

پرسشی و پاسخ

آقای دکتر محسن تدین

سوال: در مورد پوزولان

کدام پوزولان در ایران ارزان و به وفور یافت می شود و امکان ساخت بتن ژئوپلیمری به روش ساده با آن امکان پذیر است؟
قیمت آن پوزولان چقدر است؟ آیا اساساً "قیمت بتن ارزانتر هست یا بتن ژئوپلیمری؟"

مصطفی آدرسی

دانشگاه شهید رجائی

جناب آقای دکتر مصطفی آدرسی

در مورد پوزولانهای ایران برای بکارگیری در تولید ژئوپلیمر، موارد زیر به استحضار می رسد.

۱- پوزولانهای طبیعی متنوعی در ایران یافت می شود اما غالباً برای تولید ژئوپلیمر چندان مفید نیستند. اغلب این پوزولانها، تولید صنعتی ندارند.

۲ - خاکستر بادی به عنوان یک پوزولان مصنوعی تقریباً در ایران تولید نمی شود.

۳ - متاکائولن و خاکستر پوسته برنج در ایران تاکنون تولید صنعتی نداشته است.

۴- میکروسیلیس در ایران به میزان مناسب و شاید بیش از تقاضا (در حال حاضر) تولید می شود و یا توانایی تولید حدود ۵۰ هزار تن از آن در کشور وجود دارد. قیمت میکروسیلیس را کارخانه های تولید کننده اعلام می کنند. بهر حال بنظر می رسد تولید ژئوپلیمر با آن گران تمام شود، هر چند راندمان تولید چسب توسط میکروسیلیس زیاد است و می توان مصرف آن را کاهش داد. بنظر می رسد که تاکنون این ماده برای تولید ژئوپلیمر چندان بکار نرفته است.

۵- بیشتر پژوهش ها در ایران حول سرباره کوره آهنگدازی انجام شده است و اقتصادتر تمام می شود هر چند سرباره آسیاب شده در ایران تولید می گردد اما قیمت آن کمی زیاد است. که حدود قیمت سیمان پرتلند بسیاری از کارخانه ها می باشد و با توجه به ارزانی سیمان ، عملاً تولید ژئوپلیمر با این هزینه ها توجیه ندارد.

۶ - قیمت سیمان پرتلند در ایران (کارخانه) بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ تومان (هر کیلو) می باشد در حالی که در دنیا قیمت سیمان پرتلند بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ تومان (با نرخ دلار ۳۵۰۰ تومان) است. بنابراین صرفنظر از مسایل زیست محیطی ، تولید ژئوپلیمر از نظر هزینه،

در ایران توجیه ندارد. لازم به ذکر است که باید مصرف مواد دیگر مانند سیلیکات و سود یا پتاس را نیز از نظر هزینه در نظر گرفت.

محسن تدین

پرسش های مطروحه در دوره آموزشی بتن ریزی در هوای سرد تبریز دی ماه ۱۳۹۶

س ۱- آیا لازم است حتماً در هوای سرد از سیمانهای زودگیر در بتن استفاده کرد؟ آیا بکاربردن سیمانهایی مانند سیمان پرتلند پوزولانی ممنوع می باشد و جایز نیست؟

ج ۱- در هیچ مرجع و آئین نامه ای استفاده از سیمانهای زودگیر (با مقاومت اولیه زیاد) ، الزامی نیست اما توصیه برای بکارگیری آنها شده است. هم چنین بکارگیری سیمانهای کندگیر مانند سیمانهای آمیخته پوزولانی و سربراره ای ممنوع نیست اما استفاده از این نوع سیمانها در بتن ریزی در هوای سرد نامطلوب است و از آن نهی شده است.

در سخنرانی آقای دکتر افشین نیز مشخص شد که در آزمایشهای انجام شده ، روند رشد مقاومت های بتن حاوی سیمان پرتلند پوزولانی بسیار کند بوده است. به این دلیل بکارگیری هر نوع سیمانی که مقاومت های اولیه ملات استاندارد آن کم باشد توصیه نمی شود. برعکس، هر نوع سیمانی که دارای مقاومت اولیه زیادتر می باشد مطلوب تلقی می شود.

سیمان پرتلند نوع ۱ با رده ۴۲۵ و ۵۲۵ و یا سیمان پرتلند نوع ۳ برای هوای سرد مناسب تر است و توصیه می گردد. به این دلیل هم سعی می کنند که از افزودنی های زودگیر کننده در این شرایط استفاده کنند تا عمل هیدراته شدن سیمان مصرفی تسریع گردد.

