حفاظت کاتدي در بتن

www.cathodicprotection.blogfa.com

مقدمه:

- بتن يكي از پر مصرفترين سازه هاي مهندسي است كه هر طراح و مهندسي با آن به نوعي در رابطه است.
- با توجه باينكه اكثر سازه هاي زير بنايي از جمله سدها،بزرگراهها، برجهاي مرتفع نيروگاهها و غيره با بتن ساخته مي شوند اهميت حفاظت از آنها در قبال خوردگي مهم مي شود.

خوردگي در بتن مسلح:

- از مهمترين عوامل خوردگي در بتنهاي مسلح مي توان به :

۱- ورود دي اكسيد كربن (كربناته شدن)

۲- ورود يون كلر

اشاره كرد.

كه هردو منجر به تخريب لايه پسيو فولاد در بتن مي شوند.

دلايل وجود لايه پسيو آرماتور فولادي در بتن:

وجود :

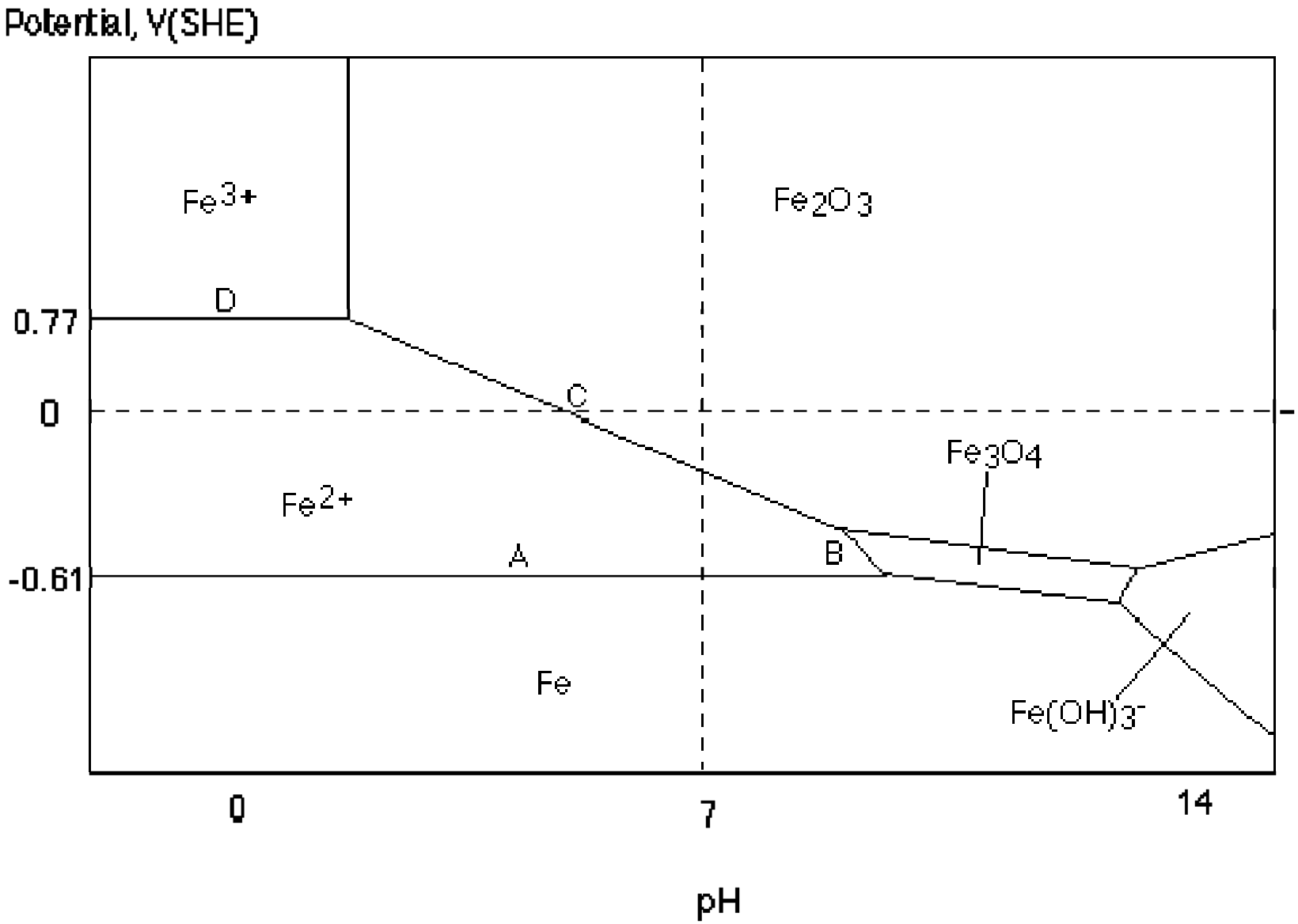
۱- هيدروكسيد سديم

۲- هيدروكسيد كلسيم

۳- هيدروكسيد پتاسيم

در بتن كه منجر به PH بين ۱۳-۱۲ مي گردد و طبق دياگرام پوربه افزايش

فولاد وارد منطقه پسيو مي شود است .



شکل ۱- دیاگرام پوربه

ورود دي اكسيد كربن (كربناته شدن):

- كربناته شدن به واكنش دي اكسيد كربن موجود در هوا با هيدروكسيدهاي

درون بتن اشاره دارد و باين علت كه لايه پسيو فولاد را از بين خواهد برد

$$Ca(OH)_2+CO_2=CaCO_3+H_2O$$

مضر است.

$$CaCO_3+CO_2+H_2O=Ca(HCO_3)_2$$

قابل حل

- حل شدن $Ca(OH)_2$ بعلت کربناته شدن موجب کاهش PH بتن به

زیر ۹ شده ه باعث دی، بسیه شدن سطح آ ماته ر فه لادی، مي گردد.

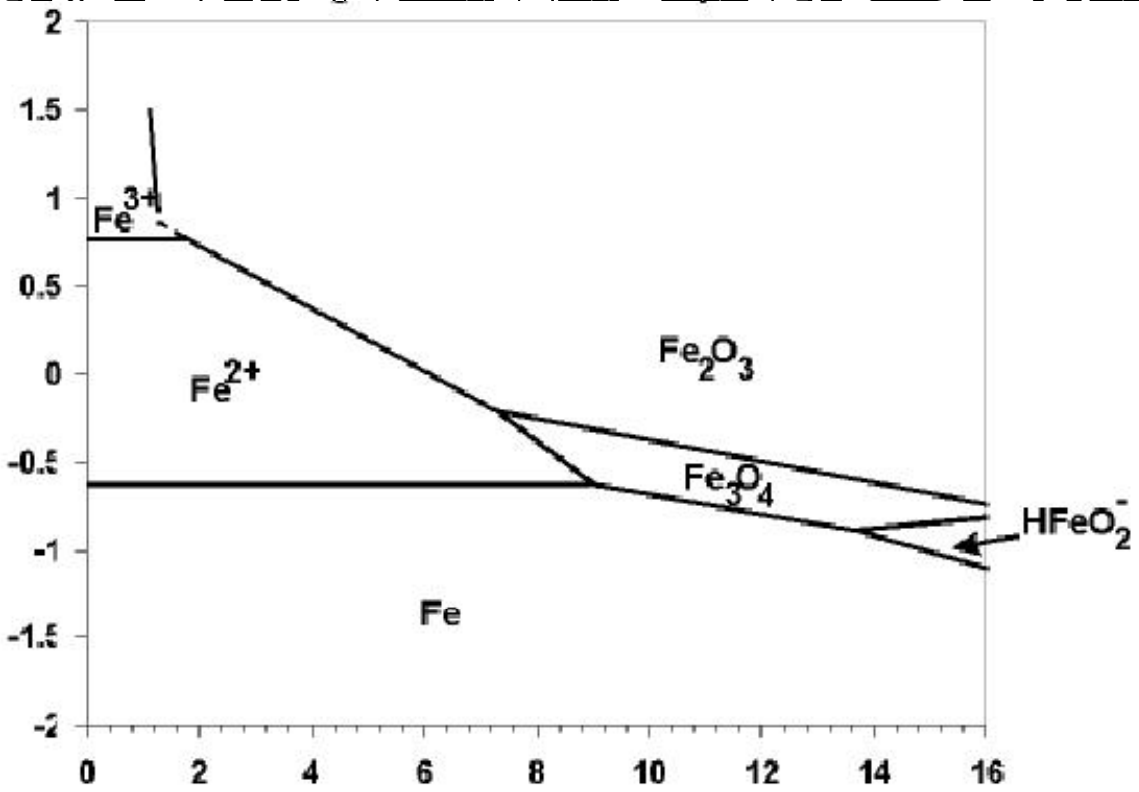
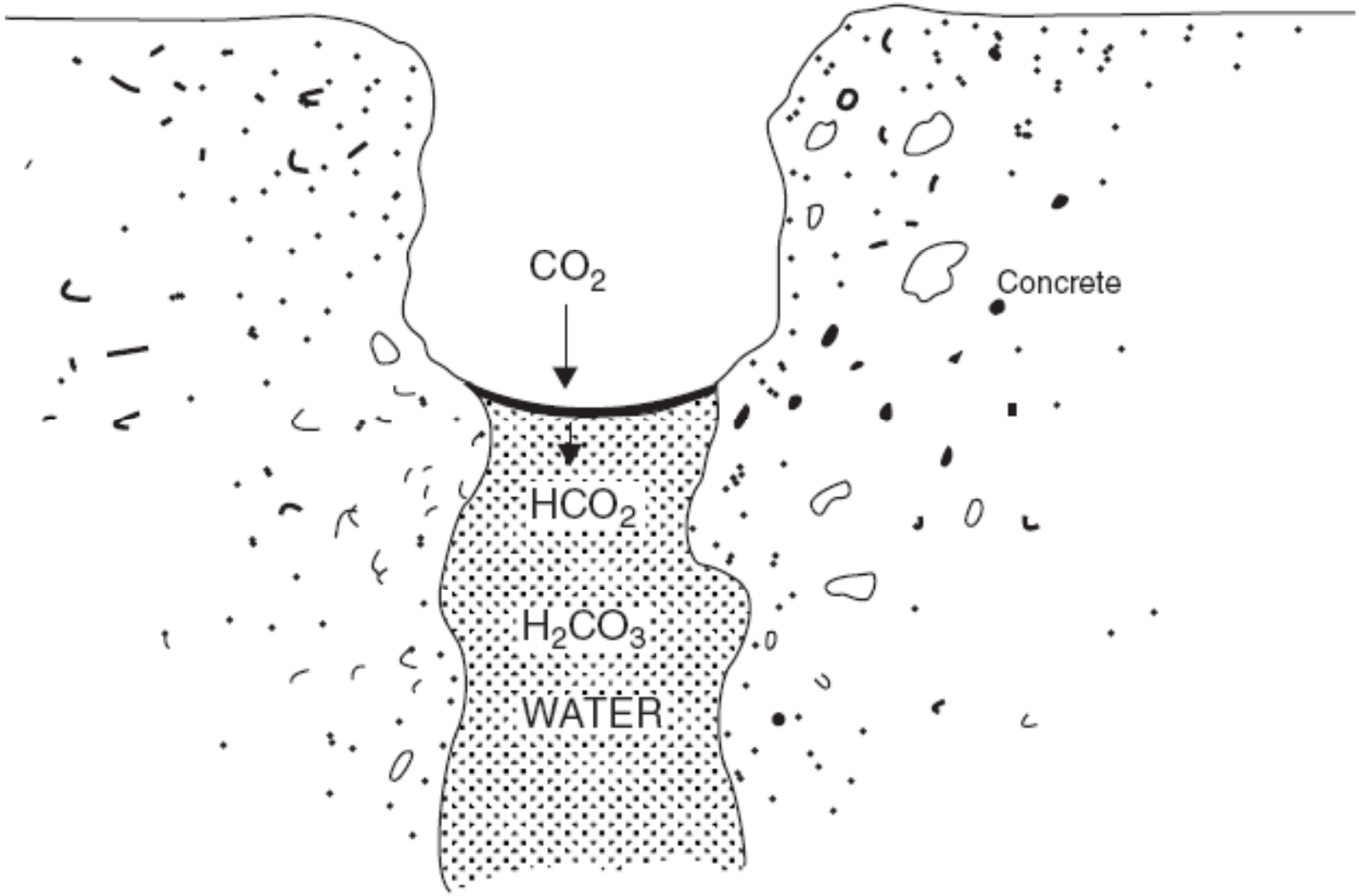


Figure 2—Potential-pH (Pourbaix) Diagram of Iron in Water



Reaction of carbon dioxide in pore water with lime and alkaline constituents.

کلریدها :

- کلریدها بعلت توانايي در نفوذ و تخريب لايه هاي پسيو فولاد و ديگر آلياژ ها

بخوبي شناخته شده هستند.

$$Fe => Fe^{2+} + 2e^{-}$$

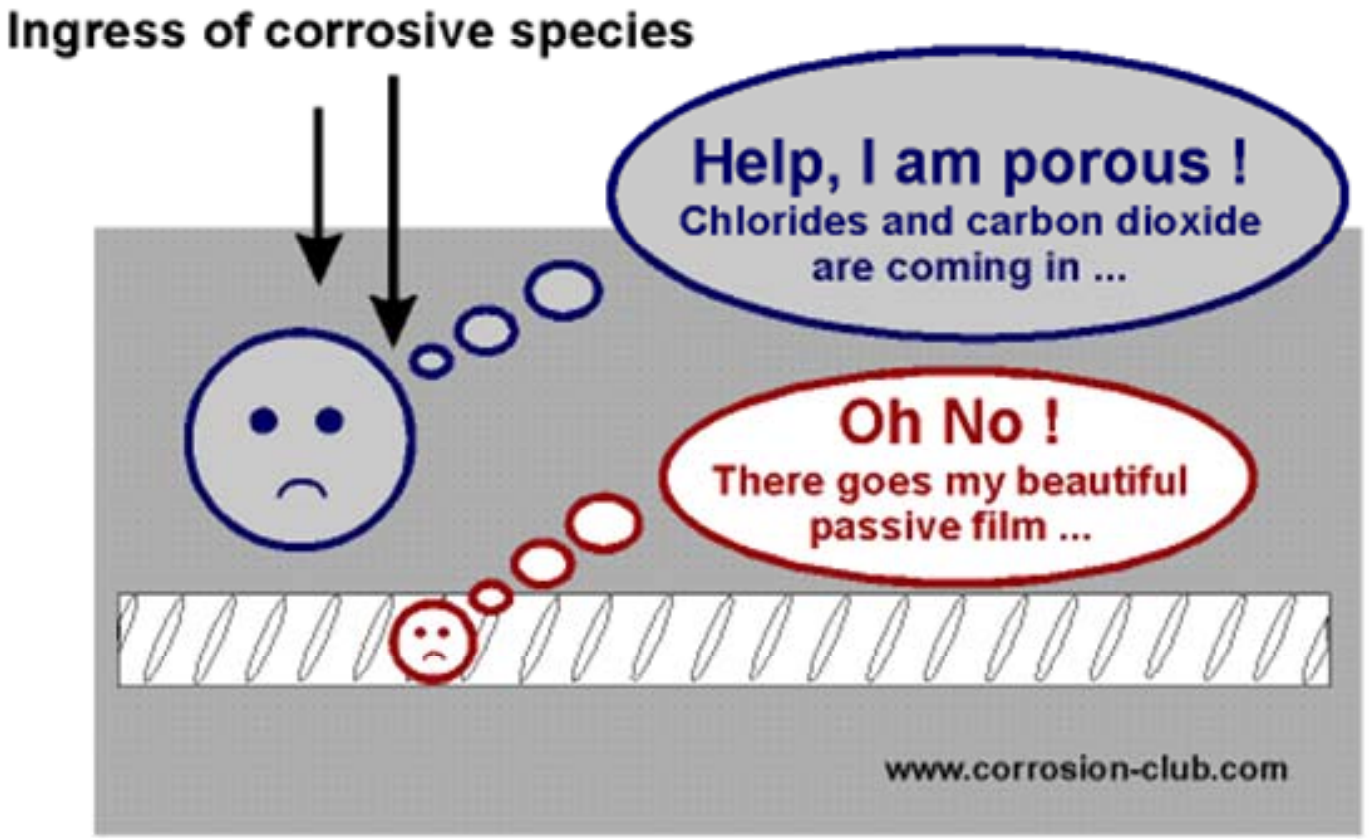
$$FeCl_2 + 2H_2O = 2HCl + Fe(OH)$$

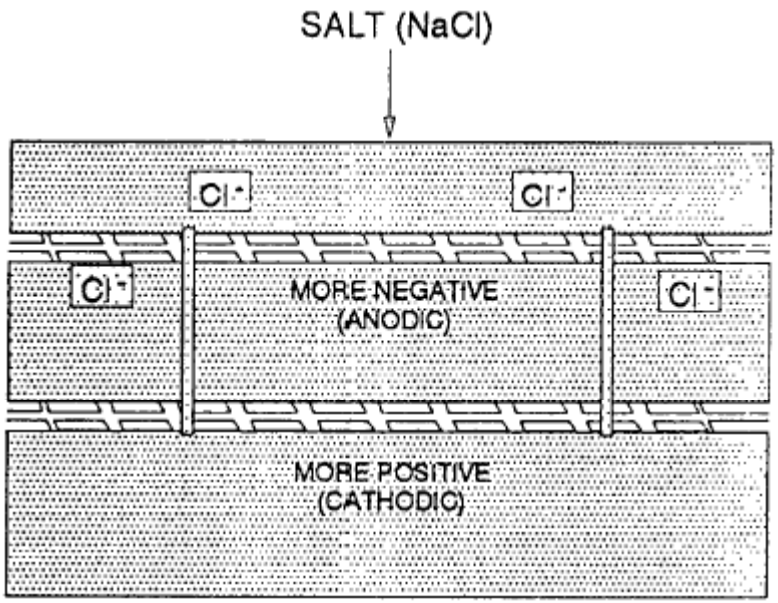
منابع:

- مخلوط اوليه بتن
- منبع خارجي همچون اتمسفرهاي دريايي و يا نمکهاي ضد يخ

- اسيدي شدن موضعي بعلت هيدروليز كلريد فلز (آهن) منجر به فراهم آمدن شرايط اتوكاتاليتيك خوردگي بتن مي گردد.
- كلريدها هم به تنهايي و هم به همراه كربناته شدن از عمده عوامل خوردگي در سازه هاي بتني مسلح هستند.

