Cathodic protection – Part 3: Inspection and test

حفاظت کاتدی- قسمت۳:

بازرسی و آزمون

ویرایش اول

اسفند ۱۴۰۱

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آن‌ها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آن‌ها را تامین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرارگرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آن‌ها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۴۰۱/۱۲/۰۲ با شماره (INSO 18749-3) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷
استانداردها و ضوابط فنی
کدپستی : ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱
تلفن : ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵
دور نگار : ۸۸۸۱۰۴۶۲
پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر 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 of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«حفاظت کاتدی – قسمت ۳: بازرسی و آزمون»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
معصومی، محسن (دکتری مهندسی پلیمر)	کمیته فنی متناظر ISIRI/TC 35
دبیر:	
سنگ‌سفیدی، لاله (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آخوندنسب، سعید (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی)	شرکت ملی گاز ایران
آریانسب، فضه (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
ابراهیم، الهام (کارشناسی شیمی کاربردی)	پژوهشگاه استاندارد
اعتماد مقدم، امین (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت مهندسی مشاور نارگان
الداغی، حامد (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد)	شرکت نفت و گاز پارس
امیدی، رحمت‌الله (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از فلزات)	شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی
پاکزاد، الهام (کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر- صنایع رنگ)	شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
جلایی، علی (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد)	شرکت نفت و گاز پارس
حسینی، سیدروح الله (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت مهندسین مشاور سازه
حامدیان مقدم، مجتبی (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- پلیمر)	شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی
خالقی مقدم، ماهرو (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
رستگار زارع، محمدحسن (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی)	شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران
سراقی، حسین (مهندسی شیمی- فرایند پالایش)	شرکت ملی گاز ایران
سلیمی، علیرضا (کارشناسی مکانیک- تکنولوزی تاسیسات حرارتی و برودتی)	شرکت صنایع پتروشیمی کرمانشاه
سیدریحانی، سید مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی)	شرکت پالایش نفت تبریز
شمشیری، علیرضا (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی- خوردگی)	شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی
صالحی، علیرضا (کارشناسی ارشد مهندسی مواد)	شرکت مهندسین مشاور ناموران
صداقت، علی (دکتری مهندسی مواد- سرامیک)	پژوهشگاه مواد و انرژی
ظفری، محمود (کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر- صنایع رنگ)	شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
غفوری یزدی، سید حسین (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب
غلامی، آذر (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد فلزی)	شرکت ملی پخش فراورده های نفتی ایران
فولادی، محمد (کارشناسی ارشد انتخاب و شناسایی مواد)	شرکت نارگان
کوشکی، عظیم (کارشناسی ارشد مهندسی بازرسی فنی)	معاونت مهندسی وزارت نفت- اداره کل فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح ها
متشکر، ابوالفضل (دکتری مهندسی مواد)	شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
ناصحی اسکویی، محمدرضا (کارشناسی مهندسی شیمی- صنایع پتروشیمی)	شرکت مهندسی و توسعه نفت

ویراستار:

ابراهیم، الهام (کارشناسی شیمی کاربردی)	پژوهشگاه استاندارد

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش‌گفتار	ط
مقدمه	ی
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات، تعاریف و نمادها	۱
۳-۱ اصطلاحات و تعاریف	۲
۳-۲ نمادها	۹
۴ پتانسیل سازه مدفون به الکترولیت	۱۱
۴-۱ تجهیز الکتریکی	۱۱
۴-۲ اندازه‌گیری پتانسیل	۱۱
۴-۳ عوامل موثر بر اندازه‌گیری پتانسیل	۱۲
۴-۴ تکنیک‌های اندازه‌گیری پتانسیل	۱۴
۵ پتانسیل سازه غوطه‌ور به الکترولیت	۱۸
۵-۱ تجهیز الکتریکی	۱۸
۶ سایر اندازه‌گیری‌ها	۱۸
۶-۱ اندازه‌گیری‌های جریان (DC)	۱۸
۶-۲ اتصال‌های عایقی	۱۸
۶-۳ سازه‌های بیگانه	۱۹
۶-۴ پوشش	۱۹
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) الکترودهای اندازه‌گیری‌های پتانسیل در خاک و/یا محیط‌های آبی	۲۰
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) تکنیک کاهش جریان	۲۱
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) پیمایش‌های روزمینی مورد استفاده در اندازه‌گیری پتانسیل لوله به خاک در طول خط لوله مدفون - پیمایش پتانسیل در فواصل نزدیک (CIPS)	۲۳
پیوست ت (آگاهی‌دهنده) پیمایش‌های روزمینی مورد استفاده در ارزیابی شرایط پوشش و	۲۴

عنوان **صفحه**

مکان‌یابی نواقص پوشش
پیوست ث (آگاهی‌دهنده) اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش ویژه در مناطق دارای جریان‌های سرگردان ۲۶
پیوست ج (آگاهی‌دهنده) یادداشت توضیحی در مورد استفاده از تکنیک اندازه‌گیری‌شدتی و محاسبه پتانسیل آزاد IR ($E_{IR,free}$) ۲۷
پیوست چ (آگاهی‌دهنده) مثال‌هایی از کوپن‌ها و پراب بیرونی معمول در آزمون پتانسیل برای لوله ۲۹
پیوست ح (آگاهی‌دهنده) درستی تجهیز اندازه‌گیری پتانسیل ۳۰
پیوست خ (آگاهی‌دهنده) درستی اندازه‌گیری جریان ۳۲
پیوست د (آگاهی‌دهنده) ارزیابی مقاومت اتصال‌های عایقی ۳۵
پیوست ذ (آگاهی‌دهنده) آزمون تزریق جریان به اتصال‌های عایقی ۳۷
پیوست ر (آگاهی‌دهنده) بازرسی حفاظت کاتدی فراساحلی ۳۹
کتاب‌نامه ۴۴

پیش‌گفتار

استاندارد «حفاظت کاتدی – قسمت ۳: بازرسی و آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در یکصد و نود و پنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فلزشناسی مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۰۲ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- سازه و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و سرویس، 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.

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

EN 13509: 2003, Cathodic protection measurement techniques

IPS-I-TP-820: 2013, Inspection standard for monitoring cathodic protection systems

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

مقدمه

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران شمارهٔ ۱۸۷۴۹ است و سایر قسمت‌های این استاندارد به شرح زیر است:

— قسمت ۱: اصول کلی حفاظت کاتدی در خشکی

— قسمت ۲: اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا

این استاندارد، اصول روش‌های مختلف اندازه‌گیری مورداستفاده به‌منظور کمک به طراحی سامانه حفاظت کاتدی یک سازه فلزی مدفون یا غوطه‌ور[1] را برای تایید اثربخشی آن و در نهایت برای شرایط عملیاتی بهینه آن، توصیف می‌کند.

این استاندارد به‌طور خاص با اندازه‌گیری پتانسیل سازه به الکترولیت مرتبط است؛ که نشان می‌دهد آیا معیار حفاظت کاتدی برای سازه برآورده شده است یا نه.

جدا از تعیین عواملی که ممکن است بر اندازه‌گیری پتانسیل اثر گذارند، این استاندارد، تکنیک‌های مختلف ممکن و مناسب بودن آن‌ها را در موقعیت‌های مختلف توصیف می‌کند.

علاوه بر این، این استاندارد، پارامترهایی که باید کنترل شده و اندازه‌گیری‌هایی که باید انجام شوند (اندازه‌گیری‌های پتانسیل، گرادیان پتانسیل، جریان و مقاومت) را برای اطمینان از کارکرد درست سامانه حفاظت کاتدی و اثربخشی آن برای کل سازه فراهم می‌کند.

چند روش اندازه‌گیری که در متن استاندارد به‌صورت کلی ارائه شده‌اند، در پیوست‌ها با جزئیات بیشتر توضیح داده شده‌اند. به‌منظور در نظر گرفتن تفاوت در نوع یا حالت سازه، محیط محلی و درجهٔ درستیِ انتخاب‌شده، این روش‌ها با یکدیگر متفاوت هستند.

اجرا و تفسیر اندازه‌گیری‌ها روی سازه‌های مدفونی که به‌راحتی قابل دسترسی نیستند (برای مثال، شبکه‌های لوله در مناطق شهری)، دشوار است. انجام اندازه‌گیری بدون آگاهی کامل از مشکلات مرتبط با تکنیک اندازه‌گیری، تفسیر اندازه‌گیری‌ها را دشوار می‌کند و منجر به تصمیم‌های نادرست می‌شود.

بنابراین، یکی از بندهای این استاندارد، مشکلاتی را که هنگام اندازه‌گیری پتانسیل‌های سازه به الکترولیت ایجاد می‌شود، تشریح می‌کند؛ و چند روش اندازه‌گیری را برای در نظر گرفتن این مشکلات یا پرهیز از آن‌ها پیشنهاد می‌کند.

بر اساس دانش و تجربه، می‌توان مناسب‌ترین تکنیک‌های اندازه‌گیری را همان‌طور که در این استاندارد توضیح داده شده، انتخاب کرد.

---

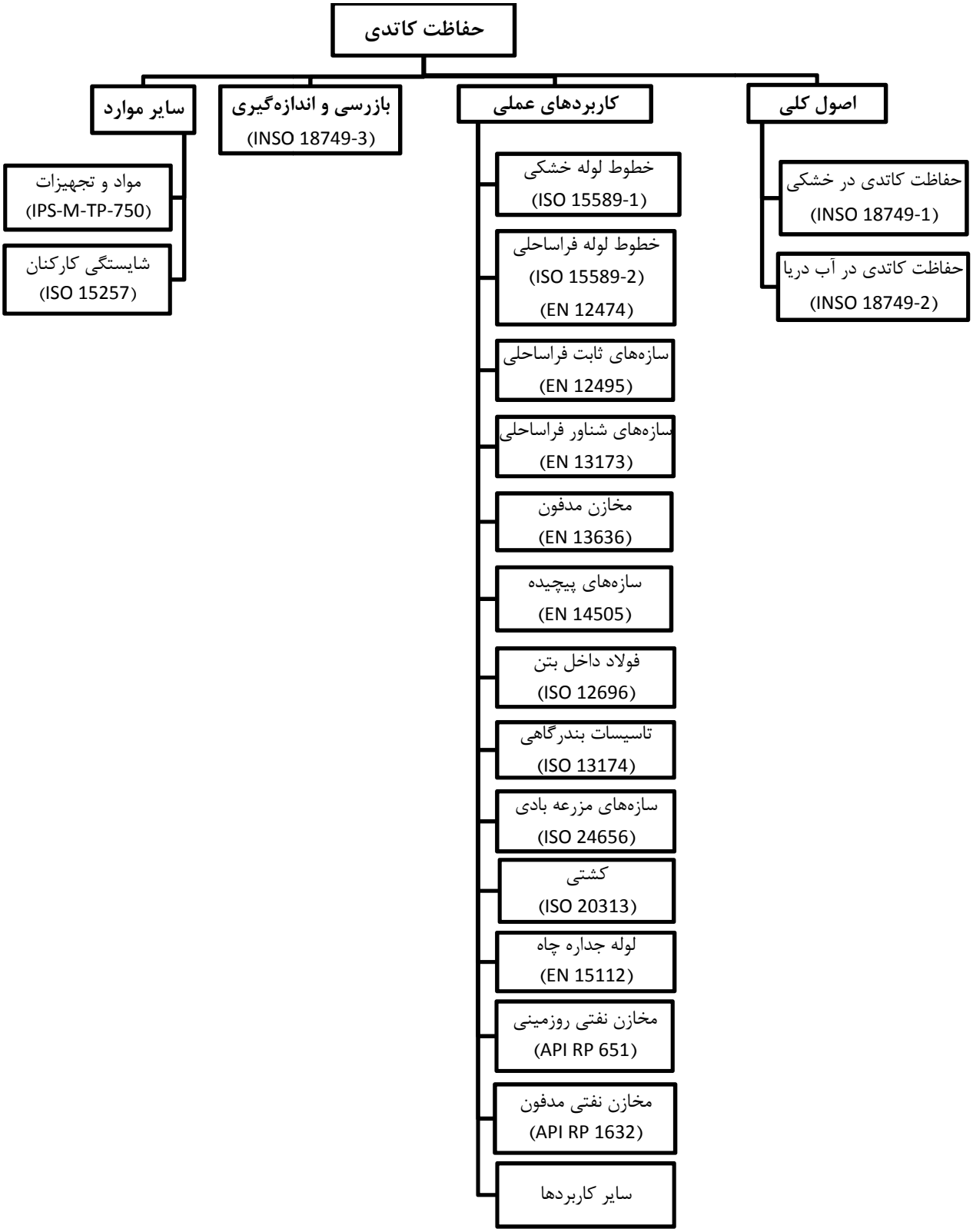
[1]- Immersed

به‌منظور دستیابی به حفاظت کاتدی موثر و کارآمد، اندازه‌گیری‌ها باید توسط کارکنان آموزش‌دیده، باتجربه و مسئول انجام شود.

توصیه می‌شود که ابزارهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری در شرایط کاری خوب نگهداری شوند و تحت کالیبراسیون دوره‌ای و بررسی‌های ایمنی قرار گیرند.

استانداردهای مربوط به حفاظت کاتدی را می‌توان مطابق با شکل ۰ (صفر) دسته‌بندی کرد.

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱



شکل ۰- دسته‌بندی استانداردهای حفاظت کاتدی

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

حفاظت کاتدی – قسمت ۳: بازرسی و آزمون

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش‌های اندازه‌گیری مورد استفاده در ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی و همچنین اندازه‌گیری‌ها و اقدامات انجام‌شده برای پایش حفاظت کاتدی حین عملیات است. این استاندارد برای حفاظت کاتدی در مقابل خوردگی سازه‌های فلزی مدفون، غوطه‌ور و فراساحلی کاربرد دارد.

برای بازرسی حفاظت کاتدی فراساحلی، به پیوست ر مراجعه شود.

در سرتاسر متن استاندارد، تکنیک‌های اندازه‌گیری در درجه اول، برای خطوط لوله توضیح داده شده‌اند.

با این‌حال، این تکنیک‌ها به‌اندازه کافی عمومی هستند تا در سایر انواع سازه‌ها نیز به‌کار برده شوند.

اصول کلی در رابطه با حفاظت کاتدی در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ توضیح داده شده است. سایر روش‌های اندازه‌گیری خاص برای موارد ویژه، در استانداردهای مربوط (مانند استاندارد EN 50162) ارائه شده‌اند.

۲ مراجع الزامی

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

درصورتی‌که 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 تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹، اصول کلی حفاظت کاتدی در خشکی

2-2 ISO 8044, Corrosion of metals and alloys - Basic terms and definitions

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، خوردگی فلزات و آلیاژها- اصطلاحات و تعاریف پایه، با استفاده از استاندارد ISO 8044:2015 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات، تعاریف و نمادها

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه‌شده در استاندارد ISO 8044 و استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹، اصطلاحات با تعاریف زیر به‌کار می‌رود [۱].

۱- اصطلاحات و تعاریف به‌کاررفته در استانداردهای ISO و IEC در وب‌گاه‌های http://www. iso.org/obp و http://www.electropedia.org/ قابل دسترس است.

۳-۱ اصطلاحات و تعریف

۳-۱-۱

دورآکند آند

پشت‌بند آند

anode backfill

مصالحی با مقاومت ویژه کم (که ممکن است حفظ کنندهٔ رطوبت باشد) است، که پیرامون و در تماس با یک آند مدفون، به‌منظور کاهش مقاومت موثر آند به الکترولیت، اضافه می‌شود.

۳-۱-۲

پیوند الکتریکی

electrical bond

هادی فلزی، معمولا مسی، که دو نقطه در یک سازه یا سازه‌های مختلف را، معمولا با هدف یکسان‌کردن پتانسیل نقاط، به هم متصل می‌کند.

۳-۱-۳

سازه مدفون

buried structure

هرگونه سازه فلزی است که در زیر سطح زمین ساخته یا گذاشته شده یا روی سطح زمین ساخته و سپس در زمین دفن می‌شود.

۳-۱-۴

الکترود مرجع کالومل

calomel reference elctrode

الکترود مرجع متشکل از جیوه و جیوه کلرید در محلول پتاسیم کلرید است.

۳-۱-۵

سامانه حفاظت کاتدی

cathodic protection system

کل نصب، شامل اجزای فعال و غیرفعال، که حفاظت کاتدی را تامین می‌کند.

۳-۱-۶

جریان پیل (سلولی)

cell current

جریان جاری‌شده در یک پیل خوردگی است.

۳-۱-۷

عیب پوشش

coating defect

کاستی هایی مانند رخنه‌ها و تخلخل‌ها در پوشش حفاظتی است.

۳-۱-۸

مقاومت پوشش

مقاومت سازه به خاک

R_{co}

coating resistance
structure to soil resistance

مقاومت الکتریکی بین فلز پوشش‌شده و الکترولیت است، که بر حسب اهم بیان می‌شود. این مقاومت تا حد زیادی به‌وسیله اندازه و تعداد نواقص پوشش، منافذ پوشش و مقاومت ویژه الکترولیت تعیین می‌شود.

۳-۱-۹

الکترود مرجع $Cu/CuSO_4$ اشباع

copper/saturated copper sulphate reference electrode

الکترود مرجع متشکل از مس در محلول اشباع مس سولفات است.

۳-۱-۱۰

کوپن

coupon

نمونه فلزی نماینده، با ابعاد سطح بدون پوششِ مشخص است؛ که برای کمّی‌کردن مقدار خوردگی یا اثربخشی حفاظت کاتدی اِعمالی استفاده می‌شود.

۳-۱-۱۱

سامانه کششی DC

DC traction system

سامانه کششی الکتریکی که با جریان مستقیم تغذیه می‌شود.