س ۲- چرا از بکار گیری سنگدانه های یخ زده در بتن ریزی در شرایط هوای سرد نهی شده است؟ بهر حال ممکنست بتوان بتنی با دمای مناسب را تولید کرد و مشکلی بوجود نیاید.

ج ۲- در پاسخ این پرسش باید گفت که اصولاً بکار بردن سنگدانه یخ زده برای ساخت بتن مشکل و یا غیر ممکن است. فرض کنید شن یا ماسه بصورت یخ زده باشد. در این حالت چگونه می تواند از دریچه دیواره بچینگ یا قیف سنگدانه عبور کند و به مرحله توزین برسد. مگر اینکه کلوخه سنگدانه های یخ زده نسبتاً کوچک باشد و از دریچه یا سوراخ های مسیر انتقال یا ذخیره، عبور کند. پس در ابتدا لازمست این نکته اجرایی مطرح گردد و مشکلات انتقال چنین سنگدانه های یخ زده ای گوشزد شود.

برای پاسخ به این سوال لازم است مثالی را در این رابطه عنوان کرد. فرض کنید قرار باشد مخلوطی با اطلاعات زیر ساخته شود.

سیمان ۴۰۰ کیلو، ماسه خشک ۱۰۰۰ کیلو، شن خشک ۷۰۰ کیلو، آب کل ۱۹۵ کیلو، دمای سیمان ۵ درجه، دمای ماسه ۴- درجه و یخ زده، دمای شن ۲- درجه (یخ نزده) رطوبت کارگاهی ماسه ۵ درصد، رطوبت کارگاهی شن ۰/۷ درصد.

حداقل دمای ساخت بتن برای این قطعات ۱۲ درجه سانتی گراد می باشد. چنانچه قرار باشد با گرم کردن آب به دمای مطلوب دست یافت، دمای آب باید چقدر باشد؟ برای یافتن این دما لازم است از رابطه تعادل دما در مخلوط بتن استفاده نمود.

$$T_m = \frac{0.22(C.T_c + S_d T_s + G_d T_G) + W_m T_w + W_G(0.5T_G - 80) + W_s(0.5T_s - 80)}{0.22(C + S_d + G_d) + W_t}$$

$$12 = \frac{0.22(400*5 - 1000*5 - 700*2) + 140T_w + 5[0.5(-2) - 80] + 50(0.5(-4) - 80)}{0.22(400 + 1000 + 700) + 195}$$

با توجه به آب موجود در ماسه (۵۰ کیلو) و شن (۵ کیلو) مقدار آب مصرفی عملاً ۱۴۰ کیلو خواهد شد.

$$W_m = 195 - 50 - 5 = 140$$

$$12 = \frac{-968 + 140T_w - 405 - 4100}{462 + 195}$$

$$7884 + 968 + 405 + 4100 = 140T_w \quad T_w = \frac{13357}{140} = 95.4^\circ C$$

دیده می شود در شرایطی که فقط ماسه یخ زده بود دمای آب ساخت بتن باید حداقل ۹۵/۵ درجه سلسیوس باشد. در این مثال دمای سیمان بیش از صفر درجه بود و رطوبت ماسه فقط ۵ درصد و رطوبت شن کمتر از ۱ درصد بود در حالی که ممکن است در زمستان و در بارندگی، رطوبت ها به مراتب بیشتر از این مقادیر باشد.

تامین دمای آب به میزان ۹۵ درجه یا بیشتر عملاً ممکن نیست. بنابراین دیده می شود صرفنظر از مشکلات اجرایی، عملاً استفاده از آبی با این دما مقدور نمی باشد. بنابراین سنگدانه ها نباید یخ زده باشد.

در این مثال دمای مخلوط بتن فقط ۱۲ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. فرض کنید قرار بر بتن ریزی در یک قطعه نازک تر از ۳۰ سانتی متر باشد و دمای لازم ۱۵ درجه یا بیشتر در نظر گرفته می شد. بنابراین دمای آب مورد نظر از ۱۰۰ درجه سلسیوس نیز فراتر می رفت. بهر حال سعی شد با این مثال، جواب قانع کننده ای به این سوال داده شود.

