

بررسی موردی ارتباط مقاومت میان مدت و درازمدت بتن جهت کمک به استحکام ساختمان‌ها

علی اکبر کفاش بازاری

رئیس آزمایشگاه مرکز تحقیق و توسعه کارخانه سیمان تهران

Eliaskafash@gmail.com

چکیده

در این مقاله با نگرشی عمومی-کاربردی در صنعت ساختمان، عوامل موثر در ارتباط مقاومت‌های میان مدت با کوتاه و درازمدت بتن جهت کمک به استحکام و دوام ساختمان‌ها بررسی شده‌اند. لیکن با ساخت مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی بسیار متعدد (۳۴ طرح اختلاط و ۴۰۸ نمونه)، روند کسب مقاومت کوتاه، میان و درازمدت طی سنین ۷، ۲۸، ۹۰، ۱۸۰، ۳۶۵ روزه برای یک سیمان پرمصرف در صنعت ساختمان تهران کنترل گردید. در این مخلوط‌های بتن معمولی با عیار سیمان 350 kg/m^3 که همگی در شرایط یکسان تهیه شدند، تنها پارامتر متغیر سیمان بود. این نتایج نشان دادند که میانگین نسبت‌های مقاومت فشاری به صورت $28\text{روزه}/7\text{روزه}$ ، $115\text{روزه}/28\text{روزه}$ ، $121\text{روزه}/28\text{روزه}$ ، $125\text{روزه}/28\text{روزه}$ و مجموع آنها، 440% بودند که تقریباً برای همه مخلوط‌ها (سیمان‌ها) این پارامتر (مجموع ۴ نسبت مذکور) در این حدود می‌باشد. برای کنترل نفوذپذیری بتن سخت شده که یکی از شاخص‌های موثر در دوام بتن است، از آزمایش‌های تعیین جذب آب مؤینه به روش ISIRI 19895 و نیز تعیین جذب آب حجمی به روش BS 1881-122 برای نمونه‌های ۲۸ روزه استفاده گردید. لیکن بطور میانگین نرخ جذب آب اولیه: $58 \times 10^{-4} \text{ mm/s}$ ، نرخ جذب آب نهایی: $178 \times 10^{-4} \text{ mm/s}$ و جذب آب حجمی $5/4\%$ بود. مقایسه نتایج دو سری آزمایش، ارتباط واضحی مابین نتایج مقاومت فشاری درازمدت و نفوذپذیری در بتن را نشان نداد.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت میان مدت، دوام، ساختمان.

۱. مقدمه

مطابق شعار سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ مبنی بر "تولید بتن با مقاومت ۵۰ مگاپاسکال به صورت متدوال در کشور"، اولین الویت در هدف‌گذاری، افزایش مقاومت فشاری بتن در جهت عملکرد مناسب لرزه‌ای و افزایش عمر مفید ساختمان‌ها می‌باشد [۱]. لذا پر واضح است که افزایش رده و مقاومت بتن در طراحی سازه‌ها، با توجه به کاهش w/c ، کمک شایانی به دوام ساختمان‌ها می‌نماید.

واژه دوام تداعی کننده عمر دراز و آمادگی برای تحمل شرایط مختلف و البته سخت می‌باشد. باید در نظر داشت که دوام بتن عمدتاً از نسبت‌های اختلاط به ویژه w/c و مقدار سیمان در بتن، خواص سیمان هیدراته شده، مشخصات سنگدانه‌ها به خصوص MSA^1 و شرایط عمل‌آوری باعث می‌گردد. می‌توان گفت که دوام بتن در ساختمان، حفظ مقاومت و بهره‌برداری مربوطه آن طی عمر مشخصی می‌باشد. هر چه بتن با شرایط سخت‌تری مواجه باشد، نیاز به بتن با کیفیت بالاتری است [۲۸]. قبلاً تصور اشتباهی وجود داشت که "بتن با مقاومت زیاد با دوام است". بر اساس یک گزارش [۲] در زلزله کرمانشاه میزان انطباق مقاومت بتن‌های سازه با مقاومت مشخصه در ساختمان‌های مسکن مهر اسلام‌آباد غرب و سر پل ذهاب بسیار نامناسب بود، که نشان از استحکام ضعیف آن بتن‌ها در برابر تنش‌ها می‌باشد. تحقیقات و بازرسی‌های میدانی از اجرای بتن در ساختمان‌های تهران نشان می‌دهند که کیفیت اجرا فاصله زیادی تا اهداف طراحی دارند [۳].

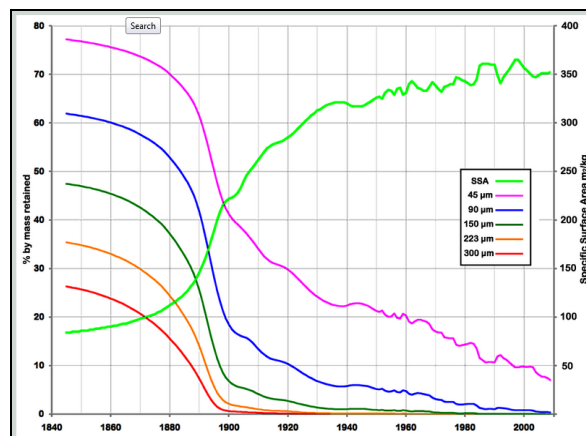
^۱ در برخورد فرانسوی، فرض می‌شود که مقدار سیمان با ریشه پنجم MSA متناسب باشد که اهمیت این پارامترها را نشان می‌دهد.

دستاوردها در زمینه دوام بتن ستودنی است و در پروژه‌های عظیم عمرانی مانند اسکله شهید رجایی و غیره عملکرد آنها دیده می‌شود. اما در صنعت مسکن‌سازی، کنترل کیفیت و به ویژه دوام بتن مغفول مانده است. در این زمینه تنها آزمایش‌های رایج و متداول اندازه‌گیری روانی بتن تازه و تعیین مقاومت فشاری بتن سخت شده در سنین ۷ و ۲۸ روزه می‌باشد. انجام این آزمایش‌ها نیز صرفاً برای سنجش الزامات طراحی است.

همواره کارشناسان پروژه‌های مرتبط با صنعت مسکن، علاقه‌مند به بررسی رشد مقاومت هستند. لذا برخی بالا بودن نسبت مقاومت ۲۸ روزه/۷ روزه را مناسب می‌دانند؛ که به دنبال استحکام سریع بتن جهت قالب‌برداری یا استفاده سریع‌تر از قطعات بتنی می‌باشند. در طرف مقابل برخی کارشناسان با تاکید بسیار زیاد بر جدول پیشنهادی و راهنمای تقریبی مندرج در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۴] انتظار پائین بودن نسبت مقاومت ۲۸ روزه/۷ روزه و کسب تدریجی مقاومت را دارند. به لحاظ علمی نیز رشد آرام مقاومت بتن، باعث شکل‌گیری کریستال‌های منظم‌تر و ایجاد استحکام بیشتر می‌نماید [۵].

