

# حفاظت کاتدی شناورها با آیندهای فداشونده

تالیف:

مهندس اردشیر یارکزاده

مهندس حسین سرلک



آشادات انجمن خردکی ایران

# سخن ناشر

کتاب پیش رو با عنوان "حفاظت کاتدی شناورها با آندهای فداشونده" توسط شرکت محترم برناگداز که یکی از حامیان بزرگ انجمن خوردگی ایران از زمان روان‌شاد دکتر میرغفوریان تاکنون می‌باشد تهیه گردیده است. در این کتاب از یک سو به خوبی به خوردگی فلزات در محیط‌های آبی، معادلات ترمودینامیکی، پلاریزاسیون (قطبش) و تئوری نوین خوردگی پتانسیل مختلط خوردگی پرداخته شده است و از سوی دیگر، پیش‌بینی خوردگی به صورت زوج‌های غیر هم‌جنس بر اساس سری گالوانیک صورت پذیرفته است.

به دلیل آن که آب دریا خورنده‌ترین محیط آبی و غلظت نمک‌های محلول در آن به مقدار تقریبی  $35/5 \text{ gr/litr}$  است، از دیرباز محافظت از سازه‌های دریایی، شناورها، زیرسطحی‌ها، نفتکش‌ها، کشتی‌های باری، تفریحی، مسافربری و ... از وظایف مهندسين خوردگی بوده است. شناورهای دریایی از سطحی تا زیرسطحی همگی در معرض انواع خوردگی هستند و این هنر و درایت مهندسين خوردگی است که هر قسمت، اعم از بیرون و درون شناور را چگونه و با چه تدبیر محافظت نمایند. درست است که حفاظت کاتدی یکی از ابزارهای بسیار کارآمد در حفاظت کشتی‌ها و شناورها می‌باشد ولی تنها حفاظت کاتدی کارآمد نیست و اغلب از پوشش‌های نفوذ ناپذیر و مقاوم به خوردگی در محیط دریا نیز باید بهره گرفت. از این گذشته، بعضی قسمت‌های متحرک شناورها مانند پروانه و ... علاوه بر خوردگی سایشی، پدیده کاواک‌زایی را نیز به دنبال دارند و در بعضی مواقع ایجاد جریان حفاظت کاتدی روی پروانه و تشکیل حباب‌های هیدورژنی بر سطح پروانه می‌تواند از ضربات ترکیدن حباب‌های هوا همچون بالشتک‌های ضربه‌گیر موضعی از پدیده کاواک‌زایی جلوگیری نمایند.

مطالعه این کتاب ارزنده را به مهندسين خوردگی، متالورژی، بازرسين پایانه‌های خطوط انتقال، نیروی دریایی و کارشناسان صنعت نفت و پتروشیمی و شرکت‌های فراساحل توصیه می‌نماید.

د ■ حفاظت کاتدی شناورها با آندهای فداشونده

از شرکت محترم برناگداز که از حامیان اصلی این انجمن می‌باشند کمال تشکر را دارد  
و توفیق همگان را از خداوند منان خواهانیم.

ابراهیم حشمت دهکردی  
رییس انجمن خوردگی ایران

تقدیم به آنان که وجودم جز هدیهٔ وجودشان

نیست:

پدر و مادر عزیزم

تقدیم به آن که سایهٔ مهربانیش سایه‌سار

زندگیم است:

همسر مهربانم

اردشیر یارک‌زاده



## مقدمه

بسیار مفتخریم که در سیزدهمین سال فعالیت شرکت برناگداز و با حمایت خداوند متعال توانستیم کتاب "حفاظت کاتدی شناورها با آندهای فداشونده" را به مرحله چاپ برسانیم. در گذر از این سال‌ها و با کسب دانش تخصصی و تجارب گرانسنگ در حوزه فعالیت شرکت، بر آن شدیم که ضمن طی طریق در مسیر گذشته و تولید محصولات نوین مبتنی بر نیازهای کشور عزیزمان، به انتقال این دانش و تجربیات به علاقه‌مندان پرداخته و به مرجعیت علمی در صنعت حفاظت کاتدی کشور مبدل شویم. در راستای این هدف بنا داریم با چاپ و نشر کتاب‌ها و مقاله‌های کاربردی، مشارکت در تدوین استانداردهای داخلی، تشکیل دوره‌های آموزشی، ترجمه اهم استانداردهای مرتبط و تولید محتوای علمی به این مهم جامع عمل بپوشانیم.

