یادداشت فنی

# تحلیل قابلیت اطمینان اعضای آسیب دیده سکوی جکت فلزی تحت بار ضربه شناور

**ناصر شابختی[۱*]، ابراهیم جباری[۲]، سید جواد صالحی[۳]**

[۱] استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ shabakhty@iust.ac.ir
[۲] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ jabbari @iust.ac.ir
[۳] کارشناسی ارشد سازه های دریایی، دانشگاه علم وصنعت ایران؛ salehi.iust.93@gmail.com

**اطلاعات مقاله**

*تاریخچه مقاله:*
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۱

*کلمات کلیدی:*
برخورد شناور
آسیب در سکوی دریایی جاکت فلزی
اولین مرتبه قابلیت اطمینان
شبیه سازی مونت کارلو

**چکیده**

شناورهای دریایی هنگام سرویس دهی و یا بارگیری نفت و گاز ممکن است به دلیل شرایط آب و هوای طوفانی و یا تشخیص نادرست ناخدای کشتی باعث برخورد و تصادم به سکوهای دریایی شوند. این برخورد موجب ایجاد تغییرشکلهای موضعی و کلی درسکوگردند. در این مقاله با استفاده از روش مرتبه اولین مرتبه قابلیت اطمینان, شاخص اطمینان اعضایی از سکو فاز ۱۹ پارس جنوبی که تحت اثر ضربه فرضی ناشی از شناورهای تدارکاتی قرار گرفته و دچار آسیب فرضی شده اند ارزیابی شده است. آسیب های درنظرگرفته شده در این تحقیق به صورت تغییرشکل های ایجاد شده در اعضای سکو بوده و به سناریوها پیچیده مکانیزم اتلاف انرژی در حین برخورد پرداخته نشده است. از آنجا که در روش اولین مرتبه قابلیت اطمینان تابع عملکرد معمولا با استفاده از سری تیلور به صورت خطی در می آیند لذا برای صحت سنجی از روش های زمان بر شبیه سازی مونت کارلو و پر اهمیت برای مقایسه استفاده شده است. درابتدا نیروی موج به سازه در حالت سالم وارد شده و شاخص قابلیت اطمینان اعضا در حالت سالم بدست آمده است سپس علاوه بر اثر موج، تغییر شکل های ناشی از برخورد به صورت فرضی درنظرگرفته شده و قابلیت اطمینان سکو در این حالت جدید بدست آمده باحالت های قبلی مقایسه گردیده است. در نهایت ترکیب های مختلف موج و جریان , جهت مختلف موج برخوردی به سکو وسناریوهای مختلف ضربه شناورهای دریایی به پایه ها, مهاربندی های مورب و قایم و افقی درنظرگرفته شده و نتایج مربوطه با هم مقایسه شده است.

# Reliability Analysis of Damaged Steel Jacket Platform under Ship Impact

**Nasser Shabkhty[1*], Ebrahim Jabbari[2], Seyed Javad Salehi[3]**

*[1] Assistant Professor Department of Civil Engineering, University of Science and Technology*
*[2] Associate Professor Department of Civil Engineering, University of Science and Technology*
*[3] MSc in Marine Structures, Iran University of Science and Technology*

**ARTICLE INFO**

*Article History:*
Received: 14 Jan 2017
Accepted: 11 Jun. 2018

*Keywords:*
Ship impact
Damage in offshore platform
First-order reliability method
Monte Carlo simulation

**ABSTRACT**

Marine vessels may cause accidental damage to the offshore platforms during uploading oil and gas production in the storm conditions or incorrect navigation by ship's captain. This impact of sea-going vessels is source of local or global deformations in the offshore structures. In this research the reliability indexes of damaged members under vessels impact are estimated for a platform in the phase 19 of the South Pars using the first-order reliability method (FORM).Only deformation of structural members are considered as damage impact and energy dissipation during collision is not addressed in this research. The time consuming Monte Carlo simulation Method (MCS) and Important Sampling (I.S.) are used to verify the first-order reliability method because the limit state function in FORM is linear-zed by the Taylor series. At first, the wave force is applied into the safe structure, and reliability indexes are estimated for structural members. Then, in addition to the wave loads, the deformations caused by the assumed collision are also taken into account and structural reliability is estimated in the damaged state and corresponding results are compared with each other. Finally, combinations of wave and current, wave directions, and damages scenarios in chord, vertical and horizontal bracing are considered and results are compared.



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.2.9 ]

