



# پرسش و پاسخ

پرسش و پاسخ - دوره آموزشی

(مشکلات اجرایی بتن در محیطهای خورنده خلیج فارس و دریای عمان)

بندرعباس ۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۸ (بخش چهارم)

**سوال ۸۲ - افزایش طول مدت عمل آوری رطوبتی چه تاثیری بر کیفیت بتن و خوردگی میلگرد دارد؟**

افزایش طول مدت عمل آوری رطوبتی کمک زیادی را در ارتباط با افزایش کیفیت بتن به ما می کند. این افزایش مدت در درجه اول موجب افزایش مواد هیدراته شده  $C-S-H$  می گردد و به آب بندی و نفوذناپذیری بیشتر کمک می کند و مقاومت فشاری را نیز زیاد می کند و در نتیجه ضریب انتشار یون کلرید کمتر و مقاومت الکتریکی بتن نیز بیشتر می شود. از طرفی افزایش مدت عمل آوری باعث کاهش جمع شدگی ناشی از خشک شدگی بتن سخت شده پس از خاتمه عمل آوری خواهد شد و احتمال ترک خوردگی بتن را نیز کم می کند. بنابراین به دلایل فوق در مجموع برای کاهش نفوذ یون کلرید در هر مقطع زمانی و افزایش زمان شروع خوردگی و همچنین کاهش شدت خوردگی مفید است. در واقع مدت زمان عمل آوری به نوع سیمان و مواد پوزولانی، نسبت آب به سیمان، دمای محیط (سطح بتن) و شرایط محیطی بویژه از نظر رطوبتی پس از خاتمه عمل آوری نیز ارتباط دارد.

**سوال ۸۳ - نقش مواد لاتکس (چسب بتن) در بتن چیست؟ آیا برای مناطق خورنده مصرف این مواد توصیه می شود؟**

مواد لاتکس یا همان چسب بتن در صورت مصرف در ملات یا بتن معمولاً موجب افزایش چسبندگی بتن جدید به بتن قدیم، کاهش مقاومت فشاری، کاهش ضریب ارتجاعی، کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلرید می شود. معمولاً در صورت بکارگیری این مواد در بتن یا ملات، مقدار  $RCPT$ ،  $RCMT$  کاهش و مقاومت الکتریکی بتن افزایش می یابد. بهر حال نمی توان از این مواد در بتن های سازه ای استفاده کرد زیرا هزینه آن بسیار زیاد است و مقاومت فشاری و ضریب ارتجاعی بتن را می تواند به شدت کاهش دهد. معمولاً "در ملاتهای تعمیراتی یا اندودها و روکش ها از این مواد در ملات های سیمانی استفاده می شود.

**سوال ۸۴ - آیا از درزهای اجرایی، مواد زیان آور مانند یون کلرید نفوذ می کند؟ چه باید کرد تا این درز، یک ضعف محسوب نشود؟**

درز اجرایی در واقع یک درز سرد کنترل شده است و برای اجرای بخش بعدی، باید محل آن آماده سازی شود. چنانچه محل قطع (درز اجرایی) به نحو صحیح اجرا نشود و آماده سازی آن به نحوی نباشد که اتصال و پیوستگی دو بتن بخوبی تامین شود، مسلماً "بعلت ضعف در پیوستگی، می تواند علاوه بر مشکلات سازه ای، موجب نفوذ رطوبت و مواد زیان آور گردد. خشن و زبرسازی بتن

قدیمی، اشباع کردن آن و ریختن بتن بعدی در کنار یا روی آن، استفاده از لاتکس یا اپوکسی بر روی بتن قدیمی یا بکارگیری یک لایه ملات حاوی لاتکس (بویژه در درزهای اجرایی افقی) می تواند موجب بهبود این، پیوستگی و اتصال شود و مانع درون رفت مواد زیان آور از این محل گردد. لاتکس ها ممکن است از نوع اکریلیک، SBR یا PVA باشد.

**سوال ۸۵- آیا هر مقدار از میکروسیلیس یا پوزولانهای دیگر و سرباره می تواند به شدت بر نفوذ یون کلرید و خوردگی میلگردها اثر گذارد؟**

قبلاً "گفته شد که پوزولانها و سرباره ها می توانند نفوذپذیری کلرید و شدت خوردگی را کاهش دهند. پاسخ این پرسش در یک کلام آنست که هر مقدار از آنها نمی تواند تاثیر درخور و مناسبی را داشته باشد. برای مثال در مورد میکروسیلیس ثابت شده است که مقدار جایگزینی کمتر از ۵ درصد تقریباً اثر محسوسی در مورد کاهش نفوذ یون کلرید و افزایش مقاومت الکتریکی ندارد. حتی در برخی پژوهش نشان داده اند که مثلاً مصرف ۲ درصد میکروسیلیس وضعیت بدتری را نسبت به عدم مصرف آن بوجود آورده است. بهرحال مصرف مابین صفر تا ۵ درصد عملکرد مناسبی را از نظر مقاومت و دوام ندارد. در مورد سائز پوزولانها نیز بسته به نوع آنها، حداقل خاصی تعیین شده است. در مورد سرباره نیز حداقل ۲۵ درصد مشخص شده است.