یادآوری- اگر مدار برگشت این سامانه‌ها در بیش از یک نقطه اتصال به زمین شده باشد یا سامانه‌ها کاملا جداسازی نشده باشند، دراین‌صورت ممکن است جریان‌های سرگردانی ایجاد کنند که می‌توانند باعث آسیبِ خوردگی شوند.

۳-۱-۱۲

تاسیسات صنعتی DC

DC industrial plant

سامانه الکتریکی، به‌غیر از سامانه کششی، که با جریان مستقیم تغذیه می‌شود.

یادآوری- اگر این سامانه‌ها از زمین به‌عنوان بخشی از مدار برگشت استفاده کنند، ممکن است جریان‌های سرگردانی ایجاد کنند که می‌توانند باعث آسیبِ خوردگی شوند. سامانه‌های حفاظت کاتدی، از زمین به‌عنوان بخشی از مدار استفاده می‌کنند.

۳-۱-۱۳

الکترولیت

electrolyte

مایع یا جزء مایع در محیطی مانند خاک است، که در آن جریان الکتریکی با حرکت یون‌ها جاری می‌شود.

۳-۱-۱۴

مقاومت ویژه الکترولیت

ρ

electrolyte resistivity

مقاومت الکتریکی خاص الکترولیت، با فرض همگن‌بودن الکترولیت است.

یادآوری- مقاومت ویژه الکتریکی معمولا برحسب $\Omega.m$ بیان می‌شود.

۳-۱-۱۵

جریان‌های یکسان‌ساز

equalizing currents

جریان‌هایی که پس از قطع جریان حفاظتی، بین نواحیِ با پلاریزه‌شدن متفاوت جاری می‌شوند. جریان‌های یکسان‌ساز می‌تواند منبع خطا در اندازه‌گیری پتانسیل‌های آزاد IR باشند.

۳-۱-۱۶

پراب بیرونی آزمون پتانسیل

external potential test probe

دستگاه شامل یک کوپن همراه با الکترود مرجع مربوط است، تا امکانات اندازه‌گیری پتانسیل الکترولیت به سازه را بدون خطاهای افت IR تامین کند.

۳-۱-۱۷

آند بیگانه

foreign anode

فلز یا ماده رسانا در تماس با سازه مورد نظر است که پتانسیلی منفی‌تر نسبت به سازه دارد.

۳-۱-۱۸

کاتد بیگانه

foreign cathode

فلز یا ماده رسانا در تماس با سازه مورد نظر است که پتانسیلی مثبت‌تر نسبت به سازه دارد.

۳-۱-۱۹

الکترود بیگانه

foreign electrode

یک آند بیگانه یا یک کاتد بیگانه است.

۳-۱-۲۰

سازه‌های بیگانه

foreign structures

هر سازه مجاور، به‌غیر از سازهٔ تحت بررسی است.

۳-۱-۲۱

آند گالوانی

galavnic anode

آندی که جریان حفاظت کاتدی را با استفاده از عمل گالوانی تامین می‌کند.

۳-۱-۲۲

رخنه

holiday

نقص در پوشش حفاظتی، که در آن فلز درمعرض محیط قرار می‌گیرد.

۳-۱-۲۳

سازه غوطه‌ور

immersed structure

هر نوع سازه فلزی یا بخشی از سازه‌ای که در یک محیط مایع مانند آب شیرین (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها)، آب لب‌شور (خورها) یا آب دریا قرار گرفته است.

۳-۱-۲۴

فلنج عایقی

insulated flange

اتصال فلنجی بین طول‌های مجاور لوله است، که در آن مهره‌ها و پیچ‌ها از یک یا هر دو فلنج به‌صورت الکتریکی عایق شده‌اند و درزگیر نشت‌بند نارسانا است؛ طوری‌که یک ناپیوستگی الکتریکی در سازه (برای مثال خط لوله، سامانه لوله‌کشی) در آن نقطه وجود دارد.

۳-۱-۲۵

تداخل

interference

هرگونه تغییر در پتانسیل سازه به الکترولیت است، که به‌وسیله منابع الکتریکی بیگانه ایجاد می‌شود.

۳-۱-۲۶

افت IR

IR drop

افت ولتاژ ناشی از هرگونه جریان که در الکترولیتی مانند خاک، بین الکترود مرجع و فلز سازه ایجاد می‌شود؛ و مطابق با قانون اهم ($U = I \times R$) است.

۳-۱-۲۷

پتانسیل بدون IR

$E_{\text{IR free}}$

IR free potential

پتانسیل سازه به الکترولیت، که بدون خطای ولتاژ حاصل از افت IR ناشی از جریان حفاظتی یا هر جریان دیگر، اندازه‌گیری می‌شود.

۲۸-۱-۳

اتصال عایقی

isolating joint

اتصال ناپیوسته الکتریکی که بین دو طول لوله، به‌منظور ایجاد ناپیوستگی الکتریکی بین آن‌ها، قرار داده می‌شود. برای مثال، اتصال عایقی تک‌بلوکی (یک‌پارچه)، فلنج عایقی.

۲۹-۱-۳

الکترود اندازه‌گیری

measuring electrode

الکترود با پتانسیل پایدار در الکترولیتی معین است، که برای تعیین پتانسیل‌های یک سازه در آن الکترولیت استفاده می‌شود. پتانسیل یک الکترود اندازه‌گیری در الکترولیتی معین باید باتوجه به یک الکترود مرجع تعیین شود.

۳۰-۱-۳

نقطه خوانش پتانسیل

measuring point

نقطه‌ای که اندازه‌گیری واقعی در آن انجام می‌شود. در مورد پتانسیل سازه به الکترولیت، این نقطه به محل قرارگیری الکترود مرجع اشاره دارد.

۳۱-۱-۳

پتانسیل خاموش

E_{OFF}

OFF-potential

پتانسیل سازه به الکترولیت، که بلافاصله پس از قطع هم‌زمان تمام منابع جریان حفاظت کاتدیِ اعمال‌شده و قبل از دپلاریزه‌شدن قابل توجه سازه، اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۱- در صورت وجود تداخل DC یا AC، ممکن است E_{OFF} گمراه‌کننده باشد.

یادآوری ۲- پتانسیل خاموش در این استاندارد با پتانسیل طبیعی[1] سازه نسبت به الکترولیت که سازه در وضعیت دپلاریزاسیون کامل است و همچنین با پتانسیل لحظه خاموش[2] که بلافاصله در لحظه قطع جریان مشخص می‌شود، متفاوت است.

یادآوری ۳- پتانسیل خاموش در این استاندارد، با درنظر گرفتن یک اختلاف زمانی کوتاه (معمولا ۱۵۰ ms تا ۳۰۰ ms، با توجه به شرایط سازه و الکترولیت) پس از قطع جریان، اندازه‌گیری می‌شود (به شکل ب-۲ در پیوست **ب** مراجعه شود). این امر جهت حذف خطای ناشی از پرش ولتاژ[3] در لحظه قطع جریان می‌باشد. توصیه میشود برای تعیین دقیق زمان اندازه‌گیری پتانسیل خاموش، نمودار دپلاریزاسیون (پتانسیل- زمان) هر سازه رسم شود تا نقطه دقیق شروع دپلاریزاسیون پس از پرش ولتاژ مشخص شود.

---

[1]- Natural potential
[2]- Instant-off potential
[3]- Voltage spiking

لازم به ذکر است به دلیل اختلاف زمانی کوتاه بین پتانسیل خاموش و پتانسیل لحظه خاموش و همچنین برای اجتناب از اشتباه گرفتن پتانسیل خاموش با پتانسیل طبیعی سازه، در برخی استانداردها به جای واژه پتانسیل خاموش، واژه پتانسیل لحظه خاموش ارائه شده است که اندازه‌گیری آن با درنظر گرفتن یک اختلاف زمانی کوتاه پس از قطع جریان می‌باشد.

۳۲-۱-۳

پتانسیل وصل
E_{ON}

ON-potential

پتانسیل سازه به الکترولیت است، که همراه با جاری‌شدن جریان حفاظت کاتدی اندازه‌گیری می‌شود.

۳۳-۱-۳

الکترود مرجع دایمی

permanent reference electrode

الکترود مرجع دائمی مدفون یا غوطه‌ور است، که برای عمر طولانی طراحی و نزدیک به سازه نصب می‌شود.

۳۴-۱-۳

پلاریزه‌شدن
پلاریزه‌شدن الکترود

polarization
electrode polarization

تغییر در پتانسیل سازه به الکترولیت، حاصل از جاری‌شدن جریان به سازه یا از آن است.

۳۵-۱-۳

گرادیان پتانسیل

potential gradient

اختلاف پتانسیل بین دو نقطه مجزا در یک میدان الکتریکی است.

۳۶-۱-۳

سازه حفاظت‌شده

protected structure

سازه‌ای که حفاظت کاتدی به‌طور موثر روی آن اعمال می‌شود.

۳۷-۱-۳

جریان حفاظتی
I_p

protection current

جریانی که از محیط الکترولیتی یک سازه فلزی به‌سمت سازه جاری می‌شود؛ تا حفاظت کاتدی سازه تامین شود.

۳-۱-۳۸

پتانسیل حفاظتی

protection potential

پتانسیل سازه به الکترولیت، که در آن نرخ خوردگی فلز در سازه قابل پذیرش است.

۳-۱-۳۹

الکترود Ag/ AgCl

silver/silver chloride elctrode

الکترود اندازه‌گیری متشکل از نقره، پوشش‌شده با نقره کلرید، در الکترولیتی حاوی یون‌های کلرید است.

۳-۱-۴۰

الکترود مرجع Ag/ AgCl

silver/silver chloride reference elctrode

الکترود مرجع متشکل از نقره، پوشش‌شده با نقره کلرید، در الکترولیتی حاوی غلظت ثابتی از یون‌های کلرید است.

۳-۱-۴۱

الکترود استاندارد هیدروژن

standard hydrogen electrode

الکترود مرجع، که به‌عنوان الکترود استاندارد در آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شود؛ و متشکل از یک فلز بی‌اثر (مانند پلاتین) در الکترولیتی حاوی یون‌های هیدروژن با فعالیت واحد و اشباع‌شده با گاز هیدروژن در یک جو استاندارد (فشار ۱ atm و دمای ۲۵ °C) است.

۳-۱-۴۲

سازه

structure

سازه فلزی، اعم از پوشش‌شده یا بدون پوشش، که در تماس با الکترولیت (مانند خاک، آب) است.

یادآوری- این سازه می‌تواند نمایانگر سازه‌هایی با طول زیاد مانند خط لوله، شبکه‌های لوله و کابل‌های برق زیرزمینی یا لوله‌های جداری چاه‌ها و همچنین سازه‌هایی در مقیاس کوچک‌تر مانند شمع‌ها، شمع‌کوبی ورقی، مخازن یا سایر سازه‌های زیرزمینی باشد.

۳-۱-۴۳

پتانسیل سازه به الکترولیت

پتانسیل الکترود

structure-to-electrolyte potential
electrode potential

اختلاف پتانسیل بین سازه و الکترود مرجع در تماس با الکترولیت، در نقطه‌ای که به‌اندازه کافی به سازه نزدیک است، ولی واقعا با آن تماس ندارد.

۳-۱-۴۴

ایستگاه آزمون

test station

تاسیساتی که امکانات اندازه‌گیری و آزمون را برای سازه مدفون یا غوطه‌ور فراهم می‌کند. این تاسیسات شامل کابل‌کشی و اتصال‌های سازه‌ای خواهد بود.

۳-۱-۴۵

الکترود روی

zinc electrode

الکترود اندازه‌گیری است که از فلز روی به‌اندازه کافی خالص، ساخته می‌شود.

۳-۲ نمادها

نماد	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی
I	جریان	Current
E	پتانسیل	Potential
R	مقاومت	Resistance
J	چگالی جریان	Current density
U	ولتاژ	Voltage
AC	جریان متناوبی	Alternating current
DC	جریان مستقیم	Direct current
E_{Ag}	پتانسیل فلز به الکترولیت نسبت به الکترود AgCl/Ag	Metal to electrolyte potential with respect to a silver/silver chloride electrode
E_{Cu}	پتانسیل فلز به الکترولیت نسبت به الکترود مرجع $CuSO_4$/Cu اشباع	Metal to electrolyte potential with respect to a copper/saturated copper sulphate reference electrode
$E_{IR\ Free}$	پتانسیل بدون IR	IR free potential
E_{KCl}	پتانسیل فلز به الکترولیت نسبت به الکترود مرجع KCl/AgCl/Ag اشباع	Metal to electrolyte potential with respect to a silver/silver chloride/saturated potassium chloride reference electrode
E_n	پتانسیل خوردگی آزاد	Free corrosion potential
E_{OFF}	پتانسیل خاموش	Off potential
E_{ON}	پتانسیل وصل	On potential
E_p	پتانسیل حفاظتی	Protection potential
E_{Hg}	پتانسیل فلز به الکترولیت نسبت به الکترود مرجع KCl /HgCl/Hg اشباع	Metal to electrolyte potential with respect to a Mercury/calomel/saturated potassium chloride reference electrode

نماد	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی
E_H	پتانسیل فلز یا سازه به الکترولیت باتوجه به الکترود مرجع استاندارد هیدروژن	Metal or structure-to-electrolyte potential with respect to a standard hydrogen electrode
E_{Zn}	پتانسیل فلز به الکترولیت نسبت به الکترود روی	Metal to electrolyte potential with respect to a zinc electrode
I_p	جریان حفاظتی	Protection current
I_s	جریان سرگردان	Stray current
R_{co}	مقاومت پوشش یا مقاومت سازه به خاک (Ω)	Coating resistance or structure to soil resistance
T	دما	Temperature
T	زمان	Time
P	مقاومت ویژه (Ω.m)	Resistivity

۴ پتانسیل سازه مدفون به الکترولیت

معیارهای حفاظت کاتدی عموما بر اساس مقدار پتانسیل سازه به الکترولیت هستند. بنابراین اندازه‌گیری پتانسیل به‌منظور ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی، ضروری است. این زیربند، روش‌های مختلف تعیین پتانسیل را شرح می‌دهد.

۴-۱ تجهیز الکتریکی

توصیه می‌شود که نوع و استفاده از ابزار برای اندازه‌گیری، برای شرایط الکتریکی و محیطیِ غالب مناسب باشد (به پیوست **ح** مراجعه شود).

ابزارهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری باید در شرایط کاری خوب نگه‌داری شوند و باید تحت کالیبراسیون دوره‌ای و بررسی‌های ایمنی قرار گیرند.

۴-۲ اندازه‌گیری پتانسیل

باتوجه به اینکه که فقط فلز برهنه (برای مثال، در رخنه‌های پوشش) به احتمال بیشتر دچار خوردگی قابل توجه می‌شود، اندازه‌گیری، که نشان‌دهندهٔ برآورده شدن یا نشدن پتانسیل حفاظتی (E_p) باشد، باید دقیقاً در مرز فاز فلز/الکترولیت (برای مثال، مرز فلز/خاک) انجام شود (به استاندارد ملی ایران شماره ۰۰۰۰ مراجعه شود).

از آن‌جایی که این امر از نظر فنی امکان‌پذیر نیست، باید از تکنیک‌های دیگری برای ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی استفاده شود. مناسب‌ترین تکنیک باید بر اساس شرایط محلی در محل اجرا انتخاب شود؛ برای مثال، نوع و کیفیت پوشش، مقاومت ویژه خاک و وجود جریان‌های سرگردان.

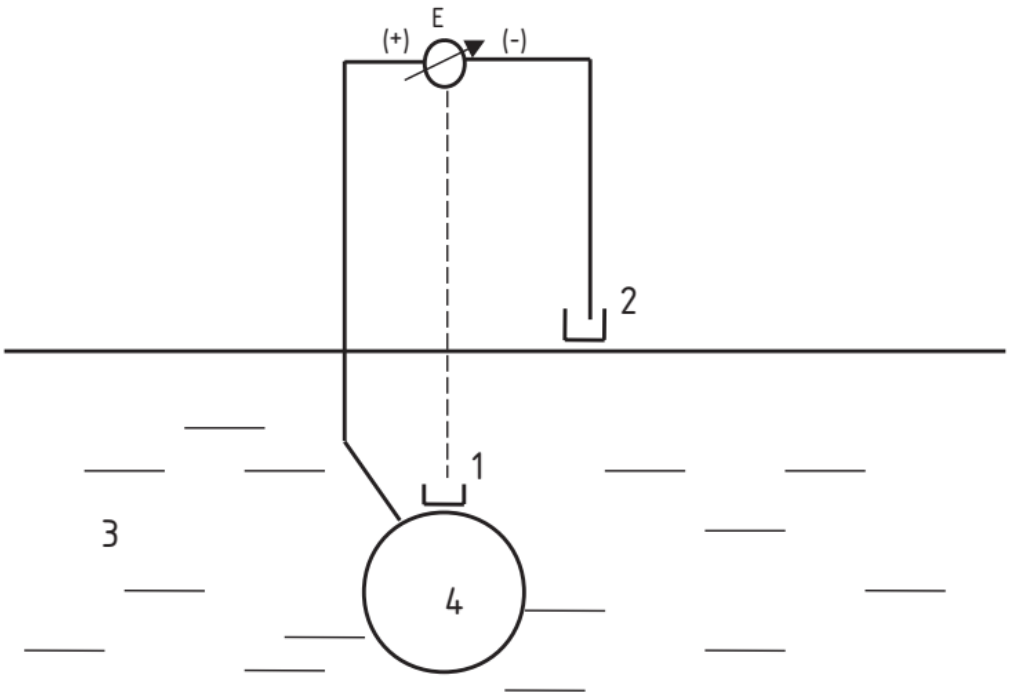
به‌طور کلی، پتانسیل‌های سازه به الکترولیت با استفاده از یک الکترود مرجع قرارگرفته روی سطح خاک اندازه‌گیری می‌شود (مطابق با شکل ۱). مقادیر پتانسیل انواع الکترودهای مرجع و اندازه‌گیری معمول باتوجه به الکترود استاندارد هیدروژن، در پیوست **الف** ارائه شده است.

