مقدمه

از اوايل دهه هشتاد مطالعاتي كه بويژه در سواحل خليج فارس و درياي شمال انگلستان براي استخراج نفت با استفاده از سكوهاي بتني انجا م گرفت ، نشان دهندة آن بود كه زنگ حاصل از آرماتور حدود 5 برابر حجم آرماتور تبديل به زنگ شده حجم دارد و لذا يك تورم در درون بتن در ا ثر زنگ زدگي ميلگرد بوجود مي آيد كه در اثر اين زنگ زدگي بين بتن و ميلگرد فاصله افتاده و به تدريج تورم زياد به ترك تبديل ميشود . بنابراين عوامل مخرب از اين ترك ها به راحتي وارد بتن شده و كم كم پوشش بتني روي ميلگردها فرو ريخته و ميلگردها كاملاً عريان باقي ميمانند.در شرايط محيطي گرم و مرطوب و همچنين جاهاييكه غلظت يون كلر بيشتر است ميزان خوردگي افزايش مييابد. بعنوان مثال خوردگي در خليج فارس نسبت به درياي خزر خيلي بيشتر است. تجربه نشان داده است كه در شرايط عادي در صورتيكه از بتني با كيفيت بالا كه داراي پوشش كافي براي آرماتورها باشد استفاده شود ، از پديدة خوردگي جلوگيري ميشود. اين محافظت بدليل درصد بالاي خاصيت قلياييي در بتن است (PH نزديك به) 13 ، كه توسط لاية نازك خاكستري رنگ و تاثيرپذيري كه بر روي سطح ميلگردها تشكيل مي شود ، ايجاد مي گردد . البته محافظت از خوردگي ، مسئله را بصورت دائمي حل نمي كند ، زيرا محيط اطراف پيوسته تمايل به اثرگذاري بر روي بتن و نهايتا تخريب اين لاية تاثير پذير خواهد داشت .تخريب اين لايه ممكن است ناشي ا ز كلرايدهاي آزاد در اطراف آرماتورها ويا كربناسيون لاية پوششي بتن باشد. مدت زماني كه سپري ميشود تا لاية محافظ ميلگردها تخريب گردد به عوامل زير بستگي دارد :

- ضخامت لايه پوشش بتن كه هرچه كمتر باشد اين زمان كوتاه تر می شود .
- كيفيت لايی پوشش بتن كه وابستگي شديدي به نسبت وزنی آب به سيمان دارد . هرچه نسبت آب به سيمان افزايش يابد اين زمان كوتاه تر می گردد .
- شرايط محيطی ، درجه حرارت ، رطوبت و سطح آلودگی سولفاتها ، كلرايدها و نفوذ دی اكسيدكربن .

در مراحل ابتدايی ممكن است فرآيند خوردگی با علائم غيرقابل رويت به سوی زوال بتن پيش رفته و نه فقط در سطح بتن بلكه در محل آرماتورگذاری توسعه پيدا كند . در چنين شرايطی از خطر صدمات ناشی از خوردگی در آينده ، فقط با ارزيابی و انجام بررسی های ويژه مي توان جلوگيری بعمل آورد .

پديده خوردگی آرماتور

خوردگي آرماتور در بتن يك فرايند الكتروشيميايي است كه در آن فلز آهن بر اثر اختلاف پتانسيل بين بتن و آرماتور به محصول خوردگي حجيم اكسيد فريك تبديل مي شود . البته در شرايط عادي ميلگرد در درون بتن با حضور آب خورده نميشود زيرا با دورگيري ميلگرد توسط بتن ، يك لايه محافظ يا Fe3o4 در اطراف آن ايجاد ميشود كه آن را از خوردگي حفاظت ميكند . اين لاية محافظ زماني تشكيل نمي - لايه انفعالي Layer Passive " كه شود از متشكل

- PH كه معتقدند محققين برخي) از كمتر PH 11 شود خوردگي شروع سبب ميتواند). باشد پايين بتن محيط (- غلظت يون كلر در محيط بتن از حد مشخصي بيشتر باشد

