بررسی خوردگی بتن در سواحل دریا
(منطقه عسلویه)

ابوذر نعمت الهی- دانشجوئی کارشناس ارشد مهندسی مدیریت ساخت وپروژه-دانشگاه جامع امام حسین(ع)[1]
دکتر ساسان سوادکوهی فر – عضو هئیت علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)

Abstract:

These days most of the coastal structures which are forming in that regions are from reinforced concrete structures.and using of them is raising everyday.
Now,useful age of coastal structures will be so important where exploitation is passing after a while , corrosin will cause so much cost .
Even in some cases , rebuild is cheaper than the renovation.this is more critical about coastal structures in hot and corrosion area like Asalooye region,and, useful age of structures in this region is proving that .
Anyway,the best job is to do nessesary researches to know elements of corrosion and to suggest some scientific and academic techniques to decrese the corrosion to be able to use these methods, reduce the cost of next mendings.
In this article, trying to suggest some economical-executive and suitable methods to control these elements for reducing second costs after knowing effective elements in concrete corrision.

کلمات کلیدی: خوردگی بتن ، محیط خورنده ، بازدارنده های خوردگی

مقدمه:

پدیده خوردگی طبق تعریف، واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده، معمولا یک فلز، و محیط اطراف آن می‌باشد که به تغییر خواص ماده منجر خواهد شد که در مجموع می توان گفت فرآیندی زیان آوراست.[علیرضا رهایی،1383]. چهار عامل محیطی خوردگی آرماتور ،واکنش قلیایی سنگ دانه ها، یخ زدگی و حمله سولفاتها مهمترین عواملی بوده که موجبات خرابی زودرس در سازه های بتنی را فراهم می سازد [Ozyildirim, 1993].نفوذ یونهای کلراید در بتن و از بین رفتن لایه اکسیدی خودجوش در اطراف آرماتورها ، عامل شروع خوردگی آرماتور در سازه های بتنی اجرا شده در نواحی ساحلی است. نفوذ این یون به عواملی چون شرایط محیطی ، ترکیبات و کیفیت اجرای بتن بستگی دارد. کاهش نسبت آب به مواد سیمانی (W/C) ، نفوذ یونهای کلراید را در بتن کاهش می دهد. تحقیقات متعددی نیز وجود دارد که نشان می دهد استفاده از مواد افزودنی سیمانی نظیر میکروسیلیس در بتن بر کاهش نفوذ یونهای کلرید در بتن تاثیر گذار است.

1:پست الکترونیک: a.ne.civil@gmail.com

طی سالهای اخیر به دلیل کشف منابع عظیم گازی ونفت شاهد افزایش ساخت سازه های بتنی در نواحی ساحلی منطقه عسلویه بوده ایم. مناطق ساحلی خلیج فارس و من جمله منطقه عسلویه یکی از نواحی در جهان از جهت خوردگی آرماتور و در نتیجه کاهش عمر سازه های بتنی به شمار می رود. بروز این استعداد در این منطقه نتیجه ترکیب عوامل مختلفی است از:

1- غلظت بالای یونهای کلراید و سولفات در محیط

2- رطوبت و دمای بالا به همراه بادهای خشک وگرم

3- وجود پسآب های صنعتی پالایشگاه های موجود در منطقه

4- تغییرات زیاد دما و رطوبت در طول شبانه روز

5- کیفیت پایین مصالح به همراه تکنولوژی نا مناسب اجراء

6- حضور گازهای مختلف موجود در هوا منطقه بهمراه رطوبت بالا

هدف از این مقاله مشاهده و بررسی تاثیر این شش عامل برروی سازه های بتنی و پیشنهاد راهکاری بصرفه جهت مقابله با پدیده خوردگی در این منطقه می باشد.

آسیب دیدگی های بتن و مکانیزم عمل تخریب:

ساختار بتن ، تخریب داخلی بتن ، وضعیت بتن در برابر مواد شیمیایی و شرایط محیطی مهاجم و مقاومت در برابر سایش، زنگ زدگی آرماتور از جمله عوامل آسیب رسان به محیط بتن و بتن مسلح در منطقه عسلویه می باشد.

تخریب بتن در آب دریا:

آب دریا یکی از عمده ترین محیط های چند عنصری طبیعی است که شکل پیچیده سیستم فیزیکی-شیمیائی با بتن را دارد و شامل تشکیل الکترولیت هایی است که نسبت به بتن مهاجمند، این الکترولیت ها عموماً با کلرور سدیم ، سولفات و کلرور کلسیم حاصل می شوند و در فولاد پیل گالوانیک تشکیل می دهند.

پایداری بتن در آب دریا به ترکیب مینرالوژی سیمان بستگی دارد و مساله پایائی بتن در آب دریا را می توان با مصرف سیمانهای پوزولانی حل کرد.توصیه های محققین در برخورد با این مساله مصرف سیمانی است که آلومین و سولفات کلسیم آن کم و بتنی است که با نسبت آب وسیمان کم ودانسیته آن زیاد باشد، این نوع سیمان را سیلیسی می نامند.

