs به بتن با استفاده از پیش پراکنش با صمغ عربی، سختی و مدول الاستیسته سیمان را افزایش می‌یابد در حالی که اضافه کردن آن‌ها بدون استفاده از صمغ عربی باعث تضعیف مشخصات مکانیکی سیمان می‌شود.

کاربرد نانو لوله کربنی در بتن

- در مورد افزودن نانو لوله‌ها به هر ماده‌ای دو مشکل عمده وجود دارد یکی ایجاد اتصال میان نانو لوله‌ها با همدیگر و دیگری فقدان چسبندگی مناسب میان نانو لوله و شبکه ماده توده است. که از دلایل این مشکل، برهم کنش‌های میان صفحات گرافیتی نانو لوله‌هاست.
- برای دستیابی به پراکندگی یکنواخت نانو لوله‌ها درون شبکه ماده توده، باید نانو لوله‌ها را از یکدیگر جدا نمود. علاوه بر این به دلیل طبیعت گرافیتی نانو لوله‌ها و وجود خاصیت لغزندگی در آنها، امکان ایجاد چسبندگی مناسب میان نانو لوله و شبکه وجود ندارد.
- در صورت استفاده از صمغ عربی به منظور از پیش پراکنده سازی نانو لوله‌ها، مخصوصاً در صورت کاربرد نانو لوله تک جداره، ویژگی‌های مکانیکی بتن به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.
- برای تعیین مقادیر بهینه نانو لوله‌های مورد مصرف و نیز شاخص‌های مؤثر در پراکنده سازی نانو لوله‌ها در مخلوط، به تحقیقات بیشتری نیاز است.
- هزینه بالای افزودن نانو لوله کربنی به بتن، توجه به مزایای آن را تحت الشعاع قرار داده است، لذا فعالیت‌هایی در جهت کاهش قیمت نانو لوله‌ها در حال انجام است که در این صورت مزایای حاصل از افزودن آنها به مواد [سیمان](#) بیشتر مورد توجه قرار خواهد گرفت.
- وجود یک سری مختصات ویژه نانو لوله کربنی آنها را به انتخاب ایده‌آلی برای بسیاری از کاربردها تبدیل کرده است.

اثر نانو لوله کربنی بر کاهش ترک‌های بتن

- در واقع وجود نانو لوله کربنی مانند پل‌هایی روی حفرات و ترک‌های موجود در بسته کامپوزیت بتنی است که مانع رشد و گسترش آنها می‌شود.
- افزودن نانو لوله کربنی به بتن سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای مقاومت فشاری و خمشی آن می‌شود به طوری که مقاومت فشاری کامپوزیت بتنی در حضور نانو لوله کربنی بیش از ۳۰٪ و مقاومت خمشی آن بیش از ۱۳٪، نسبت به نمونه فاقد نانو لوله کربنی است.
- اضافه کردن نانو لوله کربنی به صورت پراکنده به کامپوزیت بتنی، خلل و فرج کامپوزیت بتنی را کاهش می‌دهد و باعث ایجاد کامپوزیت بتنی فشرده‌تر و پیوسته‌تر می‌شود.
- نانو لوله کربنی اصلاح شده در ماتریس نانو کامپوزیت بتنی، با ایجاد سطح تماس بیشتر و در نتیجه سطح انتقال نیروی بیشتر سبب پیوند بهتر نانو لوله با ماتریس بتنی می‌شود. و از پیشرفت نقص‌ها و شکاف‌های توده جلوگیری می‌کند.

- نانو لوله‌ها درون ماتریس بتن، روی حفره‌ها و ترک‌ها را همانند پل‌هایی می‌پوشانند و با انتقال نیرو از یک سوی این حفره‌ها و ترک‌ها به سوی دیگر آن از رشد آنها جلوگیری می‌کند. با این کار انتقال بار اطراف ترک‌ها و حفره‌ها بهبود می‌یابد و بتن نانو کامپوزیتی حاصل، دارای استحکام بسیار بالایی نسبت به نمونه بتن معمولی خواهد بود.

ساخت بتن مسلح مقاوم و سبک با نانو لوله کربنی چند جداره

هدف اصلی استفاده از نانو لوله‌های کربنی در بتن واگذاری نیروهای کششی به وجود آمده در بتن به نانو لوله‌هاست. تا بدین طریق نیروهای کششی به بتن وارد نشده و منجر به ترک خوردگی و در نهایت تخریب بتن نشود. بتن‌های معمولی مقاومت کمتری نسبت به بتن‌های مسلح با نانو لوله کربنی چند جداره دارند.

برای بالا بردن مقاومت بتن‌های معمولی از میلگردهای فولادی استفاده می‌شود. به بتن آرمه مسلح با میلگرد، مواد نگه دارنده و ضد یخ اضافه می‌شود که در اثر عوامل محیطی افزایش حجم پیدا کرده و سبب از هم پاشیدن بتن می‌شود. کلر موجود در ضد یخ با میلگرد واکنش نشان می‌دهد و سبب خوردگی و کاهش مقاومت بتن می‌شود. این بتن‌ها در بناهای چند طبقه باعث نشست ساختمان می‌شوند بنابراین استفاده از نانو لوله کربنی در ساختمان برای افزایش مقاومت در برابر زلزله است. با توجه به مزایای این نوع بتن مسلح، از آن می‌توان در صنایع مختلف معدنی مثل دیواره‌های تونل‌ها برای افزایش استحکام و مقاومت فشاری و خمشی استفاده کرد.

فلزات نانو ساختار

فلزات نانو ساختار دانه‌هایی با اندازه نانومتری هستند که باعث استحکام و سختی بیشتر فلز می‌شوند. اما در حال حاضر تردی زیاد، طبیعت و نیاز به فرآوری پیچیده مانع از آن است که این فلزات نانو ساختار به عنوان بهترین جایگزین مواد سمی مانند کروم در پوشش‌ها و کاربردهای ضد خوردگی و نیز کاربردهای ساختاری دیگر مطرح شوند.

فولاد یکی از فلزات بسیار مهم در صنعت ساخت و ساز است. تحقیقات نشان داده اضافه نمودن نانو ذرات مس به فولاد از ناهمواری‌های سطحی فولاد می‌کاهد. در نتیجه تعداد عوامل افزایش دهنده تنش و در نهایت ترک خوردگی‌های ناشی از خستگی سازه‌هایی مانند پل‌ها و برج‌ها، که در آنها بارگذاری به طور متناوب انجام می‌گیرد را محدود می‌سازد. فناوری نانو در صنایع ساختمان نقش بسزایی دارد، در این راستا بیشترین سهم را صنایع فولاد، شیشه و بتن ایفا می‌کنند.



موارد استفاده از فولاد در صنعت عمران

- در ساختمان‌های اسکلت فلزی به عنوان تیر و ستون و بادبند و پلیت‌های کف
- در ساختمان‌ها و سازه‌های بتنی به عنوان میلگرد
- پایه‌ها و کف پل‌ها، کابل‌های کششی پر مقاومت
- لوله‌های انتقال آب و گاز و نفت
- اجزای داخلی ساختمان‌ها مثل در و پنجره‌ها، پیچ‌ها و اتصالات

- استفاده در نمای ساختمان

معایب فولاد

کاربرد گسترده فولاد در صنعت ساختمان، مزایا و معایب این ماده و قابلیت‌های چشمگیر فناوری نانو، زمینه‌های متعدد تحقیقات در این صنعت را فراهم می‌آورد.

خستگی و ترک خوردگی، خوردگی در مجاورت سیمان، آثار تبعی جوش کاری، نیاز به مقاومت‌های بالاتر، ضریب ارتجاعی بالاتر، نیاز به مقاومت بیش‌تر در مقابل خراشیدگی، از بین بردن آلودگی سطوح فلزی و....

فولاد و نانو ذرات

خستگی مساله بسیار حساسی است که می‌تواند منجر به شکست فولاد در سازه‌های تحت نیروی سیکلی (مانند پل و برج‌ها) شود. این موضوع می‌تواند در تنش‌هایی کمتر از تنش تسلیم مواد رخ دهد و در نتیجه عمر مفید سازه را کاهش دهد. افزایش تنش باعث شروع ترک و متعاقباً شکست خستگی می‌شود. تحقیقات نشان داده که افزودن نانو ذرات مس باعث کاهش ناهمواری‌های سطح فولاد گشته و در نتیجه‌ی آن تعداد تنش‌ها محدود شده و بنابراین ترک ناشی از خستگی کاهش می‌یابد. پیشرفت در این فناوری منجر به افزایش ایمنی، نیاز کمتر به نظارت و استفاده‌ی بهتر از مواد در ساخت و سازهای مستعد به مساله خستگی شده است.

فولاد مقاوم با نانو ذرات

افزایش استحکام، ضد اثر انگشت و ضد رنگ بودن از جمله ویژگی‌هایی است که فولاد مبتنی بر فناوری نانو داراست. در واقع فولاد نیز مانند بتن و آسفالت ماده‌ای با ساختار نانویی است. در فولاد نانو ذرات مس به عنوان ساختار پایه‌ای، مرزهای دانه‌های فولاد را شکل می‌دهند که تغییر در این نانو ساختارها، منجر به تولید فولادی مقاوم‌تر، جوش‌پذیرتر و پایدارتر در برابر خوردگی می‌شود. این فولاد بیشتر جهت استفاده در پل‌ها و سازه ساختمان‌ها مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

اضافه کردن نانو ذرات مس می‌تواند ناپایداری‌های سطحی فولاد را کاهش دهد و باعث کاهش مراکز تمرکز تنش و شکست در اثر خستگی شود. این امر باعث افزایش ضریب ایمنی فولاد شده و در کاربردهایی که به ایمنی بالایی احتیاج است فولاد را به گزینه اصلی تبدیل می‌کند. همچنین اصلاح فازی فولاد در ابعاد نانومتری کابل‌های مستحکم‌تری ایجاد می‌کند. کابل‌های فولادی فوق مستحکم می‌توانند در پل‌های کابلی باعث کاهش هزینه و زمان ساخت شود که این آثار در ساخت پل‌های کابلی معلق که کابل‌ها از یک سو به‌سوی دیگر کشیده شده‌اند، بیشتر خود را نشان می‌دهند. نانو ذرات، اثر تردشدگی فولاد را کاهش داده و باعث تقویت ریزساختار از طریق اصلاح فازی می‌شوند. اضافه کردن نانوذرات منگنز و کلسیم باعث افزایش چقرمگی جوش می‌شود. (به مقاومت مواد در برابر شکست در اثر اعمال تنش چقرمگی گفته می‌شود). دو نوع محصول به نسبت جدید فولاد ساندویک نانوفلکس و فولاد ۲MMFX با استفاده از این فناوری تولید می‌شوند. هر دو این فولادها مقاومت زیادی در برابر خوردگی دارند؛ اما خواص مکانیکی آنها متفاوت است. فولاد ۲MMFX با داشتن نانو ساختار اصلاح‌شده، مقاومت به خوردگی در حد فولاد زنگ نزن و هزینه تولید کمتری دارد و فولاد ساندویک نانوفلکس که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت، هم مقاومت به خوردگی و هم استحکام بسیاری دارد.

فولاد Sanduk Nauoflex

فولاد Sanduk Nauoflex یک فولاد زنگ نزن جدید است که خواصی از جمله استحکام فوق العاده بالا، فرم‌پذیری خوب و کیفیت سطح تمام شده‌ی خوبی دارد. فولاد جدید با مقاومت بالا در مقابل خوردگی و خاصیت جوش خوردگی بهتری را به خاطر وجود نانو ذرات مس در مرز دانه‌های فولاد از خود نشان می‌دهد. به دلیل عملکرد بالای این فولاد، می‌توان از آن در کاربردهایی که نیاز به مواد سبک و محکم دارند استفاده نمود. به دلیل استحکام و مدول الاستیسیته فوق العاده بالا، این فولاد حتی می‌تواند نازک‌تر و سبک‌تر از اجزایی که از آلومینیوم و تیتانیوم باشد. مقاومت در مقابل خوردگی و سایش خوب آن می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری شود.

فولاد MMFX2

MMFX2 یک فولاد اصلاح شده‌ی نانو ساختار دیگری است که توسط شرکتی به همین نام ساخته شده است. در مقایسه با فولادهای معمولی، این نوع فولاد میکرو ساختار متفاوتی دارد. یک ساختار لایه‌ای تکه تکه شبیه به تخته چند لایه. این ساختار منحصر به فرد باعث شده که فولاد MMFX2 استحکام (سه برابر مستحکم تر)، انعطاف پذیری، چقرمگی و مقاومت به خوردگی قابل ملاحظه‌ای پیدا کند. از این نوع فولاد می‌توان در مسلح سازی سازه‌های بتنی استفاده نمود. از آنجایی که این فولاد مقاومت در مقابل خوردگی مشابه فولاد زنگ نزن را دارد، می‌تواند به عنوان جایگزین استفاده شود زیرا از لحاظ اقتصادی به صرفه تر است. میکرو ساختار آن به صورت نانو لایه‌های انتقال نیافته‌ی آستنیت در بین لایه‌های مارتزیت است. این ساختار از تولید کاربید پیوسته جلوگیری می‌کند و در نتیجه ایجاد سلول‌های میکرو گالوانیک را کاهش می‌دهد. بنابراین با کاهش سلول‌های میکرو گالوانیک، فرآیند خوردگی به شدت کاهش می‌یابد. از این نوع فولاد در سازه‌های زیادی که در معرض خوردگی بوده‌اند استفاده شده است. از میلگرد MMFX 2 به عنوان رکاب در پیش ساخت تیرهای پل استفاده شده است.

جوشکاری

قابلیت [جوشکاری در فولاد](#) ساندویک نانوفلکس بسیار خوب است. این فولاد را می‌توان بدون فلز پرکننده در جوش تیگ یا لیزر جوشکاری کرد. اما استفاده از فلز پرکننده اختیاری است. پرکننده‌های مناسب برای جوشکاری فولاد ساندویک نانوفلکس در سایت این شرکت معرفی شده‌اند. البته جوش فولاد ساندویک نانوفلکس برای قسمت‌های فعال سازه که میزان تنش بالایی را تحمل می‌کنند، مناسب نیست.

کاربردها

در شرایطی که نیاز به خواص خوردگی خوب به همراه استحکام بالا و قابلیت انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری خوب باشد، فولاد ساندویک نانوفلکس گزینه مناسبی است. این فولاد در طراحی‌های پیچیده مانند ابزار پزشکی به‌ویژه سوزن جراحی برای جراحی‌های چشم و قلب مناسب است، زیرا این سوزن‌ها باید به اندازه کافی سخت و تیز باشند تا از بافت بدن انسان عبور کنند و در عین حال آنقدر انعطاف‌پذیر و چکش‌خوار باشند تا بتوانند به شکل‌های مختلف درآیند. همچنین از فولاد ساندویک نانوفلکس برای ساخت ابزارهایی که به پوست بدن انسان نفوذ می‌کند (مانند منگنه جراحی و سرنگ‌های قابل بازیافت برای واکسینه کردن و طب سوزنی) و ساخت ابزار ریز جراحی (شامل تیغه‌ها، اره، مته استخوانی، پیچ‌گوشتی و پانچ‌های بیوپسی) استفاده شده است. یکی از کاربردهای مناسب این فولاد در فنرهای است که در حالت فشرده قرار می‌گیرند؛ به‌ویژه هنگامی که زمان آسایش کم در دمای بالا موردنیاز باشد.

کاربرد نانو فناوری در سازه‌های فلزی

هدف نهایی از بررسی مواد در مقیاس نانو، یافتن طبقه جدیدی از [مصالح ساختمانی](#) با عملکرد بالا است، که آنها را می‌توان به عنوان مصالحی با عملکرد بالا و چند منظوره اطلاق نمود منظور از عملکرد چند منظوره، ظهور خواصی جدید و متفاوت نسبت به خواص مواد معمولی است. به گونه‌ای که مصالح بتوانند کاربردهای گوناگونی را ارائه کنند. با توجه به نو ظهور بودن مواد نانو ساختار، چنین موادی می‌توانند تحولی شگرف در صنعت ساختمان سازی و صنایع وابسته به آن ایجاد کنند. فولاد یکی از مهمترین مواد ساختمانی است. خواصی نظیر استحکام، مقاومت به خوردگی و قابلیت جوشکاری آن در طراحی و ساخت بسیار مهم هستند. این قابلیت‌ها باعث شده که نقش فولاد در صنعت ساخت و ساز بسیار پر رنگ باشد. نانو ساختار کردن فولاد و فلزات معمولی

با استفاده از روش تغییر شکل پلاستیک شدید که برای اولین بار در دنیا ارائه شده، این امکان فراهم شده که بتوان ساختار مواد آلایزهای عادی را با عبور از درون یک قالب تحت فشارهای بالا به حالت نانو تبدیل کرد. در یکی از روش‌های به کار رفته، فولاد یا آلایژ معمولی از درون یک قالب که دارای حفره‌هایی با زاویه ۹۰ درجه است عبور داده شده و طی فرآیند کوچک سازی دانه‌های ریزساختار از ابعاد میکرومتری به نانو متری تبدیل می‌شوند. با انجام این فرآیند که با

عملیات تزریق اکستروژن و اعمال حرارت نیز همراه است، شرایط لازم برای تغییر ساختار آلیاژ فراهم می‌شود. با تغییر ساختار ایجاد شده و استفاده از (نانو تکنولوژی)، سختی و استحکام مکانیکی آلیاژ تا چندین برابر افزایش می‌یابد که از لحاظ کاربردهای صنعتی فولاد و سایر آلیاژها از اهمیت بسویاری برخوردار است.

روش‌های ساخت فلزات نانو ساختار

روش‌های تولید انبوه نانو مواد که در حال حاضر در کاربردهای تجاری به کار می‌روند به شرح زیر است.

تغییر شکل

با اعمال تنش‌های مکانیکی مانند نورد زدن (rolling)، کشش (drawing) یا اکستروژن، تغییر شکل پلاستیکی شدید و یا با روش‌هایی مانند Peening Shot که شامل بمباران ماده با کره‌های کوچکی که shot نامیده می‌شوند، میکروساختارها شکسته شده و به نانو ساختار تبدیل می‌شوند. روش‌های تغییر شکل سرد را می‌توان با حرارت دادن و سرد کردن تدریجی (annealing) به منظور شکل‌دهی مجدد حالت بلوری سطح، انجام می‌دهند.

