

انجمن بتن ایران

یک کارخانه تولید بتن در جنوب کشور جهت تولید بتن و قطعات پیش ساخته خود از نوعی ماسه استفاده می کند که علیرغم تامین کردن کلیه مشخصات و ضوابط آئین نامه پایایی بتن در مجاورت خلیج فارس و دریای عمان و مقررات ملی ساختمان و $ASTM C33$ ، SE حدود ۵۰ دارد با این مصالح بتن هایی با مقاومت بالای 60 Mpa ، نفوذ یون کلر ($RCPT$) زیر ۱۰۰۰ کولمب، جذب آب زیر ۱٪، نفوذ آب کمتر از 1 cm و از نظر کارایی بتن خود تراکم طراحی و اجرا شده است. نظر به اختلاف نظر مکرر با ناظرین محترم در مورد SE این ماسه (و لزوم تامین عدد ۷۵) خواهشمند است بفرمائید این ماسه قابل استفاده می باشد یا خیر؟

محمدرضا انوشه

عضو حقیقی انجمن بتن ایران

جناب آقای مهندس محمدرضا انوشه

پاسخ به پرسش جنابعالی در ذیل از نظر می گذرد

۱- در آئین نامه $ACI318$ و در $ACI222$ (خوردگی فولاد بتن) و در سایر نوشته های کمیته های ACI در مورد محدودیت SE ماسه بحثی به میان نیامده است.

۲- در آئین نامه اروپا و بسیاری از کشورهای پیشرفته دیگر محدودیتی برای SE ماسه ذکر نشده است.

۳- در $ASTM C33$ (مشخصات استاندارد سنگدانه های بتن) نیز به هیچوجه در مورد SE ماسه مطلبی عنوان نشده است.

۴- در $EN12620$ اتحادیه اروپا نیز محدودیتی برای SE ماسه داده نشده است اما گفته شده که از آزمایش SE ماسه برای کنترل یکنواختی آن یا در هنگامی که درصد گذشته از الک ۶۳ میکرون بیش از حد قابل قبول است می توان استفاده کرد اما عددی برای آن مطرح نگردیده است.

۵- در استاندارد ملی ۳۰۲ (مشخصات استاندارد سنگدانه بتن ایران) نیز در حداقل سه ویرایش اخیر، محدودیتی برای SE ماسه ارائه نگشته است.

۶- در مقررات ملی (مبحث نهم) در سال ۸۸ و ۹۲ در مورد SE ماسه مطلبی دیده نمی شود.

۷- در آئین نامه پیشنهادی پایایی بتن در خلیج فارس و دریای عمان (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) نیز به SE ماسه پرداخته نشده است.

۸- متأسفانه در آئین نامه بتن ایران (ویرایش اول و دوم) محدودیت ۷۵ درصد برای SE ماسه عنوان شده است که در آن سالها نیز مورد اعتراض بنده و برخی دیگر از عزیزان بود و مرجعی برای آن خواستار بودیم که هرگز ارائه نشد.

۹- در نشریه ۱۰۱ (مشخصات فنی عمومی راه) و نشریه ۵۵ (مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی) نیز محدودیت ۸۰ یا ۷۵ برای SE ماسه داده شده بود.

۱۰- در استاندارد ۳۰۲ فعلی و پیش نویس مبحث نهم مقررات ملی (۹۹) و هم چنین پیش نویس آئین نامه بتن ایران (انتشار در سال ۹۹) و هم چنین بخش بتن نشریه جدید ۵۵ (احتمالاً انتشار در سال ۹۹ یا ۱۴۰۰) و نشریه ۱۰۱ جدید (احتمالاً انتشار در سال ۱۴۰۰) به هیچوجه در مورد SE ماسه مطلبی وجود ندارد یا نخواهد داشت.

۱۱- دلایل عدم توجه به مقدار SE به عنوان یک ضابطه یا معیار پذیرش ماسه در منابع مختلف ذکر شده است و از این آزمایش امروزه برای کنترل یکنواختی ماسه تولیدی یا تحویلی به کارگاه ساخت بتن استفاده می گردد.

۱۲- اینجانب در بندر پتروشیمی پارس از یک ماسه تولیدی در منطقه اسیر استفاده کردم که در مواردی SE آن به حدود ۴۵ درصد می رسید (غالباً" بین ۴۵ تا ۶۰ درصد) و مشکلی از نظر مقاومت و دوام نیز نداشتیم.

۱۳- امروزه مجبوریم از ماسه هایی استفاده کنیم که دارای ریزدانه بیشتری نسبت به گذشته هستند. مثلاً در $ACI304.2R$ برای بتن پمپی، ماسه مطلوب را ماسه ای عنوان کرده است که درصد گذشته از الک شماره ۵۰ آن در محدوده ۱۵ تا ۳۰ درصد و درصد گذشته آن از الک شماره ۱۰۰ در محدوده ۵ تا ۱۰ درصد باشد. بدیهی است اگر چنین ماسه ای تولید شود مقدار هم ارز ماسه (ارزش ماسه معادل ماسه) آن احتمالاً کمتر از ۷۵ درصد خواهد بود.

۱۴- در بتن های خودتراکم که مجبور به استفاد از ماسه های ریز هستیم و یا از پودرسنگ یا ماسه های بادی استفاده می کنیم و توصیه نیز می شود، اگر مجموعه ماسه و این مواد را در آزمایش SE بکار بریم قطعاً جواب ما کمتر از ۶۰ درصد خواهد بود.

۱۵- در دهه ۷۰ میلادی آئین نامه بتن یونسکو که اعتقاد به SE داشت عنوان کرده بود که برای ماسه های شکسته حداقل SE برابر ۶۰ درصد می باشد و ضمناً حداکثر SE را نیز به ۸۵ درصد محدود کرده بود. یعنی اعتقاد داشت که SE نباید زیاد باشد و این امر می تواند بتن نامطلوبی را بدست دهد هرچند چنین آئین نامه ای امروز وجود ندارد و جای آن را آئین نامه ها و استانداردهای اتحادیه اروپا گرفته است.

