

بررسی تأثیر خوردگی بر روی مقاومت نهایی سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی در طی مدت زمان‌های مختلف

بهروز تدین^۱، حمید دهقانی^۲، عبدالرحیم طاهری^{۳*}

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

^۲ کارشناسی، دانشگاه آزاد واحد بندرعباس، بندرعباس، ایران

^۳ استادیار، دانشکده نفت آبادان، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران،

* نویسنده مسئول: rahim.taheri@put.ac.ir

تاریخ ارسال : ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

چکیده

در این مقاله به بررسی تأثیر پدیده خوردگی بر روی مقاومت نهایی سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی، که از جمله پرکاربردترین سازه‌ها در صنایع نفت و گاز و انرژی‌های تجدیدپذیر به‌شمار می‌روند، پرداخته شده است. اثرات ناشی از خوردگی در طی مدت زمان‌های مختلف بصورت کاهش یکنواخت ضخامت اعضای در نظر گرفته شده و از دیگر انواع خوردگی و اثرات آنها در این مطالعه صرف نظر شده است. سازه فراساحل ثابت شابلونی مورد بررسی، متعلق به یکی از سکوها گاز موجود در فاز ۱۹ پارس جنوبی می‌باشد که دارای طول عمر ۲۵ ساله است. مقاومت نهایی سازه بوسیله تحلیل بارافزون بدست آمده و برای بیان آن از نسبت مقاومت ذخیره استفاده شده است. بدین منظور، سازه مورد نظر در نرم‌افزار SACS، که یکی از نرم‌افزارهای پرکاربرد برپایه المان محدود در این زمینه می‌باشد، مدل‌سازی و تحلیل شده است. براساس نتایج این مطالعه، مقاومت نهایی سازه پس از رسیدن سازه به طول عمر خود، در صورت رخ دادن فرضیات در نظر گرفته شده در زمینه خوردگی، با کاهش تقریباً ۲۰ درصدی مواجه خواهد شد، بدین صورت که میزان نسبت مقاومت ذخیره سازه در ابتدا (بدون در نظر گرفتن خوردگی) برابر ۱/۷ بوده و پس از گذشت طول عمر سازه (۲۵ سال)، میزان آن در اثر خوردگی در نظر گرفته شده به عدد تقریبی ۱/۳ رسیده است که این روند نزولی، در طی سال‌های بیشتر، عمدتاً ادامه خواهد داشت.

کلیدواژه: خوردگی، سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی، نسبت مقاومت ذخیره، مقاومت نهایی، تحلیل بارافزون

Case Study

Investigation of the Corrosion Effects on the Ultimate Strength of Fixed Offshore Jacket Structures During Different Time Durations

B. Tadayon ¹, H. Dehghani ², A. Taheri ^{3*}

¹ M.Sc, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Hormozgan, Hormozgan, Hormozgan, Iran

² Masters, Bandar Abbas Azad University, Bandar Abbas, Iran

³ Assistant Professor, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University, Abadan, Iran (Corresponding Author)

* **Corresponding Author:** rahim.taheri@put.ac.ir

Submission: 2022, 03, 11 **Acceptance:** 2022, 06, 10

Abstract

In this paper, the effect of corrosion on the ultimate strength of fixed offshore jacket structures, which are among the most widely used structures in both oil and gas and renewable energy industries, is investigated. The effects of corrosion over different periods of time have been considered as a uniform reduction in the thickness of the members and other types of corrosion and their effects have not been considered in this study. The fixed offshore jacket structure considered in this study belongs to one of the gas platforms in phase 19 of South Pars gas field, which has a lifespan of 25 years. The ultimate strength of the structure is obtained by pushover analysis and it is expressed using the reserve strength ratio. For this purpose, the structure has been modeled and analyzed in SACS software, which is one of the most widely used finite element softwares in this field. According to the results of this study, if the assumptions made about corrosion occur, the ultimate strength of the structure after it reaches its lifespan will be reduced by approximately 20%, such that the value of the reserve strength ratio of the structure is 1.7 when no corrosion is applied, but it reduces to 1.3 considering the amount of corrosion applied after the design life of the structure (i.e., 25 years). This downward trend is mainly to be continued over the following years.

Keywords: Corrosion, Fixed Offshore Jacket Structures, Reserve Strength Ratio, Ultimate Strength, Pushover Analysis

۱- مقدمه

سازه‌های فراساحل، سازه‌های پرکاربرد به شمار می‌روند که در صنایع مختلف از آنها استفاده می‌شود. امروزه، در دو صنعت بسیار حائز اهمیت که عبارتند از صنعت نفت، گاز و صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر، از این نوع سازه‌ها استفاده می‌گردد. یکی از انواع این نوع سازه‌ها، سازه‌های ثابت شابلونی می‌باشند که از آنها بعنوان پایه‌های نگه‌دارنده سکوها نفت و گاز و یا توربین‌های بادی استفاده می‌شود. بدلیل ساختار و پیکربندی این نوع از سازه‌های فراساحل، استفاده از آنها در قسمت کم‌عمق (و یا نسبتاً کم‌عمق) از دریا ممکن می‌باشد و برای قسمت‌های عمیق‌تر، از انواع دیگر سازه‌ها (نیمه‌شناور، شناور و ...) استفاده می‌گردد. طراحی، ساخت و اجرای این سازه‌های ثابت شابلونی نسبت به سازه‌های متداول موجود در خشکی، نیازمند هزینه و زمان بسیار بیشتری می‌باشد. همچنین، این نوع سازه‌ها در شرایط محیطی غیرقابل پیش‌بینی و بعضاً شدیدتری نسبت به سازه‌های موجود در خشکی قرار دارند. این دو عامل سبب شده است تا پایش سلامت و کارایی این نوع سازه‌ها از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار گردد و برنامه‌های بازرسی مداوم و منظمی بمنظور حفظ استحکام و پایداری آنها ارائه شود [۱].