همچنين نفوذ Co2 به درون بتن باعث تركيب آن با آب و توليد اسيد كربنيك ميشود كه PH محيط بتن را كاهش ميدهد و در نتيجه موجب همچنين نفوذ تسريع روند خوردگي ميلگرد ميشود. همچنين اسيد كربنيك با Ca)OH(2 وارد عمل شده و توليد كربنات كلسيم ميكند كه خود يك چسب است . نفوذ Co2 به درون بتن چه به صورت خشك و چه همراه با آب ، كربناسيون بتن ناميده مي شود . كربناسيون از جنبة چسبندگي و مقاومت مفيد است ولي به علت ايجاد و افزايش پديدة جمع شدگي و در نتيجه افزايش عرض ترك ها براي بتن مضر شناخته ميشود ، لذا كربناسيون با پائين آوردن PH محيط بتن و در نتيجه از بين بردن لاية محافظ ، باعث افزايش خوردگی مي شود.

بر اساس شرايط و عوامل مساعد براي خوردگي ميلگردها در مناطق ساحلي ، سه نوع ناحيه به وجود ميآيـد كـه از لحاظ خوردگی متفـاوت می باشند:
- ناحية زير آب (Submerged Zone) : ناحيه ای است كه دائماً در زير آب قرار دارد و از نظر خوردگي محيط امني به حساب مي آيد اما از نظر نفوذ يون سولفات مشكلاتي وجود دارد .
- ناحية جزر و مد (Tidal Zone) : ناحيه ای است كه دائماً در حال تر و خشك شدن ميباشد و از نظر خوردگي آسيب پذيرترين منطقه محسوب مي شود .
- ناحية اتمسفر (Splash Zone) : ناحيه ای است كه بر اثر امواج دريا ، آب روي آن پاشيده ميشود . در اين منطقه هم بتن و هم ميلگرد در معرض آسـيب قرار دارند. در كشور ما ايران بعضی مواقع آسيب های اين منطقه از منطقه جزر و مد هم بيشتر است .

در خليج فارس غلظت يون كلر در هوا در حدود 5 ميلی گرم بر ليتر می باشد و به همين دليل خليج فارس جز بـدترين منـاطق از نظـر خـوردگی بشـمار مي آيد. همچنين غلظت يون كلر در درياي خزر حدود 5000ppm ولي در خلـيج فـارس در حـدود 17000ppm - 15000 اسـت و بـا توجـه بـه اينكه عمـق متوسط آب در خليج فارس نسبت به دريای خزر خيلي كمتر است خوردگی شديدتری در منطقه خليج فارس رخ خواهد داد.

ميزان غلظت يون كلر در آستانه خوردگی كه همان مقدار مورد نياز يون كلر در مجاورت ميلگرد براي از بين بردن لايه محافظ و شـروع خـوردگی است از طرف بعضی محققين حدود 0/35 درصد وزن سيمان و يا 0/05 درصد وزن كل بتن اعلام شده است.

روش های پيشگيری از خوردگی آرماتور

در شرايط اقليمی مختلف ، عوامل متعدد فيزيكی ، شيميايی ، بيولوژيكی و غيره فعالند كه باعث زوال بتن و خوردگی آرماتور آن مـی شـوند . در محافظـت از بتن و آرماتور آرمه كننده آن ، جلوگيري از نفـوذ رطوبـت ، كلريدها و دی اكسيد كـربن ، لازم اسـت تـا از كربناتـه شـدن بـتن جلـوگيری شـده و سـرعت خوردگی آرماتور آن كاهش يابد . روش های پيشگيری از خوردگی آرماتور به اختصار مورد بررسی قرار مي گيرند.

بتن با كيفيت بالا

در كليه شرايط محيطي ، دستيابي به سازه هاي بتني با دوام زياد ، بوسيلة طراحي مناسب ، تركيب بتن ، اجرا و عمل آوري مناسب بتن ، ممكن مي با .شد در اين خصوص توضيحاتي به شرح زير مفيد خواهد بود

مناسب طراحی

در مورد خوردگي ، شديدترين شرايط محيطي ، سيكل هاي تر و خشك شدن مكرر مـي باشـد . در طراحـي لازم اسـت ، ميـزان آب تبخيـري از سـطح بـتن ، انتخاب سازة مناسب ، نقاط ضعف سازه ها مانند جوشهاي درزدار ، سطوح افقي كه باعث ايجاد محيط مرده براي آب مي شوند و..... ، بـه دقـت مـورد توجـه قرار گيرند .

