

## اهمیت و تأثیر سیستم ضربه گیر (فندر) در طراحی بارهای بتنی با بتن پر مقاومت

حسین قربانی

### چکیده

بار ضربه‌ای ناشی از کشتی‌ها با قرار دادن ضربه‌گیر (فندر) به باری قابل تحمل برای سازه و کشتی‌های پهلوگیرنده تبدیل خواهد شد. عموماً بار ضربه‌ای وارده بر سازه بر اساس تناژ جابجایی شناور پهلو گیرنده و شرایط زیست محیطی منطقه، به عنوان شاخص‌های مهم در تعیین بار ضربه‌ای، طراحی می‌شوند. در این بررسی، اثر دو نوع ضربه‌گیر پر کاربرد بر روی بارهای بتنی با بتن پر مقاومت، شامل ضربه گیر سلولی با مقطع مخروطی و فندر پنوماتیکی مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که منطقه جاسک به عنوان محل بررسی در نظر گرفته شده که احتمال وجود کشتی‌های عبوری مختلف با تناژهای جابجایی متفاوت را داراست. بنابر این، با توجه به گستردگی کشتی‌های عبوری در این منطقه، سیستم ضربه گیر و بار ضربه‌ای وارد بر آن برای حداکثر کشتی‌های تا ۴۵۰۰۰ تن با ضریب اطمینان ۲ بر اساس بحرانی‌ترین شرایط تعیین شد. بررسی نتایج بر اساس تحلیل‌های المان محدودی نشان داد که استفاده از سیستم ضربه گیر باید با دقت مناسب باشد و سیستم‌های سلولی با مقطع مخروطی گزینه مناسبی جهت استفاده در بار-های بتنی به علت سطح مقطع محدود، و کم بودن سختی خارج از صفحه المان‌های پوسته‌ای در بارهای بتنی نیستند.

کلیدواژه‌ها: بار، بتن پر مقاومت، فندر، المان پوسته‌ای، بار ضربه‌ای

## The importance and impact of the fender system in the design of concrete barges with high strength concrete

### Abstract

The impact load caused by ships could be converted into a tolerable value for the floating structures and berthing ships by placing the fenders next to them. The effect of two widely used fenders is investigated in this study on barges with high-strength concrete material, including pneumatic fenders (Ocean guards) and cellular fenders with conical cross-sections. It is worth mentioning that the impact load in this paper is considered for the Jask marine area in Iran with the probability of passing different ships with various tonnages. Therefore, the fender system and the impact load on barges were determined for floating ships up to 45000 tons with a safety factor of two based on critical conditions. Statistical results illustrated that pneumatic fenders are an appropriate choice for concrete barges compared to cellular fenders with conical cross-sections due to the low out-of-plane behavior of concrete shell elements and higher effective area after impact.

**Keywords:** Barge, high strength concrete, fender, shell element, impact load

## ۱. ادبیات تحقیق

سازه‌های شناور در مقیاس بزرگ به طور کلی توسط برخی از محققان به عنوان بارچ یا نیمه شناور طبقه‌بندی شده است. بارچ-ها اساساً دال‌های شناوری هستند که دارای نسبت عمق به عرض کم بوده و دارای کاربری‌های مختلفی هستند. بارچ‌های شناور عموماً در رودخانه‌ها، کانال‌ها، خلیج، دریاچه‌ها و حتی اقیانوس به عنوان سازه‌ای مناسب و اقتصادی در بنادر برای حمل مواد با حجم و چگالی بالا استفاده می‌شوند. به منظور بهره‌برداری از بارچ‌ها، ظرفیت‌های مختلف، ابعاد، و شکل‌های ظاهری متفاوتی موجود است. به عنوان مثال، بارچ با دال تخت، بارچ‌های دارای جرثقیل و چنگک، بارچ‌های مخرن‌دار، بارچ‌های انتقال مایعات، و بارچ‌های اقیانوس پیمای، نمونه‌ای از چنین شناورهایی هستند. برخی از بارچ‌ها پس از بارگیری با استفاده از یدک‌کش کشیده شده، و برخی از آنها با استفاده از نیرو محرکه موتور حرکت می‌کنند. علاوه بر استفاده در حمل و نقل دریایی، بارچ‌های شناور به عنوان سکو دارای کاربردهای مختلف مسکونی، تفریحی، تجاری، و صنعتی هستند. به عنوان مثال، پل شناور دانگجین بر روی رودخانه گونگ در چین، پل شناور وولستون بر روی رودخانه ایچن در انگلستان، پل هوپارت در استرالیا، پل تاسمان، پل یاد بود مورو و پل شناور اورگرین از جمله شناورهایی با کاربرد صنعتی هستند. همچنین، رستوران جامبو در هنگ کنگ، رستوران شناور یوکوهاما، هتل چهار فصل، و اقامتگاه پادشاه اقیانوس آرام، نمونه‌های دیگری با کاربرد تجاری محسوب می‌شوند. امروزه، برای برخی از کلان‌شهرهای دارای مناطق ساحلی، مانند سنگاپور، شانگهای و توکیو، نیاز به گسترش فضای قابل استفاده برای رسیدگی به موضوع کمبود زمین در یک محیط شهری وجود دارد. گسترش زمین و استفاده از سازه‌های شناور دو گزینه اصلی جهت افزایش فضای قابل استفاده برای امکانات صنعتی، سکونت و توسعه شهر هستند [۱]. لازم به ذکر است که در مقایسه با گسترش زمین، سازه‌های شناور ترجیح داده می‌شوند، زیرا سازگارتر با محیط زیست بوده و به هزینه‌های ساخت و ساز کمتری نیاز دارند [۱].

