

## پژوهشی

## تحلیل اثر خوردگی بر استحکام باقیمانده کششی ورق کشتی‌های سال خورده به کمک آزمایش کشش

عباس حسن آبادی<sup>۱</sup>، کریم اکبری وکیل آبادی<sup>۲</sup>، محمدرضا خدمتی<sup>۳</sup>

akbari.karim@gmail.com

۱- کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

۳- استاد دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

### چکیده:

صنعت دریایی ایران به صورت خاص از آلیاژهای دریایی فولاد و آلومینیوم جهت ساخت شناورها و زیردریایی‌ها استفاده می‌کند. ضمن اینکه حجم زیادی از سازه‌های دریایی موجود در کشور نیز از این آلیاژها می‌باشند. یکی از مشکلات استفاده از سازه‌های فلزی در این صنایع مباحث مرتبط با خوردگی است. پدیده خوردگی سبب زیان‌های بسیار زیادی به سازه‌های دریایی و کشتی‌ها می‌شود و نیاز است که به صورت مداوم مقدار و چگونگی خوردگی این سازه‌ها کنترل شود. در بین روش‌های مختلف جلوگیری از خوردگی، حفاظت کاتدی از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده در صنایع دریایی است. بررسی روش‌های جلوگیری از خوردگی و پیاده‌سازی آن در شناورهای نظامی می‌تواند کمک بسیار زیادی به عمر شناور و کاهش هزینه‌های اعمالی بر فرایند نگهداری و تعمیر داشته باشد. در این تحقیق به صورت خاص پدیده خوردگی مورد در شناورهای نظامی نادجا مورد توجه قرار گرفته و روش‌های حفاظت در برابر خوردگی در این شناورها بررسی و تأثیر پیاده‌سازی آن در شناورهای موجود مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور از ورق‌های اصلی بدنه شناورهای نظامی با سن‌های مختلف استفاده گردید. نتایج حاصل از آزمون کششی نشان می‌دهند که بعضی از نمونه‌ها با سن کمتر مقاومت کمتر در برابر آزمون کشش نسبت به نمونه‌هایی با سن بالاتر دارد. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که سن ورق‌ها تنها فاکتور بر روی میزان خوردگی آن‌ها و همچنین کاهش مقاومت آن‌ها نمی‌باشد. به بیان دیگر، مدیریت تعمیر و نگهداری نمونه‌ها به اندازه اهمیت سن آن‌ها حائز اهمیت می‌باشند.

واژگان کلیدی: خوردگی، آزمون کشش، حفاظت کاتدی، تنش تسلیم.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۲

## ۱- مقدمه

سازه‌های فلزی در معرض شرایط محیطی قرار داشته و این امر باعث از هم پاشیدن و خرابی فلز می‌شود که آن را در اصطلاح خوردگی فلز می‌نامند. خوردگی یک واکنش شیمیایی است که بین فلز، اکسیژن و آب (که خود حاوی اکسیژن است) رخ می‌دهد. در مورد آهن و فولاد این فرآیند شیمیایی باعث اکسید شدن آهن و تشکیل اکسید آهن بر روی سطح فلز می‌شود. خوردگی از سویی باعث اتلاف و از بین رفتن فلز شده و از سویی دیگر، ضررهای مالی و گاهی جانی زیادی را به همراه می‌آورد. از این رو برای جلوگیری از این ضررها می‌بایست این پدیده را بیشتر شناخت.

آب دریا عامل ایجاد خوردگی در سازه‌های دریایی، کشتی‌ها، اسکله‌ها، سکوها و غیره است. آب دریا مخلوطی از نمک‌ها، گازهای حل‌شده، عناصر جامد معلق است. آمار به دست آمده نشان می‌دهد که بیش از ۴۰ درصد سرمایه‌گذاری اولیه در دستگاه‌های بزرگ نمک‌زدا، برای جلوگیری از خوردگی فلزات و آلیاژها در لوله‌های خنک‌کننده و گرم‌کننده آب دریا، کندانسور و قسمت‌های دیگری که عامل حرارت دادن در آن‌ها صورت می‌گیرد، مصرف می‌شود.

خواص مکانیکی مواد فلزی مورد استفاده در صنعت در ابعاد کوچک، در سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. بعضی از خواص مکانیکی بویژه در صنعت کشتی سازی و بررسی میزان تنش‌های کششی و فشاری و غیره برای سازه‌های کشتی بسیار حائز اهمیت می‌باشند. این آزمایش‌ها علاوه بر این که بر روی صفحات فلزی بکار رفته در سازه کشتی قبل از ساخت آن بسیار مهم می‌باشند بلکه در بسیاری از کشورهایی که دارای صنعت بروز کشتی سازی می‌باشند در سازه‌های قدیمی تر که تحت تاثیر خوردگی می‌باشند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. اس. آرونکومار و همکارانش در سال 2016 به بررسی تست کششی و فشاری که از خواص‌های بسیار مهم مکانیکی می‌باشد پرداختند [۱].

در سال ۲۰۱۴ آقای ام. ای. بودوده رفتارهای خوردگی بدنه کشتی در دریا و آب‌های آلوده را بطور ویژه مورد بررسی قرار داد. در این پروژه نرخ خوردگی در بدنه ی کشتی در حالت پوشش داده شده و غیر پوشش بوسیله ی از دست دادن وزن،

مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نرخ خوردگی در پساب‌ها بسیار بالاتر از آب دریا می‌باشد [۲]. همچنین بدنه ی کشتی در فرم پوشش داده شده بسیار مقاوم تر از حالت غیر از پوشش دهی شده می‌باشد. آقای ملچرز در سال ۲۰۰۳ به بررسی مدل ریاضی نفوذ اکسیژن در خوردگی استیل قطعات دریایی پرداخت. مدل ریاضی مطرح شده با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج منطقی حاصل شد [۳].

