

## جناب آقای دکتر محسن تدین

احتراماً ضمن تقدیر و تشکر از زحمات جنابعالی و سایر اساتیدی که در آن انجمن محترم، زحمت تبیین و پاسخگویی سؤالات به وجود آمده در زمینه عملیات تولید و اجرای بتن را دارند خواهشمند است پاسخ سؤالات مطروح ذیل را اعلام فرمایید.

به استحضار می‌رساند در پروژه‌های اسکلت بتنی، در صورتی که نتیجه ۲۸ روزه آزمون‌های اخذ شده از سقف‌ها ضوابط پذیرش بتن را پاسخگو نباشد اغلب اقدام به کرگیری از بتن‌های محل می‌شود و چنانچه نتایج مغزه‌گیری شرایط بند ۹-۶-۵ فصل ششم مبحث نهم مقررات ملی را برآورده نسازد مطابق با بند ۱۹-۳ آیین‌نامه بتن ایران آزمایش بارگذاری به عمل می‌آید.

حال این سؤال مطرح می‌باشد که اولاً بارهای قابل اعمال به صورت ثقلی و استاتیکی می‌باشد در حالی که بررسی عملکرد دینامیکی سازه نیز مهم و قابل تامل می‌باشد آیا راهکاری در این خصوص وجود دارد یا خیر؟ ثانیاً در سازه‌های اسکلت فلزی که سقف به صورت مرکب بوده و تیرهای فرعی نیز فلزی می‌باشند و نتایج نمونه‌های بتنی پاسخگوی مقاومت مورد نظر طراح نباشد آیا انجام آزمایش بارگذاری بر روی این سقف جهت بررسی کیفیت بتن سقف نیز مجاز می‌باشد؟ همکاری شما صمیمانه موجب امتنان است.

## علی افلاکی

## جناب آقای مهندس علی افلاکی

### عضو محترم انجمن بتن ایران

با سلام و احترام

بازگشت به نامه مورخه ۹۳/۲/۳۰ جنابعالی که حاوی دو پرسش می‌باشد نظر جنابعالی را به پاسخ‌های زیر جلب می‌کنم. امید است این پاسخ‌ها بتواند مشکل گشا باشد

۱- همانطور که از مبحث نهم مقررات ملی یا آبا و ACI برمی‌آید در صورت عدم انطباق مقاومت بتن با رده مورد نظر، ابتدا باید به سراغ روشهای تحلیلی رفت، در یکی از روشهای تحلیلی، استفاده از آنالیز موجود و بازبینی طراحی و در روش دوم تحلیل و طراحی مجدد با استفاده از مقاومت بتن کم در مناطق مشکوک پیش‌بینی شده است. پس از این مرحله به سراغ مغزه‌گیری می‌رویم و در صورت عدم تامین مقاومت طبق ضوابط موجود، بارگذاری (صرفاً برای اعضای خمشی) طبق ضوابط مندرج در این منابع انجام می‌گردد. بارگذاری مزبور صرفاً در حالت استاتیکی و بصورت بار قائم می‌باشد. بارگذاری دینامیکی دستورالعمل مشخص و تأیید شده ای ندارد و صرفاً در آزمایشگاه‌ها تحت شرایط خاص قابل انجام است. حتی بارگذاری استاتیکی جانبی نیز در سازه‌ها با براحتی قابل کاربرد نیست و دستورالعمل مشخصی ندارد. ظاهراً "فرض آئین نامه‌ها آنست که

اگر در حالت استاتیکی و برای بارهای مشخص قائم طبق دستورالعمل موجود، ظرفیت باربری سازه تامین شود در بقیه موارد نیز با مشکل روبرو نخواهیم بود.

۲- در آئین نامه های موجود به سقف های مرکب اشاره نشده است و قاعدتاً می توان بارگذاری را روی دال سقف مرکب انجام داد و خیز سقف را کنترل نمود. بهر حال کنترل خیز تیر فلزی در اینجا موضوعیتی ندارد.

۳- بارگذاری آخرین راه حل ممکن برای بررسی بتن کم مقاومت نیست و در مبحث نهم مقررات ملی یا آبا به سایر اقدامات مقتضی نیز اشاره شده است که ریز آنرا می توانید در تفسیر بخش اول آبا مطالعه نمائید.

#### محسن تدین

#### سؤالات مکتوب و شفاهی مطروحه در سمینار کاربرد افزودنی های بتن در شیراز مورخه ۱۳۹۳/۳/۴

پرسش ۱- بهترین روش مخلوط کردن میکروسیلیس (دوده سیلیسی) در بتن در کارگاه چگونه است؟ گاه در کارگاه میکروسیلیس خشک با بقیه مصالح مخلوط می شود و ظاهراً مخلوط یکنواختی تولید می شود آیا در واقع چنین است؟ عدم اختلاط کامل میکروسیلیس با بتن چه عواقبی را در بر دارد؟

پاسخ ۱- میکروسیلیس معمولاً دارای ذرات ریزی در بازه ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میکرون است و سیمان های رایج معمولاً ذراتی در بازه ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون دارند. وقتی ذرات میکروسیلیس از چنین اندازه ای برخوردار است براحتی در اختلاط با آب و بتن بصورت کلوخه در می آید که دارای صدها دانه میکروسیلیس مجتمع می باشد و بصورت یک ذره واحد بنظر می رسد.

برای مثال می توان میکروسیلیس را به آرد گندم بدون سبوس بسیار ریز (آردقنادی) تشبیه کرد و سیمان را به آرد سبوس دار نان سنگک شبیه دانست. هر چند هر دو آنها در اختلاط نا صحیح و بی دقت با آب کلوخه و گلوله می شوند اما واضح است که آرد قنادی دارای گلوله های زیادتر می باشد و باز کردن آنها بسی دشوارتر است.

