

جناب آقای دکتر تدین

مسئول محترم کمیته انتشارات انجمن بتن ایران

احتراماً به استحضار می‌رساند این شرکت بتن عیار ۳۵۰ با مقاومت ۲۱۰ استوانه ای، (۲۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب نمونه ۱۵\*۱۵ مکعبی) را طبق قرارداد پیوست، تولید، حمل و بر روی سقفی تیرچه بلوک پمپاژ نموده است. ریختن، تراکم، تسطیح، نگهداری و عمل‌آوری نیز به عهده کارفرما بوده و توسط عوامل وی صورت گرفته است. پس از تحویل بتن، با ایجاد ترک‌هایی بر سطح بتن سخت شده، درست بر روی میلگردها در امتداد شبکه حرارتی، میلگرد بالای تیرچه‌ها و بر روی میلگرد شناژها، کارفرما این امر را نشانه عدم کیفیت بتن و لزوم تخریب آن میدانند. از آنجا که از سوی کارفرما در حین بتن‌ریزی نمونه‌گیری و تست مقاومت صورت نگرفته است، توسط کارفرما اقدام به کرگیری شده و متوسط مقاومت نمونه‌های مغزه‌گیری شده، ۲۷۸/۷ کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب نمونه استوانه ای به دست آمده است که نتایج آن به همراه تصویر ترک‌های مذکور، به پیوست تقدیم می‌گردد.

ضمناً قبل از بتن‌ریزی (علی‌رغم نداشتن مسئولیت)، توسط ناظر فنی این شرکت به کارفرما در باره سست بودن شمعها مستنداً تذکر کتبی داده شده است.

لذا خواهشمند است تعیین حد مسئولیت این شرکت در قبال فروش بتن استاندارد، با توجه به مستندات پیوست، براساس مسلمات دانش تکنولوژی بتن و نیز آئین نامه و مقررات ملی، در این باره اظهار نظر فرمایند.

باتقدیم شایسته ترین احترامات فائقه

محمد رضا قمی - عضو انجمن بتن ایران

جناب آقای مهندس محمد رضا قمی

باسلام و احترام،

بازگشت به نامه شماره ۹۱/۱۱۹ مورخ ۹۱/۶/۱۶ آن شرکت و پرسش در مورد حد مسئولیت فروشندگان بتن آماده و اشکالات بوجود آمده برای قطعه بتن ریخته شده نکات زیر به استحضار می‌رسد.

۱ - کیفیت بتن موجود در قطعه (ریخته شده در عضو مورد نظر) تابع کیفیت بتن ساخته شده، نحوه ریختن، نحوه تراکم و نحوه عمل‌آوری بتن می‌باشد.

۲ - زمانی که در مورد مقاومت فشاری مشخصه بتن و یا رده مقاومتی بتن در آبا و مقررات ملی بحث می‌شود، مقاومت فشاری استوانه ای بتن قالب‌گیری شده قبل از ریختن در قطعه است که تحت شرایط و با روش خاص قالب‌گیری می‌شود و در شرایط استاندارد نگهداری می‌گردد.

۳ - بدیهی است مسئولیت فروشنده و تولیدکننده بتن آماده، در تامین مقاومت مشخصه بتن است، هر چند طبق خواسته خریدار باید برخی موارد دیگر مانند اسلامپ لازم، حداقل و حداکثر دمای مجاز یا مطلوب، حداکثر اندازه سنگدانه یا دانه بندی نیز رعایت شود.

۴- ایجاد ترک در سطح فوقانی یک سقف یا در سطح بالائی یک تیر یا شالوده به عوامل مختلفی مانند جمع‌شدگی ناشی از تبخیر، نشست خمیری ناشی از آب انداختن و حتی لرزش‌ها و حرکت میلگرد در بتن در هنگام ریختن و تراکم بتن مربوط می‌شود که می‌توان با اقدامات مناسب در هنگام اجرا از بروز این مشکل جلوگیری نمود.

۵- سست بودن شمع‌ها معمولاً نمی‌تواند به ترک‌های سطح فوقانی دال منجر شود هر چند شکست سقف می‌تواند در سطح فوقانی نیز ترک بوجود آورد اما در این حالت، شکست قطعه از قسمت زیرین نیز مشاهده می‌شود که بسیار بعید بنظر می‌رسد.

۶- مقاومت استوانه ای ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع برابر ۲۶۰ مکعبی است (طبق تفسیر آبا و مبحث نهم مقررات ملی ایران) که به غلط ۲۷۰ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب! نوشته شده است.

۷- مقاومت مغزه ها حاکی از مناسب بودن مقاومت بتن قطعه است اما به هر حال این مقاومت صرفاً نمی تواند معرف کیفیت بتن ارائه شده باشد. حداقل مقاومت قابل قبول برای میانگین مغزه ها در این پروژه از نظر سازه ای  $178 \text{ kg/cm}^2$  می باشد که مقدار بدست آمده به مراتب بالاتر از این حداقل می باشد.

## با احترام

محسن تدین

مسئول کمیته انتشارات انجمن بتن ایران

استاد گرامی جناب آقای دکتر محسن تدین

موضوع: الزامات ساخت و اجرای بتن ستون و راه پله ها  
باسلام و احترام،

همانگونه که استحضار دارید ستون و راه پله ها از مهمترین و اساسی ترین اجزای ساختمان در هنگام زلزله می باشند، متأسفانه اغلب ستون های ساختمانی و راه پله ها دارای شن نمایی های فراوان می باشد. اغلب در پروژه های ساختمانی به منظور جلوگیری از شن نمایی، روانی بتن توسط آب افزایش داده می شود و یا زمان ویبره را طولانی تر می نمایند. خواهشمند است در خصوص علل به وجود آمدن شن نمایی ستون ها، دیوارهای برشی و راه پله ها راهکارهای مناسب (طرح اختلاط، نحوه ریختن، نحوه اجرا، ویبره زدن و عمل آوری) جهت جلوگیری از به وجود آمدن نقص مذکور را بیان نمایید.  
پیشاپیش از بذل توجه و عنایت حضرتعالی سپاگزارم.

