



چهارمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیرو

بررسی پدیده خوردگی پایه‌های بتونی در مناطق ساحلی و روش مقابله با آن

عبدالمعظم ساسونی زاده
شرکت توزیع نیروی برق استان خوزستان - امور برق شمال

چکیده :

در این مقاله ضمن بررسی پدیده خوردگی و یوسیدگی پایه های بتونی در منطقه یخ و بالای محل گیرداری آنها بازمین در مناطق ساحلی روش بکار گرفته شده برای تقویت پایه های بتونی در مقابل عوامل خورنده جوی و اقلیمی زمینهای شوره زار (خوزستان) مطرح شده است .

شرح مقاله :

شرایط اقلیمی خاص سواحل جنوب نظیر بالا بودن درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا (شرعی) و نیز بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی با غلظت نسبتاً بالای نمکهای محلول عواملی هستند که خوردگی و یوسیدگی پایه های بتونی در مناطق ساحلی را در پی می‌آورد. نفوذ املاح خورنده زمین بکامپوزیت و یاوزن باد و یابارانتهای تند و مورب محلی به این منطقه صورت می‌گیرد. به علاوه در هر بارندگی ریزش آب از امتزاج رطوبت پایه به منطقه کوچکتر از یک متر یخ غلظت گازهای اتمسفر ساحلی را در این قسمت به ۱۰ برابر رسانده و در پایه های بتونی تولید کلریم سولفو آلومینات هیسدرات بتام Ettringite مینمایند که به میکرب سیمان مشهور است $(3CaO, Al_2O_3, So_4Ca, 31H_2O)$ و بخاطر داشتن ۳۱ مولکول آب اضافی جرمی برابر ۱۲۰ تا ۲۰۰ درصد دارد که باعث منطاشی شدن بتون میگردد .

برای جلوگیری از تخریب که در عکس (۱) مشاهده میگردد تجاربی صورت گرفته که پیش از پرداختن به آنها لازم است مواد تشکیل دهنده پایه ها و روش تقویت آنها تجزیه و تعطیل شده و عوامل فیزیکی زمینه ساز و تعدید کننده خوردگی بررسی گردد .

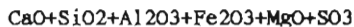


شکل (۱) - گسیختگی و ریزش بتن در منطقه یخه و بالای محل گیرداری

۱- ترکیبات پایه های بتونی :

مواد مختلفی که در تهیه و ساخت پایه های بتونی دخالت دارند بشروح زیر میباشند :

۱- سیمان : به همراه آب و مصالح غیرفعال یعنی شن و ماسه تولید بتن می نمایند. از مواد هیدراته که شامل ترکیبات مختلف سیلیکاتها و آلومیناتهای کلسیم بوده و به کلینگر نیز شناخته می شود است و از یختن و آسیاب کردن خاک رس و سنگ آهک به نسبت تقریبی ۱ به ۳ حاصل میگردد. امروزه بجای گچ مقداری انیدرید سولفوریک به آن اضافه میشود تا زمان گیرائی آن تنظیم گردد.



انیدرید سولفوریک + منیزیت + اکسید آهن + آلومین + سیلیس + آهک

ترکیبات اصلی سیمانهای مختلف در جدول (۱) بر طبق مشخصات A.S.T.M. نشان داده شده است.

خواص شیمیایی و مکانیکی سیمانهای مختلف از روی درصد ترکیبات آنها مشخص میگردد بطوریکه سیمان پرستند ممتاز که مقاومت ۳ روزه آن برابر مقاومت ۲۸ روزه سیمان پرستند معمولی است دارای حداکثر مقدار سیلیکات تری کلسیت بوده که عامل اصلی گیرش بتون میباشد و در محیطی که لازم است قالبها زودتر از معمول بازگردند از این نوع سیمان استفاده میگردد. همچنین سیمانهای ضد سولفات که در برابر محیط های سولفاتی مقاوم بوده و دارای مقدار کم آلومینات تری کلسیت هستند که عامل اصلی مقاومت در سیمانهای پرستند ضد سولفات (Sulfate Resistant Cement) و سیمان برقی است (High Alumina Cement).

