

# پرسش و پاسخ

## پرسش های مطروحه در دوره اجرای بتن کانون مهندسين بابل شهريور ۹۶

س ۱- در سدهای بتنی، ظاهراً بتن را با بولدوزر پخش و سپس با همان وسیله متراکم می کنند؟ چطور می شود ۵۰ سانتی متر ضخامت را متراکم کرد؟

پ ۱- در سدهای بتنی، بتن با وسیله ای شبیه بولدوزر پخش می شود اما با ویراتورهای خرطومی چندتایی متصل به بازوی یک بیل مکانیکی متراکم می گردد. در سدهای بتنی ضخامت هر لایه معمولاً با توجه به حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها بین ۴۵ تا ۶۰ سانتی متر است. ویراتورها بصورت دسته های ۴ تا ۹ تایی در فواصل ۴۰ تا ۶۰ سانتی متری روی بازوی بیل مکانیکی نصب می شوند. قطر این ویراتورها معمولاً بین ۵ تا ۷ اینچ (۱۳ تا ۱۸ سانتی متر) می باشد. بنابراین تصور تراکم بتن با بولدوزر کاملاً ناجاست و اصولاً بدلیل فشار کم وارده بر زنجیر چرخ بولدوزر، امکان تراکم بتن با چنین وسیله ای وجود ندارد.

## س ۲- در مورد نحوه استفاده از واتراستاپ در دیوار برشی توضیح دهید؟

پ ۲- اصولاً در همه دیوارهای برشی نیاز به واتراستاپ (نوار آب بند) وجود ندارد. احتمالاً مقصود، دیوارهای برشی در زیر زمین می باشد. دیوارهای برشی میانی در مخازن آب نیز به واتراستاپ نیاز ندارند.

اصولاً نصب واتراستاپ در موارد استفاده مختلف یکسان است. ابتدا یک طرف عرض نوار آب بند در قطعه ای که قرار است بتن ریزی شود با گیره به میلگردهای موجود یا میلگرد اضافی نصب شده، متصل می گردد و نصف دیگر عرض نوار آب بند، بیرون از قالب قرار داده می شود یا خم می شود و چسبیده به قالب و در داخل آن قرار می گیرد.

پس از بتن ریزی یک بخش از قطعه، چنانچه نصف دیگر عرض نوار آب بند در بیرون قالب باشد، قسمت دوم قطعه پس از قالب برداری بتن ریزی می گردد اما اگر نصف دیگر درون قالب بوده است باید پس از قالب برداری با تراشیدن شیره بتن روی نوار آب بند، آن را بیرون کشیده و در راستای نصفه قبلی قرارداد و بتن بخش بعدی قطعه را ریخت.

گاه از سیم آرماتوربندی و سوراخ کردن واتراستاپ برای نصب آن استفاده می کنند که روش صحیحی محسوب نمی شود و نباید برای نصب روا داشتن نوار آب بند از روش سوراخ کردن استفاده نمود.

**س ۳- در جایی که آب یا نشت آب داریم (مانند سقف و بدنه تونل، شالوده و دیواره‌های زیرزمین و مخازن آب)، نحوه اجرای بتن و درزهای اجرایی موجود باید چگونه باشد؟**

پ ۳- در جایی که احتمال نشت آب یا مایعات از بدنه بتنی یا درزهای آن بویژه درز اجرایی وجود دارد، اجرای بتن باید با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴۵ و ترجیحاً کمتر از ۰/۴۲ و بدون جداشدگی باشد و بهتر است آب انداختن و نشست خمیری آن نیز کم باشد. استفاده از مواد آب بند کننده نیز می تواند در این حالت مفید واقع شود. استفاده از مواد آب گریز در حالتی که درطی زمان زیادی، آب در مجاورت بتن باشد توصیه نمی شود اما مواد کریستال شوونده و کریستال ساز می تواند مفید باشد. استفاده از حداکثر اندازه اسمی کوچکتر و بافت دانه بندی ریزتر برای مخلوط سنگدانه توصیه می شود و بهتر است از سنگدانه های درشت شکسته یا نیمه شکسته استفاده گردد. تراکم کامل در فواصل متناسب با شعاع اثر لرزاننده، بدون جداشدگی و عمل آوری مناسب بویژه همراه با رطوبت رسانی در زمان کافی، تکمیل کننده بکارگیری بتن آب بند است.

راهکاری برای جلوگیری از نشت آب از درزهای دیواره و سقف ، بکارگیری نوار آب بند در درزهای اجرایی و درز انبساط می باشد. گاه تصمیم برآنست که از نوار بند در درز اجرایی استفاده نگردد، بنابراین لازم است با اجرای صحیح درزهای اجرایی از نشت آب از طریق این درزها جلوگیری شود. زبر و خشن کردن بتن قبلی (قدیمی) ، اشباع نمودن سطح این بتن و بکارگیری بتن یا ملات ریزدانه و روان با نسبت آب به سیمان کمتر از بتن اصلی بعنوان واسطه اتصال در سطوح افقی یا استفاده از لاتکس یا دوغاب سیمانی لاتکس دار در سطوح قائم و در ادامه، ریختن بتن اصلی، بدون جداشدگی، راهکار مناسبی برای آب بندی درز اجرایی می باشد.

**س ۴- ارتفاع (فاصله) مجاز بتن ریزی بویژه در دیوارها و ستون ها چقدر می باشد؟ در آئین نامه های معتبر بین المللی چه محدودیت هایی برای آن پیش بینی شده است؟**

پ ۴- معمولاً افرادی که اعتقاد به لزوم محدود سازی فاصله ارتفاعی آزاد بتن ریزی (ارتفاع شره کردن) دارند یک دلیل عمده را جداشدگی احتمالی بتن، عنوان می کنند.

دلیل دوم بویژه برای بتن های خودتراکم، افزایش حفرات سطحی در مجاورت قالب بیان می گردد.

در مقدمه باید گفت در آئین نامه بتن اروپا، آئین نامه *ACI* و بسیاری آئین نامه های معتبر بین المللی، یک محدودیت خاص ارتفاعی برای شره کردن (سقوط آزاد) بتن دیده نمی شود. در حالی که در نشریه ۵۵ (مشخصات فنی کارهای ساختمانی) و مقررات ملی (مبحث نهم) چنین محدودیت هایی آنهم از نوع سختگیرانه وجود دارد.

تحقیقات ۲۰ ساله در شهر شیکاگو که در دهه ۸۰ میلادی به پایان رسید نشان داد که ارتفاع سقوط آزاد بتن از ۱۰ تا ۴۰ متر، هیچگونه جداشدگی را برای اسلامپ های بیش از ۱۰ سانتی متر بوجود نیاورده است و بتن ریزی های این تحقیق عمدتاً در کیسون ها (صندوقه ها) و در عمق انجام شده بود و از اعماق مختلف برای کنترل جداشدگی نمونه برداری انجام گشته بود. نتیجه این تحقیق بیانگر آن بود که صرفاً ارتفاع سقوط آزاد بتن عامل جداشدگی نیست بلکه چنانچه عاملی برای جداشدگی وجود داشته باشد، مسلماً افزایش ارتفاع باعث تشدید جداشدگی می شود.

برخورد بتن به بدنه قالب با زاویه ۹۰ درجه یا کمتر، برخورد بتن به میلگردهای قائم و افقی، مؤلفه افقی سرعت در خروج بتن از لوله پمپ و سطح شیبدار (سرسره بتن) از جمله عوامل عمده و مهم جداشدگی هستند. وقتی این جداشدگی با کمک این عوامل یا یکی از آنها رخ می دهد با افزایش ارتفاع از ۱/۲ متر به بالا معمولاً تشدید می شود و جداشدگی به نحوی است که کاملاً درقطعه مشهود و زنده خواهد بود.

در کنار همه این مطالب باید گفت استعداد جداشدگی در بتن های مختلف ابدأ یکسان نیست. افزایش روانی، بالا رفتن نسبت آب به سیمان، افزایش حداکثر اندازه اسمی سنگدانه، درشت بافت تر شدن دانه بندی و کمبود ذرات ریز در ماسه و بتن و هم چنین برخی عوامل دیگر به بالا رفتن استعداد جداشدگی بتن های مختلف منجر می گردد. بنابراین ممکن است عواملی که باعث جداشدگی بتن می شوند به یک اندازه بتن را دچار جداشدگی نکنند زیرا استعداد جداشدگی آنها متفاوت است.

از آنجا که کم و بیش عوامل ایجاد کننده جداشدگی به دلیل مشکلات و محدودیت های اجرایی وجود دارد، کاهش ارتفاع ریختن آزاد بتن، بهتر است در دستور کار قرار گیرد. هم چنین در همه آئین نامه های معتبر جهانی گفته شده است که در مجموع نباید جداشدگی در بتن رخ دهد. بنابراین باید ترفندهایی را بکار برد تا این اتفاق نامیمون به کاهش کیفیت قطعه و سازه بتنی منجر نشود. برای این منظور باید در ابتدا، استعداد جداشدگی بتن را کم کرد و ضمن اتخاذ تدابیر مناسب، عوامل ایجاد جداشدگی را تا حد

امکان از بین برد، در غیر اینصورت ارتفاع آزاد بتن ریزی را کاهش داد تا شاهد این پدیده نباشیم.

در بتن های خود تراکم ارتفاع سقوط آزاد بتن را به ۵ یا ۶ متر محدود می کنند تا حفرات ریز سطحی کاهش یابد و گاه بتن را از پایین قالب ستون و دیوار پمپ می کنند.

**س ۵- در بتن ریزی ستونها و دیوارها با توجه به محدودیت ارتفاع بتن ریزی و متراکم کردن (لرزاندن) آن و وجود سنجاقی و آرماتورهای عرضی چه راهکارهایی را باید اتخاذ نمود تا اجرای مناسبی را داشته باشیم؟**

پ ۵- همواره ستون و دیوار به دلیل ارتفاع و موقعیت میلگردها، مشکلاتی را بوجود می آورند که مهم ترین آنها جداشدگی است. مشکلات تراکمی و وجود حفرات ریز در سطح بتن، در تماس با قالب، نیز در درجه دوم و سوم اهمیت قرار دارند.

اولین اقدام در طرح مخلوط نهفته است و کاهش استعداد جداشدگی باید در دستورکار قرارگیرد. برخی از این اقدامات به افزایش چسبندگی و لزجت بتن منجر می شود که برای تراکم و خروج هوا از بتن مشکلاتی را بوجود می آورد. بنابراین نباید در کاهش استعداد جداشدگی بصورت افراطی عمل نمود. گاه در طرح بتن های خودتراکم برای جلوگیری از افزایش استعداد جداشدگی، چسبندگی و لزجت بالا می رود که به نوبه خود، امکان حرکت بتن و خروج هوا از آن را بصورت طبیعی از بین می برد.