امیر شیبانی

عضو انجمن بتن ایران

جناب آقای مهندس امیر شیبانی

عضو انجمن بتن ایران

باسلام و احترام،

بازگشت به نامه شماره ۱۲۶-۹۱ مورخ ۹۱/۹/۱ جنابعالی که حاوی پرسش بسیار مهم و مشکل زا در اجرای سازه های بتنی در مورد شن نما یا کرمو شدن بخشهایی از سازه بویژه دیوارها، ستونها و دالهای راه پله می باشد، نظر جنابعالی را به پاسخ مشروح آن جلب می نمایم. هر چند این موضوع تا حد زیادی برای جنابعالی روشن است اما امید است بهره لازم کسب گردد.

۱- مهم ترین نقص و عیب سازه های بتنی ایران و جهان، موضوع کرمو یا شن نما شدن (HoneyCombing) می باشد که در همه آئین نامه ها دستوراتی را برای جلوگیری از بروز چنین نقیصه ای صادر می نمایند و یا تذکرات مهمی مطرح می کنند. عامل بروز چنین نقیصی، جداسدگی در بتن می باشد. با بررسی عوامل زمینه ساز و موثر در ایجاد جدا شدگی، می توان راهکارهای پیشگیری از بروز این مشکل را دریافت.

۲- کرمو بودن یا شن نما شدن بتن، ظاهری کاملاً متفاوت با عدم تراکم کافی بتن دارد. متأسفانه اکثریت قریب به اتفاق مهندسين و تکنیسین ها و دست اندرکاران اجرای سازه های بتنی این دو عیب را یکسان می شمارند. در بتن کرمو یا شن نما شده، ذرات درشت دانه (شن) در کنار هم دیده می شود که فضای بین آنها فاقد ملات و شیره کافی می باشد، در حالیکه در یک بتن غیر متراکم فضاها و حفرات کوچک و بزرگ قابل رؤیت (از چند دهم میلیمتر تا چندین میلیمتر) مشاهده گردد اما در بخش جامد، ذرات درشت و ریز و شیره بتن در کنارهم بصورت همگن دیده می شود.

خلط این دو مورد، مقدمه مهمی برای پابرجا بودن این عیب (یعنی کرمو یا شن نما بودن) در طول سالهای متمادی در کشور ما شده است. مسلماً با تشخیص غلط بیماری نباید امید چندانی به درمان داشت و چه بسا تشخیص غلط به وخیم ترین شدن بیماری در اثر درمان غلط و نا بجا منجر می شود که از فضای روزگار، در این مورد راهکارهای درمانی، وضع را معمولاً بدتر می کند.

۳ - نقیصه بزرگ کرمو یا شن نما بودن بتن، نتایج خاصی را به دنبال می آورد که عبارتند از:

**الف:** کاهش شدید مقاومت فشاری، کششی و خمشی و برشی بتن به حدی که ممکن است نتوان مقاومت بتن این بخش را اندازه گیری کرد و حتی گاه امکان تهیه مغزه نیز در این قسمت ها وجود ندارد.

**ب:** کاهش شدید مدول ارتجاعی بتن که عملاً در طراحی سازه از اهمیت برخوردار می باشد.

**پ:** کاهش شدید پیوستگی بین بتن و میلگرد که به کاهش شدید ظرفیت باربری قطعه می انجامد و عملاً انتقال نیروها بدرستی صورت نمی گیرد و روابط شناخته شده در طراحی سازه های بتن آرمه از اعتبار ساقط می شود.

**ت:** افزایش شدید نفوذپذیری بتن در منطقه کرمو یا شن نما شده و نشت شدید آب به درون بتن و از بین رفتن آب بندی در سازه های نگهدارنده مایعات.

**ث:** عدم امکان اندازه گیری جذب آب کوتاه مدت و بلند مدت بدلیل حفرات بزرگ.

**ج:** نفوذ مواد زیان آور به درون بتن و آسیب رسانی به بتن (حمله سولفاتها و مواد اسیدی و ...).

**چ:** عدم دوام بتن در محیط های دارای چرخه های یخ بندان و آبشدگی.

**ح:** شروع زود هنگام خوردگی میلگردها در اثر نفوذ سریع یون کلرید یا کربناته شدن بتن یا خمیر سیمان ناچیز مجاور میلگردها و از بین رفتن لایه انفعالی (در صورت تشکیل شدن آن).

**خ:** عدم تشکیل لایه انفعالی در میلگرد واقع در بخش شن نما شده و شروع خوردگی از ابتدای بتن ریزی یا ادامه دادن خوردگی میلگردهای زنگ زده.

**د:** افزایش آهنگ (شدت) خوردگی میلگردها در اثر کاهش شدید مقاومت الکتریکی بتن اطراف آن در منطقه پوشش میلگردها.

**ذ:** ایجاد منظره بد و نمای نامطلوب در سطح بتن.

۴ - دلیل اصلی بروز این مشکل، جداسدگی بتن است. جداسدگی (Segregation) به علل مختلفی در بتن ایجاد می شود. معنای جداسدگی، جدائی یک جزء یا چند جزء بتن از دیگر اجزای آن می باشد.

قبل از فهرست کردن علل ایجاد جداسدگی در بتن لازم است متذکر شویم که علل موجود وقتی می توانند موثر واقع شوند که استعداد جداسدگی در بتن وجود داشته باشد. در واقع برای بالفعل شدن (Activation) جداسدگی نیاز به استعداد بالقوه (Potential) در بتن وجود دارد.

