

**INSO**

**21225**

**1st.Edition**

**2016**



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

**Iranian National Standardization Organization**



استاندارد ملی ایران

۲۱۲۲۵

چاپ اول

۱۳۹۵

**حفاظت کاتدی سازه‌های فراساحلی فولادی  
ثابت**

**Cathodic Protection for Fixed Steel  
Offshore Structures**

**ICS:47.020.01;77.060**

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

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

وبگاه: <http://www.isiri.org>

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

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

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

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

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

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

Website: <http://www.isiri.org>

## به نام خدا

## آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه 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 پیشنهادهای در کمیته 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 در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته 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)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> 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 زیست محیطی 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 زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (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، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطاء و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4-Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

### « حفاظت کاتدی سازه‌های فراساحلی فولادی ثابت »

#### رئیس:

ماسوری، داریوش

( کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی )

#### سمت و/ یا محل اشتغال

شرکت نفت و گاز پارس، عضو انجمن خوردگی ایران و

کمیته فنی متناظر TC156

#### دبیر:

نجمی، محمد

( کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی )

انجمن خوردگی ایران

#### اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

احمدی، مرتضی

( کارشناسی مهندسی مکانیک )

شرکت نفت و گاز پارس

اخوان ذاکری، مازیار

( کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی )

شرکت مهندسی و ساخت تاسیسات دریایی ایران

حاتمی منفرد، علی رضا

( کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی )

شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران

حیدری قلعه، میلاد

( کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی )

کارشناس استاندارد

دانشور، عاطفه

( کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر )

انجمن خوردگی ایران

انجمن خوردگی ایران

حشمت دهکردی، ابراهیم

(دکترای مهندسی متالورژی)

شرکت مهندسی و ساخت تاسیسات دریایی ایران

گلین مقدم، عماد

(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

شرکت نفت مناطق مرکزی ایران

قاسمی، رسول

(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

مهمی، عنایت

(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

انجمن خوردگی ایران

نجمه سخنور

(کارشناس امور اداری)

کارشناس بازرسی و حفاظت فنی، شرکت نفت و گاز پارس

نیک روز، بهاءالدین

(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

### ویراستار :

انجمن جوشکاری و آزمایش های غیر مخرب ایران

ایمانیان نجف آبادی، رضا

(کارشناسی ارشد جوشکاری)

## فهرست مندرجات

| صفحه | عنوان                                 |
|------|---------------------------------------|
| ح    | پیش گفتار                             |
| ط    | مقدمه                                 |
| ۱    | ۱ هدف و دامنه کاربرد                  |
| ۱    | ۱-۱ اجزای سازه ای                     |
| ۱    | ۲-۱ مواد                              |
| ۲    | ۳-۱ محیط                              |
| ۲    | ۲ مراجع الزامی                        |
| ۳    | ۳ اصطلاحات و تعاریف                   |
| ۷    | ۴ اصول طراحی                          |
| ۷    | ۱-۴ اهداف                             |
| ۷    | ۲-۴ معیارهای حفاظت کاتدی              |
| ۸    | ۳-۴ جریان الکتریکی مورد نیاز          |
| ۱۰   | ۴-۴ پوشش ها                           |
| ۱۰   | ۵-۴ سامانه های حفاظت کاتدی- ابعاد آند |
| ۱۱   | ۵ طراحی سامانه آندهای گالوانی         |
| ۱۱   | ۱-۵ کلیات                             |
| ۱۲   | ۲-۵ ملاحظات طراحی                     |
| ۱۳   | ۳-۵ مواد آند گالوانی                  |
| ۱۴   | ۴-۵ موقعیت آندها                      |
| ۱۵   | ۵-۵ طراحی پایه ها و متعلقات آندها     |
| ۱۷   | ۶ طراحی سامانه جریان اعمالی           |
| ۱۷   | ۱-۶ کلیات                             |
| ۱۷   | ۲-۶ ملاحظات طراحی                     |
| ۱۸   | ۳-۶ ملاحظات تجهیزات                   |
| ۲۰   | ۴-۶ ملاحظات مکانی                     |

|    |                                                                                              |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ۲۱ | طراحی سامانه های پایشی                                                                       | ۷    |
| ۲۱ | اهداف                                                                                        | ۱-۷  |
| ۲۱ | توصیف                                                                                        | ۲-۷  |
| ۲۳ | اندازه گیری های پتانسیل                                                                      | ۳-۷  |
| ۲۴ | اندازه گیری خروجی جریان الکتریکی آند                                                         | ۴-۷  |
| ۲۵ | انتقال داده ها                                                                               | ۵-۷  |
| ۲۵ | کنترل و پایش تولیدکننده های جریان اعمالی                                                     | ۶-۷  |
| ۲۵ | نصب سامانه های حفاظت کاتدی و پایشی                                                           | ۸    |
| ۲۶ | راه اندازی و بررسی سامانه حفاظت کاتدی                                                        | ۹    |
| ۲۶ | اهداف                                                                                        | ۱-۹  |
| ۲۶ | سامانه آندهای گالوانی                                                                        | ۲-۹  |
| ۲۶ | سامانه جریان اعمالی                                                                          | ۳-۹  |
| ۲۷ | مستندسازی                                                                                    | ۱۰   |
| ۲۷ | کلیات                                                                                        | ۱-۱۰ |
| ۲۷ | سامانه آندهای گالوانی                                                                        | ۲-۱۰ |
| ۲۸ | سامانه جریان اعمالی                                                                          | ۳-۱۰ |
| ۲۹ | ایمنی و حفاظت کاتدی                                                                          | ۱۱   |
| ۲۹ | اهداف                                                                                        | ۱-۱۱ |
| ۲۹ | موانع فیزیکی                                                                                 | ۲-۱۱ |
| ۲۹ | شوک الکتریکی                                                                                 | ۳-۱۱ |
| ۳۰ | آزاد شدن گاز                                                                                 | ۴-۱۱ |
|    | پیوست الف (آگاهی دهنده) راهنمای الزامات جریان برای حفاظت کاتدی سازه های فراساحلی فولادی ثابت |      |
| ۳۱ |                                                                                              |      |
| ۳۳ | پیوست ب (آگاهی دهنده) مقاومت آند و روابط طول عمر                                             |      |
| ۳۶ | پیوست پ (آگاهی دهنده) توصیه هایی برای نصب آند                                                |      |
| ۳۸ | پیوست ت (آگاهی دهنده) احتیاط های ایمنی برای سامانه جریان اعمالی                              |      |
| ۴۰ | پیوست ث (آگاهی دهنده) نمونه هایی از ویژگی های الکتروشیمیایی آندهای متداول جریان اعمالی       |      |
| ۴۱ | کتاب نامه                                                                                    |      |

## پیش گفتار

استاندارد «حفاظت کاتدی سازه‌های فراساحلی فولادی ثابت» که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در یک‌هزار و سیصد و هشتاد و نهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلز شناسی مورخ ۱۳۹۵/۱/۲۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، 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 تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

BS EN 12495:2000 Cathodic Protection for Fixed Steel Offshore Structures



## مقدمه

حفاظت کاتدی به همراه پوششهای حفاظتی یا رنگ، عموماً به منظور حفاظت سطوح خارجی سازه های فراساحلی فولادی ثابت و متعلقات آن از خوردگی در اثر آب دریا یا رسوبات دریایی مورد استفاده قرار می گیرد.

اصول کلی حفاظت کاتدی با جزییات در استاندارد prEN12473:1999 بیان شده است.

واکنش کاتدی این اطمینان را ایجاد می کند که از خوردگی سطوح سازه های غوطه ور و متعلقات وابسته که در معرض محیط دریایی قرار دارند جلوگیری می شود. حفاظت کاتدی شامل اعمال جریان مستقیم کافی در سطوح خارجی سازه ها به منظور کاهش پتانسیل الکترولیتی فولاد به مقادیری کمتر که در آنها خوردگی ناچیز است می باشد.

## حفاظت کاتدی سازه‌های فراساحلی فولادی ثابت

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش‌هایی برای حفاظت کاتدی سطوح غوطه‌ور سازه‌های دریایی فولادی ثابت و متعلقات آنها می‌باشد.

#### ۱-۱ اجزای سازه‌ای

این استاندارد برای تعیین الزامات حفاظت کاتدی سازه‌های ثابت شامل تجهیزات تولید زیر دریا و سازه‌های محافظت‌کننده مرتبط که ممکن است از طریق خطوط لوله یا مسیرگذر<sup>۱</sup> به یکدیگر متصل شده باشند یا متصل نباشند کاربرد دارد.

این استاندارد برای سطوح متعلقات غوطه‌ور متصل به سازه وقتی که به صورت الکتریکی به سازه وصل شده‌اند نیز کاربرد دارد.

این استاندارد برای حفاظت کاتدی سازه‌های شناور مانند کشتی، واحدهای نیمه غوطه‌ور یا سازه‌های طویل مانند خطوط لوله و کابل‌ها کاربرد ندارد.

این استاندارد تنها برای حفاظت کاتدی سطوح خارجی که در تماس با آب دریا یا بستر دریا قرار دارند کاربرد دارد و شامل سطوح خارجی دفن شده یا غوطه‌ور جاکت‌ها<sup>۲</sup>، لوله‌های هدایت‌کننده، لوله‌های جداری چاه<sup>۳</sup>، شمع‌ها<sup>۴</sup>، تیوب‌های ز شکل، رایزرهای تاسیسات جانبی<sup>۵</sup> یا تولید و غیره می‌شود.

این استاندارد جهت حفاظت از خوردگی اجزای سازه‌ای بالاتر از سطح آب دریا یعنی ناحیه در معرض امواج دریا و ناحیه اتمسفری کاربرد ندارد.

همچنین این استاندارد برای حفاظت مقاطع داخلی هیچ بخشی از جمله اجزای جاکت، پایه‌ها، لوله‌های هدایت‌کننده کاربرد ندارد. حفاظت این قطعات معمولاً توسط مواد شیمیایی انجام می‌شود.

#### ۲-۱ مواد

این استاندارد برای حفاظت کاتدی فولادهای بدون پوشش یا پوشش داده شده با کمینه استحکام تسلیم کمتر از  $500\text{N/mm}^2$  کاربرد دارد.

---

1- Walkway  
2- Jacket  
3- Well Casing  
4- Pile  
5- Utility Riser

## ۱-۲-۱ فولادهای استحکام بالا و پلاریزاسیون بیش از حد

اگر پتانسیل سازه خیلی منفی شود، پلاریزاسیون سازه بیش از حد شده و ممکن است هیدروژن به دیواره فولادی نفوذ کرده و باعث تردی فلز شود و در ادامه تاثیرات زیان‌آوری مانند رشد ترک رخ دهد.

به طور کلی، هر چه خواص کششی بالاتر باشد ریسک تخریب هیدروژنی بیشتر خواهد بود. هر چند سختی ماده و ریزساختار نیز اهمیت دارد.

این پدیده می‌تواند در فولادهای رایج مورد استفاده در سازه‌های ثابت دریایی ( رده S355 بر اساس EN10025) در پتانسیل‌هایی منفی‌تر از  $-1/10$  ولت در برابر الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره/آب دریا (Ag/AgCl/Sea Water) رخ دهد. توصیه می‌شود جهت استفاده حفاظت کاتدی خارج از این محدوده‌ها آزمونهای مرتبط به کار رود.

## ۲-۲-۱ جفت شدگی گالوانی

برخی اجزای سازه ای می‌توانند توسط مواد فلزی غیر از فولادهای کربن منگنز ساخته شوند. سامانه حفاظت کاتدی می‌بایست به منظور حصول اطمینان از کنترل کامل هر گونه خوردگی گالوانی حاصل از این جفت‌شدگی‌ها<sup>۱</sup> طراحی شود.

## ۳-۱ محیط

این استاندارد برای نواحی کاملاً غوطه‌ور در هر نوع آب دریا یا بستر دریایی کاربرد دارد.

برای سطوحی که به صورت متناوب غوطه‌ور شده و در معرض اتمسفر قرار می‌گیرند، حفاظت کاتدی فقط در مواقعی اثربخش است که زمان غوطه‌وری به اندازه کافی جهت پلاریزه‌شدن فولاد طولانی باشد. این حالت در حدود بخش یک سوم پایینی منطقه جزر و مد ایجاد می‌شود. بنابراین به منظور حفاظت در برابر سطوح تر شونده‌ای که بالاتر از این تراز قرار می‌گیرند روش حفاظتی متفاوتی مانند استفاده از پوشش حفاظتی، روکش کاری<sup>۲</sup>، عایق کاری<sup>۳</sup> و یا افزایش ضخامت مواد سازه ای باید اتخاذ شود.

## ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی به آنها ارجاع داده شده است. به این ترتیب آن مقررات بخشی از این استاندارد ملی محسوب می‌شود.

---

1- Couplings  
2- Cladding  
3- Sheating

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آنها مورد نظر است.

2.1 prEN12473:1999, General principles of cathodic protection in sea water

یادآوری- در این زمینه استاندارد ملی شماره ۱۸۷۴۹ نیز با عنوان «اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا» در سال ۱۳۹۳ تدوین شده است.

2.2 12496:1997, Galvanic anodes for cathodic protection in seawater

2.3 EN10025 Hot rolled products of non-alloy structural steels- Technical delivery condition

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

برای این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات استاندارد prEN12473:1999، اصطلاحات با تعاریف زیر به کار می رود:

۱-۳

#### ناحیه اتمسفری

atmospheric zone

ناحیه ای که بالاتر از ناحیه در معرض پاشش امواج دریا قرار گرفته است، یعنی بالای سطحی که امواج معمولی برخورد می کنند.

۲-۳

#### ناحیه مدفون

buried zone

ناحیه ای که پایین خط گل و لجن<sup>۱</sup> قرار دارد.

۳-۳

#### لوله های هدایت کننده

conductor pipe

اولین لوله جداری که بر روی چاه دریایی نصب می شود.

۴-۳

#### ورق تقویتی<sup>۲</sup>

doubler plate

---

1- Mud Line

2 - Doubler Plate

ورقی که به یک جزء جوشکاری می شود تا به صورت موضعی آن را تقویت نموده یا آن را از جوشکاری های بعدی مجزا کند.

۵-۳

ناحیه جزر و مد گسترش یافته

extended tidal zone

ناحیه ای که شامل ناحیه جزر و مد، ناحیه در معرض پاشش امواج دریا و ناحیه انتقالی است.

۶-۳

H.A.T

level of the highest astronomical tide

به بالاترین سطح جزر و مد نجومی گفته می شود.

۷-۳

ناحیه زیر آب

immersed zone

ناحیه ای است که در پایین ناحیه جزر و مد گسترش یافته و بالای خط گل و لجن قرار گرفته است.

۸-۳

تیوب J شکل

J-tube

مجرای لوله ای منحنی شکل که بر روی سازه طراحی و نصب می شود تا از یک یا چند رایزر یا کابل پشتیبانی کرده و هدایت نماید.

۹-۳

L.A.T

level of the lowest astronomical tide

به پایین ترین سطح جزر و مد نجومی گفته می شود.

۱۰-۳

رسوبات دریایی

marrine sediments

لایه بالایی بستر دریا که شامل مواد جامد اشباع از آب با چگالی های مختلف می باشد.

۱۱-۳

M.T.L

mean tide level

به سطح جزر و مدی متوسط گفته می شود (همچنین به صورت M.S.L یا M.W.L نیز شناخته می شود).

۱۲-۳

شمع

pile

جزء عمیق پی که از سازه فراساحل فولادی ثابت پشتیبانی می کند.

۱۳-۳

رایزر

riser

بخش عمودی یا تقریباً عمودی از خط لوله دریایی بین لوله کشی سکو و خط لوله بر روی بستر یا زیر بستر دریا که طول آن حداقل پنج برابر قطر لوله بعد از زانویی تحتانی، خم یا اتصالات است.

۱۴-۳

شوری

salinity

میزان نمک های غیر آلی که در آب دریا حل شده اند. روش اندازه گیری استاندارد بر اساس تعیین هدایت الکتریکی آب دریا می باشد. شوری بر حسب گرم بر کیلوگرم یا جزء در هزار (ppt) بیان می شود.

۱۵-۳

ناحیه در معرض پاشش امواج

splash zone

ارتفاعی از سازه کمی بالاتر از H.A.T که به دلیل اثر امواج دریا به صورت متناوب تر و خشک می شود.

۱۶-۳

ناحیه غوطه ور

submerged zone

ناحیه ای شامل نواحی مدفون، زیر آب و انتقالی می باشد.

۱۷-۳

ناحیه جزر و مد

tidal zone

ناحیه ای که بین L.A.T و H.A.T واقع شده است.

۱۸-۳

ناحیه انتقالی

transition zone

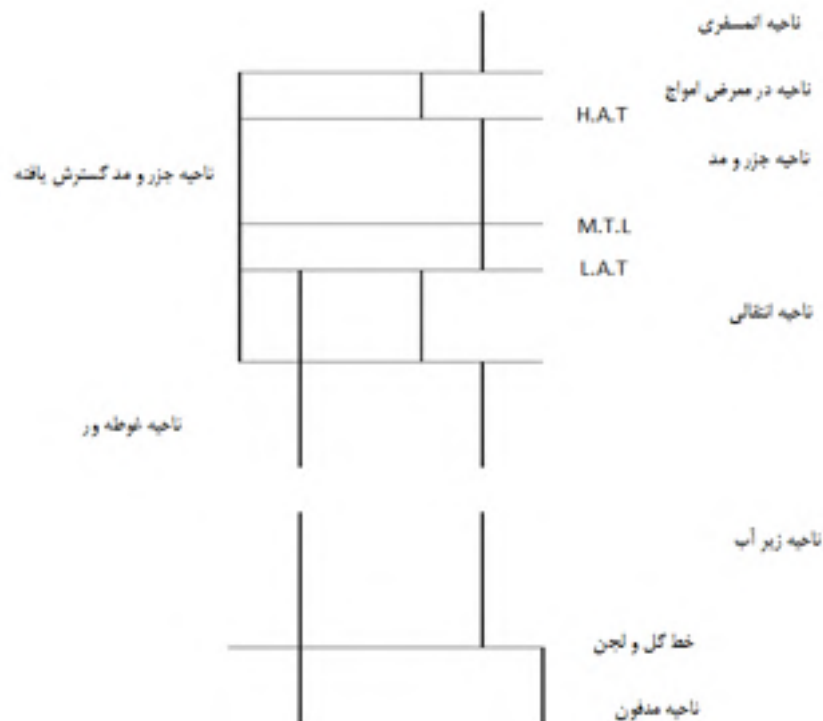
ناحیه ای که زیر L.A.T قرار گرفته و ممکن است حاصل اشتباه در تراز کردن سکو حین نصب باشد و این ناحیه همچنین شامل عمقی که معمولاً در معرض میزان اکسیژن بیشتری به دلیل امواج معمولی قرار دارد است.

۱۹-۳

لوله جداری چاه

well casing

رشته لوله های فولادی که در چاه های تولید نفت، گاز یا آب پایین فرستاده می شوند تا جریان آب را قطع کرده یا از فرو ریختن زمین سست جلوگیری کنند.



شکل ۱- نمایش شماتیک سطوح و نواحی در محیط آب دریا

#### ۴ اصول طراحی

##### ۱-۴ اهداف

مهمترین هدف سامانه حفاظت کاتدی اعمال جریان مناسب به منظور حفاظت از تک تک بخش های سازه و متعلقات و توزیع این جریان به صورتی است که پتانسیل فولاد نسبت به آب دریا برای هر بخش از سازه در محدوده پتانسیلی باشد که به عنوان معیار پتانسیل ارایه شده است ( به بند ۴-۲ مراجعه شود).

توصیه می شود پتانسیل تا آنجایی که ممکن است در کل سازه به صورت یکنواخت باشد. این هدف تنها با توزیع کافی آندها در طول سازه می تواند محقق شود. دست یابی به این هدف در برخی نواحی مانند گره های پیچیده<sup>۱</sup> یا چهارچوب های راهنماهای هدایت کننده که به ازای سطح وسیعی که باید حفاظت شود، محل کوچکی برای نصب آندها وجود دارد، مشکل است. از این رو توصیه می شود در مرحله طراحی سازه ملاحظات زیر صورت گیرد:

- با جلوگیری از پیکره بندی های پیچیده، یعنی اجزای لوله ای شکل به پروفایل های T یا H شکل ترجیح داده می شوند؛
- با کاهش تعداد سطوح فرعی؛

- با محدود کردن نسبت سطوح فولاد در برابر حجم الکترولیت در مناطق متراکم. در نزدیکی آندها، جایی که خروجی جریان آنها و نزدیکی به سازه ممکن است منجر به فوق پلاریزاسیون بیش از حد شود می توان از پوشش محافظ استفاده کرد. (به بند ۱-۲-۱ مراجعه شود). معمولاً توصیه می شود سامانه حفاظت کاتدی مطابق با طول عمر سازه طراحی شود. به منظور دستیابی به طراحی مناسب سامانه حفاظت کاتدی توصیه می شود این کار توسط متخصص حفاظت کاتدی انجام گیرد.

#### ۲-۴ معیارهای حفاظت کاتدی

معیارهای حفاظت کاتدی در استاندارد prEN 12473:1999 به تفصیل بیان شده است. برای دستیابی به سطح حفاظت کاتدی کافی بهتر است سازه های فولادی از پتانسیل حفاظتی مطابق با جدول زیر برخوردار باشند.

جدول ۱- خلاصه ای از مقادیر پتانسیل در برابر الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره/ آب دریا توصیه شده برای حفاظت کاتدی فولادها در آب دریا

| ماده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | کمینه پتانسیل منفی<br>ولت                                                   | بیشینه پتانسیل منفی<br>ولت                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| فولادهای کربنی/کم آلیاژ<br>ناحیه هوازی<br>ناحیه بی هوازی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -۰٫۸۰<br>-۰٫۹۰                                                              | -۱٫۱۰<br>-۱٫۱۰                                    |
| فولاد زنگ نزن<br>فولاد آستنیتی<br><br>- $PREN \geq 40$<br>- $PREN < 40$<br>فولاد دوفازی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | -۰٫۳۰<br>-۰٫۶۰ (به یادآوری ۱ مراجعه شود)<br>-۰٫۶۰ (به یادآوری ۱ مراجعه شود) | نا محدود<br>نا محدود<br>(به یادآوری ۲ مراجعه شود) |
| <p>یادآوری ۱- برای بسیاری از کاربردها، این پتانسیل ها برای حفاظت در برابر خوردگی شیاری کافی هستند، هر چند پتانسیل های بالاتری نیز می تواند در نظر گرفته شود.</p> <p>یادآوری ۲- بسته به ساختار متالورژیکی، این آلیاژها می توانند مستعد به ترک خوردن باشند و از این رو می بایست از پتانسیل های خیلی منفی اجتناب نمود (به استاندارد prEN 12473:1999 مراجعه شود).</p> <p>۱- عدد معادل مقاومت به حفره دار شدن</p> |                                                                             |                                                   |

#### ۳-۴ جریان الکتریکی مورد نیاز

به منظور دستیابی به معیارهای حفاظت کاتدی بر روی کل سازه ضرورت دارد جریان الکتریکی مورد نیاز برای هر بخش از سازه در نظر گرفته شود.

جریان الکتریکی مورد نیاز هر بخش سازه از حاصل ضرب مساحت سطح فولاد در چگالی جریان الکتریکی مورد نیاز حاصل می شود.



با توجه به اینکه شرایط محیطی متغیر است چگالی جریان مورد نیاز برای بخش های مختلف سازه یکسان نیست. از این رو توصیه می شود بخش ها و نواحی زیر با توجه به نواحی تعریف شده در بند ۳ در نظر گرفته شوند:

- ناحیه هایی که در منطقه جزر و مد و منطقه انتقالی قرار گرفته اند (معمولاً پوشش شده اند یا روکش کاری شده اند؛
- ناحیه هایی که در منطقه زیر آب قرار گرفته اند؛
- ناحیه هایی که در منطقه مدفون قرار گرفته اند؛
- چاه هایی که باید حفاری شوند: برای هر چاه سهمیه جریان بسته به اندازه های طراحی شده، عمق و سیمان کاری چاه ها باید در نظر گرفته شود (بند الف-۴ از پیوست الف را ببینید)
- سازه های مجاور و خطوط لوله ای که در تماس الکتریکی با سازه دریایی فولادی ثابت هستند باید حفاظت شوند.

انتخاب چگالی های جریان طراحی ممکن است بر اساس تجربیات سازه های مشابه در محیط های یکسان یا از آزمون ها و اندازه گیری های مخصوص انجام شود (مقادیر رایج در پیوست الف ارائه شده است).