الکترود کالومل اشباع نباید در خاک یا آب استفاده شود؛ زیرا، علاوه بر سایر موارد، خطر نشت جیوه از الکترودها وجود دارد.

در صورت وجود پوششِ جداشده، اندازه‌گیری پتانسیل ممکن است نشانه‌هایی نادرست ارائه دهد[۱].

۳-۴ عوامل موثر بر اندازه‌گیری پتانسیل

شکل ۱ مکان الکترودهای مرجع برای اندازه‌گیری‌های پتانسیل سازه به الکترولیت را نشان می‌دهد.



راهنما:

1 و 2 مکان‌های الکترودهای مرجع
3 خاک
4 لوله

شکل ۱- مکان‌های احتمالی الکترودهای مرجع برای اندازه‌گیری پتانسیل‌های سازه به الکترولیت

بدون در نظر گرفتن خطاهای جزئی که در عمل ناچیز هستند، «پتانسیل سازه به الکترولیت» با «اختلاف پتانسیل بین سازه و الکترود مرجع در مکان (۱) واقع در مجاورت فلز برهنهٔ سازه (برای مثال، در نقص پوشش سازه پوشش‌شده)» مطابقت دارد. از آنجایی‌که در عمل، در اکثر موارد امکان قراردادن الکترود مرجع

۱- در مواردی‌که آب بین یک پوشش سست و سطح سازه جریان دارد، پتانسیل اندازه‌گیری‌شده، نماینده پدیده‌های الکتروشیمیایی رخ‌دهنده در زیر پوششِ جداشده نیست.

تا این حد نزدیک به فلز سازه امکان‌پذیر نیست، بنابراین پتانسیل سازه به الکترولیت به‌عنوان اختلاف پتانسیل بین سازه و الکترود مرجع واقع در مکان (۲) اندازه‌گیری می‌شود.

با این‌حال، در صورت وجود جریان‌ها در خاک بین مکان‌های (۱) و (۲)، قراردادن الکترود مرجع در مکان (۲) باعث می‌شود تا اندازه‌گیری تحت تأثیر خطا قرار گیرد. مقدار اندازه‌گیری‌شده با این روش متفاوت از مقداری است که از نظر تئوری نسبت به الکترود مرجع واقع در مکان (۱) اندازه‌گیری می‌شود. تفاوت بین این دو اندازه‌گیری پتانسیل، با مجموع جبری تمام افت‌های اهمی ولتاژ (افت IR) در خاک بین مکان‌های (۱) و (۲)، ناشی از جریان‌های جاری در محیط، برابر است (فرمول ۱).

$$E_{(2)} - E_{(1)} = \sum \text{IR}_{\text{افت‌های}} \qquad (۱)$$

جدول ۱ جریان‌های مختلف را که ممکن است باعث افت IR شوند، فهرست می‌کند.

در مورد جریان‌های حفاظت کاتدی از سامانه‌های حفاظتی خود سازه، پتانسیل‌های اندازه‌گیری‌شده در مکان (۲) عموما منفی‌تر از پتانسیل در مکان (۱) هستند. در خاک‌های با مقاومت ویژه کم، افت IR ناشی از این جریان‌ها ممکن است به چند ده میلی‌ولت برسد؛ در حالی‌که در خاک‌های با مقاومت بالا این افت ممکن است به چند ولت برسد.

در مورد جریان‌های یکسان‌ساز، جریان‌های پیل و جریان‌های سرگردان، پتانسیل‌های اندازه‌گیری‌شده در مکان (۲) ممکن است باتوجه به حس‌شدن جریان‌ها، منفی‌تر یا مثبت‌تر از پتانسیل در مکان (۱) باشند. در خاک، جریان‌های یکسان‌ساز و جریان‌های پیل ممکن است باعث افت IR تا چند ده میلی‌ولت و جریان‌های سرگردان حاصل از سامانه‌های کششیِ DC ممکن است باعث افت IR تا چند ده ولت شوند.
توصیه می‌شود که برای تمام جریان‌های منابع بیگانه این تمایز قایل شود که «گرادیان پتانسیل ناشی از این جریان‌ها در مجاورت سازۀ مورد حفاظت» نسبت به فاصله تقریبا ثابت است (مورد منبعِ دور) یا نه (مورد منبع نزدیک). علاوه بر این، توصیه می‌شود که جریان‌های منابع بیگانه که با زمان به‌سرعت افت و خیز[1] دارند، از جریان‌هایی که با زمان ثابت هستند، متمایز شوند. عمق دفن سازه نیز بر افت IR تأثیر می‌گذارد.

[1]- Fluctuate

جدول ۱ - جریان‌های منجر به افت‌های IR بین سازه حفاظت‌شده و الکترود مرجع در مکان (۲) در شکل ۱ و مثال‌هایی از تکنیک‌های اندازه‌گیریِ ممکن برای تعیین پتانسیل آزاد IR برای هر نوع جریان

مورد	نوع جریان	تکنیک‌های ممکن اندازه‌گیری، برای مثال	زیربند
۱	**جریان‌های خاص سامانه**		
۱-۱	جریان حفاظتی	اندازه‌گیری پتانسیل خاموش پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل	۴-۴-۲-۱ ۴-۴-۲-۴
۱-۲	جریان یکسان‌ساز	تکنیک اندازه‌گیری شدتی پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل	۴-۴-۲-۳ ۴-۴-۲-۴
۱-۳	جریان پیل (الکترودهای بیگانهٔ دور)	تکنیک اندازه‌گیری شدتی پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل	۴-۴-۲-۳ ۴-۴-۲-۴
۲	**جریان‌های حاصل از منابع بیگانهٔ دور**		
۲-۱	بدون افت و خیز با زمان، برای مثال، جریان‌های حفاظتی، جریان‌های یکسان‌ساز یا جریان‌های پیل	تکنیک اندازه‌گیری شدتی پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل	۴-۴-۲-۳ ۴-۴-۲-۴
۲-۲	همراه با افت و خیز با زمان، برای مثال، حاصل از سامانه‌های کششیِ DC، تاسیسات صنعتی DC، جریان زمینی	اندازه‌گیری پتانسیل خاموش ویژه تکنیک اندازه‌گیری شدتی پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل	۴-۴-۲-۲ ۴-۴-۲-۳ ۴-۴-۲-۴
۳	**جریان‌های حاصل از منابع بیگانهٔ نزدیک**		
۳-۱	بدون افت و خیز با زمان، برای مثال، جریان‌های حفاظتی، جریان‌های یکسان‌ساز یا جریان‌های پیل	پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل	۴-۴-۲-۴
۳-۲	همراه با افت و خیز با زمان، برای مثال، حاصل از سامانه‌های کششیِ DC، تاسیسات صنعتی DC	اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش ویژه پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل	۴-۴-۲-۲ ۴-۴-۲-۴

۴-۴ تکنیک‌های اندازه‌گیری پتانسیل

۴-۴-۱ تکنیک اندازه‌گیری شامل افت IR (اندازه‌گیری پتانسیلِ وصل)

اندازه‌گیری‌های پتانسیلِ انجام‌شده هنگامی‌که جریان حفاظتی وصل است، به‌عنوان «اندازه‌گیری‌های پتانسیلِ وصل» شناخته می‌شود. مقادیر به‌دست‌آمده (پتانسیل‌های وصل، E_{on})، شامل انواع افت‌های IR ناشناخته هستند (به زیربند ۴-۲ مراجعه شود)؛ که می‌توانند با زمان و موقعیت الکترود مرجع تغییر کنند. خوانش‌ها، پتانسیل را در مرز فاز الکترولیتی فلزی انعکاس نمی‌دهند.

اندازه‌گیری‌های پتانسیل وصل اغلب برای پایش حفاظت کاتدی استفاده می‌شوند؛ به‌ویژه در مواردی‌که جریان‌های سرگردان حاصل از سامانه‌های کششی DC رخ می‌دهد. در این‌صورت، برای به‌دست آوردن مقادیر معنادار، پتانسیل‌های وصل باید در یک دوره زمانی مطابق با سطح تداخل و تغییرات در طول زمان ثبت شوند (به استاندارد EN 50162 مراجعه شود).

۴-۴-۲ تکنیک‌های اندازه‌گیری برای تعیین پتانسیل‌های آزاد IR ($E_{ir,free}$)

زیربندهای زیر تکنیک‌هایی را توصیف می‌کنند که ممکن است برای ارزیابی پتانسیل آزاد IR به‌کار روند. این تکنیک‌ها بر اساس نوع جریانِ منجربه افت IR، متمایز می‌شوند (مطابق با جدول ۱).

۴-۴-۲-۱ اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش (تکنیک پتانسیل لحظه خاموش)

در مواردی‌که جریان‌های یکسان‌ساز، جریان‌های پیل ناشی از آندهای بیگانه یا کاتدهای بیگانه و جریان‌های سرگردان وجود ندارند، تکنیک پتانسیل لحظه خاموش ممکن است برای حذف افت‌های IR حاصل از جریان حفاظتی (مورد ۱-۱ در جدول ۱) استفاده شود. مقادیر به‌دست‌آمده، به‌عنوان پتانسیل خاموش (E_{off}) نامیده می‌شوند.

برای سامانه فولاد/خاک، پتانسیل اندازه‌گیری‌شده نسبت به الکترود مرجع در مکان (۲) در شکل ۱ درمحدوده یک ثانیه پس از قطع جریان حفاظتی، معمولا به‌اندازه کافی دقیق است. برای برخی از سامانه‌های فلزی/الکترولیتی (برای مثال، سرب/خاک) و برای برخی از سازه‌های فولادی که حفاظت کاتدی به‌تازگی اعمال شده یا سازه برهنه است، دپلاریزه‌شدن ممکن است نسبتا سریع رخ دهد. در این موارد ممکن است از تکنیک کاهش جریان شرح داده‌شده در پیوست **ب** استفاده شود.

برای جلوگیری از دپلاریزه‌شدن قابل توجه، نسبت بین دوره‌های «وصل» و «خاموش» باید انتخاب شود. در اینصورت، هر چه مدت‌زمان رشته عملیات اندازه‌گیری بیشتر باشد (برای مثال، ۲۴ h)، نسبت بین دوره‌های «وصل» و «خاموش» باید بالاتر باشد.

پیمایش پتانسیل در فواصل نزدیک[1] (CIPS) که در پیوست **پ** توضیح داده شده است، اندازه‌گیری‌های پتانسیل وصل/خاموشِ لوله به خاک را در فواصل منظم (حدود ۱ m تا ۲ m) در طول لوله انجام می‌دهد.

۴-۴-۲-۲ اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش ویژه

در مناطق دارای جریان‌های سرگردان حاصل از سامانه‌های کششیِ DC (موردهای ۲-۲ و ۲-۳ در جدول ۱)، تکنیک اندازه‌گیری پتانسیل خاموش ممکن است در فواصلی که سامانه کششی DC عملیاتی نیست نیز اعمال شود. بر اساس این اندازه‌گیری‌ها، پیوست **ث** تکنیک اندازه‌گیری پتانسیل خاموش ویژه را توصیف می‌کند؛ که به ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی در مناطق تحت تأثیر جریان‌های سرگردان کمک می‌کند.

۴-۴-۲-۳ تکنیک اندازه‌گیری شدتی

تکنیک اندازه‌گیری شدتی ممکن است برای پوشش‌دادن افت‌های IR ناشی از جریان‌های ذکرشده در موردهای ۱-۲ و ۲-۲ جدول ۱ (جریان‌های یکسان‌ساز، جریان‌های پیل، و جریان‌های همراه با افت و خیز یا بدون آن از منابع بیگانهٔ دور) استفاده شود.

[1]- Close interval potential survey

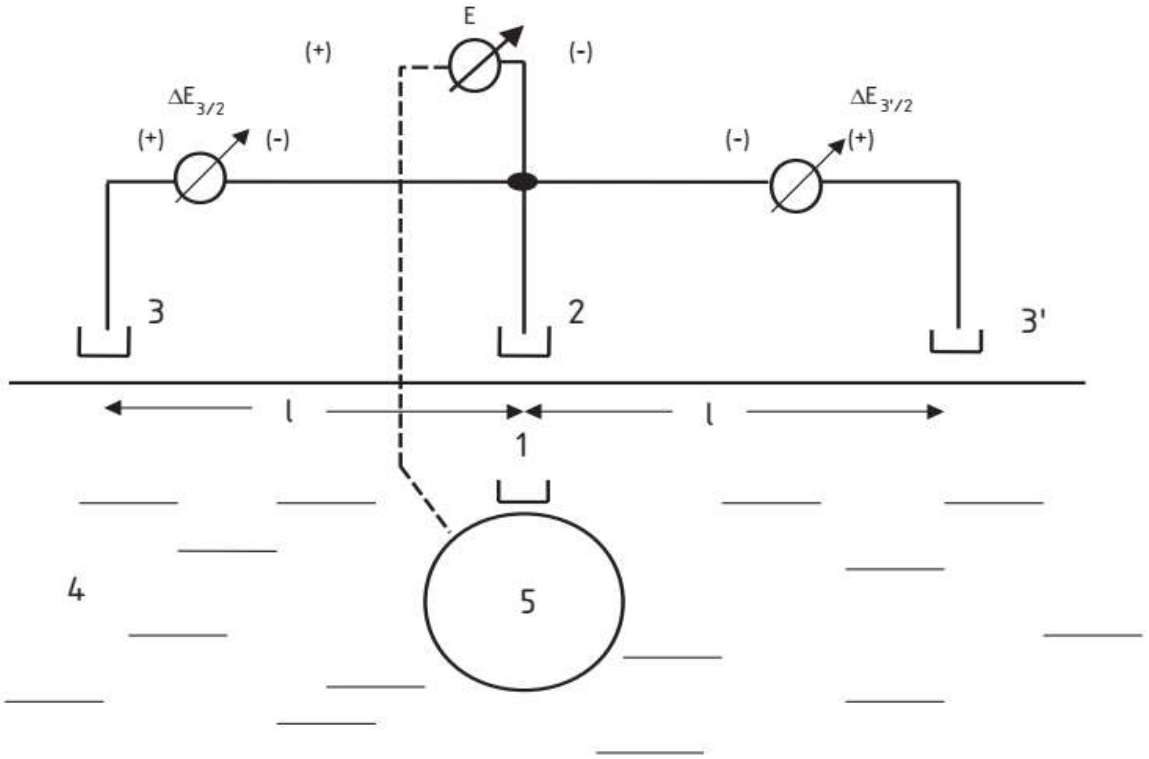
تکنیک اندازه‌گیری شدتی، به‌طور هم‌زمان پتانسیل‌های لوله به خاک و گرادیان‌های پتانسیل مخالف افقی وابسته را اندازه‌گیری می‌کند. این تکنیک، عیوب پوشش را شناسایی می‌کند و امکان محاسبه پتانسیل‌های آزاد IR در عیوب را فراهم می‌کند.

این تکنیک را فقط می‌توان در صورتی به‌کار برد که سازه در قسمت خطی گرادیان پتانسیل حاصل از منبع جریان بیگانه (دور) باشد؛ یعنی در مواردی‌که گرادیان‌های پتانسیل نسبت به فاصله ثابت باشند.

اندازه‌گیری‌های شدتی به‌منظور تعیین پتانسیل آزاد IR ($E_{IR,free}$) در رخنه‌های پوششِ شناسایی‌شده با روش‌های مختلف انجام می‌شوند (به پیوست **ت** مراجعه شود).

این تکنیک شامل اندازه‌گیری پتانسیل‌های لوله به الکترولیت (E_{on} و E_{off}) بین لوله و الکترود مرجع در مکان (۲) در شکل ۲ و همچنین گرادیان‌های پتانسیل (ΔE_{on} و ΔE_{off}) به‌عنوان اختلاف پتانسیل بین الکترودهای مرجع در مکان‌های (۲) و (۳) می‌شود. خوانش‌های به‌دست‌آمده در فواصل مناسب در طول مسیر خط لوله، امکان تعیین پتانسیل آزاد IR را مطابق پیوست **ج** فراهم می‌کند. اگر پتانسیل حفاظتی (E_p) در بزرگترین رخنه‌های پوشش برآورده شود، دراینصورت ممکن است به‌طور کلی فرض شود که سایر رخنه‌های نزدیک نیز به‌صورت کاتدی حفاظت می‌شوند.

یادآوری- مکان **'۳**، برای بررسی عدم تقارن گرادیان‌های پتانسیل اطراف لوله استفاده می‌شود؛ که می‌تواند وجود منبع بیگانهٔ جریان (مطابق با مورد ۲-۲ در جدول ۱) و/یا ناهمگنی خاک را نشان دهد.



راهنما:

1، 2، 3 و '3 مکان‌های الکترودهای مرجع

4 خاک

5 لوله

شکل ۲ - مکان‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۳') الکترودهای مرجع برای اندازه‌گیری پتانسیل‌های سازه به الکترولیت و گرادیان‌های پتانسیل در، برای مثال، یک خط لوله مدفون، از طریق تکنیک اندازه‌گیری شدتی

توصیه می‌شود که فاصله l بین الکترودها در مکان‌های (۲) و (۳) طوری انتخاب شود که کل وسعت گرادیان را پوشش دهد.