ورود یون کلر و تخریب پسیویته:



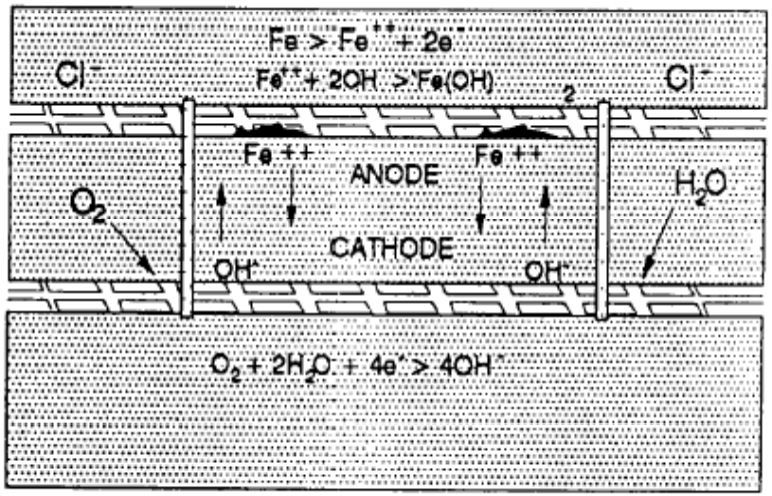


به علت نا همگن بودن بتن و تخلخل آن ، يونهاي

كلريد به فواصل مساوي نفوذ نكرده و دو آرماتور در

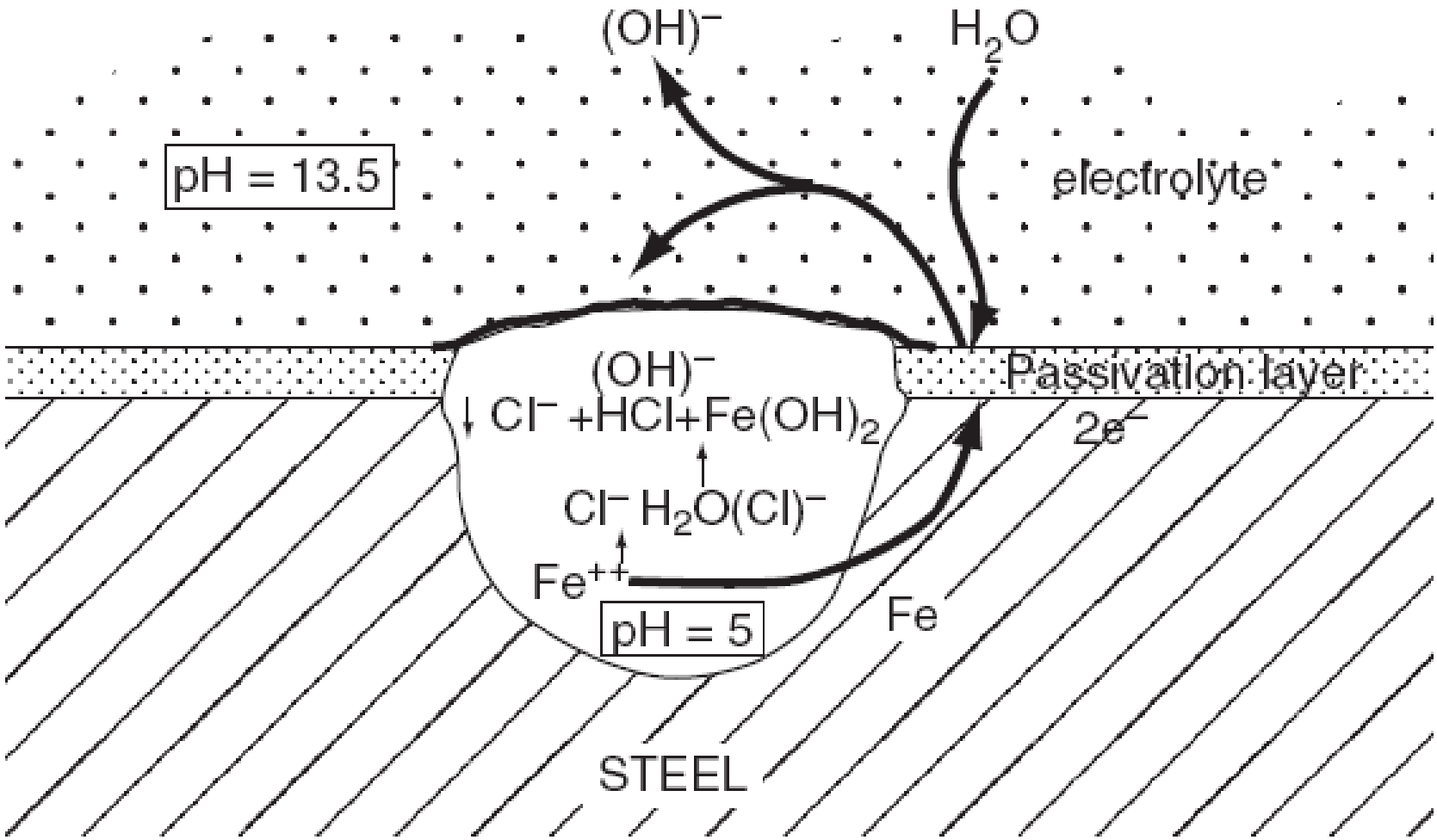
مجاورت يكديگر مقادير متفاوتي يون كلر دريافت

مي كنند.



آرماتوري كه كلر بيشتري روي سطح دريافت

مي كند آند شده و آرماتور بعدي كاتد مي شود.



Aggressive environment in chloride corrosion pit.

محصولات خوردگي:

- معمولا :

- هیدروکسیدآهن $Fe(OH)_2$

- کلرید آهن آبدار $FeC1_2H_2O$

- اکسید سیاهرنگ آهن Fe_3O_4

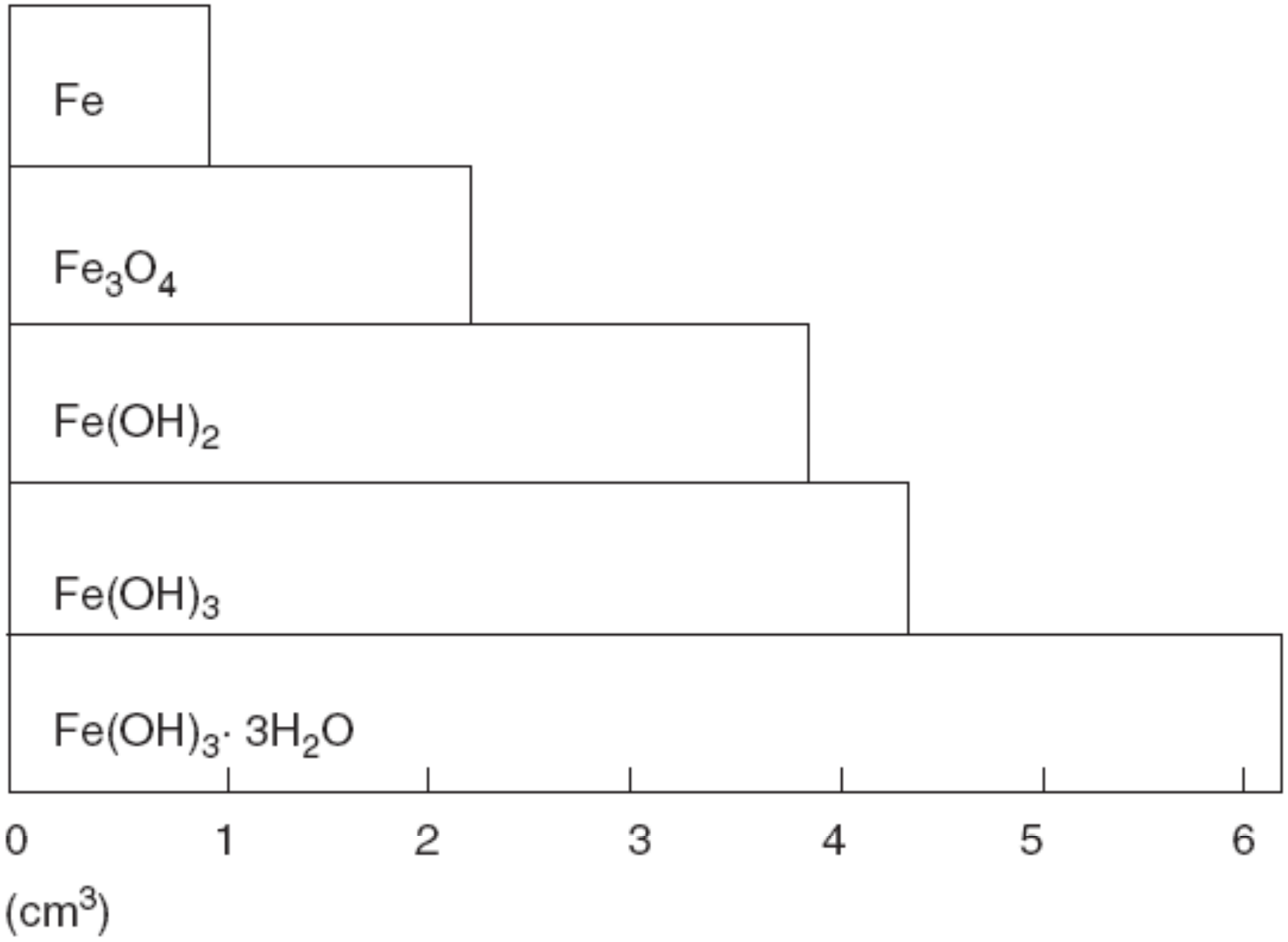
که تشکیل هر کدام به میزان آب، یون کلر و اکسیژن وابسته است اما در

کل اغلب با هم موجودند.

cathodicprotection.blogfa.com

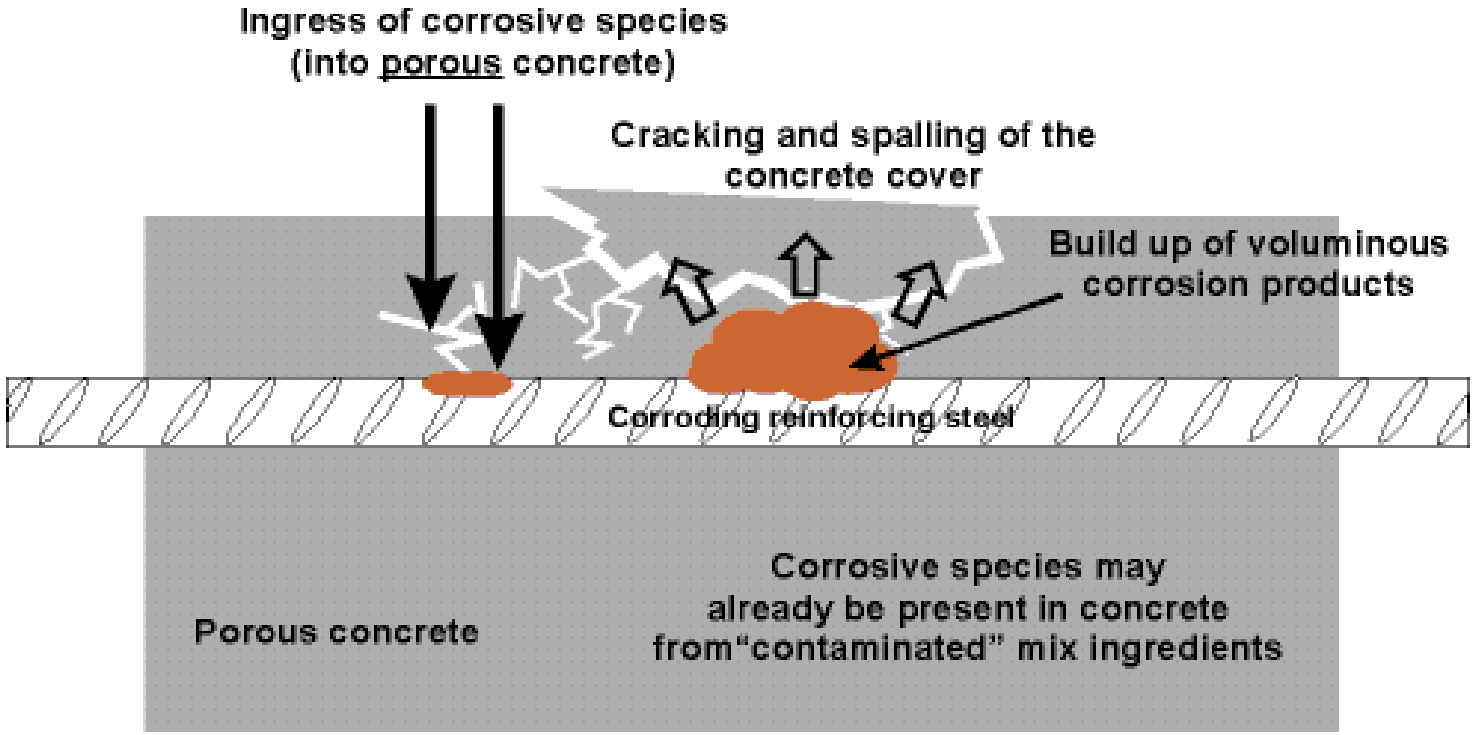
- اين محصولات ۲ تا ۴ برابر فولاد اوليه حجم داشته و با ايجاد تنشهاي فشاري موجب ترك دارشدن بتن مي گردند.

كه اشاعه اين تركها منجركدر شدن، پوسته پوسته شدن و لايه لايه شدن بتن مي گردد.



Volume of various corrosion products in comparison with iron.

ورقه ورقه شدن:



مراحل خورده شدن فولاد در بتن

- مرحله اول:

پديدار شدن تركهاي

كوچك ماكروسكوپي نه چندان

قابل توجه وعدم وجود تغيير

رنگ بتن به قرمز بدليل عدم

وجود اكسيدهاي آهن

- مرحله دوم :

آشكار شدن تركهاي ماكروسكوپي

وكدر شدن سطح بتن توسط اكسيدهاي

قرمز رنگ آهن

- مرحله سوم :

ورقه ورقه شدن روكش بتني موجود بر

روي آرماتور فولادي و به علت تشكيل

اكسيدهاي با حجم بيشتر

- مرحله چهارم :

تشديد ورقه ورقه شدن تا آنجا

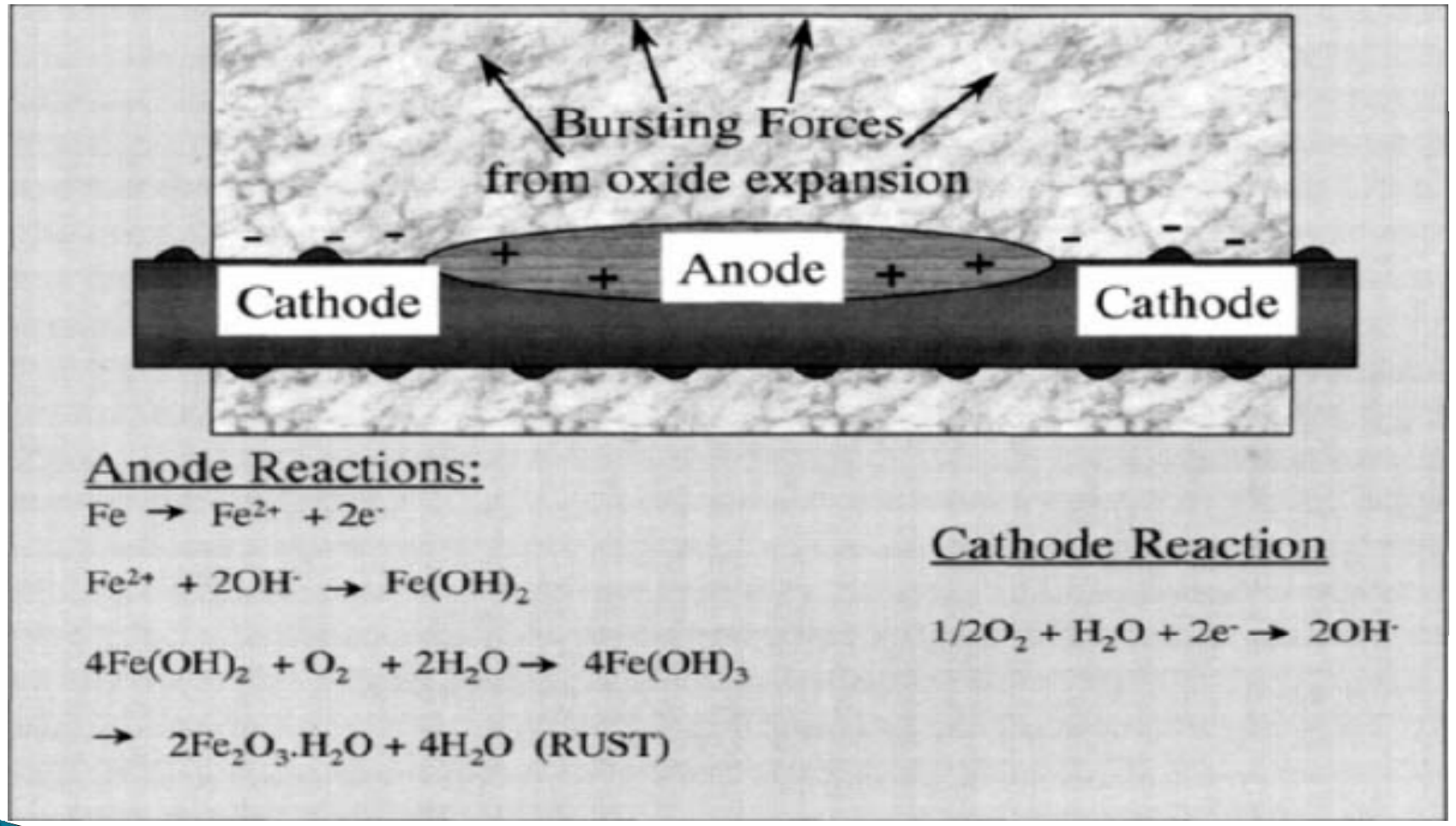
كه روكش بتني موجود روي آرماتور

كاملا حذف شده و آرماتور فولادي

تحت تاثير مستقيم اتمسفر قرار

مي گيرد.

مکانیزم خوردگي آرماتور در بتن:



مکانیسم الکتروشیمیایي خوردگي ناشي از کربناته شدن و کلریدها نشان داده شده است.

روشهاي ارزيابي شدت و علت خوردگي در بتن:

الف - بررسيهاي اوليه

ب - بررسي هاي مفصل

الف- بررسيهاي اوليه

- اين بررسي ها جهت درك عوامل بروز خوردگي انجام ميگردند.

- ابتدايي ترين آنها از طريق مشاهده از نزديك است.

- از الزامات اين بررسي ها مشخص كردن **عمق كربناته شدن** و

اندازه گيري يون كلريد است.

