



استاندارد ملی ایران

**ISIRI**

جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1st. Edition

Institute of Standards and Industrial Research of Iran

چاپ اول

صنایع نفت و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی  
سیستمهای خطوط لوله انتقال  
قسمت 1: خطوط لوله خشکی

**Petroleum and natural gas industries-Cathodic  
protection of pipeline transportation systems-  
Part 1:On-land pipelines**

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

دفتر مرکزی: تهران - خیابان ولیعصر، ضلع جنوب غربی میدان ونک، پلاک 1294، صندوق پستی 14155-6139

تلفن: 5-88794618 (021)

دورنگار: 88887080 و 88887103 (021)

: کرج - شهر صنعتی، میدان استاندارد، صندوق پستی 31585-163

تلفن: 8-2806031 (0261)

دورنگار: 2808114 (0261)

پیام نگار: [standard@isiri.org.ir](mailto:standard@isiri.org.ir)

وب گاه: [www.isiri.org](http://www.isiri.org)

بخش فروش: تلفن: 2818989 (0261) ، دورنگار: 2817878 (0261)

بهاء: ریال

**Institute of Standards and Industrial Research of IRAN**

Central Office: No.1294 Valiaser Ave. Vanak corner, Tehran, Iran

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

Tel: +98 (21) 88879461-5

Fax: +98 (21) 88887080, 88887103

Headquarter: Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163

Tel: +98 (261) 2818989,

Fax: +98 (261) 2818787

Email: [standard@isiri.org.ir](mailto:standard@isiri.org.ir)

Website: [www.isiri.org](http://www.isiri.org)

Sales Dep.: Tel: +98(261) 2818989, Fax: +98(261) 2818787

Price: .Rls.

## به نام خدا

### آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه 1371، تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه<sup>\*</sup>، صاحبان نظران 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 منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی و نهادها و سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش نویس استانداردهای ملی برای نظرخواهی از مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره 5 تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

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

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. مؤسسه می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و واسنج‌های (کالیبره‌کنندگان) وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می‌کند. ترویج سیستم بین‌المللی یکاها، واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این مؤسسه است.

\* مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

<sup>1</sup> International Organization for Standardization

<sup>2</sup> International Electro technical Commission

<sup>3</sup> International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrologie Legal)

<sup>4</sup> Contact Point

<sup>5</sup> Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد  
" صنایع نفت و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سیستمهای خطوط لوله انتقال  
قسمت 1: خطوط لوله خشکی."  
(چاپ اول)

رئیس:

ادب آوازه، عبدالوهاب  
(کارشناس ارشد مهندسی مکانیک)

دبیران:

حشمت دهکردی، ابراهیم  
(دکتری مهندسی متالورژی)  
ایمانیان نجف آبادی، رضا  
(کارشناس مهندسی متالورژی)

سمت و/یا نمایندگی

انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیر مخرب ایران

سازمان انرژی اتمی ایران

انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیر مخرب ایران

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

حاتمی منفرد، علیرضا  
(کارشناس ارشد مهندسی خوردگی)

ظهرایی، سید مهدی  
(کارشناس ارشد مهندسی خوردگی)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
و	پیش گفتار
	مقدمه
	1
	2
	3
	4
	5
	1-5
	2-5
	3-5
	4-5
	5-5
	6-5
	7-5
	8-5
	9-5
	6
	1-6
	2-6
	3-6
	7
	1-7
	2-7
	3-7
	4-7
	5-7
	8

1-8

2-8

3-8

4-8

5-8

6-8

7-8

9

1-9

2-9

3-9

4-9

5-9

6-9

7-9

10

1-10

2-10

3-10

11

1-11

2-11

3-11

4-11

5-11

12

13

1-13

2-13

3-13

4-13

5-13

پیوست الف (الزامی)

پیوست ب (الزامی)

پیوست پ (اطلاعاتی)

پیوست ت (اطلاعاتی)

کتابنامه

پیش گفتار

استاندارد " صنایع نفت و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سیستمهای خطوط لوله انتقال قسمت 1: خطوط لوله خشکی." که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران / انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیر مخرب ایران) تهیه و تدوین شده و در اجلاس کمیته ملی استاندارد مورخ       مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده 3 قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه 1371، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است:

ISO 15589-1:2003 Petroleum and natural gas industries-Cathodic protection of Pipeline transportation systems- Part 1: On-land pipelines



1- ایزو (سازمان بین المللی استاندارد سازی)<sup>1</sup> یک فدراسیون جهانی متشکل از سازمانهای استاندارد ملی (سازمانهای عضو ایزو) است. بطور معمول فعالیت آماده سازی استانداردهای بین المللی از طریق کمیته های فنی ایزو انجام می شود. هر سازمان عضو علاقمند به یک موضوع، که یک کمیته فنی برای آن تاسیس شده، حق داشتن نماینده در آن کمیته را دارد. سازمانهای بین المللی، دولتی و غیر دولتی، در ارتباط با ایزو، نیز در این فعالیت مشارکت می کنند. ایزو در تمام مسائل استاندارد سازی الکترو تکنیکی همکاری نزدیکی با کمیسیون بین المللی الکترو تکنیک<sup>2</sup> (IEC) دارد.

استانداردهای بین المللی بر اساس قوانین ارائه شده در قسمت 2 دستورالعمل های ISO/IEC، پیش نویس می شوند.

مهمترین وظیفه کمیته های فنی آماده سازی استاندارد های بین المللی است. پیش نویس استانداردهای بین المللی توسط کمیته های فنی جهت رای گیری به سازمانهای عضو ارائه می شود. انتشار بعنوان یک استاندارد بین المللی نیازمند تصویب دست کم 75 درصد سازمانهای عضو رای دهنده است.

باید توجه داشت که برخی از اجزاء این مستند ممکن است تحت حقوق انحصاری باشد. ایزو نباید مسئول تشخیص هر یک یا تمام این قبیل حقوق انحصاری باشد.

ISO 15589-1 توسط کمیته فنی ISO/TC 67، مواد، تجهیزات و سازه های دریایی برای صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی، زیر کمیته SC 2، سیستم های خط لوله انتقال، آماده شده است.

ISO 15589-1 تحت عنوان کلی صنایع نفت و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سیستمهای خطوط لوله انتقال، متشکل از قسمتهای زیر است:

- قسمت 1: خطوط لوله خشکی

- قسمت 2: خطوط لوله دریا

درخواستهای رسمی جهت تفسیر (استعلام فنی) هر جنبه از این بخش از استاندارد ISO 15589 بایستی از طریق موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مستقیماً به دبیرخانه کمیته متناظر ISO/TC67/SC2 ارجاع داده شود.

استاندارد بین المللی ISO 15589-1:2003، صنایع نفت و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سیستمهای خطوط لوله انتقال قسمت 1: خطوط لوله خشکی، توسط ترجمه و به عنوان استاندارد ملی یکسان<sup>3</sup> با شماره ایران ایزو 15589-1 سال 1387 (ISIRI/ ISO 15589-1:2008) مورد قبول واقع شده است.

<sup>1</sup> The International Organization for Standardization (ISO)

<sup>2</sup> International Electrotechnical Commission (IEC)

<sup>3</sup> Identical

2- حفاظت کاتدی خطوط لوله به وسیله اعمال جریان مستقیم کافی به سطح خارجی لوله حاصل می گردد، در این صورت پتانسیل فولاد به الکترولیت (فصل مشترک فولاد- الکترولیت ) به سطحی که در آن خوردگی خارجی به یک نرخ ناچیز کاهش می یابد، پائین می آید.

حفاظت کاتدی معمولاً همراه با یک سیستم پوشش محافظ مناسب به منظور حفاظت سطح خارجی خطوط لوله فولادی در مقابل خوردگی، استفاده می شود.

کنترل خوردگی خارجی به صورت عمومی در استاندارد ISO 13623 تشریح شده است.

کاربران این استاندارد باید آگاه باشند که، ممکن است الزامات بیشتر یا متفاوتی برای کاربردهای خاص مورد نیاز باشد. این استاندارد قصد ممانعت از سایر تجهیزات و راه حل‌های مهندسی برای کاربردهای خاص را ندارد، این مورد بویژه جایی که نوآوری یا تکنولوژی توسعه یافته وجود داشته باشد، موضوعیت دارد.

هر کجا که جایگزینی پیشنهاد شد، کلیه انحرافات از این استاندارد باید مشخص گردند.

## صنایع نفت و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سیستمهای خطوط لوله انتقال

### قسمت 1: خطوط لوله خشکی

#### 1 هدف و دامنه کاربرد

این استاندارد الزامات و توصیه‌هایی برای مراقبتهای قبل از نصب، طراحی، مواد، تجهیزات، ساخت، نصب، راه اندازی، بهره‌برداری، بازرسی و نگهداری سیستمهای حفاظت کاتدی خطوط لوله خشکی، همانطور که در استاندارد ISO 13623 تعریف شده، برای صنایع نفت و گاز طبیعی مشخص می‌نماید. این استاندارد برای خطوط لوله خشکی فولاد کربنی و فولاد زنگ نزن مدفون در خاک کاربرد دارد. همچنین می‌تواند در مورد قسمت ورود به خشکی خطوط لوله دریایی که توسط تاسیسات حفاظت کاتدی کنار دریا محافظت می‌شود نیز به کار برده شود. این استاندارد برای به روز آوری‌ها، اصلاحات و تعمیرات سیستمهای خط لوله اجرا شده نیز قابل اجرا می‌باشد.

**یادآوری:** گاهی شرایط خاصی وجود دارد که در آن حفاظت کاتدی غیر موثر یا فقط اندکی موثر است. این شرایط می‌تواند شامل دماهای بالا، پوششهای جدا شده، پوششهای عایق حرارت، حفاظ گذارها، حمله باکتریایی و آلودگیهای غیر معمول در الکترولیت باشد.

#### 2 مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. به این ترتیب آن مقررات جزئی از استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

2-1 ISO 8044, Corrosion of metals and alloys-Basic terms and definitions

2-2 ISO 13623, Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems

2-3 ISO13847, Petroleum and natural gas industries-Pipeline transportation systems-Welding of pipelines

2-4 ASTM G 97, Standard test method for laboratory evaluation of magnesium sacrificial anode test specimens for underground applications.

### 3 اصطلاحات و تعاریف

در خصوص این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO8044 و موارد زیر کاربرد دارند.

#### 1-3

##### پشت بند آند<sup>۱</sup>

ماده ای با مقاومت کم، که ممکن است جاذب رطوبت باشد، به منظور کاهش مقاومت موثر بین آند و الکترولیت و جلوگیری از پلاریزاسیون آند بلافاصله اطراف آند مدفون در خاک ریخته می شود.

#### 2-3

##### پیوند<sup>۲</sup>

فلز هادی، معمولاً مس، که دو نقطه از یک سازه مشابه یا سازه های متفاوت را به هم وصل می کند و معمولاً به منظور ایجاد اتصال الکتریکی بین نقاط استفاده می شود.

#### 3-3

##### سیستم حفاظت کاتدی

سیستمی شامل یک منبع جریان مستقیم و یک آند برای فراهم کردن جریان حفاظتی یک سازه فلزی .

#### 4-3

##### نمونه شاهد<sup>۳</sup>

نمونه فلزی شاهد با مساحت سطح مشخص که به منظور تعیین گستره خوردگی یا تاثیر حفاظت کاتدی اعمال شده، استفاده می شود.

#### 5-3

##### دستگاه قطع جریان مستقیم

---

<sup>1</sup> Anode back fill

<sup>2</sup> Bond

<sup>3</sup> Coupon

دستگاه حفاظتی که اگر سطح ولتاژ از سطوح از پیش تعیین شده افزایش یابد، الکتریسته را هدایت می کند. مثال: باتری های پلاریزاسیون، فاصله های جرقه و مجموعه های دیود .

### 6-3

#### نقطه تخلیه الکتریکی

محل اتصال کابل منفی به سازه حفاظت شده که از طریق آن جریان حفاظتی به منبع خود باز می گردد.

### 7-3

#### آند گالوانیک

الکترودی که جریان حفاظت کاتدی را به وسیله اثر گالوانیک تامین می کند.

### 8-3

#### بستر خاکی

سیستم آندهای گالوانیک با اعمال جریان مدفون یا غوطه ور در خاک.

### 9-3

#### آند جریان اعمالی

الکترودی که جریان را برای حفاظت کاتدی به وسیله جریان اعمالی تامین می کند.

### 10-3

#### ایستگاه جریان اعمالی

ایستگاهی شامل تجهیزاتی که حفاظت کاتدی را به وسیله جریان اعمالی تامین می کند.

### 11-3

#### سیستم جریان اعمالی

سیستمی که حفاظت کاتدی را به وسیله جریان اعمالی تامین می کند.

### 12-3

#### پتانسیل لحظه ای

پتانسیل سازه نسبت به الکترولیت که بلافاصله بعد از متصل شدن تمام منابع اعمال جریان حفاظت کاتدی اندازه گیری می شود.

### 13-3

#### تکنیک اندازه گیری متمرکز

تکنیکی که همزمان پتانسیلهای لوله - الکترولیت و شیبهای پتانسیل عمودی وابسته به آن را اندازه گیری می کند.

یادآوری: تکنیک اندازه گیری متمرکز عیوب پوشش را مشخص می کند و قابلیت محاسبه پتانسیل های بدون IR را در عیوب ایجاد می نماید.

### 14-3

#### افت IR

ولتاژ ناشی از هر جریان که، بین دو نقطه در مسیر فلزی یا افت جانبی در یک الکترولیت مثل خاک، بین یک الکتروود مرجع و فلز لوله، که مطابق با قانون اهم اندازه گیری می شود.

### 15-3

#### پتانسیل پلاریزه شده و پتانسیل IR-Free

پتانسیل اندازه گیری شده سازه نسبت به الکترولیت، بدون خطای ولتاژ ناشی از افت پتانسیل (IR) ، که بدلیل جریان حفاظتی یا هر جریان دیگری بوجود می آید.

### 16-3

#### عایق کردن اتصال

تجهیزات عایق کننده الکتریکی که بین دو شاخه لوله قرار داده می شوند تا از پیوستگی الکتریکی بین آنها جلوگیری شود.

مثال: اتصال عایق تک بلوک، فلنج عایق کننده، کاپلینگ عایق کننده.

### 17-3

#### ایستگاه پایش (مقر آزمایش)

ایستگاهی که در آن امکانات اندازه گیری و آزمایش خط لوله مدفون قرار دارد.

### 18-3

#### پتانسیل وصل

پتانسیل سازه به خاک ، هنگامیکه سیستم حفاظت کاتدی به طور پیوسته عمل می کند ، اندازه گیری می شود.

### 19-3

#### پتانسیل قطع لحظه ای

پتانسیل سازه به الکترولیت که بلافاصله بعد از قطع تمام منابع اعمال جریان حفاظت کاتدی اندازه گیری می شود.

**یادآوری:** این پتانسیل معمولاً بلافاصله بعد از قطع سیستم حفاظت کاتدی و توقف جریان الکتریکی اعمالی به سطوح بدون پوشش فولاد ، اما قبل از کاهش پلاریزاسیون اندازه گیری می شود.

### 20-3

#### پتانسیل حفاظت

پتانسیل سازه به الکترولیت که در آن سرعت خوردگی ناچیز است.

### 21-3

#### الکتروود مرجع

الکتروودی که پتانسیل مدار باز آن تحت شرایط مشابه اندازه گیری پتانسیل سازه نسبت به الکترولیت ثابت است..

### 22-3

#### خاک دور

قسمتی از الکترولیت که به خاطر عبور جریان، بین هر دو نقطه از آن، ولتاژ قابل اندازه گیری وجود ندارد.

**یادآوری:** عموماً این شرایط خارج از محدوده اثر یک الکتروود واقع در خاک، یک سیستم اتصال به زمین، یک بستر جریان اعمالی یا سازه حفاظت شده، به وجود می آید.

### 23-3

#### جریان سرگردان

جریان در مسیری به غیر از جریان حفاظتی مورد نظر

#### 4 گناره ها و اختصارات

a.c. جریان متناوب

CP حفاظت کاتدی

CSE الکتروود مرجع مس - سولفات مس (اشباع)

d.c. جریان مستقیم

SCC ترک ناشی از خوردگی تنشی

SCE الکتروود مرجع کلرور جیوه<sup>1</sup>

#### 5 الزامات طراحی

##### 1-5 کلیات

در پروژه های ساخت جدید، سیستم طراحی حفاظت کاتدی باید قسمتی از طراحی خط لوله و مدیریت خوردگی باشد. جزئیات عایق سازی خط لوله ( برای مثال :محل اتصالات عایق کننده ) و سیستم پوشش محافظ باید در نظر گرفته شود. طراحی، ساخت، نصب، راه اندازی و نگهداری سیستم های حفاظت کاتدی باید توسط کارکنان با تجربه و تائید صلاحیت شده ، انجام شود.

##### 2-5 اطلاعات طراحی

اطلاعات فنی زیر باید هنگام طراحی یک سیستم حفاظت کاتدی جمع آوری و بررسی شوند.  
\_ اطلاعات تفصیلی درباره خط لوله ای که باید حفاظت شود، مانند طول، قطر، ضخامت دیواره، نوع و طبقه بندی مواد، پوشش محافظ، نمودار دمای کاری و فشار طراحی.

