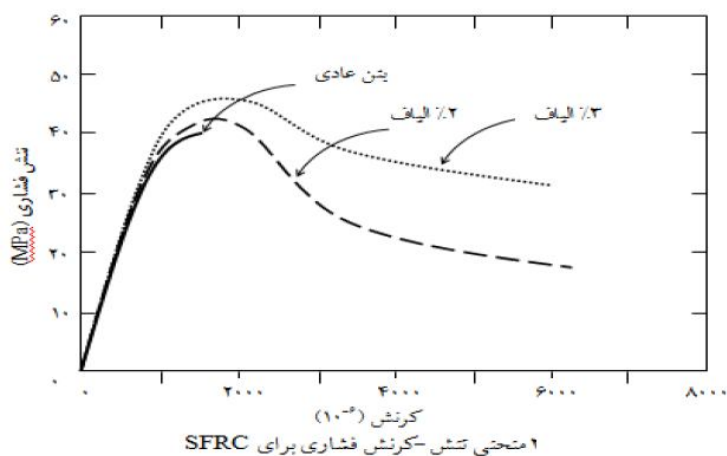
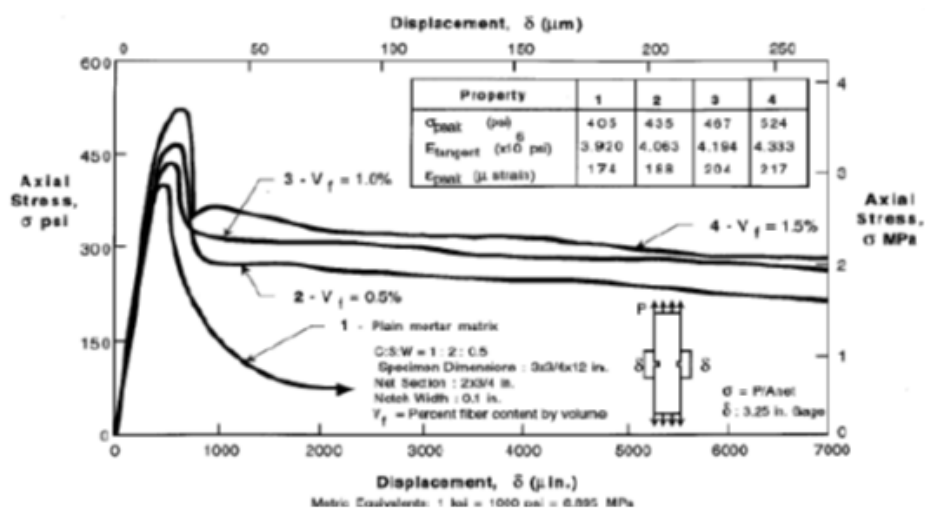


بتنهای ویژه

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکترای عمران سازه eman.elyasian@gmail.com

بتن الیافی Fiber Concrete

چکیده: بتن ساخته شده از سیمان هیدرولیکی، آب، شن و ماسه و الیاف تفکیک شده و مجزا، بتن الیافی نامیده می شود. الیاف در شکلها و انداز ههای متفاوت و از جنس فولاد، شیشه، مواد مصنوعی و مواد طبیعی مورد استفاده قرار م یگیرد. با این وجود، در بیشتر اعضای ساز های و غیرسازه ای، الیاف فولادی بیشتر از انواع دیگر الیاف استفاده م یشود. بتن معمولی، دارای تعداد زیادی تر کهای موئین است که به دلیل توسعه سریع تر کهای موئین تحت تن شهای 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 تر کهای موئین جلوگیری شده و در نتیجه، مقاوم تهای کششی و خمشی بتن به میزان زیادی افزایش می یابد. همچنین الیاف، شروع تر کهای کششی را به تأخیر انداخته و در نتیجه باعث افزایش مقاومت کششی بتن م یشود. اما مطالعات نشان داده اند که استفاده از الیاف با حجم و اندازه های مختلف در ملات یا بتن باعث افزایش مقاومت آنها، ب همیزان زیاد نم یگردد. باین وجود، پژوهشگران، بهبود زیادی را در رفتار بت نهایی الیافی، در مرحله پس از تر خوردگی پیدا کرده اند. به عبارت دیگر، علی رغم آنکه مقاومت نهایی کششی به میزان زیادی افزایش نم ییابد، اما کرنش کششی در هنگام گسیختگی افزایش می یابد. در نتیجه، در مقایسه با بتن ساده، بت نهایی الیافی سخ تترند و در مقابل ضربه مقاومت بیشتری دارند.



مکانیزم و ضرورت استفاده از الیاف در بتن

بتن الیافی، بعد از ایجاد اولین ترک در خمیر سیمان، بار وارده را تحمل می‌کند، به شرط آنکه مقاومت الیاف در برابر بیرون کشیده شدن آنها در اولین ترک، بیش از بار در هنگام وقوع اولین ترک باشد. در مقطع ترک خورده، خمیر سیمان هیچ کششی را تحمل نمی‌کند و الیاف، تمام بار وارد بر مقطع مرکب را تحمل می‌کند. با افزایش بار بر روی مقطع مرکب، الیاف تمایل دارند که تن شهای اضافی را از طریق تن شهای پیوستگی به خمیر سیمان منتقل کنند. اگر این تن شهای پیوستگی از مقاومت پیوستگی بیشتر نگردد، در خمیر سیمان ترکهای دیگری نیز به وجود می‌آید. این روند ترک خوردگی تا آنجا ادامه می‌یابد که الیاف شکسته شوند و یا اینکه به علت ازبی نرفتن پیوستگی، الیاف از درون بتن بیرون کشیده شوند.

ترک در بتن، بدلائل مختلف (سازه ای یا غیر سازه ای)، عمدتاً ناشی از ضعف ذاتی بتن در کشش. الیاف از گسترش ترک جلوگیری می‌کند. یکپارچگی و شکل پذیری قابل توجهی فراهم می‌کند. آرماتور فقط در یک جهت خاص با نیروهای کششی مقابله می‌کند. در موارد متعددی جهت نیروهای کششی بطور دقیق معلوم نیست. الیاف در تمام بتن و در جهات مختلف با ایجاد کشش مقابله می‌کند. الیاف بطور تصادفی در بتن پخش می‌شوند. کاربرد الیاف در بتن بطور فراگیر از اوایل ۱۹۶۰ آغاز شد. در کشورهای صنعتی پیشرفته (در این دهه های اخیر، جنس و شکل الیاف و نحوه ساخت بتن الیافی بهبود یافته و کاربردهای آن فزونی یافته است. هم اکنون الیاف به عنوان مصالح ساختمانی به همراه بتن در اکثر کشورها به نحو چشمگیری استفاده می‌شود.

بهینه سازی الیاف

از نقطه نظر مواد و سازه ای، نقطه تعادل ظریفی در بهینه سازی پیوستگی بین الیاف و خمیر سیمان وجود دارد. در صورتی که پیوستگی بین الیاف و خمیر سیمان ضعیف باشد، الیاف در نیروهای پایین بیرون کشیده شده و تاثیر چندانی در پرکردن فاصله بین ترکها نخواهند داشت، لذا سختی سیستم افزایش پیدا نخواهد کرد. اگر پیوستگی بین الیاف و خمیر سیمان بیش از حد قوی باشد، ممکن است عمده الیاف قبل از آنکه انرژی زیادی را مستهلک کنند، می‌شکنند. در حالت دوم الیاف مانند مواد اضافی غیر فعالی عمل می‌کنند که تاثیر قابل ملاحظه ای در بهبود خواص مکانیکی ندارند. برای پرکردن فضای بین ریز ترکها در مجموعه تحت بار و برای جلوگیری از تمرکز تنش بالا، لازم است تعداد زیادی الیاف کوتاه داشته باشیم. توزیع یکنواخت الیاف کوتاه می‌تواند مقاومت و شکل پذیری مجموعه را افزایش دهد. اما الیاف بلند برای پرکردن فضای بین ترکهای بزرگ منفصل در نیروهای بالا لازم هستند. با این وجود، درصد حجمی الیاف بلند می‌تواند بسیار کمتر از الیاف کوتاه باشد.

بتن ساخته شده از سیمان هیدرولیکی، آب، شن و ماسه و الیاف تفکیک شده و مجزا، بتن الیافی نامیده میشود. الیاف در شکل ها و اندازه های متفاوت و از جنس فولاد، شیشه، مواد مصنوعی و مواد طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود، در بیشتر اعضای سازه ای و غیرسازه ای، الیاف فولادی بیشتر از انواع دیگر الیاف استفاده می‌شود. بتن معمولی، دارای تعداد زیادی ترک های موئین است که به دلیل توسعه سریع ترک های موئین تحت تنش های اعمال شده، مقاومت کششی بتن کم است. در ابتدا فرض می‌شد که با به کاربردن الیاف در فواصل نزدیک به یکدیگر، از توسعه ترک های موئین جلوگیری شده و در نتیجه، مقاومت های کششی و خمشی بتن به میزان زیادی افزایش می‌یابد. همچنین الیاف، شروع ترک هایی کششی را به تأخیر انداخته و در نتیجه باعث افزایش مقاومت کششی بتن میشود. اما مطالعات نشان داده اند که استفاده از الیاف با حجم و اندازه های مختلف در ملات یا بتن باعث افزایش مقاومت آنها، به میزان زیاد نمی‌گردد. 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 نمی‌یابد، اما کرنش کششی در هنگام گسیختگی افزایش می‌یابد. در نتیجه، در مقایسه با بتن ساده، بتن های الیافی سخت ترند و در مقابل ضربه مقاومت بیشتری دارند.

- مکانیزم عمل
- بهینه سازی الیاف
- طبقه بندی
- بتن با الیاف کم
- بتن با الیاف متوسط
- بتن با الیاف بالا
- انواع الیاف
- خواص بتن الیافی
- دوام خواص بتن الیافی
- طرح اختلاط بتن الیافی

بتن ساخته شده از سیمان هیدرولیکی، آب، شن و ماسه و الیاف تفکیک شده و مجزا، بتن الیافی نامیده می شود. الیاف در شکل ها و اندازه های متفاوت و از جنس فولاد، شیشه، مواد مصنوعی و مواد طبیعی مورد استفاده قرار می گیرد. با این وجود، در بیشتر اعضای سازه ای و غیرسازه ای، الیاف فولادی بیشتر از انواع دیگر الیاف استفاده می شود. بتن معمولی، دارای تعداد زیادی ترک های موین است که به دلیل توسعه سریع ترک های موین 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 موین 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 تأخیر انداخته و در نتیجه باعث افزایش مقاومت کششی بتن می شود. اما مطالعات 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 یابد، 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 عمل

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. 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 بیرون کشیده می شوند.

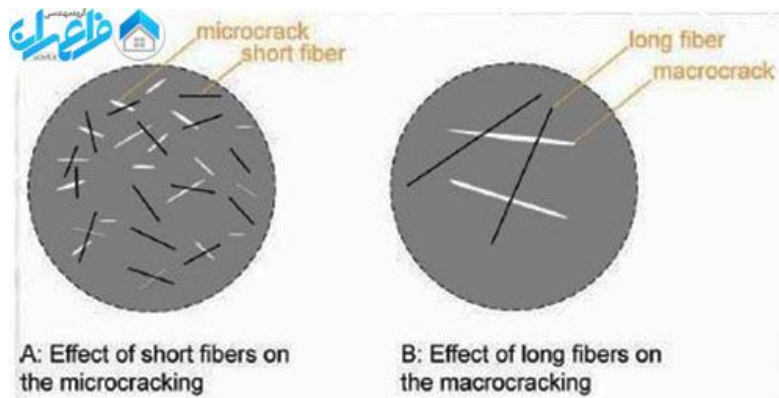


شکل ۲ - بتن الیافی

بهینه سازی الیاف

از نقطه نظر مواد و سازه‌ای، نقطه تعادل ظریفی در بهینه سازی پیوستگی بین الیاف و خمیر سیمان وجود دارد. در صورتی که پیوستگی بین الیاف و خمیر سیمان ضعیف باشد، الیاف در نیروهای پایین بیرون کشیده شده و تاثیر چندانی در پر کردن فاصله بین ترک‌ها نخواهند داشت، لذا سختی سیستم افزایش پیدا نخواهد کرد. اگر پیوستگی بین الیاف و خمیر سیمان بیش از حد قوی باشد، ممکن است عمده الیاف قبل از آنکه انرژی زیادی را مستهلک کنند، می‌شکنند.

در حالت دوم الیاف مانند مواد اضافی غیر فعالی عمل می‌کنند که تاثیر قابل ملاحظه‌ای در بهبود خواص مکانیکی ندارند. برای پر کردن فضای بین ریز ترک‌ها در مجموعه تحت بار و برای جلوگیری از تمرکز تنش بالا، لازم است تعداد زیادی الیاف کوتاه داشته باشیم. توزیع یکنواخت الیاف کوتاه می‌تواند مقاومت و شکل پذیری مجموعه را افزایش دهد. اما الیاف بلند برای پر کردن فضای بین ترک‌های بزرگ منفصل در نیروهای بالا لازم هستند. با این وجود، درصد حجمی الیاف بلند می‌تواند بسیار کمتر از الیاف کوتاه باشد.



شکل ۳ - تاثیر الیاف ها بر ترک های میکروسکوپی و ماکروسکوپی

انواع بتن الیافی

یکی از انواع طبقه بندی بتن الیافی بر مبنای نسبت الیاف در داخل بتن است:

- حجم کم: حجم الیاف در داخل بتن کمتر از ۱٪ است.
- حجم متوسط: حجم الیاف در داخل بتن بین ۱٪ و ۲٪ است.
- حجم بالا: حجم الیاف در داخل بتن بیش از ۲٪ است.

بتن با الیاف کم

در بتن با حجم کم الیاف، که معمولاً در دال‌ها و روسازی بکار می‌روند، الیاف عموماً به منظور کاهش جمع‌شدگی استفاده می‌شوند. الیاف پراکنده مزیت‌های عمده‌ای نسبت به آرماتور فلزی دارد:

- الیاف به طور یکنواختی در سه بعد پخش شده و موجب توزیع متناسب باربری می‌شوند.
- الیاف در مقایسه با آرماتور حساسیت کمتری نسبت به خوردگی دارند.
- استفاده از الیاف می‌تواند هزینه‌های اجرایی مربوط به آرماتورگذاری را کاهش دهد.

بتن با الیاف متوسط

کاربرد این مقدار از الیاف موجب افزایش مدول گسیختگی، سختی، و مقاومت ضربه‌ای بتن می‌شود. این نوع از بتن‌ها در انواع مختلف سیستم‌های ساخت نظیر شات‌کریت کاربرد دارند. کاربرد این نوع بتن الیافی، در سازه‌هایی که نیاز به قابلیت جذب انرژی بالا، افزایش ظرفیت در برابر بیرون‌پریدگی بتن و افزایش مقاومت خستگی دارند کاربرد دارد.

بتن با الیاف بالا

کاربرد حجم زیادی از الیاف منجر به سختی کرنشی مجموعه می‌شود. به خاطر این بهبود رفتار، معمولاً این ترکیبات به عنوان بتن مسلح الیافی توانمند (High-Performance Fiber-Reinforced Composites) شناخته می‌شوند. در دهه گذشته و به واسطه پیشرفت‌های به وجود آمده، نسل جدیدی از این مواد با عنوان بتن مسلح الیافی فوق‌توانمند شناخته می‌شوند.

(Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Composites)

خواص بتن الیافی

می‌توان گفت که تأثیر عمده الیاف، نه بر روی مقاومت بتن، بلکه بر روی طاقت خمشی آن است. اساساً مزیت عمده بتن الیافی، بهبود طاقت خمشی (کل انرژی جذب‌شده 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 ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند. مشخص شده است که حتی الیاف با مدول کم مانند نایلون و پلی پروپیلن در تولید اعضای بتنی پیش‌ساخته در معرض ضربه شدید، بسیار مؤثر بوده‌اند، هر چند تعیین کمی میزان افزایش مقاومت ضربه‌ای انجام نشده است.

درخصوص مقاومت، نشان داده شده است که افزودن الیاف به تیرهای بتن‌آرمه معمولی، عمر آن را در برابر خستگی افزایش می‌دهد و تحت بارگذاری خستگی، عرض ترک کاهش می‌یابد. اگر جهت اعمال بار چرخه‌ای کاملاً تغییر کند، مقاومت خستگی در حدود ۷۰٪ مقاومت استاتیکی تحت بار چرخه‌ای، با همان تعداد دور بارگذاری خواهد بود.

کارایی بتن مسلح به الیاف، از هر نوعی که باشد، تابع حجم الیاف در بتن است. افزودن هر نوع الیاف به بتن ساده، از کارایی آن می‌کاهد. از آنجا که وجود الیاف در بتن، پایداری توده بتن تازه را به میزان زیادی افزایش می‌دهد، لذا استفاده از آزمایش اسلامپ، برای تعیین کارایی بتن الیافی مناسب نیست. برای مثال، اگر به یک بتن با اسلامپ ۲۰۰ میلی‌متر، به میزان ۵/۱٪ حجم آن، الیاف فولادی یا شیشه‌ای افزوده شود، اسلامپ مخلوط کاهش یافته و به حدود ۲۵ mm می‌رسد. اما با این حال، جای دادن و متراکم کردن بتن از طریق وایبره کردن، می‌تواند رضایت‌بخش باشد، بنابراین، آزمایش وی بی (Vebe) برای سنجش کارایی بتن الیافی مناسب‌تر است. افزودن الیاف فولادی به بتن، اثر ناچیزی بر روی مدول ارتجاعی، جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن و خزش فشاری داد. خزش کششی تا حدی کاهش می‌یابد، ولی اگر از الیاف کربنی خیلی قوی استفاده شود، خزش خمشی به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. با این وجود، در اکثر تحقیقات، الیاف، به دلیل حجم کم آن، فقط به عنوان یک ماده صلب درون خمیر عمل کرده است بدون آن که اثر مهمی در پایداری ابعادی ماده مرکب داشته باشد. معمولاً بتن مسلح به الیاف، با مقدار زیاد سیمان و نسبت کم آب به سیمان ساخته می‌شود. اگر بتن حاوی الیاف فولادی به طور مطلوبی متراکم شده و عمل آوری شود، تا زمانی که الیاف توسط خمیر سیمان محافظت می‌شود، از دوام عالی برخوردار خواهد بود. در اکثر شرایط محیطی، به خصوص در محیط‌هایی که کلرید وجود دارد، امکان زنگ‌زدگی الیاف واقع در حوالی سطح بتن وجود دارد، اما الیاف واقع در بخش درونی بتن بدون خوردگی باقی

می‌مانند. به دلیل تهاجم شیمیایی قلیایی موجود در خمیر سیمان، الیاف شیشه‌ای معمولی را نمی‌توان در بتن یا ملات با سیمان پرتلند استفاده کرد. زیرک‌نیا و دیگر الیاف شیشه‌ای 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 می‌شوند. به همین ترتیب، اکثر الیاف طبیعی، مانند کتان و پشم و بسیاری از پلیمرهای مصنوعی، در محیط قلیایی خمیر سیمان پرتلند دوام ندارند.

از آنجا که بتن معمولاً مقید است، ترک خوردگی در آن طبیعی است، اما وجود الیاف تأثیرات مختلفی در ترک خوردگی دارد:

– امکان تعدد ترک خوردگی (تعداد ترک‌ها بیشتر می‌شود) – (امکان انتقال تنش کششی در سطح ترک‌ها وجود دارد، لذا مقاومت کششی بتن به محض ترک خوردگی از بین نمی‌رود.

– امکان انتقال تنش در مدت زمان طولانی وجود دارد، لذا امکان پرشدن/ترمیم ترک وجود دارد.

یکی از تأثیرات مهم حضور الیاف در بتن این است که با وجودی که به کاهش جمع شدگی کمک زیادی نمی‌کنند، اما تعداد ترک‌های بوجود آمده در اثر تنش‌های کششی را افزایش می‌دهند. افزایش تعداد این ترک‌ها به کاهش عرض متوسط آن‌ها منجر می‌شود که از لحاظ دوام پدیده‌ای مطلوب است.