بهترین روش مخلوط کردن میکروسیلیس در بتن آنست که دوغاب آن یا دوغاب حاوی فوق روان کننده را به بتن یا اجزای در حال اختلاط بتن اضافه نمائیم و مخلوط کردن را ادامه دهیم. برخی معتقدند که در این حالت نیز زمان اختلاط را باید اندکی افزایش داد تا توزیع بهتری حاصل گردد و همگنی بوجود آید.

نوع مخلوط کن نیز بر اختلاط کامل تر در زمان کوتاهتر موثر است. مخلوط کن های گرانشی (با پره متصل به دیگ) نسبت به مخلوط کن های اجباری (با پره جدا از دیگ) عملکرد ضعیف تری دارند. امکان دارد که افزودن میکروسیلیس به صورت خشک به بتن یا اجزای در حال اختلاط در مخلوط کن های اجباری به مدت طولانی تر به همراه فوق روان کننده نیز بتواند قابل قبول باشد، که نیاز به بررسی بیشتری دارد، اما روشن است که در این مورد مخلوط کن های گرانشی نمی توانند قابل قبول باشند.

چنانچه میکروسیلیس بصورت کلوخه و ذرات بهم چسبیده در بتن یا خمیر چسباننده بتن باقی بماند، علاوه بر تاثیر منفی آن بر مقاومت و دوام و نفوذ پذیری بتن ممکن است بصورت یک سنگدانه واکنش زا با قلیائی ها در محیط مرطوب بتن عمل کند و انبساط مخرب ناشی از آن، ترکهایی را در اطراف این کلوخه ها باعث شود، در حالی که همین میکروسیلیس در صورت توزیع کامل می توانست ناحیه انتقالی را بهتر تقویت کند و بر مقاومت

و دوام و نفوذناپذیری اثر مثبتی را برجای نهد و قادر بود حتی اگر سنگدانه واکنش را با قلیائی ها وجود داشت، انبساط مخرب آن را کنترل نماید و خود به عنوان یک عامل درمان باشد نه عامل مرض و آسیب.

بنابراین میکروسیلیس را که می توان عامل ظاهراً مثبت دانست می توان عامل منفی و عامل تخریب نیز شناخت و در این باره می توان گفت که "هر چه بگندد نمکش می زند، وای به روزی که بگندد نمک".

یا می توان آنرا مصداق این مصرع دانست که "از قضا سرکه انگبین صفرا فرود".

پرسش ۲ - برخی تولیدکنندگان داخلی موادی را تحت نام ضد یخ بتن عرضه می کنند در حالی که مواد زودگیرکننده را نیز ارائه می نمایند. آیا با این مواد موسوم به ضد یخ می توان در دمای کم بدون توجه به حداقل دمای اولیه بتن مذکور در آئین نامه ها و مقررات ملی ساختمانی ایران، بتن ریزی نمود و حداقل دمای عمل آوری مندرج در این منابع را نادیده گرفت؟ پایه این مواد چیست؟

پاسخ ۲ - ماده ضد یخ ترجمه Anti Freezing Agent or Admixture می باشد. در منابع علمی موجود و مشخصات استاندارد و دسته بندی افزودنی ها چنین نامی به چشم نمی خورد بلکه در منابع رسمی مانند ACI 306R یا ASTM C494 از واژه Accelerator یا Admixture Accelerating استفاده می شود. اخیراً در ASTM C1622 مشخصات استاندارد موادی به نام مواد افزودنی برای بتن ریزی در هوای سرد ذکر شده است که رفتار ضد یخی جدی را در بر ندارد و می توان امیدوار بود که برای دمای بتن  $5^{\circ}\text{C}$  - قبل از گیرش مشکلی ایجاد نکند.

بهر حال اگر بتوان ماده ای را به بتن اضافه نمود که قادر باشد نقطه انجماد آن را به میزان ۲ تا ۳ درجه سانتی گراد کاهش دهد نمی توان آن را ماده ضد یخ نامید اما اگر بتواند نقطه انجماد را مثلاً ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی گراد پایین آورد این نام برازنده خواهد بود .

در هیچ آئین نامه ای یا در هیچ مرجع علمی و کتاب درسی معتبری اجازه نمی دهند با مصرف این مواد از دستورالعمل های توصیه شده برای بتن ریزی در هوای سرد عدول نمود و آن را نادیده گرفت. بلکه مصرف این مواد بصورت اختیاری است و در صورت مصرف آنها صرفاً می توان طول مدت حفاظت و عمل آوری را برای دستیابی به حداقل مقاومتی که بدین منظور تعریف شده است کاهش داد.

بجای مصرف این مواد می توان از سیمانهای زودگیرتر و یا زودسخت شونده تر مانند سیمان پرتلند نوع ۳ یا سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ و بویژه ۵۲۵-۱ استفاده نمود و همان خاصیت را دارد و حتی ممکن است اثرات منفی ناشی از مصرف مواد ضد یخ (زودگیرکننده) را در بر نداشته باشد.

هم چنین در چنین آئین نامه هائی می توان با مصرف سیمان بیشتر (۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم سیمان بیشتر در هر متر مکعب بتن) نسبت به طرح مخلوط موجود، به این مهم دست یافت. کاهش نسبت آب به سیمان بویژه با مصرف روان کننده زودگیر یا فوق روان کننده نیز کمک موثری است.

علاوه بر این ممکن است با افزایش دمای عمل آوری بتن بتوان در زمان کوتاهتر، مقاومت بیشتری را بدست آورد.