---

<sup>1</sup> Calomel



- محصولاتی که باید انتقال داده شوند.
- عمر طراحی مورد نیاز سیستم حفاظت کاتدی .
- نقشه های مرتبط با مسیر خط لوله، که سیستم حفاظت کاتدی موجود، سازه ها و خطوط لوله دیگر (مجاور) و غیره در آن نشان داده شده است.
- شرایط محیطی کار برای تجهیزات حفاظت کاتدی .
- جزئیات نقشه برداری و شرایط خاک، شامل مقاومت خاک.
- شرایط آب و هوا، برای مثال خاک یخ زده.
- احتمال فعالیت جریان زمینی<sup>1</sup>.
- مکان، مسیر و سنجش توان خطوط ولتاژ بالای هوایی یا مدفون در خاک .
- مکانهای شیرها و ایستگاه تنظیم.
- تقاطعهای آب، خط راه آهن و جاده .
- لوله های محافظ<sup>2</sup> که بعد از ساخت باقی می ماند.
- انواع مواد بستر خط لوله.
- انواع مکانهای اتصالات عایق .
- مشخصات سیستمهای جاذب a.c , d.c مجاور (به عنوان مثال: ایستگاه های فرعی<sup>3</sup> برق و ولتاژهای کاری و قطبیت های آنها ) و سایر منابع تداخل جریان .
- نوع و مکان سیستمهای اتصال به زمین .
- در دسترس بودن منبع نیرو .

توصیه می شود اطلاعات زیر نیز در طراحی سیستم حفاظت کاتدی خط لوله بررسی شود:

PH خاک و حضور باکتریهایی که می توانند باعث خوردگی شوند.

نوع و مکانهای سیستمهای اندازه گیری از راه دور مجاور که می تواند برای پایش از راه دور استفاده شوند.

### 3-5 معیار حفاظت کاتدی

#### 1-3-5 کلیات

پتانسیل فلز به الکترولیت که در آن سرعت خوردگی کمتر از 0/01 میلی متر در سال است را پتانسیل حفاظت ( $E_p$ ) می نامند. این سرعت خوردگی به قدر کافی کم است، بنابراین خوردگی عمر طرح در محدوده قابل قبول می باشد. بنابراین معیار حفاظت کاتدی عبارت است از:

<sup>1</sup> Telluric current

<sup>2</sup> Casing pipes

<sup>3</sup> Substation

$$E \leq E_p$$

پتانسیل حفاظت یک فلز به محیط خورنده (الکترولیت) و نوع فلز مورد استفاده بستگی دارد. معیار پتانسیل حفاظت به فصل مشترک فلز/الکترولیت اعمال می شود. به عنوان مثال: یک پتانسیل مستقل از افت پتانسیل در محیط خورنده ( پتانسیل پلاریزه شده / پتانسیل بدون IR ) برخی فلزات در پتانسیلهای خیلی منفی می توانند در معرض تردی هیدروژنی قرار بگیرند، و همچنین آسیب دیدگی پوشش در ولتاژهای خیلی منفی بیشتر می شود. برای این قبیل فلزات، پتانسیل نباید از حد بحرانی پتانسیل  $E_1$  کمتر باشد. در این موارد معیار حفاظت کاتدی عبارت است از:

$$E_1 \leq E \leq E_p$$

### 5-3-2 معیار حفاظت

5-3-2-1 سیستم حفاظت کاتدی باید توانایی پلاریزه کردن تمام قسمتهای خط لوله مدفون را به پتانسیل منفی تر از 850 - میلی ولت نسبت به CSE داشته باشد، و این پتانسیل در طول عمر طراحی خط لوله حفظ گردد. این پتانسیل ها همانهایی هستند که در فصل مشترک فلز به محیط وجود دارند. به عنوان مثال: پتانسیل های پلاریزه شده.

برای جلوگیری از صدمه دیدن پوشش، نباید حد بحرانی پتانسیل از 1200 - میلی ولت نسبت به CSE منفی تر شود تا از اثرات زیان آور تولید هیدروژن و یا PH بالا در سطح فلز اجتناب گردد. برای فولادهای استحکام بالا ( حداقل استحکام تسلیم مشخص شده بیشتر از 550 MPA ) و آلیاژهای مقاوم به خوردگی مثل فولاد زنگ نزن مارتنزیتی و دوفازی<sup>1</sup>، حد بحرانی پتانسیل باید با توجه به اثرات زیان آور بر فلز به علت تشکیل هیدروژن روی سطح فلز مشخص شود. به طور کلی برای فولادهای زنگ نزن و سایر آلیاژهای مقاوم به خوردگی به پتانسیلهای حفاظت مثبت تر از 850 - میلی ولت نسبت به CSE نیاز است، به هر حال برای بیشتر کاربردهای عملی این مقدار می تواند استفاده شود.

برای خطوط لوله ای که در خاکهای بی هوازی قرار دارند و در آن مقدار قابل توجهی باکتری احیاء کننده سولفات (SRB) و یا دیگر باکتریهای دارای اثرات مخرب بر روی خطوط لوله فولادی وجود دارد و یا مضمون به وجود آنها هستیم، برای کنترل خوردگی خارجی، پتانسیل باید منفی تر از 950 - میلی ولت نسبت به CSE باشد.

برای خطوط لوله ای که در خاکهای با مقاومت خیلی بالا قرار دارند، ممکن است پتانسیل حفاظت مثبت تر از 850 - میلی ولت نسبت به CSE در نظر گرفته شود، برای مثال شرح زیر :

$$750 - \text{میلی ولت برای } 100 < \rho < 1000$$

$$650 - \text{میلی ولت برای } \rho \geq 1000$$

که  $\rho$  مقاومت خاک است که با اهم متر بیان می شود.

<sup>1</sup> Dublex

به عنوان یک جایگزین برای پتانسیل های حفاظت داده شده در بالا، می توان از کمینه 100 میلی ولت پلاریزاسیون کاتدی بین سطح خط لوله و الکتروود مرجع در تماس با الکتروولیت، استفاده کرد. شکل گیری و تخلیه پلاریزاسیون باید مطابق با پیوست الف -2-3 اندازه گیری شود.

5-3-2 از به کاربردن معیار پلاریزاسیون 100 میلی ولت در دماهای کاری بالاتر، خاکهای حاوی SRB، یا با جریانهای تداخلی، جریانهای متعادل کننده یا جریانهای telluric، باید اجتناب کرد. شرایط باید قبل از استفاده از این معیار مشخص شوند.

به علاوه، این معیار در خطوط لوله غیر همجنس متصل به هم یا شامل اجزاء فلزی مرکب نباید استفاده شود.

5-3-2-3 تحت شرایط مشخص، خطوط لوله در گستره پتانسیل 650 - میلی ولت تا 750 - میلی ولت بواسطه SCC در PH بالا خسارت می بینند و این مسئله هنگامی که پتانسیل حفاظت مثبت تر از 850 - میلی ولت استفاده می شود، باید مورد توجه قرار گیرد.

5-3-2-4 هر جا که خط لوله با اجزاء ساخته شده از فلزات نجیب تر از فولاد کربنی، مثل سیستمهای اتصال به زمین مسی، اتصال الکتریکی دارد، در هنگام استفاده از تمام معیارهای حفاظت باید دقت کرد.

5-3-2-5 برای خطوط لوله که در دماهای بالای 40 درجه سلیسیوس کار می کنند، ممکن است مقادیر فوق الذکر، پتانسیل حفاظت کافی را فراهم نکند. در این شرایط، معیار جایگزین باید بررسی و به کار گرفته شود.

### **5-3-3 اندازه گیری پتانسیل های حفاظت**

روشهای اندازه گیری باید مطابق با پیوست الف باشد.

سایر الکتروودهای مرجع کاربردی نسبت به CSE ممکن است برای معیارهای گوناگون، به شرط آنکه خواص آنها قابل اطمینان و مستند باشند، استفاده شوند.

اگر تداخل جریان متناوب در خط لوله موجود باشد، خوردگی جریان متناوب حتی اگر پتانسیل حفاظت اعمال شود اتفاق می افتد. (به پیوست ب مراجعه فرمائید)

### **5-4 تحقیقات قبل از طراحی**

بررسی میدانی باید قبل از آماده کردن طرح حفاظت کاتدی خط لوله انجام شود. اطلاعات بدست آمده در طول بررسی های میدانی قبلی مربوط به مسیر خط لوله پیشنهادی می تواند استفاده شود، به شرط آنکه تاریخ و منابع

این قبیل بررسی ها مستند شده باشند. اگر محدوده مورد بررسی تحت تاثیر تغییرات فصلی باشد، این موارد باید در نظر گرفته و سخت ترین شرایط با توجه به شرایط خاک باید در طراحی استفاده شود. گزارش بررسی باید شامل اطلاعات مشخص شده در بند 5-2 باشد. مقادیر مقاومت خاک نمونه باید در عمق خط لوله و در مسیر خط لوله بدست آید و در عمقهای مختلف مکانهای مورد نظر مربوط به بستر آند نیز بدست آید. تعداد اندازه گیری ها باید بر اساس شرایط محلی خاک باشد. اگر تغییراتی در مشخصات خاک باشد، اندازه گیریهای بیشتری باید انجام شود. اگر به علت فعالیت باکتری ها شرایط خورنده پیش بینی می شود، اقدامات لازم شامل آنالیز شیمیایی و باکتریایی خاک باید انجام شود. این الزامات باید در مورد خاکهای حمل شده مورد استفاده در ساخت کانالهای دفن خط لوله نیز رعایت شوند. منابع محتمل جریانهای تداخلی مستقیم و متناوب زیان آور باید بررسی شوند و طراحی باید شامل اندازه گیری هایی به منظور کاهش اثر اینگونه جریانها باشد. پیوست ب باید با توجه به شناسایی و کنترل جریانهای تداخلی به کار برده شود. مکانهایی که خطوط انتقال جریان متناوب ولتاژ بالا یا سیستمهای قدرت جریان متناوب راه آهن با خط لوله متقاطع یا موازی است، باید شناسایی شوند.

## 5-5 عایق کاری الکتریکی

اتصالات عایق کننده باید بالای زمین و تا جایی که امکان دارد در هر دو انتهای خط لوله نصب شود و همچنین باید در محل های زیردر نظر گرفته شوند:

- در اتصالات به خطوط انشعابی،
- بین قسمتهایی از خط لوله با سیستم های پوشش خارجی متفاوت،
- بین قسمتهایی از خط لوله که در انواع مختلف الکترولیت قرار دارد (به عنوان مثال در تقاطع رودخانه )
- در محدوده های با فعالیت تلوریک بالا ،
- در قسمتهایی از خط لوله که به طور متفاوت به وسیله تداخل جریانهای متناوب یا جریانهای مستقیم تحت تاثیر قرار می گیرند،
- بین خطوط لوله که به صورت کاتدی حفاظت شده اند و تاسیسات حفاظت نشده .

اتصالات عایق تک بلوکی باید هر کجا امکان دارد، استفاده شوند. هر اتصال عایق کننده / فلنج عایق کننده باید با وسایل آزمایشی تأمین گردند.

اتصال به زمین جهت ایمنی و اتصال به زمین تجهیزات باید هر دو با سیستم حفاظت کاتدی سازگار باشند. در مناطقی که در آن خطر غیر قابل قبول ولتاژهای بالا در خط لوله می تواند از ظرفیت الکتریکی اتصالات بیشتر شود، برای مثال به علت نزدیکی به سیستمهای قدرت یا آذرخش، اتصالات عایق یا فلنجهای باید با استفاده از اتصال به زمین الکتریکی یا موانع جریان ناگهانی محافظت شوند.

طراحی، مواد، ابعاد و ساخت اتصالات عایق باید مطابق الزامات طراحی در استاندارد ISO 13623 باشد. اگر خط لوله هر نوع سیالی را که هدایت الکتریکی دارد منتقل می کند، برای جلوگیری از خوردگی ناشی از تداخل جریان، اتصالات عایق باید از داخل سمت کاتدی (مناطق که انتظار می رود بیشتر پتانسیل منفی داشته باشد) با یک طول مناسب پوشش داده شوند. تمام آب بندیها، پوششها و مواد عایق باید در مقابل سیال انتقال شونده مقاوم باشند.

مقاومت الکتریکی در راستای اتصالات عایق قبل از نصب که در هوای خشک و با جریان مستقیم 1000 ولت اندازه گیری شده، باید بیشتر از  $10 M \Omega$  باشد.

اگر استفاده از اتصالات عایق تک بلوک عملی نیست، عایق سازی الکتریکی باید با استفاده از بسته عایق سازی فلنج تامین شود. فلنجهای عایق باید به وسیله محافظهای فلنج یا نوارهای محافظ در مقابل ورود گرد و غبار و رطوبت محافظت شوند.

خط لوله تحت حفاظت کاتدی باید از سیستمهای اتصال به زمین مشترک و یا مجتمع بمنظور حفاظت کاتدی ناکافی از نظر الکتریکی عایق شده باشد. مگر بمنظور تامین جریان کافی خط لوله و بحساب آوردن اثرات گالوانیکی نسبت به دیگر سیستمها اقدامات لازم بعمل آمده باشد.

## 5-6 اتصال الکتریکی به زمین

اتصال الکتریکی به زمین تجهیزات نصب شده روی خط لوله حفاظت شده ممکن است به دلایل ایمنی نیاز باشد یا اتصال به زمین خط لوله ممکن است برای کم کردن اثر ولتاژهای الکتریکی القاء شده نیاز باشد.

اگر اتصال الکتریکی ایمنی به زمین نیاز باشد باید توسط نصب باطری های پلاریزاسیون یا مدارهای یکسوکننده مناسب که برای این منظور مشخص و درجه بندی شده اند در مدار زمین، و یا با نصب الکترودهای روی یا فولاد گالوانیزه مجزا و مدفون شده در خاک پشت بند با مقاومت کم و بدون تماس مستقیم با دیگر سیستمهای اتصال به زمین، با سیستم حفاظت کاتدی سازگار شود.

اگر اتصال به زمین به منظور کم کردن اثر ولتاژهای متناوب القاء شده در خط لوله نصب می شود، باید در مکانی که ولتاژهای اندازه گیری شده یا مورد انتظار بالاست، و در جایی که خط لوله رو باز و قابل دسترس به وسیله کارکنان است، انجام شود.

الزامات شناسایی و کنترل تداخل الکتریکی در پیوست ب ارائه شده است.

## 5-7 پیوستگی الکتریکی

ممکن است در موقعیتهای مشخص اتصال در امتداد تجهیزات عایق برای اندازه گیری یا مقاصد دیگر لازم باشد. اگر پیوستگی الکتریکی باید به طور دائمی برقرار باشد، اتصال باید از ایستگاه پایش انجام شود. اگر حفاظت کاتدی بر روی خطوط لوله جوش نشده اعمال می شود، از پیوستگی خط لوله باید اطمینان حاصل گردد.

این مورد باید با نصب اتصالات دائمی در امتداد رابط های مکانیکی مقاومت بالا، با استفاده از روشهای مناسب اتصال انجام شود. پیوستگی خط لوله جوش نشده باید با اندازه گیری مقاومت و پتانسیلکنترل گردد. به پیوست الف مراجعه فرمائید.

## 5-8 الزامات جریان

برای خطوط لوله جدید، جریان کلی مورد نیاز،  $I_{tot}$ ، باید با ارزیابی پارامترهای طراحی و یا تجربیات قبلی سیستمهای مشابه، با استفاده از معادله (1) مشخص گردد:

$$I_{tot} = J \cdot F_c \cdot 2 \cdot l \cdot r_l$$

که در آن:

$J$  دانسیته جریان الکتریکی طراحی برای فولاد بدون پوشش، که بر حسب میلی آمپر بر متر مربع نشان داده می شود.

$F_c$  فاکتور تخریب پوشش، بدون بعد.

$l$  شعاع خارجی خط لوله که بر حسب متر نشان داده می شود.

$L$  طول خط لوله که بر حسب متر نشان داده می شود.

جدول (1) مقادیری برای اثر ترکیب دانسیته جریان طراحی و تخریب پوشش را می دهد که اگر تجارب قبلی مرتبط موجود نباشد، می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

فاکتور تخریب پوشش،  $F_c$ ، شامل اثرات پوشش کارخانه و سازگاری پوشش اتصال درمیدان می باشد.

برای مشخص کردن جریان مورد نیاز برای خطوط لوله موجود هنگامی که شرایط واقعی پوشش اعمالی ناشناخته است، آزمایش تخلیه جریان باید انجام شود.

جدول (1) دانسیته جریان طراحی برای لوله پوشش داده شده، ( $J \cdot F_c$ ) در معادله (1) برای فولاد در خاک با پوششهای خط لوله گوناگون که در طراحی سیستم های حفاظت کاتدی برای دماهای کاری کمتر از 30 درجه سیلیسیوس استفاده می شود.