انواع الیاف

انواع بسیار متنوعی از الیاف در ساخت بتن الیافی در سطح آزمایشگاهی و تجاری به کار می‌روند که دسته‌بندی اصلی آنها به شرح زیر است:

– الیاف فولادی (SFR)

– الیاف شیشه‌ای (GFR)

– الیاف مصنوعی مثل ریون، نایلون، پلی‌استر، پلی‌پروپیلن (SFR)

– الیاف طبیعی (NFR)

– الیاف کربن

– الیاف ازبست

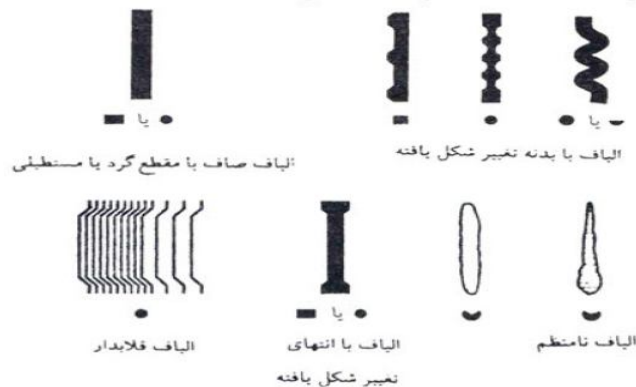
– الیاف گیاهی

– الیاف پشم‌های معدنی مثل پشم کوهی، سنگ و شیشه

انواع الیاف

نوع الیاف	مقاومت کششی (MPa)	مدول یانگ (10^3MPa)	افزایش طول نهایی (%)	چگالی (gr/cm^3)
آکرلیک	۲۱۰ – ۴۲۰	۱/۲	۲۴ – ۴۵	۱/۱
آزبست	۵۶۰ – ۹۸۰	۸۴ – ۱۴۰	~۰/۶	۳/۲
کتان	۴۲۰ – ۷۰۰	۴/۹	۳ – ۱۰	۱/۵
شیشه	۱۰۵۰ – ۳۸۵۰	۷۰	۳/۵ – ۱/۵	۲/۵
نایلون (سختی زیاد)	۷۷۰ – ۸۴۰	۴/۲	۱۶ – ۲۰	۱/۱
پلی‌استر (سختی زیاد)	۷۳۵ – ۸۷۵	۸/۴	۱۱ – ۱۳	۱/۴
پلی‌اتیلن	~۷۰۰	۰/۱۴ – ۰/۴۲	~۱۰	۰/۹۵
پلی‌پروپیلن	۵۶۰ – ۷۷۰	۳/۵	~۲۵	۰/۹۰
ابریشم مصنوعی (ریون)	۴۲۰ – ۶۳۰	۷	۱۰ – ۲۵	۱/۵
پشم سنگ	۴۶۰ – ۷۷۰	۷۰ – ۱۱۹	~۰/۶	۲/۷
فولاد	۲۸۰ – ۲۸۰۰	۲۰۳	۰/۵ – ۳۵	۷/۸

Fiber Types	وزن مخصوص gr/cm ³	حداکثر تغییر طول (درصد)	مدول یانگ kg/cm ² 10 ³	مقاومت کششی kg/cm ²	نوع الیاف
Acrylic	1.1	24-45	21.09	2110-4220	اکریلیک
Asbestos	3.2	0.6	843.7-1406.2	5625-9843	آزبست
Cotton	1.5	3-10	49.22	4219-7031	کتان
Glass	2.5	1.5-3.5	703.1	10547-38670	شیشه
Nylon (high tenacity)	1.1	16-20	42.2	7734-8437	نایلون خیلی سفت
Polyester (high tenacity)	1.4	11-13	84.37	7383-8789	پلی استر خیلی سفت
Polyethylene	0.95	10	1.41-4.22	7031	پلی اتیلن
Polypropylene	0.90	25	35.16	5625-7734	پلی پروپیلن
Rayon (high tenacity)	1.5	10-25	70.31	4219-6328	ریون خیلی سفت
Rock wool	2.7	0.6	703.1-1195.3	4922-7734	پشم کوهی
Steel	7.8	0.5-35	2039	2812-28120	فولاد

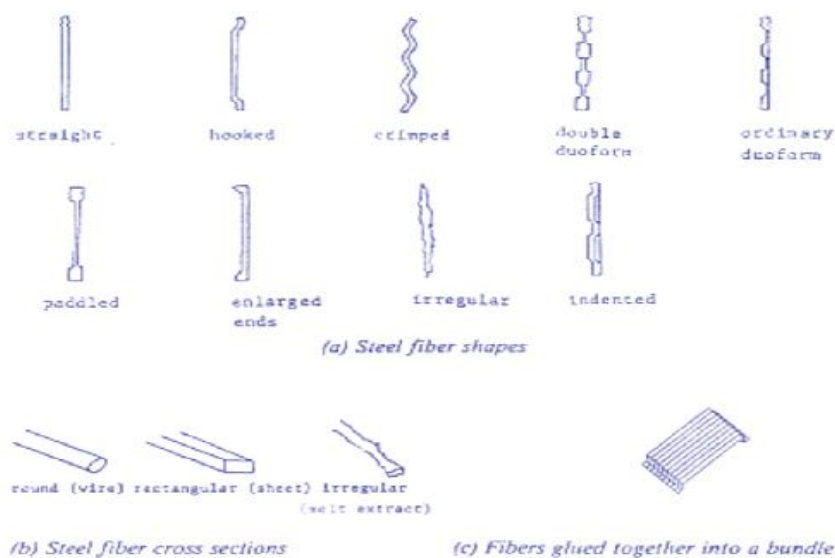


نحوه ساخت الیاف فولادی

- ۱- کشیدن و بریدن سیم های فولادی
-الیاف سیمی
- ۲- نورد و برش ورق های فولادی
-الیاف برشی یا نواری
- ۳- با استفاده از مواد مذاب
-الیاف ریخته گری
- ۴- تراشیدن سطح ورق های فولادی با دستگاه صفحه تراش
-الیاف ماشینینی

بیشترین کاربرد را الیاف فولادی دارند بدلائل:

- ۱) بیشترین افزایش مقاومت
- ۲) بیشترین افزایش شکل پذیری
- ۳) قابلیت تولید در اشکال گوناگون
- ۴) سهولت اختلاط با دیگر مواد بتن



انواع مختلف الیاف فولادی

بتن مسلح به الیاف شیشه:

پاشیدنی ماسه، سیمان، الیاف و آب و روان ساز و زودگیر قابل تنظیم توسط نازل 3-6 mm ضخامت مخلوط شده از قبل با سیمان، ماسه، الیاف و آب ملات ساخته می شود و سپس ریختن، قالب ریزی با فشار، اکستروژن کردن یا با قالب لغزان محصول نهایی بدست می آید معمولاً تا 5% حجمی الیاف شیشه استفاده می شود. از روان ساز استفاده بعمل می آید.

بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلین پاشیدنی تا 6 درصد

مخلوط تا 11 درصد، استفاده از نسبت آب به سیمان بالا و سپس خارج کردن آب

اضافی با مکش و فشار (بتن مسلح به الیاف کربن):

— بصورت تصادفی با الیاف بریده شده تکی.

— نیاز به مخلوط کن های ویژه بصورت دسته ای در جهت های خاص.

بتن مسلح به الیاف گیاهی:

— مخلوط کردن الیاف با ماتریس با آب نسبتاً زیاد، سپس خارج کردن آب اضافی با فشار

خواص بتن الیافی

جنس و شکل الیاف : الیاف با مقاومت بالاتر و الیاف غیرمستقیم فولادی بهبود بیشتری در رفتار بتن ایجاد می کنند

درصد الیاف : بستگی به جنس و نسبت طول به قطر دارد

نسبت طول به قطر معادل الیاف: بین 50 تا 100

مقاومت زمینه بتن: مقاومت بالاتر بهبود بیشتر در رفتار بتن

اندازه، شکل و نحوه تهیه نمونه ها

اندازه و شکل مصالح سنگدانه ای

الیاف قبل از آغاز ترک خوردگی بتن تأثیر ناچیزی روی خواص مکانیکی دارند و تنش کمی به آنها وارد می شود.

الیاف هنگام شروع ترک خوردگی بتن تنش عمده ای تحمل می کنند و با ترک خوردن زمینه تنش، تنش بطور فزاینده ای به الیاف انتقال می یابد.

بطور کلی کیفیت بتن الیافی به عوامل زیر بستگی دارد:

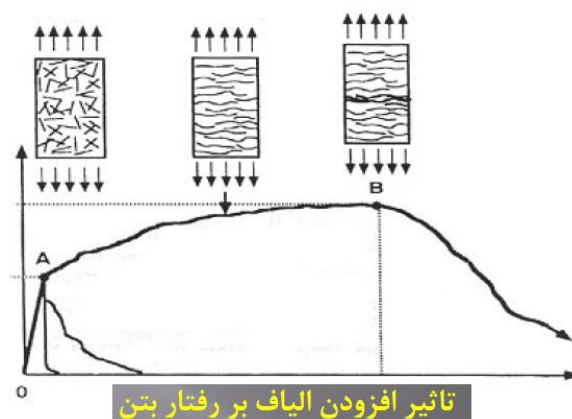
- نسبت های مخلوط بتن
- مشخصات هندسی الیاف فولادی
- نسبت طول به قطر الیاف
- مهار مکانیکی و زبری سطح الیاف
- مشخصات فیزیکی و جنس الیاف فولادی

می توان گفت که تأثیر عمده الیاف، نه بر روی مقاومت بتن، بلکه بر روی طاقت خمشی آن است. اساساً 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. مشخص شده است که حتی الیاف با مدول کم مانند نایلون و پلی پروپیلن در تولید اعضای بتنی پی ششاخته در معرض ضربه شدید، بسیار مؤثر بود هاند، هر چند تعیین کمی میزان افزایش مقاومت ضرب های انجام نشده است درخصوص مقاومت، نشان داده شده است که افزودن الیاف به تیرهای 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، در حدود ۹۰٪ مقاومت استاتیکی همان تیر تحت بارهای چرخه ای، با ۲٪ تا ۱۰۶٪ 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٪ مقاومت استاتیکی تحت بار چرخه ای، با همان تعداد دور بارگذاری خواهد بود.

کارایی بتن مسلح به الیاف، از هر نوعی که باشد، تابع حجم الیاف در بتن است. افزودن هر نوع الیاف به بتن ساده، از کارایی آن می کاهد. از آنجاکه وجود الیاف در بتن، پایداری توده بتن تازه را ب همیزان 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 میلیمتر، به میزان ۱/۵٪ حجم آن، الیاف فولادی یا شیشه ای افزوده شود، اسلامپ مخلوط کاهش یافته و به حدود ۲۵mm می رسد. اما باین حال، جای دادن و متراکم کردن بتن از طریق ویبره کردن، می تواند رضایت بخش باشد، بنابراین، آزمایش ویبی (Vebe) برای سنجش کارایی بتن الیافی مناسب تر است.

افزودن الیاف فولادی به بتن، اثر ناچیزی بر روی مدول ارتجاعی، جمع شدگی ناشی از خشک شدن و خزش فشاری داد. خزش کششی تاحدی کاهش می یابد، ولی اگر از الیاف کربنی خیلی قوی استفاده شود، خزش خمشی به مقدار زیادی کاهش می یابد. باین وجود، در اکثر تحقیقات، الیاف، به دلیل حجم کم آن، فقط ب هعنوان یک ماده صلب درون خمیر عمل کرده است بدون آنکه اثر مهمی در پایداری ابعادی ماده مرکب داشته باشد. معمولاً بتن مسلح به 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 مانند به دلیل تهاجم شیمیایی قلیایی موجود در خمیر سیمان، الیاف شیشه ای معمولی را نم یوان در بتن یا ملات با سیمان پرتلند استفاده کرد. زیرگنیا 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 شوند. ب ههمین ترتیب، اکثر الیاف طبیعی، مانند کتان و

پشم و بسیاری از پلیمرهای مصنوعی، در محیط قلیایی خمیر سیمان پرتلند دوام ندارند. از آنجا که بتن معمولاً مقید است، ترک خوردگی در آن طبیعی است، اما وجود الیاف تأثیرات مختلفی در ترک خوردگی دارد: امکان تعدد ترک خوردگی (تعداد ترک ها بیشتر می شود) امکان انتقال تنش کششی در سطح ترکها وجود دارد، لذا مقاومت کششی بتن به محض ترک خوردگی از بین نمی رود. امکان انتقال تنش در مدت زمان طولانی وجود دارد، لذا امکان پرشدن/ترمیم ترک وجود دارد. یکی از تأثیرات مهم حضور الیاف در بتن این است که با وجودی که به کاهش جمع شدگی کمک زیادی نمی کنند، اما تعداد ترکهای بوجود آمده در اثر تنشهای کششی را افزایش می دهند. افزایش تعداد این ترکها به کاهش عرض متوسط آنها منجر می شود که از لحاظ دوام پدیده ای مطلوب است.



مزایای بتن با الیاف فولادی

مقاومت در مقابل تورق، سایش و هوازدگی سطح

- مقاومت زیاد در مقابل تنش های خستگی

- مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه

- قابلیت کششی خوب (ظرفیت زیاد کرنش کششی)

- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی

- مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد

مقاومت های خمشی متفاوتی حداقل ۲ تا ۳ برابر بدست می آید
بهبود خصوصیات بتن در اثر استفاده از الیاف شامل رفتارهای :

(۱) فشاری	(۶) مقاومت خستگی
(۲) کششی	(۷) خزش و جمع شدگی
(۳) خمشی شدن	(۸) مقاومت در برابر یخ زدن و آب
(۴) برشی ضربه	(۹) عملکرد تحت بار دینامیکی و
(۵) مقاومت سایش، فرسایش و کاویتاسیون	(۱۰) دوام

از مزایای دیگر بتن الیافی مقاومت در برابر بارهای ضربه ای و انفجاری ، سایش، افزایش طاقت و مدول الاستیسیته بتن و مقاومت در وضعیتهای پیچیده تنش می باشد.

رفتار فشاری

افزایش مقاومت بین ۰ تا ۴۰ درصد، افزایش کمتر با الیاف مستقیم فولادی، افزایش قابل توجه با الیاف غیرمستقیم. شکل پذیری بسیار بیشتر.

قابلیت جذب انرژی بسیار بیشتر تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی. جلوگیری از شکست ترد ، ناگهانی و انفجار آمیز به ویژه در بتن با مقاومت بالا.

رفتار کششی

افزایش مقاومت کششی بتن الیافی فولادی

تا ۴۰ درصد در کشش مستقیم و تا ۱۰۰ درصد در کشش برزیلی.

- قابلیت جذب انرژی چندین برابر بتن ساده.

- ۷۰ درصد افزایش در مقاومت کششی بتن الیافی کربنی با پخش تصادفی الیاف.

- ۴۰۰ درصد افزایش در مقاومت کششی بتن الیافی کربنی با الیاف جهت داده شده.

رفتار خمشی

- تأثیر بیشتر الیاف روی رفتار خمشی بتن در مقایسه با فشار و کشش.

- افزایش تا ۱۰۰ درصد در مقاومت خمشی

مقاومت سایش، فرسایش و کاویتاسیون

بتن الیافی فولادی، دارای مقاومت بالا در برابر فرسایش و نیروهای ایجاد کننده کاویتاسیون و سایش از ضربه یا جریان آب با سرعت بالا توسط نخاله های تند روی معلق در آب.

مقاومت خستگی

- افزایش عمر خستگی بتن در حضور الیاف و کاهش عرض ترک.

- کاهش تغییر مکان

خزش و جمع شدگی

- کاهش تعداد ترکهای بزرگ و مخرب، و عرض ترک ناشی از خزش.

- کاهش قابل ملاحظه در کرنش جمع شدگی و عرض ترکها و کنترل خوردگی آرماتور.

شدن آب و زدن یخ برابر در مقاومت

است هوا حباب از استفاده روش بهترین دارند، کم تأثیر الیاف

ضربه و دینامیکی بار تحت عملکرد

.آلات ماشین از ناشی و ارتعاش افتادن های وزنه ، لرزه زمین ، تندبادها ، ها پرتابه و موشکها از ناشی - ضربه

.بالا) انرژی جذب (قابلیت توجه قابل مکان تغییر - بار منحنی زیر سطح -

.ای ضربه مقاومت افزایش -

.ضربه از پس کوچکتر قطعات به کامپوزیت شدن پراکنده از جلوگیری -

دوام

است شده بعمل آورده و متراکم ریخته، طراحی، آن اختلاط مقتضی نحو به که است بتنی دوام با بتن

خوردگی از ناشی آن باربری در عمده یا کاهش ای سازه عضو شکست با رابطه در گزارشی تاکنون: فولادی الیاف خوردگی عدم - است نشده ارائه فولاد

ترک عرض توجه قابل کاهش دلیل به فولادی میلگرد خوردگی از جلوگیری -

زمان طی در شیشه الیاف به مسلح بتن نرمی قلیایی است لیکن مقاومت و های محیط برابر در مقاوم لا معمولاً را شیشه الیاف - ماند می ثابت تقریباً مشخص زمان از یک پس و یابد می کاهش قلیایی محیط در

الیاف جهت تأثیر

افزایش پلاستیک، حالت در کامپوزیت کردن زمان و بهره در مغناطیسی میدان یک از استفاده با فولادی الیاف دهی - جهت خاص جهت چند یا در یک خمشی مقاومت

شود می داده شکل کامپوزیت بتن در خاص جهت چند یا یک در کربن و شیشه الیاف عمدتاً -

شوند پخش می تصادفی بصورت اساساً گیاهی و پروپیلن پلی و فولادی الیاف -

: تیرها در الیاف از استفاده تأثیر

دیگر هرگونه الیاف یا و فولادی الیاف حضور در آرماتور به مسلح تیرهای خمشی مقاومت در درصد چند افزایش: خمش - نرمی و انرژی جذب قابلیت در توجه قابل افزایش: ستون - تیر اتصالات -

خیز لرزه غیر در مناطق برشی قائم خاموت‌های جای به آرماتور به مسلح بتن تیرهای در توان می فولادی الیاف از: برش - کرد استفاده

دهند می افزایش درصد 42 تا را پانچ برشی مقاومت الیاف: دالها در پانچ برش -

قابلیت و مقاومت مقدار فولادی الیاف درصد 1 با مثال برای. پذیری شکل بویژه و مقاومت در توجه قابل افزایش: برشی کلید - یابند می افزایش درصد 1100 و درصد 40 ترتیب به انرژی جذب

الیافی بتن خواص دوام

است نیز صادق الیافی بتن مورد در معمولی بتن دوام افزایش برای لازم تمهیدات همه

ضروری است شدن آب/زدن یخ های چرخه برابر در دوام افزایش منظور به هوازایی

به مربوط ملاحظات و بوده مگاپاسکال ۲۱ از بتن بیش روزه ۲۸ فشاری مقاومت که صورتی در دهد می نشان تحقیقات نتایج

بتن روئین سطح به الیاف زدگی زنگ باشد، شده رعایت بتن تراکم و به سیمان آب نسبت حداکثر

در قرارگیری باشد، خورده ترک الیافی بتن اگر اما) ترک بدون بتن(رود نمی فراتر میلیمتر ۲/۵ عمق از و شود می محدود

میلیمتر ۰/۱ از کمتر عرض با های ترک وجود، این با. شود فلزی الیاف خوردگی به منجر تواند می یون کلراید حاوی محیطهای

کلر یون با اشباع شده محیطهای در فلزی الیاف خوردگی روی بر شده انجام تحقیقات عمده. شود نمی الیاف فلزی خوردگی موجب

دارد بررسی به نیاز کمتر غلظت با محیطها سایر در بتن الیافی عملکرد و شده انجام (دریایی محیطهای یا آزمایشگاه)

الیافی بتن اختلاط طرح

کف، دال در ها بتن نوع این از استفاده صورت در غالباً، گردد مشخص الیاف و مقاومت مقدار با معمولاً فولادی الیاف به مسلح بتن. میشود مشخص م آنها فشاری مقاومت های، ساز بتن ه عنوان ب آنها از استفاده و در صورت خمشی مقاومت

در آنها روزه ۲۸ نمونه فشاری مقاومت یا و مگاپاسکال ۱۰ تا ۵ حدود در ها بتن نوع این روزه ۲۸ نمونه خمشی مقاومت یا معمولاً،

تعیین مشخصات در که معمولی، وزن با بتن در الیاف مصرف میزان. شود می قید مشخصات در مگاپاسکال ۴۸ تا ۳۴ حدود حدود

متغیر (حجمی % ۲ یا (kg/m³ ۳۲۰ تا ،) حجمی % ۰/۳۸ یا (kg/m³ ۳۰ است، بین شده

هر نگرده، استفاده فولادی الیاف به بتن مسلح ساخت برای میلیمتر ۱۹ از تر بزرگ های سنگدانه از که است شده توصیه است. های بتن مناسب کارآیی آنکه برای است شده گزارش نیز میلیمتر ۳۸ سنگدانه اندازه با حداکثر بتنی در الیاف کاربرد که چند (آن بدون یا پوزولان با) بیشتر سیمان میزان از یا و زا حباب کننده، افزودنی روان مواد از توان می آید، هدست ب الیافی استفاده

طرح اختلاط بتن الیافی

مصلح	ملات	حداکثر اندازه سنگدانه ۹/۵mm	حداکثر اندازه سنگدانه ۱۹mm
سیمان (kg/m^3)	۷۱۰-۴۱۵	۵۹۰-۳۵۵	۵۳۵-۲۹۵
نسبت آب به سیمان	۰/۴۵ - ۰/۳۰	۰/۴۵ - ۰/۳۵	۰/۵۰ - ۰/۴۰
درصد ریزدانه به درشتدانه	۱۰۰	۶۰ - ۴۵	۵۵ - ۴۵
درصد هوا با ماده حباب زا	۱۰ - ۷	۷ - ۴	۶ - ۴
درصد حجمی الیاف			
الیاف فولادی آجدار	۱ - ۰/۵	۰/۹ - ۰/۴	۰/۸ - ۰/۳
الیاف فولادی صاف	۲ - ۱	۱/۸ - ۰/۹	۱/۶ - ۰/۸
الیاف شیشه	۵ - ۲	۱/۲ - ۰/۳	-

ساخت بتن الیافی

بتن الیافی فولادی - درصد بهینه الیاف بین ۰.۵ تا ۲ درصد حجمی با توجه به مقاومت، نرمی و کارآیی بتن پاشی با الیاف فولادی بصورت تر یا خشک تا ۲ درصد حجمی الیاف. روش ساخت بتن مسلح به الیاف فولادی، همانند بتن معمولی است.

۱- جلوگیری از گلوله ای شدن. ۲- پخش یکنواخت الیاف. ۳- ایجاد مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت.

احتمال گلوله ای شدن در بتن الیافی پلی پروپیلین، شیشه و کربن بیش از فولاد است. پخش شدن یکنواخت الیاف فولادی در داخل مخلوط بتن از اهمیت زیادی برخوردار است. این عمل می تواند در حین توزین اجزای بتن و یا حین مخلوط کردن بتن انجام شود. شیوه های متعددی در عمل پیاده شده اند که دو مورد کاربرد بیشتری دارند:

۱- اضافه کردن الیاف به بتن در حین اختلاط ۲ - اضافه کردن الیاف به سنگدانه

در روش اول، بعد از آنکه همه اجزا بتن مخلوط شدند، الیاف به بتن اضافه می شود. اضافه شدن باید با نرخ ۴۵ کیلوگرم بر دقیقه و در حالی که مخلوط کن با حداکثر سرعت در حال دوران است انجام شود. الیاف نباید به صورت به هم چسبیده اضافه شوند.

بعد از اضافه شدن کل الیاف، دور مخلوط کن کند شده و برای ۴۰ تا ۵۰ دوران دیگر ادامه پیدا کند. در روش دوم، الیاف به سنگدانه ها اضافه می شود.

این اضافه شدن می تواند پیش از ورود سنگدانه ها به داخل مخلوط کن و یا بعد از توزین آنها انجام شود. اضافه کردن الیاف می تواند به صورت دستی و یا از طریق تسمه نقاله انجام شود. جریان طبیعی سنگدانه ها به بیرون از ترازوی توزین موجب پخش شدن الیاف می شود.

کاربردهای بتن الیافی

-دالها، عرشه پلها ، روسازی پارکینگها ، روکشها ، محیطهای در معرض کاویتاسیون و فرسایش

- دالهای روی بستر / جهت جلوگیری از شکستهای ناشی از بارهای دینامیکی و متمرکز و ترکهای ناشی از بار و غیر آن) حرارت و جمع شدگی (، جایگزین دالهای مسلح به آرماتور در اکثر موارد.

- روسازی های جاده ها، پیاده روها، فرودگاه و بویژه سالنهای صنعتی.
- مناسب برای عبور و مرور اتوبوسهای سنگین، ماشین های با چرخ های فولادادی.
- مناسب برای دندانهای فولادی تانک یا محل احتمالی وزنه های افتان.