ب- بررسي هاي مفصل:

با اطلاعاتي كه از بررسي هاي اوليه جمع آوري شد برنامه اي تدوين

مي شود تا بازرسي هاي مفصل تري صورت گيرد كه در اين برنامه

معمولا ١٠ **الي ٢٠ درصد از كل سازه اي** كه در معرض تخريب

است را مورد آزمايش قرار مي دهند.

سوال اساسي در اينجا :

اولين سوالي كه مطرح ميشود اينست كه تخريب **موضعي** بوده

يا در **كل سازه** گسترش شده است ؟

عوامل موثر بر تغيير ميزان خوردگي از سازه اي به سازه ديگر:

- ارتفاع سازه

- سطح سازه (افقي يا عمودي بودن)

- شدت خورندگي (اتمسفر دريايي,جهت باد,و غيره)

روشهاي آزمايش:

در اينجا به معمولترين روشهاي آزمايشي مورد استفاده و تفسير نتايج آنها خواهيم پرداخت.

۱ - لايه لايه شدن و بازرسيهاي چشمي

۲ - بازرسي جهت تشخيص قدرت پوشانندگي بتن

۳ - بازرسي به روش پتانسيل نيم پيل

۴ - آزمايش اندازه گيري يون كلر

۵ - اندازه گيري عمق كربناته شده

۶ - اندازه گيري سرعت خوردگي

۱ - لايه لايه شدن و بازرسيهاي چشمي :

تخريب ناشي از خوردگي در بتن كلا به سه گروه تقسيم مي گردد:

- تغييرات ظاهري(تغيير رنگ,لكه دار شدن و كدر شدن)

- تغيير طرز قرار گرفتن ذرات سازنده نسبت بهم مخصوصا با ترك دارشدن

- شكستگي هاي سطحي با ورقه ورقه شدن شديد بتن.

در اینجا لازم است تا :

- تراکم کم بتن
- تغییر رنگ یا کدر شدن
- ترك دار شدن
- ورقه ورقه شدن
- ترکیدگي ها
- سایش و نرم شدن بتن
- موقعیت و طول ترکها

مشاهده وثبت شود.

خوردگي حفره دار شدن دليلي بر وجود خوردگي ناشي از يون كلر است.

خوردگي يكنواخت همراه با لايه هاي پوسته پوسته زنگ آهن دليلي بر وجود خوردگي ناشي از كربناته شدن است.

بازرسي هاي چشمي:

توسط يك چكش بازرسي جهت پيدا كردن مناطق پوك شده بتن (مناطقي كه در آنها لايه لايه شدن رخداده است) انجام ميشود .

تذكر: اين روش مناطق حفره دار شده را مشخص نمي گرداند ، بلكه وجود لكه هاي روي سطح بتن اين خوردگي (حفره دار شدن) قابل شناسايي است.

۲ - بازرسي جهت تشخيص قدرت پوشانندگي بتن:

رسيدن به يك ضخامت بهينه در جلوگيري از ***كربناته شدن*** و تخريب

هاي ناشي از ***عوامل شيميايي*** بسيار مهم است.

معمولا كمترين ضخامت قابل قبول با عواملي از جمله :

- درجه كيفيت بتن
- مقدار سيمان
- و اتمسفر مورد نظر

طبق استاندارد BS 8110 : Part 1:1985 مشخص ميشود.

۳ - بازرسي به روش پتانسيل نيم پيل:

جهت تشخيص احتمال فعال بودن خوردگي در آرماتور فولادي طبق استاندارد ASTM C876-91 (1991) صورت مي گيرد.

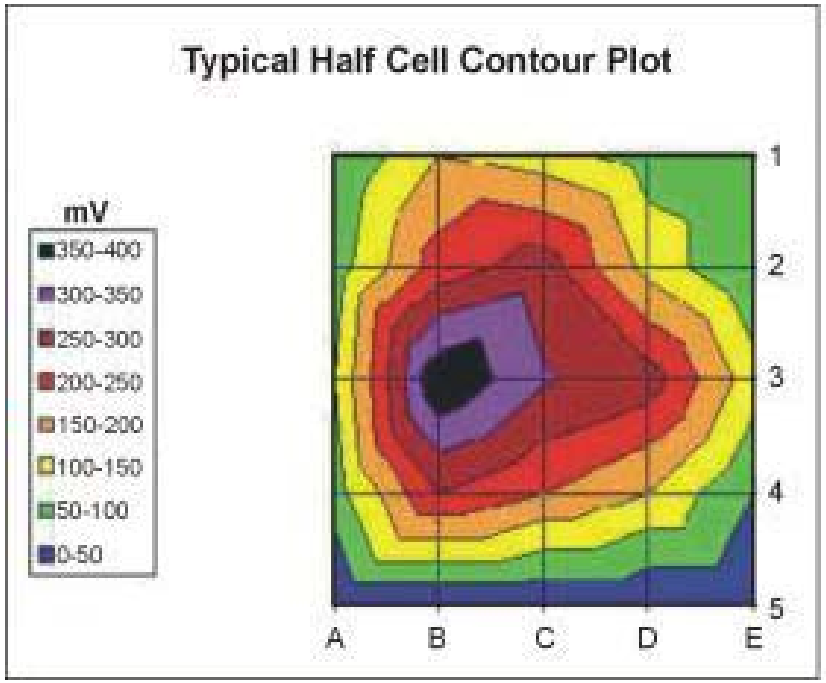
اين آزمايش از لحاظ تئوري جهت تشخيص سرعت خوردگي استفاده مي گردد اما در عمل دقت كافي براي بسط عمومي را در بر نخواهد داشت .

در سال ۱۹۷۵ توسط شخصي به نام Van Deveer تشخيص داده شد كه :

در مناطقي با پتانسيل منفي تر از ۳۵۰- ميلي ولت نسبت به CSE با احتمال ۹۵% و منفي تر از ۲۰۰- ميلي ولت نسبت به CSE با احتمال ۵% خوردگي خواهيم داشت.

در کل با رسم دياگرام هم پتانيسلي مناطق خوردگي يکنواخت و

خوردگي حفره اي مشخص مي گردند.



در جايي که شيب پتانسيل کم است ← خوردگي يکنواخت

در جايي که شيب پتانسيل زياد است ← خوردگي حفره اي

۴ - آزمايش اندازه گيري يون كلر:

با خارج كردن نمونه هاي مختلف از مناطق مختلف سازه توسط يك

مته دوار ميزان يون كلر به دست خواهد آمد.

اين عمل طبق استانداردهاي

BRE IS-12/77

BS 1881 Part 124 1988

با استفاده از اسيد و پودر بتن انجام مي گردد.

هيچ حد بحراني براي درصد يون كلر وجود ندارد و رابطه خوردگي

آرماتور با غلظت يون كلر سهميوار زياد مي شود.

در استاندارد موسسه تحقيقات ساختمان(BRE) سه محدوده براي

يون كلر و احتمال خوردگي مشخص شده است در:

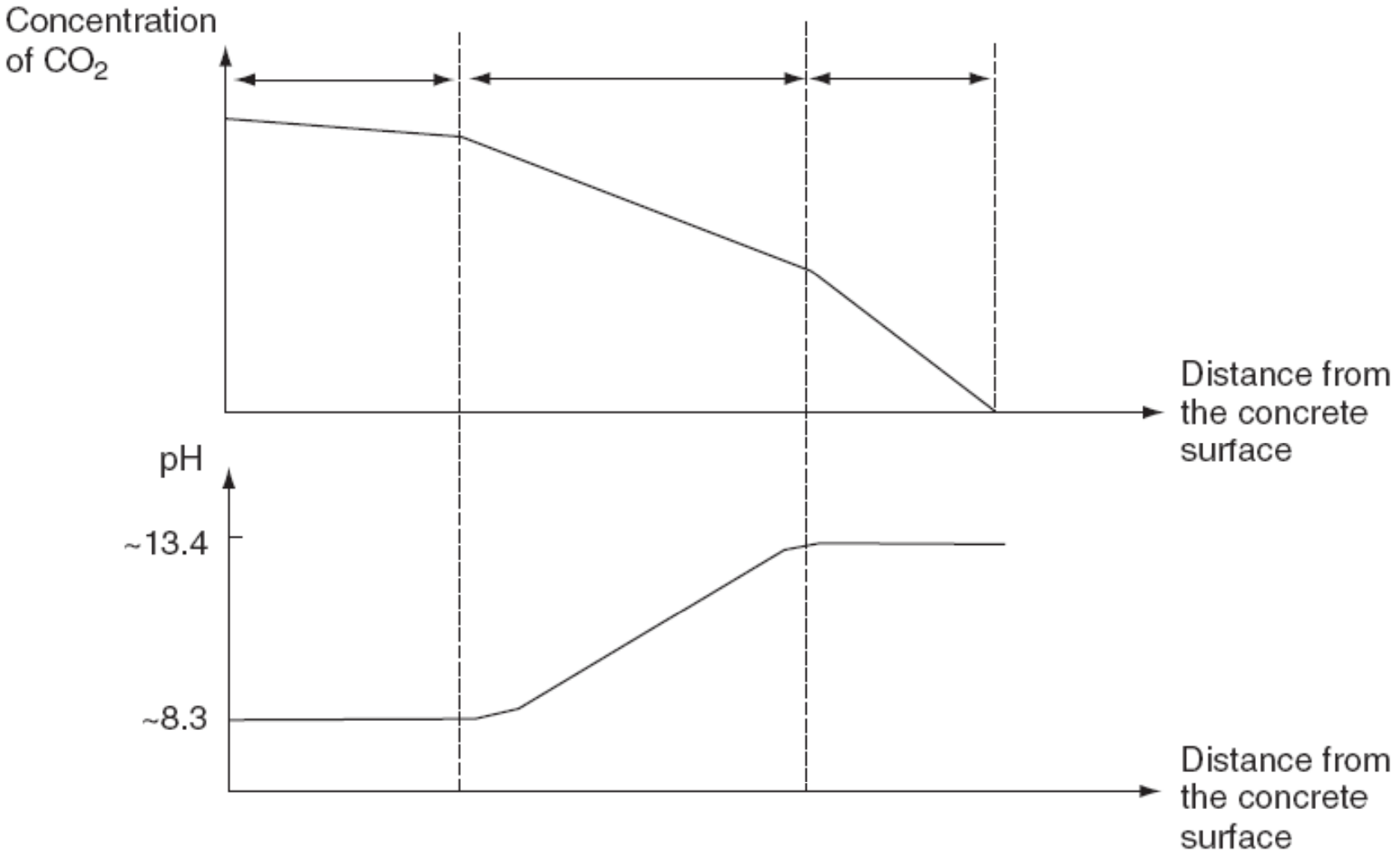
كمتر از ۰/۴ درصد وزني كلر	←	احتمال خوردگي كم
بين ۰/۴ تا ۱ درصد وزني كلر	←	خوردگي متوسط
بيش از ۱ درصد وزني كلر	←	خوردگي شديد

خواهيم داشت.

۵ - اندازه گيري عمق كربناته شده:

اين عمق در آزمايشگاه و يا در محل، توسط روشي كه در استاندارد

BRE IP-6/81 (1981) آمده است اندازه گيري مي شود.



Simplified model of carbonation penetration.

شناساگر **فنل فتالئين** جهت تشخيص عمق كربناته شده بر روي سطح تازه

حفاري شده بتن اضافه مي شود كه اگر بتن كربناته شده باشد تغيير رنگي

نخواهيم داشت ، اما اگر بتن خاصيت قلياييِ خود را حفظ كرده باشد به رنگ

صورتي تغيير رنگ خواهد داد.

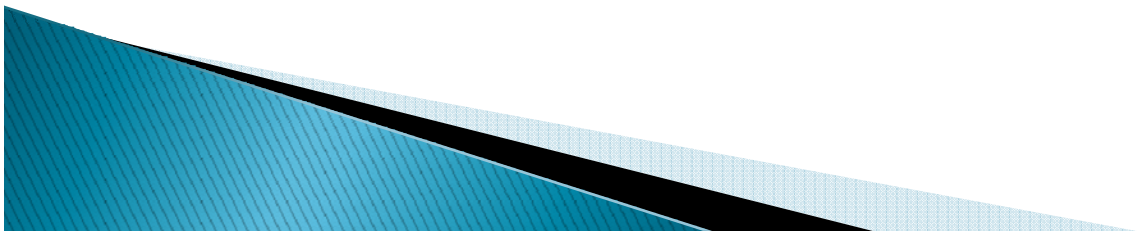
- ترجيحا بايد از بتن تازه استفاده كرد.
- نمونه ها از مناطق مختلف انتخاب گردند.
- آزمايش حداقل سه بار تكرار شود .

۶ - اندازه گيري سرعت خوردگي:

۱- فيزيكي

روشهاي مورد استفاده دو دسته اند :

۲- الكتروشيميايي



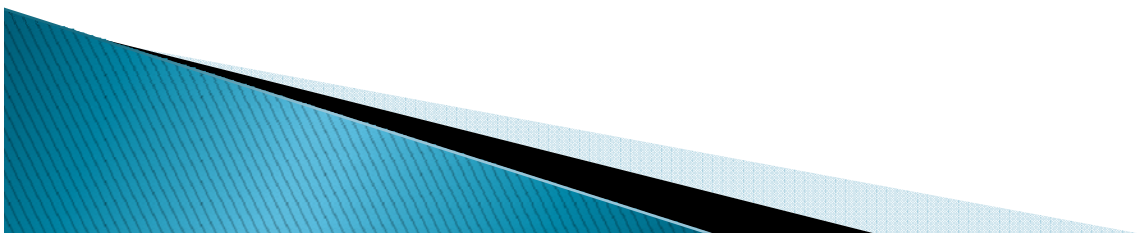
© روشهاي فيزيكي :

١- كوپنهاي اندازه گيري كاهش وزن

٢- كاوشگرهاي مقاومتي

هردو روش سرعت يكنواخت و يا ميانگيني را در يك مدت زماني معين

مشخص مي كنند.



روش كاهش وزن:

به علت مخرب و زمان بر بودن در بتنهاي مسلح استفاده نمي گردد.

كاوشگرهاي مقاومتي :

با قرار دادن كاوشگر فلزي در بتن و سپس استنباط تخريب فلز از

افزايش مقاومت آن استفاده ميشود با استفاده از كاوشگرهاي كاليبره

شده و تجهيزات اندازه گيري تخمين تخريب كلي فلز تا حدود زيادي

قابل استحصال است.

Probe mounted above the rebar
Electrode length 1.25" (32 mm)

نمونه اي از يك پروب ديجيتال

© روشهاي الكتروشيميايي :

- در اين روش از يك محرك خارجي و جوابي كه سيستم فولاد/بتن به

اين محرك مي دهد استفاده ميكنند و شامل:

- آزمايش پلاريزاسيون خطي
- آزمايش امپدانس AC
- Electrochemical Noise

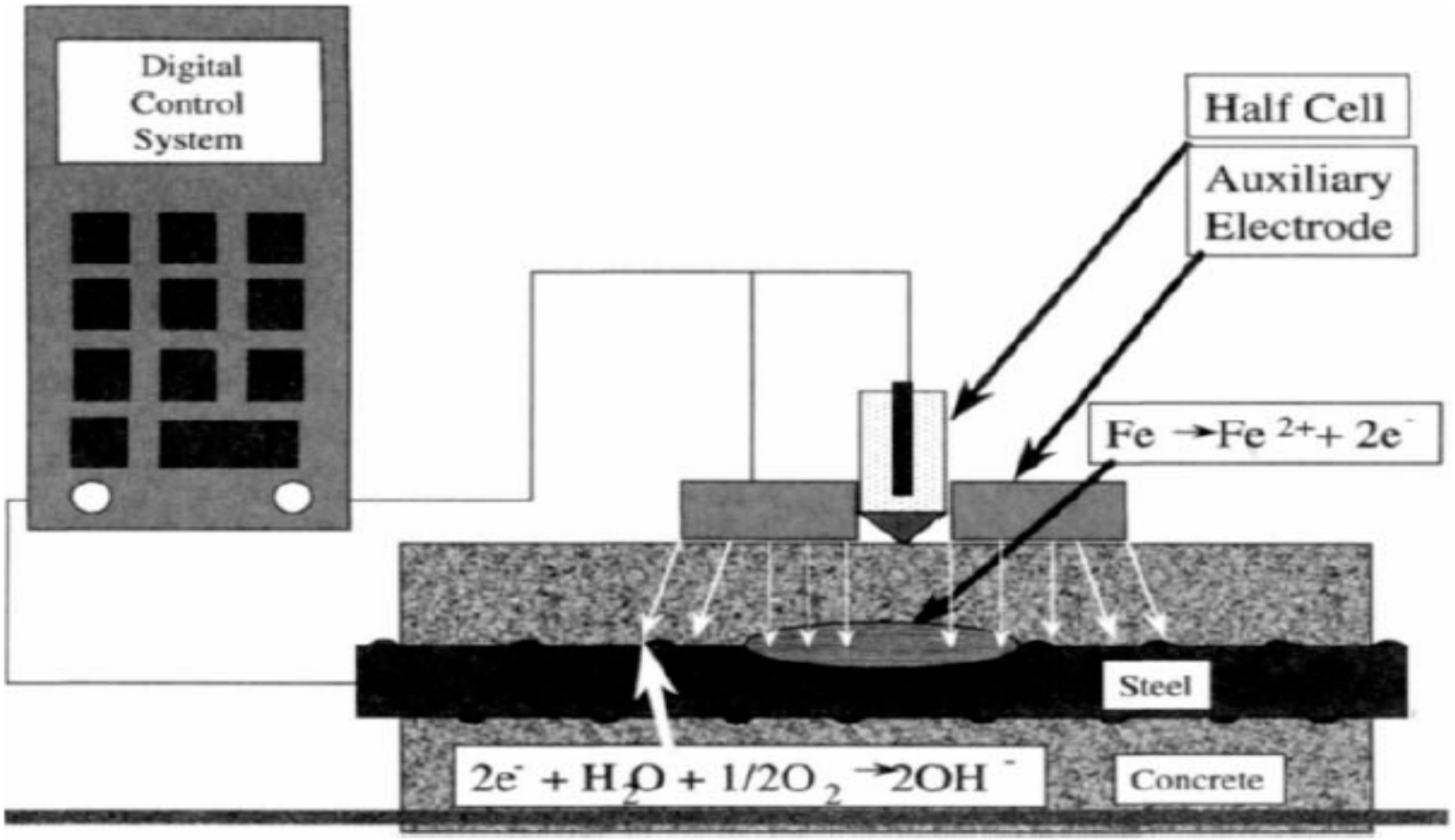
دو مورد آخر بيشتر جنبه آزمايشگاهي داشته و بسيارمشكل است تا بتوان آنها را در محل انجام داد.