توجه به الزامات مندرج در مبحث نهم و آبا [۴ و ۶] برای تامین دوام اثبات می‌نماید که در طراحی برای مقابله با شرایط ناپایدار و خوردگی محیطی، محدودیت‌هایی در انتخاب نوع سیمان، عیار سیمان در بتن و مقاومت مشخصه لحاظ می‌گردد. بنابراین استحکام و مقاومت بتن مصرفی در ساختمان‌ها ارتباط بسیار زیادی در تحمل تنش‌ها و دوام دارد. غالباً کنترل پارامترهای دوام بتن با آزمایش‌های تعیین نفوذپذیری یون کلر (RCPT و RCMT)، نرخ جذب آب، مقاومت در برابر چرخه‌های یخ‌زدن و آب‌شدن سنگدانه‌ها و بتن سخت‌شده، تعیین واکنش‌زائی سنگدانه‌ها و تعیین تراوایی بتن می‌باشد. برای بهبود دوام و پایداری بتن در برابر فرسایش و سایش باید رده مقاومتی و فضای خالی بتن با عمر و شرایط بهره‌برداری تناسب داشته باشد؛ همچنین به عمل‌آوری، پرداخت سطحی، استفاده از کف‌های ۲ لایه و مصرف سنگدانه‌های سخت توجه گردد [۷]. رویهم رفته می‌توان گفت که پایداری شیمیایی بتن با نوع و مقدار سیمان، نسبت W/C و نوع سنگدانه‌ها مرتبط می‌باشد و مقاومت در برابر یخ‌زدن و آب‌شدن (پایداری فیزیکی) با نسبت W/C و مقدار حباب هوای بتن متناسب است [۸]. البته هر چه از عمر بتن بگذرد ممکن است عوامل مخرب محیطی هم روی سازه بتنی اثر گذاشته و از مقاومت آن بکاهد [۹].

در راستای افزایش مقاومت ملات استاندارد سیمان، طی سالهای اخیر میزان نرمی سیمان و C_3S افزایش یافته است [۱۸]؛ و این موضوع از سال ۱۹۲۶ در همه کشورها نیز تحقق یافته است. شکل ۱ نمایی کلی از روند این تغییرات را نشان می‌دهد. افزایش بی‌رویه این پارامترها باعث مشکلات متعددی می‌گردد که در ادامه تشریح می‌گردند. علت شرح این مشکلات، تاکید و اصرار فراوان بسیاری از کارشناسان فعال در صنعت ساختمان بر افزایش مقاومت کوتاه و میان‌مدت ملات استاندارد سیمان بوده که موفق به تغییر در روند تولید شده‌اند. باید افزود تحقیقات اثبات نمودند که همواره رفتار سیمان در ملات استاندارد از رفتار همان سیمان در بتن تبعیت نمی‌کند و این انتظار دور از واقعیت است [۱۰].



شکل ۱- بررسی روند تغییرات نرمی سیمان‌ها طی بیش از ۱۹۰ سال گذشته [۱۹]

عوامل موثر در رشد مقاومت بتن از سنین کوتاه‌مدت به درازمدت شامل موارد مرتبط با اجزای تشکیل‌دهنده بتن و خود آن است که در ادامه اهم آن بررسی می‌گردند. توامان اثر این عوامل در دوام بتن نیز تشریح می‌گردد [۱۹].

۱-۱ نرمی سیمان:

مشاهدات آزمایشگاهی Bogue و همکارش (۱۹۴۳) نشان داد که اگر فراکسیون‌های مختلف ذرات سیمان را بطور جداگانه در نظر بگیریم، ذرات دارای شاخص بلین حدود $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ طی ۷ روز به حدود ۹۰٪ و طی ۲۸ روز به حدود ۹۸٪ گرمای هیدراسیون در واکنش‌های کامل سیمان می‌رسند؛ حال آنکه ذرات با شاخص بلین حدود $1000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ طی ۷ روز به حدود ۵۰٪ و در ۲۸ روز به حدود ۹۸٪ خواهند رسید [۲۰]. به زبانی ساده‌تر، هر چه سیمان نرم‌تر باشد، سطح آب‌خور آن بیشتر می‌شود، بنابراین ذرات در دسترس برای هیدراسیون سریع اولیه بیشتر است و در نتیجه مقاومت کوتاه‌مدت افزایش می‌یابد. در حقیقت برای یک سیمان نرم‌تر با ازدیاد سهم ذرات هیدراته شده طی کوتاه‌مدت، از سهم ذراتی که باید در میان‌مدت یا درازمدت هیدراته و سخت گردند، کاسته می‌شود. به نظر می‌رسد که آزمایش تعیین بلین (Blaine) برای تشخیص این موضوع به ما کمک کند؛ اما باید متذکر گردید که اکتفا به این موضوع چندان مطلوب نبوده و نیاز به بررسی دانه‌بندی سیمان^۲ (به روش‌های لیزری و فیزیکی - آلاین یا تر) است. شایان ذکر است که افزایش بی‌رویه نرمی در سیمان باعث افزایش نیاز به آب^۳ در بتن می‌شود. این افزایش به نوبه خود معمولاً باعث افزایش w/c شده [۱۱ و ۲۱] که منتهی به کاهش مقاومت‌های کوتاه، میان و درازمدت و حتی دوام بتن می‌گردد [۲۲]. در مجموع سیمان‌های نرم‌تر دارای نسبت مقاومت ۲۸ روزه/۷ روزه بالاتری هستند. حداقل ۳۱ مطالعه نشان داده‌اند که افزایش نرمی سیمان باعث کاهش دوام بتن می‌گردد [۲۳].

۲-۱ میزان فاز^۴ آلومینات (C_3A) در سیمان:

این فاز با هیدراسیون سریع در مقاومت‌های کوتاه‌مدت اثر داشته و در میان یا درازمدت اثری نشان نمی‌دهد. از نظر دوام باید دقت نمود که اگر محیط‌های با احتمال حمله سولفاتی (مثلاً محیط‌های در معرض فاضلاب) داریم از سیمان با C_3A کم (تپ ۵ پرتلند) استفاده می‌نمائیم، حال آنکه در محیط‌هایی که احتمال تهاجم یون کلر می‌رود، این سیمان مناسب نمی‌باشد. قطعاً با افزایش این فاز در سیمان مورد استفاده در بتن، نسبت مقاومت ۲۸ روزه/۷ روزه افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده‌اند که افزایش بیش از حد C_3A با تشکیل اترینگایت باعث کاهش دوام بتن می‌گردد.