بطور کلی حمله آب دریا منجر به تشکیل اترنژیت $C_3A.3CaSO_4(31\text{-}32)H_2O$ و بروسیت $Mg(OH)_2$ نمک فریدل $C_3A.CaCl_2.10H_2O$ در بتن می گردد. تشکیل اترنژیت با انبساط و افت ثانوی مقاومت همراه است که ناشی از ترک های موئی و تضعیف اتصالات شیمیایی می باشد. تشکیل بروسیت ناشی از واکنش شیمیایی تبادلی ($Mg^{++} \Leftrightarrow Ca^{++}$) است که

در تحکیم سهمی ندارد. هیدرات منیزیوم یک رسوب ژلاتینی است که بشکل کلوئیدی بر روی ژل سیلیکاتی موجود ته نشین شده و شسته می شود. با انجام واکنش بین این دو هیدرات ، سیلیکات منیزیم تولید می گردد که فاقد مقاومت یا نیروی چسبندگی است.

بطور کلی مواد مهاجم بالقوه آب دریا نسبت به بتن عبارتند از یونهای سولفات، کلرور، کربنات، بی کربنات، فلزات قلیائی و منیزیم که هرچه هوا گرمتر باشد فعل وانفعال تشدید می شود. این عوامل را می توان بشرح زیر بطور اجمال مورد بحث قرارداد:

الف–سولفاتها: مکانیسم فعل و انفعال آب دریا با بتن احتمالاً بشرح ذیل است:

(1) فعل وانفعال جامد –مایع که از طریق آن C_3A به هیدروسولفوآلومینات سنگین تبدیل می شود.

(2) تولید هیدروکسیدمنیزیم و امکاناً گچ در منافذ ژلی که انرژی سطحی فاز جامد را افزایش می دهد.

(3) فشار مکانیکی ناشی از کریستالیزاسیون املاح که در حفرات نزدیک به سطح بتن که در معرض عمل خشک وترشدن متناوب قرار می گیرند، رشد می نماید.

محتملاً تمام سه عمل فوق کم وبیش در یک زمان و تحت برخی شرایط قرار می گیرد.

ب– کربنات و بی کربنات: یونهای کربنات و بی کربنات ممکن است در فعل و انفعال کربناتاسیون Ca^{++} با $Ca(OH)_2$ که در حین هیدراتاسیون سیمان بوجود آمده اند، شرکت نمایند. CO_2 محلول در آب بشکل اسید کربنیک موجب نرم شدن وتجزیه موضعی می گردد و موجب جمع شدگی ناشی از کربناتاسیون می شود. شدت کربناتاسیون به نفوذپذیری، رطوبت نسبی داخلی ، سطح مخصوص خمیر سیمان و غلظت CO_2 بستگی دارد اما خود CO_2 بنحوی قادر به انجام فعل و انفعال با بیشتر اجزاءسیمان هیدراته ، نسبتاً ناپایدار می باشد.

ج– قلیائی ها: مکانیسم فعل وانفعال قلیائی ها شامل حمله یون هیدرات به ذرات سنگدانه حساس می باشد که ایجاد فرآورده های سیلیکات قلیائی کرده و در ماتریس خمیرسیمان فشار، انبساط وترک بوجود می آورد.یونهای فلزات قلیائی با نمکهای مختلف آب دریا فعل وانفعال انجام داده و منجر به کاهش PH بتن و متعاقب آن افزایش شدت خوردگی فولاد مدفون در بتن می گردد.

د–کلرور ها: یون کلرور ممکن است مشابه یون سولفات عمل نموده و فرآورده ای بنام کلرور آلومینات تولید نماید. همچنین ممکن است در واکنشهایی که در خوردگی آرماتور یا سایر فلزات بتن دخالت دارند شرکت نماید. نقش کلرور در آب دریا در روابط متقابل با دو بتن دو جنبه دارد. اول عملکرد آن بطور مستقل و دیگر کند کردن یا مانع شدن از انبساط بتن بوسیله محلول سولفات ها.

از غوطه وری ناکامل سازه ها در محیط دریا یا عمل متناوب تر و خشک شدن شرایط ویژه ای بوجود می آید. در این شرایط تنش های حاصل از مکش موئینگی اضافه می شود که خود بر شدت عملکرد اضافه می نماید. بااین عمل مقداری محلول وارد بتن شده و در آن پخش می شود و وقتی به سطح سازه می رسد در هوا تبخیر می شود و موجبات تشدید تنش های درونی را فراهم می کند. وقتی سرعت تبخیر از سرعت ورود مایع بیشتر باشد، تبخیر تا عمق بتن اثر می کند و کریستالیزاسیون املاح از محلول انجام شده و ازدیاد حجم ناشی از آن باعث تبخیر درونی می گردد.اگر در محلول مهاجم ماده ای وجود داشته باشد که حلالیت را تشدید کند، هیدرات کلسیم از ساختار بتن جدا شده و مواد معدنی که اسکلت سیمان سخت شده را تشکیل می دهند، هیدرولیز شده و منجر به آسیب بتن می گردد. اگر سرعت تبخیر کمتر از جذب موئینه محلول باشد، آزاد شدن نمکهای حل شده در سطح بتن با پوسته ای شدن نمک ظاهر می گردد بنابراین بتنی که بین سطوح جزر ومد آب واقع می شود و در معرض تر وخشک متناوب قرار دارد، بشدت مورد حمله قرار می گیرد در حالیکه بتن مستغرق کمترین مقدار صدمه را تحمل می کند. پیشرفت حمله بوسیله آب دریا با پرشدن منافذ بتن از رسوبات هیدروکسید منیزیم کند و در آب و هوای گرم تسریع میشود بدین لحاظ موقعیت اقلیمی خاص خلیج فارس عملاً بیشترین مقدار خسارت به بتن را در بر دارد.

