

پرسش و پاسخ - دوره آموزشی

"مشکلات اجرایی بتن در محیطهای خورنده خلیج فارس و دریای عمان"

بندرعباس ۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۸ (بخش سوم)

۳۹- بنظر شما کدامیک از پارامترهای بتن در نفوذ (درون رفت) و ضریب انتشار یون

کلرید از همه مهم تر است؟

عوامل زیادی در درون رفت و ضریب انتشار یون کلرید بتن موثرند. به اعتقاد بنده اولین و مهمترین عامل، نسبت آب به مواد سیمانی است و نوع سیمان و مواد سیمانی در درجه اهمیت دوم قرار دارد. درصد جایگزینی پوزولان یا سرباره، عیار مواد سیمانی (حجم خمیر)، شکل سنگدانه های درشت، حداکثر اندازه و بافت دانه بندی سنگدانه و غیره نیز در درجات اهمیت بعدی قرار دارند. ممکن است در برخی مراجع، در این موارد از نظر تقدم و تاخر، اختلاف نظر وجود داشته باشد که امری طبیعی است اما معمولاً عامل W/C از اهمیت قابل توجهی برخوردار می باشد، زیرا تعیین کننده حجم حفرات موئینه در خمیر سیمان بتن است. وجود پوزولان و سرباره به کاهش اندازه حفرات کمک می کند و استفاده از عیار مناسب و حجم خمیر بهینه، علاوه بر کنترل حجم حفرات موئینه موجود در بتن، می تواند پیچ و خم کافی بوجود آورد. درصد کافی از پوزولان یا سرباره می تواند چسب کافی و کاهش CH در خمیر سیمان را موجب گردد که به نفوذ ناپذیری کمک می کند. در مورد حداکثر اندازه بافت دانه بندی سنگدانه نیز قبلاً بحث شد. شکل تیز گوشه شن نیز می تواند در W/C ثابت به کاهش نفوذ کلرید کمک کند.

بهرحال عوامل دیگری نیز مانند بافت سطحی سنگدانه های بتن بویژه درشت دانه ها موثرند که شمارش همه آنها از حوصله خارج می باشد.

سوال ۴۰- در مورد شدت خوردگی میلگردها کدام عامل در بتن از همه مهمتر می باشد؟

در ارتباط با شدت خوردگی میلگردها چندین بار در پاسخ های قبلی اشاره شد که دسترسی به اکسیژن در رطوبت مهم ترین عامل است اما در مورد بتن و عوامل تاثیر گذار آن، مهم ترین موضوع، مقاومت الکتریکی آن می باشد. افزایش مقاومت الکتریکی بتن روی میلگرد، نقش قابل توجهی در کاهش شدت خوردگی دارد اما این افزایش در گرو عوامل مختلفی است علاوه بر نسبت آب به مواد سیمانی، استفاده از پوزولان یا سرباره به مقدار کافی برای بالابردن مقاومت الکتریکی بتن از اهمیت والاتی برخوردار است. در این میان، میکروسیلیس بیشترین تاثیر را با کمترین مقدار مصرف دارا می باشد. موارد دیگر مانند عیار مواد سیمانی و به عبارتی مصرف سنگدانه

بیشتر نیز اثرگذار است. یونهای موجود در بتن و برخی عوامل فرعی دیگر نیز می توانند بر مقاومت الکتریکی تاثیر داشته باشد که از اهمیت کمتری برخوردار است.

سوال ۴۱- دمای بتن سخت شده چه تاثیری بر ضریب انتشار یون کلرید بتن دارد؟ دمای بتن سخت شده در منطقه خلیج فارس و دریای عمان درمقایسه با سایر مناطق خورنده دنیا چگونه است؟

قبلاً گفته شده بود که بالا رفتن دمای بتن، تحرک یونی را بیشتر می کند و بنابراین، ضریب انتشار یون کلرید بتن افزایش می یابد. در یک تحقیق گفته شده است که افزایش دمای بتن از ۱۵ به ۳۰ درجه سانتی گراد موجب ۵۰ درصد افزایش ضریب انتشار یون کلرید می شود و افزایش دما از ۲۰ به ۵۰ درجه سانتی گراد، ۱۵۰ درصد افزایش ضریب انتشار را نشان می دهد.

در یک پژوهش دیگر نشان داده شده که آهنگ درون رفت یون کلرید در محیط خلیج فارس بطور متوسط ۸ برابر آهنگ درون رفت یون کلرید در محیط دریای شمال (بین بریتانیا و نروژ) می باشد. بنظر می رسد ۸ برابر شدن آن صرفاً در اثر دمای بتن نباشد اما نقش دما در این رابطه بسیار پررنگ است. دمای متوسط خلیج فارس در روزهای گرم سال حدود ۴۰ درجه سانتی گراد است. در برخی از نقاط خلیج فارس حداکثر دمای محیط حتی به بیش از ۵۰ درجه نیز می رسد. با توجه به تابش شدید آفتاب در این منطقه دمای سطح بتن به ۶۵ تا ۷۵ درجه سانتی گراد نیز می رسد. بهر حال دمای دریای شمال در تابستان به مراتب کمتر از خلیج فارس است و احتمالاً تابش آفتاب آن به مراتب ضعیف تر و در نتیجه افزایش دمای آن نیز آنقدر جدی نیست. بنظر می رسد دمای متوسط هوا در خلیج فارس در حدود ۲۰ درجه سانتی گراد بیشتر از دریای شمال و دمای متوسط بتن در منطقه خلیج فارس احتمالاً ۲۵ تا ۳۰ درجه بیشتر از دمای متوسط آن در دریای شمال باشد. بدین ترتیب روشن شد که چرا سرعت نفوذ (درون رفت) یون کلرید در خلیج فارس از همه نقاط دنیا بیشتر است و آهنگ خوردگی نیز در پی آن جدی می باشد.

سوال ۴۲- آهنگ خوردگی میلگردها در شرایط قرارگیری و رطوبتی مختلف (کاملاً اشباع، نیمه اشباع و مرطوب و ترو خشک شدن و پاشش) چگونه است؟

در مناطق خورنده کلریدی، آهنگ خوردگی (نه نفوذ یون کلرید) معمولاً به ترتیب شدت به قرار زیر است که البته با توضیحاتی ممکن است این ترتیب کمی بهم بخورد.

الف) منطقه جزرو مدی مدی که در آن منطقه آب دریا در طول شبانه روز به پائین ترین و بالاترین تراز می رسد که معمولاً در حالت اشباع یا نزدیک به اشباع است.

ب): منطقه پاشش آب دریای شور که بالاتر از مد کامل دریاست و امواج پس از برخورد به ساحل یا دیواره ساحلی یا اسکله و سایر سازه های ساحلی، پرتاب می شود و بخش خشک بتن را مرطوب و در سطح به حدود اشباع می رساند.

پ) منطقه قرارگیری در هوا (آتمسفر) در بالای سطح آب یا در نزدیکی ساحل که حالت مرطوب اما غیر اشباع دارد. رطوبت به همراه یون کلرید معلق در هوا وارد بتن می شود و اکسیژن کافی نیز وجود دارد.

ت : منطقه بسیار نزدیک به سطح زمین در سازه هایی که بر سطح زمین قرار دارند یا بخشی از آنها در زمین قرار دارد و نم موئینه را به سمت بالا هدایت می کنند و بتن در حالت نزدیک به اشباع است و اکسیژن کافی نیز در دسترس است.

ث (منطقه مدفون در خاک مرطوب غیر اشباع ساحل دریای شور که در آن اکسیژن نسبتاً کم و درون رفت یون کلرید نسبتاً زیاد است.

ج : منطقه مغروق در آب دریا که به هیچوجه خارج نمی شود و در آن اکسیژن کم و یون کلرید زیادی وجود دارد.

چ : منطقه مدفون در خاک اشباع (آب زیر زمینی) ساحلی که در آن اکسیژن بسیار کم وجود دارد اما یون کلرید زیاد است.

ح : مناطقی به شدت دور از ساحل یا پوشیده و یا درون ساختمان نازک کاری شده دارای کولر گازی که عملاً از رطوبت و یون کلرید کمتری در هوا برخوردارند و یا رطوبت و یون کلرید براحتی وارد بتن نمی شوند. در برخی پژوهش ها بویژه در حاشیه خلیج فارس، مشاهده شده است که در مواردی، آهنگ خوردگی منطقه پاشش بیش از منطقه جزر و مدی بوده است یا حالت موجود در بند (ت) از حالت (پ) وضعیت بحرانی تری را نشان می دهد (بویژه در مناطق کم بارش حاشیه ساحلی جنوب ایران)

بنابراین سعی شد در آئین نامه جدید بتن ایران به این شرایط قرارگیری توجه شود و در مجموع چهار حالت قرارگیری در مناطق خورنده کلرید آب شور دریا و چهار حالت قرارگیری در مناطق کلریدی غیر آب شور دریا تعریف گردد و الزامات تجویزی یا عملکردی بتن و ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد و غیره ارائه شود. مجدداً تذکر داده می شود که در این ترتیب، نفوذپذیری کلرید مطرح نبوده است و خوردگی ملاک می باشد.

سوال ۴۳- بنظر شما آیا در بتن هایی که در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان ساخته

می شود، نسبت های آب به سیمان تجویز شده رعایت شده یا می شود؟

همانگونه در پاسخ های قبلی اشاره شد، نسبت آب به سیمان مهم ترین عامل در نفوذ یون کلرید و بحث خوردگی در بتن ها می باشد. در همه دستورالعملها یا آئین نامه های مرتبط با خوردگی کلریدی میلگردهای بتن، یک الزام مهم، رعایت حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان می باشد. از آنجا که در کارگاهها و کارخانه های بتن در ایران و هم چنین در مناطق خورنده کشور کنترل مستقیم بر روی نسبت آب به سیمان اعمال نمی شود و صرفاً "روانی (اسلامپ) بتن (آنهم بطور ناقص) کنترل می گردد که به نوعی کنترل غیر مستقیم نسبت آب به سیمان محسوب می شود، عملاً در بیشتر موارد نسبت آب به سیمان (مواد سیمانی) رعایت نمی گردد.