بلوری کردن شیشه (revivification glass)

با ایجاد یک محلول جامد فوق اشباع خنک شده از پیش ماده به نام شیشه فلزی، آرایه‌ای بی‌شکل از اتم‌های آلیاژ را بدون مرزهای بلوری تولید می‌کنند. این شیشه را گرم، سپس به آرامی سرد کرده و به این ترتیب بلورهای نانو مقیاس به دست می‌آید.

آبکاری

از این روش در پوشش‌دهی فلزات استفاده می‌شود. برای تولید فلزات نانو ساختار با این روش، در یک سلول الکترولیتی، محلولی از یون‌های فلز مورد نظر را بکار می‌برند. این ماده به شکل نانوبلور روی کاتد سلول رسوب می‌کند. محلول الکترولیتی می‌تواند شامل مواد دیگری برای کنترل اندازه دانه‌های فلزی باشد.

خواص فلزات نانو ساختار

استحکام

وجود دانه‌های بسیار ریز و کوچک با مساحت سطحی بالا باعث افزایش چند برابری استحکام این فلزات نسبت به مواد دیگر می‌شود.

مقاومت در برابر خوردگی

تعداد کم نقایص در فلزات نانو ساختار، آنها را در برابر خوردگی مقاوم می‌سازد.

تردی و شکنندگی

با وجود استحکام و سختی بالا، ترد و شکننده بوده و قابلیت شکلپذیری کمی دارند.

کاربردهای فلزات نانو ساختار

پوشش‌ها

فلزات نانو ساختار می‌توانند پوشش‌های بسیار سختی ایجاد کنند که در برابر خوردگی مقاوم بوده و از آنها در تجهیزاتی مانند تیغه بلدوزرها و سر مته‌های حفاری و یا اسکلت‌های فلزی پل و ساختمان‌ها استفاده نمود.

مواد ساختاری

از فلزات ابرسخت می‌توان در وسایل نقلیه، تجهیزات ورزشی مانند چوب‌های اسکی، اجزاء موتور هواپیماها و قطعات کاشتنی پزشکی مانند اعضاء مصنوعی به جای مفصل ران استفاده کرد.

ایجاد پوشش نیتريد تیتانيم نانو ساختار روی فولاد

پوشش‌های سخت مقاوم به سایش نیتريدی مانند نیتريد آهن با آلومینیوم و تیتانیم کاربردهای گسترده‌ای در صنایع گوناگون پیدا کرده‌اند، صنایع اتومبیل سازی، متالوژی نمونه‌هایی از این دست هستند. در میان پوشش‌های سخت نیتريدی، نیتريد تیتانیم به دلیل خواص منحصر به فرد اهمیت دارد. یکی از روش‌های نوین سخت کاری سطحی، نیتروژن دهی پلاسمای با استفاده از توری

فعال است. این روش معمولاً برای ایجاد پوشش نیتريد آهن به کار می‌رود. یکی از مزایای مهم این روش قابلیت لایه نشانی پوشش‌های نانو ساختار است که خواص منحصر به فردی چون سختی بالا و خواص سایشی مناسب، پوشش‌های نانو ساختار را ایجاد می‌کند.

فناوری نانو و خستگی مقاطع فولادی

پدیده خستگی در اثر بارگذاری تناوبی بروز می‌کند. سه راه برای پیشگیری از آن وجود دارد.

- کاهش قابل توجه تنش مجاز.
- کاهش زمان عمر مفید یا دوره سرویس دهی در طراحی فولاد.
- افزایش بازدهی و واریسی‌های سخت گیرانه تر.

اما هریک از روش‌ها تاثیرات منفی دارد. برای کم کردن تنش در فولاد با افزودن نانوذرات مس به فولاد می‌توان تشکیل ترک‌های ناشی از خستگی را محدود کرد.

نانو الیاف فلزی مسلح کننده بتن‌های توانمند

بتن پر مقاومت، بتنی با مقاومت فشاری ۲۰۰ تا ۲۵۰ مگا پاسکال است. این بتن‌ها مقاومت فشاری بالا و دوام خوبی دارند اما متأسفانه شکنندگی ضعف آنها است. با توجه به اینکه باید میکرو الیاف‌ها طول کوتاهی داشته باشن، دانشمندان برای درگیر شدن این میکرو الیاف‌ها با بتن، ناهموازی‌های در سطح نانو و میکرو روی سطح الیاف ایجاد می‌کنند تا الیاف بهتر به بتن مهار شود. دانشمندان با افزودن الیاف پلی وینیل الکل (PVAA) در اطراف میکرو الیاف فولادی درگیری زیادی بین بتن و میکرو الیاف ایجاد می‌کنند.

پوشش‌های سرامیکی محافظ خوردگی

پوشش‌های سرامیکی در میان انواع پوشش‌ها دارای ویژگی حرارتی و الکتریکی بالا، پایداری زیاد در برابر خوردگی، فرسایش و سایش است. با اضافه شدن نانو ذرات سرامیکی به رنگ‌ها می‌توان بر دوام فلزات در برابر خوردگی افزود. زمانی که قطعه رنگ آمیزی شده را در کوره حرارت می‌دهند، نانو ذرات سرامیکی پیوند عرضی با شبکه متراکم تشکیل می‌دهند و این سبب می‌شود تا رنگ یا لاک پوششی محافظت بهتری در برابر خش افتادن داشته باشد.

کاربرد نانو فیلترهای لیفی

در میان انواع فیلترها، فیلترهای لیفی به ویژه فیلترهای بی‌بافت به دلیل ارزان بودن، در دسترس بودن مواد اولیه، انعطاف پذیری و سهولت در تولید و در عین حال کارایی و ضریب اطمینان عملکردی بالا از توجه بیشتر برخوردار شده‌اند. در دو دهه اخیر با ظهور و رشد نانوتکنولوژی و ورود آن به حوزه منسوجات بی‌بافت سبب تولید فیلترهای نانو لیفی شده است. این فیلترها به دلیل دار بودن الیاف‌های با قطر بسیار پایین، سطح مخصوص بالا، استحکام قابل قبول، انعطاف پذیری بالا، نفوذ پذیر بالا و وزن واحد سطح پایین تر نسبت به سایر فیلترها، از راندمان و کیفیت بسیار بالایی برخوردار هستند. این ویژگی‌ها سبب شده تا امروزه فیلترهای نانو لیفی به عنوان یک گزینه‌ی امید بخش در کاهش ذرات معلق هوا و بهبود کیفیت هوا تلقی شود. افت فشار و راندمان دو ویژگی مهم جهت تعیین کیفیت فیلتر هستند. فیلتر با راندمان بالا و افت فشار پایین دارای کیفیت بهتری است. با افزایش سرعت هوا در سطح فیلتر به دلیل کاهش مدت زمان حضور ذرات در اطراف الیاف، شانس برخورد ذرات کاهش یافته و راندمان کاهش می‌یابد. با افزایش وزن واحد سطح و نانو الیاف، فاکتور پوشش افزایش می‌یابد. در نتیجه شانس برخورد ذرات و راندمان فیلتر افزایش می‌یابد. فاکتور کیفیت فیلتر با افزایش وزن واحد سطح فیلتر و افزایش سرعت هوا با کاهش راندمان و افزایش افت همراه بوده و باعث کاهش فاکتور کیفیت می‌شود.

فناوری نانو در تولید فیلترهای هوای موجود در صنعت سیمان و گچ

فناوری نانو در شاخه‌های مختلف علمی مانند پزشکی، انرژی، منسوجات، پیل‌های سوختی و ... رشد چشمگیری داشته است. یکی از این شاخه‌ها استفاده از نانو الیاف در صنعت فیلتراسیون است. امروزه فیلترهای صنعتی جهت جداسازی ذرات گرد و غبار یا ذرات

دارای ارزش افزوده مانند آرد، سیمان و ... از هوا، در تمام کارخانجات صنعتی استفاده می‌شوند. این نوع دستگاه‌ها قادر به جداسازی ذرات ریز کمتر از $5/0$ میکرون نیستند و در زمان کوتاهی این فیلترها به مرز اشباع می‌رسند. نانو الیاف به واسطه خواص ویژه‌ای که دارد پتانسیل کاربردی زیادی در صنایع فیلتراسیون گازها و مایعات خواهد داشت. با اضافه نمودن لایه‌ای از نانو الیاف به سطح این فیلترها و ظریف‌تر نمودن قطر الیاف و کاهش ضخامت فیلترها سبب می‌شود، در یک سطح مشخص، فیلتری با تعداد تخلخل بیشتر و ابعاد کوچکتر به دست آید که مورد اول سبب افزایش عمر فیلتر، افزایش نفوذپذیری هوا در سطح فیلتر و مورد دوم سبب جداسازی ذرات ریزتر نسبت به فیلترهای کنونی می‌شود. کاهش ضخامت فیلتر سبب افت فشار پایین‌تر و مصرف انرژی پایین‌تر می‌شود. فیلترهای نانو لیفی دارای وزن پایه کم، نفوذپذیری هوای زیاد و ابعاد منافذ کوچک هستند که آنها را برای کاربردهای فیلتراسیون گسترده، مناسب می‌سازد. لازم به ذکر است به دلیل گستردگی بسیار بالا در روش‌های استفاده از مواد نانویی می‌توان خواص بسیار مطلوب دیگری مانند ضد آب (هیدروفوب)، آب دوست (هیدروفیل)، آنتی باکتریال، ضد لک و دهها مزیت دیگر نیز جهت فیلترهای لیفی با توجه به فرآیند استفاده آن به دست آورد.

شاتکریت الیافی

یکی از موارد استفاده مهم و زیاد برای [الیاف فولادی](#) در سرتاسر جهان شاتکریت الیافی است. شاتکریت مواد استفاده شده‌ای برای نگهداری صخره‌ها و سنگ‌ها در بسیاری از جاها در طول تاریخ بوده است. در ابتدا شاتکریت بدون هیچگونه تقویت در وضعیت‌هایی که صخره‌ها از جنس خوب بودند استفاده می‌شد و نیز در بیشتر مواردی که صخره‌ها مشکل‌ساز بود. از شاتکریت ترکیبی با تقویت‌کننده‌هایی با شبکه توری استفاده می‌شد. امروزه امکان‌پذیر است که الیاف فولادی جایگزین این شبکه‌های توری شوند. این الیاف فولادی با شاتکریت متصل شده به صورت تقویت با هم کار می‌کنند تا در بعضی جاها و در بعضی از زمان‌ها قرار داده شود. نصب و قرار دادن این شبکه‌های مشی فولادی - سیمی روی سطوح ناهموار صخره‌ها کار سخت، بسیار گران و در بعضی موارد اتصال آن با ریسک زیادی همراه است. همچنین در تعمیرات نصب تقویت‌های عادی پر زحمت است و اغلب لایه‌های پوششی ضخامت زیادی را نیز دارا است. این گونه بود که در سال ۱۹۷۰، اولین تجربه استفاده از شاتکریت الیافی حاصل شد و در چند سال بعد علاقه‌مندی به استفاده از آن بیشتر شد تا جایی که برای تیبیت شیب‌ها، معادن و در وضعیت‌های تعمیرات پر زحمت مورد استفاده قرار می‌گرفت. با توجه به این تحقیقات روی شاتکریت الیافی نشان داد که باربری الیاف وابسته به طول الیاف و نیز کوچکی قطر و نسبت ضرائب بین آنهاست. تحقیقات بعدی نشان داد که استفاده از الیاف‌های قلاب شده با یک نسبت‌های مساوی به طور قابل ملاحظه‌ای از لحاظ مشخصات استحکام و دوام نسبت به الیاف‌های عادی بیشتر خواهد بود. بعد از این شاتکریت الیافی استفاده‌های موفقیت‌آمیز و گسترده در پوشش‌های تونل، تثبیت و استحکام زمین‌های شیب‌دار آب گذرها، مجاری فاضلاب، سدها و کانال‌ها و وشت استخرهای شنا و مخازن داشته است. یکی از موارد استفاده اصلی شاتکریت الیافی تعمیر و نوسازی سازه‌های دریایی، بزرگراه‌ها، راه‌آهن و دیگر ساختارها است. با وجود این تنها با یک تحقیق محدود و فعال در مورد اساس شاتکریت الیافی باعث گسترش استفاده فراوان آن می‌شود. یکی از معایب شاتکریت معمولی مقاومت کششی پایین آن است و لذا مشاهده ترک‌های زیاد و متعدد در شاتکریت در اثر حرکت توده سنگ پس از گرفتن شاتکریت غیر معمول و دور از انتظار نیست. قرار دادن تور سیمی جوش شده در شاتکریت همانطور که در صفحات قبل بحث شد، می‌تواند بر این مسئله غلبه نماید، لیکن نصب تور سیمی وقت‌گیر است و بنابراین گران تمام می‌شود. فکر استفاده از رشته‌های فولادی که مستقیماً با شاتکریت مخلوط شده و اجرا شود، توجه زیادی را به خود جلب نموده و تحقیقات زیادی در این زمینه طی دهه گذشته انجام شده است. در بیشتر تحقیقات و کارهای آزمایشگاهی اخیر، رشته‌های فولادی بطول ۲۵ میلیمتر و قطر ۲۵ میلیمتر و با نسبت ۳ تا ۶ درصد وزنی به سیمان و مصالح سنگی اضافه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از فایبر بیش از این درصد، آمیختن آن با شاتکریت و پاشیدن شاتکریت را با مشکل روبرو می‌سازد. اشکالات ناشی از کلاف و درهم پیچیده شدن رشته‌ها و ریخت و پاش بتن تا ۶۰٪ گزارش شده است. تحقیقات بیشتر و اخیری که توسط محققین انجام شده نشان می‌دهد که مخلوط رشته‌ها با بتن در دهانه لوله پخش، اتلاف آنها را تا حدود ۱۵٪ کاهش داده و مشکلات مربوط به درهم پیچیده شدن رشته را نیز کم می‌کند. مقاومت ۲۸ روزه شاتکریت

مسلح با رشته‌های فولادی را ۸ مگاپاسکال گزارش می‌کند که در مقایسه با شاتکریت غیرمسلح با مقاومت ۵-۲ مگاپاسکال قابل ملاحظه است. نه تنها مقاومت کششی شاتکریت مسلح از شاتکریت غیر مسلح بیشتر است، بلکه حتی اگر تنش وارده از حد مقاومت نهایی شاتکریت تجاوز نماید، رشته‌های فولادی از ظرفیت قابل ملاحظه‌ای برای نگهداری و حفظ و یکپارچگی شاتکریت برخوردار است. این بدان معنی است که شاتکریت در محل خود خواهد ایستاد و نقشی مفید بعنوان حائل علی رغم شکستگی ایفا خواهد کرد.

الیاف فولادی در برابر مش (شبکه توری)

هر چند که هر دو تقویت شاتکریت با الیاف فولادی و تقویت شاتکریت با مش به نظر می‌آید که می‌توانند در برابر سرعت حداکثر ذرات مقاومت کنند، اما یک تفاوت بسیار مهم در رفتار این دو مواد در منطقه نزدیک منطقه خروجی از دستگاه وجود دارد، جایی که باقیمانده شاتکریت در چندین منطقه به شکاف آن وجود دارد. از لحاظ کار این دو سیستم هنگامی که چندین شکاف بزرگ در حالت تقویت الیاف مش‌ها با هم مقایسه می‌شود. خطراتی که در شاتکریت تقویتی با الیاف فولادی بسیار کمتر و ایمن‌تر است در حالتی که عرض شکاف از ۳ تا ۵ میلیمتر افزایش می‌یابد. الیاف فولادی می‌توانند خارج از شاتکریت را نیز بپوشانند بدون اینکه تقویت کمتر شود اما مش با میله‌های کشیده شده سرد ممکن است خیلی شکننده باشد. یکی از مزایای شاتکریت الیافی این است که می‌تواند از خطوط تراز سنگ صخره را نیز کاملاً پوشش دهد. با توجه به شکل‌بندی شاتکریت تقویتی با مش اغلب نیاز به پوشش ۳۰ تا ۵۰ میلیمتری دارد تا خوب همه فضای خالی پشت مش توسط شاتکریت پر شود. نیازهای اضافی اخیر برای شاتکریت در حالت تقویت با مش بیشتر از این‌هاست و اغلب ممکن است اتفاق بیفتد که بعضی از مش‌ها غیر پوشش توسط شاتکریت باقی بمانند. مزیت دیگر شاتکریت الیافی این است که شاتکریت تقویتی بوده و برای اینکه در دیوار تونل مش‌ها ثابت بمانند و رعایت شود کار بسیار مشکل ساز، زمان بر و پرهزینه و بسیار در بعضی موارد دارای ریسک است. گذشته از این غیرممکن است که تقویت کردن شاتکریت با الیاف گسیختگی ناشی از برش را نسبت به تقویت‌های معمولی تقویت می‌کند.

فناوری نانو

فناوری نانو، نانو فناوری یا نانو تکنولوژی رشته‌ای از دانش کاربردی و فناوری است که جستارهای گسترده‌ای را پوشش می‌دهد. موضوع اصلی آن نیز مهار ماده یا دستگاه‌های در ابعاد کمتر از یک میکرومتر، معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. در واقع نانو تکنولوژی فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم‌هایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی، عمدتاً متأثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک از خود نشان می‌دهند.

فناوری نانو، امکان استفاده از انرژی حرارتی خورشید را برای تجهیزات الکترونیکی و دستگاه‌های ذخیره انرژی افزایش می‌دهد. همچنین، تجهیزات پیشرفته و ارزان برای تحقیقات پزشکی و مراقبت از سلامتی را فراهم می‌کند.

نانو مواد

موادی که حداقل یکی از ابعاد آنها در مقیاس ۱ الی ۱۰۰ نانومتر باشد، مواد نانویی یا نانومواد خوانده می‌شوند. یک نانومتر برابر با یک میلیاردمتر است. کوچک شدن اندازه ذرات در حد نانومتر، سبب تغییراتی در خواص فیزیکی و شیمیایی آنها می‌شود. مهمترین آنها شامل موارد زیر هستند.

- افزایش نسبت سطح به حجم
- ورود اندازه ذره به قلمرو مکانیک کوانتومی به جای مکانیک نیوتونی
- افزایش نسبت سطح به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می‌دهد. بر خصوصیات ذره در حالت مجزا و بر واکنش آن با دیگر مواد اثر می‌گذارد.
- افزایش سطح، واکنش پذیری نانو مواد را به شدت افزایش می‌دهد. زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده نمونه بسیار زیاد است.

