# مدلسازی عددی مقایسه رفتار شمع‌های بتنی مسلح با میلگردهای فولادی، میلگردهای FRP و میلگردهای ترکیبی تحت ضربه کشتی

**امین وفادار[۱]، محمد اسدیان قهفرخی[۲*]، امین بهمن پور[۳]، مسعود نکویی[۳]**

[۱] دانشجو دکتری مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، vafadar.amin@gmail.com
[۲*] استادیار گروه صنایع دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، asadian@srbiau.ac.ir
[۳] استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

**اطلاعات مقاله**

*تاریخچه مقاله:*
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

*کلمات کلیدی:*
سکوی دریایی
برخورد کشتی به سکو
شمع مسلح
میلگرد فولادی و کامپوزیتی

**چکیده**

در این تحقیق به مدلسازی و مقایسه رفتار شمع‌های دریایی بتنی مسلح شده با میلگردهای فولادی، FRP و ترکیبی فولادی – FRP تحت شرایط بارگذاری برخورد جانبی یک شناور با جرم و سرعت مشخص و با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و هندسه سازه با استفاده از نرم افزار ABAQUS پرداخته شده است. در شمع بتنی با اجزا کاملاً فولادی (میلگرد و خاموت) تغییر شکل و آسیب شمع در محل برخورد کمتر ولی انتقال انرژی و تنش پسماند در سایر قسمت‌ها و علی الخصوص در نواحی دور از برخورد بیشتر اتفاق می‌افتد. در شمع بتنی با میلگرد فولادی و خاموت کامپوزیت و یا اجزا کاملاً کامپوزیتی، تنش و کرنش و در نهایت تخریب موضعی سازه بیشتر است ولی تنش پسماند و کرنش در سایر اجزا کمتر دیده می‌شود. در واقع زمانیکه از مصالح کامپوزیتی بجای فولادی استفاده شود قطعا مقومت سازه بیش از حدود ۳۰٪ کاهش می یابد، ولیکن انعطاف سازه، انتقال تنش و توزیع تمرکز تنش افزایش می یابد. با توجه به کاهش هزینه ها تا حدود ۵۰٪ و حتی کمتر، عملیات اجرایی بسیار سبک تر با تجهیزات سبک تر، و در نهایت مقاومت سازه در برابر خوردگی و در محیط مرطوب و شور بسیار افزایش یافته و عمر سازه را چندین برابر طولانی تر میکند.

# Numerical modeling of reinforced concrete piles with steel, FRP and composite rebars under ship impact

**Amin Vafadar[1], Mohammad Asadian Ghahfarokhi[2*], Amin Bahmanpour[3], Masoud Nekooei[3]**

*[1] PhD Candidate, Islamic Azad University, Science and Research Branch, vafadar.amin@gmail.com*
*[2*] Assistant Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, asadian@srbiau.ac.ir*
*[3] Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch*

**ARTICLE INFO**

*Article History:*
Received: 06 Jun 2023
Accepted: 28 Apr 2024
Available online: 07 May 2024

*Keywords:*
Offshore Platform
Ship Impact
Reinforced Pile
Steel, FRP and Composite Rebars

**ABSTRACT**

One of the important topics in investigating damages caused by collisions of vessels with marine structures is determining the forces acting on the members with a random nature and analyzing the damages, as well as estimating the amount of damage to the integrity, load bearing capacity and fatigue lifetime of the platform.
In this research, modeling and comparison of the behavior of reinforced concrete marine piles with steel, FRP and combined steel-FRP rebars has been done by ABAQUS software.the loading condition is considered as a side collision of a vessel with a certain mass and speed and considering the non-linear behavior of the materials and the geometry of the structure.in concrete piles with completely steel components (rebars and ties), the shape and damage of the pile is less at the point of impact, but the transfer of energy and residual stress occurs in other parts, especially in the areas far from the impact. In piles with steel rebar and composite ties or fully composite components, the stress and strain and finally the local destruction of the structure are relatively higher, but the residual stress and strain are less seen in other components.

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]

## ۱ - مقدمه

ضربه ناشی از برخورد کوه‌های یخی شناور و تصادم کشتی‌های باری و خدماتی با پایه‌های پل‌ها، اسکله‌ها و یا سکوهای فراساحلی مثال-هایی از اعمال بارهای جانبی ناگهانی بر این سازه‌ها هستند که مقاومت محوری عضو لوله‌ای بسیار به آن حساس بوده و موجب ایجاد نقص و اثرات زیان بار بر روی عملکرد آن عضو می‌شود [۷].

تصادم یک فرآیند دینامیکی با فاکتورهای پیچیده همچون زمان برخورد، انرژی جذب شده در اعضا و نیز تاثیر متقابل شمع-خاک-سازه در پاسخ دینامیکی سکو هستند. [۳].

در آیین‌نامه‌ها در مورد تعیین میزان ضربه و چگونگی آنالیز آن، به دلایل عمده همچون شرایط محیطی، فقدان نسبی تجربیات پایه‌ای و ماهیت تصادفی بارها، کاستی‌های زیادی وجود دارد و لذا کم‌تر قابل استناد می‌باشند [۱۳].

از سال ۱۹۶۰ تاکنون بیش از ۳۱ مورد ریزش پل در اثر برخورد کشتی در جهان ثبت شده است. با توجه به آمار منتشر شده در زمینه برخورد شناورها با انواع مختلف سکوها و سازه‌های دریایی در بیشتر موارد آسیب ناشی از برخورد تاثیری روی استحکام و پایداری کلی سازه نداشته است [۵]. برای ضربات ناشی از برخورد در شرایط عادی پهلو گیرها طراحی می‌شوند و لیکن تا حدودی توانایی تحمل ضربات غیر عادی را نیز به طور خاص دارند [۱۷].

از آنجا که آسیب یک عضو ممکن است اثرات وخیم بعدی در کل سازه یا قسمتی از آن بوجود آورد و این آسیب‌ها سبب ضررهای اقتصادی جبران ناپذیر، خسارت‌های زیست محیطی، از دست رفتن جان انسان و دیگر آسیب‌های ناخواسته گردد لذا طراحی سکو بایستی به گونه‌ای باشد که عضو آسیب دیده، پایداری خود را تا تعمیر حفظ نماید و خرابی به اعضای دیگر انتقال نیابد و خرابی عضو باعث انهدام کلی سکو نشود.