**سوال ۸۶- امروزه موادی بنام ژل میکروسیلیس مصرف می شود که مقدار آن به حدود ۲ درصد وزن سیمان محدود می گردد. آیا میکروسیلیس حداکثر ۱٪ وزن سیمان می تواند در این مناطق خورنده موثر باشد؟**

اصولاً در بازار ایران چند نوع محصول را تحت نام ژل میکروسیلیس عرضه می کنند که هیچکدام از آنها دارای استاندارد نیست، مگر استانداردهای خود ساخته و یا ارجاع به استانداردهایی که هیچ ربطی به این محصولات ندارد. در ابتدای دهه ۸۰ شمسی به دلیل مشکل مصرف میکروسیلیس پودری در تراک میکسر یا در بچینگ های موسوم به راه ماشین، سعی شد محصولی مرکب از میکروسیلیس، آب و روان کننده ساخته شود که نام آن طبق ادبیات فنی موجود در دنیا دوغاب (*Slurry*) میکروسیلیس حاوی روان کننده است. این محصول از دوغاب های رایج دنیا اندکی سفت تر بود تا دچار ته نشینی و جدا شدگی نشود. ظرف آن نیز حداکثر ۲۰ لیتری بود تا همه آن در یک نوبت در مخلوط کن تخلیه شود تا در صورت جداشدگی نیز، مشکل بوجود نیارد. این ماده را به دلیل سفتی بیش از دوغابهای رایج دنیا که براحتی پمپ می شد، ژل میکروسیلیس نامیدند و این نام در ادبیات دنیا جایگاهی ندارد. این محصول حاوی ۴۵ تا ۵۰ درصد میکروسیلیس، ۴۰ تا ۴۵ درصد آب و ۵ تا ۱۰ درصد روان کننده یا فوق روان کننده مایع بود. تولیدکنندگان در دستور مصرف آن، مقدار ۵ تا ۹ درصد را نسبت به مواد سیمانی یا سیمان توصیه می کردند. بهرحال با مصرف ۵ تا ۹ درصد عملاً در حال خوشبینانه، ۲/۵ تا ۴/۵ درصد میکروسیلیس نسبت به وزن سیمان یا مواد سیمانی بکار می رفت که مقدار ۴/۵ درصد، حداقل مجاز مصرف برای مناطق خورنده کلریدی شناخته می شد و مقادیر کمتر، غیر اصولی بود. علت توصیه به مصرف کمتر، قیمت تمام شده زیاد آن در هر متر مکعب بتن بود که آن را توجیه ناپذیر می کرد.

در اواخر دهه ۸۰ شمسی، نوعی دیگر از ژل میکروسیلیس به بازار عرضه شد که ۵۰ درصد آن میکروسیلیس و ۵۰ درصد دیگر فوق روان کننده پلی کربوکسیلاتی ۴۰ درصدی بود. بنابراین امکان مصرف زیاد آن در بتن وجود نداشت و باعث جداسازی و آب انداختن و دیرگیری شدید بتن می شد. لذا تولیدکنندگان مقدار مصرف آن را ۱ تا ۲ درصد وزن سیمان یا مواد سیمانی قید می کردند. بدین ترتیب مقدار مصرف میکروسیلیس عملاً ۰/۵ تا ۱ درصد وزن سیمان بود. از آنجا که هزینه مصرف آن در بتن خیلی کمتر می شد لذا اقبال عمومی مشاورین و پیمانکاران را بدنبال داشت و جالب است هیچکدام از خود نمی پرسیدند که اصولاً هدف از مصرف این ماده در بتن چیست و غالباً بالا رفتن مقاومت بتن را گوشزد می کردند که هدف اولیه مصرف آن نبود. این مقدار میکروسیلیس عملاً تاثیری بر مقاومت و دوام بتن ندارد بلکه ممکن است سبب کاهش دوام نیز شود.

در پاسخ قبلی گفتیم که حداقل مصرف میکروسیلیس جایگزین سیمان حدود ۵ درصد است و مسلماً این مقادیر نمی تواند جوابگو باشد. از آن بدتر آنکه در همین دهه ۸۰ شمسی، عده ای سودجو، موادی را تحت عناوین ژل میکروسیلیس یا مکمل سیمان تولید کرده اند و تاکنون نیز تولید می کنند که اجزای مصرفی آن مشخص نیست. برخی مواد پودری که مقداری از آن ممکن است میکروسیلیس باشد را داراست و حتی قید نمی کنند که چقدر از آن آب یا مواد پودری آن از چه نوعی است تا بتوان نسبت آب به سیمان را محاسبه کرد. گاه دیده می شود که ذرات ریز ماسه یا پودرهای درشت آسیاب شده در کف ظروف این محصولات ته نشین شده است. بنابراین به هیچ وجه نباید از آنها استفاده کرد. اخیراً مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی درصدد بر آمده است تا برای ساماندهی به این اوضاع، دستورالعملی را برای ارائه گواهینامه به این محصولات تهیه کند زیرا امکان استاندارد سازی در حال حاضر وجود ندارد.

