INSO
20841
1st Edition
2020

Modification of
ASTM G109:
2013

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۸۴۱
چاپ اول
۱۳۹۸

بتن- تعیین اثرات افزودنی‌های شیمیایی بر خوردگی فولاد مدفون در بتن مسلح در معرض محیط‌های کلریدی- روش آزمون

Concrete– Determining effects of chemical admixtures on corrosion of embedded steel reinforcement in concrete exposed to chloride environments– Test method

ICS: 91.080.40

آدرس سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج- ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وب‌گاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«بتن- تعیین اثرات افزودنی‌های شیمیایی بر خوردگی فولاد مدفون در بتن مسلح در معرض محیط‌های کلریدی- روش آزمون»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
صولتی‌فر، نادر (دکتری مهندسی عمران)	هیات علمی- دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ارومیه
دبیر:	
محمدی، میرعلی (دکتری مهندسی عمران)	هیات علمی- دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ارومیه
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
احمدی، بابک (دکتری مهندسی عمران)	هیات علمی بخش فناوری بتن، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
انزابی، یاشار (کارشناسی مهندسی عمران)	کارشناس فنی و اجرایی- شرکت مهندسین مشاور روناب آریا- تبریز
تدین، محسن (دکتری مهندسی عمران)	رئیس انجمن بتن ایران
حاجی زاده، فرنوش (دکتری اکتشاف معدن)	هیات علمی- دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ارومیه
خلیل آریا، شهرام (دکتری مهندسی مکانیک)	هیات علمی- دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ارومیه
شکوری، بهزاد (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)	کارشناس فنی و اجرایی- شرکت مهندسین مشاور روناب آریا- تبریز
علیزاده، پرویز (کارشناسی مهندسی عمران)	تولید کنندهٔ بتن، شرکت بتن یول- ارومیه
علیزاده، جعفرصادق (کارشناسی مهندسی مکانیک)	مدیرعامل- شرکت ساختمانی تعاونی ۴۷ خوی

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
علیزاده، علی (کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر)	کارشناس- شرکت اروم میزان انرژی، ارومیه
فروتن مهر، بابک (کارشناسی مهندسی عمران)	هیات مدیره و مدیر داخلی- شرکت فهاب بتن
محمدی، فرناز (کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت منابع آب)	مسئول آزمایشگاه بتن و تکنولوژی- مؤسسه آموزش عالی علم و فن ارومیه
محمدی ثانی، حجت (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)	رئیس اداره املاک- اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان-غربی
مرادی حاجی جفان، محسن (کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد)	کارشناس- اداره کل استاندارد استان آذربایجان‌غربی
مشگینی، حمید (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)	سرمهندس ناظر- سازمان نوسازی مدارس استان آذربایجان‌غربی
مطلبی مغانجوقی، اسدالله (دکتری مهندسی مکانیک)	مدیر عامل- شرکت اروم میزان انرژی، ارومیه

ویراستار:

جعفری خطایلو، مجتبی (کارشناسی مهندسی عمران)	کارشناس- اداره کل استاندارد استان آذربایجان‌غربی

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار		ز
۱	هدف و دامنهٔ کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اهمیت و کاربرد	۳
۴	وسایل	۳
۵	معرف‌ها و مواد	۳
۶	تهیهٔ آزمونه‌ها	۴
۷	روش اجرا	۶
۸	دورهٔ آزمون	۷
۹	بررسی میلگردهای مدفون	۷
۱۰	گزارش	۹
۱۱	دقت و اریبی	۱۰
پیوست الف (الزامی) محاسبهٔ خوردگی کل		۱۲
پیوست ب (آگاهی دهنده) تغییرات اعمال شده در این استاندارد ملی در مقایسه با استاندارد منبع		۱۳
کتاب‌نامه		۱۴

پیش‌گفتار

استاندارد «بتن- تعیین اثرات افزودنی‌های شیمیایی بر خوردگی فولاد مدفون در بتن مسلح در معرض محیط‌های کلریدی- روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در هشتصد و شصت و یکمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۸/۱۱/۰۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM G109: 2013, Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments

بتن- تعیین اثرات افزودنی‌های شیمیایی بر خوردگی فولاد مدفون در بتن مسلح در معرض محیط‌های کلریدی- روش آزمون

هشدار- این استاندارد تمام موارد ایمنی مربوط به کاربرد این روش را بیان نمی‌کند بنابراین وظیفه کاربر این استاندارد است که موارد ایمنی و اصول بهداشتی را رعایت و قبل از استفاده، محدودیت‌های اجرایی آن را مشخص کند.

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد[۱]

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تشریح روش اجرای آزمون تعیین اثرات افزودنی‌های شیمیایی بر خوردگی فلزات در بتن است. این روش آزمون می‌تواند برای ارزیابی مواد مورد نظر برای بازدارندگی خوردگی ناشی از کلرید فولاد در بتن استفاده شود. هم‌چنین می‌تواند برای ارزیابی خورندگی افزودنی‌ها در محیط کلریدی استفاده گردد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارند که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM, A615/A615M Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement

2-2 ASTM, C33 Specification for Concrete Aggregates

یادآوری- مجموعه استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۳۰۲: سال ۱۳۹۴، سنگدانه‌های بتن- ویژگی‌ها، با استفاده از استاندارد ASTM C33/C33M: 2013، تدوین شده است.