پاسخ یک سازه در مقابل بار ضربه شامل دو فاز است. در صورتی که مدت زمان ضربه نسبت به پریود سازه زیاد باشد، پاسخ ماکزیمم در فاز اول یعنی در حین اعمال برخورد اتفاق می افتد ولی برای ضربه کوتاه مدت(ضربه با پریود بالا) پاسخ ماکزیمم در فاز دوم یعنی در فاز ارتعاش آزاد خواهد شد. [۱۵].

در یک تحقیق انواع خاموت کامپوزیتی را با فولادی آزمایش شد. و نتایج این تحقیق نشان داد که میلگردهای کامپوزیتی در مقایسه با میلگردهای فولادی، به خوبی ظرفیت بار محوری را دارند ولیکن با افزایش نیرو کشش فشاری کاسته می شود. طبق نتایج این تحقیق میلگردهای کامپوزیتی بجای میلگردهای فولادی استفاده شوند به شرط اینکه تا ۳۵٪ کمتر از آستانه کشش فشاری لحاظ شود. [۱].

رفتار ستون‌های تقویت‌شده با CFRP تحت بارهای خارج از مرکز که با میلگردهای فولادی تقویت شده است، از نظر ظرفیت و تغییر شکل رفتار یکسان دارند. [۲].

در تعمیرات مقاطع در دریا که خورندگی بالایی دارند، مصالح کامپوزیتی بسیار کاربردی تر هستند. هم سهولت اجرای بیشتری دارند و هم عملکرد مناسب تری نسبت به بتن و فولاد خواهند داشت. [۵].

کرنش در خاموت کامپوزیتی حدود ۰,۸۲ درصد خاموت فولادی، است. طبق آیین نامه طراحی سازه کامپوزیتی، کرنش لازم برای طراحی حدود ۰,۴ درصد لحاظ می شود و لذا خاموت کامپوزیتی بسیار مناسب و کاربردی است. [۹].

به دلیل مدول الاسیته کم مواد FRP ، قطعات بتنی با میلگردهای FRP مقاومت برشی کمتری نسبت به تقویت شده با میلگردهای فولادی دارند. بر اساس این مطالعه در مقاطع ۳۰۰ میلیمتری، میلگردهای فولادی نسبت به میلگردهای CFRP, GFRP به ترتیب حدود ۲۷٪ و ۸۵٪ مقاومت کششی بالاتری دارند. [۳].

جین[1] و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی میزان اثر ضربه و تعیین خرابی ناشی از برخورد یک بارج بزرگ به سکوی دریایی از طریق تحلیل غیرخطی دینامیکی ضربه کشتی تحت بار محوری پرداختند [۸].

روبرتو ایکی اشیرو[2] و همکاران در سال ۲۰۰۷ تاثیر پیش بارگذاری مدل‌ها با استفاده از شبیه‌سازی اجزاء محدود را با نمونه‌های تجربی مقایسه کردند [۱۸].

در سال ۲۰۱۱ مدلسازی غیرخطی دینامیکی و استاتیکی یک سکو با سناریوهای مختلف برخورد و همچنین لحاظ نمودن رفتار غیرخطی مصالح آن توسط زین الدین و آقاکوچک انجام پذیرفت و نتایج مقایسه بین آنالیز دینامیکی و استاتیکی ارائه گردید[۱۸].

نظری و خدمتی در سال ۲۰۱۲ به بررسی ویژگی اعضای لوله‌ای تحت بار جانبی ضربه پرداختند و اثرات پیش بارگذاری بر روی پاسخ‌ها را مورد بررسی قرار دادند [۱۰].

در این مقاله به شبیه‌سازی و مدلسازی عددی بررسی مقاومت سه نوع شمع اسکله با ترکیب‌های زیر در برخورد ضربه افقی کشتی در نرم افزار آباکوس[3] پرداخته می‌شود:

- بتن با میلگرد و خاموت فولادی
- بتن با میلگرد فولادی و خاموت FRP
- بتن با میلگرد و خاموت FRP

## ۲ - معادلات اساسی حاکم

### ۲ -۱ نیروی فرو رفتگی شمع

[1] Jin
[2] Roberto Eiki Oshiro
[3] ABAQUS



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]
[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]

مودهای توزیع انرژی در برخورد شناور به پایه شمع‌ها به سه دسته تقسیم می‌شود. مود الاستیک شامل تغییر شکل کلی، مود پلاستیک تغییر شکل کلی در پایه‌ها و تغییر شکل موضعی در محل برخورد[۱۰]. بار بحرانی فرو رفتگی از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$p_0 = 2\sigma_y L_c {T^2}/{D} \qquad (۱)$$

که در آن $\sigma_y$ تنش، $D$ قطر شمع، $T$ ضخامت جداره لوله شمع فلزی و $L$ طول ناحیه تحت تاثیر برخورد است. رابطه متداول برای $L$ به صورت (۲) است:

$$L_c = 1.9\, D \qquad (۲)$$

و میزان فرو رفتگی الاستیک برای شمع فلزی از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$\delta_E = 0.1116P \left(\frac{D}{T}\right)^3 \Big/ (E \times L_C) \qquad (۳)$$

و مقدار فرو رفتگی دائمی به صورت رابطه (۴) بدست می‌آید:

$$\delta_P = {DP^2}/{(37.5\ \sigma_Y \times T^2)^2} \qquad (۴)$$

و لذا فرو رفتگی کلی در بدنه سازه از رابطه (۵) لحاظ می‌گردد:

