

مستحکم سازی درب‌های آب‌بند کشتی با رویکرد سبک‌سازی

مجتبی پاکیان بوشهری

دکترای مهندسی مکانیک، کشتی‌سازی شهید محلاتی، Pakianm@chmail.ir

چکیده:

درب‌های آب‌بند کشتی در اماکن و کمپارتمان‌های آب‌بند نظیر موتورخانه استفاده می‌شود. این درب‌ها علاوه بر آب‌بند بودن می‌بایست به اندازه کافی مستحکم بوده تا در مقابل بارهای انفجاری یا ضربه‌ای با سرعت‌های بالا مقاومت کنند. استفاده از این درب‌ها در شناورهای تندرو که وزن شناور بسیار حایز اهمیت است، می‌بایست با رویکرد سبک‌سازی باشد. این مطالعه، طرحی از درب‌های آب‌بند را ارائه می‌نماید که در آن وزن به طور نسبی بهینه شده‌است. روش کار بدین‌گونه است که ابتدا با استفاده از تئوری ناویر برای ورق‌ها و با توجه به شرایط مرزی و بارگذاری انجام‌شده بر روی درب، ضخامت ورق مقاوم در برابر بار انفجاری بدست آمده و در مرحله بعد با معادل کردن ممان اینرسی و استفاده از ورق و مقاطع تیر استاندارد، سازه از نظر مقاومت در مقابل ضربه و انفجار تقویت، و همچنین از نظر وزنی به طور نسبی سبک می‌شود. نتایج بدست آمده در مقایسه با نتایج عددی حاصل از روش اجزای محدود رضایت‌بخش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

درب آب‌بند، ورق استاندارد، تیر I شکل، بار انفجاری، تئوری ناویر، روش اجزای محدود

Strengthening the ship's watertight doors with the weight reduction approach

Mojtaba Pakian Bushehri

PhD in Mechanical Engineering, Pakianm@chmail.ir

Abstract

Ship's watertight doors are used in watertight places and compartments such as the engine room. In addition to being watertight, these doors should be strong enough to withstand explosive loads or high-speed impacts. The use of these doors in high-speed vessels, where the weight of the vessel is very important, should be based on weight reduction. This study presents a design of watertight doors in which the weight is relatively optimized. The working method is as follows: first, by using Navier's theory for sheets and according to the boundary conditions and loading on the door, the thickness of the sheet resistant to explosive load is obtained, and in the next step, by equating the moment of inertia and using from the sheet and beam section standard, the structure is strengthened in terms of resistance to impact and explosion, and also relatively light in terms of the weight. The obtained results are satisfactory compared to the numerical results of the finite element method.

Key words: Watertight door, Standard sheet, I-shaped beam, Explosive load, Navier theory, Finite element method

۱- مقدمه

درب های آب بند در اماکن و کمپارتمان های آب بند کشتی استفاده می شود. مکانیزم بسته شدن آن ها به گونه ای است که با چرخاندن دستگیره و سفت کردن آن ها، آب بند شدن توسط نوار لاستیکی بین درب و قاب فراهم می شود. شکل ۱ نمونه ای از این درب را در کشتی نشان داده است. این درها می بایست فشار هیدرواستاتیکی بالایی را تحمل نمایند تا هنگامی که کمپارتمان مجاور دچار آبگرفتگی شود؛ آب وارد کمپارتمان اصلی نگردد.



شکل ۱- نمونه ای از درب آب بند کشتی

این درها مطابق با الزامات دیواره آتش، دارای کلاس های مختلف کنترل صدمات هستند و وظیفه جلوگیری از انتقال حرارت از یک کمپارتمان به کمپارتمان دیگر را نیز دارند [۱].

علاوه بر وظیفه آب بند نمودن، این درها می بایست دارای استحکام کافی باشند تا در شرایط جنگی و یا سوانح در مقابل بارهای انفجاری و یا ضربه ای سرعت بالا مقاومت نمایند و آب بند بودن کمپارتمان کشتی حفظ گردد. دربرهای ضد انفجار عموماً در جثه های عظیم و سخت طراحی می شوند که دارای بازدهی عملی ضعیف هستند و مناسب شناورها نمی باشد. در حقیقت سازه های حفاظتی در کشتی باید دارای وزنی سبک باشند و این در حالی است که در مقابل بارهای انفجاری و ضربه ای سرعت بالا مقاوم هستند. بنابراین تحقیق روی شکل سازه ها و مواد جدید مورد نیاز می باشد. دربرهای ضد انفجار مختلفی با کاربری های متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته اند.