۴-۴-۲-۴ اندازه‌گیری‌های پتانسیل برای خطوط لوله با کوپن‌ها یا پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل

اندازه‌گیری پتانسیل با کوپن‌ها یا پراب بیرونی آزمون پتانسیل ممکن است برای پوشش‌دادن افت‌های IR حاصل از تمام جریان‌های ذکرشده در جدول ۱ (جریان حفاظتی، جریان‌های یکسان‌ساز، جریان‌های پیل، و جریان‌های همراه با افت و خیز یا بدون آن از منابع بیگانهٔ دور یا نزدیک) استفاده شود.

پراب‌های بیرونی آزمون پتانسیل، حتی در مواردی‌که تکنیک اندازه‌گیری پتانسیل وصل یا خاموش یا تکنیک اندازه‌گیری شدتی به‌دلیل شرایط محلی نمی‌تواند به‌کار برده شود، اطلاعاتی در مورد پتانسیل آزاد IR ارائه می‌دهد: (برای مثال، پوشش خاک نارسانا یا عمق دفن بسیار متغیر، خطوط لوله جدید بدون رخنه‌ها، جریان‌های همراه با افت و خیز مطابق با مورد ۲-۲ جدول ۱، یا تماس‌های اجتناب‌ناپذیر با سازه‌های بیگانه و غیره، که در آن‌ها اندازه‌گیری هم‌زمان متغیرهای مربوط به تکنیک اندازه‌گیری شدتی امکان‌پذیر نیست).

این تکنیک شامل دستیابی به اندازه‌گیری پتانسیل آزاد IR به‌وسیله اندازه‌گیری پتانسیل با استفاده از کوپن یا پراب بیرونی آزمون پتانسیل است.

مثالی از کوپن‌ها و پراب بیرونی معمول برای آزمون پتانسیل، در پیوست **چ** ارائه شده است.

توصیه می‌شود که فاصله بین الکترود مرجع و کوپن تا حد امکان کم باشد، تا نسبت به هنگامی‌که الکترود مرجع در سطح زمین قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری دقیق‌تر پتانسیل کوپن به الکترولیت امکان‌پذیر باشد. دراین‌صورت، اندازه‌گیری، کمتر تحت تأثیر جریان سرگردانِ منجر به افت IR قرار می‌گیرد.

این تکنیک به‌ویژه در صورتی مفید است که سازه در قسمت غیر خطی گرادیان پتانسیل (جایی که گرادیان پتانسیل نسبت به فاصله ثابت نیست) حاصل از یک منبع بیگانهٔ جریان (نزدیک) باشد.

مکان پراب بیرونی آزمون پتانسیل باید بر اساس اطلاعات دقیق مربوط به منبع جریان‌های DC و همگنی خاک تعیین شود. توصیه می‌شود پراب بیرونی آزمون پتانسیل در خاک نزدیک سازه قرار گیرد، تا از خطاهای اندازه‌گیری ناشی از ناهمگنی خاک جلوگیری شود؛ برای مثال، در خاک‌ریزی یکسان با خاک‌ریز سازه.

برای بهینه‌سازی درستی اندازه‌گیری، توصیه می‌شود که تبادل جریان بین کوپن و لوله، و به‌طور دقیق‌تر بین کوپن و نقص پوشش مجاور یا اثر نامطلوب گرادیان‌های پتانسیل هنگام جداشدن کوپن از لوله، وجود نداشته باشد.

پراب بیرونی آزمون پتانسیل از طریق ایستگاه آزمون به خط لوله متصل می‌شود. در خاک‌های همگن، اگر پتانسیل حفاظتی (E_p) برای پراب بیرونی آزمون پتانسیل برآورده شود، می‌توان خط لوله را در فاصله کوتاهی از پراب بیرونی آزمون پتانسیل، حفاظت‌شده به‌صورت کاتدی در نظر گرفت.

خوانش‌های پراب بیرونی آزمون پتانسیل فقط برای رخنه‌های پوشش خط لوله‌ای کاربرد دارد که اندازه آن‌ها بزرگ‌تر از سطح نمایانِ پراب بیرونی آزمون پتانسیل نباشد. همچنین از یک پراب بیرونی آزمون ممکن است برای تعیین جاری‌شدن جریان به‌سمت سازه یا به‌سمت بیرون از آن، استفاده شود.

۵ پتانسیل سازه غوطه‌ور به الکترولیت

اگر اصل اساسی مربوط به اندازه‌گیری‌های پتانسیل یک سازه غوطه‌ور با اصل مورد استفاده برای تاسیسات مدفون یکسان باشد، محیط آبی (آب شیرین، آب لب‌شور یا آب دریا) مشکلات خاصی را در ارتباط با تجهیزات اندازه‌گیری به‌کار رفته و مشکلاتی را در مکان‌یابی و رسیدن به سطوح مورد بررسی ایجاد می‌کند.

۵-۱ تجهیز الکتریکی

تجهیز اندازه‌گیری مورد استفاده باید دارای کیفیت الکتریکی اندازه‌گیری یکسان با سازه‌های مدفون باشد. در آب‌های با مقاومت ویژه کم ممکن است هنگام اندازه‌گیری گرادیان‌های پتانسیل ضروری باشد که محدوده اندازه‌گیری در مرتبهٔ ۱۰ mV باشد.

الکترودهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری پتانسیل در یک محیط آبی در پیوست **الف** فهرست شده‌اند.

۵-۲ اندازه‌گیری‌های پتانسیل

برای انجام اندازه‌گیری‌های پتانسیل قطعات غوطه‌ور سازه‌ها، استفاده از یک یا چند ایستگاه آزمون ضروری است.

۵-۲-۱ روش‌های اندازه‌گیری مستقیم پتانسیل

در صورت استفاده از یکی از موارد زیر، ممکن است اندازه‌گیری مستقیم پتانسیل انجام شود:

— یک ایستگاه آزمون منفرد خارج از آب که در قسمتی از سازه بالای آب قرار دارد، یا ایستگاه‌های آزمون توزیع‌شده که در زیر آب ثابت شده‌اند. الکترود اندازه‌گیری ممکن است به‌طور دایم نصب یا از یک کشتی پایین آورده شده یا به‌صورت موقت توسط غواص نصب شود؛ و الکترود باید در موقعیت صحیح نسبت به سازه قرار گیرد.

— یک اتصال موقت ایجادشده توسط تکنسین اندازه‌گیری (برای مثال غواص)، که یک تماس الکتریکی با سازه برقرار می‌کند و اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهد. این روش ممکن است برای سازه‌هایی استفاده شود که مجهز به ایستگاه‌های دائمی آزمون نیستند.

در این موارد می‌توان همان اصول و روش‌های مشابه با اندازه‌گیری‌های سازه‌های مدفون را به‌کار برد (به بند ۴ مراجعه شود).

۵-۲-۲ روش اندازه‌گیری غیرمستقیم پتانسیل

این روش ممکن است هنگامی استفاده شود که بررسی مداوم پتانسیل سازه به الکترولیت مطلوب باشد.

برای این منظور، لازم است اندازه‌گیری مستقیم پتانسیل مطابق با زیربند ۵-۲-۱ انجام شود. پتانسیل‌های موضعی ممکن است با جمع‌کردن گرادیان‌های پتانسیل اندازه‌گیری‌شده بین دو الکترود مرجع، که روی بخش غوطه‌ور سازه حرکت می‌کنند، تعیین شوند (به مراجع ۲ و ۴ کتاب‌نامه مراجعه شود).

۶ سایر اندازه‌گیری‌ها

۶-۱ اندازه‌گیری‌های جریان (DC)

جریان را می‌توان به‌صورت زیر اندازه‌گیری/تعیین کرد:

۱- با آمپرسنج؛ برای مثال، در اتصال‌های دستگاه یکسوکننده[1] یا در اتصال‌های عایقی اتصال‌یافته.
۲- (در مورد خطوط لوله) با تعیین افت ولتاژ بین دو ایستگاه آزمون در فاصله مناسب از یکدیگر و مقاومت الکتریکی خط لوله بین اتصال‌های ایستگاه آزمون (به شکل ۲ پیوست **خ** مراجعه شود). یکی از انواع این روش، اندازه‌گیری جریانی است که نیاز است تا افت ولتاژ بین ایستگاه‌های آزمون را به صفر کاهش دهد.
۳- با تعیین افت ولتاژ در یک شنت[2].
۴- با آمپرسنج از نوع گیره/کلیپ[3].

توصیه می‌شود که نوع و استفاده از ابزار اندازه‌گیری، برای شرایط الکتریکی و محیطی غالب مناسب باشد (به پیوست **خ** مراجعه شود).

۶-۲ اتصال‌های عایقی

ناکارآمدی یک اتصال عایقی ممکن است به‌دلایل مختلفی باشد: اتصال عایقی معیوب، تماس بین سازه تحت حفاظت و تاسیسات با اتصال رسانای فلزی به طرف حفاظت‌نشدهٔ سازه، و در مورد خطوط لوله حامل محلول‌های الکترولیتی، تخریب پوشش داخلی.

برای تعیین اثربخشی اتصال‌های عایقی نصب‌شده، رویه‌های مختلف اندازه‌گیری ممکن است به‌کار برده شوند:

— **اندازه‌گیری‌های پتانسیل سازه به الکترولیت:** پتانسیل‌های سازه به الکترولیت در هر دو طرف اتصال عایقی اندازه‌گیری می‌شود. اگر پتانسیل‌های دو طرف متفاوت باشد، اتصال عایقی می‌تواند موثر باشد. با این‌حال، ممکن است یک اتصال عایقیِ تاحدی معیوب شناسایی نشود؛ زیرا در این‌حالت نیز ممکن است پتانسیل در هر دو طرف اتصال متفاوت باشد.

— **اندازه‌گیری‌های مقاومت:** این اندازه‌گیری‌ها باید با مقاومت‌سنج جریان متناوب انجام شود. مقاومت‌سنج‌های جریان مستقیم به‌دلیل اثرات ناشی از پلاریزه‌شدن، نشانه‌های نادرستی می‌دهند.

1- Rectifier connections
1- Shunt
2- Clip

تفسیر اندازه‌گیری‌های مقاومت در اتصال‌های عایقی نصب‌شده دشوار است؛ زیرا در مدار اندازه‌گیری، مقاومت سازه‌ها به زمین و در مورد خطوط لوله حامل محلول‌های الکترولیتی، مقاومت داخلی خط لوله به الکترولیت، موازی با مقاومت اتصال عایقی است. بنابراین مقاومت کم همیشه نشانه‌ای از معیوب‌بودن اتصال عایقی نیست (به پیوست **د** مراجعه شود).

— **آزمون‌های جریان اِعمالی:**

روش ۱: برای بررسی عملکرد یک اتصال عایقی، جریان در یک طرف اتصال عایقی، احتمالا از طریق یک کلید، به سازه اِعمال می‌شود. اگر پتانسیل طرف مقابل تغییر نکند یا در جهت مخالف تغییر کند (اثر تداخل)، اتصال عایقی موثر است.

روش ۲: جریان عبوری از یک پیوند، در یک اتصال عایقی اندازه‌گیری می‌شود. اگر جریان وجود نداشته باشد، اتصال عایقی معیوب است. با این‌حال، یک اتصال عایقیِ تاحدی معیوب ممکن است شناسایی نشود؛ زیرا در این مورد ممکن است جریان در پیوند صفر نباشد (پیوست **ذ** مراجعه شود).

— **اندازه‌گیری‌های مولد فرکانس صوتی:** این اندازه‌گیری‌ها باید با تزریق فرکانس صوتی مناسب در یک طرف اتصال عایقی انجام شوند؛ برای مثال، به‌وسیله یک لوله‌یاب معمول و ردیابی سیگنال.

در صورت وجود شک، ترکیب دو یا چند روش ذکرشده در بالا می‌تواند اطمینان بیشتری را ایجاد کند.

۶-۳ سازه‌های بیگانه

در مواردی‌که امکان تماس بین سازه حفاظت‌شده و سایر سازه‌های فلزی مانند غلاف‌ها[1] (جدارها[2])، جداره‌های چاه و شمع‌کوبی ورقی وجود داشته باشد، این موضوع می‌تواند با اندازه‌گیری پتانسیل سازه به الکترولیت در هر دو سازه تشخیص داده شود. برای تسهیل این اندازه‌گیری‌ها، ممکن است ایستگاه‌های آزمون نصب شوند.

در صورت لزوم، جداسازی فلزی را می‌توان با اندازه‌گیری‌های پتانسیل اضافی سازه به الکترولیت و/یا مقاومت و/یا آزمون جریان اِعمالی بین دو سازه تایید کرد. ممکن است از همان تکنیک‌های اندازه‌گیری ارائه‌شده در زیربند ۶-۲ استفاده شود (پیوست **ذ** را نیز ببینید).

۶-۴ پوشش

شرایط پوشش به تعداد و اندازه عیوب پوشش مربوط می‌شود.

برخی از روش‌های تشخیص این عیوب پوشش در پیوست **ت** توضیح داده شده است.

همچنین، روش‌های مختلفی وجود دارد که برای ارزیابی میانگین شرایط پوشش به‌وسیله اندازه‌گیری پتانسیل‌ها و جریان‌ها و انجام محاسبات استفاده می‌شوند. برخی از فرمول‌ها به‌طور متداول استفاده می‌شوند و این‌که از کدام فرمول استفاده شود، یک موضوع ترجیحی است (یکی از فرمول‌ها را می‌توان در مرجع **[b]** کتاب‌نامه یافت).

1- Sleeves

2- Casing

پیوست الف
(آگاهی‌دهنده)

الکترودهای اندازه‌گیری‌های پتانسیل در خاک و/یا محیط‌های آبی

جدول الف-۱- الکترودهای اندازه‌گیری‌های پتانسیل در خاک و/یا محیط‌های آبی

الکترود	اجزای تشکیل‌دهنده فاز	نمادهای معمول مورد استفاده در اندازه‌گیری پتانسیل	E_H [ب] V	کاربرد معمول	ملاحظات
الکترود مرجع					
الکترود کالومل اشباع	KCl/HgCl/Hg اشباع	E_{Hg} [الف] E_{SCE}	+۰٫۲۵	آزمایشگاه	خاک و آب برای کاربردهای خاص
الکترود AgCl/Ag اشباع	KCl/AgCl/Ag اشباع	E_{KCl} [الف] E_{SSE}	+۰٫۲۰	آب آزمایشگاه	خاک برای کاربردهای خاص
الکترود $CuSO_4$/Cu اشباع	$CuSO_4$/Cu اشباع	E_{Cu} [الف] E_{CSE}	+۰٫۳۲	خاک	آب فقط برای مدت‌زمان کوتاهِ درمعرض‌گذاری
الکترود اندازه‌گیری					
الکترود AgCl/Ag	AgCl/Ag/آب دریا	E_{Ag} [الف]	+۰٫۲۵	آب دریا	قابل استفاده در آب‌های لب‌شور با تغییر پتانسیل از +۰٫۲۵ (آب دریا) تا +۰٫۲۵ [پ] (آب شیرین) باید به‌صورت دوره‌ای تایید شود
الکترود Zn/آب دریا	Zn/ آب دریا	E_{Zn} [الف]	−۰٫۷۸	آب دریا	پس از ۲ روز غوطه‌وری

[الف] E_H، پتانسیل الکترود مرجع یا اندازه‌گیری نسبت به الکترود استاندارد هیدروژن است.
مثال: پتانسیل حفاظتی برای فولاد کربنی: $E_{p,H}$ = -0,53 V ؛ $E_{p,Cu}$ = -0,85 V

[ب] این نمادها در استانداردهای اروپایی استفاده می‌شوند.

[پ] این پتانسیل‌ها با غلظت یون کلرید تغییر می‌کنند. برای هر تغییر ۱۰ برابری در غلظت، تغییر پتانسیل حدود ۶۰ mV است. اثرات زیست محیطی جیوه (الکترود کالومل) باید طبق استانداردهای ملی/بین‌المللی در نظر گرفته شود.

پیوست ب
(آگاهی‌دهنده)

تکنیک کاهش جریان

اگر انجام تکنیک پتانسیل لحظه خاموش ارائه‌شده در زیربند ۴-۴-۲-۱، به‌دلیل دپلاریزه‌شدن سریع سازه، دشوار باشد، تکنیک کاهش جریان برای تعیین پتانسیل سازه به الکترولیت استفاده می‌شود.

در این تکنیک، جریان حفاظتی (I_p) خاموش نمی‌شود، بلکه فقط به مقدار (I_{red}) کاهش می‌یابد؛ که انتخاب این مقدار به گونه‌ای است که دپلاریزه‌شدن سازه نمی‌تواند خیلی سریع رخ دهد. توصیه می‌شود که فقط افت‌های IR ایجادشده در الکترولیت براساس جریان تغییر کنند. نسبت جریان‌ها از معادله ب-۱ محاسبه می‌شود:

$$x = \frac{I_{red}}{I_p} \qquad (ب-۱)$$

که در آن، $۰ < x < ۱$ است.

پتانسیلِ وصل متناظر با I_p، با نماد E_{on} نشان داده می‌شود.

پتانسیلِ لحظه خاموش متناظر با I_{red}، با نماد E_{red} نشان داده می‌شود.

در این شرایط، پتانسیل سازه به الکترولیت (E) محاسبه‌شده با برون‌یابی، از معادله ب-۲ به‌دست می‌آید:

$$E_{IR,free} = \frac{E_{red} - x.E_{on}}{1 - x} \qquad (ب-۲)$$

در $x = 0$ می‌توان تایید کرد که معادله ب-۲ شامل اندازه‌گیری پتانسیل خاموش است.