در علم مواد، مقاومت یک ماده عبارتست از توانایی آن در استقامت ورزیدن (تحمل کردن) در برابر بار اعمالی بدون شکست است. [۱۵] بر اساس استاندارد DIN 50928 بهترین روش حفاظت کشتی‌ها در برابر محیط خورنده‌ای مثل آب دریا بهره‌گیری از ترکیب پوشش دهی و حفاظت کاتدی است. مهم‌ترین پارامتر در حفاظت کاتدی رسیدن به محدوده پتانسیلی موردنظر است [۱۷-۱۹]. خوردگی یکنواخت، خوردگی گالوانیکی یا دوفلزی، خوردگی شکافی یا درزی، خوردگی حفره‌ای، خوردگی ناشی از جریان‌های سرگردان، خوردگی بین‌دانه‌ای، خوردگی توأم با تنش (SCC)، خوردگی سایشی، خوردگی کائوباسیون و خوردگی میکروبی از انواع خوردگی می‌باشند [۱۲-۱۴].

در مطالعه حاضر از ورق‌های بدنه شناورهای سالخورده نظامی که در منابع کمتر به آنها پرداخته می‌شود، استفاده شده است. فرایند انتخاب ورق‌ها؛ شناورهای با سنین مختلف و شرایط عملکردی یکسان بوده است که در منطقه خلیج فارس و دریای عمان عملیات انجام داده اند.

## ۲- عوامل مؤثر بر خوردگی

نرخ خوردگی به عوامل متعددی از جمله خواص مکانیکی پوشش، ترکیب شیمیایی محموله بارگیری شده، خواص گاز خنثی، دمای بار و همچنین روش‌ها و دستگاه‌های تعمیر و نگهداری بستگی دارد. عوامل مختلف ایجاد خوردگی را می‌توان به دودسته داخلی (ثبات شیمیایی فلزات، عوامل متالورژیکی خوردگی، اثر حالت سطح، رابطه بین ساختمان فلز و مقاومت شیمیایی) و خارجی (اثر PH محلول بر روی سرعت خوردگی، کند کننده‌های موجود در محلول، تسریع کننده‌های موجود در

۳-۲- حفاظت کاتدی با استفاده از آندهای فدا شونده  
 بنابر مباحث بخش ۳-۱، با انتخاب جریان  $20 \text{ mA/m}^2$ ، طول دوره حفاظتی ۲ سال،  $JS = 15 \text{ mA/m}^2$  و سطح کلی سازه جرم موردنیاز از آندهای منیزیمی (Mg) و یا رویی (Zn) از روابط زیر به دست می‌آید.

$$\frac{m_{Zn}}{kg} = 0.337 \frac{s}{m^2} \quad (2)$$

$$\frac{m_{Al}}{kg} = 0.12 \frac{s}{m^2} \quad (3)$$

از آنجاکه جریان در واحد حجم برای هر دو نوع آند فدا شونده تقریباً یکسان است، ابعاد یکسانی از آن‌ها را می‌توان در نظر گرفت. آندها یا دسته آندهای تخت تقریباً فقط برای ناحیه زیرآب استفاده می‌شوند. پروسه نصب این آندها به صورت یک فرآیند ریخته‌گری بر روی تکیه‌گاه‌های سازه (از جنس فولاد، آلومینیوم و یا فولاد ضدزنگ) است.

### ۳-۳- حفاظت کاتدی با تزریق جریان

تعداد آندهای فدا شونده متناسب با بزرگی سطحی که باید محافظت شوند، انتخاب می‌گردند. دلیل این امر جریان خروجی و ناحیه تحت حفاظت محدود آن‌هاست. وقتی تعداد آندها زیاد باشد، حفاظت کاتدی با تزریق جریان از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر از سیستم آندهای فدا شونده است. چراکه هزینه تامین مواد و نصب متناسب با تعداد آندها افزایش می‌یابد اما هزینه حفاظت با تزریق جریان با ضریب کمتری با مساحت سطح یا افزایش می‌یابد.

### ۳-۴- روش‌های کنترل و مانیتورینگ سیستم‌های حفاظت کاتدی

یکی از پارامترهای مهم در سیستم حفاظت کاتدی انجام نظارت‌های دوره‌ای یا مانیتورینگ می‌باشد. بدین ترتیب از کارایی و عملکرد خوب سیستم در طول زمان اطمینان حاصل خواهد شد و اگر اشکالی در سیستم بروز دهد، در زمان مناسب مشخص و برطرف خواهد شد [۲۲].

محلول، غلظت خنثی، سرعت جریان محلول، حرارت و جریان‌های سرگردان) تقسیم نمود [۴-۱۱].

### ۳- فرایند حفاظت از بدنه شناور

مقاومت مواد یا مکانیک مواد بخشی از علم مواد است که به مطالعه استحکام مواد مهندسی و رفتار مکانیکی آن‌ها در حالت کلی (مانند تنش، کرنش، تغییر شکل و رابطه‌های میان تنش و کرنش) می‌پردازد. هدف اصلی از بررسی مقاومت مواد فراهم کردن دست‌مایه‌ای است که بتوان با استفاده از آن ماشین‌های گوناگون و سازه‌های باربر را تحلیل و طراحی کرد. تحلیل و طراحی هر سازه معلوم شامل محاسبه تنش‌ها و تغییر شکل‌هاست.

انواع آزمایش‌های مقاومت سنجی بر روی صفحات فلزی شامل آزمایش کشش، تنش کمانش، تنش پیچشی، تنش خمشی، تنش ضربه سختی در فلزات، تنش فشاری در فلزات و خزش در فلزات می‌باشد [۱۶].