چگالی جریان الکتریکی مورد نیاز برای حفاظت کاتدی به سینتیک<sup>۱</sup> واکنش های شیمیایی بستگی دارد و با عواملی مانند پتانسیل الکتروود فولاد، میزان اکسیژن محلول در آب دریا، نرخ جریان آب، دما، و احتمالاً عمق آب تغییر می کند. به علاوه تولید رسوبات آهنی و ته نشین شدن رشد کننده های دریایی<sup>۲</sup> شرایط سطح را برای واکنش های کاتدی تغییر می دهد.

برای هر مجموعه مشخص از شرایط محیطی و شرایط سطح فولاد (مانند زنگ زده، بلاست شده، پوشش شده با پوشش های فلزی یا آلی)، چگالی های جریان الکتریکی زیر باید مورد ارزیابی قرار گیرد:

- چگالی جریان الکتریکی اولیه مورد نیاز برای دستیابی به پلاریزاسیون اولیه سازه، یعنی کاهش پتانسیل فولاد به مقادیری که در محدوده پیشنهاد شده جدول ۱ هستند؛
- حفظ چگالی جریان الکتریکی مورد نیاز برای حفظ سطح پلاریزاسیون سازه؛
- چگالی جریان الکتریکی نهایی یا پلاریزاسیون مجدد مورد نیاز برای پلاریزاسیون مجدد احتمالی (یعنی برای برقرار نمودن مجدد پتانسیل به سطح پلاریزاسیون اولیه) سازه بعد از طوفان های شدید یا عملیات های تمیزکاری؛

از آنجا که دوره پلاریزاسیون اولیه قبل از شرایط پایدار<sup>۳</sup> یا تعمیر و نگهداری معمولاً در مقایسه با عمر طراحی کوتاه است، چگالی جریان الکتریکی بر حسب زمان معمولاً به چگالی جریان الکتریکی نگهداری بسیار نزدیک است.

---

1- Kinetic  
2- Marine Growth  
3- Steady State

باید به منظور بهینه سازی سامانه حفاظت کاتدی ارزیابی مناسبی از چگالی های جریان مورد نیاز انجام پذیرد.

#### ۴-۳-۱ اثرات متقابل

یک سکو ممکن است به صورت دائم یا موقت به سایر سازه های مجاور متصل شود. توصیه می شود این سازه ها به سامانه حفاظت کاتدی مربوط به خود مجهز شوند که قبل از اتصال الکتریکی آنها به سکو باید کنترل شوند.

اگر سازه های موقت به سامانه حفاظت کاتدی مجهز نباشند یا اگر حفاظت موثر نباشد، بهتر است حفاظت کاتدی سکو جهت اطمینان از کارایی آن طی مدت زمان اتصال، کنترل و تاثیر سازه های خارجی ارزیابی شود.

#### ۴-۴ پوشش ها

سامانه حفاظت کاتدی ممکن است با سامانه پوششی مناسب تلفیق شود. پوشش، جریان الکتریکی مورد نیاز را کاهش داده و توزیع جریان الکتریکی را در سازه به دلیل خواص عایقی بهبود می بخشد. این کاهش جریان الکتریکی مورد نیاز ممکن است به نسبت ۱۰۰ به ۱ یا حتی بیشتر باشد. با این حال جریان الکتریکی مورد نیاز با گذشت زمان به دلیل تخریب پوشش افزایش می یابد. توصیه می شود ضریب اولیه تخریب پوشش که بیشتر به دلیل تخریبهای مکانیکی که در طول نصب سازه رخ می دهد در نظر گرفته شده و نرخ زوال پوشش به منظور ارزیابی پیرشدن پوشش و تخریب های مکانیکی کوچک که در طول عمر سازه رخ می دهد ارزیابی گردد. این مقادیر بسیار به شرایط واقعی نصب و شرایط عملیاتی وابسته هستند. راهنماهایی برای مقادیر ضریب تخریب پوشش<sup>۱</sup> در پیوست الف ارائه شده است. بنابراین چگالی جریان الکتریکی نهایی مورد نیاز برای حفاظت فولاد پوشش داده شده برابر با حاصل ضرب چگالی جریان الکتریکی فولاد پوشش نشده و ضریب تخریب پوشش خواهد بود. به دلیل اثرات متقابل احتمالی میان سامانه حفاظت کاتدی و پوشش، بهتر است تمامی پوشش هایی که به همراه سامانه حفاظت کاتدی مورد استفاده قرار می گیرند از قبل مورد آزمایش قرار گیرند تا مقاومت کافی آنها در برابر جدایش کاتدی احراز شود.

#### ۴-۵ سامانه های حفاظت کاتدی - ابعاد آند

حفاظت کاتدی می تواند با استفاده از این موارد به دست آید:

-سامانه آندهای گالوانی؛

-سامانه جریان اعمالی؛

-تلفیقی از هر دو سامانه حفاظت کاتدی (سامانه تلفیقی)؛

وقتی از سامانه تلفیقی استفاده می شود، حفاظت کاتدی طی شناورسازی، نصب اولیه و متعاقباً در زمان خاموشی سامانه جریان اعمالی، باید توسط آندهای گالوانی فراهم شود.

همچنین آندهای گالوانی بهتر است در مناطقی که ممکن است دستیابی به مقدار پلاریزاسیون کافی توسط سامانه حفاظت کاتدی اعمالی به دلیل اثرات پوششی<sup>۱</sup> مشکل باشد، نصب شوند.

از آنجایی که جریان الکتریکی مورد نیاز با زمان ثابت نیست، سامانه حفاظت کاتدی باید قادر باشد تا چگالی جریان پلاریزاسیون مجدد مورد نیاز برای دوره های کوتاه در طول عمر سازه را فراهم کند.

تعداد آندهای مورد نیاز در هر منطقه مشخص از سازه توسط جریان حفاظت کاتدی مورد نیاز در آن منطقه و خروجی جریان هر آند منفرد تعیین می شود. خروجی جریان از هر آند منفرد با قانون اهم محاسبه می شود:

$$I = \Delta V / R$$

که در آن

$\Delta V$  ولتاژ محرکه بین پتانسیل آند و پتانسیل حفاظتی فولاد بر حسب ولت است؛

$R$  مقاومت مدار که عموماً به عنوان مقاومت آند در نظر گرفته می شود و بر حسب اهم است.

مقاومت آند تابعی از مقاومت ویژه محیط آندی و هندسه (شکل و ابعاد) آند است. مقاومت آند ممکن است با استفاده از یکی از فرمول های تجربی ارائه شده در پیوست ب محاسبه شود.

اگر آندها به صورت گروهی در یک آرایش و نزدیک به یکدیگر قرار گیرند، توصیه می شود تداخلات متقابل بین آندها در زمان محاسبه مقاومت آندها لحاظ شود.

توصیه می شود سامانه حفاظت کاتدی به گونه ای طراحی شود که ریسک اثر خطوط لوله مرتبط یا هر سازه مجاور دیگری به حداقل برسد.

بهتر است تمامی اجزای سامانه حفاظت کاتدی در مناطقی که احتمال مختل شدن یا تخریب کمتر است، نصب شود.

## ۵ طراحی سامانه آندهای گالوانی

### ۱-۵ کلیات

سامانه آندهای گالوانی با استفاده از اتصال سازه فولادی به آلیاژهایی که الکترون گاتیوتر هستند حفاظت را ایجاد می کند.

ابعاد، تعداد و موقعیت آندها باید به گونه‌ای تعیین شوند که معیار پتانسیل حفاظتی در تمام سازه در طول عمر مورد انتظار سامانه آندهای گالوانی حاصل شود ( به بند ۴-۱ رجوع شود).  
این امر ممکن است با استفاده از روش توضیح داده شده در بند ۵-۲ که سه طراحی چگالی جریان را در نظر می‌گیرد به دست آید.  
روشهای عددی رایانه‌ای که نمودارهای پلاریزاسیون را بررسی می‌نمایند نیز می‌توانند در مواردی که کاربرد داشته باشند مورد استفاده قرار گیرند.

## ۵-۲ ملاحظات طراحی

- سه چگالی جریان الکتریکی طراحی آنگونه که در بند ۴-۳ تعریف شده است باید مورد بررسی قرار گیرد:
- چگالی جریان الکتریکی نگهداری (میانگین) باید برای تعیین وزن آندها استفاده شود. این چگالی جریان مورد نیاز است تا سطح پلاریزاسیون کافی در طول عمر طراحی سازه فراهم نماید؛
- چگالی جریان الکتریکی اولیه باید برای بررسی ظرفیت جریان خروجی آندهای جدید مورد استفاده قرار گیرد، به نحوی که ابعاد اولیه آنها برای دستیابی به پلاریزاسیون اولیه کامل سازه در طول چند هفته کافی باشد؛
- چگالی جریان الکتریکی پلاریزاسیون مجدد باید برای تایید اینکه ظرفیت جریان خروجی آندها در زمانی که آندها متناسب با ضریب مصرف‌شان<sup>۱</sup>، مصرف می‌شوند، یعنی ابعاد قابل استفاده نهایی آنها ( به بند ب-۲ از پیوست ب مراجعه شود)، جهت پلاریزاسیون مجدد سازه بعد از طوفان‌های شدید یا بعد از عملیات تمیزکاری نمونه‌های دریایی کافی است، به کار رود؛
- از شکل‌ها و ابعاد بسیار متنوعی می‌توان به منظور انتقال جریان الکتریکی حفاظتی به سازه به منظور بهینه کردن توزیع جریان الکتریکی استفاده نمود ( به بند ب-۲ پیوست ب مراجعه شود).
- عملکرد آندهای گالوانی در آب دریا به ترکیب آلیاژی به خصوص وقتی آلیاژهای روی یا آلومینیم استفاده می‌شود وابستگی فراوانی دارد (به استاندارد prEN 12496:1997 مراجعه شود).
- بهتر است خواص الکتروشیمیایی مواد آندی مستندسازی شود یا با آزمون‌های مناسب تعیین شود.
- اطلاعات مورد نیاز شامل موارد زیر است:
- ولتاژ پیش‌ران<sup>۲</sup> (محرک) برای فولادهای پلاریزه شده، یعنی اختلاف میان پتانسیل آند اتصال کوتاه شده و حد مثبت معیار پتانسیل حفاظتی؛
- ظرفیت جریان الکتریکی عملی (آمپر ساعت بر کیلوگرم) یا آهنگ مصرف (کیلوگرم بر آمپر بر سال)؛

1- Utilization Factor

2- Driving Potential

- حساسیت به رویینگی<sup>۱</sup>؛

- حساسیت به خوردگی مرز دانه ای.

### ۳-۵ مواد آند گالوانی

آندهای گالوانی از آلیاژهای آلومینیم، منیزیم و روی ساخته می شوند.

الزامات اصلی مواد آندی در استاندارد prEN 12496:1997 تعریف شده است.

توصیه می شود تاثیر زیست محیطی عناصر فلزی آلیاژ که در الکترولیت (در آب دریا) رها می شوند در نظر گرفته شود.

### ۱-۳-۵ آندهای آلیاژ آلومینیم

آندهای آلیاژی آلومینیم می توانند در آب دریا یا در رسوبات دریایی<sup>۲</sup> استفاده شوند.

رفتار برخی از آلیاژهای آلومینیم ممکن است وقتی با گل و لجن احاطه شده باشد و به خصوص در خروجی جریان پایین به صورت نامناسبی تحت تاثیر قرار گیرد.

کارایی الکتروشیمیایی این آلیاژها در دمای بالا کاهش یافته و ممکن است در دماهای بالا مناسب نباشند.

این آلیاژها ممکن است حتی در دماهای پایین دچار خوردگی مرز دانه ای شوند و آلیاژهای خاصی شامل منیزیم ممکن است دچار پیرشدن با کاهش خواص مکانیکی شوند.

### ۲-۳-۵ آندهای آلیاژ منیزیم

آندهای آلیاژهای منیزیم پتانسیل بسیار منفی دارند و می توانند خروجی جریان بالایی را ارائه نمایند. آنها می توانند فقط با تعداد اندکی آند سطح حفاظت کاتدی کافی فراهم نمایند.

پتانسیل منفی بالای آنها ممکن است ریسک تردی هیدروژنی سازه فولادی و جدایش کاتدی را افزایش داده و توصیه می شود این ریسک ها ارزیابی شوند.

### ۳-۳-۵ آندهای آلیاژ روی

آندهای آلیاژ روی می توانند در آب دریا یا در رسوبات دریایی مورد استفاده قرار گیرند. آلیاژهای مشخصی ممکن است دچار خوردگی مرز دانه ای خصوصاً در دماهای بالا شوند.

