

بتن‌های توانمند و ویژه

مهندس کیومرث کریمی^۱

چکیده

هدف از مقاله اخیر عنوان نمودن پاره‌ای از دستاوردهای اخیر در بتن و بتن مسلح و ادامه راه در سالهای آینده می‌باشد. در این خصوص به تحول دستیابی به بتن‌های با مقاومت زیاد و بسیار زیاد و بالاتر از 100 MPa و همچنین بتن‌های توانمند با عملکرد بالا خواهیم پرداخت. همچنین کاربرد مواد مختلف و الیاف‌ها برای افزایش نرمی بتن که مسأله بسیار مهمی در پدیده زلزله و بارهای دینامیکی بر روی سازه‌های بتنی است، بیان خواهد شد. در ادامه به بتن‌هایی که بسیار کارا بوده و نیاز به لرزاندن نداشته و در عین حال مقاومت زیادی دارند، اشاره خواهد شد. در بخش دیگری از مقاله کاربرد بتن بعنوان راه حلی برای کاهش آلودگی محیط زیست توضیح داده خواهد شد. در بخش پایانی آخرین نتایج و کاربرد محدود آرماتورها با جنسیت‌های مختلف از جمله الیاف کربنی، پلیمری و پلاستیکی شده است.

لغات کلیدی: بتن پلیمری - بتن خودمترکم - طرح اختلاط بتن - الیاف کربنی - رزین اپوکسی

مقدمه

سالهای زیادی است که بتن بعنوان یک ماده ساختمانی مهم در ساخت و سازه‌های بتنی چون ساختمانها، سدها، پلها، تونلها، راهها، اسکله‌ها و برجها و سازه‌های خاص دیگر کاربرد دارد. در اکثر موارد به بتن بعنوان ماده‌ای مقاوم در برابر نیروهای فشاری نگریسته می‌شده است. انجام پروژه‌های وسیع تحقیقاتی بر روی مواد مختلف تشکیل دهنده بتن و آزمایش بتن‌های مختلف با مواد جدید در سالهای آخر قرن اخیر منجر به پیدایش بتن‌هایی شده است که علاوه بر تأمین مقاومت خواص دیگری از این ماده نظیر دوام، کارایی، نرمی و مقاومت در برابر عواملی چون آتش و محیط و هوازگی را دستخوش تغییرات اساسی نموده است. علاوه بر دگرگونی و تحول در مواد تشکیل دهنده بتن، افزودن مواد دیگری به بتن همچون افزودنیهای مختلف، انواع الیاف‌ها و حتی مواد زائدی که ارزش خاصی نداشته و باعث آلودگی محیط زیست نیز می‌شوند، موجب پیدایش بتن‌های جدید با خواص جدید و بهبود یافته شده است.

در بتن مسلح علاوه بر خود بتن بر روی آرماتور نیز تحولاتی صورت پذیرفته است. بعنوان مثال کاربرد فولادهای ضد زنگ برای مناطق بسیار خورنده، استفاده از آرماتورهای ساخته شده با الیاف‌های مختلف پلاستیکی و پلیمری از جمله تحقیقاتی بوده است که نتایج اولیه سودمندی بدست داده است، لیکن کار بر روی آنها و تحقیقات وسیع تر و دراز مدت برای بررسی دوام آنها هنوز ادامه داشته و به قرن آینده خواهد رسید.

از بتن بعنوان یک ماده ساختمانی مهم و با تحمل فشارهای بالا جهت ساخت و ساز انواع سازه‌ها استفاده می‌شود. ضعف این ماده مهم و پر مصرف ساختمانی در مقابل کشش با قرار دادن آرماتور تا حد زیادی جبران شده است. در سالهای اخیر و با بررسی دوام سازه‌های بتنی مسلح بویژه در مناطق خورنده و سخت برای بتن نظر اکثر