از آنجایی که سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی از فولاد ساخته می‌شوند و بدلیل قرارگیری در محیط خورنده دریا، یکی از عوامل مهم در کاهش عمر آنها، پدیده خوردگی می‌باشد [۲]. هنگامی که یک عضو در اثر خوردگی آسیب می‌بیند، ظرفیت باربری محوری و مقاومت نهایی آن کاهش می‌یابد و در نتیجه این فرایند، مقاومت کل سازه کاهش پیدا می‌کند [۳]. بمنظور جلوگیری از اثرات خوردگی در اعضا از عواملی مانند سیستم پوشش حفاظتی در برابر خوردگی و یا مصالحی که حساسیت کمتری نسبت به خوردگی از خود نشان می‌دهند استفاده می‌شود. با این حال، مسئله خوردگی موضوعی است که بایستی بطور دقیق بررسی گردد زیرا با افزایش عمر سازه، که برای سازه‌های فراساحل از آنجایی که ساخت یک سازه جدید نسبت به نگهداری از سازه پیشین

بسیار هزینه‌تر می‌باشد و بنابراین استفاده طولانی مدت از یک سازه از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر از ساخت یک سازه جدید است، پدیده خوردگی در صورت عدم کنترل، اثر مضاعف بر روی کاهش مقاومت سازه خواهد گذاشت. این پدیده می‌تواند بصورت یکنواخت بر روی عضو اثر گذاشته و باعث کاهش ضخامت آن گردد و یا بر روی ناحیه‌ای از آن اثر کند و باعث سوراخ شدن آن قسمت شود. منتها، در سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی، بیشترین میزان خوردگی در ناحیه پاشش رخ می‌دهد، بخصوص در مواقعی که پوشش محافظتی بکار گرفته شده بر روی اعضا از بین رفته باشد [۴]. ناحیه پاشش به ناحیه‌ای گفته می‌شود که مرز بین آب و هوا در آن مشخص می‌گردد. در واقع، این ناحیه در بالای سطح میانگین آب قرار گرفته و حتی ممکن است در برخی موارد، تا عرشه سازه نیز ادامه پیدا کند، که این موضوع بستگی به ارتفاع امواج تولید شده و ارتفاع عرشه سازه فوقانی بر روی سازه ثابت شابلونی دارد. یکی از ویژگی‌های این ناحیه، ایجاد نیروهای دینامیکی قابل ملاحظه توسط موج بر روی سازه می‌باشد [۵].

از آنجایی که میزان خوردگی بر روی مقاومت نهایی و عمر خستگی اعضای سازه اثر می‌گذارد، این پدیده بعنوان یکی از عناصر اصلی در مرحله طراحی سازه در نظر گرفته می‌شود تا ضخامت انتخاب شده برای اعضا و پوشش‌های حفاظتی مربوطه، براساس نرخ خوردگی پیش‌بینی شده بر روی سازه انتخاب شوند [۶]. با این حال، امکان تضمین جلوگیری کامل از وقوع اثرات ناشی از خوردگی بوسیله تمهیدات در نظر گرفته شده در مرحله طراحی وجود ندارد. بعنوان مثال، این امکان وجود دارد که پوشش حفاظتی بکار گرفته شده در سازه زودتر از موعد پیش‌بینی شده کارایی خود را از دست بدهد. از طرف دیگر، امکان جلوگیری کامل از وقوع اثرات خوردگی با استفاده از افزایش ضخامت مقاطع بکارگرفته شده وجود ندارد، چرا که این امر هم از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نمی‌باشد و هم منجر به افزایش وزن کلی سازه خواهد شد. در نتیجه، در مرحله طراحی تلاش می‌گردد تا میزان خوردگی و اثرات ناشی از آن به حداقل رسانده شود، اما

بایستی از عواقب ایجاد خوردگی بر روی اعضا اطلاع داشت تا در صورت وقوع این پدیده، بتوان تمهیدات لازم را به عمل آورد. در زمینه پدیده خوردگی و اثرات آن بر روی سازه‌های فراساحل، تحقیقات متعددی صورت گرفته است، که از جمله آنها می‌توان به تحقیق یان‌جی و همکاران [۷] اشاره نمود که در آن، با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و عددی، تأثیر پدیده خوردگی و ترک‌های ناشی از خستگی بر روی مقاومت نهایی سکوها فراساحل ثابت شابلونی مورد بررسی قرار گرفت. در نمونه‌ای دیگر، زیو و همکاران [۸] تأثیر خوردگی را بر روی خواص مکانیکی فولاد مورد استفاده در سازه‌های دریایی مورد بررسی قرار دادند و پس از انجام آزمایشات مربوطه، به این نتیجه رسیدند که خواص مکانیکی فولاد قرار گرفته شده در معرض خوردگی، کاهش می‌یابد. از جمله دیگر تحقیقات در زمینه اثر خوردگی بر روی فولاد و سازه‌های ساخته شده از آن، می‌توان به تحقیقات کین و کویی [۹] و آداسوریا و همکاران [۱۰] نیز اشاره نمود.

همانطور که ذکر شد، پدیده خوردگی بر روی مقاومت نهایی سازه تأثیر می‌گذارد. بمنظور تعیین میزان مقاومت نهایی سازه می‌توان از کمیتی به نام نسبت مقاومت ذخیره (RSR)، که بیانگر میزان ظرفیت سازه پس از فراتر رفتن میزان بار وارده از حد طراحی تا زمان فروپاشی آن می‌باشد، استفاده نمود [۱۱]. در اینجا، بار جانبی حاکم، بار محیطی فرض می‌شود که ترکیبی از بار موج، جریان و باد می‌باشد. یکی از روش‌های تعیین RSR ، تحلیل استاتیکی غیرخطی (بارافزون) می‌باشد [۱]. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه مقاومت نهایی سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی و میزان مقاومت ذخیره آنها صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به تحقیق رنجبر و ملای جردی [۱۲] در زمینه محاسبه مقاومت نهایی یک سکوی فراساحل ثابت شابلونی در حالت‌های مختلف (مانند در نظر گرفتن اندرکنش شمع-خاک، در نظر گرفتن تکیه‌گاه صلب، بررسی سیستم‌های مهارهای مختلف و ...)، تحقیق خیری و بهاری [۱۳] در زمینه استفاده از تحلیل‌های بارافزون و دینامیکی غیرخطی برای محاسبه مقاومت نهایی دو سکوی نمونه در حالات مختلف و مقایسه

نتایج حاصله با یکدیگر، و همینطور تحقیق پاتی و سهیمی [۱۴] در زمینه بررسی تأثیر پیکربندی سکوها فراساحل ثابت شابلونی (تعداد پایه‌ها و سیستم مهاربندی) در کنار موارد دیگری از قبیل کاربری سکوی بر روی مقاومت نهایی سازه اشاره نمود.

