فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۴۲-۳۳
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عنوان مقاله: بررسی تاثیر استفاده از بتنهای پر مقاومت بر رفتارسازه ها در زمان زلزله دوره ۷/ شماره ۱ / بهار ۱۴۰۲/ ص ۴۲- ۳۳

بررسی تاثیر استفاده از بتنهای پر مقاومت بر رفتارسازه ها در زمان زلزله

محمد صیادی
فوق لیسانس عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

چکیده

مقاومت بتن به عنوان یک پارامتر مهم می تواند نقش مهمی در رفتار و عملکرد سازه داشته باشد. لذا استفاده از بتن پرمقاومت می تواند موجب بهبود و رفتار عملکرد سازه شود، البته این به عنوان یک فرض می باشد که باید با آزمایش و مدلسازی دقیق بررسی شود. در این مقاله به بررسی تاثیر استفاده از بتنهای پر مقاومت بر رفتارسازه ها در زمان زلزله پرداخته شده است. . امروزه بتن یکی از مهمترین مصالح ساختمانی است که با توجه به قابلیت تنوع و فراوانی خودء در صنعت ساختمانی جایگاه ویژه‌ای دارد. استفاده از بتن‌های مقاومت بالا در اکثر کشورهای جهان به جای بتن معمولی امری بدیهی است. بطوری که بسیاری از کشورها ساخت سازه های مهم را با بتن معمولی ممنوع اعلام کرده‌اند. در چند دهه اخیر دستیابی به مقاومت بالا در بتن از اهمیت بسیاری برای مهندسان و محققان حوزه ساخت و ساز بوده است. با توجه به اهمیت مقاوم سازی لرزه ای ساختمان ها در مناطق لرزه خیز بهبود خواص بتن از جایگاه ویژه ای برخوردار است. با در نظر گرفتن این امر که ساختمانهای بتن آرمه عموما براساس آیین نامه های قدیمی بدون در نظر گرفتن اثر نیروهای زلزله طراحی و ساخته شده اند، لزوم مقاوم سازی ساختمانها با استفاده از مواد با مقاومت بالا ضروری است. در حال حاضر، بر اساس تکنولوژی رایج بتن، ساخت بتنهای با مقاومت فشاری بالا و دور از انتظار که برای طراحی سازه های کاربردی رایج مورد استفاده قرار گیرند، امکانپذیر است.

کلمات کلیدی: بتنهای پر مقاومت ، رفتارسازه ها ،زمان زلزله

مقدمه

کشور ایران با قرار داشتن در کمربند لرزه خیز آلپ هیمالیا، از نظر خطر زمین لرزه، از جمله کشورهای آسیب پذیر جهان به شمار می آید. با وجود اینکه در سال‌های اخیر هزینه‌های زیادی در مراکز تحقیقاتی دنیا برای شناسایی دقیق نیروی زلزله به منظور کاهش خسارات مالی و جانی ناشی از آن صورت گرفته است، همچنان نیاز روزافزون به افزایش سرمایه گذاری جهت تحقیق بر روی اثرات ناشی از این واقعه‌ی طبیعی در مقیاس تئوری و آزمایشگاهی احساس می‌شود. افزایش بهره برداری از ساختمان‌های بلند مسکونی و تجاری باعث افزایش تلفات جانی و خسارات مادی در نواحی زلزله زده می‌شود(۱).

.یکی از موضوع هایی که بیشتر شهرهای جهان با آن دست به گریبانند، موضوع سوانح طبیعی است. سوانح طبیعی (بویژه زلزله) که اغلب خاموش و در عین حال بالقوه مستعد ایجاد آسیب هستند، به طور متوسط سالانه بیش از ۱۵۰۰۰۰ نفر تلفات جانی و بیش از ۱۴۰ میلیارد دلار خسارت مالی در کشورها بویژه کشورهای در حال توسعه به بار می آورند. در این میان، کشور ایران از کشورهای حادثه خیز دنیا بوده چنانکه در چند دهه قبل (زلزله بوئین زهرا، ۱۳۴۲ تا زلزله بم، (۱۳۸۲ به موجب وقوع این دست حوادث متحمل خسارات (جانی و مالی) وسیعی شده است. در انواع سازه های خاکی و یا مستحدثاتی که بر روی خاک بنا می شوند, مهندسین ژئوتکنیک با طیف متنوعی از خاکها روبرو هستند. این طیف گستره وسیعی از خاکهای چسبنده تا دانه ای را پوشش می دهد به طوری که خاکهائی با خصوصیات بین این دو نوع خاک از وسعت بیشتری در طبیعت برخوردارند. مورن که از مصالح با منشا یخچالی است مثال مناسبی از مصالح مخلوط می باشد. رس های مخلوط از انواع دیگر مصالح مخلوط می باشند که دارای دانه بندی گسترده ای بوده و در برگیرنده مصالحی مانند رس، ماسه، شن و حتی قلوه سنگ می باشد. به علت استفاده وسیع از رس های مخلوط در هسته سدهای خاکی، شفیعی (۲۰۰۰) مطالعات جامعی برای تعیین خواص تغییر شکل تناوبی این خاک ها انجام داد. این خواص شامل مدول برشی، نسبت میرائی و فشار آب منفذی می باشد. از سوئی دیگر شبکه های عصبی مصنوعی در سالیان اخیر کاربرد های موفقیت آمیزی در حل مسائل مهندسی ژئوتکنیک داشته اند. بر همین اساس هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تاثیر استفاده از بتن های پر مقاومت بر رفتار سازه ها در زمان وقوع بحران با تاکید بر وقوع زلزله با استفاده از روش توصیفی- تحلیلی می باشد. نتایج پژوهش نشان می دهد مروری بر پژوهش های گذشته که در حدود ۱۵ سال انتشار یافته اند گواهی براین عملکرد موفق درطیف وسیعی از مسائل مهندسی ژئوتکنیک می باشد. این طیف شامل پیش بینی ظرفیت شمع ها، مدلسازی رفتار خاکها، بررسی پایداری شیب ها، نشست فونداسیونها، طبقه بندی خاک ها، روانگرائی، طراحی تونل ها و بازشوهای زیر زمینی و طراحی سازه های حائل خاک می باشد. در این بین بهترین عملکرد شبکه های عصبی در مورد پیش بینی ظرفیت شمع ها، روانگرائی و مدلسازی رفتار خاکها مشاهده شده است.(۲).