استفاده از شوت سقوطی یا قیف هادی در زیر خروجی جام (باکت) یا در انتهای لوله پمپ و شوت (سرسره بتن) و فرو بردن آن بصورت قائم در دیوار یا ستون برای بتن ریزی شاقولی و پرهیز از برخورد با بدنه قالب و میلگردهای قائم و افقی از جمله راهکارهای مهم در بتن ریزی، برای جلوگیری از جداشدگی است. عدم بکارگیری باکت های (جام های) بغل ریز و پرهیز از ریختن بتن بصورت افقی یا شیبدار برای جلوگیری از برخورد به میلگردها و بدنه قالب باید در دستور کار قرار گیرد. چنانچه نتوان شوت سقوطی را درون قالب ستون یا دیوار فرو برد، باید بتن را از دریچه هایی که در ارتفاع های مختلف در بدنه دیوار یا ستون پیش بینی کرده ایم ریخت. برای اینکار نباید از شوت استفاده نمود و باید بتن را درون یک مخزن متصل به لبه دریچه ریخت تا سرریز شود و به درون قالب بریزد تا جداشدگی ایجاد نشود.

چنانچه از بتن خود تراکم استفاده نشود، لازم است پس از پرکردن قالب از بتن به ضخامت حدود ۵۰ سانتی متر، آن را با لرزش متراکم نمود. گاه در ستونها، برخی از دست اندرکاران، همه یا نیمی از ستون را پر می کنند و سپس آن را متراکم می کنند که کار نادرستی محسوب می شود و نمی توان هوای بتن را خارج نمود. در صورت اصرار

برای تراکم و خروج کامل هوا عملاً جداسازی در بتن رخ می دهد. امروزه در صورت کاربرد بتن خودتراکم برای بهبود نمای آن، بتن را از پائین قالب پمپ می کنند.

**س ۶- برای استاندارد سازی شن و ماسه چه برنامه های وجود دارد؟ بنظر می رسد که اکثر معادن شن و ماسه استان مازندران فاقد سنگدانه های با کیفیت و دارای استاندارد می باشند.**

پ ۶- از سال ۱۳۸۱ با تدوین استاندارد جدید ۳۰۲ ایران و اجباری شدن تولید سنگدانه استاندارد، قرار بر این بوده است تا استاندارد سازی آنها در سطح کشور انجام شود. بهر حال امروزه همه تولیدکنندگان مجبورند تا پروانه استاندارد برای سنگدانه های خود را اخذ کنند. در سال ۹۴ استاندارد جدیدتری منتشر شده است که از اوایل سال ۹۶ باید بصورت جدی رعایت شود. بنابراین عملاً برای استاندارد سازی سنگدانه ها در سطح کشور برنامه مدونی وجود دارد اما به لحاظ امکانات موجود، اینکار بصورت تدریجی در سطح استانها انجام می شود. بنظر می رسد در استان مازندران نیز بسیاری از تولیدکنندگان دارای پروانه استاندارد هستند. اما استاندارد، حداقل کیفیت را مشخص می کند و گاه این حداقل برای برخی از بتن ها یا بتن ریزیهای خاص کافی نیست. بهر حال این به معنای بی کیفیتی و عدم استاندارد بودن آنها نیست بلکه برای این موارد خاص نامناسب هستند.

**س ۷- آیا ممکن است در آینده به جای سیمان از چسب های دیگری در بتن استفاده شود؟**

پ ۷- هم اینک نیز از برخی چسب های پلیمری بجای سیمان پرتلند یا آمیخته (سیمانهای هیدرولیکی) در بتن های پلیمری استفاده می شود. بنابراین ممکن است در آینده نیز بر کاربرد و ساخت اینگونه بتن ها افزوده گردد. مشکل بزرگ در راه بکارگیری اینگونه بتن ها، اغلب هزینه بسیار زیاد تولید این بتن ها می باشد، که شاید چند ده برابر بتن های حاوی سیمانهای هیدرولیکی است.

بتن های گوگردی نیز از سالها پیش در دنیا ساخته شده اند اما کاربرد آنها به دلیل بهداشتی یا ایمنی در آتش سوزی بسیار محدود می باشد. بهر حال به نظر می رسد در آینده نزدیک نمی توان انتظار جایگزینی چسب دیگری بجای خمیر سیمانهای پرتلند یا آمیخته را داشت. امروزه ژئوپلیمرها نیز بجای سیمان پرتلند یا آمیخته در بتن استفاده می شود و به تدریج در حال گسترش است.

**س ۸ - نمونه گیری بتن در کارگاه باید از خروجی پمپ باشد یا از تراک میکسر؟**

پ چنانچه قرار باشد مقاومت بتن برای انطباق با رده مورد نظر در پروژه کنترل گردد باید از خروجی پمپ قبل از ریختن در محل نهایی نمونه گیری انجام شود. در صورتی که قرار باشد صرفاً مقاومت بتن آماده کنترل گردد اخذ نمونه از تراک میکسر کافی می باشد.

### س ۹- آیا ترتیب ریختن مصالح مصرفی در بتن به کمک یک مخلوط کن یا بتونیر، تأثیری در روانی و مقاومت بتن دارد؟

پ ۹- تحقیقات نشان داده است که معمولاً ترتیب ریختن مصالح در مخلوط کن (چنانچه امکان داشته باشد) می تواند بر کیفیت اختلاط و زمان آن اثر گذار باشد. هم چنین ممکن است بر روانی و مقاومت آن نیز تاثیر بگذارد اما چندان جدی و با اهمیت نیست. بهر حال در بچینگ ها تقریباً همه مصالح با هم در مخلوط کن ریخته می شود اما می توان با سیستم دستی یا دادن برنامه خاص نرم افزاری، برای کنترل بچینگ، ترتیب ورود مصالح را مشخص و تعیین نمود. اینکار به افزایش زمان ساخت هر پیمانانه منجر می گردد و بازده تولید را کاهش می دهد.

علاوه بر این نحوه ریختن مصالح مصرفی در دیگ اختلاط (مخلوط کن) و آرایش آن (در وسط یا در کنار بودن) نیز بر کاهش زمان اختلاط و یکنواختی بتن تاثیر گذار است. در بتن های خودتراکم یا بتن غلتکی، این ترتیب ها اثر بیشتری بر زمان اختلاط خواهد داشت.

### س ۱۰ - علت کرمو شدن (لانه زنبوری یا شن نماشدن) بتن در سازه های بتنی چیست؟

پ ۱۰- همانگونه که بارها گفته شد، علت این امر، جداشدگی بتن است و نباید تراکم ناقص را دلیل آن دانست. گاه خارج شدن شیره یا ملات از درز قالب می تواند به بروز کرمو یا شن نما شدن منجر شود که نوعی جداشدگی پس از بتن ریزی و استقرار آن در قالب است و گرنه در بقیه موارد نحوه ریختن، دلیل جداشدگی بتن خواهد بود. گاه لرزش زیاده از حد بتن نیز می تواند به بروز این پدیده منجر شود. هم چنین در بتن های خودتراکم که بخوبی طراحی نشده اند گاه شن ها می تواند بخودی خود ته نشین شود و باعث جدا شدگی گردد که جداشدگی ثقلی نام دارد.

### س ۱۱- در سطح شیبدار تا چه زاویه ای می توان بتن را ریخت؟ آیا می توان با بستن رابیتیس در فواصل نزدیک به بهم سطح پرشیب را بتن ریزی کرد؟

پ ۱۱- بطور معمول این امر در درجه اول به روانی بتن بستگی دارد. در مورد بتن های معمولی با اسلامپ حدود ۷/۵ تا ۱۰ سانتی متر که در *ACI* به آن بتن خمیری

(Plastic) می گویند ریختن بتن بر روی شیب ۲ (قائم) روی ۳ (افقی) و تراکم آن محدود شده است. چنانچه اسلامپ بتن بین ۱/۵ تا ۵ سانت باشد و امکان بتن ریزی روی شیب ۱ به ۱ می تواند فراهم باشد معمولاً چنانچه شیب بیش از این باشد بهتر است از قالب فوقانی استفاده کرد. در مورد بتن های خودتراکم گاه زاویه شیب تا حدود ۵ درجه (شیب ۱ به ۱۲) می تواند باشد هر چند ویژگی های بتن خودتراکم در این رابطه اهمیت دارد.

بهرحال بتن ریزی روی این شیب ها باید از پائین شروع شود و به تدریج و به آرامی پس از تراکم بتن های قبلی، زمانی که بتواند وزن بتن بالائی و جدید را تحمل کند، بتن ریزی را انجام داد. بهر حال جداسدگی یکی از دغدغه های بتن ریزی روی شیب است و عمل تراکم نیز می تواند مشکلاتی را بوجود آورد.

استفاده از رابتهای در فواصل کم، امکان بتن ریزی روی شیب را تا حدودی فراهم می کند اما لازم است رابتهای معمولاً برای یکپارچگی بتن و جلوگیری از خوردگی (بوپزه مناطق خورنده) برداشته شود که چنین امکانی معمولاً وجود ندارد.

**س ۱۲- نشست خمیری چیست؟ چرا ایجاد می شود؟ تبعات آن کدام است؟ چگونه می توان نشست خمیری را کاهش داد؟ برای جلوگیری از تبعات نشست خمیری، چه راهکاری را سراغ دارید؟**

پ ۱۲- نشست خمیری در واقع فرو نشستن بتن خمیری تازه ریخته و متراکم شده در قالب است که مانند جمع شدگی قائم خمیری می باشد، هر چند معمولاً جمع شدگی تلقی نمی شود. علت اصلی ایجاد آن، آب انداختن (رو زدن آب) بتن تازه پس از گذشت مدتی از پایان تراکم آن می باشد. در بسیاری از بتن ها، پس از گذشت ۱۰ تا ۳۰ دقیقه بعد از تراکم آن، به تدریج یک آب زلال در سطح پدیدار می شود و جمع می گردد. گاه در هوای خشک و گرم و دارای وزش باد ممکن است این آب رو زده مشاهده نشود و بلافاصله تبخیر شود. بهر حال رو زدن آب به معنای حرکت آب از بخش های پائینی به سمت بالا می باشد و در اثر وزن بتن، بخشی از فضای متعلق به آب روزه، با اجزای بتن پر می شود و این امر به نشست خمیری منجر می گردد.