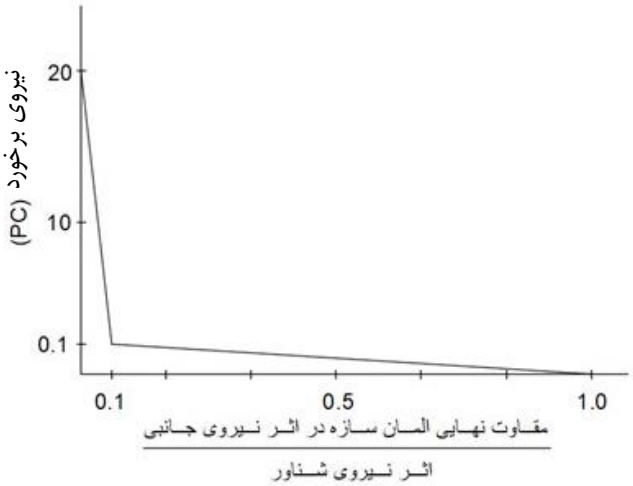
$$\delta = \delta_E + \delta_P \qquad (۵)$$

### ۲ -۲ نیروی برخورد کشتی به پایه شمع‌ها

نیروی برخورد کشتی به صورت یک نیروی استاتیکی در نظر گرفته می‌شود. رابطه زیر توسط آیین نامه AASHTO برای محاسبه نیروی ناشی از برخورد شناور معرفی شده است [۱۲]:

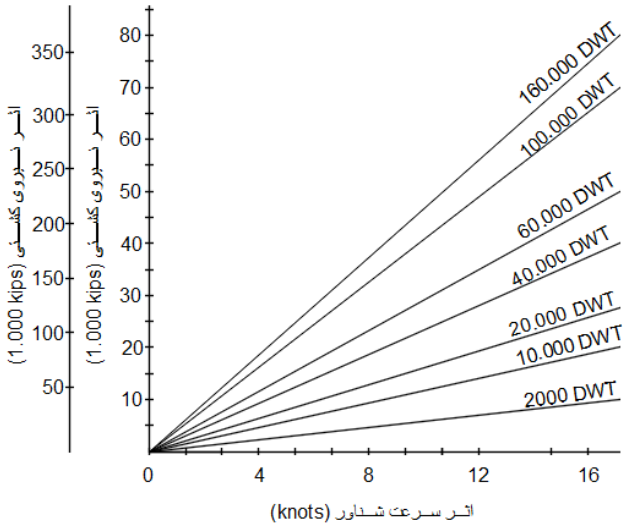
$$P_s = 220\sqrt{DWT}\left(\frac{V}{27}\right) \qquad (۶)$$

در این رابطه $P_s$ نیروی برخورد شناور، DWT ظرفیت کامل شناور (شناور، بار، سوخت و ... )، $V$ سرعت برخورد شناور می‌باشد.
احتمال شکست سازه در اثر نیروی ضربه شناور وابسته به متغیرهای بسیار زیادی از جمله مشخصات و سرعت شناور و اثر جرم آن و مقاومت نهایی سازه در برابر بارهای جانبی می‌باشد. در شکل ۱ منحنی احتمال شکست سازه در اثر اصابت شناور نشان داده شده است [۱۲].




**شکل۱: منحنی احتمال شکست سازه در اثر نیروی شناور [۱۲]**

در زمینه نیروهای ناشی از برخورد شناور با سازه‌های دریایی مطالعات تجربی گسترده‌ای به صورت مدل تست توسط ویسین[۴] برای کشتی و دورنبرگ[۵]برای شناور بارج در حوضچه کشش انجام شده است و نمودارهای ۲ و ۳ از نتایج این آزمایشات استخراج شده-اند. در آزمایش‌های ویسین (شکل ۲)، تاثیر سرعت و DWT شناور بر نیروی برخورد کشتی در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و ملاحظه می‌گردد که با افزایش سرعت و DWT شناور، میزان اثر نیروی کشتی بشدت افزایش می‌یابد [۱۲].



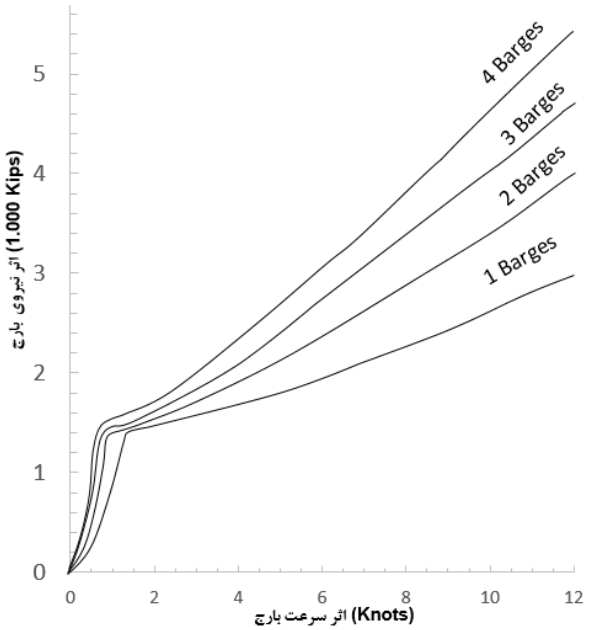

**شکل ۲: اثر نیروی ناشی از برخورد شناور متناسب با سرعت شناور [۱۲]**

[4] G. Woisin

[5] K Meir Dornberg

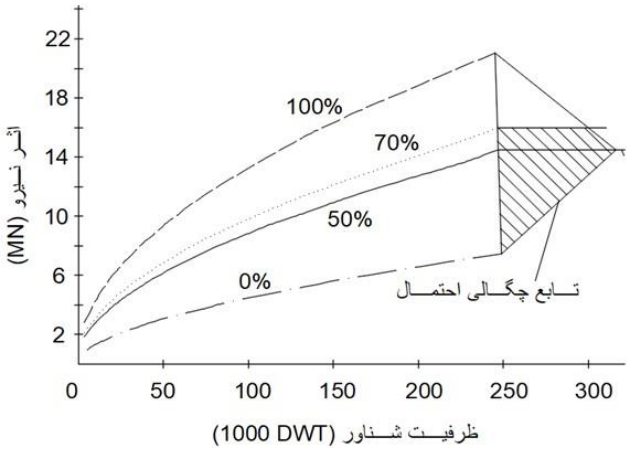
[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]




**شکل ۳: اثر نیروی ناشی از برخورد بارج متناسب با سرعت شناور [۱۲]**

براساس تحلیل داده‌های نتایج مدل‌های فیزیکی، میزان پراکندگی نیرو در اثر برخورد شناور با توجه به ظرفیت آن مطابق نمودار ۴ ارزیابی می‌گردد [۱۲].