با توجه به اهمیت مقاوم سازی لرزه ای ساختمان ها در مناطق لرزه خیز بهبود خواص بتن از جایگاه ویژه ای برخوردار است. با در نظر گرفتن این امر که ساختمانهای بتن آرمه عموما براساس آیین نامه های قدیمی بدون در نظر گرفتن اثر نیروهای زلزله طراحی و ساخته شده اند، لزوم مقاوم سازی ساختمانها با استفاده از مواد با مقاومت بالا ضروری است. بتن پرمصرف ترین مصالح ساختمانی است و در اغلب کشورهای جهان نسبت مصرف بتن به فولاد از ۱۰ به ۱ نیز فراتر رفته است. تنها ماده ای را که بشر به این میزان مصرف می کند، آب است. بتن دارای مزایایی از قبیل مقاومت عالی در برابر آب، سهولت شکل دهی در اشکال گوناگون، ارزان و در دسترس بودن مصالح اولیه است. همچنین در مقایسه با فولاد نیاز به نگهداری کمی داشته، مقاومت مناسبی در دماهای بالا از خود نشان داده، و به دلیل اینکه تحت میدان‌های تنش موضعی کمتری قرار دارد، خستگی مشکل مهمی برای آن محسوب نمی‌شود(۳).

علی رغم مزایای مذکور برای بتن، به علت وجود مواد مختلف در بتن و نیز اندرکنش این مواد به ویژه در ناحیه بین سنگدانه ها و خمیر سیمان، هنوز در این ماده و محصول نهایی حاصل از ساخت آن پیچیدگی ها و نادانسته های فراوانی وجود دارد. سازه های بتنی در بعضی موارد پاسخگوی نیازهای بهره برداری نخواهند بود. از جمله نواقص سازه های بتنی می توان به مقاومت کششی کم، خوردگی فولاد، سهولت ایجاد و گسترش ترک، و وزن زیاد آنها اشاره کرد.

تلاش محققان صنعت ساختمان همواره بر رفع نواقص سازه های بتنی بوده است و روش های مختلفی برای این منظور ارائه داده اند که در زیر به چند نمونه از آن ها اشاره می شود:

۲-میلگردهای FRP برای جلوگیری از خوردگی و افزایش مقاومت و افزایش میرایی: استعداد خوردگی فولاد در برابر شرایط محیطی قلیایی که در سازه های بتن آرمه در معرض آب دریا استفاده می شود، باعث گردیده است که استفاده از FRP بعنوان جایگزین آن مطرح شود. مقاومت خوردگی و کششی مواد کامپوزیت می‌تواند تا چهار برابر فولاد باشد. این مواد به دلیل بالا بودن ضریب میرایی آنها که ناشی از خواص غیرکشسان آنها است انرژی جذب شده را میرا می‌کنند.

-استفاده از فایبرها برای افزایش مقاومت کششی و کاهش عرض ترک ها: الیاف دراندازه ها و اشکال مختلف و از جنس فولاد، خمیری، شیشه و مواد طبیعی مورد استفاده قرار می گیرند. استفاده از الیاف با حجم و اندازه های متفاوت در ملات، تا حدی باعث افزایش مقاومت کششی نهایی شده ولی کرنش کششی در هنگام گسیختگی در این نوع از بتن ها در مقایسه با انواع معمولی بسیار بیشتر است که این بدلیل جلوگیری از باز شدن ترکها و تبدیل یک ترک بزرگ به چندین ترک کوچک می‌باشد.

-استفاده از بتن های سبک برای کاهش وزن کلی سازه: در مقایسه با فولاد، پائین بودن نسبت مقاومت به وزن بتن، برای ساخت برج ها و دهانه های بزرگ پل ها و سازه های شناور به عنوان یک مشکل اقتصادی محسوب می شود. برای افزایش نسبت مقاومت به وزن بتن، یک راه حل مناسب، استفاده از سنگدانه‌های سبک مانند لیکا بجای سنگدانه‌های معمولی است که تا کنون با موفقیت در ساخت برج های تا چند ده طبقه در دنیا مورد استفاده قرار گرفته است.(۴).