**سوال ۸۷- آیا مدت عمل آوری در مناطق خورنده با مناطق معمولی فرق می کند؟ دما، نوع مواد سیمانی و پارامترهای دیگر مانند باد، آفتاب و رطوبت نسبی محیط چگونه تاثیرگذار است؟ آیا برای مناطق خورنده همین عوامل دخیل هستند؟**

بدیهی است از آنجا که دوام بتن مسلح در این مناطق از اهمیت برخوردار است لازم است تا مدت عمل آوری در این مناطق خورنده کلریدی را افزایش داد. جالب است بدانیم که در سالهای اخیر، آئین نامه های بتن اروپا و *ACI* به نوعی قائل به رده بندی عمل آوری شده اند. در اروپا و در استاندارد، *EN13670* چهار رده عمل آوری تعریف شده است که در رده ۴، رسیدن به ۷۰ درصد مقاومت مشخصه فشاری را ضروری می داند و برای بتن هایی است که دوام آن اهمیت دارد. در *ACI* رده بندی فعلاً به شکل اروپا وجود ندارد ولی قبول دارد که در مواردی که دوام بتن مهم است باید به ۷۰ درصد مقاومت مشخصه فشاری دست یافت و از این نظر توافق وجود دارد. در آئین نامه جدید بتن ایران نیز رده های عمل آوری تعریف شده است و از طراح پروژه خواسته است که با توجه به دوام مورد نظر و هم چنین شرایط محیطی پس از خاتمه عمل آوری، از رده مورد نظر استفاده کنند و در مشخصات فنی خصوصی پروژه رده مربوطه را ذکر نمایند.

مسلماً مدت عمل آوری در هر رده عمل آوری تابع نوع مواد سیمانی و دمای محیط یا سطح بتن است و باد، آفتاب و رطوبت نسبی محیط، شرایط پس از پایان عمل آوری را معین می کند که براساس آن رده عمل آوری تحت تاثیر قرار می گیرد و هر چه رده بالاتری بخواهیم، زمان عمل آوری بیشتر خواهد بود. در این آئین نامه گفته شده است که در مناطق خورنده جنوبی کشور از رده ۴ عمل آوری استفاده شود که مدت زمان عمل آوری را به مراتب افزایش می دهد.

### سوال ۸۸- تاثیر لقمه های مختلف بر خوردگی میلگردها چگونه است؟ کیفیت لقمه های بتنی چگونه باید باشد؟

لقمه یا فاصله نگهدار بین قالب و میلگرد به نوعی جزئی از پوشش بتنی روی میلگردها می باشد. کیفیت ضعیف آن درمقایسه با بتن مصرفی یا عضو مورد نظر، باعث ایجاد فضا یا مسیری برای عبور رطوبت و مواد زیان آور منجمله یون کلرید است که در بین مواد زیان آور، پرتحرک ترین یون محسوب می شود. بنابراین اگر از لقمه های بتنی (ملاتی سیمانی) استفاده می گردد توصیه می شود که کیفیت ملات یا بتن مصرفی در لقمه باید نزدیک به بتن اصلی (از نظر جذب آب یا نفوذ یون کلرید) باشد. هم چنین در صورت مصرف سیم آرماتوربندی در لقمه بتنی، باید ضخامت پوشش بتنی تامین گردد و نباید این مفتول یا سیم در هنگام ساخت در لقمه به مقدار زیادی فرو رود. متأسفانه هنوز ساخت صنعتی لقمه های مناسب مناطق خورنده، رایج نشده است و در کارگاههای هر پروژه اقدام به ساخت لقمه هایی بی کیفیت می کنند و مفتول یا سیم را تا آخر در لقمه فرو می برند. عدم توجه به  $\frac{W}{C}$  و نوع سیمان، نوع آب و حتی مصرف آب شور، عدم تراکم و عمل آوری مناسب (حتی فاقد عمل آوری) باعث می شود این لقمه های ساخته شده به شدت بی کیفیت باشند، حتی اگر به ضخامت آنها توجه شده باشد. در ۲۵ سال گذشته، سعی شده است به دلایل فوق از لقمه های پلاستیکی استفاده گردد. تجربه های مختلف در دنیا و برخی تجربیات در ایران نشان داده است که لقمه های پلاستیکی نیز در مناطق خورنده، نامناسب هستند هر چند ممکن است برای سایر مناطق، مناسب باشند. جا دارد که تولید صنعتی لقمه های بتنی با کیفیت در ایران گسترش یابد و لقمه های مخصوص شرایط مختلف قرارگیری در محیط های خورنده طبق آئین نامه های جدید بتن ساخته و مصرف گردد. بهر حال بتن لقمه های بتنی باید بخوبی مخلوط گردد. حداکثر اندازه سنگدانه آن معمولاً بهتر است از ۱۰ تا ۱۲/۵ میلی متر بیشتر نباشد. این بتن باید بخوبی در قالب متراکم و سپس بخوبی عمل آوری گردد تا به ۷۰ درصد مقاومت مشخصه فشاری لازم برسد. ضمناً باید حداقل و حداکثر عیار سیمان، حداکثر  $\frac{W}{C}$  و جذب آب و سایر الزامات نفوذ یون کلرید رعایت گردد.