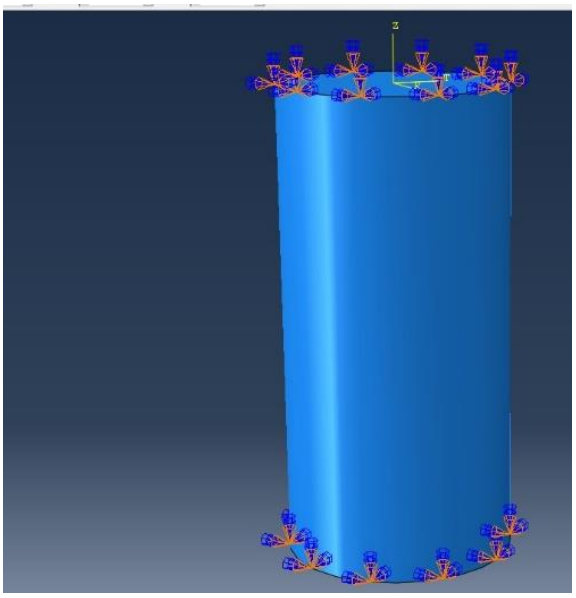



**شکل ۴: توزیع احتمال نیروی ناشی از برخورد شناور [۱۲]**

## ۳ - مدلسازی برخورد شناور با پایه سکو در نرم افزار

در این تحقیق سه نوع شمع دریایی از نوع بتنی مسلح تحت شرایط یکسان در اثر برخورد شناور مدل شده‌اند (نوع اول: میلگرد و بست‌ها فولادی، نوع دوم: میلگرد فولادی و بست‌ها FRP، نوع سوم: میلگردها و بست‌ها FRP). تعداد میلگردهای عمودی فولادی در نوع اول و سوم ۶ عدد و تعداد بست‌های افقی ۱۳ عدد در نظر گرفته شده است و در نوع دوم تعداد میلگردهای عمودی از جنس FRP هشت عدد و تعداد بست‌های افقی ۱۳ عدد می‌باشند. این سه نوع سازه با استفاده از نرم افزار المان محدود آباکوس مدلسازی شده‌اند. به جهت افزایش دقت محاسباتی در مدلسازی شمع مورد نظر رفتار غیر خطی مصالح و هندسه سازه لحاظ شده است. با توجه به مکانیزم‌های جذب و اتلاف انرژی ناشی از برخورد در این مدلسازی و نیز جهت اطمینان از آسیب و تغییر شکل بدنه کشتی، بایستی آن را به صورت جسم صلب نقطه‌ای و دارای اینرسی[6] در نظر گرفت. کشتی به صورت شکل گوی مانند و با جرمی برابر ۲۵۲۰ تن مدل شده است [۹] و ممان اینرسی آن در سه جهت $x$، $y$ و $z$ برابر یک می‌باشد. کشتی از فاصله ۲ متری سکو با سرعت ثابت ۲ متر بر ثانیه در حال برخورد به تک پایه (شمع) از اسکله می‌باشد و در این آنالیز دینامیکی سرعت کشتی از لحظه برخورد به سکو کاهش می‌یابد تا به صفر برسد

شمع به صورت استوانه‌ای دو سر گیر دار با قطر ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۶۲ سانتیمتر مطابق شکل ۵ مدل شده است.



**شکل ۵ : نمونه شمع دوسر گیر دار در نرم افزار آباکوس**

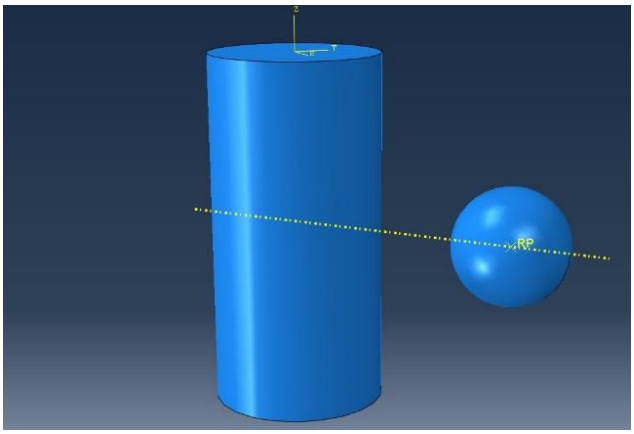
مطابق شکل ۶ مدلسازی نحوه برخورد جانبی کشتی به وسط شمع و در راستای مرکز می‌باشد.

[6] Point Math/Inertia



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]



**شکل ۶: مدلسازی کشتی و شمع استوانه‌ای و خط برخورد**

مش‌بندی کشتی که به صورت بار متمرکز است با مش ۰/۰۱ و مش خاموت فلزی افقی و بتن ۰/۰۲ و خاموت FPR برابر با ۰/۰۱ و میلگرد قائم فلزی و میلگرد FPR با مش ۱۰۰۰ یا به عبارتی تک مش در نظر گرفته شده است. همچنین المان مش بندی‌ها برای کشتی به صورت R3D4 ، خاموت فلزی عمودی، افقی و میلگرد FRP به صورت T3D2 و بتن به صورت C3D8R و خاموت FRP به صورت S4R در نظر گرفته شده‌اند.

برای درهم تنیدگی میلگرد، خاموت و بتن بایستی آن‌ها را به صورت Embedded region در Interaction مدل نمود.

مشخصات فنی و خصوصیات مواد بکار رفته در سه نوع شمع و خاموت در نظر گرفته شده در این تحقیق، در جداول ۱ و ۲ آورده شده است [۴ و ۱۱].