در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از یک مدل پیشنهادی ساده، میزان کاهش یکنواخت ضخامت اعضای لوله‌ای یک سازه فراساحل ثابت شابلونی در اثر پدیده خوردگی در ناحیه پاشش در طی مدت زمان‌های مختلف (۲۵ ساله، ۳۵ ساله، ...) محاسبه گردد و تأثیر آن بر روی مقاومت نهایی سازه بررسی شود که بدین منظور، از کمیت RSR استفاده شده است. سازه انتخاب شده در این تحقیق، بعنوان سازه اصلی نگهدارنده عرشه یکی از سکوها گازی میدان گازی پارس جنوبی در خلیج فارس می‌باشد. مقاله پیش‌رو بدین صورت پیکربندی شده است که در ابتدا، جزئیات نحوه محاسبه میزان کاهش ضخامت ناشی از پدیده خوردگی در بخش ۲ آورده شده است. سپس، نحوه محاسبه RSR در بخش ۳ توضیح داده شده است. بخش ۴ شامل مشخصات سازه ثابت شابلونی مورد بررسی می‌باشد و محاسبه میزان کاهش ضخامت اعضای سازه مورد بررسی در زمان‌های مختلف و تأثیر آن بر روی RSR در بخش ۵ ارائه شده است. در نهایت، بحث و نتایج حاصل از این تحقیق در بخش ۶ آورده شده است.

۲- خوردگی در سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی

در زمینه نحوه اثر پدیده خوردگی بر روی سازه‌های فراساحل ثابت شابلونی، می‌توان اظهار داشت که خوردگی در حالت‌های مختلف بر روی این نوع سازه‌ها اتفاق می‌افتد و این موضوع باعث کاهش عمر خستگی و مقاومت نهایی آنها می‌شود. حالاتی مانند خوردگی یکنواخت، خوردگی حفره‌ای، خوردگی اتصالات جوشی و ... از جمله حالات خوردگی می‌باشند [۶]. خوردگی یکنواخت بدین گونه است که ضخامت عضو، که در سازه‌های ثابت شابلونی دارای سطح مقطع لوله‌ای است، بصورت یکنواخت کاهش می‌یابد.

بسته به شرایط موجود، مقدار $0.7/0$ الی $0.3/0$ میلی‌متر در سال را می‌توان بعنوان نرخ خوردگی سالیانه در نظر گرفت. شکل ۱، شامل شماتیکی از مقطع لوله‌ای شکل و میزان کاهش ضخامت آن بر اثر خوردگی می‌باشد. در این شکل، d_{in} و D_{out} به ترتیب بیانگر قطر داخلی و خارجی می‌باشند. همچنین، h_0 بیانگر ضخامت اولیه مقطع عضو است.

۳- نسبت مقاومت ذخیره

به نسبت نیروی وارده بر سازه قبل از فروپاشی بر مقدار نیروی وارده بر سازه در مقابل آن طراحی شده است (بار طرح)، نسبت مقاومت ذخیره سازه (RSR) گویند [۱۷]. بعبارت دیگر، این کمیت بیانگر نسبت بین برش پایه نهایی سازه در زمان فروپاشی ($BS_{ultimate}$) بر برش پایه طرح (BS_{design}) می‌باشد که نحوه محاسبه آن در رابطه (۲) نشان داده شده است. لازم بذکر است که برش پایه طرح می‌تواند برای نیروی محیطی (ترکیب بار موج، باد و جریان) با دوره بازگشت‌های مختلف (۵۰ ساله، ۱۰۰ ساله و ...) تعریف شود که در اینجا، نیروی ۱۰۰ ساله در نظر گرفته می‌شود.

$$RSR = \frac{BS_{ultimate}}{BS_{design}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

یکی از روش‌های تعیین مقدار RSR یک سازه فراساحل ثابت شابلونی، استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی (بارافزون) توسط نرم‌افزارهای برپایه المان محدود می‌باشد که از جمله آنها می‌توان به نرم‌افزار SACS اشاره نمود. از دیگر قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌توان به انجام تحلیل‌های مختلفی از قبیل استاتیکی، دینامیکی، به آب اندازی و ... بر روی سازه ثابت شابلونی مورد استفاده بعنوان سازه نگهدارنده سکوها نفت و گاز و یا توربین‌های بادی اشاره کرد که باعث شده است تا یکی از معتبرترین و کاراترین نرم‌افزارها برای این منظور به حساب بیاید [۱۸]. روند انجام تحلیل بارافزون در نرم‌افزار SACS بدین گونه است که ابتدا، تمام بار قائم (شامل وزن کل سازه، تجهیزات

بمنظور پیش‌بینی میزان کاهش ضخامت ناشی از خوردگی یکنواخت، مدل‌های احتمالاتی مختلفی در تحقیقات گسترده پیشنهاد شده است [۴]. پدیده خوردگی علاوه بر ضخامت عضو، لازم بذکر است که علاوه بر ضخامت عضو، می‌تواند بر روی خواص مکانیکی فولاد (خصوصاً مدول الاستیسیته) نیز اثرگذار باشد که با توجه به نرخ کاهش سطح مقطع، میزان کاهش مدول الاستیسیته قابل محاسبه است [۴].