دانستیه جریان طراحی mA/m <sup>2</sup>			پوشش خط لوله
عمر طراحی 10 سال	عمر طراحی 20 سال	عمر طراحی 30 سال	
0/4	0/6	0/8	آسفالت/ لعاب قیر ذغال سنگ - نوار سرداعمال شده .
0/4	0/6	0/9	اپوکسی با اتصال ذوبی/ اپوکسی مایع
0/08	0/1	0/4	اپوکسی - پلی اتیلن سه لایه اپوکسی - پلی پروپیلن سه لایه
<p>برای عمر طراحی بیشتر از 30 سال، به طور مشابه فاکتورهای بزرگتر باید مورد استفاده قرار گیرد. فرض شده که ساخت و بهره برداری خط لوله در شرایطی است که آسیبهای پوشش حداقل است. برای خطوط لوله با دماهای کاری بالاتر باید مقدار دانسیته جریان در دماهای کاری بالاتر از 30 درجه سیلیسیوس به ازاء هر 10°c سیلیسیوس، 25٪ افزایش یابد. مقادیر جریان طراحی جایگزین اگر قابل اطمینان و کاملاً مستند شده باشد می توانند مورد استفاده قرار گیرند. الزامات دانسیته جریان به مقدار محتوی اکسیژن و مقاومت خاک نیز وابسته است.</p>			

سیستم حفاظت کاتدی می تواند با نصب مرحله ای وسایل حفاظت کاتدی بیشتر طوری طراحی شود که افزایش جریان مورد نیاز به دلیل زوال تصاعدی پوشش را فراهم کند. محاسبات میرایی خط لوله برای معین کردن فاصله بین نقاط تخلیه جریان و آندها باید انجام شود.  
باید به خطر جدا شدن پوشش در طول عمر کاری و نتایج احتمالی به علت خوردگی در اثر حفاظ بوجود آمده از جریان حفاظت کاتدی توجه کرد. مثالهای معمول که در آن این امر می تواند اتفاق بیافتد شامل پتانسیلهای منفی زیاد (بند 5-3-2) یا مواردی از تنشهای زیاد خاک می باشد.

## 5-9 نوع سیستم حفاظت کاتدی و انتخاب مکانها

### 5-9-1 کلیات

حفاظت کاتدی ترجیحاً با نصب سیستم های اعمال جریان انجام می شود. به طور جایگزین حفاظت کاتدی می تواند به وسیله استفاده از آندهای گالوانیک انجام شود. محدودیتهای آنها، در بند 7 ارائه شده است . موارد زیر باید برای محلهای سیستمهای حفاظت کاتدی جریان اعمالی مد نظر قرار گیرند:

- در دسترس بودن منبع تغذیه

- مقاومت خاک در محل بسترهای آبی
- مشکلات توزیع جریان و اثرات حفاظتی رگه های صخره، خاکهای مقاوم بالا، سازه های نزدیک، ترکیبات زمین شناسی ناهمگن و غیره.
- برخورد سیستم با خطوط لوله موجود یا آبی ( شامل مواردی که در مالکیت دیگران می باشد) و سایر توسعه ها
- دسترسی خوب برای نصب یکسو کننده ها و دسترسی خوب به ایستگاههای پایش
- فاصله مناسب بین محل‌های بستر خاک مورد نظر و خط لوله برای بدست آوردن توزیع جریان کافی در طول خط لوله
- وجود مناطق طبقه بندی شده به عنوان مناطق خطرناک در طول مسیر خط لوله
- وجود منابع تداخل جریان

### 5-9-2 حفاظت کاتدی خطوط لوله عایق حرارتی شده

سیستم‌های عایق سازی حرارتی به طور کلی به عنوان سیستم‌های پوشش تعریف شده اند که شامل یک لایه برای عایق سازی حرارتی است.

این عایق می تواند یک لایه اختصاصی اضافه شده به لایه محافظ خوردگی یا یک لایه مثل پلی اورتان یا لاستیک که هم حفاظت خوردگی و هم عایق سازی حرارتی را فراهم می کند، باشد. نیاز و نوع حفاظت کاتدی برای خطوط لوله عایق حرارتی شده باید با یک ارزیابی بیشتر، موارد زیر را مد نظر قرار دهد:

الف) مواد عایق حرارتی مثل فوم پلی اورتان مقاومت الکتریکی بسیار بالایی دارند و حتی اگر آب بخود بگیرند و احتمال دارد حفاظت کاتدی لوله فولادی مورد نظر به دلیل اثر حفاظتی عایق حرارتی با موفقیت انجام نشود. در این قبیل موارد روش کنترل خوردگی جایگزین، باید بررسی شود.

ب) نصب سیستم حفاظت کاتدی، فقط برای حفاظت خط لوله عایق شده می باشد، معمولاً قضاوت دشواری دارد مگر اینکه این نگرانی وجود داشته باشد که عایق حرارتی ممکن است آسیب مکانیکی قابل توجهی توسط شخص ثالث در بر داشته باشد، که این امر منجر به در تماس مستقیم قرار گرفتن لوله و خاک گردد.

پ) اگر یک سیستم حفاظت کاتدی نزدیک یا مجاور سازه موجود و ظرفیت یدکی کافی داشته باشد، آنگاه اتصال خط لوله عایق شده به این سیستم می تواند بررسی گردد.



ت) عایق حرارتی از اتصال به زمین طبیعی ولتاژهای بالا که به وسیله خطوط قدرت مجاور و غیره القاء شده جلوگیری می کند. اگر مراحل اتصال به زمین خط لوله در اطراف مناطق القاء شده ولتاژ انجام نشده باشد آنگاه، این تغییر ولتاژ می تواند در فاصله های قابل توجهی رخ دهد و می تواند باعث خوردگی و یا باعث ایجاد خطر برای کارکنانی که تماس مستقیم با خط لوله دارند، شود.

اندازه گیری پتانسیل حفاظت کاتدی در خطوط لوله عایق حرارتی شده معمولاً نشان دهنده پتانسیلی که در فصل مشترک فلز به الکترولیت درست زیر پوشش وجود دارد نیست. همینطور این پتانسیل ها نباید برای مشخص کردن کارآیی حفاظت کاتدی بر روی خط لوله استفاده شود. در این مورد باید از برخی روشهای دیگر برای تعیین سلامت خط لوله استفاده کرد.

## 6 سیستم های جریان اعمالی

### 6-1 منبع تغذیه

منبع ولتاژ جریان مستقیم باید یک واحد مبدل/ یکسو کننده باشد، که توسط یک منبع جریان متناوب تغذیه می شود. اما منابع ولتاژ متناوب ممکن است بررسی شوند. قبل از مشخص کردن منبع ولتاژ جریان مستقیم موارد ذیل باید مورد توجه قرار گیرند :

- در دسترس بودن و نوع اتصال به منبع جریان متناوب،
- نوع یکسو کننده،
- وسایل اندازه گیری مانند ولت سنجها ، آمپرسنجها ،
- تعداد پایانه های خروجی ،
- نوع سرد کردن ( هوا یا روغن ) ،
- نوع کنترل خروجی ،
- نیاز به نصب قطع کننده جریان ،
- الزامات الکتریکی و ایمنی برای تجهیزات ،
- نیاز به محافظ تغییرات ناگهانی ولتاژ جریان متناوب و یا جریان مستقیم ،
- نیاز به محافظتهای محیطی و محاطی،
- حجم جریان متناوب جریان مستقیم خروجی ( فاکتور موجی<sup>1</sup> قابل قبول ) ،
- شناسایی و دسته بندی جزئیات صفحه .

---

<sup>1</sup> Ripple

**یادآوری:** گرا دیان ولتاژ بالا در خاک مجاور بسترها می تواند برای اشخاص و حیوانات خطرناک باشد .

بطور کلی ، از ولتاژهای بیشتر از 50 ولت (خروجی از یکسو کننده ) باید اجتناب گردد. اگر این امر امکان پذیر نیست ، باید پیامدهای محتمل مربوط به ایمنی ارزیابی گردد .  
مبدل / یکسو کننده ها باید مخصوص سرویس حفاظت کاتدی طراحی شده باشد و باید برای کاربرد مداوم تحت شرایط سرویس دهی متداول، مناسب باشد .

## **2-6 بسترها**

### **1-2-6 کلیات**

بستریهای سیستم حفاظت کاتدی توسط جریان اعمالی باید از نوع عمیق یا سطحی باشد و باید طوری طراحی شده و قرار گرفته باشد که موارد ذیل رعایت شده باشد:

- الف) مقدار و کیفیت مواد باید مناسب با عمر طراحی سیستم حفاظت کاتدی باشد .
  - ب ) مقاومت تا زمینهای دور دست هر بستر باید اجازه حداکثر جریان مورد نیاز محاسبه شده ای را بدهد که بیش از 70 درصد ظرفیت ولتاژمنبع جریان مستقیم در طی عمر طراحی سیستم حفاظت کاتدی نباشد. این محاسبات باید برای بسترآندهای استفاده نشده انجام گیرد.
  - ج) از تداخل مضر بر روی سازه های درون خاک مجاور باید اجتناب گردد.
- در انتخاب مکان و نوع بسترها برای نصب ، شرایط محلی ذیل باید در نظر گرفته شود:

- شرایط خاک و تغییرات مقاومت با عمق ،
- سطوح آبهای زمینی ،
- هر گونه نشانه ای از تغییرات زیاد در شرایط خاک از فصلی تا فصل دیگر ،
- طبیعت نوع زمین،
- حفاظ گذاری (خصوصا برای خطوط لوله موازی)،
- احتمال خسارت از طریق مداخله شخص ثالث.

طراحی اصلی باید شامل محاسبات مقاومت بستر بر اساس دقیقترین اطلاعات موجود در مورد مقاومت الکتریکی خاک باشد .

جریان خروجی از آندها باید بطور مستقل قابل تنظیم باشد .

## 6-2-2 بسترهای عمیق

بسترهای عمیق باید در جاهایی بررسی شوند که:

- شرایط خاک در عمق بسیار مناسبتر از سطح باشد.
- خطر حفاظ<sup>1</sup> توسط لوله های مجاور یا دیگر ساختار مدفون وجود داشته باشد.
- فضای در دسترس برای یک بستر سطحی محدود باشد .
- خطر ایجاد جریانهای تداخلی بر روی تاسیسات مجاور وجود داشته باشد .

طراحی تفصیلی باید شامل دستورالعمل حفاری تا عمق زیاد ، مشخص کردن مقاومت خاک در عمق های مختلف ، پر کردن ناحیه حفاری شده و روشن نصب آندها و پشت بند هادی .  
طراحی و ساخت سوراخهای حفاری شده باید طوری باشد که از انتقال ناخواسته آب بین نواحی مختلف زمین و آلودگی لایه های زیرین اجتناب گردد .

در جایی که لازم باشد ، باید جداره فلزی برای پایدار کردن ناحیه سوراخهای حفاری شده در قسمتهای فعال بستر ، استفاده شود. این جداره فلزی باید از هر سازه ای در سطح از لحاظ الکتریکی عایق بندی شود .

**یادآوری:** جداره فلزی تنها بصورت موقت پایداری سوراخ حفر شده را فراهم می کند، زیرا فلز توسط جریان مستقیم خورده خواهد شد .

اگر پایداری دائمی مورد نیاز باشد جداره های سوراخ شده غیر فلزی باید استفاده شود .  
در محاسبه مقاومت بستر ، اطلاعات مقاومت خاک مربوط به عمق در نقطه میانی طول فعال باید استفاده شود و احتمال خاکهای چند لایه ای با مقاومت خاک کاملاً متفاوت، مورد توجه قرار گیرد.  
بسترهای عمیق باید توسط لوله های تهویه کافی تجهیز شوند تا از انسداد گاز بین آندها و پشت بندهادی جلوگیری شود.

## 6-2-3 بسترهای سطحی

بسترهای سطحی باید در جایی بررسی شوند که :

- مقاومت خاک نزدیک سطح بسیار مناسبتر از مقاومت خاک در عمق یک بستر عمیق می باشد.
- خطر حفاظ توسط لوله های مجاور یا دیگر زه های مدفون وجود نداشته باشد.
- فاصله کافی برای بستر سطحی موجود باشد.

---

<sup>1</sup> Shielding

- خطر تداخل جریانهای تولید شده توسط تجهیزات نزدیک وجود نداشته باشد.

آندهای بستر سطحی باید به صورت افقی یا عمودی نصب شوند. در هر صورت بالای پشت بند هادی باید حداقل یک متر زیر سطح زمین باشد.

در محاسبه مقاومت بستر، اطلاعات مقاومت خاک مربوط به محور مرکزی (بستر افقی) یا نقطه میانی (بستر عمودی) آندها باید مورد استفاده قرار گیرد و احتمال خاکهای چند لایه با مقاومتهای خاک بسیار متفاوت مد نظر قرار گیرد.

طراحی کامل باید شامل دستورالعملی برای ساخت بستر و نصب آندها و پشت بند هادی باشد.

## 6-2-4 آندهای جریان اعمالی و پشت بند هادی

مواد آند باید از فهرست زیر انتخاب شوند:

- چدنهای آلیاژی پر سیلسیم ، حاوی کرم ، در خاکهایی با مقدار کلراید زیاد؛
- مگنتیت ؛
- گرافیت؛
- تیتانیوم پوشش داده شده با مخلوط فلز - اکسید ؛
- نیوبیم / تیتانیوم پلاتنیزه شده ؛
- پلیمرهای هادی ؛
- فولاد .

مواد دیگری ممکن است استفاده شود اگر کاربردشان متناسب با شرایط کاری مشخص ، قابل اعتماد بوده و مستند شده آمده باشد .

ابعاد و جرم ماده مشخص باید 125٪ جریان خروجی آند مورد نیاز که برای برآوردن عمر طراحی شده برای سیستم حفاظت کاتدی خاص مورد نیاز را ارائه نماید.

پشت بندهای ترکیبات کربنی یا مواد هادی دیگر باید استفاده شود مگر اینکه شرایط خاک مقاومت کافی به بستر بدهد ، خاک همگن و مصرف یکنواخت آندها مورد انتظار است .

اثرات محیطی حل شدن مواد آند و شکست مواد پشت بند هادی باید مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از آندهای پلیمری هادی پیوسته ، باید خصوصاً برای خاکهای با مقاومت بسیار بالای اطراف لوله مورد توجه قرار گیرد .

## 3-6 کنترل جریان خروجی و توزیع

### 1-3-6 کلیات

خروجی جریان اعمالی باید توسط ولتاژ خروجی در یکسو کننده و پتانسیل اندازه گیری شده مربوطه در طول خط لوله، کنترل شود.

### 2-3-6 توزیع جریان در چند خط لوله

در جایی که بیش از یک خط لوله بصورت کاتدی حفاظت می شود، جریان برگشتی از خطوط لوله باید بصورت مستقل قابل تنظیم باشد. در این موارد، خطوط لوله باید از یکدیگر جدا و عایق شده و توسط یک اتصال منفی تکی به منبع جریان، آماده شوند.

مقاومت ها باید در نقاط تخلیه منفی نصب شوند تا جریان هر یک از خطوط لوله مجاور را بصورت منفرد متعادل کنند. هر نقطه تخلیه منفی باید توسط یک تغییر دهنده جهت جریان و یک دیود تجهیز شود تا از اثرات متقابل خطوط لوله در حین اندازه گیری پتانسیل وصل و پتانسیل قطع، جلوگیری گردد. (به پیوست الف مراجعه نمائید) تمام کابل ها، دیودها و تجهیزات اندازه گیری جریان باید در جعبه توزیع یا در محل مبدل یکسو کننده، نصب شده باشد.

### 3-3-6 کنترل پتانسیل خودکار

منبع ولتاژ جریان مستقیم می تواند توسط کنترل کننده خودکار پتانسیل تجهیز شود، که باید به یک الکتروود مرجع دائم واقع در زیر خاک و نزدیک به خط لوله، وصل شده باشد. الکتروودهای مرجع باید بصورت منظم واسنجی شوند.

مدار اندازه گیری پتانسیل باید حداقل مقاومت ورودی  $M\Omega 100$  داشته باشد. سیستم کنترل الکترونیک باید دقت  $mV_{+10}$  داشته باشد و توسط مدارهای قابل تنظیم محدود کننده ولتاژ و جریان و یا زنگ های خطر تجهیز شده باشد تا خط لوله را در برابر پلاریزاسیون در خارج از محدوده تعیین شده در هنگامیکه الکتروود مرجع خراب می شود محافظت کند. یک وسیله اندازه گیری نصب شده بر روی پانل باید تهیه شود تا اندازه گیری پتانسیل لوله به خاک امکان پذیر شود.

### 4-3-6 کنترل خودکار جریان

منبع ولتاژ جریان مستقیم می تواند توسط کنترل کننده جریان تجهیز شود تا جریان خط لوله یا سیستم آند را تنظیم کند. کنترل خودکار جریان نباید به تنهایی برای تنظیم شار جریان در جایی استفاده شود که رطوبت یا دیگر متغیرها در نزدیک خط لوله می توانند باعث تغییرات پتانسیل شوند.

## 7 سیستم های آند گالوانیک

### 7-1 کلیات

سیستم های آند گالوانیک باید برای خطوط لوله با قطر کوچک، یا در طول کوچکی از خطوط لوله با قطر بزرگتر که توسط پوشش هایی با کیفیت بالا پوشش داده شده اند، در خاکهایی با مقاومت پایین ، آب ، باتلاق ها و مرداب ها، مورد توجه قرار گیرند .  
استفاده از آندهای گالوانیک همچنین ممکن است در موارد زیر بررسی شود :

- اگر هیچ نیرویی برای اعمال جریان در دسترس نباشد،
- برای حفاظت موقت خطوط لوله نصب شده جدید ،
- برای حفاظت موقت خطوط لوله موجود ،
- اگر نگهداری تجهیزات الکتریکی مربوط به جریان اعمالی غیر عملی باشد ،
- برای حفاظت موضعی ( نواحی بحرانی ) تا مکمل سیستم های جریان اعمالی باشد ،
- در جایی که سیستم های جریان اعمالی از راه دور نتوانند فراهم شوند ،
- در گودالهای آب ، جاهایی که خاک اطراف خط لوله می تواند یخ بزند ( زمین های یخ زده ) ،
- در زیر پوشش های حرارتی در خطوط لوله عایق شده در برابر حرارت .