طبقه بندی	نوع سیمان	3CaO و SiO ₂ C3S	2CaO و SiO ₂ C2S	3CaO و Al ₂ O ₃ C3A	4CaO و Fe ₂ O ₃ C4AF
1	معمولی	49%	25%	12%	8%
2	معمولی بهتر	46%	26%	6%	12%
3	ممتاز	56%	15%	12%	8%
4	جرات زای کم	30%	46%	5%	13%
5	ضد سولفات	43%	36%	4%	12%

۲-۱- مواد اضافی: برای بهبود مشخصات بتون لازم است مواد ثانویه مخصوصی به آن اضافه شود که ضمن مترکم نمودن آن باعث افزایش مقاومت شیمیایی گردد. مواد ثانوی که دارای خواص مختلفی میباشد پیاپی بتون را در برابر حرارت و سردت افزایش داده مانع پدیدیده زودرسی بتون میگردد. این مواد که از طریق عمل فیزیکی و شیمیایی فرآیند گیرش بتون را تغییر میدهند بعضی مانند مایع ضد سولفات فقط در سیمان نوع یک مصرف گردیده و برخی مانند مواد کاهنده آب (ملمنت) در همه نوع سیمان کارائی دارند و پاره ای خود مستقیماً در ترکیب دخالت دارند مانند الیاف نازک فولادی که در بتون فرو سیمانی نقش عمده دارند.

برخی مواد نظیر کیورینگ پوشش حفاظتی تشکیل داده و مانع تبخیر آب بتون میگردد. مواد دیگری نظیر سرباره ذوب آهن (Slag) حرارت ایجاد شده در بتون را کاهش داده و در مقابل عوامل خارجی خاصه سولفاتها بتون را مقاومتر مینمایند و یا بوزلان کم تاثیر آب در آن کند بوده و بواسطه داشتن SiO₂ آهک آزاد بتون را که عامل ضعف بتون میباشد در خود جذب مینماید.

۳-۱- مواد جابجاساز: این مواد شامل اسیدهای جرب نظیر کاپریک اسید اولئیک بوده و ۱/ تا ۲/ درصد وزن کل بتون را تشکیل میدهند این مواد با ایجاد میکرونی مانند سازه در بتون عمل نموده باعث روانی آن میگردد و چسبون بمرورت منفرد و مجزایافته ۵۰ میکرونی در بتون توزیع میگردد در مقابل فشار بیخ زدن نقش مستهک کننده داشته و با توجه به کوچک شدن حجم آنها در برابر آب عبور سولفاتها از تخریب بتون جلوگیری مینمایند.

۴-۱- شن و ماسه : استخوانبندی بتون را تشکیل داده و مقاومت آن به جنس و کیفیت اختلاط آنها بستگی دارد. باید از نوع دانه بندی شده باشد که بصورت جصی و یاوزنی و براساس قطر دانه بندی آنها مظلوط میگردد. چنانچه قطر ماسه شسته همیلمیتر و اندازه شن کمتر از ۱۵ میلیمتر باشد ترکیب مورد استفاده ۳۵% ماسه و ۶۵% شن در یک متر مکعب بتون با عیار ۴۰۰ کیلوگرم سیمان میباشد و اگر قطر ماسه کمتر از ۹ میلیمتر و قطر شن ۳۴ میلیمتر باشد ترکیب مورد استفاده ۵۰% ماسه و ۵۰% شن خواهد بود.

۳- روش اجراء :

پس از تهیه مواد فوق بانسبتهای ذکر شده و مظلوط کردن آنها بمدت ۵ تا ۸ دقیقه بتون ریزی قالبها انجام میگردد. در آزمایشاتی که در کارگاه بتیر بتونی اندیمتک جهت تعیین حداقل مقاومت فشاری بتون انجام شده نتایج جدول (۱) حاصل گردید.