ترجمه، تالیف و گردآوری مطالب این کتاب قریب به ۳ سال با تلاش شبانه‌روزی و دقت در انتخاب موضوعات، کلمات و ویراستاری به درازا انجامید. در این کتاب تلاش نمودیم در کنار طرح مطالب علمی و دانشگاهی به موضوعات صنعتی و کاربردی بیشتر بپردازیم و در نگارش آن از واژگان معادل فارسی مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی استفاده نماییم.

در فصل اول کتاب به بررسی خوردگی آبی فلزات، ترمودینامیک و سینتیک خوردگی پرداخته می‌شود. سپس در فصل دوم انواع محیط‌های خورنده و خوردگی‌های رایج در شناورها تقسیم‌بندی شده و در فصل سوم حفاظت کاتدی بدنه بیرونی و سطوح داخلی شناورها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در فصل چهارم کتاب به انواع آندهای فداشونده، خواص الکتروشیمیایی آن‌ها و همچنین طراحی حفاظت کاتدی شناورها پرداخته شده و در فصل پنجم از انواع اندازه‌گیری و بازرسی در مراحل راه‌اندازی و بهره‌برداری از شناورها سخن به میان آمده است.

مجموعه پیش رو، کتابی کاربردی مخصوص کارشناسان، دانشجویان و علاقه‌مندان حفاظت کاتدی مخصوصاً در زمینه شناورهای دریایی می‌باشد که مبانی و الزامات حفاظت

## ح ■ حفاظت کاتدی شناورها با آیندهای فداشونده

کاتدی شناورها، حفاظت آن‌ها با استفاده از آیندهای فداشونده و در نهایت روش راه‌اندازی، بهره‌برداری و تعمیرات آن‌ها را در اختیار قرار می‌دهد.

در پایان بر خود لازم می‌دانیم که از آقایان دکتر گیوه‌چی، مهندس جامعی و مهندس نسودی به خاطر بازخوانی متن کتاب و ارسال نقطه نظرات ارزشمندشان سپاسگزاری نموده و همچنین از آقای دکتر دهکردی ریاست محترم انجمن خوردگی ایران برای مساعدت در چاپ و نشر کتاب توسط انتشارات انجمن خوردگی ایران تشکر نماییم.

و کلام آخر اینکه از کلیه کسانی که این کتاب را مطالعه می‌کنند خواهشمندیم نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را برای ما ارسال نمایند، به امید اینکه چاپ‌های بعدی این کتاب کامل‌تر و جامع‌تر تهیه گردد.

[info@bornagodaz.com](mailto:info@bornagodaz.com)

## پیشگفتار

حفظ آمادگی عملیاتی شناورهای دریایی، از اهداف اصلی مالکان و به‌کارگیرندگان آن‌ها به شمار می‌آید. یکی از عواملی که این آمادگی را با چالش جدی مواجه می‌سازد، پدیده خوردگی است. آب دریا به سبب دارا بودن مقادیر زیاد یون‌های خورنده نظیر یون کلر، گل و لای معلق، اکسیژن محلول، ریزاندامگان<sup>۱</sup> و درشت‌اندامگان<sup>۲</sup> و غیره به عنوان برق‌کافی<sup>۳</sup> بسیار خورنده به حساب می‌آید که موجب خوردگی شدید اغلب فلزات و آلیاژهای مهندسی به کار رفته در ساخت شناورها می‌گردد. البته، محیط‌های خورنده تنها محدود به آب دریا نیستند. آب‌های لب‌شور، آب‌های شیرین، آب چاهک‌های خن<sup>۴</sup>، آب باقی‌مانده در مخازن سوخت و حمل محموله، نمونه‌هایی دیگر از محیط‌های خورنده می‌باشند.

نوع خوردگی هر بخش از یک شناور، تابعی از جنس فلز یا آلیاژ، نوع محیط خورنده و شرایط سرویس‌دهی آن است. به‌عنوان نمونه، بدنه شناورهای با جنس فولادهای کربنی در نواحی زیر آب و دور از خط آب‌خور مستعد به خوردگی یکنواخت می‌باشند، درحالی‌که خوردگی موضعی چالش اصلی برای بدنه شناورها در امتداد خط آب‌خور است. در پاشنه شناورها<sup>۵</sup> به دلیل وجود تلاطم آب دریا و زوج‌های گالوانیک<sup>۶</sup> و از همه مهم‌تر پدیده کاواک‌زایی، وقوع خوردگی محتمل هست. چنین شرایطی را برای سطوح داخلی شناورها نظیر مخازن، با توجه به وجود متغیرهای زیاد و اغلب پیچیده‌تر می‌توان متصور نمود.