### ۳-۱- محاسبه جریان الکتریکی موردنیاز

یکی از روش‌های معمول برای جلوگیری از خوردگی در بدنه شناورها، ایجاد آند مجازی با بهره‌گیری از جریان الکتریکی برای محافظت از بدنه می‌باشد. اگر کل مساحت سطح را نتوان از نقشه‌های سازه به دست آورد، رابطه (۱) این امکان را به وجود می‌آورد.

$$\frac{S_0}{m^2} = \frac{L_{CWL}}{m} \left( \frac{B_{CWL}}{m} + 2 \frac{T_{CWL}}{m} \right) \delta \quad (1)$$

در این رابطه  $L_{CWL}$  طول خط برخورد آب با سازه،  $B_{CWL}$  وسعت خط برخورد آب با سازه در لبه قالب‌گیری<sup>۱</sup> (که تا نیمی از  $L_{CWL}$  ماشین‌کاری شده است)  $T_{CWL}$  عمق سازه در نصف  $L_{CWL}$  (که به عنوان مبنا محاسبه می‌شود) و  $\delta$  ضریب بلوک<sup>۲</sup> هستند. به علاوه، مساحت سطحی تمامی قسمت‌های الحاقی<sup>۳</sup> باید جدا از نقشه‌های سازه تعیین شوند. مجموع موارد عنوان شده مساحت کلی  $S$  را به دست می‌آورد. قسمت‌های الحاقی شامل سکان‌ها، پروانه‌ها، براکت پروانه‌ها<sup>۴</sup> و شفت باس<sup>۵</sup> می‌باشد.

<sup>4</sup> Propeller Bracket

<sup>5</sup> Shaft Boss

<sup>1</sup> Moulding Edge

<sup>2</sup> Block Coefficient

<sup>3</sup> Attachment

جلبک‌ها و جانوران دریایی که به سازه چسبیده اند نمی‌توانند بر روی اطلاعات حاصله اثر بگذارند [۲۴].

#### ۴- انتخاب شناورهای هدف و انجام آزمایش‌ها مربوط به ورق‌های سالخورده

##### ۴-۱- فرایندهای انتخاب ورق

ورق‌های بکار رفته در این پروژه بر اساس میزان اهمیت آن و کاربرد آن مورد مطالعه قرار گرفته است. این ورق‌ها از شناورهای انتخاب شده است که جزو نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران مستقر در منطقه یکم دریایی نداجا در بندرعباس هستند. این شناورها به دلیل اینکه در آب‌های شور نواحی جنوبی ایران در دمای بالا قرار دارند شرایط مساعدی برای خوردگی در وسعت بالا بروی بدنه آن‌ها مهیا است. از طرفی به لحاظ مهم بودن این شناورها، اهمیت بررسی خوردگی در بدنه آن‌ها در زیرخط آب‌خور افزایش می‌یابد. تعداد ۱۰ نمونه ورق از این بخش شناورها در شرایط محیطی دمایی یکسان انتخاب گردید. ولی از آنجاکه میزان خوردگی تخریب حاصل از آن در بعضی از این ورق‌ها زیاد بود، امکان جدا کردن نمونه آزمایشی بر اساس استاندارد بین‌المللی ASTM وجود نداشت که این تعداد نمونه آزمایشی به ۸ نمونه ورق کاهش یافت. همچنین یک ورق سالم از ورق‌های دریایی انتخاب شد که این ورق‌ها نیز بر اساس گزارش‌های مدیر طراحی طرح‌های کارخانجات، سرپرست کارگاه جوشکاری کارخانجات نداجا در سن‌های مختلف انتخاب شد. نمونه‌های ورق در شکل (۱) دیده می‌شود.

##### ۴-۲- معرفی دستگاه

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است دستگاه بکار رفته در پروژه حاضر، یونیورسال DT&T ، مدل DTU-900MHA ساخت کشور کره جنوبی می‌باشد.

#### ۱-۴-۳- سیستم‌های سنجش از راه دور<sup>۱</sup>

در سالیان اخیر، جهت انتقال اطلاعات از الکترودهای مرجع قرار گرفته بر روی سازه و خطوط لوله، از روش سنجش از راه دور استفاده می‌شود. این عمل توسط امواج مافوق صوت صورت می‌گیرد. دستگاه‌های سنجش از راه دور که با باطری کار می‌کنند به الکترودهای مرجع درون یک شبکه متصل شده و بر روی سازه نصب می‌شوند. در عمل یک سیگنال مافوق صوت کددار به صورت دیجیتالی از واحد بازرسی (در سطح آب دریا) به دستگاه سنجش از راه دور فرستاده می‌شود. سپس دستگاه سنجش از راه دور در حالت فرستنده و واحد بازرسی در حالت گیرنده قرار گرفته و اطلاعات از عمق آب توسط امواج مافوق صوت به واحد بازرسی فرستاده می‌شود. سپس این سیگنال‌ها از حالت کد خارج شده و اطلاعات مربوط به پتانسیل خوانده شده سازه توسط الکترودهای مرجع بر روی یک مانیتور مشخص می‌شود [۲۳].

#### ۳-۴-۲- سیستم مانیتورینگ و مراقبت از بالا<sup>۲</sup>

در این روش از یک الکتروده مرجع قابل حمل که معمولاً از نوع Ag/AgCl بوده و بر روی یک سیم طویل نصب شده استفاده می‌شود. الکتروده توسط این سیم، در سازه‌های دریایی پایین آورده شده و پتانسیل بر روی یک ولت‌متر دیجیتالی که در بالا قرار دارد مشخص و ثبت می‌شود. این روش از لحاظ اقتصادی پرهزینه نبوده و اطلاعات حاصله نیز کاملاً قابل اعتماد نیست. به‌طور کلی با این روش اطلاعات خوبی از محدوده پتانسیل سازه به دست خواهد آمد [۱۲].