کارشناسان و دست‌اندرکاران کارهای بتنی به این مسأله جلب شده است که مقاومت به تنهایی نمی‌تواند جوابگوی کلیه خواص مربوط به بتن بخصوص دوام آن باشد و لازم است در طراحی بتن برای مناطق مختلف علاوه بر مسأله مقاومت و تحمل بارها در طول مدت بهره‌دهی، پایایی و دوام آن نیز مد نظر قرار گیرد. در حال حاضر با اضافه نمودن مواد مختلف بتن و تغییرات در طرح اختلاط می‌توان به بتن‌هایی دست یافت که بدون تغییر قابل ملاحظه در مقاومت آنها از نقطه نظر دوام به بتن‌هایی با دوام بالا دست یافت. مسأله محیط زیست و آلودگی آن نیز در سالهای اخیر نظر جهانیان را بخود معطوف ساخته است. کاربرد مواد و مصالحی که در ساخت آن آلودگی کمتری به محیط منتقل گردد و همچنین برداشت مصالح طبیعی که کمتر محیط را تخریب نماید، مورد توجه خاص قرار دارد. در این راستا محدودیت کاربرد سنگدانه‌ها، دستیابی به مواد جدید و نیز استفاده از مواد زائد کارخانه‌ها و آلاینده‌های محیط زیست در بتن در رأس برنامه‌های تحقیقاتی پاره‌ای از کشورهای جهان قرار گرفته است.

علاوه بر خود بتن و مصالح تشکیل‌دهنده آن در سالهای اخیر بر روی آرماتور مصرفی در سازه‌های بتنی مسلح نیز تحولاتی صورت گرفته است. بعنوان مثال و برای پرهیز از خطر خوردگی آرماتور، از فولادهای ضد زنگ و نیز آرماتورهای ساخته شده با الیاف مختلف پلاستیکی و پلیمری در محیط‌های بسیار خورنده استفاده می‌شود. کار بر روی عملکرد دراز مدت چنین موادی هنوز ادامه دارد.

در مقاله اخیر به چند مورد از بتن‌های جدید که چند سالی است از آنها در صنعت ساخت و ساز برای سازه‌های بتنی استفاده می‌شود اشاره شده و مواد جدید مورد استفاده در بتن که تحقیقات روی آنها هنوز ادامه دارد، نیز بیان خواهد شد. بعنوان مثال بتن‌های با مقاومت زیاد و بتن‌های توانمند و با عملکرد بالا در این خصوص جایگاه ویژه‌ای دارند. کاربرد الیاف و مواد مختلف در بتن برای افزایش نرمی آن و مقاومت در مقابل بارهای ضربه‌ای و نیروهای ناشی از زلزله مورد دیگری از بتن‌های خاص می‌باشد. با نگرشی عمیق به مسأله دوام بتن و ضمن تأمین مقاومت لازم، کاربرد بتن‌های با کارایی بالا که اجرای آن را نیز آسان می‌سازد در برنامه کار مراکز بسیاری قرار گرفته و برخی از این بتن‌ها با اضافه کردن افزودنیهای مختلف به آنها، اینک وارد صنعت بتن شده‌اند.



نمایی از بتون توانمند و ضد سایش و با دوام در برابر عوامل جوی و ضد سولفات تصفیه خانه سد بانه

بتن با مقاومت زیاد

امروزه بر اساس تکنولوژی رایج بتن، ساخت بتن‌های با مقاومت‌های فشاری زیاد و دور از انتظار که می‌تواند برای طراحی سازه‌های اجرایی رایج مورد استفاده قرار گیرند، امکان پذیر می‌باشد. اگر چه اغلب آیین‌نامه‌های بتن هنوز مقاومت بتن مورد استفاده در سازه‌ها را به 60 MPa محدود می‌کنند، اما آیین‌نامه‌های جدید اخیراً حدی بالاتر از 105 MPa را نیز در نظر گرفته‌اند [۱]. ساخت بتن‌های با مقاومت زیاد و در حد 120 MPa و کاربرد آن در ساختمان‌های بلند در کشورهای پیشرفته دنیا رواج یافته است. این مقاومت با اضافه نمودن مواد ریز و فعال به سیمان تا حدی افزایش یافته که بتن‌هایی با مقاومت‌های فشاری بین 200 MPa و 800 MPa و مقاومت‌های کششی بین 30 MPa و 150 MPa در نمونه‌های آزمایشگاهی بدست آمده است. برای دستیابی به چنین مقاومت‌هایی لازم است تغییراتی در طرح اختلاط داده و از مواد و افزودنی‌های جدیدی استفاده نمود.