۳-۱ میزان فاز بلیت (C_2S) در سیمان:

تأثیر اصلی این فاز بر استحکام درازمدت (۱۰ ساله) و بصورت جزئی در میان‌مدت می‌باشد. اما در کوتاه‌مدت تأثیر واضحی دیده نمی‌شود. بنابراین با افزایش سهم این فاز در سیمان، مقاومت بلندمدت بیشتر و بالطبع نسبت مقاومت ۲۸ روزه/۷ روزه کاهش می‌یابد. افزایش C_2S باعث کاهش گرمای هیدراتاسیون می‌گردد که بصورت غیرمستقیم، مطلوب دوام است. برای تشخیص اثر کاهش یا افزایش فازهای آلومینات یا بلیت بر مقاومت کوتاه‌مدت و نسبت مذکور، استدلال دیگری نیز وجود دارد. می‌دانیم که اجزای کلینکر شامل آلایت (C_3S)، بلیت (C_2S)، آلومینات (C_3A)، فریت (C_4AF)، پریکلز (MgO_{free}) و آهک آزاد (CaO_{free}) می‌باشد. علی‌القائده با افزایش برخی از اجزاء، از سهم سایر آنها کاسته می‌شود. به طور مثال اگر در یک کلینکر فاز آلایت افزایش یابد، احتمالاً از فاز بلیت آن کاسته می‌شود. این موضوع بطور علمی نیز اثبات شده است. Stark و همکاران با مطالعات میکروسکوپی نشان دادند که در شرایط ثابت (آهک آزاد کمتر از ۲٪ برای کلینکر و مانده روی الک ۹۰ میکرون ۱۰٪ برای خوراک کوره) با افزایش LSF، مقدار C_3S افزایش، اما میزان C_2S کاهش می‌یابد [۲۴]. باید اضافه شود که افزایش C_3S نیاز به افزایش حرارت پخت و کنترل برای جلوگیری از ایجاد آهک آزاد بیشتر را دارد. همچنین در

^۲ Cement Particle Size Distribution

^۳ Water demand

^۴ اصطلاح فاز برای کلینکر کاربرد دارد؛ اما چون سیمان حاصل سایش عمدتاً کلینکر و مقادیری گچ و احتمالاً افزودنی است، در اینجا از این اصطلاح استفاده شد.

فرآیند پخت کلینکر اول فاز بلیت تشکیل می‌گردد؛ سپس در مرحله بعدی تحت شرایط معین از واکنش بلیت و اکسید کلسیم، فاز آلایت ایجاد می‌گردد.

۴-۱ میزان قلیائی‌های سیمان:

افزایش میزان قلیائی‌ها بالاخص مقدار K_2O (نامحلول) موجب می‌گردد تا حدودی روند کسب مقاومت از سن ۷ روز به ۲۸ روزه کاهش یابد [۲۵]. از سوئی دیگر مقاومت میان و درازمدت بتن را می‌کاهند. دست‌کم ۱۸ مطالعه اثر نامطلوب افزایش قلیائی‌ها بر دوام بتن را اثبات نموده‌اند [۲۳]. افزایش قلیائی‌ها در سیمان باعث تسریع در زمان گیرش و افزایش روند افت اسلامپ خواهد شد؛ البته بالا بودن مقادیر دمای محیط و عیار سیمان مزید بر علت خواهد شد. قلیائی‌ها در سیمان احتمال واکنش با سیلیس سنگدانه‌ها و بروز سرطان بتن را دارند.

۵-۱ سولفات سیمان:

افزایش سولفات (گچ) در سیمان باعث افزایش مقاومت اولیه و نیز استحکام بتن در آبهای سولفاته می‌گردد [۱۲]. اما این افزایش، خطر انبساط آهکی در ملات سیمان و بتن و نیز تشکیل اترینگایت و در نتیجه تهدید دوام را به دنبال دارد.

۶-۱ آهک آزاد (CaO_{free}) در کلینکر سیمان:

افزایش آهک آزاد در سیمان باعث کاهش مقاومت‌های کوتاه و درازمدت بتن می‌گردد. سعی بر آنست که $CaO_{free} \leq 2\%$ و غالباً $CaO_{free} < 1\%$ باشد؛ زیرا در صورتیکه $CaO_{free} > 2.5\%$ باشد، احتمال انبساط آهکی در ملات سیمان و بتن وجود دارد. البته این موضوع به فاز پریکلار و یا میزان سولفات سیمان نیز بستگی دارد. رویهم رفته وجود آهک آزاد در سیمان مصرفی برای دوام بتن مضر می‌باشد. اخیراً مصرف اندک سنگ آهک به عنوان افزونه در سیمان دیده می‌شود [۱۳] که اگر از حدود مجاز بیشتر شود، مشکلاتی را به همراه دارد.

۷-۱ نسبت w/c :

تحقیقات نشان داده‌اند با کاهش نسبت w/c بتن، تخلخل و نفوذپذیری کاهش می‌یابد. البته ایجاد تخلخل در بتن راهکار اثبات شده‌ای برای ایجاد دوام سازه‌ها می‌باشد. باید دقت نمود که برای تامین دوام همواره کاهش w/c مطلوب نبوده و باید کارائی مدنظر قرار گیرد. به نظر می‌رسد مصرف بتن با w/c نسبتاً پایین در ساختمان مطلوب باشد. تحقیقات متعددی نشان داده‌اند که کاهش نسبت w/c در بتن ضمن افزایش مقاومت، احتمال کربناسیون سطحی و تهاجم یونهای خورنده میلگردها کمتر می‌شوند (به علت ایجاد بتن کم‌تراوا یا ناتراوا).

۸-۱ دمای عمل‌آوری بتن:

افزایش دمای عمل‌آوری در بتن به افزایش مقاومت کوتاه‌مدت می‌انجامد، اما این اقدام باعث کاهش کیفیت پیوندهای $C-S-H$ در بتن و در نتیجه کاهش مقاومت‌های درازمدت و احتمالاً دوام می‌گردد. تجربیات کارگاهی نشان داده‌اند که کمبود رعایت دمای بتن تازه و یا نقص در کنترل دمای مناسب استخر نگهداری آزمون‌ها در آزمایشگاه، کیفیت روند نتایج طی سنین مختلف مشکوک خواهد بود.