@آزمايش پلاريزاسيون خطي:

در اين آزمايش از :

- يك الكترود كمكي
- يك الكترود مرجع
- و يك منبع جريان مستقيم ولتاژ پايين كه قابل تنظيم است

استفاده مي كنند.



شماتيك اندازه گيري پلاريزاسيون خطي

روش گالوانواستاتيك:

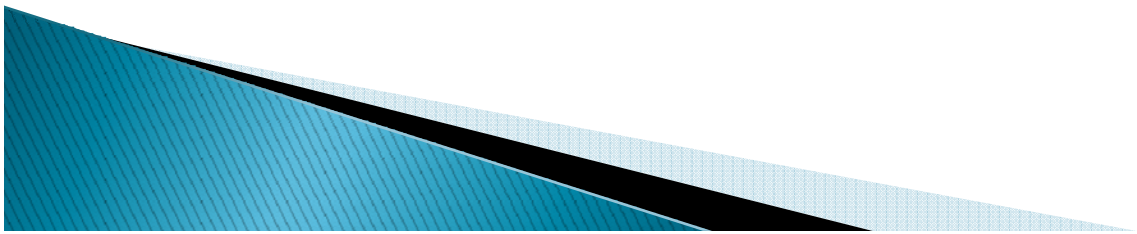
ابتدا پتانسيل مدار باز خوردگي E_{CORR} اندازه گيري ميشود سپس

يك يا چند ولتاژ كم از الكترود كمكي عبوركرده به آرماتور وارد مي

شود و تغييرات متناسب با آن ثبت مي گردد.

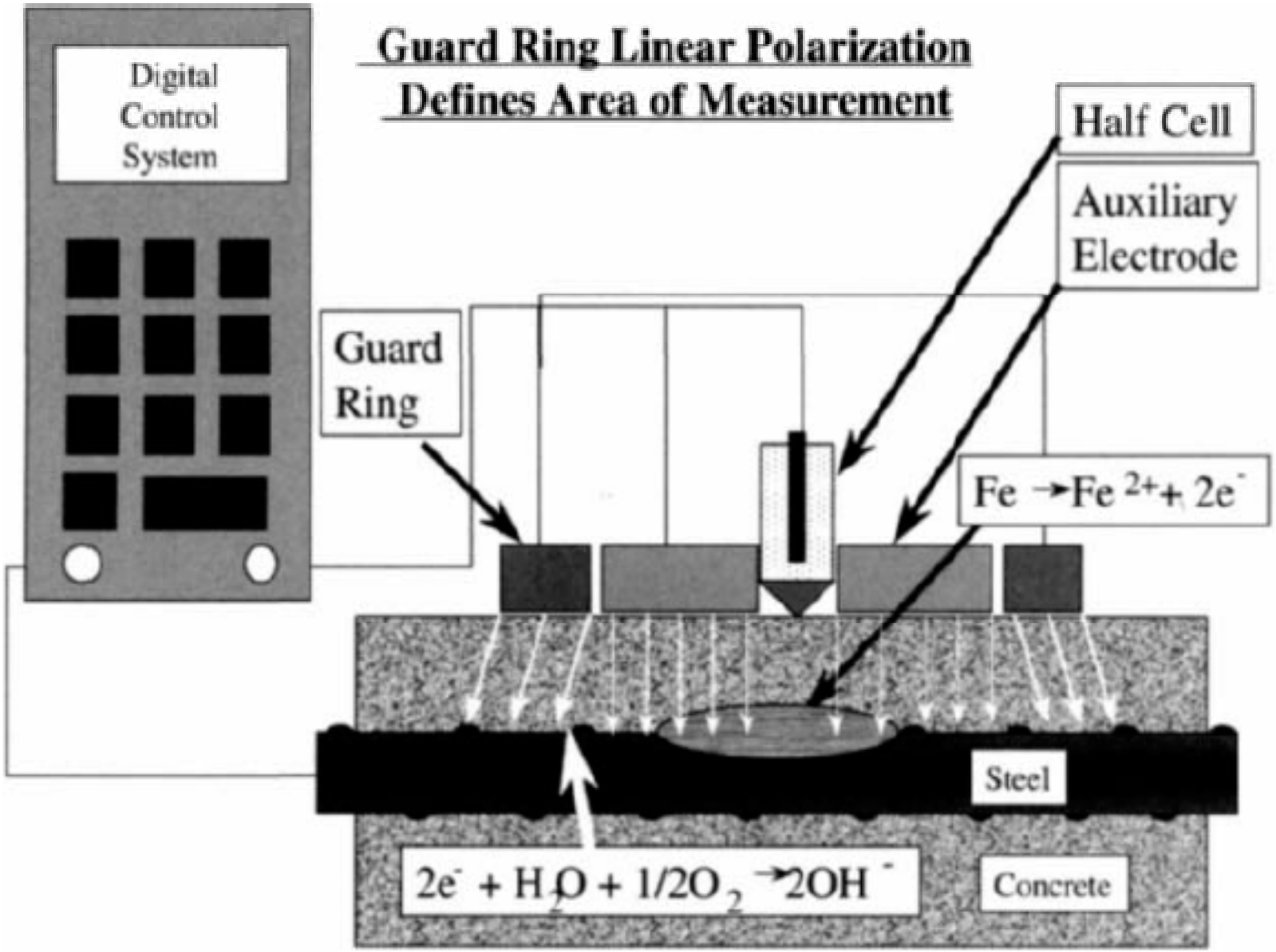
روش پتانسيواستاتيك:

متناوبا جريان تا رسيدن به يك پتانسيل مشخص افزايش مي يابد.



باید در تفسیر مقادیر به دست آمده کاملا دقت شود ، مقادیر متعارف در سرعت هاي بالاي خوردگي مي توانند بدست آیند که اگر خوردگي حفره اي داشته باشیم دچار اشتباه خواهیم شد.

یکي از مشکلات این روش تعیین سطحي از فولاد که پلاریزه شده است مي باشد که جهت رفع این مشکل از یك حلقه محافظ جهت مشخص کردن محدوده اي که جریان باید اعمال گردد استفاده مي کنند.



شماتيك اندازه گيري پلاريزاسيون خطي با Guard Ring

جريانهاي سرگردان:

در صورت وجود احتمال جريانهاي سرگردان بايد طبق استاندارد

BS 7361 Part 1 (1991) عمل نمود .

ارزيابي نتايج مشاهدات:

- برخي از نتايج آزمايشات بسته به طبيعت خود آزمايش ممكن اززوزي روز ديگر تغيير كند.

دراين ميان آزمايشهاي مختلف تفسير نتايج **بازرسي به روش پتانسيل نيم پيل** و **آزمايش اندازه گيري يون كلر** از اهميت فراوانتري برخوردار هستند.

فاکتورهایي که باید در انتخاب روش مناسب تعمیر سازه لحاظ گردند:

- بودجه دردسترس
- در دسترس بودن خود روش بازسازي
- میزان تخریب سازه ها و دستگاهها
- استفاده هایي که در آینده از سازه مي شود
- عمر مورد انتظار
- و در مورد بزرگراهها مدیریت ترافیك

وابسته است.

چيزي كه از عوامل بالا اهميت فراوانتري دارد خود مسئله خوردگي

است كه در درجه اول اهميت قرار مي گيرد و بازسازي اغلب بر مبناي

آن صورت مي پذيرد.

گزينه هاي تعمير و بازسازي:

۱- پوششها
۲- تعمير بتن (وصله كردن)
۳- تعويض آرماتورها

۴- روشهاي الكتروشيميايي:

الف - بازدارنده هاي خوردگي
ب - دوباره قليايي كردن(براي بتن هاي كربناته شده)
ج - نمك زدائي (براي بتن هاي كلر دار)
د - حفاظت كاتدي

که انتخاب هر کدام از عوامل بالا به:

- شدت تخریب
- میزان کربناته شدن یا آلودگي به کلر
- مشخصات بتن
- دردسترس بودن روش
- مسایل زیبایي شناختي

وابسته است.

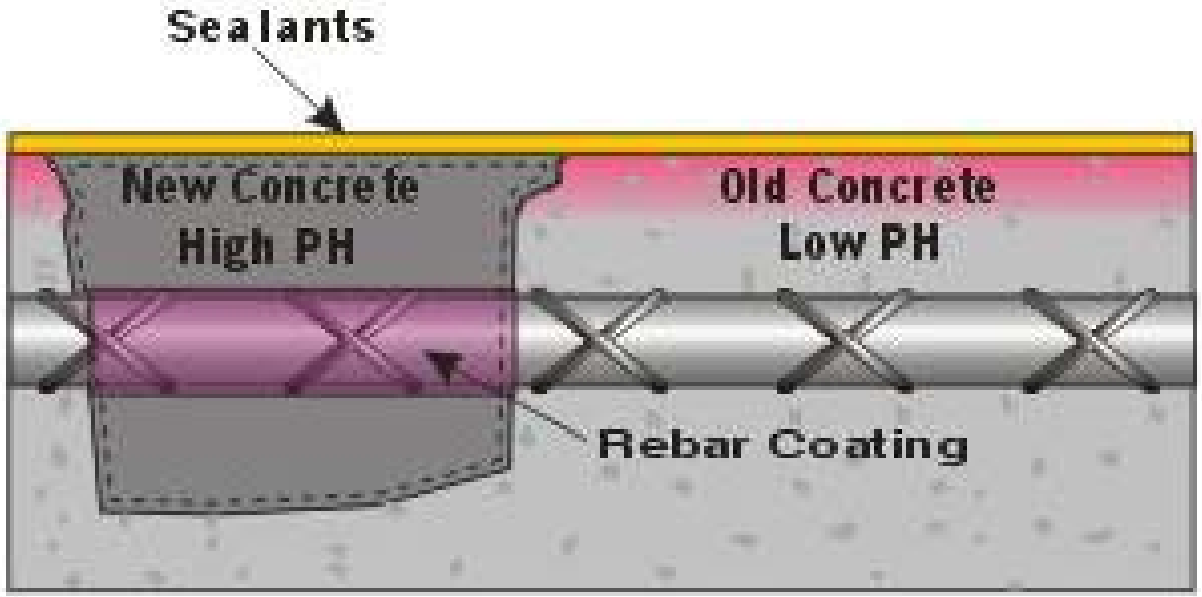
@وصله کردن :

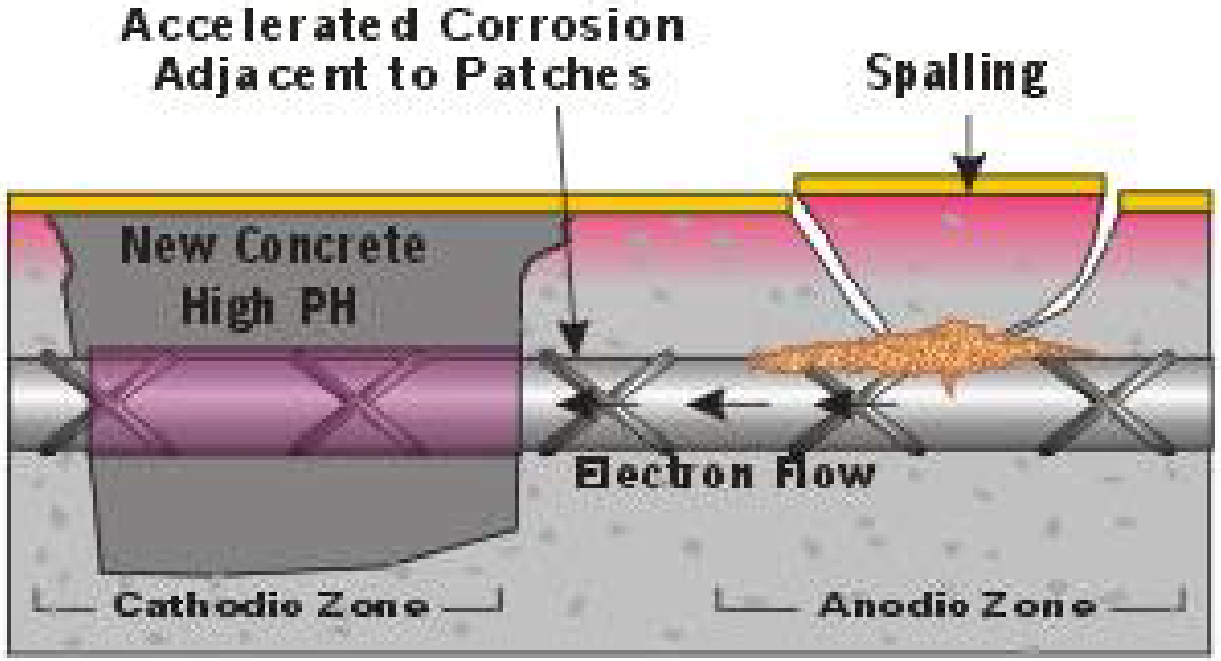
جهت تعمير هاي كوتاه مدت مناطقي كه :

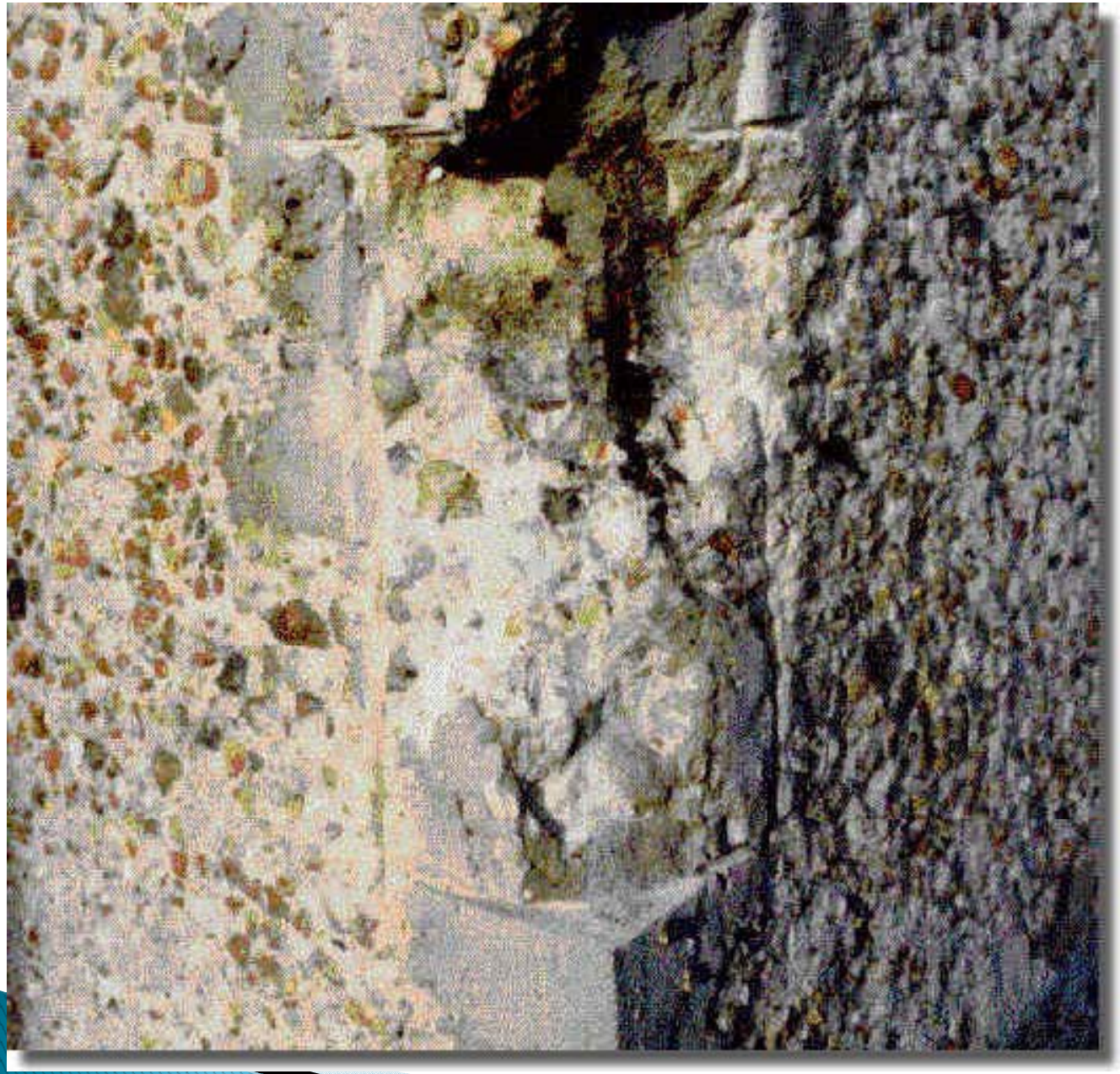
۱- پوسته پوسته شده
۲- لايه لايه شده

با استفاده از جاسازي ملاط سيمان يا بتن توسط دست استفاده مي كنند .

اما يون كلر در اطراف منطقه تعمير شده باقي خواهد ماند. همراه با اولين
تعمير در اطراف منطقه ترميم شده خوردگي سريعا شروع شده و باعث صدمات بيشتري مي گردد.


