



بتن‌های خاص برای شرایط ویژه

دکتر علی اکبر رمضانپور - استاد دانشگاه

ایران، تهران، دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

اینک نزدیک به دو قرن از تولید سیمان بصورت فعلی و متعاقب آن ساخت بتن میگذرد. تحولات شگرفی در این مدت در تولید این ماده ارزشمند و پرمصرف ساختمانی بوقوع پیوسته است. پس از غلبه بر ضعفهای بتن از نقطه نظر مقاومت بویژه مقاومت کششی در ساخت بتن‌های با مقاومت بسیار زیاد، اینک توجه خاص به ساخت بتن‌های بادوام و عملکرد بالا در طی سالهای بهره‌برداری و افزایش عمر مفید سازه‌های بتنی بویژه در مناطق خاص، معطوف گشته است.

ساخت بتن‌هایی با افزودنیهای مختلف بعنوان ماده چهارم بتن، استفاده از سیمانهای جدید و مواد پوزولانی در سیمانهای مخلوط و نیز کاربرد مواد زائد صنعتی بعنوان بخشی از سیمان و یا سنگدانه از تحولاتی است که در دهه‌های اخیر در صنعت بتن جایگاه ویژه‌ای یافته است. در سازه‌های بتنی مسلح نیز با پدیده مهم خوردگی فولاد با ارائه راه‌حلهایی چون فولادهای ویژه، آرماتورهای پلاستیکی، حفاظت کاتدیک، بازدارنده‌های خوردگی و پوششهای اپوکسی تا حدی مقابله شده است.

در مقاله اخیر به پاره‌ای از بتن‌های خاص که عملکرد مناسب و قابل قبولی در شرایط ویژه و کاربردهای اختصاصی داشته‌اند، اشاره شده است. کاربرد مواد افزودنی بویژه فوق‌روان‌کننده‌ها و نیز مواد پوزولانی جایگزین بویژه دوده سیلیس در تولید بتن با مقاومت زیاد و با عملکرد خوب مختصراً توضیح داده شده است. کاربرد الیاف و ساخت بتن‌های با نرمی بالا در تحمل بارهای دینامیکی و ضربه و نیز استفاده از آرماتورهای مختلف جهت مقابله با پدیده خوردگی و شیوه‌های مختلف پیشگیری از خوردگی در سازه‌های بتنی مسلح بویژه برای محیطهای خاص از مواردی است که در سالهای آخر این قرن بسیار مورد توجه بوده و در اینجا مختصراً بدانها اشاره شده است.

مقدمه

بتن اینک با گذشت بیش از ۱۷۰ سال از پیدایش سیمان پرتلند بصورت کنونی توسط یک بنای لیدزی، دستخوش تحولات و پیشرفتهای شگرفی شده است. در دسترس بودن مصالح آن، دوام نسبتاً زیاد و نیاز به ساخت و سازه‌های فراوان سازه‌های بتنی چون در ساختمانها، پلها، تونلها، سدها، اسکله‌ها، راه‌ها و سایر سازه‌های خاص دیگر، این ماده را بسیار پرمصرف نموده است.

اینک حدود سه تا چهار دهه است که کاربرد این ماده ارزشمند در شرایط ویژه و خاص مورد توجه اکثر کاربران آن

گشته است. اکنون کاملاً مشخص شده است که توجه به مقاومت تنها بعنوان یک معیار برای طرح بتن برای محیطهای مختلف و کاربریهای متفاوت نمی تواند جوابگوی مشکلاتی باشد که در درازمدت در سازه های بتنی ایجاد می گردد. چند سالی ست که مساله پایایی و دوام بتن در محیطهای مختلف و بویژه خورنده برای بتن و بتن مسلح مورد توجه خاص قرار گرفته است. مشاهده خرابیهایی با عوامل فیزیکی و شیمیایی در بتن ها در اکثر نقاط جهان و با شدتی بیشتر در کشورهای در حال توسعه، افکار را به سمت طرح بتن هایی با ویژگی خاص و بادوام لازم سوق داده است [۱]. در این راستا در پاره ای از کشورها مشخصات و دستورالعملها و استانداردهایی نیز برای طرح بتن با عملکرد بالا (High Performance Concrete) تهیه شده و طراحان و مجریان در بعضی از این کشورهای پیشرفته ملزم به رعایت این دستورالعملها گشته اند [۲].