بدیهی است مواد جدید نواقصی هم دارند، شامل تولید محدود و هزینه بالا، شکست ترد، نیاز به قلاب نمودن میلگردهای پلیمری در کارخانه و . . . که سبب کاهش استفاده از آن ها در سازه های بتنی در حال حاضر می شود. با توجه به رشد صنعت و تکنولوژی، استفاده ی روزافزون از این مصالح در آینده نزدیک، دور از انتظار نخواهد بود.

۳-تعریف بتن سبک

آئین نامه بتن سبک سازه ای را به این صورت تعریف می کند

"بتن سازه ای با سنگدانه های سبک، بتنی است که مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن بیش از ۱۷بوده و وزن مخصوص خشک شده در هوای آن از ۱۸۵۰بیشتر نباشد ".به این ترتیب وزن مخصوص آن ۲/۳ وزن مخصوص بتن معمولی است. حداکثر اندازه سنگدانه های سبک به محدود شده است.

سنگ دانه‌های با وزن کمتر از ۱۱۲۰ عموماً به عنوان سبک دانه در نظر گرفته می‌شود. جهت مقایسه، بیشتر سنگ دانه‌های معمولی نظیر ماسه و شن دارای جرم حجمی انبوهی در حدود ۱۵۲۰ تا ۱۶۸۰ می باشند. سبک دانه‌ها به دلیل تخلخل زیاد، دارای وزن مخصوص ظاهری کم هستند. طبقه بندی سبک‌دانه‌ها بر مبنای منابع، روش‌های تولید و کاربرد نهایی آنها می‌باشد.

به طور کلی خواص دانه‌های سبک و فرآورده‌های آن نظیر بتن‌های دانه سبک شامل رس‌های منبسط شده، پامیس، پرلیت و غیره را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود(۵)..

۱-وزن مخصوص کم: که بار مرده ساختمان را کاهش می‌دهد و در نتیجه مشخصات فیزیکی طراحی را تغییر می‌دهد.

۲-گرمابندی و صدابندی: این خاصیت ناشی از خلل و فرج موجود در دانه می‌باشد.

۳-مقاومت در مقابل آتش: معمولاً احتمال کمی وجود دارد که حرارت آتش از حرارت تولید این مصالح (حدود ۱۲۰۰) بالاتر رود.

۴-مقاومت کافی در مقابل یخ زدگی و ذوب مجدد.

۵- خنثی بودن از نظر شیمیایی.

۴- بررسی مقایسه‌ای سبک دانه‌ها

از ویژگی اساسی سبک دانه لیکا، بافت متخلخل به جای مانده از انبساط خاک رس که در نتیجه ایجاد و محبوس شدن گازها در جرم در دمای ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد به حالت خمیری روان در می آید، است. مقادیر کمی این ویژگی و حتی ظاهر دانه

ها بر حسب روش تولید با کوره ذوب نواری یا گردان می تواند متفاوت باشد. دانه های حاصل از کوره گردان دارای شکل تقریبا گرد و سطح زبر و ناهموارند. قشر خارجی آن ها دارای خلل و فرج ریز است. داخل دانه ها دارای بافت اسفنجی و سیاه رنگ است و رنگ پوشش خارجی بستگی به ماده معدنی، روش و کیفیت فرآوری دارد و اغلب نزدیک به رنگ های اخرایی و قهوه ای است. فضای بین دانه ها باعث ایجاد فضای خالی برابر ۷۳ تا ۸۸ درصد فضای کل می گردد. این میزان فضای خالی باعث خصوصیات مهمی چون وزن کم، رسانایی حرارتی پائین، افت صوتی، جلوگیری از نفوذ رطوبت و زهکشی می شود. همچنین بافت دانه ها و روش تشکیل آن ها سبب مقاومت در برابر آتش و دوام و پایداری شیمیایی می گردد

خواص سبک‌دانه‌های گوناگون به طور وسیع متغیر است. برای مثال مقاومت بتن ساخته شده با رس منبسط شده (Leca) و شیل منبسط شده ممکن است قابل مقایسه با بتن معمولی باشد. در عمل یک طیف کامل سبک دانه با چگالی ۸۰ تا ۹۰۰ وجود دارد.

سنگ دانه‌های خیلی متخلخل در انتهای سبک‌تر طیف، عموماً ضعیف است و برای ساخت بتن‌های عایق غیر سازه‌ای مناسب‌تر می‌باشد. در انتهای دیگر طیف سبک دانه‌هایی است که دارای تخلخل کمتر می‌باشد، چنانچه ساختار تخلخل، به صورت منافذ ریز و با توزیع یکنواخت باشد، در این صورت سبک‌دانه واجد استحکام بوده و لذا مناسب برای بتن‌های سازه‌ای است(۶).