یکی از مدل‌های احتمالاتی پیشنهادی بمنظور محاسبه میزان کاهش ضخامت ناشی از خوردگی یکنواخت، مدل ارائه شده در رابطه (۱) می‌باشد [۱۵]. دو پارامتر اصلی در این مدل عبارتند از میزان کارایی سیستم پوشش‌های حفاظتی در برابر خوردگی (برحسب مدت زمان) و نرخ خوردگی سالیانه. لازم بذکر است که این مدل فقط برای حالت کاهش ضخامت عضو بر اثر خوردگی یکنواخت قابل استفاده می‌باشد و انواع دیگر خوردگی (از جمله خوردگی حفره‌ای) در این مدل نادیده گرفته شده است.

$$Wa(t) = R_{corr} \alpha (t - t_{pt}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، $Wa(t)$ بیانگر میزان کاهش ضخامت عضو بر اثر خوردگی و پارامتر α ضریبی است که برای خوردگی از یک جهت برابر ۱ و در صورت وقوع خوردگی در دو جهت، برابر ۲ می‌باشد. پارامتر t بیانگر مدت زمان مدنظر برای در نظر گرفتن اثر خوردگی و t_{pt} عبارت است از مدت زمانی که پوشش حفاظتی در برابر خوردگی، کارایی کامل دارد. واضح است که این پارامتر به کیفیت و نوع پوشش حفاظتی بکارگرفته شده بستگی دارد. با این حال، مطابق مرجع [۱۶]، می‌توان کمترین مقدار آن را ۵ سال و بیشترین مقدار آن را ۱۵ سال در نظر گرفت. مشخص است که رابطه (۱) برای حالتی برقرار است که $t > t_{pt}$ باشد. پارامتر R_{corr} بیانگر نرخ خوردگی سالیانه می‌باشد. مطابق مرجع [۲]، برای فولادی که داخل آب دریا قرار داشته باشد و پوشش حفاظتی بکارگرفته شده بر روی آن کارایی خود را از دست داده باشد،

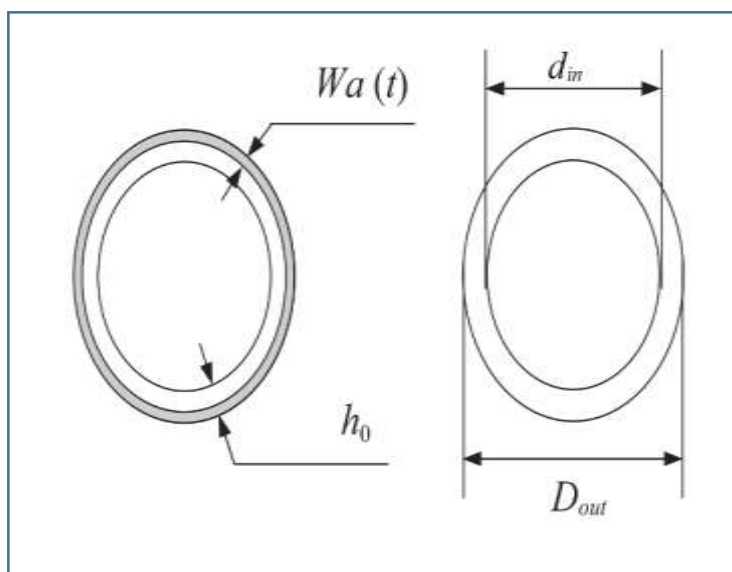
سکوی گازی SPD19C واقع در میدان گازی پارس جنوبی در ۱۰۰ کیلومتری فراساحل خلیج فارس می‌باشد. این سازه ثابت شابلونی که از چهارپایه و شمع پر شده از دوغاب تشکیل شده است و دارای سیستم مهاربندی X شکل می‌باشد، نگهدارنده قسمت فوقانی سکوی ذکر شده، با ابعاد تقریبی ۳۲/۵ در ۲۷/۵۱۶ متر مربع، متشکل از عرشه بالایی، نیم طبقه بالایی، نیم طبقه پایینی، عرشه پایینی و یک عرشه زهکش می‌باشد. طول عمر بهره‌برداری از این سکو، ۲۵ سال است. در شکل ۲، جزئیات ارتفاعی این سکو نشان داده شده است. محدوده ناحیه پاشش، با در نظر گرفتن سطح آب بعنوان مبدأ، از ۳/۲۰- متر تا ۴/۸۰+ متر ادامه دارد. شکل ۳ نشان‌دهنده نماهای مختلف مدل سکو در نرم‌افزار SACS می‌باشد.

نصب شده و بار زنده) با ضریب یک بر روی سازه اعمال می‌شود. سپس، فقط بار محیطی به سازه اعمال شده و ضریب آن از مقدار یک، مرحله به مرحله افزایش می‌یابد تا زمانیکه فروپاشی سازه صورت گیرد. برش پایه بدست آمده در اثر اعمال بار محیطی با ضریب یک، برابر با برش پایه طرح (BS_{design}) و برش پایه بدست آمده در اثر اعمال بار محیطی ضریب‌دار منجر به فروپاشی سازه، برابر با برش پایه نهایی سازه در زمان فروپاشی ($BS_{ultimate}$) می‌باشد. سپس، با استفاده از رابطه (۲)، میزان RSR سازه محاسبه می‌شود.

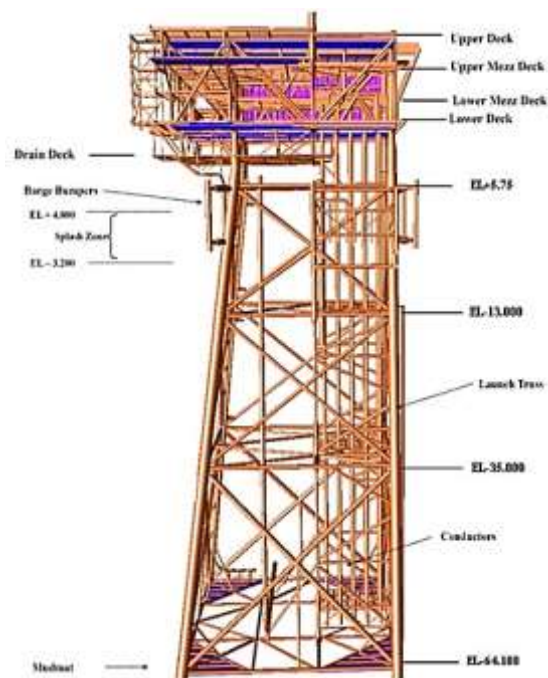
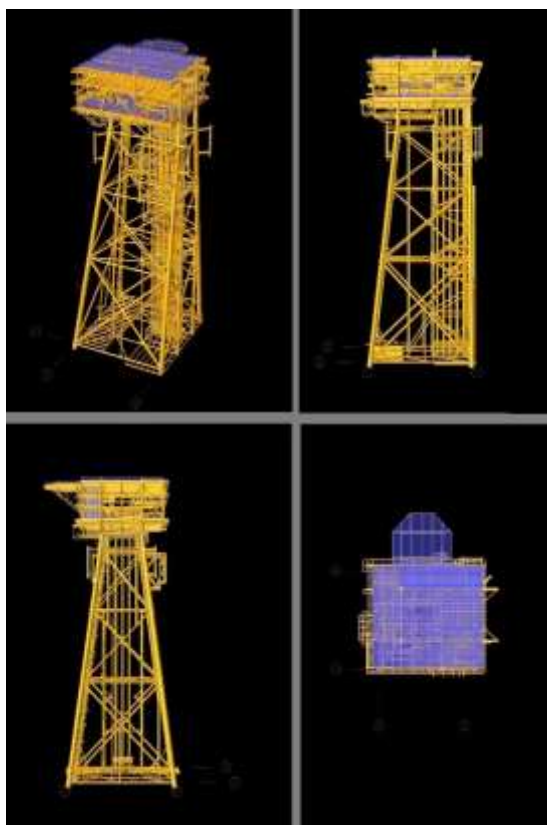
۴- مشخصات سازه فراساحل ثابت شابلونی مورد