استفاده از ورق‌های فولادی در صنعت کشتی‌سازی و سازه‌های شناور، همواره به عنوان یک مصالح پر کاربرد مورد استفاده قرار گرفته است، در حالی که هزینه‌های اولیه ساخت و نگهداری قابل توجه‌ای را به دلیل وجود این سازه‌ها در شرایط محیطی نامناسب با حملات کلردیدی و سولفاتی تحمیل می‌نمایند. علاوه بر شناورهای فولادی، استفاده از سازه‌های شناور

بتنی به قرن بیستم بر می‌گردد، جایی که اولین کشتی بادبانی بتنی در نروژ سال ۱۹۱۷ ساخته شد [۱]. همچنین کشتی‌های بتنی زیادی در جنگ جهانی اول و دوم به علت کمبود فولاد ساخته شدند. در همین راستا، اولین کشتی بتنی بزرگ ذخیره-سازی گاز مایع در دریای جاوا و در سال ۱۹۷۵ مورد بهره‌برداری قرار گرفت [۲]. علاوه بر این، بزرگترین بارچ شناور موجود در دنیا، تحت عنوان واحد تولید نفت N<sup>۲</sup> Kossa در سال ۱۹۹۶ در سواحل کنگو ساخته شد [۳]. بارچ اشاره شده دارای ۲۲۰ متر طول، ۴۶ متر عرض، و ۱۶ متر عمق بود، و به مدت ۲۰ سال به شکل بی‌وقفه خدمات رسانی کرد. به گفته‌ی جیانگ و همکاران [۴]، مهمترین مزایای استفاده از سیستم‌های شناور بتنی به جای فولادی، عبارت از کاهش هزینه ساخت و ساز، قابلیت مونتاژ سازه‌های بزرگ با استفاده از اجزای پیش ساخته مجهز شده به تاندون‌های پس‌کشیده، دوام مناسب در محیط آب دریا، کاهش هزینه‌های نگهداری-بازرسی و تعمیر، کاهش خسارت ناشی از بارهای چرخه‌ای، عملکرد مناسبی در تحمل بارهای ضربه‌ای-تصادفی، عملکرد مناسب در برابر خوردگی، بهبود نفوذ پذیری، کاهش ایجاد ترک، عایق حرارتی و مقاومت مناسب در برابر آتش است. به علت اینکه سازه‌های شناور عموماً در آب‌های شور و تحت حملات ناشی از آن قرار دارند، عدم نفوذپذیری یا به عبارت بهتر، کاهش حداکثری نفوذپذیری، بحثی مهم و ضروری جهت جلوگیری از خوردگی و آسیب‌های احتمالاتی است. لذا، استفاده از بتن‌های پر مقاومت، علاوه بر کاهش نفوذ پذیری، با توجه به خصوصیات مکانیکی بالاتر نسبت به بتن معمولی، کمک شایانی در تحمل بارهای وارده خواهد کرد [۸]-[۵].

در این تحقیق، بررسی اثر ضربه ناشی از فن‌در در سازه‌های شناور با مصالح بتنی پر مقاومت به جای ورق‌های فولادی، به علت حضور چنین سازه‌هایی در محیط خورنده جهت کاهش هزینه‌های ساخت، نگهداری و بازرسی ارائه شده است. فن‌درها ادواتی هستند که مابین شناور پهلو گیرنده و سازه پهلوگیری (اسکله ثابت یا شناور) جهت تبدیل ضربه یا انرژی جنبشی به وجود آمده ناشی از برخورد شناورهای پهلو گیرنده به نیروی عکس‌العمل محوری قابل تحمل برای سازه و شناور پهلو گیرنده استفاده می‌شود. انتخاب سیستم ضربه گیر مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است، به گونه‌ای که ضربه گیر انتخابی، انرژی جذب شده را به شکل مناسب به سازه و شناور پهلوگیرنده منتقل می‌سازد [۹]-[۱۲]. استفاده از سیستم ضربه گیر مناسب منجر به کاهش خسارت‌های وارده به سازه و شناور پهلوگیرنده شده، و در نتیجه هزینه‌های ساخت و نگهداری را کاهش می‌دهد. همان

منطقه جاسک به عنوان محل پروژه جهت طراحی مدل قرار گرفت. لازم به ذکر است که مقادیر بارهای وارده بر بارج مورد بررسی، شامل بارهای ثقلی و بارهای زیست محیطی متناسب با منطقه جاسک برای طول و عرض جغرافیایی ۲۵/۳۸ و ۵۷/۴۵ درجه، در جدول (۱) نشان داده شده است.

**جدول (۱):** بارهای ثقلی و زیست محیطی وارده بر بارج مورد بررسی برای منطقه جاسک با طول و عرض جغرافیایی ۲۵/۳۸ و ۵۷/۴۵ درجه

شماره	نوع بار (واحد)	مقدار بار	توضیحات
۱	بار مرده ( $\text{kg/m}^2$ )	۲۲۰	-
۲	بار زنده ( $\text{kg/m}^2$ )	۱۰۵۰	معادل بارج ۳۰۰ تنی
۳	بار برف ( $\text{kg/m}^2$ )	-	صرف نظر شده است
۴	بار باد ( $\text{kg/m}^2$ )	۳۴۵	راستای طولی بارج
		۲۹۰	راستای عرضی بارج
۵	بار جریان ( $\text{kg/m}^2$ )	۲۶۲	راستای طولی و عرضی
۶	بار یخ ( $\text{kg/m}^2$ )	-	صرف نظر شده است
۷	بار پهلوگیری (Ton)	۶۰۰	-
۸	بار ضربه (KN)	۱۷۹۰	-
۹	بار تغییرات دمایی (C)	۵۰	مطابق با نشریه ۵۲۰
۱۰	بار موج ( $\text{kg/m}^2$ )	شکل (۱)	-