در بتن غیر مسلح، معمولاً این نشست خمیری مشکلی را در سطح فوقانی بتن دال و شالوده بوجود نمی آورد اما ممکنست در وجه قالب بندی شده و در ترازهای بالایی به دلیل درگیری با قالب، ترک های افقی ایجاد کند. در بتن مسلح، چنین نشستی موجب خالی شدن زیرمیلگردهای فوقانی دال، تیر، دیوار، ستون و شالوده می گردد. چنانچه زیر میلگردها به نحو مقتضی در همان ابتدا پر نشود، در هنگام گیرش و سپس سخت شدن

بتن ، بدلیل جمع شدگی ناشی از آن، ضعیف ترین محل برای ترک خوردگی، بالای سر میلگرد خواهد بود و ترک، درست در بالای سر میلگرد فوقانی تا سطح میلگرد (تمام ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد) بوجود می آید و گاه حتی در عمق نیز ادامه می یابد. چنانچه به سطح فوقانی دال یا شالوده توجه کنیم معمولاً یک شبکه منظم مانند شبکه میلگرد را بعنوان الگوی چنین ترکهایی مشاهده می کنیم و حتی گاه این ترکها تمام ضخامت دال را در بر می گیرد و پس از قالب برداری از زیردال چنین الگوی ترکی دیده می شود. در دیوار و ستون و شالوده هایی با ضخامت زیاد، گاه این ترک ها علاوه بر اینکه در سطح فوقانی بوجود می آید پس از قالب برداری و در نزدیکی (۵/۰ تا ۷۵/۰ متری ) بالای قالب، ترک های افقی نیز مشاهده می گردد.

کاهش نشست خمیری، یا کاهش نشست با کاهش آب انداختن بتن رخ می دهد. طرح مخلوط مناسب با آب انداختن کم (حداکثر اندازه کوچکتر، بافت دانه بندی ریزتر، استفاده از ذرات ریز بیشتر مانند پودر سنگ، پوزولان و سرباره و همچنین سیمان بیشتر و مصرف مواد حبابزا و عدم افزایش آب اضافی در پای کار و هم چنین عدم مصرف بیش از حد مواد روان کننده و یا فوق روان کننده در بتن، می تواند اساساً رو زدن آب را کاهش دهد و موجب کاهش نشست خمیری گردد. بهرحال چنانچه این موارد خارج از توانایی مصرف کننده بتن باشد، برای جلوگیری از تبعات نشست خمیری، لازم است در لایه فوقانی شالوده، تیر عمیق، دیوار و ستون، تراکم مجدد اعمال کنیم. اینکار باید حدود نیم ساعت پس از تراکم اول انجام شود. در زمستان یا هوای خنک ممکن است تراکم مجدد با فاصله ۱ تا ۲ ساعت هم انجام گردد. اصولاً تراکم مجدد، کیفیت مقاومتی و دوام بتن را بهبود می بخشد اما هدف از این کار در اینجا، پر کردن زیر میلگردهای فوقانی می باشد که علت ترک خوردگی را از بین می برد. در دالها یا سطوح فوقانی شالوده می توان با استفاده از کوبیدن تخته ماله بر سطح بتن و ایجاد ضربه و لرزش حاصله از آن، زیر میلگرد را پر نمود و از ترک خوردگی جلوگیری کرد.

**س ۱۳- گاه بدون اینکه بتن دچار آب انداختگی مشهود باشد، چنین ترکهایی در سطح بتن و بالای سر میلگردها دیده می شود علت یا علل این امر چیست ؟ آیا بجز آب انداختن بتن ، علت دیگری برای آن وجود دارد؟**

پ ۱۳- ممکن است همانگونه که قبلاً گفته شد بتن دارای آب انداختگی غیر مشهود باشد (بدلیل تبخیر زیاد) و مشکلات ناشی از این آب انداختن یعنی نشست خمیری و ترک خوردگی بالای سر میلگردها بوجود آید. اما اینگونه ترک ها به علل دیگری نیز بوجود می آیند. راه رفتن بی محابا بر روی میلگردهای فوقانی در هنگام بتن ریزی و هم



چنین لرزانیدن میلگردها در اثر چسباندن و بیراتور به آنها دو علل مهم و رایج برای ایجاد چنین ترک‌هایی محسوب می‌شود. در هر دو مورد اگر میلگردها در منطقه ای از بتن سفت تر بلرزد می‌تواند به ایجاد فاصله بین بتن و میلگرد (در زیر، بالا و اطراف) منجر شود و ترک خوردگی بوجود آید. در این حالات عملاً امکان رفع مشکل با تراکم مجدد یا ضربه زدن به سطح بتن با تخته ماله وجود ندارد و ترک خوردگی حتمی خواهد بود. استفاده از تخته الوار بر روی میلگردها و راه رفتن آرام بر روی این تخته‌ها و هم چنین عدم چسباندن و بیراتور به میلگرد راه حل پیشگیرانه ای به شمار می‌رود.

**س ۱۴- آیا در بتن خودتراکم شاهد ترک خوردگی در بالای میلگردها نخواهیم بود؟ اگر قبل از بتن ریزی، احساس کنیم که بتن دچار آب انداختگی شدیدی خواهد بود چه راهکاری برای جلوگیری از آب انداختن و بروز مشکلات بعدی وجود دارد؟**

پ ۱۴- با توجه به اینکه قاعداً بتن خودتراکم نباید آب بیندازد طبیعتاً نشست خمیری آن ناچیز است و بدین ترتیب شاهد ترک خوردگی در بالای سر میلگردها نخواهیم بود. اما ممکنست ترک‌های دیگری بصورت نامنظم در فواصل میلگردها بدلیل تبخیر از سطح و فقدان آب انداختن بوجود آید که باید با کاهش تبخیر از سطح بتن، اجازه ایجاد این ترک‌ها نداد.

گاه بدلیل عدم کنترل مناسب مقادیر آب یا روان کننده و یا تغییرات کمی و کیفی در سنگدانه، ریزدانه و مواد پودری نیز ممکن است آب انداختگی در بتن خودتراکم در کارگاه دیده شود. تهیه طرح مخلوط مناسب و ایجاد ثبات در طرح (*Robustness*) و کنترل کیفیت اجرای بتن و یکنواختی آن و کنترل مقادیر اجزا و اصلاح رطوبتی بصورت دستی یا اتوماتیک از جمله راهکارهای اصلی در جلوگیری از آب انداختگی و جداسازی است. بدین ترتیب مقدار جریان اسلایمپ و  $T50$  و حلقه  $J$  باید در محدود مناسبی بصورت ثابت باقی بماند و  $VSI$  آن نیز در درجه ثابتی قرار گیرد.

در صورتیکه علی‌رغم همه تلاش‌ها، پدیده آب انداختن دیده شود لازم است در تراکم میکسر از مواد  $VMA$  یا همان اصلاح کننده لزجت (گرانروی) به مقدار کافی استفاده نمود. بدیهی است باید ۴۰ تا ۷۰ دور با تند تراکم میکسر را چرخاند تا اختلاط کامل انجام شود و مواد مزبور عملکرد مناسب خود را نشان دهد.

این مواد ممکنست گاه هوازایی و کاهش مقاومت بوجود آورد که اجتناب ناپذیر است. هر چند عملکرد مواد مختلف  $VMA$  از این نظر با یکدیگر متفاوت است اما بهر حال اغلب آنها دارای چنین مشکلی هستند.

س ۱۵- استفاده از آب لب شور برای تهیه بتن چه مشکلی را بوجود می آورد؟

تاثیر آن بر کیفیت مقاومت و سایر ویژگی های بتن چیست؟

پ ۱۵- آب لب شور نشان دهنده وجود کلرید سدیم یا همان نمک طعام است هر چند موادی مانند کلرید پتاسیم نیز دارای شوری می باشد. معمولاً با افزایش مقدار کلرید از حدود ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر، این لب شوری آغاز می شود و به تدریج شوری غلبه می یابد. آب دریای خزر حدود ۵۰۰۰ تا ۸۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلرید دارد در حالی که آب خلیج فارس برخوردار از ۱۹۰۰۰ تا ۲۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلرید می باشد. دریاچه ارومیه بیش از ۱۰۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر کلرید دارد که احتمالاً با وضعیت فعلی دارای غلظت بیشتری هم شده است.

برخی رودخانه های دائمی یا فصلی ایران نیز دارای لب شوری یا شوری هستند. بنده در بخش هایی از قزل اوزن در استان زنجان یا رودخانه نرگسی در استان فارس یا بوشهر، میزان کلرید حدود ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر را در برخی از فصول سال دیده ام با اینکه رودخانه های دائمی هستند. در استان آذربایجان نیز سیمینه رود و تلخه رود (آجی چای) دارای کلرید زیادی هستند. در جنوب کشور و استانهای مرکزی کشور مانند اصفهان، یزد، سمنان، مرکزی، و کرمان بسیاری از رودخانه بصورت فصلی هستند و گاه آب آنها بدلیل عبور از زمین های شور، لب شور یا شور می شوند. بهرحال شوری یا یون کلرید معمولاً موجب گیرش سریع تر و افزایش مقاومت های اولیه (۱ تا ۷ روزه) می گردد. افت اسلامپ بتن بیشتر می شود و ممکن است بر عملیات اجرایی تاثیر بدی بگذارد. مقاومت های دراز مدت (۲۸ روزه یا بیشتر) معمولاً کمتر می شود اما گاه قابل تحمل است و از نظر پذیرش مقاومتی، پروژه را دچار مشکل نمی کند. دلیل عمده ممنوعیت مصرف چنین آبهایی تاثیر آن بر خوردگی سریعتر میلگردهاست. زمان شروع خوردگی، با غلظت یون کلرید مجاور میلگرد، رابطه مستقیم دارد. هر چه یون کلرید اولیه موجود در بتن بیشتر باشد زمان شروع خوردگی میلگرد کمتر خواهد بود اما بر روند (آهنگ) خوردگی میلگرد موثر نیست. بدیهی است خوردگی میلگرد نیاز به رطوبت و اکسیژن دارد و در مناطق و شرایط خشک، معمولاً ممکن است این خوردگی علیرغم وجود یون کلرید فراوان در بتن و در مجاورت میلگردها، دیرتر آغاز و با کندی زیادی پیشرفت نماید و توسعه پیدا کند.

در مواردی که یخ بندان و آبشدگی پی در پی در حین بهره برداری وجود داشته باشد امکان تخریب بتن با وجود یون کلرید در بتن بیشتر خواهد بود. جمع شدگی ناشی از

خشک شدگی نیز معمولاً بیشتر می‌گردد. در مناطق خشک، پدیده تبلور نمکها و آسیب دیدگی سطح بتن با نفوذ نم موئینه بصورت جدی تری نیز مشاهده خواهد شد.

س ۱۶- برای پمپ کردن بتن به ارتفاعات یک ساختمان ۳۰ طبقه (حدود ۱۰۰ متر) چه اقداماتی باید انجام داد تا بتن در لوله گیر نکند و کیفیت مناسبی نیز داشته باشد؟

پ ۱۶- بطور کلی برای پمپ شدن مناسب بتن و بطور خاص برای مواردی مانند ساختمانهای بلند مرتبه باید نکاتی را مد نظر قرار داد.

