بررسی مسئله خورندگی در پایه‌های بتنی

سید قاسم نوبخت - محمد ابراهیم ظریف عاطفی
شرکت برق منطقه‌ای خراسان

چکیده :

در این مقاله سعی شده با استفاده از مطالعات و تحقیقاتی که توسط متخصصین صورت پذیرفته و با توجه به آزمایشات تجربی که در کارگاههای ساخت تیرهای بتنی در شرکت برق منطقه‌ای خراسان انجام گرفته است ، روشهائی ارائه گردد که بتوان پایه‌های بتنی ساخته شده از سیمان نوع ۲ را در مقابل عوامل جوی و شیمیائی تقویت نمود

شرح مقاله :

کارگاههای ساخت تیرهای سیمانی در شرکت برق منطقه‌ای خراسان با تولید ۱۸ تا ۲۰ هزار پایه بتنی در سایزهای مختلف طولی (۹ ، ۱۲ و ۱۴ متری) و قدرتهای کششی متفاوت (۲۰۰ ، ۴۰۰ ، ۸۰۰ کیلوگرم) از مهمترین مراکز تأمین پایه‌های بتنی شبکه‌های توزیع هستند.

چگونگی فعالیت این کارگاهها غالبا" بر اساس تجربیات حاصله از سالهای متمادی کار بوده که توسط رئیس کارگاه و ناظرین مربوطه اعمال می‌شده است. با توجه به تنوع مواد اولیه‌ای که به کارگاهها وارد میشود ، مسئولین کارگاه برای بدست آوردن استحکام و کیفیت مطلوب ناچار به انجام آزمایشات تجربی میشوند که اغلب این آزمایشها احتمالا" از مبنای علمی ضعیفی برخوردارند. از طرفی

شرائط مختلف جغرافیائی (اقلیمی ، جوی و ...) در استان خراسان امکانات خاصی را میطلبد تا بتوان عملیات تولید پایه را طوری انجام داد که هماهنگی و مناسبت لازم را با هر منطقه جغرافیائی داشته باشد. اما از آنجا که جنس مواد اولیه بدون توجه به این موضوع وارد کارگاه میشود ، باید تدابیری اتخاذ گردد تا حتی‌المقدور خصوصیات لازم از طرق دیگر بدست آید.

مهمترین مسئله طرح شده در این رابطه خورندگی شدید خاکهای نواحی جنوبی خراسان است که پایه‌های بتنی را به شدت مورد تهاجم قرار میدهد ، بطوریکه عمر مفید پایه‌ها در بعضی موارد به کمتر از نصف تقلیل می‌یابد. این اثرات به حدی است که استفاده از بتن ساخته شده از سیمان نوع ۲ هم که تا حد قابل قبولی در مقابل خورندگی و واکنشهای شیمیائی مقاوم است مشکل را حل نمیکند. همچنین با وجود بادهای شدید منطقه‌ای و کویری استحکام مکانیکی شبکه تا حد بسیار زیادی بستگی به استحکام بتن پایه‌ها دارد ، که حتی بتن ساخته شده از سیمان نوع ۵ هم جوابگوی آن نمیباشد.

۱- بررسی کیفیت پایه‌های بتنی :

برای بررسی کیفیت پایه‌های بتنی لازم است نخست مواد اولیه تشکیل دهنده آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

۱-۱- سیمان :

سیمان پرتلند از آسیاب نمودن کلینکر که شامل سیلیکاتهای کلسیم هیدرولیکی است تولید میشود و معمولا" شامل یک یا چند نوع از سولفات کلسیم است که در حین آسیاب کردن ، کلینکر به آن افزوده میشود. مصالحی که در سیمان استفاده میشود باید نسبتهای مناسبی از ترکیبات آهک ، آهن ، سیلیس و آلومینیوم داشته باشد.

بعد از تبدیل شدن مواد فوق به کلینکر با اضافه کردن گچ یا انیدرید ، تنظیم زمان گیرش سیمان انجام میشود.

$$CaO + Fe_2O_3 + SiO_2 + AL_2O_3 + CASO_4.2H_2O + MgO$$

منیزیت + گچ + آلومین + سیلیس + آهن + آهک

۲-۱- سیمان پرتلند :

انواع سیمان پرتلند دارای چهار ترکیب اصلی به شرح زیر است.