۱۶- همه منابع امروزی اعتقاد دارند که بویژه برای ماسه های شکسته یا مخلوط شکسته و رودخانه ای باید اجازه داد تا درصد ذرات ریز ماسه (کوچکتر از ۰/۶ میلی متر یا ۰/۵ میلی متر) و حتی ذرات ریزتر از ۰/۱۵ میلی متر افزایش یابد تا مشکلات کارایی ناشی از مصرف ماسه شکسته و پمپ کردن آن کاهش یابد بنابراین ایجاد محدودیت برای حداقل SE کاملاً غیر منطقی است.

در پایان متذکر می شود که چنانچه از ماسه رودخانه ای شکسته استفاده می نمائید حتماً به محدودیت درصد گذشته از الک شماره ۲۰۰ برای بتن در معرض سایش یا بدون سایش توجه کنید هر چند در استاندارد $ASTM C33$ و استاندارد ملی ۳۰۲ راهکارهای مربوط به عدم توجه به این محدودیت نیز ذکر شده است. هم چنین توجه شود که در مناطق جنوبی یا کویری ایران ممکن است این ماسه ها و حتی ماسه های شکسته دارای مقادیر قابل توجهی از یون کلرید باشند که گاه از شستشوی ماسه ها توسط آب شور حاصل

می گردد و تمیزی ظاهری ماسه نیز نمی تواند مشکل وجود یا عدم وجود یون کلرید در ماسه ها را نشان دهد.

بهر حال ساخت بتن هایی با مشخصات ذکر شده در نامه جنابعالی جای خوشوقتی دارد اما دستیابی به جذب آب نیم ساعته کمتر از ۱ درصد یا عمق نفوذ آب کمتر از ۱۰ میلی متر (با رعایت استاندارد 8-EN12390) کمی بحث برانگیز می باشد زیرا سنگدانه های منطقه مورد بحث شما دارای جذب آب ۲ تا ۴ درصد است و جذب آب نیم ساعته آن طبق استاندارد BSI881-122 حتماً بیش از ۱/۲ درصد خواهد شد.

محسن تدین

جناب آقای دکتر تدین

موضوع: عمر مفید جداول بتنی فشاری تر

خواهشمند است در صورت امکان، نسبت به عمر مفید جداول بتنی فشاری تر دارای نشان استاندارد ۱۲۷۲۸ ملی ایران و همچنین جداول بتنی سنتی در شرایط اقلیمی جنوب کشور (شیراز) اعلام نظر فرمایید. پیشاپیش از بذل توجه و عنایت حضرتعالی سپاسگزارم.

یداله حسینی

عضو انجمن بتن ایران

جناب آقای مهندس یداله حسینی

بازگشت به پرسش جنابعالی طی نامه شماره ۱۷-۰۳-۹۹ مورخ ۹۹/۳/۱۱ در مورد عمر مفید جداول بتنی بصورت فشاری تر و جداول بتنی سنتی در شرایط اقلیمی جنوب کشور و بویژه شهر شیراز، موارد زیر به استحضار می رسد.

۱- هنوز یک روش محاسبه برای عمر مفید قطعات بتنی در شرایط مختلف اقلیمی در دنیا ارائه نشده است و این امر ممکن است سالها بطول انجامد.

۲- در کشورهای مختلف دنیا با جمع آوری اطلاعات مربوط به عملکرد قطعات بتنی مسلح و غیر مسلح در شرایط اقلیمی متفاوت سعی کرده اند تا اعدادی را بصورت عمر مفید اعلام نمایند.

۳- در سال ۸۳ و در یک سمینار مربوط به دوام جداول بتنی، جناب آقای مهندس منتظری از دفتر فنی وزارت کشور نتایج تحقیقات میدانی دفتر فنی وزارت کشور را در مورد جداول بتنی اعلام کرده اند. ایشان اعلام نمودند که عمر مفید این جداول در سطح کشور بین ۳ تا ۵ سال بدست آمده است. در آن سالها جداول بتنی مصرفی عمدتاً از نوع سنتی بودند. هم چنین ایشان هزینه خرابی را در آن سالها ۵۰۰ میلیارد تومان برآورد کردند.

لازم به ذکر است که بسته به شرایط اقلیمی مختلف نتیجه عمر مفید ۳ تا ۵ سال اعلام شده بود و احتمال میرود در شهری مانند شیراز، عمر مفید این جداول در حدود ۵ سال باشد. بدیهی است کیفیت جداول سنتی بتنی نیز یکسان نیست ولی با عنایت به عدم مصرف افزودنی حبابزا و فوق روان کننده در این جداول سنتی، با توجه به بالا بودن نسبت آب به سیمان و عدم رعایت برخی نکات مهم دیگر، احتمال می رود این عمر مفید برای نوع مرغوبتر این جداول باشد.

۴- چنانچه جداول بتنی به روش فشاری تر ساخته شود، نسبت آب به سیمان نهایی پس از خروج از دستگاه بین ۰/۲۹ تا ۰/۳۲ خواهد بود. مسلماً با رعایت عمل آوری صحیح و طول مدت لازم، این جداول بتنی بسته به شرایط اقلیمی مختلف، دارای طول عمر مفید بین ۳۰ تا ۵۰ سال خواهند بود. این عمر مفید در کشورهای پیشرفته و دارای شرایط اقلیمی سخت بدست آمده است. در ایران هنوز بیش از ۳۰ سال از ساخت این نوع جداول پرسی تر نگذشته است اما قدیمی ترین آنها که در اطراف تهران تولید و عمدتاً در شهر تهران مصرف شده است هنوز بدون ایراد مشغول خدمت رسانی هستند اما تهیه و ارائه آماری برای عمر مفید آنها در سطح کشور نیاز به زمان بیشتری دارد و دفتر فنی وزارت کشور یا مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی می تواند در این رابطه به کمک دانشگاه های هر منطقه اقدام به تحقیق و پژوهش نمایند.