لازم به ذکر است که بار مرده اشاره شده، شامل بار ناشی از روسازی بارج بوده، و بار ناشی از وزن عرشه و سایر المان‌ها به صورت دقیق در نرم افزار طراحی محاسبه شده است. همچنین، با توجه به طراحی بارج‌ها در منطقه جاسک، و احتمال بسیار پایین وقوع برف و یخبندان در این منطقه، از اثر این دو بار صرف نظر شده است. بار باد مطابق با فشار باد طرح با دوره بازگشت ۵۰ ساله از آیین نامه مبحث ششم مقررات ملی [۱۵] برای منطقه ساحلی جاسک در ارتفاع ۱۰ متری محاسبه، و سپس برای فاصله ۳ متری از سطح دریا اصلاح گردیده است، [۱۴] [۱۶]. علاوه بر اینکه، ضریب پسا (ضریب دراگ) در دو راستای طولی و عرضی مطابق با آیین نامه طراحی سازه‌های دریایی ژاپن محاسبه شد [۱۷]. مطابق با آیین نامه بریتانیا شماره ۴ [۱۸]، برای پهلوگیری کشتی‌های ۲۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ تن، بار وارده بر بولاردها بین ۶۰ تا ۸۰ تن لازم است، که در اینجا با توجه به ابعاد بارج مورد بررسی، مقدار ۶۰ تن در نظر گرفته شد. دو پارامتر ارتفاع مشخصه موج و دوره تناوب موج، مهمترین پارامترها جهت تعیین بار موج احتمالی بر سازه شناور می‌باشند. برای تعیین بار موج در این تحقیق، از نتایج و داده‌های تجربی اندازه‌گیری ارتفاع موج و دوره تناوب متناسب با آن برای دوره

طور که پیش‌تر بیان شد، روش‌های متفاوتی برای پهلوگیری شناورها وجود دارد. یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها، پهلوگیری به صورت زاویه‌دار توسط شناور به واسطه نیروی موتور بوده که به سیستم ضربه گیر برخورد می‌کند. عموماً در کشور این نوع پهلوگیری رایج و مرسوم است. از این روی، هر ضربه گیر نصب شده بر روی سازه باید به طور جداگانه توانایی تحمل انرژی و ضربه وارده از سوی شناور پهلوگیرنده را داشته باشد، و برای بزرگترین بارهای وارده احتمالاتی طرح گردد [۱۲]. لازم به ذکر است که در زمان پهلوگیری، عموماً شناورها به یک ضربه گیر برخورد اولیه پیدا می‌کنند، در نتیجه فرض اشاره شده در بالا دور از واقعیت نیست. طراحی فاصله ضربه گیرها به عواملی نظیر سازه اسکله (ثابت یا شناور)، شناورهای پهلوگیرنده، و نیازهای اسکله بستگی دارد [۱۳].

استفاده از ضربه گیرهای مختلف با توجه به ظرفیت شناور متفاوت بوده، و انواع مختلف آن در بارج‌های فولادی و اسکله‌ها استفاده می‌شود. این در حالی است که موضوع اشاره شده برای بارج‌های بتنی با المان‌های پوسته‌ای باید با دقت زیاد صورت گیرد. با توجه به اینکه ساخت بارج‌های بتنی با استفاده از المان‌های پوسته‌ای (دیواره‌های بتن آرمه) صورت می‌گیرد، برخورد سایر شناورها به آنها منجر به ایجاد کشش در این اعضا در راستای خارج از صفحه می‌شود. علاوه بر اینکه، سختی خارج از صفحه در یک المان پوسته‌ای بسیار کمتر از رفتار داخل صفحه آن است، که احتمال گسیختگی به علت ضربه سایر شناورها افزایش پیدا می‌کند. در این بررسی با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی المان محدودی نشان داده خواهد شد که استفاده از ضربه گیرهای با سطح برخورد بالا مناسب و به صرفه برای استفاده در بارج‌های بتنی با المان‌های پوسته‌ای هستند.

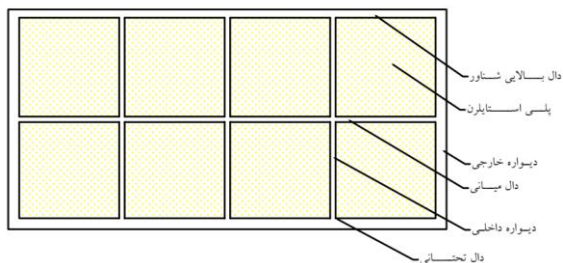
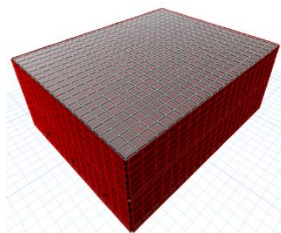
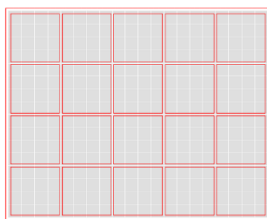
## ۲. روش تحقیق

تعیین بارهای وارده بر شناورها یکی از مهمترین مراحل است که به طور مستقیم بر ابعاد و پایداری شناور تأثیرگذار است. بارهای وارد بر بارج‌های بتنی به دو دسته بارهای ثقلی و بارهای زیست محیطی تقسیم بندی می‌شوند. بارهای ثقلی، شامل بارهای مرده و زنده بوده، و بارهای زیست محیطی، شامل بار تغییرات دمایی، بار برف، بار باد، بار جریان، بار موج، بار ضربه سایر شناورها، بار ناشی از پهلوگیری، و بار ناشی از یخ زدگی می‌باشد [۱۴]. به منظور محاسبه‌ی بارهای موجود در این تحقیق،

شده می‌باشد.