هر چند بهر حال استعداد جدا شدگی در بتن ها موجود است اما تراز و میزان این استعداد یکسان نیست. به عبارت دیگر می توان استعداد جداسدگی بتن را یک عامل زمینه ساز درونی نام نهاد و سایر عوامل را می توان عوامل بیرونی خواند. بنابراین ایجاد عوامل بیرونی به میزان مشخص، در بتن هائی که استعداد جداسدگی متفاوت دارند به جداسدگی یکسان منجر نمی شود. بدین ترتیب نقش استعداد جدا شدگی و شناخت عوامل ایجاد این استعداد در بتن ها بسیار مهم تلقی می گردد.

۵ - برای ایجاد زمینه و استعداد بیشتر جداسدگی، باید انسجام و درگیری و چسبندگی بتن و اجزای آن با یکدیگر کمتر شود. بنابراین بخوبی می توان حدس زد که این استعداد، مرتبط با نسبت ها و مقادیر و کیفیت اجرای بتن خواهد بود و پیش بینی آن دور از ذهن نمی باشد و تسهیل در حرکت و تراکم سریع تر معمولاً به افزایش استعداد جداسدگی منجر می گردد. بصورت خلاصه می توان عوامل افزایش استعداد جداسدگی را در زیر فهرست نمود.

**الف:** افزایش اسلامپ و کارائی بتن

**ب:** افزایش مقدار آب و نسبت آب به سیمان بتن

پ: کاهش عیار سیمان و مواد چسباننده یا کاهش خمیر سیمان

ت: افزایش حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها

ث: درشت بافت شدن دانه بندی سنگدانه ها

ج: گردگوشه تر شدن سنگدانه ها بویژه درشت دانه ها

چ: صاف تر شدن بافت سطحی سنگدانه بویژه درشت دانه

ح: کاهش ماسه های ریز بتن (ذرات ریزتر از  $0/3$  میلی متر) و حتی کاهش مواد ریزدانه و مواد پودری

خ: مصرف زیاده از حد روان کننده ها یا فوق روان کننده ها در بتن

د: عدم استفاده از مواد حبابزا در بتن

بدیهی است با عنایت به موارد فوق می توان به نحوی طرح مخلوط بتن را ارائه داد که استعداد جداسازی آن کم باشد.

۶ - عوامل خارجی که می تواند استعداد بالقوه جداسازی را بالفعل نماید از نظر اجرائی اهمیت فراوانی دارند. این عوامل را می توان در زیر بصورت خلاصه برشمرد.

الف: ایجاد ضربه یا لرزش در حین حمل (حمل با فرغون و دمپروکمپرسی در مسیر ناصاف، حمل با تسمه نقاله در اثر ضربات رولیک و ...).

ب: افزایش مولفه افقی سرعت بتن در هنگام ریختن (در انتهای شوت، در انتهای تسمه نقاله یا خروج بتن از لوله افقی در هنگام پمپ کردن و ...).

پ: برخورد بتن بصورت افقی یا قائم به میلگردها در مسیر تخلیه و ریختن بتن.

ت: برخورد با زاویه قائم یا حاده با قالب قائم (بویژه استفاده از جام های بغل ریز).

ث: پرتاب کردن بتن با وسائلی همچون بیل از نقطه ای به نقطه دیگر یا به درون قالب.

ج: در رفتن شیره یا ملات از درز قالب (نوعی جداسازی استاتیکی).

چ: لرزش زیاده از حد در هنگام تراکم بتن (فرونشستن درشت دانه ها و رو آمدن ریزدانه ها و شیره بتن)

ح: حرکت دادن لرزاننده درونی (خرطومی) به اطراف در حالی که در بتن فرو برده شده است (هل دادن توده بتن با لرزاننده خرطومی).

خ: اختلاف شدید بین چگالی ذرات سنگدانه و خمیر سیمان (سبکی یا سنگینی زیاد نسبت به خمیر سیمان) که باعث جداسازی استاتیکی بتن می شود در حالی که اکثر جداسازی ها دینامیکی هستند.

د: حرکت بتن در مسیر طولانی بویژه در بتن های خود تراکم (مسافت بیشتر از ۵ متر).

ذ: گیر کردن سنگدانه های درشت در شبکه میلگرد و حرکت ملات بدون شن بدلیل انبوهی شبکه میلگرد.

ر: عمل پمپ کردن بتن با روانی خیلی زیاد و با دانه بندی نا مطلوب و ریز دانه کم.

ز: برخورد شدید بتن پاشیدنی به سطح و برگشت درشت دانه ها بهمراه بخشی از ملات یا شیره بتن.

ژ: راه رفتن زیاد بر روی بتن تازه و حرکت وسایل حمل و ریختن بر روی بتن تازه ریخته شده.

س: بتن ریزی روی شیب بویژه از بالا به پایین بجای پایین به بالا.

ش: پرداخت لیسه ای غلط در سطح فوقانی بتن (در اثر عدم رعایت زمان پرداخت در ارتباط با آب انداختن بتن)

ص: آب شستگی بتن در اثر بارش و ایجاد رواناب در سطح بتن.

ض: آب شستگی در بتن ریزی زیر آب با لوله ترمی بدلیل سرعت زیاد بتن در لوله ترمی و کم بودن عمق سر لوله در بتن ریخته شده وتلاطم حاصله از ریختن بتن در سطح بتن مجاور آب.

ط: دامنه نوسان و فرکانس نامناسب و ویراتور بویژه قدرت بیش از حد آن و یا ضعف شدید و ویراتور

۷- لازم به ذکر است که ارتفاع به خودی خود عامل جداشدگی نیست اما اگر عاملی فعال شود و جداشدگی بویژه در هنگام ریختن بتن ایجاد گردد، افزایش ارتفاع به افزایش جداشدگی و بهتر دیده شدن آن کمک شایانی می کند. می توان ارتفاع زیاد شره کردن بتن را عامل تشدید جداشدگی دانست نه عامل اولیه برای جداشدگی. بنابراین دیده می شود که با استفاده از قیف هادی یا ناوه (شوت) سقوطی و وسایل مشابه می توان بتن را از ارتفاع زیاد به پائین ریخت و جداشدگی مشاهده نمود به شرطی که بتن به میلگردها و بدنه قائم قالب در این مسیر برخورد نکند و امروزه محدودیتی برای ارتفاع سقوط بتن در آئین نامه های معتبر دنیا به چشم نمی خورد یا به تدریج این محدودیت ها کم می شود و یا ارتفاع مجاز شره کردن بتن افزایش می یابد.