دسته بندی نانو مواد

مواد در مقیاس نانو به دسته‌های زیر قابل تقسیم است.

- نانو لایه‌ها
- نانو پوشش‌ها
- نانو خوشه‌ها
- نانو سیم‌ها
- نانو لوله‌ها
- نانو حفره‌ها
- نانو ذرات

نانو لایه‌ها

در دنیای کنونی تغییرات سطحی به یک فرایند مهم و اساسی تبدیل شده است. در این مورد، روش‌هایی شامل ایجاد لایه‌های نازک یا پوشش‌ها بر روی سطوح، افزایش کارایی و محافظت سطوح را به دنبال دارد. رسوب یک لایه نازک (نانو لایه) برای پوشش‌دهی در اکثر صنایع جایگاه مهمی یافته است. فیلم‌های نانویی لایه نازک، که بر روی سطح یک زیر پایه نشاند می‌شوند، کاربردهای عمدتاً الکترونیکی دارند. همانند زیر لایه‌ها، خازن‌ها، قطعات حافظه، آشکارسازهای مادون قرمز و راهنماهای موجی سطوح را افزایش داد.

نانو پوشش‌ها

پوشش‌ها دارای کاربردهای متنوعی از صنایع اتومبیل گرفته تا صنایع لوازم خانگی هستند. این پوشش‌ها سطوحی را که در معرض آسیب‌های محیطی مانند باران، برف، نمک‌ها، رسوب‌های اسیدی، اشعه ماوراء بنفش، نور آفتاب و رطوبت هستند، را محافظت می‌کنند. فناوری نانو ایجاد نانو پوشش‌ها را پیشنهاد می‌کند.

نانو پوشش‌های حفاظتی برای افزایش مقاومت در مقابل خوردگی، افزایش سختی سطوح و حفاظت در مقابل عوامل مخرب محیطی هستند. علاوه بر آن، فناوری نانو از خش برداشتن، تکه تکه شدن و خرده شدن روکش‌ها جلوگیری می‌کند. از موارد استفاده نانو پوشش‌ها می‌توان به روکش‌های ضد انعکاس در مصارف خودرو سازی و سازه‌ای، روکش‌های محافظ (ضد خش، غیرقابل رنگ آمیزی، و قابل شستشوی آسان) و روکش‌های تزئینی اشاره کرد.

نانو لوله‌ها

در سال ۱۹۹۱، [نانو لوله‌های کربنی](#) کشف شدند. آلوتروپ‌های متداول کربن، گرافیت و الماس هستند. نانو لوله‌های کربنی یکی از مواد نانو ساختار، متشکل از اتم‌های کربن به شکل استوانه توخالی است. این نانو لوله‌ها ۵۰۰۰۰ بار نازکتر از موی انسان است. نانو لوله‌های کربنی دارای استحکام کششی و مدول الاستیسیته بسیار زیادی است. در مقایسه با فولاد که دارای استحکام کششی، ۴۰۰ مگاپاسکال است، استحکام کششی نانو لوله‌های کربنی ۱۵۰۰۰۰ مگاپاسکال است. نانو لوله‌ها با خواص مکانیکی، الکتریکی و اپتیکی برجسته، در مصارف الکترونیکی، نوری، پلیمری، هوافضا و پزشکی با بیشترین توجه روبه رو شده‌اند.

نانو پلیمرها

از جمله پلیمرهایی که در بحث نانو مواد جایگاه ویژه‌ای دارند، پلیمرهای رسانا هستند. پلیمرهای رسانا که در طول سه دهه اخیر توجه زیادی را به خود معطوف داشته‌اند، به سبب تغییر در خواص نوری و الکتریکی شان در ابعاد نانومتر، محتمل‌ترین سیستم‌ها برای کاربردهای نانوالکترونیکی هستند. خانواده پلی آنیلین نمونه‌ای از این پلیمرهاست.

یکی دیگر از کاربردهای نانو پلیمر در صنعت لاستیک‌سازی است. با اضافه کردن نانو مواد به ترکیبات لاستیکی، به دلیل پیوندهایی که در مقیاس اتمی بین این مواد و ترکیبات لاستیکی صورت می‌گیرد، خواص فیزیکی آنها بهبود می‌یابد. می‌توان به افزایش مقاومت سایش، افزایش استحکام، بهبود خاصیت مکانیکی، افزایش حد شکستگی اشاره کرد. در زیبایی ظاهری لاستیک نیز تأثیر

گذاشته و باعث لطافت همواری، صافی و ظرافت شکل ظاهر یلاستیکی میشود. همه این‌ها به نوبه خود باعث می‌شود که محصولات نهایی، مرغوب‌تر، با کیفیت بالا، زیباتر و در نهایت بازار پسند باشند.

نانو سرامیک‌ها

با پیدایش نانو فناوری، نانو سرامیک‌ها هر چه بیشتر اهمیت خود را نشان دادند. زمان تولید نانو سرامیک‌ها را می‌توان دهه ۹۰ میلادی دانست. در این زمان، نانو پودرهای سرامیکی تولید شدند. با استفاده از نانو پودرها، دمای ذوب کاهش می‌یابد و تکنیک‌های ساخت مواد ساده‌تر می‌شود. در نتیجه هزینه تولید نیز کاهش خواهد یافت. محصولات نانو سرامیک می‌تواند دارای خواص مکانیکی بهتر، استحکام بالاتر و انعطاف پذیری بیشتر باشند. همچنین خواص الکتریکی و مغناطیسی و نوری مطلوب‌تری خواهند داشت که ویژگی منحصر به فردی برای سرامیک‌ها است. یکی از مشکلات سرامیک‌ها شکنندگی آنهاست که با تولید سرامیک‌هایی در مقیاس نانو، قابلیت شکل پذیری آنها بهبود می‌یابد. سرامیک‌ها در کاربردهای هوافضا در حفاظت حرارتی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربردهای سرامیک‌های ساخته شده با فناوری نانو در حسگرها، الکترونیکی نوری و سازه‌های فضایی در حال گسترش است.

نانو پوشش‌های مقاوم در برابر حرارت

محققان مکزیکی با استفاده از ماده موجود در خاکستر، موفق به ساخت نانو پوشش کامپوزیتی شدند که در برابر دماهای بالا مقاوم است. این نانو پوشش می‌تواند در صنعت هوا و فضا مورد استفاده قرار گیرد. این پوشش برای استفاده در توربین‌های هوایی مناسب است. دما در این نواحی به بالای هزار درجه سانتیگراد می‌رسد که موجب بروز زوال میکروساختاری در این توربین‌ها می‌شود. این زوال در نهایت منجر به تغییر خواص گرمایی و مکانیکی توربین شده و کارایی انرژی در توربین را کاهش می‌دهد. در این پروژه محققان به دنبال ساخت مواد پیشرفته مبتنی بر نانو کامپوزیت بودند که بتواند ساختار سوپر آلیاژ را محافظت کند. برای این کار پژوهشگران از خاکسترهای سرامیکی حاوی نانوذرات مختلف برای ساخت نانو کامپوزیت استفاده کردند. می‌توان از موالیات نیز استفاده کرد، موالیات ماده موجود در خاکستر است که پایداری حرارتی و شیمیایی بالایی دارد. این ماده به عنوان ماتریکس سرامیکی به همراه نانو ذرات مختلفی مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت نانو کامپوزیتی با هدایت گرمایی پایین به دست آمد که قادر به حفاظت از سطح سوپر آلیاژها است. موالیات تا پیش از این به عنوان یکی از پسماندهای صنعتی و عامل آلودگی محیط زیست شناخته می‌شد. به طوری که در شمال مکزیک در اثر سوزاندن ذغال سنگ در صنعت این ترکیب موجب آلودگی محیط زیست این منطقه می‌شود. تولید پوشش نانو کامپوزیتی سد حرارتی و خوردگی

پوشش‌ها از دیرباز به منظور محافظت از سطح ابزار و قطعات مختلف در برابر آسیب‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. پوشش‌های سد حرارتی، پوشش‌هایی هستند که از نفوذ حرارت به زیر لایه جلوگیری می‌کنند. این نوع پوشش‌ها بر روی ابزار و قطعاتی از قبیل اجزای داخلی موتور هواپیما، توربین‌های گازی و تجهیزات برش نشانده می‌شوند. تلاش در جهت بهبود عملکرد این پوشش‌ها و اعطای خواص بیشتر از جمله خواص ضد سایش و خوردگی موضوعات تحقیقات بسیاری از محققان حوزه هوا فضا در سال‌های اخیر بوده است. یکی از مواد مورد استفاده به عنوان ماتریس پلیمری در نانو کامپوزیت‌های تحت دمای بالا، رزین فنولیک است. شبکه فنولی علی‌رغم دارا بودن برخی مزایا، محدودیت‌هایی را نیز داراست. زغال حاصل از آن به راحتی دچار خوردگی مکانیکی می‌شود و پس روی سطح عایق سریع‌تر انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر با کاهش ضخامت عایق، زمان عملکرد آن دچار کاهش می‌شود. در طرح حاضر تلاش شده از نانو ذرات غیر اکسیدی فوق دمای بالا به منظور بهبود خواص حرارتی و مکانیکی این رزین در شرایط عملیاتی سازه‌های فضایی تحت دمای بالا، به عنوان فاز پر کننده استفاده شود.

به دلیل استفاده از ذرات نانو متری و در نتیجه بالا بودن نسبت سطح به حجم، مقادیر بسیار کمتری از این ذرات در مقایسه با ذرات میکرونی مورد نیاز است که این موضوع موجب کاهش هزینه تولید این پوشش‌ها می‌شود. زیرکونیوم دی بورید نوعی سرامیک فوق دمای بالا با نقطه ذوب بیش از ۳۲۰۰ درجه سانتی گراد است. این سرامیک از ویژگی‌های بی‌نظیری همچون سختی،

هدایت الکتریکی و مقاومت در برابر خوردگی و سایش فوق العاده برخوردار است. با این وجود موانعی بر سر راه تولید این ماده پر کاربرد وجود دارد. ذرات زیرکونیوم دی بورید در مقیاس نانومتری تهیه شده و به عنوان فاز پر کننده در پوشش نانو کامپوزیتی با زمینه رزین فنولیک مورد استفاده قرار گرفته است. این نانو ذرات در دمای بالا و همچنین حضور اکسیژن دچار سوزش می شود. در ادامه ترکیبات اکسیدی حاصله ذوب می شوند و خلل و فرج زمینه پلیمری را پر می کنند و از این طریق مانع نفوذ شعله و اکسیژن به سطح زیرلایه می شوند.

این پوشش ها در تولید قطعات حساس صنعتی از جمله در صنایع هوا فضا جهت ساخت عایق های حرارتی، بدنه های مورد استفاده در شرایط مافوق صوت و ناپایدار، توربین های گازی، ابزار برش و بوته های نگهداری فلز مذاب کاربرد دارند.

نانو در صنعت ساختمان

فناوری نانو به عنوان یک فناوری کلیدی و بین رشته ای، فرصت های زیادی را جهت تقویت رقابت در صنعت ساخت و ساز نظیر ساخت و ساز سریع تر، منعطف تر، پایدارتر و مقرون به صرفه تر را فراهم کرده است. و زمینه های کاربردی این فناوری، تقریباً در تمام بخش های ساختمان شامل اسکلت، طراحی نما، مهندسی ساختمان (سیستم های ساختمانی) و طراحی داخلی را شامل می شود. کنترل خواص مواد در مقیاس نانو و نیز کنترل اثرات فیزیکی و شیمیایی مربوطه، تولید مصالح ساختمانی چندمنظوره با کارایی بالا را ممکن می سازد، که این امر باعث ایجاد ارزش افزوده، افزایش دوام، کیفیت و پایداری محیط زیست می شود. قابل ذکر است این فناوری کاربرد وسیع و چشمگیری در احداث زیرساخت های اصلی نظیر سدها، راه ها، پل ها و کانال ها و ... دارد.

ملزومات صنعت ساختمان

یکی از چالش های اصلی در صنعت ساخت و ساز، بازسازی ساختمان های تجاری و مسکونی موجود از نظر کارایی انرژی است. به عنوان مثال تقریباً ۸۰ درصد ساختمان های موجود بیشتر از دو برابر ساختمان های جدید گرما مصرف می کنند. بنابراین، نیاز به مدیریت انرژی و سیستم های [عایق حرارتی](#) و همچنین منابع انرژی بهینه و تجدید پذیر (مانند فتوولتائیک) در سطح بالایی قرار دارد. چالش های دیگری که صنعت ساخت و ساز در آینده با آنها مواجه می شود شامل موارد زیر است.

- ترکیب عملکردها و حفظ ارزش بخش های مختلف ساختمان، برای مثال نمای چندمنظوره، که دما و نور مطلوب را ایجاد می کند و همزمان در برابر خوردگی، حمله ی قارچ یا ضربات شدید از بنا محافظت می کند.
- برطرف نمودن نیازهای رو به رشد مشتریان (آسایش مشتری) در زمینه ی طراحی و آسایش مسکن و نیز حذف اختلالاتی همچون آلودگی، سرو صدا، رطوبت یا بوی نامطبوع.
- ایجاد سازه های ایمنی محور با توجه به افزایش خطرات زیست محیطی.
- صرفه جویی در انرژی و مواد اولیه با تولید مصالح ساختمانی ویژه و نیز ساخت و ساز و بهره برداری از زیرساخت ها و ساختمان های مسکونی.

- اختصاص اولویت به آموزش و تحصیلات تکمیلی به عنوان پیش نیاز نوآور فناوری نانو، می تواند مشارکت قابل توجهی را در پاسخگویی به این نیازها داشته باشد. تأثیر فناوری نانو در صنعت ساختمان، عمدتاً در مراحل اولیه زنجیره ی ارزش به ویژه در حوزه ی شیمی ساخت قابل توجه است.

- مواد بتنی خود متراکم که به واسطه ی افزودنی های بهینه بر پایه عامل های پلیمر در مقیاس نانو ایجاد می شوند.
- بتن با کارایی بالا (بتن فوق قوی) به واسطه ی بهینه سازی ساختار دانه
- سیستم عایق بندی کارآمد از جنس نانو مواد متخلخل با رسانایی گرمایی حداقل و با انعکاس یکنواخت
- رنگ نمای مقاوم در برابر کثیفی و آلودگی دارای ساختار نانو

کاربردهای فناوری نانو در صنعت ساختمان

کاربرد نانو فناوری در صنعت بتن

یکی از جنبه‌های اصلی نانو تکنولوژی ماهیت میان رشته‌ای آن است. تعامل این علم با علم بتن می‌تواند نقطه عطفی در صنعت ساخت و ساز ایجاد کند. هدف نهایی از بررسی بتن در مقیاس نانو، یافتن نسلی جدید از مصالح ساختمانی با عملکردهای بالا و با خواصی جدید و متفاوت نسبت به خواص مصالح معمولی است. اولین گام برای ورود به این عرصه، شناخت بتن است. بتن از پر کاربرد ترین [مصالح ساختمانی](#) است. استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت بتن به چند سال اخیر برمی‌گردد. ثابت شده که استفاده از ذرات ریزتر از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده است. در حال حاضر هزینه‌های بالای نانو ذرات مانع از توسعه روزافزون این محصولات و استفاده آن‌ها در صنعت می‌شود، برای همین بهره‌برداری از نانو تکنولوژی در صنعت بتن در مقیاس تجاری همچنان به چند محصول قابل عرضه در بازار محدود شده است. مشکل دیگر در زمینه استفاده از نانو موادمها توزیع یکنواخت آن‌ها در ماتریس بتن است. معمولاً این مواد در حین افزوده شدن به بتن به صورت کلوخه انباشته می‌شوند و در مخلوط به خوبی توزیع نمی‌شوند، البته برای این حل مشکل می‌توان از دستگاه‌های مخلوط‌کن قوی استفاده کرد. اشکال دیگر در این زمینه جذب آب بسیار بالای ذرات نانو است. این ذرات به علت سطح ویژه بسیار بزرگی که دارند مقدار زیادی آب جذب می‌کنند و ممکن است بر کارایی بتن تاثیر گذار باشد.

مصالح ساختمانی سیمانی

افزایش مقاومت در بتن به ساختار بلورین آن بستگی دارد که اندازه آن تنها چند نانومتر است. در سال‌های اخیر و با شروع بهسازی مواد در حوزه مصالح ساختمانی سیمانی، نانو مواد به عنوان مواد مکمل در مصالح کاربرد دارد. فناوری نانو از طریق به کارگیری نانوپودرها به عنوان مواد مکمل در مخلوط سیمان باعث بهبود در مقاومت، استحکام و فرآیندپذیری مصالح شده و تغییر در خواص دیگری مانند حفاظت الکترومغناطیسی، محافظت گرمایی، کنترل هدایت حرارتی، تغییر رنگ و واکنش‌های کاتالیزتی می‌شود. از جمله مواد مکمل برای بهینه کردن خواص ملات بتن در مقیاس نانو می‌توان به اکسیدهای فلزی نانو مقیاس (برای مثال دی اکسید سیلیکون کلئیدی) یا کوپولیم‌های بلوکی که به صورت تجاری تولید می‌شوند، اشاره نمود. با استفاده از دی اکسید سیلیکون کلئیدی که اندازه ذرات آن به طور معمول در محدوده ۵ تا ۳۰ نانومتر است، استحکام و مقاومت بتن در برابر خوردگی اسیدی افزایش می‌یابد.

نمای بیرونی و بام ساختمان

فناوری نانو روش‌های زیادی برای بهبود خواص سطوح نمای ساختمان چه از نظر عملکرد و چه زیبایی عرضه می‌کند. با استفاده از نانو مواد، خواص سطوح در برابر آب و ذرات گرد و خاک (ذرات کثیف) با تنوع نسبتاً زیاد و به صورت دلخواه قابل تنظیم است، که از آن جمله می‌توان به سطوح آب دوست (Hydrophilic)، سطوح آبگریز (Hydrophobic) یا سطوح مقاوم در برابر روغن (Oleophobic) اشاره کرد. استفاده از پودر تیتانیوم دی اکسید در مقیاس نانو، اثربخشی لایه را افزایش می‌دهد و با توجه به کوچکی ذرات، از پخش نور جلوگیری می‌شود، بنابراین با استفاده از آن در جداره پنجره‌ها شفافیت مورد نیاز این پوشش تأمین می‌شود. در حال حاضر دامنه تولید سیستم پوششی فوتوکاتالیزتی نسبتاً وسیع و شامل سطوح ابر آبدوست است که در مثال‌های متنوعی چون آئینه، [پنجره‌های خود تمیز شونده](#)، قاب پنجره‌ها یا آجر (سفال) استفاده می‌شود.