## ۱ – مقدمه

سکوهای ثابت فلزی جهت اکتشاف و استخراج ذخایر نفت و گاز در اعماق مختلفی از دریا مورد استفاده قرار می گیرد. سکوهای ثابت فلزی تحت اثر بارهای مختلفی نظیر بارهای دینامیکی و ضربه‌ای هستند. بارهای محیطی مانند بار باد، بار امواج و بار جریان‌های دریایی نمونه‌ای از بارهای دینامیکی هستند. بارهای ناشی از ضربه‌های ناگهانی مانند برخورد یک شناور در هنگام بارگیری مخازن نفت وگاز و یا افتادن اشیاء سنگین روی عرشهٔ سکو نمونه‌ای از بارهای ضربه‌ای است[۱] .اگرچه در این سکوها به منظور جلوگیری از برخورد شناورها ضربه گیرهایی تعبیه می شود اما به دلیل اشتباه در پهلوگیری و یا برخورد در مکانهای دیگر در شرایط طوفانی ممکن است دچار آسیب ناشی از برخورد شناورها شوند[۲] . باتوجه به ظرفیت بالای جذب انرژی اعضای سکو، این آسیب معمولا در همان عضو آسیب دیده محصور می شود. به همین جهت عمده مطالعات بر روی پاسخ عضو تحت بار ضربه متمرکز شده است. در چنین حالتی برای تعیین پاسخ سازه باید مقاومت باقی ماندهٔ عضو مورد ارزیابی قرار گیرد [۳]. بیشتر مطالعات مربوط به ضربه کشتی به سکوی ثابت بر روی مقاطع لوله‌ای متمرکز می شود زیرا بیشتر المانهای تشکیل دهندهٔ سازه‌های دریایی دارای مقاطع لوله‌ای می باشند.به طور کلی پدیده های موجود در طبیعت دارای عدم قطعیت[۱] هستند. مثلا نیروی موج به علت ماهیت نوسانی و تصادفی ارتفاع موج دارای عدم قطعیت می باشد. با توجه به عدم قطعیت های موجود به منظور تعیین احتمال خرابی عضو تحت اثر بارهای وارده از شناورها از معیاری بنام شاخص قابلیت اطمینان[۲] استفاده می شود[۴] . هدف اصلی در این مقاله تعیین شاخص قابلیت اطمینان اعضای آسیب دیده سکو تحت بار ضربه با توجه به محل ضربه می باشد. لذا برای تعیین شاخص قابلیت اطمینان ابتدا سکو در نرم افزار SACS مدل سازی شده و سپس تحت اثر بار تصادفی ناشی از موج قرار می گیرد. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار Easy Fit یک توزیع مناسب برای مقادیر بار محوری و ممان خمشی حول دو محور y و z بدست آورده و در نهایت با استفاده از نرم افزار Matlab و برمبنای تئوری های قابلیت اطمینان برنامه نویسی شده و شاخص قابلیت اطمینان بدست آمده است. در تعیین شاخص قابلیت اطمینان روشهای مختلفی از جمله روشهای مرتبه اول قابلیت اطمینان[۳]، روش شبیه سازی مونت کارلو[۴] و روش شبیه سازی پر اهمیت[۵] استفاده می گردد [۴]. با توجه به اینکه هدف اصلی تعیین احتمال خرابی عضو پس از برخورد است لذا تحلیل قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن نیروهای محیطی مانند نیروی موج و جریان انجام می شود از آنجایی که اطلاعات ترافیکی و ناوبری شناورهای عبوری از سکوی مورد مطالعه موجود نبوده‌اند به منظور سادگی آسیب ها و سناریوهای برخورد به صورت تغییرشکل های ایجاد شده در المانهای سازه درموقعیت های مختلف نظر گرفته شده است. در این تحقیق, شاخص قابلیت اطمینان بر اساس تغییر شکل های موضعی ناشی از برخورد شناور تدارکاتی ۵ هزار تنی با سرعت برخورد ۲ متر بر ثانیه به سکو درنظرگرفته شده است وفرض شده که میزان برخورد آنقدر زیاد نبوده که باعث کمانش کلی اعضا گردد.

## ۲ – الزامات عمومی مقاطع لوله ای آسیب دیده

با توجه به اینکه بیشتر المانهای تشکیل دهندهٔ سکوهای دریایی دارای مقاطع لوله‌ای شکل می باشند، لذا در این تحقیق مطالعات برروی ضربه کشتی به سکوی ثابت فلزی با مقاطع لوله‌ای متمرکز شده است. به منظور تعیین شاخص قابلیت اطمینان لازم است تابع عملکرد مشخص گردد. المان آسیب دیده ای را در نظر بگیرید که تحت اثر بار محوری و ممان خمشی در جهات مختلف قرار گرفته است. تحت اثر ممانهای وارده تابع عملکرد دچار تغییراتی می شود. اگر عضو آسیب دیده در معرض بار محوری و ممان خمشی قرار گیرد تابع شرایط حدی برای عضو آسیب دیده مطابق آیین نامه *NORSOK* از رابطه زیر بدست می آید[۵] :

$$g = 1 - \left(\frac{N_{sd}}{N_{dent,t,Rd}} + \sqrt{\left(\frac{A_{m1}M_{1,sd}}{M_{dent,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{A_{m2}M_{2,sd}}{M_{Rd}}\right)^{2}}\right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه $M_{Rd}$ ظرفیت خمشی مقطع در حالت سالم و $M_{dent,Rd}$ ,$N_{dent,Rd}$ به ترتیب ظرفیت خمشی و محوری مقطع در حالت معیوب هستند. بعلاوه $N_{sd}$ مقدارنیروی محوری داخل عضو و $M_{1,sd}$ و $M_{2,sd}$ به ترتیب لنگر خمشی حول محور موازی با آسیب و عمود بر آسیب می باشد. در صورتیکه عضو آسیب دیده در معرض بار محوری کششی و ممان خمشی قرار گیرد مقادیر $A_{m1}$ و $A_{m2}$ مطابق آیین نامه *NORSOK* برابر یک ومقدار $\alpha$ برابر دو توصیه شده است و در صورتیکه این عضو تحت بار محور فشاری و ممان خمشی قرار گیرد اثر ناشی از کمانش و تغییر شکل ناشی از بار محوری در ضریب تشدید لنگر ضرب می شود که به ترتیب از روابط ۲ و ۳ بدست می آید. در این حال مقدار $\alpha$ از رابطه $2\text{-}3\delta/D$ بدست می آید که در این رابطه $\delta$ عمق آسیب و $D$ قطر المان لوله ای شکل آسیب دیده می باشد[۵].ضریب تشدید لنگر $A_m$، در جهت آسیب از رابطه زیر بدست می آید.