پاسخ دینامیکی صفحات فولاد- هوا- فولاد و فولاد- فولاد که در دربرهای ضد انفجاری استفاده شده اند؛ مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. پاسخ دینامیکی صفحات فولاد تخت با سختی های مختلف جهت بدست آوردن

تأثیر سختی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است [۳]. همچنین صفحات دولایه با اتصالات فنی و تکیه گاه های انعطاف پذیر، جهت کاهش اثرات ناشی از انفجار و ضربه های آن مورد مطالعه ای عددی و تجربی قرار گرفته اند [۴]. مطالعاتی نیز در مورد صفحه های قوس دار که در دربرهای ضد انفجار استفاده شده و در برابر بارهای انفجاری مقاوم بوده صورت گرفته است که به صورت عددی و آزمایشگاهی بوده است [۵]. بررسی دیگری نیز در مورد دربرهای تقویت شده در برابر انفجار انجام شده است که برای این کار، جهت پیش بینی پاسخ دینامیکی دربر ضد انفجار یک سری تحلیل گذرای اجزای محدود انجام شده است [۶]. همچنین مطالعات گسترده ای روی ورق های سلندویچی با هسته های متفاوت جهت جذب انرژی و مقاومت در برابر فشار ناشی از انفجار انجام شده است [۷]. تحقیق های آزمایشگاهی و عددی در رابطه با آنالیز شکست سازه های مقاوم در برابر انفجار مانند ورق های فلزی تقویت شده و بدون تقویت انجام شده است [۸ و ۹ و ۱۰]. تحقیقات دیگری نیز در رابطه با مقایسه ای پاسخ دینامیکی ورق های تقویت شده و بدون تقویت انجام شد که در آن اثر شرایط مرزی در پاسخ دینامیکی بسیار مهم بود [۱۱]. همچنین مطالعاتی در مورد استفاده از جاذب های انرژی در مقاوم سازی صفحات فولادی در مقابل موج انفجار و ضربه انجام شده است [۱۲]. یک پیکره بندی جدیدی از پانل دو لایه با شکل ساختاری چند قوسی ارائه گردید که در آن ظرفیت جذب انرژی و مقاومت در برابر بار انفجاری به روش عددی و با استفاده از نرم افزار اجزای محدود LS-DYNA بررسی گردید [۱۳].

مطالعات محدودی روی استحکام دربرهای آب بند کشتی جهت استحکام در برابر بارهای ضربه ای و موج های انفجار انجام شده است. Hui و Fanchun یک ساختار سه بعدی نسبت صفر پواسون برای دربر کابین ضد انفجار کشتی طراحی کردند و با دربر فوم آلومینیومی با همان کیفیت مقایسه کردند. نتایج نشان می دهد که انرژی کرنش لایه هسته با نسبت پواسون صفر ۵.۶ برابر لایه هسته فوم آلومینیومی است [۱۴].

در این مقاله بر خلاف بسیاری از مقالات که تنها از ورق های با ضخامت بالا استفاده شده است؛ پیکره بندی

برای محاسبه‌ی ممان‌های خمشی و پیچشی از معادلات (۶) استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} M_x &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \vartheta \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ M_y &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \vartheta \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ M_{xy} &= -D (1 - \vartheta) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\vartheta^2)} \end{aligned} \quad (۶)$$

لازم به ذکر است که D سختی خمشی ورق است و در نهایت با قرار دادن معادله‌ی (۵) در معادله‌ی (۶) مؤلفه‌های ممان استخراج می‌شود.

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{16q_0}{\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{(m/a)^2 + \vartheta(n/b)^2}{mn[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \times \\ &\quad \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \\ M_y &= \frac{16q_0}{\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{\vartheta(m/a)^2 + (n/b)^2}{mn[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \times \\ &\quad \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \\ M_{xy} &= -\frac{16q_0(1-\vartheta)}{\pi^4 ab} \sum_m \sum_n \frac{1}{[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \times \\ &\quad \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \end{aligned} \quad (۷)$$

که q_0 بار اعمالی بر روی ورق و a ، b به ترتیب عرض و طول ورق مستطیلی می‌باشد و در نهایت با قرار دادن معادلات (۷) در معادلات (۸) ضخامت ورق محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{12M_x z}{t^3} \\ \sigma_y &= \frac{12M_y z}{t^3} \\ \tau_{xy} &= \frac{12M_{xy} z}{t^3} \end{aligned} \quad (۸)$$

با توجه به اینکه تنش‌های حداکثر در سطوح تحتانی و فوقانی ورق رخ می‌دهد لذا در این رابطه ($z=t/2$) می‌باشد [۱۴].