2-3 ASTM, C143/C143M Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete

2-4 ASTM, C150 Specification for Portland Cement

[۱]- توضیحات تکمیلی در خصوص دامنهٔ کاربرد این استاندارد، در بند اهمیت و کاربرد (به بند ۳ مراجعه شود) ارائه شده است.

2-5 ASTM, C173/C173M Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method

یادآوری- مجموعه استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۳۸۲۳: سال ۱۳۹۵، بتن آماده- اندازه‌گیری هوای بتن به روش حجمی- روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM C173/C173M: 2014، تدوین شده است.

2-6 ASTM, C192/C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

یادآوری- مجموعه استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵۸۱: سال ۱۳۹۳، بتن- ساخت و عمل‌آوری آزمونه‌های بتن در آزمایشگاه- آیین کار، با استفاده از استاندارد ASTM C192/C192M: 2014، تدوین شده است.

2-7 ASTM, C231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

یادآوری- مجموعه استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۵۹۰۴: سال ۱۳۹۷، بتن تازه- تعیین مقدار هوای بتن تازه مخلوط شده به روش فشاری- روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM C231/C231M: 2017a، تدوین شده است.

2-8 ASTM, C511 Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes

یادآوری- مجموعه استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۷۰۴۰: سال ۱۳۹۲، اتاق اختلاط، محفظه رطوبت، اتاق رطوبت و حوضچه‌های آب مورد استفاده در آزمون سیمان هیدرولیکی و بتن‌ها- ویژگی‌ها، با استفاده از استاندارد ASTM C511: 2009، تدوین شده است.

2-9 ASTM, C876 Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete

2-10 ASTM, C881/C881M Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete

2-11 ASTM, C1152/C1152M Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete

2-12 ASTM, D448 Classification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction

2-13 ASTM, D632 Specification for Sodium Chloride

2-14 ASTM, E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

2-15 ASTM, E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2-16 ASTM, G3 Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing

2-17 ASTM, G15 Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing (Withdrawn 2010)

2-18 ASTM, G33 Practice for Recording Data from Atmospheric Corrosion Tests of Metallic-Coated Steel Specimens

2-19 ASTM, G46 Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion

2-20 SSPC-SP 5/NACE No. 1 White Metal Blast Cleaning

۳ اهمیت و کاربرد

۳-۱ این روش آزمون روشی قابل اعتماد برای پیش‌بینی خواص بازدارنده یا خورنده مواد افزودنی مورد استفاده در بتن ارائه می‌دهد.

۳-۲ این روش آزمون برای مطالعات تکمیلی مواد بازدارنده خوردگی برای استفاده در بتن مفید است.

۳-۳ در منابع دیگری این روش آزمون، با تطابق بالا بین خوردگی اندازه‌گیری شده با این روش آزمون و آسیب ناشی از خوردگی فولاد مدفون، استفاده شده است (مراجع [۱] تا [۴] کتاب‌نامه). این روش آزمون ممکن است به درستی عملکرد عوامل بازدارنده خوردگی مختلف، به ویژه در پوشش‌های بتنی روی فولاد کم‌تر از ۴۰mm یا نسبت آب به سیمان بیشتر از ۰٫۴۵ را درجه‌بندی نکند. این نسبت‌های مخلوط بتن و پوشش روی فولاد برای سرعت بخشیدن به ورود کلرید انتخاب شده است. برخی از بازدارنده‌ها ممکن است در این فرآیند تأثیر داشته باشد که می‌تواند منجر به نتایج متفاوتی از کاربرد واقعی مورد انتظار شود (مرجع [۵] کتاب‌نامه).

۴ وسایل

۴-۱ وسایل مورد نیاز برای ارزیابی بازدارنده‌های خوردگی شامل یک ولت‌متر با امپدانس بالا (حداقل ۱Mohm)[۱] قادر به اندازه‌گیری تا ۰٫۰۱mV و یک رزیستور با مقاومت ۱۰۰Ω با رواداری نسبی ٪۵ ± می‌شود.

۵ معرف‌ها و مواد

۵-۱ سیمان، که مطابق با نوع یک یا نوع دو استاندارد ASTM C150 است. سنگدانه درشت باید با استاندارد ASTM C33 و طبقه‌بندی استاندارد ASTM D448، با حداکثر اندازه اسمی ۹٫۵mm تا ۱۹mm مطابقت داشته باشد.

یادآوری- حداکثر اندازه ترجیحی سنگدانه ۱۲٫۵ mm است.