۹-۱ نسبت سنگدانه‌های مصرفی:

استفاده بهینه از مصالح سنگدانه‌ای به خصوص سنگدانه‌های درشت-به لحاظ اینکه باعث کاهش مصرف سیمان می‌شود- باعث تغییر در نسبت w/c و در نتیجه نسبت مقاومت ۲۸ روزه/۷ روزه می‌شود. همچنین کاهش سهم سنگدانه‌ها در بتن و افزایش محتوی سیمان آن، باعث افزایش مقاومت زود هنگام می‌گردد؛ اما طی حدود ۱۰۰ پژوهش اثر نامطلوب این افزایش (عیار سیمان در بتن) بر دوام بتن اثبات شده است [۲۳]. باید اضافه نمود که برای جبران فقر فیلر سنگدانه‌های ریز (ماسه) در کشورمان، عمدتاً افزایش عیار سیمان در بتن اعمال می‌گردد. این موضوع از یک طرف باعث افزایش حجم خمیر سیمان نسبت به حجم سنگدانه‌ها می‌گردد، که مطلوب دوام نیست. از طرفی دیگر افزایش حجم خمیر سیمان باعث افزایش گرمای در بتن

⁵ Calcium-Silicate-Hydrate

و احتمالاً بروز ریزترک‌ها می‌گردد که این نیز برای دوام بتن مطلوب نمی‌باشد. البته استفاده از سیمان‌های آمیخته یا پوزولانی برای کنترل این مشکلات و افزایش دوام بتن مناسب است؛ زیرا که مواد پوزولانی عمدتاً باعث تقویت نقاط ضعف سیمان پرتلند هستند. راه‌کار دیگر نیز کاهش عیار سیمان در بتن است؛ لذا تحقیقات نشان داده‌اند که بهره‌گیری از عیار سیمان 350 kg/m^3 در بتن، بهترین و مناسب‌ترین گزینه می‌باشد [۱۴].

از آنجا که معمولاً بیش از ۷۰٪ وزن و حجم بتن را سنگدانه‌ها تشکیل می‌دهند، لذا نقش مهمی در دوام و استحکام بتن سخت‌شده دارند. جنس سنگدانه‌ها احتمالاً تأثیر واضحی در نسبت مقاومت ۲۸ روزه/۷ روزه ندارند، اما در رده مقاومتی و نیز دوام بتن کاملاً موثرند. همچنین باید از واکنش‌زائی قلیائی-سیلیسی (سیمان و سنگدانه‌ها) که نهایتاً منجر به سرطان بتن (ASR) می‌گردد، پیشگیری شود.

بطور معمول دوام و استحکام سنگدانه‌های بتن نسبت به خمیر سیمان سخت شده، بیشتر می‌باشد. علت آنست که معمولاً سنگدانه‌های بتن به دو روش تولید می‌شوند: ۱- رودخانه‌ای: از فرآوری آبرفت‌ها به دست آمده که شرایط سختی را تحمل نموده‌اند؛ ۲- کوهی: از خردکردن پاره‌سنگ‌ها حاصل شده که تحت تنش‌های فشاری و ضربه‌ای زیادی قرار گرفته‌اند. البته پی‌جویی مصالح خرده سنگی باید با دقت زیادی انجام شود تا مفید باشند [۱۵].

۱-۱ مصرف افزودنی‌ها در بتن:

طبق تجربیات آزمایشگاهی متعدد نگارنده این مقاله، مصرف اغلب افزودنی‌های روان‌ساز بتن (موثر در ردیف ۱-۸)، منجر به افزایش مقاومت زودهنگام می‌گردد و لذا از مقاومت درازمدت آن می‌کاهند. تحقیقاتی وجود دارند که نشان می‌دهند برخی از انواع افزودنی‌ها از دوام بتن سخت شده می‌کاهند. علیرغم اینکه مصرف برخی از افزودنی‌ها همچون میکروسیلیس به منظور تقویت واکنش‌ها و دوام صورت می‌پذیرد، اما باید دقت نمود که بتن را به شدت مستعد ترک (و کاهش دوام) می‌نمایند [۱۶]. همچنین عوامل دیگری مانند خطا در نمونه‌گیری‌ها در رشد مقاومت بتن موثرند. از عوامل ۱۰ گانه فوق، ۶ عامل اول مربوطه به سیمان و ۴ عامل بعدی به اجرای بتن برمی‌گردد. در ادامه ارتباط مقاومت کوتاه، میان و درازمدت بتن و جذب آب آنها جهت بررسی استحکام و دوام بتن، طی یک عملیات آزمایشگاهی بررسی می‌گردد.

۲. برنامه آزمایشگاهی و مواد تحقیق:

در این مطالعه، نمونه‌های سیمان طی ۱ سال از سیلوهای مختلف کارخانه سیمان تهران تهیه شده است (شکل ۲). آمارها نشان می‌دهند که سیمان تیپ ۲ تهران، پرکاربردترین سیمان در سازه‌های بتنی شهر تهران است. لذا با انتخاب این سیمان در طرح‌های آزمایشی و شناخت رفتار این محصول برای پارامتر مقاومت درازمدت، عملکرد و روند رشد مقاومت مشابه ساختمان‌های بتنی در تهران می‌باشد.



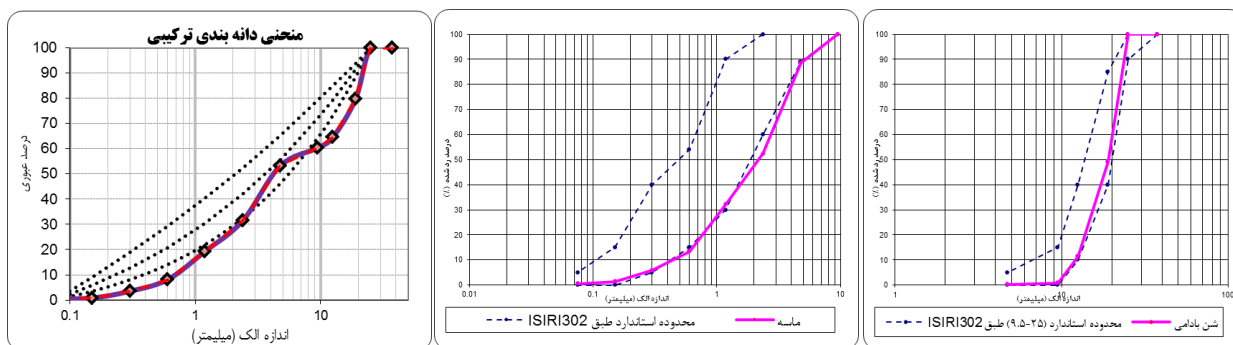
شکل ۲- محل تهیه نمونه و انجام پروژه- مجتمع صنعتی سیمان تهران