نوع سیمان	مقاومت ۳ روزه $\frac{Kg}{Cm^2}$	مقاومت ۷ روزه $\frac{Kg}{Cm^2}$	مقاومت ۲۸ روزه $\frac{Kg}{Cm^2}$
۲	~ ۵۵	~ ۹۰	~ ۱۴۵
۵	~ ۴۰	~ ۷۵	~ ۱۱۹

جدول (۱) - مقاومت فشاری بتون

بطوریکه ملاحظه میگردد مقاومت ۳ روزه و ۷ روزه نمونه ای که با سیمان نوع ۵ تهیه گردیده ۱۵ درصد و مقاومت ۲۸ روزه ۳۶% کمتر از نمونه ایست که با همان مقدار شن و ماسه با سیمان نوع ۲ تهیه گردیده است. این اختلاف زمان کثیرش بخصوص در ساعات اولیه این امکان را برای ما فراهم مینماید که بتون ریزی قالب هادردومرجه انجام بپذیرد. ضخمت قسمت پائین قالب ها بطول ۲/۵ متر با بتون تهیه شده از سیمان نوع ۵ انجام شده و بلافاصله بقیه طول قالب با بتون تهیه شده از سیمان نوع ۲ تکمیل گردد. این تجربه که مناسب ترین روش ساخت پایه جهت زمینهای سولفاتی است مصرف سیمان نوع ۵ را که کمبود داشته و سهمیه ای میباشد نیز بخدا اقل میرساند. براساس آزمایش انجام شده کثیرش آهسته سیمان نوع ۵ امکان می دهد که عمل جابجایی پایه های از گذشت به شبانه روز انجام گیرد تا مانع ایجاد ترکهای مویی گردد و پس از گذشت ۴۲ روز مورد بهره برداری قرار گیرد که در این مدت ۹۵% مقاومت نهایی خود را کسب نموده است. ۵% مقاومت باقیمانده پس از گذشت سالها حاصل شده و بتون به سنگ (کنگنومرا) تبدیل میگردد.

۳- پیاپی و مقاومت فیزیکی و شیمیایی :

درجه تراکم نقش عمده و بسیار مهمی در مقاومت بتون دارد. سیرهای بتونی گردد که بد داشتن مقاومت بالا شهرت دارند بواسطه خارج شدن آب و صابهای هوای مازاد بتون که در اثر سانتریفوژ قالبها بعدت ۱۵ دقیقه با سرعت 1000 Rpm حاصل شده از حداکثر تراکم بر خوردارند. در ساخت سیرهای بتونی هوای محبوس بوسیله ویبراسیون خارج میگردد.

عمل لرزش اتا ۲ دقیقه بصورتی است که شیره بتون بالاتر قرار گیرد. بعلاوه با اضافه نمودن مواد کاهنده آب ساخت بتون عملاً با اسلامپ بالا بعمل آمده و فائد آب اضافی است. همچنین از طریق عمل آوردن مرطوب بتون با پوش حفاظتی کیورینگ که بلافاصله پس از بتون ریزی قالبها انجام میگردد از تبخیر جلوگیری و مانع ایجاد ترکهای حرارتی و خمیری بتون شده و از انقباض بتون جلوگیری میگردد. در آزمایشی که در کارگاه اندیشک با کاربرد مواد کاهنده آب (ملمنت) و پوش کیورینگ انجام گردیده مقاومت بتون $1/65$ برابر گردیده است. مقاومت بتون که به نوع سیمان، مقدار آب، دانه بندی شن و ماسه، محیط گیرائی و مواد افزودنی بستگی دارد از فرمول (۱) محاسبه میگردد:

2

$$F_c = K_c / (w + c + a)$$

که F_c مقاومت بتون، C حجم نسبی سیمان، w حجم نسبی آب و a حجم نسبی هوای محبوس بتون و K_c ضریبی است که به عوامل فوق بستگی دارد. بطوریکه ملاحظه میگردد هر چه حجم آب و هوای محبوس در واحد حجم کم گردد مقاومت بتون افزایش مینماید ولی افزایش مقدار سیمان پیوسته باعث مقاومت بتون نمیکردد بلکه در یک حالت خاص به ماکزیم میرسد. بر اساس تجربیات و آزمایشات انجام شده در کارگاههای خوزستان درجه حرارت بتون بایستی پایین نگهداری شده و برابر $33-16$ درجه سانتیگراد باشد تا عمل هیدراتاسیون کاملاً صورت پذیرفت و از تبخیر جلوگیری گردد. چون تبخیر عامل ترک بوده و در واقع نقطه ضعف پایه های بتونی میباشد، اضافه کردن مواد کاهنده آب (ملمنت) جلوگیری از تبخیر آب در گرمای خوزستان بوسیله کیورینگ باعث افزایش بازده تماس سیمان با آب شده و هیدراتاسیون بصورت کامل انجام مینماید. بنابراین میتوان گفت که افزودنیهای کاهنده آب که میزان آب راکاهش داده و پوش حفاظتی کیورینگ که مانع تبخیر آن میگردد تراکم بتون را افزوده و آنرا در برابر آب و املاح شیمیایی غیر قابل نفوذ ساخت و در نتیجه پیاپی و مقاومت آنرا در برابر عوامل خوردنده و آسیب رسان افزایش مضعف میدهند.

۴- آب اختلاط:

میزان آب اختلاط تقریباً " ۲۰ درصد وزن سیمان مصرفی است در صورت داشتن املاح زیاد در گیش و عمل هیدراتاسیون اثرات نامطلوب دارد. در مناطقی که آبهای باشوری کم در دسترس باشد باید در آزمایشگاه آب تجزیه شده و در ملامح آن مشخص گردد. اگر مقدار یون کلسر 0.05 p.p.m. و مقدار 0.05 p.p.m. So_2 کمتر باشد آب خوردنده نبوده و نیسیزمیزان کربناتها و بی کربناتها آب باید زیر رقم 0.05 p.p.m. باشد تا برای اختلاط با سیمان مطلوب گردد.

ه- میلگرد :

آرماتورهای مصرفی در پایه‌های بتونی باید تصویز و حتی المقدور ناقذ رنگ زدگی بوده و بمنظور چسبندگی بهتر به بتون آجدار باشند از کاربرد میلگردهای صاف باید پرهیز گردد و چنانچه مقید به مصرف باشیم بایستی انتهای آنها را با اندازه ۹۰ بر ابرقشران تا نموده و بخاطر پوست نشدن بتون لبه ها در دراز مدت بعفت چسبندگی کم آنها در بیستن و قلاب نمودن خاموتها از مفتولهای ۱/۵ بیشتری استفاده ننمائیم . بدین روش با افزایش سطح چسبندگی از پوست شدن بتون مظهراتی که لبه های نازکتری دارند جلوگیری میگردد .

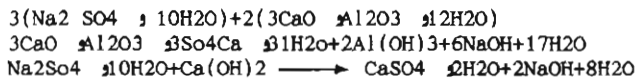
ع- مواد حفاظتی بتون :

پوششهای حفاظتی آبی بالای فیلم مانندی که روی سطح خارجی بتون ایجاد میکنند ضمن جلوگیری از تبخیر آب بتون این امکان را فراهم مینمایند که گیرش بتون سیر طبیعی خود را حفظ نموده و باعث شدن بتون در دراز مدت از نفوذ گازهای موجود در هوا جلوگیری شود . معروفترین این رنگها و پینت‌ها پینت کلازاید میباشد . پوشش حفاظتی دیگری که در این خصوص کاربرد ویژه دارد فلنور و سلیسیس بوده که پس از اندود شدن بر روی بتون با آهک آزاد آن ترکیب شده و بصورت لایه پوششی روی بتون از آن حفاظت مینماید .