۵- بتن سیمانی

بتن شامل یک بایندر چسبنده سیمانی همراه با سنگدانه است که برای سخت شدن به آب نیاز دارد. خواص مکانیکی بتن متأثر از خواص ترکیبات سیمان، نوع و دانه بندی سنگدانه، مقدار و کیفیت آب، حرارت، رطوبت و عمل آوری است. هیدراته شدن ذرات سیمان در مجاورت آب موجب تشکیل شبکه ای سخت و محکم گشته که سنگدانه ها را احاطه می کند [۴]. در ادامه مطالبی در مورد اجزاء تشکیل دهنده و خصوصیات مقاومتی بتن سیمانی به اختصار بیان می شود.

سیمان: سیمان از مخلوط مواد آهکی با موادی شامل اکسیدهای سیلیس ، آلومینیوم و آهن (مانند رس) و پختن آنها تا مرحله کلینگر بدست می آید. تر کیبات سیمان در مجاورت آب هیدراته شده و تولید C3S2H3[7] و هیدروکسید کلسیم[۸] می کنند.ترکیب C3S2H3 عامل اصلی گیرش سیمان می باشد.

سنگدانه: حدود ۷۵٪ حجم بتن را تشکیل می دهد. سنگدانه ها بر اساس نوع کانی های تشکیل دهنده، شکل ظاهری و بافت سطحی در گروههای مختلف طبقه بندی می شوند. با توجه به اینکه تنش های وارد بر سطح تماس یک دانه ممکن است بالاتر از تنش فشاری وارده باشد مقاومت لازم برای سنگدانه ها باید از مقاومت بتن بالاتر باشد (مقاومت یک سنگدانه مناسب تا حدود 80 MPaمی رسد). وجود مواد آلی، ناخالصی های نمکی و رس یا ذرات بسیار ریز در سنگدانه بر بتن تأثیر منفی دارد.

آب: به منظور هیدراته شدن سیمان و ایجاد گیرش بکار می رود و نیز بر کارایی و ایجاد تراکم بهتر مؤثر است. آبی که pH آن بین ۶ تا ۸ بوده و طعم شوری نداشته باشد برای استفاده در بتن مناسب است. آب داخل بتن به سه بخش : آب ترکیب ، آب ژلی و آب حفرات موئینه تقسم می شود. با افزایش نسبت آب به سیمان بر حفرات موئینه افزوده شده که این افزایش حفرات موجب کاهش مقاومت بتن می شود.

پوزولان: به موادی که به تنهایی خاصیت گیرش و سیمانی شدن ندارند اما در مجاورت آب با هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراتاسیون واکنش داده و ترکیباتی با خاصیت سیمانی تشکیل می دهند اطلاق می شود. خاکسترهای آتشفشانی، رس پخته و خاکستر بادی از جمله پوزولان هایی هستند که در بتن استفاده می شوند.

۶-خصوصیات بتن سیمانی (بتن سیمان پرتلند)

مقاومت های فشاری: تقریباً کلیه خواص بتن مرتبط با مقاومت فشاری بتن است و با افزایش مقاومت فشاری، مقاومتهای کششی، خمشی، سایش، خستگی، نفوذپذیری و ... بتن بطور غیر خطی افزایش می یابد. بنابراین مقاومت فشاری معیار خوبی برای بیان کیفیت بتن است. مقاومت در بتن تابع زمان است و با گذشت زمان افزایش می یابد که این افزایش در ابتدا سیر صعودی بیشتری دارد. برای نمونه ها با ترکیبات سیمانی مختلف مقاومت های بدست آمده در زمانهای برابر متفاوت است. مثلاً [۹ C3A]موجب

افزایش مقاومت سنین اولیه بتن می شود اما این ترکیب در مجاورت سولفات تولید سولفو آلومینات کلسیم کرده که برای بتن مضر است به همین خاطر از این ترکیب در سیمان های ضد سولفات کمتر استفاده می شود و این عمل موجب دیر گیر شدن این تیپ از سیمان گشته است .

مقاومت کششی و خمشی: مقاومت کششی با افزایش مقاومت فشاری با نسبت کمتری افزایش می یابد. برای بتن با مقاومت پایین نسبت مقاومت کششی به فشاری حدود است که با افزایش مقاومت فشاری این نسبت کاهش می یابد [۴]. از عوامل مؤثر بر این نسبت رطوبت می باشد. مقاومت فشاری بتن در حالت خشک از مرطوب بیشتر می باشد ولی مقاومت کششی (مستقیم) تغییر چندانی نمی کند. هرچند مقاومت کششی مستقیم چندان تحت تأثیر سنگدانه ها قرار ندارد ولی مقاومت خمشی بتن با سنگدانه های گوشه دار افزایش می یابد. در بین روش های محاسبه مقاومت کششی روش خمشی مقاومت بیشتری را نسبت به روشهای مستقیم و اسپیرال بدست می دهد.(۸).