برای تعیین ضریب x در معادله ب-۲ انجام اندازه‌گیری‌های جریان مهم است؛ ولی همیشه امکان‌پذیر نیست. با این‌حال، لازم به ذکر است که مقدار x را می‌توان به‌وسیله نسبت گرادیان‌های عرضی پتانسیل نیز تعیین کرد (مطابق با معادله ب-۳).

$$x = \frac{I_{red}}{I_p} = \frac{\Delta E_{red}}{\Delta E_{on}} \qquad (ب-۳)$$

که در آن:

$$\Delta E_{red} = E_{red} - E_{IR,free}$$
$$\Delta E_{on} = E_{on} - E_{IR,free}$$

گرادیان‌های ΔE_{on} و ΔE_{red} در سطح خاک بالای سازه و هم‌زمان با اندازه‌گیری‌های پتانسیل (E_{on} و E_{red}) اندازه‌گیری می‌شوند.

در این شرایط، پتانسیل سازه به الکترولیت به‌وسیله معادله ب-۴ محاسبه می‌شود.

$$E_{\mathrm{IR,free}} = E_{\mathrm{red}} - \frac{E_{\mathrm{on}} - E_{\mathrm{red}}}{\Delta E_{\mathrm{on}} - \Delta E_{\mathrm{red}}} \Delta E_{\mathrm{red}} \qquad \text{(ب-۴)}$$

با استفاده از معادله ب-۴، نیازی به اندازه‌گیری جریان برای تعیین پتانسیل سازه به الکترولیت نیست.

در صورت وجود جریان‌های سرگردان، این روش قابل استفاده نیست.

پیوست پ
(آگاهی‌دهنده)

پیمایش‌های روزمینی مورد استفاده در اندازه‌گیری پتانسیل لوله به خاک در طول خط لوله مدفون - پیمایش پتانسیل در فواصل نزدیک (CIPS)

پایدارترین روش برای ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی، اندازه‌گیری پتانسیل‌های لوله به خاک است.

اگرچه ایستگاه‌های آزمون در طول خط لوله توزیع می‌شوند، همیشه این احتمال وجود دارد که حفاظت کاتدی در نقطه‌ای بین ایستگاه‌های آزمون موثر نباشد.

پیمایش‌های پتانسیل در فواصل نزدیک، اندازه‌گیری‌های پتانسیل لوله به خاک را در فواصل حدود ۱ m تا ۲ m انجام می‌دهند. اندازه‌گیری وابسته به زمان و فاصله است؛ طوری‌که مکان اندازه‌گیری را همیشه می‌توان تعیین کرد. برای این منظور، اپراتور یک سیم برق بسیار ظریف (یک‌بار مصرف یا چندبار مصرف) را که از طریق ایستگاه آزمون به خط لوله متصل است، پشت سر خود باز می‌کند.

به‌منظور دستیابی به پتانسیل واقعی لوله به خاک، توصیه می‌شود که افت IR به سطحی ناچیز کاهش یابد. برای انجام این کار، مهم است که منابع جریان DC اعمال‌شده به خط لوله که بر پتانسیل خط لوله در مکان خاص اندازه‌گیری اثر می‌گذارند، به‌طور هم‌زمان قطع شوند. قطع هم‌زمان را می‌توان با استفاده از کلیدهای چرخه‌ای هم‌گام[1] فراهم کرد.

در صورت وجود جریان‌های سرگردان، این روش قابل استفاده نیست.

گستره وسیعی از دستگاه‌های اختصاصی برای اندازه‌گیری پتانسیل‌های لوله به خاک با درجات مختلف درستی موجود است. هر سامانه اندازه‌گیری که انتخاب شود، توصیه می‌شود که این قابلیت را داشته باشد که با کلیدها هم‌گام شود، یا این قابلیت را داشته باشد که زمان خوانش را به‌درستی انتخاب کند.

داده‌ها معمولا به‌صورت نمودارِ نشان‌دهندهٔ پتانسیل‌های وصل و خاموش نسبت به فاصله، ارائه می‌شوند.

1- Synchronized cyclical switchers

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیوست ت
(آگاهی‌دهنده)

پیمایش‌های روزمینی مورد استفاده در ارزیابی شرایط پوشش و مکان‌یابی نواقص پوشش

ت-۱ کلیات

نواقص پوشش را می‌توان با اندازه‌گیری‌های سیگنال AC یا DC مکان‌یابی کرد. دو مورد از شناخته‌شده‌ترین تکنیک‌های پیمایش، تکنیک پیرسون[1] (AC) و تکنیک DCVG[2] (DC) هستند. این تکنیک‌ها در زیر توضیح داده شده‌اند.

یادآوری- اگر تماس زمینی خط لوله کافی نباشد، ممکن است نتایجی ضعیف به‌دست آید.

ت-۲ پیمایش پیرسون

پیمایش پیرسون، به تزریق یک سیگنال فرکانس متناوب به خط لوله مدفون بستگی دارد؛ که می‌تواند به‌وسیله یک سامانه تشخیص بالای زمین، که به‌طور ویژه برای دریافت سیگنال در فرکانس تزریقی پیکربندی شده است، شناسایی شود.

انتخاب فرکانس به نوع پوشش خط لوله مدفون، بستگی دارد.

سامانه پیمایش پیرسون سیگنال‌هایی را که از سازه مدفون ساطع می‌شود، تشخیص می‌دهد. قدرت سیگنال ساطع‌شده باتوجه به مکان و اندازه نواقص پوشش تغییر می‌کند.

فرستنده معمولا از طریق یک ایستگاه آزمونِ موجود، به خط لوله متصل می‌شود. در برخی موارد سیگنال فرستنده را می‌توان به لوله القا کرد، که نیاز به اتصال ایستگاه آزمون را از بین می‌برد.

این پیمایش توسط دو اپراتور که در امتداد مسیر خط لوله پشت سر هم حرکت می‌کنند، انجام می‌شود. فاصله بین آن‌ها به قطر خط لوله بستگی دارد و می‌تواند ۶ m تا ۱۲ m باشد.

با نزدیک‌شدن اپراتور اصلی به یک نقص پوشش، سیگنال به‌تدریج افزایش می‌یابد و با عبور از روی نقص به اوج می‌رسد. هنگامی‌که نقص در میانه راه بین دو اپراتور باشد، سیگنال به‌تدریج به صفر کاهش می‌یابد.

ت-۳ پیمایش گرادیان ولتاژ جریان مستقیم (DCVG)

پیمایش‌های DCVG روی خطوط لوله مدفون برای تعیین و ارزیابی شدت نواقص پوشش انجام می‌شود.

این سامانه با اِعمال یک جریان DC سوییچ‌شوندهٔ چرخه‌ای[3] به خط لوله و اندازه‌گیری مقدار و جهت گرادیان‌های ولتاژ در خاک کار می‌کند.

1- Pearson

2- Direct current voltage gradient

3- Cyclically switched

از یک سامانه جریان اِعمالی موجود یا موقت به‌عنوان منبع جریان DC به خط لوله استفاده می‌شود. منبع DC به‌صورت چرخه‌ای قطع می‌شود؛ که معمولا حدود ۰٫۶۶ s خاموش و ۰٫۳۳ s وصل است. این موضوع، یک منبع DC با پالس سریع را تامین می‌کند، که به‌راحتی با یک میلی‌ولت‌سنج آنالوگ قابل شناسایی است.

ابزارهای اندازه‌گیری خاص مورد نیاز است که قادر به پاسخگویی به ولتاژ سریعا در حال تغییر باشند. مرکز ابزار آنالوگ روی صفر تنظیم می‌شود تا جهت و همچنین مقدار ولتاژ DC پالسی را بتوان اندازه‌گیری کرد.

با قراردادن الکترودهای مرجع روی زمین در فاصله حدود ۱ m تا ۱٫۵ m از هم، گرادیان‌های ولتاژ DC اندازه‌گیری می‌شوند. اپراتور معمولا به موازات خط لوله راه می‌رود، الکترودهای مرجع را تقریبا هر ۲ m روی زمین قرار می‌دهد و نشانگر ابزار آنالوگ را مشاهده می‌کند.

هنگامی‌که جریان DC به سمت یک نقص پوشش جاری می‌شود، گرادیان پتانسیل در خاک تغییر می‌کند، با نزدیک شدن به نقص بیشتر می‌شود و هنگامی‌که مرکز نقص پوشش در میانه راه بین دو الکترود مرجع باشد، به صفر کاهش می‌یابد.

گونه‌های زیادی از این تکنیک وجود دارند که می‌توان به‌صورت میدانی به‌کار برد و تفسیر صحیح داده‌های اندازه‌گیری‌شده، به صلاحیت اپراتور بستگی دارد.

ت-۴ ملاحظات کلی

بسته به شرایط محلی و خود سازه، می‌توان موارد زیر را به‌کار برد:

— روش‌هایی که اصلاح روش‌های پیمایش پیرسون و DCVG هستند؛

— اصول دیگر مانند القا یا تضعیف سیگنال فرکانس جایگزین.

پیوست ث
(آگاهی‌دهنده)

اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش ویژه در مناطق دارای جریان‌های سرگردان

در صورت وجود جریان‌های سرگردان، اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش برای تعیین پتانسیل‌های آزاد IR را فقط می‌توان برای یک دوره زمانی کافی در غیاب ترافیک راه‌آهن (برای مثال، در طول شب) انجام داد. هنگام تثبیت مقدار پایه، اثر جریان‌های یکسان‌ساز و/یا پیل در نظر گرفته می‌شود.

تکنیک زیر شامل اندازه‌گیری‌های پتانسیل وصل و خاموش، به ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی در مناطق تحت تأثیر جریان‌های سرگردان کمک می‌کند.

توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌های پتانسیل به شرح زیر انجام شوند:

— توصیه می‌شود که پتانسیل در یک دوره زمانیِ سازگار با سطح تداخل (برای مثال، ۲۴ h)، در نقاط اندازه‌گیری که از نظر حفاظت کاتدی بحرانی هستند، ثبت شود.

— توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش در همان نقاط اندازه‌گیری برای مدت‌زمان مناسبی که ترافیک راه آهن وجود ندارد، انجام شود. مقادیر پتانسیل خاموش به‌دست‌آمده باید به‌عنوان مقادیر پایه در نظر گرفته شوند.

توصیه می‌شود که در این نقاط اندازه‌گیری، یک مقدار منفی‌تر از پتانسیل حفاظتی (E_p)، توسط سامانه حفاظت کاتدی حفظ شود (به استاندارد ملی ایران شماره .... مراجعه شود).

برای برآورده‌کردن شرایط زیر، مقادیر پتانسیل وصل متناظر باید در نظر گرفته شوند:

— توصیه می‌شود که مقادیر پتانسیل وصل ثبت‌شده در یک بازه زمانی سازگار با سطح تداخل (۲۴ h)، حتی درصورت وجود جریان‌های سرگردان، همیشه منفی‌تر از مقدار پتانسیل وصل باشند؛ که هنگام عدم وجود ترافیک راه آهن اندازه‌گیری شده است.

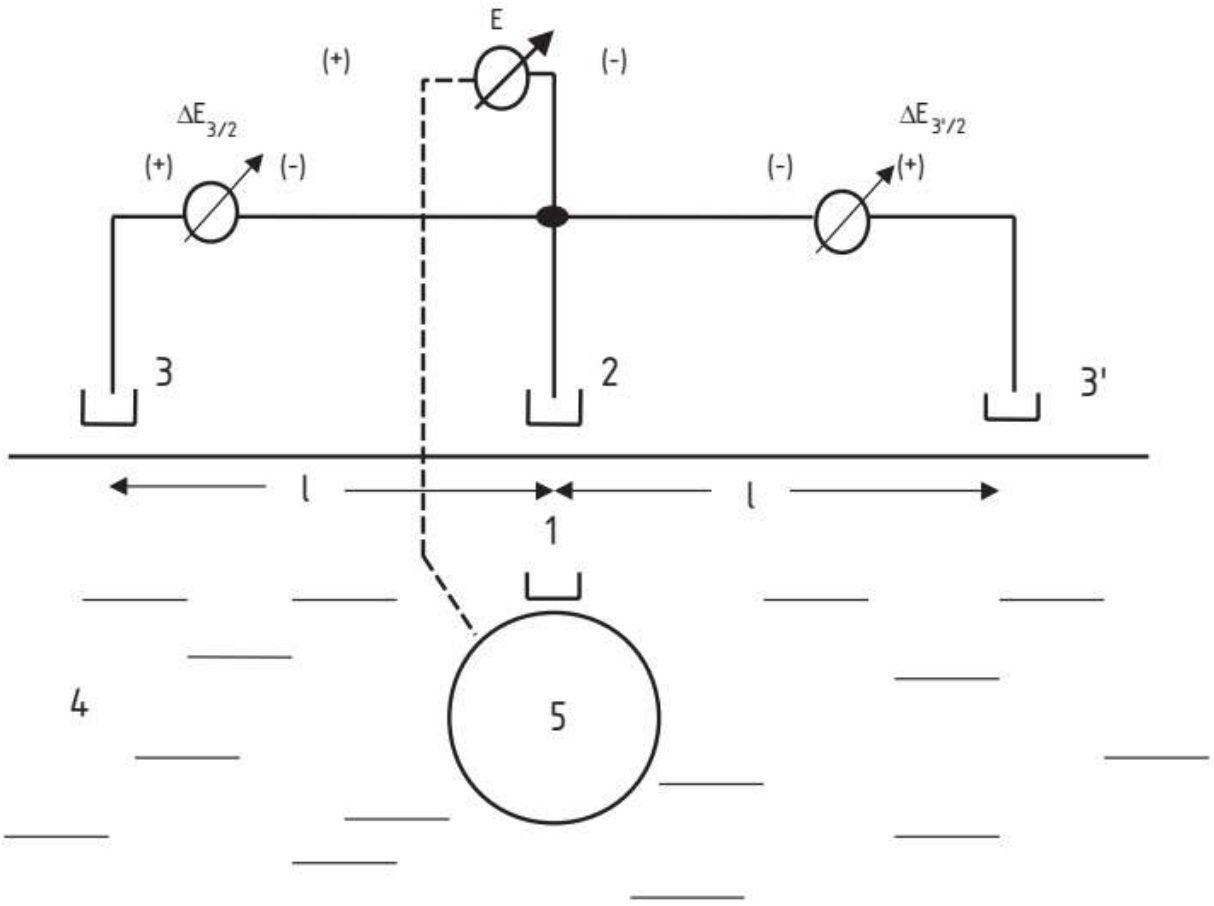
— توصیه می‌شود که پتانسیل در بحرانی‌ترین نقاط اندازه‌گیری، گاه به گاه در طول عمر سازه بررسی شود.

پیوست ج
(آگاهی‌دهنده)

یادداشت توضیحی در مورد استفاده از تکنیک اندازه‌گیری‌شدتی و محاسبه پتانسیل آزاد IR ($E_{IR,free}$)

ج-۱ کلیات

تکنیک اندازه‌گیری شدتی شامل اندازه‌گیری‌های هم‌زمان دو یا سه الکترود، یکی روی سازه و یک یا دو الکترود از راه دور است. این تکنیک می‌تواند هم مکان نقص پوشش و هم اندازه‌گیری پتانسیل آزاد IR را تامین کند.



راهنما:

1، 2، 3 و 3' مکان‌های الکترودهای مرجع

4 خاک

5 لوله

شکل ج-۱- مکان‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۳') الکترودهای مرجع برای اندازه‌گیری پتانسیل‌های سازه به الکترولیت و گرادیان‌های پتانسیل ، برای مثال، در یک خط لوله مدفون، از طریق تکنیک اندازه‌گیری شدتی

ج-۲ تشخیص رخنه‌های پوشش

با استفاده از این روش، رخنه‌های پوشش شناسایی می‌شوند؛ که این رخنه‌ها در قله‌های ΔE_{off} - ΔE_{on} در اندازه‌گیری‌شده در طول مسیر خط لوله قرار دارند. قدر مطلق ΔE_{off} - ΔE_{on} به عوامل زیادی بستگی دارد و در شرایط یکسان، متناسب با اندازه رخنه پوشش است. معمولا این اندازه‌گیری‌ها در فاصله تقریبا ۵ متری در طول لوله انجام می‌شود.

ج-۳ محاسبه پتانسیل آزاد IR

برای ΔE_{on} بزرگ‌تر از تقریبا ۲۰ mV، مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ حاصل به‌طور کلی محاسبه افت IR در خاک بین مکان‌های (۱) و (۲) در شکل ج-۱ را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین، معادله تعیین پتانسیل آزاد IR، معادله ج-۱ است.

$$E_{\text{IR,free}} = E_{\text{off}} - \frac{\Delta E_{\text{off}}}{\Delta E_{\text{on}} - \Delta E_{\text{off}}}(E_{\text{on}} - E_{\text{off}}) \qquad \text{(ج-۱)}$$

— درصورت وجود جریان‌های یکسان‌ساز (مورد ۱-۲ در جدول ۱) و جریان‌های پیل از الکترودهای بیگانهٔ راه دور مطابق با تعریفِ مورد ۱-۳ جدول ۱ (به زیربند ۴-۳ مراجعه شود):

گرادیان‌های پتانسیل، تقریبا متقارن با خط لوله خواهد بود. بنابراین، تعیین اختلاف پتانسیل بین الکترودهای مرجع در مکان‌های (۲) و (۳) یا (۲) و (۳′)، برای تعیین مقادیر ΔE کافی خواهد بود.