گاه در کارگاهها و حتی کارخانه های بتن آماده تعریف نسبت آب به سیمان، شناخته شده نیست و متأسفانه مقدار آبی که اپراتور بچینگ به هر متر مکعب بتن اضافه می کند بر مقدار سیمان هر متر مکعب بتن تقسیم می کنند تا نسبت آب به سیمان بدست آید! به عبارتی بین آب آزاد (موثر) و آب مصرفی برای ساخت بتن تفاوتی قائل نیستند. گاه برداشت های غلط دیگری نیز وجود دارد. در اکثر موارد، این بتن ها بدون افزودنی های روان کننده ساخته می شوند. بویژه در هنگامی که نسبت آب به مواد سیمانی کمتر از ۰/۴۵ می باشد روان کننده های معمولی نیز کم اثر خواهند

بود. در بسیاری پروژه ها گفته می شود که نسبت آب به سیمان برابر $0/4$ دارند اما اثری از مصرف فوق روان کننده در آن دیده نمی شود که مسلماً گفته یا خیالی بی اساس است. تجربه نشان می دهد که در بسیاری از اوقات نسبت آب به سیمان واقعی $0/5$ تا $0/1$ بیشتر از نسبت آب به سیمان روی کاغذ یا گفته مسئولین پروژه است. بدین ترتیب باید گفت در بیشتر موارد این نسبت های تجویز شده رعایت نمی شود. گاه در ساخت بتن، این نسبت رعایت شده است اما به دلیل کافی نبودن روانی بتن و مناسب نبودن آن برای ریختن یا پمپ کردن یا برای تراکم، در پای کار به آن آب اضافه می شود و این نسبت به شدت در جهت افزایش بهم می خورد. بهرحال معمولاً عدم رعایت در جهت افزایشی است نه کاهشی، بنابراین خوردگی میلگردها در زمانی کمتر از انتظار رخ می دهد و موجب تعجب دست اندرکاران می گردد.

سوال ۴۴- افزایش حجم خمیر سیمان (با W/C ثابت) با افزایش سیمان و آب معمولاً چه تاثیری بر ضریب انتشار بتن، شروع خوردگی و آهنگ خوردگی میلگرد دارد؟ مقدار بهینه عیار سیمان در چه حدودی است و به چه عواملی بستگی دارد؟

در برخی پاسخ ها به اجمال در این باره صحبت به میان آمد. پاسخ به این پرسش، بسیار مشکل است هر چند پرسش مزبور نیز دارای پیچیدگی های زیادی است. جواب این سوال باید در سه بخش ضریب انتشار، شروع خوردگی و نهایتاً شدت خوردگی مورد بحث قرار گیرد.

در همه موارد در جذب آب، نفوذ آب، عمق نفوذ آب، ضریب انتشار و مهاجرت باید توجه داشت که وقتی عیار سیمان یک بتن با نسبت آب به سیمان ثابت از حد معینی کمتر یا بیشتر می شود، این پارامترها افزایش می یابند. به عبارتی یک مقدار بهینه در این رابطه وجود دارد که تعیین دقیق آن بسیار مشکل است و به عوامل متعددی ارتباط دارد.

در بحث مناطق خورنده کلریدی که نیاز به نسبت آب به سیمان کم و معمولاً عیار سیمان نسبتاً زیاد وجود دارد، بالا بردن بی محابای مقدار سیمان یا مواد سیمانی توصیه نمی شود چون حجم خمیر را زیاد و حجم سنگدانه را (در یک نسبت آب به سیمان ثابت) کم می کند. بنابراین حجم حفرات موئینه در کل بتن افزایش می یابد ضمن اینکه درصد حجم حفرات موئینه خمیر سیمان مورد نظر ثابت است، زیرا نسبت آب به سیمان یا مواد سیمانی ثابت منظور شده بود. هر چند ممکن است گفته شود که نسبت حجم ناحیه انتقال به کل حجم نیز کاهش می یابد ولی در مجموع با مشکل حجم حفرات موئینه روبرو خواهیم شد و پیچ در پیچی مسیر یون کلرید نیز کمتر می شود. در این حالت مقدار C_3A در مجموعه بتن بیشتر و قید شیمیایی کلرید نیز از طرفی بیشتر می شود ضمن اینکه قید فیزیکی آن نیز افزایش می یابد.

بنابراین سعی شده است در آئین نامه بتن ایران یک حداقل و یک حداکثر برای عیار مواد سیمانی در نظر گرفته شود. یعنی کمبود مواد سیمانی دارای مشکلاتی است و زیادی آن نیز مشکلاتی را در بر دارد. زیادی مواد سیمانی به جمع شدگی بیشتر و افزایش احتمال ترک خوردگی می تواند بیانجامد، ضمن اینکه ممکنست باعث تنش های حرارتی و ترک خوردگی ناشی از آن نیز شود.

در پژوهش هایی دریافتیم که برای حداکثر سنگدانه ۲۰ میلی متری، صرفاً از نظر جذب آب و موارد مشابه مانند جذب موئینه، نقطه بهینه بین عیار ۳۰۰ تا ۳۵۰۰ کیلو سیمان در هر متر مکعب می باشد. مسلماً دانه بندی، درصد شکستگی سنگدانه ها، بافت سطحی سنگدانه ها و برخی عوامل دیگر در این عیار بهینه دخیل هستند و چنانچه حداکثر اندازه سنگدانه کمتر یا بیشتر شود این مقدار بهینه به ترتیب بیشتر یا کمتر خواهد شد. هم چنین از نظر ضریب انتشار نیز، حدود بهینه عیار سیمان ۳۵۰ کیلو بود.

در بحث شروع خوردگی، علاوه بر ضریب انتشار و جذب و غیره، غلظت بحرانی کلرید که متاثر از pH بتن است دخیل خواهد بود. مسلماً در این مورد بیشتر بودن عیار سیمان تاثیر مثبت دارد و غلظت بحرانی را بیشتر می کند و شروع خوردگی را به تعویق می اندازد و قضیه از پیچیدگی برخوردار می شود و نیاز مجدد به ذکر حداقل عیار سیمان و از طرفی حداکثر عیار سیمان موضوعیت پیدا می کند. در بحث شدت خوردگی پس از شروع آن، که مقاومت الکتریکی نقش مهمی را ایفا می کند کمتر بودن خمیر (عیار سیمان) بسیار مهم است و موجب افزایش مقاومت الکتریکی می شود زیرا خمیر سیمان از مقاومت الکتریکی بسیار کمتری نسبت به سنگدانه ها برخوردار است. در اینجا نقش حداقل مجاز عیار سیمان مهم است زیرا نباید به موارد دیگر لطمه بزند. در آبا بسته به شرایط قرار گیری در محیط خورنده کلریدی، حداقل عیار مواد سیمانی از ۳۲۵ تا ۳۷۵ کیلو گرم درمتر مکعب و حداکثر آن ۴۲۵ کیلو (همگی برای حداکثر اندازه ۲۰ میلی متر) داده شده که به تمام این نکات توجه شده است. بهر حال باید توجه نمود که اغلب اوقات سیمان مصرفی در طرح مخلوط بتن ها در این مناطق به مراتب بیش از حداقل مجاز بدست می آید و گاه تعیین کننده عیار سیمان، حداکثر مجاز آن خواهد بود.

سوال ۴۵- بهتر است حداکثر اندازه اسمی سنگدانه به چه مقداری محدود شود؟ چرا؟ آیا فقط در مناطق خورنده رعایت این امر لازم است؟

در مناطق خورنده کلریدی بهتر است، حداکثر اندازه سنگدانه به ۲۰ میلی متر محدود شود و بزرگتر نباشد. پژوهش ها نشان می دهد که در نسب آب به سیمان ثابت، چنانچه حداکثر اندازه سنگدانه بزرگتر شود، نفوذپذیری بتن بیشتر می شود. زیرا قبلاً گفته شد ناحیه ITZ بزرگتر می شود. مسلماً هر چقدر حداکثر اندازه سنگدانه، کوچکتر شود (W/C ثابت) مصرف سیمان بتن بیشتر خواهد بود و هزینه ساخت بتن بیشتر می شود. بنابراین با عنایت به محدودیت های فنی و اقتصادی، بهتر است حداکثر اندازه سنگدانه در حدود ۲۰ میلی متر باشد. بهر حال باید دانست، عامل حداکثر اندازه و تاثیر آن بر نفوذپذیری در برابر یون کلرید، یک عامل درجه ۳ محسوب می شود. عوامل دیگری نیز در این انتخاب دخیل است.

موضوع جداسازی و آب انداختن بتن از جمله مواردی است که از نظر اجرایی مهم می باشد. بنابراین محدود کردن حداکثر اندازه سنگدانه به ۲۰ میلی متر از این نظر نیز توصیه می شود. بنابراین برای داشتن همگنی در ریختن بتن، در سایر مناطق نیز بهتر است امروزه همین حداکثر اندازه را بکاربریم به شرطی که محدودیت های هندسی قطعه، حداکثر اندازه کوچکتری را به ما

تحمیل نکند. بدیهی است برای قطعات غیرمسلح و حجیم و کم عیار، حداکثر اندازه بزرگتر توجیه دارد. پمپ پذیری بتن نیز با کاهش حداکثر اندازه، بهبود می یابد که امروزه اهمیت زیادی دارد.

سوال ۴۶- چرا گفته می شود که بافت دانه بندی ریزتر معمولاً به کاهش نفوذپذیری آب و یون کلرید منجر می شود (در W/C ثابت)

در پاسخ قبلی و در یکی دو تا از پاسخ های گذشته نیز گفته شد که هر چه سنگدانه ها کوچکتر باشد ضخامت ناحیه انتقالی (ITZ) کمتر می شود بنابراین بافت دانه بندی ریز بتن، ضخامت متوسط ناحیه انتقال را کمتر می کند و نفوذپذیری در برابر یون کلرید و آب کمتر می شود (در نسبت آب به سیمان ثابت). این امر از نقطه نظر اجرایی نیز اهمیت دارد و مخصوص مناطق خورنده کلریدی نیست زیرا باعث می شود احتمال و استعداد جداشدگی و آب انداختن بتن کمتر شود. معمولاً "با ریزتر شدن بافت دانه بندی و بویژه افزایش ذرات ریزتر از 600 میکرون، قابلیت پمپ شدن بتن ها بهبود می یابد و لذا توصیه می شود از بافت ریزتری استفاده گردد. این موضوع یعنی ریزتر کردن بافت دانه بندی مخلوط سنگدانه های بتن معمولاً "نیاز به آب و سیمان را افزایش می دهد اما مزایایی را که گفتیم در بردارد و امروزه توصیه می شود. برخی در ایران بویژه در مناطقی که ماسه گرانتر از شن است ترجیح می دهند از بافت درشت تر استفاده کنند که از نظر فنی توجیه پذیر نیست و ممکن است به عدم همگنی بتن و مشکلات پمپ کردن بیانجامد. گاه تصور می شود که هر چه بافت دانه بندی درشت تری داشته باشیم بتن بهتری داریم که ابتدا "صحت ندارد، هر چند ممکن است کمی ارزانتر باشد.