س ۳ - گاه در تبلیغات گفته می شود که در هوای سرد باید از افزودنی های ضد یخ استفاده کرد و بتن ریزی بدون این مواد مجاز یا مقدور نمی باشد. آیا این حرف درست یا خیر؟

ج ۳ - گاه در تبلیغات شرکت های فروشنده افزودنی، چنین عباراتی به چشم می خورد که اصولاً نادرست می باشد. در هیچ آئین نامه ای، مصرف مواد زودگیرکننده (تسریع کننده) یا اصطلاحاً ضد یخ، الزامی نبوده است. چنانچه بتنی با دمای حداقل مندرج در آئین نامه در قطعه ریخته و در همان حداقل دما نگهداری شود و به حداقل مقاومت مورد نظر در آئین نامه برسد، خطر ایجاد خسارت ناشی از یخ بندان از بین می رود. تنها هنر افزودنی های مذکور، تسریع در هیدراته شدن و کسب مقاومت زود هنگام است. البته باید اذعان کرد که ممکن است مصرف این مواد با توجه به میزان مصرف، نقطه انجماد آب بتن ۱ یا ۲ درجه سانتی گراد کاهش یابد اما در اصل سرعت بخشیدن به کسب مقاومت بتن به ما کمک می کند.

س ۴- چرا تعاریف هوای سرد در *EN* و *ACI* متفاوت است؟ تعریف جدید *ACI* چه تفاوتی با تعریف قدیمی آن دارد؟

ج ۴- در هر منطقه یا کشوری بسته به دیدگاههای مختلف، تعریف هوای سرد ارائه می شود. در اروپا تعریف ساده ای مطرح است که اگر زمین کارگاه یخ زده و یا دمای هوا در هنگام بتن ریزی کمتر از ۲+ درجه سلسیوس باشد هوای سرد محسوب می شود. این نگاه، توجه به حال حاضر را مطرح می کرد.

در تعریف *ACI* قبل از ۲۰۱۰ میلادی، نگاه به گذشته حاکم بود. اگر میانگین دمای روزانه طی سه روز کمتر از ۵+ درجه سلسیوس باشد و بیش از نیمی از شبانه روز دمای هوا بالاتر از ۱۰ درجه نباشد شرایط هوای سرد برقرار خواهد بود.

نگاه و دیدگاه امروزه *ACI*، حال حاضر و آینده را در بر می گیرد. چنانچه دمای هوا در هنگام بتن ریزی کمتر از ۵+ درجه سلسیوس و در طی دوره حفاظت نیز کاهش دما به کمتر از ۵+ درجه پیش بینی شود، هوای سرد برقرار خواهد بود. امکان پیش بینی دما در طول سالهای گذشته، امکان تغییر تعریف هوای سرد را بوجود آورده است. این تعریف از سایر تعاریف منطقی تر است و در آئین نامه بتن ایران و مقررات ملی نیز برقرار خواهد شد. این تعریف با آنچه پس از بتن ریزی در هوای سرد ممکن است پیش آید همخوانی دارد. بهر حال این تعریف نیاز به پیش بینی دما دارد که امروزه برای همه دست اندرکاران پروژه دستیابی به این اطلاعات امکان پذیر است.

نکته جالب آنست که در تعریف قدیمی و جدید *ACI*، هیچگونه اشاره ای به یخ زدن و زیر صفر رفتن دما نشده است اما در عمل به موضوع یخ زدن پرداخته است.

س ۵ - گفته شده *EN* حداقل دمای بتن را در هنگام بتن ریزی و عمل آوری $+10$ درجه داده است اما ذکر شده که به هیچوجه دمای آن از $+5$ درجه سلسیوس کمتر نشود. چرا در *ACI* ، آبا و مقررات ملی، حداقل دمای بتن ریزی و عمل آوری برای قطعه نازک $+13$ درجه و برای قطعات ضخیم $+5$ درجه داده شده است.

ج ۵ - در واقع *EN* صرفنظر از ضخامت قطعه، توصیه $+10$ درجه سلسیوس را ارائه کرده است و حداقل مجاز را $+5$ درجه دانسته است.

در واقع اگر دمای بتن از $+5$ درجه سانتی گراد بیشتر شود هیدراته شدن سیمان هر چند نسبتاً کند، اما انجام می شود و با توصیه $+10$ درجه ، حاشیه ایمنی لازم را در نظر گرفته است. *ACI* بجز برای قطعات نازک، دمای $+10$ و برای قطعه ضخیم $+5$ درجه را توصیه نموده است. بهر حال *ACI* حاشیه ایمنی بیشتری را در قطعات نازک در نظر گرفته است. بنابراین تفاوت چندانی وجود ندارد. در آبا و مقررات ملی (بجز در چاپ اول) از ضوابط *ACI* استفاده شده است و شاید برای ما این امر بهتر باشد.