$$A_m = \frac{C_m}{\left(1 - \frac{N_{sd}}{N_{E,dent}}\right)} \qquad (۲)$$

که در این رابطه $N_{E,dent}$ بار کمانشی اویلرمقطع آسیب دیده برای کمانش در امتداد آسیب بوده که از رابطه $\pi^2 EI_{dent}/(kL)^2$ بدست می آید که $I_{dent}$ ممان اینرسی مقطع آسیب دیده و $L$ طول المان می باشد. $C_{m1}$ ضریب هم مکانی لنگر حداکثر با لنگرهای ثانویه



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30 ]

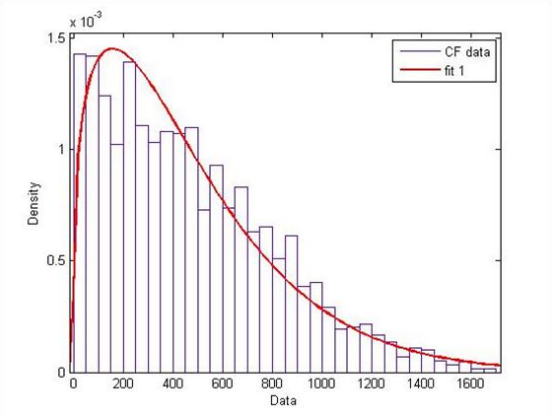
[ DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.2.9 ]

بوده که مطابق با آیین نامه تعیین می شود. برای جهت عمود بر آسیب نیز ضریب تشدید لنگر $A_{m2}$ از رابطه زیر بدست که در این رابطه$N_E$ بارکمانشی اویلر المان در وضعیت سالم می باشد .

لازم به توضیح است که تابع شرایط حدی(۱) هنگامی در وضعیت سلامتی است که مقدار g بزرگتر از صفر وهنگامی در وضعیت خرابی است که این مقدار کوچکتر از صفر باشد. حالت مرزی بین خرابی و سلامتی هنگامی اتفاق می افتد که این تابع صفر باشد.

## ۳- پارامتر های آماری و تابع توزیع احتمال متغیر های تصادفی

بعد از مشخص نمودن تابع عملکرد باید پارامترهای آماری متغیرهای تصادفی و نوع تابع توزیع احتمال این متغیرها مشخص گردد. در این تحقیق سه پارامتر قطر , ضخامت و طول اعضای سکو به دلیل نظارت دقیق بر ساخت اعضای لوله ای سکو یا همان کنترل کیفی در حین ساخت مشاهده می گردد که دارای پراکندگی زیادی نبوده و به صورت قطعی در نظر گرفته شده است. اما نیروی محوری، ممان خمشی حول دو محور y و z ، مدول الاستیسیته و تنش تسلیم به صورت متغیرها تصادفی درنظرگرفته شده است. همچنین به منظور ساده‌سازی در مساله قابلیت اطمینان همبستگی بین متغیرهای تصادفی در نظر گرفته نشده است[۴]. پس از معرفی متغیرهای تصادفی باید برای هر متغیرتصادفی پارامترهای آماری و نوع تابع توزیع احتمال مربوط به آن متغیر مشخص گردد. برای تعیین پارامترهای آماری مربوط به نیروی محوری و لنگرهای خمشی عضو ابتدا باید تحلیل دینامیکی سازه در حضور نیروهای تصادفی امواج صورت گیرد. برای این منظور نیروی موج تصادفی به صورت تاریخچه زمانی و در جهت خاص مورد نظر به سکو اعمال گردیده و تاریخچه زمانی پاسخ سازه برای هر عضو بدست آمده است. با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه خلیج فارس , برای شبیه سازی موج تصادفی از طیف جانسواپ استفاده گردیده است لازم به ذکر است که تحلیل تاریخچه زمانی مطابق با توصیه DNV حداقل برای ۲۰ دقیقه انجام گردیده است[۸] .بررسی های آماری نشان می دهد که برای نیروی محوری و لنگر خمشی در جهت محور z تابع توزیع احتمال ویبول و لنگر خمشی حول محور $y$ تابع لوگ نرمال, بهترین تابع توزیع احتمال بر مبنای تست مربع کا می باشد. در شکل ۱ هیستوگرام فراوانی نسبی بدست آمده از تاریخچه زمانی نیروی محوری با تابع چگالی ویبول مقایسه گردیده است. دراین تحقیق ضریب تغییرات مدول الاستیسیته فولاد را ۲۵ درصد و برای تنش جاری شدن فولاد تابع توزیع احتمال لوگ نرمال با ضریب تغییرات ۱۰ درصد با میانگین تنش جاری شدن ۳۵۰مگاپاسگال در نظر گرفته شده است [۴].