بنابراین دیده می شود که مصرف این مواد اختیاری است و مصرف آنها به هیچوجه جانشین یا جایگزین رعایت دستورالعمل های بتن ریزی در هوای سرد (شامل تامین حداقل دمای اولیه در هنگام بتن ریزی و رعایت حداقل دمای عمل آوری) نمی گردد.

بهترین ماده مصرفی در این رابطه نیتريت کلسیم و سدیم است هر چند در ایران عمدتاً از نیترات کلسیم و سدیم که به مراتب ارزان تر است استفاده می شود. در برخی موارد در دنیا فرمات کلسیم نیز بکار می رود که معمولاً چندان جالب نیست و اثرات نامطلوبی را می تواند داشته باشد.

در مورد بتن های غیر مسلح هنوز کلسیم کلراید موثرترین و ارزان ترین ماده به حساب می آید. هر چند برخی کلریدها، برمیدها، فلوئوراید ها ، کربناتها، تیوسیاناتها، نیتراتها، نیتريتها، تیوسولفاتها، سیلیکاتها، آلو میناتها و هیدروکسیدهای قلیائی می تواند زمان گیرش را کوتاه کند. اما برای کسب مقاومت اولیه بیشتر کلرید کلسیم و کربنات پتاسیم، نیتراتها، سیلیکاتها و نیتريت ها در بین مواد معدنی (غیرآلی) مناسب ترند. معمولترین ماده های آلی همان فرمات کلسیم و تری اتانول آمین هستند که اثر فرمات کلسیم با توجه به تشکیل اترینگایت بیشتر (بویژه وقتی  $C3A/SO_3 < 4$ ) مطلوب نیست و تری اتانول آمین نیز گران است که مصرف نمی شود.

پرسش ۳ - برخی گفته اند که استفاده از لیگنوسولفونات ها و پلی کربوکسیلاتها باعث ایجاد ترک در بتن می شود و تجربیات شخصی نیز مؤید آن است در حالی که ماده هائی با پایه نفتالین و ملامین سولفونات چنین ترک خوردگی هائی را در بر ندارد. آیا این امر صحیح است و دلیل آن چیست؟

پاسخ ۳ - چنین موضوعی در منابع معتبر مشاهده نمی شود. بهر حال ممکن است در حالات خاص چنین تجربه ای وجود داشته باشد اما نمی توان آنرا تعمیم داد. ترک های زود هنگام در بتن ریزی معمولاً به دو دلیل جمع شدگی خمیری ناشی از تبخیر و نشست خمیری می تواند ایجاد شود. گاه مواد دیرگیرکننده باعث می شود بتن درون قالب دستخوش تبخیر شود و از آنجا که این امر به جمع شدگی منجر می گردد و مانعی از نظر مقابله با این جمع شدگی و تنش کششی ناشی از آن وجود ندارد ممکن است ایجاد ترک نماید. این امر برای لیگنوسولفوناتهای دیرگیر یا هر روان کننده یا فوق روان کننده دیرگیر می تواند حاصل گردد. حتی اگر ماده روان کننده معمولی یا زودگیر بکار رود و تبخیر از سطح زیاد باشد چنین ترک هائی شکل می گیرد.

نشست خمیری در سطوح بتن مسلح نیز صرفنظر از نوع ماده افزودنی معمولاً به ترک در بالای سر میلگرد و در امتداد آن منجر می شود. ممکن است یک ماده روان کننده یا فوق روان کننده با توجه به نسبت آب به سیمان و روانی آن زیاد مصرف شود و با آب انداختن همراه گردد. آب انداختن بتن عامل اصلی نشست خمیری بتن است. برخی مواد روان کننده مانند لیگنوسولفاتها عملاً در بسیاری از موارد می تواند به آب انداختن منجر گردد زیرا قدرت روان کنندگی آن کم است و بسیاری از مصرف کنندگان که طرح مخلوط آزمایشگاهی مناسبی را تهیه نکرده اند و بی توجه به مشکلات موجود در مصرف آن افراط می کنند موجب آب انداختن شدید بتن، دیرگیری و حتی جداشدگی می شود و ترک خوردگی در سطح آن تقریباً حتمی خواهد بود.

اما بهر حال با مصرف سایر مواد افزودنی روان کننده یا فوق روان کننده نیز ممکن است این حالت بوجود آید.

پرسش ۴- در سخرنانی های انجام شده گفته شد که اگر بتوان بکمک مواد فوق روان کننده ۲۰ درصد آب را کاهش داد امکان کاهش ۲۰ درصدی سیمان نیز فراهم می گردد آیا این موضوع صحت دارد؟ توضیح بیشتری ارائه فرمائید.

پاسخ ۴- روان کننده ها و فوق روان کننده ها می توانند بسته به سیاست مصرف، نتایج زیر را در برداشته باشند.

الف: افزایش روانی با حفظ  $W/C$  و ثابت بودن مقدار آب و سیمان

ب: کاهش آب با توجه به ثابت بودن مقدار سیمان و روانی بتن در نتیجه کاهش آب به سیمان

پ: کاهش آب در ضمن ثابت بودن نسبت آب به سیمان و روانی بتن که به کاهش  $W/C$  می انجامد.

ت: ترکیبی از حالت الف و ب، ترکیبی از حالت ب و پ، ترکیبی از حالت الف و پ و در نهایت ترکیب الف و ب و پ

پرسش جنابعالی در مورد حالت پ می باشد که اگر برای مثال ۲۰ درصد از آب را بتوان کم نمود آیا می توان ۲۰ درصد از سیمان را کاهش داد که پاسخ آن مثبت است زیرا با فرض ثابت بودن  $W/C$  هر مقدار درصد کاهش در صورت کسر باشد به همان مقدار درصد کاهش در مخرج کسر  $W/C$  خواهیم داشت.