معمولاً افزایش حداکثر اندازه سنگدانه (MSA)، منجر به افزایش مقاومت، کاهش هزینه، افزایش چگالی [۲۶]، کاهش پمپ‌پذیری، کاهش قابلیت بتن‌ریزی در مقاطع نازک یا تراکم آرماتور، افزایش آب‌انداختگی و ... می‌شود. لذا غالباً ساخت بتن

صنعتی با سنگدانه MSA:25mm انجام می‌گیرد. مبنای انتخاب مصالح سنگدانه‌ای برای تهیه مخلوط بتن‌های آزمایشی در این تحقیق نیز بر همین منوال (مشابه اجرای بتن در ساختمان‌ها) بوده است. شکل ۳ و جدول ۱ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در این مطالعه را نشان می‌دهد. محل تهیه مصالح سنگدانه‌ای از جنوب تهران می‌باشد. از سنگدانه‌های درشت به لحاظ کاهش مصرف سیمان [۲۷]، استفاده بهینه شد.

جدول ۱- مشخصات فنی مصالح مورد استفاده در طرح‌های مخلوط بتنی

درصد گذشته از الک ۲۰۰	درصد شکستگی	وزن مخصوص (SSD)	درصد جذب آب	مدول نرمی (FM)	نوع سنگدانه
۰/۴	۴۵	۲/۵۵	۲/۲۰	۷/۵	شن متوسط نیمه شکسته (بادامی)
۳/۱	*	۲/۵۱	۳/۳	۳/۹	ماسه نیمه شکسته



شکل ۳- نمودارهای دانه‌بندی شن (سمت راست)، ماسه (وسط) و ترکیب مصالح (سمت چپ) مصرفی در مخلوط‌های بتن در کلیه مخلوط‌ها، کیفیت مصالح سنگدانه‌ای و آب، مقادیر وزنی مصالح، شرایط فیزیکی همچون دما، ابزار مورد استفاده، آزمون‌گرها، شرایط عمل‌آوری و ... تا حد امکان ثابت بوده‌اند تا با ایجاد شرایطی یکسان تنها متغیر سیمان مصرفی باشد (شکل ۲). عیار سیمان مورد استفاده در کلیه طرح‌ها نیز 350 kg/m^3 بود. طراحی مخلوط‌ها به روش ملی انجام شد و توان متناظر در رابطه فولر-تامسون با استفاده از جدول پیشنهادی مربوطه حدود $n:0.35$ (میانگین 0.1 تا 0.67) در نظر گرفته شد که کاربرد گسترده‌ای (تیر، دال، ستون و مقاطع مختلف با رده روانی خمیری تا روان) دارد [۱۷]. برای تهیه این مخلوط 60% ماسه با 40% شن درشت استفاده شد (شکل ۵). در این پروژه مبنای تهیه مخلوط‌های بتن آزمایشگاهی، رسیدن به کارایی مناسب (اسلامپ 8 ± 0.5 سانتی‌متر) بود که $W/C = 0.54 \pm 0.01$ به دست آمد. در نهایت مقاومت آزمون‌های بتنی در سنین ۷، ۲۸، ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۵ روزه اندازه‌گیری شدند (شکل ۴). یکی از آزمایش‌هایی که جهت بررسی دوام بتن‌ها به علت سهولت در انجام آن کاربرد گسترده‌ای دارد، تعیین جذب آب موئینه بتن سخت‌شده می‌باشد. این آزمایش به گونه‌ای کنترل تراوانی، نفوذپذیری و روند عبور آب از بتن سخت‌شده را نشان می‌دهد. اسری آزمایش بر روی ۲ آزمون از ۵ مخلوط بتنی با سن ۲۸ روزه انجام گرفت.



شکل ۴- نماهایی از عملیات آزمایشگاهی در این تحقیق

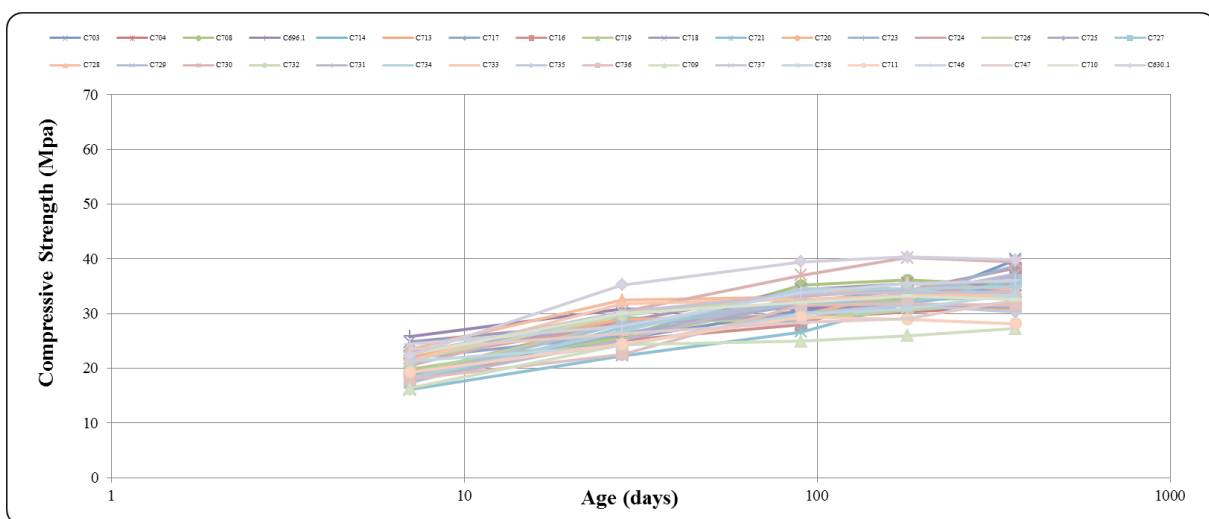
۳. نتایج آزمایشگاهی، بحث و تحلیل:

جدول ۲ خلاصه نتایج مقاومت فشاری مخلوط‌های بتنی در این مطالعه را نشان می‌دهد. لیکن میانگین نتایج برای سنین ۷، ۲۸، ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۵ روزه به ترتیب برابر ۲۰، ۲۸، ۳۲، ۳۳ و ۳۴ مگاپاسکال بوده است. شاخص ضریب تغییرات (CV^6) برای همه سنین برابر ۰/۱ می‌باشد که نشان از یکنواختی مطلوب در نتایج کوتاه، میان و بلندمدت است.