**شکل ۱ –هیستوگرام و تابع توزیع احتمال نیروی محوری برای عضو $LE_1$**

## ۴- ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان اعضای پایه سکوی دریایی جاکت فلزی در حالت سالم

بعد از تعیین تابع توزیع احتمال متغیرهای تصادفی نیروی محوری و لنگرهای خمشی در دو جهت $y$ و z لازم است تابع شرایط حدی معرفی گردد و تحلیل قابلیت اطمینان انجام گیرد. در این بخش ابتدا سازه را به صورت سالم و بدون هر گونه عیب ونقص درنظرگرفته و تابع شرایط حدی همانند رابطه ۱ که در آن هیچ عیب ونقصی درسازه درنظرگرفته نمی شود بیان می گردد. در روش اولین مرتبه قابلیت اطمینان *FORM* باید مشتق تابع شرایط حدی را نسبت به متغیرهای تصادفی بدست آورد که این کار با استفاده از رابطه ۳ امکان پذیر می باشد.

$$G_i = -\frac{\partial g}{\partial z_i}\bigg|_{at\ design\ point} \quad , \quad \{G\} = \begin{Bmatrix} G_1 \\ \vdots \\ G_n \end{Bmatrix} \qquad (۳)$$

بعد از بدست آوردن بردار مشتقات پاره ای، اولین تخمین از شاخص قابلیت اطمینان را می توان با توجه به رابطه ۴ انجام گیرد.

$$\beta = \frac{\{G\}^T\{z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T\{G\}}} \qquad (۴)$$

با محاسبه این شاخص و تعیین مقادیر پایه طراحی , تارسیدن به همگرایی مطلوب اینکار چندین مرتبه در روش اولین مرتبه قابلیت اطمینان تکرار می گردد. در این تحقیق همگرایی مطلوب به میزانی درنظرگرفته شده است که اختلاف شاخص های قابلیت اطمینان و مقادیر پایه طراحی بدست آمده از دو تکرار معادل یا کوچکتر از ۰/۰۰۱ گردد. به منظور صحت سنجی شاخص قابلیت اطمینان بدست آمده از روش مرتبه اول قابلیت اطمینان از روش مونت کارلو (M.S)و روش شبیه سازی پراهمیت (I.S) استفاده شده است. روش مونت کارلو بر مبنای شبیه سازی عددی از مقادیر تصادفی با توجه به نوع توزیع احتمال آن متغیر تصادفی می باشد. در روش مونت کارلو با تعریف یک تابع شمارنده j برای تابع شرایط حدی، متغیرهای شبیه سازی شده در تابع شرایط حدی قرار داده شده و



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.2.9 ]

در نواحی خرابی مقدار یک و در نواحی سلامتی مقدار صفر بخود می گیرد.

$$J[X] = \begin{cases} 0 & g(x) > 0 \\ 1 & g(x) \le 0 \end{cases} \quad (۵)$$

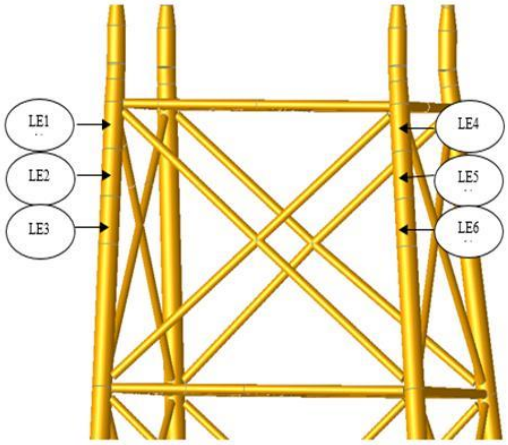
بر این اساس احتمال خرابی برابراست با نسبت تعداد نمونه‌های قرارگرفته در ناحیه خرابی به تعداد کل نمونه‌های شبیه سازی شده همانند رابطه زیر.

$$\widehat{P_f} \approx \frac{Number\ of\ times\ that\ g(x) \le 0}{N} \quad (۶)$$

روش مونت کارلو برای شاخص های قابلیت اطمینان معادل یا بیش از مقدار پنج نیاز به تعداد شبیه سازی زیادی بوده و بسیار زمانبر خواهد بودو نیز گاها مشاهده گردیده بعد از مدت طولانی به جواب مطلوب نرسیده است لذا در این حالت می توان از روش های شبیه سازی پر اهمیت استفاده نمود. در این روش بجای شبیه سازی حول مقادیر میانگین که معمولا در روش مونت کارلو انجام می گیرد, حول نقطه دیگری که به تابع شرایط حدی نیز نزدیکتر می باشد انجام می گیرد و بجای تابع احتمال اصلی متغیر تصادفی از تابع احتمال جدیدی استفاده می شود که باعث کاهش زمان شبیه سازی و افزایش دقت در محاسبه شاخص قابلیت اطمینان می شود.

$$\begin{aligned} P_f &= \int \dots \int I[g(u)] f_u(u) du_1 \dots du_n \\ &= \int \dots \int I[g(y)] \frac{f_u(u)}{f_s(u)} f_s(y) dy_1 \dots dy_n \end{aligned} \quad (۷)$$

در رابطه بالا $f_s(u)$ تابع چگالی نمونه حول نقطه جدید و $f_u(u)$ تابع چگالی اصلی متغیر تصادفی است. بر خلاف روش مونت کارلو در روش شبیه سازی پر اهمیت علاوه بر اینکه زمان شبیه سازی کاهش می‌یابد دقت تعیین شاخص قابلیت اطمینان می تواند با انتخاب مناسب تابع احتمال جدید افزایش یابد. ویژگی دیگر این روش این است که در صحت سنجی شاخص قابلیت اطمینان با مقادیر بالاتر هم محدودیتی ندارد و برای هر محدوده‌ای از شاخص