در مواد تشکیل دهنده بتن نیز تحولات شگرفی حاصل شده است. استفاده از افزودنیهای مختلف بعنوان ماده چهارم بتن، گسترش وسیعی یافته و در پاره ای از کشورها دیگر بتنی بدون استفاده از یک افزودنی در آن ساخته نمی شود. استفاده از سیمانهای مختلف با خواص جدید و سیمانهای مخلوط با مواد پوزولانی و نیز زائده های کارخانه های صنعتی روز به روز بیشتر شده و امید است که بتواند تحولی عظیم در صنعت بتن چه از نقطه نظر اقتصادی و چه از نظر دوام و نیز حفظ محیط زیست در قرن آینده بوجود آورد. در سازه های بتنی مسلح نیز جهت پرهیز از خوردگی آرماتور فولادی از مواد دیگری چون فولاد ضدزنگ و نیز مواد پلاستیکی و پلیمری (FRP) استفاده می شود که گسترش آن منوط به عملکرد آن در درازمدت گشته است.

با توجه به نیاز روزافزون به بتن های خاص که بتوانند عملکرد قابل قبول و مناسبی در شرایط ویژه داشته باشند، سعی شده است تا در این مقاله به پاره ای از این بتن ها اشاره گردد. کاربرد مواد افزودنی بویژه فوق روان کننده ها و نیز مواد پوزولانی بویژه دوده سیلیس در تولید بتن با مقاومت زیاد و با عملکرد خوب مختصراً آورده می شود. بتن های خیلی روان که تحولی در اجرا پدید آورده است و نیز بتن های با نرمی بالا برای تحمل ضربه و نیروهای ناشی از زلزله نیز از مواردی است که باید بدانها اشاره نمود. کوششهای فراوان برای مبارزه با مساله خوردگی آرماتور در بتن و راه حلها و ارائه مواد جدید نیز در اواخر سالهای قرن بیستم پیشرفت شتابنده ای داشته است که به آنها اشاره خواهد شد.

افزودنیهای خاص در شرایط ویژه

برای ساخت بتن های ویژه در شرایط خاص نیاز به استفاده از افزودنیهای مختلفی می باشد. پس از پیدایش مواد افزودنی حباب هواساز در سالهای ۱۹۴۰ [۳] کاربرد این ماده در هوای سور و در مناطقی که دمای هوا متناوباً به زیر صفر رفته و آب بتن یخ می زند، رونق بسیار یافت. این ماده امروز یکی از پرمصرفترین افزودنیها در مناطق سرد نظیر شمال آمریکا و کانادا و بعضی کشورهای اروپایی است.

ساخت افزودنیهای فوق روان کننده که ابتدا نوع نفتالین فرمالدئید آن در سالهای ۱۹۶۰ در ژاپن و سپس نوع ملامین آن بعداً در آلمان به بازار آمد شاید نقطه عطفی بود که در صنعت افزودنیها در بتن پیش آمد [۴]. ابتدا این مواد برای کاستن آب و بدست آوردن کارایی ثابت بکار گرفته شد و چند سال بعد با پیدایش بتن های با مقاومت زیاد نقش این افزودنی اهمیت بیشتری یافت. امروزه بتن های مختلفی برای منظورها و خواص ویژه و نیز بمنظور مصرف در شرایط خاص با این مواد ساخته می شود که از میان آنها به ساخت بتن های با مقاومت زیاد، بتن های با دوام زیاد، بتن های با مواد پوزولانی زیاد (سرباره کوره های آهنگدازی و خاکستر بادی)، بتن های با کارایی بالا، بتن های با الیاف و بتن های زیر آب و ضد شسته شدن می توان اشاره نمود [۵،۶].

بتن‌های با کارایی بسیار زیاد که چند سالی است از پیدایش آن در جهان و برای اولین بار در ژاپن نمی‌گذرد، تحول جدیدی در صنعت ساخت و ساز بتنی ایجاد کرده است. این بتن که نیاز به لرزاندن نداشته و خودبخود متراکم می‌گردد، مشکل لرزاندن در قالبهای با آرماتور انبوه و محلهای مشکل برای ایجاد تراکم را حل نموده است. این بتن علیرغم کارایی بسیار زیاد خطر جدایی سنگدانه‌ها و خمیر بتن را نداشته و ضمن ثابت بودن کارایی و اسلامپ تا مدتی طولانی می‌تواند بتنی با مقاومت زیاد و دوام و پایداری مناسب ایجاد کند. در طرح اختلاط این بتن باید نسبتهای خاصی را رعایت نمود. بعنوان مثال شن حدود ۵۰ درصد حجم مواد جامد بتن را تشکیل داده و ماسه حدود ۴۰ درصد حجم ملات انتخاب می‌شود. نسبت آب به مواد ریزدانه و پودری براساس خواص مواد ریز بین ۰/۹ تا ۱ می‌باشد. با روش آزمون و خطا نسبت دقیق آب به سیمان و مقدار ماده فوق‌روان‌کننده مخصوص برای مصالح مختلف تعیین می‌گردد. از این بتن با استفاده از افزودنی دیگری که گرانیروی بتن را می‌افزاید در زیر آب استفاده شده است [۸،۷].

