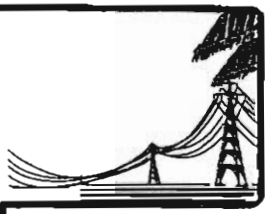


چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

بررسی خوردگی و پوسیدگی در پایه‌های انتقال نیرو در مناطق ساحلی و روشهای مقابله با آن

محمد ایرانی
مهندسین مشاور نیروی آذربایجان (مشا)

چکیده :

رشد روزافزون اقتصادی جزائروسواحل خلیج فارس ، احداث شهرکهای مسکونی ، مناطق صنعتی ، اسکله‌هاوتسهیلات حمل ونقل طی بیست سال اخیرسرعت فراوانی به خود گرفته است که این امرتوجیه‌گر گسترش وتوسعه شبکه‌های توزیع برق درمناطق مذکورمی باشد . تاقبل از دهه اخیردوام پایه‌های خطوط انتقال نیروعلی الخصوص ازنوع بتن آرمه ، زیاد مورد توجه طراحان وسازندگان آنهانبود ولی خرابیهای زودرس بخصوص درپایه‌هایی که درمحیط های مخرب (نظیرسواحل دریا) ساخته می شود نگرانی وسیعی رادرانهان مجریان بوجودآورده‌است .

دراین مقاله سعی گردیده است براساس تجربیاتی که تاکنون کسب گردیده ومطالعاتی که انجام شده ، مسائلی راکه منجربه تخریب پایه های بتن آرمه ، فلزی وچوبی می گردند بطورکامل

بررسی شود وراه‌حلهای مناسب وعملی واقتصادی جهت اجرای صحیح پایه‌های مذکورارائه گردد . امید است با این کارقدم کوچکی درپیشگیری ازخسارتهای هنگفت اقتصادی ناشی از خوردگی این پایه‌هاکه برپیکره صنعت برق کشوروارد می گردد برداشته شود .

شرح مقاله

سواحل وجزائرخلیج فارس ازنظرآب وهوائی یکی ازمناطق خاص جهان است . درجه - حرارت دراین منطقه بعلت نزدیکی به خط استوانسبت به مناطق دیگرکشوربالاتراست وتغییرات درجه حرارت درطول شبانه روز ودرطول سال نیزبسیارمتغیراست . همچنین بدلیل اینکه خلیج فارس وسعتی حدود ۲۵۵٫۰۰۰ کیلومترمربع دارد وفقط ازطریق تنگه‌باریک هرمزبه‌عرض ۳۵ کیلومتربا آبهای آزاد جهان درارتباط است ودورترین منطقه خلیج فارس تا این تنگه حدود ۱۹۰۰ کیلومترفاصله دارد ، درصد املاح موجود درآب دریابویژه سولفات سدیم وکلرورسدیم که دوعامل مهم درتخریب بتن وفولاد هستند ، درآب های خلیج فارس ازآبهای آزاد دیگرجهان بیشتراست . شرجی بودن هواکه خود حامل یونهای فعال کلراست نیزمزید برعلت بوده‌وروی همه تاسیسات ونیزپایه‌هاتاثیرمنفی دارد . همچنین کشورمابابیشترین ساحل درخلیج فارس بیش از بقیه کشورهای منطقه درمعرض تاثیرعوامل مذکورقراردارد . بااین توصیف کاملا" بوضوح می بینیم که تمامی شرایط محیطی برای خوردگی مناسب وآماده است وضرورت چاره‌اندیشی را آشکارترمی سازد .

بررسی مکانیسم خوردگی :

تمام فلزات باسرعتهای متفاوت درطبیعت خورده می شوند . فلزاتی مانند برنز، برنج ،

فولادضد زنگ وآلومینیوم با سرعت پائین تری خورده شده وتحت شرایط معمولی مدتهای مدیدی بدون نیازبه حفاظت دوام می آورند بطوریکه بنظرمی رسد اصلا" خورده نمی شوند ولی بالعکس ، درفولادهای مختلف ساختمانی خوردگی بدون انجام حفاظت بطورقابل ملاحظه‌ای سریعتراست و این استعداد آنهابرای خورده‌شدن وپوسیدن قابل تعمق وبررسی بوده وازلحاظ اقتصادی نیز توجه زیادی رامی طلبد . بعنوان مثال ، خسارت ناشی ازاین مسئله درآمریکاسالانه ۶ بیلیون دلار تخمین زده می شود .