برای سیستم های آند گالوانیک ،موارد زیر باید بکار بسته شوند :

- مقاومت خاک یا پشت بند آند باید به اندازه کافی به منظور عملکرد صحیح آندهای گالوانیک پائین باشد .
- نوع آند انتخاب شده باید توانایی فراهم آوردن پیوسته بیشینه جریان مورد نیاز را داشته باشد؛
- جرم کل ماده آند باید برای فراهم کردن جریان مورد نیاز، برای عمر طراحی شده سیستم ،کافی باشد.

آندهای گالوانیک باید بر حسب نوع ماده ( به عنوان مثال نام تجاری ) جرم ماده (بدون پشت بند آند) و شماره ذوب ، نشانه گذاری شوند . مستند سازی کامل تعداد ، انواع ، جرم، ابعاد ، آنالیز شیمیایی و اطلاعات اجرایی آندها باید انجام گیرد.  
اثرات محیطی آندهای گالوانیک باید مورد بررسی قرار گیرد.

### 7-2 آندهای روی

ترکیب شیمیایی نوعی آندهای روی در جدول 2 ارائه شده است .

جدول 2- ترکیب شیمیایی نوعی آلیاژ استفاده شده برای آندهای روی

ترکیب شیمیایی کسر وزنی %		عنصر
بیشینه	کمینه	
0/005	----	مس
0/50	0/10	آلومینیوم
0/005	---	آهن
0/07	---	کادمیم
0/006	---	سرب
ما بقی		روی
مقدار هر یک از سایر عناصر باید حداکثر 0/02 درصد ( کسر وزنی ) باشد		

آلیاژهای قابل اطمینان و مستند دیگر در خاکهای مشابه ممکن است استفاده و اجرا شوند .  
اگر مقاومت الکترولیت بیش تر از  $30 \Omega.m$  باشد آندهای روی نباید استفاده شود مگر اینکه ارزیابی مهندسی یا آزمایشهای میدانی اثبات کنند که الزامات طراحی هنوز می توانند، برآورده شوند .

### 7-3 آندهای منیزیم

آندهای منیزیم باید از لحاظ اجرایی مطابق با استاندارد ASTM G97 آزمایش شوند . مقادیر بدست آمده از آزمایش باید پایه و اساسی برای طراحی سیستم باشد . ترکیب شیمیایی نوعی آندهای منیزیم در جدول 3 ارائه شده است .

جدول 3- ترکیب شیمیایی نوعی آلیاژ استاندارد استفاده شده برای آندهای منیزیم

ترکیب شیمیایی کسر وزنی %		عنصر
بیشینه	کمینه	
0/02	----	مس
6/7	5/3	آلومینیوم
0/1	---	سیلیسیم
0/003	---	آهن
---	0/15	منگنز
0/002	--	نیکل
3/5	2/5	روی
ما بقی		منیزیم
مقدار بقیه عناصر هر یک باید حداکثر 0/005 درصد ( کسر وزنی ) باشند		

آلیاژهای قابل اطمینان و مستند دیگر در خاکهای مشابه ممکن است استفاده و اجرا شوند. اگر مقاومت الکترولیت بیشتر از  $150 \Omega.m$  باشد منیزیم نباید استفاده شود مگر اینکه ارزیابی های مهندسی یا آزمایشهای میدانی ثابت کنند که الزامات طراحی هنوز می تواند برآورده شود .

#### 4-7 پشت بند آند

پشت بند آند برای آندهای گالوانیک باید شامل مخلوطی از گچ<sup>1</sup>، خاک رس بنتونیتی و سولفات سدیم باشد . ترکیب شیمیایی مشخص پشت بند آند باید بصورتی مشخص شود که مقاومت به کمینه و حفظ رطوبت به بیشینه برسد .

ترکیب شیمیایی مورد نیاز برای ماده پشت بند آند باید در مشخصات فنی آند آورده شده باشد .

#### 5-7 کابلها و اتصالات کابل

کابلهای آند گالوانیک باید از طریق جعبه اتصال و رابط یا shunt قرار داده شده در مدار داخل جعبه ، به خط لوله ، متصل شده باشند .

#### 8 تجهیزات پایش

##### 1-8 کلیات

تجهیزات پایش باید در امتداد مسیر خط لوله نصب شده باشد تا اطمینان دهد که حفاظت کاتدی در تمام نواحی اعمال شده است .

##### 2-8 ایستگاههای پایش (جایگاههای آزمایش)

برای پایش پتانسیل های لوله به خاک ، جریان و تداخل های احتمالی ، ایستگاههای پایش باید در فواصلی کمتر از 3 کیلومتر ، در امتداد خط لوله نصب شوند . در نواحی صنعتی یا شهری ، توصیه نمی شود که این فواصل، بیشتر از یک کیلومتر باشد .

ایستگاههای پایش همچنین باید در موارد خاص، نصب شوند، مانند :

---

<sup>1</sup> Gypsum



- متقاطع یا موازی شدن با سیستم های کشش جریان متناوب یا مستقیم،
- اتصالات عایق ،
- اتصال به، سیستم های اتصال به زمین ،
- پوششهای فلزی،
- اتصالاتی به دیگر خطوط لوله یا تجهیزات،
- اتصالاتی با کوبن ها و زمین .

ایستگاههای پایش همچنین توصیه می شود در جایی نصب شود که خط لوله :

- دیگر خطوط لوله را قطع می کند ،
- تقاطع جاده های بزرگ و خاکریزها(سد)،
- تقاطع با خط آهن ها و رودها،
- عبور از نزدیک سازه های دیگر.

اگر خطوط لوله بصورت موازی باشند، ولی نه در یک کانال ، هر خط لوله باید توسط دستگاههای پایش پتانسیل جدا تجهیز شود .

عموما ، ایستگاههای پایش باید در بالای خط لوله نصب شود .

از هر ایستگاه پایش ، حداقل 2 کابل مجزا باید به خط لوله وصل شده باشد. تمام کابل ها باید توسط رنگ یا برچسب علامتگذاری شوند .

### **8-3 اتصال به سایر خطوط لوله**

یک تجهیز اتصال دهنده باید در تقاطع با دیگر خطوط لوله مورد توجه قرار گیرد . آن باید شامل دو کابل مجزا متصل به هر یک از خطوط لوله ، منتهی به یک ایستگاه پایش با تجهیزاتی که اگر نیاز باشد اتصالات مستقیم یا مقاومتی بر قرار کند،باشد .

### **8-4 تجهیزات آزمایش در تقاطع های پوشش دار فلزی**

برای تشخیص تماس های بین پوشش فلزی و خط انتقال ، دو کابل آزمایش باید بر روی دو انتهای پوشش نصب شود و دو کابل آزمایش باید بر روی خط لوله در دو انتهای پوشش نصب شوند . تمام کابلها باید منتهی به یک ایستگاه پایش شوند .

## 8-5 تجهیزات آزمایش در اتصال های عایق

یک کابل اتصال ( متشکل از دو کابل ) باید در هر طرف تمام اتصالات عایق نصب شود . تمام کابلها باید بصورت مجزا منتهی به یک ایستگاه پایش منفرد ، با وسایلی برای برقراری ارتباطات مستقیم یا مقاومتی و متوقف کننده های تناوبی، شوند.

## 8-6 وسایل آزمایش نقطه تخلیه الکتریکی

در نقاط تخلیه الکتریکی هر اتصال منفی به خط لوله معمولا در منبع تغذیه جریان مستقیم باید توسط تجهیزات اندازه گیری جریان مجهز شده باشد . در جایی که چندین اتصال منفی نصب شده باشد، قطع کننده های مجزا و دیودهای قطع کننده باید تهیه شده باشد .

در نقطه تخلیه الکتریکی، یک ایستگاه پایش باید نصب شود که از یک کابل آزمایش جدا متصل شده به خط لوله، برای اندازه گیری پتانسیل نقطه تخلیه الکتریکی استفاده می کند . اگر این نقطه تخلیه الکتریکی بر روی یک مقطع روی زمین خط لوله نصب شده باشد ، ایستگاه پایش مورد نیاز نیست .

## 8-7 سایر تجهیزات پایش

در جایی که خطوط لوله از میان نواحی دوردست گذر می کنند ، یا دست یافتن به یک اصول قانون مند مشکل باشد ، پایش از راه دور توسط کابلهای طویل ، اندازه گیری از راه دور یا دیگر سیستم های انتقال اطلاعات ، همراه با الکترودها و کوپن های مرجع دائمی باید استفاده شود .

## 9- تجهیزات ویژه

### 9-1 حفاظت موقت

اگر نصب و دایر کردن سیستم حفاظت کاتدی دائمی نتواند در یک دوره 6 ماهه پس از قرار گرفتن خط لوله در خاک به اتمام رسد ( یا یک دوره کوتاهتر اگر خطر خوردگی بیشتر باشد )، یک سیستم حفاظت کاتدی موقت باید نصب شود . این چنین سیستمی باید به منظور حفاظت در زمان ساخت خط لوله تا زمان دایر شدن سیستم حفاظت کاتدی دائمی طراحی شود .

اتصال های آند باید طوری ساخته شوند که آنها را بتوان به راحتی در طی و یا بعد از دایر شدن سیستم دائمی متصل یا قطع نمود.

تجهیزات پایش دائمی متصل شده به خط لوله باید بطور همزمان به خط لوله وصل شود تا پایش عملکرد سیستم موقت امکان پذیر شود .

## 9-2 غلاف های محافظ

برای حفاظت کاتدی موثر ، استفاده از غلاف های خط لوله باید کمتر شود . اگر استفاده از آنها اجتناب ناپذیر بود ، غلاف ها باید طوری طراحی شوند که کمترین تداخل یا ممانعت از سیستم حفاظت کاتدی را ایجاد کنند. خط لوله داخل غلاف باید یک پوشش با کیفیت بالا برای حفاظت در مقابل خوردگی داشته باشد . غلافهای فولادی باید توسط جدا کننده های غیر فلزی از لوله عایق الکتریکی شوند و نباید پوشش داده شوند . برای کمینه کردن خطر ورود آب و جمع شدن آن در غلافها، در پوششهای درزگیر و لوله های تهویه باید نصب شوند. راه دیگر اینکه ، فضای بین غلاف و خط لوله باید توسط ماده ای با خواص محافظ در برابر خوردگی دراز مدت مناسب ، پر شود .

**یادآوری:** یک غلاف فولادی بدون پوشش می تواند جریان حفاظت کاتدی را به خط لوله هدایت کند . اگر یک پوشش بیرونی به غلاف فولادی اعمال شود، غلاف نمی تواند جریان حفاظت کاتدی را به خط لوله درون غلاف منتقل کند . حفاظت کاتدی لوله انتقال، درون غلاف می تواند با اتصال غلاف به زمین توسط میله های فولادی اتصال به زمین، بهبود بخشیده شود .

برای غلافهای غیر فلزی ( و غلافهای فولادی پوشش داده شده ، اگر استفاده شود)، حفاظت کاتدی باید برای خط لوله درون غلاف ، توسط نصب آندهای گالوانیک یا آندهای پلیمری جریان اعمالی در امتداد پائین لوله ، همراه با یک الکتروود مرجع درون غلاف ، فراهم شود. آندهای گالوانیک باید توسط یک سیم درون ایستگاه پایش به خط لوله متصل شوند . سیم الکتروود مرجع باید به ایستگاه پایش برگردد و منتهی به یک ارتباط مجزا شود . برای غلافهای بتنی ، جریان حفاظت کاتدی می تواند از میان بتن عبور کند، اگر به مقدار کافی هادی بوده و اگر هیچ ارتباط فلزی بین میلگرد و خط لوله نباشد .

## 9-3 خطوط تغذیه موازی یا سیستم های کشنده جریان متناوب

اگر خط لوله بصورت موازی ، یا متقاطع با مسیر خطوط تغذیه ولتاژ بالا یا سیستم های کشنده جریان متناوب، عبور کند ولتاژهای متناوب بزرگی می تواند بر روی خط لوله از طریق القای الکترومغناطیسی یا انتقال از طریق عیوب الکتریکی موضعی متصل به زمین، ایجاد شود . اثرات این چنین، باید بررسی شود و اثرات مشابه آنها به روی بی عیبی خط لوله و ایمنی کارکنان باید مشخص شود (به پیوست ب مراجعه نمائید).

## 9-4 حفاظت از آذرخش

برای حفاظت اتصالات عایق شده و تجهیزات حفاظت کاتدی در حوزه فعالیت آذرخش محافظهای آذرخش باید نصب شود . متوقف کننده های ناگهانی (به بند 5-9 مراجعه کنید) باید بر روی اتصالات عایق شده و ترمینال

های خروجی منبع ولتاژ جریان مستقیم، نصب شود. این اقدامات باید نیاز متعادل کننده پتانسیل بین خط لوله، آندها، منبع های قدرت، الکترودهای مرجع و غیره را در حین ایجاد آذرخش، به حساب آورند.

### 9-5 متوقف کننده های ناگهانی

متوقف کننده های ناگهانی برای جلوگیری از حضور ولتاژهای بالا در خطوط لوله از طریق عیوب سیستم های قدرت الکتریکی مجاور یا جرقه های آذرخش، باید از نوع فاصله-جرقه ای باشد و باید بصورت ذیل طراحی شده باشد:

- ولتاژ شکست ناگهانی الکترودها باید پایین تر از اتصالات ایزوله ای باشد که بر روی آن سوار شده اند.
- فاصله- جرقه ای باید توانایی تخلیه اشتباهات مورد انتظار و یا جریان های آذرخش را بدون ایجاد خسارت داشته باشد.
- فاصله- جرقه ای باید کاملاً محصور بوده تا مانع ایجاد جرقه در اتمسفر باز شود و از ورود رطوبت به فواصل- جرقه ای جلوگیری کند.
- طول کابل باید کافی باشد.
- وسایلی غیر از نوع فاصله- جرقه ای ممکن است استفاده شوند اگر قابل اطمینان بوده و به نحو مناسب مستند شده باشند.

### 9-6 کابلهای حفاظت کاتدی و اتصال های کابل

کابلها باید بدون پیچ و تاب خوردگی و در خاک نرم یا ماسه، در عمق حداقل 0/5 متر یا مطابق مقررات محلی، هر کدام عمیق تر است، قرار گیرند. کابلهای قرار گرفته در زیر خاک باید یک طول پیوسته بدون وصله باشد و نباید در مجاورت کابلهای قدرت قرار گیرند. کابلهای آند جریان اعمالی باید به کابل تغذیه مثبت درون یک جعبه تقسیم بالای زمین وصل باشد تا پایش جریان امکان پذیر گردد. راه دیگر اینکه ممکن است، اتصالات بین کابل مثبت به مبدل یکسو کننده و هر یک از کابلهای آند، در زیر زمین با استفاده از خطوط کاملاً محصور شده باشد.

مسیرهای کابل باید توسط علامتهای مشخصه کابل که حدوداً در فواصل 100 متری و در هر تغییر مسیری نصب می شوند، مشخص شوند.

کابلها باید از مس ساخته شده باشند و باید عایق بندی شده و غلافدار باشند تا شرایط متداول شیمیایی و مکانیکی ( خاک ) را تحمل کنند. کابلها باید طوری سائز بندی شوند که هیچ افت ولتاژ اضافی اتفاق نیفتد که باعث کاهش ظرفیت سیستم شود. کمینه اندازه هادی برای کابلهای اندازه گیری باید 4 میلیمتر مربع باشد. برای اتصالات چند تایی، سطح مقطع هر هادی باید 2/5 میلیمتر مربع باشد.

کمترین اندازه هادی برای کابل‌هایی که جریان اعمالی را منتقل می کنند باید 16 میلیمتر مربع باشد . برای کابل‌های آندهای گالوانیک کمینه سطح مقطع باید 4 میلیمتر مربع باشد . کابل‌های آندهای گالوانیک باید در یک جعبه توزیع روی زمین به خط لوله متصل شوند تا امکان پایش جریان و قطع هر یک از آندها میسر شود .

اتصالات کابلها به خط لوله باید طوری طراحی شده باشد که از استحکام مکانیکی کافی و پیوستگی الکتریکی اطمینان حاصل نماید و از ایجاد خسارت به لوله در نقطه اتصال اجتناب نماید. از بین بردن پوشش محافظ از لوله باید در کمینه نگه داشته شود . پس از نصب اتصالات کابل به لوله ، پوشش باید توسط یک ماده پوشش مناسب تعمیر شود . دستورالعمل کامل اتصال کابل به خط لوله باید در طراحی حفاظت کاتدی ارائه شده باشد.

دستورالعمل‌های جوشکارها و جوشکاری باید مطابق با استاندارد ISO 13847 برای هر فرآیند کاربردی جوشکاری، تأیید شده باشد . جوشکاری اتصالات کابل نباید در خم ها یا در 200 میلیمتری خط جوش لوله انجام پذیرد .