#### ۳-۴-۳- بازرسی‌های صورت گرفته توسط غواص<sup>۳</sup>

اصلی‌ترین ابزار کاربردی بازرسی توسط غواص، یک افشانک<sup>۴</sup> متصل به یک میله<sup>۵</sup> می‌باشد که الکتروده مرجع درون آن قرار دارد. در این روش غواص به همراه الکتروده مرجع به دورن آب دریا رفته و از پایین‌ترین نقطه سازه شروع به بازرسی می‌کند. بازرسی بدین صورت است که غواصی نوک افشانک را به سازه می‌چسباند. حسن چسباندن افشانک این است که دیگر

<sup>۴</sup> Tip

<sup>۵</sup> Probe

<sup>۱</sup> Transporter System

<sup>۲</sup> Topside Monitoring

<sup>۳</sup> Diver Surveys

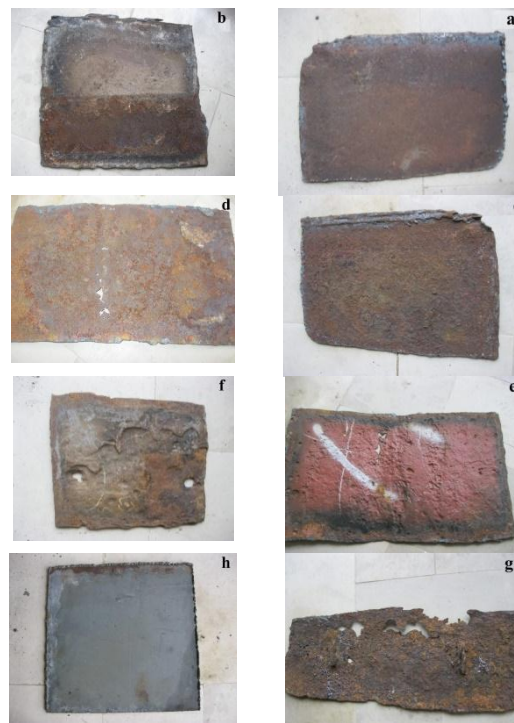


شکل (۲) تصویری از دستگاه تست کشش یونیورسال DT&T.

نمونه در حال برش در شکل (۴) نمایش داده می‌شود. همچنین در شکل (۵) نمونه‌ای در حین اعمال کشش توسط دستگاه تست کششی یونیورسال نشان داده شده است.

#### ۴-۴ تحلیل نمودارها و جداول تست کشش

از تعداد ۱۰ نمونه ورق با طول عمرهای مختلف در شرایط محیطی یکسان و شرایط نگهداری متفاوت که به‌عنوان نمونه‌های آزمایشگاهی انتخاب شده بود تعداد ۲ نمونه به علت شرایط بد خوردگی و عدم مقاومت مناسب در حین آماده‌سازی تخریب شد و در نتیجه برش مناسب داده نشد. لذا این نمونه‌ها حذف گردید. از این رو نمونه‌های ۲، ۳، ۵، ۶، ۸، ۹ و ۱۰ ساله به‌عنوان نمونه‌های مناسب انتخاب گردیدند و بعد از برش مناسب تحت استاندارد ASTM توسط دستگاه یونیورسال مورد آنالیز کشش قرار گرفتند. همچنین برای مقایسه بهتر نمونه‌های آزمایشی از یک ورق با ضخامت استاندارد و بدون هیچ‌گونه خوردگی و سالم انتخاب گردید. نمودار تنش کرنش به‌دست آمده جهت ورق سالم و با ضخامت استاندارد شامل سه ناحیه می‌باشد.

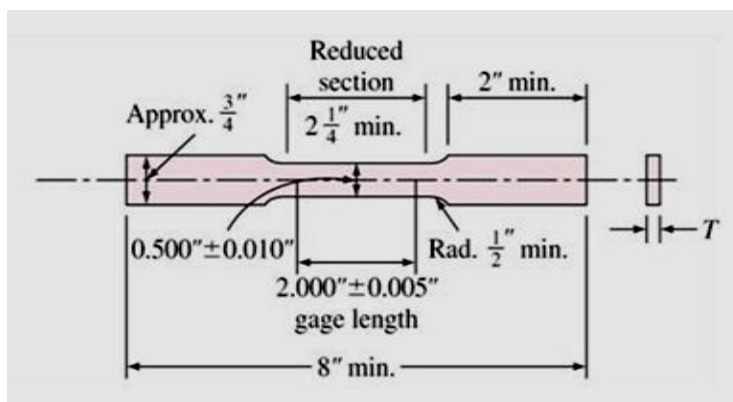


شکل (۱) تصویر نمونه‌ها قبل از برش بر طبق سال عمر نمونه، a- نمونه ۲ ساله، b- نمونه ۳ ساله، c- نمونه ۵ ساله، d- نمونه ۶ ساله، e- نمونه ۸ ساله، f- نمونه ۹ ساله، g- نمونه ۱۰ ساله، h- نمونه سالم.

#### ۳-۴ روش آماده‌سازی نمونه

نمونه‌هایی از ورق‌ها با عمر دو، سه، پنج، شش، هشت، نه و ده سال که در شرایط یکسان محیطی با روش‌های مختلف نگهداری تحت فرایند خوردگی قرار گرفته‌اند انتخاب شده است. همچنین یک نمونه استاندارد سالم بدون هیچ‌گونه زنگ‌زدگی نیز به‌عنوان مبنا انتخاب شد. برای مشخص کردن بهتر، نمونه‌ها با حروف الفبای انگلیسی نام‌گذاری شده‌اند. بطوریکه نمونه ۲ ساله با حرف a نام‌گذاری شده است. این روند را تا مسن‌ترین نمونه یعنی نمونه ۱۰ ساله ادامه داده و با g نمایش داده شده است.

نمونه استاندارد انتخاب‌شده، که عاری از هرگونه عامل و نشانه‌های زنگ‌زدگی بوده، با حرف h مشخص شده است. برش نمونه‌ها با توجه به استاندارد ASTM-A370 همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است با ابعاد مشخص طولی، عرضی و ضخامت آماده‌سازی شده‌اند.



شکل (۳) طرح استاندارد آماده سازی نمونه.