سوال ۴۷- یک طرح مخلوط مناسب برای مناطق خورنده دارای چه مشخصاتی است؟

از تمام آنچه تاکنون گفته ایم می توان تصویری از یک طرح مخلوط مناسب را استخراج نمود. بهر حال ضوابط و الزامات تجویزی و عملکردی آئین نامه ها نیز حداقل ها یا حداکثرها را بدست می دهد. بدیهی است در ابتدای کار باید از خود پرسش هایی را مطرح کنیم مانند اینکه بتن در چه منطقه و در چه شرایط قرارگیری واقع است؟ هم چنین چه عمر مفیدی را خواستاریم؟ قطعات بتنی دارای چه ابعاد و دارای چه آرماتوربندی و فواصلی هستند؟ آنچه در آئین نامه جدید آبا آمده است به قرار ذیل می باشد:

الف: سیمان پرتلند مناسبی با C3A در محدوده ۶ تا ۱۵ درصد انتخاب شود، یا از سیمانهای آمیخته با درصد مناسب پوزولان و سرباره استفاده گردد. هم چنین با توجه شرایط قرارگیری، اختیاری بودن و یا اجباری بودن مصرف پوزولان و سرباره باید مشخص گردد.

ب: با توجه به بودن در منطقه خورنده جنوب کشور و شرایط قرارگیری آن، حداکثر $\frac{W}{C}$ ، حداقل عیار سیمان، حداکثر مواد سیمانی و حداقل رده مقاومتی قید گردد. بدیهی است این امر به معنای تعیین مقدار $\frac{W}{C}$ ، و عیار سیمان نیست و در صورتی که رده مقاومت سازه ای بیشتر از حداقل رده دوامی مقاومت است باید از مقاومت بیشتر استفاده کرد.

پ: چنانچه عمر مفیدی بیش از ۳۰ سال بخواهیم باید نسبت آب به سیمان را کمتر کرد و رده مقاومتی را بالاتر برد.

ت: توجه به الزامات عملکردی حداقلی مانند حداکثر جذب آب، حداکثر عمق نفوذ آب، حداکثر $RCPT$ ، حداکثر $RCMT$ ، حداقل مقاومت الکتریکی یا حداکثر هدایت الکتریکی و ارائه طرحی که این موارد را برای شرایط قرارگیری برآورده کند.

ث: برآورده کردن نیازهای اجرایی، مانند روانی، قابلیت پمپ شدن، همگنی و آب نینداختن زیاد و غیره

سوال ۴۸- آیا داشتن یک طرح مخلوط دقیق و مطلوب برای مناطق خورنده کافی

است؟ آیا در اجرا می تواند مشکلاتی بوجود آید؟

مسئله "داشتن یک طرح مخلوط، مطابق پاسخ قبلی برای مناطق خورنده یا هر منطقه دیگر، لازم است اما به هیچوجه کافی نیست. برای مراحل بعدی در اجرا نیاز به رعایت موارد دیگری است ریختن بتن بدون جداسدگی، تراکم کافی، عمل آوری کافی و مناسب، رعایت ضخامت پوشش بتنی لازم، توجه به آماده سازی قالب، توجه به کیفیت میلگردها و حذف پوشش ها و آلودگی سطحی نامناسب میلگردها از جمله اقدامات دیگری است که باید بدان توجه کرد تا قطعه بتنی مناسب و بادوام حاصل گردد.

سوال ۴۹- سنگدانه درشت شکسته یا نیمه شکسته برای استفاده در مناطق خورنده

کلریدی مناسب چیست؟ آیا این مطلب برای مناطق دیگر نیز صحیح است یا خیر؟

سنگدانه درشت شکسته یا نیمه شکسته در مقایسه با سنگدانه درشت گردگوشه به ازای نسبت آب به سیمان ثابت، نفوذپذیری را در برابر آب و یون کلرید کاهش می دهد بنابراین از این نقطه نظر برای مناطق خورنده کلریدی مناسب است اما اندکی از روانی بتن در این شرایط می کاهد.

در صورتی که در مناطق معمولی بخواهیم به مقاومت ثابتی دست یابیم سنگدانه درشت شکسته باعث کاهش مصرف سیمان می شود و اگر مصرف سیمان و $\frac{W}{C}$ ثابت باشد مقاومت بدست آمده بیشتر می شود اما روانی بتن کمتر خواهد شد. بطور کلی در سایر مناطق نیز اغلب استفاده از سنگدانه شکسته یا نیمه شکسته توصیه می شود.

سوال ۵۰- چرا برخلاف سنگدانه درشت، گردگوشه بودن سنگدانه ریز را مطلوب تر

دانستید؟ چه تفاوتی وجود دارد؟ آیا در همه مناطق اینطور است؟

سنگدانه ریز(ماسه) شکسته در نسبت آب به سیمان ثابت، نیاز به آب را افزایش می دهد و بنابراین مقدار سیمان را بیشتری کند بدون اینکه روانی را تغییر دهد. مقاومت نیز در این حالت تقریباً بدون تغییر می ماند. اثر آن بر نفوذپذیری بتن نیز محدود است. بنابراین هزینه ها را افزایش می دهد بدون اینکه بر کیفیت بتن تاثیر گذارد. کارایی و پمپ پذیری بتن علیرغم ثابت بودن روانی، بهبود خاصی را نشان نمی دهد. در تمام مناطق این شرایط وجود دارد و تفاوت خاصی نسبت به مناطق خورنده دیده نمی شود.

همواره بنظر می رسد شن شکسته به همراه ماسه گردگوشه وضعیت مطلوب تری را ایجاد می کند و سیمان کمتر یا افزودنی روان کننده کمتری استفاده می شود.

سوال ۵۱- آیا وجود ریزدانه های بیشتر در ماسه و کم شدن SE آن را نامناسب نمی کند؟ در مناطق خورنده کلریدی تکلیف چیست؟

وجود ریزدانه های بیشتر بویژه در ماسه های شکسته، هر چند SE (ارزش ماسه) را کمتر می کند اما آن را مطلوبتر می کند و ابدا "نامناسب نمی باشد. این ریزدانه ها به بهبود کارایی و پمپ پذیری کمک می کند و نفوذپذیری در برابر آب و یون کلرید را کمتر می کند. بنابراین در بتن های مناطق خورنده کلریدی نیز مصرف این نوع ماسه ها بهتر است، هر چند ممکن است روانی بتن را اندکی کاهش دهد (با $\frac{W}{C}$ ثابت)

سوال ۵۲- آیا مواد رسی در سنگدانه ها آب بندی نمی آورند؟ چرا گفته می شود که این مواد، زیان آور هستند؟ آیا با تعیین درصد گذشته از الک شماره ۲۰۰، مقدار آنها بدست نمی آید؟ راهکار مشخص کردن آنها چیست؟

مواد رسی سنگدانه ها در شرایط اشباع، آب بندی می آورد اما علیرغم این امر، در تری و خشکی به ترک خوردگی منجر می شود. مقاومت بتن نیز معمولاً کاهش می یابد. در مجموع برای دوام بتن، این مواد مناسب نیستند بویژه اگر بر سطح درشت دانه ها چسبیده باشند. با تعیین درصد گذشته از الک 75 میکرون (شماره ۲۰۰) مقدار این مواد بدست نمی آید، زیرا این رس ها از 5 میکرون کوچکترند و اغلب آنها از 2 میکرون ریزترند. امروزه سعی می شود وجود آنها به کمک روش های دیگری مانند پتروگرافی، هیدرومتری، آزمایش متیلن بلو و یا تعیین مشخصه خمیری روشن گردد، هر چند روشهای مشکل تر مانند پرتوایکس نیز می تواند بکار رود. برای این منظور می توان به $ASTM C 33$ و استاندارد ۳۰۲ ایران مراجعه نمود

سوال ۵۳ - آیا در مناطق مرطوب و خورنده نیز باید در مورد واکنش زائی سنگدانه ها با قلیایی ها بررسی انجام داد؟

در مناطق مرطوب قطعا "نیاز به بررسی بیشتر در مورد سنگدانه های واکنش زا و کنترل انبساط ناشی از این نوع سنگدانه ها می باشد. در مناطق خورنده، این واکنش زایی متوقف نمی شود. در این شرایط که رطوبت نیز وجود دارد مشکل بقوت خود باقی است و نیاز به بررسی بیشتر وجود دارد.

سوال ۵۴ - پولکی و سوزنی بودن سنگدانه ها در مناطق خورنده کلریدی چه مشکلی را بوجود می آورد؟

پولکی و سوزنی بودن درشت دانه ها و ریزدانه ها در نسبت آب به سیمان ثابت به شدت به روانی و کارایی بتن صدمه می رساند. در روانی ثابت، نیاز به آب را بالا می برد و نسبت آب به سیمان را افزایش می دهد. اگر قرار باشد $\frac{W}{C}$ افزایش نیابد باید بر مصرف سیمان افزود. در $\frac{W}{C}$ ثابت وجود ذرات پولکی و سوزنی در سنگدانه های درشت، بر مقاومت بتن اثر منفی می گذارد. همچنین بر

نفوذپذیری بتن در برابر آب و کلرید اثر منفی دارد. بنابراین در همه مناطق منجمله مناطق خورنده کلریدی لازم است از مصرف این سنگدانه ها پرهیز شود.

سوال ۵۵ - برای مناطق خورنده کلریدی، بافت سطحی سنگدانه صاف بهتر است یا بافت زبر؟

بافت سطحی سنگدانه ها می تواند بر نفوذپذیری بتن در برابر آب و کلرید اثر بگذارد. صاف بودن بافت سطحی این نفوذ را بیشتر می کند. بهر حال در یک منطقه، با توجه به نوع سنگدانه های موجود، حق انتخاب چندانی وجود ندارد اما بهتر است از بافت سطحی زبر استفاده گردد.

سوال ۵۶ - در ارتباط با مواد شیمیایی موجود در سنگدانه ها در مناطق خورنده جنوب کشور، چه نکاتی باید رعایت شود و موضوع مهمتر کدامست؟

مهمترین موردی که باید به آن توجه شود وجود یون کلرید در سنگدانه های مصرفی در این منطقه است. قبلاً گفته شد که هر چه در این مورد دقت شود و یون کلرید اولیه کم باشد عمر قطعه یا سازه بتنی در شرایط خورنده بیشتر می شود، زیرا فاصله یون کلرید اولیه از غلظت بحرانی بیشتر خواهد بود. بهر حال رعایت سایر موارد مانند یون سولفات در سنگدانه نیز ضروری است.