متأسفانه، مشاهدات و تجربیات نگارندگان نشان می‌دهد که عموماً در صنعت دریایی کشور به مسئله خوردگی شناورها آن‌چنان که شایسته است، توجه کافی نمی‌شود. به کرات دیده شده شناورهای تازه به آب انداخته شده، اعم از شناورهای نوساز و یا شناورهای تازه

---

1 - Micro-Organisms

2 - Macro-Organisms

3 - Electrolyte

4 - Bilges Wells Water

5 - Vessele Aft

6 - Galvanic Couples

تعمیر شده با آنکه زمان زیادی از نصب و اجرای سامانه‌های حفاظت از خوردگی آن‌ها نمی‌گذرد، پس از مدت کوتاهی متحمل خسارات خوردگی سنگینی می‌شوند. این در حالی است که اگر این سامانه‌ها، اختصاصاً تحت نظارت کارشناسان دارای صلاحیت و مطابق با الزامات فنی موجود در اسناد شناورها و همچنین، استانداردهای معتبر طراحی و اجرا شوند، کاهش میزان خسارات خوردگی و هزینه‌های ناشی از آن و همچنین افزایش عمر بهینه سرویس‌دهی شناورها حتمی است. اساساً، برای اجتناب از خوردگی شناورها، روش‌های مختلفی از جمله انتخاب صحیح مواد مهندسی، طراحی ساختاری مناسب، رنگ‌آمیزی و پوشش‌دهی، حفاظت کاتدی و غیره وجود دارد. کتاب حاضر به روش حفاظت کاتدی و به صورت خاص به "حفاظت کاتدی گالوانیک" شناورها اختصاص داده شده است.

هدف از تدوین این کتاب، آشنایی خوانندگان، به ویژه کارشناسان و کارکنان شاغل در صنایع ساخت و تعمیر شناورهای دریایی کشور با اصول این روش حفاظت کاتدی می‌باشد. اساساً، اهمیت نگارش این کتاب با توجه به حجم عظیم ناوگان شناورهای دریایی فعال در کشور در حوزه‌هایی همچون صنایع نفت و گاز، صادرات و واردات کالا، برقراری امنیت مرزهای آبی و غیره صد چندان می‌نماید. این کتاب به گونه‌ای نگاشته شده که علاوه بر آشنایی خواننده با مبانی علم حفاظت کاتدی، وی را با الزامات روش‌های طراحی، نصب و راه‌اندازی، بازرسی و تعمیرات سامانه‌های حفاظت کاتدی شناورها آشنا می‌سازد. این کتاب به پنج فصل با عناوین زیر دسته‌بندی شده است:

۱. اصول خوردگی آبی فلزات.
۲. خوردگی شناورهای دریایی.
۳. مبانی و الزامات حفاظت کاتدی شناورها.
۴. حفاظت کاتدی با آند فداشونده.
۵. راه‌اندازی، بهره‌برداری و تعمیرات.

# فهرست مطالب

|    |                                                         |
|----|---------------------------------------------------------|
| ۱۷ | اصول خوردگی آبی فلزات                                   |
| ۱۸ | ۱-۱. رفتار خوردگی فلزات در برق کافها                    |
| ۲۰ | ۱-۲. خوردگی آبی فلزات                                   |
| ۲۰ | ۱-۲-۱. ماهیت خوردگی آبی                                 |
| ۲۲ | ۱-۲-۲. انواع واکنش های آندی و کاتدی                     |
| ۲۴ | ۱-۲-۳. انواع پیل های خوردگی                             |
| ۲۸ | ۱-۲-۴. سرعت خوردگی                                      |
| ۳۰ | ۱-۳. ترمودینامیک خوردگی                                 |
| ۳۰ | ۱-۳-۱. انرژی آزاد گیبس و خودبه خودی                     |
| ۳۳ | ۱-۳-۲. پتانسیل استاندارد و نیروی الکتروموتوری           |
| ۳۷ | ۱-۳-۳. رابطه نرنست، پتانسیل تعادلی و پتانسیل پیل خوردگی |
| ۳۸ | ۱-۳-۴. الکترودهای مرجع و اندازه گیری پتانسیل فلزات      |
| ۴۰ | ۱-۴. سینتیک خوردگی                                      |
| ۴۱ | ۱-۴-۱. واکنش برگشت پذیر و چگالی جریان تبادلی            |
| ۴۲ | ۱-۴-۲. واکنش برگشت ناپذیر و قطبش                        |
| ۴۴ | ۱-۴-۳. قطبش فعال سازی                                   |
| ۴۵ | ۱-۴-۴. قطبش غلظتی                                       |
| ۴۹ | ۱-۴-۵. نظریه پتانسیل مختلط                              |
| ۵۰ | ۱-۴-۶. برخی از کاربردهای نظریه پتانسیل مختلط            |
| ۵۵ | ۱-۵. رفتار فعال - غیرفعال                               |
| ۵۵ | ۱-۵-۱. تعریف                                            |
| ۵۷ | ۱-۵-۲. اثر واکنش های کاتدی مختلف                        |
| ۵۹ | ۱-۵-۳. تخریب لایه غیرفعال                               |
| ۶۱ | ۱-۶. سری گالوانیک و پیش بینی خوردگی گالوانیک            |