تری کلسیم سیلیکات	= C3S	3CaO , SiO2
دی کلسیم سیلیکات	= C2S	2CaO , SiO2
تری کلسیم آلومینات	= C3A	3CaO , AL2O3
تترا کلسیم آلومینو فریت	= C4AF	4CaO , AL2O3 , Fe2O3

- تری کلسیم سیلیکات باعث میشود که سیمان به سرعت سخت شود. گیرش و مقاومت اولیه بیشتر به این ترکیب مربوط است.
- دی کلسیم سیلیکات باعث میشود که سیمان به آهستگی سخت شود و بیشتر در افزایش مقاومت بعد از ۷ روز تاثیر دارد.
- تری کلسیم آلومینات باعث میشود که سیمان گرمای زیادی در چند روز اول آزاد کند. این ترکیب در روند کسب مقاومت اولیه هم کمی تاثیر دارد. سیمانی که این ترکیب را کم داشته باشد در برابر خاک و آب حاوی سولفات مقاوم است.
- تتراکلسیم آلومینوفریت باعث میشود دمای کلینکر کاهش یابد. این ترکیب بعنوان روانساز در پخت کلینکر عمل میکند.

درصد ترکیبات				
نوع سیمان	C3S	C2S	C3A	C4AF
1	55	19	10	7
2	51	24	6	11
3	56	19	10	7
4	28	49	4	12
5	38	43	4	9

جدول ۱

همانطور که در جدول (۱) آمده با مقایسه بین سیمان نوع ۲ و نوع ۵ و مقایسه مقدار C3S که عامل اصلی گیرش بتن است ملاحظه میشود که سختی و مقاومت سیمان نوع ۲ بمراتب بیشتراست (C3S موجود در نوع دو 51% و در نوع پنج 38% میباشد). البته قدرت ضد سولفاته بودن نوع ۵ با توجه به مقدار کم C3A از نوع ۲ بیشتر است. مندرجات جدول (۲) نیز مبین و مؤید این مطلب می باشد.

نوع سیمان پرتلند	حداقل مقاومت فشاری بر حسب درصد مقاومت سیمان نوع ۱ در ۷ روز			
	۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز
1	—	64	100	143
2	—	54	89	143
3	64	125	—	—
4	—	—	36	89
5	—	43	79	107

جدول ۲

آزمایشات انجام شده در کارگاه تیرسازی روی بتنهای ساخته شده از سیمان نوع ۵ و نوع ۲ نتایج زیر را بدست میدهد.

الف - برای جابجائی بتن ساخته شده از سیمان نوع ۲ حداقل به زمانی معادل ۴۸ ساعت نیازاست تا بدون ترک خوردگی در بتن عمل جابجائی انجام گیرد. در صورتیکه بتن ساخته شده با همان دانه‌بندی و سیمان نوع ۵ به حداقل ۷۲ ساعت زمان نیاز دارد.

ب - براساس جدول (۲) و جداول کاربردی که دراختیار ناظرین کارگاهها قرار دارد تیر بتنی ساخته شده از سیمان نوع ۲ پس از ۲۸ روز تقریبا " ۹۵% مقاومت نهائی خود را بدست آورده و جهت بهره‌برداری آماده میشود ، ولی تیر بتنی ساخته شده از سیمان نوع ۵ پس از ۴۲ روز به این حالت

میرسد. لازم به توضیح است که ۵٪ باقیمانده تا سر حد مقاومت نهائی به کندی و در طی سالهای طولانی (حدود ۹۰ تا ۱۰۰ سال) بدست می‌آید ، تا اینکه بتن به سنگ خارا تبدیل شود.

۲- چگونگی افزایش مقاومت فیزیکی و شیمیائی بتن :

امروزه علاوه بر مواد متشکله اصلی بتن (سنگدانه ها ، سیمان و آب) اغلب از مواد دیگری در بتن استفاده میشود که بطور عام مواد ثانوی نامیده میشود. این مواد به ۲ منظورمصرف میشوند.