س ۶ - اگر در هوای سرد ، بتن تازه ریخته شده رها شود، چه مشکلاتی ممکن است برای آن بوجود آید؟

ج ۶ - اگر بتن با دمای حداقل مجاز ریخته نشود و کمتر از آن باشد طبیعتاً "گیرش آن ساعت های مدیدی به طول می انجامد و چنانچه در اثر سرما دمای آن از -1 یا -2 درجه کمتر شود ضمن یخ زدن آب، در اثر انبساط یخ، بتن متلاشی می گردد که البته پس از آب شدن یخ، آثار خرابی مشهود خواهد شد.

چنانچه دمای بتن در هنگام ریختن بیش از حداقل مجاز باشد، اما دمای حفاظت و عمل آوری، کمتر از حداقل مجاز باشد، عمل هیدراته شدن سیمان ادامه می یابد. بدیهی است سطح بتن سرد می شود اما ممکن است بسته به ضخامت قطعه، دمای بخش های درونی آن، ساعت ها یا روزها بیش از $+5$ درجه باقی بماند و عمل هیدراته شدن کماکان با آهنگ مناسبی ادامه پیدا کند اما بخش های سطحی آن دارای کیفیت مقاومتری کمتری خواهد بود و با سرد بودن شدید هوا ممکنست هیدراته شدن سیمان در بخش های سطحی عملاً متوقف شود. و احتمالاً یخ بزند و چنانچه مقاومت بتن به 5 Mpa (در صورت فاصله داشتن از حالت اشباع) رسیده و فراتر رفته باشد، هیچگونه آسیبی بصورت جدی نبیند. بهر حال هر چند ممکنست شانس آسیب دیدن بتن زیاد نباشد اما در آئین

نامه ها با رعایت محافظه کاری عاقلانه ، سعی می شود حاشیه ایمنی بویژه برای قطعات نازک در نظر گرفته شود.

بنابراین لازم است بتن با دمای مناسب ریخته و حفاظت و عمل آوری شود تا احتمال پدید آمدن هر آسیبی به صفر میل نماید. عمل هیدراته شدن سیمان موجب آزاد شدن گرما می شود. بدین دلیل چنانچه دمای اولیه بتن چنان باشد که هیدراته شدن سیمان بصورت عادی به پیش رود گرمای ایجاد شده می تواند دمای بتن را بالا برد و یا تا حدودی جلوی پائین آمدن دمای بتن را بگیرد. بهرحال سرمای زیاد هوا ممکن است در این امر اختلال ایجاد کند بویژه اگر دمای اولیه بتن پائین باشد.

س ۷- اگر دمای بتن کمتر از $+5$ درجه سلسیوس باشد چرا مشکل بوجود می آید؟ مگر هیدراته شدن سیمان در حدود -10 درجه سلسیوس متوقف نمی گردد؟

ج ۷- همانگونه که به درستی اشاره کردید اغلب دانشمندان معتقدند که هیدراته شدن سیمان در حدود -10 درجه سلسیوس متوقف می شود مشروط به اینکه از یخ زدن آب تا این دما جلوگیری شده باشد. در حالی که آب یخ بزند، طبیعی خواهد بود که هیدراته شدن متوقف گردد.

در تحقیقات نشان داده شده است که آهنگ هیدراته شدن در دمای کمتر از $+5$ درجه بشدت کند می شود به نحوی که از نظر مهندسی عمران می توان آن را متوقف در نظر گرفت. بنابراین تقریباً همه آئین نامه های دنیا اعتقاد دارند که دمای هیچ بخشی از بتن نباید از $+5$ درجه کمتر گردد.

س ۸- آیا حداکثر مجاز دمای عمل آوری (تسریع شده) ، همان حداکثر دمای توصیه شده برای ریختن بتن در شرایط هوای سرد است؟

ج ۸- هر چند حداقل دمای مجاز یا توصیه شده برای ریختن بتن و حفاظت و عمل آوری آن یکسان می باشد اما در مورد حداکثر دمای مجاز یا توصیه شده چنین نیست. در *ACI* و آبا و مقررات ملی گفته شده است که حداکثر دمای مجاز بتن در هنگام ریختن، 11 درجه بیش از حداقل دمای مجاز بتن ریزی است. برای مثال در یک قطعه نازک (کمتر از 30 سانتی متر) حداقل دمای مجاز 13 درجه و برای قطعه ضخیم (بیش از $1/8$ متر) حداقل دمای مجاز 5 درجه سانتی گراد می باشد و حداکثر دمای مجاز یا توصیه شده در این موارد به ترتیب 24 و 16 درجه است.

حداکثر دمای مجاز عمل آوری بتن یا دمای سطح یا مغز بتن ۷۰ درجه سانتی گراد می باشد که در عمل آوری تسریع شده موضوعیت دارد. افزایش دما از این حد، موجب آسیب دیدن بتن بدلیل بروز پدیده *DEF* (تاخیر در تشکیل اترینگایت) می گردد و از این امر نهی شده است. در اروپا معمولاً حد ۶۵ درجه سانتی گراد مطرح می گردد که محافظه کارانه تر است.