**جدول (۲):** پایداری در بارج بتنی با المان‌های پوسته‌ای در راستای طولی و عرضی

عمق آبخور (متر)	ارتفاع آزاد در شرایط بحرانی (میلی متر)	ارتفاع متاسنتریک (متر)	زاویه دوران وضعیت (درجه)	پایداری
کنترل پایداری شناور در راستای طولی تحت اثر بار کامل				
۶/۵	۳۷۸	۱/۷۱	۱۴/۰۶	پایدار
کنترل پایداری شناور در راستای عرضی تحت اثر بار کامل				
۶/۵	۵۸۵	۳/۹۱	۱۳/۴۸	پایدار
کنترل پایداری شناور در راستای طولی تحت اثر بار مرده				
۴/۶	۱۵۶۰	۳/۰۳	۱۳/۱۸	پایدار
کنترل پایداری شناور در راستای عرضی تحت اثر بار مرده				
۴/۶	۱۴۶۸	۵/۷۱	۱۱/۳۷	پایدار



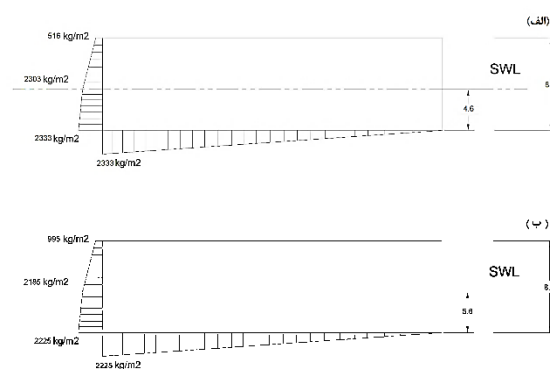
**شکل (۲):** مدلسازی شناور (بارج) بتنی به همراه سطح مقطع

مهمترین عواملی که در مدلسازی شناور بتنی در نظر

گرفته شده، عبارت است از:

- (۱) به دال‌های فوقانی، میانی، و تحتانی، دیافراگم از نوع نیمه صلب جهت توزیع هر چه بهتر و نزدیک به واقعیت نیروها اختصاص داده شد. (۲) جهت مدلسازی بستر آب دریا و فشار ناشی از نیروی هیدرواستاتیکی آن، از فنرهای سطحی (معروف به فنر وینکلر) در زیر دال تحتانی و سختی برابر با  $k = \rho g d$  اختصاص داده شد، که در آن  $\rho$  وزن مخصوص آب دریا،  $g$  شتاب گرانش، و  $d$  عمق آبخور شناور است. (۳) به منظور کنترل تمرکز تنش تحت اثر بارهای خارجی وارده، از تحلیل اجزا محدودی

بازگشت ۱۰۰ ساله کمک گرفته شده است [۱۹]. ارتفاع موج شاخص و دوره تناوب موج به صورت نمودارهای ریز پهنه‌بندی موج (اندازه گیری شده توسط دستگاه‌های موج سنج) توسط سازمان بنادر و دریانوردی کشور تحت عنوان پروژه "مدلسازی موج دریاهای ایران" معروف به ISWM با ارتفاع موج ۳ متر تعیین شده است. به منظور اعمال بارهای موج از روش اصلاح شده‌ی گودا توسط تومیزک و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۲۰] برای شناورهای غوطه ور استفاده گردید (شکل ۱).



**شکل (۱):** بار موج وارده در دو راستای طولی و عرضی در حالت (الف) بار مرده (ب) بار کامل (بار زنده و مرده)

بارج بتنی مورد بررسی در این تحقیق دارای طول ۲۰

متر، عرض ۱۶ متر، و ارتفاع ۸ متر می‌باشد. همچنین، ضخامت دیواره‌های خارجی برابر با ۴۰ سانتی متر، ضخامت دیواره‌های داخلی، دال فوقانی، و دال تحتانی برابر با ۲۰ سانتی متر، و ضخامت دال تحتانی برابر با ۳۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که عرض، ارتفاع، ضخامت دال‌ها و دیواره‌های داخلی و خارجی بر اساس کنترل پایداری جهت عدم مستغرق شدن بارج در شرایط بحرانی، کنترل تنش گسیختگی، و کنترل کفایت مقطع صورت گرفت. لازم به ذکر است که به منظور کنترل پایداری بارج‌های بتنی از دستور العمل ارائه شده در آیین ۵۳۰ استفاده شد، که نتایج آن در دو حالت بار مرده و بار کامل (بار مرده و بار زنده) در جدول (۲) نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، ارتفاع متاسنتریک بیش از ۱ بوده، و زاویه دوران از ۱۵ تا ۱۸ درجه فراتر نرفته است. علاوه بر اینکه، ارتفاع آزاد در شرایط بحرانی (تحت اثر بحرانی-ترین ترکیب بار) بیش از ۵۰ میلی‌متر است (حدی که به عنوان حداقل ارتفاع آزاد توسط نشریه ۵۳۰ معرفی گردیده است). شکل (۲) نشان‌دهنده‌ی مقطع و نمای سه بعدی بارج بتنی مدلسازی

جدول (۳): ضرایب بار $f_x$ در حالت حدی (حالت بهره‌برداری)						
بار	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$
$f_D$	$\frac{1}{3}$ (۱)	$\frac{1}{3}$ (۱)	$\frac{1}{3}$ (۱)	$\frac{1}{25}$ (۱)	$\frac{1}{2}$ (۱)	۱ (۱)
$f_L$	$\frac{1}{7}$ (۱)	$\frac{1}{7}$ (۰/۱)	$\frac{1}{3}$ (۱)	۰	۰	۰ تا ۰/۲ (۰/۲ تا ۰)
$f_B$	$\frac{1}{3}$ (۱)	$\frac{1}{3}$ (۱)	$\frac{1}{3}$ (۱)	$\frac{1}{25}$ (۱)	$\frac{1}{2}$ (۱)	۱ (۱)
$f_{BE}$	۰	$\frac{1}{7}$ (۱)	۰	۰	۰	۰
$f_F$	۰	۰	$\frac{1}{3}$ (۱)	$\frac{1}{25}$ (۱)	$\frac{1}{2}$ (۱)	۰
$f_{Ws}$	۰	۰	۰	$\frac{1}{3}$ (۰/۳)	$\frac{1}{25}$ (۱)	$\frac{1}{2}$ (۱)
$f_{WB}$	۰	۰	۰	$\frac{1}{3}$ (۰/۳)	$\frac{1}{25}$ (۱)	۰
$f_E$	۰	۰	۰	۰	۰	۱ (۱)