— درصورت وجود جریان‌هایی از منابع بیگانهٔ دور- همراه با افت و خیز و بدون افت و خیز با زمان- مطابق با تعریفِ مورد ۲ جدول ۱ (به زیربند ۴-۳ مراجعه شود):

گرادیان‌های پتانسیل دیگر متقارن نخواهند بود. گرادیان‌های پتانسیل حاصل از رخنه‌های پوشش، مقادیر میانگین پتانسیل‌های بین الکترودهای مرجع در مکان‌های (۲) و (۳) و الکترودهای مرجع در مکان‌های (۲) و (۳′) خواهند بود؛ که به‌طور متقارن با فاصلهٔ l در شکل ج-۱ و یکسان در هر دو طرف، مرتب شده‌اند.

$$\Delta E = \frac{1}{2}\left(\Delta E_{3,2} + \Delta E_{3',2}\right) \qquad \text{(ج-۲)}$$

— درصورت وجود «جریان از منابع بیگانهٔ دور- همراه با افت و خیز با زمان- برای مثال، سامانه‌های کششی DC، تاسیسات صنعتی، جریان زمینی» مطابق با تعریفِ مورد ۲-۲ جدول ۱:

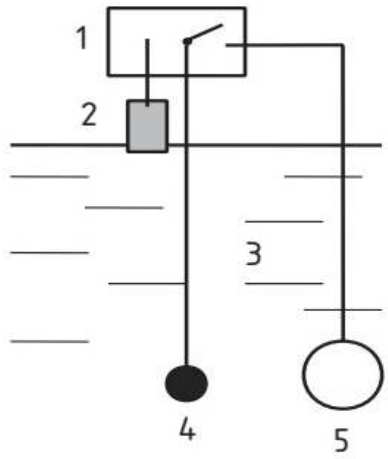
توصیه می‌شود که خوانش‌های E و ΔE به‌طور هم‌زمان برای دوره «وصل» و «خاموش» انجام شود.

با توجه به معادله ج-۱، هنگام تعیین پتانسیل‌های آزاد IR، توجه شود که پتانسیل‌های تطبیق‌نیافتهٔ[1] الکترود مرجع ممکن است منجر به خطا شوند.

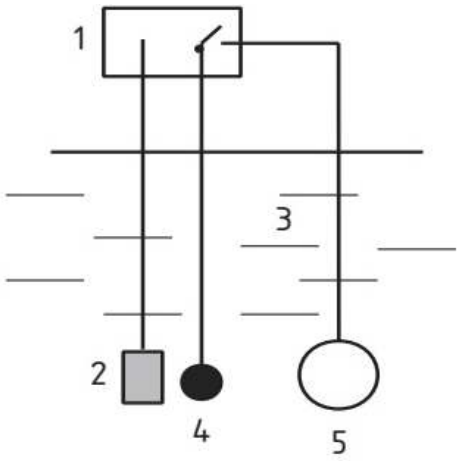
1- Unmatched

پیوست چ
(آگاهی‌دهنده)

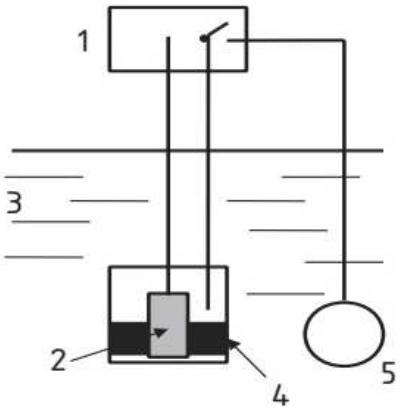
مثال‌هایی از کوپن‌ها و پراب بیرونی معمول در آزمون پتانسیل برای لوله



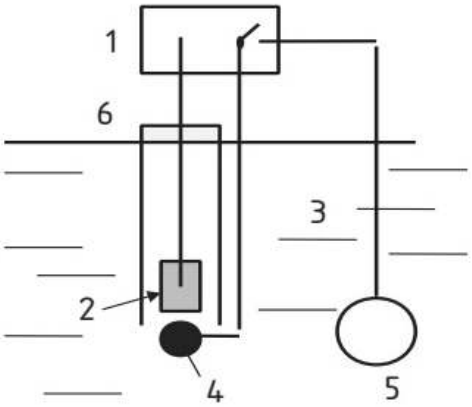
الف- طرح یک کوپن همراه با الکترود مرجع روی سطح



ب- طرح یک کوپن همراه با الکترود مرجع دایمی



پ- طرح یک پراب بیرونی آزمون پتانسیل



ت- طرح یک کوپن همراه با الکترود مرجع قابل برداشتن

راهنما:

1 ایستگاه آزمون
2 الکترود مرجع
3 خاک
4 کوپن
5 لوله
6 درپوش‌ها (فقط شکلِ ت)

شکل چ-۱- مثال‌هایی از کوپن‌ها و پراب بیرونی معمول در آزمون پتانسیل برای لوله

-۱

پیوست ح
(آگاهی‌دهنده)

درستی تجهیز اندازه‌گیری پتانسیل

ح-۱ کلیات

یکی از الزامات اساسی هر ابزار اندازه‌گیری این است که نباید باعث ایجاد تغییرات غیرقابل پذیرش در مدار مورد اندازه‌گیری شود. ابزار باید طوری انتخاب شود که به‌خوبی با مدار مورد اندازه‌گیری، سازگار باشد.

هر اندازه‌گیری که با ابزار اندازه‌گیری محقق شود، احتمال خطاهای متعددی را در بر می‌گیرد که باید ارزیابی شوند. این خطاها می‌توانند موارد زیر باشند:

— خطاهای ناشی از مقاومت داخلی ابزار؛

— خطاهای خوانش با ابزار آنالوگ؛

— خطاهای ناشی از خود ابزار و ارائه‌شده توسط سازنده ابزار؛

— خطاهای ناشی از شرایط محیطی (دما، شرایط رطوبت‌سنجی، وجود میدان‌های مغناطیسی).

ح-۲ ولت‌سنج‌ها

دو نوع ولت‌سنج DC وجود دارد، ابزارهای آنالوگ و دیجیتال؛ که هر دو را می‌توان به‌صورت میدانی برای اندازه‌گیری پتانسیل سازه استفاده کرد.

با این وجود، در مواردی‌که افت و خیز جریان‌های سرگردان بر خاک یا سازه از نظر کنترل اثر می‌گذارد، ترجیحا می‌توان از یک ولت‌سنج آنالوگ برای پیگیری تغییرات پتانسیل استفاده کرد یا در صورت لزوم تغییرات را با ثبت‌کننده آنالوگ یا دیجیتال ثبت کرد.

در مواردی‌که تداخل AC ناشی از وجود خطوط برقِ ولتاژبالا بر خط لوله اثر می‌گذارد، می‌توان مقادیر افت و خیز یا لرزش را با ولت‌سنج‌های DC آنالوگ یا مقادیر ناسازگار را با ابزارهای دیجیتال خواند. برای پرهیز از این مشکل، توصیه می‌شود که از یک ولت‌سنج DC دیجیتال با تضعیف AC حداقل ۶۰ dB در ۱۶ Hz و ۵۰ Hz استفاده شود.

خطای ذاتی ابزار، حداکثر خطای اندازه‌گیری تضمین‌شده است. این خطا را باتوجه به نوع ابزار می‌توان به دو صورت بیان کرد:

— برای ابزار آنالوگ، خطا برحسب درصد مقیاس کامل بیان می‌شود (برای ابزاری که ردهٔ آن ۱٫۵ ذکر شده است، حداکثر خطا در مقیاس ۱۰ V، برابر با ۱۵۰ mV است).

— برای ابـزار دیجیتال، خطـا بر حسب درصـد خوانش به‌اضافه رقمِ ۱ بیان می‌شود (برای ابزاری با درسـتی ٪ ۱، حداکثر خطا در خوانش ۱۰۰۰ V، برابر با ۱۱ V است).

دقت اندازه‌گیری پتانسیل به مقاومت /امپدانس ورودی ابزار نیز بستگی دارد. توصیه می‌شود کـه مقـدار ایـن مقاومت برای اندازه‌گیری پتانسیل سازه‌های زیرزمینی، حداقل برابر با ۱ MΩ باشد. برای محیطی با مقاومـت ویژه کم (برای مثال، آب لب‌شور یا آب دریا)، مقدار کمتر قابل پذیرش است.

— برای ولت‌سنج‌های DC آنالوگ، مقاومت ورودی (یا داخلی) معمولا متغیـر اسـت و بـه مقیـاس انتخـابی بستگی دارد. این مقاومت که بر حسب اهم بر ولت در مقیاس کامل بیـان مـی‌شـود، در ابزارهـای مـدرن می‌تواند به ۲۵۰۰۰۰ Ω/V برسد. یک راه برای تایید درستی یک ولت‌سنج آنالوگ، انجام یک اندازه‌گیری با دو مقیاس مختلف است. مقادیر باید یکسان باشند.

— برای ولت‌سنج‌های DC دیجیتال، امپدانس ورودی ثابت است و بر حسب اهـم بیـان مـی‌شـود. بنـابراین درستی اندازه‌گیری، مستقل از مقیاس انتخاب‌شده است. برای ابزارهـای مـدرن، امپـدانس ورودی اغلـب بیش از ۱۰ Ω/V می‌شود.

ولت‌سنج‌های دیجیتال می‌توانند در هر ثانیه خوانش‌های زیادی تولید کنند (به‌طور کلـی ۴ عـدد). بنـابراین، هنگام اندازه‌گیری پتانسیل افت و خیز (خوانش ولتاژهای اوج، پتانسیل خـاموش در قطـع جریـان حفـاظتی، جریان‌های سرگردان و غیره) خطر خوانش ناسـازگار وجـود دارد. درایـن‌حالـت، تکـرار انـدازه‌گیـری توصـیه می‌شود؛ تا خطای احتمالی اندازه‌گیری شناسایی شود.

با این‌حال، ابزار باید بتواند بیش از یک اندازه‌گیری در ثانیه انجام دهد؛ تا مقدار پتانسیل خـاموش را دریافـت کند (مطابق با زیربند ۴-۴-۲-۱).

توصیه می‌شود که درستی ابزار مورد استفاده برای اندازه‌گیری پتانسیل، به‌صورت زیر باشد:

— برای ابزار دیجیتال، کمتر از ٪ ۱ مقدار خوانش،

— برای ابزار آنالوگ، کمتر از ٪ ۲ انحراف در مقیاس کامل[1] (FSD).

ح-۳ الکترودهای مرجع و اندازه‌گیری

توصیه می‌شود که الکترودهای مرجع و اندازه‌گیری مطابق با پیوست **الف** انتخاب شوند.

توصیه می‌شود که الکترودها طوری ساخته شوند که پتانسیل آن‌ها حین اندازه‌گیری ولتاژ تحـت تـأثیر قـرار نگیرد.

توصیه می‌شود که الکترودهای مرجع و اندازه‌گیری به‌صورت منظم با مقایسه با الکترودهای مرجع مخصوص مورد استفاده برای این منظور، تصدیق شوند.

1- Full scale deflection

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیوست خ
(آگاهی‌دهنده)

درستی اندازه‌گیری جریان

خ-۱ کلیات

اندازه‌گیری‌های جریان را می‌توان با اندازه‌گیری مستقیم پتانسیل شنت یا با استفاده از آمپرسنج گیره/کلیپ[1] برای تعیین جریان جاری انجام داد.

صرف‌نظر از اندازه‌گیری مستقیم یا اندازه‌گیری با استفاده از شنت بیرونی، توصیه می‌شود که افت ولتاژ ناشی از اندازه‌گیری جریان بیش از ۱۰ mV نشود.

یادآوری- توصیه می‌شود که در انتخاب مقدار شنت، صرف‌نظر از اینکه داخل یا بیرون از ابزار اندازه‌گیری باشد، اثر احتمالی گنجاندن مقاومت شنت در مدار مورد اندازه‌گیری در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود که درستی اندازه‌گیری، بهتر از ٪ ۲٫۵ باشد.

توصیه می‌شود که آمپرسنج‌های گیره/کلیپ با دقت انتخاب و به‌کار گرفته شوند؛ تا سطوحی قابل پذیرش از درستی را تامین کنند.

توصیه می‌شود که همان ملاحظات برای ابزار اندازه‌گیری ولتاژ که در پیوست **ح** ارائه شده است، برای اندازه‌گیری پتانسیل شنت نیز استفاده شود.

در شرایط خاص که لازم است اندازه‌گیری‌های جریان‌پایین در مدارهای ولتاژپایین انجام شود، اگر جریان‌های سرگردان وجود نداشته باشند، می‌توان از اصول و مدارهای نشان داده‌شده در شکل های خ-۱ و خ-۲ استفاده کرد. در روش جایگزین، می‌توان از آمپرسنج مقاومت صفر نیز استفاده کرد.

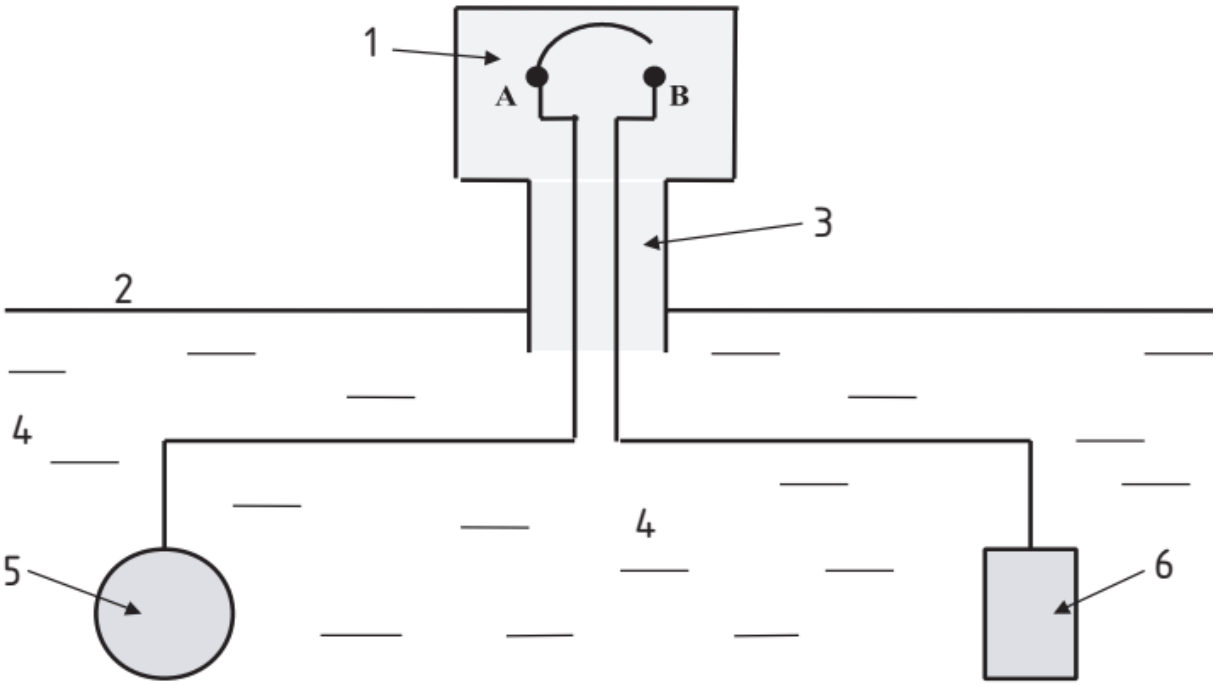
خ-۲ تعیین جریان واقعی در مدارهای ولتاژپایین

در این روش جریان واقعی مطابق با معادله خ۱- محاسبه میشود:

$$\text{جریان واقعی} = I\frac{U_1}{U_1 - U_2} \qquad \text{(خ-۱)}$$

که در آن، U_1، U_2 و I مطابق با رویه زیر و باتوجه به شکل خ۱- به‌دست می‌آیند.

1- Clamp/clip ammeter



راهنما:

1 پیوند
2 سطح زمین
3 ایستگاه آزمون
4 خاک
5 سازه (خط لوله)
6 سازه ثانویه (آند گالوانی)

شکل خ-۱- روش تعیین جریان واقعی در مدارهای با ولتاژ بسیار پایین

رویه

۱- پیوند بین پایانه‌های A و B را حذف کنید؛

۲- ولتاژ AB را با میلی ولت‌سنج امپدانس‌بالا (U_1) اندازه‌گیری کنید.

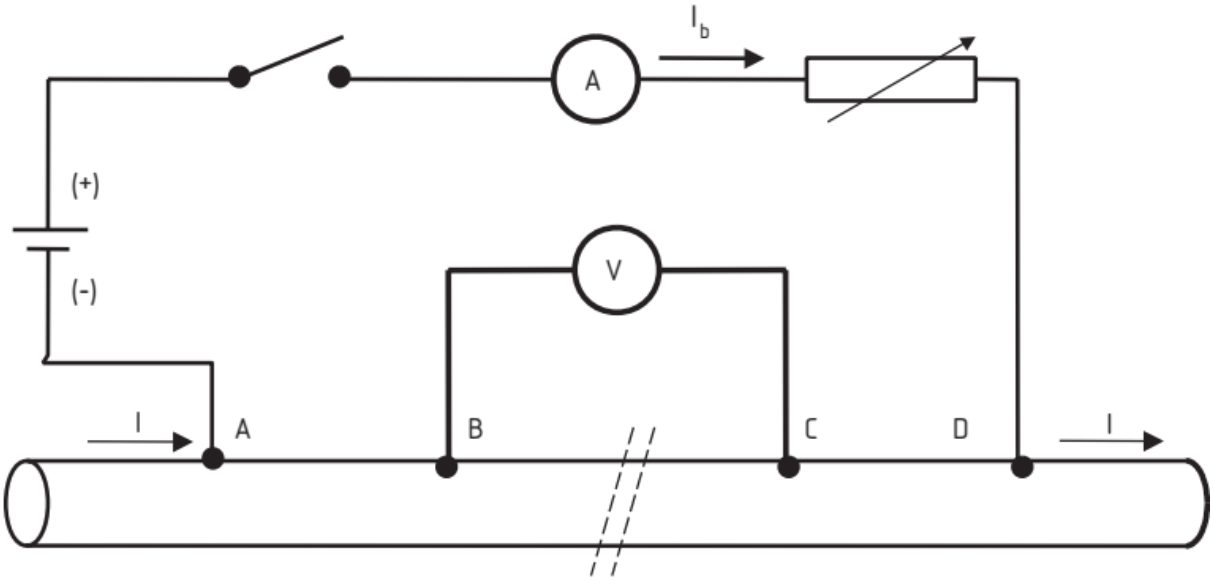
۳- آمپرسنج را در وسط AB متصل و جریان (I) را اندازه‌گیری کنید.