لازم به ذکر است که ممکن است با کاهش آب و سیمان، حجم خمیر سیمان چنان کاهش یابد و حجم سنگدانه ها در واحد حجم بتن چنان بالا رود که نتوان کارائی و روانی بتن را حفظ نمود. بویژه اگر در طرح مخلوط اولیه عیار سیمان چندان زیاد نباشد، کاهش چندان مقدور نخواهد بود و اصرار بر کاهش سیمان به کاهش چسبندگی و انسجام بتن منجر می شود و جداشدگی را در پی دارد ضمن اینکه علیرغم دست یابی به اسلامپ مورد نظر ممکن است کارائی لازم حاصل نگردد و بتن خشن و غیر قابل کاربردی را بدست دهد. معمولاً برای حداکثر انداز حدود ۲۵ میلیمتر، کاهش سیمان از حدود ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به تدریج مشکلات کارائی را در پی خواهد داشت بویژه اگر  $W/C$  نیز کم باشد.

پرسش ۶ - می دانیم که حداقل  $W/C$  برای هیدراته شدن کامل سیمان بین ۰/۳ تا ۰/۳۳ می باشد اما در جلسات سخرنانی یا در برخی منابع گفته شده است که  $W/C$  کمتر از ۰/۳ را بکار می برند. آیا اینکار مشکلی را بوجود نمی آورد؟

پاسخ ۶ - این پرسش در بیشتر جلسات مرتبط با بتن پرمقاومت یا افزودنی های فوق روان کننده با هدف کاهش  $W/C$  یکی از پرسش های رایج و همیشگی است. دلیل آن عدم آگاهی از مسائل مربوط به هیدراته شدن سیمان و مقدار آب لازم برای هیدراته شدن آن و تصورات غلط در مورد ساختار خمیر سیمان هیدراته یا در حال هیدراته شدن می باشد. در ابتدا باید گفت که آب شیمیائی لازم برای هیدراته شدن سیمانها امروزه معمولاً بین ۰/۲۱ تا ۰/۲۳ وزن سیمان خشک هیدراته شده مطرح می گردد. اما برای هیدراته شدن سیمان این مقدار آب کافی نیست و به آبی در حدود ۱۸ درصد وزن سیمان خشک هیدراته شده برای تشکیل ژل سیمان نیاز است که به آن آب حفرات ژلی می گویند. بنابراین باید دانست هیدرات سیمان و ژل سیمان دو تعریف

متفاوت دارند. ژل سیمان مجموعه ای از هیدرات های سیمان و آب حبس شده در بین ذرات این هیدراتها می باشد و در مجموع آب موجود در آن اعم از آب شیمیائی هیدراته شده و آب حفرات ژلی در حدود ۴۰ درصد وزن سیمان خشک مصرفی (هیدراته شده) خواهد بود.

اگر آب برای تشکیل ژل کافی نباشد، عمل هیدراته شدن شیمیائی نیز متوقف می گردد، بنابراین نمی توان در حالت عادی تشکیل هیدرات بدون آب حفرات ژلی (بدون تشکیل ژل) را تصور نمود. مقاومت و چسبندگی خمیر سیمان سخت شده به وجود ژل بستگی دارد و نتیجه تشکیل صرفاً هیدرات نیست (هر چند اصلاً بوجود نمی آید). اگر آب حفرات ژلی را به کمک ابزار خاص خارج کنیم عملاً ماده بی مصرفی مانند هیدراتها برجای می ماند که چسباننده نیست. پس وجود حفرات ژلی و پیوند آنها در واقع ژل سیمان را می سازد که از قدرت چسبانندگی و مقاومت خوبی برخوردار است.

حجم ژل تولید شده در سطح دانه های سیمان از حجم سیمان خشک مصرف شده (هیدراته شده) بیشتر است اما از مجموع حجم سیمان خشک مصرفی و آب مصرفی برای تولید آن کمتر است که در نتیجه فضاهای موئینه جدیدی را می سازد اما فضاهای موئینه بین ذرات سیمان (که ابتدا مملو و اشباع از آب بوده است) به تدریج با اضافه حجم ژل نسبت به سیمان خشک مصرفی پر میگردد. جسم ژل سیمان در واقع نفوذ ناپذیر است و فضاهای موئینه (نوعی ترک در بین ژل) جدید به نفوذ آب تا سطح سیمان هیدراته نشده می انجامد. اگر این فضاهای جدید ناشی از کمبود حجم ژل در مقایسه با مواد مصرفی (سیمان خشک و آب) نبود، عمل هیدراته شدن دانه های سیمان در مدت اندکی متوقف می شد زیرا آب راهی برای نزدیکی به سطح سیمان هیدراته نشده نداشت. بنابراین با ادامه هیدراسیون و تشکیل ژل مرتباً علاوه بر کاهش فضاهای موئینه بزرگ قبلی، اندکی فضای موئینه کوچکتر ایجاد می شود.

اگر نسبت آب به سیمان کم باشد، (فضای موئینه اولیه بزرگ به میزان کم) ایجاد می شود و این احتمال وجود دارد که افزایش حجم ژل به زودی بتواند این فضای موئینه را پر کند. بویژه اگر عمل آوری رطوبتی (مانند غرقاب کردن بتن با ملات یا خمیر سیمان) بخوبی انجام شود این امر به نفوذ ناپذیری خمیر سیمان سخت شده منجر می گردد و هیدراسیون متوقف می شود.