در دماهای بالا آلیاژهای روی ممکن است دچار کاهش پتانسیل محرک و ظرفیت جریان شوند، از این رو بهتر است در دماهای بالاتر از ۵۰°C استفاده نشوند، مگر آنکه آزمونهای مناسبی استفاده آنها را پشتیبانی نماید.

---

1- Passivation

2- Marine Sediment

### ۴-۳-۵ عوامل تعیین کننده خروجی جریان آند و عمر بهره برداری

مواد آندی فوق، پتانسیل های محرک مختلفی در محیط های معین بهره برداری دارند. خروجی جریان الکتریکی آند به مقاومت محیط و به شکل آند و ابعاد آن بستگی دارد (به ۴-۵ و پیوست ب رجوع شود).

مواد آندی فوق همچنین نرخ مصرف مشخص متفاوتی در حین بهره برداری در محیط مشخص برخوردارند. بنابراین برای خروجی جریان الکتریکی مشخص، عمر آند به ماده آندی (نرخ مصرف) و وزن آن بستگی دارد. ابعاد و تعداد آندها به منظور کمینه ساختن وزن کلی آندهای گالوانی برای فراهم کردن جریان الکتریکی حفاظتی بزرگتر یا برابر با جریان الکتریکی حفاظتی مورد نیاز برای پلاریزاسیون مجدد در طول عمر سازه بهینه سازی می شوند.

خروجی جریان الکتریکی توسط قانون اهم مطابق با توضیحات بند ۴-۵ است.

ولتاژ خالص بین آند ساخته شده از آلیاژهای رایج پایه آلومینیم یا روی و سازه پلاریزه شده در سطح حفاظتی حداقل (۰/۸۰- ولت در برابر نقره/ کلرید نقره/ آب دریا) تنها ۰/۱۵ ولت تا ۰/۳۰ ولت است، اگرچه ولتاژ محرک خالص بسیار بالاتر و در محدوده ۰/۳۵ تا ۰/۵۰ ولت است.

طول عمر آندی می تواند از طریق فرمول ارائه شده در پیوست ب تعیین شود.

### ۴-۵ موقعیت آندها

#### ۱-۴-۵ ملاحظات حفاظت خوردگی

توصیه می شود آندهای گالوانی در سراسر سطح فولاد به نسبت جریان موضعی مورد نیاز توزیع شوند، به گونه ای که توزیع جریان یکنواختی حاصل شود. در برخی موقعیت های مشخص ممکن است از مزایای مدل های کامپیوتری بر اساس روش اجزای محدود یا اجزای مرزی استفاده شود.

توصیه می شود آندهای گالوانی بر اساس جریان مورد نیاز محاسبه شده توزیع شوند.

بهتر است برای مناطق با هندسه پیچیده، ملاحظات خاصی در نظر گرفته شود. ممکن است برای ارزیابی توزیع آندهای گالوانی محاسبات بیشتری ضروری باشد.

جوشهای گره<sup>۱</sup> از اهمیتی اساسی در یکپارچگی سازه برخوردار هستند. آنها مناطق هندسی پیچیده ای هستند که در آنها نسبت سطح فولاد به حجم الکترولیت ممکن است منجر به توزیع جریان ضعیفی شود (مناطق در سایه و اثرات پوششی).

از این رو پلاریزاسیون زود هنگام گره ها از اهمیت بالایی برخوردار است. این امر ایجاب می کند که آندها بر روی سازه قرار گیرند تا اینکه پلاریزه شدن گره ها بلافاصله بعد از نصب سازه امکان پذیر باشد.

1- Node Welds

کافی بودن توزیع جریان می تواند با استفاده از تعداد آندهای گالوانی بیشتری که خروجی جریان الکتریکی هر یک از آنها به صورت منفرد کمتر است، بهبود یابد.

#### ۵-۴-۲ ملاحظات یکپارچگی سازه

توصیه می شود آندهای گالوانی توسط جوشکاری پایه آنها به سازه متصل شوند، به گونه ای که تنش ها در محل جوش حداقل شود.

در مورد موقعیت و جهت گیری آندها توصیه می شود موارد زیر در نظر گرفته شود:

- کاهش ضربه موج/جریان؛
- جلوگیری از آسیب ناشی از اشیای در حال سقوط؛
- کاهش مشکلات ساخت، حمل و به آب انداختن؛

#### ۵-۵ طراحی پایه ها و متعلقات آندها

##### ۵-۵-۱ کلیات

روش اتصال آندها به سازه باید با نوع و کاربرد آنها تعیین شود، اما تماس الکتریکی با مقاومت پایین باید در طول عمر بهره برداری آندها حفظ شود. طراحی اتصالات باید بر اساس کد طراحی سازه باشد. این الزامات ممکن است بر طراحی پایه آندها تاثیر گذارد.

تکیه گاه ها ممکن است ادامه پایه آندها یا بخشی کامل بوده و توصیه می شود از فولاد سازه ای جوش پذیر باشد. آندهای گالوانی می توانند به صورت زیر به سازه متصل شوند:

- تکیه گاه آند می تواند به صورت مستقیم بر روی قسمتی از سازه که دیواره ضخیم تری دارد جوشکاری شود؛

- ورقهای تقویتی می توانند به صورت مستقیم بر روی بخشی از سازه جوشکاری شوند، پایه آند نیز که به ورق تقویتی جوش می شود ممکن است با استفاده از نبشی<sup>۱</sup> تقویت شود.

بهتر است نبشی ها بر روی اجزای چهارچوب های با تنش بالا یا بر روی بخش ها یا مناطق مستعد به خستگی استفاده شوند.

توصیه می شود طراحی ورق های تقویتی و نبشی ها همراه با محاسبه استحکام انجام شود.

ورق های تقویتی باید گوشه های گرد داشته باشند تا از تمرکز تنش جلوگیری شود.

---

1- Gussets

جوشکاری آندها به سازه باید مطابق با کد طراحی سازه انجام گیرد که خارج از دامنه کاربرد این استاندارد است. با این حال جوشکاری ورقهای تقویتی و پایه ها بر روی اجزای باربر باید توسط جوشکار تایید صلاحیت شده با استفاده از روش جوشکاری تایید شده انجام شود. این جوشها باید در معرض آزمونهای غیر مخرب قرار گیرند که عموماً بازرسی ذرات مغناطیسی یا مایعات نافذ است.

#### ۵-۵-۲ آندهای قلمی پایه‌دار<sup>۱</sup>

پایه‌های آندهای گالوانی قلمی باید ترجیحاً استوانه ای شکل باشند تا از تجمع گاز حین ریخته‌گری آلیاژ جلوگیری شود. با این حال دیگر شکل های پایه نیز ممکن است در نظر گرفته شود. ابعاد پایه‌ها و تکیه گاه ها باید با در نظر گرفتن وزن آلیاژ آندی و با شرایط بارگذاری محیطی مختلف آن گونه که در بند ۵-۵-۴ به تفصیل بیان شده است طراحی شود.

#### ۵-۵-۳ آندهای گالوانی ورقه ای تخت

بهتر است پایه آندهای گالوانی ورقه ای تخت از میله های تخت یا زاویه دار ساخته شود، که توصیه می شود ابعاد آنها بر اساس وزن و ابعاد آند باشد.

این پایه ها عموماً به منظور فراهم کردن امکان جوشکاری به سازه از وجوه جانبی آندها بیرون آمده اند. این نوع آندهای گالوانی در مکان‌هایی استفاده می شوند که محدودیت های فضایی یا ملاحظات نصب الزام به استفاده از آنها نمایند.

#### ۵-۵-۴ ملاحظات سازه ای

- پایه ها و تکیه گاه های آندها باید از استحکام کافی جهت تحمل شرایط زیر برخوردار باشند:
- شرایط قبل از سرویس شامل ساخت سازه، حمل، به آب انداختن و عملیتهای شمع کوبی؛
- حرکت‌ها و شتاب‌های سازه بر روی بارج حمل کننده می تواند با شبیه سازی حرکت پیش بینی شود. حداکثر شتاب محاسبه شده آندهای گالوانی می تواند از طریق این شبیه سازی تعیین شود؛
- برخی آندهای گالوانی ممکن است از بخش خارجی سازه آویزان شوند، و حین حمل دریایی در دریا فرو روند و در نتیجه در معرض نیروهای ضربه ای<sup>۲</sup> قرار گیرند؛
- همچنین در خصوص به آب انداختن سازه از بارج حمل کننده، ممکن است در زمان ورود سازه به آب نیروهای ضربه ای به آندها وارد شود؛ این ضربه ها در پیوست ج بحث شده است؛

1- Slender Galvanic Anodes with Stand-off Legs

2- Slamming Forces



- اتصالات آند نیز به دلیل عملیات شمع کوبی یا نیروهای امواج در معرض خستگی قرار دارند؛

- شرایط حین سرویس شامل خستگی ناشی از نیروهای امواج و شرایط آب و هوایی نامناسب؛

## ۶ طراحی سامانه جریان اعمالی

### ۱-۶ کلیات

سامانه جریان اعمالی، سازه فولادی را با متصل نمودن آن به پایانه منفی منبع تغذیه قابل کنترل، مانند مبدل یک سو کننده که معمولاً استفاده می شود، حفاظت می کند، و پایانه مثبت این منبع تغذیه به تعدادی از آندهای جریان اعمالی متصل می شود.

خروجی جریان الکتریکی مبدل یک سو کننده در طول عمر مورد انتظار سامانه حفاظت کاتدی به منظور دستیابی و حفظ سطح پتانسیل حفاظتی کافی بر روی کل سطوح سازه فولادی کنترل می شود.

محاسبات طراحی و مشخصات باید به تفصیل اطلاعات زیر را ارائه نماید:

- اصول طراحی؛

- محاسبات و طراحی تجهیز؛

- چیدمان کلی تجهیز؛

- مشخصات تجهیز (مانند مبدل یک سو کننده، آندها، کابل های اتصال و دستگاه های حفاظتی و اتصالی، الکترودهای اندازه گیری)؛

- مشخصات و جزییات نصب؛

- مشخصات پایش.

### ۲-۶ ملاحظات طراحی

سامانه جریان اعمالی سازه های فراساحل فولادی ثابت معمولاً شامل یک مبدل یک سو کننده متغیر و یک یا چند آند است.

عموماً یک سوکننده های قابل تنظیم دستی انتخاب می شوند، زیرا جریان مورد نیاز تغییر قابل ملاحظه ای در طول زمان ندارد.

در مواقع خاصی که شرایط محیطی و پیکره بندی سازه موجب تغییرات متناوب و بزرگ در جریان مورد نیاز می شود، ممکن است از یک سو کننده هایی با کنترل پتانسیل خودکار استفاده شوند.

برخی مناطق شرایط به خصوصی دارند که ممکن است حتی نیاز به سامانه کنترل چند ناحیه‌ای<sup>۱</sup> به منظور سازگار نمودن و بهینه سازی توزیع جریان به نیازهای حفاظتی باشد، به نحوی که کنترل حفاظتی هر ناحیه که توسط سامانه جریان اعمالی ویژه جداگانه ای انجام می شود.

تعداد و موقعیت آندها باید تا حد امکان به گونه ای تعیین شود که سطح پتانسیل حفاظتی کافی حاصل شود.

هر یک از آندهای جریان اعمال شده به تنهایی معمولاً جریان‌های الکتریکی بیشتری نسبت به آندهای گالوانی انتقال می‌دهند، در نتیجه برای جلوگیری از پلاریزاسیون بیش از حد موضعی و بهبود توزیع جریان به کاتد بهتر است از آندهای جریان اعمالی همراه با حفاظ عایق الکتریسیته<sup>۲</sup> یا فاصله جدایش بیشتر آند از سازه استفاده کرد.

جریان الکتریکی کلی محاسبه شده ( $I_{tc}$ ) مورد نیاز برای حفاظت یک بخش یا ناحیه از سازه با رابطه زیر بیان می شود:

$$I_{tc} = Sd$$

که در آن؛

$S$  سطح کلی بخش یا منطقه مورد نظر بر حسب متر مربع است؛

$d$  چگالی جریان الکتریکی حفاظتی که پلاریزاسیون مناسب فولاد را در محیط مورد نظر فراهم می کند بر حسب میلی آمپر بر متر مربع است.