در ابتدا باید از پمپی استفاده نمود که توانایی پمپ کردن به این ارتفاع را با یک حاشیه امنیت مناسب داشته باشد.

پس از انتخاب درست توان پمپ، نوبت به طراحی مخلوط مناسب برای پمپاژ از نظر روانی، شکل سنگدانه و دانه بندی، حداکثر اندازه سنگدانه، مواد سیمانی و مواد ریز دانه و آب انداختن می‌رسد.

بدیهی است بکارگیری بتن خودتراکم می‌تواند بسیاری از این نیازها را برآورده کند. عدم آب انداختن، کاهش حداکثر اندازه، دانه بندی ریز و مناسب، وجود مواد ریزدانه کافی در سنگدانه و بتن و روانی زیاد، بسیاری از مشکلات را حل خواهد کرد.

بهرحال توصیه می‌شود برای چنین کارهایی، حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ۲۰ میلیمتر یا کمتر را بکار برد. سنگدانه‌های گردگوشه بویژه ماسه گردگوشه برای پمپ کردن مناسب تر است. چنانچه از ماسه شکسته استفاده شود، میزان ریزدانه ماسه باید بصورت جدی افزایش یابد به عبارتی پودر سنگ موجود در ماسه شکسته باید بیشتر شود و گرنه شکستگی ماسه تبعات نامطلوبی را در پی خواهد داشت. در ماسه باید درصد گذشته از الک شماره ۵۰ (۰/۳ میلی متر) بین ۱۵ تا ۳۰ درصد باشد و برای ماسه شکسته احتمالاً این درصد باید بین ۲۰ تا ۳۰ درصد قرار گیرد. درصد گذشته از الک شماره ۱۰۰ (۰/۱۵ میلی متر) باید بین ۵ تا ۱۰ درصد باشد که برای ماسه شکسته بهتر است از ۷/۵ تا ۱۰ درصد برخوردار گردد. هر چند هنوز برای درصد گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی متر) حد خاصی مشخص نشده است اما توصیه می‌شود چنانچه سنگدانه رس و شیل نداشته باشد مقدار این مواد بین ۲ تا ۷ درصد یا حتی تا ۱۰ درصد قرار گیرد و برای ماسه شکسته مقدار ۳ تا ۱۰ درصد مناسب تر است.

در مورد دانه بندی مخلوط سنگدانه، بهتر است حول و حوش منحنی  $B$  مخلوط‌های توصیه شده روش ملی طرح مخلوط بتن باشد. هر چند برای بتن‌های خودتراکم، قرار گیری در بین منحنی  $B$  و  $C$  توصیه می‌گردد. محدوده توان رابطه فولر - تامسون باید

برای دانه بندی بین ۰/۴۵ تا ۰/۳۵ برای بتن های معمولی روان و بین ۰/۲۵ تا ۰/۱ برای بتن های خودتراکم باشد. یک توصیه مهم که از تحقیقات شرکت شوئینگ آلمان نشات گرفته است کاهش مقدار ذرات میانی در مخلوط سنگدانه بتن است. ذرات ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی متر باید در مخلوط کمتر شود تا سهولت در پمپاژ ایجاد گردد. این اقدام باعث می شود در فاصله این دو الک ، دانه بندی از پیوستگی خارج شود و تقریباً حالت ناپیوسته به خود بگیرد. این کار باید بصورت افراط آمیز انجام نگردد زیرا ممکن است منجر به جداسدگی شود.

اسلامپ بتن باید در پای کار بین ۱۲/۵ تا ۱۷/۵ سانتی متر یا بیشتر برای بتن های معمولی (غیر خودتراکم) باشد تا پمپ کردن آن با سهولت بیشتری انجام شود. این روانی باید با فوق روان کننده (در  $W/C$  کمتر از ۰/۴۵) و با روان کننده (در  $W/C$  مساوی یا بیشتر از ۰/۴۵) حاصل گردد و بدون این مواد نباید بتن پمپی ساخته شود. مسلماً چنانچه بتن خودتراکم بکار رود جریان اسلامپ نباید از ۵۵ سانتی متر کمتر انتخاب شود (در پای کار). بتن های آسان تراکم (حداصل بتن معمولی با اسلامپ بیش از ۲۱ سانتی متر و بتن خودتراکم) نیز قابل استفاده است و روانی باید با آزمایش جریان اسلامپ کنترل شود اما بتن خودتراکم محسوب نمی گردد و مقدار جریان اسلامپ آن بین ۴۰ تا ۵۵ سانتی متر خواهد بود.

اصولاً آب انداختن که نشانه نوعی جداسدگی است در بسیاری از موارد موجب انسداد لوله پمپ می گردد و باید از مصرف بتن دارای آب انداختگی زیاد بویژه برای پمپ کردن در ارتفاعات زیاد پرهیز شود.

برخی مواد مانند خاکستر بادی عمل پمپ کردن را تسهیل می کند که در ایران تولید نمی شود. پوزولانهای طبیعی و سایر پوزولانهای مصنوعی معمولاً به پمپ کردن کمکی نمی کنند بلکه ممکن است کار را مشکل تر نمایند. سرباره ها نیز عملکردی مانند سیمان پرتلند دارند که اگر کمکی نباشند حداقل مشکل خاصی بوجود نمی آورند. بالا بردن عیار مواد سیمانی تا حدی اصطکاک را کم، اما چسبندگی را زیادتر می کنند و کار پمپ کردن از طرفی دشوار تر می گردد باید سعی کرد در بتن های معمولی با حداکثر اندازه سنگدانه ۲۰ میلی متر سیمان از ۴۲۵ کیلو در هر مترمکعب بتن بیشتر نشود. در بتن های خودتراکم نیز بهتر است این عیار از حدود ۴۷۵ کیلو بالاتر نرود.

بهر حال همانطور که گفته شد این روانی باید با مواد روان کننده یا فوق روان کننده تامین گردد. بکارگیری موادی که دیرگیرتر و حافظ اسلامپ بویژه در فواصل طولانی و در فصل گرما هستند توصیه می شود. تجربه نشان می دهد که اگر از فوق روان کننده پلی کربوکسیلاتی استفاده می شود بهتر است از روان کننده دیرگیر لیگنوسولفوناتی نیز

در کنار آن استفاده گردد زیرا به پمپاژ بهتر بویژه برای ماسه های شکسته کمک شایانی می نماید.

گاه پمپ کردن بتن در ارتفاع زیاد با پمپ های ضعیف تر در چند مرحله انجام می شود و توصیه می گردد تعداد نوبت پمپ کردن تا حد امکان کاهش یابد.

س ۱۷- اکثراً دیده می شود که مقاومت بتن های قدیمی (باقدمت ۵۰ ساله یا بیشتر) که حتی، با شن گردگوشه ساخته شده اند و در آنها از روان کننده استفاده نگردیده است، از حد انتظار بیشتر می باشد در حالی که نسبت آب به سیمان آنها نیز خیلی کم نبوده است. بنظر شما آیا دلیل آن خوب شستن شن و ماسه نبوده است؟

پ ۱۷ - پرسش هوشمندانه ای از جهات مختلف و به نوعی حاوی یک نتیجه گیری پنهان و مستتر در آن است. در ابتدا باید گفت که بهر حال هر بتنی در طول زمان به شرط وجود رطوبت، پیشرفت مقاومتی دارد هرچند این افزایش کیفیت ناچیز محسوب شود. نفوذ ناپذیری و دوام بتن نیز بر همین منوال بهبود می یابد. با گذشت ۵۰ سال از عمر یک بتن طبیعتاً چنین روالی را شاهد خواهیم بود.

سیمانهای تولیدی در گذشته دارای  $C_2S$  بیشتر و  $C_3S$  کمتری بوده است. هم چنین ذرات آن بطور متوسط درشت تر از سیمانهای امروزه بوده است. بنابراین روند رشد آن در طول زمان به مراتب بیشتر از سیمانهای امروزی در بتن های حال حاضر می باشد.

برخی سیمانهای تولیدی مانند سیمان کارخانه های دارای پوزولان (تراس) جاجرود بوده است که در ساخت ابنیه فنی راه آهن سراسری ایران از آن استفاده گردیده است. هم چنین احتمالاً در خط آهن فیروزکوه به شمال از چنین سیمانهایی بهره برده اند. بتن های حاصله می تواند در طول زمان رشد مقاومتی بهتری از خود به نمایش گذارد.

در بسیاری از پروژه های استان مازندران به دلیل وجود رطوبت و عدم وجود مواد زیانبار، رشد مقاومتی مناسبی در طول زمان انتظار می رود.

مصرف شن گردگوشه نمی تواند چندان تاثیر نامطلوبی بر مقاومت بتن های کم مقاومت قدیم یا جدید داشته باشد، ضمن اینکه بدلیل ایجاد روانی و کارایی بهتر، احتمالاً آب کمتری بکار می برده اند و نسبت آب به سیمان نیز کمتر می شده است.

غالباً در آن زمان از ماسه گردگوشه استفاده می شد و ماسه شکسته جایگاهی نداشت (حداقل در استان مازندران). بنابراین با مصرف سیمان معینی در هر متر مکعب بتن، روانی و کارایی با ماسه گردگوشه با مقدار کمتری از آب فراهم می شد و نسبت آب به سیمان کمتر می گشت. این موارد نیز به بهبود مقاومت می انجامید.

توجه بیشتر به اجرا، تراکم بهتر علی‌رغم فقدان ویبراتورهای خرطومی در اکثریت قریب به اتفاق بتن ریزی‌ها و توجه جدی به عمل آوری بتن، همگی منجر به بالا رفتن مقاومت اولیه بتن‌ها و در نتیجه بهبود مقاومت‌های دراز مدت آنها شده است که نتیجه وجدان کاری و حرفه‌ای مهندسين، تکنیسین‌ها و همه عوامل اجرایی آن روزگار می‌باشد. متأسفانه چنین مواردی در بین اهالی و دست‌اندرکاران امروزی بتن کمتر به چشم می‌خورد و به ندرت دیده می‌شود.