عایق حرارتی

استفاده از عایق حرارتی در [نمای خارجی](#)، هم از نظر هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای ساختمان‌سازی جدید و بازسازی ساختمان‌ها و هم از نظر هزینه‌های عملیاتی از عوامل ضروری در اقتصاد ساختمان است. تنها در آلمان قریب به ۶ میلیارد متر مربع سطوح نما وجود دارد که تقریباً ۸۰۰ میلیون متر مربع از آن سطوح پنجره است و این در حالی است که بخش بزرگی از آن نیازمند بازسازی است. در اروپای غربی بازار عایق حرارتی در صنعت ساختمان تقریباً ۶ میلیارد یورو تخمین زده می‌شود.

پنجره‌ها و جداره‌ها

شیشه به دلیل شفافیت و مقاومت بالا با هر شکل و رنگی به عنوان مصالح ساختمانی برای پنجره و نما شناخته شده است. البته لکه دار شدن سریع، انعکاس نامطلوب و عملکرد بد آن به عنوان یک عایق حرارتی، از نکات منفی آن است. پوشش‌های نانویی این

خواص منفی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند و بدین وسیله زمینه‌های عملکردی جدیدی را برای نمای شیشه‌ای به ارمغان می‌آورد.

- بهبود حفاظت از حرارت با استفاده از پوشش‌های ذخیره کننده انرژی (Low-E)
- شیشه ضد آفتاب (حفاظت در برابر آفتاب) با استفاده از شیشه‌های رنگ متغیر (الکتروکرومیک)
- بهبود استفاده از نور روز با به کارگیری آرایش یکنواخت میکروآینه‌ای
- خود تمیز شوندگی با استفاده از پوشش فوتوکاتالیستی
- پوشش‌های ضد انعکاس با استفاده از لایه‌ی SiO_2 نانو حفره

پوشش‌های ضد انعکاس

از پیشرفت‌های فناوری نانو در صنعت ساختمان و قابل عرضه در بازار، پوشش‌های ضد انعکاس برای شیشه‌های مسطح است که افزایش انتقال نور بیشتری دارند و برای نمونه در کلکتورهای خورشیدی و یا جداره شیشه‌های ساختمان کاربرد دارند. انتظار می‌رود که با این روش اتلاف انعکاسی نور (نوری که به وسیله‌ی بازتابش به بیرون منعکس می‌شود) در پانل‌های شیشه‌ای به طور معمول از ۸ درصد به ۲ درصد کاهش می‌یابد.

پنجره‌های هوشمند

واژه‌ی پنجره هوشمند به پانل شیشه‌ای اطلاق می‌شود که بسته به نوع تأثیرات محیطی، خواص خود را خصوصاً در مورد انتقال نور می‌تواند تغییر دهد. بدین منظور از مواد کروموژنیک استفاده می‌شود که رنگ یا شفافیت خود را می‌تواند با توجه به محرک‌های (عوامل) برگشت پذیر فیزیکی یا شیمیایی تغییر دهد. این گونه شیشه‌ها می‌توانند به عنوان جایگزین برای انواع سیستم‌های سایه از قبیل سیستم‌های ضد تابش و پرده‌ها در نظر گرفته شود. شیشه‌های هوشمند از طریق فناوری‌های مختلفی تولید می‌شوند که این فناوری‌ها تا حد زیادی مبتنی بر استفاده از نانو مواد و سیستم‌های پوششی نانو مقیاس است.

انرژی و تکنیک‌های نورپردازی

فناوری نانو گزینه‌های متعددی برای افزایش بهره‌وری و توسعه روش‌های جدید تولید انرژی و تکنیک‌های نورپردازی در ساختمان ارائه می‌کند که برخی از این نمونه‌ها به شرح زیر است.

- دیودهای نوری به عنوان تکنیک نورپردازی با بازده انرژی بالا برای کاربردهای ویژه در ساختمان (نورپردازی نما، نورهای راهنما، نورهای رنگی).
- مواد ارگانیک با توانایی بالا برای استفاده در تکنیک نورپردازی بر روی زیرلایه‌های انعطاف پذیر.
- سلول‌های خورشیدی رنگی با ویژگی شفافیت و زیبایی (تزئینی)، برای مثال در نماهای شیشه‌ای به عنوان جایگزینی برای سلول‌های خورشیدی پایه سیلیکون.
- پوسته‌های (غشا) نانو ساختار و کاتالیزورها، برای بازدهی بیشتر پیل‌های سوختی در بخش الکتروسیسته و گرما و با استفاده از گاز طبیعی.

با توجه به مصرف کم انرژی، رنگ زیبا و ابعاد بسیار کوچک LED (که مبتنی بر پوشش‌های نیمه‌هادی در مقیاس نانو است)، معماران قادرند هنر خود را در نورپردازی ساختمان و طراحی نما در معرض عموم قرار دهند.

حفاظت در برابر آتش

فناوری نانو روش‌های متنوعی برای توسعه مواد ضد آتش (ضد حریق) و بهبود خواص آن و به عنوان جایگزین مواد آلاینده که در این زمینه استفاده می‌شده، عرضه می‌کند. نقطه عطف پژوهش‌ها، ذرات سیلیکات نانو ساختار هستند (نانو رس) که به عنوان پرکننده پلیمرها و برای بالا بردن خواص ضد آتش و مقاومت در برابر حرارت استفاده می‌شود. در ساختمان، پلیمرها در پوشش کابل‌ها، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. برای مثال در فیوز، پریز برق و محفظه لامپ‌ها و ... خاصیت ضد حریق کامپوزیت‌های نانو رس نشانگر این مسأله است که هم اتلاف حرارت و توسعه دود به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و همزمان ایجاد جرقه (جرقه

زنی) به تعویق می‌افتد. از دیگر جنبه‌های کاربردی پوشش ضد حریق برای چوب، فلز، پلاستیک یا بتن است که توسعه آتش در مصالح به وسیله این نوع پوشش به تأخیر می‌افتد و مانع گسترش کنترل نشده آتش می‌شود.

در مورد جداره‌های شیشه‌ای نیز، فناوری نانو به بهبود عمل حفاظت در مقابل آتش (مقابله با آتش) کمک می‌کند.

دکوراسیون داخلی

در دکوراسیون داخلی، فناوری نانو برای هر نوع کارکردی، سطوح مناسب آن را ایجاد می‌کند. با استفاده از نانو ذرات اصلاح شده، پوشش‌های متنوعی را می‌توان تولید کرد، که به شرح زیر است.

- پوشش ضد گرد و غبار
- پوشش‌های آبگریز
- پوشش‌های ضد اثر انگشت
- پوشش‌های ضد خراش
- پوشش‌های آنتی باکتریال
- پوشش‌های چند منظوره

زیرساخت

افزایش عمر مفید و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات با منافع اقتصادی زیادی همراه خواهد بود. فناوری نانو، فرصتی را فراهم می‌کند تا نوآوری‌های جدید در بخش احداث جاده، پل و نیروگاه برق به وقوع بپیوندد.

با استفاده از نانوسیلیس در بتن، برخی مواد افزودنی قلیایی مضر برای محیط زیست منسوخ خواهد شد و بتن با کیفیت و مقاومت بهتری به وجود خواهد آمد. این روش برای اجرا در ساختمان نیز مورد تایید است. هم اکنون نانو سیلیس در ساخت بتن‌های مقاوم به اسید برای برج‌های خنک کننده نیروگاه نیز به کار گرفته شده که باعث بهبود ساختار و خواص شیمیایی بتن شده است. برای استفاده از بتن‌های مقاوم به اسید این بتن‌ها می‌توانند با هزینه معمول و پوشش‌های نگهدارنده آلی تولید شوند.

در **بتن الیافی**، مقاومت در برابر خوردگی افزایش یافته و انتقال نیرو و مقاومت اتصالات بین الیاف و ماتریس سیمان کاملاً افزایش می‌یابد. مقاومت ساختاری (مقاومت بار) و طول عمر این ترکیب با اثرات متفاوت پوشش به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. بدین ترتیب استفاده از آن در ساخت پل‌های دارای دهانه بزرگ، سالن‌ها، سازه‌های پوسته‌ای، ستون‌های متحمل بار زیاد و در زیر ساخت‌های سازه‌ای امکان می‌یابد.

فناوری نانو و صنعت ساختمان

فناوری نانو در صنایع ساختمان هم نقش بسزایی دارد. در این راستا بیشترین سهم را صنایع فولاد، شیشه و بتن ایفا می‌کنند. کاربرد نانو ذرات در صنعت ساختمان که مهمترین آن‌ها **نانو لوله‌های کربنی (CNT)** و دی اکسید تیتانیوم هستند. عموماً در سازه‌های اصلی باعث افزایش خواص مکانیکی نمونه‌ها شده و در بخش نازک کاری نیز کاربرد نانو پوشش‌ها در نمای داخلی و خارجی ساختمان‌ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نانو پوشش‌های ساختمان ضمن اینکه باعث دفع آب شده و جذب کثیفی را به حداقل می‌رسانند، نمای ساختمان را در مقابل اشعه UV مقاوم می‌سازند.

این نانو پوشش‌ها در سطوحی از جمله سیمان، آجر، سفال، سنگ معمولی، کاشی، مرمر، چوب، سرامیک، شیشه، فولاد و بتن به کار می‌روند. ساخت بتن تقویت شده، خود تعمیر کننده و خود تمیز شونده، **شیشه‌های خود تمیز شونده**، مقاوم در برابر آتش و کنترل کننده انرژی و در نتیجه صرفه جویی در مصرف انرژی، استفاده از رنگ‌های حاصل از علم نانو که باعث عدم نفوذ باکتری‌ها به ساختمان‌های اداری، مسکونی، بیمارستان‌ها و غیره شده و به آنها عمری طولانی، محیطی عاری از باکتری و ماهیتی غیر قابل کثیف شدن و فرسودگی می‌بخشد نیز از دیگر کاربردهای مهم فناوری نانو در صنعت ساختمان است.

فناوری نانو و پوشش‌های ساختمانی

نانو پوشش‌های ساختمان در سطوح داخلی و خارجی ساختمان‌ها از جمله سطوح شیشه‌ای، پلاستیکی، چوبی، فولادی، سنگی، آجری، کاشی، سرامیکی، سیمانی و بتنی و ... استفاده می‌شوند. در این سطوح (سطوح هوشمند) که عموماً فوق آبدوست یا فوق آبگریز هستند، واکنش‌ها بر روی سطح صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که نانو پوشش‌ها ساختمان آنتی باکتریال بوده و برای سلامتی انسان بی‌ضرر هستند.

نانو پوشش‌های سنگ و چوب

این نانو پوشش‌های آنتی باکتریال، مقاوم در برابر آب، هوا، مواد ارگانیکی و غیر ارگانیکی هستند و یکی از پوشش‌های اصلی صنعت ساختمان به شمار می‌روند. نانو پوشش‌های سنگ و چوب ترکیباتی هستند که ضمن حفظ ظاهر اصلی سطح باعث عدم ایجاد چسبندگی در سطح شده و آب، چربی و سایر آلودگی‌ها را از سطح دفع می‌کنند. ضمناً نانو پوشش‌های سنگ و چوب برای سطوح سنگی نفوذپذیر که خاصیت مکندگی دارند نیز موارد استفاده بسیاری دارند. ترکیبات این نانو پوشش‌ها معمولاً شامل الماس، نقره، شیشه و سرامیک هستند. و با توجه به موارد مصرف ممکن است متفاوت باشند، اما در اکثر آن‌ها فاز حامل آب و الکل است و ذرات آنها تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاوم هستند.

مزیت

پوشش سطوح منفذدار، حفظ تنفس سطوح، حفظ سطوح در برابر عوامل محیطی، امکان تمیز شدن لک‌ها از جمله چربی‌ها و روغن‌ها با آب، جلوگیری از ایجاد کپک، جلبک و مشابه آنها و محافظت سطوح از تاثیر نم و کثیفی‌ها.

موارد مصرف سطوح چوبی

نانو پوشش‌های سنگ و چوب، علاوه بر استفاده در سطوح چوبی معمولی برای سطوح چوبی جلادار و سطوح چوبی رنگ شده هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سطوح چوبی جلادار سه ماه پس از اعمال جلا مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای سطوح چوبی رنگ شده از نانو پوشش‌های چند منظوره استفاده می‌شود.

استفاده از نانو پوشش‌های سنگ و چوب در نمای ساختمان باعث عدم نفوذ کثیفی‌ها، باکتری‌ها و غیره به داخل ماتریس می‌شوند و ظاهر اولیه نما را به خوبی حفظ می‌نمایند. آجرها و سرامیک‌ها

درخت‌های بزرگ اطراف ساختمان‌ها با به جا گذاشتن آثار خود بر روی سطوح ساختمان‌ها باعث می‌شوند نمای ساختمان‌ها به مرور زمان رنگ سبز درختان را به خود گرفته و برای تمیز کردن آنها می‌بایست از ابزار تمیز کننده با فشارهای قوی استفاده شود، اما این عمل نیز باعث می‌شود پس از چند ماه در سطح ساختمان چسبندگی بیشتری ایجاد شود و سریع‌تر و راحت‌تر از قبل کثیفی‌ها را به خود جذب کنند در این گونه موارد نیز استفاده از نانو پوشش‌های سنگ و چوب ضروری به نظر می‌رسد. ماسه سنگ‌ها و بتن گازی

بتن گازی و ماسه سنگ‌هایی که ساختار سفید رنگی دارند و اغلب در آتلیه‌ها و ایوان‌ها به کار می‌روند، کثیفی‌ها و چربی‌ها را جذب کرده و ظاهر آنها خیلی سریع به صورت نامطلوبی تغییر می‌کند. در این شرایط استفاده از تمیزکننده‌های با فشار بسیار قوی نیز کارساز نیست. اما در صورت استفاده از نانو پوشش‌های سنگ و چوب در حالی که به سطح اجازه تنفس داده می‌شود، باعث عدم نفوذ مواد به سطح می‌شوند، بدین ترتیب رنگ و ساختار اصلی سطح حفظ می‌شود.

کاشی‌ها و لوح‌های سنگی

استفاده از نانو پوشش‌های سنگ و چوب باعث می‌شوند ساختمان‌ها همراه با باغچه‌ها و مجسمه‌های اطراف آنها از تاثیرات محیطی محفوظ مانده و به مرور زمان در رنگ آن‌ها تغییری ایجاد نشود.

شیشه

نانو پوشش‌های شیشه در صنایع ساختمان و اتومبیل بیشترین کاربرد را دارند، در ادامه به برخی از کاربردهای آنها در صنایع ساختمانی اشاره شده است.

شیشه‌های خود تمیز شونده

این نوع نانو پوشش‌ها، با ضخامت چند نانومتر در سطح شیشه یک فیلم آبدوست تشکیل می‌دهند. سطح هیدروفیل آنها از تاثیر نور خورشید یک فوتوکاتالیست تشکیل داده و آب جمع شده در سطح، در مقابل نیروی جاذبه زمین میزان آب / هوا را بر روی خود افزایش داده و بدین ترتیب آب جمع شده در سطح تماماً پخش شده و بخودی خود امکان تمیز شدن را بوجود می‌آورد. نانو پوشش‌های استفاده شده بر روی شیشه پس از شش هفته خاصیت خود تمیز شوندگی را از خود نشان می‌دهند.

شیشه‌های کنترل کننده انرژی

این نوع شیشه‌ها ضمن دارا بودن تنوع در رنگ و سایر خصوصیات، قادرند با کاهش شدید امواج ماوراء بنفش و مادون قرمز عبوری و تنظیم عبور نور مرئی، در زمستان تا ۸۵ درصد و در تابستان تا ۸۰ درصد از هدر رفتن انرژی داخل ساختمان جلوگیری کرده و در صرفه جوئی مصرف انرژی، نقش بسزائی داشته باشند.

شیشه‌های محافظ در برابر آتش

شیشه‌های محافظ در برابر آتش نیز یکی دیگر از دستاوردهای فناوری نانو است. این محصول از طریق قراردادن یک لایه شفاف محتوای نانو ذرات سیلیس در میان دو صفحه شیشه‌ای ساخته می‌شود که در هنگام گرم شدن شیشه این لایه شفاف تبدیل به محافظی سخت، تیره و مقاوم در برابر آتش می‌شود.

بتن

تحقیقات بسیاری در زمینه بکارگیری فناوری نانو در ساختمان بتن در حال انجام است به منظور درک این موضوع به برخی از مواد نانو اشاره شده است.

نانو سیلیس‌ها

با استفاده از نانو ذرات سیلیس می‌توان میزان تراکم ذرات را در بتن افزایش داده که این به افزایش چگالی میکرو و نانوساختارهای تشکیل دهنده بتن و در نتیجه ویژگی‌های مکانیکی می‌انجامد.

نانو لوله‌های کربنی

تحقیقات گسترده‌ای در خصوص کاربردهای نانو لوله‌های کربنی در حال انجام است و تاکنون خواص قابل ملاحظه‌ای از آنها کشف شده است. برای مثال با وجود این که چگالی آنها یک ششم چگالی فولاد است، مدول یانگ آنها پنج برابر و استحکام آنها هشت برابر فولاد است. در صورت افزودن نیم الی یک درصد وزنی از این نانو لوله‌ها به ماتریس بتن خواص نمونه‌ها به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد.

نانو ذرات رس

برخی از انواع نانو ذرات در چسب‌های مختلف و نحوه تاثیر آنها بر روی ویژگی‌های کلیدی مرتبط با فرسایش بتن مانند ممانعت از انتقال یون‌های کلر، مقاومت در برابر دی اکسیدکربن، پخش بخار آب، جذب آب و عمق نفوذ هدایت می‌شوند.