چگالی جریان الکتریکی مورد استفاده برای طراحی بیشترین مقدار از مقادیر موثر اولیه، حالت پایدار و پلاریزاسیون مجدد نهایی است. مقادیر آغازین برای فولاد بدون پوشش استفاده می شود. برای فولاد پوشش شده، مقدار استفاده شده به ضریب تخریب پوشش بستگی دارد و باید ارزیابی شود.

برای جبران توزیع جریان موثر کمتر (تعداد آند کمتر)، توصیه می شود سامانه حفاظت کاتدی جریان اعمالی برای فراهم کردن ۱/۲۵ تا ۱/۵ برابر جریان کلی مورد نیاز محاسبه شده طراحی شود، که جریان الکتریکی مورد نیاز کلی طراحی  $I_t$  برابر است با:

$$I_t = (1.25 \text{ to } 1.5)I_{tc}$$

۳-۶ ملاحظات تجهیزات

۱-۳-۶ منبع تغذیه جریان مستقیم

1- Multi-Zone Control System

2- Dielectric Shields

توصیه می شود مبدل یک سو کننده یا تولید کننده جریان مستقیم<sup>۱</sup> قابل کنترل قادر باشد تا جریانی مساوی یا بیشتر از ۱/۲۵ تا ۱/۵ برابر مجموع جریان کلی مورد نیاز محاسبه شده برای نواحی یا بخش های سازه ای که قرار است مورد حفاظت قرار گیرد تامین نماید.

در تعیین ولتاژ خروجی بهتر است مقاومت مدار الکتریکی (کابل ها، آندها) و نیروی الکتروموتیو برگشتی<sup>۲</sup> بین آند و کاتد در نظر گرفته شود. نیروی الکتروموتیو برگشتی اختلاف پتانسیل مدار بازی است که به صورت طبیعی میان آند و کاتد در آب دریا به وقوع می پیوندد.

توصیه می شود مبدل یک سو کننده قادر به تامین جریان کافی برای نگهداری پتانسیل فولاد / آب دریا / الکتروود مرجع، در محدوده طراحی باشد.

### ۶-۳-۲ آندها

آندهای مورد استفاده برای سامانه جریان اعمالی می توانند از دو نوع اصلی باشند: آندهای نیمه مصرفی یا آندهای خنثی.

آندهای خنثی برای جریان های خروجی بالا ترجیح داده می شوند.

آندهای نیمه مصرفی پایه گرافیت، سیلیکون - آهن ، مگنتیت و غیره هستند.

آندهای خنثی از تیتانیوم، نیوبیم یا تانتالیم که لایه نازکی از پوشش یا روکش پلاتین بر روی فلز زمینه اعمال شده، یا از تیتانیوم فعال شده با اکسید مختلط فلزی<sup>۳</sup> ساخته می شود. پلاتین به صورت لایه نازکی بر زیرلایه های مختلف اعمال می شود.

برای خصوصیات عملکردی آند جریان اعمالی به پیوست ه رجوع شود.

سامانه نصب و دستگاه های اتصال آندهای سامانه جریان اعمالی در برابر تخریب مکانیکی حساس هستند، زیرا آندهای اندکی برای جریان خروجی نسبتاً بالایی به کار می روند. از دست دادن یک آند ممکن است به صورت قابل توجهی کارایی سامانه حفاظت کاتدی را کاهش دهد.

بنابراین سامانه نصب و دستگاه های اتصالات آندها باید به گونه ای طراحی شوند که مقاومت بالایی به تخریب های مکانیکی داشته باشند.

طراحی می بایست شامل ابزارهایی به منظور حداقل نمودن ریسک تماس مستقیم (اتصال کوتاه سامانه حفاظت کاتدی) بین آندها و سازه گردد.

1- Direct Current

2- Back e.m.f

3- Mixed Metal Oxide

بهتر است اطمینان حاصل شود که آندها قادر به توزیع مناسب جریان طراحی تامین شده توسط منابع جریان مستقیم هستند.

### ۳-۳-۶ پوشش عایق الکتریسیته

متریال انتخاب شده باید برای سرویس مورد نظر مناسب باشد. پوشش‌های اعمال شده به صورت مایع، پلاستیک‌های پیش ساخته یا ورق‌های الاستومریک می‌توانند در سازه‌های مجاور آندها یا به کار رفته در نصب آند استفاده شوند. واکنش‌های الکتروشیمیایی که در سطح آند و کاتد رخ می‌دهند، محصولات خورنده و گازهایی تولید می‌کنند که ممکن است پوشش عایق الکتریسیته را تخریب نمایند یا موجب جدایش شوند. توصیه می‌شود در طراحی پوشش عایق، تخریب احتمالی و خواص پیر شدن مواد در نظر گرفته شود.

### ۴-۳-۶ الکترودهای مرجع

الکترودهای مرجع برای اندازه‌گیری پتانسیل فولاد نسبت به الکترولیت استفاده می‌شوند و ممکن است برای کنترل جریان خروجی سامانه حفاظت کاتدی نیز مورد استفاده قرار گیرند، به بند ۷ مراجعه شود. در مواقعی که الکترودهای مرجع برای کنترل سامانه جریان اعمالی استفاده می‌شوند بهتر است در مناطقی که با محاسبات یا تجربه تعیین شده است نصب شوند تا اطمینان حاصل گردد که پتانسیل سازه در محدوده طراحی نگه داشته شده است. توصیه می‌شود برای جلوگیری از تماس مستقیم الکتریکی بین الکترودها و سازه فولادی احتیاط‌هایی در نظر گرفته شود.

### ۵-۳-۶ کابل‌ها، اتصالات

تمامی کابل‌ها باید به صورت دقیق حفاظت شوند تا از هر گونه آسیب مکانیکی جلوگیری شود. لوله‌های فولادی<sup>۱</sup> ممکن است برای این منظور مورد استفاده قرار گیرند. ارتباط الکتریکی بین کابل آند و آند باید ضد آب بوده و از نظر اتصال مکانیکی ایمن باشد. کابل و مواد عایق اتصال باید به شرایط محیطی، کلر، هیدروکربن‌ها و هر ماده شیمیایی زیان‌آور دیگری که ممکن است وجود داشته باشد مقاوم باشند. سطح مقطع کابل‌ها باید بر مبنای الزامات مکانیکی، نرخ جریان<sup>۲</sup> و افت ولتاژ ناشی از طول کابل تعیین شود.

1- Steel Conduit

2- Current Rating

#### ۴-۶ ملاحظات مکانی

- توصیه می شود موقعیت الکترودها و آندها:
- اثر ضربه موج/جریان را در بست های آند کاهش دهد؛
  - مانع از خسارت ناشی از سقوط اشیا شود؛
  - موجب کاهش مشکلات ناشی از ساخت، حمل و به آب انداختن<sup>۱</sup> گردد؛
  - بتواند از خسارت قلاب های کشیدنی<sup>۲</sup> جلوگیری کند؛
- توصیه می شود کابل ها در لوله هایی نصب شوند که مکان و نصب آنها با قوانین بالا مطابقت داشته باشد.

#### ۷ طراحی سامانه های پایشی

در صورت استفاده از سامانه های جریان اعمالی باید سامانه های پایشی دایمی به کار گرفته شود. چنین سامانه ای همچنین می تواند با سامانه آندهای گالوانی نیز استفاده شود. تجهیزات قابل حمل مورد استفاده برای بررسی دوره ای<sup>۳</sup> شامل این سامانه پایشی نمی شود.

#### ۱-۷ اهداف

سامانه پایشی مربوط به سامانه حفاظت کاتدی، عوامل بهره برداری و اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی را اندازه گیری کرده و ممکن است برای کنترل آنها مورد استفاده قرار گیرد.

حفاظت کاتدی سامانه ای فعال است، یعنی فقط زمانی اثربخش است که آندهای گالوانی یا سامانه جریان اعمالی در حال کار بوده و پلاریزاسیون کافی را برای فولاد جهت دستیابی به معیارهای حفاظتی بیان شده فراهم نماید.

در نتیجه توصیه می شود پتانسیل فولاد در طول عمر سازه اندازه گیری شود تا کارآیی حفاظت تصدیق شود.

اندازه گیری خروجی جریان الکتریکی آند اطلاعات بیشتری را ارائه می کند که ممکن است برای تصدیق بهره برداری مناسب تاسیسات استفاده شود و به عنوان معیاری از زمان عمر باقی مانده احتمالی آندهای گالوانی به کار گرفته شود. (به بند ۵-۳-۴ مراجعه شود).

#### ۲-۷ توصیف

سامانه پایش ممکن است شامل موارد زیر باشد:

---

1- Launching  
2- Dragging Objects  
3- Preodic Survey

#### - الکترودهای مرجع دایمی

توصیه می‌شود الکترودهای مرجع بر روی هر سطح زیر آب سازه، در نزدیکی سطح فولاد و در مکانی که در بند ۷-۳-۲ نشان داده شده است، نصب شده و محفوظ شوند. این الکترودهای مرجع باید از نظر الکتریکی نسبت به سازه عایق بوده و به سامانه انتقال داده متصل شوند.

#### - آندهای گالوانی تحت پایش دایم

توصیه می‌شود آندهای گالوانی تحت پایش از دسته آندهای گالوانی که انتظار می‌رود سازه را حفاظت نمایند انتخاب شوند و به صورت زیر تجهیز گردند:

- دو اتصال عایق کننده<sup>۱</sup> باید بین پایه های آند گالوانی و سازه قرار داده شود. در نتیجه ممکن است نیاز باشد پایه‌های اصلی برای قرار دادن اتصالات عایق بریده شوند، زیرا این اتصالات عایقی نمی‌توانند در جایی که لچکی‌ها قرار دارند سوار شوند و جوشکاری مستقیم آنها به سازه یا بر روی ورق تقویت کننده ممکن است منجر به بروز مشکلاتی در ثابت نگه‌داشتن تجهیزات اندازه‌گیری که در ادامه به آنها اشاره می‌شود گردد.

- یک شانت<sup>۲</sup> کالیبره شده به منظور اتصال کوتاه یکی از اتصالات عایقی که در بالا در نظر گرفته شده است. توصیه می‌شود شانت ترجیحاً داخل اتصالات عایق کننده نصب شود. توصیه می‌شود این شانت با کابل‌های متصل به سامانه انتقال داده‌ها، جفت شود. بهتر است مونتاژ شانت و اتصال عایقی ترجیحاً با رزین اپوکسی یا ترکیب عایق معادل احاطه شوند.

- یک الکتروده مرجع که ممکن است تا حد ممکن نزدیک سطح آند گالوانی نصب شود، اما به نحوی که گردش آب بین آند و الکتروده نیز میسر باشد. الکتروده مرجع نباید با محصولات اکسیداسیون آندها آلوده شود. این الکتروده باید به صورت الکتریکی از سازه عایق شده و به سامانه انتقال داده‌ها متصل شود.

#### - سامانه های لوله و کابل‌ها

تمامی کابل‌هایی که تجهیزات را به یکدیگر متصل می‌کنند باید از نوع زیر آب بوده و توصیه می‌شود از داخل لوله‌ها عبور داده شوند. لوله‌ها باید مطابق با تعداد و اندازه کابل‌ها و بر اساس بارگذاری‌هایی که ممکن است در معرض آن قرار گیرند اندازه و محافظت شوند.

آنها عموماً به یکدیگر پیچ شده و با استفاده از تکیه‌گاه‌های فولادی (ترجیحاً با جوشکاری) به سازه محکم می‌شوند.

طراحی تکیه‌گاه‌ها و فاصله لحاظ شده بین تکیه‌گاه‌های متوالی بهتر است بر اساس خواص لوله فولادی که پشتیبانی می‌شود و بر اساس شرایطی که به تفصیل در بند ۵-۵-۴ بیان شده است تعیین شود.

1- Insulating Joint

2- Shunt

#### - جعبه های تقسیم<sup>۱</sup>

توصیه می شود جعبه های تقسیم از لحاظ تعداد با توجه به کابل های اتصال زیر آب کافی باشند. هر جعبه تقسیم باید به سازه محکم گردد و بهتر است اتصالات قادر به تحمل شرایط محیط باشند. جعبه های تقسیم می بایست با ترمینال کابل مجهز شوند تا کابل ها را از آندهای پایش شده و الکترودهای مرجع به سامانه انتقال داده ها، متصل نماید.

- سامانه انتقال داده ها که امکان انتقال سیگنال را بدون کابل فراهم می سازد.