مدول الاستیسیته : تابعی از نوع سنگدانه، نسبت سنگدانه به سیمان و مقاومت بتن است. رطوبت موجب افزایش مدول الاستیسیته در حدود چند گیگا پاسکال می شود(بر خلاف مقاومت فشاری). محدوده ی مدول الاستیسیته بتن بین 15 GPa تا ۳۵ است که مقادیر بالای این بازه برای بتن های با مقاومت بسیار بالا است. در ضمن مدول الاستیسیته سنگدانه ها مانند شن و گرانیت حدود 40 GPa و بازالت و کوارتز گرد گوشه بیش از 80 GPa است .

مقاومت خستگی: هنگامی که بتن تحت تنشی حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد مقاومت کوتاه مدت قرار بگیرد پیوستن ترک های ریز در بتن به مرور زمان، موجب شکست بتن می شود(خستگی استاتیکی). همچنین اگر بتن تحت سیکل های بارگذاری قرار بگیرد مقاومت خستگی آن با افزایش تعداد سیکل کاهش می یابد که سرعت کاهش برای مقاومت خستگی فشاری بیشتر از کششی است(نسبت به مقاومت کوتاه مدت). با افزایش مقاومت فشاری بتن ساخته شده مقاومت خستگی آن افزایش می یابد. بتن تقریباً با یک میلیون سیکل بارگذاری در نصف مقاومت فشاری شکسته می شود.

مقاومت در برابر ضربه: اگرچه با افزایش مقاومت فشاری معمولاً مقاومت در برابر ضربه افزایش می یابد (در هر ضربه انرژی کمتری جذب می شود) ولی این مقاومت بیشتر متأثر از مقاومت کششی و بخصوص نوع سنگدانه است. بتن حاوی سنگدانه شکسته مقاومت بهتری را نشان می دهد. توجه به این نکته که با افزایش سرعت بارگذاری مقاومت نیز افزایش می یابد در آزمایشات نمونه های بتنی لازم است.

۷-جمع شدگی: جمع شدگی در اثر هیدراتاسیون و خشک شدن و کربناتاسیون ایجاد می شود. نسبت آب به سیمان، حجم خمیر سیمان به سنگدانه، نوع سنگدانه و میزان رطوبت در جمع شدگی قطعه بتنی تأثیر دارند. ماکزیمم جمع شدگی(خشک شدن و کربناتاسیون) یک قطعه بتنی معمول، به حدود ۶-۱۰×۱۶۰۰ می رسد.

نفوذپذیری: خمیر سیمان دارای حفرات ژلی و موئینه است. حفرات ژلی که بیش از ۲۸٪ حجم خمیر سیمان را تشکیل می دهد بسیار ریز بوده و اصولاً قابلیت نفوذپذیری آن بسیار کم است. آنچه که بر نفوذپذیری بتن بسیار مؤثر است حفرات خمیر سیمان می باشد. اگر خمیر سیمان فقط دارای آب لازم برای هیدراتاسیون باشد حجم حفرات مؤئینه در آن به حدود ۱۸٪ حجم سیمان خشک می رسد [۴]. حفرات موئینه با افزایش نسبت آب به سیمان افزایش، و با افزایش درجه هیدراتاسیون کاهش می یابند. اگرچه افزایش مقدار حفرات موئینه موجب افزایش نفوذپذیزی در خمیر سیمان می شود ولی در خمیرهای سیمانی مختلف بسته به مسیرهای عبور بزرگ بین حفرات موئینه ضریب نفوذپذیری متفاوت است. ضریب نفوذپذیری از تخلخل موئینه بیش از ۳۵٪ و یا نسبت آب به سیمان بیش از ۰/۶۵ افزایش چشمگیری می یابد [۴]. نفوذپذیری بتن یکی از معایب اصلی آن و عامل ضعف آن در برابر محیط های خورنده است. نفوذ آب به داخل بتن موجب ضعف آن در پدیده یخ- ذوب گشته و نیز هجوم مواد خورنده موجب شسته شدن بتن و تخریب آرماتورها می گردد.

اسیدها با PH کمتر از ۴/۵ اثر خورندگی فراوانی بر بتن دارند و بتن در برابر اسیدهای قوی مقاومت خود را کاملاً از دست می دهد. در جدول (۱-۲) مقاومت خمشی بتن پس از قرار گیری در محیط های خورنده نشان داده شده است. نسبت آب به سیمان مخلوط بتن ۰/۵۹، مقاومت خمشی نمونه معیار MPa 95/3 و غلظت اسید در آزمایش ۵٪ بوده است .

۸-مصالح و نسبت های اختلاط بتن پر مقاومت

مهمترین عاملی که مقاومت بتن با مقاومت زیاد را تعیین می کند ، تخلخل در سه فاز بتن (سنگدانه ها، خمیر سیمان و ناحیه انتقال) می باشد. خصوصیات مصالح مصرفی در بتن ، نسبتهای اختلاط و تراکم بتن تازه ، که در تخلخل خمیر سیمان و ناحیه انتقال اثر می گذارند ، شرح داده شد.