اتصالات الکتریکی زیرزمین باید محصور یا توسط ماده ای که با پوشش خط لوله سازگار است، پوشش داده شده باشد . هنگامیکه جوشکاری ترمیم بکار رفته است ، دستورالعمل جوشکاری باید طوری باشد که هر نوع نفوذ مس به مواد خط لوله، کمتر از 1 میلیمتر باشد و سختی موضعی خط لوله در گستره مشخصات فنی لوله باقی بماند . شارژ جوش ترمیم نباید بیشتر از 15 گرم باشد . اگر نیاز باشد که کابل‌هایی با سطح مقطع بزرگتر از 16 میلیمتر مربع متصل شوند، هسته آنها باید به تعدادی رشته های کوچکتر تقسیم شود که هر کدام کمتر از 16 میلیمتر مربع بوده و بصورت جداگانه جوشکاری شوند . جوشکاری ترمیم نباید بر روی لوله هایی از آلیاژهای مقاوم به خوردگی انجام شود .

برای جوشکاری ترمیم در خطوط لوله در حین کار، اول باید یک دستورالعمل ایمنی مطابق موارد زیر تهیه شود:

- الزامات آزمایش برای سلامت دیواره لوله قبل از جوشکاری؛
  - انتقال و دفع حرارت توسط سیال درون خط لوله ؛
  - اثری، در صورت وجود، که حرارت جوشکاری ممکن است بر روی سیال داشته باشد ( بطور مثال برای ترکیبات شیمیایی خاص)؛
- روش های دیگر مانند لحیم کاری سخت<sup>1</sup> میخی، لحیم کاری نرم<sup>2</sup>، پیوندچسبی یا جوشکاری نفوذی ممکن است استفاده شود؛ مشروط بر آنکه دستورالعمل کامل و اجرا قابل اطمینان و به نحو مناسب مستند شده باشد.

## 9-7 ایستگاههای پایش و جعبه های توزیع

<sup>1</sup> Brazing

<sup>2</sup> Soldering

ایستگاههای پایش و جعبه های توزیع در صورت نیاز باید فضای کافی و پخش دمایی برای انتهای کابلهای آزمایش و برای نصب کابلهای اتصال و مقاومتها، داشته باشند. نیاز به فضای اضافی برای جا دادن دستگاههای جمع کننده اطلاعات، اطلاعات موقت، زمان سنجها و دیگر تجهیزات آزمایش باید مورد توجه قرار گیرد. ایستگاههای پایش و جعبه های توزیع تا جایی که امکان دارد باید توسط درهای ورودی یا درپوشهای قفل شونده تجهیز شوند.

جعبه های توزیع باید روی زمین نصب شوند و باید به تمام تجهیزات داخلی دسترسی وجود داشته باشد. ایستگاههای پایش و جعبه های توزیع باید مقاوم در برابر شرایط آب و هوایی باشند تا بدترین شرایط محیطی را تحمل کنند.

ایستگاههای پایش و جعبه های توزیع باید در تمام فصول قابل دسترس باشند و باید طوری طراحی شده و قرار گرفته باشند که تخریب و خسارت تصادفی کمینه باشد.

جعبه های توزیع و ایستگاههای پایش استفاده شده برای اتصال کابلهای حامل جریان باید بیرون از مناطق خطر ناک باشند، یا اگر این امر امکان پذیر نیست، باید برای این نوع ناحیه الکتریکی تأیید شده باشند.

## 10- راه اندازی

### 10-1 کلیات

راه اندازی شامل آزمایش تمام تجهیزات حفاظت کاتدی، تجهیزات جانبی و سیستم ها که به منظور حصول اطمینان از اینکه خط لوله مطابق با متغیرهای طراحی، محافظت می شود، می باشد.

### 10-2 آزمایشهای تجهیزات

قبل از انرژی دادن به سیستم حفاظت کاتدی، تجهیزات زیر باید آزمایش شوند:

- الف) مبدل - یکسو کننده ها و ایستگاههای تخلیه الکتریکی؛
- اندازه گیری مقاومت عایق نسبت به زمین (کمینه باید  $10 M\Omega$  در دمای 30 درجه سلیسیوس باشد)؛
- اندازه گیری مقاومت الکتریکی اتصالات زمین؛
- بررسی محکمی پیچ ها و مهره ها؛
- بررسی اینکه تجهیزات جانبی بصورت ایمن سوار شده باشد؛
- بررسی عملکرد صحیح وسایل یکسو کننده (دیود)؛
- بررسی محدوده کامل جریان خروجی که می تواند بدست آید؛
- بررسی قطبیت های صحیح کابلهای خط لوله و بستر.

ب) در مورد یکسو کننده ها - مبدل سرد شونده توسط روغن موارد زیر نیز بررسی شود:

- سطح روغن;

- استحکام دی الکتریک روغن;

پ) موثر بودن اتصالات عایق شده، عایق شدن الکتریکی وسایل متصل به زمین و غلافهای فلزی;

ت) مقاومت به زمین بستر;

ث) ایستگاههای پایش;

- بررسی علامتگذاری درست کابلها و پایانه ها;

- بررسی صحت اتصالات کابل و درستی تجهیزات ایمنی (عایق بندی و اتصال به زمین، حفاظت در مقابل

آذرخش، طبقه بندی ناحیه الکتریکی مربوطه);

- بررسی محکمی پایانه های کابل.

### 10-3 آزمایش های سیستم

آزمایشهای راه اندازی شامل فعالیتهایی است که باید قبل و بعد از انرژی دهی به سیستم حفاظت کاتدی انجام شود. پیوست الف جزئیات اندازه گیری ها را ارائه می کند.

اندازه گیری پتانسیلهای خوردگی باید در ایستگاههای پایش قبل از انرژی دهی به سیستم حفاظت کاتدی انجام شود. هنگامی که اندازه گیری های پتانسیل خوردگی انجام می شود، تمام سیستمهای حفاظت کاتدی موقت باید از مدار خارج و خط لوله باید از حالت پلاریزه به طور کامل خارج شود<sup>1</sup>. (شکل الف-1 را ببینید) بعد از انرژی دهی سیستم حفاظت کاتدی، جریان باید قدم به قدم تا هنگامی که پتانسیل در نقطه تخلیه الکتریکی به حد پتانسیل بحرانی برسد، تنظیم گردد. یکسو کننده مبدل باید در این تنظیم باقی بماند تا خط لوله پلاریزه گردد. اقدام فوری باید انجام گیرد اگر تغییرات مثبت در پتانسیل خط لوله بعد از انرژی دهی یکسو کننده مبدل، حادث شود. پیوست پ اطلاعات در مورد برخورد با برخی مشکلات موردی ارائه می دهد. هنگامی که سیستم حفاظت کاتدی انرژی دهی شد و در سطح طراحی تنظیم شد، ولتاژ خروجی یکسو کننده و جریان خروجی باید ثبت گردند. پتانسیل لوله به خاک باید به منظور تشخیص تاثیر حفاظت کاتدی، با استفاده از معیار محافظت بند 3-5، اندازه گیری شود. اندازه گیری هایی باید در سازه های مجاور، جایی که خطر تداخل وجود دارد، انجام پذیرد.

در صورتی که سطوح پتانسیل از آنچه که در طراحی مشخص شده است متفاوت باشد تنظیمات سیستم (های) حفاظت کاتدی باید با توجه به آن تنظیم گردند.

اگر جریانهای تداخلی متناوب یا مستقیم وجود داشته باشد، اندازه گیری ها باید به منظور تعیین اثر تداخلها بر میزان موثر بودن حفاظت کاتدی انجام پذیرد.

این اندازه گیری ها باید توسط سیستمهای حفاظت کاتدی در حین کار و بدون انرژی انجام پذیرد.

<sup>1</sup> Depolarized

در هر دو حالت، پتانسیل لوله به خاک باید به مدت 24 ساعت ثبت گردد. هنگامی که سیستم حفاظت کاتدیک انرژی دار شد، جریان تخلیه نیز باید ثبت گردد. روشهای تشخیص تداخل جریان و اصلاح مشکلات خوردگی تداخلی در پیوست پ تشریح شده است.

## 11 بازرسی و پایش

### 1-11 کلیات

بازرسی و پایش سیستمهای حفاظت کاتدی باید در فواصل زمانی منظم برای تأیید اجرای کامل معیار حفاظت و تشخیص هر گونه نواقص انجام پذیرد. (به پیوست الف مراجعه نمائید) علاوه بر این، این اطلاعات میتواند برای بهینه سازی طرح های بعدی حفاظت کاتدی جمع آوری گردد.

اندازه گیری ها و یافته های فعالیتهای پایش و بازرسی باید به منظور های زیر تجزیه و تحلیل گردد:

- بازنگری کفایت مدیریت خوردگی
- مشخص کردن نواقص و پیشرفتهای احتمالی
- تعیین الزام ارزیابی دقیقتر شرایط خط لوله.

### 2-11 تناوب بازرسی

متغیر های زیر هنگامی که تناوبهای بازرسی و نیاز به تحقیقات ویژه، وجود دارد باید مد نظر قرار گیرد::

- نوع حفاظت
- ماهیت خوردگی خاک
- استعداد خط لوله به خسارات مکانیکی
- تداخل جریان های متناوب یا مستقیم
- استعداد تاسیسات حفاظت کاتدی و پوشش به خسارت توسط آذرخش یا به طریق مکانیکی
- کیفیت پوشش
- ملزومات ایمنی و زیست محیطی
- مدت زمان ساخت و تاریخچه خط لوله.



کنترل عوامل اصلی در حال کار ، برای مثال پتانسیلهای خط لوله به خاک، ولتاژ مبدل- یکسو کننده، خروجی های جریان و غیره باید برطبق جدول 4 اجرا گردند.

جدول 4- تناوبهای کنترل عوامل اصلی در حال کار

فرکانس	فعالیت	بخش
بستگی به شرایط کاری مانند فعالیتهای صاعقه، جریانهای سرگردان و فعالیتهای سازه ای هر یک تا سه ماه یکبار	کنترل عملکرد و وضعیت واحد مبدل - یکسوکننده رضایت بخش بوده و ولتاژ و جریان خروجی را ثبت کنید.	ایستگاه اعمال جریان
کمینه هر ماه	اندازه گیری پتانسیل و جریان نقطه تخلیه الکتریکی	ایستگاههای تخلیه الکتریکی
کمینه سالانه	اندازه گیری عبور جریان	اتصالات به خطوط لوله خارجی
کمینه سالانه	اندازه گیری پیوستگی الکتریکی	تجهیزات اتصال و سیستمهای زمینی
کمینه سالانه	اندازه گیری تنظیمات و عملکرد	تجهیزات ایمنی و حفاظت
سالانه <sup>(1)</sup>	اندازه گیری پتانسیل قطع	در ایستگاههای پایش
اندازه گیریهای با تناوب کمتر ممکن است بر پایه نتایج مطالعات تخصصی در نظر گرفته شود.(به بند 11-5 مراجعه نمائید) و ثبات سیستم با مراجعه به عدم وجود تداخل از جریانهای سر گردان،صاعقه،نوسان شرایط خاک و غیره. برای سیستمهای ثابت پتانسیل وصل، در ایستگاههای پایش انتخاب شده باید کمینه هر سال اندازه گیری شود. (1)برای سیستمهای ثابت، پتانسیل قطع باید در ایستگاههای پایش هر سه سال یکبار اندازه گیری شود.		

بازدیدهای تخصصی باید در طول یک سال کارکرد اجرا گردد. پیوست (ت) اطلاعاتی از انواع گوناگون بازدیدهای تخصصی را در دسترس قرار می دهد.

نوع و تناوب بازدیدهای تخصصی بیشتر به عواملی مانند تخریب احتمالی پوشش، اثرات دماهای بالا، فعالیتهای ساخت و ساز، جریانهای تداخلی و غیره بستگی دارد.

اگر یک سیستم پایش از راه دور حفاظت کاتدی نصب شده و بد عمل کردن تجهیزات به سرعت قابل تشخیص باشد کنترلهای عملکردی ممکن است با تناوب کمتر از آنچه که در بالا توصیه شده، اجرا شوند. نتایج بدست آمده بوسیله سیستم پایش از راه دور باید به صورت دوره ای بوسیله ثبت اطلاعات به صورت دستی کنترل گردد تا از عملکرد صحیح سیستم پایش از راه دور اطمینان حاصل گردد.

### 11-3 برنامه پایش

یک برنامه پایش برای سیستم حفاظت کاتدی باید اجرا و نگهداری گردد. برنامه پایش باید کمینه شامل موارد زیر باشد:

- توضیح اندازه گیری هایی که باید انجام شود،
- موقعیتهایی که این اندازه گیری ها باید انجام شود،
- تجهیزات پایشی که برای چنین مراقبتهائی لازم می باشند،
- فنون اندازه گیری که باید به کار روند،
- تناوبی که هر نوع اندازه گیری باید انجام گیرد.

### 11-4 تجهیزات پایش

برای پایش منظم سیستمهای حفاظت کاتدی، ولت سنجهای جریان مستقیم با دقت  $\pm 5$  mv در گستره 0 ولت تا 10 ولت (اندازه گیری پتانسیل ها) و یک دقت  $\pm 0.5$  mv در گستره 0 ولت تا 1 ولت (اندازه گیری تغییرات) و یک کمینه مقاومت ظاهری ورودی  $10\text{ M}\Omega$  باید موجود باشد. در خاک هایی با مقاومت های بالا ممکن است یک وسیله سنجش با مقاومت ظاهری ورودی  $100\text{ M}\Omega$  نیاز باشد. هنگامی که اندازه گیری پتانسیل در کنار دریا که دارای خاک با میزان بالای نمکهای کلرید می باشد، انجام می گیرد، الکتروود مرجع مس- سولفات مس اشباع نباید به کار رود. اگر چه در بیشتر کاربرد ها الکتروود مرجع اشباع مس- سولفات مس اشباع به کار می رود، اما ممکن است انواع دیگر الکتروود مرجع مورد استفاده قرار گیرد. سه الکتروود مرجع جایگزین در زیر به همراه پتانسیل حفاظت فولاد کربنی (در 25 درجه سیلیسیوس) معادل با  $-850$  mv الکتروود مرجع اشباع مس- سولفات مس اشباع ارائه می گردد:

الف) الکتروود مرجع کالومل (kcl) اشباع شده، که برای آن پتانسیل حفاظت  $-780$  mv می باشد .

ب) الکتروود مرجع نقره / کلرید نقره اشباع شده استفاده شده در آب دریا  $25\text{ cm}\Omega$  ، برای مواردی که پتانسیل حفاظت  $-800$  mv .

پ) روی در یک پشت بند شامل 75٪ گچ، 20٪ بنتونیت و 5٪ سولفات سدیم ، برای پتانسیل حفاظت  $+250$  mv.

الکتروودهای مرجع باید به نحوی ساخته شوند که پتانسیل آنها در حین اندازه گیری ولتاژ تحت تاثیر قرار نگیرد. الکتروود های مرجع باید به طور متناوب با کنترل آنها با مقایسه با الکتروود های مرجع نوع آزمایشگاهی واسنجی گردند.

## 11-5 مراقبت های تخصصی

نیاز و تناوب مراقبت های تخصصی باید بر پایه نتایج بازرسی و تاریخچه خط لوله باشد. (به بند 11-2 مراجعه نمائید)

یک تعداد از فنون مراقبت های تخصصی وجود دارد که اطلاعات جزئی تر بیشتری در مورد سیستم پیشگیری از خوردگی خط لوله ارائه می دهند. این مراقبت ها معمولا بوسیله کارکنان آموزش دیده با بکارگیری تجهیزات و ابزارهای خاص ساخته شده اجرا می گردد. چنین مراقبت هایی وقتی که خسارت بیش از حد پوشش انتظار می رود و یا در نواحی که به صورت موضعی حفاظت کاتدی ناکافی مشاهده می گردد، توصیه می شود.

## 12 تعمیر و نگهداری

کارایی سیستم حفاظت کاتدی باید در سرتاسر عمر یک خط لوله حفظ گردد. اقدامات چاره ساز باید در صورتی که آزمایشها و بازرسی های دوره ای نشان دهند حفاظت از آن به بعد مناسب نیست، انجام گیرد. این اقدامات می تواند شامل یک یا چند مورد زیر باشد :

- نگهداری، تعمیر یا جایگزین نمودن اجزا سیستم حفاظت کاتدی،
  - تهیه وسایل و امکانات بیشتر (یکسو کننده ها، بسترها، آندهای گالوانیکی و غیره) در صورتیکه حفاظت ناکافی باشد،
  - تعمیر عیوب پوششهای صورت گرفته،
  - تعمیر یا جایگزینی قیدهای تداخل کننده ،
  - از بین بردن اتصالات فلزی نا خواسته،
  - تعمیر وسایل عایق کننده معیوب .
- پتانسیلهایی که معیارهای موجود در بند 5 را برآورده نمی کنند باید رسیدگی شده و همه عیوب تا جایی که عملی باشد، و کمینه تا قبل از بازدید بعدی، تصحیح گردند. یکسو کننده های معیوب باید تعمیر شده و در کمینه زمان ممکن به اجراء بازگردانده شوند، به طور معمول در طی 30 روز. تغییرات مثبت قابل توجه پتانسیل خط لوله، آنهایی که ناشی از تداخل جریان های سرگردان می باشند در طی سی روز اصلاح شوند. دستگاههای مبدل - یکسو کننده و ایستگاههای تخلیه جریان باید در مورد قابلیت سرویس دهی و خسارات ، کمینه سالیانه به صورت چشمی کنترل شوند. (به بند 11-2 مراجعه نمائید).