در هنگام توقف هیدراسیون ممکن است بخش عمده ای از سیمان خشک اولیه هنوز هیدراته نشده باشد و در مرکز ژل تولید شده کماکان دست نخورده می ماند و هرگز نیز هیدراته نخواهد شد. در این حالت ممکن است آب مصرفی برای هیدراته شدن و تشکیل ژل نیز زیاد نباشد. ضمناً نباید پنداشت که همه آب مصرفی برای تشکیل ژل باید از درون بتن و از آب اولیه ساخت آن تامین شود، بلکه می تواند آب عمل آوری را نیز مصرف کند. بنابراین اولاً لازم نیست همه آب مورد نیاز از ابتدا درون بتن باشد ثانیاً بهتر است تا می توانیم نسبت آب به سیمان را کم کنیم و فضاهای خالی و بزرگ موئینه اولیه را کم نمائیم و عمل آوری را به انجام رسانیم تا فضاهای موئینه در زمان کمی با ژل سیمان پر شود و به اوج مقاومت خود برسد.

در بتن های پرمقاومت و یا ملاتهای پرمقاومت که بویژه در مسابقات بتن پرمقاومت ساخته می شود، گاه نسبت آب به سیمان را به حدود ۰/۱ می رسانند و مقاومت های فراتر از ۳۰۰ مگاپاسکال را بدست می آورند. مسلماً در این بتن ها بخش اعظمی از سیمان مصرفی برای ابد غیر هیدراته باقی می ماند.

نباید پنداشت که خمیر سیمانی پرمقاومت تر است که حجم ژل تشکیل شده آن بیشتر می باشد یا سیمان بیشتری از آن هیدراته شده است. بلکه مقاومت خمیر سیمان به نسبت حجم ژل به حجم فضای موئینه اولیه (در هنگام ساخت) مربوط می شود. اتفاقاً خمیر سیمانهای که تمام ذرات آن می تواند هیدراته شود از مقاومت نهائی خوبی برخوردار نخواهد بود. نباید اشتباه کرد که هیدراته شدن سیمان امر نامطلوبی است. باید دانست هیدراته شدن فی نفسه مطلوب است و همواره درصد پیشرفت هیدراته شدن سیمان نشانه ای از پیشرفت مقاومت است نه مقدار مقاومت آن. بلکه مقاومت یک خمیر سیمان به درجه پرشدگی حجم فضاهای موئینه با ژل سیمان مربوط می گردد. پیشرفت مقاومت تا آنجا ادامه دارد که این نسبت حجم ژل به فضای خالی به ۱ برسد و از آن به بعد تقریباً مقاومت خمیر سیمان ثابت باقی می ماند.

دانشمندان علم بتن معتقدند که هرچه  $W/C$  خمیر سیمان های مختلف کمتر باشد و عمل آوری رطوبتی نیز بخوبی صورت گیرد مقاومت بیشتری حاصل می گردد در حالی که نسبت حجم ژل به فضای خالی در نهایت در همه این خمیرها ممکن است به یک برسد. به عبارتی اتفاقاً اگر ضخامت لایه ژل در حالت پرشدگی فضاهای موئینه کمتر باشد (به عبارت دیگر اگر قطر بیشتری از ذرات سیمان بصورت هیدراته نشده باقی بماند) مقاومت بیشتری حاصل می گردد!!

اگر پس از قالب گیری و شروع گیرش، خمیر سیمان را در شرایط غرقاب قرار ندهیم و صرفاً مانع تبخیر شویم، با پیشرفت هیدراته شدن و مصرف آب درون حفرات موئینه، حفرات موئینه موجود به شدت از حالت اشباع فاصله می گیرد و علاوه بر ایجاد جمع شدگی، آهنگ هیدراته شدن به شدت کند می شود. این امر در  $W/C$  کمتر از ۰/۴۲ تشدید می شود و پدیده خود خشک شدگی و جمع شدگی زیاد ایجاد می گردد. بنابراین باید گفت بتن هائی با نسبت آب به سیمان کم، نسبت به شرایط عمل آوری حساس تر هستند و در صورت عدم رطوبت رسانی (با حفظ رطوبت موجود)، آسیب بیشتری به این نوع بتن ها وارد می گردد.

لازم به ذکر است در بتن یا خمیر سیمان با نسبت آب به سیمان خیلی کم، حتی اگر نمونه ها درون آب غوطه ور باشند وقتی بتن را تحت فشار می شکنیم، مغز آن را خشک می یابیم، زیرا به دلیل پرشدن حفرات موئینه از ژل سیمان، آبی در حفرات موئینه وجود ندارد بلکه حفرات موئینه نیز از بین رفته است و آبی نمی تواند به درون بتن راه یابد. بنابراین در پایان باید گفت که آنچه به عنوان دانسته ها در پرسش مطرح شد کاملاً غلط و نادرست بوده است.