قبل ازهرچیزدانستن شرایط محیطی که درآن خوردگی اتفاق می افتد لازم است‌میدانیم که آهن و فولاد ازتخلیص وتصفیه ترکیبات معدنی موجود درطبیعت بدست می آیند وچرخه‌طبیعت فاقد آنهابصورت مصرفی‌است بعبارت دیگرچون فلزات ازاکسیدهای طبیعی پایدارکه درطبیعت موجود هستند با انجام یک سری عملیات گرفته می شوند لذاباگذشت زمان این فلزات تمایل دارند به شکل اولیه وپایدارخود برگردند . همانند اکسیدآهن وفرم هیدرائه آن که ازمجاورت‌آهن ورطوبت در شرایط طبیعی حاصل‌میشوند. اکسیداسیون واصطلاحا "زنگ زدن‌آهن مستلزم سه‌عامل مهم واساسی درمحیط‌مجاورفلزاست که‌عبارتند از: رطوبت ، نواحی موضعی آند وکاتد واکسیژن ، (البته بعضی ازباکتریهانیزدرغیاب اکسیژن مسبب خوردگی می شوند ولی درحدی نیست که درخورتوجه باشد) . برای جلوگیری ازاتفاق افتادن خوردگی غیبت یکی ازاین عوامل هم بتنهایی کافی است ، بابررسی محیط اطراف خود متوجه می شویم که رطوبت همیشه وجود دارد چه درحالتی که جسم درآب مستغرق است ویامدفون درخاک بوده ویادرمعرض هوای آزاد قرارداشته باشد . همینطوراکسیژن نیزبوفوریافت می شود حتی وقتی که جسم درآب مستغرق است (بواسطه هوای‌محلول درآب) . سومین عامل پدیده الکتروشیمیایی است که بطورکلی درتمام پروسه‌های خوردگی دیده می شود یابعبارت دیگرپدیده خوردگی ناشی ازبرقراری جریان الکتریسیته‌ای است که بدلیل وجود اختلاف پتانسیل بین ناحیه آند با بارمثبت وناحیه کاتد با بارمنفی برقرار می گردد ودرنهایت موجد فعل وانفعالات شیمیایی‌همراه بایونیزه‌شدن فلزوکنده‌شدن آن ازآند و

عبورازبین حلال می شود (یعنی خورده می شود) تشکیل آند وکاتد بصورتهای مختلف اتفاق می افتد ، معمولترین وآشکارترین حالت وقتی است که دوفلزغیرهمجنس باهم درتماس باشند . وجود تفاوتهای فیزیکی وشیمیایی دربعضی ازنقاط سطح فلزبطورموضعی موجب تشکیل نواحی آند وکاتد می شود ویاحتی تفاوتهایی درشرایط خاک مثل میزان رطوبت ومیزان ضریب هدایت الکتریکی نیزمی توانند درتشکیل نواحی آندی وکاتدی دخالت داشته باشند . درپاره‌ای موارد تفاوت میزان تراکم وتمرکزاکسیژن درآب یاخاک‌خیس وبالنتیجه درقسمتهای مختلف تماس با فلزباعث می شود که درنواحی باتراکم اکسیژن بیشترقطب کاتد ودرنواحی باتراکم اکسیژن کمتر آند تشکیل شود . قسمتهایی ازفلزکه تحت بارخارجی هستند مثل کشش یافشار، تمایل به آندشدن وقسمتهایی که زیربارنیستند تمایل به کاتد شدن دارند ، درواقع باید گفت هرجاکه درطبیعت فلزات آهن وفولاد بدون پوشش درمعرض محیط طبیعی اطراف خود قرارگیرند شرایط لازم برای خوردگی باشدت وضعف متفاوت درنواحی جغرافیائی مختلف حضوردارند .

خوردگی فولاد داخل بتن به سبب وسعتی که سازه‌های بتنی دارند ، ازاهمیت ویژه‌ای دردنیا برخورداراست .