اتفاقاً در آن روزها، شستشوی شن و ماسه‌ها صرفاً در برخی پروژه‌های مهم مانند راه آهن سراسری یا راه آهن شمال مرسوم بوده است و در سایر پروژه‌ها از شن و ماسه رودخانه‌ای نسبتاً تمیز بدون شستن استفاده می‌شده است. امروزه می‌دانیم که نبود گل و لای بر سطح شن، در اتصال و پیوستگی خمیر سیمان و بهبود مقاومت و دوام تاثیر جدی دارد. در مورد ماسه‌ها اهمیت این امر کمتر است اما چنانچه کنترل مناسبی بصورت مستقیم بر نسبت آب به سیمان نداشته باشیم مسلماً وجود گل و لای و حتی ذرات ریز دیگر (مانند ماسه‌های خیلی ریز یا پودر سنگ) می‌تواند برای دستیابی به روانی مشخص، مقدار آب لازم و نسبت آب به سیمان بتن را بالاتر برد و مقاومت را کم کند. بهر حال نمی‌توان شستشوی شن و ماسه یا بهتر شستن آنها را دلیل محکمی برافزایش مقاومت بتن‌های قدیمی دانست. اما نمی‌توان این دلیل را نیز مردود اعلام نمود.

**س ۱۸- در طرح مخلوط‌های بتن بویژه بتن پمپی در استان مازندران، با توجه به حذف فیلرهای مناسب و لازم از ماسه‌ها، چگونه می‌توان عمل نمود و آن را جایگزین کرد؟**

پ ۱۸- همانگونه که گفته شد در بتن‌های پمپی طبق توصیه *ACI 304.2R* ماسه باید از ذرات ریز کافی برخوردار باشد. مواد گذشته از الک شماره ۵۰ باید بین ۱۵ تا ۳۰ درصد و گذشته از الک شماره ۱۰۰ لازم است بین ۵ تا ۱۰ درصد باشد و تجربه این موضوع را به اثبات رسانده است.

شستشوی غلط و زیاده از حد موجب می‌شود این درصدها از حداقل لازم نیز کمتر شود و پدیده غالبی در کشور و در استان مازندران است. دلیل این امر، برخی آموزه‌های قدیمی و غلط و نیاز به بالا بردن *SE* ماسه از عدد ۷۵ درصد و یا حتی بیشتر بوده و هست که مشکل جدی را امروزه برای بتن‌های پمپی بوجود آورده است.

در *ACI304.2R* چاره اینکار را استفاده از ماسه‌های ریز (بادی)، پودر سنگ، مواد پوزولانی و سرپاره‌ای می‌دانند. بهر حال در ایران به دلایل مختلف، منجمله عدم امکان

تامین مواد فوق یا سختی بکارگیری آنها، ترجیح می دهند که از سیمان اضافی برای بهبود پمپاژ بتن استفاده کنند. گاه راهکار مشکل موجود را افزایش روانی بتن می دانند که موجب جداسدگی و آب انداختن بتن می شود و گاه به انسداد و سختی پمپ کردن آن منجر می گردد.

س ۱۹- معمولاً تفاوت مقاومت بتن های عمل آوری شده در شرایط استاندارد (آزمایشگاهی) و بتن های عمل آوری شده در شرایط کارگاهی چیست؟ آیا مقدار این تفاوت قابل پیش بینی است؟

پ ۱۹- نمونه های عمل آوری شده در شرایط استاندارد دارای دو مرحله عمل آوری است. در روز اول و دوم (طبق *ASTM C31*) و در سه روز اول (طبق *EN12390-2*) و یا طبق استاندارد ملی ۳۲۰۵ و ۲ - ۱۶۰۸ باید در بازه دمایی خاصی نگهداری شود و نباید اجازه داد تا آب آن تبخیر گردد. در مرحله دوم، این عمل آوری در مخزن آب و یا در اتاق مرطوب و در بازه دمایی محدودتر انجام می شود.

در *ASTM C31* محدوده دمایی روز اول یا روزهای اول و دوم ۱۶ تا ۲۷ درجه و در مخزن آب یا اتاق مرطوب  $23 \pm 2$  درجه سلسیوس می باشد که در مجموع شرایط استاندارد (یا بصورت غلط رایج، آزمایشگاهی) نامیده می شود. در عمل آوری در شرایط کارگاهی، هیچ محدودیت دمایی خاص (بجز محدودیت اجرایی) و رطوبتی ویژه (بجز در دوره عمل آوری) وجود ندارد، بنابراین عملاً فاقد شرایط معینی است.

در مجموع باید گفت هیچگونه رابطه خاصی بین این دو مقاومت در شرایط استفاده کارگاهی وجود ندارد.

برای مثال فرض کنید دمای محیط کارگاه در روزهای اول بطور متوسط ۳۰ درجه سلسیوس باشد و رطوبت مناسبی در محیط مجاور دیده شود. مسلماً مقاومت های آن در روزهای اولیه (تا حدود ۲۸ روز) از مقاومت نمونه بتنی نگهداری شده در شرایط استاندارد بیشتر خواهد شد. در حالی که اگر دمای محیط کارگاه کم و رطوبت آن نیز پایین باشد مسلماً مقاومت نمونه های نگهداری شده در شرایط استاندارد بیشتر خواهد شد (در شرایط یکسان رطوبتی در هنگام آزمایش مقاومت فشاری). بنابراین دیده می شود که هیچ گونه تفاوت یا نسبت خاصی را نمی توان در این مورد بدست آورد.

س ۲۰- حداکثر مدت زمان لازم جهت حمل بتن با تراک میکسر از محل ساخت تا پای کار (محل ریختن) چقدر است و اگر بنا به دلایلی بصورت اجتناب ناپذیر بیشتر شود چه تمهیداتی را باید در نظر گرفت و بکار برد؟ (بویژه در تابستان)

پ ۲۰- در *ASTMC94* و استاندارد ملی ۶۰۴۴ ایران حداکثر مدت زمان حمل با تراک میکسر ۹۰ دقیقه در شرایط عادی و برای کامیون حمل بتن ۴۵ دقیقه داده شده است. در شرایط خاصی مانند هوای سرد ممکن است بتوان حداکثر زمان را افزایش داد و برعکس در هوای گرم احتمالاً این حداکثر زمان داده شده باید کمتر گردد. در *ISO22965-2* و استاندارد ۱۲۲۸۴ ایران نیز همین مفهوم آمده است. همچنین در *ASTM C94* اشاره شده که اگر مدت حمل بیش از این مقدار باشد اما روانی بتن (بدون افزایش آب در پای کار) در پای کار تامین باشد خریدار می تواند از این بتن استفاده نماید.

استفاده از مواد روان کننده و دیرگیرکننده راهکار مناسبی برای افزایش حداکثر زمان حمل بتن می باشد که معمولاً در دنیا به وفور استفاده می گردد و ممنوعیتی ندارد و اشکالی از نظر تکنولوژی بتن به آن وارد نیست.

### س ۲۱- چند نوع تخلخل (حفره) در بتن (خمیر سیمان) وجود دارد و چگونه می توان آنها را کم کرد؟

پ ۲۱- در خمیر سیمان انواع مختلفی از حفرات درشت و ریز (پیدا و ناپیدا) وجود دارد. درشت ترین حفرات مربوط به هوای باقیمانده در بتن در اثر عدم تراکم کافی است و هوای غیر عمدی بتن یا هوای ناخواسته (*Entrapped Air*) نام دارد. از ۰/۵ تا ۲۰ میلی متر قطر یا بعد دارد و الزاماً کروی نیست و شکل نامنظمی می تواند داشته باشد. تراکم کافی می تواند این حفرات را کم کند.

در بتن های حبابدار با مواد حبابزا چنین حفرات بسته ای ایجاد می شود. چنین هوایی را هوای عمدی یا خواسته (*Entrapped Air*) می نامند. کم و زیاد شدن آن تابع مقدار مواد حبابزا و شرایط و مقادیر اجزای بتن و شرایط دمایی و مدت اختلاط و حمل می باشد. اندازه این حفرات از چند دهم تا چند صدم میلی متر تغییر می کند. ریزترها با چشم غیر مسلح قابل دیدن نیستند و کروی هستند، اما بزرگترها قابل رویت می باشند، که این حفرات درشت تر عملکرد چندان مناسبی هم ندارند و با یک ذره بین قابل دیدن هستند.

در مرحله بعدی از نظر اندازه، حفرات و لوله های موئینه هستند که قطر و اندازه آنها نیز یکسان نیست. ابداً با چشم غیر مسلح دیده نمی شود و با یک ذره بین نیز نمی تواند رویت گردد اما در زیر یک میکروسکپ معمولی می توان این حفرات و لوله های موئینه را مشاهده کرد. اندازه این فضاهای موئینه در سنین مختلف متفاوت است. در ابتدا در بتن بسیار جوان ممکنست به بزرگی ۵ میکرون (۰/۰۰۵ میلی متر) باشد اما به تدریج



کوچک می شوند، ممکنست در بتن هایی با نسبت آب به سیمان کم در یک سن زیاد به حدود ۱۰ نانومتر ( $10^{-5}$  میلی متر) برسد اما معمولاً از ۵۰ نانومتر (۵/۰ میکرون یا  $5 \times 10^{-5}$  میلی متر) در بتن های عادی بزرگتر هستند و بر مقاومت و دوام بتن موثرند در حالت عادی، حفرات بزرگتر از این مقدار بر مقاومت و دوام کاملاً اثرگذار می باشند. این حفرات موئینه به بزرگی ۱۰۰۰ نانومتر (۱ میکرون یا یک هزارم میلی متر) هم می رسد.

برای کاهش این حفرات موئینه معمولاً بهترین کار، کاهش نسبت آب به سیمان بتن می باشد. برای کوچکتر کردن آنها ضمن کاهش مقدار آنها، علاوه بر کاهش  $W/C$ ، عمل آوری مناسب و یا استفاده از پوزولانها و سرباره ها تاثیر قابل ملاحظه می تواند داشته باشد.

کوچکترین حفرات که معمولاً پر از آب هستند، حفرات ژلی و بین لایه ای نام دارند. این فضاها دارای ۲ ملکول آب یا بیشتر هستند که به شدت به جداره آنها یعنی ماده  $C-S-H$  چسبیده اند. اندازه حفرات بین ۰/۵ تا ۲/۵ نانومتر (۵ تا ۲۵ آنگسترم یا  $10^{-7}$  تا ۵ میلی متر) می باشد این ها قابل نفوذ نیستند و بر مقاومت و دوام بتن اثری ندارند. بزرگی و اندازه آنها را نمی توان کم کرد. هم چنین مقدار آنها را نمی توان کاهش داد.