**شکل ۲ – المانهای بحرانی پایه سکوی SPD19A**

قابلیت اطمینان قابل استفاده است. باید به این نکته توجه کرد که در تحلیل قابلیت اطمینان ممکن است المان مورد نظر در یک لحظه تحت کشش و در لحظه ای دیگر تحت فشار قرار گیرد. بنابراین لازم است که برای هر دو حالت کششی و فشاری شاخص قابلیت اطمینان تعیین شده و کمترین مقدار به عنوان حالت بحرانی شاخص قابلیت اطمینان آن عضو در نظر گرفته شود. شکل ۲ المانهای بحرانی پایه که در معرض خطر برخورد شناور قرار دارند را نشان می دهد. با توجه به شرایط محیطی منطقه به منظور ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان دو پایه از سکو که در معرض آسیب ناشی از برخورد شناور هستند انتخاب شده است با توجه به اینکه در شرایط محیطی آرام و طوفانی تراز برخورد تغییر می کند لذا اندازه المانها به گونه ای انتخاب شده تا بتوان آسیب ناشی از برخورد شناور را که به صورت تغییرشکل های ایجاد شده در آن المان ها می باشد را مورد بررسی قرار داد. نتایج بدست آمده برای شاخص قابلیت اطمینان اعضای بحرانی در حالت سالم به صورت جدول ۱ می باشد.

**جدول ۱ – شاخص قابلیت اطمینان اعضای سازه در حالت سالم**

| المان | $LE_1$ | $LE_2$ | $LE_3$ | $LE_4$ | $LE_5$ | $LE_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *FORM* | ۴/۳۴ | ۴/۸۴ | ۵/۳۷ | ۴/۳۳ | ۴/۶۲ | ۵/۱۴ |
| *MCS* | ۴/۳۰ | ۴/۷۵ | ۴/۹۷ | ۴/۴۶ | ۴/۶۱ | ۴/۹۳ |

همانطور که از این جدول مشاهده می کنید شاخص قابلیت اطمینان روش شبیه سازی مونت کارلو نزدیک به شاخص های بدست آمده از اولین مرتبه قابلیت اطمینان بوده و می توان شاخص های بدست آمده از روش اولین مرتبه قابلیت اطمینان را به عنوان شاخص سلامتی عضو درنظرگرفت. بعلاوه از این جدول مشاهده می گردد حداقل شاخص قابلیت اطمینان مربوط به اعضایی است که نزدیک به اتصالات سکو قرار دارند می باشند و این موضوع را می توان به وجود مهاربند که باعث افزایش سختی در آن بخش شده دانست

## ۵- بررسی ضربه شناور بر سکوی دریایی جاکت فلزی و تعیین شاخص قابلیت اطمینان اعضای پایه سکوی دریایی تحت خرابی ناشی از ضربه شناور

میزان نیروی ضربه بستگی به جرم , سرعت وزاویه برخورد شناور به سکو دارد که می توان آن‌را به صورت تقریبی از رابطه زیر بدست آورد[۶] :

$$P_m = 0.017 M^{0.7} V \quad (۸)$$

$M$ جرم شناور و $V$ سرعت شناور در لحظه برخورد است. از طرفی دیگررابطه بین نیروی ضربه و عمق فرورفتگی به صورت زیر بیان می گردد[۷]:



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.2.9 ]

$$P_m = 150 f_y \frac{t^2}{4}\sqrt{\frac{\delta_d}{D}} \qquad (۹)$$

که در این رابطه $\delta_d$ عمق آسیب، $D$ قطر مقطع، $t$ ضخامت مقطع و $f_y$ تنش تسلیم عضو لوله ای شکل می باشد. همانطور که انتظار می رود نیروی ضربه با عمق آسیب دیدگی رابطه مستقیم دارد. بنابراین در صورتی که شناوری که امکان برخورد به سکو دارد را از نوع تدارکاتی با وزن ۵۰۰۰ تن و و سرعت نزدیک شدن ۲ متر بر ثانیه درهنگام برخورد درنظربگیریم میزان تغییر شکل ناشی از این برخورد را می توان از رابطه ۱۰ بدست آورد.

$$\delta_d = \frac{{P_m}^2 * D * 16}{(150 * f_y * t^2)^2} = 13.36\ cm \qquad (۱۰)$$

آسیب بدست آمده به صورت فرضی و در حد فاصل ترازهای بحرانی در ناحیه برخورددرنظرگرفته می شود. با فرض این که این تغییرشکل ها به صورت تک تک در اعضای پایه سکو تحت ضربه ناشی از شناور تدارکاتی ایجاد گردیده است, لازم است سازه دریایی مورد مطالعه دوباره تحت اثر نیروهای ناشی از امواج تحلیل شده و مقادیر نیروی محوری , و لنگرهای خمشی در اعضای سازه درشرایط جدید بدست آید. حال با استفاده از تاریخچه تصادفی جدید بدست آمده برای نیروی محوری و لنگرهای خمشی در اعضای سازه, پارامترهای جدید آماری و همینطور نوع تابع توزیع احتمال این متغیرهای تصادفی دوباره ارزیابی گردد. برای تعیین شاخص قابلیت اطمینان , با استفاده از تابع عملکرد رابطه ۱ که تغییر شکل ها هم در ان درنظرگرفته شده است و مقادیر آماری جدید بدست آمده برای متغیرهای تصادفی, شاخص قابلیت اطمینان در وضعیت خرابی المان سازه ای بدست می آید. نتایج بدست آمده برای اعضای پایه دردو حالت سالم و معیوب در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