۴- ولتاژ AB (U_2) را با آمپرسنجِ هنوز متصل، اندازه‌گیری کنید.

خ-۳ تعیین جریان خط و مقاومت طولی یک خط لوله

خ-۳-۱ کلیات

مدار اندازه‌گیری برای تعیین جریان خط و مقاومت طولی یک خط لوله، در شکل خ-۲ نشان داده شده است.



شکل خ-۲- مدار اندازه‌گیری برای تعیین جریان خط و مقاومت طولی یک خط لوله

خ-۳-۲ تعیین جریان خط

اگر جریان I_b طوری تنظیم شود که هیچ انحرافی در میکرو ولت‌سنج ایجاد نشود، دراین‌صورت $I_b = I$ می‌شود.

خ-۳-۳ تعیین مقاومت طولی خط لوله

نقاط اتصال کابل‌ها به لوله (A، B، C و D) با فاصله حداقل ۱۰ cm از هم قرار دارند. مقادیر معمول، اغلب بین ۲ برابر قطر و ۵ برابر قطر انتخاب می‌شوند. فاصله بین نقاط B و C می‌تواند به ۱۰۰ m برسد.

با استفاده از منبع تغذیه (باتری)، جریان (I_b) به مقطعی از خط لوله بین نقاط A و D اعمال و ولتاژ (U) بین نقاط B و C اندازه‌گیری می‌شود. به‌منظور جلوگیری از تداخل حاصل از سایر جریان‌های جاری از طریق خط لوله و همچنین ولتاژهای تماسی، منبع تغذیه روشن و خاموش شده و ولتاژ (ΔU) و جریان (ΔI_b) برای اهدافِ محاسبه استفاده می‌شود. سپس مقاومت طولی بین B و C، (R_{BC})، با استفاده از معادله خ-۲ تعیین می‌شود:

$$R_{BC} = \frac{\Delta U}{\Delta I_b} \qquad \text{(خ-۲)}$$

پیوست د
(آگاهی‌دهنده)

ارزیابی مقاومت اتصال‌های عایقی

هنگامی‌که اندازه‌گیری مقاومت روی اتصال‌های عایقی نصب‌شده انجام می‌شود، در این‌صورت مدار اندازه‌گیری‌شده شامل مقاومت‌ها/امپدانس‌های سازه‌ها نسبت به زمین نیز خواهد بود.

مقاومت کم همیشه نشانه‌ای از معیوب‌بودن اتصال عایقی نیست.

مقاومت حاصل (R_r) از معادله د-۱ اندازه‌گیری می‌شود:

$$\frac{1}{R_r} = \frac{1}{R_{iso}} + \frac{1}{(R_{co1} + R_{co2})} \qquad (د-۱)$$

که در آن:

R_r مقاومت/امپدانس حاصل؛

R_{iso} مقاومت اتصال عایقی؛

R_{co1} مقاومت به زمینِ سازه در یک طرف اتصال عایقی؛

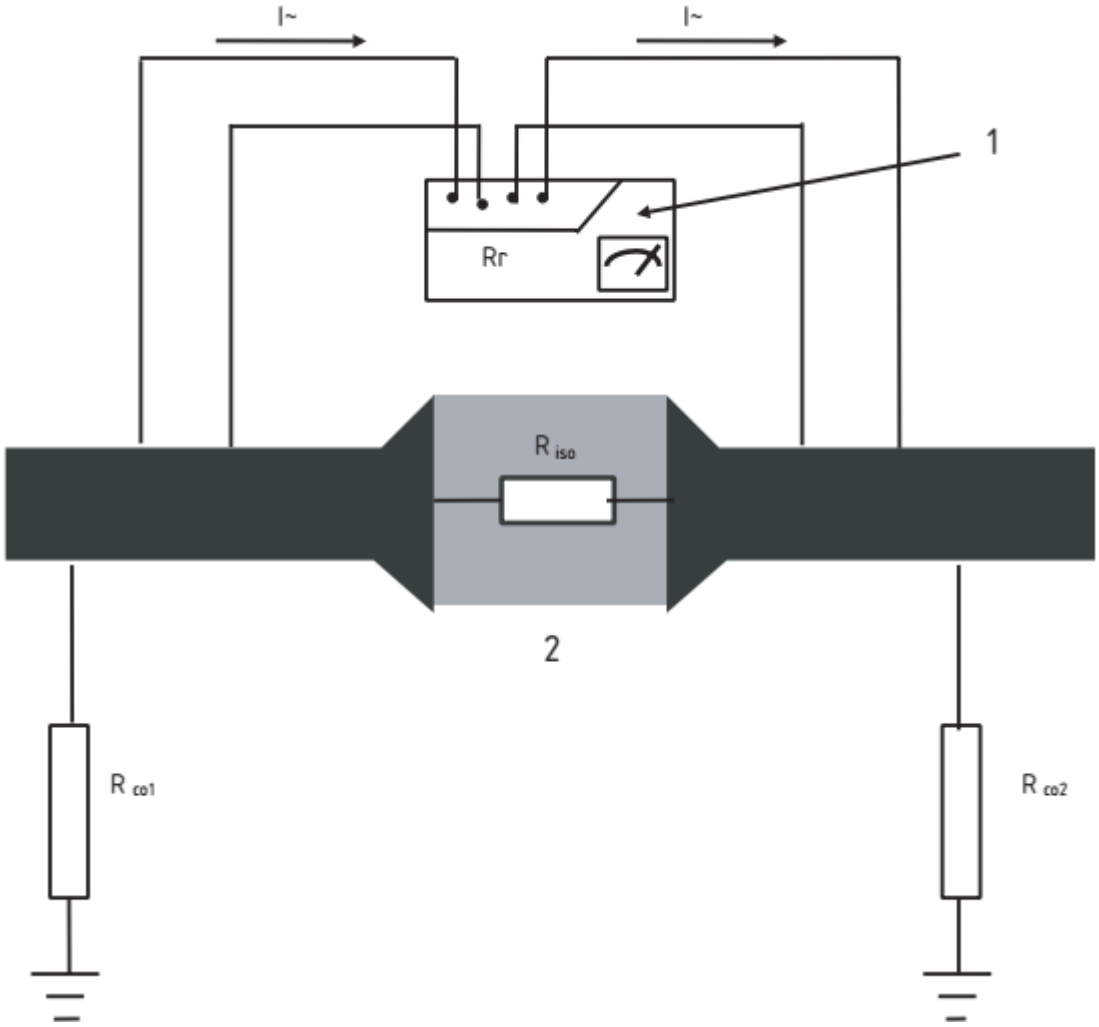
R_{co2} مقاومت به زمینِ سازه در طرف دیگر اتصال عایقی است.

مقاومت اتصال عایقی (R_{iso})، از معادله د-۱ محاسبه می‌شود.

در صورت استفاده از جریان مستقیم، مقاومت به زمینِ سازه‌ها تغییر می‌کند؛ زیرا سازه‌ها پلاریزه می‌شوند. برای جلوگیری از این موضوع، از جریان متناوب استفاده می‌شود.

در صورت استفاده از روش با دو رابط برق آزمون[1]، مقدار اندازه‌گیری‌شده شامل مقاومت رابط‌های برق آزمون می‌شود. برای حذف مقاومت رابط‌های برق آزمون، توصیه می‌شود که از روش نشان داده‌شده در شکل د-۱ استفاده شود.

1- Test lead



راهنما:

1 اهم‌سنج AC چهار پایانه‌ای

2 اتصال عایقی

شکل د-۱- اندازه‌گیری مقاومت یک اتصال عایقی با یک اهم‌سنج AC چهار پایانه‌ای

پیوست ذ
(آگاهی‌دهنده)

آزمون تزریق جریان به اتصال‌های عایقی

به‌منظور ایجاد تمایز بین اتصال عایقی معیوب و اتصال‌کوتاه ناشی از یک اتصال رسانای فلزی ناشناخته، اندازه‌گیری‌ها را می‌توان در یک منطقه حفاری‌شده با مدارهای نشان داده‌شده در شکل های ذ-۱و ذ-۲ انجام داد.

در مورد اتصال عایقی موثر، جریان به‌صورت $I_1 = 0$ و درنتیجه $\Delta U_1 = 0$ است.

هنگامی‌که جریان I در حال گردش و $\Delta U_1 = 0$ است، امکان تماس فلزی بیرونی وجود دارد (شکل ذ-۱).

با استفاده از مداری که در شکل ذ-۲ نشان داده‌شده است، می‌توان یک بررسی مقابله‌ای[1] برای اثبات موثربودن اتصال عایقی ایجاد کرد.

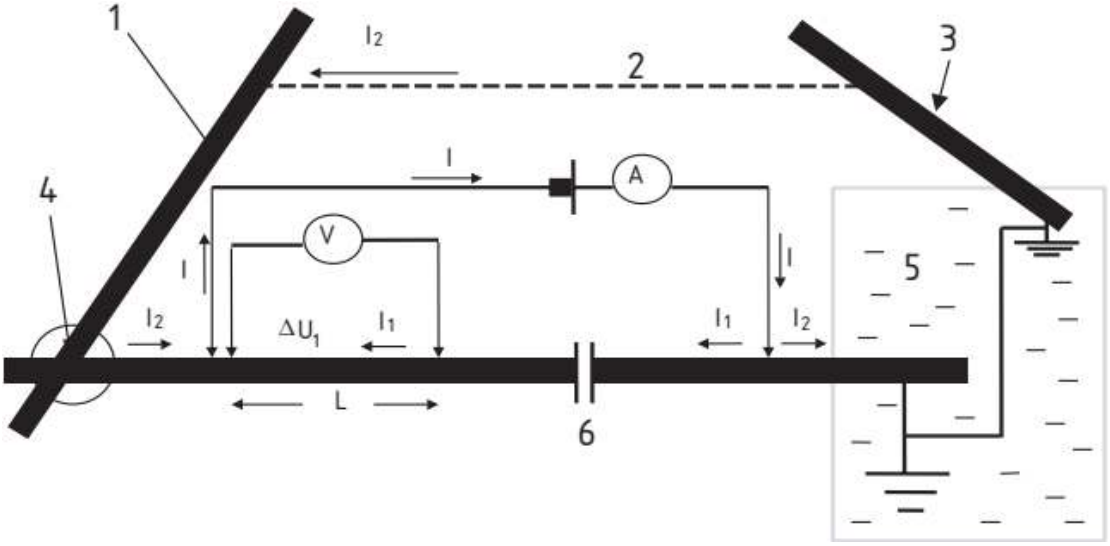
جریان I_2 با استفاده از معادله ذ-۱ تعیین می‌شود.

$$I_2 = \frac{\Delta U_2}{R'L} \qquad (ذ-۱)$$

توصیه می‌شود که جریان I_2، با جریان تزریقی I مطابقت داشته باشد. در این‌حالت، توصیه می‌شود که اتصال رسانای فلزی بین سازه تحت حفاظت و سازه بیگانه مشخص شود. در معادله فوق، R' با مقاومت طولی خط لوله در هر متر مطابقت دارد.

این روش را می‌توان برای تایید جداسازی الکتریکی بین سازه‌های فلزی تطبیق داد.

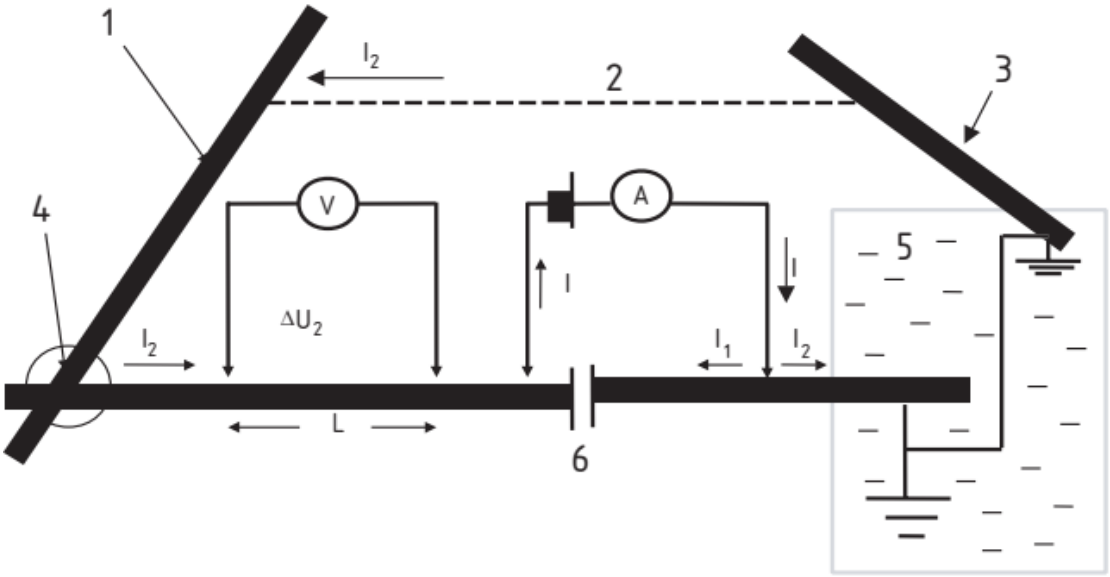
1- Countercheck



راهنما:

1 سازه بیگانه
2 مسیر الکتریکی نامعلوم (کانال یا خاک)
3 سازه بیگانه
4 اتصال رسانای فلزی
5 خاک
6 اتصال عایقی

شکل ذ-۱- مدار برای بررسی یک اتصال عایقی حفاری‌شده (مدار داخلی)



راهنما:

1 سازه بیگانه
2 مسیر الکتریکی نامعلوم (کانال یا خاک)
3 سازه بیگانه
4 اتصال رسانای فلزی
5 خاک
6 اتصال عایقی

شکل ذ-۲- مدار برای بررسی یک اتصال عایقی حفاری‌شده (مدار بیرونی)

پیوست ر
(آگاهی‌دهنده)

بازرسی حفاظت کاتدی فراساحلی

ر-۱ کلیات

مزیت اصلی سامانه‌های حفاظت کاتدی آند گالوانی این است که برای تضمینِ کنترل خوردگی قابل اطمینان در طول عمر طراحی، به حداقل بازرسی و نگهداشت نیاز دارند. با این‌حال، با عمر طراحی معمول در گسترهٔ ۱۰ سال تا ۳۰ سال و در برخی موارد تا ۵۰ سال، تلاش برای اطمینان از اینکه سامانه حفاظت کاتدی آند گالوانی طبق کارکرد مورد انتظار از طراحی کلی سازهٔ مورد حفاظت عمل می‌کند، لازم است. علاوه بر این، گاهی اوقات یک پیمایش اولیه توسط مالک سازه یا یک مرجع نظارتی برای تایید کافی‌بودن طراحی، ساخت و نصب حفاظت کاتدی آند گالوانی لازم است. با افزایش عمر سازه‌های فراساحلی، نیاز به بازرسی حفاظت کاتدی افزایش می‌یابد.

نیاز به بازرسی حفاظت کاتدی آند گالوانی، چه در ابتدا و چه حین کار، به‌وسیله عملکرد واقعی سازهٔ مورد حفاظت، هرگونه الزامات نظارتی و فلسفه کنترل خوردگی توسط مالک سازه مشخص می‌شود.

ر-۲ بازرسی حفاظت کاتدی آند گالوانی

هدف از بازرسی حفاظت کاتدی آند گالوانی ممکن است موارد زیر باشد:

۱- تایید کفایت رویه‌های طراحی، ساخت و نصب برای ارائه کارکرد اولیه کنترل خوردگی، منطبق بر الزامات مالک سازه و/یا یک مرجع نظارت؛

۲- تصدیق حفاظت کاتدی کافی در طول عملیات و ارزیابی هرگونه نیاز به نگهداشت یا مقاوم‌سازی مطابق با الزامات مالک سازه و/یا مرجع نظارتی برای حفاظت کاتدی؛

۳- جمع‌آوری داده‌ها برای تصدیق و بهینه‌سازی طراحی حفاظت کاتدی برای کاربردهای آینده.

تکنیک‌های بازرسی زیر معمولا در بازرسی‌های حفاظت کاتدی آند گالوانی استفاده می‌شوند:

— ثبت پتانسیل‌های حفاظت کاتدی سازه‌های مورد حفاظت که از آندهای گالوانیکی دور هستند و معمولا ثبت پتانسیل‌های مداربسته برخی از آندهای انتخابی؛

— بازرسی چشمی با استفاده از دوربین‌های متصل به وسیلهٔ کنترل‌شونده از راه دور (ROV)[1] یا احتمالا توسط غواصان در آب‌های کم‌عمق و آرام.

1- Remotely operated vehicle connected cameras

برای جمع‌آوری داده‌ها از یک سامانه حفاظت کاتدی، سایر تکنیک‌ها ممکن است استفاده شوند؛ برای مثال، اندازه‌گیری گرادیان‌های میدان الکتریکی در آندها برای ارزیابی جریان خروجی از آندهای مجزا. همچنین برای این منظور، سامانه‌های ثابتِ پایش برای ثبت برخطِ پتانسیل حفاظتی و جریان خروجی آند توسعه یافته است.