۷- مواد مضر بر روی پایه های بتون :

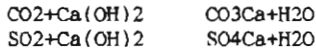
چهار نوع مواد بر ترکیبات قلیائی بتون بیشترین اثرات نامطلوب را داشته و سبب کنیختگی و ریزش آن میگرددند . محلولهای سولفات دار ، آبهای اسید دار گازهای CO2 و SO2 هوا در شرایط نمناک و نمکهای محلول آبهای زیر زمینی .

۷-۱- محلولهای سولفات دار : سولفاتهای سدیم و پتاسیم و منیزیم محلول در آب با آهک موجود در سیمان بتون سولید سولفات کلسیم و با آلومینات تری کلسیت آن سولید سولفو آلومینات هیدرات بنام Ettringite مینمایند با داشتن ۳۱ مولکول آب اضافه حجمی ۱۲۰ تا ۲۲۰ درمداشته و به میکروپ سیمان معروف میباشد . فعل و انفعالات مربوطه از این قرارند :



۷-۲- آبهای اسید دار : این مواد روی بتون اثر نموده و موجب حذف ژل سخت سیمانی میگرددند . اسید نیتریک و اسید کلریدریک با آهک بتون ترکیب و تولید Ca(NO3)2 و CaCl2 میکنند که توسط آب شسته میگرددند .

۷-۳- گازهای CO2 و SO2 هوا : این گازها در شرایط نمناک بر آهک بتون اثر نموده و تولید کربنات و یا سولفات کلسیم مینمایند .



۴-۷- نمکهای محلول : این مواد همراه آب و رطوبت در زمستان به سطح زمین بالا می آیند از طریق سوراخهای موشی در بتن نفوذ میکنند. با عبور آب در اثر حرارت تغییر فصل کریستالهای نمک در سوراخهای موشی به محیط خود فشار آورده و باعث متلاشی شدن بتن میگردد .

۸- عوامل تشدیدکننده خوردگی :

عوامل فیزیکی باعث میشوند تا به تراکم بتن که به مثابه حالت تنگ کریستالی فلز در محیط متالورژی و اساس مقاومت اجسام در برابر خوردگی است ضربه وارد گردد . تنش بیش از حد مقاومت از تنگی پایه ها هنگام کشیدن سیمها موجب ترکهای موشی میشود. همچنین جابجائی اولیه سیمها با استفاده از محل تقریبی گرانیکه که معمولاً "بالنگر همراه است باعث اعمال تنشهای کششی و فشاری در بالابو پائین سیم در طرفین گرانیکه شده و ترکهای نامرئی و یا موشی ایجاد مینماید که با استفاده از روش واسطه گذاری و یا قلاب گذاری قابل پیشگیری است. در کارگاههای خوزستان در روش تجربه شده و کار آئنی دارند :

۱- واسطه آهنی بیابکارگیری واسطه آهنی میتوان پایه ها را از دو محله آهن به آهن سیمه لاسیکی آویزان نموده و بحالت کاملاً افقی و بدون تنگ جابجا کرد (و واسطه غیر آهن بال یمن شماره ۱۶ بطول ۴ متر میباشد) .

۲- قلاب گذاری : نصب قلاب گیر در روی خاموتهای شماره ۷ و ۸ در انواع پایه های ۱۲ متری (که جهت شماره گذاری آنها در دیباگرام ۱ و ضخامت قلابها در جدول شماره ۲ مشخص گردیده است) می تواند از تنگ جلوگیری کند .



دیباگرام ۱

۱۲/۴۰۰	۱۲/۶۰۰	۱۲/۸۰۰	۱۲/۱۲۰۰	۹۶۰۰	۹۳۰۰	۹/۲۰۰	طول نیرو قدرت کششی
۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۰	۸	۶	نمره ۴ قلاب ها

جدول ۲

۹- روش حفاظت پایه ها :

روشهای عمدهای که جهت حفاظت از پایه ها مورد استفاده قرار میگیرند بشرح زیر میباشد :

۹-۱- بهترین روش حفاظت از پایه های بتونی استفاده از سیمان ازییمان فسولفات و سیمان برقی در تهیه بتون است که در برابر واکنشهای شیمیائی مقاوم میباشد .