در صورتی که کارایی بتن مناسب باشد ، به نظر می رسد که نسبت آب به سیمان تعیین کننده میزان تخلخل خمیر سیمان هیدراته شده و ناحیه انتقال باشد. همچنین ، در نسبتهای کم آب به سیمان مشاهده شده است که با کمی کاهش نسبت آب به سیمان ، مقاومت زیادی قابل کسب می باشد. برای مثال ، نتایج حاصل از تحقیقات نشان می دهد که با نسبت آب به سیمان ۰.۳۸ ، ۰,۳۶ و ۰,۳۴ می توان به ترتیب به مقاومت های فشاری ۴۰ ، ۵۲ و ۶۰ دست یافت.

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

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

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

در صورت نیاز به نسبت آب به سیمان کمتر و استفاده از سنگدانه های با اندازه کوچک ، مقدار سیمان مصرفی به بیش از ۳۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش می یابد.(۹).

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

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

هرگاه ناهمگنی سیمان پرتلند هیدراته ، عامل محدودکننده مقاومت بتن باشد ، می توان با تغییر دادن ساختار میکروسکوپی ، اجزای مسبب ناهمگنی را کاهش داده یا آنها را حذف کرد. در مورد محصولات سیمانی ، روش موثر و عملی برای این کار ، استفاده از مواد پوزولانی در مخلوط بتن است. همانطور که قبلا شرح داده شده ، مواد افزودنی پوزولانی ، مانند خاکستر بادی ، با هیدروکسید کلسیم واکنش داده و تولید محصولاتی می کنند که خصوصیت و ترکیب آنها همانند محصولات هیدراتاسیون سیمان پرتلند است. همچنین ، واکنش پوزولانی با کاهش منافذ بزرگ همراه است ، که این امر ، اثر مهمی در افزایش مقاومت بتن دارد.

استفاده از پوزولان فقط باعث همگنی محصولات هیدراتاسیون و کاهش هزینه ها ، به علت جایگزینی سیمان با پوزولان نمی شود ، بلکه اثر مهمتر آن ، کاهش حرارت هیدراتاسیون می باشد. در بتن با مقاومت زیاد ، به علت استفاده از مقدار زیاد سیمان در اعضای بزرگ سازه ، امکان ترک خوردگی حرارتی وجود دارد. در نتیجه ، در بعضی موارد ، جایگزین نمودن قسمتی از سیمان با پوزولان ، می تواند ریسک ترک خوردگی حرارتی را کاهش دهد.

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

کاملا واضح است که اگر به جای سیمان ، قسمتی از سنگدانه های ریز با پوزولان جایگزین گردد ، بتن در سنین اولیه ، مقاومت کمی نخواهد داشت. در حقیقت ، جایگزینی قسمتی از ماسه با خاکستر بادی یا سرباره سبب افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت بتن ، در سنین اولیه آن می شود، به شرطی که مقدار آب مورد نیاز در مخلوط بتن اضافه نگردد.

توجه به این نکته مهم است که استفاده از این روش ، صرفه اقتصادی ندارد و احتمال خطر ترک خوردگی حرارتی را در اعضای بزرگ کاهش نمی دهد (زیرا مقدار سیمان کاهش نیافته است) ، ولی با این وجود ، این کار ، روش مناسبی برای افزایش مقاومت بتن در سنین اولیه است. طبق گزارش های منتشر شده ، هر دو روش جایگزین کردن قسمتی از سیمان و ماسه با پوزولان ، یک مزیت محسوب می گردد.

۹-طرح اختلاط بتن پر مقاومت بتن پر مقاومت

در جدول زیر اصول مهم تولید بتن با مقاومت زیاد با مقایسه ۳ مخلوط بتن ، داده شده است. اختلاف مهم بین بتن های مصرف شده در ساختمان برج آب و برج تجاری تگزاس، در مقدار مصرف سیمان بیشتر در ساختمان برج آب و جایگزینی ۱۰ درصد وزنی خاکستر بادی نوع F به جای سیمان در بتن آن می باشد، در حالی که در ساختمان برج تجاری میزان سیمان مصرفی کمتر است و از ۲۰ درصد خاکستر بادی نوع C در مخلوط بتن استفاده شده است. نمونه های هر دو بتن که در شرایط آزمایشگاهی عمل آوری شده اند دارای اسلامپ ۱۱۳ میلی متر و مقاومت فشاری ۶۵- ۶۷ مگاپاسکال در سن ۲۸ روزه بوده اند. میانگین مقاومت ۱۳۹ نمونه گرفته شده از بتن در برج تجاری تگزاس ۵۶ مگاپاسکال بوده است که نزدیک به مقاومت میانگین توصیه شده در آیین نامه ACI 318 ، مگاپاسکال است. چنانچه شرایط کارگاه ایده آل باشد مقاومت بتن با مقاومت زیاد ، حدود ۹۰ درصد مقاومت نمونه های عمل آوری شده در آزمایشگاه می باشد.(۱۰).

مخلوط بتن با مقاومت بسیار زیاد ، در کارگاه های مختلف ایالت متحده آمریکا و کانادا ساخته شده و تحت آزمایش قرار گرفته است. به علت استفاده از پوزولان های بسیار فعال نظیر دوده سیلیسی ، مقدار زیاد سیمان و نسبت آب به سیمان بسیار کم (که با استفاده از مقادیر زیاد فوق روان کننده ها امکان پذیر شده است) ، نتایج مقاومت فشاری ۲۸ و ۱۲۰ روزه بتن با مقاومت بسیار زیاد به برابر با ۱۱۰ MPa و ۱۲۵ MPa بوده است.