بتن‌های با عملکرد و دوام زیاد (توانمند یا ابربتن)

از آنجا که رسیدن به مقاومت بالا در بتن از اهداف دست‌اندرکاران کارهای بتنی در دو دهه اخیر بوده است، ابتدا این نوع بتن با مقاومت بیش از ۵۰ MPa ساخته شد. با پایین آوردن نسبت آب به سیمان تا حد ۰/۳ رسیدن به چنین مقاومتهایی بسیار آسان است. برای ساخت بتن‌هایی با مقاومت بیشتر و در حد ۸۰-۱۱۰ MPa و برای تقویت ناحیه فصل مشترک سنگدانه درشت و خمیر سیمان مواد سیلیسی فعال و غیربلوری بنام دوده سیلیس بکار گرفته شد. همزمان سنگدانه‌هایی با مقاومت بیشتر و با دانه‌بندی مناسب‌تر و با کنترل حداکثر اندازه سنگدانه در این مخلوطها بکار رفت. امروز شاهد ساخت ساخمانهای بسیار بلند با چنین بتن‌هایی هستیم که مشخصات و طرح اختلاط یکی از این بتن‌ها در جدول شماره (۱) آورده شده است [۹].

جدول ۱- مشخصات بتن استفاده شده در ساختمان ۶۸ طبقه تورنتو کانادا

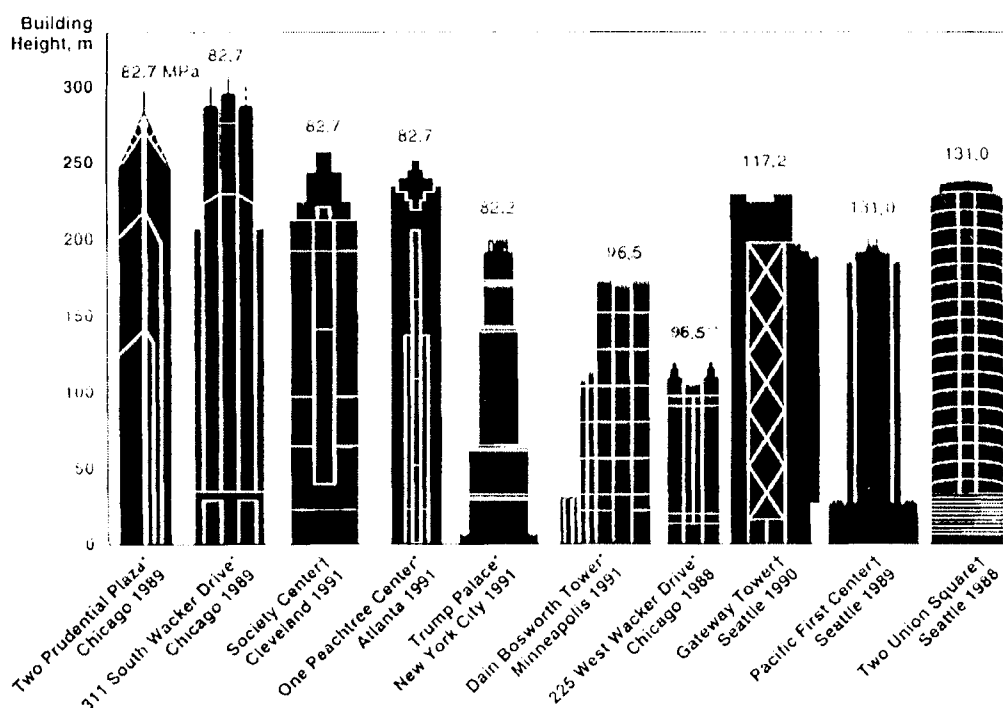
نسبت‌های اختلاط			خواص بتن تازه و سخت شده	
اسلامپ	۱۹۵	میلیمتر	سیمان نوع ۱	۳۳۵ کیلوگرم در متر مکعب
درصد هوا	۱/۲	درصد	آب	۱۴۶ لیتر
مقاومت فشاری ۷ روزه	۷۷	MPa	سرباره	۹۴ کیلوگرم در متر مکعب
مقاومت فشاری ۲۸ روزه	۸۷/۵	MPa	میکروسلیس	۳۶ کیلوگرم در متر مکعب
مقاومت فشاری ۵۶ روزه	۹۲/۵	MPa	شن تا ۱۰ میلیمتر	۱۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب
مقاومت فشاری ۹۱ روزه	۹۳/۷	MPa	ماسه	۷۰۴ کیلوگرم در متر مکعب
			نسبت آب به سیمان	۰/۳۱
			کاهش‌دهنده آب	۰/۹ لیتر در متر مکعب
			دیرگیر کننده	۱/۸ لیتر در متر مکعب
			فوق‌روان‌کننده	۱۴ لیتر در متر مکعب