الف - بهبود و ارتقاء کیفیت بتن ، نظیر افزایش روانی و کارآئی بتن ، بالا بردن مقاومت بتن و افزایش پایائی بتن در مقابل یخ بندان و سایر عوامل جوی واقلیمی.

ب - تقلیل نارسائیهای بتن نظیر تقلیل نفوذ پذیری و ...

برخی از مواد ثانوی مثل خمیرکننده‌ها یا زودگیرکننده‌ها از طریق یک اثر فیزیکی یا شمیائی ، مشخصه ذاتی بتن را بهبود بخشیده یا تغییر میدهند ولی خود بطور مستقیم نقشی در آن مشخصه ندارند ، که اصطلاحا" مواد افزودنی نامیده میشوند. برخی دیگر بطور مستقیم در تأمین مشخصه مورد نظر ایفای نقش میکنند مثل الیافهای فولادی ، الیاف پنبه نسوز یا رنگها که اینها را مواد فرعی مینامند. مواد افزودنی به سه دسته زیر تقسیم میشوند.

الف - مواد معین یا چاشنیها - به مقدار بسیار کم (کمتراز ۵٪ وزن سیمان معرفی) در موقع مخلوط سازی به بتن اضافه میشوند و به دلیل کم بودن وزن آنها در محاسبات وارد نمی‌شوند.

ب - افزودنیها - مواد بسیار ریز دانه‌ای هستند که به مقدار قابل ملاحظه ولی محدود به مخلوط بتن در حین اختلاط اضافه میشوند و در محاسبات وارد میشوند ، نظیر خاکسترهای آتش فشان.

ج - مواد مضاف که در کارخانه به سیمان اضافه میشوند. این مواد در بتن به جای افزودنیها یا مواد معین ایفای نقش میکنند مثل سرباره‌ها. اثر افزودنیها بر روی بتن تازه و سخت شده متفاوت است ، این اثر روی

بتن با دوغ‌آب تازه عبارت از افزایش کارآئی بتن بدون ازدیاد آب ، بهبود قابلیت پمپاژ و ... میباشد. همچنین این اثر روی بتن با ملات و دوغ‌آب سفت عبارت است از افزایش مقاومت کششی - خمشی - فشاری ، افزایش دوام و مقاومت در شرائط سخت جوی و محیطی ، کاهش نفوذ پذیری در مقابل مایعات ، جلوگیری از خورندگی فلزات مدفون ، بهبود مقاومت ضربه‌ای و شایشی و کنترل انبساط ناشی از واکنشهای قلیائی. همچنین ماده پودر مانندی به نام " ملمنت " بعنوان افزودنی در کارگاه تیرسازی مشهد مورد استفاده قرار میگرفت که اثر آن روان کنندگی بدون افزایش آب بود و مقاومت نهائی بتن را تا ۱/۵ برابر افزایش میداد.

افزایش مقاومت بتن از فرمول (۱) محاسبه میشود ، که در آن Fc مقاومت فشاری بتن و بترتیب C حجم مطلق سیمان ، W آب اختلاط ، a هوای محبوس در واحد حجم بتن میباشد و K ضریبی است که به نوع سیمان ، نوع بتن و نحوه نگهداری آن بستگی دارد و K ضریب مقاومت نامیده میشود.