یابد و نمودار از حالت خطی خارج می‌شود. افزایش تنش در این قسمت به دلیل کارسختی بوده که باعث شده مقاومت نمونه بالاتر رفته و نمودار در این ناحیه از رابطه  $\sigma = K\varepsilon^n$  پیروی کند. در این فرمول n توان کار سختی و K ضریب استحکام می‌باشد. این افزایش تنش تا زمانی ادامه دارد که به نقطه ماکزیمم برسد که همان تنش نهایی بوده و بیشترین تنشی است که قطعه می‌تواند تحمل کند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید نقطه b در این نمودار نیز نشان‌دهنده مقدار بیشینه می‌باشد. به عبارتی نمونه در این نقطه بالاترین مقدار مقاومت و استحکام را از خود نشان می‌دهد. بعد از این نقطه تنش شروع به کم شدن کرده و این به دلیل رخ دادن پدیده گلویی شدن یا Necking در نمونه می‌باشد. نهایتاً در نقطه‌ای نمونه می‌شکند و تنش در این نقطه به‌عنوان تنش شکست یا تنش گسیخت نامیده می‌شود. با توجه به نمودار، شکست در نقطه‌ای c اتفاق می‌افتد. درصد ازدیاد طول نیز که بر اساس آن کرنش به دست می‌آید نیز یکی دیگر از پارامترهای مهم در نمودار تست کشش است.

متعاقباً نمودارهای تنش برحسب درصد تغییر طول جهت نمونه‌های آزمایشی a, b, c, d, e, f و g بر طبق سن نمونه در شکل (۷) ترسیم شده‌اند که برای بررسی بهتر نتایج حاصل از آن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. در این جدول نقطه تنش تسلیم، پیک ماکزیمم و نقطه گسیخت برای هر نمونه نشان داده شده است. همچنین مشخصات نمونه‌های آزمایشی (طول، عرض و ضخامت) را نیز می‌توان مشاهده کرد.



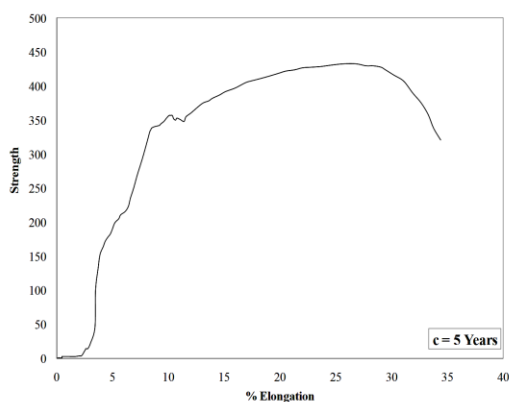
شکل (۴) نمونه‌ای از برش نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM.



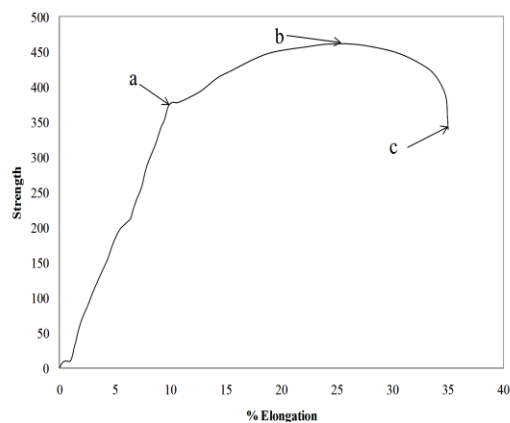
شکل (۵) نمونه در حال اعمال تست کشش توسط دستگاه یونیورسال.

در نمودارهای حاصل، استحکام<sup>۱</sup> برحسب درصد کشیدگی<sup>۲</sup> رسم شده است. مطابق شکل (۶) نقطه a در واقع محل جاری شدن نمونه را نشان می‌دهد. با توجه به اصل مدول یانگ نمودار کشش تا آستانه تسلیم کاملاً خطی و به‌صورت الاستیک است. بیشترین تنش در این ناحیه تنش تسلیم است. بعد از این قسمت مقدار تنش افت کرده و سپس دوباره تنش افزایش می

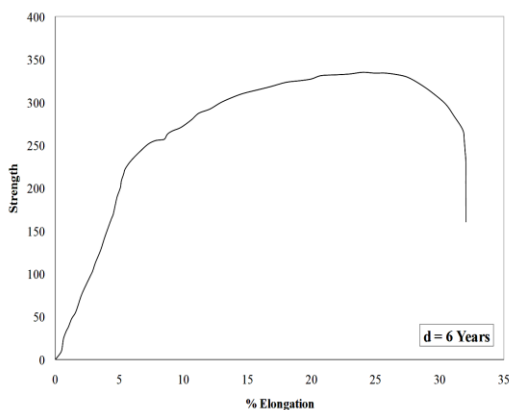
<sup>2</sup> Elongation<sup>1</sup> Strength



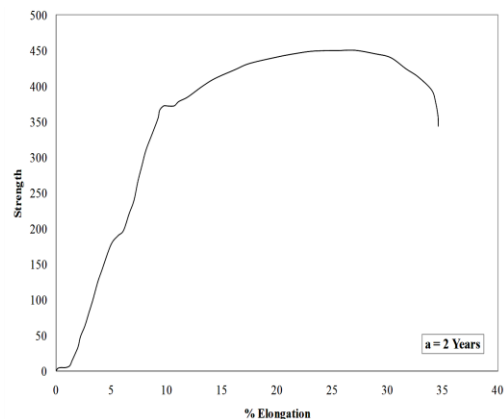
شکل (۷-پ) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق c تحت آزمایش کششی.



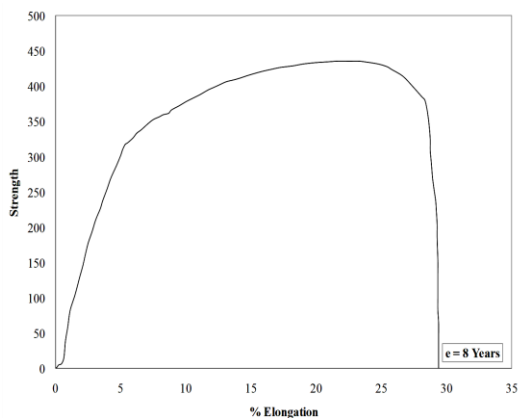
شکل (۶) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق استاندارد تحت آزمایش کششی.