از آنجا که در کاربرد این بتن گاه مقادیر بالایی سیمان و بیش از ۴۰۰ کیلوگرم (حتی تا ۵۰۰ کیلوگرم) مصرف می‌شد، علاوه بر گرانی این بتن، ترکهای نیز حین ساخت بدلیل جمع‌شدگی پلاستیکی و ناشی از خشک‌شدن بیشتر این بتن‌ها و نیز

ترکهای حرارتی بوجود آمد. همچنین با افزایش این مقاومت تردی و شکنندگی بتن نیز افزایش یافت. چنین بتنی نمی‌توانست در شرایط محیطی سخت و محیطهای خورنده بعلت وجود ترکهای زیاد دوام قابل قبولی داشته باشد.

به منظور افزایش دوام حین افزایش مقاومت ضمن کاربرد دوده سیلیس و کم کردن آب و مصرف فوق‌روان‌کننده، مقدار سیمان کاهش یافته و در عوض مواد پوزولانی همچون دوده سیلیس، خاکستر بادی، سرباره کوره‌های آهن‌گدازی، خاکستر پوسته برنج و بالاخره پوزولانهای طبیعی بصورت مواد ریزدانه جایگزین آن گردید. امروز شاهد ساخت بتن‌هایی با دوام که نفوذپذیری کمی دارند و در مقابل حملات شیمیایی کلرورها و سولفات‌ها و گازکربنیک و بعضاً واکنش قلیایی پایدارتر می‌باشند، هستیم [۱۰].

برای مصرف این بتن در سازه‌های بلند و رفع نقیصه شکنندگی در پاره‌ای موارد از الیفهای کوتاه استفاده شده تا بدینوسیله نرمی این بتن‌ها افزایش یابد. از مزایای عمده این بتن‌ها کاهش وزن ساختمانها بعلت کم کردن ابعاد ستونها، صرفه‌جویی در میزان بتن و فولاد، کوتاه شدن دوران ساخت، تغییر شکلهای وابسته به زمان کمتر و پایداری و دوام بیشتر آنها می‌باشد. تعدادی از ساختمانهایی که با بتن با مقاومت زیاد در آمریکا ساخته شده‌اند در شکل (۱) آورده شده است [۹].



شکل ۱- مقاومت و ارتفاع بعضی از ساختمانهای بلند ساخته شده از بتن با مقاومت زیاد

به منظور کاستن وزن سازه‌های بتنی که با بتن با مقاومت زیاد ساخته می‌شوند چند سالی است که با مصرف بخشی از سنگدانه‌های سبک در آن، بتن‌های سبک‌تری تولید نموده‌اند. امروزه بتن‌هایی با وزن مخصوص ۲ تن بر متر مکعب و مقاومتهای ۸۰-۶۰ MPa در بعضی پروژه‌ها بکار رفته است. بعلت دوام قابل قبولی که این بتن‌ها در آزمایشات متعدد از خود نشان داده‌اند مصرف آنها در چند سازه بتنی دریایی در محیطهای خورنده در کشورهای نروژ، کانادا، ژاپن، آمریکا و استرالیا