س ۲۲- اگر بتنی در قطعه ریخته شود و نمونه از آن تهیه نشده باشد، چگونه می توان مقاومت فشاری بتن را کنترل کرد و انطباق با رده را انجام داد و بتن را پذیرفت یا رد کرد؟ آیا می توان از مغزه گیری، آزمایش اولتراسونیک و چکش بتن استفاده نمود؟

پ ۲۲- انطباق با رده و پذیرش بتن صرفاً از طریق تهیه آزمون های قالب گیری شده و نگهداری شده در شرایط استاندارد و تعیین مقاومت فشاری آنها طبق روابط آماري پذیرش انجام می شود و جایگزینی ندارد. اگر مقصود آنست که آیا مقاومت بتن درون قطعه را می توان بدست آورد؟ جواب شما آری است اما اینکار نیز صرفاً از طریق تهیه مغزه از بتن سخت شده قطعه و آماده سازی و آزمایش مقاومت فشاری آن قابل انجام است. در این حالت می توان در مورد پذیرش سازه ای بحث نمود. در انطباق بر رده و در آبا و مقررات ملی و بسیاری از آئین نامه های معتبر دنیا وضع بر همین منوال است. در سالهای اخیر  $ACI 318$  اجازه داده است در صورت پیش بینی طراح پروژه بتوان از آزمایش های نیمه مخرب و غیر مخرب مانند  $Pull-out$  بتن، مقاومت نفوذی بتن سخت شده، تعیین سرعت پالس عبوری از بتن (فراصوتی یا اولتراسونیک)، چکش اشमित یا آزمایش برجهنگی و آزمایش های دیگر استفاده نمود. اما باید توجه داشت که هیچکدام از این آزمایش ها مقاومت فشاری را بدست نمی دهند و باید قبلاً یک رابطه همبستگی بین مقاومت فشاری بتن و نتیجه این آزمایش های غیر مخرب صرفاً برای

این بتن بدست آورد و سپس مقاومت فشاری بتن را با انجام آزمایش های مزبور بر روی بتن قطعه تخمین زد. برخی از این آزمایش ها بدلیل وجود میلگرد در بتن نیازمند تعیین و مشخص کردن قطر، طول و محل قرار گیری میلگردها در نزدیکی محل آزمایش می باشند و نتیجه آنها باید براین اساس تصحیح گردد. بنابراین باید دقت نمود که در کجا و چه هنگام و به چه نحو می توان از این آزمایش ها استفاده نمود.

**س ۲۳- چگونه می توان اسکلت بتن آرمه اجرا شده را بصورت چشمی کنترل نمود؟**

پ ۲۳- برخی اوقات هدف از کنترل، انطباق ظاهر اعضای سازه و ابعاد آن با نقشه و مشخصات است. هم چنین گاه برخی نقص های اجرایی، در ظاهر قطعات و اعضای سازه مشهود و قابل دیدن است. برای مثال درز سرد، کرمو شدگی، پرنشیدن بتن در قطعه، لخت بودن میلگردها از جمله این اشکالات محسوب می شوند.

کیفیت مقاومتی بتن، اشکالات آرماتوربندی، قطر و نوع میلگرد و رده مقاومتی آن و تعداد آن مسلماً پس از اجرا بصورت چشمی قابل کنترل نمی باشد. بنابراین باید با کنترل حین اجرا، کیفیت قطعه و سازه را تضمین نمود.

**س ۲۴- برای افزایش باربری یک تیر، که بتن کم مقاومت دارد و ظرفیت باربری آن کافی نیست، چه روشی وجود دارد؟ آیا برای مثال با مالیدن یا پاشیدن ماده با محلول خاصی به سطح بتن، می توان این نقیصه را برطرف نمود؟ گاه ادعا می شود با چنین عملیاتی، ممکن است تا ۲۰ درصد مقاومت فشاری بتن را افزایش داد.**

پ ۲۴- برای بالا بردن ظرفیت باربری یک عضو خمشی که برای مثال دارای بتن کم مقاومت است، افزایش مقاومت بتن می تواند یک راه حل از بین راه حل های مختلف باشد. افزایش مقاومت بتن عملاً امکان پذیر نیست مگر اینکه بتن بقدری متخلخل باشد که بتوان یک ماده چسباننده را به آن تزریق کرد و مقاومت بتن را بالاتر برد که کاری بسیار دشوار در یک حجم زیاد خواهد بود.

معمولاً موادی که به سطح بتن پاشیده می شود ممکنست نفوذ محدودی داشته باشد و احتمالاً با واکنش هایی، ماده سخت و مقاومتری را بوجود آورد اما چندان بر ظرفیت باربری قطعه اثر نمی گذارد. چنین اقداماتی ممکنست بر نفوذپذیری سطحی و دوام بتن اثر گذارتر باشد. با استفاده از روش های مختلف مقاوم سازی مانند بکارگیری *FRP* با استفاده از صفحات تقویتی از بتن و افزایش ارتفاع تیرمی توان ظرفیت باربری تیر را افزایش داد.

**س ۲۵- چرا استفاده از بسیاری از روان کننده ها در سطح شهرهای استان تاثیر زیادی نشان نمی دهد و میزان مصرف آن به مراتب بیش از مقادیر قید**

## شده در بروشور آنها می شود؟ هم چنین در بسیاری از اوقات موجب کاهش مقاومت هم می شوند، چرا؟

پ ۲۵- مواد روان کننده اعم از معمولی یا فوق روان کننده می تواند دارای کیفیت های مختلف و میزان مواد جامد گوناگون باشد. برای مثال یک ماده روان کننده معمولی لیگنوسولفوناتی می تواند با غلظت های مختلف عرضه گردد. ماده اصلی و موثر آن می تواند با کیفیت عملکردی متفاوتی باشد. فرض کنید دو روان کننده با میزان مواد جامد ۳۵ درصد داشته باشیم که نوع لیگنوسولفونات آنها متفاوت باشد، بنابراین عملکرد آنها می تواند متفاوت باشد.

بسیاری از موادی که در سطح شهرها و در فروشگاههای مصالح ساختمانی فروخته می شود غیر استاندارد و کم غلظت می باشند. هر چند این مواد ظاهراً ارزان بنظر می رسند اما مصرف آنها باید زیاد شود تا انتظارات را برآورده کند و شاید عملاً گرانتر تمام شوند. معمولاً مشتری اینگونه مواد، آشنا به افزودنی ها نیستند و قیمت واحد پائین، آنها را برای خرید این مواد جلب می کند.

فرض کنید یک ماده روان کننده معمولی ممکن است کیلویی ۲۵۰۰ تومان فروخته شود و یک ماده فوق روان کننده پلی کربوکسیلاتی کیلویی ۷۵۰۰ تومان باشد. اغلب افراد تصور می کنند که ماده ۲۵۰۰ تومانی ارزانتر و مقرون به صرفه تر است در حالی که این موضوع محل تردید می باشد. به همین دلیل برخی تولیدکنندگان، ماده پلی کربوکسیلاتی را بسیار رقیق می کنند تا قیمت واحد آن کیلویی ۲۵۰۰ تومان شود. مسلماً میزان مصرف این ماده به مراتب بیشتر می گردد. مواد پلی کربوکسیلاتی با غلظت ۴۰ درصد، عملکرد یکسانی ندارند زیرا فرمول آنها ممکن است یکسان نباشد.

همواره سعی نمائید تا مواد روان کننده یا فوق روان کننده استاندارد را از شرکت های معتبر یا نمایندگی های آنها تهیه نمائید. وقتی از یک ماده روان کننده، صرفاً برای روان تر کردن بتن ضمن حفظ  $W/C$  و ثابت بودن مقدار سیمان و آب استفاده شود معمولاً تغییری در مقاومت حاصل نمی شود مگر اینکه ماده مزبور دارای هوازایی باشد. در این حالت ایجاد هوای اضافی ناشی از مصرف آن می تواند به کاهش مقاومت منجر گردد. بسیاری از این مواد بویژه لیگنوسولفوناتها و پلی کربوکسیلاتها ممکن است هوازایی قابل توجهی داشته باشند که فروشنده یا تولید کننده این مواد باید این هوازایی را کم و به حداقل مجاز برساند.

## س ۲۶- در مورد کنترل مواد افزودنی و آزمایش های مورد نیاز، توضیح بیشتری بدهید.

پ ۲۶- در مورد مواد افزودنی، دو یا سه نوع کنترل وجود دارد. کنترل اول برای انطباق با استاندارد است که در ایران طبق استاندارد ۲۹۳۰ انجام خواهد شد. انطباق با

استاندارد معمولاً برای بسیاری از افزودنی‌های موجود انجام می‌شود. دستیابی به حداقل پیش‌بینی شده در استاندارد چندان مشکل نیست و کیفیت افزودنی‌ها بسته به میزان فاصله از این حداقل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ممکن است فاصله کیفی بین دو افزودنی استاندارد، خیلی زیاد باشد و نباید پنداشت که دو افزودنی استاندارد کیفیت یکسانی دارد. مقدار مصرف افزودنی‌ها بر ای دستیابی به یک ویژگی مورد نیاز، مساوی و یکسان نیست و طبیعتاً هزینه مصرف آن با توجه به مقدار مصرف و قیمت واحد این مواد یکسان نخواهد بود و باید مورد بررسی قرار گیرد.

کنترل دیگر، کنترل عملکرد ماده افزودنی در طرح مخلوط بتن مورد نظر می‌باشد. باید توجه داشت در آزمایش‌های انطباق بر استاندارد از بتن یا ملات خاصی که در دستور آزمایش استاندارد بدان اشاره شده است و دارای سیمان خاص و عیار خاص، سنگدانه‌هایی با دانه بندی خاص و نسبت آب به سیمان خاصی می‌باشد استفاده می‌گردد و ربطی به طرح مخلوط بتن مورد نیاز ما در یک پروژه ندارد. بنابراین معمولاً سعی می‌شود عملکرد مواد افزودنی در بتن مزبور بررسی و با مواد مشابه دیگر مقایسه گردد. کنترل سوم، کنترل یکنواختی محموله‌های خریداری شده از یک ماده است تا ثابت شود محموله جدید با محموله قدیمی تفاوت چندانی ندارد.

کنترل  $PH$ ، کنترل درصد مواد جامد و چگالی افزودنی از ساده‌ترین و اولیه‌ترین اقدامات برای کنترل یکنواختی محموله‌هاست. هم‌چنین باید عملکرد محموله برای یک طرح مخلوط بدون تغییر کیفیت و کمیت اجزای بتن بررسی گردد و اگر اختلاف معناداری نداشته باشد یکنواختی محموله‌ها تائید می‌گردد ضمن اینکه کیفیت افزودنی را نیز نشان خواهد داد.

**س ۲۷- به عنوان یک تولیدکننده بتن، سعی نمودیم با شستشوی زیاد ماسه،  $SE$  را بالا ببریم. در کمال تعجب مشاهده کردیم که مقاومت بتن حتی تا ۱۰ درصد کاهش پیدا کرد. بنظر شما چرا چنین اتفاقی افتاده است؟**

پ ۲۷- با توجه به اطلاعات موجود چنانچه نسبت آب به سیمان ثابت نگه داشته شود، ممکنست بالا رفتن  $SE$  ماسه، تأثیری منفی بر مقاومت و کارایی و تأثیر مثبت بر روانی (با ثابت بودن آب به سیمان) داشته باشد و آب انداختن بتن و استعداد جداشدگی بیشتر گردد. در صورتی که روانی بتن و عیار سیمان ثابت نگهداشته شود، بالا رفتن  $SE$  می‌تواند به افزایش مقاومت منجر گردد، در حالی که تأثیر زیادی بر آب انداختن و جداشدگی نخواهد داشت.