سوال ۵۷ - چرا در منابع و مراجع ایرانی (مبحث نهم مقررات ملی و آئین نامه پیشنهادی پایایی)، انجام آزمایش سلامت سنگدانه به کمک سولفات سدیم یا منیزیم در مناطق خورنده پیش بینی شده است؟ مگر این آزمایش برای یخ بندان نیست؟ در جنوب که عملاً یخ بندان نداریم؟

آزمایش سلامت سنگدانه به کمک سولفات سدیم یا منیزیم عمدتاً "برای زمانی که یخ بندان وجود دارد بکار می رود. برای مناطق خورنده به دلیل خاصی در جنوب کشور، الزاماتی در این مورد و معیار خاصی برای این مناطق ارائه شده است. در ارتباط با مواردی مانند پاشش در مناطق گرم و در زیر تابش آفتاب، به دلیل ایجاد افزایش حجم ناشی از تبلور برخی نمکهای آب دریا، مشکلاتی در مورد تخریب بتن متصور است. در مواردی نیز که نم موئینه از خاکهای ساحلی به بتن نفوذ می کند، در بالای سطح زمین در سطح بتن تبخیر می گردد و بلورهای دارای افزایش حجم بوجود می آورد، چنین تخریب هایی انتظار می رود. هرچند این موارد عمدتاً "به خمیر سیمان آسیب می زند اما سنگدانه نیز در معرض تخریب قرار می گیرد. بنابراین چنین ضوابطی منظور شده است، اما واقعاً "در همه شرایط قرارگیری موضوعیت ندارد. بنابراین با توجه به واقعیت این آزمایش باید گفت که کاربرد آن صرفاً "در یخ بندان نیست، در سازوکار آزمایش نیز یخ بندان وجود ندارد. لازم به ذکر است که غلظت املاحی با افزایش حجم ناشی از تبلور، در آب دریا چندان زیاد نیست و معیارهای ارائه شده بسیار محافظه کارانه است.

سوال ۵۸ - تعیین محدودیت سخت گیرانه تر برای آزمایش لوس آنجلس برای سنگدانه ها در مناطق ساحلی به چه منظور است؟

اصولاً در برخی سازه ها که می تواند در معرض سایش یا ضربات خاص قرار گیرد، وضع ضابطه و معیار سخت گیرانه تر نتیجه آزمایش لوس آنجلس، امری طبیعی است. در کف سازی ها و پیاده روها یا رویه های راه، نمی توان از ضابطه مربوط به ساختمانها استفاده نمود. در عرشه پلها، پایه پلها در رودخانه ها، دیواره های ساحلی، پایه بتنی اسکله ها و پارکینگ ها ضابطه ۴۰ درصد یا ۳۵ درصد یا کمتر می تواند بجای ضابطه 50 درصد منطقی تر به حساب آید. امواج دریا بویژه وقتی همراه با ذرات ریز ساینده باشد می تواند در برخورد به بتن دیواره ها و پایه ها، به آب صدمه رساند و در پایه پلهای در رودخانه ها که قطعاً "ذرات ریز و درشت را به همراه دارد استفاده از این ضوابط سخت گیرانه تر توصیه می شود.

سوال ۵۹ - آیا با دور شدن از ساحل به مقدار ۱۵ تا ۱۰ کیلومتر خطر خوردگی میلگردها منتفی می شود؟ آیا شرایط قرارگیری صرفاً تابع فاصله از دریاست؟

یکی از معضلات مشاورین و کارفرمایان، تشخیص قرار داشتن در مناطق خورنده کلریدی است. نوشته های مختلف بویژه نوشته های اروپایی در این مورد گاه از فاصله از دریا بعنوان عامل حذف این شرایط نام برده اند و اعدادی از 5 تا 15 کیلومتر را قید نموده اند. بطور کلی باید گفت که نمی توان از پارامتر فاصله از دریا بصورت ساده نگرانه در این رابطه استفاده کرد. گاه در فاصله ای نزدیک تا دریا، بتن در یک ساختمان مسکونی بعلت استفاده دائمی از کولر گازی، از رطوبت کمتر و یون کلرید کمتری برخوردار می شود. گاه در یک سازه نزدیک ساحل، پوشش مناسب می تواند خطر نفوذ یون کلرید را کم کند. در جنوب کشور، گاه دیده می شود که نمک های مشابه دریا در خاک وجود دارد و با خشک شدن و پراکنده شدن آن در هوا، در مسافت های دور نیز یون کلرید وجود دارد. از طرفی گاه در فاصله های خیلی دور از دریا، که خاک حاوی کلرید است و در شالوده یا در بالای سطح خاک بدلیل وجود نم موئینه، بتن ستون یا دیوار دچار مشکل می شود. تیرهای برق بتنی از جمله این موارد است.

بطور مثال در آبادان و خرمشهر با آب شور در کارون و اروندر رود روبرو نیستیم اما در خاکهای این منطقه کلرید وجود دارد و آسیب زننده است، در حالی که با نزدیکترین ساحل خلیج فارس بیش از پنجاه کیلومتر فاصله وجود دارد. در منطقه ساحلی در استان خوزستان، بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان، مناطقی با فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از دریا وجود دارد که تحت تاثیر یون کلرید دریا واقع می باشد در حالی که گاه در مناطقی با فاصله کمتر از دریا، مشکلی برای بتن مسلح از نظر خوردگی میلگردها دیده نمی شود. وجود ارتفاعات یا موانع دیگر، گاه از دور رفتن یون کلرید جلوگیری می کند. وجود بادهای شدید می تواند یون کلرید را دور بُردتر کند. بهر حال باید به تجربیات و مستندات قبلی نیز مراجعه کرد. بنابراین صرفاً "نمی توان فاصله از دریا را ملاک قرار داد.

سوال ۶۰ - اکثر سقف های ساختمان هایی که ساخته می شود بصورت تیرچه بلوک است بنظر شما چه نکاتی در اجرای این نوع سقف باید رعایت شود؟

سقف های تیرچه بلوک موجود به هیچوجه ضوابط و الزامات آئین نامه بتن و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان را برآورده نمی کند. عدم تامین ضخامت کافی پوشش بتنی روی میلگردهای تحتانی تیرچه ها و هم چنین عدم تامین کیفیت بتن در پاشنه این تیرچه ها دو موضوع مهم در این رابطه است. مشکل اول یعنی عدم تامین ضخامت کافی پوشش بتنی براحتی قابل رفع نیست، زیرا حداقل 35 یا 40 میلی متر ضخامت، با اغماض از شدید بودن شرایط قرارگیری، لازم است و برای برآورده کردن آن نیاز به حداقل 70 میلی متر ضخامت و حداقل 140 تا 160 میلی متر عرض در پاشنه تیرچه وجود دارد که امری ناشدنی بنظر می رسد. مشکل دوم یعنی تامین حداقل رده و مقاومت را می توان با کمی حوصله و دقت برآورده کرد. شاید بهتر باشد از نوعی سقف دیگر با رعایت ضوابط و الزامات پایائی برای پرهیز از خوردگی استفاده نمود.

سوال ۶۱ - گاه برای ساختمانهای ۱ یا ۲ طبقه در مناطق خورنده جنوبی از اسکلت بنایی با شناژ قائم و افقی استفاده می شود و در شناژ قائم از یک ملات ساده (همان ملات بنایی آجرکاری یا بلوک جینی) استفاده می گردد. آیا اینکار صحیح است؟ چه نکاتی در این مناطق باید رعایت شود؟

چنانچه در شناژ قائم و افقی، بتن با کیفیت مندرج در آئین نامه بتن یا مقررات ملی استفاده شود و ضخامت بتنی روی میلگردها رعایت گردد مشکلی وجود ندارد. بدیهی است باید به شرایط قرارگیری این شناژها توجه شود بنابراین مشکلی برای استفاده از این نوع ساختمانهای اسکلت بنایی در این مناطق خورنده وجود ندارد.

سوال ۶۲ - گفته می شود که برای بتن مسلح نباید از سیمان پرتلند ضد سولفات استفاده کرد، و بجای آن از سیمان پرتلند نوع ۲ باید استفاده نمود. آیا این مطلب صحیح است؟

پاسخ این پرسش قبلاً داده شد. در مناطق خورنده و در بتن مسلح صرفاً "باید از سیمان پرتلندی استفاده کرد که C3A آن در محدوده 6 تا 10 درصد قرار دارد و مفهوم آن دقیقاً "آنست که در این رابطه ابداً نمی توان از سیمانهای پرتلند ضد سولفات استفاده کرد اما به این معنا نیست که سیمان پرتلند نوع 2 بکار رود. چه بسا ممکن این سیمان پرتلند نوع 2 نیز مناسب نباشد یعنی C3A آن خارج از این محدوده قرار داشته باشد. دلیل این امر قبلاً "گفته شد. C3A بیشتر به قید شیمیایی کلرید نفوذی منجر می شود و کلرید آزاد کمتری، خود را به میلگرد می رساند. از طرفی زیاد بودن C3A ممکنست به حمله سولفاتی کمک کند که بدلیل کم اهمیت بودن و خطرناک نبودن آن اجازه دارد تا حدود 10 درصد باشد

سوال ۶۳ - آب دریای خلیج فارس و دریای عمان دارای چه میزان از یون کلرید و سولفات است؟ آیا این مقادیر با دریای خزر و دریاچه ارومیه متفاوت است؟ آیا سولفات موجود نباید ما را نگران حمله سولفاتی کند؟

آمارهای بسیار متفاوت و گوناگونی برای املاح موجود در آب خلیج فارس و دریای عمان ارائه شده است. این احتمال وجود دارد که همه آنها صحیح باشند. بسته به اینکه از کجای این دریاها در چه فاصله ای از ساحل یا در چه عمقی، نمونه گیری انجام شود، نتایج متفاوت خواهد بود. برای مثال

اگر در شمال یا جنوب این آبها نمونه گرفته شود حتماً نتایج فرق خواهد کرد. احتمالاً نتایج مربوطه در تابستان و زمستان نیز یکسان نخواهد بود. بویژه در شمال این آبها، رودخانه های غیر شور وجود دارند و در برخی موارد که رگبارها، سیلابهای مهیبی را ایجاد می کنند بسته به مورد و نزدیکی زمانی نمونه گیری به وقوع این سیلابها و نزدیکی مکانی نمونه گیری به محل ورود این رودخانه ها به دریا، انتظار نتایج مختلفی را باید داشته باشیم. دریای خزر تقریباً یک سوم املاح خلیج فارس را دارا می باشد بدیهی است مقدار املاح دریای خزر حتی در سواحل شمالیایران یا سواحل جنوبی آن دریا نیز در سالهای مختلف و زمانهای گوناگون در طول سال و در مناطق مختلف ساحلی متفاوت خواهد بود. این دریا یا در واقع دریاچه، بزرگترین در دنیا است و به آبهای آزاد راه ندارد و بزرگترین دریاچه شور نیز می باشد. دریاچه ارومیه نیز در طول این سالها، دستخوش تغییرات شدیدی بوده است با وارد کردن آب شیرین به آن، این غلظت تا حدودی کمتر شده و می شود.