نفوذپذیری عامل اصلی در پایداری بتن در برابر آب دریا می باشد. مصرف زیاد سیمان و W/C پایین ،تراکم کامل ، افزایش کمی سیمان سرباره و یا کوره آهن گدازی عواملی هستند که در بتن تحت شرایط آب دریا پایداری ایجاد می کنند. نقش مثبت لایه های کربنات کلسیم بر روی سطح بتن در مقاومت آن در برابر دریا از مدتها پیش شناخته شده است. نگهداری طولانی توده های بتن در آب قبل از غوطه وری ، دوام آنها را به میزان زیادی می افزاید.کلسیت و بروسیت که روی سطح بتن در آب دریا تشکیل می شود، تراوائی نشتی لایه سطح بتن را کاهش داده بر پایداری آن می افزاید.

محققین ژاپنی برای یونهای کلرور که در دوران اولیه بعلت غلظت زیاد آن در آب دریا بشدت در بتن نفوذ می کنند نقش مهمی قائل می باشند که ناشی از تشکیل کلروآلومینات و سولفورکلرو آلومینات می باشد. دیفوزیون کلرورها بیشتر از نقطه نظر توسعه تخریب آرماتور مورد مطالعه قرار گرفته است.براساس اطلاعات موجود ، دیفوزیون کلرور در بتن حاوی سیمان پرتلند سرباره ای با زمان کند می شود.

تاثیر ترکیب و دانه بندی سیمان و همچنین نسبت C_3A/SO_3 آن باندازه کافی توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و رابطه بین نسبت بهینه ، میزان C_3A گچ و نرمی ذرات سیمان با مقاوم بودن آن در برابر سولفات ها مورد تایید قرار گرفته است.

شرایط اقلیمی منطقه

شرایط اقلیمی منطقه گرم و خشک میباشد . ضمناً تابستانهای آن گرم و طولانی و عمده بادهایی که به سمت آن می وزد از سوی صحرای عربستان است .آمار گردآوری شده از دو ایستگاه هواشناسی بندر دیر و بندرلنگه که تنها ایستگاههای هواشناسی هستند و به لحاظ خصوصیات جوی شبیه منطقه یاد شده می باشند ، میانگین دمای هوا و نزولات جوی در دوره 25 ساله از سال 1353 تا سال 1358 به شرح زیر می باشد :

حداکثر مطلق دما 46 درجه حداقل مطلق دما 7/5 درجه میانگین بارندگی سالیانه 220 میلیمتر

حداکثر بارش روزانه 51 میلیمتر حداکثر سرعت وزش باد 17 تا 18 متر برثانیه

املاح موجود در آب خلیج فارس

حداقل میزان املاح موجود در آب در مرداد ماه و حداکثر آن در بهمن ماه و در تنگه هرمز است. میزان متوسط املاح در آب خلیج فارس در مقایسه با املاح آب دریا های آزاد بر حسب ppm در جدول زیر نشان داده شده است:

نمک	آب دریا های آزاد	آب خلیج فارس
املاح کلسیم Ca	50-480	480
املاح منیزیم Mg	306 -14010	1600
املاح سدیم Na	2190-12200	12600
املاح پتاسیم K	70-550	470
املاح سولفات SO_4	580-2810	3300
املاح کلر Cl	3960-20000	23400

ملاحضه میشود که غلظت انواع نمکها در خلیج فارس معادل و یا بالاتر از حداکثر آن در آب دریاهای آزاد است که در طرح و ساخت سازه های ساحلی و دریایی باید به آن توجه مخصوص و همه جانبه گردد.

میزان خوردگی آب دریا در خلیج فارس را مهندسین مشاور متالوژی و خوردگی مورلی و آتلی بر روی شمع هایی فولادی در جنوب خلیج فارس را 0/14 mm در سال برآورد کرده اند که این میزان خورندگی البته کلی است و برای هر پروژه باید به صورت جداگانه بررسی و ضرایب لازم در محاسبات و پیش بینی ها محاسبه و برای پیشگیری مناسب در زمان طرح و اجرا منظور شوند.