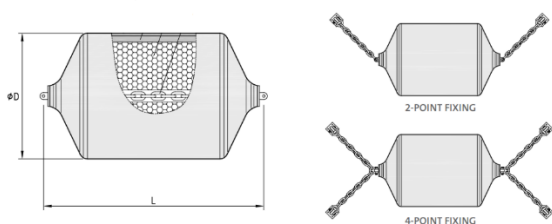
کمک گرفته شد. از این روی، تمامی دیوارهای خارجی، داخلی، و تمامی دال‌ها جهت توزیع مناسب نیرو و مش‌بندی شدند. (۴) ضریب ترک‌خوردگی به دیوارهای خارجی و داخلی در راستای خارج صفحه و درون صفحه به اندازه ۰/۷ اعمال شد. علاوه بر این، ضریب ترک‌خوردگی ۰/۵ به دال‌های بتنی اعمال گردید. لازم به ذکر است که این مقادیر مطابق با آیین‌نامه بتن ایالات متحده آمریکا (ACI 318-19) اعمال گردید. (۵) سیستم لنگ‌گیری از نوع سیستم زنجیری، متصل در شش نقطه فرض شد. لازم به ذکر است که شناور در جهت ارتفاع دارای هیچ‌گونه قیدی نبوده، و آزادانه دارای حرکت می‌باشد. (۶) ترکیب بارهای استفاده شده، شامل دو نوع ترکیب بار طراحی (در حالت حد نهایی) و ترکیب بار بهره‌برداری (سرویس) مطابق با دستورالعمل سازه‌های دریایی استرالیا، مطابق با رابطه (۱) و ضرایب جدول (۳) می‌باشد.

$$S_i \text{ or } U_i = f_D(D) + f_L(L_c + I \text{ or } L_u) + f_B(B) + f_{BE}(Be) + f_F(F) + f_{Ws}(W_s) + f_{WB}(W_B) + f_E(E) \quad (1)$$

(۷) فضای خالی بین دیواره شناورها از پلی استایرلن با دانسیته ۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب پر شده است، تا به پایداری و شناور ماندن بارج در صورت نفوذ آب به داخل کمک کند.

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، استفاده از بتن‌های با کیفیت در سازه‌های دریایی و ساحلی از اهمیت بالایی برخوردار است. حضور چنین سازه‌هایی در محیط‌های خورنده نمکی و احتمال حمله‌ی مواد شیمیایی به بتن و میلگردها، استفاده از بتن‌های با کیفیت بالا را لازم کرده است. در ارتباط با سازه‌هایی که در معرض مستقیم با آب دریا قرار دارند، خصوصاً آب‌های اقیانوسی، نفوذ پذیری بالا یکی از موارد مهم و پر اهمیت می‌باشد. استفاده از بتن‌های معمولی در سازه‌های شناور، به واسطه‌ی نفوذ پذیری نه‌چندان بالای آنها در محیط‌های خورنده، افزایش بازرسی‌های سازه‌ای، نیاز به تعمیرات دوره‌ای، و هزینه‌ی بالای بهسازی و ترمیم را به دنبال خواهد داشت. از این روی، برای جلوگیری از این مهم، باید کاور بتن را تا حد لازم افزایش داد تا صدمه به میلگردهای به کار رفته در بتن وارد نشود، که این موضوع با افزایش وزن شناور همراه خواهد بود.

استفاده از بتن‌های پر مقاومت همراه با مواد معدنی جایگزین سیمان در بتن، به منظور بهبود مشخصات مکانیکی، نفوذپذیری، و کاهش ضخامت المان‌های پوسته‌ای لازم می‌باشد. بتن‌های پر مقاومت سبک‌دانه، بتن پر مقاومت عادی، و بتن پر مقاومت ویژه جز بهترین گزینه‌ها جهت استفاده در طراحی بارج-ها و شناورهای بتنی به واسطه مقاومت بالا، و نفوذ پذیری کم هستند. مدلسازی بارج بتنی اشاره شده با استفاده از بتن پر مقاومت و مقاومت فشاری ۸۲ مگاپاسکال صورت گرفت، زیرا مقاومت نهایی بتن سبک‌دانه مناسب برای طراحی چنین سیستمی با ابعاد اشاره شده نخواهد بود. علاوه بر اینکه، سنگین شدن شناور به پایداری بهتر کمک خواهد کرد. با توجه به تفاوت مشخصات بتن‌های پر مقاومت با بتن‌های معمولی در پارامترهایی نظیر مدول الاستیسته، ضریب پواسون، تنش کششی، و تنش گسیختگی، از روابط ارائه شده در آیین‌نامه انجمن بتن آمریکا شماره ۳۶۳-۱۰ استفاده شد [۷]. لازم به ذکر است که این روابط متفاوت با روابط متداول آیین‌نامه طراحی برای بتن‌های عادی است [۲۱]. علاوه بر اینکه روابط مختلفی برای تخمین مدول الاستیسته، تنش کششی، و تنش گسیختگی در این آیین‌نامه ارائه شده، که در این تحقیق مقدار نهایی بر اساس میانگین روابط پیشنهادی برآورد شد. جدول (۴) نشان دهنده‌ی مشخصات مکانیکی مصالح به کار رفته در بارج مورد بررسی می‌باشد.