-60 درصد نسبت به دالهای بتنی غیر مسلح - - ضخامت حدود 75

-75 درصد نسبت به دالهای بتنی مسلح به میلگرد - - ضخامت حدود 85

- روسازی های نازکتر در فرودگاهها ، حدود 25 تا 40 درصد کمتر از بتن غیر مسلح و با فاصله درزهای اجرایی بیشتر

- تعمیرات
- صنایع نظامی
- سازه های هیدرولیکی
- بتن پاشیدنی یا شاتکریت

ساخت بتن الیافی

پخش شدن یکنواخت الیاف فولادی در داخل مخلوط بتن از اهمیت زیادی برخوردار است. این عمل می تواند در حین توزین اجزای بتن و یا حین مخلوط کردن بتن انجام شود. شیوه های متعددی در عمل پیاده شده اند که دو مورد کاربرد بیشتری دارند:

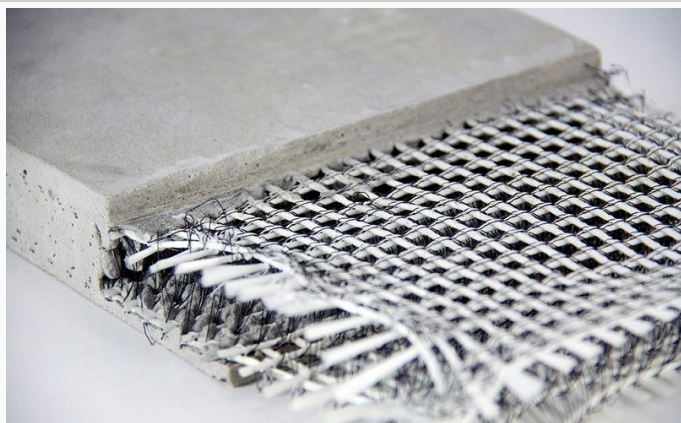
- اضافه کردن الیاف به بتن در حین اختلاط

- اضافه کردن الیاف به سنگدانه

در روش اول، بعد از آنکه همه اجزا بتن مخلوط شدند، الیاف به بتن اضافه می شود. اضافه شدن باید با نرخ ۴۵ کیلوگرم بر دقیقه و در حالی که مخلوط کن با حداکثر سرعت در حال دوران است انجام شود. الیاف نباید به صورت به هم چسبیده اضافه شوند. بعد از اضافه شدن کل الیاف، دور مخلوط کن کند شده و برای ۴۰ تا ۵۰ دوران دیگر ادامه پیدا کند.

در روش دوم، الیاف به سنگدانه ها اضافه می شود. این اضافه شدن می تواند پیش از ورود سنگدانه ها به داخل مخلوط کن و یا بعد از توزین آن ها انجام شود. اضافه کردن الیاف می تواند به صورت دستی و یا از طریق تسمه نقاله انجام شود. جریان طبیعی سنگدانه ها به بیرون از ترازوی توزین موجب پخش شدن الیاف می شود.

در زمان های گذشته، از الیاف جهت تقویت ملات های ترد و شکننده استفاده می شد که مشهورترین و پرتعدادترین به علت ارزانی کاه است. برای تقویت آجرهای خشتی و ملات کاهگل در اندودها در قبال ترک خوردگی که بعد از خشک شدن به وجود می آید، به کار رفته و در حال حاضر نیز ارزانتترین نوع ملات در مناطق روستایی کشور است. استفاده از کاه و مخصوصاً موی دم اسب یا بز در بناهای قدیمی ایران به خصوص گنبدها سابقه طولانی و تاریخی دارد. کاربرد الیاف فولادی از اواسط قرن اخیر آغاز شده و تاریخ دقیقی در مورد استفاده از این روش در دسترس نیست ولی افراد مختلف با استفاده از روش های متفاوتی نظیر کاربرد تکه های سیم یا بریده های فلز در داخل بتن، امتیاز این نوع روش را به نام خود به ثبت رسانده اند.



بتن الیافی

بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با به کارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی و فشاری آن، فوق العاده افزایش می یابد. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل پذیر جهت تولید سطوح مقاوم پرانحنا را فراهم می آورد. بتن الیافی از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار است و تحت اثر بارهای ضربه ای به راحتی از هم پاشیده نمی شود. شاهد تاریخی این فناوری، کاربرد کاهگل در بنای ساختمان است. در واقع بتن الیافی نوع پیشرفته این تکنولوژی است که الیاف طبیعی و مصنوعی جدید، جانشین کاه و سیمان جانشین گل به کار رفته در ترکیب کاهگل شده اند. به طور مثال در ساخت کف سالن های صنعتی، می توان از این نوع بتن به جای بتن آرماتوری متداول سود جست این نوع بتن از بهترین مصالح مورد استفاده در ساخت بناهای مقاوم به ضربه، همچون سازه پناهگاه ها و انبارهای نگهداری مواد منفجره به شمار می رود و بنای شکل گرفته از بتن، قابلیت فوق العاده ای در جذب انرژی ضربه دارد.

نقش الیاف در بتن

مزایا و نقش مهم الیاف در بتن الیافی باعث شده که مورد علاقه اکثر مهندسين و طراحان قرار بگیرد. امکان بکارگیری در اکثر مناطق جغرافیایی، استفاده از متریال طبیعی و ارزان، دارای هزینه کم در مقایسه با حجم زیاد عملیات و شکل پذیری آن با توجه به اشکال هندسی طرح و کارایی مناسب و مقاومت بسیار بالا و مقاوم در برابر نیروهای فشاری و کششی و قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک خوردن، از ویژگی های بارز این نوع بتن است.

طبقه بندی کاربردی بتن الیافی

- با الیاف کم جهت کاهش میزان جمع شدگی در بتن ($< 1\%$ حجم الیاف)
- با الیاف متوسط یا بتن الیافی معمولی جهت اصلاح خواص سازه ای نظیر برش، عرض ترک و رفتار خمشی (بیشتر در کف صنعتی به کار می روند)

این نوع از بتن ها خود به چندین دسته تقسیم می شوند.

- بر پایه مصالح شیمیایی
- بتن های حریره الیافی
- مواد مرکب مهندسی بر پایه مصالح سیمانی (بتن های الیافی شکل پذیر)

مزایا

مزایای این نوع بتن در مقایسه با بتن معمولی را می توان بطور خلاصه به شرح ذیل بیان داشت.

- مقاومت زیاد در مقابل تنش های خستگی

- مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه
- قابلیت کششی خوب (ظرفیت زیاد کرنش)
- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی
- مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد طاقت خیلی زیاد
- این مصالح بر خلاف بتن معمولی قادر به تحمل تنش‌ها و کرنش‌ها کششی قابل ملاحظه در بارهای کششی است و می‌توان از آن در طراحی استفاده کرد. در این مواد، ترک خوردگی از حالت ترک‌های متمرکز خارج شده و بصورت ترک‌های متعدد ظاهر شده است. این رفتار در افزایش شکل پذیری اعضا و مهمتر از آن در پایانی سازه‌های بتنی تأثیرات چشمگیری دارد.
- با اتکا بر ظرفیت کرنش پذیری این مصالح در فشار می‌توان از میزان آرماتورهای محصور کننده در نواحی فشاری کاست.
- مقاومت برشی در این بتن‌ها و رفتار آنها به گونه‌ای است که می‌توان آرماتورهای برشی را حذف نمود.
- از دیگر مزایای استفاده این مواد شکل پذیری در اعضای لرزه بر، افزایش میزان تغییر شکل‌های غیر الاستیک، عدم افت مقاومت و حفظ یکپارچگی در این تغییر شکل‌ها است که منجر به دست یابی به رفتار آسیب مدار می‌شود.

عوامل‌های کیفیت

به طور کلی کیفیت بتن الیافی می‌تواند به عامل‌های عمده زیر بستگی داشته باشد.

- نسبت‌های مخلوط بتن
- مشخصات هندسی الیاف فولادی
- نسبت طول به قطر الیاف
- مهار مکانیکی و زبری سطح الیاف
- مشخصات فیزیکی و جنس الیاف فولادی

الیاف شیشه

اضافه کردن الیاف شیشه به بتن به شدت بر کاهش کارایی بتن تازه تأثیر می‌گذارد. بنابراین باید از روانسازهای مناسب استفاده کرد و شیوه مناسب اختلاط را نیز تجربه کرد. همچنین الیاف شیشه‌ای به شدت تمایل دارند که در بتن تازه به یکدیگر چسبیده و گلوله شوند که به این پدیده گلوله شدن الیاف می‌گویند. واضح است که در صورت وقوع این پدیده، توزیع الیاف دیگر یکنداخت نبوده و بنابراین برای برطرف کردن آن باید چاره اندیشی کرد.

الیاف فولادی

الیاف فولادی به منظور بهبود بخشیدن به خواص بتن، کاربرد وسیعی را در سازه‌های بتنی و بتن مسلح پیدا کرده است. یکی از مهمترین نقش‌های الیاف فولادی در بتن افزایش مقاومت کششی بتن بوسیله کاهش ریزترک‌های حاصله از بارگذاری خارجی است.

الیاف پلی پروپیلن

کاربرد الیاف پلی پروپیلن از ترک خوردگی و جمع شدگی بتن بخصوص در سنین اولیه آن جلوگیری می‌کند. تولید بتنی شکل پذیر با الیاف پلی پروپیلن در بتن الیافی دارای شکل پذیری بسیار زیادی است و هرگز خرد نمی‌شود. الیاف پلی پروپیلن آب گریز است و درصد جذب آب آن صفر است. بنابراین هرگز نباید از افزودن آب اضافی جهت افزایش روانی بتن استفاده کرد.

الیاف آرامید (کولار)

پلیمرهای آرامید دارای خصوصیتی چون نقطه ذوب بالا و پایداری حرارتی عالی و مقاومت در برابر شعله و غیر قابل حل بودن در بسیاری از حلال‌های آلی شناخته شده‌اند. دانسیسته آن بین ۱۲-۶/۱۴ کیلو نیوتن بر متر مکعب است. دارای خواصی چون مقاوت در برابر ضربه عدم حساسیت به شکاف خواص الکتریک- خود خاموش کنی از خصوصیات آن ماست. الیاف آرامید در شکل‌های مختلف وجود دارند و همانند الیاف شیشه و کربن می‌توانند در ساخت کامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

الیاف کربن

دانسیسته آن ۷/۲۲ کیلو نیوتن بر متر مکعب بوده و شکل آن بلوری و ضخامت آن نازکتر از موی انسان و دارای قطر ۶-۱۰ میکرو متر است. مزایایی اصلی آن، استحکام بالای خستگی، مقاوت در برابر خوردگی و ضریب انبساط حرارتی پایین است. معایب الیاف کربن قیمت بالا، کرنش در شکست، هادی الکتریکی است.

موارد کاربرد بتن الیافی

- تسطیح اضافی، جهت افزایش مقاوت بتن مسلح به منظور کاهش ترک خوردگی و افزایش قدرت جذب انرژی تحت اثر بارهای ضربه‌ای، موج‌های انفجاری، وضعیت‌های پیچیده تنش
- جانشین شدن به جای بتن آرمه معمولی به منظور کاهش هزینه دستمزد قطعات پیش ساخته بتنی، تثبیت و پایداری شیب‌های سنگی و دیوارهای ریزشی، خاکبرداری‌ها در مناطق مهم، تسطیح منحصر به فرد و خاصیت یکنواخت و ایزوتوپ در نتیجه توزیع همگن الیاف در جسم بتن.

محدودیت‌های کاربرد

از آنجا که نحوه قرار گرفتن الیاف داخل بتن، کاملاً تصادفی است، از این بتن معمولاً نمی‌توان به نحو مطلوبی در ساخت تیرها و ستون‌ها بهره گرفت و در این نوع سازه‌ها استفاده از روش سنتی و شبکه بندی فولادی به صرفه‌تر و مناسب‌تر است. استفاده از بتن الیافی در همه موارد از بتن سنتی به صرفه تر نیست. اما بر اساس برآوردهایی که توسط بعضی از متخصصین کشور انجام گرفته، در جاهایی که سرعت اجرای بالا مدنظر است یا نیاز به پاشش بتن (شاتکریت) روی سطوح ویژه‌ای است، استفاده از این نوع بتن توصیه میشود.

استفاده و کاربرد بتن الیافی در ایران

استفاده از بتن الیافی می‌تواند تحول چشمگیری در کم و کیف سازه‌های در دست اجرا یا طرح‌های آینده کشور داشته باشد. با اتکا بر ظرفیت کرنش پذیری بتن الیافی در فشار می‌توان از میزان آرماتورهای محصور کننده در نواحی فشار کاست. مقاوت فشاری در بتن‌های الیافی به گونه‌ای است که می‌توان آرماتورهای برشی را حذف کرد. مصالح بتن الیافی بر خلاف بتن معمولی قادر به تحمل تنش‌های کششی قابل ملاحظه‌ای در بارهای کششی است. مقاوت کششی بتن در صورت استفاده از الیاف بعد از ترک خوردن افزایش می‌یابد اما این افزایش نمی‌تواند با افزایشی که آرماتوربندی معمولی ایجاد می‌کند. در پایان امید است متخصصان امر در جاهایی که استفاده از این بتن از لحاظ فنی اجرایی منطقی به نظر می‌رسد از این روش جدید پیروی نمایند زیرا هم به نحو چشمگیری باعث تقلیل هزینه‌های اجرایی شده و هم در زمان کوتاه‌تری سازه‌ها به بهره‌برداری خواهند رسید.

خواص بتن الیافی

مقاومت استاتیکی

الیاف فولادی، مقاوت خمشی نخستین ترک بتون الیافی را تا چندین برابر مقاوت نخستین ترک بتون معمولی افزایش می‌دهد. اضافه کردن الیاف به بتن علاوه بر اینکه از نظر افزایش مقاوت‌های استاتیکی بتن مؤثر است، در ایزوتروپی و همگنی جسم بتن نیز تأثیر بسزائی دارد. تأثیر الیاف فولادی در مقاوت استاتیکی بتن شامل مقاوت خمشی، فشاری، برشی و شکافتگی است.

مقاومت خمشی

خاصیت مهم بتن الیافی مقاومت خمشی زیاد و مقاومت در مقابل ترک خوردگی است که این خاصیت راه حل مناسبی برای کاهش خاصیت تردی و شکنندگی بتن خالص است.

مقاومت برشی

الیاف فولادی می‌تواند جایگزین خاموت‌ها در تیرهای بتنی شود، بدون اینکه در ظرفیت نهائی برشی، کاهش به وجود آید. الیاف فولادی علاوه بر اینکه مقاومت برشی بتن را افزایش می‌دهد، تیرهای بتن آرمه را در مقابل گسیختگی ناگهانی در ناحیه کششی تقویت می‌کند. این مزیت عمده الیاف فولادی در افزایش مقاومت برشی بتن است که باعث می‌شود از کاربرد خاموت به عنوان آرماتور برشی صرف نظر شود.

مقاومت پیچشی

مقاومت پیچشی بتن الیافی را $\frac{5}{1}$ تا ۲ برابر بتن خالص است.

مقاومت ترک خوردگی

الیاف نه تنها بر روی مقاومت بتن خالص تأثیر بسیار مثبتی دارد بلکه به عنوان یک عامل باز دارنده ترک نیز عمل می‌کند. بدین معنی که با شروع ترک خوردگی، الیاف نقش خود را در دوختن ترک و محدود کردن اندازه ترک بازی کرده و از ادامه ترک خوردگی حتی با ادامه بارگذاری جلوگیری بعمل می‌آورد.

پوسیدگی و زنگ زدگی الیاف فولادی

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که اثر خوردگی و پوسیدگی آب شور روی ملات سیمانی (سیمان پرتلند) مسلح به ۲ درصد حجمی الیاف فولادی ناچیز بوده، به طوریکه بعد از ۹۲ روز قرار گرفتن در داخل و خارج آب نمک اشباع شده، هیچ تغییری در مقاومت خمشی بتن الیافی مشاهده نشد.

قابلیت هدایت حرارتی

الیاف فولادی ضریب هدایت حرارتی بتن را ۲۰ تا ۲ درصد افزایش می‌دهند. همچنین این الیاف باعث افزایش مقاومت بتن در تغییرات ناگهانی و زیاد درجه حرارت می‌شود.

رفتار بتن الیافی در برابر نیروها

اگر بتن از جمع شدن باز داشته شود، تنش‌های کششی ایجاد شده در آن باعث ترک خوردگی مقطع می‌شوند. در بتن استاندارد با نسبت آب به سیمان بالاتر از ۴۰ درصد جمع شدگی ناشی از خشک شدن به عنوان مهمترین دلیل ایجاد ترک در سنین اولیه توصیف شده است. در بتن خود متراکم در سنین اولیه به دلیل چسبندگی بالای مواد ریز موجود، جمع شدگی و خزش بیشتری نسبت به بتن استاندارد مشاهده می‌شود ولی در مرحله سخت شدن تاخیری در شروع جمع شدگی بتن خود تراکم به وجود می‌آید که به دلیل پایین بودن سرعت تبخیر از سطح خارجی اعضاء بتنی است. جمع شدگی ناشی از خشک شدن از همان ابتدا یعنی زمان‌های اولیه بتن ریزی و حتی قبل از افزایش ظرفیت مکانیکی بتن آغاز می‌شود که بستگی به خواص بتن (طرح اختلاط، طریقه‌ی بتن ریزی و روش‌های عمل آوری، شکل و چگونگی اعضاء بتنی و شرایط محیطی (دما، رطوبت مربوطه، سرعت باد) دارد. چون جمع شدگی به دلیل کمبود آب درون بتن به سطح اعضاء تحمیل می‌شود، کرنش در این قسمت از اعضاء ایجاد شده و ترک‌هایی با منشاء خشک کردن انقباض از نواحی سطحی که در تماس با محیط هستند آغاز می‌شود، در نتیجه اعضاء با سطح خارجی بالا(مانند دال‌ها و پانل‌های پیش ساخته) در تماس با یک محیط مهاجم بیشترین آسیب را در اثر به وجود آمدن ترک‌ها می‌بینند و این امر با عبور هوا از روی نمونه‌های تازه تشدید می‌یابد اما از نتایج آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که با استفاده از مقادیر مناسب الیاف جمع شدگی و به تبع آن ترک‌ها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابند.

بتن بدون الیاف بتن با الیاف

در صورتی که با توزیع اتفاقی الیاف در فواصل بسیار کوچکتر از فاصله بین آرماتورها اندازه ترک‌ها کوچکتر شده و باعث کاهش نفوذپذیری و پایداری بتن در محیط‌های مهاجم می‌شود. در حالت کلی توزیع اتفاقی الیاف در فواصل بسیار کوچکتر از فاصله بین

آرماتورها باعث پخش و کوچکتر شدن ترک‌ها شده و پس از ترک خوردن، مقاومت کششی و خمشی به دلیل خاصیت دوزندگی الیاف بالا رفته و یکپارچگی بتن تا تغییر شکل‌های زیاد حفظ می‌شود.

نوآوری‌ها در بتن الیافی

بتن و فولاد دو نوع مصالحی هستند که امروزه بیشتر از سایر مصالح در ساختمان انواع بناها از قبیل ساختمان ، پل‌ها، ساختمان سدها، ساختمان متروها، ساختمان فرودگاه‌ها و ساختمان بناهای مسکونی و اداری و غیره به کار برده می‌شود. شاید به جرات می‌توان گفت که بدون این دو پیشرفت جوامع بشری به شکل کنونی میسر نیست.

روسازی بتن الیافی

یکی از مصالحی که می‌تواند جایگزین میلگرد حرارتی در بتن‌های مسلح شود الیاف است. مسلح کردن بتن با الیاف به جای میلگرد حرارتی سبب کاهش وزن بتن شده و آسیب‌های ناشی از خوردگی و فرسایش فولاد را به طور کامل حذف می‌نماید. امروزه کاربرد بتن الیافی به دلیلی مزایایی آن نسبت به بتن نرمال گسترش فراوانی یافته است. از جمله مزایا می‌توان میزان جذب انرژی بالا، بهبود رفتار بتن در ناحیه بعد از اولین ترک و جلوگیری از پیدایش و گسترش ترک‌های ناشی از جمع شدگی را نام برد. از طرفی مسلح سازی سازه‌های بتنی با الیاف یکی از روش‌های اصلاح خواص مکانیکی و بهبود عملکرد خمشی و کششی بوده که به واسطه آن مخلوط‌های شکننده تا حدی رفتار الاستیک از خود نشان می‌دهند.

پارکینگ‌های از جمله کاربری‌هایی هستند که امروزه و با توجه به افزایش سرانه مالکیت خودرو نیاز به آن‌ها بیش از بیش احساس می‌شود. شرایط به گونه‌ای است که پارکینگ‌های عمومی در کمتر از ساعتی از شبانه روز بدون استفاده می‌مانند. بنابراین روسازی این سطوح باید به نحوی باشد که دور عمر بهره برداری طولانی مدت با حداقل بهسازی در دوره خدمت‌دهی داشته باشد. دو نوع روسازی متداول که در این سطوح به کار می‌رود شامل روسازی‌های آسفالتی و بتنی می‌شوند. نشت احتمالی سوخت و روغن از خودروهای متوقف در پارکینگ باعث از بین رفتن روسازی‌های آسفالتی و در پی آن هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری و عدم امکان بهره‌برداری در طول مدت بهسازی را به دنبال دارد.

بنابراین گرایش به استفاده از سطوح بتنی در این چنین مکان‌هایی در حال افزایش است. اصول روسازی بتنی پارکینگ تا حد زیادی مشابه طراحی معابر شریانی و سطوح فرودگاهی است و فلسفه آن پخش بار در سطوح بسیار بزرگتر نسبت به روسازی‌های آسفالتی است. در چنین سطوحی از روسازی بتنی غیر مسلح استفاده می‌شود.

جایگزینی الیاف با آرماتورهای حرارتی مزایایی فنی و اقتصادی زیادی دارد و موجب افزایش سرعت اجرا، کاهش هزینه‌های اجرا و دستمزد، کاهش عرض ترک‌های ناشی از جمع شدگی و کنترل عرض ترک‌های انقباضی و انبساطی افزایش مقاومت روسازی در برابر ضربه، خستگی و کاهش اثرات نخرع عوامل جوی خواهد شد. بتن معمولی که در روسازی‌ها به کار می‌رود یک ماده ترد و شکننده است در حالی که روسازی بتن الیافی به لحاظ مقاومت زیاده‌تر و خاصیت کاهش جلوگیری از احتمال بروز ترک، نسبت به بتن معمولی برتری دارد.