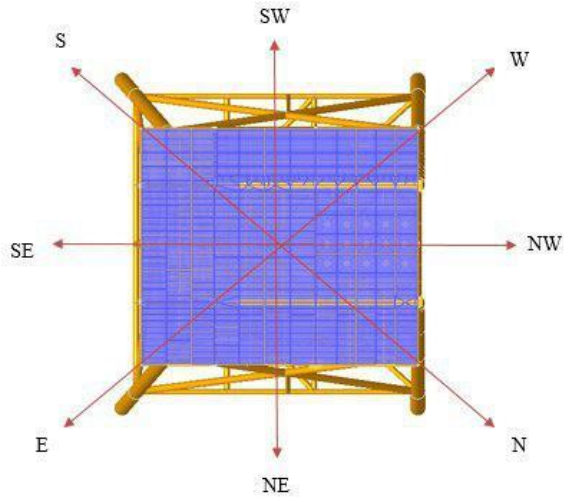
**جدول ۲– مقایسه شاخص قابلیت اطمینان المانهای پایه بحرانی در حالت سالم و آسیب**

| المان | $LE_1$ | $LE_2$ | $LE_3$ | $LE_4$ | $LE_5$ | $LE_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *safe* | ۴/۳۴ | ۴/۸۴ | ۵/۳۷ | ۴/۳۳ | ۴/۶۲ | ۵/۱۴ |
| *damage* | ۴/۱۵ | ۴/۷۴ | ۵/۲۷ | ۴/۱۵ | ۴/۳۱ | ۴/۸ |

همانطور که از این جدول مشاهده می گردد , میزان تغییرات شاخص قابلیت اطمینان سکودریایی موردمطالعه در اعضای پایه سکو زیاد نبوده و دلیل این موضوع را می توان به ظرفیت بالای المان های پایه سکو در برخورد با شناور تدارکاتی نسبت داد. بعلاوه نیروی ناشی از شناور تدارکاتی ۵ هزارتنی با سرعت ۲ متر بر ثانیه ممکن است آنچنان نبوده تا بتواند تاثیرات شدیدی برمیزان شاخص قابلیت اطمینان در پایه های سکو ایجاد نماید.

## ۶- بررسی اثر جهت موج بر شاخص قابلیت اطمینان المانهای بحرانی پایه

یکی از عوامل موثر در تغییرات شاخص قابلیت اطمینان اعضای آ سیب دیده ، می تواند جهت موج برخوردی به سازه با شد. در این بخش از تحقیق اقدام به بررسی این موضوع پرداخته ایم.




**شکل ۳ –جهت های مختلف نیروی موج**

لذا با تغییر۴۵ درجه ای جهت موج , نتایج تحلیل دوباره قابلیت اطمینان را برای المان $LE_1$ بدست آورده و در جدول ۳ نشان داده شده است همانطور که از این جدول مشاهده می گردد کمترین شاخص قابلیت اطمینان در جهت ۱۸۰ درجه بدست آمده است. علت این موضوع را می توان در این موضوع دانست که ارتفاع موج وارد به سازه در جهت ۱۸۰ درجه نسبت به دیگر جهت ها از همه بیشتر می باشد. با توجه به جدول شماره ۴ مشاهده می گردد برای امواجی که در جهت‌های ۹۰ و ۲۷۰ قرار دارند ارتفاع موج یکسان و کمترین مقدار را نسبت به بقیه جهت ها دارند.

**جدول ۳ - اثر جهت موج بر شاخص اطمینان $LE_1$**

| جهت موج | جهت جغرافیایی | حالت سالم | حالت آسیب |
|---|---|---|---|
| صفر | *SE* | ۴/۴۴ | ۴/۲۴ |
| ۴۵ | *E* | ۴/۹۷ | ۴/۷۶ |
| ۹۰ | *NE* | ۷/۹۸ | ۷/۸۷ |
| ۱۳۵ | *N* | ۵/۲۲ | ۵/۰۱ |
| ۱۸۰ | *NW* | ۴/۳۴ | ۴/۱۵ |
| ۲۲۵ | *W* | ۴/۷۳ | ۴/۶۴ |
| ۲۷۰ | *SW* | ۷/۹۳ | ۷/۷۶ |
| ۳۱۵ | *S* | ۵/۴۸ | ۵/۲۵ |

با توجه به جدول ۳ مشاهده می گردد شاخص قابلیت اطمینان این دو جهت بیشترین مقدار و نزدیک به همدیگر می باشند.



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.2.9 ]

**جدول ۴ – ارتفاع و پریود موج صد ساله در جهت های مختلف**

| جهت موج | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ارتفاع موج (m) | ۹/۷ | ۸/۸ | ۱۰/۸ | ۱۱/۶ | ۱۰/۲ | ۸/۸ | ۱۰/۸ | ۱۲/۲ |
| پریود موج(s) | ۱۰ | ۹/۶ | ۱۰/۴ | ۱۰/۸ | ۱۰/۲ | ۹/۵ | ۱۰/۴ | ۱۱ |

با توجه به جدول ۳ مشاهده می گردد شاخص قابلیت اطمینان این دو جهت بیشترین مقدار و نزدیک به همدیگر می باشند. برای امواجی که در جهت‌های ۴۵ و ۲۲۵ درجه قرار دارند نیز اگرچه مشخصات امواج یکسان است اما شاخص اطمینان یکسان نیستند. این موضوع نشان می دهد علاوه بر ارتفاع موج , جهت امواج برخوردی به سازه دریایی نیز مهم است. مقایسه شاخص قابلیت اطمینان برای دو حالت سالم و آسیب دیده به طورکلی نشان می دهد که شاخص قابلیت اطمینان در کلیه جهت های امواج برای حالت آسیب دیده نسبت به حالت سالم کاهش پیدا کرده است که این موضوع را از قبل انتظارداشتیم اما میزان کاهش شاخص خیلی زیاد نمی باشد و این موضوع را می توان به ظرفیت پنهان موجود در مقاومت اعضای پایه بعد از برخورد دانست.