قطعاً در ماههای مختلف سال نیز این مقادیر تغییر می کند و نزدیکی و دوری به محل ورود آب به این دریاچه نیز درمقادیر املاح تاثیرگذار است. بهرحال این دریاچه غلظت املاح زیادی را در بین دریاچه های شور دارا می باشد.

همانگونه که گفته شد به دلیل شوری زیاد آب های دریا و دریاچه های شور، حمله سولفاتی علیرغم تشکیل اترینگایت، نتیجه انبساطی مخرب قابل توجهی ندارد و نگرانی خاصی را به دنبال نمی آورد.

در زیر نتایج املاح آب برخی دریاچه های دنیا و ایران بصورت کل نمکها، یون کلرید و یون سولفات آنها اشاره می شود.

نام دریا یا دریاچه	سولفاتها (گرم در لیتر)	کلریدها (گرم در لیتر)	کل نمکهای محلول در آب گرم در لیتر
خلیج فارس	۲/۷-۲/۹	۲۰-۲۴	۳۶-۴۲
دریای عمان	۲/۸-۳/۰	۱۹-۲۲	۳۶-۳۸
دریای مدیترانه	۳/۰-۳/۲	۲۰-۲۲	۳۸-۴۰
دریای سرخ	۲/۸-۳/۰	۲۰-۲۲	۳۶-۴۱
دریای شمال	۲/۸	۲۰	۳۶
دریای بالتیک	۱/۳	۹/۰	۱۶/۱۷
اقیانوس اطلس	۲/۵-۲/۶	۱۷-۱۸	۳۲-۳۳
دریای خزر	۲/۵-۲/۸	۵/۵-۸/۰	۱۲
بحر میت (دریای مرده)			۳۳۷
دریاچه نمک بزرگ امریکا			۳۱۷
دریاچه شور اتیوپی			۴۳۳
دریاچه ارومیه			۲۸۰

سوال ۶۴ - گاه گفته می شود که برای مناطق خورنده جنوب، نیاز به فوق روان کننده وجود دارد؟ آیا نمی توان بدون این مواد، بتن خوبی ساخت و دوام لازم را داشت؟ اغلب کارخانه های بتن آماده مدعی ارائه بتن های مناسب اما بدون فوق روان کننده هستند. آیا این ادعا صحیح است؟

در مناطق خورنده جنوب کشور در اغلب سازه ها نیاز به استفاده از بتن هایی با نسبت آب به مواد سیمانی کمتر از $0/4$ تا $0/45$ وجود دارد و رده مقاومتی $C30$ و $C35$ به عنوان حداقل رده مورد نیاز است. چنانچه حداقل عیار سیمان را 325 و 350 کیلوگرم در متر مکعب در نظر بگیریم مشخص است که اگر با این عیارها و نسبت آب به سیمان $0/45$ یا $0/4$ کارکنیم، اسلامپ بتن ها صفر خواهد شد.

برای بتنی با حداکثر اندازه 20 میلی متر و روانی (اسلامپ) پای کار جهت پمپ کردن به میزان 125 میلی متر و در ابتدا 175 میلی متر، نیاز به آبی در حدود 195 کیلو با فرض شن نیمه شکسته رودخانه ای و ماسه تقریباً "گردگوشه" خواهد بود.

چنانچه قرار باشد بتنی با نسبت آب به سیمان $0/44$ ساخته شود (فرض آنست که با این نسبت آب به سیمان به رده $C30$ با حاشیه ایمنی لازم در یک کار واقعی دست می یابیم)، مقدار عیار سیمان مربوطه در ابتدا 440 کیلو می شود که پس از اصلاح، 475 کیلو (طبق روش ملی طرح مخلوط) خواهد شد. اگر رده $C35$ با حداکثر نسبت آب به سیمان $0/4$ در نظر گرفته شود.

پس از اصلاح، عیار سیمان فراتر از 520 کیلو بدست می آید (در این حالت فرض شده نیاز به میکروسلیس برای این شرایط لازم نباشد). حداکثر مجاز سیمان مصرفی در آئین نامه و مقررات ملی 425 کیلوگرم برمتر مکعب است. بنابراین دیده می شود که این ادعا حتی برای رده $C30$ و حداکثر نسبت آب به سیمان $0/45$ نیز غیر واقعی و واهی به شمار می رود. در کارخانه های بتن آماده فرض می کنند که اسلامپ بتن اولیه در حدود 70 تا 80 میلی متر باشد و در پای کار به حدود 50 میلی متر برسد و بهر حال با اضافه کردن آب به روانی 125 میلی متر دست یابند. بدیهی است نسبت آب به سیمان آنها بسیار زیاد خواهد شد.

فرض کنیم مسئولیت کارخانه ها در این حد دستیابی به این حدود اسلامپ باشد. در این حالت برای رده $C30$ و $\frac{W}{C}$ برابر با $0/44$ برای دستیابی به اسلامپ اولیه حدود 75 میلی متر نیاز به 175 کیلو آب وجود دارد که مقدار سیمان اولیه حدود 400 کیلو و پس از اصلاح 415 کیلو می شود. بدیهی است باید به این بتن فوق روان کننده یا آب اضافه شود، با فرض اینکه حدود 415 کیلو سیمان از ابتدا استفاده شده باشد. پرواضح است که برای رده $C35$ و نسبت آب به سیمان $0/4$ نیز با فرض دستیابی به اسلامپ اولیه 75 میلی متر نیاز به سیمان بسیار بیشتر و در حدود 475 کیلو وجود دارد.

این بتن ها بدلیل پر سیمانی بسیار چسبنده هستند و پمپ کردن آنها حتی با رساندن به اسلامپ 125 میلی متر (در پای کار) بسیار دشوار است ضمن اینکه برای رده $C35$ ، عیار سیمانی بیش از

حد مجاز وجود دارد و اصولاً "امکان دستیابی به بتن با چنین وضعیتی، حتی با اضافه کردن فوق روان کننده در پای کار وجود ندارد و حتماً "باید بخشی از آن در کارخانه اضافه شده باشد. حال بد نیست با نوعی محاسبه معکوس، بدانیم که نسبت آب به سیمان کارخانه های مدعی برای داشتن یک بتن پمپی بدون فوق روان کننده در چه حدودی است؟ برای رده C30 با فرض استفاده از ۴۰۰ کیلو سیمان این کارخانه ها دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴۹ و برای رده C35 با فرض استفاده از ۴۲۵ کیلو سیمان دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴۷ در بهترین حالت خواهند بود. بزرگ تر کردن حداکثر اندازه سنگدانه می تواند در حد ۱٪ تا ۲٪ نسبت آب به سیمان را کمتر کند به شرط آنکه سیمان مصرفی کم نشود. استفاده از ماسه های نیمه شکسته یا شکسته وضعیت را به مراتب بدتر می کند و ممکنست نسبت آب به سیمان بین ۱٪ تا ۳٪ اضافه شود. بنابراین خودتان می توانید در این مورد قضاوت کنید. اینجانب تا کنون عملاً "نتوانسته ام این دوستان را در این رابطه متقاعد کنم، زیرا از قدیم گفته اند که فرد خواب را می توان براحتی بیدار کرد اما کسی که خود را به خواب زده است نمی توان بیدار نمود. نکته جالب و مایوس کننده دیگر آنکه در بیشتر مناطق جنوبی کشور از بتن رده C25 برای عملیات ساختمانی خود استفاده می کنند و نسبت آب به سیمان آنها معمولاً "از ۵٪ هم بیشتر است!! بنابراین تمام مباحث بطور کلی زیر سوال می رود.

سوال ۶۵ - برخی می گویند که استفاده از مواد آب بند کننده، برای مناطق خورنده

کلریدی مناسب است؟ آیا این مطلب صحیح است و باید بدنال این مواد رفت؟

افرادی که معمولاً با این واژه ها براحتی مطالبی را بیان می کنند معمولاً نمی دانند که مقصود دقیق آنها از مواد آب بند کننده چیست؟ هم چنین معلوم نیست که همه مواد آب بند کننده مانع نفوذ یون کلرید نیز بشوند. انواع مواد آب بند کننده وجود دارد که می توان آنها را در بتن بکار برد. مثلاً پوزولانها و سرباره ها نوعی مواد آب بند کننده محسوب می شوند. همه مواد آب بند کننده، ممکن است نم بندکننده نباشد و یا بصورت ترکیبی آب بندی و نم بندی نکنند. هم چنین ممکنست یک ماده آب بند کننده از نوع آب گریز، برای زمانی که ارتفاعی از آب در پشت یک دیواره است مناسب نباشد. بنابراین همه مواد آب بند یا نم بندکننده نمی تواند بسادگی بعنوان یک ماده مناسب برای مناطق خورنده کلریدی بکار رود، هر چند ممکن است بسیاری از آنها برای چنین هدفی مناسب باشند.

سوال ۶۶ - گاه در هنگام ریختن بتن و پس از قالب برداری، حفرات سطحی کوچک یا

متوسطی در نمای بتن (آبله رو شدن) دیده می شود. تاثیر این حفرات بر دوام بتن و

خوردگی میلگردها در این مناطق خورنده چیست؟

حفرات هوای ریز سطحی (Surface Air voids) از جمله اشکالاتی است که در سطوح قالب بندی شده بویژه با قالب های غیرجاذب (مانند قالب فلزی) ایجاد می شود و در حدود ۱ میلی متر تا حتی حدود ۳۰ میلی متر قطر دارد. این حفرات در خمیره سیمان تشکیل می شوند و دلیل آن عدم خروج هوا در هنگام تراکم از سطح تماس قالب و بتن است. عدم کفایت تراکم لرزشی بتن

می تواند این حفرات را درون بتن نیز برجا گذارد که در سطح هم نمایان خواهد بود. گاه این حفرات بدلیل عدم کفایت لرزاندن بتن نیست بلکه گیرکردن حبابهای هوا در سطح بتن قالب بندی شده به دلیل لزجت زیاد بتن یا روغن قالب و یا ارتفاع زیاد لایه بتن ریزی و حتی بتن ریزی از ارتفاع زیاد است که ممکن است در اثر ریزی زیاد یا کم ماسه بودن نیز بوجود آید. این حفرات هوای سطحی، کیفیت سطح بتن را از نظر نما و زیبایی شناسی ممکن است دچار تنزل کیفیت کند. اما بسیاری از منابع موجود آنرا از نظر دوام بویژه نفوذ یون کلرید، عامل ضعف نمی دانند، مشروط بر اینکه مربوط به کافی نبودن تراکم لرزشی نباشد. این حفرات را نباید مانند شن زدگی ناشی از جداسدگی بتن دانست و با آن اشتباه گرفت.