خسارات ناشی ازاین نوع خوردگی ابعاد بسیارگسترده‌تری رادربرگرفته ، بطوریکه امروزه تحقیقات وسیعی پیرامون این مسئله‌انجام‌شده ومطالعات زیادی درجهت شناخت دقیق تراین پدیده وراههای حفاظت درمقابله باآن صورت گرفته است . درمناطق حاشیه خلیج فارس ، محیط اعم ازآب وخاک آلودگی شدیدی‌ازنقطه‌نظرکلروری دارند ودربعضی مناطق حتی مقداریون کلرب ۰/۶۸٪ که تقریبا" چهاربرابرحد مجاز (یعنی ۰/۱۵٪ برابرآئین نامه ACI 318-83 برای شرایط خوردگی محیط) می رسد . بررسیهای مختلف نشان می دهد که درقسمتهایی که تماس مستقیم باآب وخاک دارند، بویژه‌دریایه‌های تیرهای بتنی تا ارتفاع حدود ۱/۵ متری به شدت خوردگی‌کلریدی اتفاق می افتد . لذادرمی یابیم تخریب اساسا" ناشی ازآلودگی .

کلروری محیط اعم ازخاک وآب است که بانفوذ به داخل بتن وحرکت به سمت بالابواسطه‌خاصیت موئینگی موجب زنگ زدگی وخوردگی میلگردهاشده‌ودراثرانبساط وتورم حاصله آرماتورها نمایان گشته وبتن پوشش کاملا" جداشده وآماده کنده‌شدن می گردند ، درضمن میزان زنگ زدگی میلگردهابسیارزیاد است ، بطوریکه دربرخی از آنهاپوسته‌های زنگ به ضخامت حدود ۵ میلیمتر نیزمشاهده شده‌است وبایک ضربه ازمیل گرد جدامی گردد. جالب است که بدانیم پس ازبروزترکها دربتن وجدائی پوشش بتنی آرماتورها ، راه‌نفوذ عوامل‌دیگروبالنتیجه تشدید پدیده‌خوردگی بازمی شود درچنین‌شرایطی حتی آب معمولی یااکسیژن محیط و رطوبت موجود درهوانیز زنگ زدگی راتشدید وباعث پیشروی بیشترآن می گردد .

سطح آبهای زیرزمینی درمناطق ساحلی درنزدیکی سطح زمین قراردارد وحاوی یونهای سولفات وکلروربه مقدارزیاد می باشند بهمین دلیل خاکهای این نواحی نیزحاوی انواع نمکهای مزبور است . درجه حرارت محیط بالابوده ورطوبت منطقه سبب افزایش سرعت واکنشهای خوردگی وبالنتیجه تشدید خرابیهای بتن می گردد، درضمن بادهای مداوم وگرم هنگام بتن ریزی پایه‌ها و پس ازآن دردوره عمل آوردن بتن موجب تسریع درتبخیرآب بتن گشته ومنجربه ایجاد ترکهای سطحی می شود که راه نفوذ املاح ورطوبت راتسهیل می نماید ، بهمین جهت عمل آوردن و - اجرای صحیح بتن ریزی دراین منطقه ازاهمیت خاصی برخورداراست . غیرازوضعیت جوی و شرایط کاری درمنطقه ، مصالح سنگی موجود نیزدرخرابیهای شیمیایی موثرمی باشند. مصالح سنگی عموما" ازکیفیت خوبی برخوردارنیستند واکثرا" حاوی املاح کلروسولفات بوده ودرپاره‌ای موارد میزان آنها ازحد مجازهم بالاتراست . با این اوصاف اهمیت توجه به خسارات شیمیایی وضرورت چاره‌اندیشی وترمیم به موقع آنهاآشکارترمی گردد .

بررسی علل تخریب پایه‌های انتقال نیرو :

خرابیهای موجود درتیرهای بتن آرمه مناطق حواشی خلیج فارس عمدتا" ناشی ازچند عامل زیراست :

الف) وجود عوامل محیطی مخرب اعم ازآب وهوای گرم ومرطوب ، خاک آلوده به موادشیمیایی مضروبالابودن سطح آب زیرزمینی (که‌آنهم به جهت نزدیکی به دریاست) . آزمایشات شیمیایی که برروی خاک منطقه وآبهای سطحی انجام شده است حاکی ازشرایط حادمحیطی خورنده می باشد. مقدارکلروروسولفات خاک درمقایسه بامقادیرمذکوردرآئین نامه‌های مختلف درمحدوده شرایط خیلی سخت قرارمی گیرد. تیرهایی که دربتن های آنها مقدارکلرور موجود درکل مصالح مصرفی شان کمترازحد مجاز۱۵٪ بوده پس ازگذشت چند سال به چندین برابرمقدارمجازارتقاء پیداکرده است . بطریق مشابه مقدارسولفات نیزشدیدا" افزایش پیدامی کند نهایتا" اینکه تخریب اساسا" ناشی ازآلودگی کلروری محیط اعم ازخاک وآب است که بانفوذ به داخل بتن باعث زنگ زدگی میلگردهاوترکاندن بتن می شود .