پرسش ۷- گفته شد که باید مراقب هوازائی افزودنی ها در بتن باشیم مثلاً ماده نفتالینی یا لیگنو سولفونات و یا حتی برخی پلی کربوکسیلاتها هوازائی زیادی می توانند داشته باشند و ماده ملامینی هوازائی کمتری دارد و از این بابت نگرانی وجود ندارد. آیا وقتی طبق ISIRI 2930، مقدار هوازائی حاصل از این افزودنی ها در بتن کنترل می شود و نباید بیش از ۲ درصد هوازائی مازاد بر هوای موجود در مخلوط کنترل (شاهد) بدون افزودنی باشد چه نگرانی از این نظر وجود دارد و چرا بر آن تاکید و اصرار ورزیده می شود؟ آیا این امر باعث نمی شود که ماده ملامینی را بهتر از سایر مواد ندانیم و حسن خاصی نداشته باشد؟

پاسخ ۷ - همانطور که به درستی اظهار نموده اید طبق استاندارد افزودنی های ایران (که با اقتباس از EN934 تهیه شده است) درصد هوای ایجاد شده آن کنترل می گردد و معیار و حد قابل قبول برای آن ذکر شده است. بدین ترتیب احساس می گردد با کنترل مزبور نگرانی ها از بین می رود و دلیل توجه به این امر برای جنابعالی مبهم می باشد. اگر به انجام آزمایش های لازم برای انطباق با استاندارد مراجعه شود می بینیم که این آزمایش ها با یک میزان مصرف خاص افزودنی انجام می گردد. هم چنین نوع سنگدانه، دانه بندی و نوع و عیار سیمان و  $W/C$  ثابتی استفاده می شود و کنترل ها صورت می گیرد. در عمل مقدار مصرف افزودنی و درصد آن نسبت به وزن سیمان تغییر می کند. نوع و عیار سیمان در طرح مخلوط بتن واقعی می تواند به شدت متفاوت باشد. برای مثال اگر شما در ساخت مخلوط در آزمایشگاه برای بررسی انطباق با استاندارد از حدود ۰/۴ درصد لیگنوسولفات استفاده نمائید و درصد هوازائی مازاد نیز کمتر از ۲ درصد باشد، اما در عمل نیاز به مصرف ۰/۸ درصد از این ماده ضروری بنظر برسد، ممکن است درصد هوازائی مازاد به بیش از ۴ درصد بالغ شود. هوای مازاد در بتن موجب کاهش مقاومت و دوام می شود. لازم به ذکر است که این نوع هوا به افزایش دوام منجر نمی شود بلکه موجب کاهش دوام نیز خواهد شد.

پرسش ۸- تفاوت های ماده فوق روان کننده ملامینی و نفتالینی چیست؟ آیا آب انداختن و ویژگی های دیگر آنها یکسان است؟

پاسخ ۸- ماده فوق روان کننده ملامینی با درصد مواد جامد ۳۰ درصد و ماده نفتالینی با درصد مواد جامد حدود ۳۵ تا ۳۸ درصد تهیه می گردد.

چگالی چنین ماده ملامینی حدود ۱/۱۳ و نفتالین در حدود ۱/۱۶ می باشد.

حداکثر درصد کاهندگی آب برای چنین ماده ملامینی با درصد مصرف ۲/۵ درصد در حدود ۲۵ درصد و برای ماده نفتالینی با درصد مصرف ۱/۸ درصد در حدود ۲۲ درصد می باشد. لازم به ذکر است در ایران قیمت این ماده ملامینی در حدود ۲۵-۲۰ درصد کمتر از ماده نفتالینی است و هزینه مصرف آنها نهایتاً نزدیک به هم خواهد شد. ماده ملامینی دارای افت اسلامپ بیشتر و زودگیری است و ماده نفتالینی دارای افت اسلامپ کمتر می باشد و زودگیری خاصی ندارد. مقاومت های اولیه بتن حاوی ماده ملامینی کمی بیشتر از بتن حاوی ماده نفتالینی است اما مقاومت های دراز مدت آنها چندان تفاوتی ندارد.

امکان افزایش ماده ملامینی در نوبت های مختلف به بتن وجود دارد و گاه ضروری نیز بنظر می رسد در حالی که در مورد ماده نفتالینی ضرورت آن کمتر است و عمل شناخته شده ای نیست.

امکان آب انداختن در مورد ماده نفتالینی بیشتر از ملامینی است. معمولاً آب انداختن در مقدار زیاد اتفاق می افتد هم چنین احتمال جداسدگی در مورد ماده نفتالینی بیشتر است.

بهر حال در کارگاه های معمول بویژه در حمل و معطلی طولانی تر ماده نفتالینی بهتر از ملامینی است هر چند با افزودن برخی مواد کندگیرکننده و نگهدارنده اسلامپ می توان این خاصیت منفی ماده ملامینی را کاهش داد اما بهر حال هزینه در بردارد.



پرسش ۹- با توجه به افت اسلامپ و از دست رفتن روانی بتن حاوی افزودنی روان کننده و فوق روان کننده آیا بهتر نیست که بجای افزودن آن به بتن در بچینگ، آن را در پای کار در تراک میکسر به بتن اضافه نمائیم تا خاصیت روان کنندگی آن از بین نرود؟ آیا لازم است در این رابطه نکات و اقدامات خاصی را در مد نظر قرار دهیم؟

پاسخ ۹- در ابتدا باید بصورت خلاصه گفت که اختلاط افزودنی های مورد نظر در دیگ مخلوط کن بچینگ بدلیل توزیع بهتر و همگنی همواره ارجح است. با توجه به فاصله زمانی موجود بین ساخت تا مصرف بتن، لازم است اولاً از افزودنی هائی استفاده نمود که افت اسلامپ کمتری دارند، ثانیاً می توان روانی را در ابتدای ساخت به میزان مناسبی، بالاتر از روانی مطلوب در پای کار در نظر گرفت تا پس از افت روانی محتمل در شرایط محیطی واقعی، به روانی دلخواه در پای کار (هنگام مصرف) دست یابیم.