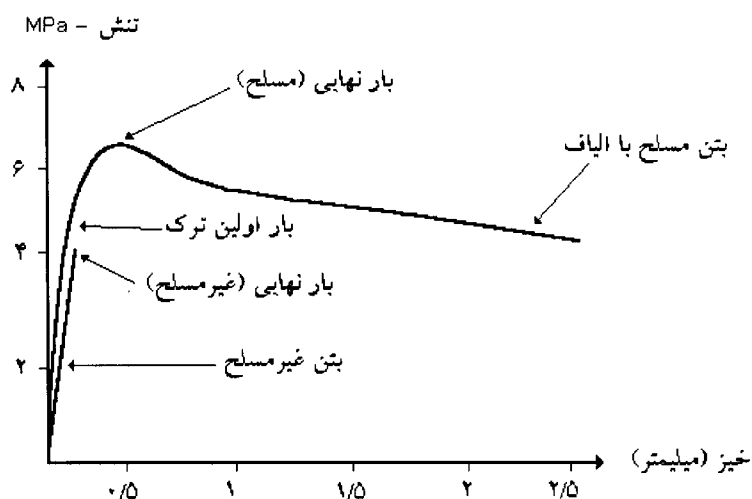
گزارش شده است [۱۱].

در کشور ما نیز اخیراً با تولید دوده سیلیس در کارخانه‌های داخلی کاربرد این ماده در بتن آغاز گشته است. در چند پروژه در جنوب کشور که بعلت داشتن آب و هوای گرم و محیطی خورنده برای بتن و نیز فولاد از سخت‌ترین شرایط محیطی برای بتن است، بتن با سیمان دارای حدود ۷ تا ۱۰ درصد میکروسیلیس بعنوان جایگزین سیمان استفاده شده است. بایستی توجه داشت که بعلت عدم آب‌انداختگی این بتن و واکنشهای سریع و گرمای محیط خطر ایجاد ترکهای پلاستیک در ساعات اولیه و سپس ترکهای ناشی از خشک شدن و حرارتی در این بتن‌ها زیاد بوده و در صورت عدم کنترل و دقت و عمل‌آوری سریع و مناسب علیرغم مقاومت زیاد وجود ترک در این بتن‌ها سبب افزایش نفوذپذیری آنها گشته و بالتبجه املاح و مواد خورنده به داخل بتن و خوردگی آرماتور خرابی بتن تشدید می‌گردد.

در پاره‌ای از تونلهای انتقال آب و نیز تونل سدها نیز از این ماده در طرح اختلاط بتن برای بتن‌پاشی پوشش استفاده شده است. پیوستگی خوب این بتن و کم شدن مصالح بازگشتی و مقاومت و دوام خوب از خصوصیات آن در پوشش تونلها است. این ماده در لایه نهایی سرریز سدهای کشور نیز در حال استفاده و یا در آینده استفاده خواهد شد. مصرف میکروسیلیس در بتن سبب افزایش مقاومت سایشی و فرسایشی بتن می‌گردد [۱۲].

بتن‌های با نرمی بالا

امروزه کاربرد بتن با نرمی بالاتر که بتواند تغییر شکلهای زیاد را بدون شکست تحمل نماید، مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات وسیعی در خصوص تأمین نرمی لازم در بتن با الیافهای مختلف و حتی حذف آرماتور در حال انجام می‌باشد. هدف از کاربرد الیاف در بتن افزایش مقاومت کششی، کنترل گسترش ترکها و افزایش طاقت (toughness) بتن می‌باشد تا قطعه بتنی بتواند در مقابل بارهای وارده در یک مقطع ترک خورده تغییر شکلهای زیادی را پس از نقطه حداکثر تنش تحمل نماید. شکل شماره (۲) عملکرد یک تیر خمشی با الیاف را در تحمل خیزهای زیاد در مقایسه با بتن بدون آرماتور نشان می‌دهد.



شکل ۲- منحنی تغییر شکل تیر یک با و بدون الیاف در یک تیر خمشی

بتن با الیاف مختلف در سالهای اخیر در سازه‌های عمده‌ای چون روسازی راهها و فرودگاهها، پی‌های عظیم با تغییر

شکلهای زیاد و بویژه در پوشش بتنی تونلها بکار رفته است. در ساخت پوشش تونلها بتن الیافی با پاشیدن بر جداره شکل می‌پذیرد. اخیراً برای حذف ترکها در پوشش تونلهایی که بصورت چندتکه پیش‌ساخته اجرا می‌شود از بتن بدون آرماتور و تنها الیاف استفاده شده و این نوع بتن سبب حذف ترکها در حین عمل‌آوری و حمل‌ونقل قطعات و نصب آنها برای کامل کردن مقطع تونلهای مترو شده است.