عملکرد تجهیزات پایش حفاظت کاتدی ، برای مثال ولت سنج ها ، الکترودهای مرجع، باید به طور منظم بوسیله آزمایش های عملکردی مورد واری قرار گیرند. این تجهیزات همچنین به کالیبراسیون منظم ادواری و بررسی ایمنی دوره ای نیاز دارند.

بسترها می توانند بعضی اوقات در سال را به صورت خشک درآیند که بوسیله یک افزایش در مقاومت الکتریکی بسترها قابل تشخیص می باشد. برای جبران این کار ولتاژ خروجی مبدل یکسو کننده را بایستی افزود تا جریان مورد نیاز تامین گردد.

اضافه کردن آب به بستر ممکن است به کاهش مقاومت بستر به سطح قبلی کمک نماید.

وسایل عایق کننده قرار گرفته در بالای زمین و در معرض هوای آزاد باید به صورت دوره ای بازرسی گردند و هر گونه گرد و غباری که روی آنها جمع شده و می تواند به عنوان یک عایق بر روی ماده عمل کند تمیز شود. هرگونه مانع حفاظتی پوشیده شده به کار رفته برای جلوگیری از ورود گرد و غبار و یا جذب آب بوسیله مواد عایق کاری باید در شرایط خوب نگهداری گردد. این مراقبت باید به گونه ای باشد که از عدم ایجاد اتصال کوتاه الکتریکی غیر عمدی در وسایل عایق کاری بعد از نصب، اطمینان حاصل شود.

هنگامی که تاثیر بخشی یک وسیله عایق کاری در محل اجراء بررسی می شود، درستی و صحت هر گونه وسیله حفاظتی ولتاژ بالای همراه آن نیز باید مطابق با دستور العمل تولید کننده بررسی گردد.

## 13 مستند سازی

### 1-13 طراحی مستند سازی

#### 1-1-13 کلیات

مستند سازی طراحی پایه باید شامل :

- نتایج مشاهدات محل اجرا و بررسی خاک که از قبل انجام گرفته است،
- نتایج هر گونه آزمایش تخلیه جریان که برای به روز رسانی حفاظت کاتدی روی خطوط لوله موجود انجام گرفته است،
- هر گونه الزامات برای اصلاحات با توجه به سیستمهای خط لوله موجود مانند کمینه جدایش الکتریکی یا تعمیرات پوشش،
- محاسبات جریان های مورد نیاز ، میرائی پتانسیل ، مقاومت الکتریکی و جریان خروجی از بسترها،
- تشریح سیستم شامل یک دیاگرام شماتیک از سیستم حفاظت کاتدی مورد نظر،
- فهرست تخمینی تعداد و نوع وسایل پایش حفاظت کاتدی ،
- هر گونه حساسیت در سیستم حفاظت کاتدی که به دقت و توجه ویژه احتیاج دارد،

- یک جدول از مواد،
- یک مجموعه از نقشه های طراحی شده و
- یک مجموعه از دستورالعملهای نصب.

### 13-1-2 جزئیات ساخت و دستورالعملهای نصب

تمام جزئیات ساخت و دستورالعملهای نصب سیستم حفاظت کاتدی جهت حصول اطمینان از نصب سیستم مطابق با این استاندارد می بایست به صورت مستند باشد. این موارد باید شامل :

- دستورالعملهای نصب منابع ولتاژ d.c ، بسترها ، کابلها، وسایل آزمایش، اتصالات کابل به خط لوله،
- دستورالعملهای همه آزمایشهایی که برای اثبات کیفیت نصب جهت انطباق با الزامات مورد نیاز هستند،
- نقشه های ساخت شامل، و نه فقط محدود به، نقشه طرحها، موقعیت سیستم های حفاظت کاتدی و تجهیزات آزمایش، مسیر کابل، جدولهای یک خطی، دیاگرام سیم کشی و ساختمان بستر و کارهای عمرانی و مسیر کابل،
- دستورالعملهایی برای اطمینان از سیستمهای ایمن کار در حین نصب و عملکرد سیستم حفاظت کاتدی .

### 13-2 مستندسازی راه اندازی

- بعد از راه اندازی موفقیت آمیز سیستم حفاظت کاتدی ، موارد زیر باید در گزارش راه اندازی قید گردند:
- نقشه های طرح ساخچیدمان ساخته شده خط لوله شامل سازه ها یا سیستم های مجاور که بر روی حفاظت کاتدی خط لوله اثر گذارند،
  - نقشه های ساخت ، گزارشها و دیگر جزئیات مربوط به حفاظت کاتدی خط لوله،
  - گزارشهای آزمایشهای تداخلی ( در صورت وجود ) که روی سازه های مجاور انجام گردیده است،
  - ولتاژ و جریانی که در آن هر سیستم حفاظت کاتدی به صورت اولیه تنظیم شده و سطوح ولتاژ و جریانی که باید در آزمایشهای تداخلی آینده مورد استفاده قرار گیرند. موقعیت و نوع منابع جریانهای تداخلی ( در صورت وجود )
  - سوابق پتانسیلهای لوله به خاک در همه ایستگاههای پایش، قبل و بعد از به کارگیری حفاظت کاتدی.

### 13-3 مستندسازی بازرسی و پایش

نتایج همه بازرسی ها و کنترل های پایش باید ثبت و بررسی گردند. این مستندات باید برای استفاده به عنوان پایه برای تصدیقهای آینده اثر بخشی حفاظت کاتدی نگهداری گردد.

### 13-4 مستندسازی نگهداری و اجرا

یک راهنمای اجرا و نگهداری باید جهت حصول اطمینان از اینکه سیستم حفاظت کاتدی به خوبی مستند گردیده و دستورالعملهای اجرا و نگهداری در دسترس اپراتورها می باشد، تهیه گردد. این اسناد باید شامل موارد زیر باشند:

- توضیحی از سیستم و اجزا سیستم،
- گزارش راه اندازی،
- نقشه های ساخت،
- مستندات سازنده،
- فهرستی از همه تجهیزات پایش،
- معیار پتانسیل برای سیستم،
- برنامه پایش،
- جدولهای پایش و الزامات تجهیزات پایش،
- دستورالعملهای پایش برای هر کدام از انواع ملزومات پایش نصب شده بر روی خط لوله و
- راهنماهایی برای عملکرد ایمن سیستم حفاظت کاتدی..

### 13-5 سوابق نگهداری

برای نگهداری تجهیزات حفاظت کاتدی ، اطلاعات زیر باید ثبت گردد:

- تعمیر یکسو کننده ها و دیگر منابع قدرت d.c ،
- تعمیر یا جایگزینی آندها، اتصالات و کابلها،
- نگهداری، تعمیر و جایگزینی پوشش تجهیزات عایق کاری، اتصالات آزمایش و دیگر تجهیزات آزمایش ،
- ایستگاههای تخلیه ، غلافها و تجهیزات پایش از راه دور.

**پیوست الف**  
**(الزامی)**  
**اندازه گیری حفاظت کاتدی**

**الف.1 کلیات**

- اندازه گیری ویژگی های الکتریکی زیر باید در حین راه اندازی و کارکرد انجام پذیرد:
- ولتاژ و جریان خروجی یکسو کننده،
  - پتانسیلهای لوله به خاک در لحظه وصل و در صورت امکان در لحظه قطع شدن ،
  - پتانسیلهای لحظه وصل کردن روی خطوط لوله خارجی متصل شده و دامنه شدت جریان اعمالی، به آنها یا از آنها،
  - شدت هر نوع تداخل جریان مستقیم با خط لوله خارجی،
  - شدت هر نوع تداخل جریان متناوب یا مستقیم از یک منبع خارجی،
  - میزان پتانسیل و شدت جریان از نمونه ها یا کاوه ها،
  - تاثیر هر گونه جداسازی الکتریکی .

**یادآوری :** یک طرح نمونه برای پیدا کردن اشتباهات در یک سیستم حفاظت کاتدی جریان اعمالی در پیوست پ داده شده است.

**الف.2 اندازه گیری پتانسیل**

**الف.2-1 کلیات**

موثر بودن حفاظت کاتدی باید بوسیله اندازه گیری پتانسیل ارزیابی گردد، به عنوان مثال اندازه گیری های پتانسیل واقعی سطح مشترک لوله و خاک نسبت به یک الکتروود مرجع. فن انتخابی باید بر پایه شرایط محلی در میدان، برای مثال نوع و کیفیت پوشش، مقاومت ویژه خاک، حضور جریان های متداخل، جریانهای متعادل کننده ، جریانهای زمینی و غیره ، انتخاب گردد.

**یادآوری 1** - در جایی که جریان از خاک و بر روی خط لوله داریم یک افت اهمی یا IR در خاک و درون پوشش وجود خواهد داشت. بنابراین اندازه گیری پتانسیل با الکتروود مرجع در سطح زمین دربرگیرنده یک قسمتی از افت IR خواهد بود. فنون مکملی که بتواند برای ارائه جهت ارزیابی دقیقتر از موثر بودن حفاظت کاتدی به کار رود، وجود دارد. **یادآوری 2**- هر کجا که فقط جریانهای جاری در خاک از خود سیستم حفاظت کاتدی خط لوله هستند، پتانسیلهای اندازه گیری شده در سطح زمین به طور کلی منفی تر از پتانسیل در سطح مشترک لوله و خاک می باشد.

## الف.2-2 اندازه گیری پتانسیل وصل

اندازه گیری های پتانسیل وصل ، وقتی که سیستم حفاظت کاتدی به صورت پیوسته مشغول کار باشد انجام می شود. برای کمتر کردن افت پتانسیل، الکتروود مرجع باید در جایی تا حد امکان نزدیک به لوله قرار گیرد.

**یادآوری-** مقادیر به دست آمده حاوی افت پتانسیل های ناشناخته گوناگون که با زمان و موقعیت اندازه گیری ها تغییر می کنند، می باشد. خواندن آنها ممکن است پتانسیل در سطح مشترک لوله به خاک را مشخص نکند.

## الف.2-3 اندازه گیری پتانسیل قطع

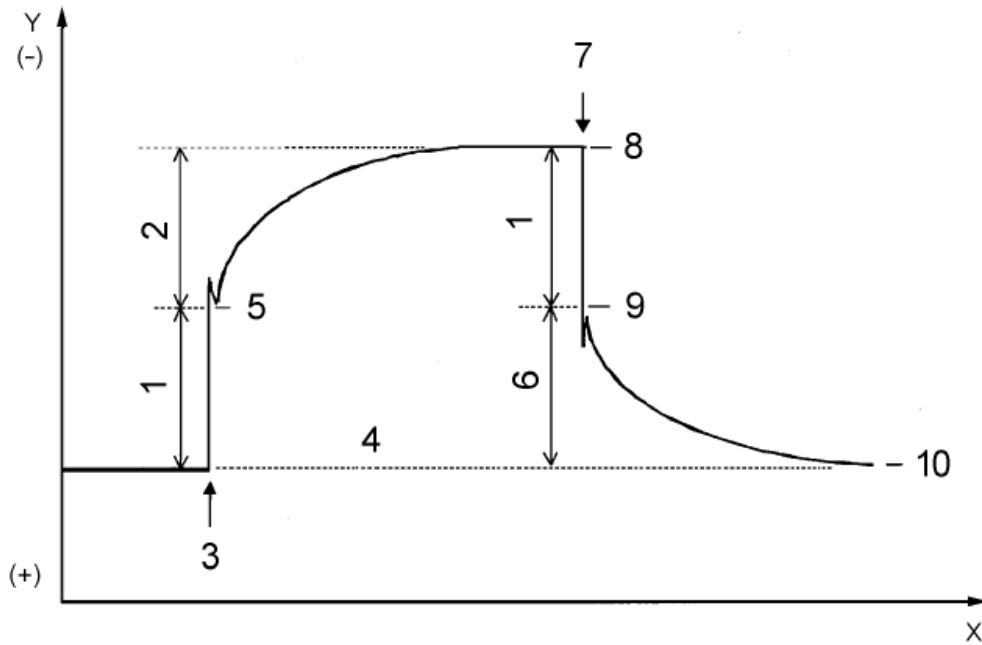
با استفاده از به کارگیری فن پتانسیل قطع ، افت پتانسیل ایجاد شده به علت جریان حفاظتی می تواند برطرف گردد. مقادیر بدست آمده به پتانسیلهای قطع اطلاق می گردند. برای خطوط لوله مدفون شده، پتانسیل اندازه گیری شده در برابر الکتروود مرجع باید اندازه گیری گردد، به طور کلی در بازه یک ثانیه بعد از قطع شدن جریان حفاظتی. اگر دپلاریزاسیون سریع اتفاق افتاد، پتانسیل قطع باید با به کارگیری یک پردازنده اطلاعات با سرعت بالا تعیین گردد.

پتانسیل قطع باید توسط یک ابزار با عکس العمل سریع اندازه گیری گردد. نسبت دوره های قطع و وصل باید به گونه ای انتخاب شود که از دپلاریزاسیون قابل توجه، جلوگیری گردد.

برای اندازه گیری موثر پتانسیل قطع، همه منابع جریان حفاظت کاتدی خط لوله باید به طور همزمان خاموش گردند. شکل الف.1 یک نمونه از نمودار پتانسیل در حین اندازه گیری یک پتانسیل وصل یا پتانسیل قطع و چگونگی تجهیز افت پتانسیل از پتانسیل اندازه گیری شده ، بر اثر شدت جریان حفاظت کاتدی در خاک را نشان می دهد که می تواند حذف شود و پتانسیل پلاریزه شده دقیقی ارائه دهد.

**یادآوری:** سایر منابع جریان مستقیم ، جریانهای متعادل کننده ، جریانهای زمینی و جریانهای تداخلی می تواند بر اندازه گیری اثر گذاشته و لذا نتایجی را بدهد که پتانسیل پلاریزه شده واقعی نباشد. فنون اندازه گیری پتانسیل قطع جایگزین در صورتیکه دقت و موثر بودن آنها اثبات شود ممکن است مطرح گردد.





کلید:

2	پلاریزاسیون	1	افت IR
4	پتانسیل خوردگی	3	یکسو کننده وصل (روشن)
6	دپلاریزاسیون	5	پتانسیل لحظه وصل
8	پتانسیل روشن	7	یکسو کننده قطع
10	پتانسیل دپلاریزاسیون (پتانسیل خوردگی)	9	پتانسیل لحظه قطع
Y	پتانسیل سازه نسبت به الکترولیت mv	X	زمان

شکل الف.1 نمودار پلاریزاسیون حفاظت کاتدی

## الف.2-4 اندازه گیری نمونه

یک ارزیابی پتانسیل بدون افت IR پتانسیل خط لوله در یک موقعیت مشخص همچنین می تواند از اندازه گیرهای پتانسیل قطع بر روی نمونه های آزمایش قرارداده شده مجاور و در عمق یکسان خط لوله انجام گیرد. اندازه گیری های پتانسیل قطع می بایست بلافاصله بعد از اینکه نمونه از لوله جدا شد و بدون قطع کردن منابع جریان حفاظتی انجام گیرد.

نمونه ها بایستی از ماده ای شبیه خط لوله مورد آزمایش ساخته شوند و پوشش مشابه داشته باشند، به غیر از نواحی تعریف شده که بدون پوشش باقی می مانند. نمونه ها بوسیله یک انشعاب آزمایش قابل دسترس که می تواند به طور موقت جدا شود به خط لوله متصل می گردند.

**یادآوری 1:** میتوان فرض نمود که فلز نمونه یک پتانسیل انطباق می دهد، با توجه به خاک مجاور آن که مشابه با پتانسیل لوله به خاک با یک عیب پوشش با همان اندازه که روی لوله است.

**یادآوری 2:** با وجود اینکه شدت جریانی مستقیماً روی نمونه وجود ندارد، هنگامیکه از لوله جدا است، هنوز شدت جریانی در خاک احاطه کننده لوله و نمونه وجود دارد. بنابر این با الکتروود مرجع قرارداد شده در سطح زمین هنوز می توان مقدار قابل توجهی از پتانسیل نمونه اندازه گیری شده از افت ولتاژ در خاک تاثیر پذیری داشته باشد. پتانسیل قطع نمونه اگر در برابر یک الکتروود مرجع دائم مدفون شده در زیر خاک مجاور نمونه یا به صورت دائمی به عنوان یک وسیله (کاوه پلاریزاسیون) اندازه گیری شود، دقت بیشتری دارد. افت پتانسیل پسماند همچنان می تواند بوسیله قراردادی الکتروود مرجع قابل حمل در یک لوله خاکی که یک انتهای آن نزدیک نمونه قرار گرفته و تا سطح ادامه دارد، کمتر شود.

### الف. 3 کنترل عایق الکتریکی

#### الف. 3-1 کلیات

خرابی های اتصالات عایق سازی جهت اجرای رضایتبخش می تواند ناشی از یکی از موارد زیر باشد :

- اتصال عایق معیوب به تنهایی یا عایق معیوب اجزاء بسته فلنج،
- اتصال رسانای خارجی بین دو طرف اتصال عایق شده، برای مثال توسط تکیه گاه های لوله، دیگر لوله کشی ها یا اتصال به زمین محلی،
- تخریب یا فقدان پوشش داخلی در جایی که خط لوله حاوی سیال هادی الکتریکی می باشد .

تعدادی از اندازه گیری هایی که می تواند جهت تعیین تاثیر یک اتصال عایق نصب شده یا بسته فلنج عایق انجام شود وجود دارد، همانطور که در الف. 3-2 تا الف. 3-5 توضیح داده شده است هر جا تردیدی به وجود آمد یک ترکیبی از دو یا چند روش شرح داده شده می تواند اطمینان بیشتری ارائه نماید.