Sealants
New Concrete
High PH
Old Concrete
Low PH
Rebar Coating


Accelerated Corrosion
Adjacent to Patches
Spalling
New Concrete
High PH
Electron Flow
Cathodic Zone
Anodic Zone



يك نمونه از وصله

كردن كه پيمانكار

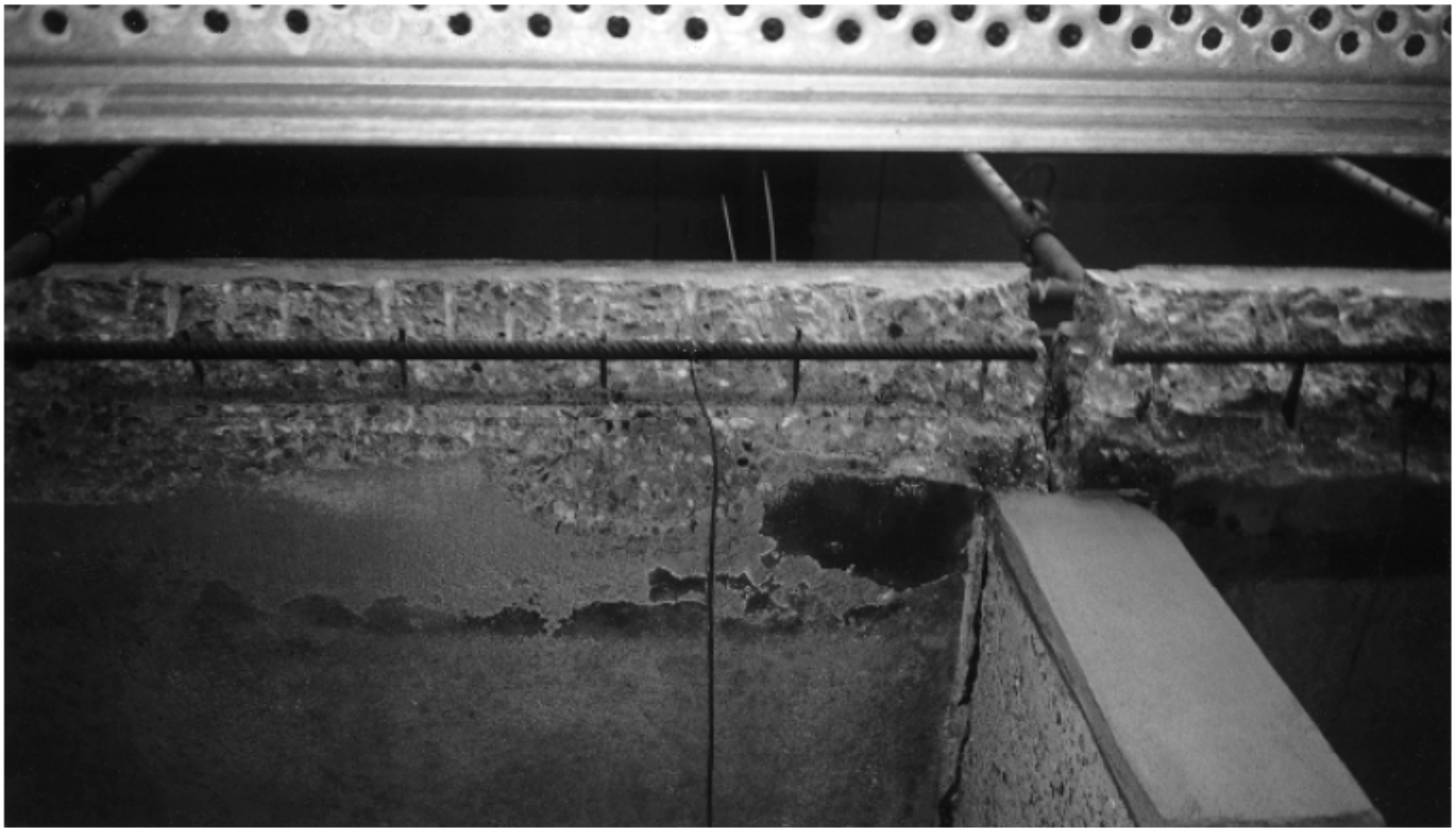
بدون حذف مناطق

تخريب شده قبلي

اقدام به ترميم كرده

كه اين قبيل كارها از

عمركمي برخوردارند.



Removed concrete and replaced reinforcement at the edge of a balcony slab.

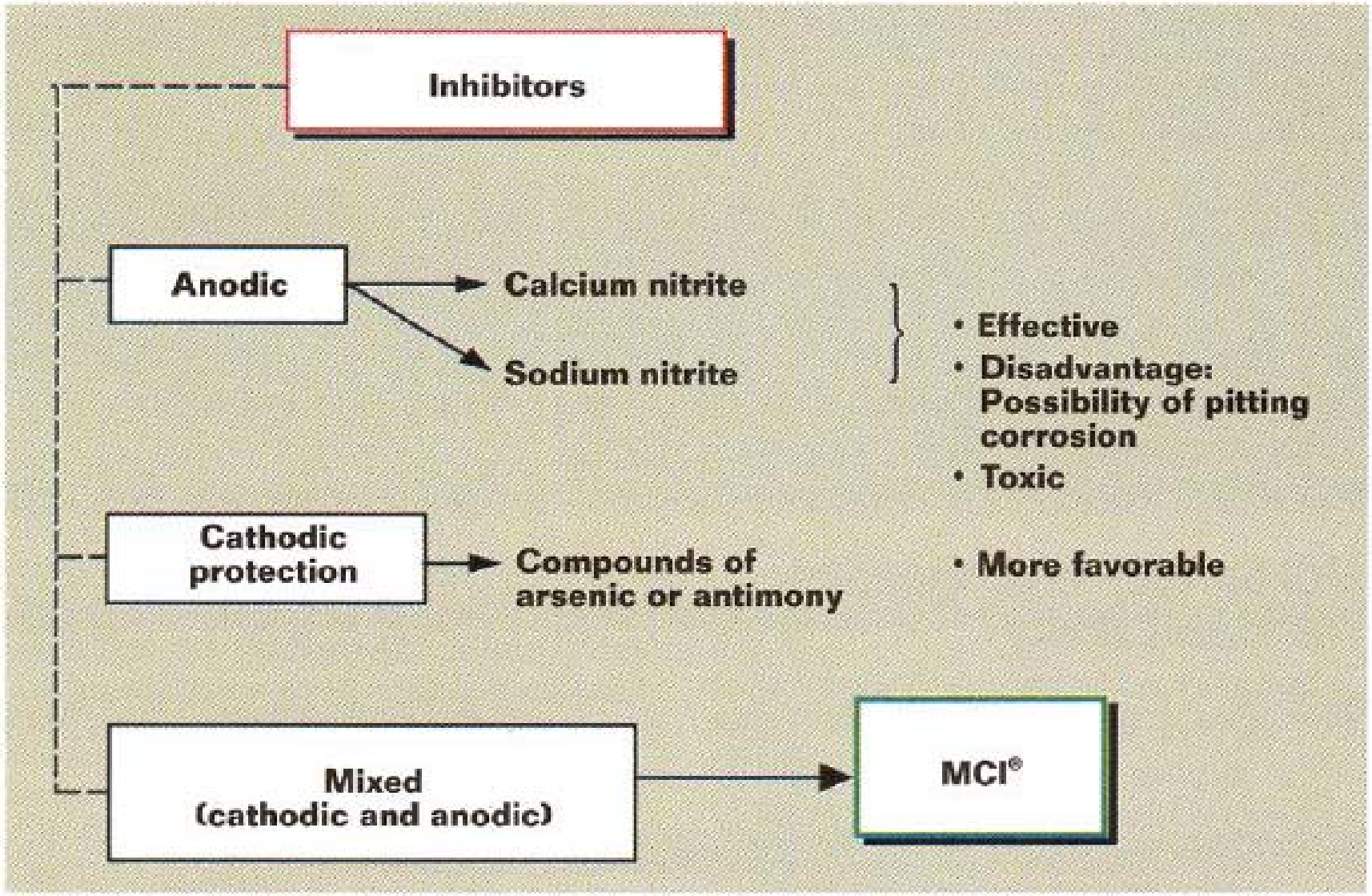
روشهاي الكتروشيميايي
در
جلوگيري از خوردگي

بازدارنده هاي خوردگي:

مشخصات:

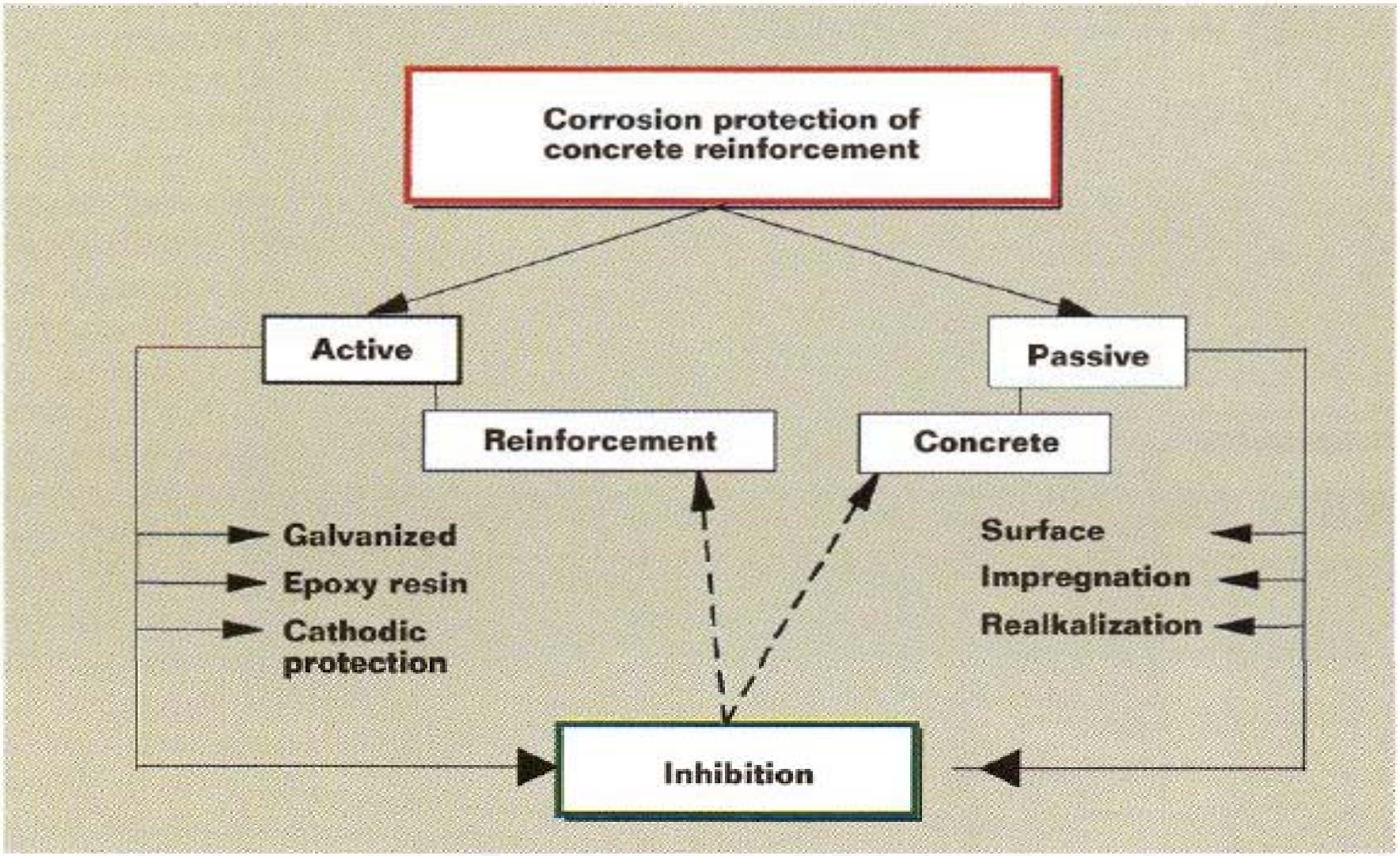
- بازدارنده هاي مورد استفاده در اينجا پايه آمينوكربوكسيلات دارند.
- بازدارنده هاي مختلط (كاتدي و آندي) هستند.
- در شرايط معمول به صورت فاز بخار مورد استفاده قرار مي گيرند.
- بر روي سطح آرماتور تشكيل يك لايه اتمي مي دهند.

بازدارنده هاي رايج بهمراه مزايا و معايب



Types of corrosion inhibitors for concrete.

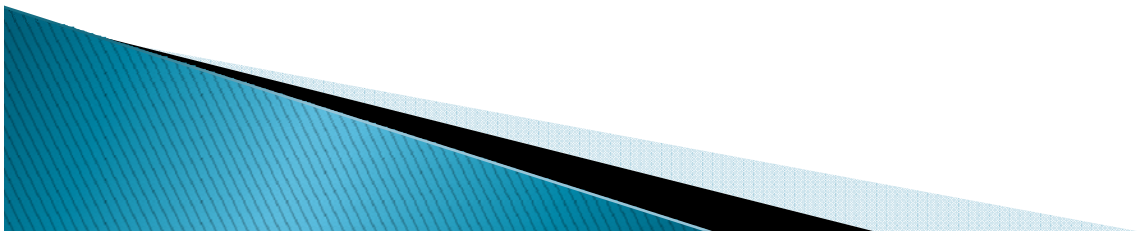
روشهاي اكتيو و پسيو در جلوگيري از خوردگي فولاد در بتن



Methods of protecting the concrete reinforcement from corrosion.

نمك زدائي (براي بتن هاي كلر دار):

- از آنجايي كه كلر كاتاليزور فرايند خوردگي است حذف آن در كنترل خوردگي بسيار حائز اهميت است.
- چون كلر بار منفي دارد با يك فرايند الكتروشيميايي ميتوان آن را از آرماتور حذف و به سمت يك آند راهنمايي كرد.



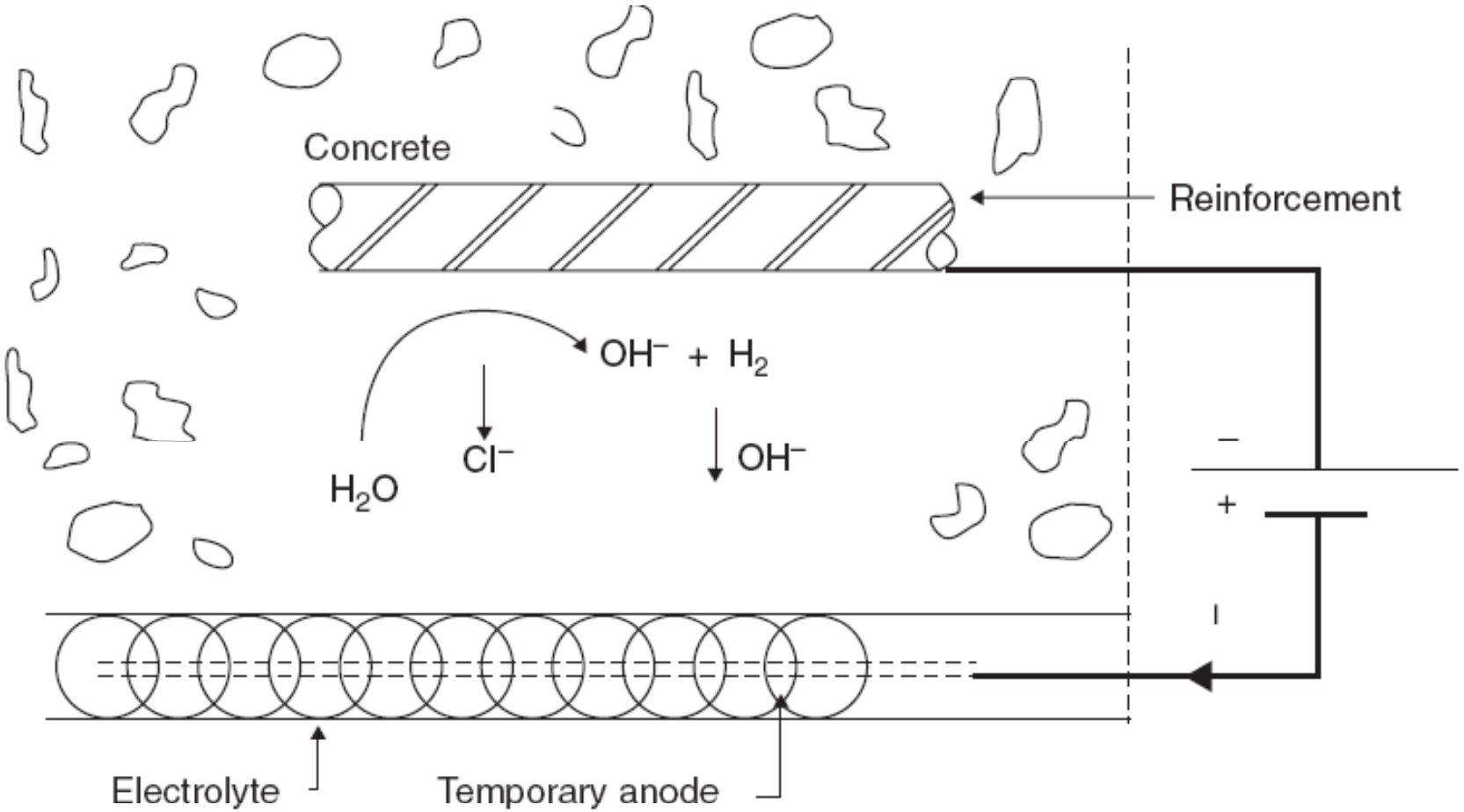
آندهاي نمك زدايي:

- توري هاي تيتانيمي كه در غلافي سيماني موقتا بر روي سازه نصب مي شوند.
- نمكهاي مس (كه ممكن است باعث تشديد خوردگي مي شوند)
- توريهاي فولادي

الكتروليت نمك زدايي:

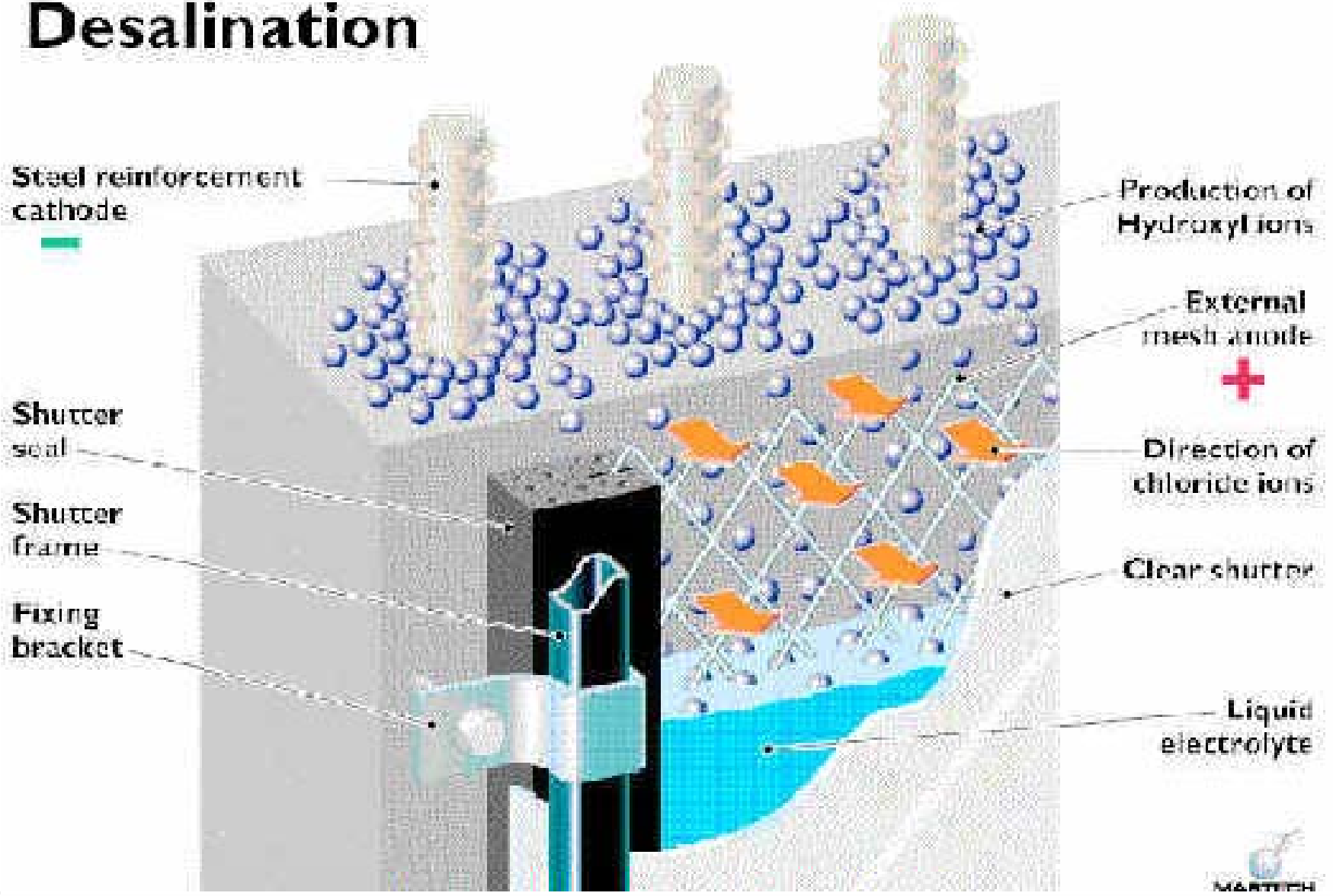
- معمولا هيدروكسيد كلسيم است تا از تصاعد گاز كلر كه در استفاده از آب

به چشم مي خورد حذف شود.