لازم به ذکر است که این روش برای اولین بار در سال ۸۳ در منطقه شریف آباد و نزدیک شهرک صنعتی عباس آباد (در جاده گرمسار) بکار گرفته شده است و پس از چند سال، عمل آوری آنها بصورت رطوبتی و صحیح انجام شده است که جداول بتنی مرغوب حاصله دارای عمر مفید ۱۵ ساله در این زمان هستند.

۵- پرواضح است که خرید هر نوع جدول بتنی که غیر منطبق با استاندارد ملی ۱۲۷۲۸ باشد امروزه غیر قابل قبول است. هم چنین باید هر خریدار ابتدا نمونه برداری از محموله انجام دهد و آزمایش های مربوطه صورت گیرد (بسته به وجود یخ بندان یا عدم یخبندان در منطقه) و نتایج حاصله با معیارهای موجود در این استاندارد مقایسه گردد. عدم انجام این مراحل، در صورت عدم اطلاع از وجود استاندارد نشانه عدم صلاحیت خریدار می باشد و در صورت اطلاع داشتن از وجود استاندارد نشانه بی کفایتی و احتمالاً خیانت و دست اندازی به بیت المال در دستگاههای دولتی و عمومی غیر دولتی است. بدیهی است بخش خصوصی که بخواهد از پروژه خود در دراز مدت بهره برداری نماید هرگز تن به خرید محصول بی کیفیت نخواهد داد مگر اینکه قرار باشد پروژه بی کیفیت را به دیگران واگذار کند که این بی مسئولیتی وی را به نمایش می گذارد. شبیه به این امر برای نیوجرسی نیز در کشور دیده می شد که خوشبختانه در حال مرتفع شدن می باشد. در پایان به استحضار می رساند که بیدار کردن افراد خواب کاری آسان است اما بیدار کردن افرادی که خود را به خواب زده اند امری مشکل و محال می باشد.

محسن تدین

پرسش و پاسخ - دوره آموزشی

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

بندرعباس ۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۸ (بخش اول)

سوال ۱- چرا گفته می شود که خمیر سیمان و بتن به شدت قلیایی هستند و قلیائیت آنها در طول زمان معمولاً بیشتر می شود منشا آن چیست؟

پاسخ ۱- در ابتدا به دلیل وجود Na_2O و K_2O در هر سیمانی، بلافاصله پس از تماس آن با آب، تبدیل به $Na(OH)$ و $K(OH)$ می گردند که بشدت محیط خمیر سیمان تازه را قلیایی می کنند و pH آن را به حدود ۹ می رسانند. لازم به ذکر است که عملاً مجموع اکسیدهای مزبور در یک سیمان پرتلند ممکن است حداکثر به حدود ۱ تا ۱/۵ درصد وزن سیمان برسد. در صورتی که این مواد در سیمان به شدت کم باشند ممکن است pH خمیر سیمان بین ۸/۵ تا کمتر از ۹ شود. سیمانهای ایران معمولاً از مواد قلیایی زیادی برخوردارند و مجموع اکسید های سدیم و پتاسیم

(مقصود قلیایی معادل نیست)، عملاً از ۱ درصد بیشتر است، لذا pH خمیر سیمان تازه کمتر از ۹ نیست. در ادامه، هیدراته شدن سیمان را خواهیم داشت. ترکیب آب با C_3S و C_2S علاوه بر ایجاد هیدراتهای سیلیکاتی $C-S-H$ ، مقدار زیادی CH یعنی $Ca(OH)_2$ یا هیدروکسید کلسیم بوجود می آورد. بنابراین هر چه زمان می گذرد و CH بیشتری تولید می شود مقدار pH خمیر سیمان افزایش می یابد. C_3S همواره آهک هیدراته (هیدروکسید کلسیم) بیشتری نسبت به C_2S تولید می کند. امروزه به دلیل زیاد بودن C_3S در سیمانهای پرتلند و کلینکرهای تولیدی کارخانه های سیمان (در جهان و ایران) مقدار آهک هیدراته موجود در خمیر سیمان سخت شده به مراتب از گذشته ها بیشتر است. در دهه ۵۰ میلادی سیمانهای پرتلند معمولی عملاً C_3S کمتری (بین ۳۰ تا ۴۰ درصد) داشته اند. در دهه هفتاد میلادی تقریباً ۵ درصد به این مقدار اضافه شد و در دهه ۹۰ حدود ۱۰ درصد و امروزه شاید مقدار C_3S سیمانهای پرتلند نوع ۲ و ۱ و حتی ۵ بین ۴۵ تا ۶۵ درصد است. در ایران نیز این روال وجود داشته است و مقادیر C_3S در این محدوده می باشد. بنابراین انتظار می رود که pH خمیر سیمان بتن سخت شده به مراتب بیش از گذشته باشد. بالا بودن عیار سیمان بتن و داشتن مواد قلیایی بیشتر و هم چنین دارا بودن C_3S زیادتر، باعث شده است تا امروزه pH یک بتن سخت شده با عمر زیاد گاه به حدود ۱۳/۵ برسد. ناگفته نماند که در همه سیمانها، مقداری CaO بصورت آهک زنده آزاد به همراه مقداری MgO وجود دارد که در اثر تماس با آب و به مرور زمان نیز این اکسیدها تبدیل به هیدروکسید کلسیم و هیدروکسید منیزیم می شوند که نقش نسبتاً مهمی را در بالا بردن pH دارند. اما لازم به ذکر است که معمولاً حدود ۱ درصد CaO و حدود ۲ تا ۳ درصد MgO در سیمانهای پرتلند (بویژه در ایران) وجود دارد و بدین دلیل عملاً پس از چند روز، نقش آنها در افزایش pH خمیر سیمان (بتن) چندان جدی بنظر نمی رسد.