نانو ذرات اکسید آهن یا هماتیت

در صورت اضافه نمودن نانو ذرات اکسید آهن به ماتریس بتن علاوه بر افزایش مقاومت بتن، پایش سطوح تنش بتن را از طریق اندازه گیری مقاومت الکتریکی برشی امکان پذیر می‌سازد.

نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم هم برای بهبود ویژگی‌های بتن در نمای ساختمان‌ها به عنوان پوشش بازتاب کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نانو ذرات از طریق واکنش‌های فوتوکاتالیستی قوی قادر به شکستن و تجزیه آلاینده‌های آلی، ترکیبات آلی فرار (VOC) و غشای باکتریایی هستند. به همین جهت برای ایجاد خاصیت ضد عفونی کنندگی به رنگ‌ها، سیمان‌ها و شیشه‌ها

اضافه می‌شوند. بتن حاوی دی اکسید تیتانیوم دارای رنگ سفید و درخشندگی خاصی است و این درخشندگی را بطور موثری حفظ می‌نماید در حالی که ساختمان‌های ساخته شده با بتن معمولی فاقد چنین ویژگی هستند.

فولاد

فولاد یکی از فلزات بسیار مهم در صنعت ساخت و ساز است. تحقیقات نشان داده اضافه نمودن نانو ذرات مس به فولاد از ناهموازی‌های سطحی فولاد می‌کاهد و در نتیجه تعداد عوامل افزایش دهنده تنش و در نهایت ترک خوردگی‌های ناشی از خستگی سازه‌هایی مانند پل‌ها و برج‌ها، که در آنها بارگذاری به طور متناوب انجام می‌گیرد را محدود می‌سازد.

حسگرها

حسگرهای مبتنی بر فناوری نانو نیز می‌توانند به نوبه خود کاربردهای زیادی در سازه‌های بتنی داشته باشند. برای کنترل کیفیت و دوام بتن، این حسگرها می‌توانند برای هدف‌های مختلفی نظی اندازه‌گیری چگالی، میزان افت بتن، پارامترهای موثر در دوام بتن مانند دما، رطوبت، غلظت کلر، PH، در اکسید کربن، تنش، خوردگی میلگردها و ارتعاش طراحی شوند.

پل‌ها

پل سازه‌ای است که برای عبور از موانع فیزیکی از جمله رودخانه‌ها و دره‌ها استفاده می‌شود. بطور کلی خرابی‌ها در پل‌ها به دو بخش کلی تقسیم می‌شوند.

۱. خرابی‌های جزئی

۲. خرابی‌های عمده

مساله نگهداری پل

با توجه به مخارج سنگین انجام شده برای اجرای ابنیه، مسئله نگهداری دقیق این سازه‌ها در برابر آب و باد و یخبندان از بتنی اهمیت خاصی بر خوردار است. در مناطقی که بستر رودخانه سست بوده و در اثر طغیان آب امکان شسته شدن داشته باشد باید وضعیت آن را در اطراف پل بعد از طغیان‌های مختلف مورد بررسی قرار داد تا با تدابیر مختلف از خالی شدن خاک اطراف پی‌ها و در نتیجه تخریب پایه‌ها جلوگیری شود. لایه عایق کاری و آسفالت کف جاده باید طوری انجام شود که از نفوذ و باقی ماندن آب در جسم پل جلوگیری شود. بعد از پایان ساختمان پل و قبل از تحت سرویس قرار گرفتن، المان‌های مختلف آنرا باید به دقت مورد بازدید قرار داد تا مشخص شود تحت بارهای دائمی و دستگاه‌های ساخت، تغییر شکل‌ها و ترک‌های پیش بینی نشده در آن ایجاد نشده باشد، همچنین بعد از آزمون بارگذاری که تحت شدیدترین بارگذاری ممکنه در طول دوره سرویس قرار می‌گیرد، باید کلیه تغییر شکل‌های ایجاد شده و فلش مقاطع بحرانی، ترک‌های احتمالی، نشست پایه‌ها، تغییر فرم دستگاه‌های تکیه گاهی و اتصالات مختلف به دقت مورد بررسی قرار گیرند. از عبور سربارهای غیر مجاز که در طرح و محاسبه قطعات پل در نظر گرفته نشده‌اند، اکیداً جلوگیری شود. به دلیل ملاحظات اقتصادی و سازه‌ای تا حد ممکن طول پل‌ها را کوتاه در نظر می‌گیرند. محدودیت‌های سازه‌ای و اقتصادی خاکریزها و جاده‌های طرفین مسائل کشتیرانی و قایق‌های تفریحی و ظرفیت آگذری مهمترین عوامل تعیین کننده ارتفاع پل هستند. ظرفیت آگذری پل به حداکثر دبی جریان گفته می‌شود که پل با اطمینان از خود عبور می‌دهد این مقدار جریان به هندسه مقطع پل و تکیه گاه‌ها شکل پایه‌های پل عرض تنگ شده رودخانه و ارتفاع پل بستگی دارد.

با تعیین عرض تعادل رودخانه (یا همان طول پل) دبی سیلاب طراحی برای محل و شکل مقطع پل و پایه‌های آن و ارتفاع پل محاسبه میشود. دبی سیلاب طراحی بر اساس اهمیت سازه از نظر ارتباطات تجارت و همچنین ریسک شکست و وارد آمدن خسارت انتخاب میشود. اغلب دبی طراحی عبور سیلاب برای پل‌ها را با دوره برگشت ۱۳ ساله بطور خلاصه می‌توان گفت برای شرایطی که سطح شالوده بالای بستر باشد، سرعت و اندازه گرداب‌ها بستگی به ابعاد و ارتفاع و عرض نسبی پایه نسبت به شالوده دارد یعنی اینکه در این حالت شالوده به عنوان یک عامل بازدارنده، خود باعث تشکیل گرداب‌های قویتری میشود که با گرداب حاصل از پایه ترکیب شده و آبشستگی را تشدید می‌نماید. در حالت دوم (سطح قانونی شالوده داخل حفره آب‌شستگی است) سیستم گرداب‌های ایجاد شده ضعیفتر از حالت اول است و حتی در زمین که سطح فوقانی شالوده به اندازه کافی به سمت بالا

دست گسترش می‌یابد، گرداب ایجاد شده توسط پایه بر روی سطح شالوده هیچگونه تاثیری در سیستم ایجاد شده توسط پایه ندارد. انتخاب عمق شالوده پایه‌ها و به همین ترتیب برای تکیه گاه‌ها با در نظر گرفتن حداکثر آبستگی و موارد فوق الذکر در مورد پایه‌های مستطیلی صورت می‌گیرد.

خرابی‌های جزئی (غیر سازه‌ای)

۱. انباشته شدن زباله و خاک بر روی عرشه پل

۲. مسدود شدن دهانه فاضلاب و آبروها

۳. وجود سنگ، خاک و آشغال درون درزها و اطراف تکیه گاه‌ها

۴. وجود پوشش گیاهی یا خاک درون سوراخ‌های زهکش

۵. جمع شدن نخاله‌های ناشی از طغیان آب در زیر یا روی پل

در صورت تمیز نکردن آشغال‌ها و ضایعاتی که ذکر شد ممکن است سطح پل لغزنده شود، آب انباشتگی روی عرشه پل آسیب سازه‌ای به پل وارد نماید و انبساط انقباض پل آن گونه که در طراحی در نظر گرفته شد انجام نگیرد و خود باعث صدمات بیشتری شود.

خرابی جزئی (سازه‌ای)

نوع خرابی	علت	در صورت عدم رفع خرابی	علاج
شل یا گم شدن اتصالات پیچی	عدم مهارت کارگران یا تاثیر ترافیک	تضعیف خرپا و صدمه زدن به لاستیک ماشین‌ها	تعمیر اتصالات و بست‌های شل یا گم شده
آسیب دیدن تخته ها و الوارهای عرشه	تاثیر ترافیک آب و پوشیدگی (برای چوب)	از بین رفتن الوار	تعویض الوارهای آسیب دیده
فولاد پوشیده	هوازگی	خوردگی اعضای فولادی	رنگ آمیزی
چوب به عمل نیامده	کافی نبودن عمل آوری چوب	از بین رفتن چوب به خاطر قارچ‌ها و حمله موریه‌ها	حفاظت چوب
اتصالات بنایی آسیب دیده	نشست، ضعف در ساخت	تخریب موضعی سازه آجری یا سنگی	بندکشی مصالح بنایی

خرابی‌های جزئی (ایمنی)

نوع خرابی	علت	علاج
آسیب دیدن نرده ها و حفاظ‌ها	آسیب ناشی از تصادف	تعمیر نرده‌ها و حفاظ‌ها
آسیب دیدگی علام هشدار دهنده	آسیب توام ناشی از تصادف و هوازگی	تعمیر و یا تعویض علائم هشدار دهنده

خرابی‌های عمده

عمده خرابی‌های پل به بستر جریان یا فرسایش کناره‌ها مربوط می‌شود. در زیر اقداماتی نظیر موارد زیر را برای رفع این مشکلات بررسی می‌کنید.

۱. سنگ ریزی در هم

۲. دیوار حایل

۳. آستانه بستر رودخانه در توری سنگ‌ها

سنگ ریزی در هم

این فعالیت به عنوان یک اقدام اضطراری جهت پر کردن حاشیه فرسوده رودخانه در زیر آب انجام می‌گیرد. این به تعمیرات موضعی نواحی کوچک و نسبتاً کم عمق محدود می‌شود (تا ۵/۱ متر) (در صورت امکان بهتر است یک محل نسبتاً مسطح جهت انبار کردن سنگ‌ها برای این منظور فراهم شود تا برای مواقع مورد نیاز مصالح در دسترس باشد برای انجام سنگ ریزی توجه به موارد زیر لازم است.

۱. بزرگترین سنگ‌ها باید در لایه زیرین قرار گیرند همچنین لایه‌ها طوری بالا آورده شوند که پایدار باشند این عمل باید تا هنگامی که حاشیه رود به شکل قابل قبولی در آید ادامه یابد.

۲. در جایی که خطر آبشستگی توسط جریان قوی وجود دارد باید سبدهایی از سیم بافته شده تهیه شود. این بندها از سنگ پر شده و در لایه‌های مورد نیاز قرار می‌گیرند. سبدهای کامل شده اگر به یکدیگر بافته شوند مقاومت بیشتری در مقابل جریان‌های شدید آب خواهند داشت.

۳. در صورتی که سنگ در دسترس نباشد از گونی کفنی یا پلاستیکی قوی که در حدود یک دوم تا دو سوم آن پر شده است و محکم بسته شده است می‌توان استفاده نمود. این گونی‌ها نیز باید مانند مورد فوق در محل قرار گیرند.

دیوار حایل

دیوار حایل جهت حفظ پاشنه یک خاکریز یا طول کوتاهی از کرانه یک رود ساخته می‌شود. ساختمان وقتی که بستر رود، خشک است و زمانی که ارتفاع آزاد دیوار (H₀/۵) دیده می‌شود حداکثر در حدود ۵/۱ متر است می‌تواند انجام شود. در صورتی که بستر رود خشک نشود، یک بند موقت (سد انحرافی) باید احداث شود تا کار بر روی زمین خشک انجام شود. قبل از اقدام به تعبیه دیوار حایل لازم است با حفر گمانه‌هایی تا تراز تخمین زده شده مشخص شود که آیا خاک در تراز پی به اندازه کافی سفت هست یا خیر. آب شستگی بستر رود

چگونگی از بین رفتن مواد بستر رود به علت جریان سریع آب در پایه‌ها، کوله‌ها و دیوارهای جناحی به هنگام پایین بودن سطح آب یا خشک بودن بستر رود کاملاً قابل تشخیص است. ناحیه آب شسته را باید با قطعات سنگی ۱۳ تا ۳۰ کیلوگرمی یا سنگین تر پر نمود. چگونگی انجام کار در شرایط خشک بودن اطراف پایه یا دیوار و یا مستغرق بودن آنها بطور اختصار تشریح میشود.

ناحیه آب شسته خشک باشد

۱. منطقه اطراف پایه یا دیوار، (جایی که آب شستگی رخ داده است) **میخ کوبی** شود.

۲. پایین‌ترین عمقی که احتمال آب شستگی وجود دارد خاک برداری شود.

۳. سنگ‌های سنگ چین در لایه‌هایی در محل گود برداری شده قرار گیرند. کوچکترین سنگ‌ها در پایین‌ترین لایه قرار گیرند تا لاشه سنگ‌های درشت‌تر با وزن خود آنها را در محل نگه داشته و در برابر طغیان آب از محل خارج نشوند.

۴. فضای بین سنگ‌ها نیز با سنگ‌های کوچکتر پر شود تا از لغزش لاشه سنگ‌ها روی یکدیگر نیز ممانعت شود.

۵. تا رسیدن به تراز طبیعی، کار فوق به صورت لایه لایه ادامه می‌یابد. لایه‌های بالایی باید شامل سنگین‌ترین سنگ‌ها باشد و نهایتاً سطحی صاف و هم تراز با کف رودخانه حاصل شود.

ناحیه آب شسته مستغرق باشد

چنانچه اطراف پایه دیوار در هیچ زمانی از سال خشک نشود عملیات تعمیر باید در زمانی که در کمترین شدت خود است انجام گیرد. چنانچه جریان آب بسیار کم باشد شاید هنوز بتوان همانند شرایط فوق با لاشه چینی به صورت لایه لایه محل گود شده را پر کرد اما زمانی که امکان سنگ چینی در لایه‌های منظم به دلیل جریان آب وجود ندارد ناحیه آب شسته را می‌توان با سنگ ریزی در هم در گودال ناشی در آب شستگی پر نمود. در این راستا کنترل‌های زیر مفید خواهد بود.

۱. عمق آب شستگی با استفاده از شاغول برآورد شود. محدوده مربوطه را نیز می‌توان با استفاده از میله یا شناورهای علامت گذاری مشخص نمود.

۲. با استفاده از بلوک‌های سنگین که در بالا ذکر شد مواد سنگ چین باید از روی پل، قایق یا کناره ساحل در گودال آبشستگی ریخته شده تا آن را پر کند. هنگام عملیات لازم است تمامی بستر رود در محدوده کار با شاغول کنترل شود تا از پیشرفت کار اطلاع حاصل شود.

توری سنگ‌ها

در صورت امکان می‌توان از [توری سنگ‌ها](#) به عنوان سازه محافظ کنار رودخانه استفاده نمود. معمولاً تورسنگ‌ها از سبدهای فولادی با روکش روی، شبکه‌های جوش شده، فنس‌های گالوانیزه یا سیم بافته (بسته به موقعیت) ساخته می‌شوند. سبدها با دست از سنگ‌هایی بین ۱۲ تا ۳۰ سانتی‌متر پر می‌شوند. بدیت ترتیب پایداری قابل توجهی بدست می‌آید اما در هر صورت امکان نشت اندکی وجود دارد. سبدهای توری سنگ معمولاً بصورت تا شده و مسطح تهیه می‌شوند و بعد بوسیله گره زدن سیم کامل می‌شوند تا حجم حمل و نقل حداقل شود. پی‌ها نیز باید همانند یک سازه معمولی به صورت همسطح گود برداری شوند. تمامی مواد نامناسب کف باید با خاکخوب، سنگ یا شن تعویض شده و متراکم شود سپس سبدهای باید در موقعیت نهایی خود در محل‌های مستحکم قرار گیرد.

خرابی مربوط به پایه پل

خاموت‌ها در پایه پل‌ها از اهمیت خاصی برخوردارند. مهم‌ترین وظیفه خاموت کم کردن طول مهار نشده ستون و در نتیجه کاهش طول کمانش می‌شود.

شاتکریت نسوز

اصولاً بتن با کارایی بالا در مقایسه با بتن با مقاومت معمولی در برابر آتش حساس‌تر بوده و این به علت تراکم بیشتر و وجود منافذ کمتر در این بتن است. مطمئناً [شاتکریت](#) در دسته بندی بتن‌های با کارایی بالا قرار می‌گیرد، پس شاتکریت همیشه در خطر اثرات آتش است. تا به حال تحقیقات بسیار کمی در رابطه با تاثیر آتش روی شاتکریت انجام شده بود. اما به علت آتش سوزی‌های فاجعه آمیز در تونل‌ها جذابیت‌های زیادی برای تحقیق روی این مساله پیدا شد.

پژوهشگران صنعت ساختمان عموماً اطلاعات نسبتاً خوبی در رابطه با تاثیر آتش بر بتن‌های با مقاومت متوسط در دست دارند (منظور بتن‌های با مقاومت $Mpa 50$) است. ولی در مورد بتن‌های مقاومت بالا و بتن‌های با کارایی بالا (HPC) و تاثیر آتش بر این بتن‌ها اطلاعات بسیار کمی موجود است. به عنوان یک قانون، بتن‌های با کارایی بالا در حرارت شدید و شوک‌های حرارتی به علت ضریب تخلخل پایین و وجود منافذ کمتر و فشار نیروی بخار، حساسیت بیشتری نسبت به بتن‌های با مقاومت معمولی (NSC) دارند. وقتی فشار درون منافذ زیاد می‌شود تنش کششی در بتن شروع می‌شود. قسمتی از سطح (explosive spalling) تولید می‌شود و زمانی که این تنش از حد مجاز تجاوز می‌کند ترک‌کندن و ورقه ورقه شدن داغ بتن که شدیداً به بیرون رانده می‌شود، باعث می‌شود سطح بیشتری از بتن در معرض آتش قرار گیرد. این روند ادامه دارد تا نهایتاً باعث آشکار شدن سیستم آرماتورها و تاثیر مستقیم آتش روی آنها می‌شود. انبساط سریع بعضی از سنگدانه‌ها با وزن متوسط و کمتر شدن فضا باعث تشدید این پدیده و کمک به از هم پاشیدن و ترک‌کندن لایه‌ای بتن می‌شود. بی‌شک به علت نوع بتن ریزی و خواص شاتکریت این سیستم در رده بتن‌های پر مقاومت با کارایی بالا قرار می‌گیرد و در نتیجه در معرض خطر تاثیر آتش است.