۲-۲- تقویت ورق با مقاطع تیر استاندارد

پس از استخراج ضخامت مورد نیاز ورق از روابط بالا، جهت سبک‌سازی و ساخت درب مناسب کشتی، از ورق و مقاطع تیر استاندارد می‌شود که در آن ممان اینرسی ورق ضخامت بالا که در مرحله قبل از تئوری ناویر محاسبه گردید با ممان اینرسی ورق با تیر استاندارد معادل سازی می‌گردد.

جدیدی از درب‌های مقاوم به ضربه و انفجار برای کمپارتمان‌های آب بند شناور معرفی شده‌است که از لحاظ وزنی بهینه شده و وزن با کاهش چشم‌گیری روبرو شده‌است.

۲- روش حل

۲-۱- حل تحلیلی برای به‌دست آوردن ضخامت

درب با استفاده از تئوری ناویر

به طور کلی حل مسائل خمش ورق‌های مستطیلی برای بار و خیز، با استفاده از سری‌های فوریه زیر صورت می‌پذیرد:

$$\begin{aligned} P(x, y) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (الف) \\ w(x, y) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (ب) \end{aligned} \quad (۷)$$

این شیوه را ناویر ارائه کرده است [۱۵]. جواب مورد نظر برای خیز باید معادله دیفرانسیل حاکم بر خیز ورق‌ها را با شرایط مرزی متناظر با تکیه گاه ساده (۳) ارضاء کند:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P}{D} \quad (۲)$$

$$\begin{aligned} w = 0 \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (x = 0 \quad x = a) \\ w = 0 \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad (y = 0 \quad y = b) \end{aligned} \quad (۳)$$

که در آن a و b به ترتیب عرض و طول ورق مستطیلی است.

با ضرب عبارت $\sin \frac{m'\pi x}{a} \sin \frac{n'\pi y}{b} dx dy$ در دو طرف معادله‌ی (۱-الف) و با جایگذاری معادله‌ی (۱-ب) در معادله‌ی ۲ به ترتیب ضرایب P_{mn} و a_{mn} سری فوریه محاسبه می‌شوند:

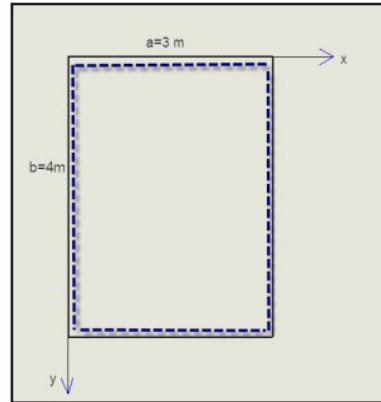
$$\begin{aligned} P_{mn} &= \frac{4}{ab} \int_0^b \int_0^a P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \\ a_{mn} &= \frac{1}{\pi^4 D} \frac{P_{mn}}{[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \end{aligned}$$

با قرار دادن معادلات (۴) در معادله‌ی (۱-ب) و با توجه به اینکه ورق مستطیلی در معرض بار گسترده‌ی یکنواخت $p(x, y) = p_0$ قرار دارد معادله‌ی خیز ورق بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} w = \frac{16p_0}{\pi^6 D} \sum_m \sum_n \frac{\sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)}{mn \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right]^2} \quad (۵) \\ m, n = 1, 3, \dots \end{aligned}$$

۳- نتایج

برای تحلیل مطابق شکل ۲، یک ورق را که شرایط مرزی هر چهار طرف آن به صورت تکیه‌گاه ساده است در نظر می‌گیریم که این درب از جنس فولاد ST-37 می‌باشد، و مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده‌است. جهت اعمال بار به درب، یک بار انفجاری انتخاب شده‌است که ماکزیمم فشار اعمالی به درب 10^6 Pa می‌باشد.