۸- همانطور که مشاهده نمودید راه حل های جلوگیری از بروز مشکل کرمو یا شن نما شدن، جلوگیری از ایجاد جداشدگی در بتن است و قاعدتاً در دو مرحله طرح مخلوط بتن و اجرا باید تدابیر لازم اتخاذ گردد تا از این امر پرهیز نمائیم.

در مرحله مخلوط بتن های عادی معمولاً کاهش حداکثر اندازه دانه ها و ریز بافت تر کردن دانه بندی (افزایش سهم ماسه و کاهش سهم شن) به همراه مصرف ماسه های حاوی ریز کافی، عدم اصرار بر بالا بردن SE و پرهیز از ایجاد روانی زیاد بویژه بکمک آب و ترجیحاً استفاده از روان کننده یا فوق روان کننده های لزج کننده و مصرف معقول و منطقی سیمان و بکارگیری شن شکسته یا نیمه شکسته و ماسه گردگوشه و بکارگیری روانی مناسب اما کم می تواند استعداد جداشدگی را کم کند بویژه اگر نیاز به بتن پمپی داشته باشیم که در شرایط فعلی چنین نیاز مبرمی وجود دارد.

در مرحله اجرا، درزگیری قالب ها، استفاده از قیف و لوله (شوت سقوطی) در زیر جام (باکت) و در انتهای لوله پمپ بصورتی که در ستون یا دیوارپائین رود و از برخورد بتن با میلگرد و قالب جلوگیری نماید. در صورتی که نتوان از شوت سقوطی و لوله (صلب یا انعطاف پذیر) استفاده نمود، برای بتن ریزی دیوار یا ستون مرتفع بهتر است از دریچه های جانبی در ترازهای مختلف استفاده نمود اما نباید بتن را با یک شیب یا بصورت افقی و با سرعت به درون قالب فرستاد بلکه باید با ایجاد یک سکوی لبه دار، بتن را بصورت شاغولی روی آن ریخت تا به تدریج سر ریز کند و قالب را پر نماید.

استفاده از لرزاننده خرطومی مناسب (نه چندان قوی و نه چندان ضعیف) و لرزاندن صحیح بتن و پرهیز از لرزاندن بیش از حد (Over Vibration) کمک بزرگی برای جلوگیری از بروز مشکل است.

۹- اوج هنر ساخت و ریختن بتن امروزه به بتن خودتراکم مربوط می شود. در حالی که روانی و کارایی را فوق العاده بالا می بریم اما باید سعی شود از جداشدگی و آب انداختن جلوگیری شود.

به هر حال برای سهولت در ریختن و عدم استفاده از وسایل تراکمی بویژه لرزش، نیاز به این کارایی وجود دارد ولی درحالت ایستا و پویا نباید باعث جداشدگی گردد. بنابراین جمع کردن این موارد متضاد کاری هنرمندانه است که راهکارهای آن قبلاً تشریح شده است. با این حال امروزه محدودیت هائی در ارتباط با نحوه ریختن و طول حرکت افقی بتن در قالب برای این بتن ها نیز وجود دارد.

۱۰- یکی از رایج ترین دلایل بروز مشکل کرمو شدگی و شن نما شدن، لرزاندن بتن بیش از حد بتن می باشد، زیرا تصور می شود مشکل بوجود آمده مربوط به نقص و کمبود لرزاندن است. لذا ضمن ریختن بتن در لایه هائی بیش از ۶۰ سانتی متر در ستون و دیوار و غیره، سعی می کنند ویراتور را بصورت فعال و روشن در داخل بتن به مقدار قابل توجهی باقی نگهدارند و به تدریج بالا بیاورند. در این حالت علاوه بر عدم خروج کامل هوای غیر عمودی بتن، جداشدگی حاصل می شود و سنگدانه های درشت به پائین رانده می شود و شیرها بالا می آید. معمولاً در داخل ستون و دیوار دیدکافی نیز وجود ندارد تا بتوان از این امر آگاه شد و با شروع روزدن شیرها، ویراتور را به تدریج خارج نمود بلکه با ادامه دادن به تراکم و اصرار بر طولانی مدت کردن آن باعث جداشدگی می شوند و یا جداشدگی موجود را تشدید می کنند.

۱۱ - شرکت های بتن آماده نیز در ایران معمولاً نقش جدی و پررنگی در بروز این مشکل ایفا می کنند. عدم کاهش حداکثر اندازه اسمی از ۲۵ به ۲۰ میلی متر در بتن های پمپی، استفاده از دانه بندی درشت در مخلوط سنگدانه، اصرار برای بکارگیری ماسه های کم ریز و با SE زیاد به بهانه تمیزتر بودن، مناسب نبودن دانه بندی برای پمپ کردن و ایجاد ضرورت برای روان کردن بتن پمپی بدون بهره گیری از روان کننده یا فوق روان کننده و عدم افزایش سیمان و بالا بردن استعداد جداسدگی از جمله مشکلاتی است که بدلیل عدم رعایت نکاتی برای کاهش استعداد جداسدگی و یا عدم اطلاع از سازوکار بروز مشکل ایجاد می کنند.

امید است با اطلاع از این مواد، شرکت های بتن آماده بتوانند بتن های مناسب تر و با استعداد جداسدگی کمتر را برای پمپ کردن عرضه نمایند. بهر حال خریداران نیز باید هزینه این اقدامات را بپردازند تا سازه های بهتری را تولید کنند.