شاتکریت و انواع آن

شاتکریت عبارت است از ملات یا بتنی که با فشار و سرعت بالا به سطح مورد نظر پاشیده می‌شود که به دو نوع شاتکریت مخلوط تر (Wet Mix shotcrete) و مخلوط خشک (Dry Mix shotcrete) شناخته شده است. در شاتکریت با مخلوط خشک مصالح شامل ماسه و سیمان بوده و توسط پمپ شاتکریت به داخل لوله انتقال هدایت شده و به قسمت پاشنده ملات (Nozzle) منتقل می‌شود. آب مورد نیاز در این حالت در حین خروج مصالح از سر نازل به آنها اضافه می‌شود که با توجه به سرعت بسیار زیاد خروج مصالح از سر نازل این عمل در کسری از ثانیه صورت می‌پذیرد که در این حالت ممکن است آب به بعضی از دانه‌های سیمان نرسیده و در نتیجه این دانه‌ها هیدراته نشوند به همین دلیل از روش DMS تنها در عملیات تثبیت قبل از اجرای لاینینگ تونل‌ها و کارهای روکش و تعمیراتی با ضخامت کمتر از ۱۰ سانتیمتر استفاده می‌شود. اما در روش WMS (شاتکریت با مخلوط تر) بتن آماده به داخل پمپ شاتکریت ریخته شده و پس از عبور از لوله انتقال به سر نازل رسیده و از آنجا به کمک فشار باد کمپرسور به سطح زیر کار پاشیده می‌شود از این روش در جاهایی می‌توان استفاده کرد که مقاومت فشاری مورد نظر است. از طرفی دیگر در این روش امکان اجرای بتنی با ضخامت ۵۰ سانتیمتر برای دیوار و ۲۰ سانتیمتر برای سقف در یک مرحله به راحتی امکان پذیر است.

مزیت اجرایی شاتکریت تر به خشک

در روش شاتکریت تر در اغلب موارد برای احداث سازه‌های بتنی نیازی به قالب بندی نیست و در موارد خاص نیز استفاده از یک سپر چوبی برای عملیات استقرار بتن کافی است. شاتکریت مخلوط تر همچنین این امکان را فراهم می‌آورد تا دیگر اجرای سازه‌های بتنی با اشکال منحنی، مدور و غیر منظم مانعی بر سر راه طراحان و مجریان نباشد. شاتکریت مخلوط تر با حداقل هزینه و سرعتی بسیار بالا که از خصوصیات این روش است در عین بالا بودن کیفیت مشکل را حل می‌نماید. تثبیت کوه‌ها، و صخره‌ها با استفاده از پوشاندن آنها با یک شبکه مش و پاشیدن بتن بر روی آن، محافظت از لوله‌های فولادی و افزایش ضخامت لوله‌های بتنی یا پیچیدن یک شبکه مش به اطراف لوله و پاشیدن بتن و صیقلی کردن آن در محیط‌های خورنده و خطرناک در مقابل آتش سوزی، روکش کردن دیوارها، پایه پل‌ها، بدنه سدها و لاینینگ تونل‌ها، تثبیت جداره رودخانه‌ها و ... از جمله دیگر توانایی‌های روکش WMS است.

عوامل موثر در آسیب رساندن آتش به شاتکریت

عمدتاً خسارات و آسیب‌ها به شاتکریت توجه به دو عامل مجزا، کاملاً مشخص است.

۱. در حالت اول رطوبت در خلل و فرج بتن از سطح داغ بتن به خارج رانده می‌شود و خمیر شاتکریت دی هیدراته می‌شود.

وقتی این اتفاق رخ می‌دهد اتصال بین خمیر سیمان و سنگدانه‌ها به علت تفاوت ضریب حرارتی از بین می‌رود و شاتکریت به طور کامل توانایی سازه‌ای خود را از دست داده و لایه‌های نازک‌تر از بتن جدا می‌شوند. این نوع زوال به طور معمول برای آتش‌هایی که به آهستگی افزایش دما می‌دهند اتفاق می‌افتد. همانگونه که رطوبت در حفره‌های شاتکریت به

بخار تبدیل می‌شود، فرصت برای خروج آن از سطح داغ بتن وجود دارد و در حقیقت انرژی که صرف تبدیل رطوبت به بخار می‌شود به کاهش ترک‌کندن و زوال لایه‌ها در آتش کمک می‌کند.

۲. در حالت دوم افزایش دما به سرعت صورت می‌گیرد و رطوبت زمان لازم را برای خروج از سطح داغ بتن ندارد. زمانی که تنش کششی درون حفره‌ها به حد نهایی خود برسد فشار ایجاد می‌شود و در نتیجه لایه‌های بتن به صورت انفجاری شدیداً کنده شده (explosive spalling) و سطح جدیدی در مقابل آتش قرار می‌گیرد. ترک‌کندن و جدا شدن لایه‌ها اثر تخریبی بسیار شدید و عمیقی روی سازه شاتکریت می‌گذارد. این مطالعه راه حل‌های عملی را برای رفع این مشکل و رسیدن به یک شاتکریت نسوز ارائه می‌دهد.

تکنولوژی آلومینات کلسیم و موارد استفاده از آن در شاتکریت نسوز

در بسیاری از موارد از شاتکریت برای کارهای تعمیراتی در جاهایی استفاده می‌شود که محدودیت زمانی برای برگشت و سرویس‌دهی دوباره در مدت ۲۴ ساعت یا کمتر دارند. در نتیجه نیاز به شاتکریتی با خواص نسوز در جهت رسیدن به مقاومت مناسب جهت سرویس‌دهی در مدتی کوتاه مطرح است. راه حل دیگری که به صورت فوق العاده‌ای به خواص نسوز بتن کمک می‌کند، در روند رسیدن سریع به مقاومت مناسب یاری می‌رساند، استفاده از سیمان کلسیم آلومینات به عنوان مصالح بیندر در سیستم نسوز است. اما شناخت کمتری در مورد شاتکریت نسوز با کارایی بالا آمیخته با سنگدانه آلومینات کلسیم همراه با سیمان آلومینات کلسیم در دست است. اضافه کردن این سنگدانه فوق العاده باعث بالا رفتن خواص شاتکریت برای تحمل و دوام در محیط‌های صنعتی می‌شود. این پدیده ذوب است که می‌تواند برای تولید سنگدانه آلومینات کلسیم به کار گرفته شود. در پروسه ذوب جایی که کوره ارتعاشی بزرگی با مقدار بسیار دقیقی از مواد خام اولیه، هیدروکسید آلومینیم بوکسیت و سنگ آهک تغذیه می‌شود و یک حمام گداخته از آلومینات کلسیم شکل می‌گیرد، یک دفعه سرد می‌شود. آلومینات کلسیم خام به قطعه‌های بزرگ گوشه‌دار بسیار متراکم و سخت تبدیل می‌شود که اگر خرد و دانه بندی شود یک سنگدانه بسیار عالی با دوام و خواص منطبق برای استفاده در شاتکریت نسوز خواهد بود. سنگدانه‌هایی که به وسیله ذوب تولید می‌شوند شهرت خاصی به خاطر مقاومت بالا و ضریب تخلخل بسیار پایین دارند.

وقتی به نسبت مناسب در شاتکریت مسلح به الیاف فولادی و micro pp مخلوط سیمان کلسیم آلومینات و سنگدانه کلسیم آلومینات و یا سیستم کلسیم آلومینات خالص اضافه شد، باعث به وجود آمدن بتنی زودگیر با مقاومت بالا، بتنی با مقاومت نهایی سریع، مقاوم و عایق عالی در برابر شوک‌های حرارتی تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد و مقاومت سایشی بسیار خوب خواهیم داشت. در این مخلوط‌ها اتصال سنگدانه‌ها به هم به صورت مکانیکی همچون اتصال شیمیایی بین سیمان و سنگدانه به صورت بسیار خوبی باعث کمک به بالا بردن مشخصات کلی سیستم می‌شود. در صنایع سنتی با درجه حرارت بالا (آهن، فولاد و آلومینیم) شاتکریت نسوز الیاف فولادی و میکرو پلی پروپیلن پایه ریزی شده بر مبنای سیستم آلومینات کلسیم خالص جهت تعمیر و محافظت از باراندازهای زغال، چاله‌های سرباره استفاده می‌شود. هر کدام از موارد استفاده با توجه به توانایی مواد برای به دست آوردن مقاومت سریع، عایق و مقاومت در برابر گرما و شوک‌های حرارتی، تاب آوردن در برابر استفاده مکرر مکانیکی و سایش انتخاب می‌شوند. بیشتر کاربرد صنعتی این مواد در جاهایی است که علاوه بر داشتن خاصیت نسوز، محدودیت زمان برای برگشت و سرویس‌دهی دوباره در مدت ساعت یا کمتر دارند. سیستم آلومینات کلسیم خالص این قابلیت را دارد که در کمتر از ۲۴ ساعت به مقاومت بالای ۵۱ مگاپاسکال است. در محیط‌های مخرب که بتن‌های معمولی به سرعت از بین می‌روند با اضافه کردن مقدار مناسبی آلومینات کلسیم به شاتکریت مسلح به الیاف فولادی و میکرو پلی پروپیلین، محصولی کاملاً ضد آتش در مدت بسیار کوتاهی مقاوم و آماده سرویس‌دهی تولید می‌شود. وقتی یک ماده شاتکریت مشخص برای استفاده و مقاصد نسوز بررسی می‌شود این خیلی مهم است که فقط درجه حرارت محیط درگیر در نظر گرفته نشده، بلکه فاکتورهای دیگر محیط عملیاتی که می‌تواند منجر به خرابی‌های زودرس شود نیز مد نظر قرار گرفته شود. این عوامل می‌تواند شامل شوک‌های حرارتی، سایش، سوء استعمال مکانیکی و حملات شیمیایی باشد. شاتکریت نسوز طراحی شده بر مبنای سنگدانه آلومینات کلسیم خالص و سیمان آلومینات کلسیم می‌تواند شرایط سرویس

دهی طولانی را در محیط‌های سنگین صنعتی پرتکاپو و سخت فراهم کند. استفاده موفقیت آمیز، محدوده گسترده‌ای از صنایع، ماوراء فولاد و آهن را برای تقاضای استفاده از چنین تکنولوژی ترغیب کرده و بی‌شک نیاز آنها را برآورده خواهد کرد.

روش‌های مسلح کردن شاتکریت

شاتکریت نیز همانند بتن دارای مقاومت کششی بسیار پائین است بنابراین در محل‌هایی که از شاتکریت در نگهداری‌های موقت بلند مدت یا با ضخامت بالاتر از ۷ سانتیمتر و یا در نگهداری‌های دائم استفاده می‌شود شاتکریت را به وسیله مش فولادی مسلح می‌کنند. (امروزه مسلح کردن با الیاف نیز مرسوم است که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت).

انواع توری فولادی مورد استفاده جهت تسلیح شاتکریت

۱. توری فولادی با سیم‌های جوش شده (WWF)

۲. توری فولادی با سیم‌های بافته شده (CLW)

هر چند که مش با سیم‌های بافته شده دارای انعطاف و مقاومت بیشتری نسبت به نوع دیگر مش دارد اما مشکلات اجرایی، پس ریز بیشتر شاتکریت روی آن و اجرای مشکل شاتکریت باعث شده است از این نوع شبکه‌های فولادی کمتر استفاده شود. قطر میلگرد مورد استفاده در مش‌ها عموماً بین ۳ تا ۱۰ میلیمتر و اندازه چشمه‌ها معمولاً بین ۵ تا ۱۵ سانتیمتر است. اندازه چشمه‌ها و قطر میلگردها و نوع فولاد مورد استفاده مستقیماً بر روی انعطاف پذیری شبکه‌های فولادی موثر هستند. شکل، شبکه فلزی مش را نشان می‌دهد که بسیار محکم و انعطاف پذیر است، اما برای کاربری در شاتکریت مناسب نیست. به این دلیل که وارد کردن شاتکریت به داخل روزه‌های مش بسیار دشوار و وقت گیر است. بتن تقویت شده با الیاف (FRC) دارای **سیمان پرتلند** استاندارد و الیاف کوتاه است، این الیاف باعث کاهش ترک خوردگی و افزایش شکل پذیری شده و گاهی حتی جایگزین میله‌های فلزی می‌شود.

مزایای بتن الیافی

- مقاومت در مقابل تورق، سایش و هوازگی سطح
- مقاومت زیاد در مقابل تنش‌های خستگی
- مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه
- قابلیت کششی عالی (ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی)
- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی
- مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد
- طاقت خیلی زیاد

خصوصیات مکانیکی ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف فولادی

الیاف فولادی متداولترین نوع الیاف برای تقویت بتن و ماتریس‌های سیمانی‌اند هر چند استفاده از این الیاف می‌تواند موجب بهبود مقاومت کششی و خمشی شود. تاثیر عمده استفاده از این افزایش در شکل پذیری و شکست ترکیبات سیمانی است. تاثیر الیاف فولادی روی مشخصات مکانیکی ماتریس‌های سیمانی نظیر مقاومت فشاری، کششی، خمشی، وزن مخصوص، مقاومت سایشی، دوام در برابر ذوب و انجماد در ذیل تشریح شده است.

مقاومت فشاری

اثر مهم استفاده از الیاف فولادی، افزایش شکل پذیری بتن است. استفاده از الیاف موجب افزایش کرنش متناظر با تنش حداکثر است.

افزایش مقاومت فشاری بتن بر اثر استفاده از الیاف فولادی به ندرت از ۲۵ درصد بیشتر میشود. درصد استفاده از الیاف فولادی قلاب‌دار در بتن، معمولاً ۶۰ کیلوگرم بر متر مربع است و در این درصد استفاده تاثیر الیاف فولادی بر مقاومت فشاری بسیار کم بوده و توان از آن صرف‌نظر نمود. اثر مهم استفاده از الیاف فولادی، افزایش شکل پذیری بتن است. استفاده از الیاف موجب افزایش

کرنش متناظر با تنش حداکثر است. همچنین شیب منحنی بار تغییر شکل بعد از رسیدن به حداکثر بار بشدت کاهش می‌یابد و قابلیت تحمل بار بعد از بار حداکثر، افزایش پیدا می‌کند.

مقاومت کششی

مقاومت کششی قطات بتنی، معمولاً یا توسط کشش مستقیم قطعات و یا به روش غیرمستقیم (شکافت نمونه) انجام می‌پذیرد. در درصدهای استفاده معمولی که کمتر از ۲ درصد است، الیاف تاثیری روی مقاومت کششی حداکثر بتن ندارند. البته با افزایش چسبندگی الیاف به ماتریس (بطور مثال برای استفاده از میکروسیلیس) شکل تخریب نمونه از حالت بیرون کشیدگی الیاف به سمت گسیختگی الیاف میل کرده و در نتیجه افزایش در مقاومت کششی حاصل می‌شود..

مقاومت کششی قطعات بتنی، معمولاً یا توسط کشش مستقیم قطعات و یا به روش غیرمستقیم (شکافت نمونه) انجام می‌پذیرد. در درصدهای استفاده معمولی که کمتر از ۲ درصد است، الیاف تاثیری روی مقاومت کششی حداکثر بتن ندارند. شایان توجه است که استفاده از الیاف فولادی عمده‌تأ شکل‌پذیری ترکیب را در کشش افزایش می‌دهد.

با توجه به اینکه بتن، در کشش ضعیف است چنانچه الیاف فولادی به طور پیوسته و در جهت اعمال تنش‌های کششی قرار گیرند در حدود ۱۳۳ درصد مقاومت کششی بتن را می‌افزاید و این در صورتی است که الیاف بتنی کاملاً اتفاقی و به صورت رندم در بتن قرار می‌گیرد و در این حالت مقاومت کششی حدود ۵۰ درصد بهبود می‌یابد. البته مقدار دقیق افزایش مقاومت به شکل، نوع، اندازه و سایر مشخصات الیاف بستگی دارد.

رفتار بتن حاوی الیاف در خمش، معیار عمده ارزیابی عملکرد این نوع بتن‌ها است. زیرا برای بیشتر کاربردهای عملی ترکیب تحت خمش قرار می‌گیرد.

استفاده از الیاف تاثیر بسیار قابل توجهی در افزایش طاقت خمشی بتن دارد.

به منظور بررسی رفتار بتن الیافی در خمش عموماً از روش آزمایش ASTM C1018 که طی آن منشورهای به ابعاد $100 \times 100 \times 350$ میلیمتر تحت بار ۲ نقطه‌ای قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود.

علاوه بر تنش حداکثر بدست آمده رفتار نمونه بعد از ترک و ارزیابی شکل‌پذیری آن مدنظر است که کل‌پذیری را با پارامتر ضریب طاقت (TI: Toughness Index) نشان می‌دهند.

ضریب طاقت برابر است با مساحت زیر منحنی بار تغییر شکل برای یک تغییر شکل موردنظر تقسیم بر مساحت زیر منحنی بار تغییر شکل متناظر با اولین ترک (بخش خطی منحنی بار تغییر شکل).

مقاومت دینامیکی بتن الیافی

الیاف فولادی اثر قابل توجهی در مقاومت دینامیکی بتن دارد به طوریکه ۱۰ تا ۵ برابر بهبود در مقاومت دینامیکی خواهیم داشت. با افزایش الیاف بر بتن با مقاومت بالا، مقاومت فشاری اندکی تغییر می‌کند، با توجه به گرانی الیاف ملاحظه می‌شود که استفاده از الیاف فقط برای افزایش مقاومت فشاری روش مناسبی نیست. مقاومت کششی بتن در صورت استفاده از الیاف، بعد از ترک خوردن افزایش می‌یابد اما این افزایش نمی‌تواند با افزایشی که آرماتوربندی معمولی ایجاد می‌کند، مقایسه شود. مقاومت کششی بتن در صورت استفاده از الیاف بعد از ترک خوردن افزایش می‌یابد. اما این افزایش نمی‌تواند با افزایشی که آرماتوربندی معمولی ایجاد می‌کند، مقایسه شود. افزودن الیاف باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در انرژی شکست و چقرمگی نمونه‌ها شده و رفتار بتن را بسیار نرمتر می‌کند. چقرمگی مخصوص کششی و فشاری نسبت به نمونه بدون الیاف افزایش می‌یابد.

افزایش الیاف باعث کاهش نفوذپذیری نمونه‌های ترک خورده می‌شود. تاثیر این الیاف در ترک‌های بزرگتر از ۱۰۰ میکرون تأیید شده است. با توجه به نیاز کشور در زمینه‌های راه، باند‌های فرودگاه ایجاد سالن‌های ورزشی لوله‌های بتنی، جدارهای نسوز (صنایع پتروشیمی، ذوب آهن، کارخانه‌های سیمان) استفاده از بتن‌های الیافی و ایجاد کارخانه‌های تولید بتن‌های الیافی پیش ساخته کمک شایانی در اقتصاد کشور دارد بر هم زمینه‌های ایجاد اشتغال را فراهم خواهد کرد.