بهر حال بنده نمی‌دانم که این بتن‌ها با کدام یک از حالت‌های فوق ساخته شده است؟ آیا در کارگاه ساخته شده است و یا در آزمایشگاه؟ کنترل بر ساخت کارگاهی و آزمایشگاهی از نظر اصلاحات رطوبتی چگونه بوده است؟ بنابراین پاسخ به این پرسش دشوار است.

## س ۲۸- یک ناظر چگونه می تواند نتیجه آزمایشگاه بتن را رد یا قبول کند؟

پ ۲۸- مقصود از سوال شما برای بنده روشن نیست؟ آیا صحت آزمایشها مد نظر شما می باشد؟ یا در مورد ضوابط پذیرش و انطباق با رده مورد نظر و نحوه انجام این کار بررسی وجود دارد؟

صحت انجام آزمایش ها را می توانید با مشاهده و دقت در انجام نمونه گیری ، قالب گیری، عمل آوری اولیه و نهایی و شکستن آزمونه ها و مطابقت با دستورالعمل های استاندارد مربوطه بررسی نمائید. یک ناظر حق دارد در مورد صحت این عملیات، بررسی نماید زیرا مقدمه پذیرش و انطباق با رده است. حتی ناظر می تواند در مورد کالیبره بودن وسایل اندازه گیری نیز حساسیت نشان دهد. بهر حال اصولاً آزمایشگاهها موظفند این اقدامات را به درستی به انجام رسانند اما رافع نظارت بر کار آنها نخواهد بود.

چنانچه نظارت از صحت نتایج و هم چنین رعایت ضوابط نمونه برداری و تواتر نمونه برداری مطمئن باشد، در مرحله بعدی با توجه به ضوابط پذیرش و انطباق با رده که در آئین نامه بتن ایران و مبحث نهم مقررات ملی آمده است باید در این باره اظهار نظر کند. در صورت عدم انطباق با رده، موضوع بررسی بتن کم مقاومت در دستور کار قرار می گیرد که ممکنست به پذیرش سازه ای منجر شود. چنانچه پذیرش سازه ای محقق نشود، در مورد تخریب یا تقویت یا تغییر بارها (برحسب نظر کارفرما) ممکنست اقدام گردد.

س ۲۹- در کارخانه های بتن آماده نیاز به یک مدیر فنی و مسئول کنترل کیفی فعال وجود دارد در حالی که واقعیت موجود چنین نیست. آیا سازمان استاندارد نباید در این مورد ، کنترلی را به انجام رساند؟

پ ۲۹- موضوع مورد اشاره کاملاً درست است و چنین نیازی به شدت احساس می شود و چنانچه این افراد دارای دانش فنی لازم نباشند و یا فعالیت مستمر نداشته باشند، نمی توان مطمئن بود که بتن آماده مناسبی تولید گردد.

سازمان استاندارد نیز این نیازها را تأیید می کند و جزو الزامات اخذ پروانه استاندارد است اما کنترل مداوم آن برای تأیید فعالیت مستمر این افراد برای سازمان استاندارد مقدور نمی باشد. بهر حال باید در جهتی حرکت کنیم که تولید کننده و خریدار به این موضوع حساسیت نشان دهند. در هیچ کجای دنیا سازمان هایی مشابه سازمان استاندارد نمی توانند مسئولیت کنترل وجود افراد فعال در این مشاغل را بخوبی دنبال کنند.

بنده در برخی از کارخانه های بتن آماده از نزدیک مشاهده کرده ام که چنین افرادی فعالانه مشغول بکارند اما در برخی دیگر، اثری از چنین نفراتی ندیدم. در برخی از کارخانه های بتن آماده وسایل آزمایشگاه به شدت مورد استفاده بودند و در برخی دیگر آنقدر نو بودند که گویی تاکنون بکار نرفته اند.

## سؤالات مطرحه در جلسه همایش یکروزه کاربرد های نوین میکروسیلیس، دیماه ۱۳۹۶

- ۱- آیا از روی رنگ و ظاهر می توان پودر سیلیس را از میکروسیلیس تشخیص داد؟
- ۲- چه راههایی برای تشخیص میکروسیلیس از پودر میکروسیلیس میکرونیزه وجود دارد؟ چه راههای ساده ای را می توان بکار گرفت؟
- ۳- مقصود فروشندگان ژل میکروسیلیس از این ماده چیست؟ آیا استاندارد برای ژل میکروسیلیس وجود دارد؟
- ۴- چه تفاوتی بین میکروسیلیس و دوده سیلیسی وجود دارد؟
- ۵- معنای ضریب تاثیر  $K$  در محاسبه نسبت آب به سیمان معادل و مقاومت فشاری برای میکروسیلیس چیست؟ مقدار آن چقدر می باشد؟ آیا در مورد دوام نیز  $k$  موضوعیت دارد؟ مقدار آن چقدر است؟
- ۶- آیا مصرف مقادیری کمتر از ۵ درصد میکروسیلیس به عنوان جایگزین سیمان تاثیر مثبتی بر ویژگی های بتن دارد؟

### پاسخ های همایش یکروزه کاربردهای نوین میکروسیلیس

- پاسخ ۱-** متأسفانه نمی توان صرفاً از روی رنگ و ظاهر پودر سیلیس، آن را از میکروسیلیس یا دوده سیلیسی تشخیص داد. تنوع رنگ بویژه در مورد دوده سیلیسی (سفید متمایل به خاکستری تا خاکستری روشن) وجود دارد. پودر سیلیس کوارتزی نیز رنگ سفید متمایل به خاکستری می تواند داشته باشد.
- پاسخ ۲-** برای تشخیص میکروسیلیس (دوده سیلیسی) از پودر سیلیس میکرونیزه یا گرد یا آرد سیلیس (*Silica flour*) راههای مختلفی وجود دارد. برای مثال بهترین راه، بکارگیری آزمایش خاصیت پوزولانی در استاندارد *ASTM C1240* و استاندارد ملی ۱۳۲۷۸ می باشد. چنانچه نتیجه نسبت مقاومت ۷ روزه تسریع شده در ملات حاوی میکروسیلیس جایگزین در ملات استاندارد و مقاومت ۷ روزه تسریع شده ملات استاندارد از ۱۰۵ درصد کمتر باشد، به احتمال قوی ماده مورد نظر، پودر سیلیس یا دوده سیلیسی نامرغوب و غیر استاندارد می باشد. استاندارد *EN13263* نیز راه حل مشابهی دارد اما نحوه آزمایش و معیار آن متفاوت است.
- هم چنین احتمالاً درصد مانده روی الک شماره ۳۲۵ یا ۴۵ میکرون می تواند نمایشگر این امر باشد اما ممکن است ریز کردن قابل توجه پودر سیلیس بتواند چنین شبهه ای را بوجود آورد.
- چنانچه آزمایش تعیین سطح ویژه به روش جذب نیتروژن (*BET*) طبق استاندارد مربوطه انجام گردد حتماً تفاوت این دو ماده یعنی میکروسیلیس و پودر سیلیس را به خوبی به نمایش می گذارد. آزمایش هایی هم چون تعیین  $SiO_2$  و ناخالصی های موجود نمی

تواند تفاوت دو ماده را مشخص کند. از جمله راهکارهای ساده برای تمیز و تشخیص میکروسیلیس از پودر سیلیس عبارتست از:

- تعیین وزن مخصوص انبوهی غیر متراکم، مشابه *ASTM C29* یا استاندارد ملی ۴۹۸۱ ایران

- تعیین چگالی ذرات، مشابه *ASTM C188* یا استانداردهای ملی ۷۱۴۸ و ۶-۱۸۸۰۷ ایران

- مشاهده شکل ذرات در زیر میکروسکپ

تعیین وزن مخصوص انبوهی غیر متراکم در یک پیمانہ ۱ لیتری می تواند راه حل خوبی برای این امر باشد. وزن مخصوص انبوهی غیر متراکم میکروسیلیس های تولیدی ایران معمولاً در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۳۵ تن بر متر مکعب یا کیلو گرم بر لیتر خواهد بود در حالی که وزن مخصوص انبوهی غیر متراکم پودر سیلیس میکرونیزه از حدود ۰/۵ تا ۰/۷ کیلوگرم بر لیتر بدست می آید. تعیین چگالی ذرات در پیکنومتر یا فلاسک لوشاتلیه نیز راه حل مناسبی است که در برخی کارگاهها امکان پذیراست در حالی که راهکار تعیین وزن مخصوص انبوهی غیر متراکم در همه آزمایشگاه های محلی در کارگاه قابل انجام می باشد. چگالی ذرات میکروسیلیس معمولاً حدود ۲/۲ تا ۲/۳۵ بدست خواهد آمد در حالی که برای پودر سیلیس این چگالی ذرات تقریباً ۲/۵۵ تا ۲/۶۵ خواهد بود. لازم به ذکر است که چنانچه از فلاسک لوشاتلیه استفاده شود مقدار ماده مصرفی در حدود ۴۵ تا ۵۰ گرم بکار می رود.

چنانچه از میکروسکوپ معمولی استفاده گردد، ذرات پودر سیلیس قابل مشاهده است و گوشه های تیزی دارد.

اغلب ذرات پودر سیلیس میکرونیزه معمولاً در محدوده ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر می باشد و قابل رویت در زیر میکروسکپ های معمولی با درشت نمایی ۴۰ تا ۱۰۰ برابر است. در حالی که اغلب ذرات میکروسیلیس معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۳ میکرومتر است و بطور واضح نمی توان ذرات آن را در زیر میکروسکپ های معمولی از یکدیگر تفکیک و تشخیص داد و شکل آن ناواضح خواهد بود، هر چند بصورت کاملاً کروی می باشند.

۳- واژه ژل میکروسیلیس در دنیا بجز ایران رایج نیست. در منابع معتبر امریکایی و اروپایی این ماده را با نام دوغاب دوده سیلیسی یا دوغاب میکروسیلیس می شناسند (*Microsilica Slurry or Silica Fume Slurry*) طبق تعریف *ACI 234R* و انجمن دوده سیلیسی امریکا، این ماده حاوی آب و دوده سیلیسی و یا آب و دوده سیلیسی و مواد فوق روان کننده و افزودنی های دیگر می باشد.