از عوامل مهم در رسیدن به چنین مقاومت‌هایی استفاده از سنگدانه‌های مقاوم و کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در مخلوط بتنی برای همگنی بیشتر آن می‌باشد. همچنین با استفاده از مواد بسیار ریزدانه و با اندازه‌های کمتر از دهم میکرون می‌توان مجموعه‌ای متراکم‌تر و با تخلخل بسیار کم که بالاترین وزن مخصوص را خواهد داشت، تهیه نمود. در بتن‌های با مقاومت زیاد بایستی تا حد ممکن نسبت آب به سیمان (w/c) را کاهش داد (امروزه حتی نسبت $w/c = 0/18$ استفاده شده است) که در این حالت بعضی دانه‌های سیمان هیدراته نشده بصورت مواد ریزدانه پرکننده، دانسیته را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش مقاومت می‌شوند. بدیهی است برای تأمین کارایی چنین مخلوط‌هایی با آب بسیار کم لازم است از روان‌کننده‌ها، فوق‌روان‌کننده‌ها و پخش‌کننده ذرات ریز در بتن استفاده نمود. برای افزایش نرمی چنین بتن‌هایی (با افزایش مقاومت شکنندگی و تردی بتن افزایش می‌یابد) می‌توان به آنها الیاف‌های کوتاه اضافه نمود. در ساخت چنین بتن‌هایی (مقاومت در حد فولاد و بالاتر) از روش‌های سخت شده تحت فشار و دما برای عمل آوری بتن و تأمین مقاومت اولیه زیاد استفاده می‌گردد.

جدول ۱- مشخصات بتن بکار رفته در یک ساختمان بلند در مونترال کانادا

خواص بتن	طرح اختلاط
اسلامپ ۲۵۰ میلی‌متر	نسبت آب به سیمان ۰/۲۵
درصد هوا ۴/۴ درصد	آب ۱۳۵ لیتر
مقاومت فشاری ۷ روزه ۷۷ مگاپاسکال	سیمان نوع ۱ ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب
مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۹۲/۳ مگاپاسکال	دوده سیلیس ۳۰ کیلوگرم در متر مکعب
مقاومت فشاری ۹۰ روزه ۱۰۶ مگاپاسکال	شن با حداکثر اندازه ۱۰ میلی‌متر ۱۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب
مقاومت فشاری یکساله ۱۱۹/۴ مگاپاسکال	ماسه طبیعی ۷۰۰ کیلوگرم در متر مکعب
	دی‌ریگر کننده ۱/۸ لیتر در متر مکعب
	فوق روان کننده ۱۴ لیتر در متر مکعب

بتن‌های با کارایی بسیار زیاد (بتن خود متراکم)

امروزه در بعضی کشورهای جهان و بویژه در ژاپن بتن جدیدی با کارایی بسیار بالا که نیاز به لرزاندن نداشته و خودبخود متراکم می‌گردد ساخته شده و در برخی پروژه‌ها اجرا شده است. با داشتن کارایی بسیار زیاد این بتن در اجرا، خطر جدایی سنگدانه‌ها و خمیر را نداشته و در عین حال از مقاومت زیاد و دوام نسبتاً بالایی برخوردار است. در طرح اختلاط این بتن، موارد زیر در نظر گرفته شده است.

میزان شن در این بتن حدود ۵۰ درصد حجم مواد جامد بتن بوده و در آن ماسه به میزان ۴۰ درصد حجم ملات استفاده شده است. نسبت آب به مواد ریزدانه و پودری بر اساس خواص مواد ریز بین ۰/۹ تا ۱ انتخاب می‌شود. برای تعیین میزان نسبت آب به سیمان و مقدار فوق روان کننده مخصوص مصرفی با استفاده از روش میز روانی، مقدار بهینه با آزمون و خطا تعیین می‌گردد.