شکل (۴): سیستم ضربه گیر پنوماتیکی از نوع Ocean Guard

جدول (۵): محاسبه انرژی وارد شده به سیستم ضربه گیر

توضیح	شاور رو-رو	پارامتر
	۰/۷۲	ضریب بلاک (بی بعد)
	۱/۵	ضریب هیدرودینامیکی جرم (بی بعد)
	۴۵۰۰۰	تناژ جابه‌جایی شناورها (تن)
	۰/۹	ضریب نرمی (بی بعد)
	۰/۹	ضریب شکل پهلوگیری (بی بعد)
	۰/۱۷	سرعت پهلوگیری (متر بر ثانیه)
	۱۰	زاویه پهلوگیری (درجه)
	۵۰/۵۹۴	شعاع ژیراسیون شناورها (متر)
	یک سوم ابتدایی	محل پهلوگیری با سازه (متر)
	۰/۷۱	ضریب خروج از مرکزیت (بی بعد)
	۲	ضریب اطمینان (بی بعد)
	۶۲۰	انرژی (کیلو نیوتن در متر)
	۱۲۴۱	انرژی نهایی (کیلو نیوتن در متر)

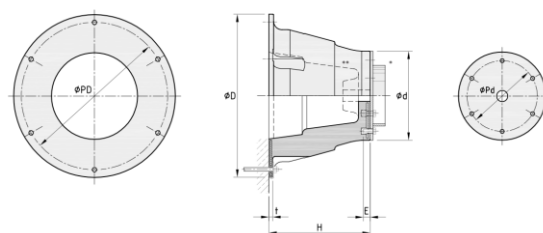
پهلوگیری مناسب. در وجود و دو

### ۳. نتایج و بحث

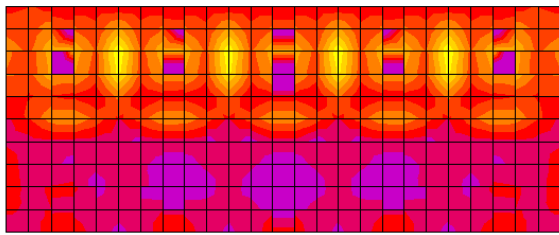
در گام نخست و به منظور صحت سنجی نتایج ارائه شده در جدول (۲)، پایداری و زاویه دوران بارج تحت بدترین ترکیب بار استفاده شده در جدول (۳) مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، دوران حول راستای طولی (در بدترین حالت) حدود ۰/۱۸ رادیان یا ۱۰/۳۱ درجه است، که قابل قبول است. بررسی اثر ضربه ناشی از شناورهای دیگر بر بارج بتنی اشاره شده در این تحقیق، با استفاده از دو ضربه گیر سلولی با مقطع مخروطی و پنوماتیکی در شکل (۶) نشان داده شده است. مطابق با شکل (۶)، برخورد شناورهای سنگین به ضربه گیر سلولی و سپس انتقال نیرو از آن به سیستم سازه‌ای منجر به افزایش تمرکز تنش و گسیختگی عضو بتنی خواهد شد. این در حالی است که استفاده از نمونه پنوماتیکی نیروی ناشی از ضربه را به طور مناسبی در المان‌های پوسته‌ای توزیع می‌کند. با توجه به اینکه ضربه گیرهای پنوماتیکی پس از برخورد دچار انقباض می-

جدول (۴): مشخصات مصالح بتنی و فولادی در طراحی شناور بتنی	
پارامترها	بتن پر مقاومت
وزن مخصوص (MPa)	۰/۰۲۴۵
مدول الاستیسیته (MPa)	۳۷۸۲۰
ضریب پواسون	۰/۲۳
ضریب انبساط حرارتی (1/c)	۰/۰۰۰۰۹۹
مدول برشی (MPa)	۱۵۳۷۴
مقاومت فشاری (MPa)	۸۲
مدول گسیختگی (MPa)	۷/۲۲
مشخصات میلگردهای مصرفی	
وزن مخصوص (MPa)	۰/۰۷۸۵
مدول الاستیسیته (MPa)	۲۰۰۰۰
ضریب انبساط حرارتی (1/c)	۰/۰۰۰۰۱۱۷
حداقل تنش تسلیم (MPa)	۴۰۰
حداقل تنش نهایی (MPa)	۶۰۰
تنش تسلیم مؤثر (MPa)	۵۰۰
تنش نهایی مؤثر (MPa)	۷۵۰

دو سیستم ضربه گیر از نوع ضربه گیر شناور پنوماتیکی با ارتفاع ۲۵۰۰ و طول ۵۵۰۰ میلی‌متر مطابق با شکل (۳) و سیستم ضربه گیر سلولی از نوع SPC مطابق با شکل (۴) در نظر گرفته شد. انرژی محاسبه شده بر اساس احتمال برخورد یک شناور رو-رو با ۴۵۰۰۰ تن تناژ جابجایی و ضریب اطمینان ۲ مطابق با جدول (۵) محاسبه شده است. لازم به ذکر است که اطلاعات ارائه گردیده از شرکت شیباتا استخراج شده است. بنابر انرژی محاسبه شده در جدول (۵)، نمونه SPC-400 با نسبت انرژی به واکنش ۰/۷۴ و انرژی ۱۲۴۹ کیلو نیوتن متر، و نمونه ضربه گیر شناور پنوماتیکی با ارتفاع ۲۵۰۰ و طول ۵۵۰۰ میلی‌متر و انرژی ۱۲۰۱ کیلو نیوتن متر مناسب برای استفاده در بارج بتنی می‌باشد. لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده بر اساس نمودارهای عملکردی ارائه شده از شرکت شیباتا محاسبه گردیده است.

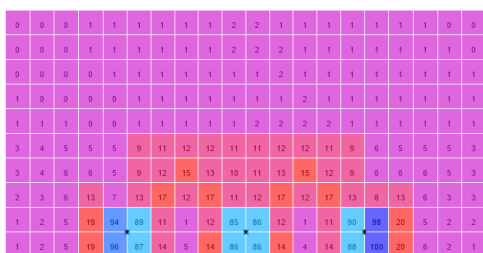
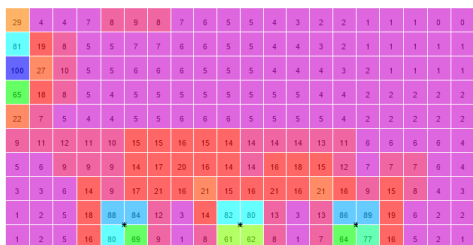


شکل (۳): مقطع مربوط به سیستم ضربه‌گیر سلولی SPC



شکل (۶): بررسی اثر نوع ضربه گیر بر سیستم شناور بتنی با بتن پر مقاومت تحت انتقال بار از ضربه گیر الف (SPC ب) پنوماتیکی