۱۲ - در طول سالهای گذشته، با انتشار هر تجدید نظر در آئین نامه های زلزله در ایران، به تدریج حجم میلگردهای طولی و عرضی زیادتر شده و فاصله های آنها کم شده است و بویژه در محل تقاطع تیرو ستون، فشردگی و انبوهی زایدالوصفی مشاهده می گردد. مجریان نیز برای جایدھی بهتر نیازمند بتن های روان تر و کاراتر می باشند زیرا عملاً استفاده از ویبراتورهای خرطومی در این موارد دشوار است.

اگر به این خواسته از مجاری صحیح پاسخ مناسب داده نشود، دست اندرکاران اجرا مجبور به افزودن آب و روان کردن آن بصورت غیر اصولی می شوند، که علاوه بر کاهش شدید مقاومت و دوام بتن، به افزایش استعداد جداسدگی منجر می شود. با توجه به عدم رعایت نکات اجرائی مرتبط با ریختن بتن، جداسدگی های قابل توجهی حاصل می گردد و شن نما شدن بتن منجر می شود.

اگر از ابتدا در هنگام طرح مخلوط بتن، دستیابی به کارائی زیاد مد نظر قرار گیرد و چنین بتنی ساخته شود مسلماً امکان بروز چنین مشکلاتی کمتر می گردد. امروزه در بهترین حالت، این نیاز با ساخت بتن خودتراکم مرتفع می شود و لازم است به تدریج تولیدکنندگان بتن آماده در این راه قدم بردارند و بتوانند با افزایش دانش فنی و بهره گیری از تکنولوژی مناسب، این نوع بتن ها را تولید کنند و در اختیار مصرف کننده قرار دهند.

## با احترام

محسن تدین

مسئول کمیته انتشارات انجمن بتن ایران

استاد گرامی جناب آقای دکتر تدین

موضوع: بتن حجیم

باسلام و احترام،

خواهشمند است نسبت به تعریف بتن حجیم و الزامات آن (طرح مخلوط عمل آوری و ...) راهنماییهای لازم را ارائه نمایید. شایان ذکر است در برخی پروژه های ساختمانی برای اجرای پی های عمیق (عمق ۲ تا ۴ متر) بر استفاده از مواد پوزولانی تاکید می شود. آیا جایگزینی پوزولان برای کاهش احتمال شوک های حرارتی کفایت می نماید؟ پیشاپیش از بذل توجه و عنایت حضرتعالی سپاسگزارم.

امیرشیبانی

عضو انجمن بتن ایران

جناب آقای مهندس شیبانی

باسلام و احترام،

در پاسخ به پرسش جنابعالی به شماره ۱۳۷-۹۱ مورخ ۹۱/۱۰/۲ در مورد تعریف بتن حجیم و الزامات مصالح مصرفی، ساخت و عمل آوری و جایگاه مصرف مواد پوزولانی جایگزین سیمان برای کاهش احتمال بروز تنش های حرارتی، موارد زیر را به استحضار می رسانم. امید است ابهامات موجود برطرف گردد.



۱- برخلاف آنچه که اکثریت قریب به اتفاق می پندارند، بتن حجیم تعریف دقیقی از نظر ابعادی ندارد. در ACI116R و در ACI207R برای بتن حجیم تعریف جالب اما ابهام آمیز وجود دارد. گفته شده است که بتن حجیم، بتنی با ابعادی آنقدر بزرگ است که (در حالت عادی کنترل نشده) تنش های حرارتی می تواند در آن ایجاد شود و به ترک خوردگی بیانجامد. در صورت وجود چنین حالتی باید تمهیدات و اقدامات خاصی را فراهم نمود و انجام داد تا چنین مشکلی بوجود نیاید.

در برخی منابع و مراجع معتبر از قطعاتی همچون ستون با ابعاد ۰/۵۰ متر نام برده اند که حجیم تلقی شده است و برای پرهیز از ترک خوردگی ناشی از تنش های حرارتی حاصله از گرادیان حرارتی نیازمند اتخاذ تدابیر خاصی بوده اند. برای مثال گفته شده است در ستونی به ابعاد ۱ متر حاوی  $500 \text{ kg/m}^3$  سیمان پرتلند نوع ۱، دوده سیلیسی  $30 \text{ kg/m}^3$  در زمانی ۳۰ ساعته پس از بتن ریزی، افزایش دمای مغز آن به ۴۵ درجه سانتی گراد رسیده است که می توانسته به ترک خوردگی (بعثت گرادیان حرارتی سطح و مغز آن) بیانجامد.

در برخی منابع اروپایی گفته شده است که اختلاف دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با فرض ضریب انبساط حرارتی  $10^{-6}$  منجر به تغییر شکل نسبی (کرنش)  $200 \times 10^{-6}$  می گردد و این کرنش معمولاً موجب ترک خوردگی در بتن می گردد (بتن غیر مسلح عادی). بهر حال ممکن است این ترک خوردگی در اختلاف دمای کمتر یا بیشتر حاصل گردد. دلیل این امر تغییر در ضریب انبساط حرارتی و تغییر در مقدار کرنش کششی و تغییر در مقاومت کششی و ظرفیت کرنش گسیختگی بتن های مختلف می باشد. گاه گرادیان حرارتی بتن که منجر به ترک خوردگی می شود را تا ۲۵ درجه سانتی گراد در بتن معمولی غیر مسلح دانسته اند.

۲- امروزه در بسیاری از نقاط ایران مانند حاشیه خلیج فارس، سازه هایی ساخته می شود که در آنها بتن حجیم وجود دارد و حداکثر نسبت آب به سیمان آنها به ۰/۴ یا ۰/۳۸ محدود شده است. بتن آنها با پمپ ریخته می شود که عیار سیمان و مواد سیمانی بالائی را نیز دارا هستند (۴۰۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب) و بدلیل ایجاد گرادیان حرارتی زیاد به شدت دچار ترک خوردگی سراسری و عمیق حرارتی می شوند.