سوال ۶۷- در ریختن ستون یا دیوار و حتی برخی قطعات دیگر، با شن نما شدن (کرموشدن) بتن مواجه می شویم و بلافاصله آن را با یک ملات ریزدانه پوشش میدهم. آیا اینکار صحیح است و مانع نفوذ یون کلرید می شود و خوردگی میلگردها حاصل نمی گردد؟

معمولاً این شن نما شدن به دلیل جداسدگی بتن است. این جداسدگی عمدتاً مربوط به نوع و روش ریختن بتن در قالب ستون یا دیوار است و گاه به دلیل خروج شیره یا ملات ریزدانه از درز قالب که البته آنهم نوع دیگری از جداسدگی است می باشد. جداسدگی بتن بویژه به دلیل نوع و روش ریختن، دارای عمق بیشتری است و گاه تا بیش از یک سوم ضخامت دیوار یا ستون را نیز دربر می گیرد. این مشکل با اعمال یک اندود ملات یا خمیر سیمان بر سطح محل شن نما شده برطرف نمی گردد اما منظره بد آنرا می تواند بهبود بخشد. در این محل، معمولاً "یا خمیر سیمان به خوبی اطراف میلگرد را نمی گیرد و لایه انفعالی تشکیل نمی شود و یا قلیائیت کافی برای تعویق خوردگی وجود ندارد. نفوذپذیری این محل شن نمایا کرمو شده بسیار زیاد است هم در برابر آب و هم در برابر نفوذ یون کلرید. معمولاً "این ملات تعمیر ریزدانه مشکل را بطور کامل حل نمی کند و باید منطقه مزبور تا رسیدن به بتن همگن تخریب گردد و از یک بتن یا ملات تعمیری با نسبت آب به سیمان مساوی یا کمتر از بتن اصلی برای تعمیر این منطقه دارای با ضخامت معمولاً "زیاد استفاده نمود

سوال ۶۸ - در استفاده از برخی روان کننده ها یا فوق روان کننده ها بویژه فرا روان کننده و یا ابر روان کننده ها با عدم گیرش حتی ۱ تا ۲ روز روبرو می شویم، آیا این مواد فاسد بوده است؟ هم چنین در برخی موارد با جداسدگی و آب انداختن مواجه هستیم و گفته می شود که از مواد فاسد استفاده شده است. آیا این حرف صحیح است؟ دلیل این امر چیست؟

در بسیاری از کارگاه ها خیلی زیاد به این مورد برخورد می کنند و متأسفانه اغلب چنین برداشتی دارند. برای رفع این ابهام، لازم است بدانیم هر ماده روان کننده با اضافه مصرف می تواند موجب جداسدگی و آب انداختن گردد. در این حال غالباً "زمان گیرش را به شدت طولانی می کند و به ۱

یا ۲ روز می رسد. در واقع علت اصلی این پدیده ها آنست که ماده مصرفی، قوی بوده است و اتفاقاً فاسد نشده است و با مصرف کمتر می تواند مثمر ثمر باشد و با موفقیت بکار رود. عدم سازگاری مواد افزودنی با نوع سیمان نیز میتواند این بدیل را ایجاد نماید.

سوال ۶۹ - در بسیاری از موارد در مناطق خورنده کلریدی، افزودنی فوق روان کننده در پای کار اضافه می شود و مخلوط می گردد؟ آیا این کار مشکلی را بوجود نمی آورد؟ گاه دیده می شود که بدین ترتیب مقاومت کمتری از آنچه انتظار می رود حاصل می گردد. دلیل این امر چیست؟

اضافه کردن همه یا بخشی از مواد افزودنی در پای کار در همه موارد و در مناطق خورنده مانعی ندارد. البته باید نکات خاصی در این موارد رعایت شود. در وهله اول باید در آزمایشگاه، این عمل به شکلی که در پای کار قرار است انجام شود مورد آزمایش قرار گرفته باشد. در مرحله دوم اسلایپ بتن در ابتدا و در پای کار نباید از ۵۰ میلی متر کمتر باشد و گر نه اختلاط در تراک میکسر امکان پذیر نیست، اعم از اینکه قرار باشد بخشی از آن یا همه آن در پای کار اضافه شود. ضمناً باید مطابق دستورالعمل خاصی عمل اختلاط افزودنی با بتن در پای کار انجام شود. علت کاهش مقاومت بتن می تواند هوازایی افزودنی، اختلاط ناقص یا زیاد بودن $\frac{W}{C}$ قبل از اضافه کردن افزودنی باشد. بدیهی است اگر قبل و بعد از اختلاط، نمونه گیری انجام و کاهش مقاومت دیده شود، هوازایی افزودنی عامل اصلی این کاهش مقاومت است.

سوال ۷۰ - گفته شده که استفاده از مواد حبابزا در بتن می تواند به بالا رفتن دوام در برابر خوردگی منجر شود. مگر این مواد برای افزایش دوام بتن در برابر چرخه های یخ زدن و آب شدن پی در پی نبود؟

مواد حبابزا می تواند به نفوذناپذیری بیشتر بتن در برابر رطوبت و یون کلرید منجر شود و اثر آن صرفاً دوام بتن در برابر یخ زدن و آب شدن های پی در پی نیست. همچنین این مواد می تواند ضمن تامین روانی و کارایی بیشتر، به کاهش آب انداختن بتن و حتی کاهش جداسازی منجر شود. بنابراین مصرف آن به شرط آنکه مقدار هوای بتن کنترل شود و از حد تولید شن بیشتر یا کمتر نباشد می تواند کمک بزرگی به دوام و کیفیت بتن و اجرا باشد.

سوال ۷۱ - علیرغم اینکه فرمودید استفاده از مواد حبابزا می تواند به کاهش آب انداختن و جداسازی و هم چنین کاهش نفوذپذیری بتن منجر شود، اما در ادامه، مصرف این مواد را در اغلب موارد برای جنوب کشور توصیه نکردید، چرا این دوگانگی وجود داشت؟

بکارگیری مواد حبابزا در پروژه ها بویژه در جنوب کشور و در گرما با مشکلاتی همراه است و اینجانب معمولاً به دلیل آماده نبودن شرایط استفاده از این مواد، توصیه می کنم که از این مواد که می تواند مزایایی را دربرداشته باشد استفاده نکنیم. اولاً نیاز به یک طرح مخلوط کامل بتن برای این مورد داریم. ثانیاً در طول اجرای پروژه باید یکنواختی مواد و مصالح مصرفی فراهم باشد. ثالثاً باید در زمانی که دمای هوا زیاد است دمای بتن را در حد قابل قبول نگهداریم. رابعاً مصرف مواد

حبابزا با تغییرات دما تغییر می کند که برای آن باید برنامه داشته باشیم. خامساً باید امکانات تعیین درصد هوا در پای کار فراهم باشد. سادساً با توجه به مدت زمان حمل پروژه باید تدابیر لازم جهت تامین درصد هوا در پای کار اتخاذ شده باشد. معمولاً ارائه طرح مخلوطی که موارد مختلف را در نظر گرفته باشد و خواسته ها را تامین کند مشکل است. هم چنین یکنواختی کیفیت مصالح مصرف در ایران جای تامل دارد بویژه در مورد ماسه مصرفی، تغییرات زیادی را داریم. کنترل دمای بتن مشکل است و تغییرات دمای هوا و گرمای زیاد از عهده و توان، اغلب کارگاه ها خارج است. در هوای گرم، بزرگ شدن اندازه و ابعاد حفرات هوا و کم شدن مقدار درصد هوا در طول حمل با تراکم یکسر انتظار می رود و ممکنست نتوان بتن مناسبی را داشت. بنا به این دلایل، اینجانب آنرا توصیه نمی کنم. البته چنانچه بتوان شرایط کنترل میزان هوا را فراهم نمود می تواند قابل توجه باشد.

سوال ۷۲ - از جمله گرفتاری های بزرگ در پروژه هایی که با نظارت جدی همراه است، محدودیت دمای بتن در هنگام ریختن می باشد. آیا بالا رفتن دمای بتن می تواند خطری را برای کیفیت بتن بویژه از نظر خوردگی میلگردها بوجود آورد؟

در مورد اثرات دمای بتن پرمقاومت فشاری از دهه 50 میلادی پژوهش هایی انجام شده است. از حدود دهه ۸۰ میلادی در مورد تاثیر دمای بتن در هنگام ریختن در قالب تحت عنوان *Casting temp.* یا *Initial temp* بر دوام بتن تحقیقات جدی تر آغاز شد. در دهه ۶۰ میلادی به تدریج محدودیت هایی در مورد حداکثر دمای مجاز بتن ریزی وضع شد که عمدتاً به مقاومت مربوط می شد. بعداً مشخص شد که تغییر ساختار خمیر سیمان و (ژل سیمان) که بر مقاومت اثرگذار بود، بر دوام نیز اثر گذار است و شاید تاثیر آن چشمگیرتر است. افزایش جذب آب، افزایش انتشار پذیری و بویژه کاهش مقاومت الکتریکی از اثرات بالا بودن دمای بتنی است که قالب گیری می شود. بهر حال دیده می شود که خوردگی میلگردها در چنین بتن هایی زودتر آغاز می شود. بنابراین حداکثر دمای ۳۰ یا ۳۲ درجه و گاه دمایی بالاتر به عنوان یک حد مجاز مشخص شده است. این پرسش در همه جلسات مرتبط با بتن ریزی در هوای گرم و خوردگی میلگردها مطرح می شود که ظاهراً "جواب این اقناع کننده نیست.