سوال ۸۹- آیا نحوه تراکم بتن می تواند بر کیفیت بتن در مناطق خورنده اثرگذار باشد؟ معمولاً با ویبراتور خرطومی در اکثر پروژه ها عمل تراکم انجام می شود ولی گاه احساس می شود (در هنگام مغزه گیری و ...) بتن ها بخوبی متراکم نشده است. چرا؟

بتن برای خروج هوای ناخواسته (*Entrapped Air*) بکار می رود و تراکم کامل تر و بهتر می تواند باعث کم شدن شدید هوای بتن گردد. بدین ترتیب علاوه بر افزایش مقاومت های مکانیکی، نفوذپذیری آن کم می شود و به دوام آن اضافه می گردد. بدیهی است در مناطق خورنده نیز اینگونه خواهد بود.

در اغلب پروژه ها پس از انجام عمل تراکم در کارگاه، دیده می شود که حبابهای ریز و درشت هوا در مغز بتن وجود دارد. بدلیل شکسته شدن بتن یا گرفتن مغزه از بتن برای اهداف مختلف، این حبابها بخوبی در بتن آشکار می شوند که نشانه عدم تراکم کامل بتن می باشد. وجود ۱ درصد حباب هوا در بتن پس از تراکم امری طبیعی است و تا حدود ۲ درصد نیز قابل قبول است اما حباب هوای بیشتر، نشانه نقص تراکم می باشد. علت متراکم نشدن قابل قبول بتن، بویژه زمانی که از ویبراتورهای خرطومی (میله ای) استفاده می شود می تواند مربوط به یکی یا چند تا از عوامل زیر باشد. در ایران گاه همه این دلایل می تواند یکجا موجود باشد و چنین امری تحقق یابد.

الف: بکارگیری لایه های ضخیم تر از ۶۰ سانتی متر در تراکم بتن در بتن های روان و نسبتاً روان (اسلامپ ۱۲/۵ تا ۱۹ سانتی) و استفاده از لایه های بزرگتر از ۵۰ سانتی متر در بتن های خمیری (اسلامپ ۷/۵ تا ۱۲/۵)

ب: فرو نبردن کامل سر ویبراتور در تمام ارتفاع لایه بتن

پ: عجله برای بیرون کشیدن ویبراتور قبل از خروج کامل هوا و رو زدن شیره بتن

ت: فرو بردن میله ویبراتور در فواصلی بیش از ۱/۵ برابر شعاع اثر ویبراتور در آن بتن

**سوال ۹۰- در مورد تراکم مجدد برای پرکردن زیر میلگردها که در اثر نشست خمیری**

**خالی شده است بحث شد. آیا این امر بر کیفیت بتن ها نیز اثرگذار است؟**

تراکم مجدد علاوه بر پرکردن زیر میلگردهایی که بتن آن نشست کرده و خالی شده است می تواند حفرات و محللهایی که در اثر آب انداختن بتن، با مواد بتن پرنشده است را پرکند. این امر باعث می شود علاوه بر جلوگیری از ترک خوردگی ناشی از نشست خمیری، باعث افزایش مقاومت های فشاری، کششی، خمشی و کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام بتن گردد.

معمولاً در ایران، کمتر به این تراکم مجدد می پردازند و عملاً به آن اهمیتی نمی دهند.

**سوال ۹۱- مواد افزودنی بازدارنده خوردگی چیست؟ آیا برای مناطق خورنده جنوب**

**کشور می توان از این مواد استفاده کرد؟ آیا این مواد دارای استاندارد خاصی است؟**

مواد افزودنی بازدارنده خوردگی ابداً نقش نفوذناپذیرکننده و آب بند یا نم بندکننده ندارند بلکه صرفاً از طریق الکتروشیمیایی، باعث تاخیر در شروع خوردگی می شوند یا آهنگ خوردگی را کاهش می دهند.

این افزودنی ها تغییراتی را در آند یا کاتد یا هر دو ایجاد می کنند که به کنترل خوردگی می انجامد.

فرآیند خوردگی فولاد دارای یک آند است که در آن  $Fe^{++}$  تولید می شود و الکترون های آزاد شده در ناحیه آند، از درون میلگرد به کاتد می روند و در ناحیه کاتد یون  $OH$  ایجاد می کند. در بیرون

میلگرد و درون آب منفذی بتن (الکترولیت) اطراف میلگرد جریان دیگری وجود دارد و یونهای آهن از آند به کاتد می روند و یون های هیدروکسیل ( $OH$ ) از کاتد به آند حرکت می کند و در نزدیک ناحیه آند با یون آهن ترکیب و هیدروکسید آهن ایجاد می شود. هیدروکسید آهن با اکسیژن و رطوبت به زنگ آهن تبدیل می شود. مواد بازدارنده خوردگی، این فرآیند را در آند یا کاتد و یا هر دو کنترل می کنند.

بازدارنده های کاتدی شامل قلیاها و موادی مانند هیدروکسید آمونیوم، کربنات سدیم و سود سوزآور و برخی ترکیبات آنیلین هستند که به کاهش تشکیل یون آهن منجر می شوند. این مواد دارای چسبندگی کمتری به سطح فلز نسبت به مواد آندی هستند. موادی که هم آندی و هم کاتدی هستند همزمان بر آند و کاتد اثر می گذارند و از آنها استقبال بیشتری می شود. این مواد از مولکول های آروماتیک یا اولفینی تشکیل می گردند.