س ۹ - چرا حداکثر دمای بتن هنگام بتن ریزی در هوای سرد محدود شده است؟ در حالی که در هوای گرم این محدودیت دمای بتن ریزی، ۳۰ یا ۳۲ درجه سلسیوس است اما در هوای سرد عملاً کمتر از آن خواهد شد و بین ۱۶ تا ۲۴ درجه بسته به ضخامت قطعه می باشد.

ج ۹ - در هوای گرم محدودیت دمای بتن ریزی بدلیل ایجاد ساختار نامنظم و متخلخل است که از همان ابتدا شکل می گیرد و به همان وضع ادامه می یابد. بنابراین برای بهبود کیفیت مقاومتی و دوام بتن در دراز مدت سعی می شود این محدودیت به همراه محدودیت دمای عمل آوری رعایت گردد.

محدودیت حداکثر دمای بتن ریزی در هوای سرد، دلایل اقتصادی و فنی دارد. بالا بردن دمای بتن، موجب کاهش شدید تر دمای (افت دمای بیشتر) بتن خواهد شد و باعث اتلاف هزینه است. از طرفی عنوان شده است که پس از بتن ریزی گرادیان حرارتی بیشتری بین سطح مغز آن بوجود می آید.

س ۱۰ - آیا امکان بتن ریزی در دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس وجود دارد؟ چرا در آئین نامه بتن و مقررات ملی، از بتن ریزی در چنین دماهایی منع شده است؟ چه تفاوتی با دماهای بالاتر در این رابطه وجود دارد؟

ج ۱۰ - هر چند امکان بتن ریزی در دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس وجود دارد اما اینکار با مشکلات زیادی همراه است. مسلماً باید از مصالح سنگی محافظت گردد و جلوی یخ زدن آنها گرفته شود. رطوبت سنگدانه ها باید به شدت کم باشد. لازمست سنگدانه ها قبل از بتن سازی گرم گردد و دمای آن بیش از صفر درجه شود. نیاز به آب گرم با دمای زیاد وجود دارد و احتمالاً نیاز به اختلاط ابتدایی آب داغ و سنگدانه و سپس افزودن سیمان داریم. در حالی که ممکن است در دماهای بالاتر با مشکلات کمتری مواجه شویم.

بنابراین سعی می شود در دماهای خیلی کم از بتن سازی و ریختن آن خودداری گردد و یا همه تمهیدات خاص این شرایط با دقت بکار گرفته شود.

س ۱۱- برای دستیابی سریعتر و در زمان کوتاه تر به مقاومت 5 Mpa یا 24 Mpa در طول حفاظت و عمل آوری، قبل از رها کردن بتن در شرایط هوای سرد موجود، چه تدابیری را می توان بکار گرفت؟

ج ۱۱- برای رسیدن به مقاومت های یاد شده در اسرع وقت، می توان نسبت آب به سیمان را کاهش داد. اینکار می تواند با افزایش سیمان یا کاهش آب انجام شود. افزایش سیمان در صورتی که تبعات جانبی مانند افزایش احتمال ترک خوردگی نداشته باشد راه حل رایجی است. افزایش ۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب بتن در منابع مختلف توصیه می شود. راه حل دیگر، کاهش آب با مصرف روان کننده یا فوق روان کننده است.

افزایش دمای حفاظت و عمل آوری راه حل مناسب اما گاه پرهزینه ای است. استفاده از سیمانهایی با مقاومت اولیه زیادتر و یا استفاده از مواد تسریع کننده از راه حل های پرترفدار است. گاه مواد زودگیرکننده بر دوام و مقاومت درازمدت اثر بدی باقی می گذارد و چندان مطلوب نیست.

س ۱۲- در هوای سرد کدامیک از افزودنیهای روان کننده مناسب تر هستند و بکارگیری آنها توصیه می شود؟

ج ۱۲- بهترین ماده برای کاهش آب و نسبت آب به سیمان ، مواد پلی کربوکسیلاتی هستند. این مواد باعث تسریع در کسب مقاومت، بویژه در یکی دو روز اول می باشد. مواد لیگنوسولفوناتی ضمن داشتن قدرت کاهندگی آب، موجب کاهش مقاومت های اولیه می گردد. مواد فوق روان کننده ملامینی بهتر از نفتالینی هستند اما ماده فوق روان کننده پلی کربوکسیلاتی ارجح خواهد بود.

محسن تدین