#### الف 3-2 اندازه گیری های پتانسیل لوله به خاک

پتانسیل های خط لوله به خاک باید روی هر دو طرف یک اتصال عایق اندازه گیری گردد. اگر یک اختلاف قابل ملاحظه است در پتانسیل وجود داشته باشد، اتصال عایق کننده فلنج، عایق کننده مؤثر می باشد. یک تجهیز عایق کاری دارای عیب موضعی نمی تواند به آسانی معیوب شده تشخیص داده شود ، در حالیکه پتانسیل روی هر دو طرف اتصال ممکن است هنوز اختلاف داشته باشد. به عنوان یک راهنمای عمومی یک اختلاف پتانسیل کمتر از 100mV ممکن است غیر قطعی در نظر گرفته شود.

### الف.3-3 اندازه گیری های مقاومت الکتریکی

اندازه گیری مستقیم مقاومت الکتریکی باید با یک سنجه مقاومت جریان متناوب انجام گردد.

**یادآوری 1:** سنجه های مقاومت جریان مستقیم به علت اثرات پلاریزاسیون نشانه های اشتباه ارائه می دهند.

**یادآوری 2:** تفسیر نتایج اندازه گیری های مقاومت مستقیم در اتصالات عایق کاری نصب شده می تواند مشکل باشد.

این به علت مقاومت لوله به زمین بوده و اگر خط لوله حامل یک محلول هادی باشد، مقاومت داخلی سیال هادی (الکترولیت)، هر دو هم جهت با مقاومت اتصال عایق کاری شده می باشد. مقاومت حقیقی اندازه گیری شده می تواند به دلیل ترکیب این سه بوده و اندازه گیری مقدار یک مقاومت ضعیف همیشه نشانه قابل اطمینان از اینکه تجهیز عایق بندی معیوب است نمی باشد. هر جا یک مجموعه فلنج عایق نصب شده باشد، عایق بندی رضایتبخش هر پیچ می بایست با به کار گیری یک اهم سنج یا سایر وسایل مشابه کنترل گردد.

### الف.3-4 آزمایشهای جریان اعمالی

در هنگام استفاده آزمایشهای جریان اعمالی برای بررسی صحت یک وسیله عایق کاری، یکی از روشهای زیرباید مورد استفاده قرار گیرد:

روش 1، که در آن جریان به خط لوله در یک طرف وسیله عایق کاری اعمال می گردد. اگر پتانسیل در طرف دیگر وسیله عایق کاری تغییر نکند یا تغییرات در مقدار در جهت عکس باشد (به علت یک اثر تداخلی)، وسیله عایق کاری ممکن است موثر تشخیص داده شود.

روش 2، که در آن جریان از یک اتصال موقت در امتداد وسیله عایق کاری اندازه گیری شده در حالی که حفاظت کاتدی تنها در یک طرف بکار رفته است. اگر شدت جریان در امتداد اتصال نباشد، آنگاه وسیله عایق کاری ممکن است معیوب تشخیص داده شود یا یا by-pass شده باشد. یک وسیله با عیب موضعی عایق کاری ممکن است به آسانی بوسیله این روش قابل شناسایی نباشد، زیرا جریان درون اتصال ممکن است صفر نباشد اگر مقاومت نشت و مقاومت اتصال، بزرگی مشابهی داشته باشند.

### الف.3-5 اندازه گیری های مولد فرکانس صوتی

اندازه گیری های مولد فرکانس صوتی باید بوسیله به کار گیری یک فرکانس صوتی مناسب از یک مولد فرکانس در یک طرف اتصال عایق کاری شده انجام گردد، برای مثال بوسیله یک لوله گذار مرسوم و مبادرت به ردیابی سیگنال در طرف دیگر وسیله عایق کاری شده می نمائیم.

**پیوست ب**  
**(الزامی)**  
**اختلال الکتریکی**

**ب.1 کلیات**

خوردگی به علت تداخل جریان در خط لوله فلزی مدفون شده در خاک نسبت به دیگر خسارتهای خوردگی متفاوت می باشد، بطوریکه جریانی که باعث خوردگی می شود نسبت به خط لوله تحت تاثیر دارای یک منبع خارجی می باشد. معمولا جریان تداخل گر از یک منبع خارجی، نسبت به خط لوله تحت تاثیر پیوسته نمی باشد و از طریق خاک به لوله تحت تاثیر قرار گرفته تخلیه می شود. اثرات مضر تداخل جریانها در جاهایی که جریانها متعاقبا از خط لوله تحت تاثیر به زمین تخلیه میشود اتفاق می افتد.

انواع تداخل های d.c عبارتند از:

- منابع جریان ثابت، مانند یکسو کننده های حفاظت کاتدی و
- منابع جریان متحرک، مانند سیستم های راه آهن برقی و سیستم های حمل و نقل، سیستم های یدک کش معادن ذغال سنگ و پمپها، ماشین های جوشکاری و سیستم های منبع جریان مستقیم.

انواع تداخل های a.c عبارتند از:

- تداخل های کو تاه مدت، ناشی از خطاهای سیستم های تولید برق a.c و راه آهن های برقی شده.
- تداخل های ناشی از القا یا اتصال رسانا بین خط لوله و خطوط ولتاژ بالا یا راه آهن های برقی شده و
- جریان های زمینی

**ب.2. اختلال d.c**

**ب.2-1. اندازه گیری ها**

در نواحی که مشکوک به تداخل جریانهای d.c می باشد، یک یا چند مورد از کار های زیر را می بایست انجام داد:

- اندازه گیری پتانسیل های لوله به خاک با ابزار آلات دقیق تعیین کننده یا ضبط کننده
- اندازه گیری دانسیته جریان روی کوپنها
- اندازه گیری جریان اعمالی روی خط لوله با استفاده از ابزار آلات دقیق نشان دهنده یا ثبت کننده
- اندازه گیری تغییرات جریان خروجی منابع مشکوک به تداخل جریان و ارتباط آنها با اندازه های بدست آمده همانند بالا .

اندازه گیری ها باید در دوره های زمانی حداقل 24 ساعت یا در فواصل زمانی که طی تحقیقات، مشکوک به پدیده های اختلال بوده برای ارزیابی زمان اطمینان از سطح تداخل انجام گیرد. تداخل با دیگر خطوط لوله زیر خاک یا تاسیسات در صورتیکه سیستم حفاظت کاتدی انرژی دار شده است باید اندازه گیری گردد.

اندازه گیری اختلالات می بایست بصورت زیر اجرا گردد :

- اندازه گیری پتانسیل خط لوله خارجی و پتانسیل لوله به خاک خط لوله مداخله کننده هر دو هنگامیکه منبع مداخله گر جریان حفاظت کاتدی که می تواند تداخل نماید همزمان قطع شده باشد.
  - اندازه گیری پتانسیل لوله به خاک در دیگر خطوط لوله یا تاسیسات در حالی که سیستم حفاظت کاتدی انرژی دار شده است
- متوسط تغییر پتانسیل در هر قسمت از دیگر خطوط لوله یا تاسیسات ناشی از اختلالات نباید سبب خروج پتانسیل از معیار های داده شده در 3-5 گردد. در صورتیکه اختلال منجر به حفاظت کاتدی برآورده نگردد، برای بهبودی آن بایستی اختلالات برطرف گردد.

## ب.2-2 کاهش مشکلات خوردگی ناشی از اختلالات d.c

روشهای عمومی مطرح شده در رفع مشکلات اختلال روی خطوط لوله یا دیگر سازه های مدفون شده در خاک شامل:

- ممانعت از افزایش یا کاهش شدت جریان مداخله کننده درون یک خط لوله مدفون شده.
  - اتصال یک رسانای فلزی به طرف بازگشت (منفی) از منبع جریان مداخله کننده.
  - مقابله با اثر جریان مداخله کننده بوسیله افزایش سطح حفاظت کاتدی، و
  - برطرف سازی یا جابجایی منبع جریان مداخله کننده.
- راهنمایی های بیشتر در روشهایی برای کم کردن خوردگی تداخلی d.c در PrEN 50162 داده شده است.

روشهای ویژه به صورت اختصاصی یا ترکیبی در زیر مطرح شده است:

- طراحی و نصب باند های فلزی با یک مقاومت الکتریکی در مدار باند فلزی بین خطوط لوله تحت تاثیر قرار گرفته یا سازه های دیگر. باندهای فلزی بطور الکتریکی هادی جریان اختلال از خط لوله تحت تاثیر به خط لوله تداخل یافته و/یا منبع جریان می باشد.
- بکارگیری وسایل کنترل یکطرفه، همانند دیودها یا سوئیچ های جریان معکوس.
- پوشش لوله بدون روکش وقتی جریان مداخله گر وارد خط لوله می شود.
- اعمال جریان حفاظت کاتدی اضافی به خط لوله تحت تاثیر در مکانهای ویژه ای که جریان مداخله کننده تخلیه الکتریکی می شود.

- تنظیم جریان خروجی از یک سو کننده های حفاظت کاتدی مداخله کننده چند گانه.
- کاهش یا حذف جریان های مداخله کننده فزون یافته بوسیله جابجایی بسترها.
- نصب صحیح موقعیت اتصالات عایق کاری شده در خطوط لوله تحت تاثیر. آزمایش در اتصالات عایق کاری شده باید برای اطمینان از وضعیت یک اختلال شناخته نشده انجام گیرد.

**یادآوری-** با نصب اتصالات عایق کننده شدت جریان سرگردان کم خواهد شد، همچنین محل افزایش یا تخلیه جریان دیگری را معرفی می نماید، بنابر این علت انجام آزمایش در اتصالات عایق کاری شده می باشد.

- بهبود در پوششهای حفاظتی در برابر سازه تداخلی.
- حفاظ های ایزوله کننده بین خط لوله و سازه مداخله گر.

### **ب.3. اختلال a.c**

#### **ب.3-1 کلیات**

بزرگی تداخل دایم یا اختلال کوتاه مدت روی یک خط لوله در نتیجه منابع ولتاژ بالا a.c مانند خطوط انتقال نیرو و راه آهن های برقی بیشتر بستگی دارد به :

- طول مسیر موازی ،
- فاصله از خط لوله،
- سطح ولتاژ خط a.c،
- سطح جریان خط a.c،
- کیفیت پوشش خط لوله.

**یادآوری 1-** اثرات اختلالات a.c روی خطوط لوله مدفون در خاک می تواند باعث مشکلات ایمنی گردد.

**یادآوری 2-** اثرات احتمالی ایجاد شده بوسیله اختلال a.c بر روی خطوط لوله شامل شوکهای الکتریکی خسارات پوشش ، تسریع خوردگی و خسارات عایق کاری می باشد.

#### **ب.3-2 محاسبه القا a.c**

اختلالات a.c می بایست جهت بررسی اطلاعات بر روی خط لوله تحت تاثیر همانند مقاومت پوشش، قطر، مسیر راه و جایگزینی اتصالات یا فلنج های ایزوله کننده ، روی یک کامپیوتر شبیه سازی گردند.

برای سیستم های کَشش a.c اطلاعات وجود اختلالات ولتاژ بالا، جریان کاری، مکان و طرز قرار گیری دکل ولتاژ بالا و موقعیت سیمها، مسیر راه ( شامل موقعیت مبدلها ) فرکانس و خصوصیات الکتریکی برای خطوط توان بالا مد نظر می باشد.

### ب.3-3 اندازه گیری جریان های مداخله کننده a.c

برای تعیین خطر خوردگی a.c، کوپنها در جایی که دانسیته جریان a.c در آنجا بیشترین مقدار می باشد باید نصب گردند. آنها بایستی در عمق نزدیک به خط لوله دفن شده و تجهیزات مناسب و کافی جهت اندازه گیری جریان وجود داشته باشد. نصب کوپنهای اضافی که می توان بعدا جهت آزمایش های چشمی برداشت بایستی به صورت صحیح و درست انجام گیرد.

دانسیته جریان a.c در یک نقص پوشش اولین فاکتور تعیین کننده در تشخیص خطر خوردگی a.c می باشد. به علت پایین بودن مقاومت خاک دانسیته جریان های a.c بالا را می توان مشاهده کرد.

**یادآوری-** اگر دانسیته جریان a.c روی سطح بدون پوشش به اندازه  $100\text{mm}^2$  ( برای مثال یک پروب آزمایش خارجی ) بیشتر از  $30\text{A}/\text{m}^2$  ( یا کمتر در شرایط معین ) باشد، یک خطر خوردگی بالایی وجود دارد.

خطر خوردگی بیشتر مربوط به سطح دانسیته جریان a.c در مقایسه با سطح دانسیته جریان حفاظت کاتدی میباشد. اگر دانسیته جریان a.c بیش از حد بالا باشد، خوردگی a.c بوسیله حفاظت کاتدی نمی تواند جلوگیری گردد.

در قسمتهایی که ولتاژهای a.c بیشتر از 10v یا جایی که ولتاژها در امتداد خط لوله مقادیر پایین گوناگونی را نشان می دهد، برای تعیین امکان تخلیه بار a.c، اندازه گیری های اضافی بایستی در محل انجام گیرد. فن اندازه گیری غیرمفرد برای ارزیابی خطر خوردگی a.c برای سنجش خوردگی a.c تشخیص داده می شود.

بیشتر اندازه گیری های ویژه عبارتند از:

- پتانسیل لوله به خاک
- دانسیته جریان، و
- نرخ دانسیته جریان (دانسیته جریان a.c تقسیم بر دانسیته جریان d.c)

### ب.3-4 محدود کردن اختلالات a.c

بیشترین درجه و ولتاژ تماسی بایستی مطابق با موقعیت مکانی یا نیازهای ایمنی بوده و بایستی در همه مکانهایی که یک شخص می تواند خط لوله یا تجهیزاتی در خط لوله را لمس کند رعایت گردد.

اقدامات حفاظتی در برابر خوردگی a.c باید طبق همه موارد زیر انجام گیرد:

- کاهش ولتاژ a.c القاء شده
- افزایش سطح حفاظت کاتدی آنچنان که قسمتهای مثبت از جریان a.c را بتوان نادیده گرفته شود. جهت کاهش غیر مجاز درجه و ولتاژهای تماسی، روشهای زیر می بایست انجام گیرد:
- کاهش ولتاژ a.c القاء شده بوسیله سیستم اتصال به زمین سراسری
- قرار دادن نمد هائی در کف زمین در نواحی که افراد مشغول کار هستند.
- قراردادن سیستم های حذف کننده به موازات خط لوله.
- برای کاهش ولتاژ a.c روشهای زیر می بایست انجام گیرد:
- نصب اتصال به زمین خط لوله که با وسایل مناسب در اجرای جریان a.c و نه جریان d.c مجهز شده باشد.

امکان نیاز به یک شبیه سازی روی کامپیوتر برای بهینه سازی تعداد، موقعیت و مقاومت به زمین سیستم اتصال به زمین نیاز باشد.

- نصب تقویت کننده های اتصال زمین - پتانسیل - کنترل کننده برای اعمال جریان در خط لوله، به منظور جبران کردن یا کاهش ولتاژ القاء شده، در این روش اگر به کاهش ولتاژ القاء شده مورد نیاز نمی توان دست یافت، بوسیله اتصال به زمین اجرا می گردد. موقعیت مکانی وسایل جبران کننده بایستی به صورت دقیق بررسی شود.

- اضافه کردن سیستمهای اتصال به زمین برای یکنواخت کردن پتانسیل در نواحی محلی. این سیستمهای اتصال به زمین می تواند با استفاده از یک گستره متنوع از الکترودها ( فولاد گالوانیزه ، روی ، منیزیم و غیره) ساخته شود.
- بعضی از سیستمهای اتصال به زمین می تواند یک اثر مخرب روی کارایی حفاظت کاتدی داشته باشد. برای اجتناب از اثرات مخرب روی حفاظت کاتدی سیستمهای اتصال به زمین بایستی به کمک وسایل مناسب ( برای مثال شکاف جرقه، وسایل جداکننده d.c و غیره) اتصال پیدا کنند.
- انتقال سطح ولتاژ d.c به پتانسیل منفی تر می تواند نرخ خوردگی ناشی از a.c را کاهش دهد. پتانسیل های لوله به خاک نباید از مقادیری که در 3-5 داده شده است منفی تر گردد.



## پیوست پ

### (اطلاعاتی)

#### تشخیص عیب سیستمهای اعمال جریان در طول عملکرد.

اگر مقادیر غیر عادی پتانسیل و جریان در سیستمهای اعمال جریان مشاهده گردید، یک مقایسه با مقادیر اولیه می تواند نوع عیب را نشان دهد، همچنان که در جدول پ-1 داده شده است.