اگر این امر میسر نشود و اضافه نمودن افزودنی در پای کار در تراک میکسر ضروری باشد دو حالت متصور است

- حالت اول : افزودن بخشی از روان کننده در بچینگ و بخش دیگری در پای کار به تراک میکسر

- حالت دوم : افزودن همه روان کننده در پای کار به تراک میکسر

گاه نمی توان همه افزودنی را در پای کار اضافه نمود زیرا بتن فاقد افزودنی از اسلامپ پائین یا صفر برخوردار می شود و بارگیری آن در تراک میکسر و چرخاندن تراک میکسر دشوار یا غیر ممکن می گردد، بنابراین به سراغ حالت اول می روییم.

در این حالت باید ابتدا در آزمایشگاه، مقداری روان کننده را به مخلوط آزمون بیفزائیم تا اسلامپ مناسبی برای چرخش تراک میکسر (برای مثال ۶ تا ۸ سانتی متر) حاصل گردد به نحوی که تا پای کار این اسلامپ کمتر از ۴ سانتی متر نشود. سپس باید در فاصله زمانی ساخت تا ریختن بتن، در آزمایشگاه معطل شد و سپس مقدار دیگری افزودنی را بکار گرفت تا به روانی مطلوب در پای کار رسید. لازم به ذکر است که روانی بتن قبل از افزودن روان کننده و پس از آن باید اندازه گیری و گزارش گردد. بدین ترتیب مقدار روان کننده و مقدار افزودن آن در هر نوبت بدست می آید و مشخص می گردد که پس از افزودن بخش اول افزودنی، اسلامپ به چه میزان خواهد بود هم چنین پس از گذشت مدت حمل، اسلامپ چقدر خواهد شد و پس از افزودنی بخش دوم افزودنی به چه حدود اسلامی دست می یابیم. این اطلاعات در هنگام ساخت بتن در کارگاه و در پای کار برای عملیات کنترلی بتن ضروری و لازم است و گرنه معیاری برای کنترل وجود نخواهد داشت. در مورد نحوه اختلاط بخش دوم افزودنی در قسمت بعدی توضیحاتی ارائه می شود.

حالت دوم وقتی موضوعیت دارد که بدون افزودنی روان کننده، اسلامپ کافی برای چرخش تراک میکسر موجود است. مسلماً در این حالت نیز مخلوط آزمون آزمایشگاهی برای طرح مخلوط بتن باید ساخته شود(یاشده باشد). بدیهی است افزایش افزودنی باید در حدی باشد که علاوه بر دستیابی به روانی لازم، بتن دچار جدائی، آب انداختن زیاد و مزاحم و دیرگیری نامطلوب نگردد.

در افزودن ماده افزودنی در پای کار به تراک میکسر همواره مشکلاتی وجود دارد که مهم ترین آن، عدم اختلاط کامل یا ناهمگنی مخلوط می باشد. برای رفع این مشکل بهتر است در ابتدا با حرکت معکوس تراک میکسر، بتن را به نزدیک دهانه تخلیه آورد و سپس افزودنی را طبق طرح مخلوط و متناسب با حجم بتن درون تراک

میکسر به آن افزود و سپس با چرخش در جهت عادی با دور تند، حداقل ۷۰ دور آن را چرخاند تا مخلوط همگن ایجاد شود.

پرسش ۱۰- چگونه می توان در یک پروژه خاص، افزودنی روان کننده مناسب را برای طرح مخلوط بتن انتخاب نمود تا ضمن رعایت نکات فنی، هزینه ها را کاهش دهیم؟

پاسخ ۱۰- در ابتدا باید به زودگیری و حفظ اسلامپ یا عدم حفظ اسلامپ با توجه به اظهار تولید کننده ماده عنایت نمود و از این نظر انتخاب معقولی را داشت. بدهی است این ادعاها باید در عمل در مخلوط مورد نظر ثابت گردد.

قبل از اینکه تصمیم بگیریم از روان کننده معمولی یا فوق روان کننده استفاده نمائیم لازم است یک طرح مخلوط بدون افزودنی با روانی مطلوب تهیه کنیم و رفتار بتن را پایش نمائیم (در صورت نیاز به کاهش آب و سیمان در مخلوط آینده) یا طرح مخلوط بدون افزودنی را با  $W/C$  و عیار سیمان مورد نظر بسازیم و رفتار آن را کنترل نمائیم (در صورت نیاز به افزایش روانی بدون تغییر در آب و سیمان )

حال با توجه به اطلاعات بدست آمده می توان در مورد انتخاب اولیه روان کننده و یا فوق روان کننده تصمیم گیری نمود.

در حالت اول (نیاز به کاهش آب)، مقدار درصد کاهش لازم آب یا کاهش سیمان مشخص می گردد. برای مثال در مخلوط اولیه مقدار آب ۲۰۰ کیلو گرم و مقدار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم با نسبت آب به سیمان ۰/۴ (برای دستیابی به مقاومت و روانی لازم) بدست آمده است و روانی مورد نظر تامین شده است و خواسته ما آنست که مقدار سیمان از ۴۰۰ کیلوگرم تجاوز نکند. بنابراین مشخص است برای این کاهش سیمان (۲۰ درصد) نیاز به ۲۰ درصد کاهش آب ضروری می باشد. پرواضح است که هیچ روان کننده ای نمی تواند بیش از ۱۲ درصد کاهش آب بوجود آورد و نیاز به فوق روان کننده داریم. فوق روان کننده های ملامینی و نفتالینی در بیشترین مقادیر مصرف در حدود ۲۲ درصد کاهش آب ایجاد می کنند بنابراین اگر بخواهیم از آنها استفاده نمائیم مقدار مصرف آنها بسیار زیاد خواهد بود و ممکن است بدلیل خطاهای کارگاهی ، مشکلاتی را برای ما بوجود آورند و بتن دچار دیرگیری شدید یا جداسدگی و یا آب انداختن یا همه آنها شود (بویژه با ماده نفتالینی). لذا نظر کارشناسی بنده آنست که در این حالت به سراغ پلی کربوکسیلاتها برویم و پلی کربوکسیلات مورد نظر (از نظر حفظ روانی) را انتخاب کنیم. در این حالت ممکن است با توجه به تولید این مواد توسط تولیدکنندگان مختلف چند محصول را باید با یکدیگر مقایسه نمود.