بررسی

سازه ثابت شابلونی مورد بررسی در این تحقیق، متعلق به



شکل ۱ - مقطع لوله‌ای شکل و کاهش ضخامت ناشی از خوردگی [۱۵]

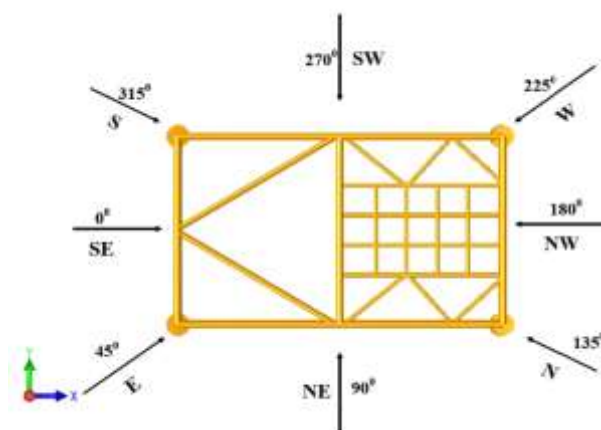


شکل ۲ - جزئیات ارتفاعی سکوی گازی SPD19C

شکل ۳ - نمای روبرو، ایزومتریک، فوقانی و جانبی سکوی SPD19C براساس مدل نرم‌افزار SACS

جدول ۱- جزئیات بار مرده وارده بر روی سکوی SPD19C

بار مرده (KN)	شرح بار
۱۶۷۶۹/۱	سازه کلی نگهدارنده عرشه بعلاوه شمع‌ها
۱۸۵۵	خرپای راه‌اندازی کننده سکو
۹۸۲۵/۷	قطعات عرشه در ارتفاع بالای ۸/۳۰ متر
۳۸۰/۵	ضربه گیرها
۵۹۳/۷	تجهیزات کناره گیری قایق
۱۴۳۴/۲	رایزرها، کیسون‌ها و لوله‌های L شکل به همراه تکیه-گاه
۱۶۷۴۰	کنداکتورها
۹۶۹۸/۲	روئیدنی‌های دریایی
۵۷۲۹۶/۴	مجموع



شکل ۴ - هشت جهت اعمال بارهای محیطی بر روی سکوی SPD19

جدول ۲ - پارامترهای بارهای محیطی وارده بر روی سکوی SPD19C

S (315°)	SW (270°)	W (225°)	NW (180°)	N (135°)	NE (90°)	E (45°)	SE (0°)	پارامتر \ جهت
۱۰/۲	۸/۸	۱۰/۸	۱۲/۲	۹/۷	۸/۸	۱۰/۸	۱۱/۶	ارتفاع موج صد ساله (متر)
۱۰/۲	۹/۵	۱۰/۴	۱۱/۰	۱۰/۰	۹/۶	۱۰/۴	۱۰/۸	دوره تناوب موج صد ساله (ثانیه)
۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	سرعت
۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	جریان
۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	صد ساله
۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۲۸	(متر بر ثانیه)
۳۳/۴	۳۳/۰	۳۵/۶	۳۶/۷	۳۵/۶	۳۴/۹	۳۶/۰	۳۵/۲	سرعت باد یک دقیقه‌ای صد ساله (متر بر ثانیه)
۵/۶	۵/۰	۶/۰	۶/۷	۵/۵	۵/۱	۶/۰	۶/۳	ارتفاع موج یک ساله (متر)
۷/۹	۷/۴	۸/۱	۸/۶	۷/۸	۷/۵	۸/۱	۸/۳	دوره تناوب موج یک ساله (ثانیه)
۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	سرعت
۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	جریان یک
۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	ساله (متر بر ثانیه)
۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	در میانه عمق
۲۰/۶	۲۰/۴	۲۲/۰	۲۲/۷	۲۲/۰	۲۱/۵	۲۲/۲	۲۱/۷	سرعت باد یک دقیقه‌ای یک ساله (متر بر ثانیه)

۵ - بررسی تأثیر پدیده خوردگی بر مقاومت نهایی سازه فراساحل ثابت شابلونی مورد بررسی