#### جدول پ-1 - دلایل احتمالی مشاهدات غیر عادی

<p>1) اتصال اشتباه ترانسفورمر یکسو کننده به خط لوله در حالیکه این اشتباه خیلی خطرناک بوده می تواند خط لوله خسارات گوناگونی در یک مدت زمانی کوتاه بوجود آورد.</p>	<p>الف) پتانسیل لوله به خاک وقتی که کلید سیستم حفاظتی روشن می شود مثبت ترمی شود.</p>
<p>1) عیب از فیوز a.c یا قطعی سایر وسایل حفاظتی دیگر 2) عیب از منبع a.c 3) عیب از ترانسفورمر - رکتیفایر</p>	<p>ب) ولتاژ اعمالی صفر یا خیلی پایین، جریان صفر</p>
<p>1) از بین رفتن آندها یا بسترها 2) خشک شدن خاک اطراف بسترها 3) تجمع گاز تولید شده توسط الکترولیت به دور آندها (انسدادگاز) 4) جدا شدن آندهای منفرد در یک بستر یا سیستم آندی 5) جدا شدن قسمتی از خط لوله حفاظت شده از طرف منفی ترانسفورمر - رکتیفایر.</p>	<p>پ) ولتاژ اعمالی معمولی، جریان کم اما صفر نیست</p>
<p>1) جداسازی کابلهای آند یا کاتد 2) نقص در فیوز d.c یا آمپرسنج ترانسفورمر - رکتیفایر 3) نقص کابل در بستر یا سیستم آند</p>	<p>ث) ولتاژ اعمالی معمولی، اما جریان صفر</p>
<p>1) کنترل روی واحد ترانسفورمر _ رکتیفایر تنظیمی بیش از حد پایین 2) ترانسفورمر یا رکتیفایر معیوب 3) منبع الکتریکی معیوب</p>	<p>ج) ولتاژ و جریان اعمالی صفر</p>
<p>1) کنترل ترانسفورمر - رکتیفایر تنظیم شده بیش از حد بالا.</p>	<p>چ) ولتاژ و جریان اعمالی هر دو بالا</p>
<p>1) قطع در یک باند پیوسته، یا افزایش مقاومت بین نقطه اتصال و نقطه آزمایش ناشی از اتصال کابل ضعیف 2) افزایش خیلی زیاد هوا دهی خاک در نزدیکی نقطه اندازه گیری ناشی از</p>	<p>ح) ولتاژ و جریان اعمالی عادی اما پتانسیل لوله به خاک به صورت غیر کافی منفی، به طور مثال بیش از حد مثبت.</p>

<p>خشکی یا افزایش موضعی رطوبت زمین</p> <p>(3) تجهیزات عایق کاری معیوب برای مثال اتصال کوتاه یک اتصال عایق کاری در پایان خط لوله حفاظت کاتدی شده</p> <p>(4) خط لوله حفاظت شده خط بوسیله لوله های جدید تحت تاثیر قرار گیرد یا غلاف شود.</p> <p>(5) سیستم حفاظت کاتدی معیوب در قسمتی مجاور خط لوله یا روی یک خط لوله دومی که به آن اتصال داده شده است.</p> <p>(6) از بین رفتن یا خسارت به پوشش حفاظتی خط لوله.</p> <p>(7) افزایش یا توسعه خط لوله مدفون شده در خاک، که می تواند شامل تماس با دیگر سازه های فلزی نیز باشد.</p> <p>(8) اثر متقابل با سیستم حفاظت کاتدی روی یک خط لوله مجاور یا نزدیک به آن</p> <p>(9) اثرات تداخل جریان روی خط لوله</p>	
<p>(1) شکست در باندهای پیوسته در موقعیتی فراتر از نقطه اعمال تا نقطه آزمایش</p> <p>(2) خطوط لوله ثانویه قطع شده یا از خطوط لوله حفاظت شده جدا شده یا حفاظت کاتدی اضافی بوسیله سیستم حفاظت کاتدی جدیدی دریافت می کند.</p> <p>(3) اثرات اختلالات جریان روی خط لوله</p>	<p>(خ) ولتاژ و جریان اعمالی معمولی اما پتانسیل لوله به خاک به صورت غیر عادی منفی</p>
<p>(1) حضور اختلال جریانهای زمینی برای مثال اختلال از سیستم های کشش d.c یا اثرات وابسته به جاذبه زمین مغناطیسی یا زمینی</p>	<p>(د) ولتاژ و جریان اعمالی معمولی اما پتانسیل لوله به خاک نوسان دارد.</p>

**پیوست ت**  
**(اطلاعاتی)**  
**تشریح مراقبت های تخصصی**

**1.ت تحت نظر گرفتن بطریق پیرسون**

تحت نظر گرفتن به طریق پیرسون ، عیوب در پوشش محافظ یک خط لوله مدفون را پیدا می کند .  
یک ولتاژ a.c بین خط لوله و زمین اطراف آن اعمال می گردد و اختلاف پتانسیل بین دو اتصال در ناحیه 6 متری اطراف خاک اندازه گیری می شود. دو کارگر (اپراتور) در طول مسیر حرکت کرده و اتصالات لازم با خاک را معمولاً از راه چکمه های میخ دار برقرار می سازند. آنها هر یک در روی خط لوله یا دو طرف با یک اپراتور بالای خط لوله حرکت می کنند. یک افزایش در اختلاف پتانسیل ثبت شده می تواند یک عیب (نقص) در پوشش یا شیئی فلزی در نزدیکی لوله را نشان می دهد.  
روش خطی درونی در مکانهای اولیه عیوب پوشش بوجود آمده مفید می باشد، از هر افزایش در اختلاف پتانسیل (معمولاً توسط یک افزایش در سیگنال صوتی مشخص می شود) می توان تعیین کرد که اپراتور از بالای عیب عبور کرده است. اغلب وقتی یک سری از عیوب با یکدیگر بوجود می آید و اطلاعات ویژه روی یک عیب مخصوص نیاز می باشد روش دو طرفه مقدم می باشد. تفسیر نتایج بدست آمده کاملاً وابسته به اطلاعات بدست آمده توسط اپراتور می باشد، مگر اینکه روشهای در حال ثبت به کار رفته باشد.

**2.ت تحت نظر گرفتن میرائی جریان**

بررسی های میرائی جریان می تواند برای تعیین منطقه معیوب در پوششهای حفاظتی از خطوط لوله مدفون شده به کار رود. این روش شبیه روش مراقبت پیرسون می باشد که در آن ولتاژ a.c اعمال شده به لوله می باشد، اما یک سیم پیچ جستجو گر که شدت میدان مغناطیسی دو ر لوله ناشی از سیگنالهای a.c را اندازه می گیرد به کار می رود.  
بررسی میرائی جریان بر اساس این فرض که یک شدت سیگنال در امتداد یک رسانای مستقیم ( در این جا خط لوله) وجود دارد می باشد، آن یک میدان مغناطیسی متقارن به دور لوله را تولید خواهد کرد. اپراتور القاء الکترومغناطیسی را برای یافتن عیوب به کار می برد و از اندازه شدت سیگنال یک ترتیبی از مشاهدات دریافتهای سیم پیچ های حمل شده از میان میدان مغناطیسی برای محاسبه جریان لوله استفاده می کند. هر کجا که پوشش محافظ در وضعیت خوبی باشد، در یک نسبت ثابت از شدت جریان کاسته خواهد شد، که بستگی به خواص پوشش دارد. هر تغییر قابل توجهی در نرخ ضعیف شدن جریان می تواند نشانه یک عیب پوشش یا اتصال با خط لوله دیگر باشد.

### ت.3. تحت نظر قرار دادن پتانسیل فاصله نزدیک (CIPS)

CIPS می تواند برای تعیین سطح حفاظت کاتدی در امتداد طول خط لوله استفاده شود. آن همچنین می تواند نواحی تحت تأثیر اختلالات و عیوب پوششها را نشان دهد. پتانسیل لوله به خاک در فواصل نزدیک (برای مثال 1 متر) با به کار گیری ولت سنج / میکرو کامپیوتر مقاومت بالا، یک الکتروود مرجع و یک کابل متصل شده دنباله دار برای خط لوله در نزدیکی ایستگاه مونیتورینگ اندازه گیری می شود. اندازه گیریهای پتانسیل در برابر فاصله رسم می شوند. هر را می توان بوسیله تغییرات در پتانسیل به علت موقعیتهای گوناگون در دانسیته جریان حفاظت کاتدی تعیین نمود. بررسی ممکن است با سیستم حفاظت کاتدی بدون توقف انجام گیرد (یک بازرسی پتانسیل روشن) یا با همه ترانسفورمر - رکتیفایر مرکزی خاموش و همزمان با کمک قطع کننده زمانبندی شده انجام گیرد. به علت وجود مقادیر زیادی از داده ها، یک کامپیوتر یا ثبت کننده اطلاعات (صحرائی) به کار گرفته می شود. اطلاعات بعداً به نقشه های رسم شده از پتانسیل خط لوله در برابر فاصله از نقاط مرجع تعیین شده تبدیل می شود.

### ت.4. تحت نظر قرار دادن گرادیان ولتاژ جریان - مستقیم (DCVG)

بررسی DCVG می تواند جهت تعیین محل و موقعیت و اثبات نسبی اندازه عیوب در پوششهای محافظ روی خطوط لوله مدفون شده به کار رود. بوسیله به کار گیری یک جریان مستقیم در خط لوله در بعضی روشها مانند حفاظت کاتدی، یک شیب ولتاژ در خاک ناشی از عبور جریان از فولاد بدون روکش در پوشش معیوب برقرار می گردد. معمولاً بزرگترین عیب، بیشترین عبور شدت جریان و شیب ولتاژ را دارد. یک کلید قطع و وصل جریان بایستی در نزدیک ترین نقطه نسبت به ترانسفورمر - رکتیفایر نصب شود یا یک منبع جریان موقتی برای دست یافتن به تغییرات پتانسیل قابل توجه (تقریباً 500 mv) روی خط لوله با به کار گیری یک میلی ولت سنج حساس، اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود مرجع (کاوه ها) که در سطح همتراز خاک همراه با گرادیان ولتاژ را اندازه گیری می کند. عیوب میتواند بوسیله خواندن نظیر به نظیر با پروبهایی که به صورت متقارن در هر دو طرف خط لوله قرار دارد تعیین گردند. در انجام این بررسی اپراتور در مسیر خط لوله حرکت می کند و در فواصل مثلاً 2 متری با یکی از کاوه ها و کاوه دیگری در فاصله 1 تا 2 متری جلوی آن اندازه گیری می کند. کاوه ها معمولاً به صورت موازی و مستقیماً بالای خط لوله نگه داشته می شوند و توانائی تشخیص جهت عبور جریان نسبت به عیب را مشخص می کند. با خواندن ها در عرض با استفاده از یک الکتروود که با فاصله ای مساوی از مرکز عیب قرار گرفته مشخصات آندی یا کاتدی را می توان تعیین نمود.

### ت.5 تکنیک اندازه گیری متمرکز (Intensive)

ترکیبی از CIPS و تغییرات ولتاژ اندازه گیری شده عمودی به عنوان تکنیک اندازه گیری متمرکز معروف می باشد. آن می تواند تاثیر بخشی حفاظت کاتدی بوسیله محاسبه پتانسیل بدون Ir (irfree) در سطح مشترک لوله به خاک را ارزیابی نماید.

یک نمونه از قرارگیری الکترودها در شکل D.1 نشان داده شده است.

پتانسیل IR-free, E<sub>IR-free</sub> با به کارگیری فرمول D.1 به صورت زیر محاسبه می شود:

$$E_{IRfree} = \frac{\Delta E_{off}}{\Delta E_{on} - \Delta E_{off}} \times (E_{on} - E_{off}) - E_{off}$$

که:

EIRfree: پتانسیل محاسبه شده بدون IR EIRfree (موقعیت 1 در شکل ت-1 را ملاحظه کنید)

E<sub>on</sub>: مقدار پتانسیل اندازه گیری شده در حالت روشن در موقعیت 2 در شکل ت-1

E<sub>off</sub>: مقدار پتانسیل اندازه گیری شده در لحظه خاموش در موقعیت 2 در شکل ت-1

$\Delta E_{on}$ : شیب ولتاژ بین دو موقعیت با یکسو کننده های روشن، برای مثال:

$\Delta E_{3/2, on}$ : شیب ولتاژ بین موقعیت 2 و 3 با یکسو کننده های روشن

$\Delta E_{4/2, on}$ : شیب ولتاژ بین موقعیت 4 و 2 با یکسو کننده روشن

$\Delta E_{off}$ : شیب ولتاژ بین دو موقعیت با یکسو کننده های خاموش، برای مثال:

$\Delta E_{3/2, off}$ : شیب ولتاژ بین موقعیت 3 و 2 با یکسو کننده های خاموش

$\Delta E_{4/2, off}$ : شیب ولتاژ بین موقعیت 4 و 2 با یکسو کننده های خاموش

با به کارگیری این روش، عیوب پوشش مشخص می گردند جایی که  $(\Delta E_{on} - \Delta E_{off})$  پیکهای اندازه گیری شده در امتداد مسیر خط لوله هستند. مقدار مطلق  $(\Delta E_{on} - \Delta E_{off})$  بستگی به فاکتورهای زیادی

دارد و متناسب با اندازه عیوب پوشش می باشد. معمولاً همه عیوب بزرگ پوشش اگر اندازه گیری در فواصل 5 متر در امتداد خط لوله انجام شود قابل تشخیص می باشند.

برای  $100\text{mv} > (\Delta E_{on} - \Delta E_{off})$  مقادیر اندازه گیری شده معمولاً دقت کافی برای محاسبه

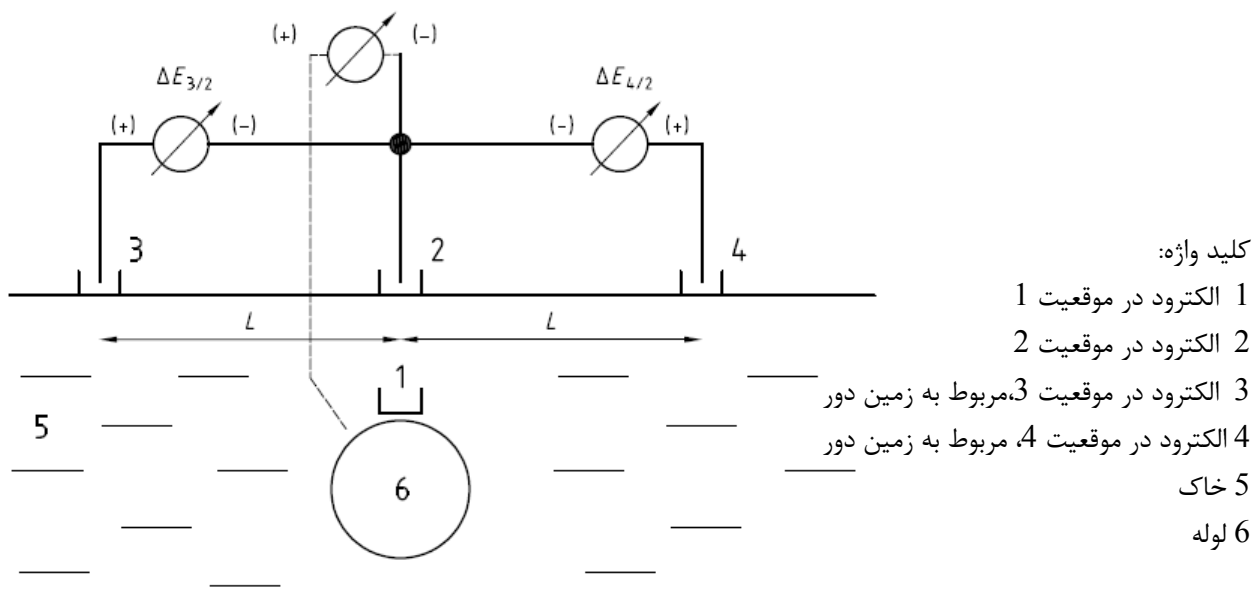
افت IR در خاک و در نتیجه EIRfree بین نقاط 1 و 2 در شکل ت-1 را دارد.

در حضور جریانهای متعادل ساز ، تغییرات پتانسیل تقریباً متقارن با خط لوله خواهد بود. بنابراین برای تعیین اختلاف پتانسیل بین الکترودهای مرجع در نقاط 2 و 3 یا نقاط 2 و 4 در شکل ت-1 برای تعیین مقادیر  $\Delta E$  کافی خواهد بود. در حضور جریانها ناشی از منابع خارجی دور دست تغییرات پتانسیل متقارن نخواهد بود. تغییرات پتانسیل بوسیله عیوب پوشش ایجاد می گردد، آنگاه مقادیر متوسط پتانسیلها بین الکترودهای مرجع در نقاط 2 و 3 و در نقاط 2 و 4 به صورت متقارن با فاصله L که در شکل ت-1 نشان داده شده است در هر دو طرف به صورت مساوی قرار گرفته اند. در این مورد معادلات ت-2 و ت-3 می تواند برای تعیین تغییرات میدان برای تعیین پتانسیل IR-free با جایگذاری در معادله ت-1 استفاده شود.

$$\Delta E_{on} = 1/2 \times (\Delta E_{3/2,on} + \Delta E_{4/2,on})$$

$$\Delta E_{off} = 1/2 \times (\Delta E_{3/2,off} + \Delta E_{4/2,off})$$

برای جریانهای نوسان کننده با زمان ، E و  $\Delta E$  می بایست به صورت همزمان خوانده شوند، هم برای دوره های روشن و هم برای دوره های خاموش.



فاصله L بین الکترودها در نقاط 2 و 3 باید برای پوشش کامل دامنه شیب پتانسیل انتخاب گردد. الکترودها در نقاط 1 و 2 و 3 و 4 برای اندازه گیری پتانسیل سازه نسبت به الکترولیت و تغییرات پتانسیل با استفاده از تکنیک اندازه گیری متمرکز بکار می روند. شکل ت-1 موقعیت های الکترودهای مرجع برای تکنیک اندازه گیری متمرکز.

## کتابنامه

[1] prEN 501622), Protection against corrosion by stray current from direct current systems