**جدول ۱: مشخصات بتن [۱۵ ]و میلگردهای فولادی [۱۴] و [۱۶] FRP**

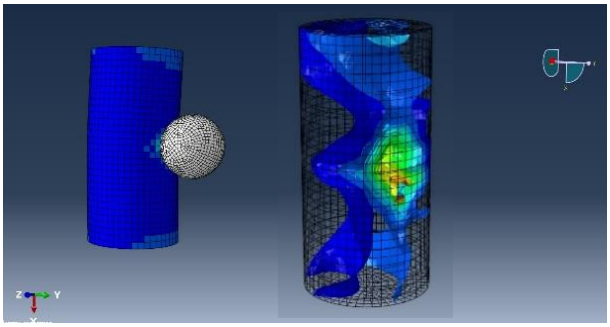
| مشخصه مواد | چگالی $[kg/m^3]$ | ضریب پواسون | مدول یانگ $[GPa]$ |
|---|---|---|---|
| بتن | ۲۴۰۰ | ۰/۲ | ۲۸ |
| میلگرد فولادی | ۷۸۰۰ | ۰/۲۵ | ۲۰۰ |
| میلگرد FRP | ۱۹۹۰ | ۰/۲۶ | ۴۲ |

**جدول۲: مشخصات خاموت FRP [۱۸]**

| چگالی $[kg/m^3]$ | ارتفاع لامین $[mm]$ | تعداد لایه لامین | ضخامت لایه کامپوزیت $[mm]$ |
|---|---|---|---|
| ۱۷۰۰ | ۱۰ | ۵ | ۰/۱۷۶ |
| ضخامت لامین $[mm]$ | مدول یانگ x $[GPa]$ | مدول یانگy $[GPa]$ | مدول یانگz $[GPa]$ |
| ۰/۸۸ | ۲۴۰ | ۱۰ | ۱۰ |
| ضریب پواسون | مدول برشی $G_{xy}$ $[GPa]$ | مدول برشی $G_{xz}$ $[GPa]$ | مدول برشی $G_{yz}$ $[GPa]$ |
| ۰/۲۵ | ۲۶/۵ | ۲۶/۵ | ۳/۷ |

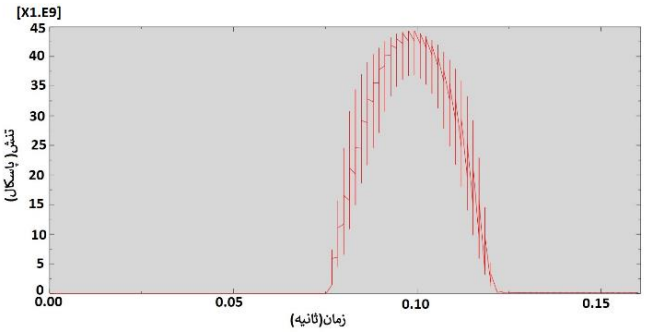
## ۳-۱- نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها

در اثر برخورد شناور با مدل‌ها، تغییرات مختلفی در سازه اتفاق می‌افتد که در ادامه بررسی می‌شوند. شکل ۷ تغییرات توزیع نیروی وارد بر سازه شمع بتنی مسلح شده با میلگرد و خاموت فولادی در اثر برخورد با شناور را نشان می‌دهد.



**شکل ۷ : شماتیک توزیع نیرو در اثر برخورد شناور با شمع بتنی**

تغییرات تنش وارد شده بر بدنه شمع بتنی مسلح شده با میلگرد و خاموت فولادی نسبت به زمان در نمودار شکل ۸ دیده می‌شود و بیشترین تنش در نقطه برخورد به میزان ۴۷ $GPa$ در زمان ۰/۱ ثانیه به ثبت رسیده است و تنش پسماند بعد از برگشت کشتی از حالت برخورد به شمع تقریباً صفر است.



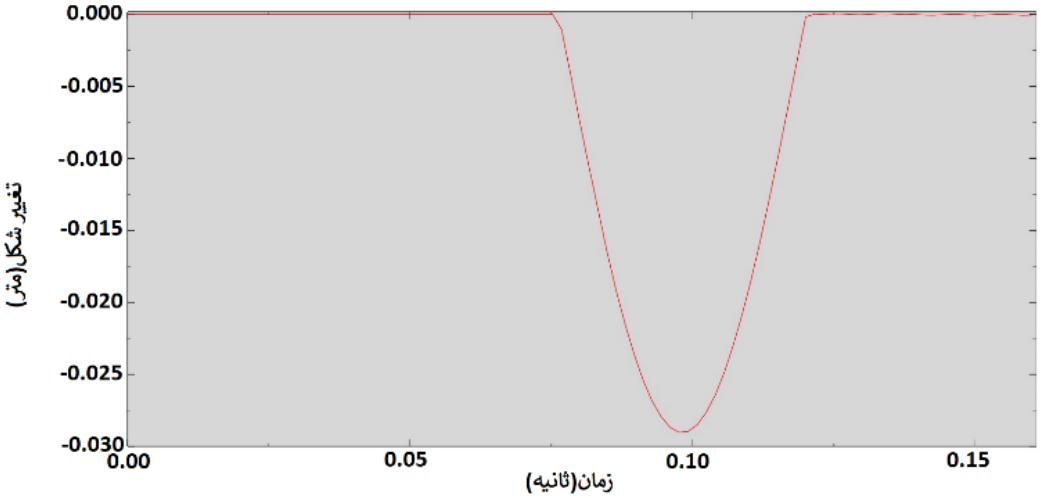

**شکل ۸ : تغییرات تنش - شمع بتنی با میلگرد و خاموت فولادی**

سازه بتنی مسلح با میلگرد کاملاً فولادی، به دلیل صلب بودن و انعطاف پذیری کم، انرژی را انتقال می‌دهد و به دلیل مقاومت بالای مصالح فولادی، آسیب موضعی در بدنه سازه کم می‌باشد. این نوع شمع در مقایسه با سازه مسلح با میلگرد کامپوزیتی، به دلیل انعطاف پذیری و کشش مقاومتی بالا، انتقال انرژی به تمام اجزای سازه اتفاق می‌افتد و نیرو به صورت متمرکز در محل برخورد باقی نمی‌ماند و این مساله باعث افزایش مقاومت سازه در برابر برخوردهای ناگهانی و ضربه‌ای می‌شود. اما در شمع‌های مسلح کامپوزیتی در مقایسه با میلگردهای فولادی مقاومت پایین‌تر است و ممکن است در محل برخورد شناور با شمع، نیروی ناشی از ضربه به آستانه مقاومتی میلگردهای کامپوزیتی برسد و باعث گسیختگی و آسیب به میلگردهای کامپوزیتی، پارگی و یا شکستگی در بدنه شمع شود. لذا