شکل ۵ نمودار کلیه آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری در ۳۴ مخلوط بتن آزمایشگاهی (۴۰۸ نمونه) را نشان می‌دهد. دور از ذهن نبود که اعداد نتایج مقاومتی طی سنین مختلف و نیز روند رشد مقاومت در مخلوط بتن‌های آزمایشی به علت استفاده از سیمان‌های متعدد با یک رده مقاومتی، کمی متنوع می‌باشد. میانگین نتایج مقاومتی برای سنین ۷، ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۵ روزه نسبت به مقاومت ۲۸ روزه به ترتیب برابر ۷۵٪، ۱۱۵٪، ۱۲۱٪ و ۱۲۵٪ بوده است. بازه تغییرات نتایج در هر سن حدود ۳۶٪ می‌باشد.

جدول ۲- خلاصه نتایج مقاومتی (بر حسب مگاپاسکال) در مخلوط‌های بتنی عملیات آزمایشگاهی

کد نمونه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۱۸۰ روزه	۳۶۵ روزه	کد نمونه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۱۸۰ روزه	۳۶۵ روزه	کد نمونه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۱۸۰ روزه	۳۶۵ روزه
۴۹	۱۹	۲۵	۳۱	۳۲	۴۰	۶۱	۱۹	۲۶	۳۲	۳۳	۳۹	۷۳	۱۹	۲۴	۳۰	۳۲	۳۰
۵۰	۲۲	۲۹	۲۹	۳۰	۳۱	۶۲	۲۲	۲۸	۳۲	۳۴	۳۶	۷۴	۱۸	۲۳	۳۲	۳۲	۳۲
۵۱	۲۰	۲۶	۳۵	۳۶	۳۵	۶۳	۱۹	۲۸	۲۹	۳۱	۳۲	۷۵	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
۵۲	۲۶	۳۱	۳۱	۳۳	۳۴	۶۴	۲۳	۲۸	۳۰	۳۲	۳۱	۷۶	۲۳	۳۰	۳۴	۳۴	۳۴
۵۳	۱۸	۲۹	۲۸	۳۴	۳۳	۶۵	۱۷	۲۷	۳۲	۳۲	۳۶	۷۷	۲۱	۲۴	۳۰	۳۱	۳۴
۵۴	۱۹	۲۹	۲۹	۳۲	۳۱	۶۶	۲۳	۳۲	۳۳	۳۶	۳۴	۷۸	۱۹	۲۴	۲۹	۲۹	۲۸
۵۵	۲۲	۲۶	۳۲	۳۴	۳۴	۶۷	۱۸	۲۸	۳۲	۳۴	۳۷	۷۹	۲۴	۲۸	۳۴	۳۶	۳۶
۵۶	۱۸	۲۵	۲۸	۳۴	۳۸	۶۸	۲۰	۳۰	۳۷	۴۰	۴۰	۸۰	۲۴	۲۶	۲۸	۲۹	۳۳
۵۷	۲۰	۲۵	۳۲	۳۳	۳۳	۶۹	۲۱	۳۰	۳۴	۳۴	۳۳	۸۱	۲۳	۳۰	۳۲	۳۳	۳۳
۵۸	۲۵	۲۹	۳۴	۳۶	۳۵	۷۰	۱۸	۲۵	۳۳	۳۴	۳۷	۸۲	۲۲	۳۵	۴۰	۴۰	۴۰
۵۹	۱۶	۲۲	۲۷	۳۲	۳۴	۷۱	۱۸	۲۷	۳۵	۳۵	۳۵						
۶۰	۲۲	۲۹	۳۰	۳۴	۳۵	۷۲	۲۱	۳۲	۳۳	۳۳	۳۴						



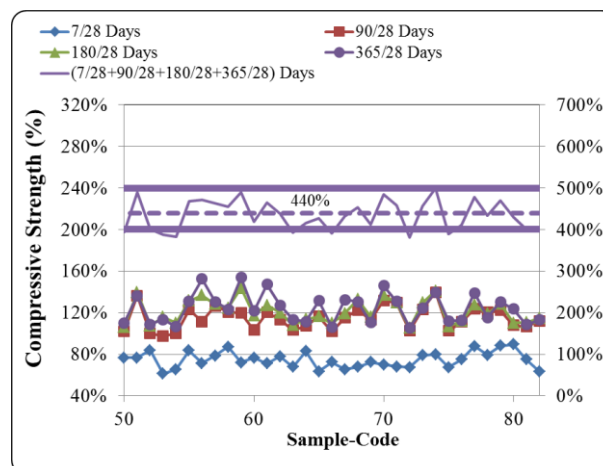
شکل ۵- نتایج مقاومت فشاری مخلوط‌های بتنی طی سنین کوتاه، میان و بلندمدت در این مطالعه

CV^6 : coefficient of variation: این شاخص برای اندازه‌گیری توزیع داده‌های آماری به کار می‌رود. که از تقسیم انحراف معیار بر میانگین به دست

می‌آید.

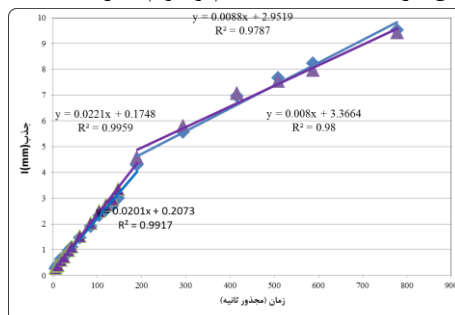
با دقت در نمودار شکل ۵ می‌توان دریافت که مخلوط‌های بتنی عمدتاً سه گونه روند رشد مقاومتی در سنین مختلف را داشته‌اند: ۱- در سنین کوتاه و میان‌مدت (۷ و ۲۸ روزه) مقاومت بالایی را نشان می‌دهند و شیب منحنی تقریباً افزایشی است، اما پس از سن ۲۸ روزه (بلندمدت=مقاومت‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۵ روزه) شیب منحنی کاهش می‌یابد؛ ۲- در سنین ۷ و ۲۸ روزه مقاومت پائین‌تری کسب نموده‌اند، اما پس از گذشت ۲۸ روزه روند افزایشی شده و شیب منحنی بیشتر است؛ ۳- چندان از دو روند مذکور قبلی تبعیت ندارند. دسته سوم نمونه‌هایی هستند که یا حالت عادی دارند و روند رشد مقاومتی تقریباً بصورت میانگین، آهنگ یکنواخت و مدنظر را طی می‌نمایند و یا مستعد کسب مقاومت مطلوب در همه سنین نمی‌باشد. برای بررسی دقیق‌تر روند رشد مقاومت نسبت‌های مقاومتی در شکل ۶ به نمایش درآمده‌اند.