محدود كردن عرض ترك

يكي از اثرات مهم عرض ترك ، تاثير بر روي زمان شروع خوردگي است . تحت شرايط نامساعد ، زمان شروع خوردگي آرماتور بـراي تركهـايي بـه پهنـاي 0/4 الي 0/5 ميليمتر و پوشش بتني با ضخامت 4تا 2 سانتيمتر ممكن است حتي كمتر از 5 سال باشد . اگر كيفيت پوشش بتني بـالا باشـد ، تخريبهـاي ناشـي از خوردگي حتي در حضور تركهايي با عرض 0/3 ميليمتر هم ناچيز خواهد بود .

ترکیب بتن

يكي از روش هاي كاهش خوردگي، كاهش نفوذپذيري در بتن ميباشد كه نوع سـيمان در ايـن نفوذپـذيري مـؤثر اسـت . در برخـي م راجـع در مـورد دوام و C3 > پاياپي بتن هاي خليج فارس استفاده از سيمان هايي با 10 > درصد شش از بزرگتر C3A داراي كه II تيپ سيمان از استفاده خصوص اين در . است شده توصيه % 6 A% بوده و به حداكثر C3A برابر هشت درصد محدود ميشود مناسب بوده و به نظر مي آيد كه اسـتفاده از سـيمان هـاي تيـپ III بـا C3A كمتـر از ده درصد هم اشكالي نداشته باشد . همچنين استفاده از سيمان هاي پوزولاني و سرباره اي نيز مناسب ميباشد . البته پوزولان با مصرف آهـك، PH محـيط بـتن را پائين ميآورد ولي چون با مصرف پوزولان نفوذ پذيري كاهش مييابد لذا بسياري از محققين يكي از راه حل هاي كاهش خوردگي را استفاده از پـوزولان و يا استفاده از سيمان پوزولاني ميدانند ، زيرا معتقدند كه اثر كاهش نفوذپذيري ، بيشتر از اثر كاهش PH بوده و لذا سبب جلوگيري از خوردگي خواهـد شـد . در بين پوزولان ها ميكرو سيليس از همه بهتر عمل ميكند چون سريعتر واكنش ميدهد . همچنين ميكرو سيليس يـك كنـدي در حركـت يـون هـا بـه وجـود آورده و مقاومت الكتريكي را افزايش داده و خوردگي كه يك پديده الكتروشيميايي است كندتر پيشرفت ميكند. بنابراين بـالاتر بـودن مقاومـت اللكتريكـي بتن ميتواند در ديرتر شروع شدن خوردگي و همچنين كاهش آهنگ خوردگي مؤثر باشد

از عوامل موثر ديگر بر روي قابليت نفوذپذيري بتن ، نسبت آب به سيمان است . اين نسبت بايستي با افزايش قدرت تهاجمي محيط ، كاهش داده شود . با توجه به شرايط محيطي ، نسبت آب به سيمان مي تواند بين تا 4/0 0/55 انتخاب شود. از نظر حفاظت خوردگي ، مقدار سيمان در مقايسه با نسبت آب به سيمان از اهميت كمتري بر خوردار است. غالبا عيار سيمان در حدود 300 كيلوگرم مي تواند مناسب تلقي شود

اجرا و عمل آوری مناسب

در بخشهاي قبل اشاره شد كه از لحاظ خوردگي ، كيفيت پوشش بتني از اهميت زيادي برخوردار است . منظور از كيفيـت پوشـش بتنـي هـم ضـخامت و هـم قابليت نفوذپذيري آن است . بايستي توجه داشت كه انتخاب ضخامت كافي ، نسبت آب به سيمان و زمان عمل آوري از عوامـل مهـم بـراي كيفيـت پوشـش بتني هستند كه بايد بعنوان شرايط محيطي مورد توجه قرار گيرند . در ضمن به منظور دورگیری کامل میلگردها و کنترل میزان تراكم بتن بـ ويژه در لايـه هـاي بيروني مي بايست از بتن روان (بتني با كارايي بالا) استفاده گردد.