۵-۲ میلگردهای فولادی آج‌دار، مطابق با الزامات استاندارد ASTM A615/A615M؛ با قطر بین ۱۰mm و ۱۶mm و طول ۳۶۰mm، در یک انتها مته‌کاری و رزوه‌کاری شده تا با پیچ رزوه درشت ضد زنگ و مهره‌ها متصل گردد، همان‌طور که در زیربندهای ۵-۳ و ۵-۴ توضیح داده شده است. این میلگردها باید برای ساخت آزمونه‌ها، همان‌طور که در بند ۶ توضیح داده شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یادآوری- برنامه آزمون بین آزمایشگاهی و داده‌های آماری در بند ۱۱ بر اساس میلگردهای فولادی ۱۳mm، ماکسیمم اندازه سنگدانه ۱۲٫۵mm و پوشش ۱۹mm و ۲۵mm است.

۱- مگااُهم

۵-۳ پیچ‌های فولادی ضدزنگ ۳۱۶، با قطر کوچک‌تر از قطر میلگرد (۵mm>رزوه درشت)، به‌طول ۲۵mm تا ۳۵mm (یک عدد به ازای هر میلگرد).

۵-۴ مهره‌های فولادی ضدزنگ ۳۱۶، دو عدد به ازای هر میلگرد برای اتصال به پیچ‌های فولادی ضدزنگ، همان‌طور که در بند ۵-۳ توضیح داده شده است.

۵-۵ اپوکسی ضدآب دو جزئی، این اپوکسی باید مطابق با الزامات مقاومت شیمیایی مورد نیاز نوع IV، رده ۳، کلاس E استاندارد ASTM C881/C881M باشد.

۵-۶ اسید سولفوریک، ٪۱۰ جرمی، برای تمیزکاری (اختیاری).

۵-۷ نوار چسب آبکاری.

۵-۸ شلنگ نئوپرنی، با ضخامت دیواره ۳mm با نمره مشابه میل‌گرد استفاده شده.

۵-۹ سدیم کلرید، مطابق با استاندارد ASTM D632.

۵-۱۰ محلول نمک، که با حل ۳ قسمت کلرید سدیم (به زیربند ۵-۹ مراجعه کنید) در ۹۷ قسمت از جرم آب تهیه شده است.

۵-۱۱ آب‌بند اپوکسی، برای استفاده در آزمونه‌های بتنی پس از ساخت. این آب‌بند باید از نوع III، رده ۱، کلاس C مطابق با الزامات استاندارد ASTMC881/C881M باشد.

۵-۱۲ ظرف پلاستیکی، با عرض ۷۵mm و طول ۱۵۰mm با حداقل ارتفاع ۷۵mm برای قرار دادن روی آزمونه‌ها. ضخامت دیواره باید ۱±mm باشد.

۵-۱۳ درزبند سیلیکونی، برای آب‌بندی جداره بیرونی ظرف پلاستیکی روی سطح آزمونه بتنی.

۵-۱۴ الکترود مرجع، مانند کلرید جیوه (کالومل[1]) اشباع یا الکترود نقره/ کلرید نقره برای اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی میلگردها، همان‌طور که در استاندارد تعاریف و اصطلاحات ASTM G15 تعریف شده است.

۵-۱۵ هگزان.

۶ تهیهٔ آزمونه‌ها

۶-۱ میلگردها را با برس سیمی برقی تمیز کرده یا ماسه‌پاشی کنید تا به فلز سفید رنگ نزدیک شود (به SSPC-SP 5 /NACE No. 1 مراجعه کنید)، با خیساندن در داخل هگزان تمیز کنید، و اجازه دهید در معرض هوا خشک شود.

1- Calomel

یادآوری- زمانی‌که میلگردها مقدار زیادی زنگ‌زدگی دارند، توصیه می‌شود قبل از تمیزکاری با برس سیمی، به‌مدت ۱۰min تا ۱۵min در اسید سولفوریک ٪۱۰ قرار داده شوند و با آب آشامیدنی آب‌کشی گردند.

۶-۲ از روش مشابه برای تمیز کردن تمام میلگردهای موجود در برنامه آزمون استفاده کنید.

۶-۳ یک انتهای هر میلگرد را مته‌کاری و رزوه‌کاری کرده، به آن یک پیچ و دو مهره فولادی ضدزنگ متصل کنید، همان طور که در زیربندهای ۵-۳ و ۵-۴ شرح داده شده است، و هر انتهای میلگرد را با نوار چسب آبکاری بپوشانید به طوری که ۲۰۰mm از وسط میلگرد بدون پوشش بماند. در دو انتهای میلگرد، ۹۰mm از شلنگ نئوپرنی را زوی نوار چسب آبکاری بکشید ، همان طور که در زیربند ۵-۸ شرح داده شده است، و طول لوله بیرون زده از دو انتهای میلگرد را با اپوکسی دو جزئی پر کنید، همان طور که در زیربند ۵-۵ شرح داده شده است.

۶-۴ اندازه آزمونه ۲۸۰mm×۱۵۰mm×۱۱۵mm است. همان طور که در زیربند ۵-۲ شرح داده شده، دو میلگرد را در فاصله ۲۵mm از پایین قرار دهید، و یک میلگرد را در بالا به‌طوری‌که فاصله بالای آن از سطح بالای آزمونه دو برابر ماکسیمم اندازه سنگدانه است، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

یادآوری- برای مثال، برای سنگدانهٔ ۱۲٫۵mm، میلگرد بالایی را ۲۵mm از سطح قرار دهید. برای سنگدانهٔ ۹٫۵mm میلگرد را ۱۹mm از سطح بالایی قرار دهید.