ب) استفاده ازمصالح سنگی ناسالم وغیراستاندارد آلوده به مواد شیمیایی مضربرای بتن ، بطوریکه اغلب معادن سنگی دارای مصالح آلوده هستند ونیزعملیات شستشوی ماسه در واحدهای تولیدی بنحومطلوب انجام نمی گیرد ونیز آبی که جهت شستشوی مصالح شن و ماسه استفاده می شود غالبا" ازچاهها ومنابع آب زیرزمینی تامین می گردد که بازهم دربرخی مناطق شور است .

ج) کیفیت شدیدا" نامطلوب اجرای بتن ریزی‌پایه‌ها ، درچنین شرایط محیطی یکی ازروشهای اساسی جهت کند یامتوقف ساختن حمله سولفاتهاوعوامل کلروری ، غیرقابل نفوذ ساختن بتن است که باانتخاب نسبتهای آب به سیمان پائین ونگهداری کافی بتن خصوصا"

درسنین اولیه انجام پذیراست واین روش البته علاوه برسایرتمهیدات اساسی ازقبیل نوع سیمان مصرفی ، مقدارسیمان واستفاده ازروشهای مختلف عایقسازی قسمتهای درتماس باخاک است ، داشتن پوشش بتنی کافی برای میلگردهاوتراکم وغیرقابل نفوذ بودن پوشش نیزازنکات بسیارمهم است .

نتیجه :

درتیرهای بتن آرمه باید بهرنحوازنفوذ یون کلربه داخل بتن جلوگیری کرد ، درمرحله اول باید مصالح سنگی تمیزومناسب باتخلخل کمودرصد جذب آب کم وسطح موثرکم استفاده کرد و برای اختلاط بتن باید ازآب شیرین وآشامیدنی استفاده کرد پس ازگرفتن بتن آبی که برای عمل آوردن (Curing) مورد استفاده قرارمی گیرد لازم است شیرین باشد .

درپایههای فولادی حتما" ازروکشهای غیرقابل نفوذ استفاده گردد . این مواد باید دارای چسبندگی فوق العاده وقدرت جذب مطلوب درکلیه منافذ سطح راداشته باشند بطوریکه تشکیل فیلم واتریروفی درسطح پایه داده ودارای خاصیت الاستیسیته هماهنگ بافولاد باشند ، ازپوششهای اپوکسی روی فلزبه ضخامت ۱۵۰ میکرون نیزمی توان استفاده کرد فولادهایی که بارزین پوشش می شوند دچارخوردگی نمی گردند وبهترین مقاومت رانشان می دهند ، محافظت کاتدی اثربسیار عالی دارد ولی به دلیل پرهزینه بودن ازلحاظ اقتصادی توجیه پذیرنیست . گالوانیزه کردن در محل مرزتماس باآب وخاک مقاومت مطلوبی ازخود نشان نمی دهد .

درتیرهای بتنی باید برای محافظت آرماتورهاپوشش حداقل ۷۵ میلیمتررااطبق توصیه آئین نامههای ذیربط رعایت کرد وعیارسیمان راتا ۴۰۰ کیلوگرم درمترمکعب بالابردونسبت آب به سیمان راتا ۴۵٪ کاهش داد .