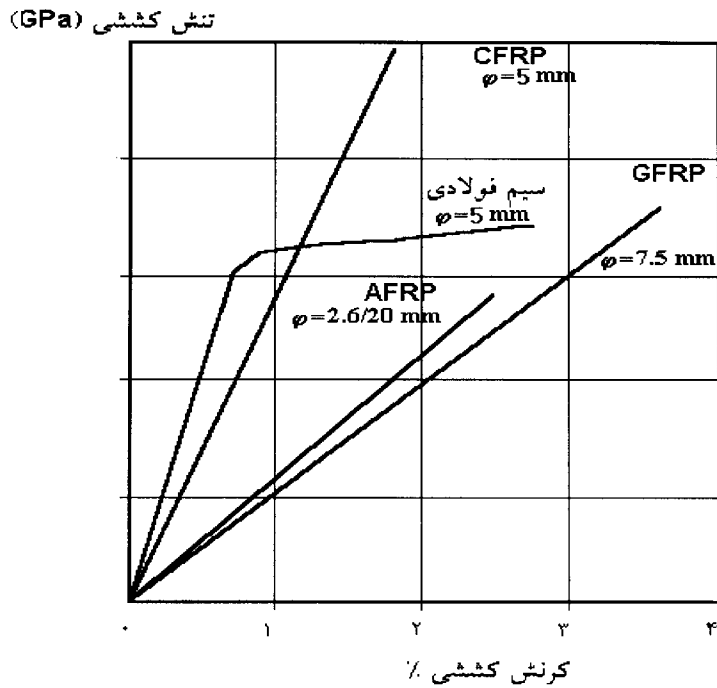
در نوع بسیار جدید بتن الیافی که می‌توان با آن به حداکثر نرمی در بتن رسید از روش ریختن دوغاب روی الیاف (SIFCON) استفاده می‌شود. در این روش ابتدا الیاف ریخته شده و سپس فضای بین آنها با ملات دوغابی پر می‌شود. میزان الیاف در این بتن حدود ۱۰ درصد می‌باشد که حدود ۱۰ برابر میزان الیاف در بتن‌های الیافی متداول است. با این مصالح لایه‌های محافظی بدون ترک و تقریباً غیرقابل نفوذ می‌توان ایجاد نمود. بعلاوه نرمی زیاد این قطعات ظرفیت تغییر شکل‌پذیری این قطعات به میزان ظرفیت دالهای فولادی می‌رسد. مقاومت فشاری این نوع بتن حدود ۸۵-۱۱۰ مگاپاسکال و مقاومت خمشی حدود ۳۵-۴۵ N/m^2 می‌باشد. از این قطعات می‌توان نه تنها بعنوان لایه‌های محافظ کوچک استفاده نمود، بلکه در باندهای فرودگاه در برابر ضربات عملکرد خوبی نشان می‌دهند. در کارهای تعمیراتی دالها می‌توان از آنها بعنوان لایه روی بتن قدیم و بدون درز و در زمان کوتاهی استفاده نمود [۱۳].

آرماتورهای غیرفولادی در بتن

در سالهای اخیر استفاده محدودی از آرماتورهای غیرفلزی آغاز گشته است هرچند تحقیقات بر روی کاربرد وسیعتر آنها و عملکرد درازمدت این نوع آرماتورها ادامه دارد. این آرماتورها که معروف به آرماتورهای با الیاف پلاستیکی (FRP) هستند از الیاف مختلفی چون الیاف شیشه‌ای (GFRP)، الیاف آرامیدی (AFRP) و الیاف کربنی (CFRP) در یک رزین چسباننده تشکیل شده‌اند. در جدول (۲) خواص مکانیکی چند آرماتور الیافی که کاربرد پیدا کرده‌اند، آورده شده است. در شکل (۳) میله‌های پلاستیکی ساخته شده با الیاف مختلف و فولادهای پیش‌تندگی از نقطه نظر منحنی‌های تنش-کرنش با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۲- خواص مکانیکی الیافهای مختلف

نوع الیاف	مقاومت کششی (MPa)	کرنش نهایی %	E (GPa)
آرامید	۲۷۰۰-۳۴۰۰	۲/۵-۴	۷۳-۱۶۵
شیشه E	۳۵۰۰	۳-۵	۷۵
شیشه S	۴۵۰۰	۴/۵-۵/۵	۸۷
کربن مدول پایین	۳۲۰۰-۳۹۰۰	۱-۱/۶	۲۵۰
کربن مدول بالا	۲۳۰۰-۲۷۰۰	۰/۶	۴۰۰