۱۰-بتن بسیار روان شده بتن پر مقاومت

اگرچه ، از مواد افزودنی فوق روان کننده ، به منظور ساخت مخلوط های بتن با مقاومت زیاد استفاده می شود ، ولی همان طور که در جدول قبل مشاهده می شود، بتن با قوام زیاد اسلامپ ۲۰۰ میلیمتر تا ۲۵۰ و مقاومت بیش از ۷۰ مگاپاسکال (نسبت آب به سیمان کمتر از ۰,۳)، با استفاده از فوق روان کننده ها به راحتی قابل تولید می باشد.

به طور کلی تجربه نشان میدهد که افزودن ماده فوق روان کننده به بتن به مقدار ۰,۵ تا ۱,۵ درصد وزن سیمان ، اسلامپ بتن را از ۵۰mm تا ۷۵ به مقدار قابل توجه ۲۰۰mm تا ۲۵۰ افزایش می دهد. با این وجود ، این قوام زیاد بتن ، پس از ۳۰ تا ۶۰ دقیقه به حالت اولیه خود باز می گردد.

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

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

۱۱-کارایی بتن پر مقاومت

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

۱۲-مقاومت بتن پر مقاومت

امروزه بتن های با مقاومت ۵۵MPa –۱۲۰ در سن ۲۸ روزگی ، در مناطق شیکاگو ، هوستون و نیویورک در مقیاس صنعتی تولید می گردد. نکته قابل توجه در مورد مقاومت ، ظرفیت بتن های با مقاومت زیاد برای کسب مقاومت سریع بدون استفاده از عمل آوری با بخار است. بتن های استفاده شده در ساختمان برج آب شیکاگو و برج تجاری هوستون با عمل آوری معمولی ، در مدت ۲۴ ساعت به مقاومت ۲۰ تا ۲۷ مگاپاسکال رسیده اند.

مخلوط بتن با مقاومت بسیار زیاد ، در مدت ۱۲ ساعت ۴۲ مگاپاسکال ، و در مدت ۲۴ ساعت ۶۴MPa مقاومت کسب می کند. در این صورت است که ارزش بتن های با مقاومت بسیار زیاد در صنعت بتن پیش ساخته و پیش تنیده مسلم می گردد.

ساختار میکروسکوپی بتن پر مقاومت رابطه بین تنش و کرنش ، گسیختگی ، جمع شدگی ناشی از خشک شدن ، و خزش براساس اصول طراحی مخلوط های بتن با مقاومت زیاد ، کسب مقاومت زیاد بتن با کاهش تخلخل و ناهمگنی و ترکهای مویین ، در خمیر سیمان و ناحیه انتقال امکان پذیر است. از آنجایی که وجود ترک های مویین زیاد در بتن معمولی ، مبنای رفتار تنش – کرنش ، خزش و گسیختگی آن است ، لذا درک علت رفتار متفاوت بتن با مقاومت زیاد ، که ناشی از کاهش تعداد و اندازه ترک ها در آن است ، مشکل نمی باشد(۱۲)

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

۱- بتن با مقاوت زیاد، در مقایسه با بتن معمولی ، بیشتر شبیه مصالح همگن رفتار می کند و شیب منحنی های تنش – کرنش در آن نسبت به بتن معمولی زیادتر است و رفتار آن تا نسبت های تنش – مقاومت بیشتری در مقایسه با بتن های با مقاومت معمولی ، خطی است زیرا مقدار و روند افزایش ترکهای مویین در ناحیه انتقال کمتر است. بنابراین ، بتن با مقاومت زیاد ، در هنگام گسیختگی ، تردی بیشتر و انبساط حجمی کمتری از خود نشان می دهد. مشخص شده است که این گونه بتن ها ، تا نسبت های

بالاتری از تنش و مقاومت قابل بار گذاری هستند ، بدون آن که مکانیزم خود انتشاری در آنها شروع شده و منجر به شکست گسیختگی بشود ، به عبارت دیگر درصد مقاومت باربری دراز مدت نسبت به مقاومت کوتاه مدت شان بیشتر از آن بتنهای معمولی است.

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

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

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

ضمنا توصیه می گردد که مقاومت خمشی آنها از رابطه Fr محاسبه شود. یاماموتو برای تخمین مقاومت کششی برزیلی بتن با مقاومت ۴۰ تا ۱۰۰ مگاپاسکال ، رابطه زیر را ارائه داده اند.

۱۳-کاربردهای بتن پر مقاومت

تاکنون بیشترین استفاده از بتن با مقاومت زیاد در ایالات متحده ، محدود به مناطق شیکاگو ، نیویورک و هوستون بوده است. از شروع سال ۱۹۶۵ ، پس از ساخت بتن با مقاومت ۵۲ مگاپاسکال برای ستون های برج کناره دریاچه ، در منطقه شیکاگو ، بیش از ۴۰ ساختمان بلند ساخته شده است. از سال ۱۹۷۲ ، برای ساخت ساختمان های تجاری بیش از ۵۰ طبقه ، استفاده از بتن با مقاومت ۶۰ مگاپاسکال عمومیت پیدا کرده است.