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]

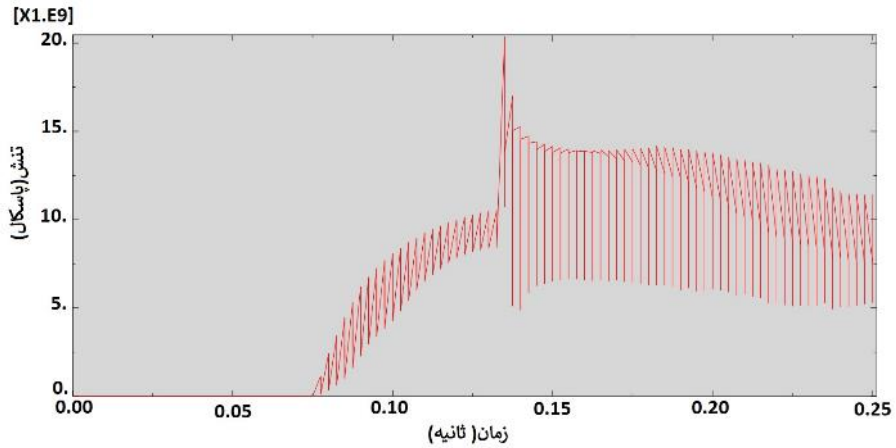
[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]

در صورتی که سازه با میلگرد و خاموت فولادی آسیب جدی نبیند، نیروی ناشی از برخورد در بدنه سازه به صورت پسماند باقی نمی‌ماند و موجب خستگی در سازه نمی‌گردد و تنش پسماند به تمام اجزای سازه منتقل و توزیع می‌گردد که باعث افزایش عمر سازه می‌گردد. بیشترین تغییر شکل در حالت برخورد شناور با شمع بتنی مسلح شده با میلگرد و خاموت فولادی برابر با ۳۵ $mm$ می‌باشد که این تغییر شکل همانگونه که در نمودار ۹ مشاهده می‌گردد، به صورت الاستیک بوده و با فاصله گرفتن کشتی از پایه سکو، سازه شمع به حالت اولیه بر می‌گردد و تغییر شکل تقریباً در حد صفر می‌گردد. مطابق نمودار ۱۰ بیشترین تنش در حالت برخورد شناور با شمع بتنی مسلح شده با میلگرد و خاموت FRP نزدیک به $GPa$۱۲۰ است اما تنش پسماند بعد از برگشت کشتی به عقب حدود ۲۰ $GPa$ می‌گردد.




**شکل ۹ : تغییر شکل الاستیک - شمع بتنی با میلگرد فولادی**

بیشترین تغییر شکل در این حالت برابر با ۷۶ $mm$ می‌باشد و بعد از بازگشت کشتی به سمت عقب این تغییر شکل به طور دائمی یا پلاستیک در حدود ۴۰ $mm$ باقی می‌ماند که در نمودار ۱۱ این تغییرات نشان داده شده است. بیشترین تنش در حالت برخورد شناور با شمع بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و خاموت FRP (شکل ۱۲) برابر با ۲۱۰ $GPa$ محاسبه گردید و تنش پسماند بعد از برگشت کشتی به عقب نیز دارای مقدار ۱۲۰ $GPa$ می‌باشد. بیشترین تغییر شکل در این حالت (شکل ۱۳) برابر با ۷۰ $mm$ می‌باشد اما تغییر شکل پلاستیک در شمع حدود ۳۰ $mm$ است. تنش پسماند در سازه مسلح با میلگرد فولادی کم‌تر و در سازه مسلح کامپوزیتی بیشتر است. اما این استنتاج فقط از جنبه توزیع نیرو در سازه می‌باشد و با بررسی و تحلیل بیشتر نتایج، چنین برداشت می‌شود که نقش خاموت‌ها در استحکام شمع بسیار زیاد می‌باشد.

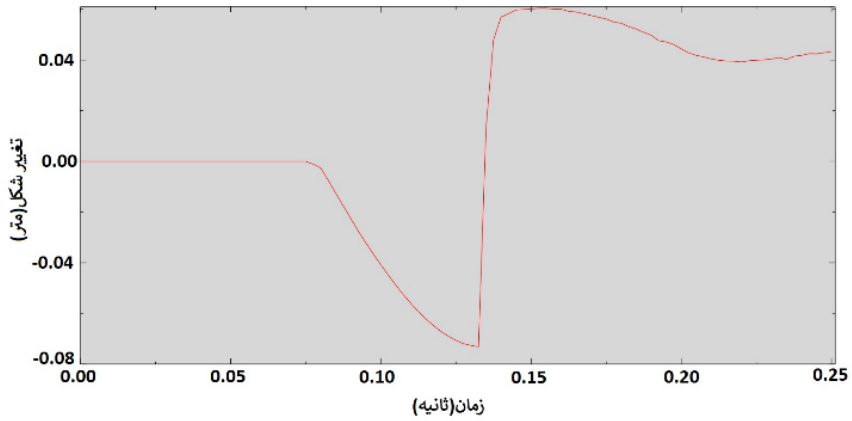



**شکل ۱۰ : تغییرات تنش -شمع بتنی با میلگرد و خاموت FRP**

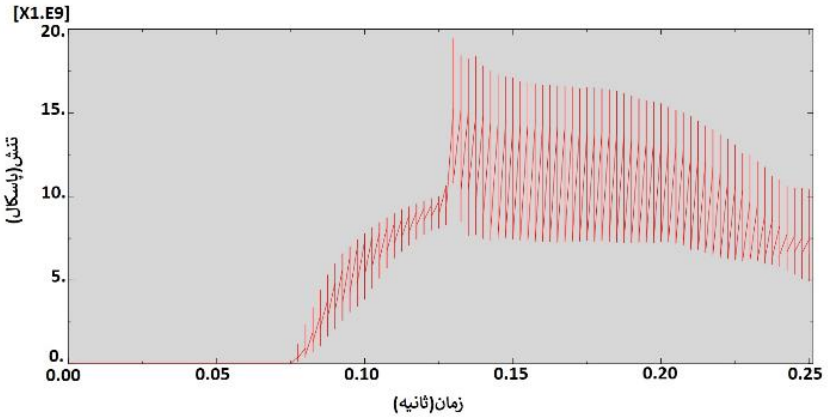


[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]