شکل ۳- منحنی تنش-کرنش فولاد و آرماتورهای الیافی

خاصیت عمده این آرماتورها که سبب کاربرد آنها شده است مقاومت در برابر خوردگی آنهاست که می‌تواند در محیط‌های بسیار خورنده دوام درازمدتی داشته باشند. علاوه بر این مقاومت بالا، مقاومت به خستگی بالا، ظرفیت بالای تغییرشکل ارتجاعی، مقاومت الکتریکی زیاد و هدایت مغناطیسی پایین و کم این مواد از مزایای آنها شمرده می‌شود. البته این مواد معایبی چون کرنش گسیختگی کم و شکننده بودن و خزش زیاد و تفاوت قابل ملاحظه ضریب انبساط حرارتی آنها در مقایسه با بتن را به همراه دارند [۱۴].

اخیراً از الیاف مختلف شبکه‌هایی بافته شده و بصورت یک شبکه آرماتور در سطح بتن برای کنترل ترک و کم کردن عرض آن و همچنین در دیوارهای نمای بتنی از آن استفاده می‌کنند. تحقیقات روی کاربرد صفحات الیافی بجای صفحات فولادی برای تقویت قطعات خمشی و تیرها و دال‌ها بویژه در پل‌ها ادامه دارد. این صفحات با رزین‌های اپوکسی به نواحی کششی از خارج اتصال داده می‌شود. کاربرد صفحات با الیاف کربنی برای این تقویت بیشتر رایج گشته و در چندین پل در ژاپن و در بعضی کشورهای اروپایی از آن استفاده شده است [۱۵].

مقابله با خوردگی بتن

مساله خوردگی فولاد در بتن از معضلات عمده کشورهای مختلف جهان است. این مساله حتی در کشورهای پیشرفته همچون آمریکا و کانادا و ژاپن و بعضی کشورهای اروپایی هزینه‌های زیادی را برای تعمیر آنها بدنبال داشته است. بعنوان مثال در گزارش‌های اخیر بررسی پل‌ها در آمریکا حدود ۱۴۰,۰۰۰ پل مساله داشته‌اند. این مساله در کشورهای در حال توسعه و در کشورهای حاشیه خلیج فارس بسیار شدیدتر بوده و سازه‌های بتنی زیادی در زمانی نه چندان طولانی دچار خوردگی و خرابی گشته‌اند. بررسی‌ها در این مناطق نشان می‌دهد که اگر مصالح مناسب انتخاب گردد، بتن با مشخصات فنی ویژه این مناطق طرح گردد، در اجرای بتن از افراد کاردان استفاده شود و سرانجام اگر عمل‌آوری کافی و مناسب اعمال شود، بسیاری از مسائل بتن

برطرف خواهد گشت. بهر حال برای پیشگیری در سالهای اخیر روشها و موادی توصیه و بکار گرفته شده است که تا حدی جوابگوی مساله بوده است.

استفاده از آرماتورهای ضدزنگ و نیز آرماتورهای با الیاف پلاستیکی FRP یکی از این روشها است که بعلاوه گرانیت آن هنوز کاملاً توسعه نیافته است. بعلاوه عملکرد درازمدت این مواد باید پس از تحقیقات روشن گردد.

از روشهای دیگر کاربرد حفاظت کاتدیک در بتن می باشد. با استفاده از جریان معکوس و با آند قربانی شونده می توان محافظت خوبی برای آرماتورها ایجاد نمود. این روش نیاز به مراقبت دائم دارد و نسبتاً پرخرج است ولی روش مطمئنی می باشد.

برای محافظت آرماتور در مقابل خوردگی چند سالی است که از آرماتور با پوشش اپوکسی استفاده می شود. تاریخچه مصرف این آرماتورها بویژه در محیطهای خورنده نشان می دهد که در بعضی موارد این روش موفق و در پاره ای ناموفق بوده است. بهر حال اگر پوشش سالم بکار گرفته شود با این روش می توان حدود ۱۰ تا ۱۵ سال خوردگی را عقب انداخت.