مکانیزم خوردگی فولاد

خوردگی فولاد (میلگردها) در بتن یک فرآیند شیمیایی و یا بهتر است بگوییم الکتروشیمیایی است. مانند سایر فرآیندهای شیمیایی و الکتروشیمیایی، این فعالیت تابع شرایط محیطی به ویژه دمای محیط و بتن می باشد. در هوای گرم منطقه این فعالیت تشدید می گردد. رطوبت لازمهٔ خوردگی است یون OH نقش مهمی را در خوردگی و تشکیل هیدروکسید

آهن بازی می کند و آب موجود نقش الکترولیت را بازی می کند و موجب تحرک یونی نیز می شود. به همین دلیل مقاومت الکتریکی بتن مرطوب و اشباع به مراتب کمتر از بتن خشک شده در هوا و اُون است. البته اشباع بودن دائمی باعث کاهش نفوذ اکسیژن می گردد و صرفاً مقدار کمی اکسیژن حل شده در آب ، به دور خمیر سیمان (بتن) راه می یابد. در یک محیط خشک خوردگی عملاً اتفاق نمی افتد. هم چنین بدون وجود اکسیژن ، زنگ زدگی میلگردها امکان پذیر نیست. نفوذ اکسیژن معمولاً به عنوان نفوذ هوا در این مورد شناخته می شود هر چند گاز CO_2 هوا نیز عامل کربناسیون خمیر سیمان سخت شده و تازه می گردد ولی در محیط خورنده نقش اکسیژن چشمگیرتر است. به هرحال باید گفت نفوذ CO_2 به همراه رطوبت موجود در خمیر سیمان عامل کربناسیون می باشد. عمل کربناسیون به دلیل کاهش قلیائیت محیط و ناپایداری بلورهای ژل (C-S-H) صورت می گیرد.

کاهش PH در محیط قلیایی به خودی خود استعداد خوردگی را افزایش می دهد بنابراین در برخی موارد عامل خوردگی میلگردها را کربناسیون بتن می دانند.

وقتی بتن کاملاً غرقاب است و معمولاً از آب دریا خارج نمی شود اکسیژن زیادی برای زنگ زدگی میلگردها در محیط بتن حضور نخواهد داشت وخوردگی با تأخیر قابل ملاحضه و سرعت کم اتفاق می افتد. به همین دلیل آیین نامه ها حداکثر نسبت آب به سیمان بتن مغروق در آب دریا را 0/45 می دانند در حالی که در سایر شرایط در محیط خورنده این حداکثر به 0/4 محدود می شود.

بالاتر بودن یون کلر در محیط اطراف بتن، نشت بیشتر آن را به داخل خمیر سیمان و بتن میسر می سازد که امری بدیهی و طبیعی قلمداد می شود. به هرحال برخی معتقدند که سایر شرایط محیطی مانند وجود سولفات می تواند باعث نفوذ بیشتر یون کلر گردد و بتن مدفون در خاک مرطوب حاوی سولفات و یون کلر شرایط بدتری نسبت به بتن مغروق در آب دریای شور دارد که یک علت آن را نیز می توان وجود اکسیژن و کاملاً اشباع نبودن بتن دانست.

به هر حال آزمایش ها و تجربیات نشان می دهد برای شروع فعالیت خوردگی و ادامه یافتن آن نیاز به میزان خاصی از یون کلر در محیط قلیایی اطراف میلگرد مدفون در بتن داریم. این میزان یون کلر از 0/25 درصد وزن سیمان بتن تا0/5 درصد قید شده است و در مورد آن در منابع مختلف با توجه به تجربیات و مشاهدات گوناگون اختلاف نظر وجود دارد.اما اکثراً مقدار0/35 تا 0/4 درصد را ذکر می کنند که آستانه یون کلر برای خوردگی نام دارد و برحسب یون کلر محلول در آب به صورت درصدی از وزن سیمان قید می گردد. این مقدار را با مقادیر مجاز یون کلر در بتن اولیه و تازه نباید اشتباه گرفت.

وزش باد می تواند باعث نفوذ یون کلرو موجود در هوا منطقه به ویژه در سمت خاصی از بتن گردد.

تری وخشکی مکرر مانند آن چه در منطقه جزر و مد و یا در محلی که در معرض پاشش آب دریا می باشد به شدت بر خوردگی میلگردها تأثیر می گذارد وآن را تشدید می کند. افزایش غلظت نمک های موجود در آب منطقه و در اختیار قرار گرفتن رطوبت و اکسیژن می تواند از علل تشدید کننده آن نیز باشد.

در صورتی که $Fe(OH)_3$ محصول اصلی زنگ زدگی میلگرد باشد حجم آن 2 الی 14 برابر حجم میلگرد اولیه است و در نتیجه انبساط آن فشار زیادی به اطراف بتن وارد می کند که باعث ترک خوردگی پوشش بتنی اطراف آرماتور می شود و آرماتور بدون محافظ در معرض عوامل محیطی قرار می گیرد. ادامه خوردگی باعث کاهش تدریجی سطح میلگرد می گردد و در صورتی که تعمیرات انجام نشود تخریب و شکستگی ممکن است بطور کامل روی دهد که در این حالت عمر مفید سازه به اتمام رسیده است. (شکل-1)

شکل 1- نمونه های از خرابی بر اثر تر وخشکی مکرر

عوامل موثر بر خوردگی آرماتور در بتن

جهت مقابله با پدیده خوردگی فولاد مدفون در بتن ابتدا باید عوامل به وجود آورنده این پدیده در منطقه را بررسی و شناخت ، مهمترین عوامل موثر بر خوردگی میلگردهای فولادی در بتن عبارتند از:

الف-پوشش بتنی:

-نفوذپذیری (عوامل موثر بر نفوذپذیری بتن)