سوال ۷۳- در پروژه هایی که موضوع خوردگی میلگردها مطرح نیست، آیا زیاد بودن دمای بتن در هنگام ساخت و در هنگام ریختن بتن می تواند مشکلی را بوجود آورد؟

هر چند این مسئله به خوردگی مربوط نمی شود اما باید گفت که در پاسخ قبلی نیز اشاره شد که تبعات مقاومتی و مرتبط با دوام و نفوذپذیری دارد. کاهش اسلامپ به میزان ۲ سانتی متر به ازای هر ۱۰ درجه سانتی گراد افزایش دمای بتن در ابتدای ساخت، افت اسلامپ بیشتر به دلیل دمای بیشتر بتن و هوا، نیاز به آب بیشتر برای جبران افت اسلامپ و در مجموع افت مقاومتی ۵/۲ مگاپاسکال به ازای هر ۱۰ درجه سانتی گراد دمای اضافه، که ارتباطی به کاهش مقاومت بدلیل ساختار ژل خمیر سیمان یا بتن ندارد و در مجموع شاید با افزایش دمای بتن از حدود ۳۰ درجه سانتی گراد، نزدیک به ۵ Mpa کاهش مقاومت را در سن ۱ یا ۲ ماه شاهد خواهیم بود. مشکلات

دیگری همچون کاهش زمان گیرش و ایجاد درز سرد نیز وجود دارد که مشکل اجرایی محسوب می شود. معمولاً در ایران به این موضوع مهم یعنی رعایت حداکثر دمای مجاز بتن در هنگام ریختن در قالب توجه جدی نمی شود و آثار آن همواره در پروژه ها قابل مشاهده است.

سوال ۷۴ - مقدار یون کلرید در بتن سخت شده را چگونه بدست می آورند؟ آیا نمی توان با جمع کردن مقادیر یون کلرید آب، سنگدانه، سیمان و افزودنی ها، مقدار کلرید بتن را مشخص نمود؟

در استاندارد *ASTM* دو روش برای تعیین یون کلرید موجود در بتن سخت شده وجود دارد. در استاندارد *C1152* که تعیین کلرید محلول در اسید موجود در بتن سخت شده نام دارد محلولی آماده می شود که نهایتاً "طبق استاندارد *C114* (بخش تعیین کلرید موجود در سیمان)، مقدار کلرید بتن بدست می آید. این مقدار کلرید را می توان با اگماض همان مقدار یون کلرید کل موجود در بتن نامید، که مسلماً "از یون کلرید آزاد بتن بیشتر است. در استاندارد *C1218* که تعیین کلرید محلول در آب خوانده می شود نیز مجدداً "محلولی تهیه می شود که طبق استاندارد *C114* (بخش تعیین کلرید موجود در سیمان)، مقدار کلرید بتن تعیین می شود. این مقدار یون کلرید را نیز می توان با اندکی اگماض معادل یون کلرید آزاد بتن دانست. استاندارد ملی ۸۹۴۶ معادل *C1152* و استاندارد ملی ۸۹۴۷ معادل *C1218* است. ضمناً طبق استاندارد ملی ۶۴۴۳ می توان یون کلرید سیمان را مشابه *C114* بدست آورد.

در برخی آزمایشگاه ها با جمع کردن مقادیر یون کلرید آب، سنگدانه، سیمان و افزودنی ها مقدار یون کلرید بتن تازه را بدست می آورند که کار درستی نیست و این مقدار همواره از یون کلرید محلول در آب موجود در بتن سخت شده که طبق *C1218* بدست می آید بیشتر است و نزدیک به کلرید محلول در اسید بتن سخت شده می باشد. زیرا یون کلرید اجزای بتن پس از ساخت بتن و در طول سخت شدن به تدریج بصورت مقید در می آید.

سوال ۷۵ - آیا آزمایش هایی برای تعیین نفوذپذیری یون کلرید در بتن وجود دارد؟ آیا نمی توان همان آزمایش های جذب آب و عمق نفوذ آب بجای آنها انجام داد و معادل آنها تلقی نمود؟

آزمایش های مختلفی برای تعیین نفوذپذیری یا انتشار یون کلرید در بتن وجود دارد که برخی از آنها می تواند ضریب انتشار یون کلرید را بدست دهد. در استاندارد *ASTM C1556* با گذاشتن نمونه های بتن ساخته شده در آزمایشگاه در سن حداقل 28 روزه در محلول نمک طعام و پس از گذشت مدت زمان خاص (حداقل 35 روز) می توان با پودرگیری از بتن، مقدار یون کلرید را در عمق های خاص (حداقل 6 عمق) بدست آورد و سپس با توجه به حل تقریبی رابطه فیک می توان ضریب انتشار ظاهری یون کلرید بتن را بدست آورد. این آزمایش به زمان و هزینه قابل توجهی نیاز دارد و باید همه سطوح نمونه ها بجز یک سطح توسط اپوکسی پوشانده شود. مشابه اینکار در استاندارد *EN12390-11* و مشابه ایرانی آن به شماره ۱۱-۳۲۲۰۱ دیده می شود.

در استاندارد *ASTM C1543* که مشابه *AASHTOT259* است، ایجاد یک حوضچه بر روی آزمون بتنی و پرکردن آن با محلول نمک طعام، پس از مدت دلخواه (بیش از 2 ماه) و پودرگیری از عمق های خاص، سعی می شود تا عمق نفوذ یون کلرید با تعیین مقدار آن بدست آید. در این آزمایش ضریب انتشار بدست نمی آید اما برای مقایسه نفوذپذیری یون کلرید در بتن های مختلف بکار می رود. استاندارد ملی این آزمایش به شماره 19896 است. ضریب انتشار بتن ساخته شده در آزمایشگاه یا مغزه بتن اشباع شده را می توان بصورت لحظه ای با تعیین عمق نفوذ کلرید تحت ولتاژ خاص در زمان خاص با روش *NTBUILD 492* یا روش "ب" استاندارد ملی 21479 ایران بدست آورد که در واقع بنام آزمایش *RCMT* معروف است. درآزمایش مشابهی طبق استاندارد *T357 AASHTO* که مشابه آن در روش الف استاندارد ایرانی ۲۱۴۷۹ آمده است، می توان به نوعی مقاومت بتن در برابر نفوذ (مهاجرت) یون کلرید را بدست آورد.

آزمایش دیگری که به نوعی مقاومت بتن را در برابر نفوذ یون کلرید به روش الکتریکی (موسوم به *RCPT*) بدست می دهد. در استاندارد *ASTM C202* یا *T277* آمده است. در این آزمایش استوانه تهیه و آماده شده در آزمایشگاه یا مغزه بتنی اشباع شده به ضخامت ۵۰ میلی متر و قطر حدود ۱۰۰ میلی متر در محفظه ای قرار می گیرد و در یک طرف آن محلول نمک طعام و در طرف دیگر سود سوزآور قرار می گیرد و اختلاف پتانسیل 60 ولت به آن وصل می گردد و مقدار جریان عبوری ۶ ساعته از آن اندازه گیری می شود و نتیجه برحسب کولمب (کولن) گزارش می گردد که ضریب انتشار نیست اما به آن مرتبط است. استاندارد ایرانی آن ۲۰۷۹۳ است.

بهرحال لازم است بدانیم سازوکار این آزمایش ها ابدأ مانند جذب آب بتن یا عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن نیست و بجای آن ها یا معادل آنها تلقی نمی شود. متأسفانه بسیاری تصور می کنند که نفوذ و جذب آب به نوعی جایگزین نفوذ و انتشار یون کلرید در بتن است در حالی که چنین نیست. و رابطه خاصی نیز با ضریب انتشار و مهاجرت یون کلرید در بتن ندارند.

سوال ۷۶ – مقصودتان از مقاومت ویژه الکتریکی بتن چیست؟ چگونه اندازه گیری می شود؟ ظاهراً آزمایش *RCPT* و *RCMT* نیز عمدتاً بصورت الکتریکی هستند و آزمایش هدایت الکتریکی نیز از جنس مقاومت الکتریکی است.

هر جسمی دارای مقاومت ویژه الکتریکی خاصی بعنوان یک مشخصه است. بتن هم از این قاعده مستثنی نیست. مقاومت ویژه الکتریکی مستقل از ابعاد جسمی است که مقاومت الکتریکی آن اندازه گیری می شود.

R مقاومت الکتریکی، A سطح مقطع جسمی که جریان از آن عبور می کند و L $\rho = \frac{R-L}{A}$

طول آن جسم است. ρ در این حالت مقاومت ویژه الکتریکی است که برحسب اهم متر یا کیلومتر اهم سانتی متر بیان می شود. قاعدتاً "مقاومت الکتریکی هر جسمی را می توان با ایجاد یک جریان الکتریکی (اختلاف پتانسیل) بدست آورد. در مورد بتن اگر بخواهیم اینکار انجام شود بهتر است از جریان متناوب استفاده کرد. بنابراین مقاومت ظاهری یعنی Z بجای R بدست می آید. پس از آن مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری محاسبه می شود. از آنجا که بتن جسمی متخلخل است در حالت

اشباع باید مورد آزمایش قرار گیرد. مقاومت الکتریکی بتن خشک بسیار زیاد است و دستگاههای موجود آنرا بی نهایت نشان می دهند. پس از اشباع سازی بتن با قرار دادن دو اسفنج خیس یا لایه خمیر سیمان در سرو ته آزمون، اندازه گیری انجام می شود. یون های موجود در آب منفذی بتن نیز بر مقاومت الکتریکی آن اثر گذار هستند و اگر یونهایی مانند کلرید در بتن موجود باشد مقاومت الکتریکی را به شدت کاهش می دهند. تعیین مقاومت الکتریکی با این روش فعلاً " استاندارد خاصی ندارد. مقاومت الکتریکی بتن می تواند بصورت حجمی (*bulk*) یا سطحی (*surface*) انجام شود. برای تعیین مقاومت سطحی از روش چهار نقطه ای و نر استفاده می گردد. در این روش چهار الکتروود با فاصله مساوی (۲۵ یا ۳۸ یا ۵۰ میلی متر) روی سطح بتن اشباع (معمولاً "جداره استوانه ای به قطر ۱۰۰ یا ۱۵۰ میلی متر) قرار می گیرد و مقاومت ویژه الکتریکی سطحی را بدست می هد (پس از انجام محاسبات). برای تعیین مقاومت ویژه الکتریکی سطحی استاندارد *T358 AASHTO* وجود دارد که استاندارد ایرانی آن هنوز تدوین نشده است. مقاومت الکتریکی برعکس هدایت الکتریکی است استاندارد *ASTM C1760* به کمک همان وسایل *RCPT*، هدایت ویژه الکتریکی را برای یک استوانه به قطر ۹۵، میلی متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی متر بدست می آورد و سپس مقاوم الکتریکی ویژه محاسبه می گردد. این روش پس از اشباع سازی آزمون ها و قرار دادن در محفظه دستگاه و برقراری اختلاف پتانسیل ۶۰ ولت و اتصال الکتریکی به کمک محلول نمک طعام دردو سر آزمون به مدت ۱ دقیقه قابل انجام است. استاندارد ایرانی آن نیز به شماره ۱۵۴۲۸ تدوین شده است. آزمایش *RCPT, R CMT* هر دو الکتریکی هستند و به نوع خاصی مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلرید را اندازه گیری می کنند و کاملاً "در ارتباط با مقاومت الکتریکی یا هدایت الکتریکی بتن می باشند. لازم به ذکر است که در روش *T357 RCMT*) و و روش " ب " استاندارد ملی ۲۱۴۷۹، نتیجه به صورت میلی متر بر ولت ساعت گزارش می شود که معرف مقدار نفوذ کلرید به ازای هر ولت در هر ساعت است و هر چه این مقدار کمتر باشد یعنی مقاومت الکتریکی ویژه بتن بیشتر و مقدار *RCPT* یعنی جریان عبوری از بتن کمتر می باشد. جریان الکتریکی در بتنی بیشتر است که با یک اختلاف پتانسیل ثابت، شدت جریان بیشتری از آن عبور کرده باشد که نشانگر پائین بودن مقاومت الکتریکی آن است. بنابراین دیده می شود که به نوعی نتیجه *RCPT* نیز معرف مقاومت الکتریکی است.