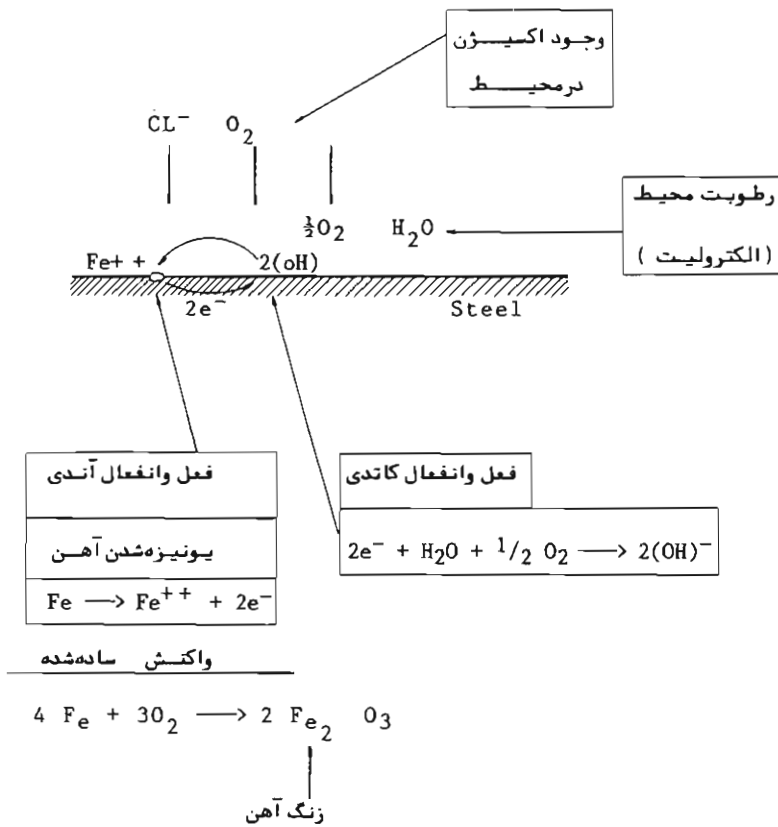
کنترل ترکهای ایجاد شده دربتن متناسب بازمان بهرهبرداری آن می تواند بوسیله Over Design درحدود ۱۵٪ تا ۲۰٪ انجام گیرد. درپایههای فولادی هم این مسئله توصیه می شود چون خوردگی درمناطقی ازفولاد که تحت کشش است بطورموضعی سریعتراست .

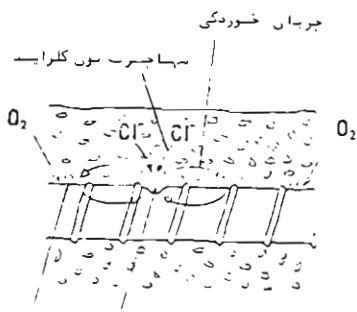
برای جلوگیری ازنفوذ آبهای زیرزمینی به داخل بتن وچوب ونیزخورده شدن پایه‌های فولادی در محل تماس باخاک بهتراست حتما" پایه‌هارادرقسمتی که درداخل خاک هستند ودرمرزتماس با خاک وهوا (یعنی خطرناکترین منطقه ازلحاظ خورندگی) پوشش داد بدین معنی که حتی الامکان از روشهای ارزان قیمت عایق سازی مثل پوشش قیراستفاده کرد. چون افزایش دمای ناشی ازتابش شدید نورخورشید خوردگی راتسریع می کند حتی الامکان از رنگهای روشن وسفید برای پوشش دادن پایه‌ها استفاده شود .

بنظرمی رسد ارائه شرائط ویژه بامشخصات فنی خصوصی درمناطق جغرافیائی مختلف کشوردر پروژه‌های خطوط انتقال نیروتوسط مشاورین ودست اندرکاران به صورت آئین نامه‌ای بطورمدون الزامی است تادستگاههای اجرائی وذیربط که درکارتولید ونصب پایه‌هافعالند بطورسیستماتیک این اصول رامد نظرقراردهند .

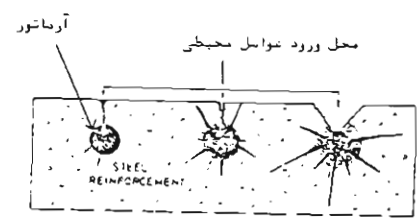
مدل ساده شده

فرآیند خوردگی الکتروشیمیائی فولاد





حمله یون کلراید و شروع خوردگی در سطح آرماتور



مکانیزم تخریب بتن در اثر خوردگی آرماتور

منابع ومآخذ :

۱ - The durability of Metals in building .

ترجمه : مرکزتحقیقات ساختمان ومسکن

۲ - مکانیزم خوردگی فولاد دربتن نشریه A.C.I SP-49-3

۳ - مهندسی خوردگی - انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان

۴ - PAINT MANUAL ازانتشارات ASTM

۵ - عوامل کنترل اجزای بتن ، فولاد وسایرفلزات زاهدی ، پ

۶ - " THE PHYSICAL METALLURGY OF STEEL "

W.C. LESLIE , MCGRAW - HILL , 1982

۷ - " ENGINEERING MATERIALS " , K.BUDINSKI

RESTON PUBLISHING COMPANY , INC. 1993.