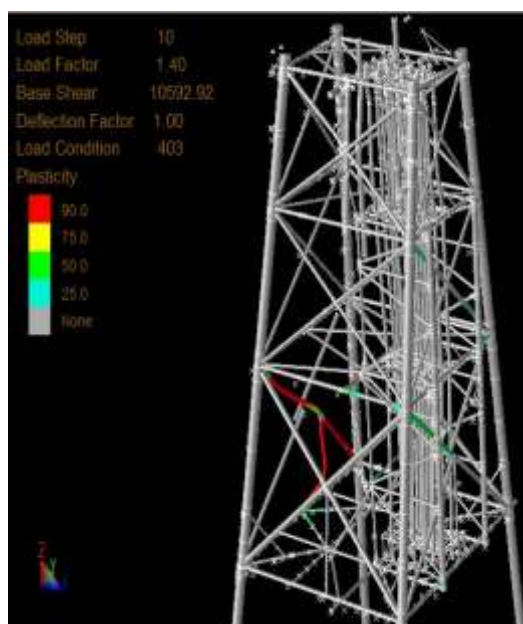
با استفاده از رابطه (۱)، میزان کاهش ضخامت اعضای مهاری و پایه‌های سازه ثابت شابلونی مورد بررسی در اثر پدیده خوردگی محاسبه شده است. پارامترهای t_{pt} ، α و R_{corr} به ترتیب برابر ۵ سال، ۱ و ۰/۱۵ میلی‌متر در سال در نظر گرفته شده‌اند. همانطور که پیش از این ذکر شد، در این تحقیق بررسی اثر پدیده خوردگی در طول مدت زمان‌های مختلف (که در جدول ۳ آورده شده است) مورد بررسی می‌باشد. در جدول ۳، مقادیر مختلف کاهش ضخامت عضو براساس مدت زمان مورد نظر نشان داده شده است.

بمنظور محاسبه RSR ، تحلیل بارافزون در هر هشت جهت اعمال بار محیطی نشان داده شده در شکل ۴ انجام شده است و کمترین مقدار بدست آمده، بعنوان RSR سازه در نظر گرفته شده است. شکل ۵ نشان‌دهنده نحوه فروپاشی سازه در

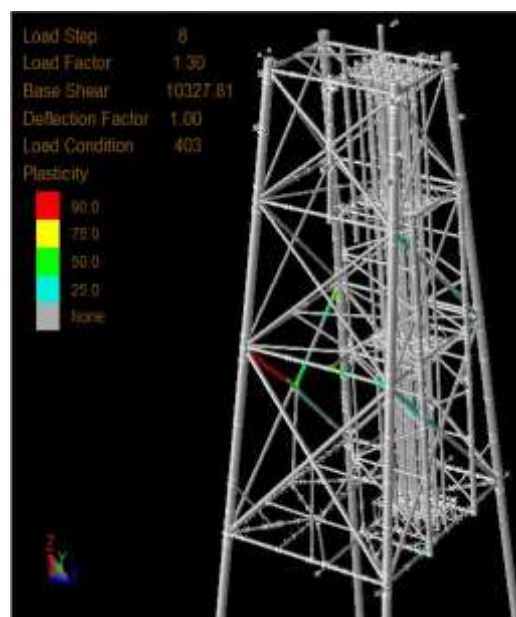
اثر کاهش ضخامت‌های مختلف موجود در جدول ۳ می‌باشد. لازم بذکر است که از آنجاییکه هدف این تحقیق بررسی عملکرد سازه ثابت شابلونی در مقابل پدیده خوردگی طی مدت زمان‌های مختلف می‌باشد، مدل عرشه (سازه فوقانی) سکو در تحلیل وارد نشده است اما اثرات آن (بارگذاری و سختی‌های مربوطه) بر روی گره‌های فوقانی پایه‌های سازه ثابت شابلونی در نظر گرفته شده است. در جدول ۴، میزان RSR سازه برای کاهش ضخامت‌های مختلف (مطابق آنچه در جدول ۳ ذکر شده است) آورده شده است. لازم بذکر است که تأثیر خوردگی بر روی سکو، فقط بصورت کاهش یکنواخت ضخامت در نظر گرفته شده است و در مشخصات مکانیکی مقاطع (مانند مدول الاستیسیته) تغییری لحاظ نشده است. همچنین، بمنظور محاسبه RSR سازه، اثر اندرکنش شمع-خاک نیز در نظر گرفته شده است و بعبارت دیگر، شمع‌های سازه نیز در نرم‌افزار مدل شده‌اند و تأثیر آنها بر روی مقاومت نهایی سازه در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌ها و خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها

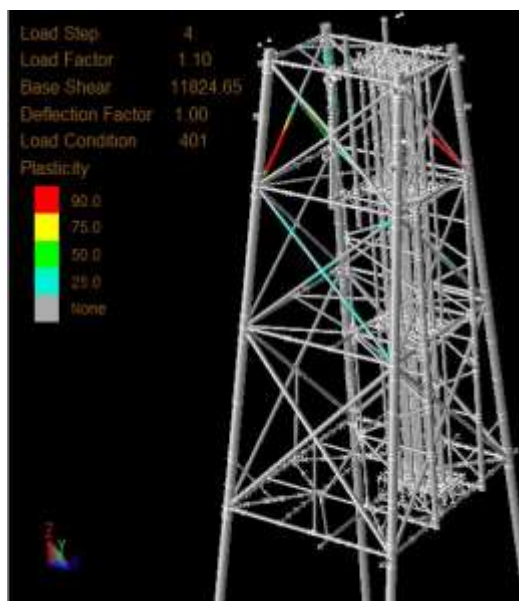
طول عمر	t	α	t_{pt}	R_{corr}	$Wa(t)$
۲۵ سال	۲۵	۱	۵	۰/۱۵	۳ میلی‌متر
۳۵ سال	۳۵	۱	۵	۰/۱۵	۴/۵ میلی‌متر
۴۵ سال	۴۵	۱	۵	۰/۱۵	۶ میلی‌متر
۵۵ سال	۵۵	۱	۵	۰/۱۵	۷/۵ میلی‌متر



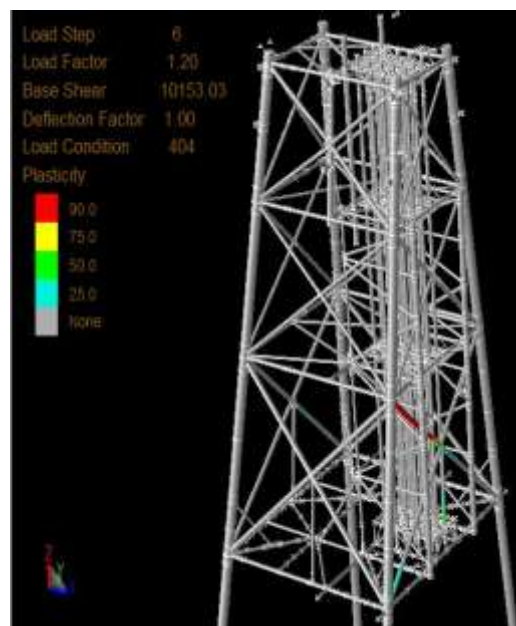
ب



الف



د



ج

شکل ۵ - مرحله پیش از فروپاشی سازه فراساحل ثابت شابلونی مورد بررسی تحت اثر کاهش ضخامت ناشی از پدیده خوردگی به میزان (الف) ۳ میلی‌متر، (ب) ۴/۵ میلی‌متر (ج) ۶ میلی‌متر (د) ۷/۵ میلی‌متر