قابلیت انعطاف پذیری بتن الیافی همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می‌شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که فولادی در جسم بتن به طور سخته بعدی و به بیانی بهتر چند بعدی پراکنده می‌شوند. در صورت تشکیل ترک الیاف در جهات مختلف اتصالاتی را به وجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می‌نماید. بنابراین رشته‌های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترک‌ها وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترک‌های زیاد همکاری می‌نماید.

توجیه اقتصادی بتن الیافی

استفاده از بتن الیافی در همه موارد از بتن سنتی به صرفه‌تر نیست. اما بر اساس برآوردهایی که توسط بعضی از متخصصین کشور انجام گرفته است در جاهایی که سرعت اجرای بالا مد نظر است یا نیاز به پاشش بتن (شات کریت) روی سطوحی ویژه‌ای است، استفاده از این نوع بتن توصیه می‌شود. بتن الیافی خواص مناسبی همچون شکل پذیری بالا، مقاومت فوق العاده، قابلیت جذب

انرژی و پایداری در برابر ترک خوردن را دارا است. که متناسب با آنها می توان موارد کاربرد فراوانی برای آن یافت. به طور مثال در ساخت کف سالن های صنعتی، میتوان از این نوع بتن به جای بتن آرماتوری متداول سود برد.

این نوع بتن از بهترین مصالح ساختمانی مورد استفاده در ساخت بناهای مقاوم به ضربه، همچون سازه پناهگاه ها و انبارهای مواد منفجره به شمار می رود. و بنای شکل گرفته از بن قابلیت فوق العاده ای در جذب انرژی دارد. به کار گیری این بتن در بنای سک سازه علاوه بر موارد یاد شده از مزایایی همچون عایق بودن سازه در برابر صدا و سرعت بالای اجرا نیز برخوردار است. نخست آنکه هزینه استفاده از یک تکنولوژی کاملاً وابسته به سطحی از آن تکنولوژی است که نسبت به کسب و انتقال آن اقدام می شود.

مواد تشکیل دهنده بتن

سنگدانه ها در بتن تقریباً سه چهارم آن را تشکیل می دهند و ملات سیمان و آب یک چهارم سیمان: سیمان پرتلند از مخلوط و آسیاب کردن سنگ آهک و خاک رس به نسبت ۳ به ۱ و پختن گرد همگن و یکنواخت زیر دمای ۱۰۰۰ درجه، تا CO₂ از سنگ آهک و آب شیمیایی از خاک رس جدا شوند. در گرمای بالای ۱۲۰۰ درجه رویه دانه های گرد داغ شده و ضمن عرق گردن به هم می چسبند و به صورت کلوخ های کینگر در می آیند. آب: (water) کیفیت آب در بتن از آن جهت حائز اهمیت است که ناخالصی های موجود در آن ممکن است در گیرش سیمان اثر گذاشته و سبب بروز لکه هایی در سطح بتن و حتی زنگ زدن آرماتور بشود. در اکثر اختلاط ها آب مناسب برای بتن آبی است که برای نوشیدن مناسب باشد.

افزودنی ها فایبر (admixtures)

ماده افزودنی بتن فایبر یا مکمل بتن (concrete additive) یا (admixtures) ماده ای است به غیر از سیمان پرتلند، سنگدانه و آب که به صورت گرد یا مایع به عنوان یکی از مواد تشکیل دهنده بتن و برای اصلاح خواص بتن کمی قبل از اختلاط یا در حین اختلاط به آن افزوده می شود.

انواع معمول مواد افزودنی بتن در جزوه آشنای با انواع بتن به شرح زیر است:

شتاب دهنده سرعت هیدراتاسیون بتن (سخت شده) کاهش دهنده سرعت گیرش بتن. افزودنی های حباب زا باعث ایجاد حبابهای با هندسه کروی و بسیار ریز درون بتن می شوند. زوان ساز بتن که به منظور کاهش دهنده مقدار آب بتن استفاده می گردد. مواد افزودنی که شامل رنگدانه ها که می تواند برای تغییر رنگ بتن و زیبایی استفاده گردد. زد یخ بتن، چسب بتن، سفت کننده بتن

بتن مگر در جزوه آشنایی با انواع بتن

بتن مگر یا بتن نظافت یا همان بتن رگلاژ کف قالب بندی فونداسیون در واقع یک بتن یا عیار سیمان کم (بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلو گرم سیمان بر متر مکعب) است که به منظور آماده سازی بستر خاکبرداری شده است آرماتوربندی و صفحه گذاری اجر می گردد. موارد مورد استفاده بتن مگر به شرح زیر می باشد:

- جلوگیری از نفوذ سیمان به خاک
- جلوگیری از جذب آب بتن توسط خاک
- آماده سازی بستر خاک برای پی ریزی
- صاف تراز و همگن کردن فونداسیون اگر خاک برداری بیش از حد لازم انجام شود برای تراز کردن کف و پی و پر کردن فضای خالی از بتن مگر استفاده می شود.

بتن مسلح به الیاف فولادی

به طور کلی وجود الیاف فولادی در خم بتن باعث افزایش مقاومت می شود. انواع بتن مسلح به الیاف فولادی در جزوه آشنایی با انواع بتن به شرح زیر بیان شده است:

مقاومت خمشی: خاصیت مهم آن مقاومت خمشی زیاد و مقاومت در مقابل ترک خوردگی است که این خاصیت راه حل مناسبی برای کاهش خاصیت تردی و شکنندگی بتن خالص است.

مقاومت برشی: الیاف فولادی علاوه بر اینکه مقاومت برش بتن را افزایش می دهد. تیرهای بتن آرنه را در مقابل گسیختگی ناگهانی در ناحیه کششی تقویت می کند.

مقاومت پیچشی: در رابطه با مقاومت پیچشی آن تحقیقات خاصی صورت نگرفته است. در یک مورد خاص بررسی هایی که توسط شرکت Bekaert در بلژیک انجام یافته، مقاوما پیچشی آن را ۱۵ تا ۲ برابر بتن خالص ذکر کرده است.

بتن پلیمری Polymer Concrete

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکتری عمران سازه eiman.elyasian@gmail.com

بتن پلیمری (PC) یا بتن رزینی شامل یک چسباننده ی پلیمری که ممکن است ترمو - پلاستیکها باشند اما غالباً بیشتر یک پولیمر ترموست می باشد و یک پرکننده ی معدنی مانند شن و ماسه ، شن ، و یا سنگ گسسته است PC ها مقاومت بالاتر ، مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی و خورنده ها ، جذب آب کمتر و پایداری بالاتر در مقابل پدیده یخ زدگی - ذوب نسبت به بتن سیمان پرتلند رایج دارند توسعه در مهندسی عمران و صنایع در حال رشد ، معلول نیازهای پی در پی برای ساخت مصالح با تناسبات اجرایی جدید و بهینه می باشد . بتن پلیمری ترکیب جدیدی است که از سال 1950 برای اولین بار در ایالت متحده ساخته شده است . یکی از مهمترین علل توسعه بتن پلیمری را می توان در ضعف بتن های پرتلند معمولی جستجو کرد . مهمترین نقاط ضعف بتن های پرتلند را می توان به موارد زیر دسته بندی نمود . 1- ترک خوردگی 2-قلیائیت 3- نفوذ پذیری (نمک های محلول ، آب و 4-...) خوردگی فولاد در بتن 5-مقاومت پایین در مقابل سیکل های گرم شدن و سرد شدن 6- مقاومت پایین کششی البته روشهای بسیار زیادی برای اصلاح این نقاط ضعف وجود دارد مانند استفاده از روکشها موارد 3 و 5 و حفاظت کاتدی مورد 4 و غیره که هر کدام از این روشها می تواند فقط یکی از این نقاط را برطرف نماید . در بعضی از نقاط که بتن مورد هجوم اکثر موارد فوق قرار می گیرد مثل پایه های پل موجب به بار آمدن خسارات بسیار زیادی می شود که هیچکدام از روشهای موجود نمی تواند در دراز مدت مدت طرح، روش خوبی تلقی شوند. بتن های پلیمری علاوه بر بهبود خواص مکانیکی بتن به مقدار بسیار زیادی باعث افزایش مقاومت سایشی، استحکام در برابر محلول های اسیدی، بازی و شیمیایی و همچنین پایداری در مقابل سیکل های یخ زدن و ذوب شدن می شود، این بتن ها باعث کاهش قابل توجه مصالح نیز می شوند . یکی از مهمترین دلایلی که باعث بهبود زیاد اکثر خواص مکانیکی بتن پلیمری نسبت به بتن معمولی می شود، را می توان در مکانیزم شکست این نوع بتن ها جستجو کرد و آن این است که در بتن معمولی شکست ماتریس بتنی به علت از بین رفتن پیوندهای سیمان هیدراته می باشد . اما در این نوع بتن ها به علت پیوندهای کوالانسی بسیار قوی تقریباً در اکثر مواقع این شکست در سنگدانه ها رخ می دهد . به همین دلیل در بتن های پلیمری از سنگدانه های پر مقاومت کوارتز و بازالت و گرانیث استفاده می گردد. از دیگر جنبه های مهم و قابل بررسی بتن پلیمری خزش و دمای سرویس دهی آن می باشد که شناخت و درک واقعی رفتاری و همچنین بهینه سازی این نوع بتن را لازم می نماید. بتن پلیمری ترکیبی از مصالح است که در آن سنگدانه ها در یک محیط متراکم، به کمک یک چسب پلیمری به یکدیگر چسبانده شده اند . بتن های پلیمری فاقد سیمان هیدراته شده هستند هر چند که میتوان از سیمان پرتلند به عنوان سنگدانه یا پرکننده در ساخت آنها استفاده کرد . خواص بتن پلیمری عمدتاً به خواص و مقدار پلیمر به کار رفته بستگی دارد، سنگدانه ها و مصالح پرکننده نیز تا حدودی روی خواص بتن های پلیمری تاثیر می گذارند.

1-پلیمرها:

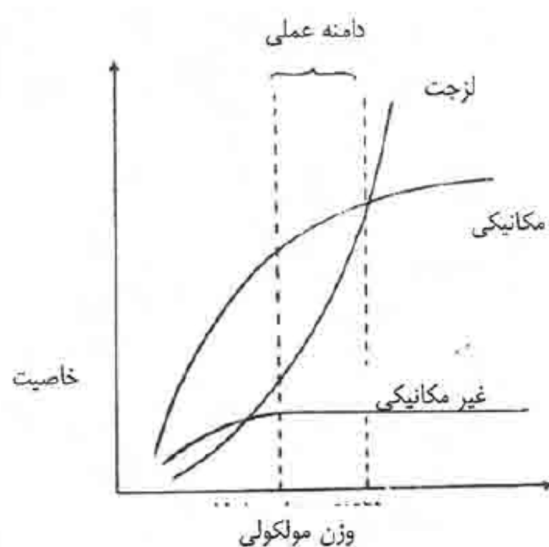
پلیمر مولکول بسیار بزرگی است که از به هم پیوستن بسیاری از مولکول های کوچک، که مونومر یا تکپاره نامیده می شوند، پدید می آید. با تغییر اندازه مولکول، ویژگی های آن نیز تغییر می کند. با تغییر طول زنجیر مولکولی، خواص مواد حاصل تغییر می کند. با افزایش اندازه مولکول و افزایش جرم مولکولی، ترکیبات از حالت گازی به سمت حالت جامد سخت و محکم حرکت می کنند.

1-1- ساختار پلیمر:

از نظر ساختاری، پلیمرها را می توان به دو دسته کلی گرما نرم و گرما سخت تقسیم کرد. تمایز بنیادی این دو دسته، در رابطه بین مولکولی آنها نهفته است. نیروی پیوند دهنده بین زنجیرهای پلیمری در پلیمرهای گرما نرم از نوع نیروهای جاذبه ثانویه بین مولکولی (مانند پیوندهای واندروالس) می باشد. این دسته پلیمرها معمولاً در یک حلال مناسب حل میشوند و مولکول های حلال سبب جدایی زنجیرهای پلیمری و تشکیل محلول میشوند. از دست دادن حلال موجب بازگشت این دسته پلیمرها به حالت نخستین میشود. در پلیمرهای گرما سخت، زنجیرهای پلیمری با یکدیگر واکنش شیمیایی نشان میدهند و بین آنها پیوندهای شیمیایی اولیه به نام پیوندهای عرضی پدید می آید به گونه ای که ساختار کلی پلیمر به صورت شبکه های سه بعدی و فضایی می باشد. نیروی پیوندی در پیوندهای عرضی مشابه نیروی پیوندی بین مونومرها در زنجیره پلیمری است و لذا این دسته از پلیمرها را پس از ایجاد پیوندهای عرضی، میتوان مانند یک مولکول غول پیکر سه بعدی در نظر گرفت. این دسته پلیمرها از پایداری خوب در برابر حلال ها برخوردارند. وجود پیوندهای عرضی موجب محدود شدن حرکت زنجیرهای پلیمری نسبت به یکدیگر میشود و این دسته پلیمرها به میزان قابل توجهی حالت جامد بودن خود را حفظ می کنند.

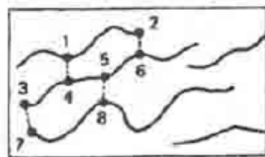
1-2- خواص پلیمرها:

خواص پلیمرها به جرم مولکولی و ساختار شیمیایی آنها بستگی دارد. وابستگی خواص پلیمر به جرم مولکولی آن برای یک پلیمر فرضی در شکل (1) نشان داده شده است.

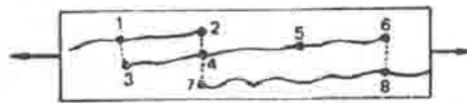


شکل (1) وابستگی خواص پلیمر به جرم مولکولی برای یک پلیمر فرضی

وجود پیوندهای عرضی در بین زنجیرهای پلیمری موجب بهبود خواص مکانیکی پلیمر می شود. در پلیمرهای گرما نرم که فاقد پیوندهای عرضی می باشند، زنجیرهای پلیمری در اثر نیرو و یا حرارت به راحتی روی یکدیگر می لغزند و نیروهای جاذبه واندروالسی بین آنها از بین می رود. پس از انجام حرکت، نیروهای جاذبه بین مولکولی دوباره برقرار می شوند. بازگشت پلیمرهای گرما نرم به حالت نخستین شان به طور ضعیفی انجام می گیرد. این پدیده در شکل (2) نشان داده شده است



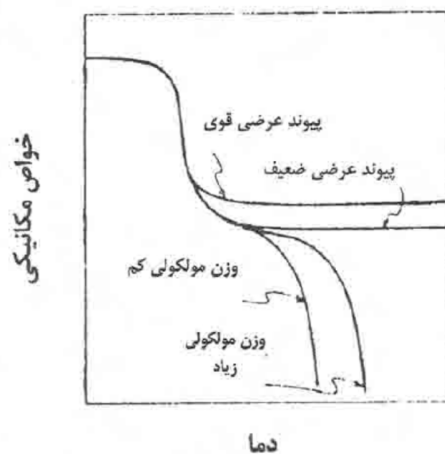
الف - پیش از کشش



ب- پس از کشش

شکل (2) اثر دما بر خواص مکانیکی پلیمرها

در پلیمرهای سرما سخت، وجود پیوندهای عرضی از حرکت نسبی زنجیرهای پلیمری تا حدود زیادی جلوگیری می کند و می توان چنین انگاشت که تغییر شکل این دسته از پلیمرها تحت اثر نیرو مانند تغییر شکل یک شبکه سه بعدی در اثر نیرو می باشد. در پلیمرهای گرما سخت، زنجیرهای پلیمری در اثر بار یا حرارت نسبت به یکدیگر اندکی جابه جایی پیدا میکنند ولی پیوندهای عرضی بین آنها گسیخته نمیشود (مگر در بار نهایی). (گرما موجب جابه جایی زنجیرها و یا بخشی از زنجیرها در پل یمرهای گرمانرم می شود و موجب می شود که این زنجیرها بر روی یکدیگر بلغزند و پلیمر حالت جامد خود را از دست بدهد. در پلیمرهای گرماسخت، وجود پیوندهای عرضی از حرکت بیش از اندازه زنجیرهای پلیمری جلوگیری به عمل می آورد. بنابراین می توان انتظار داشت که خواص مکانیکی پلیمرهای گرماسخت، در اثر گرما کاهش یابد. ولی از آنجا که پیوندهای عرضی گسسته نمی شوند، این پلیمرها خواص مکانیکی خود را کاملاً از دست نمی دهند. اثر دما بر روی خواص مکانیکی پلیمرها به طور نمادین در شکل (3) نشان داده شده است.



شکل (3) اثر دما بر خواص مکانیکی پلیمرها

موارد متشکله بتن پلیمری:

بتن پلیمری، همچنان که گفته شد از دو جزء اصلی (1) سنگدانه و (2) عامل چسباننده پلیمری تشکیل شده است.

1-3-سنگدانه:

سنگدانه مصرفی در بتن پلیمری باید دارای کیفیت بسیار بالایی باشد. سنگدانه هایی از جنس سیلیس، کوارتز، گرانیت، سنگ آهک با کیفیت و دیگر سنگدانه های دارای کیفیت خوب، برای کاربرد در بتن پلیمری مناسب هستند. سنگدانه های مصرفی باید خشک یا دارای رطوبت بسیار کمی باشند، ولی در حالت، سطح آنها باید کاملاً خشک باشد مگر آنکه چسباننده پلیمری مورد استفاده، قابلیت چسبندگی با سطوح مرطوب داشته باشد. وجود رطوبت، گرد و خاک، یا هر آلودگی دیگر بر سطح سنگدانه موجب

کاهش چسبندگی سنگدانه و چسباننده پلیمری می شود. بزرگترین اندازه سنگدانه مصرفی، مشابه بتن سیمان پرتلندی به ابعاد عضو، فشرده گی آرماتوربندی و به ضخامت ناحیه تعمیری بستگی دارد. بزرگترین اندازه سنگدانه نیایستی از یک سوم عمق ناحیه تعمیری بزرگتر باشد. دانه بندی

سنگدانه باید به گونهای انتخاب شود که سنگدانه خشک کوبیده شده، کمترین فضای خالی ممکن را داشته باشد. این موضوع سبب کاهش مقدار چسباننده پلیمری مورد نیاز برای چسباندن تمام دانه های سنگی و صرفه جویی اقتصادی میشود.

2-3- چسباننده پلیمری:

با توجه به تعریف بتن پلیمری، هرگونه مواد چسباننده پلیمری را می توان به عنوان چسب پلیمری در بتن پلیمری به کار برد. ولی با توجه به خواص مورد انتظار از بتن پلیمری، معمولاً از پلیمرهای گرماسخت به عنوان چسباننده پلیمری استفاده میشود. برای ایجاد پیوندهای عرضی در این پلیمرها یا رزین ها از یک ماده آغازگر واکنش استفاده میکنند که در هنگام استفاده به رزین اضافه میشود. بتن پلیمری با استفاده از رزین - ساخته می (MMA) - ها و مونومرهای گوناگونی مانند اپوکسی، پلی استر، آکریلیک و متیل متاکریلیت شوند. این پلیمرها معمولاً از مقاومت خوبی در برابر آب و مواد شیمیایی برخوردارند، ولی مقاومت شیمیایی آنها با افزایش دما کاهش می یابد. ویژگی های مشخصه این پلیمرها در زیر مورد بررسی قرار گرفته اند.

2-3-1- اپوکسی:

اپوکسی ها معمولاً از یک رزین، یک سخت کننده، تاخیر اندازه های واکنش و در برخی موارد پرکننده های معدنی و مواد تیکسوتروپیک کننده تشکیل شدهاند. اپوکسیها متداول ترین چسبانندههای مورد استفاده در بتن پلیمری هستند. ویژگی های اپوکسی را می توان به شرح زیر دسته بندی کرد:

الف (اپوکسی ها به خاطر جمع شدگی نسبتاً کم در حین پخت و به خاطر خواص کشش سطحی و مولکولی که چسبندگی آنها را به زمینه های گوناگون افزایش می دهند، عموماً چسبندگی خیلی خوبی به اغلب مصالح دارند.

ب (اپوکسی ها از پایداری خیلی خوبی در برابر محیط قلبایی بتن برخوردارند.

پ (اپوکسی ها را می توان به گونه ای فرموله کرد که در دمای - 18 درجه سانتیگراد پخت شوند یا دارای زمان کارکرد و اجرا کافی برای استفاده در دمای 38 درجه سانتیگراد باشند. ت (برخی از اپوکسی ها به سطوح خیس و مرطوب می چسبند و حتی برخی از آنها در زیر آب عمل می آیند. ث (اپوکسی ها در محدوده ی وسیعی از دماهای بهره برداری دارای مقاومت و مدول مناسبی هستند. ج (اپوکسی ها از مقاومت شیمیایی بسیار خوبی برخوردارند.

2-3-2- پلی استر:

ویژگی های پلی استر به شرح زیر است:

الف (جمع شدگی در حین عمل آمدن پلی استرها نسبتاً زیاد است.

ب (پلی استرها چسبندگی خوبی به سطوح مرطوب و خیس ندارند. البته تحقیقات اخیر نشان داده اند وینیل استر، که نوعی پلی استر است را می توان برای سطوح مرطوب به کار برد.

پ (برخی از پلی استرها مقاومت ضعیفی در برابر قلبایی ها و حلال ها دارند.

پلی استرها عموماً در دمای حدود 38 درجه سانتیگراد قابل اشتعال هستند. آغازگر) سخت کننده (مورد استفاده برای پلی استرها در دماهای بالاتر از 32 درجه سانتیگراد به سرعت تجزیه می شوند و ممکن است باعث آتش سوزی یا انفجار شوند. به همین علت نباید جزء سخت کننده پلی استرها را برای مدت طولانی در انبار نگهداری کرد. به عبارت دیگر، پلی استرها از زمان قابل نگهداری کمتری نسبت به اپوکسی هابرخودارند.

2-3-3- آکریلیک ها

خواص آکریلیک ها) متیل متاکریلیت ها (خیلی شبیه به خواص پلی استرها است.