**جدول ۵ – اثر جهت موج بر شاخص قابلیت اطمینان عضو $LE_4$**

| جهت موج | حالت سالم | حالت آسیب |
|---|---|---|
| صفر | ۴/۴۲ | ۴/۳۴ |
| ۴۵ | ۵/۰۲ | ۴/۷۱ |
| ۹۰ | ۸/۰۷ | ۷/۷۱ |
| ۱۳۵ | ۵/۲۰ | ۴/۹۴ |
| ۱۸۰ | ۴/۳۳ | ۴/۱۵ |
| ۲۲۵ | ۴/۹۳ | ۴/۷۰ |
| ۲۷۰ | ۸/۰۲ | ۷/۹۷ |
| ۳۱۵ | ۵/۲۷ | ۴/۸۶ |

نتایج مربوط به شاخص قابلیت اطمینان عضو پایه چهارم یا همان $LE_4$ تحت امواج در جهت های مختلف در دور حالت سالم و آسیب دیده در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می گردد برای المان چهارم شاخص اطمینان در حالت سالم در جهت های صفر و ۲۷۰ نسبت به حالت آسیب دیده تغییر کمی داشته است این در حالی است که برای المان اول در این جهت ها تغییرات بیشتر است با مشاهده نتایج فوق می توان نتیجه گرفت موقعیت المانی که دچار آسیب می شود بسیار مهم و حائز اهمیت است. به عبارت بهتر ممکن است آسیب وارده در یک المان مهم نباشد ولی در المان دیگر اهمیت پیدا کند. به منظور درک بهتر موضوع مشخصات موج ۱۸۰ درجه در جهات مختلف به سازه وارد شده است تغییرات شاخص اطمینان به صورت جدول ۵ می باشد. اگرچه مشخصات امواج در جهات مختلف یکسان است لیکن جهت امواج تغییر کرده است بنابراین اگر جهت موج غالب در جهات ۴۵ یا ۲۷۰ درجه باشد سازه کمتر دچار آسیب می شود و اگر در جهت صفر و ۱۸۰ درجه باشد سازه بیشتر دچار آسیب می شود.

## ۷- اثر جریان بر شاخص قابلیت اطمینان المانهای بحرانی پایه

نیروی نا شی از جریانهای دریایی پس از نیروی امواج از اهمیت ویژه ای در سازه‌های دریایی بخصوص سازه‌های فراساحل برخوردار است. نیروی ناشی از جریان به صورت ترکیب مولفه سرعت جریان که به مولفه سرعت موج در نیروی دراگ ا ضافه می شود بدست می آید[۸] . نتایج تحلیل قابلیت اطمینان برای اعضای پایه سکو برای نیروی موج در جهت ۱۸۰ درجه که کمترین شاخص قابلیت اطمینان بوده به صورت جدول شماره ۶ می باشد.

**جدول ۶ – اثرترکیب جریان و موج بر شاخص قابلیت اطمینان**

| المان | $LE_1$ | $LE_2$ | $LE_3$ | $LE_4$ | $LE_5$ | $LE_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Safe* | ۴/۳۴ | ۴/۸۴ | ۵/۳۷ | ۴/۳۳ | ۴/۶۲ | ۵/۱۴ |
| *Damage +wave* | ۴/۱۵ | ۴/۷۴ | ۵/۲۷ | ۴/۱۵ | ۴/۳۱ | ۴/۸ |
| *Damage +current* | ۳/۶۵ | ۴/۲۵ | ۴/۷۲ | ۳/۷۶ | ۴/۰۵ | ۴/۶ |

نتایج بدست آمده نشان می دهد که ترکیب جریان و موج باعث افزایش نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و به تبع آن کاهش قابل ملاحظه‌ای در شاخص قابلیت اطمینان اعضای پایه بخصوص در حالت آسیب دیده می گردد.

## ۸- بررسی جهت برخورد شناور بر شاخص قابلیت اطمینان المانهای پایه

در بخش های قبل اثرات موج و جریان بر شاخص قابلیت اطمینان المانهای آسیب دیده مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت قصد داریم اثر جهت برخورد شناور و تغییر شکل ایجاد شده ناشی از این برخورد را بر شاخص قابلیت اطمینان را مورد بررسی قرار دهیم. با توجه به هندسه المان پایه قائم جهت آسیب از صفر تا ۹۰ در جهت عقربه های ساعت اعمال شده است. جدول ۷ نتایج شاخص قابلیت اطمینان را برای المان اول را نشان می دهد. همانطور که از این جدول مشاهده می گردد حداقل شاخص قابلیت اطمینان مربوط به جهت برخورد ۹۰ درجه و تغییر شکل های ایجاد شده ناشی از این جهت می باشد. همچنین بیشترین کاهش شاخص قابلیت اطمینان در برخورد شناور می تواند در امتداد بین ۶۰ تا ۹۰ درجه در المان پایه رخ دهد لذا بیشترین آسیب در این امتداد رخ می‌دهد .

نتایج مربوط به تغییر شاخص اطمینان در عضو پایه $LE_4$ در جدول شماره ۸ نشان داده شده است.