## خوردگی شناورهای دریایی

- ۶۳
- ۲-۱. انواع محیط‌های خورنده..... ۶۴
- ۲-۱-۱. آب دریا ..... ۶۴
- ۲-۱-۲. آب‌های لب‌شور، آب‌های ساحلی و لنگرگاه‌ها..... ۷۶
- ۲-۱-۳. آب خن ..... ۷۷
- ۲-۱-۴. آب‌های شیرین ..... ۷۸
- ۲-۱-۵. فرآورده‌های نفتی..... ۷۹
- ۲-۲. مفهوم خوردگی یکنواخت و خوردگی موضعی..... ۸۰
- ۲-۳. انواع خوردگی قابل مشاهده در شناورها..... ۸۵
- ۲-۳-۱. خوردگی یکنواخت ..... ۸۵
- ۲-۳-۲. خوردگی در اثر تخریب سامانه رنگ..... ۸۷
- ۲-۳-۳. خوردگی گالوانیک ..... ۹۱
- ۲-۳-۴. خوردگی شیاری ..... ۹۳
- ۲-۳-۵. خوردگی حفره‌ای..... ۹۶
- ۲-۳-۶. خوردگی سایشی ..... ۱۰۰
- ۲-۳-۷. خسارت حبابی ..... ۱۰۳
- ۲-۳-۸. خوردگی میکروبی..... ۱۰۵
- ۲-۳-۹. خوردگی جریان سرگردان و فرسایش حاصل از جرقه ..... ۱۰۶
- ۲-۳-۱۰. ترک خوردن در اثر خوردگی تنشی (SCC)..... ۱۱۰
- ۲-۳-۱۱. خوردگی خستگی ..... ۱۱۴
- ۲-۳-۱۲. خسارات هیدروژنی ..... ۱۱۷
- ۲-۳-۱۳. خوردگی بین دانه‌ای..... ۱۲۰
- ۲-۳-۱۴. خوردگی انتخابی..... ۱۲۲

## مبانی و الزامات حفاظت کاتدی شناورها

- ۳-۱. اصول الکتروشیمیایی حفاظت کاتدی ..... ۱۲۶
- ۳-۲. انواع سامانه حفاظت کاتدی ..... ۱۳۰