برای تحقق هدف ردیفِ ۱ در این زیربند، یک بازرسی اولیه غالبا حین یک سال پس از نصب سامانه حفاظت کاتدی آند گالوانی انجام می‌شود. برای سازه‌هایی با سطوح اصلی فولادی بدون پوشش، پلاریزه‌شدن اولیه ممکن است آهسته باشد و شرایط حالت پایدار باتوجه به پتانسیل حفاظت کاتدی ممکن است حین یک سال به‌دست نیامده باشد. با این‌حال، توصیه می‌شود که با طراحی صحیح، یک معیار پتانسیل حفاظتی ۰٫۸۰ V- در این دوره زمانی به‌دست آید. برای زیرساخت‌های سکو، بازرسی چشمی حین پیمایش اولیه، به‌جز برای تایید اینکه آندها حین نصب آسیب ندیده باشند، اهمیت ثانویه دارد. با این‌حال، در سامانه‌های تولیدی در زیر دریا با اجزای بدون پوششِ CRAها با مقاومت ضعیف به آب دریا (برای مثال، اجزای UNS 31600 برای سامانه‌های کنترل تولید)، بازرسی چشمی اولیه برای آشکارسازی هرگونه اجزای نصب‌شده بدون پیوستگی الکتریکی به آندها توصیه می‌شود. برای تحقق هدف ردیفِ ۲، بازرسی‌ها معمولا در فواصل پنج ساله انجام می‌شوند؛ مگر اینکه بازرسی قبلی، یک حفاظت کاتدیِ حداقلی را آشکار کرده باشد. برای تحقق هدف ردیفِ ۳، توصیه می‌شود که شرایط حالت پایدار قبل از بازرسی ایجاد شده باشد.

توصیه می‌شود شرکتی که قرار است قرارداد پیمایش حفاظت کاتدی با وی منعقد شود، تجربه کافی از اجرای کارهای مشابه را به‌صورت مستند ارائه دهد. ضروری است که دامنه و اهداف یک پیمایش حفاظت کاتدی آند گالوانی با هدفی مطابق با ردیف‌های ۱ تا ۳ توسط مالک سازه/خریدار با جزئیات تعریف شود؛ و همچنین اطمینان حاصل شود که پیمانکار به اطلاعات مربوط به طراحی حفاظت کاتدی (برای مثال، نقشه‌هایی که مکان‌ها و ابعاد اولیه آندها و نتایج هر پیمایش قبلی را نشان می‌دهند) دسترسی دارد. علاوه بر این، هر مکان ترجیحی برای بازرسی (برای مثال، گره‌های ژاکتی[1] فولادی خاص با بارهای چرخه‌ای بالا) نیز توصیه شود.

توصیه می‌شود که متعاقبا یک رویه بازرسی دقیق تهیه شود، که حداقل به موارد زیر ارجاع داشته باشد:

— قابلیت‌های ابزارهای ROV که مربوط به بازرسی حفاظت کاتدی آند گالوانی هستند؛

— صلاحیت پرسنل برای برنامه‌ریزی، نظارت و ارزیابی بازرسی؛

— شرح تجهیزات مورد استفاده در بازرسی حفاظت کاتدی آند گالوانی، شامل جمع‌آوری/ثبت داده‌ها و ملاحظات نیازهای احتمالی برای تجهیزاتی که قرار است به فراساحل منتقل شوند؛

— رویه دقیق برای تصدیق الکترودهای مرجع مورد استفاده در پیمایش پتانسیل حفاظت کاتدی؛

1- Jacket nodes

— مکان‌های از قبل تعیین‌شده برای ثبت‌های پتانسیل حفاظت کاتدی، سایر ثبت‌ها، آندهای انتخاب‌شده برای بازرسی چشمی و ثبت‌های پتانسیل، با در نظر گرفتن مکان‌ها و نتایج ثبت‌های پتانسیل، سایر ثبت‌ها و برآورد مصرف آند از هر پیمایش قبلیِ سازه مورد حفاظت؛

— قالب و شاخص گزارش، شامل محدودهٔ مستندات عکاسی آندها.

ر-۳ پیمایش پتانسیل حفاظت کاتدی

پیمایش‌های پتانسیل حفاظت کاتدی می‌تواند به‌صورت از سطح[1] یا ROV یا به‌کمک غواص باشد. در هر حالت، واحد اندازه‌گیری پتانسیل شامل یک یا دو پیل AgCl/Ag/آب دریا از نوع «الکترولیت باز»[2] (یعنی دسترسی مستقیم از طریق آب دریا) است.

یک پیمایش پتانسیل از سطح، که به‌عنوان پیمایش افت پیل[3] نیز شناخته می‌شود، از یک واحد الکترود مرجعِ متصل به وزنهٔ فروبَرِ[4] آویزان‌شده به‌وسیله یک طناب پلیمری استفاده می‌کند؛ که همراه با یک سیمِ زمینِ عایق الکتریکی است که از طریق یک ولت‌سنج به قسمت بالای سازه فولادی متصل می‌شود. این تکنیک عمدتا در آب‌های نسبتا کم‌عمق و آرام کاربرد دارد که به الکترود مرجع اجازه می‌دهد تا در یک یا چند متری سازه مورد حفاظت قرار گیرد. در درجه اول هدف این است که تغییراتِ سطح حفاظت سراسری به‌صورت عمودی در امتداد یک زیرساخت فراساحلی، از ناحیهٔ پاشش تا بستر دریا، ثبت شود. بسته به محل پراب نسبت به آندها و اندازه/هندسه سازه، اِعمال پوشش، و خواص لایه آهکی و رشد موجودات دریایی، پتانسیل حفاظت موضعی (یعنی بدون اثر افت ولتاژ اهمی) ممکن است ۱۰ mV تا ۵۰ mV کمتر منفی باشد. با این‌حال، توصیه می‌شود که ثبت پتانسیلِ منفی‌تر از ۰٫۸۵ V- نشان دهد که معیار پتانسیل حفاظتیِ ۰٫۸۰ V- در مکان‌های دورترِ همان سطح افقی نیز برآورده می‌شود. برای تایید سطح حفاظت کافی در شرایط حالت پایدار، توصیه می‌شود که یک مقدار میانگین پتانسیل کمتر از ۰٫۹۰ V- ثبت شود؛ زیرا مقادیر کمترمنفی نشان می‌دهد که آندها با ولتاژ محرکه بالاتر نسبت به ولتاژ طراحی‌شده کار می‌کنند، و این موضوع ممکن است منجر به مصرف زودرس آند شود.

پیمایش پتانسیل به‌کمک ROV یا غواص، ممکن است از یک سیم زمینِ متصل به قسمت بالای سازه استفاده کند. همچنین ممکن است از یک پراب تماسی که معمولا دارای نوک فولادی زنگ‌نزن کوچک است (برای مثال، پراب تماسی نوک‌دار یا پراب نوک‌تیز ضربه‌ای[5])، برای ایجاد تماس مستقیم فلزی در زیر دریا و برای تعیین فاصله بین پیل مرجع و سطح فولادی استفاده شود؛ تا امکان ثبت درست و تجدیدپذیرِ پتانسیل‌ها بدون اثر قابل توجهِ مقاومت اهمی فراهم شود. برای پیمایش‌های پتانسیل به‌کمک ROV، ممکن است ولت‌سنج و ابزار جمع‌آوری داده‌ها در ROV موجود باشد. برای پیمایش‌های پتانسیل به‌کمک غواص،

1- Surface deployed
2- Open electrolyte
3- Drop cell
4- Sinker weight
5- Stabbing probe

ولت‌سنج ممکن است در یک ابزار دستی با نمایشگر دیجیتال برای ثبت توسط غواص نصب شود. توصیه می‌شود که ثبت‌های پتانسیل حفاظت کاتدی توسط فرد دارای صلاحیت، نظارت شود؛ تا اطمینان حاصل شود که داده‌هایی که به‌صورت دستی یا خودکار ثبت می‌شوند، عاری از کاستی‌های ناشی از تجهیزات معیوب یا اجرای اشتباهِ رویه‌های ثبت هستند.

بلافاصله قبل از پیمایش پتانسیل حفاظت کاتدی و پس از تکمیل آن، توصیه می‌شود که الکترود(های) مرجع مورد استفاده برای ثبتِ درجا، طبق رویه‌ای تاییدشده بررسی شود. انجام روزانهٔ بررسی کالیبراسیون الکترود مرجع و ابزار به‌صورت فراساحلی توصیه می‌شود؛ تا در صورت تشخیص خطاهای بیش از حد در تجهیزات، نیاز به تکرار چندین روز پیمایش نباشد. این کالیبراسیون ممکن است در یک ظرف پلاستیکی پر از آب تازه دریا و با استفاده از یک یا چند الکترود اصلی کالیبره‌شده و دارای گواهی‌نامه، در یک آزمایشگاه معتبر انجام شود. در ادامه، به بررسی فراساحلیِ یک الکترود مرجع کاری، کالیبراسیون گفته می‌شود. توصیه می‌شود که نتایج کالیبراسیون‌های فراساحلی ،در گزارش پیمایش درج شوند. توصیه می‌شود که برای ثبت پتانسیل حفاظت کاتدی با درستی ± 10 mV کالیبراسیونِ درست انجام شده و از یک پراب تماسی نوک‌دار، که فاصله تا جسم را مشخص می‌کند، استفاده شود. مقادیر پتانسیل ثبت‌شده تا حدی تحت تأثیر تغییرات دمای آب دریا و شوری قرار می‌گیرند. هرگونه آسیب به عایق سیم‌های زمین یا سربی که مس فلزی را درمعرض آب دریا قرار دهد، می‌تواند به‌شدت ثبت‌های پتانسیل را مختل کند؛ و درصورت غوطه‌ورشدن سیم‌ها در آب دریا حین کالیبراسیون فراساحلی، این اختلال می‌تواند حین کالیبراسیون در قسمت بالای سازه تشخیص داده شود. ابزارهای ROV ترجیحا حاوی دو الکترود مرجع هستند، تا امکان کالیبراسیون داخلی را حین کار فراهم کنند و از ثبت‌های دارای خطا جلوگیری شود؛ در حالی‌که ابزار دستی غواص را می‌توان به‌صورت درجا نسبت به قطعه‌ای کوچک از روی خالص بررسی کرد. در صورت شک‌داشتن به خوانشِ دارای خطا به‌دلیل تماس ضعیف فلزی، توصیه می‌شود که یک ضربه جدید با نوک میخ‌مانند[1] انجام شود.

توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌های پتانسیل حفاظت کاتدی، در مکان‌های از قبل تعیین‌شده سازه مورد حفاظت انجام شود. تعداد اندازه‌گیری‌هایی که باید انجام شود به اندازه و هندسه سازه و هدف پیمایش بستگی دارد. برای زیرساخت سکو، توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌ها از ناحیه پاشش به پایین تا خط ته‌نشینی انجام شود؛ و توصیه می‌شود که شامل مکان‌هایی باشد که دور از آندها قرار دارند، ولی همچنان با ROV یا غواص قابل دسترسی هستند. توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌های اضافی در مکان‌های مشاهدهٔ ناهنجاری‌ها حین پیمایش، در نظر گرفته شوند. توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌های بیشتری روی برخی از آندهای نماینده، که پتانسیل‌های فولادی در مجاورت و تماس با آن‌ها اهمیت کمتری دارد، انجام شوند.

1- Spike tip

ر-۴ پیمایش‌های چشمی

بررسی چشمی حفاظت کاتدی ممکن است همراه با پیمایش پتانسیل حفاظت کاتدی یا پیمایشی متفاوت که شامل ثبت‌های پتانسیل نمی‌شود، انجام شود. برای سامانه‌های تولیدی در زیر دریا، عدم وجود زنگ آهن روی سطوح فولاد کربنی و کم‌آلیاژ که به‌وسیله بررسی چشمی تایید شده است، ممکن است برای نتیجه‌گیری درمورد اینکه سامانه حفاظت کاتدی آند گالوانی حفاظت کافی را تامین می‌کند، کافی باشد. توصیه می‌شود که حین پیمایش، باتوجه به مستندات عکاسی به‌عنوان شواهد، برخی از آندهای از قبل تعیین‌شده، از نظر درجه مصرف بررسی شوند. توصیه می‌شود که آندهایی که به‌طور خاص مصرف کم یا زیاد دارند نیز با عکس و مکان مستند شوند. اگر مشخص شد که آندها با رسوبات ضخیم پوشیده شده‌اند، توصیه می‌شود که روی برخی از آندها شستشو با فشار آب انجام شود؛ تا تخمینی درست‌تر از مصرف آن‌ها انجام شود. اگر محصولات خوردگی با شستشوی تحت فشار خارج شوند، آند را می‌توان با استفاده از تصویرسنجی[1] یا لیزر اندازه‌گیری کرد؛ و از ابعاد اندازه‌گیری‌شده برای محاسبه جرم باقی‌ماندهٔ آند استفاده کرد. برای جبران الگوهای خوردگی نامنظم، حفره‌ها و غیره می‌توان از یک ضریب استفاده کرد. هنگام تخمین درصد مصرف آند، توصیه می‌شود که درستی ٪ ۱۰ در نظر گرفته شود؛ که این موضوع مستلزم آگاهی از ابعاد اولیهٔ آند است.

توصیه می‌شود که مقدار رشد موجودات دریایی روی سازه مورد حفاظت حین پیمایش ثبت شود، و توصیه می‌شود که مشاهدات رسوباتِ زنگ یا سایر ناهنجاری‌های مربوط به کنترل خوردگی نیز مستند شوند. عدم وجود رسوبات زنگ آهن در سامانه‌های تولیدی در زیر دریا اهمیتی ویژه دارد؛ زیرا در این سامانه‌ها، پیوستگی الکتریکیِ ناقص به یک یا چند آند تا حد زیادی رایج‌ترین حالت خرابی است و آشکارکردن آن با استفاده از ثبت‌های پتانسیل به‌تنهایی دشوار است. پس از آن، توصیه می‌شود که به هرگونه تجمع زنگ در اجزای تحت فشار سامانه کنترل تولید توجهی ویژه شود. توصیه می‌شود که هرگونه تخریب پوشش، شامل تاول‌زدن بیش از حد یا پوسته‌شدن کلی ثبت شود.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر در مورد آزمون‌های آزمایشگاهیِ مواد آند گالوانیکی به‌منظور صلاحیت‌سنجی عملکرد الکتروشیمیایی و همچنین به‌منظور کنترل کیفیت، به DNV-RP-B401 [16]مراجعه شود.

1- Photogrametry

کتاب‌نامه

[1] EN 50162, Protection against corrosion by stray current from DC systems

[2] ISO 12696, Cathodic protection of steel in concrete

[3] EN 12495, Cathodic protection for fixed steel offshore structures

[4] EN 13173, Cathodic protection for steel offshore floating structures

[5] EN 13636, Cathodic protection of buried metallic tanks and related piping

[6] EN 14505, Cathodic protection of complex structures

[7] EN 12474, Cathodic protection of submarine pipelines

[8] ISO 13174, Cathodic protection of harbour installations

[9] ISO 24656, Cathodic protection of offshore wind structures

[10] ISO 20313, Ships and marine technology - Cathodic protection of ships

[11] EN 15112, External cathodic protection of well casings

[12] API RP 651, Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks

[13] API RP 1632, Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping Systems

[۱۴] استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۸۷۴۹ حفاظت کاتدی- قسمت ۲: اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا

[15] DNV-RP-B401, 2021 Edition, May 2021 - Cathodic protection design

مراجع ارائه‌شده در زیر، فهرستی غیر جامع از مدارک مختلف هستند؛ که به‌عنوان راهنمایی خوب برای استفاده از تکنیک‌های حفاظت کاتدی، شناخته و پذیرفته شده‌اند.

[a] Practical guide for cathodic protection

Author: CEOCOR

Edited in 1991 by expert verlag, 71139 Ehningen bei Böblingen, Germany.

Title: Praktischer Leitfaden für den Kathodischen Korrosionsschutz.

Edited in 1991 by AGHTM, 83 Avenue Foch, 75761 Paris Cedex 16, France.

Title: Guide Pratique de la protection cathodique.

[b] Guide of the measuring techniques in cathodic protection

Author: CEOCOR

Edited in 1994 by ÖVGW, A 1015 Vienna, Schubertring 14, Austria.

Title: Leitfaden der Messtechnik für den kathodischen Korrosionsschutz.

Edited in 1994 by AGHTM, 83 Avenue Foch, 75761 Paris Cedex 16, France.

Title: Guide des techniques des mesures en protection cathodique.

[c] Water and gas mains - Corrosion, degradations and protection

Author: Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux (A.G.H.T.M.)

Edited in 1987 by LAVOISIER, 11 rue Lavoisier, 75384 Paris Cedex 08, France

Title: Les canalisations d'eau et de gaz - Corrosion, dégradation et protection.

Edited in 1992 by ELLIS HORWOOD, Market cross house, Cooper Street, P.O. Box. 19, Chichester, West Sussex 1EB UK.

Title: Water and gas mains - Corrosion, degradation and protection.

[d] Handbook of cathodic protection

Authors: W.v. Baeckmann, W. Schwenk, W. Prinz

Edited in 1989 by VCH Verlagsgesellschaft mbH, 69469 Weinheim, Germany

Title: Handbuch des kathodischen korrosionsschutzes.

Edited in 1995 by Gulf Publishing Company, Houston, Texas 77019-1896, USA

Title: Handbook of cathodic protection.

[e] Cathodic protection

Authors: L. Lazzari, P. Pedeferri

Edited in 1982 by CLUP, Politecnico di Milano

Title: Protezione Catodica

[f] Corrosion and protection of metals

Authors: G. Bianchi, F. Mazza

Edited in 1980 by MASSON ITALIA EDITORI, via G. Pascoli 55, 20133 Milan, Italy

Title: Corrosione e protezione dei metalli.