$$FC=K(C/(C+W+a)^2 \qquad (1)$$

همانطورکه ملاحظه میشود افزایش سیمان همواره باعث افزایش مقاومت بتن نمیشود بلکه در یک حالت خاص ماکزیمم میشود. اما هر چه هوای محبوس شده و مقدار آب مخلوط در واحد حجم سیمان کم شود مقاومت فشاری بتن زیاد خواهد شد. لذا مواد افزودنی که در جهت کاهندگی آب اختلاط اثر دارند خودبخود باعث افزایش مقاومت فشاری بتن میشود (اثر ملمنت). افزودنیهای کاهنده آب ترکیبات مختلفی از مواد ارگانیک را دربر میگیرند که از متداولترین آنها میتوان لیگنوسولفوناتهای کلسیم ، سدیم یا آمونیوم را نام برد. بطور کلی برای اینکه کارآئی سیمان در بتن (قرار گرفتن بتن در قالبها) افزایش یابد باید آب بتن را افزایش داد ، که باعث کاهش مقاومت بتن میشود. با افزودن مواد کاهنده آب ، افزایش آب به منظور کارآئی بیشتر اثر مثبت روی بتن دارد. نهایتا" میتوان گفت افزودنیهای کاهنده آب ، نفوذ ناپذیری بتن را در برابر آب و محلولهای شیمیائی به مقدار زیادی افزایش میدهد ، و در نتیجه دوام بتن در مقابل یخ زدن ، آب شدن ، نفوذآب ، اکسیژن و دی‌اکسید کربن و دیگر عوامل زیان بخش افزایش مییابد.

۳- مواد حباب ساز :

فرمول (۱) نشان دهنده اینست که هر چه هوای محبوس در بتن کمتر باشد قدرت فشاری بتن بالاتر میرود. اندازه حبابهای هوا که معمولا" باعث کاهش مقاومت بتن میشود از ۰/۰۰۱ تا ۰/۲ میلیمتر میباشد که توسط ویبره کردن از بتن خارج میشود. در تیرهای با سطح مقطع دایره‌ای این عمل با سانتریفوژ تیر انجام میشود ، لذا این تیرها از مقاومت بالائی برخوردار میباشند. زمان ویبراسیون حدود یک دقیقه است و بستگی زیادی به مهارت کارگر مربوطه دارد. اگر هوا در ابعاد میکرون (حدود ۱۰ میکرون) بطور یکنواخت در سطح بتن توزیع شود (حداکثر فاصله حبابها ۵۰ میکرون) اثر بسیار زیادی در استقامت بتن خواهد داشت. حبابها در بتن مانند ساچمه عمل کرده و باعث روانی بتن میشوند. ضمنا" آب راه یافته به بتن در این حبابها جای گرفته و اثر مخرب آن بر روی بتن از بین میرود. حبابها در مقابل فشار ناشی از یخ زدن ذرات آب نفوذی و تبلور سولفاتها نقش مستهلک کننده داشته و با کوچک شدن حجم آنها در مقابل فشار ، از تخریب بتن جلوگیری میکنند. طبق استاندارد ASTM بین ۰/۱ تا ۰/۲۵ درصد وزن کلینکر ، ماده افزودنی حباب‌ساز به کلینکراضافه میشود. مواد حباب‌ساز اسیدهای چرب مانند اسید اولئیک یا اسید کاپریک و ... میباشند.

ویژگیهای بتن تازه	بتن کنترل	بتن حاوی مواد افزودنی حباب ساز
نسبت آب به سیمان	55%	55%
اسلمپ (میلیمتر)	300	45
درصد هوا	1.8	5.5
مقاومت در ۷ روز	274	286 Kg/Cm^2
مقاومت در ۲۸ روز	325	329
دانسیته	2430	2361 Kg/m^3

جدول ۳

۴- مواد فرعی :

این مواد بطور مستقیم در بدست آمدن مشخصه مورد نظر ایفای نقش میکنند. مثل الیافهای مصنوعی ، رنگ و ...