1- مقایسه ی ویژگی های بتن پلیمری با بتن سیمان پرتلندی:

همانگونه که قبلاً نیز گفته شد، خواص بتن پلیمری تا حد بسیار زیادی به خواص و مقدار پلیمر به کار رفته در آن بستگی دارد. بتن های پلیمری عموماً از مقاومت فشاری، خمشی، کششی و ضریب انبساط حرارتی بالاتری نسبت به بتن سیمان پرتلندی برخوردارند در حالیکه مدول ارتجاعی بتن های پلیمری کوچک تر از بتن سیمان پرتلندی است. در زیر به مقایسه و بررسی این خواص می پردازیم.

1-4-مقاومت مکانیکی:

بتن های پلیمری عموماً از مقاومت فشاری، خمشی، و کشش زیادتری نسبت به بتن سیمان پرتلندی برخوردارند. مقاومت چسبندگی بتن های پلیمری به سطوح بتن ی و فولادی نیز بیشتر از مقاومت چسبندگی بتن معمولی است. در بتن سیمان پرتلندی عامل چسباننده سنگدانه ها عبارت از خمیر سیمان و ذرات ریز سنگدانه است. این عامل چسباننده علاوه بر ناهمگنی و غیر ایزوترپ بودن از مقاومت کششی بسیار ضعیفی در مقایسه با مقاومت فشاری آن برخوردار است. به دلیل همین پایین بودن مقاومت کششی است که شکست بتن در اثر بار معمولاً با ایجاد و گسترش ترک (به دلیل ضعف مقاومت کششی) در این عامل چسباننده شروع می شود. از طرف دیگر، مقاومت بتن سیمان پرتلندی علاوه بر مقاومت عامل چسباننده ی سیمانی به ویژگی های محل اتصال خمیر و سنگدانه (ناحیه انتقال (نیز بستگی دارد. غیر از بتن های حاوی پوزولان، در بقیه بتن های معمولی عموماً ناحیه انتقال یک ناحیه ضعیف است که بر روی مد شکست و مقادیر قاومت بتن تاثیر دارد.

مقاومت های مکانیکی بتن های پلیمری به دلیل:

الف (همگن تر بودن و ایزوترپ بودن و نیز مقاومت کششی زیاد عامل چسباننده و...

ب (چسبندگی بسیار خوب پلیمرها به سنگدانه ها و حذف ناحیه انتقال

بیشتر از بتن سیمان پرتلندی است.

2-4-ازدیاد طول:

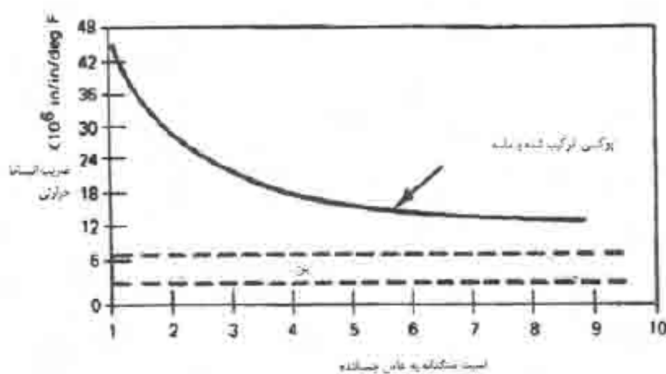
بتن یک ماده ترد و شکننده است که شکست آن آنی بوده و در لحظه شکست ازدیاد طولی پیدا نمی کند. بتن های پلیمری به دلیل امکان جابه جایی محدود زنجیره های پلیمری نسبت به یکدیگر (این حرکت توسط پیوندهای عرضی محدود می شود)، در اثر وارد شدن بار رفتاری نسبتاً شکل پذیر از خود نشان می دهند.

3-4-مدول ارتجاعی:

مدول ارتجاعی بتن پلیمری عموماً کمتر از بتن سیمان پرتلندی است. چون مدول ارتجاعی پلیمرها عموماً کمتر از سنگدانه است، لذا مدول ارتجاعی بتن پلیمری تا حدود بسیار زیادی تحت تاثیر مدول ارتجاعی پلیمر است ولی در بتن سیمان پرتلندی به علت کاهش اختلاف بین مدول ارتجاعی سنگدانه و عامل چسباننده (خمیر سیمان (و نیز وجود ناحیه انتقال، مدول ارتجاعی تحت تاثیر توام سنگدانه و خمیر سیمان می باشد.

4-4-ضریب انبساط حرارتی:

ضریب انبساط حرارتی بتن پلیمری تقریباً دو برابر ضریب انبساط حرارتی بتن سیمان پرتلندی است. ضریب انبساط حرارتی بتن پلیمری که تحت تاثیر توام ضرایب انبساط حرارتی پلیمر و سنگدانه است، با (افزایش نسبت سنگدانه به چسب پلیمری، کاهش می یابد) شکل 4



شکل (4): تاثیر تغییر نسبت سنگدانه به چسب بر ضریب انبساط حرارتی بتن پلیمری (پایه اپوکسی)

4-5- نفوذ پذیری: نفوذ پذیری بتن های پلیمری به علت ناتراوا بودن محیط چسباننده پلیمری و ساختار متراکم پلیمر، کمتر از بتن سیمان پرتلندی است.

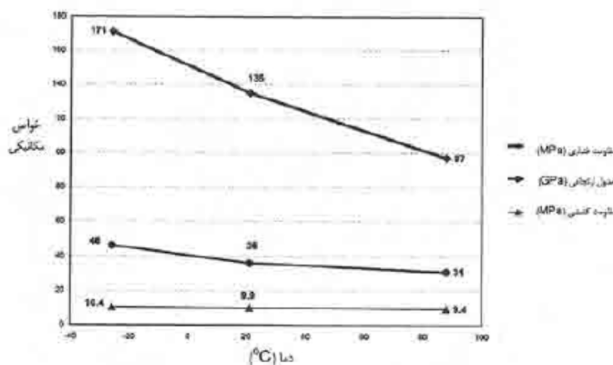
4-6- مقاومت شیمیایی:

مقاومت شیمیایی بتن های پلیمری به دلیل: الف) مقاومت شیمیایی بالای پلیمرها و ب) ساختار متراکم عامل چسباننده ی پلیمری و کاهش نفوذ پذیری، بیشتر از بتن سیمان پرتلندی است.

4-7- کسب مقاومت: روند کسب مقاومت و عمل آوری بتن های پلیمری بسیار بیشتر از بتن های سیمان پرتلندی است. این نوع بتن ها معمولاً در چند ساعت اول، مقاومت مکانیکی نهایی خود را به دست می آورند.

1- تاثیر دما بر خواص بتن پلیمری:

افزایش دما موجب کاهش خواص بتن پلیمری می شود. این موضوع از آنجا ناشی می شود که خواص پلیمرها تحت تاثیر دما قرار دارد) به شکل 3 مراجعه شود. (تاثیر دما روی خواص مکانیکی یک نوع بتن پلیمری در شکل 5 نشان داده شده است.



شکل (5) تاثیر دما بر خواص بتن پلیمری با پلیمر متیل متاکریلیت (MMA)

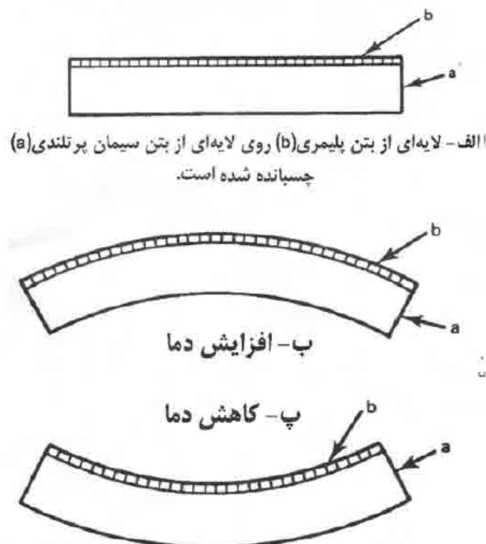
2- عملکرد سیستم مرکب بتن پلیمری و بتن سیمان پرتلندی:

به دلیل اختلاف بین ضریب انبساط حرارتی و مدول ارتجاعی بتن پلیمری و بتن سیمان پرتلندی، عملکرد سیستم مرکب این دو بتن باید با دقت بیشتری بررسی شود.

1-6- عملکرد حرارتی

مدل ساده نشان داده در شکل 6- الف را در نظر بگیرید که در آن لایه ای از بتن پلیمری قرار گرفته است. از آنجا که ضریب انبساط حرارتی بتن پلیمری بزرگتر از (a) روی بتن سیمان پرتلندی بتن سیمان پرتلندی است، افزایش دما موجب افزایش طول بیشتری در آن می شود) شکل 6- ب (و برعکس، کاهش دما کاهش طول بیشتری در آن پدید می آورد) شکل 6- پ. (این موضوع موجب، پدید آمدن تنش های برشی در فصل مشترک دو نوع بتن می شود و بسته نسبت به مقاومت بتن ها و شرایط دمایی هنگام اجرا می تواند منجر به جداشدگی فصل مشترک، خرابی بتن زیرین، و یا ترک خوردن بتن پلیمری شود. این موضوع، به ویژه در مناطقی که تحت تاثیر اختلاف دمای زیادی قرار دارند از اهمیت بالایی برخوردار است. در بازدیدی که توسط کارشناسان انجمن بتن از سر ریز سد شهید عباسپور) کارون 1 در زمستان 1380 به عمل آمد در ملات اپوکسی مورد استفاده برای تعمیر و لکه گیری سطح سر ریز ترکهای چند ضلعی مشاهده شد. در بررسی به عمل آمده، مشخص شد که این ترکها به دلیل اختلاف دمای هنگام اجرای تعمیرات و دمای زمان بهره برداری به وجود می آیند. به بیان دیگر، تعمیرات در فصل کم آب (تابستان (که سطح آب دریاچه سد پایین است انجام می گیرد که دمای هوا بیش از 40 درجه سانتیگراد است ولی در فصل زمستان، دمای محیط به کمتر از 10 درجه سانتیگراد می رسد. بنابراین، در هنگام اجرا دمای بتن زیرین و ملات اپوکسی بالا است ولی در فصل سرد، ملات

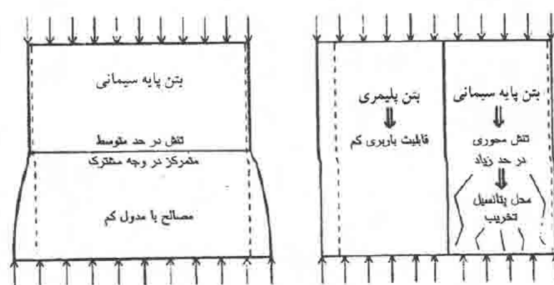
اپوکسی به دلیل ضریب انبساط حرارتی بالاتر، بیشتر از بتن زیرین منقبض می شود و در نتیجه ترک می خورد. راهکار اصلی برای چنین نواحی با اختلاف دمای بالا، اجرای بتن پلیمری در فصول سردتر و یا استفاده از ملات پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر است.



شکل (6): تاثیر افزایش و کاهش دما بر رفتار سیستم مرکب بتن پلیمری و بتن سیمان پرتلندی

2-6- عملکرد تحت بارگذاری:

تحت بار یکسان، ماده با مدول ارتجاعی کمتر (بتن پلیمری (نسبت به ماده با مدول بالاتر) بتن سیمان پرتلندی (، تغییر شکل بیشتری دارد. چنانچه دو ماده دارای مدول ارتجاعی متفاوت باشند، در زمانی که بار خارجی (فشاری یا کششی (به موازات سطح چسبندگی وارد شود بخش عمده بار توسط ماده با مدول بالاتر تحمل می شود و تنش بیشتری به آن وارد می شود. این موضوع بسته به مقاومت چسبندگی دو ماده یا مقاومت ماده با مدول بالاتر، می تواند به گسیختگی فصل مشترک یا شکست ماده سخت تر بیانجامد. در مواردیکه بار خارجی عمود بر فصل مشترک وارد شود، چنانچه بار فشاری باشد اختلاف سختی می تواند منجر به گسیختگی سطح مشترک شود. از طرف دیگر، ماده یا مدول ارتجاعی بالاتر برای انقباض جانبی ماده با مدول پایین تر، قید ایجاد می کند و در ماده با مدول کمتر و در نزدیکی فصل مشترک دو ماده تنش های بزرگی ایجاد می کند که می تواند منجر به گسیختگی فصل مشترک شود. تاثیر ناسازگاری مدول ارتجاعی برای دو حالت در شکل 7 نشان داده شده است.



شکل 7- تاثیر اختلاف مدول ارتجاعی بتن پلیمری و بتن پایه سیمانی

الف (بار خارجی موازی فصل مشترک ب (بار خارجی عمود بر فصل مشترک

-بتن پلیمری اصلاح شده

بتن های اصلاح شده پلیمری را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف (بتن های تزریقی ب (بتن پلیمر - سیمان) سیمان پلیمری)

الف (بتن پلیمر تزریقی):

به وسیله تزریق یک منومر با ویسکوزیته پایین) به فرم گازی یا مایع (در یک بتن سیمان پرتلند پیش ساخته ی سخت شده تولید می شود، که این منومرهای تزریق شده تحت تاثیر عوامل فیزیکی) تابش نور فرابنفش یا گرما (یا شیمیایی) کاتالیزورها (به پلیمر جامد تبدیل می شوند. بتن پلیمری تزریقی از بتن معمولی به صورت زیر تولید می شود: ابتدا هوا را از یک منافذ باز خارج می کنند) به وسیله خلاء مکش یا منومرهای جایگزین و فشار (سپس منافذ باز را به وسیله انتشار یک منومر با ویسکوزیته پایین یا یک ترکیبی از پلیمرهای منومری (1) اشباع میکنند و درج منومر یا ترکیبی از پری پلیمر، منومر، پلیمریزه X10-2P.AS 10 یا Cps ویسکوزیته میکنند که این عمل را با استفاده از روشهای اقتصادی و معمولی انجام می دهد) تابش، گرما، شیمیایی. (عارضه مهم این مواد این است که نسبت بزرگی از حجم حفرهها از پلیمرهایی پر شده اند که تشکیل یک شبکه پیوسته ی تقویتی دادهاند. این سازه بتنی ممکن است در لایههای) اعماق (گوناگون یا فقط در یک لایه ی سطحی تزریق بشوند که این بستگی به مقاومت یا دوامی که از سازه طلب می کنند، دارد. مهمترین عامل نامناسب برای استفاده از این فرآوردهها قیمت نسبتاً زیاد آنهاست به طوری که منومر استفاده شده در آنها گران قیمت می باشند و فرآیند تولید نیز پیچیده تر از بتن اصلاح نشده می باشد. نتیجه تزریق بتن بهبود قابل ملاحظه ای در مقاومت کششی، فشاری و ضربه ای، تقویت دوام و کاهش نفوذپذیری در مقابل آب و محلول های نمک آبی از قبیل سولفات ها و کلریدها ایجاد میکند. مقاومت فشاری 140 افزایش پیدا کند. جذب آهن هم کاهش می یابد. همچنین مقاومت در 35 Mpa میتواند تا 35 Mpa از مقابل پدیده ی یخ -ذوب) ذوب مجدد (به طور چشمگیری تقویت میشود. لازم به ذکر است که می توانیم با تزریق بخار در بتن) اتوکلاو شده (به مقاومت بیشتری هم برسیم. که این مواد یک نسبت مقاومت فشاری به چگالی، نزدیک 3 برابر فولاد دارد. اگرچه مدل الاستیسیته به طور متوسط بزرگتر از بتنهای تزریقی پلیمری بخار داده شده است، اما کرنش ماکزیمم در شکست بالاتر است. منومرهایی که بیشتر به طور گسترده در تزریق بتن استفاده می شوند از نوع وینیل هستند از قبیل متیل استیرن، اکریلونیترن، و تی -بوتیل استیرن دونیل استات. سیستمهای منومری، (M.M.A.) متاکریلیت اکریلیک از قبیل متیل متاکریلیت با ترکیبات آن با اکریلونیتریل ها برای تزریق ترجیح داده می شوند، زیرا دارای ویسکوزیته پایین، خواص رطوبتی خوب، واکنش پذیری بالا، قیمت نسبتاً پایین می باشد در نتیجه محصولاتی با خواص بهتر و کارآیی بیشتر خواهند بود. در صورت استفاده از تزریق منومرهای بی فانکشنال و پلی فانکشنال) افزودنی کراس -لینک، یک شبکه کراس لینک در منافذ ایجاد می شود در نتیجه مقاومت مکانیکی، گرمایی، (M.M.A.) به ضمیمه و شیمیایی به طور زیادی افزایش می یابد. البته بهبود این محصولات بستگی به درجه ی کراس -لینک دارد. استفاده می شود. منومرهای (M.M.A.) یک افزودنی کراس -لینک عموماً با یک منومر وینیل از قبیل ترموست) گرما سخت (پلیمرها نیز برای تولید بتن های پلیمری تزریقی با افزایش زیاد پایداری حرارتی (مقاومت در مقابل فرسودگی ناشی از حرارت) استفاده می شود. اینها نیز شامل پری پلیمرهای اپوکسی و پلی استر، استیرن غیر اشباع می شود. این منومرها و پری پلیمرها نسبتاً ویسکوزند) لزجت دارند (بنابراین استفاده از آنها موجب کاهش تزریق می شود. البته می توان با ترکیب کردن آنها با منومرهایی با ویسکوزیته پایین ویسکوزیته را کاهش داد. کاربری های بتن تزریقی در عمق ساختمان ها و کارهای (M.M.A.) مثل ساختمانی شامل سقف های سازه ای، سازه های با عملکرد بالا، لوله های فاضلاب رو، تانک های ذخیره آب دریا، تاسیسات نمک زدایی و آب مقطر، سازه های دریایی، پانل های پیش ساخته دیوار، جداربند تونل ها، مقاطع پیش ساخته تونل و استخر شنا می شوند. بتن های تزریقی به طور جزئی برای محافظت از پل ها و سازه های بتنی در مقابل زوال و فرسودگی استفاده می شوند. همچنین در مرمت فرسودگی سازه های ساختمانی از قبیل پانل های سقف پوش و کف گاراژهای زیرزمینی و کف پله ها استفاده می شود (polymer cement concrete): ب. بتن پلیمر - سیمان 10 درصد وزن آن (سیمان چسباننده آن با پلیمرهای - یک بتن اصلاح شده است که قسمتی از 15 %) مصنوعی جایگزین شده است. این فرآورده از ترکیب کردن یک منومر، پری پلیمر، منومر با یک شیره ی پلیمری داخل یک بتن سیمانی تولید می شود. پلیمریزاسیون منومرها و پری پلیمر - منومر نیز در اثر اضافه کردن یک کاتالیزور به مخلوط انجام می شود. تکنولوژی این فرآیند خیلی شبیه به بتن معمولی است. بنابراین بتن پلیمر - سیمان را می توان در کاربری خواسته شده در جا ریخت. لازم به ذکر است که بتن پلیمر تزریقی معمولاً به صورت سازه های پیش ساخته استفاده می شوند. خواص بتن پلیمر سیمان تولید شده به وسیله بتن اصلاح شده با پلیمرهای گوناگون از سست تا کاملاً مساعد تغییر می کند. خواص سست محصولات در ناسازگاری بین بیشتر پلیمرها و منومرها با قسمتی از جز ترکیبی بتن آنها نسبت داده می شود.

خواص بهتر نیز به وسیله ی استفاده از پری پلیمرهایی مثل پلی استر غیر اشباع کراس -لینک شده با استیرن یا اپوکسی تولید می شوند. برای دستیابی به اصلاح واقعی و اساسی بیشتر، از بتن اصلاح نشده، نسبت کاملاً زیادی از پلیمرها نیاز است که این اصلاح و بهبودی با افزایش قیمت توجه پذیر نیست. نتیجه ی اصلاح بتن با شیوه پلیمری (تعلیق کولوئیدی ذرات پلیمر در آب (بهبود زیاد خواص در محدوده ی یک هزینه معقول است. بنابراین گونه های زیادی از شیرها (لاتکس (در حال حاضر برای استفاده در فرآورده های بتنی پلیمر- سیمان و ملاتنها وجود دارند. بیشتر شیرها لاتکس معمولی بر پایه ی پلی (متیل متاکریلیت (که لاتکسهای اکریلیکی نامیده می شوند. مانند پلی (وینیل استات (وینیل کلراید کوپولیم، پلاستیک های نیتریل، پلاستیک های طبیعی استوار شده اند و هر کدام از فرآورده های پلیمرها صفت های فیزیکی اختصاص به خود را دارند. مثلاً شیر اکریلیت یک ضد آب خوب پیوسته بین پلیمر اصلاح شده و اجزا بتن فراهم می کند، در حالیکه نتیجه ی استفاده از شیر استیرن یک مقاومت فشاری بالاست. عمل آوری شیر ی بتن پلیمر - سیمان با بتن معمولی متفاوت می باشد، به دلیل اینکه پلیمریک غشا نازک روی سطح فرآورده ها تشکیل می دهد قسمتی از رطوبت داخلی نگهداری میشود که برای ادامه هیدراتاسیون سیمان مورد نیاز است و به دلیل همین غشا نازک تشکیل یافته، عمل آوری با آب برای این محصولات عموماً کمتر از بتن معمولی است. عموماً بتنهای پلیمر - سیمان ساخته شده از شیر پلیمر، پیوستگی (پوستن (عالی با آرماتورهای فولادی و بتن های کهنه از خود نشان می دهند. شکل پذیری خوب، مقاومت در برابر نفوذ آب و محلول های نمک آبی، مقاومت در برابر پدیده یخ - ذوب از دیگر خواص آنها می باشد. مقاومت خمشی و استحکام (چقرمگی (آنها نیز معمولاً از بتنهای اصلاح نشده بیشتر است. مدل الاستیسیته ی آنها نیز می تواند بیشتر باشد (نه الزاماً (چرا که بستگی به شیر پلیمر مصرفی دارد. به طور کلی چون خزش (وارفتگی (غالباً بیشتر از بتن ساده می باشد می توان آن را با استفاده ی یکی از شیرها ای پلیمری پیشنهادی زیر کاهش داد: پلی اکریلیک، استیرن، بوتادین، کرپلیم، پلی وینیلیدن کلراید. جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن پلیمر - سیمان نیز غالباً کمتر از بتن معمولی است. متوسط جمع شدگی بستگی به نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان، مقدار پلیمر و شرایط عمل آوری دارد. همچنین حساسیت آنها در مقابل دماهای بالا از بتن های معمولی بیشتر است. برای مثال خزش (در دمایی با اندازه بزرگتر از بتن سیمان معمولی افزایش می یابد. در حالیکه مقاومت خمشی، مدل خمشی و مدل الاستیسیته کاهش میابد. این تاثیرات در موارد ساخته شده از شیرهای الاستومتریکی (استیرن - بوتادین (بیشتر و بزرگتر است، از مواد ساخته شده از پلیمرهای ترموپلاستیک (اکریلیک. (به طور نمونه بتن پلیمر - سیمان ساخته شده با شیرهای ترموپلاستیک در دمای حدود 45 درجه سانتیگراد تنها تقریباً 50 % از مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خود را نگه می دارد. عمده کاربری بتن های پلیمر - سیمان حاوی شیرها در موارد زیر می باشد: سطح سقف ها، چون آنها بدون گرد و خاک و به نسبت ارزان می باشند. به دلیل جمع شدگی کم، مقاومت خوب در مقابل نفوذ مایعات گوناگون از قبیل آب و محلول های نمکی و خاصیت پیوستگی خوب با بتن - (25 روکش کف پل های بتنی، روکشهای ضد زنگ، (mm های کهنه مخصوصاً برای کف سازی نازک مرمت های بتنی و در وصله گذاری مناسب می باشند.