سامانه انتقال داده ها ممکن است از کابل های هادی چندتایی یا مبدل صوتی<sup>۲</sup> یا هر سامانه موثر دیگری بر حسب نیاز طراحی سامانه پایشی تشکیل شده باشد. نصب و موقعیت آنها باید امکان انتقال قابل اعتماد و اثربخش داده ها را فراهم نماید. این سامانه باید با دستگاه های حفاظتی مناسب تلفیق شود تا از حفاظت کامل در برابر محیط زیر آب (مانند حفاظت مکانیکی، حفاظت خوردگی، حفاظت در برابر نفوذ آب) اطمینان حاصل شود.

سامانه انتقال داده ها باید به هر یک از تجهیزات فوق متصل شود: آندهای گالوانی پایش شده، الکترودهای اندازه گیری مستقل و جعبه های تقسیم، هر کدام که کاربرد دارند.

#### ۳-۷ اندازه گیری های پتانسیل

##### ۱-۳-۷ روش اندازه گیری پتانسیل

پتانسیل فولاد با استفاده از ولت متر امپدانس بالا که میان فولاد و یک الکتروود مرجع متصل شده اندازه گیری می شود. الکتروود مرجع باید تا آنجایی که ممکن است به سطح فولادی که قرار است اندازه گیری شود نزدیک گردد.

اگر این مدار اندازه گیری به صورت دائمی متصل شده باشد، باید مراقب بود تا این مدار موجب تولید جریانی نشود که باعث پلاریزه کردن الکتروود مرجع شده و علایم خطا ارایه دهد.

##### ۲-۳-۷ مکان الکترودهای مرجع

بهتر است الکترودهای مرجع به صورتی توزیع شوند که قادر باشند پتانسیل های فولاد نمونه را اندازه گیری نمایند.

به علاوه توصیه می شود الکترودهای مرجع دائمی در مکان هایی مانند موارد زیر نصب شوند:

- نقاطی با بیشترین فاصله از آندها؛

1- Junction Boxex

2- Acoustic Transducer

- گره های سازه؛

- ناحیه های سایه شده که ممکن است در سازه هایی با هندسه پیچیده باشند، یا نزدیک متعلقات؛

- ناحیه هایی با بالاترین تنش های مکانیکی؛

- ناحیه های مشکوک به اثرات پلاریزاسیون بیش از حد؛

موقعیت های بهینه ممکن است به دلیل وجود محدودیت های سازه ای قابل قبول نباشند.

### ۳-۳-۷ انواع الکتروود مرجع

وقتی الکتروولیت، آب دریای پیرامون است، الکتروود روی/ آب دریا و الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره/ آب دریا متداول ترین الکتروودهای مورد استفاده هستند.

الکتروودهای مرجع در استاندارد prEN 12473:1999 توضیح داده شده اند.

### ۴-۳-۷ کالیبراسیون الکتروودهای مرجع

الکتروودهای مرجع باید به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در بازه های زمانی منظم با اندازه گیری پتانسیل، چه مستقیم و چه غیر مستقیم در برابر الکتروود مرجع کالومل اشباع کالیبره شوند.

برای تاسیساتی که الکتروودهای مرجع نمی توانند از موقعیت دایمی خود جدا شوند، برای کالیبره کردن باید الکتروود مرجع قابل حمل در مجاورت آنها قرار داده شود.

### ۴-۷ اندازه گیری خروجی جریان الکتریکی آند

توصیه می شود اندازه گیری خروجی جریان الکتریکی آندهای پایش شده با استفاده از آمپرسنج با مقاومت داخلی بسیار اندک انجام شود.

### ۱-۴-۷ سامانه جریان اعمالی

توصیه می شود جریان الکتریکی تحویلی به هر آند در ترمینال خروجی مبدل یک سو کننده یا تولید کننده جریان مستقیم قابل کنترل یا در جعبه تقسیم هر کدام که اجرایی تر است اندازه گیری شود.

### ۲-۴-۷ سامانه آندهای گالوانی

بازرسی چشمی به همراه اندازه گیری ابعاد آندهای گالوانی می تواند به عنوان نشانه ای از خروجی جریان به کار گرفته شود.

تعداد آندهای گالوانی پایش شده داریم یا استفاده از پروب های آمپرسنج، که به صورت موقت حول تکیه گاه های آندهای گالوانی بسته شده اند، اندازه گیری های قابل اعتمادتری از خروجی جریان لحظه ای بدست می دهند.



آندهای گالوانی پایش شده باید با ابعاد مشابه با دیگر آندهای گالوانی نصب شده بر روی سازه ساخته شود تا بتوان آنها را به عنوان نماینده به شمار آورد. پایه های آنها باید با استفاده از اتصالات عایقی از نظر الکتریکی از سازه عایق شوند، به نحوی که یکی از پایه ها با شانت کالیبره شده اتصال کوتاه شود تا امکان اندازه گیری خروجی جریان های الکتریکی را بدون کاهش قابل توجه ولتاژ پیش ران (محرک) مسیر نماید.

#### ۵-۷ انتقال داده ها

پتانسیل فولاد و سیگنال شانت می توانند با استفاده از کابل ها، سامانه انتقال صوتی (انتقال مستقیم یا با تاخیر) یا هر نوع ابزار مناسب دیگری منتقل شوند.

#### ۶-۷ کنترل و پایش مولدهای جریان اعمالی

مولد جریان مستقیم قابل کنترل، جریان اعمالی را به آندها تحویل می دهند و توصیه می شود با تجهیزات کنترلی زیر مجهز شوند:

- یک ولت متر برای اندازه گیری ولتاژ خروجی DC؛
- یک آمپرسنج برای اندازه گیری خروجی جریان DC هر مدار خروجی؛
- دستگاه های حفاظت در برابر ولتاژ بیش از حد و اتصال کوتاه؛
- یک کنتور که دوره زمانی خروجی جریان را اندازه گیری می کند ممکن است برای ثبت دوره های عملیاتی مولد جریان مستقیم قابل کنترل به کار رود.

#### ۸ نصب سامانه های حفاظت کاتدی و پایشی

توصیه می شود سامانه های حفاظت کاتدی و پایشی به گونه ای نصب شوند که اهداف طراحی حاصل و در طول عمر طراحی سامانه حفاظت کاتدی حفظ شود. بهتر است نصب مواد و تجهیزات مطابق با نقشه ها، مشخصات و دستورالعمل های مربوطه انجام شود.

عملیات نصب باید بر اساس کدها، مقررات و استانداردهای قابل استفاده انجام شود.

توصیه می شود تمامی مواد قبل از نصب بازرسی شوند تا اطمینان حاصل شود که آنها بر اساس مشخصه ها بوده و در معرض آسیب یا شکست قرار نگرفته اند.

کابینت مبدل یک سو کننده (چنانچه وجود داشته باشد) باید به گونه ای جانمایی و متصل شود که مقررات مرتبط با طبقه بندی نواحی خطر<sup>۱</sup> اخذ را برآورده کند.

بسته به نوع سامانه، آندها ممکن است بر روی بستر دریا در موقعیت دوردست یا بر روی سازه نصب شوند. آندهای نصب شده بر روی بستر دریا ممکن است با پی‌ریزی بتنی و یا مخازن شناور غیر فلزی پشتیبانی شوند تا پوشیده شدن آنها با گل و لجن به حداقل برسد.

## ۹ راه‌اندازی و بررسی میدانی<sup>۱</sup> سامانه حفاظت کاتدی

### ۱-۹ اهداف

- اهداف راه‌اندازی و بررسی میدانی سامانه حفاظت کاتدی شامل موارد زیر است:
- حصول اطمینان از اینکه کارکرد سامانه حفاظت کاتدی مطابق اهداف طراحی در نصب سازه است؛
- برای اثبات اینکه آیا سامانه حفاظت کاتدی بر اساس طراحی به کار ادامه خواهد داد و اینکه سازه به صورت رضایت‌بخشی از خوردگی حفاظت خواهد شد.

### ۲-۹ سامانه آندهای گالوانی

- برای سامانه‌های آندهای گالوانی، بررسی میدانی حفاظت کاتدی کل ساختار باید برای سازه فولادی بدون پوشش هر سه ماه و برای سازه‌های پوشش شده هر یک سال از زمان نصب سازه انجام شود.
- بررسی میدانی شامل اندازه‌گیری پتانسیل در محل‌های انتخاب شده است.
- توصیه می‌شود محل واقعی و وضعیت آندها بررسی و ثبت شود.

### ۳-۹ سامانه جریان اعمالی

- برای راه‌اندازی سامانه حفاظت کاتدی جریان اعمالی توصیه می‌شود اقدامات زیر به ترتیب انجام شود:
- بررسی سیم‌کشی به منظور حصول اطمینان از قطبیت صحیح (ترمینال منفی به سازه)؛
- روشن کردن مبدل یک سو کننده به منظور تامین جریان مستقیم به سازه؛
- پایش پتانسیل‌های سازه با سامانه پایش تا اینکه مقادیر پتانسیل مورد نیاز تامین گردد.
- بررسی میدانی پتانسیل حفاظت کاتدی سازه بهتر است در طول کمتر از یک ماه از راه‌اندازی سامانه حفاظت کاتدی انجام شود.
- توصیه می‌شود این بررسی میدانی شامل ثبت پتانسیل سازه در محل‌های انتخاب شده باشد. بهتر است مکان واقعی و وضعیت آندها، کابل‌ها، لوله‌ها، سامانه پایش بررسی و ثبت شود.

1 -Survey

## ۱۰ مستندسازی

## ۱-۱۰ کلیات

توصیه می شود تمامی اطلاعات، داده ها و نتایج مرتبط با سامانه حفاظت کاتدی ثبت شود و به صورت کلی بهتر است نتایج در راهنمای بهره برداری<sup>۱</sup> قرار داده شود. این نتایج بهتر است شامل همه داده‌هایی باشد که به طراحی، ساخت، نصب، راه اندازی، بهره برداری و نگهداری و اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی مرتبط است.

توصیه می‌شود مستندسازی بیانگر همه تغییرات از مشخصات طراحی مانند محل تجهیز یا انحراف در عمق قرارگیری که ممکن است نواحی حفاظت شده را تحت تاثیر قرار دهد، باشد.

توصیه می شود داده های راه اندازی شامل نتایج بررسی‌های میدانی انجام شده بعد از اعمال انرژی به هر سامانه حفاظت کاتدی به منظور ارزیابی برآورده شدن معیار طراحی و اثربخشی فعالیت بوده؛ و شامل اندازه گیری‌های پتانسیل سازه برای نشان دادن اینکه حفاظت صورت گرفته است، باشد.

## ۲-۱۰ سامانه آندهای گالوانی

توصیه می شود داده های زیر هر کدام که امکان پذیر باشد جهت رجوع به صورت دایم نگهداری و به صورت دایم بروز رسانی شوند:

- معیار طراحی شامل عمر طراحی، ویژگی های محیط (یعنی شوری آب، مقاومت)، معیار حفاظت، الزامات چگالی جریان الکتریکی (اولیه، نگهداری و نهایی یا مقادیر پلاریزاسیون مجدد)، مقادیر فرضی خروجی جریان آند در بازه های مختلف، و کارایی نظری (تئوری) آند و پتانسیل محرک (پیش ران)؛

- تعداد آندهای گالوانی، ابعاد آنها، وزن، مشخصات، ترکیب شیمیایی، نرخ مصرف عملی (آن‌گونه که در آزمون‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده است)، فاکتور بهره برداری به همراه مراجع و مستندات و سازنده/تأمین‌کننده؛

- محل هر آند گالوانی که چه در طول ساخت یا بعد از قرار گرفتن در موقعیت بررسی شده است، تمامی مغایرت‌ها با محل طراحی مشخص می شود ( این محل ها می توانند به صورت مناسبی بر روی نقشه سازه ثبت شوند)، روش اتصال و تاریخ نصب؛ توصیه می‌شود این داده ها در طول عمر سازه بروز رسانی شوند؛

- توضیحات، مشخصات و محل هر ابزار کنترل یا پایش جریان الکتریکی یا پتانسیل شامل نوع الکترود مرجع، تجهیزات اندازه گیری و کابل‌های اتصال؛

- نتایج راه اندازی شامل داده‌های بررسی میدانی پتانسیل؛

- نتایج داده‌های بازرسی میدانی در تعمیر و نگهداری دوره‌ای شامل اندازه‌گیری‌های جریان و پتانسیل به همراه نوع الکتروود مرجع، تجهیزات و فن اندازه‌گیری به منظور پیگیری تغییرات وضعیت‌های پتانسیل حفاظت کاتدی سازه.