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.2.9 ]

**جدول ۷ – اثر جهت برخورد بر شاخص قابلیت اطمینان المان $LE_1$**

| جهت برخورد | $0^0$ | $15^0$ | $30^0$ | $45^0$ | $60^0$ | $75^0$ | $90^0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FORM | ۹/۱۱ | ۵/۳۴ | ۴/۶۸ | ۴/۳۶ | ۴/۱۳ | ۴/۱۲ | ۴/۱۰ |
| MCS | – | ۴/۶۷ | ۴/۴۹ | ۴/۲۹ | ۴/۱۴ | ۴/۱۴ | ۴/۰۸ |
| IS | ۹/۱۶ | ۵/۴۸ | ۴/۸۵ | ۴/۵۵ | ۴/۲۳ | ۴/۱۷ | ۴/۱۸ |

**جدول ۸– اثر جهت برخورد بر شاخص قابلیت اطمینان المان $LE_4$**

| جهت برخورد | $0^0$ | $15^0$ | $30^0$ | $45^0$ |
|---|---|---|---|---|
| FORM | ۶/۷۰ | ۵/۱۷ | ۴/۵۹ | ۴/۳۱ |
| MCS | ۴/۷۰ | ۴/۶۷ | ۴/۵۵ | ۴/۲۷ |
| IS | ۶/۷۹ | ۵/۲۹ | ۴/۶۵ | ۴/۴۴ |

برای جهت صفر درجه اگرچه میزان آسیب وارده تغییری نکرده است لکن شاخص اطمینان المان اول پایه مورب حساسیت کمتری نسبت به شاخص اطمینان المان نظیر پایه قائم دارد. در سایر جهات شاخص اطمینان تفاوت چندانی ندارد. در روش مونت کارلو هرچه شاخص اطمینان کمتر باشد دقت این روش افزایش می یابد. در شاخص‌های بالاتر از ۵ در روش مونت کارلو زمان شبیه سازی بسیار افزایش می یابد لذا به منظور بالابردن دقت باید با تعداد شبیه سازی مشخص می توان از روش مونت کارلو اصلاح شده استفاده نمود.

## ۹ – نتیجه گیری

هدف ار این مقاله مقایسه شاخص اطمینان قبل و بعد از برخورد با استفاده از تحلیل قابلیت اطمینان است. با توجه به توزیع احتمال متغیرهای تصادفی که در این تحقیق دو تنش تسلیم و مدول الاستیسیته به همراه سه متغیر تصادفی تنش های محوری و لنگرهای خمشی حول دو محور y و z در اعضای سکو که تحت تاثیر نیروهای ناشی از امواج قرارگرفته اند شاخص قابلیت اطمینان دروضعیت های قبل و بعد از برخورد مورد ارزیابی قرارگرفته است. برای اینکار از روش های تحلیلی و شبیه سازی استفاده شده است و نتایج برای حالت قبل و بعد از برخورد مقایسه شده است نتایج نشان می دهد که شاخص اطمینان در اعضای پایه سکو به علت ظرفیت بالای این نوع از المان ها در تحمل تغییر شکل های ناشی از ضربه تغییرات جزیی دارد. البته اگر ترکیب موج و جریان نیز درنظرگرفته شود آنگاه تاثیرات کاهش شاخص اطمینان بیشتر می گردد. در این تحقیق مدل های توسعه داده شده مربوط به سناریوهای برخورد با احتمال وقوع بسیار پایین بوده و به صورت خیلی ساده تاثیرات آن به صورت تغییر شکل های موضعی و فرضی درنظرگرفته شده است و اثرات کاهش مقاومت سازه در اتصالات سازه تحت تاثیر خرابی ناشی از برخورد شناورها در نظرگرفته نشده است. بعلاوه برخورد شناور ها به سکوها دریایی می تواند موجب کمانشی کلی اعضای سکو علاوه بر تغییر شکل موضعی گردد لذا نتایج این تحقیق باید با ملاحضات خاصی که یک تقریب از مقدار واقعی می باشد درنظرگرفته شود و نباید ملاک تصمیم گیری قطعی قرار گیرد.

## کلید واژگان

1- Uncertainty
2- Reliability Index
3- First-Order Reliability Method (FORM)
4- Mont Carlo Simulation (MCS)
5- Important Sampling (IS)

## ۱۰- مراجع


[1] Taby, J.,Moan,T., (1985), *Collapse and Residual Strength Damaged Tubular Elements*, Behavior of Offshore Structhres, p. 395-408.

[2] Gjerde, P.,Parsons,S.J., (1999), *Assessment of Jack-up Boat Impact Analysis Methodology*, Marine Structures, p. 371-401.

[3] Salman, V., (1994), *Damage Assessment of Tubular Members in Offshor Structures*.

[4] Nowak, A.,Collins, K, (2000), *Reliability of Structures*, Mc Graw-Hill Professional.

[5] Standard, Norsok, (2004), *Design of Steel Structures*, N-004.

[6] Jilun.M., Zhaobing.W.,Shengxie.X., (2014), *The basic impact load model on deep water pier-ship collision*, Chemical and Pharmaceutical Research,, p. 316-326.

[7] Ellinas.P., Walker.C., (1983), *Damage on offshore tubular bracing members*.

[8] DNV-RP-C205, Recommended Practice, *Enviromental conditon and environmental loads*, April 2007.

[9] Pual.F., (2005), *Damaged Tubular Member Strength Formulations for ISO Fixed Steel Structures Offshore Standard*, Steel Structures, p503-511.

[10] DNV-RP-C204, (2016), *Design Against Accidental Loads*.

[11] Health & Safety Executive, (2004), *Ship collison and capacity of brace memebers of ifxed steel offshore platforms*, Research Report 220.




[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.2.9 ]