نوع دیگری از بازدارنده های خوردگی، لایه سازها هستند که از مواد آلی پایه آبی مانند آمین ها (*Amines*) و استرها (*esters*) و آلکیل سیلان ها و آلکانول آمین ها و نمکهای آنها هستند. این مواد بتدریج جذب سطح میلگرد می شوند و یک پوشش محافظ بر روی سطح میلگردها ایجاد می کنند. بازدارنده های آمینو الکیلی، سطح فلز را پوشانده و یون کلر را از فولاد مدفون دور نگه می دارد و از واکنش بین آب و اکسیژن در کاتد جلوگیری می کنند. ناگفته نماند که این مواد با ایجاد پوشش در جداره منافذ بتن، از ورود یون کلرید و رطوبت به داخل بتن تا حدودی جلوگیری می کند. دسته دیگری از بازدارنده های خوردگی، انفعالی و غیر فعال کننده ها هستند که یون آهن فرو را به فریک با انحلال پذیری کمتر تبدیل می کند.

نکته مهم آنست که نیتريت سدیم معروف ترین ماده بازدارنده خوردگی می باشد که بیشترین مصرف را در دنیا داشته است. برخی تحقیقات در ایران کم اثر بودن این ماده در محیط خلیج فارس را عنوان کرده اند.

هزینه مصرف مواد افزودنی بازدارنده خوردگی در بتن به دلیل قیمت و میزان مصرف آنها زیاد است و ممکن است قیمت بتن را بیش از دو برابر کند.

در ایران تاکنون اقبالی برای مصرف این مواد در بتن های مناطق خورنده کلریدی وجود نداشته است و پژوهش های کمی در این رابطه مشاهده می شود.

لازم به ذکر است که نیتريت ها معمولاً نقش زودگیرکننده هم دارند که مصرف آنها در مناطق گرم جنوبی ایران با مشکلاتی نیز همراه است.

استاندارد *ASTM C1582* مشخصات مواد بازدارنده خوردگی را ارائه می دهد که هنوز استاندارد معادل ایرانی نیز ندارد. در این استاندارد از آزمایش *ASTM G109* برای بازدارندگی استفاده می شود. هم چنین میتوان از آزمایش *ASTM G180* نیز استفاده کرد.

**سوال ۹۲- آیا الیاف میتوانند خوردگی میلگردها را به تاخیر اندازند؟ کدام الیاف تاثیر بیشتری دارد؟**



در آزمایش هایی که تاکنون در ایران انجام شده است دیده می شود که الیاف در نمونه های ساخته شده موجب افزایش جذب آب و نفوذپذیری شده است. این موارد را اینجانب برای الیاف پلیمری، الیاف شیشه و الیاف سلولزی دیده ام. شاید الیاف فولادی از این نظر بهتر باشند.

برخی معتقدند که علیرغم این اثر، بهتر است از الیاف در قطعات بتنی استفاده کنیم زیرا جمع شدگی و ریزترکهای ناشی از آن را کم می کند و از این نظر به کاهش نفوذ مواد زیان آور و کلرید منجر می گردد هر چند در نمونه های کوچک آزمایشگاهی نمی توان این پدیده را مشاهده کرد.

**سوال ۹۳- آیا نوع میلگردها از نظر شروع و آهنگ خوردگی یکسان عمل می کنند؟ دیده می شود در کارگاه در میلگردها خم شده زنگ زدگی زودتر اتفاق می افتد. دلیل آن چیست؟ همینطور در میلگردهای سرد کشیده یا سرد نورد شده یا اصلاح سرد شده با پیچاندن.**

اگر دقت کرده باشید وقتی در کارگاه، میلگردها را خم می کنند و در همان جا انبار می کنند، پس از گذشت مدتی، منطقه خم خورده دچار زنگ زدگی می شود در حالی که بقیه بخش های میلگرد هنوز دچار زنگ زدگی نشده اند. این پدیده در مناطق غیر خورنده نیز دیده می شود. بنابراین نشان می دهد که در اثر خم کردن میلگرد بصورت سرد، تغییراتی در ساختار فیزیکی آن حاصل می شود و بدون اینکه تغییر خاصی در ترکیبات شیمیایی آن بوجود آمده باشد، رفتار آن در برابر زنگ زدگی تغییر می کند. شبیه این پدیده برای نورد سرد و کشیدن میلگرد بصورت سرد یا پیچاندن آن در حالت سرد (برای تولید میلگرد سرد اصلاح شده با پیچاندن) نیز دیده می شود. میلگردها یا کابلهای پیش تنیده با مقاومت زیاد نیز به شدت مستعد خوردگی هستند و آهنگ خوردگی آنها نیز زیاد است. البته میلگردها یا کابلهای پیش تنیدگی نوعی از خوردگی هیدروژنی دارند که فعلاً موضوع بحث ما نیست.

ترکیبات شیمیایی (ناخالصی های) فولاد نیز علاوه بر روش تولید آن بر استعداد شروع خوردگی و آهنگ خوردگی موثرند. در مناطق خورنده کلریدی، چند میلگرد از یک رده که مربوط به کارخانه های مختلف ایران هستند و همزمان وارد کارگاه شده و در یک شرایط نگهداری می شوند، شروع به خوردگی و آهنگ خوردگی یکسان ندارند.