سوال ۷۷ - گفته می شود که در بتن مسلح، جریان الکتریکی وجود دارد. آیا این موضوع صحت دارد و این جریان قابل اندازه گیری است؟ بهر حال در صورت وجود جریان الکتریکی، باید اختلاف پتانسیل و شدت جریان الکتریکی موجود باشد. آیا استاندارد خاصی برای اندازه گیری آن وجود دارد؟

این گفته کاملاً صحیح است و در هر بتن مسلح، یک جریان الکتریکی به دلیل حرکت یون های *OH* در آن وجود دارد. بدیهی است وقتی صحبت از جریان الکتریکی است باید قابل مشاهده و اندازه گیری باشد. برای اینکار یک سیم را به بخش لخت شده میلگرد بتن وصل می کنیم و پس از خیس کردن سطح بتن با آب یا یک مایع شوینده و قرار دادن یک الکتروود روی این سطح بتن و

اتصال آن به یک ولت متر، اختلاف پتانسیل این جریان قابل اندازه گیری خواهد بود. استاندارد *ASTM C876* فعالیت خوردگی میلگردهای فاقد پوشش در بتن را در بردارد و آزمایش نیم پیل (*Half Cell*) نام دارد که در محل و آزمایشگاه قابل انجام است. الکتروود استاندارد از نوع مس - سولفات مس است که البته می تواند الکتروود دیگری را بجای آن بکار برد و اعداد بدست آمده را اصلاح کرد.

جالب است بدانیم که اگر اختلاف پتانسیل حاصله با الکتروود مس-سولفات مس کمتر از ۳۵۰- میلی ولت باشد به احتمال ۹۰ درصد، خوردگی در حال انجام است. اگر اختلاف پتانسیل بین ۲۰۰- تا ۳۵۰- باشد احتمال خوردگی ۵۰ درصد می باشد و اگر این نتیجه بیشتر از ۲۰۰- باشد احتمال خوردگی ۱۰ درصد است. کسانی که این آزمایش را در آزمایشگاه یا در کارگاه انجام داده باشند حس خوبی را در مورد درک جریان الکتریکی درون بتن مسلح پیدا می کنند. این آزمایش هنوز استاندارد ایرانی ندارد.

سوال ۷۸ - پرداخت سطح بتن چه ارتباطی با نفوذ یون کلرید و خوردگی میلگرد دارد؟

پرداخت صحیح سطح بتن موجب می شود تا کیفیت جبهه اول رویارو با نفوذ کلرید و هر ماده زیان آور و حتی رطوبت در بتن، بهبود یابد و مقاوم تر باشد. نباید قبل از رو زدن آب بتن، اقدام به تسطیح و پرداخت سطح با ماله فلزی کرد، مگر اینکه مطمئن باشیم دارای آب انداختگی نیست. اگر بتن آب می اندازد باید صبر کرد تا آب روزه تبخیر شود و سپس باید اقدام به پرداخت سطح با ماله فلزی نمود. از اختلاط آب روزه با بتن اصلی باید خودداری کرد. هم چنین نباید سیمان یا هر پودر خشک را روی آب روزه سطح بتن بپاشیم و آنرا پرداخت کنیم. چنانچه عمل پرداخت سطح به درستی انجام شود و عمل آوری اولیه (محافظت) نیز بخوبی صورت گیرد تا سطح بتن نیز ترک نخورد، سطح خوبی را در مقابل نفوذ رطوبت و یون کلرید و غیره فراهم کرده ایم.

سوال ۷۹ - ایجاد محدودیت برای دمای قالب و میلگرد بتن چه فایده ای دارد؟

ایجاد این محدودیت عمدتاً برای هوای گرم است. این محدودیت موجب می شود تا کیفیت سطح قالب بندی شده بهتر باشد، هم از نظر ظاهری و هم از نظر دوام و نفوذپذیری. هم چنین محدودیت دمای میلگرد بر روی چسبندگی به بتن تاثیر گذار است که از نظر سازه ای مهم است. بهر حال هر دو این موارد می تواند به بحث خوردگی میلگردها ارتباط داشته باشد. نفوذ یون کلرید به دمای قالب مربوط است و بحث خوردگی میلگردها بی ارتباط به دمای میلگردها نیست. بنابراین در بحث خوردگی میلگردها نیز این محدودیت ها مهم است.

سوال ۸۰ - آیا در بین شیوه های عمل آوری رطوبتی بتن، برتری خاصی برای شیوه خاص

یا ضعف ویژه ای برای یک شیوه وجود دارد؟

قبلاً اشاره شد که در مناطق خورنده بهتر است از روش حوضچه سازی استفاده نکنیم و علل آن نیز توضیح داده شد. اما این پرسش کلی تر است. ما در عمل آوری رطوبتی، دو شیوه اصلی رطوبت رسانی و شیوه حفظ رطوبت (عایقی) را داریم و شیوه سوم نیز یک شیوه بصورت ترکیبی از این دو روش محسوب می شود. شیوه های رطوبت رسانی (بجز شیوه حوضچه سازی و مغروق سازی در

صورت نداشتن آهک در آب استخر) همواره بهتر از روشهای حفظ رطوبت است. در شیوه های حفظ رطوبت و نرساندن رطوبت به بتن، بعثت خودخشک شدگی بتن در اثر هیدراته شدن سیمان و جمع شدگی حاصل از آن همواره یک سری ترک های موئین در خمیر سیمان یا حدفصل خمیر و سنگدانه بوجود می آید که بر مقاومت و دوام بتن بویژه نفوذ یون کلرید تاثیر منفی دارد. مشکل بزرگ رطوبت رسانی دائمی در طول عمل آوری، نیاز به آب زیاد می باشد و بنابراین روش های ترکیبی مانند استفاده از گونی خیس و نایلون یا آبدهی و کشیدن نایلون بر روی آن می تواند از نظر مصرف آب و عدم استفاده از روش صرفاً "حفظ رطوبت (عایقی)"، روش مطلوبی باشد. روش های عایقی مانند استفاده از نایلون یا استفاده از مواد شیمیایی عمل آوری است که اغلب تصور می کنند بهترین روش هاست، در حالی که چنین نیست. بهر حال بد نیست بدانیم در رطوبت رسانی معمول (غیر مغروق یا حوضچه سازی)، عمق نفوذ رطوبت در طول عمل آوری چندان زیاد نیست و در قطعاتی با ضخامت بیش از ۳۰/۰ متر احتمالاً "رطوبت به عمق بتن نمی رسد اما مهم نیست زیرا ارتباط با خوردگی، کیفیت سطحی بتن (ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد) مهم است.

سوال ۸۱- آیا عمل آوری حرارتی تسریع شده می تواند به بروز مشکل برای بتن و خوردگی میلگردها بیانجامد؟

عمل آوری حرارتی تسریع شده به نوعی به عمل آوری در دمای بیش از ۴۵ درجه سانتی گراد اطلاق می شود. این نوع عمل آوری می تواند بدون بخار آب یا با بخار آب در تماس با سطح بتن باشد که نوع با بخار آب ارجح است و دلایل آنرا در پاسخ قبلی گفتیم. بهر حال هر چه دمای عمل آوری بالا رود، کیفیت بتن به دلایل تغییر در ساختار ژل چسباننده خمیر سیمان کاهش می یابد و موجب نفوذپذیری بیشتر آن می گردد. بنابراین بویژه در مناطق خورنده بهتر است از دمای زیاد استفاده نکرد. با این حال روشن است که بویژه برای قطعات پیش ساخته نیاز به عمل آوری تسریع شده وجود دارد و نیازهای اجرایی نیز ایجاب می کند که به دنبال روش های تسریع شده عمل آوری حرارتی باشیم. آئین نامه ها سعی کرده اند محدودیت های خاصی را برای این منظور ارائه نمایند. این محدودیت ها در مورد خوردگی میلگردها نیز کاربرد مطلوبی دارد. معمولاً "حداکثر دمای بتن و عمل آوری به ۶۵ یا ۷۰ درجه سانتی گراد محدود می شود. تجربه نشان داده است که افت کیفیت قابل توجهی از نظر مقاومت و نفوذناپذیری بوجود می آید، مگر اینکه از پوزولانها یا سرباره های حاوی سیلیس فعال استفاده شود که در این حالت حتی دمای حداکثر عمل آوری می تواند تا ۹۵ درجه سانتی گراد نیز بالا رود. امریکائی ها حداکثر دمای عمل آوری تسریع شده را تا ۸۲ یا ۸۵ درجه سانتی گراد قبول داشتند. بهر حال بعدها روشن شد که در دمای بیش از ۷۰ درجه سانتی گراد ممکن است پدیده DEF یا تاخیر در تشکیل اترینگایت موجب انبساط و ترک خوردگی زود هنگام و شبیه حمله سولفاتی شود. بنابراین به هر دو دلیل در بتن هایی که بدون پوزولانها و سرباره های مناسب ساخته می شود حداکثر دما را به ۷۰ درجه سانتی گراد محدود کردند.