در گذشته pH خمیر سیمان سخت شده بتن ها در طولانی مدت بین ۱۲/۵ تا حداکثر ۱۳ بود که دلایل آن قبلاً ذکر شد. در اینجا به چند نکته بهداشتی و ایمنی اشاره می شود که در ارتباط با قلیائیت خمیر سیمان است. در ابتدا باید گفت که لازم است دقت شود گرد سیمان نباید وارد چشم گردد. هم چنین نشستن گرد سیمان بر روی پوست خیس یا عرق دار نیز می تواند باعث آزرده گی آن شود. تماس پوست بدن و بویژه دست ها به مدت طولانی با خمیر سیمان، ملات یا بتن موجب می شود به دلیل pH آن، پوست دچار سوزش گردد. هم چنین $Na(OH)$ ، $K(OH)$ و حتی $Ca(OH)_2$ با چربی طبیعی پوست ترکیب می شود و صابون جامد یا مایع یا صابون آهکی (بسته به نوع ماده قلیایی) در سطح پوست ایجاد می گردد که باعث لیز شدن پوست می گردد و در ادامه باعث خشکی و احتمالاً ترک خوردگی آن بویژه در نوک انگشتان که پوست نازکتر و حساس تری دارد خواهد شد. بنابراین توصیه می شود کارگران و افرادی که باید در تماس با بتن و ملات باشند از دستکش و حتی عینک استفاده کنند. وجود $Ca(OH)_2$ زیاد در خمیر سیمان دارای محاسن و معایبی است. به همین ترتیب pH زیاد آن دارای خوبی ها و بدی هایی خواهد بود. تشدید واکنش های قلیایی سیلیسی در سنگدانه های واکنش زا، برون رفت CH در اثر جریان آب و نشت آب در بتن جوان و با عمر زیاد و ایجاد فضای خالی و نفوذپذیری بیشتر و ضعف در برابر خوردگی به این دلیل و بالا رفتن امکان حمله یا ضعف در برابر سولفاتی از جمله معایب

این افزایش CH و pH است. بالا رفتن pH بتن باعث افزایش مقدار غلظت بحرانی یون کلرید و به تعویق افتادن از بین رفتن لایه انفعالی و آمادگی برای شروع خوردگی است که عملاً یک حسن تلقی می شود و بعداً در مورد آن مطالبی ارائه خواهد شد.

سوال ۲- آیا محصول خوردگی میلگردها (زنگ)، در محیط مهاجم کلریدی، از نوع کلرید آهن نیست؟

پاسخ ۲- محصول خوردگی میلگرد بتن که بصورت زنگ خودنمایی می کند حتی در محیط مهاجم کلریدی از نوع کلرید آهن نیست و از هیدروکسیدهای آهن با ظرفیت های مختلف (فروپا فریک و غیره) تشکیل شده است. بهر حال باید دانست که اغلب تصور می کنند در خوردگی از نوع کلریدی، کلرید آهن تولید می شود و این یک اشتباه فراگیر است. در محیط های خورنده کلریدی، کلرید نقش از بین برنده لایه انفعالی را دارد و از آن به بعد، اکسیژن و رطوبت موجب خوردگی میلگرد می شود و زنگ هیدروکسید آهن بوجود می آورد. در خوردگی میلگردها که در اثر کربناته شدن بتن ایجاد می شود نیز هیدرواکسید آهن شکل می گیرد. در مواردی که فولاد لخت داریم و اسیدها در تماس با آن قرار می گیرند، سولفات یا کلرید آهن یا نمکهای دیگر آهن تشکیل می شود اما معمولاً در مورد فولاد مدفون در بتن چنین مواردی مشاهده نمی شود.

سوال ۳- چرا گفته می شود میلگردهای مدفون در بتن بطور معمول دچار خوردگی و زنگ زدگی نمی شوند؟ پس چرا مشاهده می شود که در مواردی خوردگی بوجود می آید؟

پاسخ ۳- میلگردهای لخت (بیرون از بتن) و میلگردهای جایگذاری شده در بتن از نظر رفتار در برابر خوردگی، به شدت متفاوت هستند. امروزه با توجه به مشاهدات انجام شده در طی سالیانتمادی، اعتقاد بر آنست که میلگردهای درون بتن عملاً دچار زنگ زدگی در حالت عادی نمی شوند. چنانچه فولاد در یک محیط قلیایی قرار گیرد یک نوع زنگ خاص اکسید آهن Fe_2O_3 بلافاصله بر روی آن ایجاد می شود که موجب ایمن شدن فولاد در برابر خوردگی می شود! این پدیده یادآور پدیده زنگ زدگی آلومینیم است. می دانیم که فلز Al به شدت دارای میل ترکیبی با اکسیژن است. اما مشاهده می شود که این ترکیب با گذشت زمان انجام نمی شود. در پی گیری این علت، روشن شد که این فلز به سرعت با اکسیژن ترکیب می شود و یک لایه نازک از Al_2O_3 بر روی آلومینیم زیرین تشکیل می گردد که مانع رسیدن اکسیژن به فلز زیرین خواهد شد و مانع تداوم زنگ زدگی می شود. بنابراین اگر مجدداً خراشی بر روی این اکسید بوجود آید و فلز زیرین آشکار گردد بلافاصله زنگ اکسید آلومینیم در آن بخش خراش خورده بوجود می آید و بخش زیرین را محافظت خواهد کرد. هر چند این روند در مورد فولاد لخت وجود ندارد اما شبیه آن برای فولادی که در بتن مدفون است و از pH حدود ۹ برخوردار می باشد پدید می آید. ساختار اکسید آهن ایجاد شده بر روی فولاد مدفون در بتن به نحوی است که اجازه خوردگی و زنگ زدگی را به بخش زیرین نمی دهد. با وجود این لایه خاص اکسید آهن، مصونیت برای فولاد وجود دارد. دانشمندان اعتقاد دارند که علت مشاهده زنگ زدگی محسوس در یک فولاد جایگذاری شده در بتن، از بین رفتن این لایه محافظ است و گرنه زنگ زدگی با شدتی کمتر از یک هزارم حالت

عادی به پیشرفت خود ادامه می دهد که عملاً آن را متوقف فرض می کنیم. این زنگ خاص Fe_2O_3 را که در حد چند نانو متر (کمتر از 10^3 nm) می باشد بنام غشاء (لایه) محافظ یا لایه انفعالی می نامند. (Protective or Passive Layer or film).