- کاربرد بتن پلیمری: در موارد زیر استفاده می شود:

-موارد تعمیراتی -روکش پلها -کفسازی صنعتی و پوشش های محافظ بتن -قطعات پیش ساخته

بتن پلیمری می تواند به عنوان یک ماده تعمیراتی با خاصیت عمل آوری سریع و مقاومت اولیه و نهایی زیاد برای تعمیر سازه های بتنی به کار رود. در اوایل بسیاری از این نوع بتن ها برای تعمیر سطوح بزرگراهها، که زمان توقف ترافیک آنها محدود است، طراحی شده بودند ولی به تدریج کاربرد آنها در سایر سازه های بتنی نیز رواج پیدا کرد. یکی از مهمترین مزایای بتن های پلیمری در تعمیر سازه ها، که به دلیل چسبندگی بسیار خوب آنها به بتن زیرین است، امکان اجرای آنها در لایه های نازک بر روی سطح بتن است. مواد تعمیراتی پلیمری به صورت خمیر (بتونه (دو جزئی یا ملات سه جزئی از پیش بسته بندی شده ارائه می شوند. بتن پلیمری به دلیل نفوذ پذیری کم و مقاومت شیمیایی بالا، هنگامی که به عنوان روکش پلها و کفسازیهای صنعتی به کار می رود یک لایه محافظ بر روی سطح بتن پدید می آورد که از خوردگی جلوگیری میکند.

استفاده از بتن پلیمری برای تولید قطعات پیش ساخته در حال حاضر محدود به اعضای نما سازی و قطعات صنعتی است. یکی از مزایای مهم بتن پلیمری برای تولید قطعات پیش ساخته، عدم نیاز به سیستم راهکارهای کاربرد سازه ای بتن پلیمری را ارائه داده AC1548.6R عمل آوری

است. اگر چه آیین نامه است ولی در حال حاضر، کاربرد آن برای تولید قطعات پیش ساخته سازه ای به دلیل قیمت بسیار بالا و تغییر شدید ویژگی های آن با تغییر دما، محدود است. بتن های اصلاح شده پلیمری را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف) بتن های پلیمری تزریقی ب) بتن پلیمر - سیمان

نوع اول با تزریق کردن یک نوع منومر در بتن سیمان پرتلند پیش ساخته سخت شده به دست می آید که بعداً به پلیمر جامد تبدیل می شود. برای تولید نوع دوم قسمتی از سیمان چسباننده مخلوط بتن با پلیمر جلوگیری می شود. هر دو نوع در مقایسه با بتن معمولی، دارای مقاومت بیشتر در مقابل پدیده یخ زدگی - ذوب هستند. بتن ساخته شده با سیمان پرتلند اگر چه به خاطر خواص خوب فیزیکی و به همین نسبت قیمت پایین تر از پر مصرفترین مصالح ساختمانی بشمار می آید لیکن دارای معایب زیادی از جمله مقاومت خمشی کم، کرنش گسیختگی کم، احتمال آسیب دیدگی بر اثر یخبندان و مقاومت شیمیایی کم می باشد در موارد خاص این نقاط ضعف بتن را می توان با به کار بردن پلیمرهای آلی یا رزین به صورت جایگزین یا به همراه و کمک سیمان پرتلند برطرف کرد. این مواد دارای محاسن بسیاری از جمله: مقاومت بیشتر، دوام بیشتر، مقاومت بیشتر در برابر خوردگی، نفوذ پذیری آب کمتر و مقاومت بیشتر در مقابل پدیده یخ زدگی - ذوب های متوالی می باشد. سه گونه ی اصلی مصالح مرکب پلیمری وجود دارد: الف) پلیمر تزریقی ب) بتن پلیمر - سیمان ج) بتن پلیمری تفاوت این سه دسته برای مهندس طراح مهم می باشد تا بتواند ماده ی مناسب برای کاربری داده شده را انتخاب کند. الف) بتن پلیمر تزریقی به وسیله تزریق یک منومر با ویسکوزیته پایین در یک بتن سیمان پرتلند پیش ساخته ی سخت شده تولید می شود، که این منومر های تزریق شده تحت تاثیر عوامل فیزیکی (تابش نور فرابنفش یا گاما) یا شیمیایی به پلیمر جامد تبدیل می شوند. بتن پلیمری تزریقی از بتن معمولی به صورت زیر تولید می شود: ابتدا هوا را از منافذ باز خارج می کنند سپس منافذ باز را به وسیله ی انتشار یک منومر با ویسکوزیته پایین اشباع می کنند و درجا منومر یا ترکیبی از پلیمر - منومر، پلیمریزه می کنند که این عمل را با استفاده از روشهای اقتصادی و معمولی انجام می دهند. عارضه مهم این مواد این است که نسبت بزرگی از حجم حفره ها از پلیمر هایی پر شده اند که تشکیل یک شبکه پیوسته تقویتی داده اند این سازه بتنی ممکن است در لایه های گوناگون یا فقط در یک لایه سطحی تزریق بشوند که این بستگی به مقاومت یا دوامی که از سازه طلب می کنند دارد. مهمترین عامل نامناسب برای استفاده از این فرآورده ها قیمت نسبتاً زیاد آنهاست به طوری که منومر استفاده شده در آنها گران قیمت می باشد و فرآیند تولید نیز پیچیده تر از بتن اصلاح نشده می باشد. نتیجه تزریق بتن بهبود قابل ملاحظه ای در مقاومت کششی، فشاری و ضربه ای، تقویت دوام و کاهش نفوذپذیری در مقابل آب و محلولهای نمک آبی از قبیل سولفات ها و کلرید ها ایجاد می کند مقاومت فشاری از ۳۵ MPa می تواند تا ۱۴۰ MPa، افزایش پیدا کند. جذب آب هم کاهش می یابد. همچنین مقاومت در مقابل پدیده یخ - ذوب بطور چشمگیری تقویت می شود. لازم بذکر است که می توانیم با تزریق بخار در بتن به مقاومت بیشتری هم برسیم که این مواد یک نسبت مقاومت فشاری به چگالی، نزدیک سه برابر فولاد دارد اگر چه مدل الاستیسیته به طور متوسط بزرگتر از بتن های تزریقی پلیمری بخار داده شده است، اما کرنش ماکزیم در شکست بالاتر است منومر هایی که بیشتر بطور گسترده در تزریق بتن استفاده می شوند از نوع وینیلها هستند از قبیل متیل متاکریل، استرین اکریلونیترین و تی - بوتیل استرین دونیل استات. سیستم های منومری اکریلیک از قبیل متیل متاکریلیت با ترکیبات آن با اکریلونیتریل ها برای تزریق ترجیح داده می شوند زیرا دارای ویسکوزیته پایین، خواص رطوبتی خوب، واکنش پذیری بالا، قیمت نسبتاً پایین می باشد. در نتیجه محصولاتی با خواص بهتر و کارایی بیشتر خواهد بود. در صورت استفاده از تزریق منومرهای بی فانکشنال به ضمیمه ی یک شبکه کراس لینک در منافذ ایجاد می شود در نتیجه مقاومت مکانیکی، گرمایی و شیمیایی بطور زیادی افزایش می یابد. کاربردهای بتن تزریقی در عمل ساختمانها و کارهای ساختمانی شامل سقف های سازه ای، سازه هایی با عملکرد بالا، لوله های فاضلاب رو، تانکرهای ذخیره آب دریا، تاسیسات نمک زدایی و آب مقطر، سازه های دریایی، پانل های پیش ساخته دیوار، جداربند تونلها، مقاطع پیش ساخته تونل و استخر شنا می شوند. بتن های تزریقی بطور جزئی برای محافظت از پلها و سازه های بتنی در مقابل زوال و فرسودگی استفاده می شوند. همچنین در مرمت فرسودگی سازه های ساختمانی از قبیل پانلهای سقف پوشی و کف گاراژ های زیر زمینی و کف پلها استفاده می شوند. ب) بتن پلیمر - سیمان یک بتن اصلاح شده است که قسمتی از سیمان چسباننده آن با پلیمرهای مصنوعی جایگزین شده است این فرآورده از ترکیب کردن یک منومر، پری پلیمر - منومر با یک شیره ی پلیمری داخل یک بتن سیمانی تولید می شود. پلیمریزاسیون منومر ها و پری پلیمر - منومر نیز در اثر اضافه کردن یک کاتالیزور به مخلوط انجام می شود تکنولوژی این فرآیند خیلی شبیه به بتن معمولی است. بنابراین

بتن پلیمر - سیمان را می توان در کاربری خواسته شده درجا ریخت لازم بذکر است که بتن پلیمر تزریقی معمولاً بصورت سازه های پیش ساخته استفاده می شوند. خواص بتن پلیمر - سیمان تولید شده به وسیله بتن اصلاح شده با پلیمرهای گوناگون از سست تا کاملاً مساعد تغییر می کند. خواص سست محصولات در ناسازگاری بین بیشتر پلیمرها و منومرها با قسمتی از جزء ترکیبی بتن آنها نسبت داده می شود. خواص بهتر نیز به وسیله استفاده از پری پلیمرهایی مثل پلی استر غیر اشباع کراس لینک شده با استیرن یا اپوکسی ها تولید می شوند. برای دستیابی به اصلاح واقعی و اساسی بیشتر، از بتن اصلاح نشده نسبت کاملاً زیادی از پلیمر ها نیاز است که این اصلاح و بهبودی با افزایش قیمت توجیه پذیر نیست. نتیجه اصلاح بتن با شیوه پلیمری بهبود زیاد خواص در محدوده یک هزینه معقول است. بنابراین گونه های زیادی از شیره ها در حال حاضر برای استفاده در فرآورده های بتنی پلیمر - سیمان و ملاتنها وجود دارد. عمل آوری شیره ی بتن پلیمر - سیمان با بتن معمولی متفاوت می باشد، به دلیل اینکه پلیمر یک غشاء نازک روی سطح فرآورده ها تشکیل می دهد قسمتی از رطوبت داخلی نگهداری می شود که برای ادامه ی هیدراسیون سیمان مورد نیاز است و به دلیل همین غشاء نازک تشکیل یافته، عمل آوری با آب برای این محصولات عموماً کمتر از بتن معمولی است. عموماً بتن های پلیمر - سیمان ساخته شده از شیره پلیمر، پیوستگی عالی با آرماتور های فولادی و بتن های کهنه از خود نشان می دهند. شکل پذیری خوب، مقاومت در برابر نفوذ آب و محلولهای نمک آبی، مقاومت در برابر پدیده یخ - ذوب از دیگر خواص آنها می باشد، مقاومت خمشی و استحکام (چگرمگی) آنها نیز معمولاً از بتن های اصلاح نشده بیشتر است مدل الاستیسته آنها نیز می تواند بیشتر باشد جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن پلیمر - سیمان نیز غالباً کمتر از بتن معمولی است. متوسط جمع شدگی بستگی به نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان، مقدار پلیمر و شرایط عمل آوری دارد. عمده کاربرد بتن پلیمر - سیمان حاوی شیره ها در موارد زیر می باشد: سطح سقفها، چون آنها بدون گرد و خاک و به نسبت ارزان می باشند. به دلیل جمع شدگی کم، مقاومت در مقابل نفوذ مایعات گوناگون از قبیل آب و محلولهای نمکی و خاصیت پیوستگی خوب با بتن های کهنه مخصوصاً برای کف سازی نازک ۲۵ سانتیمتر، روکش کف پلهای بتنی، روکشهای ضد زنگ، مرمتهای بتنی و در وصله گذاری مناسب می باشند. ج) بتن پلیمری بتن رزینی شامل یک چسباننده پلیمری که ممکن است ترمو - پلاستیکها باشند اما غالباً بیشتر یک پولیمرترموست می باشد و یک پرکننده معدنی مانند شن و ماسه، شن و یا سنگ گسسته است، مقاومت بالاتر، مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی و خورنده ها، جذب آب کمتر و پایداری بالاتر در مقابل پدیده یخ زدگی - ذوب نسبت به بتن سیمان پرتلند رایج دارند PC. ها مواد مرکبی هستند که چسباننده آنها تماماً شامل پلیمرهای مصنوعی می باشد، که اشکال متفاوتی از آنها مانند بتن رزینهای مصنوعی، بتن رزین پلاستیک یا بتن ساده رزینی شناخته شده اند. به دلیل استفاده از پلیمر به جای سیمان پرتلند افزایش واقعی قیمت وجود خواهد داشت لذا پلیمرها فقط باید در مواردی مصرف شوند که بتوان خواص فوق العاده آنها، هزینه دستمزد کمتر در عمل آوری و جابجایی را با قیمت بالای آنها توجیه کرد. بنابراین مهم است که یک طراح و مهندس آگاهی کافی از قابلیت PCها داشته باشد و با توجه به کارا بودن و اقتصادی بودن محصول برای کاربری و محدودیت های ویژه یکی را انتخاب کند. بتن پلیمری شامل یک پرکننده معدنی و یک چسباننده پلیمری می باشد البته وقتی که به عنوان یک پرکننده استفاده شود، ترکیب مورد نظر را به ملات پلیمری نسبت می دهند. پرکننده های دیگر هم شامل موارد زیر می باشد: سنگهای شکسته، شن، سنگ آهک، گچ، نرمه سیلیس، گرانیت، کوارتز، رس، کف شیشه، سنگدانه فلزی و به طور کلی هر ماده خشک، ضد آب و جامدی می تواند به عنوان پرکننده استفاده شود. در تولید PCها یک منومر یا سخت کننده و یک کاتالیزور با پرکننده ها مخلوط می شوند. دیگر مواد متشکله اضافه شده به مخلوط شامل پلاستی سائرها و ضد آتشنا و گاهی اوقات افزودنی های مضاعف کننده ی سیلان نیز برای افزایش مقاومت پیوستگی بین ملات پلیمر و پرکننده ها می باشد. جهت دستیابی به پتانسیل کامل محصولات بتن پلیمری برای کاربری های خاص، الیاف تقویتی گوناگون استفاده می شود. این آرماتور ها شامل: الیاف شیشه، پشم شیشه، الیاف فلزی و شبکه های سیمی می باشد. زمان گیرش و زمان افزایش مقاومت ماکزیمم را در PCها به آسانی می توان از چند دقیقه تا چندین ساعت به وسیله یک تغییر کوچک در دما و یا سیستم کاتالیزور تغییر داد. ترکیب بتن پلیمری بطور کلی دارای خواص زیر می باشد: مقاومت خوب در برابر حمله شیمیایی و دیگر خورنده ها، 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 می دهند. این شرایط باعث می شوند که بتن پلیمری در یک سطح قابل رقابت با بتن سیمان پرتلند در کاربری های ویژه قرار بگیرد. پلیمرهایی که اخیراً بیشتر استفاده می شوند به چهار دسته تقسیم شده اند: الف) متیل

مناکریلیت ب (پلی استر پری پلیمر - استیرن ج) سخت کننده پری پلیمر اپوکساید د (فورفوریل الکل بتن پلیمری به طور زیادی مقاومتشان در برابر مواد شیمیایی از قبیل اسید هیدرولیک و محلولهای قلیایی و سولفات که در محیط های صنعتی یافت می شوند ، بهبود داده می شوند . بتن پلیمری و پلی استر مقاومت اسیدی بیشتر نسبت به بتن پلیمر اپوکسی دارد در حالیکه مقاومت کمتری در مقابل محلولهای قلیایی نسبت به اپوکسی دارد .

- نتیجه گیری:

-خواص بتن پلیمری عموماً بهتر از بتن پایه سیمانی است. ویژگی های مکانیکی، فیزیکی، و شیمیایی بتن های پلیمری به دما بستگی دارند و با افزایش دما، کاهش می یابند. بنابراین در هنگام استفاده از بتن پلیمری باید دمای بهره برداری در نظر گرفته شود و بر مبنای آن نوع بتن پلیمری تعیین شود. -به دلیل ضربه انبساط حرارتی بیشتر بتن پلیمری نسبت به بتن پایه سیمانی، دمای هنگام اجرا باید در نظر گرفته شود. لکه گیری سطوح بتی در فصول گرم با استفاده از بتن پلیمری میتواند منجر به گسیختگی و خرابی تعمیر انجام شده در فصول سرد شود. -به دلیل مدول ارتجاعی کمتر بتن پلیمری نسبت به بتن پایه سیمانی و نیز افت شدید مقاومت های مکانیکی آن در گرما، به هنگام کاربرد آن در مقاصد سازه ای و تقویتی باید دقت بسیار زیادی کرد. -بتن پلیمری به دلیل پخت و به عمل آمدن سریع، کاربرد گسترده ای در تعمیر سطوح بزرگها و روکش پلها دارد. -چسبندگی بتن پلیمری به سطح زیرین بسیار زیاد است ولی باید توجه داشت که انواع خاصی از آنها به سطوح مرطوب می چسبند و عموماً هنگام اجرای آنها، سطح زیرین باید خشک باشد. -بتن های پلیمری عموماً به شکل از پیش بسته بندی شده عرضه می شوند و از این رو بسیاری از خواص آنها از پیش تعیین شده است. بر خلاف بتن پایه سیمانی که دست کاربر در انتخاب، اصلاح و تغییر خواص در طول کار و با توجه به شرایط وجود دارد. در این نوع بتن آزادی عمل بسیار محدود است.

10-مراجع:

1-قدوسی، پرویز تعمیر سازه های بتی، 1380

2-امیر خیزی، محمد حسن آمیزه کاری در صنایع پلیمری، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، 1373

3-شکروی، عباس و خزایی، اردشیر شیمی پلیمر انتشارات دانشگاه تربیت معلم 1376

4- ACI 503 R, use of epoxy compound with concrete

5- ACI 548.1 R, Guide for the use of polymer in concrete

6- ACI 548.5 R, Guide for polymer concrete overlays

7- ACI 548.6 R, polymer concrete – structural application

8- Depuy G.W. , concrete polymer materials in the united states__

تکنولوژی تولید بتن گوگردی و ساخت

ایمان الیاسیان کارشناس ارشد سازه

با توجه به تولید کنونی سیمان در کشور و پیش بینی تولید سالیانه ۷۰ میلیون تن در برنامه چهارم توسعه دولت (تا پایان سال ۱۳۸۸)، و همچنین علاقمندی تولید کنندگان سیمان به صادرات آن به کشورهای همسایه، به نظر می رسد علاوه بر ظرفیت سازی در این صنعت، تنظیم میزان مصرف و شیوه های بهینه کردن آن از راهکارهای اساسی برون رفت از بحران در این صنعت است. با توجه باینکه کشور ما دارای معادن گوگرد فراوان بوده و همچنین حجم بسیار زیادی گوگرد نیز از تصفیه گازهای ترش بدست می آید، میتوان از سیمان گوگردی استفاده نمود. تکنولوژی تولید این سیمان چند دهه است که بدست کشورهایمانند آمریکا و کانادا می باشد. تمامی مواد لازم جهت تولید این سیمان و همچنین قطعات لازم جهت ساخت ماشین آلات آن در داخل کشور تهیه می گردد.

■ سیمان گوگردی سیمانی است که از ترکیب گوگرد و مواد مضاف در یک فرآیند حرارتی بدست می آید.

■ در صورت تولید سیمان گوگردی و مصرف آن در کارهای آبی خصوصا "سدسازی، لوله های فاضلاب، کانالهای آبیاری، شمعهای بتنی، اسکله ها و دیوارهای ساحلی و...، سهم بیشتری از تولیدات سیمان کشور صرف کارهای ساختمانی شده و از هزینه های احداث کارخانه های سیمان کاسته خواهد شد. براساس محاسبات انجام شده سرمایه گذاری کارخانه های سیمان گوگردی کمتر از ۱۰ درصد سرمایه گذاری کارخانه های سیمان معمولی است و مدت زمان لازم برای ساخت و بهره برداری آن نیز یک چهارم ساخت کارخانه های سیمان معمولی است که البته باید گیرایی سریع و مقاومت بالای آن در مقابل فشار را نیز به مزایای آن افزود.