بتن با سنگدانه بازیافتی

امروزه با توجه به پیشرفت جمعیت و مشکل فضا در شهرهای بزرگ برای ساخت و ساز لازم است ساختمان‌های قدیمی بتنی تخریب و بجای آن ساختمان‌های بلند جدید احداث شوند. در کشور ژاپن و چند کشور اروپایی که زمین و فضای لازم برای ایجاد بنا ارزش ویژه‌ای دارد و همچنین برای جلوگیری از مسائل محیط‌زیستی که از تخریب ساختمانها ناشی می‌شود و کاربرد مصالح آن در بنای جدید تحقیقات وسیعی در ساخت بتن با سنگدانه بازیافتی (خوردن بتن قدیم و استفاده از آن بعنوان سنگدانه در بتن جدید) در حال انجام است. بعنوان مثال در کشور هلند هر سال حدود ۱۰ میلیون تن مصالح ناشی از تخریب ساختمان‌های بتنی که حدود ۱/۳ حجم بتن مورد نیاز در ساخت ساختمانهاست، تولید می‌شود. قرار است نیمی از این مصالح در بتن‌های جدید استفاده شوند. در حال حاضر تحقیقات روی میزان جمع‌شدگی و خزش و دوام این بتن‌ها ادامه دارد تا در قرن بیست و یکم کاربرد وسیع‌تر آن را امکان‌پذیر سازد.

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 ۱ عملکرد یک تیر خمشی با الیاف را در تحمل خیزهای زیاد در مقایسه با بتن بدون آرماتور نشان می‌دهد.

بتن با الیاف مختلف در سالهای اخیر در سازه‌های عمده‌ای چون روسازی راهها و فرودگاه‌ها، بتن 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 چند تکه پیش ساخته اجرا می‌شود از بتن بدون آرماتور و تنها الیاف استفاده شده و این نوع بتن سبب حذف ترکها در حین عمل‌آوری و حمل و نقل 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 غیر قابل 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 مگاپاسکال می‌باشد. از این قطعات نه تنها می‌توان 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 زمانی کوتاه استفاده نمود .

آرماتورهای غیرفولادی در بتن

در سالهای اخیر استفاده محدودی از آرماتورهای غیرفلزی آغاز گشته است هر چند تحقیقات بر روی کاربرد وسیع تر آنها و عملکرد دراز مدت 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 شده اند. در جدول ۲ خواص مکانیکی چند آرماتور الیافی که کاربرد پیدا کرده‌اند، آورده شده است. در شکل ۲ میله‌های پلاستیکی ساخته شده با الیاف مختلف و فولادهای پیش تنیدگی از نقطه نظر منحنی‌های تنش-کرنش با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول - خواص مکانیکی الیاف‌های مختلف

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

خاصیت عمده این آرماتورها که سبب کاربرد آنها شده است، مقاومت در برابر خوردگی آنهاست که می‌تواند در محیط‌های بسیار خورنده دوام دراز مدتی داشته باشند. علاوه بر این مقاومت بالا، مقاومت به خستگی بالا، ظرفیت بالای تغییر شکل 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 .

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 بارزین‌های اپوکسی به نواحی کششی از خارج اتصال داده می‌شوند. 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 .

بتن‌های ابداعی

در بعضی موارد با تغییر در مواد تشکیل دهنده بتن و با روش‌های ابداعی می‌توان پاره‌ای از خواص نامطلوب بتن را حذف نمود. این امر منجر به پیدایش بتن‌های خاص با خواص ویژه‌ای می‌گردد. بعنوان مثال تغییراتی است که می‌توان در ترکیب بتن‌های با مقاومت زیاد که این روزها کاربرد بیشتری پیدا می‌کنند را نام برد. بتن‌های با مقاومت بالا معمولاً با سیمان زیاد و نسبت آب به سیمان کم و اضافه و جایگزین نمودن سیمان با دوده سیلیس