۶-۵ میلگردها را در قالب قرار دهید تا تقریباً ۴۰mm از میلگردها دو بخش انتهایی داخل آزمونه، از بتن محافظت شوند (اثرات لبه را مینیمم کند). این کار ۲۰۰mm از فولاد را ظاهر می‌سازد. میلگردها را با دنده‌های طولی قرار دهید به این ترتیب که آن‌ها به طرف تیر نزدیک هستند، یعنی هر دو لبه از بالا یا پایین آزمونه برابر هستند.

۶-۶ آزمونه‌های بتنی (کنترلی‌ها و آن‌هایی که دارای افزودنی هستند) را مطابق با استاندارد ASTM C192/C192M، با استفاده از همان منبع مواد تهیه کنید. مقدار هوا را با استفاده از استاندارد ASTM C231 یا استاندارد ASTM C173/C173M، تعیین کنید. نسبت آب به سیمان (w/c) نباید بیش از ۰٫۵ باشد. مینیمم اسلامپ ۵۰mm است (به استاندارد ASTM C143/C143M مراجعه کنید). بتن را مطابق با استاندارد ASTM C192/C192M در قالب‌های حاوی میلگردها ریخته و متراکم کنید.

یادآوری- مواد تشکیل‌دهنده بتن مورد استفاده در آزمون بین آزمایشگاهی شامل: مقدار سیمان $355kg/m^3 \pm 3kg/m^3$، w/c ± ۰٫۰۱w/c (سنگدانه‌ها) و ٪۱±٪۶ هوا بود.

۶-۷ افزودنی را در مقادیر مصرف توصیه شده توسط تولیدکننده جهت آزمون اضافه کنید. در صورت لزوم، کاهنده آب، برای رسیدن به اسلامپ مورد نظر مجاز است. افزودنی‌های استفاده شده را ثبت کنید. به جز افزودنی‌های مورد ارزیابی، از همان افزودنی‌ها در همه مخلوط‌ها استفاده کنید.

۶-۸ حداقل سه آزمونه همسان ساخته شود. همان تعداد آزمونه همسان را به ازای هر افزودنی مورد آزمون و نمونه کنترل بسازید (به یادآوری زیر بند ۶-۸ مراجعه کنید). یک آزمونه استوانه‌ای اضافی به قطر ۱۰۰mm×۲۰۰mm باید برای تجزیه و تحلیل کلرید اولیه ساخته شود.

یادآوری- تعداد بیشتری از آزمونه‌های همسان ترجیح داده می‌شود.

۶-۹ پس از تراکم، توسط یک تخته‌ماله، ماله‌کشی نمایید. بعد از بازکردن قالب‌ها، آزمونه‌ها را به‌مدت ۲۸ روز در اتاق مرطوب[1] مطابق با استاندارد ASTM C192/C192M و استاندارد ASTM C511 عمل‌آوری نمایید.

۶-۱۰ به محض خارج کردن از اتاق مرطوب، سطح بالایی بتن آزمونه‌ها را برس سیمی دستی بزنید (سطح ماله‌کشی شده با تخته‌ماله). اجازه دهید آزمونه‌ها قبل از آب‌بندی چهار ضلع عمودی آن با آب‌بند اپوکسی، همان طور که در زیربند ۵-۱۱ شرح داده شده است، به مدت دو هفته در محیط با رطوبت نسبی (RH) ۵۰٪، مطابق با توصیه تولید کننده، خشک شوند. ظرف پلاستیکی را با ابعادی که در زیربند ۵-۱۲ شرح داده شده، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، روی آزمونه و حدود ۱۳mm از هر طرف، قرار دهید، به طوری که روی مقاطع چسب زده شده میلگردها قرار نگیرد (به شکل ۲ مراجعه کنید). از یک درزبند سیلیکونی برای آب‌بند کردن ظرف از بیرون، استفاده کنید و آب‌بند اپوکسی را تابه بالای سطح خارجی ظرف بمالید.

یادآوری- اجازه خشک شدن به آزمونه‌ها قبل از اعمال بتن اپوکسی، مواجههٔ اولیه با کلرید را بسیار تشدید می‌کند،در نتیجه شرایط برنامه آزمون بین آزمایشگاهی راتا حد ممکن مشابه به هم دنبال کنید/

۶-۱۱ سیم‌ها و مقاومت‌ها را وصل کنید.

۷ روش اجرا

۷-۱ هر آزمونه را روی دو تکیه‌گاه غیررسانای الکتریکی، با ضخامت مینیمم ۱۳mm، قرار دهید، بنابراین جریان هوا زیر بیشتر آزمونه‌ها را ممکن می‌سازد. آزمون را یک ماه پس از آن که آزمونه‌ها از محیط با رطوبت نسبی RH ۱۰۰٪ (اتاق مرطوب) خارج شدند، شروع کنید. محلول نمک را روی آزمونه‌ها به مدت دو هفته با دمای ۲۳°C ± ۳°C قرار دهید، همان‌طور که در زیربند ۵-۱۰ شرح داده شده است. حجم این محلول در حدود ۴۰۰ml با عمق ۴۰mm آن است. از یک پوشش پلاستیکی غیر کیپ استفاده کنید تا تبخیر را مینیمم کنید. رطوبت نسبی اطراف آزمونه‌ها را در حدود ۵٪ ± ۵۰٪ نگه دارید. بعد از دو هفته، محلول را تخلیه کرده و اجازه دهید آزمونه‌ها به‌مدت دو هفته خشک شوند. این چرخه را تکرار کنید.