برای تولید سیمان گوگردی لازم است افزودنی های را به گوگرد اضافه کرد و آن را به عمل آورد تا بتوان به صورت سیمان گوگردی استفاده کرد و انجام این عملیات به هر ظرفیت و در هر کارگاهی امکان پذیر است. برای مصرف سیمان گوگردی در داخل بتن دو راه وجود دارد: روش اول این است که ابتدا سیمان را گرم کرده و پس از رسیدن به حالت مذاب آن را به داخل مخلوط شن و ماسه گرم شده می افزاییم و در روش دوم آن را به صورت پودر جامد درآورده و پس از گرم کردن شن و ماسه در داخل بتونیر، آن را به مخلوط گرم شده می افزاییم تا پس از دریافت حرارت لازم از مخلوط و رسیدن به درجه حرارت معین به صورت مذاب درآمده و به تشکیل مخلوط بتن گوگردی منجر شود به علت خاصیت چسبندگی سریع و بادوام این سیمان به فلزات و غیر فلزات می توان آن را برای پوشش خارجی فلزات و غیر فلزات به کار برد و مانع از پوسیدگی و یا زنگ زدن آنها در برابر عوامل جوی شد. به کارگیری سیمان گوگردی با توجه به مزایای گوناگون آن خصوصا "در مناطق ساحلی با ماسه بادی فراوان و یا مناطقی که دچار کم آبی هستند، ضروری است. یکی از مواد ترکیبی است که از ترکیب مصالح سنگی و سیمان گوگردی بدست می آید و علت ساختمان خاص خود در خانواده بتن ها قرار میگیرد. به این ترتیب در بسیاری از موارد میتواند به عنوان جانشین مناسب برای (بتن یا سیمان پرتلند) مورد استفاده قرار گیرد. این ماده ترکیبی از مصالح سنگی، گوگرد، فیلر و مواد مضاف (SMZ or SRX) می باشد



خواص فیزیکی بتن گوگردی

□ ۱. مقاومت زیاد در برابر خوردگی در محیط های نمکی

و اسیدی

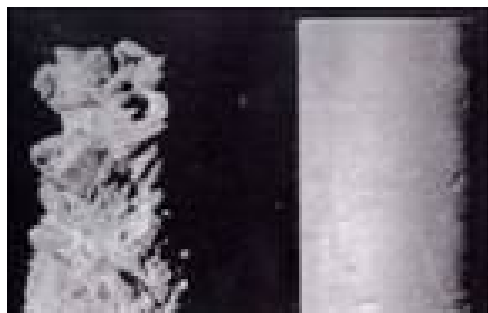
□ ۲. سرعت فوق العاده در حصول مقاومت نهایی

□ ۳. مقاومت زیاد در برابر خستگی

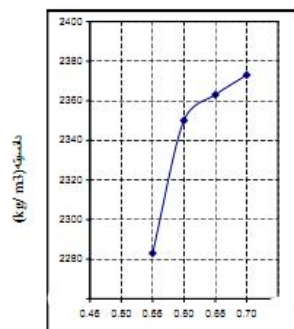
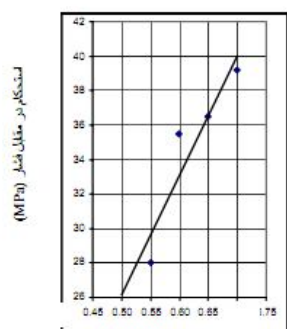
□ ۴. دوام خوب و خاصیت ارتجاعی

□ ۵. عدم نفوذ آب به داخل سطح نهائی

□ بتن گوگردی در اسید پس از سه سال

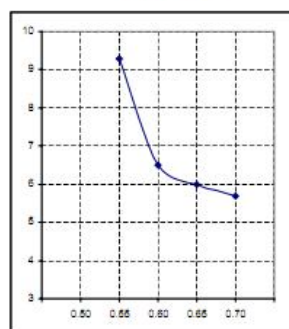
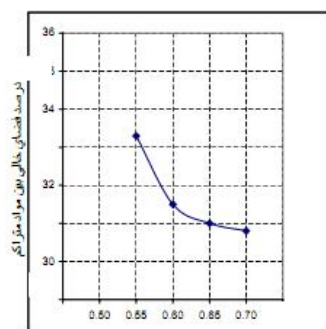


بتن معمولی در اسید پس از سه هفته □



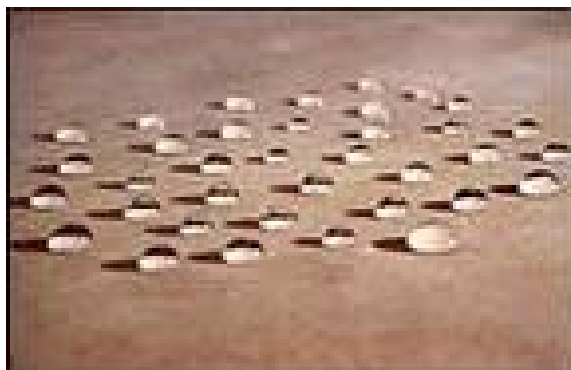
نسبت گاوگرد به ماده پرکننده در فرمولاسیون و اثر آن در استحکام بتن

نسبت گاوگرد به ماده پرکننده در فرمولاسیون و اثر آن در دانسیته بتن



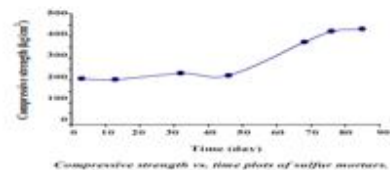
نسبت گاوگرد به ماده پرکننده در فرمولاسیون و اثر آن در میزان فضای خالی بین مواد متراکم

نسبت گاوگرد به ماده پرکننده در فرمولاسیون و اثر آن در میزان هوا در بتن

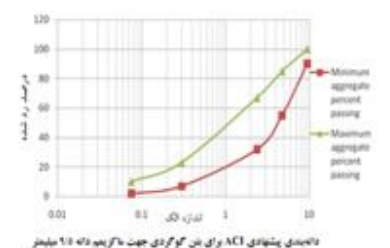


دانه بندی پیشنهادی ACI برای بتن گوگردی

سایز الک	(25 mm) سنگدانه درصد رد شده	(19 mm) سنگدانه درصد رد شده	(12.5 mm) سنگدانه درصد رد شده	(9.5 mm) سنگدانه درصد رد شده
(37.5 mm)	100			
(25 mm)	90-100	100		
(19 mm)		90-100	100	
(12.5 mm)	56-80		90-100	100
(9.5 mm)		56-80		90-100
(4.75 mm)	29-59	35-65	44-74	55-85
(2.38 mm)	19-45	23-49	28-58	32-67
(300 pm)	5-17	5-19	5-21	7-23
(75 pm)	1-7	2-8	2-10	2-10



وزن سیمان (%)	بزرگترین بعد سنگدانه (mm)
12 to 15	(25.4)
13 to 16	(19.1)
14 to 17	(12.7)
16 to 19	(9.5)



عوامل موثر در خواص مکانیکی بتن گوگردی

- الف: در صد گوگرد مصرفی
- ب: ماده مضاف جهت عمل آوری گوگرد (Modifier)
- ج: کیفیت مصالح سنگی استفاده شده در تهیه بتن
- ه: ویبره

فرمولاسیون سیمان های گوگردی

بتن گوگردی محصول جدیدی است که با وجود این که ظاهری نهایی مانند بتن حاصل از سیمان پرتلند دارد، اما طرز تولید، نگهداری و استفاده از آن متفاوت است. بتن های گوگردی یک عنوان کلی است که برای مجموعه ای از محصولات استفاده می شود که از نظرنوع ونسبت ترکیبات استفاده شده متفاوت می باشند. این مواد کلاً جزء دسته مواد ترموپلاستیک 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 sulfur
- مواد متراکم ریزدانه و درشت دانه Aggregates
- مواد پرکننده Filler
- مواد افزودنی Additives

مخلوط اولیه شامل حدود ۲۵ - ۱۵ درصد سولفور، حدود ۴۵ - ۲۵ درصد مواد متراکم ریزدانه و حدود ۱۰ - ۱۵ درصد نیز مواد افزودنی و filler به آن اضافه می کنند. نوع، شکل و درجه بندی مواد متراکم موجود در فرمولاسیون باید بنحوی انتخاب گردد تا بتوان حداقل فضای خالی void content در سیستم را ایجاد نمود.

نقش مواد مضاف (Modifier)

این مواد برای اصلاح خواص گوگرد (تمایل گوگرد به بازگشت سریع به حالت پایدار که شکننده می باشد) بکار می رود. این مواد از جنس پلیمر هیدروکربن اولفینی می باشند

محیطهای شیمیایی که بتن سولفور در آن مقاومت دارد.

اسیدها	نمکها	سایر مواد شیمیایی
Hydrochloric acid	Calcium sulphate	Food wastes
Nitric acid (to 50%)	Copper sulphate	animal wastes
Sulphuric acid	Copper chloride	Some vegetable oils
Phosphoric acid	Ferrous sulphate	Sea water
Acetic acid	Ferric Chloride	Saturated lime (20oC)
Butyric acid	Nickel chloride	Some hydrocarbons
Hydrofluoric acid	Nickel sulphate	
Silage acids	Sodium chloride	
	Magnesium sulphate	
	Zinc chloride	
	Zinc sulphate	
	ammonium sulphate	
	Ammonium chloride	

مزایا در مقایسه با بتن معمولی

- ☐ ۱. علیرغم سیمان معمولی هیچگونه نیازی به آب، جهت ساخت بتن ندارد.
- ☐ ۲. سرعت گیرش بتن گوگردی حدود یک ساعت می باشد در حالیکه سیمان معمولی ۲۸ روز به طول می انجامد .
- ☐ ۳. کلیه دستگاهها و تجهیزات در داخل کشور تولید شده و نیازی به خروج ارز ندارد .
- ☐ ۴. حدود ۳۰ سال است که این سیمان در دنیا استفاده می شود (آمریکا ، کانادا و...) و دارای استاندارد ACI می باشد .
- ☐ ۵. امکان بازیافت مجدد بتن گوگردی (علیرغم بتن های معمولی) وجود دارد.
- ☐ ۶. کلیه مواد اولیه و افزودنی ها ، همگی در داخل کشور تهیه می گردد
- ☐ ۷. این صنعت در واقع **صنعت پاک** و غیر آلاینده محسوب می شود و از مواد زائد صنعت نفت استفاده می نماید ، در حال حاضر مقادیر زیادی گوگرد در پالایشگاهها انباشته شده که بسیار مضر برای محیط زیست می باشد .
- ☐ ۸. **گیرایی** بسیار سریع موجب **تسریع** اجرای کارهای عمرانی و کاهش هزینه می شود.
- ☐ ۹. امکان استفاده از **همه نوع مصالح موجود در منطقه** جهت تولید این بتن (علیرغم بتن معمولی) وجود دارد.
- ☐ ۱۰. با توجه به چسبندگی این بتن به بتن معمولی و دوام آن در مقابل خوردگی امکان **استفاده و ترکیب مشترک** وجود دارد که سبب پایداری بتن می گردد
- ☐ ۱۱. مقاومت بالا در مقابل بسیاری از **خوردگی ها** خصوصا " **اسیدها** را دارا می باشد.

- ❑ ۱۲. مقاومت فشاری حدود دو برابر سیمان معمولی (به مقیاس مگا پاسگال) است.
- ❑ ۱۳. مقاومت کششی و ضریب گسیختگی حدود ۳ برابر سیمان معمولی می باشد.
- ❑ ۱۴. ضریب الاستیسیته بالاتر از سیمان معمولی است.
- ❑ ۱۵. هدایت حرارتی پایین تر از سیمان معمولی می باشد.
- ❑ ۱۶. تا دمای ۸۰ درجه سانتی گراد کاملاً مقاوم می باشد ، بنابراین در فضای آزاد مشکلی نخواهد داشت ، البته با پوششی از بتن معمولی می توان مقاومت حرارتی آن را معادل بتن معمولی ساخت .
- ❑ ۱۷. کاربرد بسیار وسیعی در **کارهای آبی** خصوصاً سازه های دریائی ، اسکله ، سد و دیوار ساحلی دارد .
- ❑ ۱۸. هزینه احداث کارخانه با ظرفیت مشابه کارخانجات سیمان معمولی حدود یک دهم می باشد .
- ❑ ۱۹. انرژی برق مصرفی کارخانجات سیمان گوگردی **حدود یک صدم کارخانجات سیمان معمولی** بوده و بیشتر از سوخته های فسیلی ، عمدتاً گاز (که مزیت نسبی کشور محسوب می شود) استفاده می گردد .
- ❑ ۲۰. لازم به ذکر است که این بتن نه تنها معارض سیمان معمولی نمی باشد بلکه به دلیل مصرف زیاد سیمان در کشور می تواند بعنوان **مکمل سیمان معمولی** در بازار مورد استفاده قرار گیرد .
- ❑ ۲۱. کلیه آزمایشات **استاندارد** مربوطه به این بتن در داخل کشور انجام شده و نمونه های کاربردی و دستگاههای **پروتوتایپ** تولید این بتن نیز ساخته شده است .
- ❑ ۲۲. در مناطقی که استفاده از قیر امکان پذیر نمی باشد می توان برای **جاده سازی** از این بتن استفاده نمود (نظیر سایر نقاط دنیا) .
- ❑ ۲۳. بعلت چسبندگی بسیار بالای این بتن به فلزات ، می توان از آن به عنوان **روکش پلهای فلزی** استفاده نمود (آسفالت های معمولی در مقابل حرارت و کشش مقاومت چندانی ندارند) .
- ❑ ۲۴. با توجه به عایق بودن در مقابل رطوبت ، می توان از آن به عنوان **ایزولاسیون** استفاده نمود .

مقایسه بتن گوگردی با بتن معمولی

- مقاومت در برابر سایش بسیار بالاتر
- نفوذ پذیری بسیار کمتر
- مقاومت در برابر خستگی بسیار بالاتر
- مقاومت در برابر آتش اندکی پایین تر
- مقاومت در برابر خوردگی بسیار بالاتر
- دوام در چرخه حرارتی برابر یا بالاتر
- هدایت حرارت پایین تر

مراجع

- ۱- اکبر نژاد،م، کاربرد بتن های گوگردی
- ۲- ACI 548.2R.88
- ۳- سایت شرکت آبسازه
- ۴- پایگاه اطلاعات کارآفرینی صنعت نفت
- ۵- ایران سازه، وبسایت تخصصی مهندسی عمران

Comparison of averaged, selected properties of sulphur concrete and the cement concrete

Properties	Unit	Sulphur concrete	Cement concrete
Density	kg/m ³	2400	2200
Compressive strength	MPa	60-115	15-60
Bending strength	MPa	10-16	6-7
Modulus of elasticity	GPa	35-50	25-28
Contraction	mm/m	0.5-1.0	0.6
Linear coefficient of thermal expansibility	10 ⁻⁶ /K	8-12	8-10
Porosity	%	1-4	9-15
Absorptivity	%	0-1	5
Frost resistance	cycles	500	50
Minimal period for forming an element	Hour	0.1-0.4	48
Minimal period for nominal strength	hours	2-24	28 days
Corrosive durability in aggressive surroundings	-	resistant	partly resistant
Bond content	%	10-15	20-30

کاربردها



مراحل ساخت اسکله قشم

نحوه ساخت سازه ها در ساحل جهت اجرای پروژه دیوار
ساحلی در سواحل شمالی کشور



مراحل ساخت و استقرار پایه های دکل برق در شالیزار



صفحات بتنی زیر
ریلهای راه آهن



فونداسیون
دستگاههای صنعتی



کنالهای عبور آب



حوضچه های فاضلاب



ساخت و یا ترمیم سکوهای بتنی



منابع ذخیره اسید



ساخت و ترمیم سازه های آبی



روکش لوله های فاضلاب



ساخت سکوهای استخراج نفت

منابع ذخیره اسید



تیرهای پیش ساخته و قطعات بتنی



ساخت و یا ترمیم سکوه‌های بتنی



ترمیم جدولهای کنار خیابان



خط کشی خیابانها



دیوارهای پیش ساخته



حوضچه های فاضلاب



فونداسیون پیش ساخته از بتن گویگردی



ساخت و ترمیم سازه های آبی



ساخت و یا ترمیم پلهای هوایی



روکش لوله های فاضلاب



ساخت و ترمیم اسکله ها



دستگاه تولید سیمان گوگردی



بتن خودتراکم

بتن خود تراکم ، شامل بازه گسترده ای از طرح های اختلاط می باشد که خواص بتن تازه و سخت شده لازم برای کاربری های خاص دارا می باشند . اگرچه مقاومت هم چنان معیار اصلی موفقیت این بتن می باشند اما ویژگی های بتن تازه آن ، بسیار گسترده تر از بتن معمولی و متراکم شده توسط لرزاننده ها می باشد . این خواص مطلوب باید در زمان ، محل و بتن ریزی حفظ شوند . بتن خود تراکم در مواردی که شبکه بندی آرماتور ها فشرده است ، گزینه ای مطلوب می باشد . هم چنین عدم نیاز به لرزاننده ، آلودگی صوتی محیط را به نحو قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. علی رغم ویژگی های مطلوب، طرح اختلاط و اجرای این نوع بتن به عوامل متعددی از قبیل دانه بندی مصالح سنگی ، نوع مواد افزودنی و همچنین فیلرهای مورد استفاده بستگی دارد . در نظر گرفتن هر یک از معیارهای فوق ، کیفیت بتن سخت شده و کار پذیری بتن تازه را تحت تاثیر قرار میدهد .

زمان هزینه و کیفیت سه عامل مهم در اجرا می باشد که تاثیر مهمی در صنعت ساخت دارند . هر گونه پیشرفت و یا توسعه ای که باعث بهبود این سه عامل گردد ، همواره مورد علاقه مهندسان عمران خواهد بود . هرگاه این پیشرفت ها در صنعت ساخت و ساز تاثیر گذار باشد باید تحقیقات کافی بر روی فواید و مضرات آنها انجام گرفته و اقدامات لازم برای اجرایی ساختن آنها در صنعت ساخت و ساز صورت پذیرد . بتن خود تراکم با توجه به خصوصیات ویژه خود یکی از این توسعه هاست که می تواند تاثیر قابل توجهی بر صنعت ساخت داشته باشد .

برای سالیان متمادی دست یابی به بتنی با قابلیت خودترازی (خود تراکمی) بدون افت در مقاومت ، روانی و یا جداسدگی ، آرزوی مهندسين در کشورهای مختلف بوده است در اوایل قرن بیستم به دلیل خشک بودن مخلوط بتنی ، تراکم بتن تنها از طریق اعمال ضربه های سنگین در مقاطع وسیع و در دسترس ممکن بود . با شیوع استفاده از بتن های مسلح و آشکار شدن مشکلات اجرایی کاربرد مخلوطهای خشک ، گرایش به استفاده از مخلوطهای مرطوب تر گسترش یافت اما شناسایی تاثیر نسبت آب به سیمان در دهه ۱۹۲۰ نشان داد که افزایش این نسبت می تواند موجب افت در مقاومت بتن گردد . در سالهای بعد ، توجه به مسئله دوام بتن همچنین تاثیر مخرب افزایش نسبت آب به سیمان را به نفوذ پذیری و کاهش دوام بتن آشکار ساخت . این همه باعث گردید تا توجه ویژه ای بر خواص کارایی و رئولوژی بتن و نیز رو شهای تراکم ، با هدف بهبود خواص مقاومت و دوام آن صورت گیرد . این تحقیقات در نهایت منجر به معرفی بتن خود متراکم در ژاپن گردید . بتنی با قابلیت جریان زیاد که می تواند تنها تحت تاثیر نیروی ثقل و بدون نیاز به

انجام هرگونه فرآیند دیگری تمامی زوایای قالب را پر کرده و آرماتور ها دربرگیرد، بدون آنکه جداسدگی یا آب انداختن ایجاد گردد . بررسی رئولوژی و کارایی ، تاثیر بالایی بر تعیین خواص بتن خود تراکم را نشان می دهد ؛ لذا بر اساس روابط مایع لزج نیوتنی ، پارامترهای موثر در تعریف رفتار جریان بتن خود تراکم را معرفی می کند و آزمایش جی - رینگ آزمایش ساده و مناسبی برای اندازه گیری مقاومت بتن در مقابل جداسدگی سنگدانه ها است و چنانچه مقدار آب و خصوصا فوق روان کننده از یک حد معینی افزایش یابد مقاومت جداسدگی بتن کاهش می یابد و از آزمایش دو نقطه ای می توان بدست آورد که ثابت های رئولوژی می توانند خواص رئولوژی ، خصوصا توانمندی بتن از نظر حرکت پذیری و پرشدگی را بخوبی تعیین نماید .

بتن خود تراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط **H. Okamura** در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد . مقالات متعددی در ارتباط با توسعه بتن خودتراکم در دنیا ارائه شد امروزه بتن خود تراکم همزمان با کشور ژاپن در مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشورهای اروپایی ، کانادا و امریکا تحت عنوان **self - consolidating concrete** موضوع بحث، بررسی و اجرای سازه های بتنی است . درایران نیز استفاده از بتن خود تراکم از چند سال قبل آغاز شده و از مزایای آن بهره گرفته شده است برای مثال می توان از مصرف بتن خود تراکم در تونل رسالت در تهران نام برد .

مبانی طراحی مخلوط بتن خود تراکم

- سیال و پایدار بودن از مبانی طراحی مخلوط **scc** هست ، اما غیر از این خصوصیات، عوامل اقتصادی را نیز باید در طراحی در نظر گرفت . چالش مهم در طراحی مخلوط **scc** ، معادل بودن مشخصات مورد نیاز با مشخصات واقعی است. مواد مورد نیاز برای ساخت **scc** به شرح زیر است :
- ۱ - سیمان : نوع و مقدار سیمان براساس خواص و دوام مورد نیاز تعیین می گردد . معمولا مقدار سیمان بین $450 - 350 \text{ kg/m}^3$ است .
 - ۲ - سنگدانه درشت : تمام سنگدانه های درشت که برای بتن معمولی استفاده می شود ، قابل مصرف در **scc** است . اندازه حداکثر معمولا بین 20 mm - ۱۶ است. به طور کلی مقدار سنگدانه درشت در **scc** کمتر از بتن معمولی است زیرا سنگدانه درشت انرژی زیادی مصرف می کند که باعث کاهش جاری شدن بتن می شود و در هنگام عبور از موانع مانند آرماتور سبب مسدود شدن بتن می گردد .
 - ۳ - سنگدانه ریز : تمام سنگدانه های ریز که برای بتن معمولی استفاده می شود برای **scc** نیز مناسب است هر دو نوع ماسه شامل شکسته و گرد گوشه قابل استفاده میباشد هرچه مقدار ماسه در مخلوط بیشتر باشد ، مقاومت برشی مخلوط بیشتر است .
 - ۴ - مواد افزودنی معدنی : انواع مواد افزودنی معدنی یا پوزولان را میتوان در **scc** مصرف کرد این مواد برای بهبود خواص بتن تازه و یا بتن سخت شده و دوام مورد استفاده قرار می گیرد . از جمله این موارد می توان میکروسیلیس ، سرباره و روباره را نام برد .
 - ۵ - فوق کاهنده آب : فوق کاهنده آب یا فوق روان کننده ها از مواد بسیار مهم برای ساخت **scc** محسوب می شوند .
 - ۶ - مواد اصلاح کننده ویسکوزیته : مواد اصلاح کننده ویسکوزیته برای افزایش مقاومت جداسدگی در **scc** مصرف می شود .
 - ۷ - فیلرها : به دلیل الزامات رئولوژی خاص **scc** هردو مواد افزودنی فعال و خنثی برای بهبود کارایی و همچنین برای تعادل در مقدار مصرف سیمان مورد استفاده قرار می گیرد.