شالوده های سازه های بزرگ معمولاً از ضخامت زیادی برخوردارند که با این مشکل روبرو هستند. مسلماً در بتن های مسلح نمی توان گرادیان حرارتی متناظر با ترک خوردگی را ۲۵ درجه سانتیگراد دانست، اما در منابع و مراجع علمی حد معینی را ذکر نکرده اند ولی مسلماً این مقدار بیش از ۲۵ درجه سانتیگراد خواهد بود. همچنین در شالوده ها و ستونها و دیوارهای ضخیم (بوژه پر سیمان) با مشکل تنش های حرارتی و ترک خوردگی روبرو هستیم. استفاده از بتن خودتراکم در سالهای اخیر در چنین قطعاتی بر این مشکل می افزاید زیرا بطور معمول، عیار سیمان این بتن ها بیشتر از بتن های معمولی است بوژه اگر از پودر سنگ و پوزولانهای طبیعی استفاده نشود نگرانی بیشتری وجود خواهد داشت.

۳- ایجاد گرما در بتن بدلیل هیدراته شدن سیمان و مواد چسباننده می باشد. معمولاً سیمانهای پرتلند آمیخته موجود در استانداردهای ایران و ASTM ضمن هیدراته شدن سیمان بتن در طی ۲۸ روز، ۵۰ تا ۸۰ کالری در هر گرم گرما ایجاد می کنند، در حالی که اگر سیمانهای پرتلند نوع ۱ و ۵۰ موجود در ایران را در نظر بگیریم این عدد بین ۷۰ تا ۹۵ کالری بر گرم خواهد بود و البته گرمای آزاد شده برای هیدراته شدن کامل معمولاً ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش خواهد داشت. گرمای هیدراته شده سیمان پرتلند نوع ۴ در طی ۲۸ روز بین ۵۰ تا ۷۰ کالری در هر گرم می باشد.

گرمای حاصل از هیدراته شدن  $C_4AF, C_3A, C_2S, C_3S$  و همچنین هیدراته شدن  $Mg, Ca, K_2, Na_2$  که در سیمانها به مقادیر مختلف وجود دارد ایجاد می شود.

با توجه به اینکه در سیمانهای پرتلند نوع ۱ و ۵۰ امروزی در ایران مقدار  $C_3S$  بین ۴۰ تا ۶۵ درصد است به دلیل وجود این مقدار  $C_3S$  و همچنین گرمزائی ناشی از هیدراته شدن  $C_3S$  (حدود ۱۲۰ کالری بر گرم)، گرمزائی آن در نهایت در یک گرم سیمان بین ۵۰ تا ۷۵ کالری است که بسیار چشمگیر است در حالی که با توجه به وجود ۱۵ تا ۳۰

درصدی  $C_2S$  در سیمانهای پرتلند نوع ۱ و ۲ و ۵۰٪ امروزی در ایران و گرمزائی نهائی  $C_2S$  به میزان ۶۲ کالری برگرم، عملاً برای هر گرم سیمان در نهایت ۱۰ تا ۲۰ کالری از گرمای حاصله به  $C_2S$  مربوط می‌گردد. با اینکه  $C_3A$  از گرمزائی زیادی برخوردار است اما عملاً در سیمانهای موجود، گرمزائی آن بین ۱۰ تا ۲۰ کالری است. با این حال باید گفت گرمزائی کلی سیمان هر چند مهم است اما مهم‌تر از آن آهنگ گرمزائی بویژه در سنین پایین می‌باشد که این نرخ گرمزائی برای  $C_3S$  به مراتب بیشتر از  $C_2S$  می‌باشد و عملاً گرمزائی  $C_2S$  در سنین کمتر از ۳ روز ۱ تا ۲ کالری برای هر گرم سیمان است در حالیکه این مقدار برای  $C_3S$  بین ۲۵ تا ۳۵ کالری خواهد بود و برای  $C_3A$  نیز عمده گرمزائی در سن کمتر از ۳ روز ایجاد می‌شود. بنابراین در این سیمانها گرمای حاصله در طی سه روز اولیه بین ۴۰ تا ۵۵ کالری است و در یک هفته اول این مقدار به ۵۵ تا ۷۵ کالری یا بیشتر بالغ می‌گردد. نکته‌ای که نباید در آهنگ گرمزائی مورد غفلت قرار گیرد، آهنگ هیدراته شدن سیمان است که به عواملی همچون ریزی آن، دمای مخلوط بتن در ابتدا و در ادامه کار و حتی مواردی مانند نسبت آب به سیمان بستگی دارد و می‌توان آنرا در بازه‌ای نسبتاً گسترده فرض نمود، در حالی که در مورد گرمزائی سیمان چنین عواملی موثر واقع نمی‌شوند.

**۴-** با وجود مواد پوزولانی و سرباره جایگزین سیمان، از کل گرمزائی و آهنگ گرمزائی کاسته می‌شود اما نباید پنداشت که پوزولان و سرباره در هنگام هیدراته شدن فاقد گرمزائی هستند. عملاً پوزولان‌ها و سرباره‌ها در حدود نصف سیمان پرتلند معمولی، گرما تولید می‌کنند اما نرخ یا آهنگ گرمزائی آنها (بجز دوده سیلیسی و برخی پوزولانهای دیگر) عملاً به مراتب کمتر از سیمان پرتلند معمولی است که کمک آنها را در ارتباط با بتن حجیم ارزشمند می‌سازد.

برای مثال اگر سیمان پرتلند با گرمزائی کل ۱۰۰ کالری برگرم داشته باشیم و ۲۰٪ درصد پوزولان طبیعی جایگزین آن سازیم، گرمزائی کل برای هر گرم از سیمان آمیخته ۹۰ کالری خواهد شد اما اگر سیمان پرتلند در طی سه و هفت روز به ترتیب ۵۰ و ۷۰ کالری گرما تولید کند در مورد سیمان آمیخته با ۲۰٪ درصد پوزولان طبیعی این مقادیر به ترتیب حدود ۴۲ و ۶۰ کالری خواهد شد یعنی کاهشی بیش از ۱۰٪ درصد در گرمزائی ۳ و ۷ روزه خواهد داشت (۱۶ و ۱۴ درصد کاهش). لازم به ذکر است که سیمان پرتلند پوزولانی ایران دارای کمتر از ۱۵ درصد پوزولان است و سیمان‌های پرتلند پوزولانی ویژه ایران معمولاً بین ۱۵ تا ۲۵ درصد پوزولان طبیعی دارند و تاثیر آنها بر کاهش گرمزائی کل و اولیه با این مثال روشن‌تر می‌شود.