الیاف فولادی تولید داخل کشور از نظر بهبود مقاومت استاتیکی بتن عملکردی مشابه الیاف خارجی دارد.

الیاف فولادی تولید داخل کشور از نظر بهبود طاقت و انعطاف پذیری بتن عملکردی مشابه الیاف خارجی دارد.

الیاف فولادی تولید داخل کشور نقش مهم و موثری در کنترل عرض ترک‌های کششی در دال مهارشده، از خود نشان می‌دهد و با توجه به اینکه عمق ترک تابعی از عرض آنهاست می‌توان نتیجه گرفت عمق ترک کاهش می‌یابد.

الیاف فولادی تولید داخل کشور نقش مهمی و موثر در کنترل طول ترک‌های کششی در دال مهار شده از خود نشان می‌دهد. نسبت ظاهری برابر ۵۰ در الیاف داخلی باید رعایت شود ولی برای کاهش هزینه می‌توان طول و قطر را افزایش داد. مثلاً در روسازی‌ها طول ۴۰ میلیمتر و قطر ۸ میلیمتر توصیه می‌شود.

الیاف فولادی تولید داخل کشور ۷۸ کیلوگرم برابر با ۹۴/۴ کیلوگرم آرماتور در روسازی بتنی و دال‌های مهار شده عمل می‌نماید.

الیاف فولادی تولید داخل کشور نقش مهم و موثری در کنترل عرض ترک‌های کششی در دال مهار شده از خود نشان می‌دهد و با توجه به اینکه عمق ترک تابعی از عرض آنهاست می‌توان نتیجه گرفت عمق ترک کاهش می‌یابد.

با توجه به طرح درصد حجمی الیاف ۱/۵-۷۵ درصد توصیه می‌شود چون بیش از ۱/۵ درصد مقرون به صرفه نبوده و روی یکنواختی و همگنی به صرفه نبوده و روی یکنواختی و همگنی به علت درگیری در بتن اثر منفی دارد و کمتر از ۷۵ درصد نقشی در کنترل ترک‌های کششی نخواهد داشت. در نهایت باید گفت که استفاده از بتن الیافی در همه موارد از بتن سنتی به صرفه تر نبوده، اما با توجه به پژوهش‌های انجام یافته در جاهایی که سرعت اجرای بالا مدنظر باشد و یا نیاز به پاشیدن بتن (شاتکریت) روی سطحی است که شبکه بندی سنتی مشکل و زمان بر بوده و یا جوابگوی کار نیست، هزینه استفاده از بتن الیافی نسبت به مشابه سنتی خود، کمتر است، علاوه بر این سادگی و سرعت عمل بالاتر موجود در تکنولوژی بتن الیافی از مزیت‌های آن است. به طوریکه برای تعمیر باند یک فرودگاه، جمعی از متخصصین بعد از ماه‌ها بررسی روش بتن الیافی را پیشنهاد کردند و مدت پروژه را یک ماه تخمین زدند که با بهره جستن از روش سنتی تخمین مدت پروژه سه ماه بود.

اگر دیده می‌شود که در کشورهایی همچون ترکیه، به کارگیری بتن الیافی بجای روش‌های سنتی مقرون بصرفه تر از کشور ما است ریشه‌های آن در سرمایه گذاری و تلاش سازمان یافته جهت اقتصادی نمودن استفاده از این تکنولوژی است.

سنگدانه

سنگدانه‌های مصرفی در شاتکریت باید بر اساس استانداردهای جهانی (معمولاً ASTM) دارای کیفیت مناسب و از نظر دانه بندی در رده بندی تعیین شده باشد تا هدف‌های مورد نظر یعنی تراکم مناسب، جرم مخصوص، نفوذ ناپذیری و مقاومت فشاری لازم را تامین نماید همچنین دانه بندی پارامتر موثر در تعیین میزان پس ریز است.

توصیه می‌شود که حداکثر قطر دانه‌های سنگی نباید از یک سوم قطر لوله‌ها و شیلنگ‌های انتقال در باریکترین قسمت‌ها تجاوز کند. اگر چه مصالح شکسته که عموماً دارای ابعاد مناسب‌تر و گوشه‌های تیزتری است موجب چسبندگی و تراکم بهتر است اما مصالح طبیعی به علت گرد گوشه بودن قابلیت پمپاژ بهتری داشته و فرسایش قطعات و دستگاه‌ها کاهش می‌یابد.



سیمان

برای ساختن شاتکریت می توان از انواع مختلف سیمان استفاده نمود اما نوع سیمان باید به گونه ای انتخاب شود که با شرایط محیط و اهداف تحکیم سازگار باشد.

آب

آبی که برای ساختن شاتکریت مورد استفاده قرار می گیرد باید استانداردها و مشخصات آب آشامیدنی را دارا باشد. نسبت آب به سیمان نیز در مقاومت شاتکریت همانند بتن نقش بسیار مهمی را به عهده دارد نسبت بهینه در شاتکریت خشک بین $3/0$ تا $5/0$ در شاتکریت تر بین $4/0$ تا $6/0$ توصیه شده است.

زودگیر کننده ها

استفاده از زودگیر کننده ها به منظور بالابردن مقاومت اولیه شاتکریت جهت پایداری ساختارهای سست زمین و حفاظت از کارگران و حتی کاهش پس ریز شاتکریت رایج شده است.

از جمله زودگیرکننده های متداول در شاتکریت کلرید کلسیم، کربنات سدیم، آلومینات سدیم و هیدروکسید کلسیم است که بر اساس توصیه های شرکت سازنده معمولاً 2 تا 6 درصد وزن سیمان مصرفی است. بدیهی است که با توجه به اثر منفی زودگیر کننده ها بر مقاومت دراز مدت شاتکریت، استفاده کمتر و محدود این نوع مواد توصیه می شود. از دیگر موارد استفاده از زودگیر کننده در تونل های در معرض نفوذ آب است به عنوان مثال در تونل زهکشی شهر مکزیکو سیتی هنگامی که جریان آب حدود 3400 لیتر در دقیقه از جداره ها وارد تونل می شد با استفاده از شاتکریت و مقدار مناسب زودگیر کننده و نصب لوله های زهکش در داخل شاتکریت مشکل به طور کامل حل شد.

از خواص مثبت زود گیر کننده ها می توان به امکان اجرای شاتکریت در ضخامت های بالاتر در یک مرحله اشاره کرد. به هر حال باتوجه به امکان ناسازگاری این نوع افزودنی با بعضی از انواع سیمان، توصیه می شود قبل از استفاده اجرایی، حتماً نمونه های آزمایشگاهی تهیه و مورد آزمایش قرار گیرند.

بررسی ها نشان داده است که با استفاده از زودگیر کننده ها، گیرش اولیه سیمان پس از 3 دقیقه و گیرش نهایی پس از 12 دقیقه حاصل شده است که این مدت زمان می تواند در مواقع حساس بسییار کارساز باشد.

ترکیب مواد تشکیل دهنده

اگر چه ترکیب اجزای شاتکریت، در مورد هر پروژه باید به عنوان یک مسئله جدید بررسی و بهترین ترکیب انتخاب شود اما ترکیب وزنی متوسط شاتکریت های معمولی را می توان به شرح زیر به عنوان یک معیار اولیه در نظر گرفت.

سیمان: 15 تا 20 درصد

سنگدانه های درشت : 30 تا 40 درصد

ماسه : 40 تا 50 درصد

نسبت آب به سیمان : $3/0$ تا $6/0$ بسته به نوع شاتکریت تر یا خشک

واضح است که ترکیبات مختلف مصالح، مشخصات نهایی متفاوت را به دست خواهد داد.

نقش شاتکریت در پایدار سازی سنگ

بتنی که با سرعت بین 20 تا 100 متر بر ثانیه (بستگی به روش و نوع دستگاه ها) روی سطح پاشیده می شود داخل ترک ها و درزه ها را پر کرده و با مقاومت حدود سه مگاپاسکال به سطح سنگ می چسبد این بتن علاوه بر افزایش مقاومت توده سنگ، تشکیل یک آرک بتنی مقاوم و نسبتاً باربر را می دهد که می تواند در مقال بارهای ناشی از ریزش موضعی سنگ جلوگیری نماید. تجارب نشان داده است حتی یک لایه شاتکریت به ضخامت سه سانتیمتر اثرات بسیاری بر روی مقاومت جداره ها بر جای می گذارد که در اثر عملکرد هماهنگ سنگ و شاتکریت است با این همه هنوز تمام ابعاد فرآیند اثر شاتکریت بر سنگ به درستی شناخته نشده و موضوع تحقیق و بررسی محققین است.

استقرار شاتکریت

چگونگی و کیفیت قرارگیری شاتکریت روی سطح کار، بستگی به مصالح استفاده شده در شاتکریت و به طرح اختلاط شاتریک دارد، البته این امر بستگی شدید به روش پاشیدن نیز دارد. به ویژه، مهارت مأمور بتن پاشی در آماده سازی سطح کار، کنترل سرعت بتن پاشی و ضخامت آن، و در حالت اختلاط خشک، نسبت آب ب سیمان تأثیر مهم و اساسی در کیفیت نهائی کار دارد.



آماده سازی سطحی که باید شاتکریت شود از قسمت های اساسی کار است، ترازسازی موثر سطح کار به گونه ای که قبلاً بحث شد، از نظر فراهم سازی ایمنی مجریان شاتکریت و نیز کاهش احتمال طبله کردن بتن بعثت پاشیدن آن در قسمت های سست، از اهمیت زیادی برخوردار است. روشن است که اگر سنگ خیلی ضعیف باشد، ترازسازی ممکن است امکان پذیر نباشد و بتن پاشی باید پس از نمایان شدن جبهه و سطح کار هر چه سریعتر اجرا شود تا موجب حفاظت و تقویت سازه شود. در این گونه موارد، لایه دیگری از شاتکریت که با توری جوش شده مسلح شود ممکن است مورد نیاز باشد تا موجب تکمیل بازسازی و تقویت سطح سنگ شود.

سطح کاری که قرار است شاتکریت شود باید عاری از هرگونه مواد خارجی یا مواد لقی چسبنده به سطح باشد، تا یکپارچگی و چسبندگی کامل بدست آید. گرد و غبار حاصل از آتشکاری و خاک و مواد نرم حاصل از درزها باید بوسیله آب از سطح شسته شود و این امر به راحتی با استفاده از سیلنگ آب تحت فشار عملی است. آب پاشی سطح را می توان با دستگاه بتن پاشی که با فشار معمول برای بتن پاشی (Mpa 4/0 - ۰/۳ یا ۶۰ lb/m^۲ - ۴۵) تنظیم شده است، انجام داد، آب را باید به اندازه کافی در دستگاه وارد نمود تا کلیه مواد زائد و لقی جدا شوند. دهانه لوله پخش (nozzle) باید حدوداً از فاصله یک تا دو متری از سینه کار قرار گیرد. آماده سازی سطوح خیلی صاف و آینه ای به آسانی از طریق جت آب عملی نیست و گاهی استفاده از ماسه پاشی (Sandblasting) برای زبر کردن و بهبود سطح کار لازم خواهد بود. برای ماسه پاشی از دستگاه معمول بتن پاش برای شاتکریت با اختلاط خشک استفاده می شود، با این تفاوت که نازل بتن پاشی با نازل مناسب ماسه پاشی تعویض می شود. از آنجایی که این عملیات از لحاظ صرف وقت و تأمین مصالح گران تمام می شود، صرفاً باید در شرایط خاص و بحرانی و پس از اینکه جت آب موثر واقع نشد، مورد استفاده قرار گیرد. همین که سطحی که قرار است شاتکریت شود کاملاً تمیز شد، عملیات بتن پاشی را می توان شروع کرد. مأمور بتن پاشی فشار مناسب برای دستگاه انتخاب می کند و مأمور مصالح، سرعت تغذیه مصالح را به دستگاه به نحوی که با فشار دستگاه هماهنگ باشد تنظیم می نماید. چنانچه سرعت تغذیه مصالح کم باشد جریان بتن پاشی یکنواخت و پیوسته نبوده و بصورت منقطع انجام خواهد شد. همچنین اگر سرعت تغذیه زیاد باشد موجب گیر کردن دستگاه و قطع بتن پاشی خواهد شد. روشن است که وضع ضابطه ای عمومی برای این مرحله از عمل بتن پاشی خیلی مشکل است. زیرا، این قسمت از کار به مشخصات دستگاه بتن پاشی و میزان مهارت و درجه هماهنگی بین مسئولین بتن پاشی و تغذیه مصالح دارد.

فاصله بهینه و مناسب بین لوله بتن پاش (نازل nozzle) و سطح کار حدوداً یک متر است. مقدار ریخت و پاش، شدیداً تحت تأثیر این فاصله است. مقدار ریخت و پاش به زاویه لوله پخش نسبت به افق نیز بستگی دارد.

هنگام بتن پاشی، چه از طریق دستی و چه از طریق ربات و دستگاه خودکار، باید لوله بتن پاش در مسیر مشخص حرکت درآید. اگر این عمل درست انجام نشود، بتن پاشی بصورت یکنواخت و با ضخامت یکسان انجام نخواهد شد. وقتی که از نازل دستی استفاده می‌کنید، توصیه می‌شود که بتن پاشی در امتداد حلقه‌های دایره‌ای یا بیضی شکلی که روی هم را می‌پوشانند انجام پذیرد. هنگامی که بتن پاشی روی توری‌های جوش شده انجام می‌شود، باید دقت کرد که در پشت سیم‌ها حفره خالی تشکیل نشود، یک روش برای غلبه بر این کار نزدیک‌تر کردن لوله پخش به سطح کار است. روش دیگر که خصوصاً وقتی از دستگاه خودکار (ربات) برای بتن پاشی استفاده می‌شود موفقیت‌آمیز است، تغییر زاویه لوله پخش نسبت به سطح کار است. این امر از تشکیل حباب بعلت رانده شدن بتن به پشت سیم‌ها جلوگیری می‌کند. ضخامت لایه شاتکریت عموماً توسط حجم مصالح مصرف شده و با اضافه کردن ضریب مربوط به ریخت و پاش تعیین می‌شود. وقتی که بتن پاشی روی سطوح خیلی نامنظم انجام می‌شود، تقریباً غیر ممکن است که به یک ضخامت یکنواخت دست یافت و ممکن است لازم باشد شاتکریت بیشتری از آنچه طرح و محاسبه شده مصرف کرد تا مطمئن شود که تمام سطح سنگ پوشیده شده است. وقتی که تور سیمی جوش شده به سطح سنگ اضافه می‌شود، می‌توان از آن بعنوان شاخص و وسیله اندازه‌گیری ضخامت شاتکریت استفاده کرد. همچنین اگر از سنگ دوز در سیستم حائل سازه استفاده شده است می‌توان انتهای میله‌های سنگ‌دوز را روی سطح کار باقی گذاشت تا از آنها بعنوان شاخص اندازه‌گیری ضخامت شاتکریت استفاده کرد. پاره‌ای از طراحان تأکید می‌کنند که باید میخ‌های کوتاه فولادی با طول موردنیاز در فواصل مختلف به سطح سنگ متصل شود تا توسط آنها ضخامت شاتکریت را اندازه گرفت. این کار در عمل، بعلت گرانی اجرای آن و نیز خطراتی که از نصب میخ‌ها قبل از اجرای شاتکریت ممکن است حادث شود، بندرت انجام می‌شود.

در اجرای شاتکریت موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

- قبل از اجرای شاتکریت برداشت زمین شناسی و مقایسه با زمین شناسی طرح باید انجام گیرد تا در صورت تغییر در ساختار زمین، اصلاحات لازم روی ترکیب نگهداری اعمال شود.
- سطح سنگ باید قبل از اجرای شاتکریت لقی گیری و از آلودگی‌ها تمیز شود در مواردی که آب برای ساختار زمین مشکل آفرین نباشد، شستشوی سطح حفاری با آب توصیه می‌شود این عمل علاوه بر تمیز نمودن سطح باعث جلوگیری از جذب آب شاتکریت توسط سنگ و در نتیجه تغییر نسبت آب به [سیمان](#) می‌شود.
- اجرای شاتکریت از پائین ترین نقطه شروع و به بالاترین نقطه ختم می‌شود این عمل برای جلوگیری از احتمال ترکیب شاتکریت با پس ریز توصیه می‌شود.
- نازل همواره باید عمود بر سطح باشد در زوایای غیر عمودی علاوه بر پس ریز بیشتر، بتن با دانسیته کمتر و کیفیت ضعیف تری حاصل خواهد شد.

روش‌های مسلح کردن شاتکریت

شاتکریت نیز همانند بتن دارای مقاومت کششی بسیار پائین است بنابراین در محلهایی که از شاتکریت در نگهداری‌های موقت بلند مدت یا با ضخامت بالاتر از ۷ سانتیمتر و یا در نگهداری‌های دائم استفاده می‌شود شاتکریت را به وسیله مش فولادی مسلح می‌کنند. (امروزه مسلح کردن با الیاف نیز مرسوم است که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت).



انواع توری فولادی مورد استفاده جهت تسلیح شاتکریت

۱. توری فولادی با سیم‌های جوش شده (WWF)

۲. توری فولادی با سیم‌های بافته شده (CLW)

هر چند که مش با سیم‌های بافته شده دارای انعطاف و مقاومت بیشتری نسبت به نوع دیگر مش دارد اما مشکلات اجرایی، پس ریز بیشتر شاتکریت روی آن و اجرای مشکل شاتکریت باعث شده است از این نوع شبکه‌های فولادی کمتر استفاده شود. قطر میلگرد مورد استفاده در مش‌ها عموماً بین ۳ تا ۱۰ میلیمتر و اندازه چشمه‌ها معمولاً بین ۵ تا ۱۵ سانتیمتر است. اندازه چشمه‌ها و قطر میلگردها و نوع فولاد مورد استفاده مستقیماً بر روی انعطاف پذیری شبکه‌های فولادی موثر هستند.

شکل، شبکه فلزی مش را نشان می‌دهد که بسیار محکم و انعطاف پذیر است، اما برای کاربری در شاتکریت مناسب نیست. به این دلیل که وارد کردن شاتکریت به داخل روزنه‌های مش بسیار دشوار و وقت گیر است.