#### ۳-۱۰ سامانه جریان اعمالی

توصیه می شود داده های زیر هر کدام که امکان پذیر باشد جهت رجوع نگهداری و به صورت دایم بروز رسانی شوند:

- معیار طراحی شامل عمر طراحی، خواص محیط (یعنی شوری، مقاومت)، معیار حفاظت، الزامات چگالی جریان (اولیه، نگهداری و نهایی یا مقادیر پلاریزاسیون مجدد)، مقادیر طراحی خروجی جریان آند؛

- تعداد آندها، ابعاد آنها، مشخصات، توصیف تجهیزات و اتصالات آندی، چگالی های جریان خروجی موثر و ولتاژ مجاز، به همراه مستندات و داده های سازنده / تامین کننده؛

- توصیف و مشخصات قطعات جانبی آند، ترکیب، محل و ابعاد هر عایق الکتریسیته ( در صورت کاربرد) به همراه مشخصات، خصوصیت‌ها و روش اتصال کابل‌های اتصال، جعبه‌های تقسیم و جعبه میانی (در صورت وجود)؛

- بررسی محل هر آند در زمان ساخت یا بعد از قرار گرفتن در موقعیت و همچنین همه مغایرت‌ها با محل طراحی مشخص شود (این مکان‌ها می‌توانند بر روی نقشه مخصوص سازه ثبت شوند)، تاریخ نصب (تاریخ قرارگیری سازه دریایی اگر در طول ساخت نصب شده است)؛ توصیه می‌شود این داده‌ها در طول عمر سازه بروز رسانی شوند؛

- محل، مشخصات تفصیلی، نقشه‌ها و ویژگی‌های خروجی هر منبع تغذیه DC قابل کنترل (مبدل یک سو کننده) با گزارش آزمون های سازنده آن؛

- توضیحات، مشخصات و محل هر دستگاه کنترل یا پایش پتانسیل حفاظتی، شامل نوع الکتروود اندازه‌گیری، تجهیزات اندازه‌گیری و کابل‌های اتصال؛

- نتایج راه‌اندازی شامل داده‌های بررسی میدانی پتانسیل، مقادیر خروجی جریان الکتریکی و ولتاژ هر منبع تغذیه DC قابل کنترل و هر گونه تنظیمات انجام شده؛

- نتایج بررسی‌های میدانی انجام شده در طول بازرسی دوره‌ای شامل مقادیر پتانسیل، مقادیر خروجی DC، داده‌های نگهداری یک سو کننده و دوره‌های از کار افتادگی به منظور پیگیری تغییرات پتانسیل حفاظتی.

#### ۱۱ ایمنی و حفاظت کاتدی

##### ۱-۱۱ اهداف

سامانه حفاظت کاتدی باید با تمامی استانداردهای ایمنی و قوانین مرتبط با تجهیزات الکتریکی که ممکن است برای تاسیسات فولادی فراساحلی ثابت کاربرد داشته باشند منطبق باشد.

این بند در مورد خطرات ایمنی ناشی از سامانه‌های حفاظت کاتدی و مرتبط با کارکنان غواصی در طول عملیات‌های زیرآب بحث می‌کند.

جنبه‌های ایمنی عملیات‌های غواصی خارج از دامنه کاربرد این استاندارد است. توصیه می‌شود به قوانین مدون متناسب رجوع شود (به پیوست د مراجعه شود).

سامانه آندهای گالوانی و سامانه جریان اعمالی بر اساس این خطرات اصلی بررسی خواهند شد: موانع فیزیکی، شوک الکتریکی و انتشار گازهای خطرناک.

## ۱۱-۲ موانع فیزیکی

مهمترین ریسک آندها گره خوردن تجهیزات غواصی غواصان به پیرامون آندها یا تکیه‌گاه‌های آندها و خسارت‌های مکانیکی به تجهیزات به دلیل خراشیدگی<sup>۱</sup> است. بنابراین مشخصات (و جزئیات) آندها و مونتاژ آنها به صورت زیر توصیه می‌شود:

- آندهای گالوانی قلمی با پایه‌های کمانی استوانه ای J شکل که از دو طرف آند بیرون آمده است؛

- آندهای گالوانی صفحه ای تخت؛

- آندهای گالوانی دست‌بند شکل.

به صورت مشابه توصیه می‌شود لوله‌های کابل آند، جعبه‌های تقسیم و غیره به صورتی طراحی شوند که فاقد لبه‌های تیز یا گوشه‌های تیز یا انتهاهای برآمده باشند (به بند ۱۱-۴ مراجعه شود).

## ۱۱-۳ شوک الکتریکی

در حالتی که تجهیزات سامانه حفاظت کاتدی جریان اعمالی معیوب باشد یا غواص به صورت غیر عمد با اجزای آند فعال تماس مستقیم برقرار نماید ممکن است دچار شوک الکتریکی شود.

هنگام عملیات‌های غواصی که مستقیماً به سامانه حفاظت کاتدی مرتبط نمی‌شود و هر گونه بازرسی‌هایی که نزدیک به آندهای جریان اعمالی انجام می‌شود، منبع تامین جریان مستقیم آندها باید خاموش شود. با این حال در صورتی که تمامی قوانین ایمنی مربوطه و احتیاط‌های لازم به عمل آید، انجام «غواصی جهت بازرسی حفاظت کاتدی» با سامانه جریان اعمالی در حال کار، می‌تواند انجام شود.

---

1- Chafing

## ۴-۱۱ آزاد شدن گاز

### ۱-۴-۱۱ انتشار هیدروژن

پلاریزاسیون سازه به مقادیر منفی تر از  $-0.80$  - ولت در برابر الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره/آب دریا می‌تواند به انتشار گاز هیدروژن در سطح فولاد منجر شود. اگر گاز بتواند در فضای هوای محصور مانند دهلیزهایی<sup>۱</sup> که فقط بخشی از آنها پر از آب دریا هستند جمع شود می‌تواند ریسک انفجار داشته باشد.

برای جلوگیری از این خطرات، اقدامات پیشگیرانه زیر توصیه می‌شود:

- کلیه طراحی‌ها شامل تهویه مناسب برای جلوگیری از تجمع هیدروژن باشد.
- پتانسیل الکترولیت به سازه در مقادیر منفی کمتری از مقدار آستانه که در آن انتشار هیدروژن محسوس نباشد حفظ شود. این امر می‌تواند با حصول اطمینان از اینکه حداقل فاصله بین سازه و آندهای جریان اعمالی وجود داشته باشد، حاصل می‌شود.
- نصب آندهای آلایژ منیزیم در نواحی که هیدروژن ممکن است تجمع کند توصیه نمی‌شود.

### ۲-۴-۱۱ انتشار کلر

واکنش‌های الکتروشیمیایی بر روی سطوح آندهای جریان اعمالی در آب دریا همواره منجر به انتشار گاز کلر که بسیار سمی و خورنده است، می‌شوند. اگر این گاز در فضای هوای محصور بالای آب جمع شود، ممکن است برای افراد و مواد مخاطراتی ایجاد کند.

برای جلوگیری از این خطر، در تمامی طراحی‌ها باید از تجمع گاز جلوگیری شود.

---

1- Cofferdam

## پیوست الف

### (آگاهی دهنده)

#### راهنمای الزامات جریان برای حفاظت کاتدی سازه‌های فراساحلی فولادی ثابت

در نبود هرگونه تجربه مستند دیگری، مقادیر زیر می‌تواند لحاظ شود.

#### الف-۱ چگالی‌های جریان طراحی برای حفاظت از فولاد بدون پوشش در ناحیه زیر آب

##### جدول الف-۱ چگالی‌های جریان طراحی در ناحیه زیر آب

| چگالی جریان ( $\text{mA/m}^2$ ) |                |              | منطقه جغرافیایی                                                                                   |
|---------------------------------|----------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مقادیر پلاریزاسیون مجدد         | مقادیر نگهداری | مقادیر اولیه |                                                                                                   |
| ۱۳۰                             | ۱۰۰            | ۲۲۰          | بالای $62^{\circ}\text{N}$<br>دریای شمال (بخش شمالی) $55^{\circ}\text{N}$ تا $62^{\circ}\text{N}$ |
| ۱۲۰                             | ۹۰             | ۱۸۰          |                                                                                                   |
| ۱۰۰                             | ۹۰             | ۱۵۰          | دریای شمال (بخش جنوبی) زیر $55^{\circ}\text{N}$<br>غرب انگلستان، غرب ایرلند، هلند                 |
| ۹۰                              | ۷۰             | ۱۳۰          | خلیج فارس، هند، استرالیا، برزیل، غرب آفریقا                                                       |
| ۸۰                              | ۶۰             | ۱۱۰          | دریای مدیترانه، دریای آدریاتیک، خلیج مکزیک، اندونزی                                               |

#### الف-۲ چگالی‌های جریان طراحی برای حفاظت از فولاد بدون پوشش در ناحیه جزر و مد توسعه یافته

توصیه می‌شود چگالی‌های جریان جدول الف-۱ به میزان ۲۰٪ افزایش یابند.

الف-۳ چگالی‌های جریان طراحی برای حفاظت فولاد بدون پوشش در رسوبات دریایی (دمای محیط)

جدول الف-۲ چگالی‌های جریان طراحی در رسوبات دریایی

| چگالی جریان ( $\text{mA/m}^2$ ) |                |                         |
|---------------------------------|----------------|-------------------------|
| مقادیر اولیه                    | مقادیر نگهداری | مقادیر پلاریزاسیون مجدد |
| ۲۵                              | ۲۰             | ۲۰                      |

الف-۴ جریان تخلیه شده توسط چاه‌ها: ۵ تا ۶ آمپر در هر چاه

حفاظت کامل سطوح خارجی لوله‌های جداری تنها زمانی ممکن است که افت پتانسیل در طول لوله‌های جداری به اندازه کافی اندک باشد، تا مقدار پتانسیل در کف چاه منفی تر از معیار حفاظت کاتدی باشد. سطح حفاظت کاتدی در پایین لوله جداری به شدت به کیفیت سیمانکاری لوله جداری وابسته است، سیمانکاری خوب تخلیه جریان توسط چاه را کاهش داده و حفاظت کاتدی لوله جداری را بهبود می دهد.

الف-۵ مقادیر تخریب پوشش سامانه رنگ رایج در طراحی سامانه‌های حفاظت کاتدی

ضریب تخریب پوشش اولیه : ۱٪ تا ۲٪ برای ناحیه غوطه ور

۲٪ تا ۵٪ برای ناحیه جزر و مد توسعه یافته

آهنگ تهی شوندگی سالیانه: ۱٪ تا ۱/۵٪ در هر سال

یادآوری- سامانه‌های رایج رنگ شامل کمینه دو لایه رنگ که در دمای محیط خشک می شوند می باشد (اپوکسی قطران زغال سنگ، اپوکسی و غیره) با محدوده ضخامت لایه خشک از ۳۰۰ میکرومتر تا ۵۰۰ میکرومتر.



## پیوست ب

### (آگاهی دهنده)

#### مقاومت آند و روابط طول عمر

##### ب-۱ فرمول مقاومت آند

آندهای گالوانی قلمی که دست کم با ۰/۳ متر فاصله از سطح سازه فولادی نصب می شوند

اگر  $L \geq 4r$

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right)$$

اگر  $L < 4r$

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln\left(\frac{2L}{r}\right) \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right) + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 + \frac{r}{2L}} \right)$$

##### آندهای گالوانی صفحه‌ای تخت

$$R_a = \frac{\rho}{2S}$$

##### دیگر شکل ها و آندهای دستبندی

$$R_a = \frac{0.315\rho}{\sqrt{A}}$$

که در آن:

$\rho$  مقاومت ویژه محیط بر حسب اهم متر است،

$L$  طول آند بر حسب متر است،

$r$  شعاع آند (شکل هایی غیر از استوانه  $r = (C/2)\pi$  که  $C$  محیط سطح مقطع است)، بر حسب متر است،

$S$  میانگین حسابی طول و عرض آند بر حسب متر است،

$A$  سطحی از آند که در معرض قرار دارد و بر حسب متر مربع است،

هر گاه اطلاعاتی از مقاومت ویژه محیط وجود نداشت، مقادیر به دست آمده از شکل ب-۱ ممکن است استفاده شوند.

برای بستر دریا مقاومت ویژه ممکن است از ۰/۷ اهم متر برای خاک رس نرم تا ۱/۷ اهم متر برای شن متفاوت باشد.