Extraction of chlorides from concrete

Desalination



دوباره قليايي كردن(براي بتن هاي كربناته شده):

- در اينجا نيز از سيستمي مشابه كلر زدايي استفاده مي شود به جز اينكه از

الكتروليت كربنات سديم جهت جلوگيري از كربناته شدن استفاده مي گردد.

$$Na_2CO_3 + CO_2 + H_20 \rightarrow 2NaHCO_3$$

آندهاي دوباره قلیایي کردن:

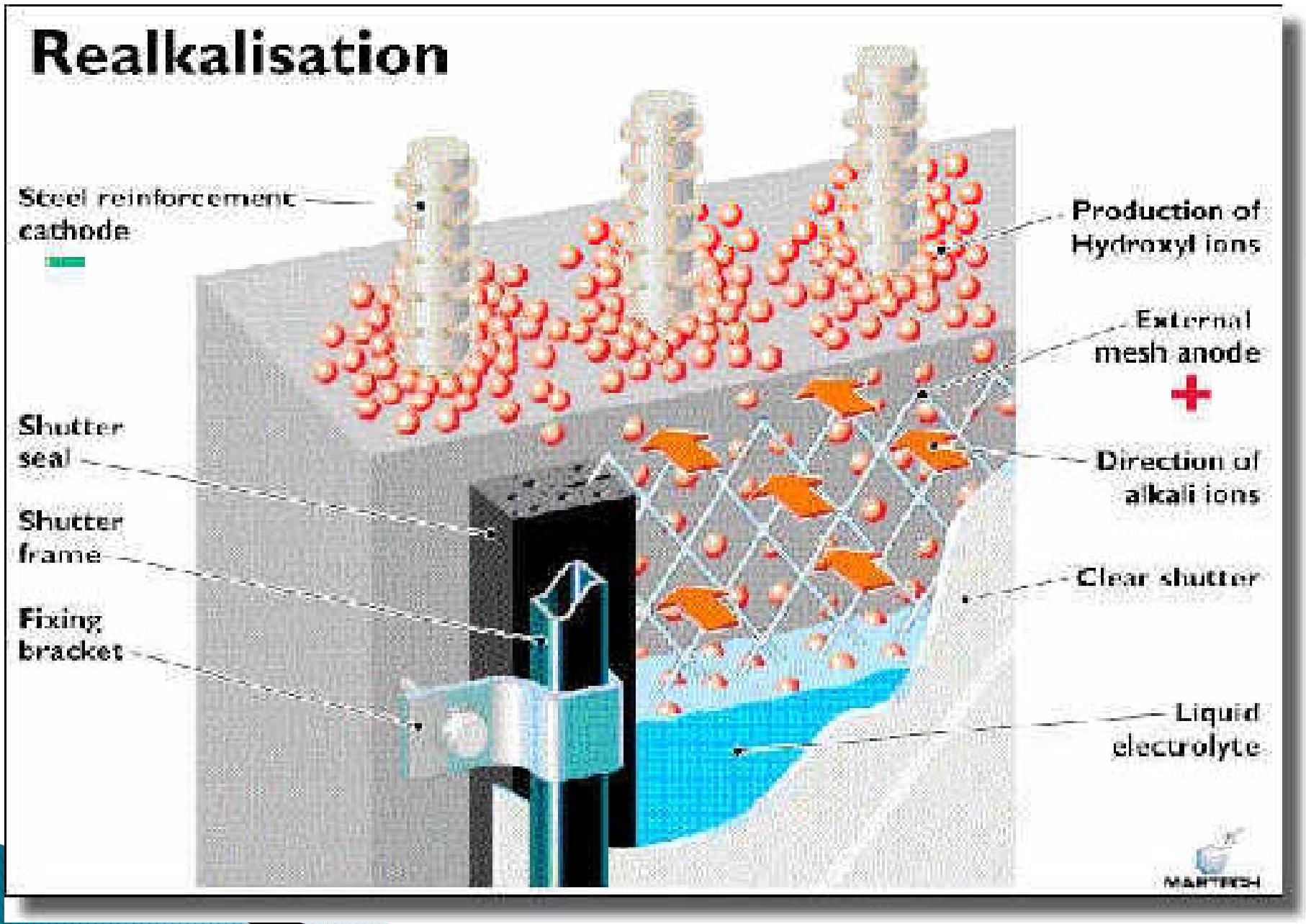
- مشابه کلر زدایي کردن
- توري تیتانیمي
- توري فولادي

الکترولیت دوباره قلیایي کردن:

➢همانند کلر زدایي کردن ، کربنات سدیم است که جهت جلوگیري

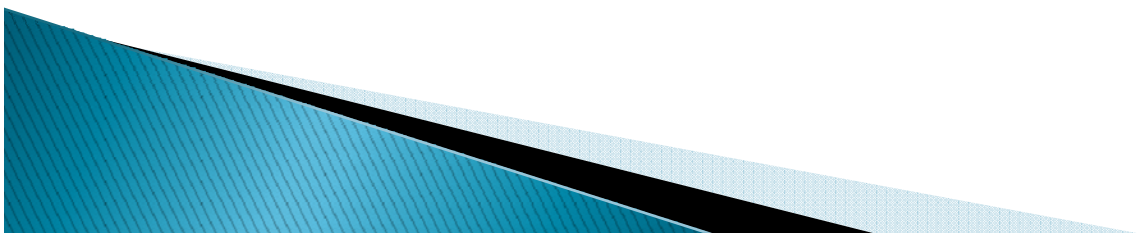
از واکنش با CO_2 همراه با بازدارند استفاده مي گردد.

Realkalisation



مزاياي دوباره قلياييِ كردن:

- بهبود خواص بتن
- كاهش تخلخل و نفوذپذيري بتن
- افزايش استحكام
- و....



حفاظت کاتدي بتن

مقدمه :

- در اينجا كاتد ساختن آرماتور فولادي از تمايل آن به اكسيدشدن مي كاهد.

- با اعمال حفاظت كاتدي در فصل مشترك آرماتور/بتن به علت تشكيل يون

OH بازيسيته بالا رفته و يونهاي كلر طبق قانون علامت بار از آرماتور دور

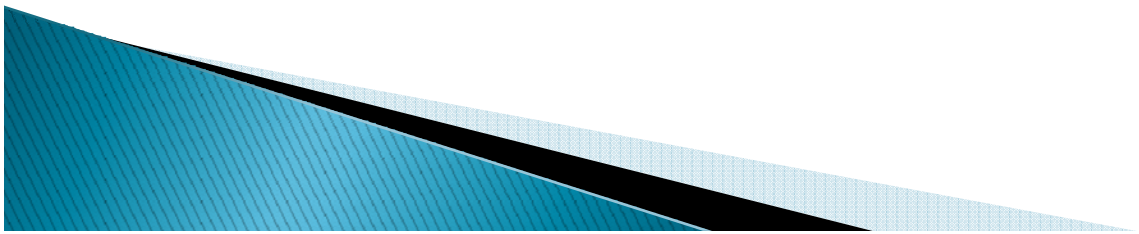
شده و به سمت آند مهاجرا مي كنند.

- بدين ترتيب حفاظت كاتدي همواره با افزايش PH و حذف كلريدها همراه

است.

- كه هردوي اين رخدادها منجر به افزايش حفاظت و كاهش خطر خوردگي

آرماتور در فولاد مي گردند.



اجزاي سيستم:

- آندها
- منبع تغذيه جريان مستقيم
- فولاد حفاظت شونده و محيط اطراف آن
- سيستم پايش كه معمولا شامل:

۱- الكترودهاي مرجع

۲- كابلهاي حامل جريان

۳- و سيگنالهاي پايش است.

حفاظت كاتدي با آندهاي فداشونده

Pressure-sensitive Zinc-Hydrogel Anode:

- اين آند در مكانهايي كه نا پيوستگي وجود دارد كاربرد دارد تا بتوان آرماتور را حفاظت كرد.
- با نصب اين آند تماس الكتروليتي مداوم بين آند و آرماتوري كه بايد محافظت شود برقرار مي گردد.

- اين آند از چندين بخش تشكيل شده است :

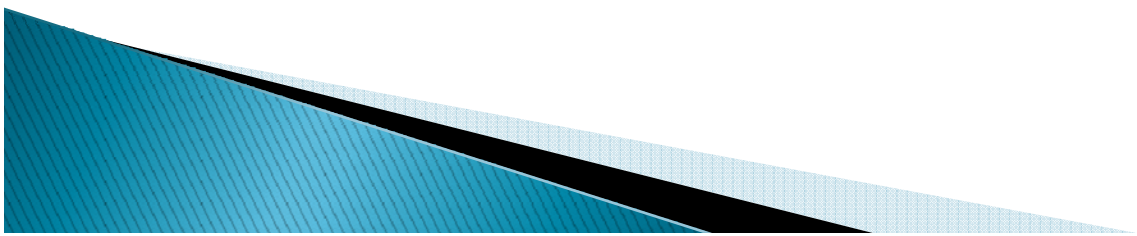
۱- ورقه نازك از جنس روي
۲- لايه هادي يوني چسب ژلاتيني حساس به فشار
۳- روكش

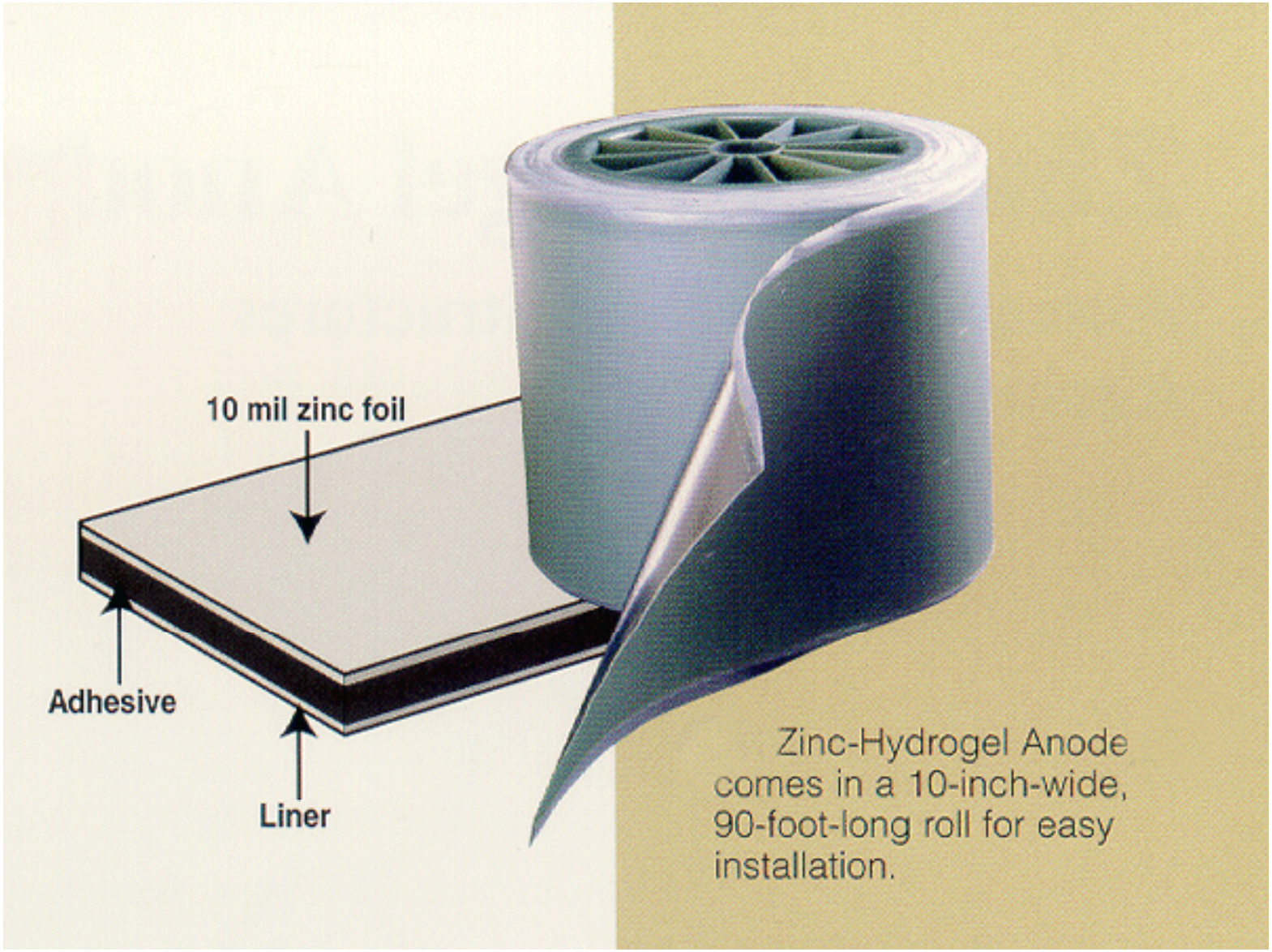
- نقش لايه ژلاتيني:

الف - الكتروليت بين آند و آرماتور
ب – ايجاد چسبندگي لازم بين آند و سطح خاجي بتن

- روكش نقش تميزنگهداشتن آند تا زمان نصب

را بر عهده دارند.

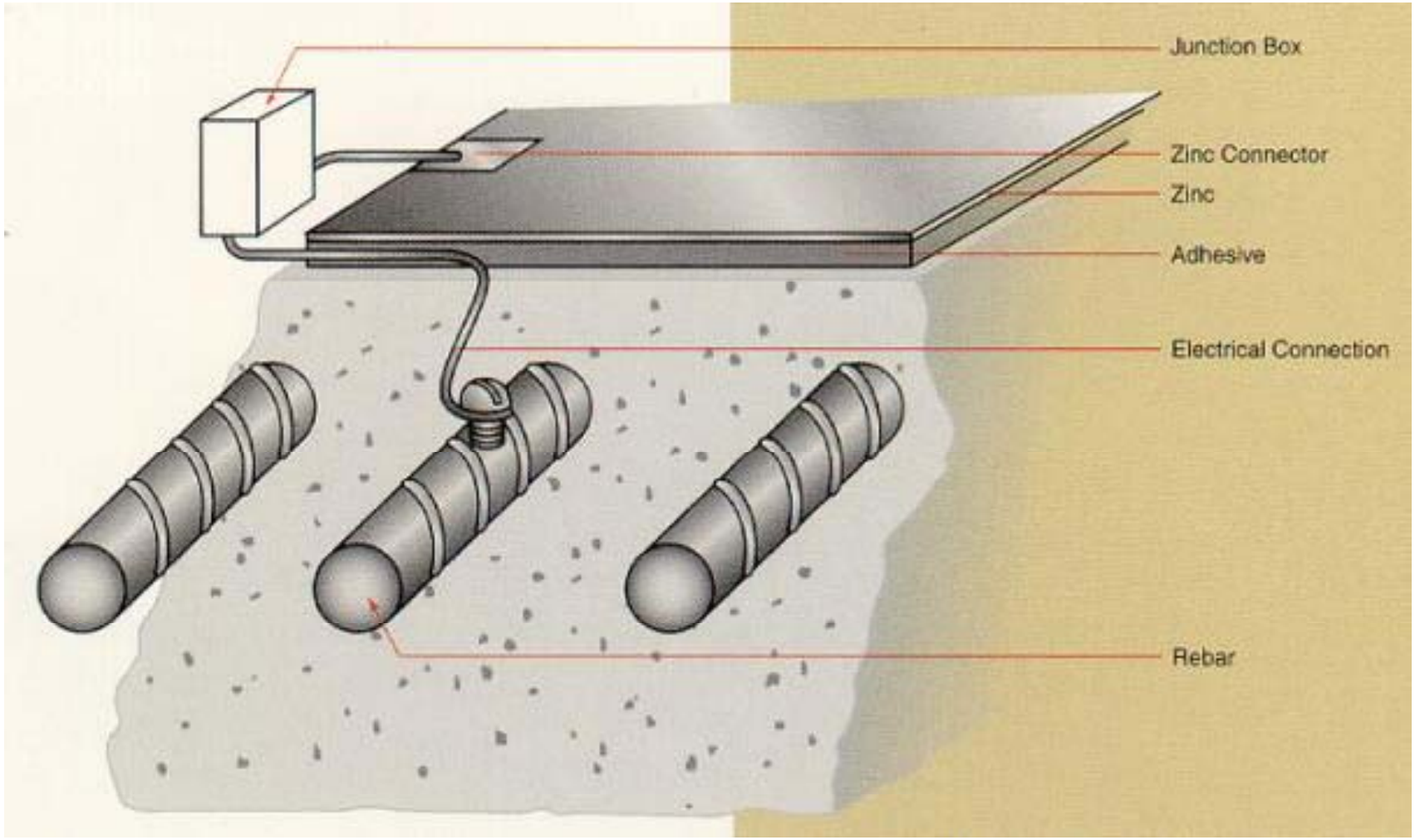




Pressure-sensitive Zinc-Hydrogel Anode

- در زمان نصب روكش با دست بر داشته شده و فويل رويين بر روي سطح

تميز و بدون پوشش بتن نصب مي گردد.