با توجه به نمودار آهنگ رشد مقاومت طی یکسال و محاسبه مجموع نسبت‌های مقاومت فشاری ۲۸ روزه/۷ روزه، ۲۸ روزه/۹۰ روزه، ۲۸ روزه/۱۸۰ روزه، ۲۸ روزه/۳۶۵ روزه مشخص گردید که این شاخص حدود ۴۴۰٪ به دست می‌آید (شکل ۶)؛ لذا اینگونه استنباط می‌شود که اگر از سنین کوتاه‌مدت تا میان‌مدت رشد مقاومتی زیاد باشد، رشد مقاومت از میان‌مدت به بلندمدت اندک است. به همین صورت اگر رشد مقاومتی از سنین کوتاه‌مدت تا میان‌مدت کم باشد، رشد مقاومت از میان‌مدت به بلندمدت زیاد خواهد بود. البته این موضوع اصلاً بدان معنی نمی‌باشد که مقاومت نهایی همه مخلوط‌ها یکسان هستند.

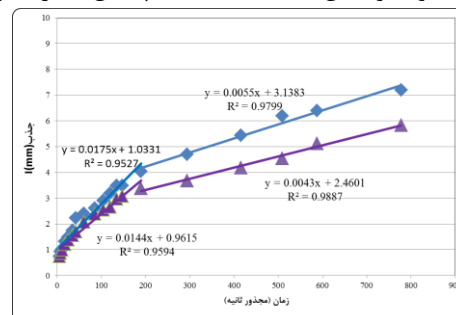


شکل ۶- نتایج نسبی مقاومت فشاری مخلوط‌های بتنی طی سنین کوتاه، میان و بلندمدت در این مطالعه

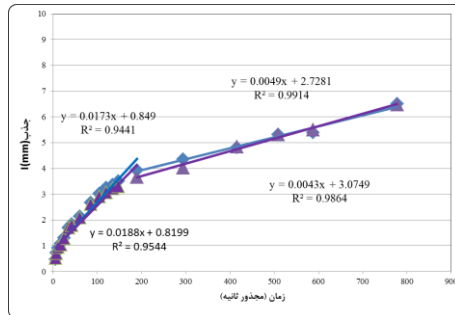
در مرحله بعدی نتایج آزمایش تعیین نرخ جذب آب (شکل ۷) با نتایج مقاومتی مقایسه شدند. در حقیقت منظور از این مقایسه بررسی ارتباط شاخص‌های مقاومت و نفوذپذیری بتن می‌باشد که تا حدودی استحکام و دوام بتن را نشان می‌دهد. بنا بر نتایج مقاومتی حاصله طی این عملیات آزمایشگاهی و نیز ادله علمی تشریح شده در این مقاله مشخص می‌گردد که صرفاً مقاومت کوتاه و میان‌مدت بالا احتمالاً چندان تأثیری بر مقاومت بتن در بلندمدت، استحکام و دوام ندارد.



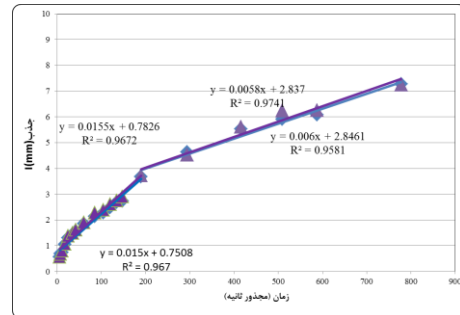
ب: (کد نمونه: ۵۵)



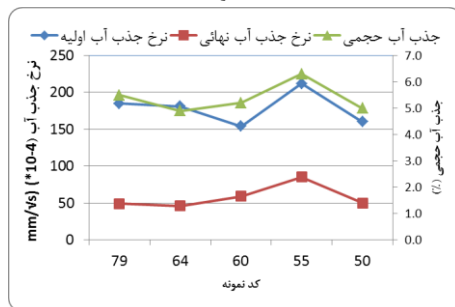
الف: (کد نمونه: ۵۰)



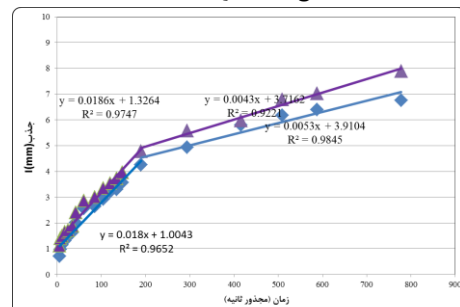
د: (کد نمونه: ۶۴)



ج: (کد نمونه: ۶۰)



و: (جمع بندی نتایج آزمایش های تعیین نرخ جذب آب اولیه، نهائی و حجمی)



ه: (کد نمونه: ۷۹)

شکل ۷- نمودارهای تعیین نرخ جذب آب موئینه و حجمی برای بتن های ساخته شده با سیمان های آزمایشگاهی

۴. نتیجه گیری

۱. میانگین نتایج مقاومتی در مخلوط بتن های آزمایشگاهی برای سنین ۷، ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۵ روزه نسبت به مقاومت ۲۸ روزه به ترتیب برابر ۷۶٪، ۱۱۳٪، ۱۲۲٪ و ۱۲۷٪ بوده است. مجموع این نسبت ها برابر ۴۴۰٪ برای همه نمونه ها بود. با توجه به ادله علمی تشریح شده در این مقاله مشخص می گردد که صرفاً مقاومت کوتاه و میان مدت بالا احتمالاً تاثیر مطلوبی بر مقاومت بتن در بلندمدت، استحکام و دوام بتن در ساختمان ها ندارد. از این رو توصیه می شود که به عوامل گروه دوم در بند قبلی توجه بیشتری گردد.
۲. بطور میانگین نرخ جذب آب اولیه: $(mm/\sqrt{s})$ (10^{-4}) ۵۸، نرخ جذب آب نهائی: $(mm/\sqrt{s})$ (10^{-4}) ۱۷۸ و جذب آب حجمی ۵/۴٪ بود. مقایسه نتایج دو سری آزمایش، ارتباط واضحی مابین نتایج مقاومت فشاری درازمدت و نفوذپذیری در بتن را نشان نداد. لذا می توان گفت عبارت "بتن با مقاومت زیاد با دوام است" نادرست است.
۳. بطور کلی عوامل موثر بر رشد مقاومت بتن از کوتاه مدت تا میان و درازمدت معرفی شدند که شامل: نرمی سیمان، میزان فازهای سیمان، مقادیر قلیائی ها، سولفات و آهک آزاد، نسبت های مخلوط بتن به ویژه w/c ، دمای عمل آوری بتن و افزودنی های مصرفی می باشد. پیرامون چگونگی تاثیر هر یک از این عوامل بر مقاومت های کوتاه، میان و درازمدت بحث گردید و اثر آنها در دوام بتن ساختمان ها تشریح شدند.