## فهرست مطالب ■ م

|     |                                               |
|-----|-----------------------------------------------|
| ۱۳۱ | ۳-۲-۱. سامانه آند فداشونده                    |
| ۱۳۲ | ۳-۲-۲. سامانه آند تزریق جریان                 |
| ۱۳۳ | ۳-۳. تاریخچه حفاظت کاتدی شناورها              |
| ۱۳۷ | ۳-۴. اهمیت استفاده از حفاظت کاتدی             |
| ۱۳۷ | ۳-۴-۱. طرح موضوع                              |
| ۱۳۹ | ۳-۴-۲. ملاحظات اقتصادی                        |
| ۱۴۱ | ۳-۴-۳. مناطق نیازمند حفاظت کاتدی              |
| ۱۴۴ | ۳-۵. معیارهای حفاظت کاتدی                     |
| ۱۴۴ | ۳-۵-۱. پتانسیل حفاظت                          |
| ۱۴۷ | ۳-۵-۲. حفاظت بیش از حد                        |
| ۱۵۲ | ۳-۵-۳. چگالی جریان حفاظت                      |
| ۱۶۱ | ۳-۶. حفاظت کاتدی بدنه بیرونی شناور            |
| ۱۶۳ | ۳-۶-۱. اجزا سامانه                            |
| ۱۶۳ | ۳-۶-۲. جنس آندها                              |
| ۱۶۵ | ۳-۶-۳. شکل هندسی آندها                        |
| ۱۷۲ | ۳-۶-۴. نکات ویژه                              |
| ۱۸۶ | ۳-۷. حفاظت کاتدی سطوح داخلی شناور             |
| ۱۸۶ | ۳-۷-۱. ملاحظات کاربرد حفاظت کاتدی و جنس آندها |
| ۱۸۷ | ۳-۷-۲. ضریب توازن                             |
| ۱۸۸ | ۳-۷-۳. رسوبزدایی و زنگزدایی                   |
| ۱۸۸ | ۳-۷-۴. شکل هندسی آندها                        |
| ۱۹۵ | ۳-۸. الکترودهای مرجع                          |
| ۱۹۵ | ۳-۸-۱. الکتروده مرجع Ag/AgCl/seawater         |
| ۱۹۶ | ۳-۸-۲. الکتروده مرجع Ag/AgCl/0.5 M KCl        |
| ۱۹۹ | حفاظت کاتدی با آند فداشونده                   |
| ۲۰۰ | ۴-۱. انواع و ترکیب آندهای فداشونده            |

## ن ■ حفاظت کاتدی شناورها با آندهای فداشونده

- ۴-۱-۱. آندهای روی ..... ۲۰۰
- ۴-۱-۲. آندهای آلومینیوم ..... ۲۰۱
- ۴-۱-۳. آندهای منیزیم ..... ۲۰۳
- ۴-۱-۴. آندهای فولادی ..... ۲۰۴
- ۴-۱-۵. پوشش‌های فداشونده ..... ۲۰۵
- ۴-۲. خواص الکتروشیمیایی آندهای فداشونده ..... ۲۰۶
- ۴-۲-۱. پتانسیل مدار باز و مدار بسته ..... ۲۰۶
- ۴-۲-۲. ولتاژ محرکه ..... ۲۰۷
- ۴-۲-۳. ظرفیت جریان نظری ..... ۲۰۸
- ۴-۲-۴. ضریب تصحیح و ظرفیت جریان واقعی ..... ۲۰۹
- ۴-۲-۵. نرخ مصرف ..... ۲۱۲
- ۴-۳. پارامترهای الکتریکی آندهای فداشونده ..... ۲۱۳
- ۴-۳-۱. تعریف مقاومت الکتریکی آندها ..... ۲۱۳
- ۴-۳-۲. مقاومت الکتریکی اولیه آندها ..... ۲۱۸
- ۴-۳-۳. ضریب مصرف ..... ۲۱۸
- ۴-۳-۴. مقاومت الکتریکی نهایی آندها ..... ۲۱۸
- ۴-۳-۵. جریان خروجی از آندها ..... ۲۲۱
- ۴-۴. طراحی سامانه حفاظت کاتدی سطوح بیرونی شناورها ..... ۲۲۳
- ۴-۴-۱. کلیات ..... ۲۲۳
- ۴-۴-۲. مراحل طراحی ..... ۲۲۵
- ۴-۴-۳. تعیین نواحی نیازمند حفاظت ..... ۲۲۵
- ۴-۴-۴. محاسبه مساحت نواحی زیر خط آبخور ..... ۲۲۶
- ۴-۴-۵. تعیین مشخصات کاری شناور ..... ۲۲۷
- ۴-۴-۶. تعیین عمر طراحی ..... ۲۲۸
- ۴-۴-۷. تعیین ضریب تخریب پوشش رنگ ..... ۲۲۸
- ۴-۴-۸. تعیین چگالی جریان حفاظت ..... ۲۲۹
- ۴-۴-۹. محاسبه جریان حفاظت ..... ۲۳۲