-مقدار PH بتن (انواع مختلف سیمان پس از هیدراتاسیون منشأ قلیائی متفاوتی شده و واکنشهای شیمیائی منابع خارجی ممکن است PH را پایین بیاورند)

-ترک های موجود در بتن

-ضخامت لایه بتن (کاور)

ب-عوامل شیمیایی منابع خارجی:

-غلظت یون های تشدید کننده خوردگی مثلاً SO_4^{--} ، NO_3^- ، CL^-

-اکسیژن قابل دسترسی

-وجود گازهای آمونیاک ، H_2S ، CO_2، CO ، متان ، اتان ، بوتان ، SO ، SO_2 ، بخارات گوگرد و ترکیبات خاص

ج- میلگردهای فولادی:

-وضعیت سطحی میلگردها

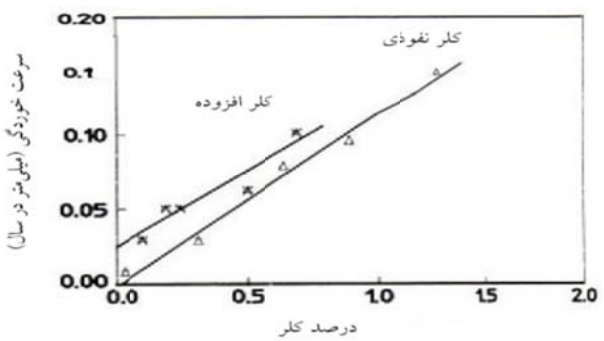
-نوع فولاد

-تنش های وارده مخصوصاً تنش متناوب

ترک های بتن: ترک ها بخصوص ترک های باز موجب قطع پیوستگی بتن گردیده و مقدار PH را تغییر می دهند. ودر نتیجه مقاومت در برابر خوردگی کاهش می یابد. عرض ترکها بمیزان تنش کششی فولاد آرماتور بستگی دارد بهمین علت در عمل برای جلوگیری از خوردگی فولاد تنش های کششی حداکثر را محدود می کنند. عرض ترک در سطح بتن نیز به ضخامت آن مربوط می شود، افزایش ضخامت پوشش بتن بمنظور افزایش حفاظت فولاد ممکن است موجب ترک وسیع تر و عمیق تر در پوشش بتنی گردد.

مواد شیمیایی منابع خارجی : این مواد به شکل محلول ها یا بحالت بخار باید در رابطه با تأثیر آنها بر خوردگی آرماتور مورد توجه قرار گیرد. محدوده پایداری لایه منفعل با غلظت یونهای تشدید کننده خوردگی نظیر SO_4^{--} ، NO_3^- ، CL^- تغییر می کند. این یونها حتی در بتن غیرکربناته قادر به ایجاد خوردگی حفره ای موضعی بوده و می توانند منجر به خوردگی تنشی فولاد پیش تنیده گردند. مواد شیمیایی موجود در آب دریا عمدتاً کلرورها و سولفات ها هستند. عمل سولفاتها با بتن مقاوم در برابر سولفاتها قابل حل بوده و تا وقتی ضخامت ، دانسیته و مقاومت سولفاتی بتن برای مقابله با حمله کافی باشد، از نظر خوردگی آرماتور با اهمیت نیست.

انتشار کلرورها (Pitting) میلگردها موجب خوردگی تنشی فولادهای پیش تنیده می شود. نفوذ یون های کلرور به تخلخل موئینه بتن ، غلظت کلرورهای محلول و پریود پخش بستگی دارد. بنابراین در محیطی با وجود کلرور با غلظت قابل ملاحظه ، لزوم نسبت آب به سیمان کمتر، بارآوری بهتر، نفوذپذیری کمتر و ضخامت پوشش بتنی بیشتر را ایجاب می کند. شکل-2 نتایج اثر یون کلر در حالات مختلف را براساس آزمایشات انجام شده نشان می دهد.



شکل 2-اثرات منشر کلر در میزان خوردگی

خوردگی بیولوژکی و میکروبیولوژیکی:

موجودات ذره بینی مثل باکتریها در شرایط خاصی می توانند با ایجاد مناطق میکروسکوپی دارای PH خیلی کم یا خیلی زیاد در تشدید خوردگی نقش مهمی داشته باشند. بهترین باکتریهای فعال در خوردگی عبارتند از باکتری احیاءکنندۀ سولفات ،باکتری مولد متان ،باکتری احیاکنندۀ نیترات ، باکتری گوگرد وباکتری آهن.

باکتری های احیاء کننده نیترات و مولد متان ممکن است باعث افزایش PH در نقطه ای از سطح قطعه گردند که این کار باعث تسریع واکنش خوردگی شود. ارتباط بین خوردگی بیولوژکی و خوردگی الکتروشیمیایی پیچیده است.شواهد تجربی وجود دارند که در بعضی از سیستمها، خوردگی بیولوژیکی مهمتر از الکتروشیمیایی است.[3]

بهبود عمل حفاظتی میلگردهای فولادی بوسیله بتن:

بر اساس تحقیقات انجام شده می توان نفوذپذیری سیمان پرتلند را در برابر نفوذ کلرورها با افزودن پوزولانی نظیر روباره نرم شده (تا 20 برابر) و میکروسیلیس (تا 10 برابر) کاهش داد. با افزودن فوق روان کننده به محلول می توان تراکم ساختار سیمان سخت شده را افزوده و نفوذپذیری آن را شدیداً کاهش داد، این عمل ناشی از کاهش ضریب آب به سیمان (W/C) می باشد که براساس تجربه استفاده در چندین پروژه انجام گرفته در منطقه عسلویه حد مناسب آن برای این منطقه که دارای محیطی شدیداً خورنده است بین 0/32 تا 0/35 می باشد.