1- Moist room

۷-۲ ولتاژ مقاومت را در ابتدای هفته دوم غرقاب کردن با استفاده از ولت‌متر تعریف شده در زیربند ۴-۱ اندازه‌گیری کنید. جریان I_j را از ولتاژ اندازه‌گیری شده V_j برحسب ولت، در مقاومت ۱۰۰Ω محاسبه کنید، (به یادآوری زیربند ۷-۲ مراجعه کنید) به صورت:

$$I_j = \frac{V_j}{100}$$

یادآوری- با ترمینال مشترک در میلگرد پایینی، ولتاژهای منفی با جریان گالوانیک مثبت متناظر است (یعنی میلگرد بالایی آند است).

۷-۳ در همان زمان، پتانسیل خوردگی میلگردها را در مقایسه با یک الکترود مرجع که در ظرف حاوی محلول نمک قرار داده شده است اندازه‌گیری کنید (به استاندارد ASTM G3 و استاندارد ASTM C876 مراجعه کنید). ولت‌متر را بین الکترود مرجع (ترمینال زمین یا ترمینال مشترک) و میلگردها وصل کنید.

۸ دورهٔ آزمون

۸-۱ جریان را به عنوان تابعی از زمان هر چهار هفته یکبار پایش کنید، همان‌طور که در زیربند ۷-۲ شرح داده شده است، تا زمانی‌که جریان ماکروسل[1] تجمعی متوسط آزمونه‌های کنترل ۱۵۰C (۱۵۰ کلومب[2]) یا بیشتر شود، مطابق آن‌چه در زیربند ۸-۱-۱۰ تعریف شده است، و حداقل نیمی از آزمونه‌ها جریان ماکروسل تجمعی برابر یا بیش‌تر از ۱۵۰C داشته باشند (به یادآوری زیربند ۸-۱ مراجعه کنید).

یادآوری- مقدار ۱۵۰C با جریان ماکروسل ۱۰μA در طی شش ماه معادل است. مقدار ۱۰μA در همه آزمایشگاه‌ها روی تمامی آزمونه‌ها دچار خوردگی به‌دست آمد. (نمونه‌های کنترل و آزمونه‌های آزمایشی دارای کلرید کلسیم و پوشش ۱۹mm). این مقدار از جریان ماکروسل تجمعی برای اطمینان از وجود خوردگی به‌منظور بازرسی چشمی کافی است.

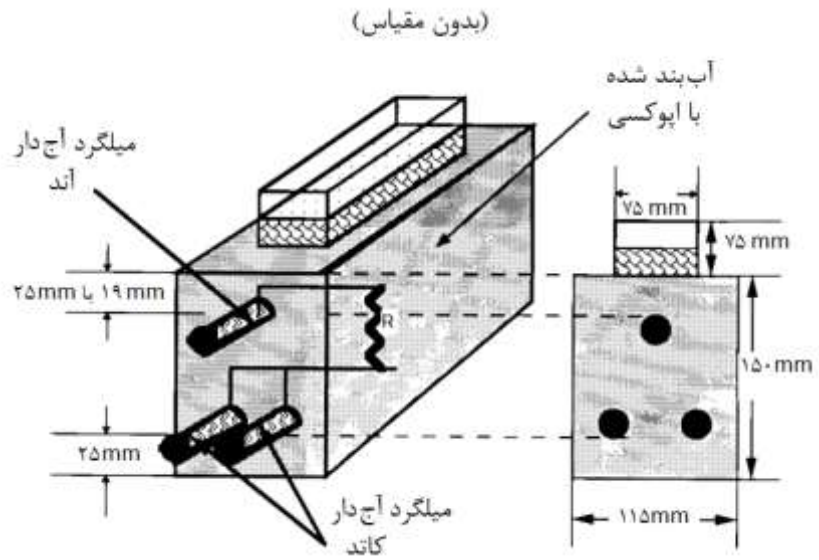
۸-۲ در مواردی که مواد افزودنی مورد آزمون خورنده هستند، آزمون را سه چرخه کامل پس از آنکه جریان ماکروسل تجمعی متوسط در آزمونه‌های کنترل، ۷۵C مشاهده شد و جریان ماکروسل تجمعی حداقل نیمی از آزمونه‌های مورد آزمایش بزرگتر یا مساوی ۷۵C شد، پایان دهید.