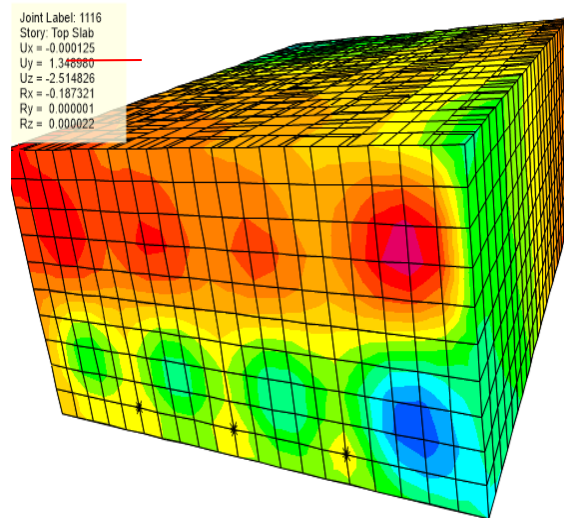
علاوه بر این، انرژی وارده به بارهای بتنی با بتن پر مقاومت در صورت استفاده از دو ضربه گیر پنوماتیکی و سلولی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، بار شناور در محل اتصال زنجیرهای لنگرگیری، انرژی قابل توجه تر و متقابلاً جابجایی بیشتری را تحت اثر نیروی ضربه ناشی از فندر سلولی نسبت به نمونه پنوماتیکی تحمل می کند. موضوع یاد شده احتمال پارگی قالبی بتن و زنجیرهای نگهدارنده را بالا خواهد برد. علاوه بر این، موضوع یاد شده مبین احتمال بسیار بالای ایجاد مفصل پلاستیک در این نواحی و احتمال شکست است.



شکل (۷): انرژی وارده به اعضای پوسته‌ای تحت تأثیر الف) ضربه گیر پنوماتیکی ب) سلولی

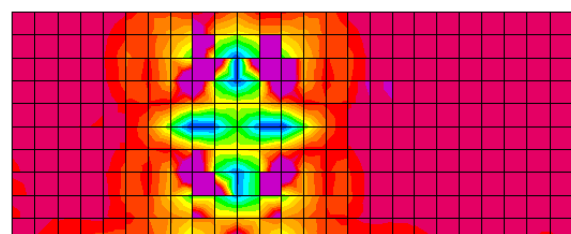
لازم به ذکر است که به طور کلی ناحیه یک دوم تحتانی بارهای بتنی با توجه به اعمال بارهای هیدرولیکی قابل توجه تر و وجود محل اتصال زنجیرهای اتصال دهنده، محتمل ترین ناحیه برای ایجاد مفاصل پلاستیک به حساب می آید. مطابق با شکل (۸) برای بارهای بتنی با ضربه گیر پنوماتیکی، ناحیه یک دوم تحتانی محتمل ترین محل برای تشکیل مفصل پلاستیک است که

شوند، سطح مؤثر روی بار را افزایش و از تمرکز تنش جلوگیری می کند. با این حال، ضربه گیرهای سلولی به علت سطح تماس کمتر و سختی کم المانهای پوسته‌ای در جهت خارج صفحه، تمرکز تنش قابل توجهی را به بارهای بتنی اعمال می کنند.



شکل (۵): انرژی وارده به اعضای پوسته‌ای تحت تأثیر الف) ضربه گیر پنوماتیکی ب) سلولی

همانطور که در شکل ملاحظه شد، بار ضربه‌ای انتقال یافته از طرف ضربه گیر سلولی منجر به افزایش مدول گسیختگی بتن در نواحی اتصال شده است، که در صورت چنین اتفاقی احتمال ترک خوردگی و نفوذ آب به داخل بارهای محتمل است. با این حال، استفاده از ضربه گیر پنوماتیکی قابلیت بهره‌برداری بیشتری را دارا بوده، و تحت اثر بار ضربه‌ای وارد شده تمرکز تنش بین ۳/۳۳ تا ۳/۸۹ مگاپاسکال باقی می ماند. لازم به ذکر است که این حد ۴۵ تا ۵۰ درصد کمتر از حد مجاز (حد گسیختگی نهایی) است. به عبارت دیگر، سیستم ضربه گیر پنوماتیکی منجر به خسارت در دیواره‌های خارجی المانهای بتنی در راستای خارج صفحه به علت سختی کمتر نسبت به راستای داخل صفحه نخواهد شد.





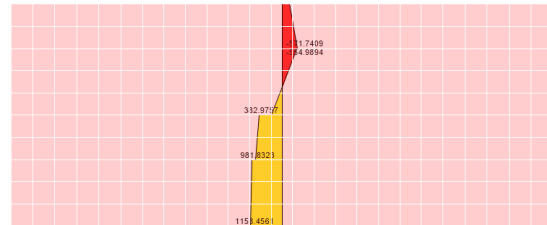
نهایی برای بتن پر مقاومت با مقاومت فشاری ۸۲ مگاپاسکال، ۷/۲۲ پاسکال محاسبه شد). به عبارت دیگر، سیستم ضربه گیر پنوماتیکی منجر به خسارت در دیواره‌های خارجی المان‌های بتنی در راستای خارج صفحه به علت سختی کمتر نسبت به راستای داخل صفحه نخواهد شد. علاوه بر این، انرژی وارده به بارج بتنی با دو ضربه گیر پنوماتیکی و سلولی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که بررسی نتایج نشان داد در محل اتصال زنجیرهای نگهدارنده، انرژی تحت اثر نیروی ضربه ناشی از فندر سلولی نسبت به نمونه پنوماتیکی قابل توجه‌تر و احتمال ایجاد مفصل پلاستیک و گسیختگی بیشتر است.

بنابر این، نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از فنرهای پنوماتیکی برای بارج‌ها و پانتون‌های بتن مسلح ساخته شده، بهترین گزینه نسبت به مدل پر کاربرد سلولی است.