خواص حفاظتی بتن یا عمل تهاجمی محیط را می توان با افزودن بازدارنده ها به محیط مهاجم یا آب مخلوط بتن، بهبود یا کاهش داد.مثلاً اگر نمونه های بتن مسلح در آب دریا نگهداری شوند زمان شروع تخریب بتن با افزودن نیترات کلسیم به محیط تا حد قابل توجهی به تعویق می افتد.

حفاظت سازه های بتن آرمه در برابر خوردگی

در بسیاری از محیطها، دوام کافی بتن از نقطه نظر حفاظت آرماتورها در مقابل خوردگی، با استفاده از بتن با کیفیت مناسب و پوشش کافی حاصل می گردد. لذا تنها در شرایط محیطی بسیار حاد است که نیاز به روشهای حفاظتی پیدا می شود. اما بعلت طراحی و اجرای ضعیف و استفاده از مصالح نامرغوب ، مسئله خوردگی میلگردها ، حتی در شرایط محیطی نه چندان سخت ، به میزان زیادی مشاهده شده است. لذا هر دو جانبه ، علاقه مندی به یافتن روشهای مختلف حفاظت آرماتور در برابر خوردگی را موجب شده اند.کوششهای انجام گرفته عمدتاً در پنج زمینه اصلی متمرکز می باشند.

1- استفاده از بازدارنده های شیمیایی خوردگی

2- استفاده از بازدارنده های آلی برای سطح بتن

3- استفاده از پوششهای آلی و فلزی برای میلگردها

4- استفاده از آلیاژهای مقاوم به خوردگی برای میلگردها

5- حفاظت کاتدی

جای خالی استفاده از بازدارنده های شیمیایی و آلی خوردگی پیش از سایر روشها در این منطقه به چشم می آید که در ادامه به این موضوع میپردازیم.

انواع بازدارنده ها

با اینکه تاکنون بازدارنده های متعددی پیشنهاد شده اند، فقط تعداد معدودی از آنها توانسته اند جهت مطالعات بیشتر ، مورد توجه محققین قرار بگیرند. بازدارنده های خوردگی موجود در بازار مطابق تقسیم بندی انجمن بین المللی مهندسی خوردگی [NACE]، در سه گروه عمده قابل تقسیم بندی می باشند:

- بازدارنده های آندیک
- باز دارنده های کاتدیک
- بازدارنده های آندیک-کاتدیک

معمولاً در هنگام ساخت بتن آرمه یک لایه اکسید در محیط فوق قلیایی بتن بر میلگردهای مدفون در آن شکل می گیرد.این لایه حتی در محیط کلریدی به غلظت $24\ kg/m^3$ ($1/5\ lb/ft^3$) میلگردها را از خوردگی مصون می دارد. بازدارنده های آندیک این لایه اکسید طبیعی را بهبود بخشیده و تثبیت نموده و خاصیت غیرفعال بودن میلگردها در مجاور خمیر سیمان را تقویت می نمایند.

یکی از این مواد بازدارنده ماده غیرآلی نیتریت کلسیم می باشد.بازدارنده هایی که پایه نیتریت کلسیمی دارند بیش از 15 سال است که در بازارهای تجاری جهان ارائه می شوند وتا کنون هیچ گزارشی از تاثیرات آنها بر روی بتن آرمه ارائه نشده است.

دو ماده آلی دیگری که در سال1991 میلادی به بازار آمده است، باتیل استرها و تریس امنتهای دریایی می باشند که هر کدام بطریقی مانع از خوردگی فولاد در بتن می گردند. باتیل استرها اولاً با کاهش نفوذپذیری بتن و ملاتهای متراکم اینکار را انجام می دهند. کاهش نفوذکلریدها و مکانیزم دوم عبارتست از ایجاد یک سد لایه ای نازک بر روی فولاد، که تا بحال توسط هیچ منبع غیروابسته ای ارزیابی و تأیید نشده است.

آخرین مطالعات انجام شده

کاربرد بازدارنده ها در بتن توسط محققینی همچون Graig and wood ، Treadway and slater و Russel و توسط Berke مورد بررسی قرار گرفته است.

نیتریت کلسیم مطرح ترین بازدارنده خوردگی شناخته شده می باشد که مصرف آن در دنیا بتدریج رو به تزاید است، این ماده برای ساخت سازه های جدیدی بکار می رود که قرار است در محیطهای آلوده به یونهای کلراید احداث شوند.