تنظیم طرح مخلوط

پس از ساخت مخلوط های آزمایشی ، اگر عملکرد آنها مطلوب نباشد ، باید طرح مخلوط مجددا انجام شود . بسته به مشکلاتی که در خواص بتن تازه ایجاد می شود ، ممکن است واکنش های زیر انجام گردد : - اضافه کردن فیلر یا استفاده از نوع دیگر فیلر - تجدید نظر در مقادیر شن و ماسه - تغییر در مقدار فوق روان کننده یا ماده اصلاح کننده ویسکوزیته - تغییر در مقدار آب و نسبت آب به پودر - تغییر در نوع مواد اصلاح کننده ویسکوزیته یا فوق روان کننده

امروزه برای بتن خود تراکم مشخصات کلی زیر را پیشنهاد می کنند :

الف (کارایی

از نظر کارایی یک بتن خود تراکم مناسب دارای خواص زیر خواهد بود :

در حالت معمولی دارای جریان اسلامپی بیش از ۶۰۰ میلی متر و بدون جداسدگی ، حفظ روانی به مدت حداقل ۹۰ دقیقه ، توانایی مقاومت در شیب ۳٪ در سطح افقی آزاد ، قابلیت پمپ شدن در لوله ها بطول حداقل ۱۰۰ متر و به مدت ۹۰ دقیقه ، مقاومت فشاری ۲۸ روزه حدود ۶۰۰-۲۵۰ کیلوگرم

بر سانتیمتر مربع ، مقاومت در مقابل خوردگی تهاجم سولفات‌ها و کلریدها و انجماد و ذوب مطابق استاندارد ، کاهش خطر ترک‌های حرارتی در مقایسه با بتن معمولی لرزانده شده.

بتن خود تراکم مزایایی در اجرای موارد خاصی از سازه های بتنی دارد که به نمونه هایی از آنها اشاره میشود :

- سازه های بتنی معماری – هنری که نیاز به ظرافت خاص با میلگرد گذاری فشرده دارند .
- پل های با دهانه بزرگ که به دلیل طولانی بودن خط انتقال بتن اجرای آن ها با بتن معمولی امکان پذیر نمی باشد و در ضمن استفاده از بتن معمولی موجب قطور تر شدن اندازه پایه ها و نازیبایی سازه می گردد.
- تونل های شهری و آبی که در آنها مسافت طولانی انتقال بتن معمولی و حفظ کیفیت و تراکم آن از مشکلات اجرایی است.
- ساختمان های بلند و برج ها
- ستونها و دیوارهای بلند یا میلگردهای متراکم
- ستونهای بتن ریزی شده با پمپ
- بتن ریزی بلوک های بتنی
- بتن ریزی کف ها و سطوح افقی
- بتن ریزی در سازه های زیر آبی

مزایای چشمگیر بتن خود تراکم موجب گسترش سریع آن در دنیا شده است که بطور اجمال میتوان به مواردی از آنها اشاره نمود :

- توسعه سازه های بتنی در دنیا و نیاز به بتن های با خواص ویژه
- کمبود کارگران ماهر بتن ریزی بویژه کارگران ویرنه زن
- افزایش سرعت اجرای سازه های بتنی در سهولت بتن ریزی
- امکان بهبود کیفیت مکانیکی بتن
- امکان اجرای سازه های بتنی ظریف و سنگین و انتخاب مقاطع کوچک یا میلگردهای فشرده
- توسعه صنایع پیش ساخته بتنی
- صرفه جویی اقتصادی با توجه به کاهش نیروی انسانی لازم و زمان ساخت
- توجه به سطوح تمام شده زیبا و مرغوب سازه های بتنی
- کاهش سر و صدا و آلودگی صوتی محیط کار بویژه در صنایع پیش ساخته بتنی

سازه های مختلفی با استفاده از بتن خود تراکم در دنیا اجرا شده اند که به نمونه هایی از آنها در سراسر دنیا اشاره می شود . قابل ذکر است که اجرای بعضی از این پروژه ها بدون استفاده از بتن خود تراکم امکان اجرا نداشته اند .

۱- پوشش سطحی بتن بهتر

۲- جایگیری راحت تر

۳- دوام بهتر

۴- قدرت آزادی بیشتر در طراحی سازمان

۵- ساحت بخش های نازک تر به وسیله بتن

۶- کاهش آلودگی صدا ناشی از ویرنه

۷- صرف انرژی کمتر

۸- محیط کار امن تر

۹- کاهش نیروی انسانی در نتیجه کاهش هزینه

روشهای سنجش خواص کارایی SCC

ردیف	روش	ویژگی مورد سنجش
۱	جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی
۲	جریان اسلامپ T50cm	قابلیت پرکنندگی
۳	حلقه J	قابلیت گذرنندگی
۴	قیف V	قابلیت پرکنندگی
۵	قیف T5min V	مقاومت در برابر جداشدگی
۶	جعبه L	قابلیت گذرنندگی

۷	جعبه U	قابلیت گذرنندگی
۸	جعبه Fill	قابلیت گذرنندگی
۹	غربال سنجش پایداری GTM	مقاومت در برابر جداشدگی
۱۰	اُریمت	قابلیت پرکنندگی

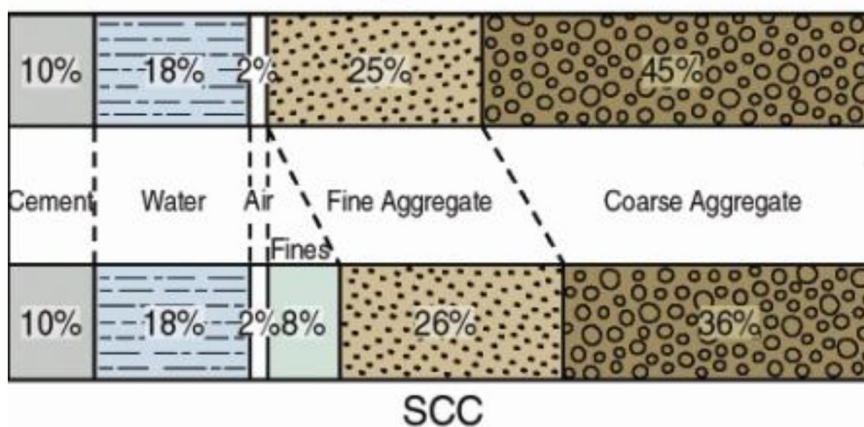
ردیف	نام آزمایش	مشخصات مورد آزمایش
1	Slump Flow by Abrams cone	Filling ability
2	T50 Slump Flow	Filling ability
3	V-Funnel	Filling ability
4	L-Box	Passing ability
5	J-Ring	Passing ability
6	U-Box	Passing ability
7	V-Funnel at T=5 Minutes	Segregation Resistance
8	Column Segregation	Segregation Resistance

- توانایی پرکنندگی
 - قابلیت گذر از میان موانع
 - مقاومت در برابر جداشدگی
- ۱- افت شیمیایی بدلیل هیدراتاسیون سیمان
- ۲- انبساط دمایی بدلیل افزایش دما در بتن

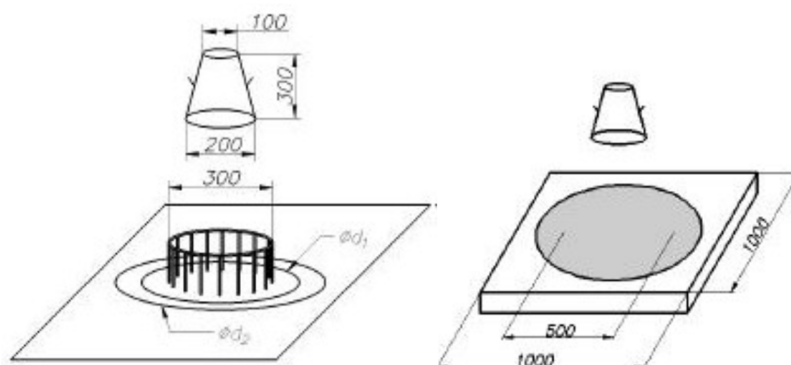
ترکیب‌های پیشنهادی آزمایش‌ها

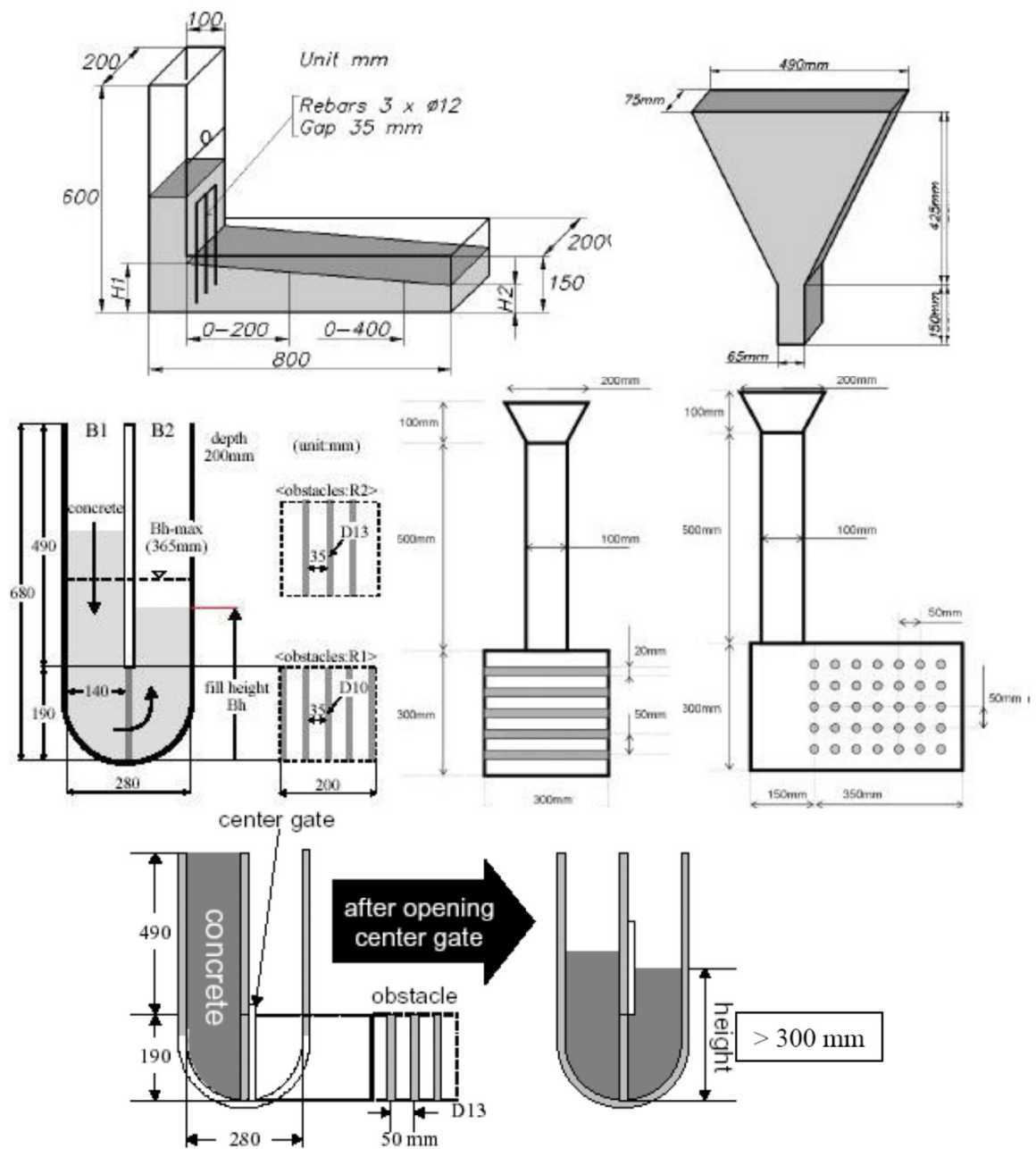
ویژگی	روشهای آزمایش		
	آزمایشگاه	کارگاه	اصلاح روش آزمایش براساس حداکثر اندازه سنگدانه
قابلیت پرنندگی	۱- جریان اسلامپ ۲- جریان اسلامپ T50cm ۳- قیف V ۴- آریمت	۱- جریان اسلامپ ۲- جریان اسلامپ T50cm ۳- قیف V ۴- آریمت	حداکثر اندازه دانه ۲۰ میلی‌متر
قابلیت گذرندگی	۱- جعبه L ۲- جعبه U ۳- جعبه Fill	۱- حلقه J	تغییر اندازه دهانه در آزمایش‌های جعبه L، جعبه U و حلقه J
مقاوت در برابر جداسدگی	۱- آزمایش GTM ۲- قیف T5min V	۱- آزمایش GTM ۲- قیف T5min V	_____

Regular Mix

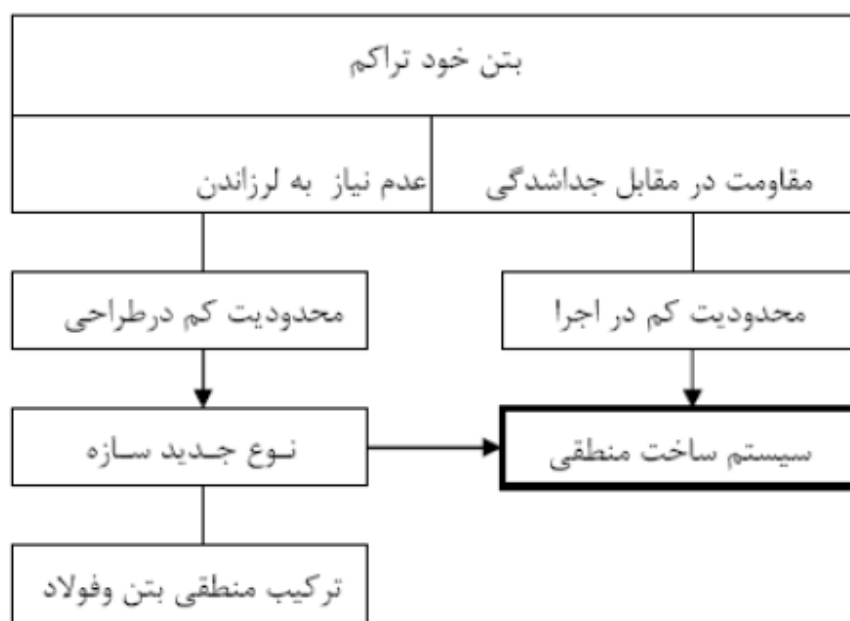
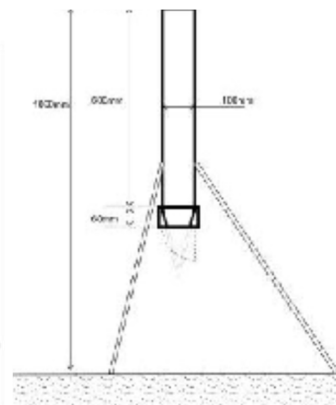
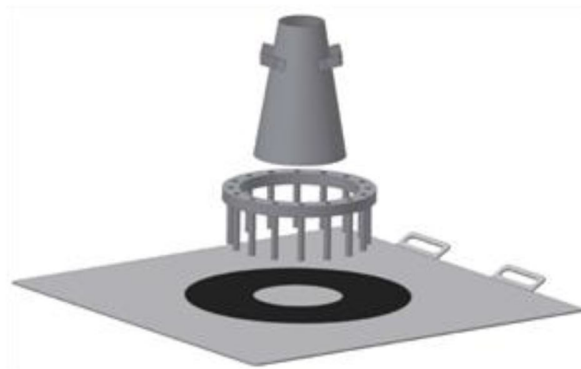


SCC





U-type test (Ouchi and Hibino, 2000).



استفاده از افزودنی یا نوعی دیگر از پرکننده در صورت در دسترس بودن
بازیابی خواص شن و ماسه

استفاده از یک عامل اصلاح لزجت

استفاده از نوع دیگری از فوق رونا نکننده که با مصالح محلی سازگارتر باشد.

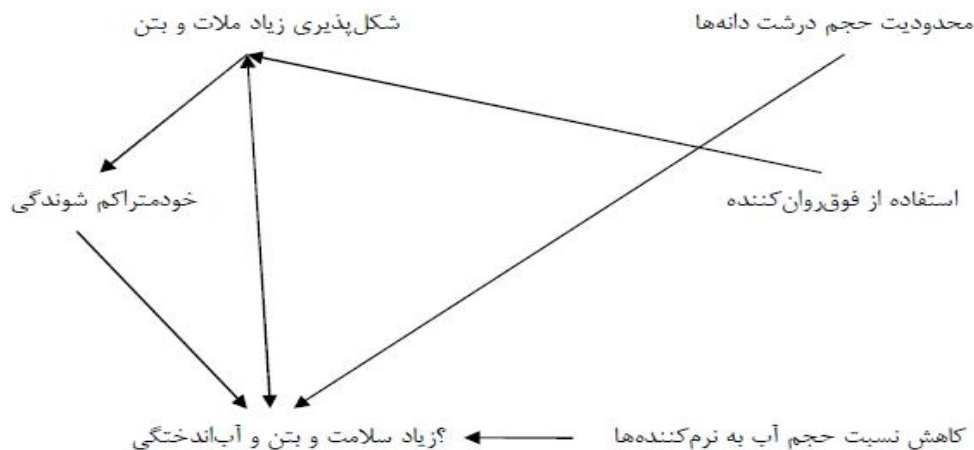
تنظیم نسبت افزودن یها به منظور اصلاح مقدار آب و براساس آن اصلاح محتوای پودری

مقایسه هزینه تولید و اجرای بتن خود تراکم و بتن معمولی

بتن خود تراکم		بتن معمولی		هزینه (مترمکعب)
هزینه (پوند)	تعداد کارگر	هزینه (پوند)	تعداد کارگر	
۳۸/۵۳		۳۶/۹۰		بتن
۸/۳۸		۳/۵۳		مواد افزودنی
۵/۰۴	۲	۵/۰۴	۲	قالب و مونتاژ
۳/۰۳	۱	۸/۴۰	۴	قالب گیری و تراکم
۵/۰۴	۲	۷/۵۶	۲	قالب برداری
۰/۰۰	-	۱۸/۴۸	۴	پرداخت
۰/۰۰		۱/۰۰		تعمیر و نگهداری و بیره ها
۶۰/۰۲		۸۰/۹۱		قیمت کل
٪ ۳۴/۸				درصد کاهش هزینه

طرح اختلاط SCC

مقدار	واحد	
۳۰/۵	درصد	نسبت آب به مصالح سیمانی
۲۰/۰	درصد	نسبت Fly Ash به مصالح سیمانی
۱۷۵	کیلو گرم در متر مکعب	آب
۴۵۷	کیلو گرم در متر مکعب	سیمان
۱۱۸	کیلو گرم در متر مکعب	Fly Ash
۸۴۰	کیلو گرم در متر مکعب	ماسه
۷۴۴	کیلو گرم در متر مکعب	شن
۱/۰	درصد	روان کننده



فواید جایگزینی پوزولان ها با سیمان:

1. افزایش *Stability* و *Filling ability*
2. تهیه بتن متراکم تر و چگالتر
3. کاهش مقدار آب یا فوق روان کننده برای حاصل شدن روانی مورد نیاز
4. کاهش گرمای هیدراتاسیون در بتن ریزی های حجیم
5. افزایش مقاومت در برابر محیط های سولفاتی

انواع پوزولان های مورد استفاده در بتن خود تراکم:

- پودر سنگ آهک (Lime Stone Powder)
- خاکستر بادی (Fly Ash)
- میکروسیلیس (Silica Fume)
- پودر سرباره (Blast Furnace Slag)

پوزولان های جدید تر قابل استفاده در بتن خود تراکم:

- Metakaoline متاکائولین
- Zeolite زئولیت

حجم درشت دانه نسبت به حجم مخلوط بتن	28-32%
حجم خمیر (Paste) نسبت به حجم مخلوط بتن	34-40%
حجم ملات (Mortar) نسبت به حجم مخلوط بتن	68-72%
W/C	0.32-0.45
مقدار مواد سیمانی	385-475 kg/m ³

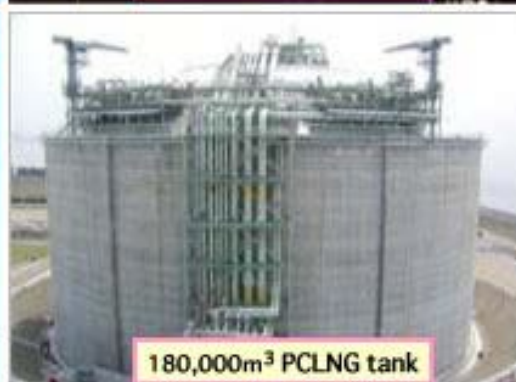
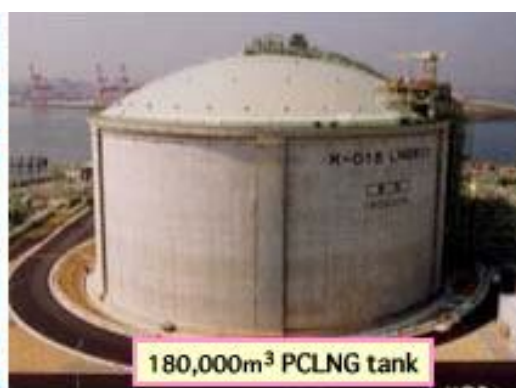
دیواره های مخازن عظیم LNG شرکت گاز Osaka در ژاپن

حجم بتن خود تراکم مصرفی = ۱۲۰۰۰ متر مکعب (تکمیل بتن ریزی در سال ۱۹۹۸)

صرفه جویی در تعداد کارگران = حدود ۶۷ درصد در مقایسه با بتن معمولی

صرفه جویی در مدت زمان ساخت = حدود ۱۸ درصد در مقایسه با بتن معمولی

صرفه جویی در تعداد کارگاهها = حدود ۲۹ درصد در مقایسه با بتن معمولی



بازار بزرگ Midsummer Place واقع در لندن – انگلستان

ستونهای بیضوی با میلگردهای خیلی تراکم به ارتفاع ۸,۵ – ۱۰ متر

صرفه جویی در مدت زمان ساخت = حدود ۴۰ درصد در مقایسه با بتن

معمولی، صرفه جویی در هزینه = حدود ۱۰ درصد در مقایسه با بتن معمولی



Midsummer Place - Milton Keynes

برج Landmark در شهر یوکوهاما ژاپن

ستونهای ۹ طبقه اول این برج با استفاده از بتن خود تراکم اجرا شده است

(با توجه به فشردگی میلگرد ها)

تعداد ستونهای ۹ طبقه = ۶۶ ستون

مقدار بتن خود تراکم مصرفی = ۸۸۵ متر مکعب