## ۵. مراجع

- [1] C. M. Wang and B. T. Wang, "Large floating structures," Ocean Engineering & Oceanography, Springer, Singapore, 2015.
- [2] A. R. Anderson, "world's largest prestressed LPG floating vessel," PCI Journal, vol. 2, pp. 12-31, 1977.
- [3] C. Valenchon, J. H. Rossig, and S. Anres, "Evolution of concrete mono-hulls after the NKossa barge," 1rd Offshore Technology Conference paper, 1997.
- [4] D. Jiang, H. T. Kiang, M. W. Ming, C. G. O. Khim, B. Helge, J. Jingzhe, and O. K. Min, "Analysis and design of floating prestressed concrete structures in shallow waters," Marine Structures, vol. 59, pp. 301-320, 2018.
- [5] S. Razvi and M. Saatcioglu, "Confinement model for high-strength concrete," Journal of Structural Engineering, vol. 125, no. 3, pp. 281-289, 1999.
- [6] M. H. Zhang and O. E. Gjorv, "Permeability of high-strength lightweight concrete," ACI Materials Journal, vol. 88, no. 5, pp. 463-469, 1991.
- [7] ACI 363R-10, "Report on High-Strength Concrete," American Concrete Institute, Farmington Hills, CA, 2010.
- [8] K. S. Chia and M.-H. Zhang, "Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete," Cement and Concrete Research, vol. 32, no. 4, pp. 639-645, 2002.
- [9] A. Schwarzenegger, M. Chrisman, and R. Tsuneyoshi, "Layout and Design Guidelines for Marina Berthing Facilities," Sacramento, CA, 2005.
- [10] PIANC, "Guidelines for Marina Design," The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Bruxelles, Belgique, 2017.
- [11] The Task Committee on Marinas 2020 of the Coasts Ports and Rivers Institute of ASCE, "Planning and design guidelines for small craft harbors," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2012.
- [12] BS 6349-3, "Design of dry docks, locks, slipways and shipbuilding berths, shiplifts and dock and lock gates,"

در صورت شکست، احتمال مستغرق شدن شناور را به دنبال خواهد داشت. بنابر این، استفاده از ادواتی که قابلیت جذب انرژی بیشتر و توزیع مناسب‌تر ضربه را داشته باشد، نظیر ضربه گیر پنوماتیکی، برای چنین سازه‌هایی الزامی و کار آمد است.



شکل (۸): حداکثر لنگر وارده تحت اثر بار ضربه

## ۴. نتیجه گیری کلی

در این تحقیق به بررسی اثر دو ضربه گیر سلولی با مقطع مخروطی و ضربه گیر پنوماتیکی بر روی بارج بتنی با بتن پر مقاومت و المان‌های پوسته‌ای پرداخته شد. با توجه به اینکه بندرگاه‌ها عموماً محل عبور و مرور کشتی‌های با ابعاد و تناژهای مختلف است، طراحی ضربه گیرهای مورد استفاده بر اساس بحرانی‌ترین حالت با تناژ جابجایی ۴۵۰۰۰ تن و ضریب اطمینان ۲ برای بندر جاسک طراحی گردید. با توجه به سختی پایین المان‌های پوسته‌ای بتنی در رفتار خارج صفحه نسبت به مصالح فولادی، بررسی رفتار این المان‌ها جهت استفاده در بارج‌های بتنی از اهمیت بالایی برخوردار است. بررسی نتایج بر اساس تحلیل‌های استاتیکی المان محدودی نشان داد که در بارج‌های بتنی با توجه به سختی خارج صفحه پایین، نیاز به استفاده از ضربه گیرهایی با سطح مؤثر بالا وجود دارد. مقایسه تنش گسیختگی در المان‌های پوسته‌ای تحت اثر بار ضربه‌ای ناشی از دو ضربه گیر سلولی و پنوماتیکی نشان داد که نمونه سلولی به علت سطح مقطع مؤثر کمتر تمرکز تنش قابل توجه‌ای ایجاد کرده، و شرایط گسیختگی عضو را فراهم آورده است. با این حال، استفاده از نمونه پنوماتیکی منجر به توزیع مناسب تنش در المان‌ها شده، و منجر به ایجاد نیروی قابل تحمل برای چنین سازه‌هایی شده است. استفاده از ضربه گیر پنوماتیکی دارای قابلیت بهره‌برداری بیشتر بوده، و تحت اثر بار ضربه‌ای وارده، تمرکز تنش در محدوده ۳/۳۳ تا ۳/۸۹ مگاپاسکال را نشان داد. لازم به ذکر است که تمرکز تنش در صورت استفاده از این ضربه-گیر، ۴۵ تا ۵۰ درصد کمتر از حد مجاز بود (حد گسیختگی



- Civil Engineering and Building Structures Standards Policy Committee, London, UK, 2014.
- [13] Carl A. Thoresen, "Port Designer's Handbook," ICE Publishing, Westminster, London, 2014.
- [14] Code No: 530, "Guidelines for Design of Marinas and Small Craft Harbors," Office of Deputy for Strategic Supervision, Tehran, 2010. (In Persian)
- [15] National Building Regulations (Sixth Issue), "Loads on Buildings," Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, 2019. (In Persian)
- [16] AS 3962, "Guidelines for design of marinas," Council of Standards Australia (Committee CE-030), Sydney, 2001.
- [17] OCIDI, "Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan", the overseas Coastal Area development institute of Japan, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo, 2002.
- [18] BS 6349-6, "Maritime Works: Code of Practice for Design of Fendering and Mooring Systems," Civil Engineering and Building Structures Standards Policy Committee, London, 2014.
- [19] H. Ghorbani Nigje, "Introducing the new generation of environmentally friendly breakwaters - environmentally friendly breakwaters," vol. 1, no. 3, pp. 21-32, 2020. (In Persian)
- [20] T. Tomiczek, A. Wyman, H. Park, and D. T. Cox, "Modified Goda equations to predict pressure distribution and horizontal forces for design of elevated coastal structures," Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 145, no. 6, p. 04019023, 2019.
- [21] ACI 318-19, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019.