کاربرد عملی نیتریت کلسیم بعنوان بازدارنده خوردگی در ایالات متحده آمریکا براساس دستورالعمل دپارتمان ایالتی حملو نقل در سال1978 بکارگرفته شد.که نیتریت کلسیم برای حفاظت از آماتورهای پوشش نشده بکار رفته است. نمونه برادیهای اخیر نشان می دهد که نیتریت همچنان در بتن حضور داشته وحالت انفعالی بتن همچنان محفوظ مانده است.

در سال 1980 در ماساچوست سیستم حفاظت خوردگی نیتریت کلسیم برای بتنهای پیش تنیده بکار رفته، آزمایشاتی که در سال 1991 صورت گرفت نشان داد که هیچ علامتی برای خوردگی وجود ندارد.نتایج ارزشمندی که از این سازه ها بدست آمد، سودمند وکارا بودن مطالعات آزمایشگاهی بر روی نیتریت کلسیم برای اهداف بلند مدت را روشن می سازد.

برپایه مطالعات وسیع آزمایشگاهی و کار بردی موفقیت آمیز اولیه در عمل، مصرف نیتریت کلسیم در جهان رو به افزایش است. بیش از دویست سازه ساخته شده در ایالات متحده و کانادا از هالی فکس تا بوستون وسی آتل حاوی نیتریت کلسیم می باشند. در بعضی ، از سیلیکافوم خاکستربادی و روباره آهن گذاری استفاده شده است. لازم به ذکر می باشد که کاربرد سیلیکافوم نیز رو به افزایش است.[4]

سازه هایی که جهت حفاظت از خوردگی کلروری در آنها می توان از نیتریت کلسیم سود جست عمدتاً عبارتند از: تانکره های یخ زادئی نمک ، عرشه های بارگیری ، سازه های زیر زمینی ، کالورتهای دافع آب سطحی و برگشتی پالایشگاه ها ، بنادر وسازه های ساحلی و ... همچنین کاربرد آن برای هر جائیکه بایستی فلز مدفون در بتن را در برابر خوردگی محافظت نمود، افزایش می یابد.

عملکرد بازدارنده های معدنی باینصورت است که نیترات کلسیم باFe_2O_3 (زنگ) ترکیب و Feo محافظ تولید می کند و عیب آن این است که بایستی میزان مصرف آن به دقت محاسبه شود که کار مشکلی است. اگر بیشتر مصرف شود، باعث ایجاد ترک در بتن و اگر کمتر بکار برده شود، بلااثر خواهد بود و همچنین فقط روی آند اثر دارد.

ارائه راهکارجهت استفاده در منطقه:

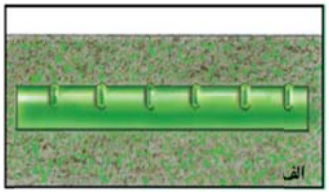
معرفی تکنولوژی MCI

یکی از پیشرفته ترین تکنولوژی های روز جهت کنترل خوردگی ، روش MCI یا به عبارتی بازدارنده خوردگی با خاصیت نفوذ و حرکت به سمت آرماتور است، MCI مخفف (Migratory Corrosion Inhibitor) و بمعنی بازدارنده خوردگی آلی از نوع الکل آمینه و کربوکسیلات با خاصیت مهاجرتی نفوذگری است که در صورت افزودن به بتن یا اسپری روی قفسه آرماتور و یا اسپری روی سطح بتن مسلح به داخل آن نفوذ و دور آرماتور یک لایه محافظ مولکولی ایجاد می کند در این تکنولوژی مواد نفوذگر باعث حفاظت آرماتور و بتن می شوند. امروزه تکنولوژی MCI برای جلوگیری از خوردگی میلگردهای فولادی مدفون در بتن رواج یافته است. این مواد نیز به صورت افزودنی تشکیل دهنده ملات بتن و یا اشباع سطح بتن بکار برده می شوند.

روش فوق تنها جایگزین حفاظت کاتدیک با مزایای تسهیل در اجرا- پایین بودن هزینه می باشد.

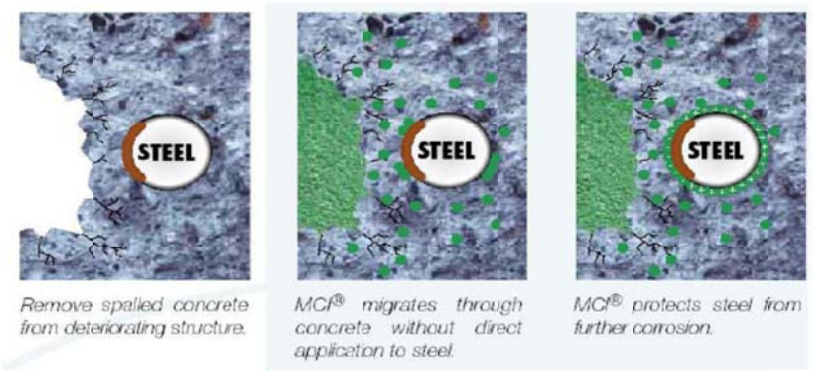
پروژه های مورد استفاده: پروژه های مهم در دنیا از جمله برج پرنسس در دوبی ، ساختمانهای پنتاگون در آمریکا ، اسکله عظیم در ساحل دریای سیاه در روسیه ، خط آهن در چین ، دوازده فقره پل های راه آهن و ساختمان مرکزی ایستگاه راه آهن بندرعباس ، حوضچه های خشک ساخت و تعمیر کشتی مجتمع کشتی سازی فراساحل بندرعباس ، پلهای پیش ساخته قطعات راه آهن شیراز - عسلویه ، شیراز – بوشهر ، قم با این روش حفاظت شده اند. استفاده از ماده فوق 25 درصد هزینه بتن مسلح را افزایش داده که در طول بهره برداری باعث کاهش شدید هزینه های نگهداری می شود.