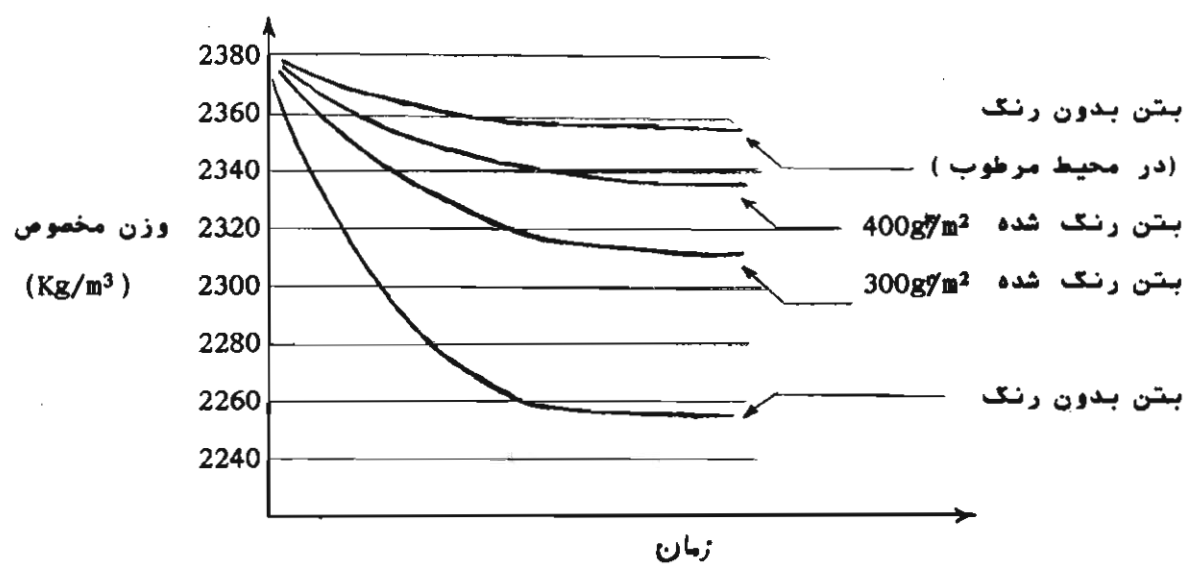
۱-۴- الیاف مصنوعی :

پلی پروپیلن یکی از الیافهای مصنوعی مهم جهت افزایش قدرت بتن است. فرآیند تولید کمپوزیت از این ماده (PP) با اختلاط بافته‌های چند لایه بریده شده (PP) در بتن بدست می‌آید. افزایش کمتر از 0.5% این ماده مقاومت ضربه‌ای بتن را افزایش میدهد. قیمت ارزان و سهولت عملیات ترکیب ، از خصوصیات این ماده است. بتن با الیاف مصنوعی در مقابل ازدیاد طول و خمش ، مقاومت زیادی از خود نشان میدهد. تنها ایراد PP اکسیداتیو آن در دراز مدت است که با افزایش مواد جاذب اشعه ماوراء بنفش در فیلمهای PP این اشکال برطرف میشود. ماتریس سیمان نیز حافظه خوبی است و استفاده از آن در بلند مدت اشکالی ندارد

۲-۴- رنگ :

رنگها با پر کردن درزهای بتن توسط فیلم حفاظتی ، خود تصعید آب موجود در بتن را به تأخیر می‌اندازند و این آب با سیمان فعل وانفعال شیمیائی انجام داده و سخت میشود. معروفترین این رنگها شامل رزین کوپلیمر وینیل کلراید است. این ماده پس از سخت شدن بتن از نفوذ گاز CO2 موجود در هوا به داخل بتن در دراز مدت جلوگیری میکند [نفوذ CO2 باعث کاهش خاصیت قلیائی بتن و کاهش دوام بتن در مقابل فولاد موجود (میلگرد) میشود].

$$Ca(OH)2 + CO2 = CO3Ca + H2O$$



شکل ۱

در شکل (۱) بتن بدون رنگ در محیط مرطوب به دلیل جذب آب وزن مخصوص زیادتری دارد ، و بتن رنگی در محیط خشک بعد از آن قرار دارد. آزمایشات مختلف نشان دهنده بهبود مقاومت خمشی و فشاری پس از رنگ آمیزی است. افزایش مقدار رنگ روی بتن تا میزان $400g/m^2$ مقاومت خمشی را تا 94% افزایش میدهد.

۱-۲-۴- چگونگی رنگ زدن بتن :

چند ساعت پس از ساخت ، بتن که هنوز فاقد درز و شیار است قابل رنگ آمیزی با قلم مو است. باید رنگ آمیزی ابتدا با رنگ آستری (ویسکوزیته کم) و سپس با ویسکوزیته زیادِ به ضخامت $200-400g/m^2$ انجام گیرد. اینکار عامل بسیار مهمی در جلوگیری از تهاجم عوامل جوی است.