**سوال ۹۴- آیا شیره بتن سخت شده بر روی میلگردهای انتظار باید پاک شود؟ چرا؟**

معمولاً در هنگام ریختن بتن در قطعاتی مانند دیوار و ستون، میلگردهای انتظار با خمیر سیمان بتن آغشته می شود و در مرحله بعد، بخشی از میلگردهای تحتانی، دارای سطحی است که خمیر سیمان یا شیره سخت شده را دارد. این شیره بتن سخت شده در هوا و بدون عمل آوری، معمولاً مانع رسیدن و تماس بتن جدید به میلگردهای می شود. علاوه بر مشکلات سازه ای مانند کاهش پیوستگی بتن و میلگرد در منطقه همپوشانی میلگردها که بسیار با اهمیت است، تجربه نشان می دهد که خوردگی نیز زودتر در این قسمت حاصل می شود.



بهتر است بلافاصله پس از بتن ریزی، میلگردهای انتظار با یک گونی زبر خشک یا مرطوب پاک شود. در این مرحله، پاک کردن میلگردها بسیار آسان است ولی اگر اجازه دهیم زمان زیادی بگذرد نیاز به تمیزکاری آن با برس سیمی یا ماسه پاشی داریم.

### سوال ۹۵- چرا گفته می شود اپوکسی های غنی شده از روی ، بهتر از اپوکسی برای پوشش میلگردها هستند؟

قبلاً در قالب یک پاسخ دیگر به این موضوع پرداخته شد. در واقع اپوکسی غنی شده با روی به شرط اینکه دارای روی به مقدار کافی از نظر وزنی و حجمی باشد به نوعی گالوانیزه کردن سرد فولاد مدفون در بتن محسوب می شود. برتری آن نسبت به رزین اپوکسی ساده آنست که عایق الکتریکی نیست. هم چنین دارای آند قربانی می باشد. بدین ترتیب بویژه برای تعمیر مناسب است در حالی که میلگرد اپوکسی دار می تواند در تعمیر بخشی از سازه مسلح، ایجاد آند تکوینی کند و بعلت عایق بودن، موجب زنگ زدگی بسیار شدید میلگردهای بدون پوشش مجاور گردد. هم چنین در صورت خراشیده شدن سطح میلگرد اپوکسی دار، زنگ زدگی در آن نقطه با سرعت زیادی صورت می گیرد و قطع میلگرد، حتی در زمان ۶ تا ۱۲ ماه نیز گزارش شده است، در حالی که با پوشش اپوکسی غنی شده با روی، خراشیدگی سطح پوشش موجب زنگ زدگی نمی شود و روی می تواند از قسمت فاقد پوشش محافظت کند (در حدی که نقص و خراش خیلی زیاد نباشد)

بنابراین روشن شد که دلیل برتری این نوع پوشش روی دار نسبت به اپوکسی ساده چیست و بهتر است در محیط های خورنده کلریدی از این نوع پوشش بر روی میلگردها و اقلام فولادی مدفون در بتن استفاده کرد.

### سوال ۹۶- آیا می توان از دو پوزولان و سرباره یا بیش از آن در بتن استفاده کرد؟ آیا نتیجه خاص منفی یا مثبتی را بردارد؟ برای مناطق خورنده تاثیر آن چگونه است؟

بطور خلاصه باید گفت که می توان اینکار را انجام داد، یعنی از دو پوزولان و سرباره و یا تعداد بیشتری از آنها به همراه سیمان درون بتن استفاده کرد و از نظر فنی معمولاً جواب بهتری انتظار می رود. در مناطق خورنده نیز بصورت آزمایشگاهی و در عمل نیز نتایج بسیار مثبتی را بدنبال داشته است.

معمولاً سعی می شود از دو پوزولان یا یک پوزولان و یک سرباره استفاده شود. در این رابطه غالباً سعی می شود یک پوزولان ریز مانند میکروسیلیس بکار رود تا چگالی انباشتگی بیشتری حاصل گردد. برای مثال خاکستر بادی و میکروسیلیس یا سرباره و میکروسیلیس یا سرباره و خاکستر بادی یا متاکائولن و خاکستر بادی یا متاکائولن و سرباره می تواند بکار رود. امروزه گاه بیش از دو پوزولان و سرباره بکار می رود.

چنانچه در کنار سیمان، یک پوزولان و یک سرباره یا پوزولان دیگر استفاده شود به آن بتن سه جزیی می گویند و اگر تعداد مواد چسباننده بجز سیمان سه تا باشد بتن را چهار جزیی می نامند که این آخری چندان رایج نیست. در ایران نیز پژوهش های مختلفی در دانشگاه های معتبر ایران بر روی این بتن ها بویژه از نظر جذب آب و نفوذ یون کلرید و مقاومت الکتریکی انجام شده است

اما در ارتباط با خوردگی (شروع یا آهنگ آن) پژوهشی را ندیده ام. اگر یکی از پوزولانها از نوع میکروسیلیس یا متاکائولن باشد بعلت رشد سریعتر مقاومت، مشکل مقاومت اولیه کم خاکستر بادی یا سرباره جبران می شود و در دراز مدت نیز وضعیت بتن از نظر مقاومتی و دوام بدلیل وجود سرباره یا خاکستر بادی رشد بهتری خواهد داشت. بهرحال نکته منفی در مصرف این ها در کارگاه، نیاز به سیلوهای بیشتر و سختی توزین و اختلاط آنهاست.