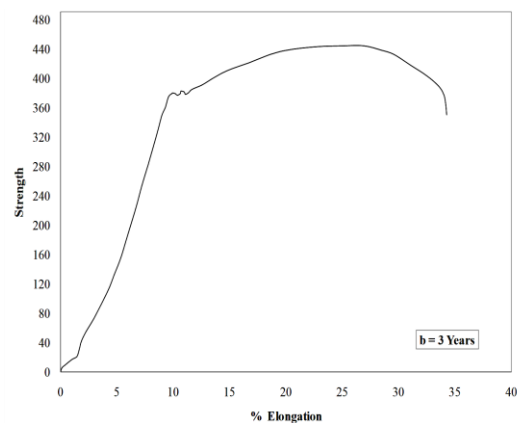
شکل (۷-ت) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق d تحت آزمایش کششی.



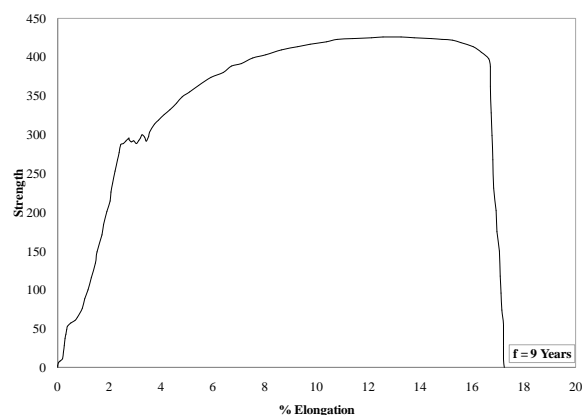
شکل (۷-الف) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق a تحت آزمایش کششی.



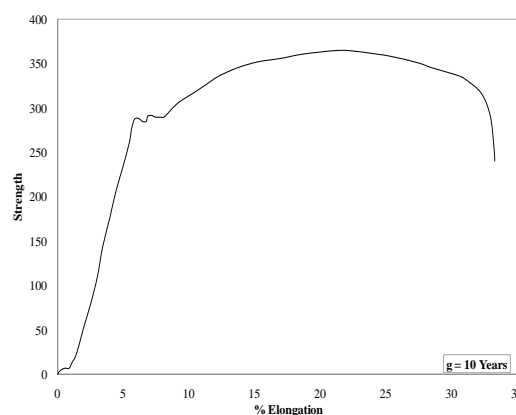
شکل (۷-ج) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق e تحت آزمایش کششی.



شکل (۷-ب) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق b تحت آزمایش کششی.



شکل (۷-و) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق f تحت آزمایش کششی.



شکل (۷-د) نمودار تنش بر حسب درصد تغییر طول نمونه ورق g تحت آزمایش کششی.

جدول (۱) نتایج حاصل از تست کشش بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی.

Year.	Standard			Yield P.		Peak P.		Break P.	
	Width (mm)	Thick (mm)	Gauge (mm)	Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
a=2 years	13/90	6.70	50/00	372.15	9/74	450/14	27/13	343/62	34/64
b=3 years	13/90	6.70	50/00	358/3	9/59	437/39	26/92	350	34/29
c=5 years	13/90	6.1	46/00	288/3	5/13	426/89	26/53	۳۸۵	34/47
d=6 years	13/90	5.18	45/00	229/13	5/79	334/75	25/81	160/45	32/06
e=8 years	13/80	6.50	50/00	342/42	8/67	432/16	26/46	334/57	33/83
f=9 years	13/90	6.38	35/00	320/29	6/50	435/74	22/40	338.5	29/31
g=10 year	13/90	5.7	45/00	287/78	5/87	364/58	21/05	240/14	33/29
h= Standard	13/90	7.2	50/00	372/21	9/78	461/53	26/4	339/95	35/01

پیدا کرده است. این نشان می‌دهد که با گذشت زمان بیشتر پوشش مقاومت خود را ازدست داده و در نتیجه قطعه ضعیف‌تر شده و احتمال شکست در بارهای پایین‌تر برای این نمونه بیشتر شده است. ولی با تمام این توضیحات هنوز نمونه و ورق در شرایط مناسبی برای استفاده به سر می‌برد. نمودار سوم مربوط به نمونه c بوده که ۵ سال از عمرش می‌گذرد. در این نمودار ملاحظه می‌گردد که استحکام تسلیم و استحکام نهایی قطعه به مقدار قابل توجهی کمتر شده و درصد ازدیاد طول آن نیز به مقدار قابل توجهی کم شده است. ضخامت ورق نیز به مقدار زیادی کم شده است که بیانگر اثر خوردگی بر روی ورق می‌باشد. با توجه به این مقایسه می‌توان پی برد که پوشش استفاده شده برای استفاده تا ۵ سال در بدنه کشتی مناسب نبوده و مقاومت قطعه نسبت به ورق استاندارد به مقدار قابل ملاحظه‌ای کم می‌گردد. در نمودار بعدی که مربوط به نمونه d می‌باشد که عمر آن ۶ سال است ملاحظه

بر اساس نمودار نمونه a که از عمرش دو سال می‌گذرد تنش تسلیم و تنش نهایی آن با اختلاف بسیار کمی نسبت به مقادیر نمونه سالم و بدون پوشش و استاندارد می‌باشد. درصد ازدیاد طول بدون شکست نیز برای این نمونه با تقریب نزدیکی برابر با مقدار متناظر در نمونه استاندارد است. تنها تفاوت در ضخامت بوده که در حد چند دهم میلی‌متر از ضخامت به خاطر قرار گرفتن در معرض محیط خورنده کم شده و تفاوت اندک در میزان تنش تسلیم این نمونه با نمونه استاندارد نیز به همین دلیل می‌باشد.