در صورتی که خوردگی انجام شود حالت فعال (Active) وجود دارد که نقطه مقابل آن انفعالی (Passive) خواهد بود. در مورد از بین رفتن لایه انفعالی در ادامه توضیحاتی را خواهیم داشت. بهر حال اگر بشر بتواند شبیه این لایه انفعالی که یک نوع زنگ خاص می باشد را بصورت مصنوعی و پایدار بر روی فولاد بوجود آورد، قدمی اساسی در محافظت از فولاد خواهد بود. زنگ زدگی نازک روی میلگردها نیز می تواند در تماس با محیط قلیایی بتن به لایه ای بسیار نازک از لایه محافظ یا انفعالی تبدیل شود. زنگ زدگی زیاد روی میلگردها اجازه نفوذ ماده قلیایی را نمی دهد و لایه انفعالی بوجود نمی آید. در این مورد نیز بعداً توضیحاتی را می دهیم که مورد اقبال اکثر قریب به اتفاق پیمانکاران و ناظرین می باشد.

سوال ۴ - گفته می شود سازوکارهای از بین رفتن لایه محافظ (انفعالی) چیست؟

پاسخ ۴- از بین رفتن لایه محافظ یا انفعالی از روی فولاد ممکن است به طرق مختلف حاصل گردد که در زیر به آنها اشاره می شود. برخی از این موارد را نمی توان به عنوان از بین رفتن لایه محافظ تلقی نمود بلکه بهتر است عنوان آن را عدم تشکیل لایه محافظ گذاشت.

الف: پرنشیدن اطراف فولاد مدفون یا جایگذاری شده در بتن به دلیل نامناسب بودن کارایی و عدم تراکم کافی بتن و در بر نگرفتن بخش های کوچک یا بزرگ سطح میلگرد و یا اقلام فولادی درون بتن که به عدم تشکیل لایه محافظ در آن مناطق منجر می شود.

ب: نمایان بودن میلگردها پس از بتن ریزی که عدم تشکیل لایه محافظ را تداعی می کند.

پ: بکار بردن میلگردهایی با زنگ زدگی زیاد و در حد پوسته شدن زنگ که در این حالت لایه انفعالی در سطح میلگرد تشکیل نخواهد شد.

ت: بکار بردن میلگردهایی که سطح آن با آلودگی هایی همراه است و مانع تماس بتن (خمیر سیمان) دارای قلیائیت مناسب با برخی از بخش های سطحی میلگرد می شود که در این حالت نیز از ابتدا لایه انفعالی شکل نمی گیرد.

ث: بکار بردن رنگ، ضد زنگ یا اپوکسی ها در سطح بتن که به عدم تشکیل لایه انفعالی منجر می شود.

ج: قلوه کن شدن بتن روی میلگردها در اثر برخورد مکانیکی و ریختن آن در هنگام قالب برداری یا برخورد وسایل و ماشین آلات با قطعات بتنی پیش می آید لایه محافظ پس از تشکیل، مجدداً از بین می رود.

چ: جمع شدن آب روزه در زیر میلگردهای فوقانی و ایجاد فاصله بین خمیر سیمان و میلگرد. در این حالت ممکن است به دلیل قلیایی بودن آب روزه لایه انفعالی تشکیل شود اما با حذف آب عملاً لایه انفعالی از بین می رود.

ح : ایجاد نشست خمیری در بتن به دلیل آب انداختن زیاد و ایجاد فاصله بین بتن و میلگردهای فوقانی دال یا تیر که در ساعت های اولیه اتفاق می افتد و زیر میلگردها خالی می شود و لایه انفعالی پس از تشکیل، از بین می رود، در صورتی که تراکم مجدد انجام نشود.

خ : ترک خوردگی های عمیق در سطح بتن تا سطح میلگرد بویژه پس از ایجاد نشست خمیری و ایجاد فاصله در زیر میلگرد به دلیل عدم تراکم مجدد و از بین رفتن لایه انفعالی در محل ترک

د : هر نوع ترک خوردگی عمیق در زمانهای مختلف مانند ترک های حرارتی، بارگذاری زیاد از حد، ضربه، حمله سولفاتی و غیره که باعث از بین رفتن لایه انفعالی تشکیل شده می گردد.

ذ : کاهش pH یا قلیائیت بتن چسبیده به میلگرد در اثر نفوذ مواد اسیدی خارجی به داخل بتن و از بین بردن لایه انفعالی موجود

ر - کاهش pH یا قلیائیت بتن چسبیده به میلگرد در اثر خروج CH از آن به دلیل حل شدن در آب و جابجا شدن آن بویژه در هنگام عمل آوری با روش ایجاد حوضچه آب بر روی بتن در حالی که بتن جوان است یا حتی به دلیل نشست آب در بتنی که مدتها از سخت شدن آن می گذرد مانند دیوارهای حایل یا مخازن آب و دال پلها و غیره با از بین رفتن لایه انفعالی

ز - کاهش pH یا قلیائیت بتن چسبیده به میلگرد در اثر ورود CO_2 (دی اکسید کربن) به داخل بتن و ترکیب آن با CH موجود در آن بتن و تبدیل آن به $CaCO_3$ (کربنات کلسیم) و از بین بردن لایه انفعالی تشکیل شده که به این حالت، کربناته شدن بتن گویند.

ژ - بکار بردن میلگردهایی با زنگ زدگی زیاد و در حد پوسته شدن زنگ که در این حالت لایه انفعالی در سطح میلگرد تشکیل نخواهد شد.