## ب-۲ طول عمر آندهای گالوانی

طول عمر آندهای گالوانی ممکن ( $L$ ) است با استفاده از فرمول زیر محاسبه شود:

$$L = \frac{Wu}{EI_m}$$

که در آن:

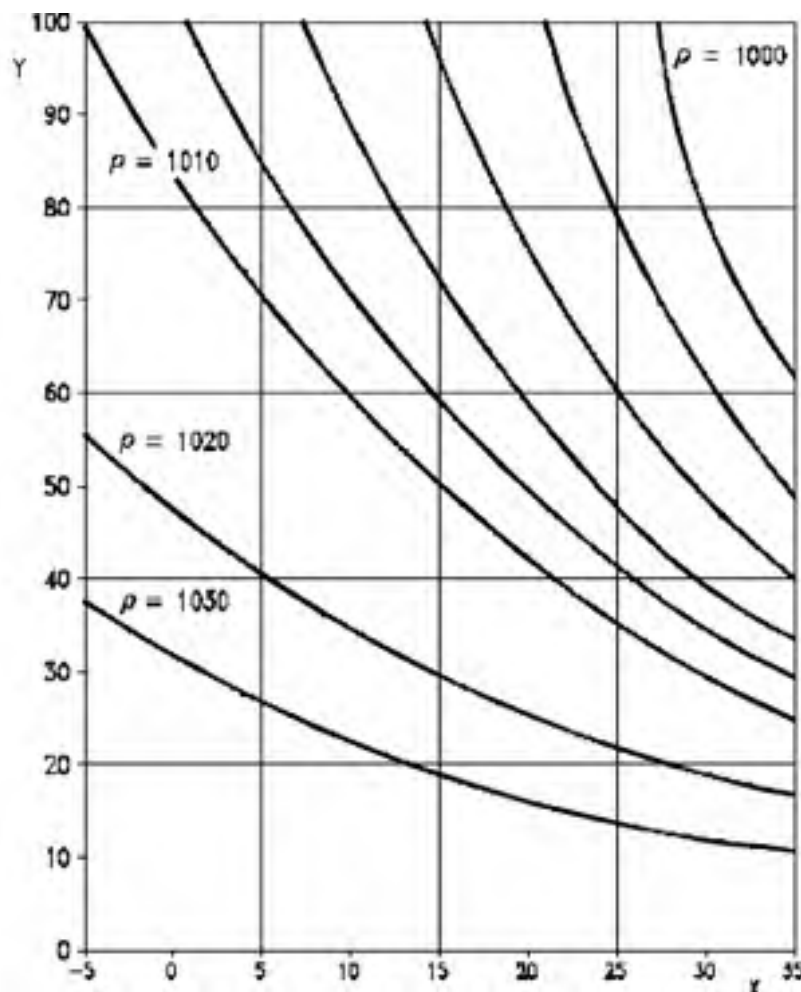
$L$  طول عمر موثر آند بر حسب سال است،

$W$  وزن خالص آندها بر حسب کیلوگرم است،

$u$  «عامل استفاده» است و نسبتی از مواد آندی است که قبل از کار افتادن آند، برای فراهم کردن جریان خروجی مورد نیاز مصرف می شود. شکل آند بر «عامل استفاده» که ممکن است در محدوده ۰/۷ تا ۰/۹۵ باشد تاثیر گذار است،

$E$  نرخ مصرف مواد آندی در محیط مورد نظر، بر حسب کیلو گرم بر آمپر در سال در نظر گرفته می شود،

$I_m$  خروجی جریان نگهداری (متوسط) در طول عمر، بر حسب آمپر است.



راهنما:

$x$ : دما بر حسب  $^{\circ}\text{C}$

$y$ : مقاومت بر حسب اهم سانتی متر

$\rho$ : چگالی آب دریا بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب

شکل ب-۱ مقاومت آب دریا نسبت به دما و نسبت به چگالی (گرم بر لیتر)

## پیوست پ

### (آگاهی دهنده)

#### توصیه‌هایی برای نصب آند

##### پ.۱ نیروی ضربه ای

نیروی ضربه ای ایستایی  $F_s$  بر واحد طول می تواند با رابطه موریسون محاسبه شود:

$$F_s = \frac{1}{2} \rho C_s D U^2$$

که در آن:

$C_s$  ضریب ضربه است؛

$\rho$  جرم حجمی آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب است؛

$D$  قطر تکیه گاه / پایه آند بر حسب متر است؛

$U$  مولفه سرعت پیش بینی شده با آنالیز حرکت به آب انداختن، عمود بر سطح تکیه گاه / پایه آند، بر حسب متر بر ثانیه؛

یادآوری - مقدار نظری (تئوری) ضریب ضربه  $C_s$  برای آندهای استوانه ای  $\pi$  است. این مقدار برای آندهای با سطح مقطع دوزنقه‌ای بیشتر بوده و به شکل سطح مقطع بستگی دارد.

نیروهایی که در طول ساخت، و حمل متحمل می شوند عموماً کمتر از نیروی ضربه ای ناشی از به آب انداختن هستند.

##### پ-۲ تخریب خستگی تکیه گاه‌های آند

مراحل زیر می تواند برای ارزیابی احتمال تخریب خستگی تکیه‌گاه‌های آندها در طول عملیات شمع‌کوبی استفاده شود.

- ارزیابی حداکثر شتاب بدنه شمع برای هر ضربه چکش؛

- ارزیابی جرم موثر آندها (جرم ماده آند به اضافه جرم پایه و تکیه گاه)؛

- محاسبه بیشینه تنش خمشی در پایه و در تکیه‌گاه‌های آند؛

- محاسبه فرکانس طبیعی آندها؛

- ارزیابی پاسخ تنشی آند با فرض موج ورودی نیم سینوسی و سطح مناسبی از میرایی؛

- ارزیابی کلاس خستگی (منحنی S-N)؛

- محاسبه خسارت خستگی برای توالی محدوده‌های تنشی تجربه شده ناشی از یک ضربه؛
- ضرب نمودن تعداد ضربه‌های مورد انتظار برای راندن شمع، این عدد را از مطالعات قابلیت رانش شمع می‌توان پیش بینی کرد.

## پیوست ت

### (آگاهی دهنده)

#### احتیاط‌های ایمنی برای سامانه جریان اعمالی

هر مقررات قانونی قابل استفاده باید اعمال شود.

اطلاعات کلی زیر باید مدنظر قرار گیرد.

توصیه می شود در کنار مبدل‌های کاهنده<sup>۱</sup> دستگاه‌های حفاظتی که در مواقع خطا بین ورودی AC مبدل و خروجی DC یک سو کننده، عمل می‌کنند، استفاده شود، مگر آنکه مبدل‌های کاهنده از نوع مبدل‌های جداکننده دو عایقی<sup>۲</sup> باشند.

برخی خصوصیت‌های رایج آینده‌های جریان اعمالی در پیوست ت ارایه شده است.

بر اساس بیشینه جریان که توسط آند منتقل می شود، شیب ولتاژ حاصل در آب پیرامون با استفاده از رسانایی آب دریا قابل محاسبه است و می توان از آن برای تخمین جریان احتمالی در بدن غواص با فرض سخت ترین حالت، استفاده کرد.

نمودارهای IEC/TR 60479-1, IEC/TR 60479-2, IEC/TR 60479-3 (به کتاب نامه مراجعه شود) روابط بین دوره شوک و جریان مجازی که می تواند از بدن عبور کند را ارایه می کند.

با در نظر گرفتن بدترین حالت که جریان ایمن بدن ۴۰ میلی آمپر قابل قبول است، بیشینه شیب ولتاژ ایمن بدون دستگاه قطع ولتاژ<sup>۳</sup> DC با در نظر گرفتن ولتاژ اسمی ۲۴ ولت، ۳۰ ولت خواهد بود. این مقدار برای غواص‌هایی که ممکن است به آینده‌های جریان اعمالی نزدیک شوند و به صورت عادی لباس لاستیکی کامل به همراه دستکش لاستیکی پوشیده اند قابل استفاده است.

در این حالت، اگر ولتاژ پایین تر از ۵۰ ولت باقی بماند مقاومت بدن ۷۵۰ اهم در نظر گرفته می شود (۵۰۰ اهم برای ولتاژهای بالاتر).

مقادیر فاصله ایمن غواص تا آند در آب، یعنی با افت ولتاژ به کمتر از ۳۰ ولت، به نسبت جریان منتقل شده ( $I_a$ ) به جریان ایمن بدن ( $I_b$ ) بستگی خواهد داشت.

برای غواص‌هایی که درگیر حفاظت کاتدی نیستند یا از آن آگاهی ندارند (مانند آن‌هایی که رشدکننده‌های دریایی را تمیز می‌کنند) پیشنهاد می شود سامانه جریان اعمالی در طول غواصی خاموش شود.

1- Step Down Transformer

2- Double-Insulated Isolating Type Transformer

3 - DC trip

برای غواص‌هایی که در بازرسی حفاظت کاتدی فعالیت می‌کنند باید بین غواص‌ها و آندهای جریان اعمالی که در حال بهره‌برداری هستند فاصله ایمن حفظ شود.

برای اجرای بازرسی چشمی آندهای جریان اعمالی از نزدیک، توصیه می‌شود منبع DC آندها خاموش شود.

پیوست ث

(آگاهی دهنده)

نمونه هایی از ویژگی های الکتروشیمیایی آندهای متداول جریان اعمالی

| مواد آند                | نرخ مصرف                       | بیشینه چگالی جریان | بیشینه ولتاژ     |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------|
| (g/Ay)                  | (A/m <sup>2</sup> )            | (V)                |                  |
| تیتانیم با پوشش پلاتین  | <sup>(a)</sup> ۰/۰۰۱۲ تا ۰/۰۰۴ | ۳۰۰۰ تا ۵۰۰        | ۸ <sup>(b)</sup> |
| نیوبیم با پوشش پلاتین   | <sup>(a)</sup> ۰/۰۰۱۲ تا ۰/۰۰۴ | ۳۰۰۰ تا ۵۰۰        | ۵۰               |
| تانتالیم با پوشش پلاتین | <sup>(a)</sup> ۰/۰۰۱۲ تا ۰/۰۰۴ | ۳۰۰۰ تا ۵۰۰        | ۱۰۰              |
| اکسید مختلط فلزی        | ۰/۰۰۰۶ تا ۰/۰۰۰۶               | ۱۰۰۰ تا ۴۰۰        | ۸ <sup>(b)</sup> |
| نقره سرب <sup>(c)</sup> | ۱۰۰ تا ۲۵                      | ۳۰۰ تا ۲۵۰         | ۲۴               |
| آهن سیلیکون کروم        | ۵۰۰ تا ۲۵۰                     | ۳۰ تا ۱۰           | ۵۰               |

(a) عمر مفید پلاتین ممکن است از مقاومت الکترولیت تاثیر پذیرد، آهنگ مصرف با مقاومت افزایش می یابد. همچنین عمر فیلم پلاتین می تواند با مقدار و بسامد نوسانی که در منبع تغذیه جریان مستقیم قرار دارند تاثیر پذیرد. توصیه می شود از فرکانس های نوسان کمتر از ۱۰۰ هرتز اجتناب شود.

(b) در آب دریا، فیلم اکسیدی تشکیل شده بر روی فلز تیتانیم ممکن است در صورت افزایش ولتاژ از ۸ ولت در آند نسبت به الکتروود مرجع نقره/ کلرید نقره/ آب دریا دچار شکست شود. ولتاژهای بیشتر ممکن است با آندهای پلاتین شده کامل یا در محیط هایی با شوری کمتر استفاده شود.

(c) تشکیل فیلم اکسید سرب ممکن است با استفاده از پین های پلاتین در آلیاژ نقره سرب تقویت شود.



### کتاب نامه

- [1] prEN 12474:1997, Cathodic protection for submarine pipelines.
- [2] AODC Code of Practice for safe use of electricity under water.
- [3] British Standard BS 7361 (1991), Cathodic Protection, Part 1.
- [4] Bureau Veritas Recommended Practice NR423 DTO ROO, Corrosion protection of steel offshore units and installations (1199966)
- [5] DNV Recommended Practice RP B401, Cathodic Protection, design (1993)
- [6] ISO/TR 60479-1:1994, Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects.
- [7] ISO/TR 60479-2:1987, Effects of current passing through the human body Part 2: Special aspects.
- [8] ISO/TR 60479-3:1998, Effects of current on human beings and livestock- Part 3: Effects of currents passing through the body of livestock.
- [9] Handbook of Ocean and Underwater Engineering – McGraw-Hill (1969)