**۵ -** عامل عمده در ایجاد گرمزائی در یک بتن، عیار سیمان آن است. مسلماً اگر عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر هر متر مکعب به ۳۰۰ کاهش یابد، مقدار گرمزائی آن نیز تقریباً با همین نسبت کاهش خواهد یافت. بنابراین یکی از مهمترین اقدامات در بتن حجیم، کاهش عیار سیمان و مواد سیمانی خواهد بود.

کاهش عیار سیمان به سادگی میسر نیست. از یک طرف نسبت آب به سیمان با کاهش سیمان افزایش می‌یابد و از طرفی در صورت ثابت نگهداشتن نسبت آب به سیمان مجبور به کاهش آب آزاد بتن خواهیم بود که به کارائی آن لطمه جدی خواهد زد. بنابراین باید ترفندهائی بکار رود تا بتوان بدون کاهش روانی مورد نظر، عیار سیمان را کاهش داد.

بهر حال گاه در بتن‌های حجیم مانند ساخت سد بتنی، اسلامپ بتن‌ها را در محدوده ۲/۵ تا ۵ سانتی متر در نظر می‌گیرند تا امکان دستیابی به سیمان کمتر فراهم شود ضمن اینکه اسلامپ کمتر و سیمان کمتر باعث کاهش جمع‌شدگی و کاهش احتمال خوردگی در بتن غیر مسلح با طول یکپارچه نسبتاً زیاد (در یک بلوک) خواهد شد.

**۶-** برای کاهش مصرف سیمان و مواد سیمانی علاوه بر کاهش روانی راهکارهایی وجود دارد که به ترتیب می‌توان از افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، انتخاب بافت دانه بندی درشت‌تر، بکارگیری ماسه گردگوشه‌تر و گاه شن تیز گوشه‌تر، پرهیز از بکارگیری سنگدانه‌های پولکی و کشیده و سوزنی، مصرف روان‌کننده (کاهنده آب) نام برد.

گاه مصرف حبابزا میتواند به صورت غیر مستقیم به کاهش مواد سیمانی در بتن حجیم سدها منجر شود در حالی که معمولاً در پروژه‌های دیگر به افزایش جزئی مصرف سیمان نیز منتهی می‌گردد.



۷- در بتن حجیم یک شالوده مسلح گاه نمی توان از ترفند افزایش حداکثر اندازه سنگدانه یا درشت بافت کردن دانه بندی استفاده نمود اما استفاده از ماسه گردگوشه و پرهیز از مصرف سنگدانه های حاوی پولکی و کشیده و هم چنین مصرف روان کننده توجیه کافی دارد. بویژه اگر قرار باشد از پمپ و لوله برای ریختن بهره گرفت نمی توان بافت دانه بندی را نیز درشت تر نمود و راهکارهای ممکن محدودتر می گردد.

بهرحال در بتن پمپی نمی توان عیارسیمان را نیز به کمتر از حدود ۳۰۰ و یا حتی ۳۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب رسانید. از طرفی گاه طراحان پروژه، مقاومت مشخصه بتن شالوده را بالاتر در نظر می گیرند و نیازمند نسبت آب به سیمان کمتری خواهیم بود، که ممکن است نتوان حتی با مصرف روان کننده و یا فوق روان کننده نیز عیار سیمان را از حدود  $350 \frac{kg}{m^3}$  پائین تر آورد. گاه ضوابط و معیارهای آئین نامه ای یا مقررات ملی موجود محدودیت هائی را در نسبت آب به سیمان یا حداقل عیار مصرفی در نظر می گیرند که به افزایش مشکل گرمزائی کمک می کند (مانند راهکارهای مقابله با حمله سولفاتها یا جلوگیری از خوردگی زودهنگام میلگردها در مناطق خورنده خلیج فارس و سایر محیط های مشابه)

۸- راهکار دیگری که در بتن حجیم اتخاذ می گردد کاهش آهنگ گرمزائی با استفاده از مواد دیرگیرکننده است که راه حل چندان موثری نیست زیرا صرفاً در چند ساعت اول این تاثیر را دارا می باشد اما استفاده از سیمانهای با آهنگ هیدراسیون و گرمزائی کم راه حل موثری تلقی می شود. استفاده از سیمانهای آمیخته یا مصرف پوزولان و سرباره (بجز دوده سیلیسی) نیز همین تاثیر را دارا می باشد. یکی از راهکارهای کاهش آهنگ گرمزائی، کاهش دمای اولیه بتن در هنگام ریختن تلقی می شود که از جهات مختلف راه حل موثری است. بویژه این راه حل موجب کاهش دمای مغز بتن می گردد و گرادیان حرارتی را کمتر می کند. نام این کار پیش سرمایش محسوب می شود و تاثیر آن قابل انکار نیست.

۹- راه حل دیگر، خروج گرما از مغز بتن است که پس سرمایش نام دارد. پس سرمایش در بتن ریزی سد بتنی راه حل مهم و رایج و موثری است. اما اینکار در پروژه های ساختمانی و در ارتباط با شالوده های حجیم رایج نیست. کارگذاری لوله های مارپیچ در بتن و چرخش آب خنک در این لوله ها به جذب و خروج گرما از بتن منجر می شود و مانع بالا رفتن شدید دمای بتن در بخش های میانی می گردد و گرادیان حرارتی را کاهش می دهد و بویژه باعث عدم انبساط بتن بعلا افزایش دمای شدید در مجاورت بتن لیفت تحتانی می شود.