**سوال ۹۷- وجود برخی موجودات دریایی چسبیده به سطح بتن، بویژه در منطقه جزر و مدی، چه تاثیری بر نفوذ یون کلرید و شروع خوردگی میلگردهای بتن و آهنگ خوردگی آنها دارد؟**

در بسیاری از محیط های دریاهاى آزاد و بویژه در خلیج فارس، موجوداتی بر روی سطح بتن و حتی سنگهای بویژه آهکی می چسبند، حتی وقتی فقط چند روز از قرار دادن آنها در آب گذشته باشد. این موجودات زنده دریائی نوعی صدف یا حلزون هستند که علاقه زیادی به محیط های حاوی کلسیم (آهک) دارند و با سوراخ کردن سطح به شدت به آن متصل می شوند و به تدریج سطح بتن در منطقه جزرومدی و حتی مغروق را اشغال می کنند. پوسته سخت و تیز آنها به شدت آزار دهنده و برنده است. در منطقه خلیج فارس به آنها گشر یا همان "قشر" می گویند. این پرسش همواره ذهن را مشغول می کند که آیا این موجودات، صدمه ای به بتن می زنند و بویژه برای خوردگی میلگردها خطری را به همراه دارند؟ و در سطح دنیا در مورد آنها مطالعاتی انجام شده است که نتایج کلی آنها اینست که این موجودات می توانند از نظر مکانیکی و مقاومتی به بخش های سطحی بتن صدماتی داشته باشند که از نظرسازه ای مهم نیست. از طرفی نشان داده اند که وجود این ها بر سطح بتن تا حدودی از نفوذ یون کلرید جلوگیری می کند و می تواند شروع خوردگی را به تعویق اندازد. بهر حال در مورد آهنگ خوردگی میلگردها در صورت وجود این موجودات چسبیده به سطح بتن اطلاعات خاصی ندارم.

**سوال ۹۸- در طول مباحث مطروحه گذشته، بطور تکراری از منافذ و حفرات موجود در بتن و خمیر سیمان و گاه از منافذ موئینه گفتگو به میان آمد. این منافذ چه هستند و چگونه تشکیل می شوند و اندازه تقریبی آنها چقدر است؟ آیا همه منافذ موجود در خمیر سیمان به نفوذ رطوبت، یون کلرید و دی اکسید کربن و اکسیژن کمک می کنند؟**

پرسش خوب و منطقی مطرح شده است که برای پاسخ کامل و دقیق به آن باید چندین ساعت وقت گذاشت و چندین صفحه را پرکرد. بنابراین سعی می شود بطور خلاصه و ساده به آن پاسخ دهیم.

زمانی که آب و سیمان مخلوط می شوند، فضای بین ذرات سیمان را آب پر می کند. ذرات سیمان معمولاً اندازه های بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر دارند که امروزه متوسطی در حدود ۴۰ تا ۵۰ میکرومتر دارد. بسته به نسبت آب به سیمان موجود، اندازه فضای بین ذرات متفاوت خواهد بود اما بهرحال اندازه آن از چند میکرومتر در کمترین فاصله دانه های سیمان تا چند ده میکرومتر در بیشترین فواصل تغییر می کند. فرض کنید خمیر سیمانی با نسبت آب به سیمان ۰/۵ داشته

باشیم، با این خمیر دارای حجم آب حدود ۱/۵ برابر حجم سیمان را به اشغال در می آورد. چنانچه یک واحد وزن سیمان هیدراته شود عملاً در حدود ۲۰-۲۲ درصد وزن خود (بیش از دوسوم تا حدود ۷۰ درصد حجم سیمان) آب مصرف می کند تا هیدراتها بویژه  $C-S-H$  و  $CH$  را بوجود آورد. نکته بسیار مهم آنست که مصرف آب صرفاً برای هیدراته شدن نیست و هیدراتها باید در کنار هم ژلی را تشکیل دهند که فضای بین آنها را آب اشغال می کند. آبی که برای تشکیل ژل بکار می رود در حدود ۱۸ درصد وزن سیمان خشکی است که هیدراته شده است. بنابراین مصرف آب عملاً ۳۸-۴۰ درصد وزن سیمان خشک خواهد بود که بخشی از آن بصورت آب شیمیایی هیدراته شدن و بخشی از آن بصورت آب ژل (آب فیزیکی تقریباً جدا ناشدنی) خواهد بود. به عبارتی حجم آب مصرف شده برای ایجاد ژل در مجموع ۱/۳ برابر حجم سیمان مصرف شده است! این ژل که در حفاصل سطح سیمان و آب بین ذرات سیمان با مصرف سیمان سطح ذرات و آب مجاور شکل می گیرد، حجمی بیش از سیمان مصرف شده را دارا است، اما حجم این ژل از مجموع آب شیمیایی و سیمان مصرف شده به اندازه یک چهارم حجم آب شیمیایی کمتر است.