جدول ۴ - میزان RSR سازه فراساحل مورد بررسی براساس مقادیر مختلف ضخامت در اثر پدیده خوردگی

میزان کاهش ضخامت (میلی‌متر)	برش پایه طرح (KN)	برش پایه نهایی (KN)	جهت	RSR
۰ *	۸۱۱۰	۱۳۴۴۰	NE (90°)	۱/۶۶
۳	۸۰۵۵	۱۰۳۲۸	NE (90°)	۱/۲۸
۴/۵	۷۹۶۴	۱۰۶۸۴	NE (90°)	۱/۳۴
۶	۸۵۰۸	۱۰۱۵۳	N (135°)	۱/۱۹
۷/۵	۱۰۷۵۲	۱۱۸۲۵	SE (0°)	۱/۱۰

* RSR بدست آمده در این حالت، RSR سازه بدون در نظر گرفتن اثرات ناشی از خوردگی می‌باشد.

۶- نتایج و بحث

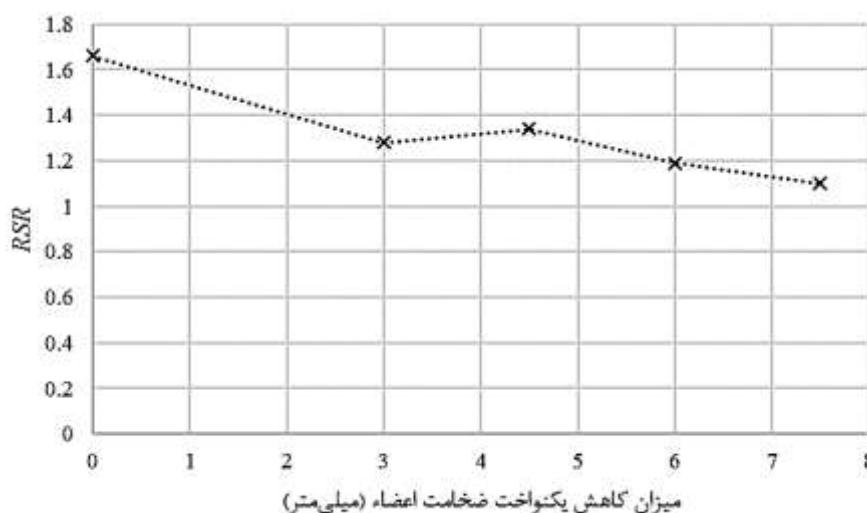
مطابق آنچه در جدول ۴ آورده شده است، میزان RSR سازه فراساحل ثابت شابلونی مورد بررسی بدون در نظر گرفتن آثار ناشی از خوردگی تقریباً در حد ۱/۷ می‌باشد. پیش از این ذکر شد که طول عمر بهره‌برداری این سکو ۲۵ سال می‌باشد که با توجه به پارامترهای فرض شده برای محاسبه میزان کاهش ضخامت ناشی از خوردگی در طی این مدت، مقدار RSR سازه به ۱/۳ کاهش می‌یابد. بعبارت دیگر، برای سازه فراساحل ثابت شابلونی مورد نظر، با فرض اینکه پوشش حفاظت خوردگی اعمال شده تنها به مدت ۵ سال کارایی داشته باشد و حدود ۰/۱۵ میلی‌متر در هر سال از ضخامت اعضای آن بصورت یکنواخت کم شود، پس از رسیدن به طول عمر بهره‌برداری، این سازه با کاهش تقریباً ۲۰ درصدی مقاومت نهایی مواجه خواهد شد.

در مورد دیگر کاهش ضخامت‌های ناشی از پدیده خوردگی اعمال شده، روند تغییر RSR عمدتاً بصورت کاهشی بوده که این موضوع، در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، پدیده خوردگی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی مقاومت نهایی سازه می‌گذارد و بایستی به‌درستی در مدل-سازی لحاظ شده و اثرات آن دیده شود تا مشکلی برای سازه در طی طول عمر طرح خود و یا فراتر از آن، از لحاظ مقاومت نهایی ایجاد نشود.

همان‌طور که پیش از این ذکر شد، پدیده خوردگی را می‌توان بوسیله اعمال سیستم‌های محافظتی در برابر خوردگی کنترل نمود. در صورتیکه به دلایل مختلف (از جمله ایجاد نقص در پوشش‌های حفاظتی یا کنترل ضعیف سیستم‌های محافظتی)، پدیده خوردگی بر روی سازه مورد نظر اثر بگذارد، میزان مقاومت آن کاهش خواهد یافت (همانطور که در شکل ۶ نشان داده شد). با این حال، یک سری اقدامات

جایگزین نمودن آن با یک عضو سالم اشاره نمود. نکته حائز اهمیت این است که برای انجام هر یک از این اقدامات، می‌بایست امکان‌سنجی فنی، اجرایی و اقتصادی مطلوب صورت پذیرد تا بسته به شرایط موجود، مناسب‌ترین راه‌حل انتخاب و اجرا گردد.