س - بکار بردن میلگردهایی که سطح آن با آلودگی هایی همراه است و مانع تماس بتن (خمیر سیمن) دارای قلیائیت مناسب با برخی از بخش های سطحی میلگرد می شود که در این حالت نیز از ابتدا لایه انفعالی شکل نمی گیرد.

ش - نفوذ و درون رفت مواد کلریدی به درون بتن و بالا رفتن غلظت آن در مجاورت سطح میلگرد و رسیدن به غلظتی که به آن غلظت بحرانی یا غلظت آستانه خوردگی می نامند و موجب از هم پاشیدگی لایه محافظ (انفعالی) سطح میلگرد می شود. در این حالت مشکلی از نظر کاهش pH و قلیائیت بوجود نیامده است و نخواهد آمد.

ص - وجود جریان های سرگردان الکتریکی در نزدیکی کابلهای برق با ولتاژ زیاد (برای مثال در راه آهن و مترو برقی) نیز می تواند در شرایطی که pH کم نشده یا یون کلرید زیادی وجود ندارد به از بین رفتن لایه محافظ (انفعالی) کمک کند.

سوال ۵- زنگ زدگی میلگردها چگونه باعث طبله شدن بتن و ترک خوردگی و ریختن آن از روی میلگرد می شود؟

پاسخ ۵- وقتی زنگ زدگی شروع می شود و ادامه می یابد مرتباً بر ضخامت زنگ اضافه می شود. در این حالت فشار زیادی به بتن روی میلگرد وارد می شود و به مرور زمان، به مرحله ترک خوردگی می رسد. با ادامه زنگ زدگی، طبله شدن و فاصله گرفتن بیشتر بتن از میلگرد اصلی حاصل می گردد. ادامه کار جدا شدن کامل پوشش بتنی روی میلگرد است و در سطوح قائم یا

افقی زیر تیر و دال، این بتن فرو می ریزد. زنگ ایجاد شده که از هیدروکسید آهن است حجمی بیش از فولاد زنگ زده یا خورده شده دارد. این افزایش حجم ۳ تا ۶/۵ برابر حجم فولاد اصلی است و این افزایش حجم باعث ترک خوردگی یا طبله شدن و ریختن بتن می گردد. بدین دلیل است که یک راه ساده شناسایی خوردگی میلگردها در یک سازه، زدن ضربه به سطح بتن و گوش دادن به صدای آن است. صدای مرگ که ناشی از خالی بودن زیر بتن و وجود زنگ زیاد است نشانه پیشرفت خوردگی می باشد. به راحتی نمی توان گفت که چه مقدار زنگ زدگی موجب ترک خوردگی و طبله شدگی می شود زیرا به ضخامت بتن روی میلگرد، کیفیت بتن و نوع زنگ زدگی بستگی دارد. با این حال روابطی برای پیش بینی زمان ترک خوردگی در اثر پیشرفت زنگ زدگی منتشر شده است. به هر حال اینطور نیست که در ابتدای تشکیل زنگ، بتوان صدای مرگ را با ضربه زدن شنید بلکه در این حالت همان صدای زنگ و توپری پشت بتن به گوش می خورد. با ایجاد ترک خوردگی و فاصله گرفتن بتن از فولاد اصلی، آهنگ خوردگی تشدید می شود و با ریختن بتن روی آن، میلگردها لخت به حساب می آیند و خوردگی به شدت پیشرفت می کند. علل محیطی مانند وجود رطوبت، دسترسی به اکسیژن، دما، تکرار تری و خشکی و در کنار آن نوع فولاد و مقاومت الکتریکی بتن روی میلگرد، همگی در روند پیشرفت خوردگی موثرند.

سوال ۶- آیا پس از شروع خوردگی، پیشرفت خوردگی در همه شرایط و بتن ها یکسان است؟ معمولاً از شروع خوردگی تا خرابی بتن چه مدت طول می کشد؟

پاسخ ۶- در پاسخ قبلی اشاره شد که نتایج مرحله پیشرفت خوردگی چگونه است. هم چنین گفته شد که پیشرفت خوردگی در همه شرایط و در بتن هایی با کیفیت های مختلف یکسان نیست. علاوه بر شرایط رطوبتی حاکم بر بتن و دمای آن و دسترسی به اکسیژن که امکان خوردگی و آهنگ آن را کنترل می کند، نوع و جنس فولاد نیز در سرعت خوردگی موثر است. برای مثال باید گفت فولادهای پرمقاومت و فولادهایی که با کشیدن یا پیچاندن بصورت سرد اصلاح شده اند علاوه بر اینکه زودتر شروع به خوردگی می کنند، سرعت (آهنگ یا نرخ یا شدت) خوردگی بیشتری دارند. در کشور ما بویژه در جنوب آن و در مناطق ساحلی خلیج فارس و دریای عمان، دمای محیط زیاد است و رطوبت نیز نسبت به اغلب مناطق ایران بالاتر است. هم چنین وجود تابش مستقیم آفتاب باعث گرم شدن شدید بتن ها می شود. بنابراین انتظار می رود که آهنگ خوردگی پس از شروع آن، بسیار زیاد باشد. از همه مهمتر مقاومت الکتریکی بتن روی میلگردهاست. هر چه مقاومت الکتریکی بیشتر باشد، شدت جریان مرتبط با خوردگی کمتر می شود و این از قواعد فیزیک الکتریسیته نشات می گیرد. کاهش نسبت آب به سیمان و استفاده از مواد افزودنی پودری معدنی مانند پوزولان ها و سرباره ها از جمله عوامل موثر بر افزایش مقاومت الکتریکی ویژه بتن است. یونهای موجود در بتن نقش موثری دارند و کلرید سدیم بشدت مقاومت الکتریکی آن را کاهش می دهد. بهر حال ضخامت بتن هم در این امر تاثیرگذار می باشد. بنابراین هر چه ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها بیشتر باشد و کیفیت بتن بهتر ساخته شود، پس از آغاز خوردگی، شدت جریان کمتری در بتن و میلگرد دیده می شود. بنابراین شدت خوردگی که دقیقاً متناسب با شدت جریان موجود است کمتر می گردد. برخی اوقات علاوه بر این ممکن است