۹-۲- متر اکم نمودن بتون بنسجوی که در برابر آب غیر قابل نفوذ باشد . این عمل با استفاده از مواد کاهنده آب و پوش حفاظتی بتون انجام میگردد .

۹-۳- اندود کردن با فلئوروسیلیسیم که با آهک آزاد بتون ترکیب شده ولایه حفاظتی تشکیل میدهد .

۹-۴- قیرپاشی و اندود نمودن طول گیری و بالای آن .

۹-۵- استفاده از رنگهای مناسب .

۱- پیشنهادات :

با عنایت به طرح فوق که به منظور جلوگیری از پدیده خوردگی در پایه های بتونی تجزیه گردیده ، موارد ذیل جهت اجرای آن پیشنهاد میگردد :

۱-۱- کارگاههای غیر بتونی بهای لازم داده شده و با برنامه ریزی و آموزش روند تولید تیر در کارگاههای سنتی را که در بخش خصوصی فعالیت کرده و از مبنای علمی ضعیفی برخوردار میباشد بهبود بخشیده و تولیدکنندگان را با روشهای مقابله با خوردگی و تکنولوژی بتون بیشتر آشنا نمایند .

۱-۲- مواد اولیه کنترل و از نوع مرغوب انتخاب شده سهمیه سیمان فسولفات که با این طرح به صرفه نظلیل یافتند به صورتی تامین شود که بطاقت تولید مجبور به ساخت تیرهای معمولی نشوند .

۱-۳- در فواصل کام خاموتهای میلگردهای ماف حداقل ۵ عدد گره با مفاصل ۱/۵ میلیمتری به آنها قلاب شود تا با افزایش میزان چسبندگی فولاد مانع ترک خوردگی بتون لبه هادر در از مدت گردد .

۱-۴- از تحریک بتون بعد از عمل و بیتراسیون با مانده فلسزی خودداری شده و برای پرداخت نمودن بتون از ضخامت ماده استفاده گردد .

۱-۵- جهت مرمت از بتون کاسمتیک Beton cosmetic استفاده گردد . برای کودیها و ناهمواریها مقدار ۲۰ تا ۵۰ درصد ماده به خمیر بتون کاسمتیک اضافه نموده و برای رویه از خمیر بتون کاسمتیک بدون ماده استفاده گردد . (بتون کاسمتیک از مظلوط نمودن و هم زدن یک واحد حجمی پودر بتون کاسمتیک و نیم واحد حجمی آب تهیه میگردد) .

در این مقاله که بر مبنای تجربیات ۲۵ ساله در پروژه های بتونی K.w.p.n و کارگاههای تعمیر سازی تدوین شده تلاش گردید تا عوامل فیزیکی و شیمیایی موثر بر خوردگی و روش اقتصادی و بهینه تولیدیها ارائه شود که در صورت رعایت نکات تجربی ذکر شده میتوان ضمن ساخت تیرهای مقاوم به خوردگی با پایامی مدام آنها که تداوم سیستم برق رسانی است از اتلاف سرمایه های ملی جلوگیری نمود .

- ۱- بتون و بتون مسلح تألیف دکتر حسن شالچیان
- ۲- نقش مواد افزودنی در توسعه تکنولوژی انتشارات دانشگاه امیرکبیر
- ۳- اصول طرح ساختمانی بتون فولادی انتشارات دانشگاه علم و صنعت
- ۴- خوردگی ترجمه احمد سامت چی
- ۵- تکنولوژی بتون مهندس رمضان بیور
- ۶- مقالات خوردگی کنفرانسهای توزیع و برق در سال ۷۱ و ۷۲