۵. قدردانی

تشکر و قدردانی ویژه ای از مدیران، کارشناسان، و تکنسین های آزمایشگاه و سایر پرسنل زحماتش مجتمع صنعتی سیمان دارم.

۶. مراجع

- [۱] "سند چشم انداز بتن ۱۴۰۴". (۱۳۹۴). مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ص ۱۹.
- [۲] احمدی، ب.، نعمتی، م.، سبحانی، ج.، میرباقری، ع.، قادری، م. (آذر ۱۳۹۶). "بتن و زلزله، درس‌ها و عبرت‌ها". ماهنامه علمی تخصصی فناوری سیمان. شماره ۱۰۹. ص ۷۴.
- [۳] گزارشات کمیته ارتباط با مشتریان-سیمان تهران.
- [۴] مقررات ملی ساختمان ایران-مبحث نهم-طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه-ص ۱۰۲.
- [۵] تدین، م. (۱۳۹۰) دوره‌های آموزشی پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد مقدس.
- [۶] "آئین‌نامه بتن ایران". ص ۳۷۶.
- [۷] "تفسیر آئین‌نامه بتن ایران". ص ۱۱۴.
- [۸] رضانیانپور، ع.، شاه نظری، م. (۱۳۸۲) تکنولوژی بتن. انتشارات صنعت گستر. ص ۴۴۵.
- [۹] مستوفی‌نژاد، د. (۱۳۸۲). "تکنولوژی و طرح اختلاط بتن". انتشارات ارکان. ص ۴۰.
- [۱۰] کفاش، ع.، رفیعی، م. "بررسی ارتباط مقاومت سیمان تهران در ملات و بتن". هفتمین کنفرانس سالیانه بتن ایران-تهران- ۱۵مهر ۹۴، ص ۱۰.
- [۱۱] کفاش، ع.، سعیدی، م. "بررسی توانان تغییرات نرمی سیمان در ملات و بتن" کنفرانس بین‌المللی سالانه تحقیقات در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی و محیط زیست پایدار، تهران، ۲۴ آذر ۹۴، ص ۱۲.
- [۱۲] بکائیان، م. (۱۳۷۶). "هندبوک مهندسی سیمان، مواد نسوز و مصالح ساختمانی". انتشارات مرکز آموزش نیروی انسانی مجتمع صنعتی سیمان آبیک. ص ۱۶۰.
- [۱۳] کفاش، ع.، نیک‌فال، ز. "مطالعه مصرف بهینه آهک در سیمان پرتلند (CEM I)". سی‌امین دوره سمینار کنترل کیفیت سیمان-تهران-انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان-۱۸ و ۱۹ مهر ۹۶، ص ۱۲.
- [۱۴] تدین، م. (۱۶مهر ۱۳۹۶). "کاربرد افزودنی‌های روان‌کننده در کاهش مصرف سیمان و ایجاد توسعه پایدار". نهمین کنفرانس ملی بتن ایران-تهران.
- [۱۵] معماریان، ج. "زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک" انتشارات دانشگاه تهران. ص ۴۸۰.
- [۱۶] تدین، م. (آذر ۱۳۹۶). "دوره آموزشی تخصصی زمینه‌های کاربردی جدید میکروسلیکا در بتن".
- [۱۷] "راهنمای روش ملی طرح مخلوط بتن" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ص ۳۳.
- [18] Frohnsdorff G and Clifton J. "Cement and Concrete Standards of the Future". NISTIR5933. (1997).
- [19] http://www.concreteconstruction.net/how-to/materials/concrete-durability_o.
- [20] Lerch, W. & Bogue, R. (May 1934). "Heat of hydration of portland cement pastes". Part of Bureau of Standards Journal of Research, vol. 12. P661.
- [21] Redy mixed British.
- [22] Neville AM, Brooks JJ (2002). "Concrete Properties". Prentice Hall.
- [23] www.cemnet.com
- [24] Moir, G. "Cements". Booksite Elsevier.

- [25] Aïtcin, P. & Suxar, S. & Rroouro, M & Volant, D. (1987). "Retardation effect of superplasticizer on different cement fraction". Cement and Concrete Research 17. No.6, pp. 995-9.
- [26] ACI 211-1-91 (Reapproved 2002) "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete".
- [27] Neville AM, Brooks JJ (2002). "Concrete technology". Prentice Hall, p20.
- [28] CP 114 (1969). "The structural use of reinforced concrete in buildings". British Standards Institution.

The case study of the relationship between midterm & long-term compressive strength of concrete to increase the stability of buildings.

Ali Akbar Kafash Bazari

Chief of Laboratory of research and development of Tehran cement Co

Eliaskafash@gmail.com

Abstract:

In this paper, with a general & practical attitude to building industry, in order to increase the stability of buildings, the parameters effective in the relationship between midterm and long & short-term compressive strengths of concrete have been checked. So, the trend of the progress of compressive strength concrete during 7, 28, 90, 180, 365 days for a high- consumed (brand of) cement in Tehran Building industry was investigated by making many laboratory concrete mixes (34 mixes & 408 specimens). In these normal concretes with 350 kg/m³ cement_ all prepared in the same condition_ the only variable parameter was cement. The results showed that the average of the ratio of compressive strength was in the form of 7days/28days=75%, 90days/28days=115%, 180days/28days=121%, 365days/28days=125% and the total ratio was 440%. This total ratio is nearly the same for all mixes (Sum of 4 ratio mentioned). To control the permeability of concrete mixes which is one of the indexes affecting durability of concrete, some experiments of the rate of water absorption (Standard Test Method ISIRI19895) and determination of water absorption (Standard Test Method BS-1881-122) for on 28-day specimen has been carried out. So, in average, the initial rate of water absorption was about 58×10^{-4} mm/s^{1/2}, the secondary rate of water absorption about 178×10^{-4} mm/s^{1/2} and water absorption about 5.4%. The comparison of the results of the two tests didn't show a clear relationship between long-term compressive strength and the permeability of concrete.

Keywords: Concrete, Midterm Strength, Durability, stability buildings.