۵- سولفاته شدن پایه‌ها :

پایه‌های بتنی به خاطر وجود ترکیبات آهکی دارای طبیعت قلیائی هستند. در بعضی از مناطق شرائط موجود طوریست که باعث از بین رفتن این خاصیت شده و نتیجتا" منجر به پوسیدگی بتن میشود. مهمترین عامل خنثی کردن بازها اسیدها هستند (آلی یا غیرآلی) که معمولا" بصورت محلول در آب و یا خاک منطقه مورد نظر وجود دارند. گازهای کوگرد دار در مناطق مرطوب روی بتن اثر نامطلوب دارد. آب مردابها و آبهای زیرزمینی که کم و بیش جوهر کوگرد دارند در سیمان ملات و بتن اثر سوء میگذارند. جوهر نمک HCI و جوهر شوره HNO3 با آهک بتن ترکیب CaCI2,Ca(NO3)2 میسازد. این دو ماده توسط آب شسته میشوند و نتیجتا" بتن در مقابل اسیدها آسیب پذیر میشود. اسید کربن H2CO3 ، سولفات منیزیم MgSO4 ، سولفات کلسیم CaSO4 و سولفات سدیم NaSO4 بصورت محلول در آب اثر سوء دارند.

۱-۵- سولفورها :

این مواد مثل سولفور آهن FeSO4 پس از آنکه تبدیل به جوهر کوگرد میشوند در ملات و بتن اثر نامطلوب دارند.

۲-۵- کلرورها :

کلرور آمونیوم NH4CL و کلرور منیزیم MgCL2 بصورت محلول در آب به بتن صدمه میرسانند زیرا کلر با آهک سیمان ، کلرورکلسیم میدهد که در آب حل میشود.

۶- نحوه حفاظت بتن در مقابل سولفاته شدن :

عواملی که باعث از بین رفتن حالت بازی بتن میشوند ، در مجاورت آب یا بصورت محلول ترکیبات آهک سیمان را تغییر داده و موجب فروپاشی بتن میشوند. روشهای حفاظت بتن در مقابل سولفاته شدن عبارتند از :

الف - اولین روش جهت محافظت بتن استفاده از سیمان نوع ۵ میباشد. این سیمان دارای اکسید آلومینیوم کمی است و به همین دلیل در مقابل واکنش شیمیائی مقاوم است.

ب - توپر ساختن بتن بطوریکه مانع نفوذ آب به داخل بتن شود. این روش با استفاده از مواد افزودنی که اشاره شد امکان پذیراست.

ج - اندوده کردن روی سیمان توسط فلوئور منیزیم و سیلیسیم که با آهک سیمان ترکیب شده و روی بتن را می پوشاند.

د - قیرپاشی (قیرگونی کردن) سطح پایه بتنی پس از آماده شدن بتن

ه - استفاده از رنگ روی بتن و الیافهای مصنوعی در زمان ساخت بتن

اگر زمین محل اجرای طرح در هر کیلوگرم خاک ، بیش از ۳ گرم $2+(SO4)$ (برابر ۵/۳۷ گرم گرد سنگ گچ $CaSo4,2H2O$ یا ۴/۲۵ گرم انیدریت $CaSO4$) داشته باشد تنها در مجاورت آب به بتن صدمه می زند. با توجه به خشک بودن نواحی جنوبی خراسان روشهای زیر برای تقویت پایه ها مناسب است :

الف - گود تیر با آجر یا سنگ لاشه قیراندود پوشانده شود و دیواره گود نیز با آجر قیراندود آجرچینی شود.

ب - استفاده از پلاستیک در گود تیر قبل از نصب تیر و ریختن بتن پای تیر داخل محفظه پلاستیکی

ج - استفاده از سیمان نوع ۲ جهت بتن ریزی و ایجاد بتن نمایشی پای تیر به ارتفاع حدود ۴۰ سانتیمتر برای جلوگیری از نفوذ آب از محل یقه تیر