در حالت دوم یعنی افزایش روانی نیز با توجه به تفاوت اسلامپ موجود تا اسلامپ مطلوب، نوع ماده مطلوب را پیش بینی نمود. از آنجا که رابطه مشخصی بین اسلامپ و مقدار آب وجود ندارد در این حالت نیاز به تجربه داریم. چنانچه در اسلامپ حدود  $5^{cm}$  باشیم و بخواهیم اسلامپ را تا ۱۰ یا ۱۵ یا ۲۰ سانتی متر برسانیم به ترتیب به حدود ۱۲ و ۲۰ و ۲۵ کیلو آب بیشتر نیاز داریم. بهرحال قصد ما افزایش آب نیست و باید دید این مقدار آب، چند درصد آب مخلوط است و براین اساس به نوعی آن را معادل درصد کاهش آب دانست و در مورد انتخاب افزودنی اقدام نمود. فرض کنید با ۱۶۰ کیلو آب و ۴۰۰ کیلوگرم سیمان و  $W/C$  معادل ۰/۴ اسلامپ ۵

سانتی متر را بدست آورده ایم اما نیاز به اسلامپ ۲۰ سانتی متر داریم بنابراین در حدود ۲۵ کیلوگرم آب بیشتر لازم است که بیش از ۱۵ درصد آب طرح می باشد. لذا مصرف روان کننده ممکن نیست و باید به سراغ فوق روان کننده ها برویم و اگر قرار باشد حفظ اسلامپ خوبی داشته باشیم باید بسراغ پلی کربوکسیلاتی با خاصیت حفظ اسلامپ و دیرگیر برویم. در مرحله بعد، انتخاب افزودنی مناسب تر را بین تولیدات مشابه کارخانه های مختلف در پی داریم.

در این مرحله مخلوطهای مشابهی را با کنترل رطوبت با افزودنی های مختلف در شرایط یکسان و با روانی تقریباً یکسان در آزمایشگاه می سازیم و اسلامپ و افت آن را تا زمان مورد نظر کنترل می کنیم. هم چنین با قالب گیری بتن ها، مقاومت (یا سایر ویژگی ها مانند دوام و نفوذپذیری) را در سن مورد نظر اندازه گیری می نمائیم. اندازه گیری هوای بتن نیز گاه مدنظر قرار می گیرد.

مقدار افزودنی مصرفی در هر مخلوط مشخص می شود و قیمت واحد هر افزودنی و هزینه مصرف هر افزودنی در هر متر مکعب بتن را محاسبه می نمائیم و در این حالت می توان علاوه بر مقایسه فنی، مقایسه اقتصادی را نیز انجام داد. بهر حال اگر در مقایسه فنی، افزودنی ها برحسب اولویت فهرست شوند، می توان با مقایسه اقتصادی نیز فهرستی تهیه نمود و با توجه به اولویت مقایسه فنی نسبت به مقایسه اقتصادی تصمیم لازم را اخذ نمود.

توصیه می شود در هر پروژه، حداقل سه افزودنی را برحسب اولویت انتخاب کنیم و مذاکرات لازم برای تامین آنها را آغاز نمائیم. بدیهی است ممکن است بهر علت امکان تامین افزودنی اولویت دار میسر نگردد و می توان از افزودنی مناسب و انتخاب شده دیگر استفاده نمود.

امید است با این توضیح مبسوط، این مشکل یعنی انتخاب افزودنی مناسب حل گردد.

پرسش ۱۱- در ساخت سنگ مصنوعی با سیمان سفید و افزودنی پلی کربوکسیلاتی با عیار سیمان  $600 \text{ kg/m}^3$  و نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۳، پس از قالب برداری و خشک شدن سطح بتن، یک نوع سفیدک زنی دیده می شود؟ دلیل آن چیست؟ چگونه می توان آن را رفع کرد؟ لازم به توضیح است که این پدیده در ارتباط با قالب های لاستیکی بیش از قالب های دیگر رخ می دهد.

پاسخ ۱۱- ظاهراً روغن خاصی در این قالب ها استفاده نمی شود و دمای بتن و قالب هم با این عیار و  $W/C$  قابل توجه می گردد (علیرغم نازکی قطعات)، بنظر می رسد در این دما واکنش هائی بین قالب و بتن ایجاد می شود و محصولاتی سفیدک مانند را در سطح بتن بوجود می آورد.

بتن دارای محیط قلیائی است و PH محیط بتنی با این عیار سیمان در هنگام سخت شدن بیش از ۱۲ و اندکی پس از آن به بیش از ۱۳ و در نهایت به بالاتر ۱۳/۵ می رسد. بسیاری از مواد پلیمری یا لاستیکی در این محیط قلیائی و در دمای قابل توجه موجود، پایدار نیستند و واکنش هائی را بوجود می آورند که نتیجه آن احتمالاً تولید همان سفیدک ها می باشد. چنین به نظر می رسد که قالب های دیگر در این محیط قلیائی پایدار تر هستند و مصرف آنها ارجح می باشد. بهر حال امید است نتیجه تجربیات خود را مجدداً با بنده نیز در میان گذارند تا در این رابطه، اطلاعات بیشتری حاصل گردد.