۹ آزمایش میلگردهای مدفون

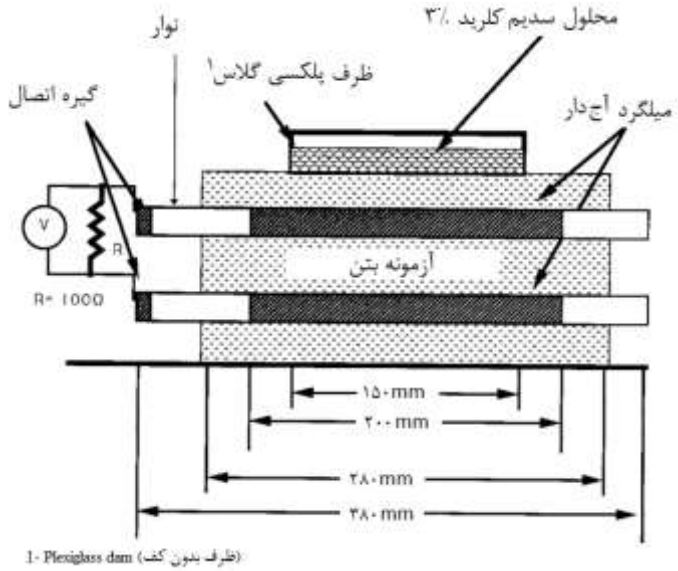
۹-۱ در انتهای آزمون، آزمونه‌ها را بشکافید و میلگردهای مسلح کننده را از نظر میزان خوردگی بررسی کنیدمساحت خورده شده را اندازه‌گیری کنید و درصد مساحت خوردگی مورد نظر را ثبت کنید، همان‌طور که در استاندارد ASTM G33 شرح داده شده است.

یادآوری- از میلگردها در پایان آزمون عکس بگیرید تا یک گزارش آسیب ناشی از خوردگی ثبت شود.

1- Macrocell
2- Coulomb



شکل ۱- تیر بتنی



شکل۲- تیر بتنی (نمای جانبی)

۹-۲ میزان کلرید محلول در اسید در عمق متناظر پوشش روی میلگرد تقویتی را با استفاده از استاندارد ASTM C1152/C1152M تعیین کنید.

۹-۳ میزان کلرید محلول در اسید را در آزمونه ساخته شده برای اندازه‌گیری کلرید اولیه، با استفاده از استاندارد ASTM C1152/C1152M تعیین کنید. این مقدار از میزان کلرید محلول در اسید تعیین شده طبق زیربند ۹-۲، کم می‌شود، تا میزان کلرید محلول در اسید اصلاح شده که منعکس کننده کلرید ورودی است را مشخص کند.

۱۰ گزارش

۱۰-۱ اطلاعات زیر را گزارش کنید:

۱۰-۱-۱ جزئیات کامل نسبت‌های بتن، میزان هوا، و اسلامپ بتن مورد استفاده در آزمونه‌های کنترل و آزمایشی؛

۱۰-۱-۲ نمودار جریان و پتانسیل خوردگی برای هر آزمونه بتنی نسبت به زمان؛

۱۰-۱-۳ نمودار جریان تجمعی متوسط برای هر وضعیت بتن نسبت به زمان؛

۱۰-۱-۴ زمان مردود شدن، به عنوان زمانی برای رسیدن جریان ماکروسل متوسط به مقدار ۱۰μA و حداقل نیمی از آزمونه‌ها جریان بیش از ۱۰μA را نشان می‌دهند؛

۱۰-۱-۵ نتایج بازرسی چشمی هر میلگرد. گزارش باید شامل درصد سطح واقعی فولاد در معرض خورده شده و به صورت اختیاری، تعداد و اعماق حفره‌های خوردگی موجود، همان‌طور که در استاندارد ASTM G46 شرح داده شده است؛

۱۰-۱-۶ عکس‌های میلگرد در پایان آزمون (اختیاری)؛ و

۱۰-۱-۷ میزان کلرید در عمق میلگرد بالایی از سطح. این عدد میزان کلرید اصلاح شده کل طبق زیربند ۹-۳ است.

۱۰-۱-۸ نسبت جریان تجمعی کل آزمونه آزمایشی به جریان تجمعی کل نمونه شاهد و زمان پایان آزمون. جریان تجمعی کل به‌صورت زیر است:

$$TC_j = TC_{j-1} + \left[\frac{(t_j - t_{j-1}) \times (i_j + i_{j-1})}{2}\right]$$

که در آن:

TC خوردگی کل (کلومب)،

t_j زمان (ثانیه) که در آن اندازه‌گیری ماکروسل جریان انجام شده است، و

i_j جریان ماکروسل (آمپر) در زمان t_j.

یک محاسبه نمونه در پیوست **الف** آورده شده است.

۱۱ دقت و اریبی

۱۱-۱ اطلاعات در مورد دقت نتایج به دست آمده توسط این روش آزمون از یک آزمون بین آزمایشگاهی با دو تا سه آزمونه برای هر آزمایشگاه استخراج شده است. یازده آزمایشگاه در مطالعه شرکت کرده‌اند. تکرارپذیری و تجدیدپذیری نتایج آزمون وابسته به بزرگی میانگین جریان ماکروسل بودند.