شماتیك نصب آند در سازه

مكانيزم عملكرد آند:

- در اينجا لايه ژلاتيني آبدار وظيفه اتصال آند به سازه را بر عهده داشته

و با استفاده از سيمهاي رابط آند را به سيستم آرماتورها متصل مي گردد.

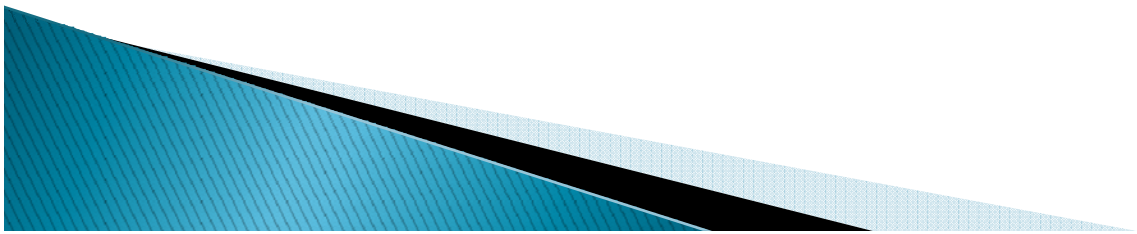
انتقال بار توسط عواملي همچون Cl^-, Na^+, OH^-, Ca_2^+ در خلال

الكتروليت (بتن + ژلاتين آبدار) صورت مي گيرد.

- با اندازه گيري پتانسيل بين آند و آرماتور ميزان حفاظت مشخص مي گردد.

- معمولا جهت جلو گيري از خوردگي اتمسفري آند آن را با رنگهاي محافظ از

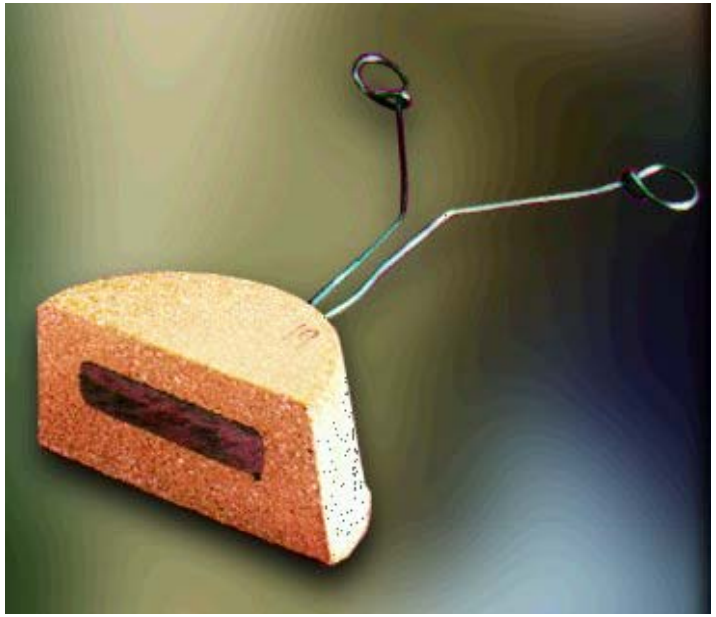
سمت بيروني آن محافظت مي كنند.

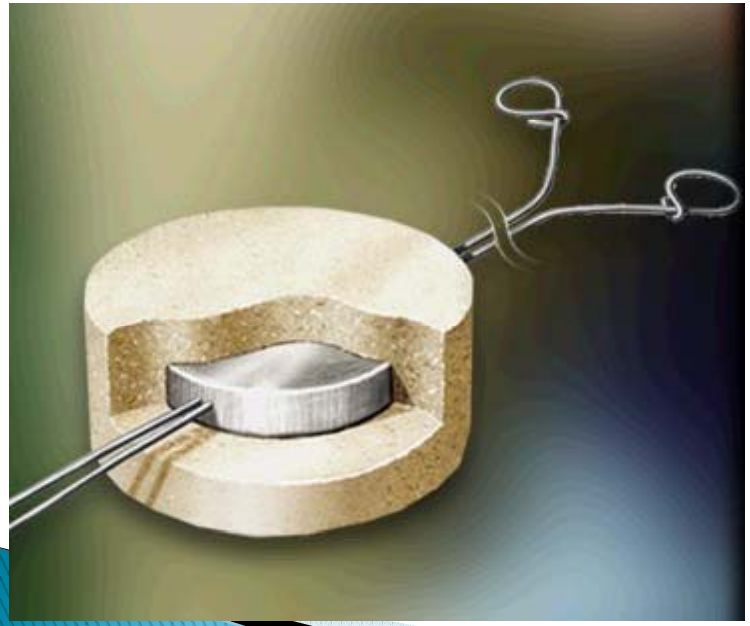


آندهاي رويين از پيش بسته بندي شده:

- اين آندها بيشتر جهت تعمير و وصله كاري استفاده مي گردند.

- اين آندهاي در يك ملاط كه فرمول معمولا محرمانه اي دارد قرار داده ميشوند و در بتن جاسازي مي شوند.





نصب آند در محل و تاثير آن بر ميزان خوردگي

مكانهاي مورد استفاده:

- پاركينگهاي چند طبقه
- ساختمانهاي مسكوني
- پلها
- و كليه سازه هايي كه در آنها وصله كاري صورت مي گيرد.

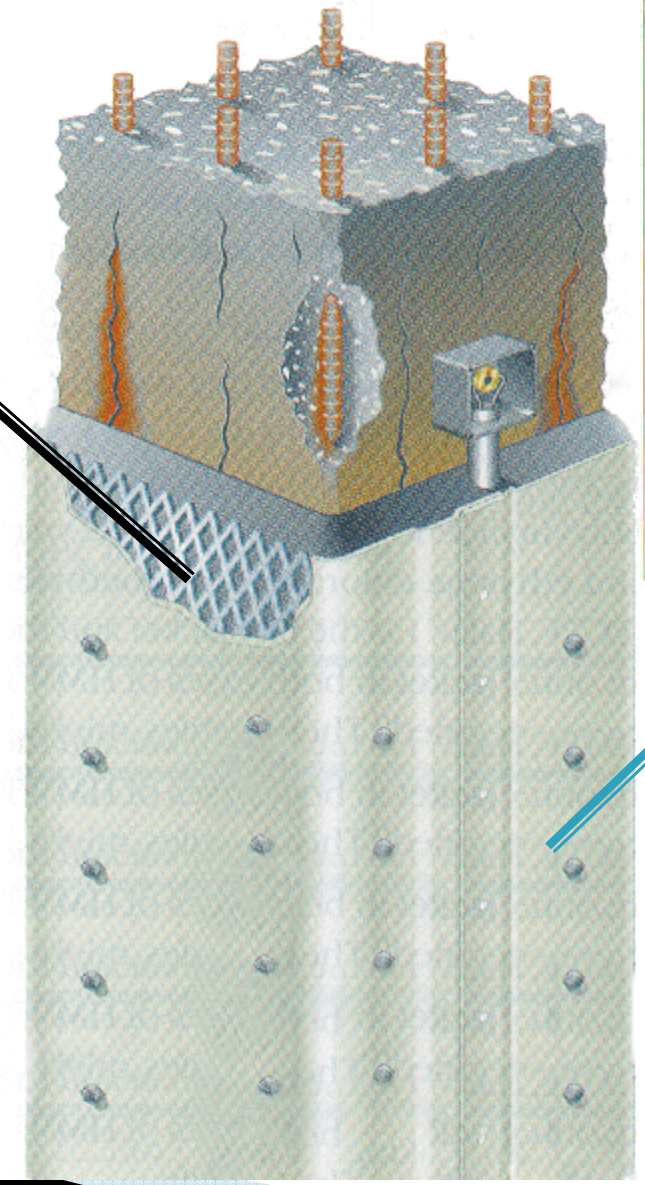
SNAP-ON ZINC MESH ANODE:

- اين سيستم نيز همانند دو سيستم ديگر عمل مي كند و از يك روكش

  كه حاوي چندين بخش است تشكيل شده و بر روي سازه قرار مي گيرد

  كه غلافي بر روي آندها قرار مي گيرد.

Snap-on Zinc Mesh Anode CP System



مزاياي اين سيستم:

- راحتي نصب
- هزينه كم
- عدم نياز به نگهداري
- حفاظت دراز مدت
- تنوع تكنولوژي

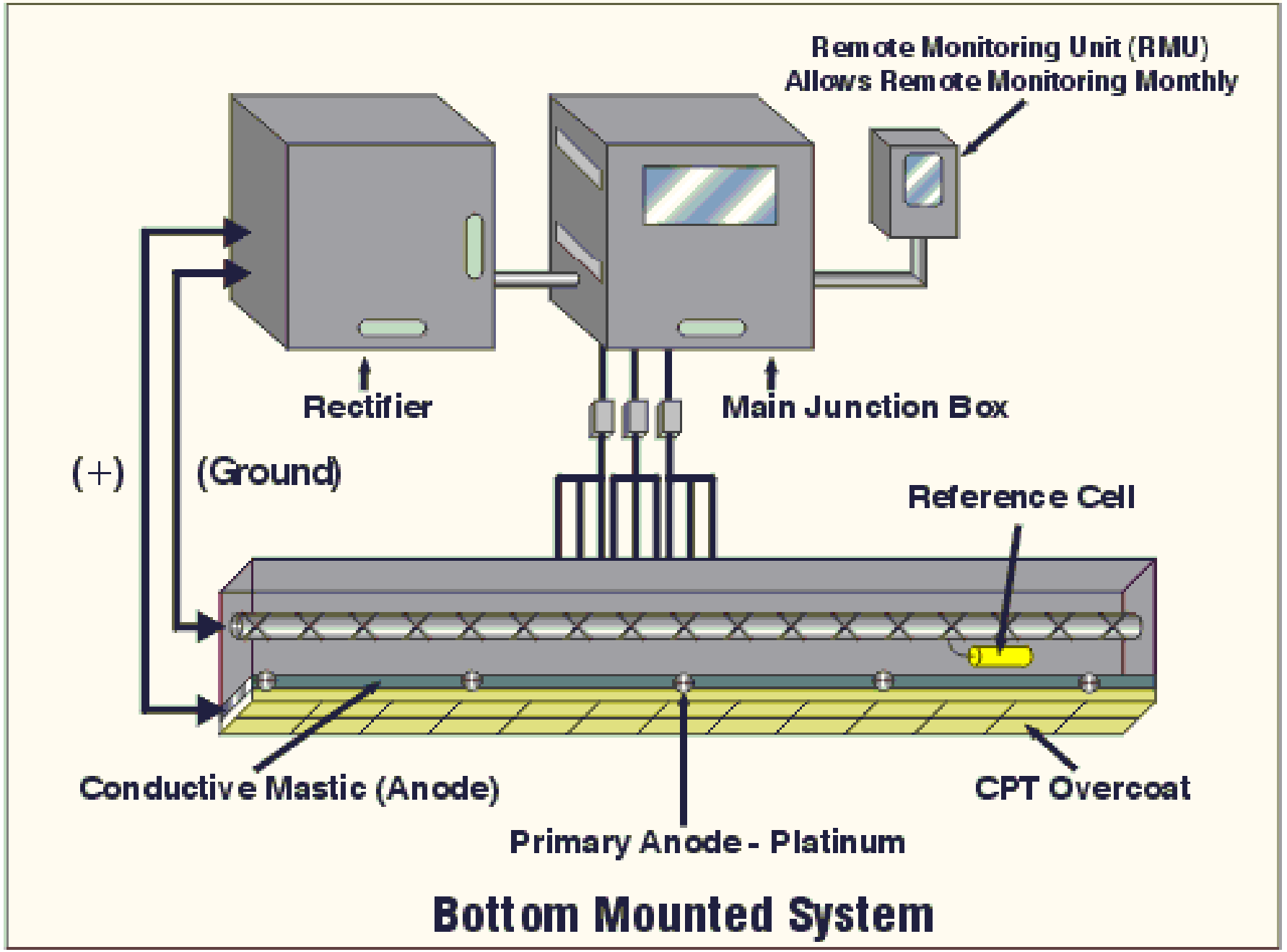
کاربردها:

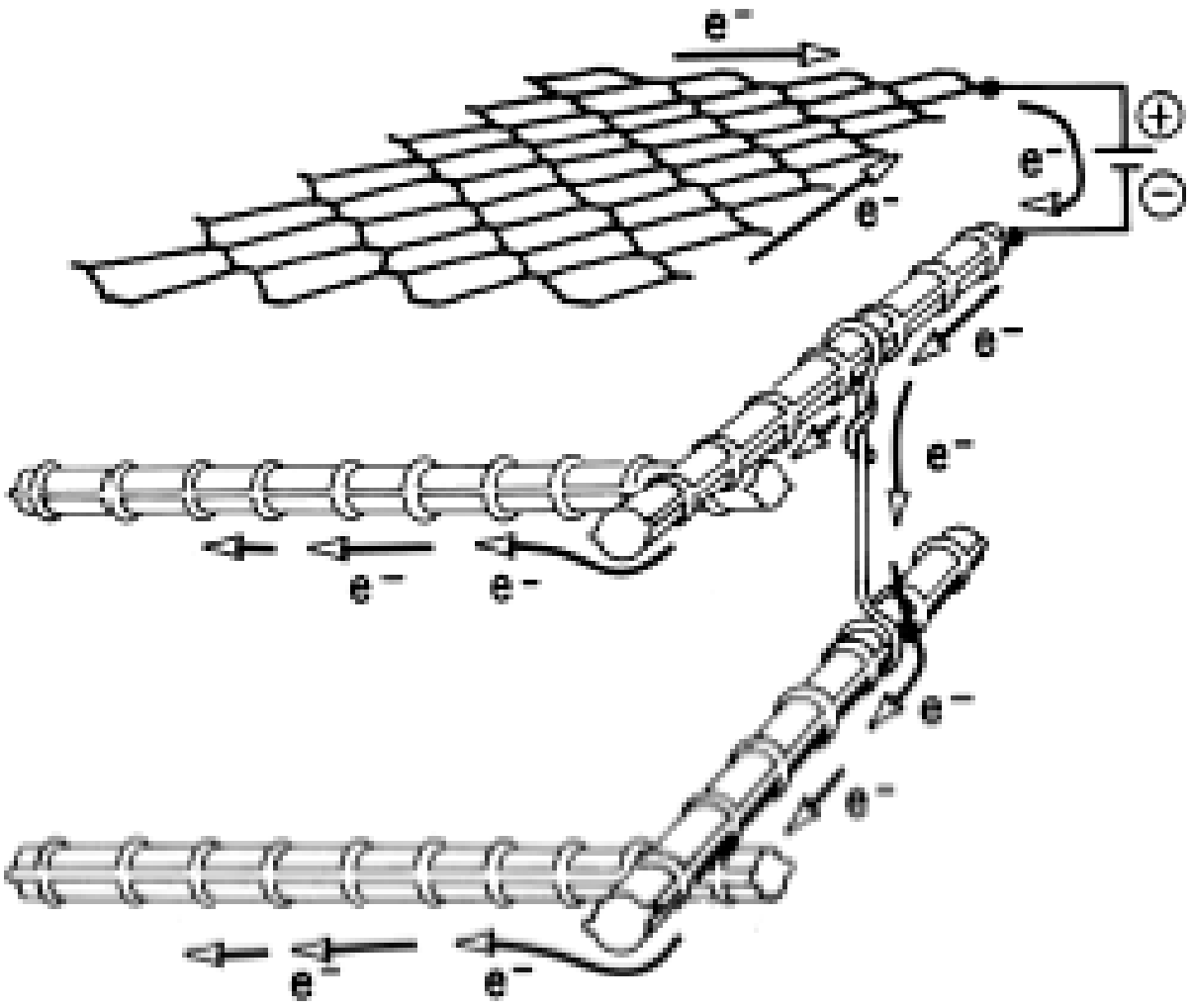
- بيشتر جهت پايه هاي پلهاي بتني غوطه ور در آب

حفاظت کاتدي با جريان اعمالي

اجزاي سيستم :

- منبع جريان
- سيستم آندي
- سيستم كاتدي
- كابلها
- تجهيزات پايش و كنترل


Remote Monitoring Unit (RMU)
Allows Remote Monitoring Monthly
Rectifier
Main Junction Box
(+)
(Ground)
Reference Cell
Conductive Mastic (Anode)
Primary Anode - Platinum
CPT Overcoat
Bottom Mounted System



Schematic of impressed current CP

معيار حفاظت :

- معيارهاي مختلفي ارائه شده اما يك نمونه از پرمصرفترين آنها براساس

استاندارد EN 12696-1 است كه بيان مي كند:

- پتانسيل Off منفي تر از ۷۲۰- ميلي ولت نسبت به الكترود AgIAgCl/0.5M KCl

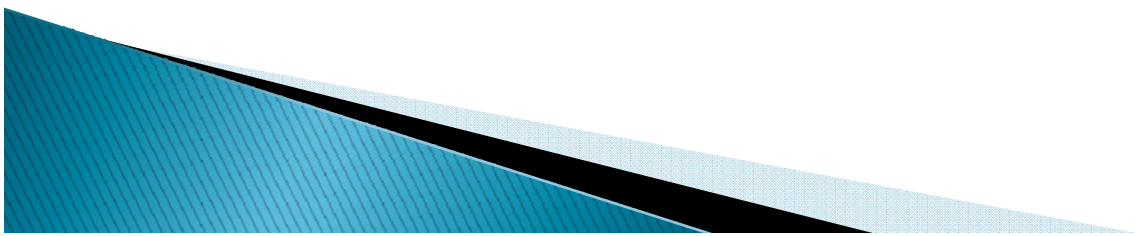
- رسيدن به ۱۰۰ ميلي ولت پلاريزاسيون از پتانسيل Off در كمتر از ۲۴ ساعت

مشخصات آندها:

- مقاومت مکانیکي،فیزیکي و شیمیایي خوب
- طول عمر زیاد (معمولا بیش از ۲۰ سال)
- مساحت زیاد سطح آند
- مقرون به صرفه

انواع سيستم آندي:

- روكشهاي هادي (لايه نقش آندي داشته و كل سطح را حفاظت مي كند)
- آندهاي پراكنده (در مناطق مختلف بتن قرار مي گيرند)
- لايه هاي فداشونده فلزي



روكشهاي هادي:

- متشكل از دو بخش هستند :

۱- آندهاي اوليه ۲- آندهاي ثانويه

- آند اوليه شامل يك فلز نجيب است.
- آند ثانويه مركب از :

الف - ملاط سيمان

ب - آسفالت يا يك رنگ

ج – ذرات كربن يا پليمرهاي هادي

مي باشد.

آندهاي آهن-سيليسم با روكش هادي آسفالت:

- اولين سيستم آندي براي بتن است.