بتن تقویت شده با الیاف (FRC) دارای [سیمان پرتلند](#) استاندارد و الیاف کوتاه است، این الیاف باعث کاهش ترک خوردگی و افزایش شکل پذیری شده و گاهی حتی جایگزین میله‌های فلزی می‌شود.

مزایای بتن الیافی

- مقاومت در مقابل تورق، سایش و هوازگی سطح
- مقاومت زیاد در مقابل تنش‌های خستگی
- مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه
- قابلیت کششی عالی (ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی)
- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی
- مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد
- طاقت خیلی زیاد

خصوصیات مکانیکی ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف فولادی

الیاف فولادی متداولترین نوع الیاف برای تقویت بتن و ماتریس‌های سیمانی‌اند هر چند استفاده از این الیاف می‌تواند موجب بهبود مقاومت کششی و خمشی شود. تاثیر عمده استفاده از این افزایش در شکل پذیری و شکست ترکیبات سیمانی است.

تاثیر الیاف فولادی روی مشخصات مکانیکی ماتریس‌های سیمانی نظیر مقاومت فشاری، کششی، خمشی، وزن مخصوص، مقاومت سایشی، دوام در برابر ذوب و انجماد در ذیل تشریح شده است.

مقاومت فشاری

اثر مهم استفاده از الیاف فولادی، افزایش شکل پذیری بتن است. استفاده از الیاف موجب افزایش کرنش متناظر با تنش حداکثر است. افزایش مقاومت فشاری بتن بر اثر استفاده از الیاف فولادی به ندرت از ۲۵ درصد بیشتر میشود. درصد استفاده از الیاف

فولادی قلابدار در بتن، معمولاً ۶۰ کیلوگرم بر متر مربع است و در این درصد استفاده تاثیر الیاف فولادی بر مقاومت فشاری بسیار کم بوده و توان از آن صرفنظر نمود. اثر مهم استفاده از الیاف فولادی، افزایش شکل پذیری بتن است. استفاده از الیاف موجب افزایش کرنش متناظر با تنش حداکثر است. همچنین شیب منحنی بار تغییر شکل بعد از رسیدن به حداکثر بار بشدت کاهش می‌یابد و قابلیت تحمل بار بعد از بار حداکثر، افزایش پیدا می‌کند.

مقاومت کششی

مقاومت کششی قطعات بتنی، معمولاً یا توسط کشش مستقیم قطعات و یا به روش غیرمستقیم (شکافت نمونه) انجام می‌پذیرد. در درصدهای استفاده معمولی که کمتر از ۲ درصد است، الیاف تاثیری روی مقاومت کششی حداکثر بتن ندارند. البته با افزایش چسبندگی الیاف به ماتریس (بطور مثال برای استفاده از میکروسیلیس) شکل تخریب نمونه از حالت بیرون کشیدگی الیاف به سمت گسیختگی الیاف میل کرده و در نتیجه افزایش در مقاومت کششی حاصل میشود..

مقاومت کششی قطعات بتنی، معمولاً یا توسط کشش مستقیم قطعات و یا به روش غیرمستقیم (شکافت نمونه) انجام می‌پذیرد. در درصدهای استفاده معمولی که کمتر از ۲ درصد است، الیاف تاثیری روی مقاومت کششی حداکثر بتن ندارند. شایان توجه است که استفاده از الیاف فولادی عمده‌تاً شکل پذیری ترکیب را در کشش افزایش می‌دهد.

با توجه به اینکه بتن، در کشش ضعیف است چنانچه الیاف فولادی به طور پیوسته و در جهت اعمال تنش‌های کششی قرار گیرند در حدود ۱۳۳ درصد مقاومت کششی بتن را می‌افزاید و این در صورتی است که الیاف بتنی کاملاً اتفاقی و به صورت رندم در بتن قرار می‌گیرد و در این حالت مقاومت کششی حدود ۵۰ درصد بهبود می‌یابد. البته مقدار دقیق افزایش مقاومت به شکل، نوع، اندازه و سایر مشخصات الیاف بستگی دارد.

رفتار بتن حاوی الیاف در خمش، معیار عمده ارزیابی عملکرد این نوع بتن‌ها است. زیرا برای بیشتر کاربردهای عملی ترکیب تحت خمش قرار می‌گیرد.

استفاده از الیاف تاثیر بسیار قابل توجهی در افزایش طاقت خمشی بتن دارد.

به منظور بررسی رفتار بتن الیافی در خمش عموماً از روش آزمایش ASTM C1018 که طی آن منشورهای به ابعاد $100 \times 100 \times 350$ میلیمتر تحت بار ۲ نقطه‌ای قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود.

علاوه بر تنش حداکثر بدست آمده رفتار نمونه بعد از ترک و ارزیابی شکل پذیری آن مدنظر است که کل پذیری را با پارامتر ضریب طاقت (TI: Toughness Index) نشان می‌دهند.

ضریب طاقت برابر است با مساحت زیر منحنی بار تغییر شکل برای یک تغییر شکل موردنظر تقسیم بر مساحت زیر منحنی بار تغییر شکل متناظر با اولین ترک (بخش خطی منحنی بار تغییر شکل).

مقاومت دینامیکی بتن الیافی

الیاف فولادی اثر قابل توجهی در مقاومت دینامیکی بتن دارد به طوریکه ۱۰ تا ۵ برابر بهبود در مقاومت دینامیکی خواهیم داشت.

با افزایش الیاف بر بتن با مقاومت بالا، مقاومت فشاری اندکی تغییر می‌کند، با توجه به گرانی الیاف ملاحظه می‌شود که استفاده از الیاف فقط برای افزایش مقاومت فشاری روش مناسبی نیست.

مقاومت کششی بتن در صورت استفاده از الیاف، بعد از ترک خوردن افزایش می‌یابد اما این افزایش نمی‌تواند با افزایشی که آرماتوربندی معمولی ایجاد می‌کند، مقایسه شود.

مقاومت کششی بتن در صورت استفاده از الیاف بعد از ترک خوردن افزایش می‌یابد. اما این افزایش نمی‌تواند با افزایشی که آرماتوربندی معمولی ایجاد می‌کند، مقایسه شود.

افزودن الیاف باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در انرژی شکست و چقرمگی نمونه‌ها شده و رفتار بتن را بسیار نرم‌تر می‌کند.

چقرمگی مخصوص کششی و فشاری نسبت به نمونه بدون الیاف افزایش می‌یابد.

افزایش الیاف باعث کاهش نفوذپذیری نمونه‌های ترک خورده می‌شود. تاثیر این الیاف در ترک‌های بزرگتر از ۱۰۰ میکرون تأیید شده است. با توجه به نیاز کشور در زمینه‌های راه، باندهای فرودگاه ایجاد سالن‌های ورزشی لوله‌های بتنی، جدارهای نسوز (صنایع پتروشیمی، ذوب آهن، کارخانه‌های سیمان) استفاده از بتن‌های الیافی و ایجاد کارخانه‌های تولید بتن‌های الیافی پیش ساخته کمک شایانی در اقتصاد کشور دارد بر هم زمینه‌های ایجاد اشتغال را فراهم خواهد کرد.

الیاف فولادی تولید داخل کشور از نظر بهبود مقاومت استاتیکی بتن عملکردی مشابه الیاف خارجی دارد. الیاف فولادی تولید داخل کشور از نظر بهبود طاقت و انعطاف پذیری بتن عملکردی مشابه الیاف خارجی دارد. الیاف فولادی تولید داخل کشور نقش مهم و موثری در کنترل عرض ترک‌های کششی در دال مهارشده، از خود نشان می‌دهد و با توجه به اینکه عمق ترک تابعی از عرض آنهاست می‌توان نتیجه گرفت عمق ترک کاهش می‌یابد. الیاف فولادی تولید داخل کشور نقش مهمی و موثر در کنترل طول ترک‌های کششی در دال مهار شده از خود نشان می‌دهد. نسبت ظاهری برابر ۵۰ در الیاف داخلی باید رعایت شود ولی برای کاهش هزینه می‌توان طول و قطر را افزایش داد. مثلاً در روسازی‌ها طول ۴۰ میلیمتر و قطر ۸ میلیمتر توصیه می‌شود. الیاف فولادی تولید داخل کشور ۷۸ کیلوگرم برابر با ۹۴/۴ کیلوگرم آرماتور در روسازی بتنی و دال‌های مهار شده عمل می‌نماید. الیاف فولادی تولید داخل کشور نقش مهم و موثری در کنترل عرض ترک‌های کششی در دال مهار شده از خود نشان می‌دهد و با توجه به اینکه عمق ترک تابعی از عرض آنهاست می‌توان نتیجه گرفت عمق ترک کاهش می‌یابد. با توجه به طرح درصد حجمی الیاف ۱/۵-۷۵ درصد توصیه می‌شود چون بیش از ۱/۵ درصد مقرون به صرفه نبوده و روی یکنواختی و همگنی به صرفه نبوده و روی یکنواختی و همگنی به علت درگیری در بتن اثر منفی دارد و کمتر از ۷۵ درصد نقشی در کنترل ترک‌های کششی نخواهد داشت. در نهایت باید گفت که استفاده از بتن الیافی در همه موارد از بتن سنتی به صرفه تر نبوده، اما با توجه به پژوهش‌های انجام یافته در جاهایی که سرعت اجرای بالا مدنظر باشد و یا نیاز به پاشیدن بتن (شاتکریت) روی سطحی است که شبکه بندی سنتی مشکل و زمان بر بوده و یا جوابگوی کار نیست، هزینه استفاده از بتن الیافی نسبت به مشابه سنتی خود، کمتر است، علاوه بر این سادگی و سرعت عمل بالاتر موجود در تکنولوژی بتن الیافی از مزیت‌های آن است. به طوریکه برای تعمیر باند یک فرودگاه، جمعی از متخصصین بعد از ماه‌ها بررسی روش بتن الیافی را پیشنهاد کردند و مدت پروژه را یک ماه تخمین زدند که با بهره جستن از روش سنتی تخمین مدت پروژه سه ماه بود. اگر دیده می‌شود که در کشورهایی همچون ترکیه، به کارگیری بتن الیافی بجای روش‌های سنتی مقرون بصرفه تر از کشور ما است ریشه‌های آن در سرمایه گذاری و تلاش سازمان یافته جهت اقتصادی نمودن استفاده از این تکنولوژی است. نانو مواد به کار رفته در اصلاح آسفالت

نانو مواد ترکیباتی مورفولوژیک در مقیاس نانو هستند و خواص ویژه‌ای دارند که از ابعاد نانو مقیاس آنها نشأت می‌گیرد. پس از اینکه نانو کامپوزیت پلی‌آمید رس با کیفیتی بسیار عالی در مرکز تحقیقات تویوتا تهیه شد، نانو کامپوزیت‌های پایه پلیمر هم در دانشگاه و هم در صنعت، مورد توجه بسیاری قرار گرفتند. این توجهات به دلیل خواص بی‌نظیر مکانیکی، حرارتی، نوری، الکتریکی و مغناطیسی آنها است. مواد با حالت‌های مختلف، مثل مایع، شبه جامد یا جامد، در آسفالت به کار می‌روند. آسفالت مخلوط پچیده‌ای با رنگ سیاه یا تیره است که حاوی هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی مختلف، به عنوان ماده چسبنده آلی برای ضدآب‌سازی، و مشتقات غیرفلزی است. معمولاً برای مقاوم‌سازی نسبت به رطوبت و محافظت از خوردگی به کار می‌رود. اصلاح آسفالت پایه، نیازمند ارتقای کیفیت مواد است. این ارتقا در کیفیت شامل چسبندگی، میزان حساسیت به دما، ویژگی‌های اصطکاک، مقاومت در مقابل اکسیداسیون و فرسودگی، میزان دوام و پایداری آنها می‌شود. رزین، الاستیک، پلیمرها، سولفور، کمپلکس‌های فلزی، فیبرها و عوامل شیمیایی مختلف، جزئی از انواع گسترده‌ی بهبوددهنده‌های آسفالت محسوب می‌شوند. نانو مواد در سال‌های اخیر، به تدریج زمینه‌ی ورود فناوری نانو به اصلاح آسفالت را فراهم کرده‌اند. نانو آسفالت اصلاح شده پیشرفت عمده‌ای را ورای خواص مواد پایه، ارائه می‌دهد که بالاتر از سایر روش‌های اصلاح آسفالت است. بنیاد ملی علوم آمریکا، یک کارگاه آموزشی با عنوان (اصلاح نانویی مواد سیمانی) برگزار کرد. تمرکز این کارگاه آموزشی

در استفاده از فناوری نانو برای ارتقای آسفالت بود. از اصلی ترین نتایج این کارگاه این بود که علوم و فناوری نانو می توانند به ارتقای فناوری آسفالت منجر شوند. در این کارگاه آموزشی رشته (علوم نانو مواد آسفالت) معرفی شد.

بهبوددهنده های پلیمری مختلف، ویژگی های ذاتی مختلفی را به کامپوزیت ها می دهند. به واسطه تحقیق و توسعه، تعدادی از بهبوددهنده های خوب آسفالت، مثل؛ پلی اتیلن (PE)، اتیلن ونیل استات (EVA)، الاستیک و کوپلیمر بالک استایرن بوتادی ان استایرن (SBS) شناسایی شدند. SBS متخلخل و سبک وزن، هر دو ویژگی الاستیک و قابلیت ارتجاع در اثر حرارت رزین را با هم داراست. داشتن همزمان این دو ویژگی، کاربردهای فراوانی را برای آن فراهم می آورد. اما برخی از رزین ها، ارزان بوده، از پلاستیک های مانند PE، نسبتاً با آسفالت بازیافتی به دست می آیند و مسقیماً پایه مخلوط می شوند. لذا، هنوز خیلی از محققان برای تهیه آسفالت بهبود یافته با پلیمر فعالیت می کنند. فعالیت آنها در جهت رفع اشکالات این مواد به منظور استفاده طولانی مدت از آنها در مهندسی راه است. یکی از عمده ترین نقطه ضعف های بهبوددهنده های پلیمری خالص این است که بیشتر پلیمرها از نظر ترمودینامیکی با آسفالت ناسازگارند. این ناسازگاری به دلیل وجود اختلاف های اساسی در چگالی، قطبیت، وزن مولکولی و انحلالپذیری بین پلیمر و آسفالت است. ناسازگاری می تواند به لایه لایه شدن کامپوزیت در حین ذخیره سازی حرارتی منجر شود. این مشکل به سهولت ظاهر نمی شود ولی هنگامی که در ساخت به کار می رود، ماده را تحت تأثیر قرار می دهد.

محققین در چین اصلاح آسفالت پایه و آسفالت بهبود یافته با SBS را با استفاده از سلیکات با نانولایه ها گزارش کردند. گروهی در دانشگاه چانگ ان نیز نانو ساختارهای سیلیکا، تیتانیا و کربنات کلسیم را به منظور اصلاح آسفالت پایه، با SBS ترکیب کردند. علاوه بر آن، محققان نیز نانو مواد معدنی Fe_3 فوق الذکر و همچنین نانو موادی مثل ZnO یا O_4 را برای اصلاح مستقیم آسفالت پایه یا به همراه SBS یا لاستیک استایرن بوتادی ان (SBR) برای اصلاح آسفالت پایه، گزارش کردند. گروه اوپوانگ در دانشگاه شانگهای جیاو تانگ، ذخیره سازی حرارتی آسفالت اصلاح شده با پلی اتیلن کم چگالی (LDPE) و خاک رس سلیکاتی را بررسی کردند. علاوه بر آن، تأثیر خاک رس کائولین بر ویژگی های آسفالت اصلاح شده SBS و کوپلیمر سه قطعه ای و خطی از استایرن اتیلن بوتادین استایرن (SEBS) نیز گزارش شد. تشخیص داده شد که ویژگی های مقاومت در مقابل فرسودگی، ویژگی های رئولوژیکی و دمایی آسفالت اصلاح شده با نانو مواد، افزایش یافته است. بنابراین طول عمر سرویس دهی راه آسفالت طولانی تر می شود. محققان ایرانی تأثیر مونت موریلونیت (MMT) و سایر نانو رس ها را بر ویژگی های رئولوژیکی SBS بهبود یافته و آسفالت پایه، مورد بحث قرار دادند. آسفالت بهبود یافته با نانورس و میکروفیبر کربنی را تهیه کرده و برای مخلوط های آسفالت، ویژگی های مکانیکی و مقاومت در برابر آب را گزارش کردند. در ابتدا پلیمرها $CaCO_3$ پوشاندند و سپس کامپوزیت را بر سطح ذره/ پلیمر را به عنوان بهبوددهنده آسفالت به کار بردند. سایر ویژگی های رئولوژیکی منتج شده از آسفالت بهبود یافته نیز گزارش شد. ساخت نانو مواد آلی در مقیاس نانو با استفاده از تکنیک های مرسوم، مشکل است. لذا، بهبوددهنده های پلیمری متداول، مانند نانو افزودنی های اصلاح آسفالت، به سهولت در دسترس نیستند. اما، نانو مواد اکسید فلزی می توانند با روشی مناسب تهیه شوند. در نتیجه، احتمال استفاده از آنها به عنوان افزودنی های آسفالت پایه بیشتر است و روشی امید بخش برای بهبود آسفالت محسوب می شود. هر چند که قیمت زیاد و ویژگی های نانو مواد اکسید فلزی، جذابیت آنها را برای اصلاح آسفالت در هر دو زمینه تحقیق و کاربرد، محدود می کند. از نظر تئوری بسیاری از مواد اکسید فلز معدنی می توانند به صورت مواد نانو مقیاس فراهم شوند. سپس می توان از این نانو مواد برای تشکیل نانو کامپوزیت هایی با آسفالت پایه، استفاده کرد. اما کلید موفقیت در به انجام رساندن آن، یافتن سورفکتانتی است که با نانو افزودنی ها و با آسفالت پایه سازگار باشد. همان طور که قبلاً ذکر شد، برخی نانو مواد اکسید فلز معدنی خاص، نقش بهبود دهنده های غالب را در اصلاح آسفالت دارند و پرکاربردترین آنها نانو مواد رسی لایه لایه، مونت موریلونیت و مونت موریلونیت آلی (OMMT) است.