لازم به ذکر است که فاصله بین ذرات  $C-S-H$  در ژل سیمان عملاً بطور متوسط در حدود ۲ نانومتر یعنی  $0/002$  میکرومتر است. در کمترین فاصله فقط ۲ ملکول آب جای می گیرد و در فاصله های بیشتر ممکنست تا ۴ ملکول آب قرار گیرد. هر ملکول آب  $0/3$  نانومتر است. بدین دلیل، آب با نیروی زیادی به  $C-SH$  می چسبد. بنابراین آب نمی تواند در این فاصله جایابی و تحرک داشته باشد. و بر این اساس نفوذپذیری نخواهد داشت. چگالی آبهای این فواصل زیادتر از آب معمولی (حدود ۱/۱) و در  $105^{\circ}C$  نیز نمی تواند بخش اعظم این آبها خارج شود. دمای یخ بندان این آب نیز  $78^{\circ}C$  است بنابراین با آب موجود در منافذ موئینه کاملاً تفاوت دارد و بطور کامل در دمای بیش از  $500^{\circ}C$  تبخیر می گردد. این منافذ ۲۸ درصد حجم ژل را تشکیل می دهد. اندازه حفرات (منافذ) موئینه در خمیر سیمان هیدراته شده بطور متوسط ۱۰۰۰ نانومتر است. برخی از آنها در خمیر سیمانی که بخوبی طی زمان زیادی هیدراته شده اند از ۱ میکرومتر بزرگتر هستند ولی اغلب آنها از  $0/1$  میکرومتر یا ۱۰۰ نانومتر کوچکتر می باشند. مقدار یا درصد منافذ موئینه تابع نسبت آب به سیمان و درجه پیشرفت هیدراته شدن سیمان است و برخلاف درصد منافذ ژلی است. که مقدار نسبتاً ثابتی است. آب منافذ موئینه می تواند بطور کامل در  $105^{\circ}C$  در طی مدت زیادی تبخیر شود جالب است بدانیم حجم این منافذ ژلی تقریباً سه برابر حجم آبی به ضخامت یک ملکول روی سطح کل ژل است.

سطح ویژه ژل حدود  $200 \frac{m^2}{gr}$  یا  $5 \times 10^8 \frac{m^2}{m^3}$  یا  $0/5 \frac{m^2}{mm^3}$  است. حتی با روش پرتوایکس این سطح ویژه را تا  $600 \frac{m^2}{gr}$  بدست آورده اند. خوبست بدانیم که سطح ویژه سیمانها حدود  $0/3 \frac{m^2}{gr}$  و میکروسیلیس  $20 \frac{m^2}{gr}$  می باشد. چنانچه بخواهیم بدانیم درصد حجم تقریبی منافذ موئینه در کل خمیر سیمان در هر درجه هیدراته شدن  $h$  چقدر است؟ می توانیم از رابطه زیر استفاده کنیم.

$$P_c = \frac{w/c - 0/36h}{0/32 + w/c}$$

که در آن  $W/C$  معادل نسبت آب به سیمان خمیر است. در این روابط فرض شده است درصد هوای موجود در خمیر سیمان برابر صفر است. حجم کل منافذ ژلی و موئینه در کل خمیر سیمان در هر درجه هیدراته شدن  $h$  رامی توان بصورت زیر نوشت .

$$P_t = \frac{w/c - 0/17h}{0/32 + w/c}$$

در کل، کیفیت خمیر سیمان را نسبت حجم ژل به مجموع فضای خالی و ژل ( $x$ ) مشخص می کند و عبارتست از

$$X = \frac{0/68h}{0/32h + W/C}$$

مقصود از فضای خالی، فضاهای موئینه است.

لازم است بدانیم که فضای خالی اولیه به تدریج کمتر و جای خود را به فضای موئینه و ژل می دهد، زیرا ژل ایجاد شده دارای حجمی بیش از سیمان خشک هیدراته شده است.

نکته جالب تر آنست که در خمیر سیمانهایی با نسبت آب به سیمان کم، با پرشدن فضای خالی از ژل، هیدراته شدن متوقف می شود و بسیاری از سیمانهای هیدراته نشده که در عمق ذرات سیمان هستند، همواره غیر هیدراته باقی می ماند و برخلاف تصور عامه در بتن های با نسبت آب به سیمان کمتر، سیمان غیر هیدراته بیشتری وجود دارند. همچنین مغز ذرات سیمان درشت تر از ۴۵ میکرومتر هرگز هیدراته نمی شوند.

مقصود از نسبت آب به سیمان کم، اغلب کمتر از ۰/۴۲ است و گاه مقصود کمتر از ۰/۳۸ می باشد. در نسبت های آب به سیمان کم، احتمال بسته شدن یا عدم ارتباط منافذ بسیار زیاد است. بویژه اگر در طول هیدراته شدن، رطوبت رسانی برای آن انجام شود. بهر حال بحث در مورد ساختار خمیر سیمان هیدراته و ژل سیمان بسیار مفصل تر از آنست که به آن اشاره شد.