می توان ادعا کرد که با استفاده از مقاومت زیاد می توان ابعاد ستون ها را به حداقل رساند و در نتیجه زیبایی آنها نیز تامین گردد. بیست و هشت طبقه پایین یک برج آب ۷۹ طبقه ، شامل ستون هایی با بتن با مقاومت ۹۰۰۰Psi است. در سال ۱۹۸۲ ، از بتن به مقاومت ۱۰۰Mpa در ساختمان تجاری شیکاگو استفاده گردید. در سال ۱۹۸۹ ستونهای شش طبقه اول یک برج در شیکاگو ، با بتن به مقاومت ۹۶Mpa حاوی دوده سیلیسی ساخته شد. این پروژه همچنین دارای یک ستون آزمایشی ساخته شده با بتن به مقاومت ۱۱۷Mpa بود. ساختمان پلازا در تورنتو ، و ساختمان یونیون اسکویر در سیاتل به ترتیب دارای اعضای بتن آرمه ای به مقاومت ۹۵ Mpa و ۱۲۰ Mpa می باشند.

نتیجه گیری

مزیت استفاده از بتن با مقاومت زیاد ، میزان حرارت هیدراتاسیون نسبتاً کم ، به ازای مقاومت واحد می باشد. بنابراین ، در این نوع بتن ها ، احتمال ترک خوردگی حرارتی کاهش می یابد. نتایج بیانگر این است که استفاده از بتن مقاوم در کاهش آسیب وارده به سازه در بارگذاریهای شدید موثر بوده وبه شکل محسوسی استحکام سازه افزایش یافته است. همچنین مقاومت سازه در برابر کمانش نیز به خوبی در مدل بتن مقاوم افزایش یافته است. با مقایسه بتن معمولی و مقاوم مشاهده گردید که تمام پارامترهای مورد بررسی در بتن مقاوم در هر سه مسیر در مقایسه با بتن معمولی افت پیدا کرده که بیانگر افزایش مقاومت فشاری و کششی در بتن مقاوم نسبت به بتن معمولی است

منابع

۱. ایران پور مبارکه، فرهاد همامی، پیمان محبی مقدم بهروز، (۱۳۹۵)، بررسی عملکرد قاب های دارای مهاربند برون محور با تیر پیوند قائم تحت زلزله های نزدیک گسل، سومین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران ، تهران موسسه آموزش عالی مهراروند، مرکز راهکار ها دستیابی به توسعه پایدار
۲. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ،۲۸۰۰ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۴.

۳. حسین کرد خیلی ، سید محمد مرتضائی ،علیرضا (۱۳۹۴). ارزیابی ستون های ساختمان بتن آرمه تحت اثر مولفه قائم زمین لرزه ای حوزه نزدیک-دومین کنفرانس ملی زلزله، قزوین ،گروه تخصصی سازه سازمان نظام مهندسی ساختمان استان قزوین .

4. A.Kilic, C.D.Atis,E.Yaser,F.ozcan, (2003). High-Strength light weight concrete made with Scoria aggregate containing mineral admixtures, Cement and concrete research.
5. Benioff, H. (1955). Mechanism and strain characteristics of the White Wolf fault as indicated by the aftershock sequence. Bull., Calif. Div. Mines, 171, 199-202.
6. Blasone, V., Basaglia, A., De Risi, R., De Luca, F., & Spacone, E. (2022). A simplified model for seismic safety assessment of reinforced concrete buildings: framework and application to a 3-storey plan-irregular moment resisting frame. Engineering Structures, 250, 113348.
7. Cao, X. Y., Xiong, C. Z., Feng, D. C., & Wu, G. (2022). Dynamic and probabilistic seismic performance assessment of precast prestressed reinforced concrete frames incorporating slab influence through three-dimensional spatial model. Bulletin of Earthquake Engineering, 20(12), 6705-6739.
8. Desai, K. Y., Sheth, R. K., & Patel, K. R. (2022, December). Performance Evaluation of RC Frame-Wall Structures Using Incremental Dynamic Analysis. In ASPS Conference Proceedings (Vol. 1, No. 6, pp. 1719-1725).
9. FEMA, F. (2003). HAZUS-MH MR5. Washington, DC.
10. Fu, Q. L., Tan, L., Long, B., & Kang, S. B. (2023). Numerical Investigations of Progressive Collapse Behaviour of Multi-Storey Reinforced Concrete Frames. Buildings, 13(2), 533.
11. Huang, L., Han, J., Wen, H., Li, C., He, H., Luo, Y., & Qian, Z. (2022). The Seismic Performance and Global Collapse Resistance Capacity of Infilled Reinforced Concrete Frames Considering the Axial–Shear–Bending Interaction of Columns. Buildings, 12(11), 2030.
12. Hwang, Seong-Hoon, et al. "Machine learning-based approaches for seismic demand and collapse of ductile reinforced concrete building frames." Journal of Building Engineering 34 (2021): 101905.