شايان ذكر است كه ايجاد پوشش بتنی با قابليت نفوذپذيري كم ، تنها از طريق شرايط عمل آوري مناسب قابل دستيابي است. زمان مورد نيـاز بـراي عمل آوري بتن بستگي به تركيب بتن و شرايط محيطي دارد . تامين رطوبت كافي و دمـاي مناسـب در طـول مـدت عمـل آوري بـتن ، داراي اهميـت زيـادي است

استفاده از سیستم های پوششی

استفاده از سيستم هاي پوششي مانند پوششهاي فلزي در آرماتور ، پوشش با مواد آلي ويا پوششي از مواد غيرآلي روي آرماتورو سـازه مـانع مناسـبي در برابـر مواد خورنده خواهد بود

حفاظت کاتودیک

هدف از چنين حفاظتي ، استفاده از يك جريان كوچك و كافي براي غلبه بر خـوردگي بوجـود آمـده در آرماتورهـا ميباشـد . در ايـن روش اجـزاء در حـال خوردگي (آندها) با استفاده از يك آند خارجي در سطح بتن به اجزاء غيرخورنده (كاتدها) تبديل ميشـوند . ايـن روش در پلسـازي بصـورت محـدود ولـي براي لوله گذاري در زير زمين و حفاري در مناطق ساحلي بطور وسيع مورد استفاده قرار ميگيرد

آرماتورهای آرماتور آلیاژی

بر روي آرماتورهاي آلياژي بعنوان آرماتور تقويت كنندةبتن ، تحقيقات گسترده اي صورت نگرفته است. نتايج محدودي كه تا بحال بدست آمده است نشـان مي دهند كه آرماتورهاي ضد زنگ مقاومت بسيار خوبي در مقابل خوردگي دارند. از سوي ديگر انتظـار مـي رود كـه بـا كـاهش عناصـر آليـاژي ، مقاومـت خوردگي هم كاهش يابد .

بحث و نتيجه گيری

خوردگي يك فرآيند الكتروشيميائي است كه نياز به اكسيداسيون ، رطوبت و جريان الكترون از يـك نقطـه بـه نقطـة ديگـر فلـز آرمـاتور را دارد . خـوردگي آرماتور ، اكسيد آهن و هيدروكسيد توليد مي كند كه حجم آن بيشتر از حجم فلز اوليه بوده و اين افزايش حجم يك تـنش شـعاعي قـوي اطـراف ميلگردهـا ايجاد نموده كه نتيجة آن تشكيل تركهائي در اطراف ميلگردها است.

در شرايط عادی هنگامي كه آرماتورهاي آرماتوري در بتن قرار مي گيرند ، خوردگي در آنهـا ايجـاد نمـي شـود ، زيـرا در محـيط چسـبناك قليـائي سيمان ، يك لاية غيرفعال و محافظ در سـطح آرماتورهـا تشـكيل شـده و از خـوردگي آنهـا جلـوگيري بعمـل مـي آورد . اگـر ضـخامت پوشـش بتنـي روي آرماتورها كافي نباشد ويا بتن نفوذپذير باشد ، ممكن است لاية محافظ آسيب ديده و بشكند . با شكستن لاية محافظ ، آرماتور مستعد خوردگي و فسـاد شـده و اين شروع يك فرآيند رو به رشد است كه مي تواند باعث ترك خوردگي و شكسـتگي در بـتن گـردد . ايـن تركهـا و شكسـتگيها بـويژه در گوشـة تيرهـا ، ستونها ، بالاي ميلگردهاي اصلي ، روي خاموتها و وصله ها قابل توجه مي باشند .

خوردگي آرماتورها يك پديدة مضر است و در صورتيكه برخورد منطقي با آن نگردد ممكن است خسارات جبران ناپذيري ايجاد نمايد. حساسيت اين موضوع در محيط هاي خورنده نظير سواحل خليج فارس و جزاير جنوبي كشورمان ايران بيشتر است . تجربه نشان مي دهـد كـه حتـي در شـرايط محيطـي خورنده مي توان با اتخاذ تدابير لازم در حين طراحي و اجراء سازه هاي بتن آرمه ، ميزان خوردگي آرماتور را كاهش داده و به حد قابل قبول رساند