۱۱-۲ دقت به شرح زیر است:

۱۱-۲-۱ حد تکرارپذیری (درون آزمایشگاهی) ٪۹۵- دقت درون آزمایشگاهی جریان ماکروسل متوسط (برای هر آزمایشگاه)، همان طور که توسط حد تکرارپذیری، r، بیان شده است، توسط رابطه زیر ارائه شده است:

$$\log r = 0.931 \log I_{avg} + 0.441 \quad (۱)$$

۱۱-۲-۲ حد تجدیدپذیری (بین آزمایشگاه‌ها) ٪۹۵- دقت بین آزمایشگاهی جریان ماکروسل متوسط (برای هر آزمایشگاه)، همان‌طور که توسط حد تجدیدپذیری، R، بیان شده است، توسط رابطه زیر ارائه شده است:

$$\log R = 0.833 \log I_{avg} + 0.624 \quad (۲)$$

۱۱-۲-۳ حدود تکرارپذیری و تجدیدپذیری جریان ماکروسل متوسط مطابق با استاندارد ASTM E177 محاسبه شد. انحراف‌های استاندارد مربوط به تغییر در نتایج آزمون با تقسیم مقادیر r و R محاسبه شده توسط معادله (۱) و معادله (۲) بر ۲٫۸ حاصل می‌شود. سپس معادلات زیر به دست آمد:

$$\log S_r = 0.931 \log I_{avg} - 0.006 \quad (۳)$$

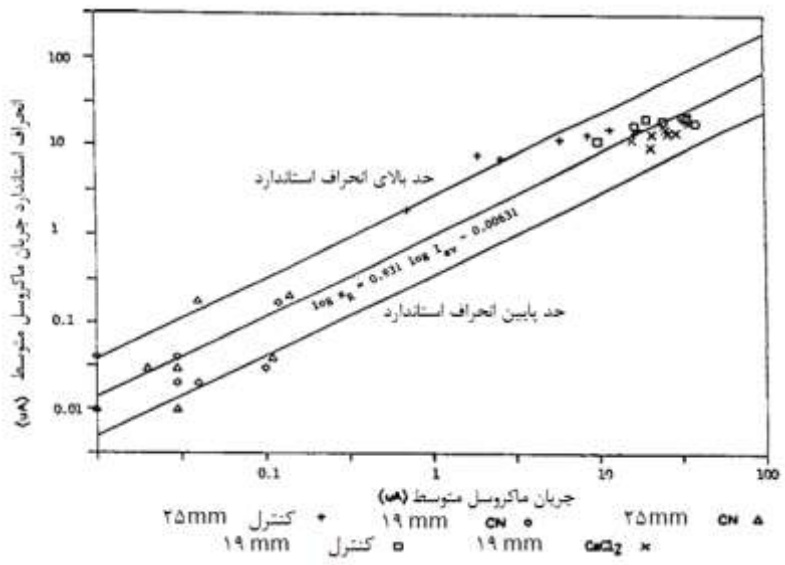
$$\log S_R = 0.833 \log I_{avg} + 0.177 \quad (۴)$$

۱۱-۲-۴ داده‌های مورد استفاده برای تدوین دقت روش آزمون، همراه با پارامترهای آماری که در استاندارد ASTM E691 تعریف شده است، در گزارش پژوهشی آمده است. حدود تکرارپذیری و تجدیدپذیری به صورت گرافیکی در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

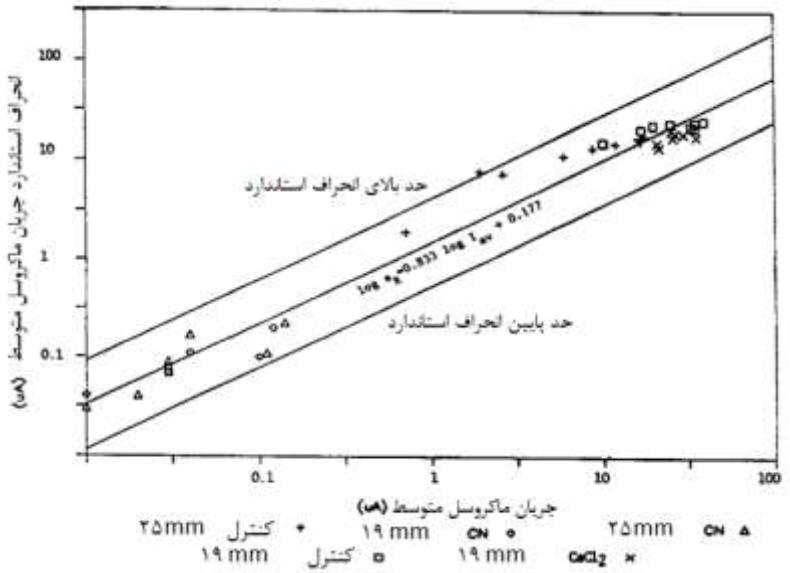
۱۱-۲-۵ زمان مردود شدن با استفاده از استاندارد ASTM E691 تحلیل شده است. این تحلیل در گزارش پژوهشی ارائه شده است.[۱]

۱۱-۲-۶ ماکسیمم پایان بازه اطمینان ٪۹۵ برای زمان مردودی در نمونه‌های کنترلی با پوشش بتنی ۱۹mm هم برای آزمون‌های بین و درون آزمایشگاهی شش ماه است. ماکسیمم پایان بازه اطمینان ٪۹۵ برای آزمون‌های بین آزمایشگاهی و درون آزمایشگاهی آزمونه‌های حاوی کلسیم کلرید به ترتیب دو و شش ماه است.