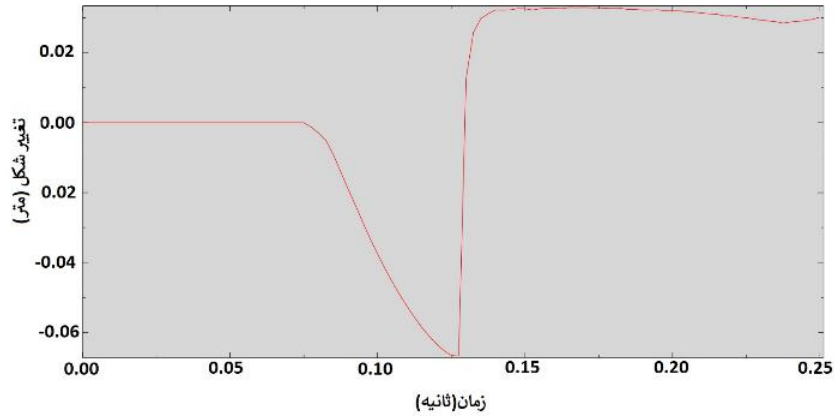
[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]




**شکل ۱۱ : تغییرات الاستیک و پلاستیک- شمع بتنی با میلگرد و خاموت FRP**




**شکل ۱۲: تغییرات تنش - شمع بتنی با میلگرد فولادی و خاموت FRP**




**شکل ۱۳ : تغییر شکل شمع بتنی ا میلگرد فولادی و خاموت FRP**

## ۴ - نتیجه گیری

بر اساس بررسی و تحلیل تغییرات پارامترهای مختلف در نتایج مدل‌ها موارد زیر استخراج گردید:

**نوع اول:** شمع مسلح شده با میلگرد و خاموت فولادی

**نوع دوم:** شمع مسلح شده با میلگرد و خاموت FRP

**نوع سوم:** شمع مسلح شده با میلگرد فولادی و خاموتFRP

**جدول ۳: تنش در شمع در سه حالت مختلف در نقطه برخورد**

| نوع | بیشترین تنش در نقطه برخورد به طور تقریبی (GPA) | تنش پسماند تقریبی پس از بار برداری (GPA) |
|---|---|---|
| **نوع اول** | ۴۵ | ۰ |
| **نوع دوم** | ۲۰ | ۱۰ |
| **نوع سوم** | ۲۰ | ۲،۵ |

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]

**جدول ۴: تنش در شمع در نقطه مقابل نقطه برخورد در پشت شمع**

| تنش پسماند تقریبی پس از بار برداری (GPA) | بیشترین تنش در نقطه مقابل نقطه برخورد به طور تقریبی (GPA) | نوع |
|---|---|---|
| ۰ | ۵ | **نوع اول** |
| ۰,۱۲ | ۲,۵ | **نوع دوم** |
| ۰,۱۲ | ۲,۵ | **نوع سوم** |

**جدول ۵: تغییر شکل در شمع در سه حالت مختلف در نقطه برخورد**

| تغییر شکل پلاستیک تقریبی پس از بار برداری(mm) | بیشترین تغییر شکل در نقطه برخورد به طور تقریبی (mm) | نوع |
|---|---|---|
| ۰ | ۳۰ | **نوع اول** |
| ۴۰ | ۷۶ | **نوع دوم** |
| ۳۰ | ۷۰ | **نوع سوم** |

**جدول ۶: تغییر شکل در نقطه مقابل نقطه برخورد در پشت شمع**

| تغییر شکل پلاستیک تقریبی پس از بار برداری (mm) | بیشترین تغییر شکل در نقطه مقابل نقطه برخورد به طور تقریبی (mm) | نوع |
|---|---|---|
| ۰ | ۱۰ | **نوع اول** |
| ۲ | ۳۵ | **نوع دوم** |
| ۲ | ۳۵ | **نوع سوم** |

سازه مسلح شده با میلگرد و خاموت فولادی در اثر ضربه کشتی نیرو را به سایر قسمت های شمع نیز انتقال میدهد اما همان گونه که در دو شکل مربوط به شمع مسلح شده با میلگرد و خاموت FRP و شمع مسلح شده با میلگرد فولادی و خاموت FRP نشان داده شده انتقال نیرو بیشتر در ناحیه نزدیک به نقطه برخورد بوده و به نقاط دور از این ناحیه انتقال نمیابد.

انتقال نیرو به سایر نقاط شمع مسلح شده با میلگرد و خاموت فولادی به دلیل انعطاف پذیری و کشش مقاومتی بالا بوده و انتقال انرژی به تمام اجزای سازه باعث می شود نیرو به صورت متمرکز در محل برخورد باقی نماند و این مساله باعث افزایش مقاومت سازه در برابر برخوردهای ناگهانی و ضربه‌ای می‌شود. اما در شمع‌های مسلح کامپوزیتی در مقایسه با میلگردهای فولادی مقاومت پایین‌تر است و ممکن است در محل برخورد شناور با شمع، نیروی ناشی از ضربه به آستانه مقاومتی میلگردهای کامپوزیتی برسد و باعث گسیختگی و آسیب به میلگردهای کامپوزیتی، پارگی و یا شکستگی در بدنه شمع شود. لذا در صورتی که سازه با میلگرد و خاموت فولادی آسیب جدی نبیند، نیروی ناشی از برخورد در بدنه سازه به صورت پسماند باقی نمی‌ماند و موجب خستگی در سازه نمی‌گردد و تنش پسماند به تمام اجزای سازه منتقل و توزیع می‌گردد که باعث افزایش عمر سازه می‌گردد.