د - دانه‌بندی دانه‌های سنگی عموما" ۶۰ الی ۸۰ درصد حجم بتن را اشغال میکند که درصد استفاده از این دانه‌ها بر اساس اندازه ثن و گراویه میباشد. مثلا" اگر اندازه ماسه از ۵-۰ میلیمتر و اندازه گراویه ۱۵-۵ میلیمتر باشد ، ترکیب مورد استفاده ۳۵٪ ماسه و ۶۵٪ گراویه در یک متر مکعب بتن ۲۰۰ کیلوگرم میباشد. و اگر ماسه ۸-۰ و گراویه ۱۸-۸ میلیمتر باشد ترکیب حاصل ۵۰٪ میباشد. (ماسه و گراویه باید کاملا" شسته شوند). دانه‌ها باید قبل از استفاده آزمایش شوند تا عاری بودن آنها از مواد سولفات محرز شود. اگر مجموعه بتن دارای ۴٪ خاک باشد مورد قبول است.

۷- آب اختلاط :

ناخالصیهای موجود در آب اختلاط بتن ، اثرات نامطلوب بر روی خواص بتن نظیر کیرش اولیه ، کیرش نهائی ، مقاومت در برابر حمله سولفاتها و مقاومت نهائی دارد. بطور کلی آبی که ذرات محلول در آن کمتر از ۲۰۰۰ قسمت در میلیون باشد میتواند به گونه‌ای رضایت بخش برای ساختن بتن استفاده شود و در غیر اینصورت باید آزمایشات معینی روی آن صورت گیرد.

۸- میلگرد :

میلگرد مورد استفاده در پایه‌های بتنی باید آجدار و از نوع A2 باشد تا سطح چسبندگی بتن با میلگرد بیشتر شود. در اینصورت در هنگام آزمایش تیرها میلگرد داخل بتن باید جابجا نشود. چنانچه میلگرد صاف باشد باید انتهای آنرا به اندازه ده برابر قطر آن تا نمود.

۱-۸- اثر مواد شیمیایی برمیلگرد فولادی :

خاصیت قلیائی سیمان منجر به ایجاد لایه حفاظتی نازکی از اکسیدآهن (Fe_2O_3) بر روی سطح فولاد میگردد و آنرا روئین و نتیجتا" در مقابل خوردگی مقاوم میکند (البته خوردگی متوقف نمیشود). تا زمانیکه این لایه موجود باشد بتن محیطی ایده آل برای حفاظت فولاداست. این لایه به دو طریق زیر از بین میرود.

الف - گاز انیدریک کربنیک موجود در هوا خواص قلیائی سیمان را خنثی نموده و به آهستگی سبب از هم گسیختن آن میشود.

ب - ورودیهای مهاجم میتواند این قشر محافظ را از بین ببرد. به دنبال آن رطوبت و وجود اکسیژن ، میلگرد را در معرض خوردگی شدید قرارمیدهد. زنگ زدگی فولاد باعث تنشهای شدید در بتن شده که نهایتا" باعث ترک خوردگی آن شده و از طریق این ترکها آب (احتمالا" حاوی کلرور) به داخل بتن نفوذ کرده و خوردگی میلگرد را تشدید میکند. میلگردها قبل از استفاده باید از هرگونه زنگ زدگی عاری باشد.

نتیجه :

در این مقاله بر اساس تجربیات عملی در کارگاههای تیرسازی برق منطقه‌ای خراسان و همچنین نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده توسط متخصصین بر روی پایه‌های ساخت این کارگاهها ، عوامل مهم در تولید تیرهای سیمانی مورد بررسی قرار گرفته و روشهای بهینه‌سازی تولید جهت کاهش میزان خوردگی در تیرهای سیمانی ارائه گردید. با توجه به مطالب مندرج در مقاله میتوان نتیجه گرفت که در صورت رعایت نکات ذکر شده تا حد مطلوبی از تخریب این نوع پایه‌ها جلوگیری شده و عمر مفید آنها افزایش خواهد یافت.

منابع :

۱- بتن و اجرای آن - مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

۲- طرح و کنترل مخلوطهای بتن - انتشارات انجمن سیمان پرتلند

۳- نقش مواد افزودنی در توسعه تکنولوژی - انتشارات دانشگاه امیرکبیر

۴- راهنمای بتن سازی - احمد حامی

۵- نتایج آزمایشات کیفیت تیرهای بتونی - شرکت برق منطقه‌ای خراسان