ساخته می‌شوند. در حین عمل هیدراسیون سیمان و سخت شدن این بتن‌ها چون آب داخل بتن کافی نیست، مقداری آب از سطح خارجی به قسمت داخلی برای تکمیل عمل فوق می‌رسد. بنابراین بتن‌های با مقاومت زیاد در ساعت اولیه سخت شدن دچار جمع‌شدگی ذاتی قابل ملاحظه‌ای می‌شوند. ممکن است اثرات منفی دیگری نظیر حساسیت به ترک خوردگی بیشتر در این بتن‌ها مشاهده شود. این معایب را می‌توان با روش ساده‌ای برطرف نمود. در یک عمل ابداعی می‌توان حدود ۲۵ درصد از حجم سنگدانه را با سنگدانه سبک وزن قبلاً خیس شده جایگزین نمود. این سنگدانه‌ها باعث ایجاد ذخیره آب در بتن شده و محیطی با عمل‌آوری مرطوب فراهم می‌سازند. نتیجه اضافه کردن سنگدانه پیش اشباع شده به بتن با مقاومت زیاد، کاهش جمع‌شدگی ذاتی و کم شدن و حذف ترکهای مویی خواهد بود. همچنین تراکم و دانسیته بالای بتن‌های با مقاومت زیاد سبب کاهش مقاومت در برابر آتش این بتن‌ها می‌شود که بعنوان یک عیب محسوب می‌شود. در دمای بالا آب شیمیایی خمیر سیمان بخار شده ولی به علت متراکم بودن بتن با مقاومت زیاد نمی‌تواند از آن خارج شود. در نتیجه پوشش بتنی بصورت ورقه جدا شده و ظرفیت بارپذیری ستون کاهش می‌یابد. در یک کار ابداعی می‌توان الیاف پروپیلنی به بتن اضافه نمود. در دمای بالا الیاف ذوب شده و کانالهایی برای فرار و خروج بخار آب از بتن فراهم می‌سازند و از ورقه شدن بتن جلوگیری بعمل می‌آورند.

نتیجه‌گیری

در سالهای اخیر تحول عظیمی در تکنولوژی بتن و پیدایش بتن‌های جدید صورت گرفته است. این تحولات به پیدایش بتن‌های با مقاومت بسیار زیاد، بتن‌های با نرمی بالا، بتن‌های با آرماتورهای غیرفلزی، بتن با کارایی بسیار زیاد، بتن با سنگدانه‌های باز یافتی و بتن‌های ابداعی منجر شده است. باید اذعان نمود که نتایج تحقیقات سالهای آخر قرن حاضر و ادامه آنها در قرن جدید می‌تواند نگرش تازه‌ای به بتن بعنوان یک ماده ساختمانی پرمصرف بدهد. این نتایج منجر خواهد شد تا دیدگاه بتن بعنوان تنها یک ماده با مقاومت فشاری خوب به کلی دگرگون شده و خواص جدید بتن‌های نوین نظر اکثر دست‌اندرکاران پروژه‌های عظیم عمرانی را در جهان بخود معطوف سازد.

پی‌نوشت:

۱- کارشناس عمران معاونت عمرانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان اصفهان

۲- آدرس پست الکترونیکی karimi_solbsazeh@yahoo.com

فهرست مراجع

- [1] “Norwegian standard NS3473, concrete structures, Design rules”, Oslo, 1989.
- [2] H. Okamura, “Self compacting high performance concrete”, Ferguson Lecture at ACI convention (New Orleans), November 1996.
- [3] H. Okamura and K.Ozawa, “Mix design for Self compacting concrete”, Concrete library international, Japan, No. 25, Dec. 1995.

[4] G. König 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, pp. 49-53.

[5] A. Nanni, “Fiber-reinforced plastic (FRP) reinforcement for concrete structures: properties and applications”, Elsevier, London, 1993.

[6] Taerwe, “Non-Metallic (FRP) reinforcement for concrete structures”, RILEM proceedings, No. 29, E & FN Spon, London, 1995.

[7] R. Breitenbücher, “High strength concrete C 105 with increased fiber resistance due to polypropylene fibers”, 4th international symposium on the utilization of high strength-high performance concrete, Paris, May 1996, pp 571-577.