این مقایسه به خوبی نشان می‌دهد که پوشش به همراه حفاظت کاتدیک تا دو سال به خوبی توانسته مقاومت ورق را در حد استانداردش حفظ نماید. نمودار دوم مربوط به نمونه b بوده که سه سال از عمرش می‌گذرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنش تسلیم و تنش نهایی یا به عبارتی ماکزیمم تنشی که نمونه تحمل می‌کند به مقدار بیشتری نسبت به نمونه a کاهش



نمود که هم تلفات کمتری داشته باشد و ضریب اطمینان استفاده از این ورق‌ها با پوشش مناسب نیز بسیار بالاتر خواهد بود. از نظر اقتصادی نیز هزینه اولیه بالاتر در پوشش و رنگ باکیفیت بالا توجه بسیار خوبی دارد چون طبق نمودارهای به‌دست‌آمده و توضیحات داده‌شده در بالا هزینه اولیه بالاتر باعث استفاده طولانی‌تر از ورق‌ها شده و در نتیجه نیاز به تعویض ورق را کاهش می‌دهد.

##### ۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین روش‌های حفاظت سطوح فلزی در برابر خوردگی، اجرای پوشش‌های حفاظتی با اعمال یک یا چند لایه رنگ بر روی فلز و استفاده از سیستم حفاظت کاتدیک می‌باشد. و این رنگ با توجه به کاربرد فلز و محیط خورنده در نظر گرفته می‌شود

انتخاب سیستم پوششی مناسب برای سطوح مورد رنگ‌آمیزی با توجه به شرایط محیطی اهمیت زیادی دارد همچنین آماده‌سازی دقیق سطح قبل از رنگ‌آمیزی و استفاده با مطالعه دقیق و انتخاب یک سیستم پوششی مناسب و روش اجرایی مناسب و همچنین از بین بردن و تمیز کردن چربی و روغن باقی‌مانده پوشش‌های قبلی و سایر آلودگی‌های موجود روی سطح از قبیل اکسیدهای آهن و عوارض نورد گرم از سطوح آهنی و همین‌طور باقی‌ماندن مصالح و گردوغبار روی سطح، نمک‌های موجود روی سطح گالوانیزه و... قبل از عملیات رنگ‌آمیزی می‌تواند هزینه رنگ را کاهش داده و عمر سیستم پوششی را افزایش دهد.

هدف اصلی اجرای رنگ برای سطوح فلزی ایجاد یک لایه محافظ که سطح رنگ‌آمیزی را از عوامل خورنده محیط اطراف جدا کند و همچنین تغییر فام یا رنگ ظاهری قطعات و اجسام مختلف به‌منظور زیباسازی می‌باشد که به روش‌های قلم‌مو، غلطک، سیستم پاشش رنگ با جریان هوا، سیستم پاشش رنگ بدون هوا اعمال می‌گردد.

دوام و زیبایی و موفقیت اجرای هر سیستم پوششی در رسیدن به اهداف فوق به انتخاب صحیح سیستم پوششی، آماده‌سازی مناسب سطح قبل از اعمال رنگ، روش صحیح کاربرد رنگ،

می‌گردد که استحکام تسلیم به پایین‌ترین مقدار خود رسیده و نیز تنش نهایی یا ماکزیممی که ورق تحمل می‌کند نیز بسیار کم شده و عملاً استفاده کرده از ورق با این پوشش برای ۶ سال در بدنه کشتی بسیار خطرناک بود و ریسک بسیار بالایی دارد. این از نکاتی است که در تعمیر و نگهداری باید حتماً مورد توجه قرار گیرد. ضخامت این ورق نیز به مقدار بسیار زیادی کم شده است که این نیز خود بیانگر اثر خوردگی بر این ورق می‌باشد. نمودار بعدی مربوط به نمونه e بوده که ۸ سال از عمر آن می‌گذرد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در این نمونه با اینکه تنش تسلیم و تنش نهایی نسبت به قطعه استاندارد و حتی قطعه a و b پایین‌تر است اما با توجه به عمر نمونه تنش تسلیم و نهایی آن از نمونه‌های c و d بیشتر بوده و مقاومت آن بالاتر است و حتی ضخامت آن نیز خیلی بیشتر بوده که این بیانگر آن است که خوردگی حتی با عمر بیشتر این قطعه نیز اثر بالایی نداشته است. این نمونه از پوشش و رنگ باکیفیت بالاتری استفاده کرده است و دلیل استحکام بهتر نیز همین پوشش باکیفیت بالاتر می‌باشد.

دلیل دیگر هم می‌تواند دقت در عملیات پاک‌سازی و سپس پوشش دهی ورق در این حالت است. نمودار بعدی هم مربوط به نمونه f بوده که ۹ سال عمر دارد و دوباره ملاحظه می‌گردد که تنش تسلیم و تنش نهایی در این نمونه از نمونه e کمتر شده ولی در مقایسه با نمونه‌های c, d بسیار بالاتر بوده و ضخامت آن نیز کمی نسبت به نمونه e کمتر شده است. این نشان‌دهنده کیفیت مناسب پوشش استفاده‌شده در این نمونه و دقت کافی در از بین بردن ناخالصی‌ها و سپس پوشش دهی در این نمونه می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که با استفاده از کیفیت بالای پوشش و رنگ استفاده‌شده و می‌توان از ورق با جنس مشابه در محیطی خورنده چون دریا تا حتی دو برابر عمری که با پوشش و رنگ ضعیف کاربرد دارد استفاده کرد.

نمودار انتهایی هم مربوط به نمونه g بوده که ۱۰ سال عمر دارد و تنش تسلیم و تنش نهایی آن تقریباً مشابه ورق با عمر ۵ ساله می‌باشد. این پدیده هم مجدداً به کیفیت پوشش و رنگ استفاده‌شده در این ورق‌ها و دقت مناسب در پوشش دهی برمی‌گردد. بنابراین با استفاده از پوشش دهی مناسب می‌توان از یک ورق با جنس مناسب طی سال‌های بیشتری استفاده