۱- داده پشتیبان در ستاد بین‌المللی ASTM ثبت شده و در صورت درخواست گزارش تحقیق RR: G01-1009، قابل دسترسی است.



شکل۳- انحراف استاندارد تکرارپذیری



شکل ۴- انحراف استاندارد تجدیدپذیری

۱۱-۲-۷ داده‌های کامل مربوط به درصد مساحت خورده شده در گزارش پژوهشی ارائه شده است. در تمام مواردی که خوردگی وجود داشت، جریان ماکروسل بیش‌تر از $9\mu A$ بود. با این حال، تعداد کافی آزمایشگاه‌ها درصد ناحیه خوردگی برای انجام تحلیل آماری مطابق با استاندارد ASTM E691 را گزارش نکردند.[۱]

۱۱-۳ اریبی- روش اجرایی که در این روش آزمون ارائه شده است، به‌دلیل این که اثرات افزودنی‌های شیمیایی بر خوردگی فولاد در بتن مسلح فقط در شرایط این روش آزمون تعریف شده است، اریبی ندارد.

پیوست الف

(الزامی)

الف) محاسبهٔ خوردگی کل

الف-۱ محاسبه خوردگی کل:

$$TC_j=TC_{j-1}+\left[\frac{(t_j-t_{j-1})\times(i_j+i_{j-1})}{2}\right] \quad \text{(الف-۱)}$$

الف-۱-۱ فرض کنید قرائت‌های زیر در طول یک دوره ۹۰ روزه به دست آمده است:

روزها	۰	۳۰	۶۰	۹۰
$i_{mac}(\mu A)$	۰	۲۰	۲۷	۳۵

الف-۱-۲ در پایان دوره ۳۰ روزه اول، خوردگی کل برابر است با:

$$TC_1=0+\left[\frac{(30-0)\times 86400\times(20+0)}{2}\times 10^{-6}\right]=25.92\ C \quad \text{(الف-۲)}$$

الف-۱-۳ در پایان دوره ۶۰ روزه:

$$TC_2=25.92+\left[\frac{(60-30)\times 86400\times(20+27)}{2}\times 10^{-6}\right]=86.83\ C \quad \text{(الف-۳)}$$

الف-۱-۴ در پایان دوره ۹۰ روزه:

$$TC_2=86.83+\left[\frac{(90-60)\times 86400\times(27+35)}{2}\times 10^{-6}\right]=167.18\ C \quad \text{(الف-۴)}$$

یادآوری- ضریب تبدیل روز به ثانیه = ۸۶۴۰۰ = ۶۰×۶۰×۲۴.

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

تغییرات اعمال شده در این استاندارد ملی در مقایسه با استاندارد منبع

ب-۱ بخش‌های حذف شده

- زیربند ۱-۲: حذف شده است.
- زیربند ۲-۲: حذف شده است.
- زیربند ۵-۵: پانوشت‌ها حذف شده است.
- زیربند ۵-۷: پانوشت‌ها حذف شده است.
- شکل ۱: یادآوری حذف شده است.
- شکل ۲: یادآوری حذف شده است.
- بند ۱۲: حذف شده است.

ب-۲ بخش‌های جایگزین شده

- زیر بند ۱-۳: حذف شده و به‌صورت هشدار در بند ۱ این استاندارد اضافه شده است.
- در تمامی شکل‌ها، یکاها از اینچ به سانتی‌متر تغییر یافته است.

کتاب‌نامه

[1] Berke, N. S., Shen, D. F., and Sundberg, K. M., "Comparison of the Polarization Resistance Technique to the Macrocell Corrosion Technique," *Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065*, N. S. Berke, V. Chaker, and D. Whitney, editors, ASTM, August 1990, pp. 38–51.

[2] Berke, N. S. and Hicks, M. C., "Electrochemical Methods of Determining the Corrosivity of Steel in Concrete," *Corrosion Testing and Evaluation: Silver Anniversary Volume*, Babraiam/Dean editors, ASTM STP 1000, ASTM, November 1990, pp. 425–440.

[3] Virmani, Y. P., Clear, K. C., and Pasko, T. J., "Time-to Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs, Volume 5: Calcium Nitrite Admixture or Epoxy-Coated Reinforcing Bars as Corrosion Protec- tion Systems," Report No. FHWA/RD-83/-12, Federal Highway Administration, Washington DC, 1983, pp. 71.

[4] Berke, N. S., Pfeifer, D. W., and Weil, T. G., "Protection Against Chloride-Induced Corrosion," *Concrete International*, December 1988, pp. 45–55.

[5] Berke, N. S., Hicks, M. C., Hoopes, R. J., and Tourney, P. J., "Use of Laboratory Techniques to Evaluate Long-Term Durability of Steel Reinforced Concrete Exposed to Chloride Ingress," ACI SP 145-16, 1994 , pp. 299-328.