همان طور که در جدول ۳ و ۴ بیان شده است. در شرایطی که میلگرد و خاموت هر دو فولادی باشند، در محل برخورد شناور و شمع نسبت به سایر نقاط تنش بیشتری اتفاق می‌افتد. همچنین تنش پسماند در سایر نقاط کمتر از محل برخورد می‌باشد. تنش پسماند در شمع‌های ترکیبی فولاد و FRP و سازه میلگرد و خاموت FRP بسیار بیشتر از شمع‌های با میلگرد و خاموت فولادی می‌باشد. (بایستی به صورت کمی و با اعداد و ارقام بحث شود) انجام شد

در شرایطی که مصالح کامپوزیتی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند ضرورت دارد آستانه تخریب سازه را محاسبه نمود زیرا در حالتی که سازه به مرحله تخریب و آسیب جدی نرسیده باشد یعنی در تخریب‌های موضعی و آسیب‌های نقطه‌ای می‌توان سازه را تعمیر نمود. تنها مزیت سازه کاملاً فولادی پیشگیری از تخریب کامل و حفظ سازه در شرایط بحرانی است. تنش پسماند در بلند مدت و در مراحل بعدی برخورد باعث خستگی در سازه و در نتیجه تضعیف کل سازه می‌گردد.

در جدول ۴ و ۵ می توان دید که در شمع بتنی با میلگرد فولادی و خاموت کامپوزیت و یا اجزا کاملاً کامپوزیتی تغییر شکل و در نهایت تخریب موضعی سازه در محل برخورد بیشتر است ولی تغییر شکل پلاستیک در سایر قسمت‌های شمع بسیار کم می‌باشد.

در صورتی که بتوان سازه را برای طول عمر زیاد از شرایط بحرانی دور نگه داشت، قطعاً استفاده از مصالح کامپوزیتی عمر و مقاومت سازه را بالا نگه داشته و با توجه به شرایط خورندگی دریایی در رقابت با سازه‌های فولادی قابلیت اعتماد بیشتری ایجاد می‌نماید.

## ۵- مراجع


1- Abdallah,m.(2018). Analytical modeling of moment-curvature behavior of steel and CFRP RC circular confined columns. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.110

2- Abdalleh.m.(2018).THEORETICAL NVESTIGATION AND NON-LINEAR FINITE ELEMENT ANALYSIS TOWARD DESIGNING REINFORCED CONCRETE FILLED FRP-TUBE COLUMNS. https://www.researchgate.net/publication/328135278_THEORETICAL_INVESTIGATION_AND_NONLINEAR_FINITE_ELEMENT_ANALYSIS_TOWARD_DESIGNING_REINFORCED_CONCRETE_FILLED_FRP TUBE_COLUMNS

3- .Ahmed h ali et all.(2020). Nonlinear finite elements modeling and experiments of FRP-


[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]

reinforced concrete piles under shear loads. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.047

4- Debaiky, A.S., G. Nkurunziza, B. Benmokrane, and P. Cousin, Residual tensile properties of GFRP reinforcing bars after loading in severe environments. Journal of Composites for Construction.(2006). 10(5): p. 370-380. https://www.researchgate.net/publication/248879144_Residual_Tensile_Properties_of_GFRP_Reinforcing_Bars_after_Loading_in_Severe_Environments

5- Felice Rubino et all.(2018). marine Application of Fiber Reinforced Composites:A Review. https://doi.org/10.3390/jmse8010026

6- Firouzi, V., A. Aghakouchak, and M. Zeinoddini. (2011). Nonlinear Dynamic Analysis of Jacket Platforms Due to Ship Impact. in The 2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics, Seoul, Korea. https://www.researchgate.net/publication/270275568_Nonlinear_Dynamic_Analysis_of_Jacket_Platforms_Due_to_Ship_Impact

7- Institute, A.P,( 2002) Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design: Upstream Segment. API Recommended Practice 2A-WSD (RP 2A-WSD): Errata and Supplement 1, December. 2000: American Petroleum Institute.

8- Jin, W. L., Song, J., Gong, Sh. F., Lu, Y, (2005). “Evaluation of damage to offshore platform structures due to collision of large barge”, Engineering Structures, 27, pp. 1317-1326. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.02.010

9- Kazem.m et all.(2014). Experimental and numerical investigation of the use of composite stirrup instead of steel stirrup in reinforced concrete beams. "In Persian"

10- Khedmati, M.R. and M. Nazari,( 2012). A numerical investigation into strength and deformation characteristics of preloaded tubular members under lateral impact loads. Marine Structures, 25(1): p. 33-57. https://www.researchgate.net/publication/257392515

11- Matweb(https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=10e1c14130cd4ed6ae64b85723be53af)

12- Mir,a.( 2016).drilled shafts design to construction. tehran.fadak publisher. "In Persian"

13- Oshiro, R.E. and M. Alves,( 2007). Scaling of cylindrical shells under axial impact. International Journal of Impact Engineering, 34(1): p. 89-103. https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2006.02.003

14- Robert, M., P. Cousin, and B. Benmokrane.( 2009). Durability of GFRP reinforcing bars embedded in moist concrete. Journal of Composites for Construction, 13(2): p. 66-73. https://www.researchgate.net/publication/248879393_Durability_of_GFRP_Reinforcing_Bars_Embedded_in_Moist_Concrete

15- Saeid.R and Moradlu.a.( 2014). Modeling of nonlinear behavior of offshore platform under ship impact. 8th National Congress On Civil Engineering. "In Persian"

16- Sathyabama.(2020).https://www.sathyabama.ac.in/sites/default/files/course-material/2020-10/SCI1103-UNIT-3NOTES.PDF

17- Tahoni, sh. (2008). “coast and port engineering”, Tehran, elm & adab publisher.

18- Zeinoddini, M., Harding, J. E., Parke, G. A. R., (2008) “Axially Preloaded steel tubes subjected to lateral impacts”, International Journal of Impact Engineering, 35, pp. 1267-1279. https://www.researchgate.net/publication/257239757_Axially_pre-loaded_steel_tubes_subjected_to_lateral_impacts_a_numerical_simulation

19- Zhao, Y., Z.Y. Wang, and Z.G. He,( 2014). Numerical study of CFRP-bonded pressure pipes subject to impact load. Applied Mechanics and Materials, 602: p. 432-437. https://www.researchgate.net/publication/272114017_Numerical_Study_of_CFRP-Bonded_Pressure_Pipes_Subject_to_Impact_Load

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-26 ]

[ DOI: 10.61186/marineeng.20.42.55 ]