نوعی از جریان الکتریکی، این آهنگ خوردگی را تشدید کند یا آن را کاهش دهد. بهر حال همه موارد ذکر شده برای یک فولاد در بتن است، اگر یک قطعه بتنی را در نظر بگیریم که میلگردهای طولی و عرضی دارد، ممکن است فولادهای نزدیک تر به سطح خارجی آند شده و میلگردهای دیگر که به آنها اتصال الکتریکی دارند کاتد شوند و میلگردهای آند سریع تر از حالت معمولی و انفرادی خورده می گردند. از توضیحات فوق روشن می شود که نمی توان بخوبی و با دقت، زمان خرابی کامل (ریختن بتن از روی میلگرد) را پیش بینی نمود و هنوز مدلهای مناسبی برای پیش بینی این امر ارائه نشده است. مدل *Life365* موسسه *ACI*، زمان ۵ تا ۶ سال پس از شروع خوردگی را پیشنهاد داده است که بسیار تقریبی است و متاثر از هیچکدام از عوامل ذکر شده نمی باشد.

سوال ۷- چگونه ممکن است بدون نفوذ یون کلرید به بتن، از همان ابتدا خوردگی فعال میلگردها شروع شود؟

پاسخ ۷- همانگونه که در پاسخ یکی از پرسش های پیشین گفته شد چنانچه لایه انفعالی بر روی میلگرد تشکیل نشود، خوردگی می تواند از همان ابتدا شروع شود. در این حالت باید فرض نمود که میلگرد بصورت لخت و برهنه می باشد و مانند یک میلگردی که در هوا قرار دارد دچار زنگ زدگی می شود و نیازی به وجود یون کلرید برای خوردگی ندارد. جالب است گفته شود که اغلب تصور می کنند تنها دلیل خوردگی میلگردها در بتن، نفوذ یون کلرید به داخل بتن است، در حالی که ابدأ اینطور نیست و همانطور که قبلاً گفتیم نفوذ یون کلرید به درون بتن و رسیدن غلظت کلرید بتن مجاور با میلگرد به غلظت بحرانی (آستانه خوردگی) صرفاً یکی از مواردی است که می تواند لایه انفعالی را از بتن ببرد و خوردگی با وجود رطوبت و اکسیژن شروع شود. بصورت عامیانه دلیل خوردگی، وجود کلرید عنوان می شود در حالی که وجود کلرید صرفاً باعث از بین رفتن لایه انفعالی است نه شروع خوردگی.

سوال ۸- نحوه ورود یون کلرید به بتن در مناطقی که دارای یون کلرید است چگونه می باشد؟

پاسخ ۸- ورود یا درون رفت یون کلرید به بتن در مناطقی که دارای یون کلرید است بسته به شرایط قرارگیری بتن دارد. هم چنین بدون توجه به شرایط قرارگیری، بطور کلی ورود یا نفوذ یا درون رفت (*Ingress Penetration Transportation*) کلرید یا مواد زیان آور و رطوبت به بتن به صورت زیر در نظر گرفته می شود که البته بسته به شرایط قرارگیری ممکن است یک یا چند تا از آنها موضوعیت داشته باشد.

الف: ورود بصورت نفوذ یا نفوذپذیری (*Permeability*) از طریق اختلاف فشار هیدروستاتیکی با توجه با رابطه دارسی مانند اختلاف فشار آب در دو طرف یک دیواره زیر زمین یا مخزن آب یا دیوار حائل

ب: درون رفت از طریق جذب (*Absorption*) یا از طریق مکش (*Suction*) مانند زمانی که یک بتن درون آب قرار می گیرد و اختلاف فشار هیدروستاتیکی قابل توجهی وجود ندارد. جذب آب پاشیده شده بر روی سطح بتنی از این جمله است

پ: مکش موئینه یا از طریق خاصیت موئینگی (*Capillarity*) که به نوعی اختلاف فشار منفی را دارا می باشد مانند زمانی که یک قطعه بتنی روی سطح خاک قرار دارد یا بخشی از آن درون آب یا خاک قرار دارد و رطوبت به سمت بالا حرکت می کند و می تواند مواد محلول در خود را نیز حرکت دهد.

ت: درون رفت از طریق انتشار (*Diffusion*) که برای ورود یونهای مختلف محلول در آب موضوعیت دارد و در واقع این درون رفت به واسطه اختلاف در غلظت یک یون در دو محیط متفاوت بوجود می آید مانند آنکه یک بتن اشباع از آب، در آب دریا قرار گیرد و پس از مدتی عملاً یون های آب دریا وارد بتن خواهد شد زیرا یون ها از سمت غلظت زیاد به سمت بتنی که از غلظت این یونها در آن کم است به تدریج منتقل خواهد شد. این برای هوای دارای یون کلرید نیز صادق است.

ث: درون رفت از ترک موجود در بتن که به آن انتقال *Transportation* می گویند. در عمل اغلب بتن ها دارای ترکهای ریز و درشتی است که یون ها و آب می تواند از طریق آنها به بخش های دورنی بتن منتقل شوند.

ج : مهاجرت (*Migration*)، درون رفت به دلیل تحرکات یونی به دلیل جریان الکتریکی است که یون کلرید از یک سمت به سمت دیگر (یک قطب به قطب دیگر) خواهد رفت. در واقع اختلاف پتانسیل الکتریکی موجب چنین درون رفتی می شود. این صرفاً برای یون ها می باشد.