- اعمال رنگ با ضخامت مناسب و وضعیت هوا و شرایط محیط در زمان اجرای رنگ آمیزی بستگی دارد.
- عمر مفید یک سیستم پوششی در صورتی به طور کامل و بدون ایجاد آسیب و عوارض جزئی و کلی تا پایان مدت زمان پیش‌بینی شده سپری می‌شود که عملیات رنگ‌آمیزی به طور کامل و صحیح و در شرایط مناسب جویبر روی سطحی که خود نیز به دقت آماده‌سازی شده انجام پذیرد. آماده‌سازی سطح و رنگ‌آمیزی به نیروی انسانی متکی است و همیشه امکان اشتباه و غفلت در آن وجود دارد. همچنین فرایند رنگ‌آمیزی در مراحل مختلف موجب آلوده شدن محیط زیست شده که کنترل فرآیند از این جهت نیز ضروری است. اعمال کنترل و بازرسی دقیق یک عامل بسیار مهم برای موفقیت گروه اجرا در مراحل مختلف آماده‌سازی سطح و رنگ‌آمیزی می‌باشد.
- ۶- مراجع**
- [1] S. Arunkumar, Raghu V. Prakash, "Estimation of Tensile Properties of Pressure Vessel Steel through Automated Ball Indentation and Small Punch Test" *Trans Indian Inst Met*, Vol.69, No.6, pp.1245-1256, 2016.
- [2] Bodude, M.A, Oloyede, O.R, Esezobor ,D.E, and Momohjimoh, "Corrosion Behavior of Ship Hull in Sea and Waste Water" *European Inter. J. of Sci. and Tech.*, Vol.3, No.8, 2014.
- [3] R.E. Melchers R.E. Melchers, "Mathematical Modelling of the Diffusion Controlled Phase in Marine Immersion Corrosion of Mild Steel", *Corrosion Science*, Vol.45, No.5, pp.923-940, 2003.
- [4] A.Ismail, N.H. Adan, "Effect of Oxygen Concentration on Corrosion Rate of Carbon Steel in Seawater" *American J. of Eng. Research*, Vol.3, No.1, pp.64-67, 2014.
- [5] P. C. Vasant, G. K. Bansal, "An Investigation Into The Environmental Impacts Of Atmospheric Corrosion Of Building Materials", *Inter. J. of Chem. Sci. and Applications*, Vol.4, No.1, pp.1-6, 2013.
- [6] N. I. Kairi, J. Kassim, "The Effect of Temperature on the Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1 M HCl Solution by Curcuma Longa Extract" *Int. J. Electrochem. Sci.*, Vol.8, pp.7138 – 7155, 2013.
- [7] H.B. Peacock, R.L. Sindelar and P.S. Lam, "Temperature and Humidity Effects on The Corrosion of Aluminum-Base Reactor Fuel Cladding Materials During Dry Storage, 2002.
- [8] Roberge, Pierre R., *Corrosion Engineering: Principles and Practice*. McGraw-Hill Companies, Inc, 2008.
- [9] Anatolii DUBOV, Alexander DUBOV, Peter LADANYI, *Tensile Testing of Steel Specimens Using the Metal Magnetic Memory Method*, 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), October 6-10, 2014, Prague, Czech Republic.
- [10] PrakashReddy, B., S. Satish and C.J. Thomas Renald B, "Investigation on Tensile and Flexural Properties of Coir Fiber Reinforced Isophthalic Polyester Composites", *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.2, pp.220-225, 2014.
- [11] Kaesche, Helmut, "Corrosion of Metals, Physicochemical Principles and Current Problems", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.571-585, 2003.
- [12] Kotresh Sardar, K. Veeresh, Manjunatha Gowda, "Characterization and Investigation of Tensile Test on Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite Material", *Inter. J. of Recent Devel. in Eng. and Tech.*, Vol.2, No.2, pp.104-112, 2014.
- [13] Rosler, Joachim, Harders and Baker. *Mechanical Behaviour of Engineering Materials*. Berlin: Springer-Verlag, Vol.3, pp.525-540, 2007.
- [14] Ashby, Michael, Hugh Shercliff and David Cebon, "Materials Engineering, Science, Processing and Design". UK: Elsevier Ltd., 2007.
- [15] SaadEldeen S and GuedesSoares C. Effect of Pitting Corrosion on the Collapse Strength of Rectangular Plates under Axial Compression. *Proceedings of Analysis and Design of Marine Structures*, Portugal, pp.231-236, 2009.
- [16] W.D. Callister, D.G. Rethwisch, "Materials Science and Engineering: an Introduction", Cuyamaca College, 2007.
- [17] H.M. W. Huupatz, "Effect of the Temperature and Salt Content of Sea Water on the Corrosion Behavior of Aluminium", *Corrosion*. Vol.38, pp.709-711, 2009.
- [18] M.J.C. and M. A. Aballes, M. Betherconrt, F. J. Botana, Marcos, "Influence of the Cathodic Intermetallics Distribution on the Reproducibility of the Electrochemical Measurements on AA5083 Alloy in NaCl Solutions" *Corros. Sci.*, Vol.45, pp.161-180, 2003.
- [19] Adam Lipski, Stanisław MROZIŃSKI, *The Effects of Temperature on the Strength of Aluminum Alloy 2024-T3*, *actamechanica et automatica*, Vol.6, No.3, 2012.
- [20] M. Mihalikova, J. Janek, *Influence of the Loading and Strain Rates on the Strength Properties for*

- Mobility of Higher-Strength Sheet, Vol.46, No.2, pp.107-110, 2007.
- [21] A.J.D.EDWARDS, "Painting Aluminum and its Alloys", Ind. Eng. Chem. Vol.27, pp.145-149, 2010.
- [22] W.E.O. and P.M.N. F. J. Martin, G. T. Cheek, "Impedance Studies of the Passive Film on Aluminum" Corros. Sci. Vol.47, pp.3187-3201, 2005.
- [23] M Luo, T Wierzbicki, Numerical Failure Analysis of a Stretch-Bending Test on Dual-Phase Steel Sheets using a Phenomenological Fracture Model, International Journal of Solids and Structures, Vol.47, No.22-23, pp.3084-3102, 2010.
- [24] K.J. Anusavice, P.H. Dehoff, C.W. Fairhurst, "Materials Science Comparative Evaluation of Ceramic-metal Bond Tests Using Finite Element Stress Analysis", journal of dental research, pp.187-196, 2011.