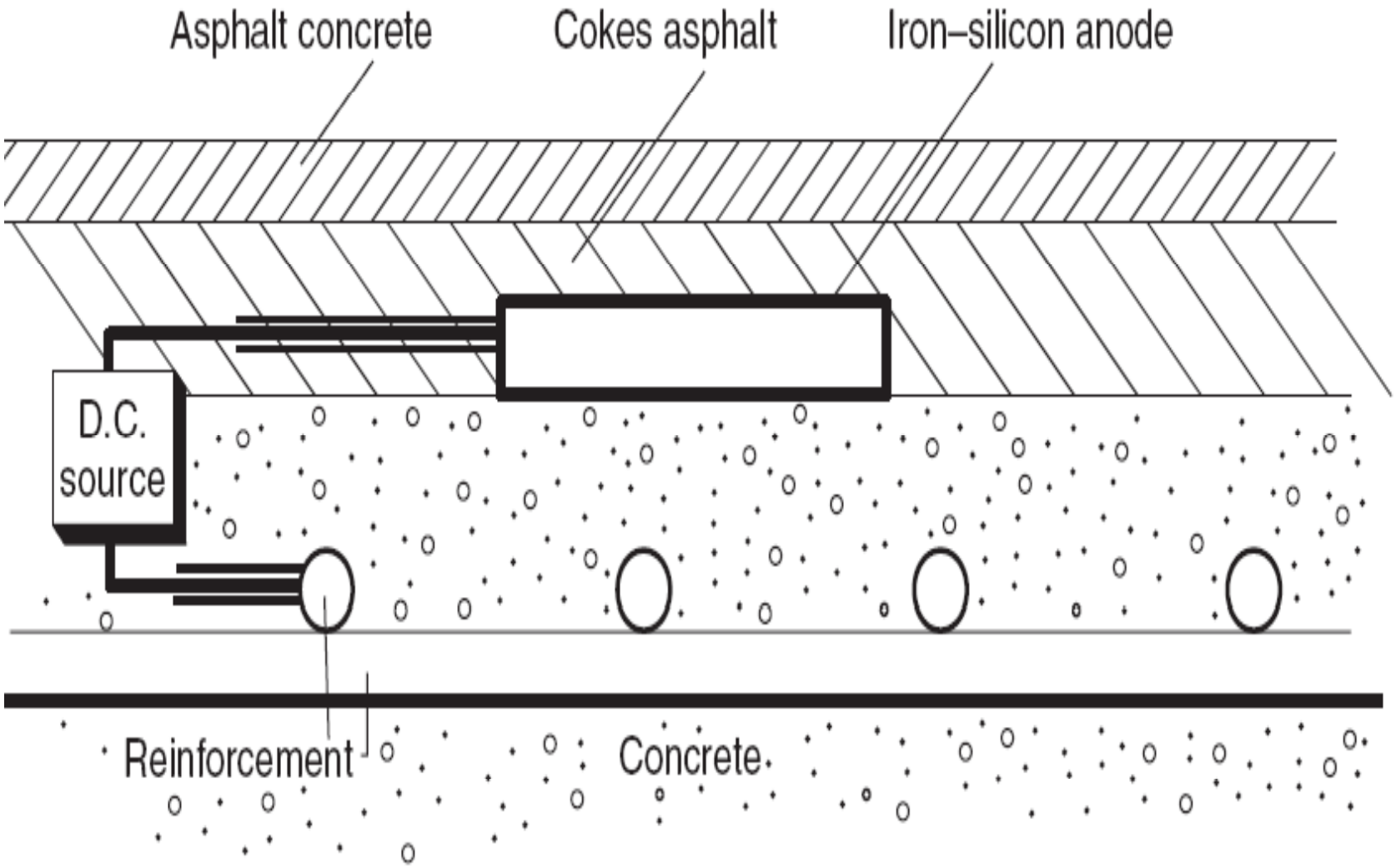
- آسفالت با ذرات كربن هادي شده است.

- مشخصات آندهاي اوليه:

۱- صفحات ۳۰۰ميلي متري بوده

۲- با ضخامت ۱۰ ميلي متري

- آند ثانويه روكش آسفالتي مي باشد.



Cathodic protection in a bridge deck. The iron–silicon anodes have been embedded in a layer of conductive coke breeze asphalt.[1]

مزايا و معايب:

- يكنواختي جريان
- راحتي در اعمال
- فقط براي سطوح افقي قابل اجراست

توريهاي سيمي تيتانيمي با اكسيد فلزات كمياب:

- توسط پرجهاي پلاستيكي بن بتن متصل مي شوند.
- توسط جوش مقاومتي به كابل اصلي متصل مي شوند.
- جهت اطمينان بيشتر از نوارهاي تيتانيمي اضافه استفاده مي شود.
- توري سيمي با آسفالت هادي و يا با ملاط سيماني هادي روكش مي شود.

اتصال به بتن با پرچ پلاستيكي

اتصال بوسيله جوش مقاومتي به كابل اصلي

اضافه کردن نوارهاي تيتانيمي اضافه

روکش کردن با آسفالت یا ملاط سیماني هادي

آند نواري تيتانيمي با پوشش فلز/اكسيدفلز:

- ضخامت و پهناي نوار تيتانيمي به ترتيب برابر ۰/۵ و ۰/۰۵ اينچ است.
- نوار در مكانهاي تعبيه شده قرار مي گيرد (عمقي حدودا ¾ اينچ و ضخامتي در حدود ۳/۱۶ اينچ دارند)
- فاصله نوارها حدودا ۱۳ سانتي متر از يكديگر است.
- نوار اصلي توسط كابل 12 AWG با جوشكاري به كابل اصلي مسي متصل و توسط اپوكسي آب بندي مي شود.

سيستم آندي

آماده سازي مكان قرار گيري آندها

مكانهاي آماده شده

نصب نوار اصلي تيتانيمي

جوشكاري به كابل اصلي

آب بندي توسط اپوکسي

پوششها يا رنگهاي هادي:

- از چند ماده رسانا جهت برقراري جريان بعنوان آند اوليه استفاده مي شود

آند اوليه:

- هسته مسي يا مخلوط فلز/ اكسيدفلز با پوشش :

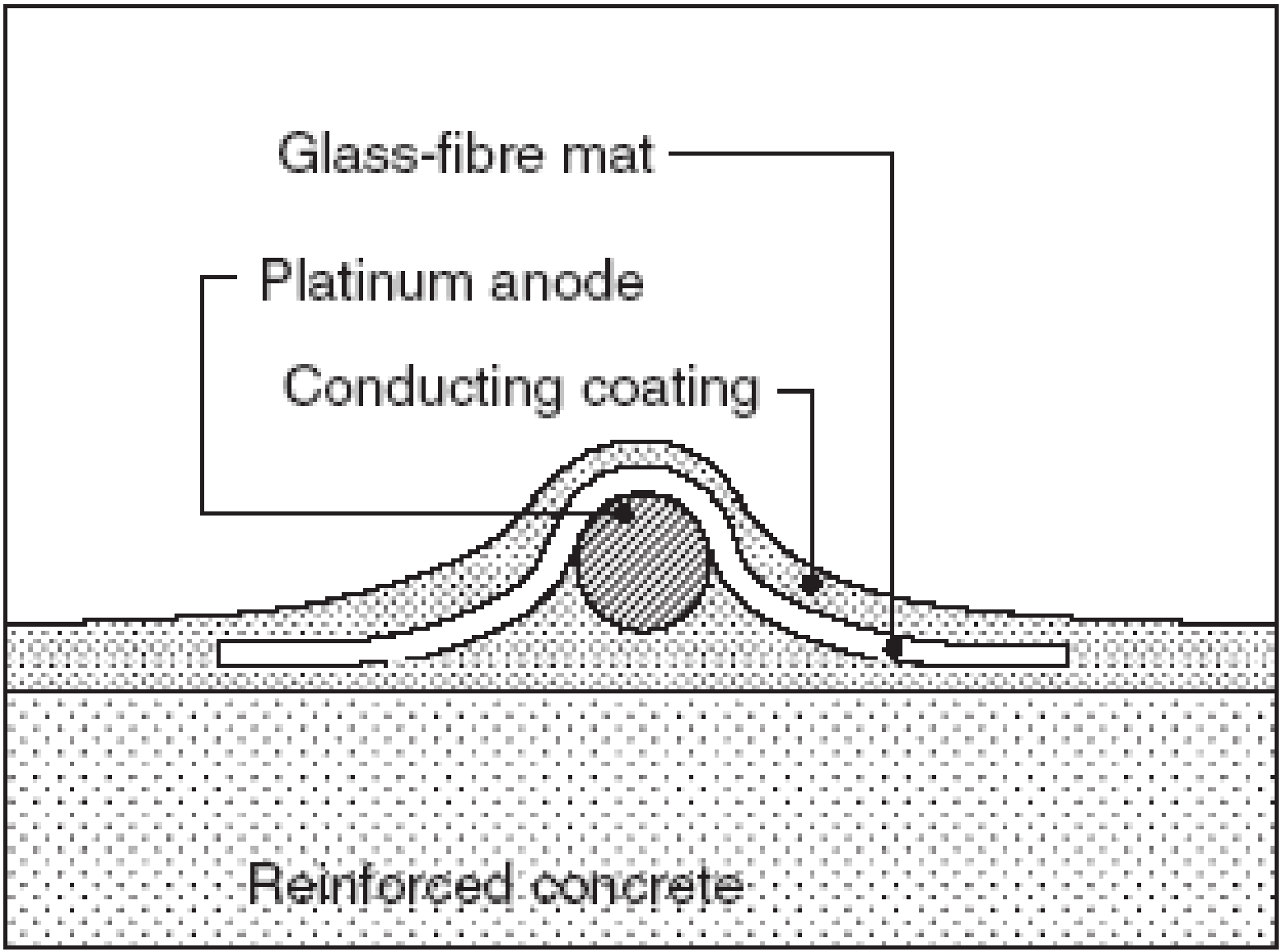
الف – پلاتيني

ب – پلاتين روكش شده با تيتانيم

ج – نيوبيم

آند ثانويه:

- رنگ هادي (انتقال جريان با ذرات گرافيت انجام مي دهد)
- پليمر هادي



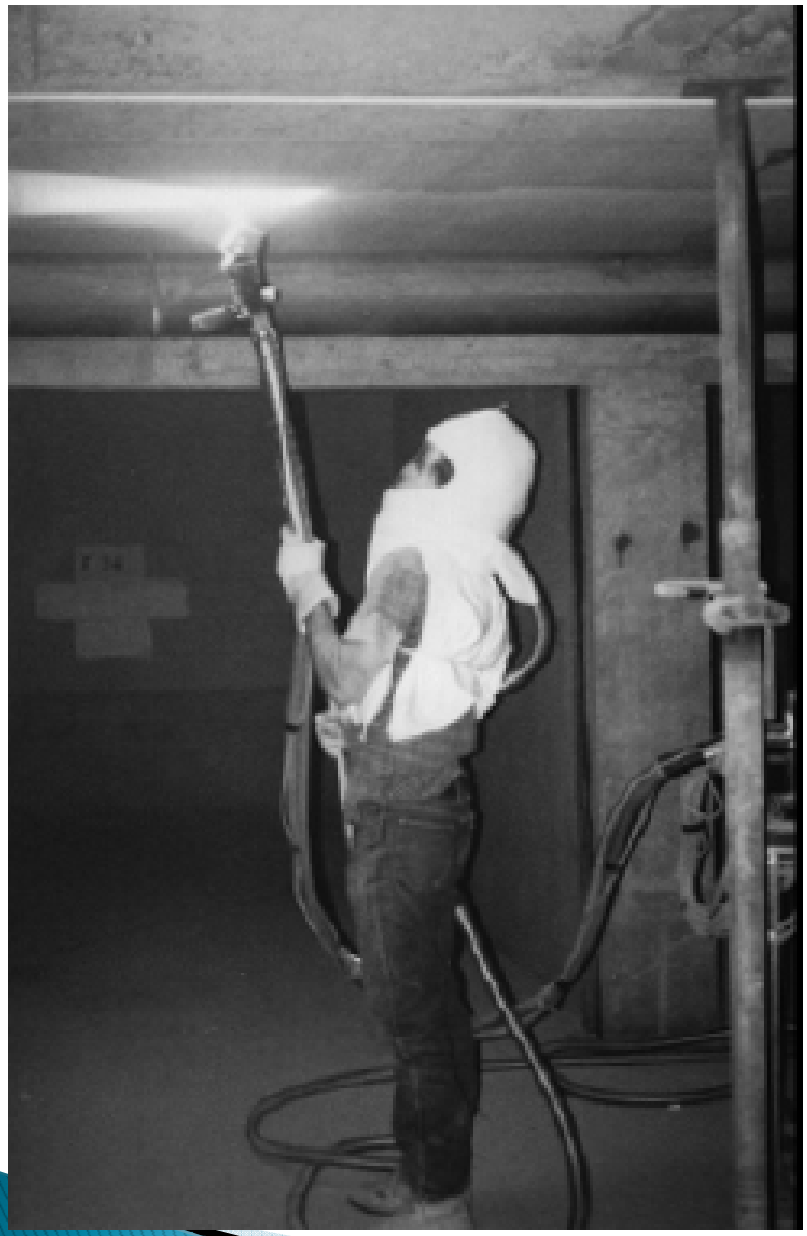
شماتيك روكش كردن آند با پوشش هادي

مزايا و معايب:

- مناسب براي سطوح افقي و عمودي
- طول عمر ۱۰ ساله
- غير قابل استفاده براي سطوح تماسي
- راحتي كاربرد وترميم عيوب
- نسبت سطح مساوي آند به كاتد

آند رويي با پاشش مشعلي (آند فداشونده):

- پوششي در حدود ۲۰۰ ميلي متر بر روي بتن اسپري شده و با كابل به آرماتور متصل مي شود.
- بعلت آنكه نيازي به منبع ندارد فداشونده ناميده مي شود.



پاشش مشعلي آند رويي

مشخصات پلاریزاسیون سازه حفاظت شده:

- در مدت زمان هاي ده دقيقه اي به مدت ۷ روز پتانسيل مرتبا خوانده و ثبت مي گردد و منحني آن بر حسب زمان رسم مي شود.

- در مناطقي كه كه تحت تاثير تغييرات اتمسفري نيستند در ۴ تا ۵ روز اول
  پلاريزاسيون كامل رخ خواهد داد.

- در مناطق متاثر از تغييرات محيط(Splash Zone) تا ۷ روز نيز ممكن است طول بكشد.

- گرچه با رسيدن به پلاريزاسون در روز هفتم ميتوان از رسيدن به حفاظت خوب تا حدود زيادي اطمينان حاصل كرد.

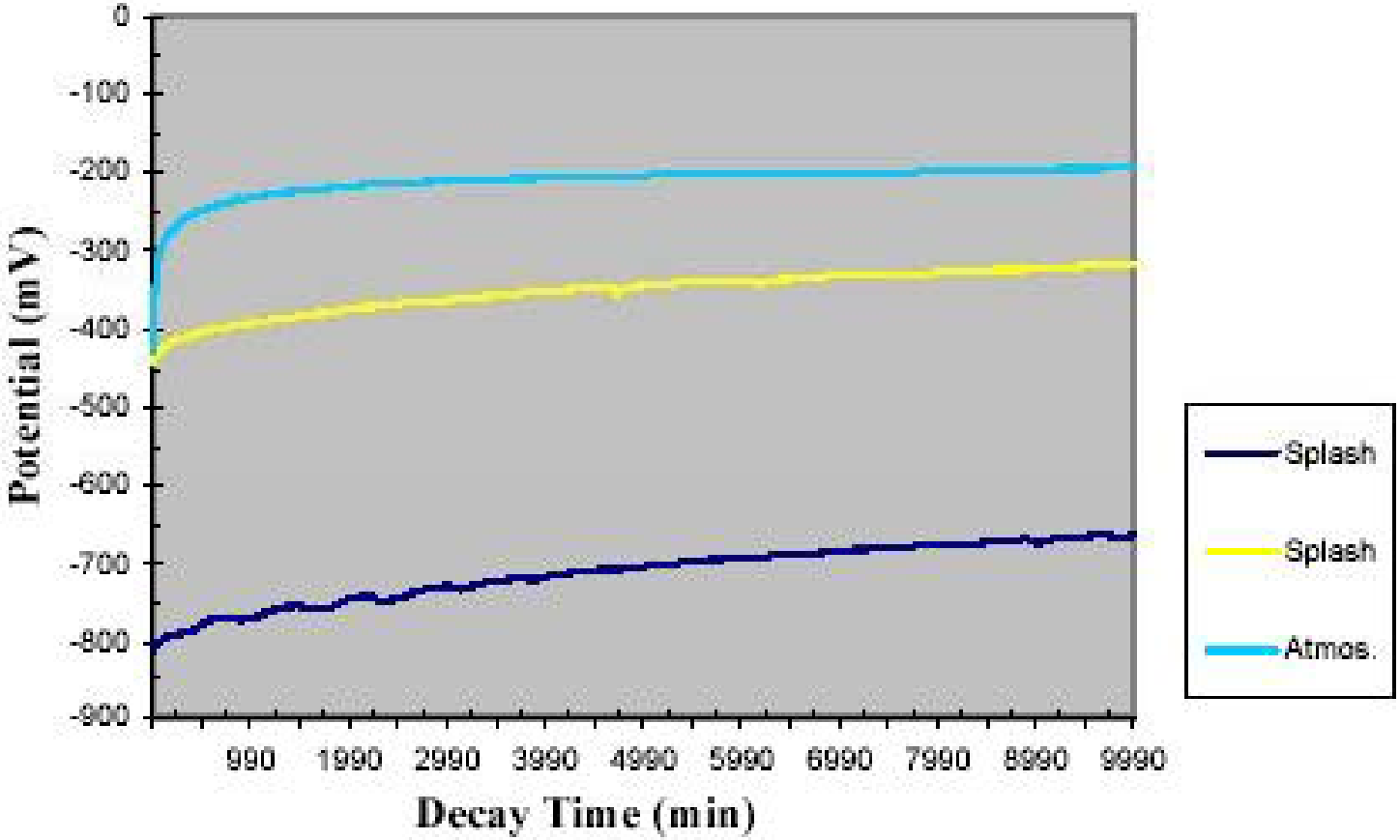


Figure 1- Potential decay versus time for 7 days depolarization.

درصد پلاریزاسیون حاصل در زمانهای مختلف:

ZONE	% of DEPOLARIZATION			
	4h	24 h	48 h	4 days
Splash	31	49	62	81
Atmospheric	67	88	94	97

Table 1 – Percentage of depolarization at 4h, 24h, 48h and 4 days obtained after 158 weeks of polarization.

با تشکر از توجه شما