وجود دارد که بوسیله آنها می‌توان آسیب ناشی از خوردگی را بهبود داد. از جمله این اقدامات می‌توان به تقویت سیستم‌های محافظتی در برابر خوردگی، تعمیر پوشش‌های آسیب‌دیده، حذف بخش‌های آسیب‌دیده و ایجاد وصله به جای آنها و در نهایت، حذف کامل عضو آسیب‌دیده و



شکل ۶ - تأثیر کاهش یکنواخت ضخامت اعضای سازه فراساحل ثابت شابلونی مورد بررسی در اثر پدیده خوردگی بر روی نسبت مقاومت ذخیره

نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد تا با استفاده از نرم‌افزار SACS، یک سازه فراساحل ثابت شابلونی متعلق به فاز ۱۹ میدان گازی پارس جنوبی مدل‌سازی شده و بر روی آن تحلیل بارافزون انجام شود و تأثیر پدیده خوردگی بر روی مقاومت نهایی آن در طی مدت زمان‌های مختلف بررسی گردد. اثرات خوردگی مربوطه، فقط بصورت کاهش یکنواخت ضخامت اعضا در نظر گرفته شد و از دیگر انواع خوردگی و اثرات آنها صرف‌نظر گردید. به منظور بیان مقاومت نهایی، از نسبت مقاومت ذخیره استفاده شد که برابر است با نسبت برش پایه نهایی اعمال شده به سازه بر برش پایه ناشی از نیروی طرح. پس از انجام تحلیل بارافزون برای مدت زمان‌های مختلف سپری شده از طول عمر سازه، مشاهده گردید که بصورت کلی، به نظر می‌رسد که مقاومت نهایی سازه بر اثر پدیده خوردگی کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند، بدین صورت که نسبت مقاومت ذخیره سازه پیش از اعمال هرگونه خوردگی برابر با ۱/۷ بوده که پس از اعمال مقادیر مختلف خوردگی، این میزان سیر نزولی پیدا نمود. همانطور که مشاهده شد، پس از گذشت طول عمر ۲۵ ساله سازه، با فرض میزان خوردگی اعمال شده بر روی اعضا، مقدار نسبت مقاومت ذخیره سازه به مقدار ۱/۳ کاهش پیدا کرد و در بیشترین مقدار خوردگی اعمال شده در این مطالعه که منجر به کاهش ضخامت ۷/۵ میلی‌متری در اعضا گردید، این مقدار به ۱/۱ تبدیل شد. لازم بذکر است که نتیجه بدست آمده در این تحقیق مبتنی بر فرضیاتی است که در زمینه اعمال خوردگی در نظر گرفته شد و بمنظور بررسی دقیق‌تر تأثیر این پدیده بر روی مقاومت نهایی، می‌توان پارامترهای بیشتری را دخیل نمود. بعنوان مثال، می‌توان انواع دیگر

خوردگی (مانند خوردگی حفره‌ای، خوردگی اتصالات جوشی و ...) را نیز در نظر گرفت و یا اینکه صرفاً به در نظر گرفتن اثرات خوردگی بر روی ضخامت اعضا بسنده نکرد و بطور دقیق‌تر، مشخصات مصالح را تغییر داد. بعنوان مثال، این پدیده باعث تغییراتی بر روی مدول الاستیسیته فولاد نیز خواهد شد که در نظر گرفتن آن، منجر به دقیق‌تر شدن نتیجه بررسی اثرات خوردگی خواهد شد.

مراجع

- [1] G. Ersdal, J.V. Sharp, and A. Stacey, Ageing and Life Extension of Offshore Structures: The Challenge of Managing Structural Integrity. 2019: John Wiley & Sons.
- [2] B.C. Gerwick Jr, Construction of marine and offshore structures. 2007: CRC press.
- [3] A. Ostapenko and J.A. Padula, Residual strength of offshore structures after damage. 1986, Lehigh Preserve Institutional Repository.
- [4] Y. Yang, C. Chen, G. Pang, and Y. Shen. Fatigue Life Assessment of Tubular Joints for Jacket Platforms Considering Corrosion. in The 30th International Ocean and Polar Engineering Conference. 2020. International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [5] K. Zen, Corrosion and life cycle management of port structures, Corrosion science, Vol. 47, No. 10, 2005, Pp. 2353-2360.
- [6] T. Moan, Reliability-based management of inspection, maintenance and repair of offshore structures, Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 1, No. 1, 2005, Pp. 33-62.
- [7] C.Y. Ji, H.Z. Xue, X.H. Shi, and O. Gaidai, Experimental and numerical study on collapse of aged jacket platforms caused by corrosion or fatigue cracking, Engineering Structures, Vol. 112, No., 2016, Pp. 14-22.
- [8] Z. Jia, Y. Yang, Z. He, H. Ma, and F. Ji, Mechanical test study on corroded marine high performance steel under cyclic loading, Applied Ocean Research, Vol. 93, No., 2019, Pp. 101942.
- [9] S. Qin and W. Cui, Effect of corrosion models on the time-dependent reliability of steel plated elements, Marine Structures, Vol. 16, No. 1, 2003, Pp. 15-34.
- [10] N. Adasooriya, D. Pavlou, and T. Hemmingsen, Fatigue strength degradation of corroded structural details: A formula for S-N curve, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 43, No. 4, 2020, Pp. 721-733.
- [11] W.M.b. Wan Abdul Majid, A.R.b. Haji Hashim, and M.b. Embong. Determination of structural reserve strength ratio (RSR) of an existing offshore structure. in The Eighth International Offshore and Polar Engineering Conference. 1998. International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [12] P. Ranjbar and E. Malayjerdi. Determining of the capacity of the jacket platforms by non-linear pushover analysis. in The 6th International Offshore Industries Conference. 2015.
- [13] S. Kheiri and M. Bahaari. Evaluation of Ultimate Strength of Jacket Type Structures under Marine Loading. in Proceedings, 7th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures. 2006.
- [14] N.S. Potty and A.F.A. Sohaimi, Ultimate strength assessment for fixed steel offshore platform, Malaysian J Civ Eng, Vol. 25, No. 2, 2013, Pp. 128-153.
- [15] W. Dong, T. Moan, and Z. Gao, Fatigue reliability analysis of the jacket support structure for offshore wind turbine considering the effect of corrosion and inspection, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 106, No., 2012, Pp. 11-27.
- [16] TSCF, Guidance Manual for Tankers Structures. Tanker Structure Co-operative Forum and IACS. 1997, Whitherby Publishers London.
- [17] G.T.B. Hock, Determination of Reserve Strenth Ratio for an Existing Jacket Platform, No., 2012.
- [18] S. Bentley, SACS Software Manual. 2018: Engineering Dynamics Inc.