سوال ۹- آیا صرفاً رسیدن یون کلرید به میلگردهای مدفون در بتن باعث خوردگی آنها می شود؟

پاسخ ۹- اگر رسیدن یون کلرید به هر مقدار به سطح فولاد موجب شروع خوردگی می شد در همه بتن ها باید از همان ابتدا، شروع خوردگی را شاهد بودیم زیرا به هر حال در تمام بتن ها کم و بیش مقداری یون کلرید وجود دارد و از همان ابتدا یون کلرید در تماس با فولاد قرار می گیرد. همانگونه که در یکی از پاسخ ها اشاره شد وقتی غلظت یون کلرید در بتن از حد معینی بنام غلظت بحرانی بیشتر می شود، لایه محافظ (انفعالی) ایجاد شده بر روی سطح میلگرد، متلاشی می شود و خوردگی می تواند آغاز گردد. موضوع مهم اینست که این غلظت بحرانی یا آستانه خوردگی چقدر است؟ بهر حال امروزه در مورد مقدار این غلظت بحرانی توافق و اجماعی وجود ندارد و اختلاف نظرهای جدی بین آنها دیده می شود. غلظت بحرانی یون کلرید معمولاً به دو صورت وزنی نسبت به وزن بتن یا بصورت علمی تر بصورت درصد وزنی نسبت به وزن سیمان مطرح می شود.

سوال ۱۰- آیا غلظت کلرید بحرانی دارای مقدار خاصی است؟ ظاهراً گفته شد که دانشمندان در این مورد متفق القول نیستند؟

پاسخ ۱۰- همانگونه که در پاسخ قبلی گفته شد دانشمندان علم خوردگی میلگردهای بتن در مورد غلظت بحرانی یون کلرید یا آستانه خوردگی یون کلرید متفق القول نیستند. این مقدار کلرید از کمتر از ۰/۴ درصد تا بیش از ۰/۸ درصد وزن بتن یا کمتر از ۰/۲۵ درصد تا بیش از ۰/۵ درصد وزن سیمان در تحقیقات مختلف توسط پژوهشگران متفاوت ارائه شده است. این بازه ای

بسیار گسترده است و امروزه روشن شده است که احتمالاً همه این اعداد و مقادیر ممکن است صحیح باشد! قبلاً در مواردی گفته شد که pH بتن های مختلف یکسان نیست و تابع عوامل مختلفی است. روشن شده است که هر چه pH بتن بیشتر باشد، آستانه خوردگی آن از نظر غلظت کلریدی که باعث از بین رفتن لایه محافظ میلگرد می شود، افزایش می یابد. بنابراین دلیل اختلاف بین نتایج پژوهش ها می تواند این تفاوت بین pH بتن ها باشد. برخی نشان داده اند که نسبت $\frac{cl}{OH}$ در بتن (خمیرسیمان) در این مورد مهم است و چنانچه این نسبت بیش از $0/6$ باشد لایه انفعالی از بین می رود. مقدار یون OH به نوعی در ارتباط با pH بتن با خمیر سیمان است هر چه pH بیشتر شود OH نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین تا حدودی این مسئله روشن می شود که علت اختلاف پژوهش ها چه بوده است. لازم به تذکر است که در مورد نسبت $0/6$ نیز توافق کاملی وجود ندارد و ACI آن را در حدود $0/3$ می داند اما توضیحی در باره علت اختلاف نمی دهد. ذکر این نکته می تواند روشنگر باشد که pH برابر 14 نسبت به pH برابر 13 ، ده برابر است pH برابر $CologH$ می باشد و دلیل ده برابر بودن 14 نسبت به 13 روشن می شود. بالا بردن pH به استفاده از سیمان بیشتر و بالا بودن C_3S در سیمان و برخی یون های قلیایی دیگر و درجه هیدراته شدن و تشکیل CH (هیدروکسید کلسیم) ارتباط دارد. لذا از این نظر بهتر است برای به تعویق انداختن زمان شروع خوردگی، مقدار pH بتن بیشتر باشد.

سوال ۱۱- آیا همه یون های کلریدی که در بتن وارد می شوند، می توانند خود را به میلگردها برسانند؟ سازوکار این امر چگونه است؟

پاسخ ۱۱- کلریدها مانند بسیاری از مواد یا یونهای دیگر با سازوکارهای مختلفی همچون جذب، نفوذ، جذب موئینه، انتشار، انتقال یا مهاجرت می توانند به درون بتن رخنه کنند. بنا به دلایلی یون کلرید قدرت رخنه بیشتری را نسبت به یونهای دیگر دارد. یون کلرید باید بتواند با رخنه به درون بتن، خود را به سطح فولاد برساند و غلظت آن به حد بحرانی برسد تا لایه انفعالی را از بین ببرد. در این مسیر، برخی کلریدها درگیر و به عبارت عامیانه زمین گیر می شوند و بقیه به راه خود ادامه می دهند. آنها که از حرکت باز می مانند را یون کلرید مقید و بقیه را یون کلرید آزاد می نامند. مقید شدن یون کلرید به دو شکل فیزیکی و شیمیایی وجود دارد. با درگیر شدن کلریدها از مقدار کلرید آزاد (پادار) کاسته می شود و یون کلرید کمتری به فولاد بتن می رسد و معنای آن به تاخیر افتادن رسیدن به غلظت بحرانی و شروع خوردگی است. محصولات هیدراته شدن سیمان بویژه $C-S-H$ می تواند بصورت فیزیکی یون کلرید را جذب و مقید کند. قید شیمیایی بصورت ترکیب شدن یون کلرید با هیدرات C_3A می باشد. نتیجه این ترکیب، محصولی به نام نمک فریدل می باشد. این سازوکار نیز می تواند تاخیر در شروع خوردگی و از بین رفتن لایه انفعالی را باعث شود. بدیهی است مجموع کلرید آزاد و مقید، کل کلرید موجود در بتن را تشکیل می دهد. با پیشرفت هیدراته شدن سیمان، $C-S-H$ بیشتری تشکیل می گردد و قید فیزیکی می تواند افزایش یابد. اما قید فیزیکی در دمای بیشتر کمتر می شود زیرا تحریک و جنبش یون های کلرید بیشتر می گردد.