۱۰- راه حل موثر دیگر، کاهش گرادیان حرارتی با افزایش دمای سطح خارجی بتن می باشد بویژه اگر دمای محیط مجاور کم باشد مشکل جدی وجود خواهد داشت.

درحالتی که کمترین بعد قطعه بتنی زیاد باشد گرمای حاصله نمی تواند به سرعت خارج شود و به نوعی حبس گرما بوجود می آید و به بالا رفتن دما در مغز آن منجر می شود. هر چند در این حالت شرایط آدیاباتیک کامل (بی در رو بودن) وجود ندارد اما حالت نیمه آدیاباتیک مشاهده می شود و با افزایش بعد قطعه، این مشکل بیشتر می شود.

متناسب با آدیاباتیک بودن قطعه بتنی، آهنگ هیدراته شدن و آهنگ گرمزائی با توجه به نوع و جنس و ریزی سیمان و هم چنین با توجه به عیار سیمان بتن و تا حدی نسبت آب به سیمان دمای مغز بتن برای سیمانهای پرتلند نوع ۵ و ۲ به ازاء هر ۱۰ کیلو سیمان حدود ۱ درجه سانتی گراد (با رواداری حدود ۰/۲ درجه) افزایش خواهد داشت.

بنابراین برای مثال اگر شالوده را با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن ریزی نمائیم و از سیمان پرتلند نوع ۵ و ۲ بهره گرفته باشیم دمای مغز بتن در حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد افزایش نشان خواهد داد.

اگر مثلاً در زمستان با حداقل دمای هوای ۵- درجه سانتی گراد بتنی با دمای حدود ۱۰ تا ۷ درجه را در یک شالوده حجیم بریزیم دمای مغز آن پس از ۳ تا ۴ روز به حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد خواهد رسید در حالیکه در یک صبح زمستانی با حداقل دمای ۵- درجه سانتی گراد، گرادیان حرارتی زیادی بین سطح و مغز بتن وجود خواهد داشت.

فرض کنید همین کار را در تابستان با حداقل دمای هوای روزانه ۲۰ درجه سانتیگراد انجام دهیم. در این حالت دمای بتن در هنگام ریختن با فرض کنترل های مناسب در حدود ۳۰ درجه سانتی گراد خواهد بود و دمای مغز بتن پس از ۲ تا ۳ روز به ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد خواهد رسید (رسیدن به دمای حداکثر در مغز بتن سریعتر رخ می دهد). بنابراین براحتی دیده می شود که گرادیان حرارتی بین مغز و سطح بتن عملاً کمتر از فصل زمستان خواهد بود. متأسفانه عامه مهندسين عمران تصویری متفاوت و برعکس را دارند و فکر میکنند مشکل بتن حجیم در تابستان بیشتر از زمستان است که معمولاً تصور نادرستی تلقی می شود.

بنابراین لازم است بویژه در هوای خنک، با ایجاد عایق حرارتی در سطوح لخت جانبی و فوقانی عملاً موجب افزایش دمای سطح بتن شویم تا گرادیان حرارتی کمتر شود. اینکار در هوای تابستانی نیز می تواند مفید واقع شود. ایجاد عایق می تواند با پشم شیشه، پشم سنگ، پلی اورتان، پلی استایرن، کاه و پوشال، خاک و غیره حاصل گردد.

۱۱- گاه برای نگهداری و عمل آوری بتن از رطوبت رسانی استفاده می شود که بهترین نوع عمل آوری است اما در ارتباط با بتن حجیم (بویژه در ساختمانهای رایج)، تبخیر آب از سطح بتن می تواند به کاهش دمای سطح بتن منجر شود و گرادیان حرارتی و تنش های حرارتی و احتمال ترک خوردگی را افزایش دهد.

بنابراین در صورتی که لازم است از این شیوه عمل آوری استفاده شود باید با استفاده از نایلون جلوی تبخیر گرفته شود تا دمای سطح کاهش نیابد. استفاده از آب خنک نیز در این مورد توصیه نمی شود.

۱۲- هر چند در بندهای قبلی در مورد اثر وجود پوزولان ها در بتن حجیم و جایگاه آن بحث شد اما مجدداً خاطر نشان می شود که وجود پوزولان جایگزین سیمان به کاهش گرمزائی و آهنگ گرمزائی کمک می کند و ممکن است افزایش دمای مغز بتن اندکی تخفیف یابد اما با مصرف پوزولان طبیعی یا خاکستر بادی (بین ۱۵ تا ۲۵ درصد) ممکن است کاهش این افزایش دما در مجموع بسته به میزان مصرف و جایگزینی آنها در حدود ۵ درجه باشد بنابراین هر چند اقدام ارزشمندی است اما نباید پنداشت که مشکل بتن حجیم را بصورت اساسی حل می کند. بنابراین اتخاذ روشهای مناسب در زمینه کاهش گرادیان حرارتی همچنان ضرورت خواهد داشت.

۱۳- دوده سیلیسی که یک پوزولان مصنوعی ریز و با خلوص زیاد سیلیس فعال محسوب می شود، عملاً نمی تواند در این مورد کمک کند زیرا هر چند گرمزائی آن در حدود نصف سیمان پرتلند معمولی است اما سرعت (آهنگ) گرمزائی آن با توجه به جایگزینی ۵ تا ۱۰ درصدی چندان تفاوتی با بتن فاقد دوده سیلیسی ندارد و نمی تواند در این رابطه راهگشا باشد. متأسفانه در برخی از کتب و مراجع معتبر، استفاده از پوزولان ها و سرباره ها بدون اینکه از استثنای آن مانند دوده سیلیسی نام برده شود برای بتن حجیم مناسب دانسته شده است که باید اصلاح شود و موجب شده است تا برخی مهندسين، استفاده از دوده سیلیسی را یک راه حل تلقی نمایند.

**با احترام**

**محسن تدین**

**مسئول کمیته انتشارات انجمن بتن ایران**