استفاده از ممانعت کننده ها و بازدارنده های خوردگی در بتن نیز به دو دهه اخیر برمی گردد. مصرف بعضی از این مواد همچون نیترات کلسیم و نیترات سدیم جنبه تجارتي یافته است. بهر حال عملکرد این مواد در تأخیر انداختن خوردگی در تحقیقات آزمایشگاهی و نیز در محیطهای واقعی مناسب بوده است. بازدارنده های دیگری از نوع آندی و کاتدی مورد آزمایش قرار گرفته اند ولی بدلیل گرانی زیاد هنوز کاربرد صنعتی پیدا نکرده اند [۱۶].

برای محافظت بیشتر آرماتور و کم کردن نفوذپذیری پوششهای مختلف سطحی نیز روی بتن آزمایش و بکار گرفته شده است [۱۷]. این پوششها که اغلب پایه سیمانی و یا رزینی دارند با دقت روی سطح بتن اعمال می گردند. عملکرد دوام این پوششها به شرایط محیطی وابسته بوده و در بعضی محیطها عمر کوتاهی داشته و نیاز به تجدید پوشش بوده است. رویهمرفته پوششهای با پایه سیمانی هم ارزاتر بوده و هم بعلاوه سازگاری با بتن پایه پیوستگی و دوام بهتری در محیطهای خورنده و گرم نشان می دهند.

نتیجه گیری

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی بویژه در تولید بتن های خاص برای مناطق و شرایط خاص می توان از این بتن ها در ساخت و سازهای آینده استفاده نمود. دانش استفاده صحیح از مصالح، اجرای مناسب و عمل آوری کافی می تواند به دوام بتن ها در مناطق خاص بیفزاید. تحقیقات گسترده و دامنه داری برای بررسی دوام بتن های خاص در شرایط ویژه و در درازمدت بایستی برنامه ریزی و بصورت جهانی به اجرا گذاشته شود.

مراجع

1. Ramezaniapour, A. A., et al., "Diagnosis of concrete structures and causes of deterioration in the marine environments", Symposium on Diagnosis of concrete or steel structures, Sendai, Japan, Aug. 1999.
2. Norwegian Standard NS3473, "Concrete Structure, Design Rules", Oslo, 1989.
3. Aitcin, P. C. and Lessard, M., "Canadian experience with air-entrained high performance concrete", Concrete International, Vol. 16, No. 10, 1994.

4. Malhotra, V. M., "Innovative applications of superplasticizers in concrete – A review", *Advances in concrete science and technology*, Proceedings, M. Collepardi Symposium, Rome, 1997.
5. Collepardi, M., "Superplasticizers and air-entraining agents – state of the art and future need", *Concrete technology: Past, Present, and Future*, SP144, American Concrete Institute, 1994.
6. Nagataki, S., "Present state of superplasticizers in Japan", 5th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, SP173, ACI, 1998.
7. Okamura, H., and Ozawa, K., "Mix design for self-compacting concrete", *Concrete Library International*, Japan, No. 25, Dec. 1995.
8. Yonezawa, T., "The contribution of fluidity improving technology of the widespread use of high strength concrete", *Concrete in the Service of Mankind*, editors, R. K. Dhir and P. C. Hewlet, E&FN SPON, 1996.
9. Aitcin, P. C., "High Performance Concrete", E&FN SPON, London, 1998.
10. Ramezaniapour, A. A., et al., "Performance of different pozzolanic cement concretes under cyclic wetting and drying", 6th CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolas in Concrete, SP178, Thailand, 1998.
11. Bremner, T. W., and Holm, T. A., "High performance lightweight concrete – a review", *ibid.*, pp. 1-20, 1997.
12. Ramezaniapour, A. A., Ekhlasi, M. R., Miyamoto, A., "Influence of silica fume and different aggregates on the abrasion of concrete", *International Congress on Creating with Concrete*, Dundee, Scotland, 1999.
13. Konig et. al., "New concepts for high performance concrete with improved ductility", *Proceedings of the 12th FIP congress on challenges for concrete in the next millennium*, Netherlands, 1998.
14. Nanni, A., "Fiber-reinforced plastic (FRP) reinforcement for concrete structures: Properties and applications", Elsevier, London, 1993.
15. Taerwe, L., "Non-Metallic (FRP) reinforcement for concrete structures", *RILEM Proceedings*, No. 29, E&FN Spon, London, 1995.
16. Berke, N. S., "Worldwide review of corrosion inhibitors in concrete", *Advances in concrete technology*, CANMET, Ottawa, 1994.
17. Swamy, R. N., "Surface coatings to preserve concrete durability", *Protection of concrete*, Chapman and Hall, 1990.