مکانیسم حفاظت از خوردگی: نفوذ مولکولهای بازدارنده ی خوردگی در بتن طبق پدیده مویینگی نفوذ مواد MCI به سمت سطح میلگردها ، جذب سطحی موادMCI برروی میلگرد ، ایجاد لایه محافظ تک مولکولی روی میلگرد مدفون ، محافظت میلگرد بتن مسلح در برابر کلراسیون، کربناسیون و سایر عوامل خورنده.(شکلهای 3 و4)



شکل-3 الف: بتن مسلح محافظت شده با MCI

شکل-3 ب : بتن مسلح معمولی



شکل-4: مکانیسم محافظت ترکیبات MCI از خوردگی فولاد بتن مسلح

نتیجه گیری:

1- شرایط محیطی گرم ومرطوب منطقه علیرغم سرعت بخشیدن به کسب مقاومت اولیه فشاری و کششی بتن، فعالیت یونهای مخرب کلریدی را بیشتر کرده وآثار خوردگی در بتنهایی که در این شرایط محیطی تحت عمل آوری و نگهداری قرار گرفته اند، زودتر بروز می نماید.

2- در صورت استفاده صحیح و به میزان مشخص نیتریت کلسیم تأثیر سوئی بر روی خواص بتن تازه وسخت شده نمی گذارد.

3- در شرایط محیطی گرم ومرطوب از تأثیر مثبت نیتریت کلسیم جهت خوردگی می کاهد

4- در کل می توان گفت که استفاده از نیترات کلسیم پاسخ قطعی برای جلوگیری از پدیده خوردگی مخصوصاً برای بتنهای معمولی و نامرغوب با نسبت آب به سیمان بالا در شرایط محیطی منطقه نبوده و برای بهسازی تأثیر آن بایستی از روشهای دیگر پیشگیری سود جست و یا با استفاده از بتنهای حاوی میکروسیلیس یا خاکستر بادی ، فولادهای ضد زنگ ، پوشش های اپوکسی برای میلگردها یا سطح بتن از روند پدیده خوردگی کاست.

5- مواد MCI تاثیر بسیار ناچیز بر ظرفیت هوا، زمان گیرش ، اسلامپ،مقاومت فشاری، مقاومت در برابر یخبندان و غیره دارد وگاهی کاملاً بی تأثیر است.

6- به طور کلی MCI سازگار با مصالح تشکیل دهنده بتن و افزودنی های آن می باشد وتأثیری بر طرح اختلاط بتن ندارد.

7- سازگار با محیط زیست است

8- عملکرد حفاظتی آنها به دو صورت آندی وکاتدی است.

9- خطر استفاده نادرست آن وجود ندارد.

10-سرعت انتشار و جذب بالایی داشته و لزومی به آغشتگی مستقیم میلگرد نیست.

11-تکنولوژی MCI باعث کاهش حداکثری 83 درصدی نرخ خوردگی بتن و میلگرد می گردد و طول عمر سرویس سازه ای بتنی مسلح در معرض خوردگی را 26 سال افزایش می دهد.

12-از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

13-این مواد به صورت فرآورده های مختلف در قالب افزودنی بتن، کاربرد سطحی و ملات تعمیری و با مقادیر مصرف متفاوت ، تولید می گردند.

منابع:

1- تکنولوژی بتن ، پرفسور نویل و دکتر بروکس، ترجمه ی دکتر علی اکبر رمضانیانپور و مهندس محمد رضا شاه نظری، انتشارات علم وصنعت 110 ، تهران،1386

2- مهندسی خوردگی ، دکتر احمد ساعتچی ، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان ،چاپ اول 1387

3- مقاله بررسی مشکلات اجرایی بتن در سواحل گرم خلیج فارس ، مسعود اژدری ، بندرعباس ، دیماه 1383

4- طراحی و کنترل مخلوط های بتن (ویرایش سیزدهم) ، استیون اچ وکسماتکا، ترجمه علیرضاخالو و محمود ایراجیان، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف ،چاپ سوم،تهران،1385

5- مبانی مدیریت پروژه عمرانی شهری و بحران،دکترساسان سوادکوهی فر،انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، چاپ اول،تهران1386

1-A Benture ,S.Diamond and N.S.Bereke,"Steel Corrosion in Concrete",1997

2-Dubravka Bjegovic and Boris Miksic , FNACE-“MCI Protection of Concrete”

3-Buisman , C. "Biotechnological Suplphide Removal" Vol.24 , No.2 , 1990

4-ASCE , " Manuals and Reports on Engineering Peactice" No.60 , 2005

5- Kosmatka, Steven H. "Design and Control of Concrete Mixtures" ,2003