ساخت دوغاب دوده سیلیسی پایدار و فاقد ته نشینی در ایران در سالهای ابتدایی دهه ۸۰ هجری در دستور کار قرار گرفت و در نهایت تبدیل به دوغاب دوده سیلیسی حاوی ماده فوق روان کننده گردید و به دلیل روان نبودن آن، نام ژل میکروسیلیس را بر آن

نهادند. بنابراین چنانچه واژه *Microsilica gel* یا *Silica fume gel* مورد جستجو قرار گیرد، منابع آن اصالتاً ایرانی خواهد بود هر چند به زبان انگلیسی باشد.

در ابتدا این ژل میکروسیلیس حاوی ۴۵ تا ۵۰ درصد میکروسیلیس، ۵۰ تا ۴۰ درصد آب و ۵ تا ۱۰ درصد مایع فوق روان کننده بود که این مایع فوق روان کننده (در آن سالها از نوع پایه نفتالینی) نیز حاوی حدود ۶۰ درصد آب بود.

در سالهای اخیر (اواخر دهه ۸۰ تاکنون) ژل میکروسیلیس دیگری به بازار آمد که هرچند دارای ۴۵ تا ۵۵ درصد میکروسیلیس می باشد اما بقیه آن فوق روان کننده مایع می باشد. این فوق روان کننده که معمولاً پلی کربوکسیلاتی است، حاوی ۶۰ تا ۷۰ درصد آب است یعنی ژل مزبور حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد آب دارد و ماده اصلی فوق روان کننده آن به مراتب از ژل های قدیمی بیشتر و آب آن به مراتب کمتر است. بنابراین اغلب تولیدکنندگان و عرضه کنندگان مقدار مصرف آن را حدود ۱ تا ۲ درصد وزن سیمان اعلام می کنند و بنابراین مقدار مصرف میکروسیلیس در بتن بین ۰/۵ تا ۱ درصد خواهد شد در حالی که مقدار مصرف ژل های اولیه و قدیمی تر ۵ تا ۱۱ درصد وزن سیمان بود که مقدار میکروسیلیس بتن بین ۲/۵ تا ۵/۵ درصد وزن سیمان بود.

لازم به ذکر است که مقدار مصرف میکروسیلیس کمتر از ۵ درصد، برای ایجاد دوام یا بالابردن مقاومت عملاً بی فایده است و گاه حتی زیانبار می باشد. بنابراین مصرف ۰/۵ درصد یا حتی ۳ تا ۴ درصد میکروسیلیس بصورت جایگزین سیمان برای بتن سخت شده فایده چندانی در بر ندارد اما می تواند جدا شدگی و آب انداختن بتن تازه را کاهش دهد (البته مقادیر ۲/۵ تا ۵ درصد)

هنوز استاندارد برای ژل میکروسیلیس و دوغاب میکروسیلیس در ایران و دنیا وجود ندارد و تدوین آن کاری بس دشوار است مگر اینکه بصورت عملکردی، مشخصاتی برای آن ذکر شود. علت این امر آنست که باید امکان کنترل اجزاء آن (مقدار و کیفیت) فراهم باشد ضمن اینکه باید عملکرد مجموعه ژل یا دوغاب نیز مورد بررسی قرار گیرد و معیارهایی برای پذیرش آن و انطباق با استاندارد تعیین گردد.

۴- تفاوت خاصی بین میکروسیلیس و دوده سیلیسی یا دوده سیلیس وجود ندارد و صرفاً دو نام متفاوت برای یک ماده است. اروپائیان به تبع نروژی ها نام *Microsilica* را بکار می برند امریکائی ها واژه *Silica fume* را بر این ماده اطلاق نموده اند. در فارسی واژه اول به میکروسیلیس تبدیل شده در حالی که واژه دوم، دوده سیلیس یا دوده سیلیسی ترجمه شده است. شاید معادل *fume* کلمه دوده نباشد و غبار مناسب تر می بود اما برای اینکه ممکن بود با پودر یا گرد سیلیس اشتباه گرفته شود کلمه دوده انتخاب شده است.



۵- ضریب تاثیر  $K$  را ابتدا اروپایی ها در مباحث طرح مخلوط بتن از نقطه نظر مقاومتی مطرح کردند و سپس آن را به مباحث دوام نیز تسری دادند. در طرح مخلوط با روش انگلیسی  $BRE$  برای اینکه تاثیر مقاومتی پوزولان ها و سرباره ها مشخص شود و نسبت آب به سیمان معادل بتن حاوی این مواد در مقایسه با بتن حاوی صرفاً سیمان پرتلند بدست آید ارائه گردید. در  $EN206$  در محدودیت های عیار سیمان یا مواد سیمانی (بویژه حداقل سیمان) نیز از این پارامتر  $K$  استفاده شده است.

پژوهشگران مختلفی در این ارتباط فعالیت نموده اند. کمیته تخصصی ویژه ای در  $CEN$  بدین منظور تشکیل شده است و نشریه ای را منتشر نموده است که  $CEN16634$  نام دارد. هر چند در ابتدای این نشریه اشاره کرده است که اصولاً  $K$  برای دوام بکار می رود اما در ادامه اثری از این ادعا دیده نمی شود و تمام مباحث حول محاسبه  $K$  از نقطه نظر مقاومتی می چرخد.

در روش ملی طرح مخلوط، طرح مسئله  $K$  از نقطه نظر تعیین نسبت آب به سیمان معادل برای مقاومت بتن انجام شده است. بدین ترتیب نسبت آب به سیمان معادل

$$\left(\frac{W}{C}\right)_e = \frac{Wf}{C + KP} \quad \text{عبارتست از}$$

فرض کنید با یک سیمان پرتلند برای دستیابی به مقاومت  $f_c$  نیاز به نسبت آب به سیمان  $0.4$  داشته باشیم. اگر قرار باشد آب آزاد  $160$  کیلو بکار رود عیار سیمان بتن  $400$  کیلو در هر متر مکعب خواهد شد. چنانچه قرار باشد از میکروسیلیس استفاده شود و مقدار آب آزاد ثابت بماند

$$0.4 = \frac{160}{C + KP} \quad C + KP = 400 \quad \text{خواهیم داشت.}$$

بنابراین اگر قرار باشد مثلاً  $25$  کیلو میکروسیلیس مصرف شود و  $k$  مساوی  $2$  فرض گردد داریم:

$$C + 2 \times 25 = 400 \rightarrow C = 350 \quad \text{Kg}$$

بنابراین مجموع سیمان و میکروسیلیس برابر  $375$  کیلو و معادل آن  $400$  کیلو خواهد شد.

اما باید گفت که در  $EN206$  و روش ملی طرح مخلوط (چاپ اول و دوم) مقدار  $K$  برابر  $2$  داده شده است در چاپ بعدی روش ملی طرح مخلوط (که هنوز منتشر نشده است) مقدار  $K$  با توجه به تحقیقات درون کشور که با مصرف میکروسیلیس های ازنا و سیمان انجام شده است در حدود  $2$  تا  $4$  منظور شده است. بهر حال متوسط کیفیت میکروسیلیس های ایران در حد خوب و شاخص فعالیت پوزولانی آن زیاد است و حتی در پاره ای تحقیقات، وقتی مقادیر نسبت آب به سیمان، مقاومت بتن و عیار سیمان و میکروسیلیس ارائه می شود می توان استنتاج کرد که مقدار  $K$  در برخی موارد از  $4$  نیز بیشتر است اما سعی شد محدوده آن بین  $2$  تا  $4$  در نظر گرفته شود.

هر چند از میکروسیلیس برای بالا بردن دوام در تحقیقات و در کارهای واقعی استفاده شده است اما هنوز تحقیق مستقلی در مورد یافتن  $K$  از نقطه نظر دوام در کشور دیده

نمی شود و فقط یک یا دو تحقیق خاص برای یافتن  $K$  از نظر مقاومتی انجام گردیده است که مقدار آن را ۲ یا کمی بیشتر بدست داده است.

یافتن مقدار  $K$  از نظر دوام از این جهت دشوار است که پارامترهای دوام متعدد می باشد. مقدار  $K$  می تواند برای آزمایش یخ بندان و هم چنین پوسته شدگی مطرح شود. برای جذب آب نیم ساعته یا نهایی، عمق نفوذ آب،  $RCPT$ ،  $RCMT$ ، مقاومت الکتریکی سطحی (چهارنقطه ای ونر)، مقاومت الکتریکی حجمی، هدایت الکتریکی، مقاومت سایشی، مقاومت در برابر جمله سولفاتی و غیره می توان در طی آزمایش های خاص، مقدار  $K$  را برای میکروسیلیس بدست آورد.

مشکل بزرگ تعیین  $K$  برای مقاومت و دوام آنست که در نسبت های آب به سیمان مختلف، عیارهای مختلف سیمان، انواع مختلف سیمان و هم چنین کیفیت های متفاوت میکروسیلیس، مقادیر مختلفی برای  $K$  بدست می آید. بنابراین مقادیر حاصله در پژوهش های مختلف نمی تواند مشابه یا نزدیک به هم باشد.

۶- مصرف مقادیر کمتر از ۵ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان، عملاً تاثیر قابل ملاحظه ای بر ویژگی های بتن سخت شده مانند دوام و مقاومت ندارد و بسیاری از گزارش های موجود نشان می دهد که لازم است برای افزایش جدی مقاومت (۵ تا ۲۵ درصد) در سن ۲۸ روزه و یا بهبود نفوذ ناپذیری برابر آب، افزایش مقاومت سایشی و پایایی در برابر یخ بندان و آشدگی، کاهش نفوذپذیری و انتشار در برابر یون کلرید، مهار انبساط مخرب ناشی از واکنش سیلیسی قلیایی و حمله سولفاتی نیاز به حداقل مزبور وجود دارد. در تمام این موارد نیاز به مصرف فوق روان کننده قابل توجهی وجود دارد.

ممکن است در برخی پژوهش ها مقادیر کمتر، حتی به کاهش مقاومت و دوام نیز منجر شده باشد و یا افزایش جزئی نشان دهد اما در منابع مختلف و در جمع بندی تحقیقات معتقدند که مقدار کمتر از ۵ درصد بکار نرود. در ارتباط با ویژگی های بتن تازه، مصرف مقادیر کمتر از ۵ درصد نیز می تواند موثر باشد. کاهش استعداد جداشدگی و آب انداختن بتن با مصرف هر مقدار میکروسیلیس مشاهده می شود و حتی اعتقاد بر آنست که ممکن است پمپ پذیری بتن حاوی میکروسیلیس کمتر از ۵ درصد نیز بهبود یابد. مسلماً چنانچه بیش از ۵ درصد میکروسیلیس مصرف شود استعداد جداشدگی و آب انداختن به شدت کم می شود اما اسلامپ و پمپ پذیری بتن نیز به شدت کاهش می یابد.

محسن تدین