|     |                                                                    |
|-----|--------------------------------------------------------------------|
| ۲۳۳ | ۴-۱۰-۴. انتخاب جنس و هندسه آند.....                                |
| ۲۳۴ | ۴-۱۱-۴. تعیین عمر آند .....                                        |
| ۲۳۵ | ۴-۱۲-۴. محاسبه جرم و تعداد آندهای لازم برای حفاظت از هر ناحیه..... |
| ۲۴۰ | ۴-۱۳-۴. تایید صحت طراحی.....                                       |
| ۲۴۰ | ۴-۱۴-۴. تعیین فواصل مجاز بین آندها.....                            |
| ۲۴۲ | ۴-۵. طراحی حفاظت کاتدی سطوح داخلی شناورها.....                     |
| ۲۴۲ | ۴-۵-۱. کلیات .....                                                 |
| ۲۴۲ | ۴-۵-۲. مراحل طراحی .....                                           |
| ۲۴۳ | ۴-۵-۳. تعیین نواحی نیازمند حفاظت کاتدی.....                        |
| ۲۴۳ | ۴-۵-۴. محاسبه مساحت .....                                          |
| ۲۴۴ | ۴-۵-۵. تعیین مشخصات کاری.....                                      |
| ۲۴۶ | ۴-۵-۶. تعیین عمر طراحی سامانه حفاظت کاتدی.....                     |
| ۲۴۷ | ۴-۵-۷. تعیین مقدار چگالی جریان حفاظت .....                         |
| ۲۴۷ | ۴-۵-۸. تعیین مقدار جریان لازم برای حفاظت از هر ناحیه.....          |
| ۲۴۹ | ۴-۵-۹. انتخاب جنس و هندسه آند.....                                 |
| ۲۵۰ | ۴-۵-۱۰. تعیین عمر طراحی آند.....                                   |
| ۲۵۰ | ۴-۵-۱۱. محاسبه جرم و تعداد آندهای لازم.....                        |
| ۲۵۴ | ۴-۵-۱۲. تایید صحت طراحی.....                                       |
| ۲۵۵ | ۴-۵-۱۲. تعیین فاصله مجاز بین آندها.....                            |
| ۲۵۵ | ۴-۶. طراحی سامانه حفاظت کاتدی مبدل‌های حرارتی.....                 |
| ۲۵۶ | ۴-۶-۱. جنس آندها و شکل هندسی آن‌ها.....                            |
| ۲۵۷ | ۴-۶-۲. چگالی جریان حفاظت .....                                     |
| ۲۵۷ | ۴-۶-۳. عمر طراحی .....                                             |
| ۲۵۷ | ۴-۶-۴. محاسبه تعداد آند.....                                       |
| ۲۵۸ | ۴-۶-۵. محاسبه عمر تقریبی آندهای محاسبه شده.....                    |
| ۲۵۸ | ۴-۷. محاسبات مربوط به زنگ‌زدایی و رسوب‌زدایی مخازن.....            |
| ۲۵۹ | ۴-۸. نصب و چیدمان آندها روی سطوح بیرونی.....                       |

## ع ■ حفاظت کاتدی شناورها با آندهای فداشونده

|          |                                          |
|----------|------------------------------------------|
| ۲۵۹..... | ۴-۸-۱. کلیات                             |
| ۲۶۲..... | ۴-۸-۲. بدنه شناور                        |
| ۲۶۴..... | ۴-۸-۳. سینه شناور                        |
| ۲۶۴..... | ۴-۸-۴. پاشنه شناور                       |
| ۲۶۶..... | ۴-۸-۵. پروانه و شافت آن                  |
| ۲۶۷..... | ۴-۸-۶. سکان                              |
| ۲۶۷..... | ۴-۸-۷. سیچست، تراستر و سایر مجراهای بدنه |
| ۲۶۸..... | ۴-۹. نصب و چیدمان آندهای سطوح داخلی      |
| ۲۶۸..... | ۴-۹-۱. اصول نصب                          |

## ۲۷۵ راهاندازی، بهره‌برداری و تعمیرات

|          |                                                 |
|----------|-------------------------------------------------|
| ۲۷۶..... | ۵-۱. الزامات تحویل‌گیری آندهای فداشونده         |
|          | ۵-۲. اندازه‌گیری‌ها ۲۷۸                         |
| ۲۷۸..... | ۵-۱-۲. انواع بازرسی                             |
| ۲۷۸..... | ۵-۲-۲. ابزارهای بازرسی                          |
| ۲۷۹..... | ۵-۳. بازرسی در مرحله راه‌اندازی شناور           |
| ۲۷۹..... | ۵-۳-۱. سطوح بیرونی شناور                        |
| ۲۸۱..... | ۵-۳-۳. سطوح داخلی شناور                         |
| ۲۸۲..... | ۵-۴. بازرسی در دوره بهره‌برداری و انجام تعمیرات |
| ۲۸۲..... | ۵-۴-۱. سطوح بیرونی شناور                        |
| ۲۸۴..... | ۵-۴-۲. سطوح درونی شناور                         |