شکل ۲- ابعاد و شرایط مرزی ورق مورد مطالعه

جدول ۱- خواص مکانیکی فولاد ST-37 [۱۶]

ضریب پواسون	مدول کشسانی (GPa)	مقاومت تسلیم (MPa)	مقاومت نهایی (MPa)	چگالی (kg/m^3)	ST-37
۰/۲۷	۲۰۰	۲۵۰	۳۵۰	۷۸۶۰	
۰/۳		۴۸۰			

با توجه به رابطه‌ی (۷) گشتاورهای وارده بر درب به صورت زیر است:

$$M_x = 650 \times 10^3 \text{ N.m}$$

$$M_y = 469 \times 10^3 \text{ N.m} \quad (۹)$$

$$M_{xy} = -317 \times 10^3 \text{ N.m}$$

با توجه به بیشتر بودن گشتاور M_x در معادله (۹) و بر اساس این مقدار گشتاور، طراحی انجام شده و به عنوان ضخامت ورق جهت تحمل بار در طراحی در نظر گرفته می‌شود و مطابق رابطه‌ی (۸) و با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۲، ضخامت ورق در ۱۸۰ mm حاصل می‌گردد. با تعیین شدن ضخامت ورق به محاسبه‌ی تغییرمکان‌ها و تنش‌ها می‌پردازیم. ماکزیمم تغییرمکان در وسط ورق و از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید و با قرار دادن $x = a/2$ و $y = b/2$ برابر 5.28 mm می‌باشد.

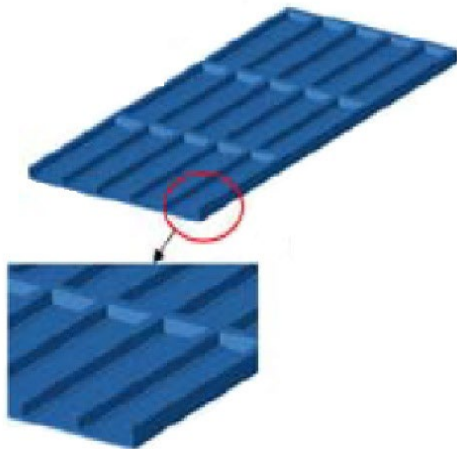
همچنین با استفاده از روابط (۸) ماکزیمم تنش در $(z = t/2)$ به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_x = 120.37 \text{ MPa} \quad \sigma_y = 86.85 \text{ MPa}$$

وزن درب (ورق بدون تقویت) نیز با احتساب چگالی 7860 kg/m^3 برابر 16977 kg می‌شود.

۳-۱- تحلیل درب به صورت تقویت شده

با توجه به این که ضخامت بالایی برای درب به دست آمده‌است؛ لذا ورقی با ضخامت استاندارد انتخاب شده و برای معادل‌سازی ممان اینرسی، از تیرهای I شکل استفاده می‌شود (شکل ۳) به گونه‌ای که ممان اینرسی عرضی سطح ورق انتخاب شده به وسیله‌ی این تیرها معادل‌سازی و جبران گردد. برای این کار می‌توان از یک ورق استاندارد و موجود در بازار استفاده کرد و سپس با استفاده از تیرهای I شکل با اندازه‌های مشخص، به تقویت ورق پرداخت. بدیهی است که می‌توان برای معادل‌سازی ممان اینرسی، از سه پارامتر تغییر ضخامت ورق انتخابی، شماره‌ی تیرها و تعداد تیرها استفاده کرد. در این مقاله از یک ورق ۲۰ میلی‌متر و تیرهای I شکل با شماره‌های ۲۴، ۲۷ و ۳۰ که در جدول ۲ آورده شده‌است؛ استفاده کرده و با جمع کردن ممان اینرسی ورق انتخاب شده و تیرهای I شکل انتخابی و مقایسه با ممان اینرسی ضخامت ورق به دست آمده از تئوری ناوبر بهینه‌ترین حالت انتخاب شده‌است که وزن مینیمم و فاصله‌ی مناسب تیرها را دارد. برای اتصال تیرها به ورق، بعد از مشخص کردن مدل شبکه‌ای مانند نمونه شکل ۳ تیرها به ورق جوش داده می‌شوند.

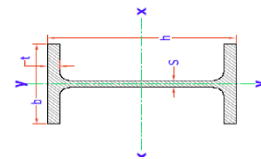


شکل ۳- تقویت ورق با تیر

مطابق نتایج بدست آمده از جدول ۲، با استفاده از تیر I شکل شماره ۳۰ وزن کل درب ۴۳۱۰/۸ kg می شود که تقریباً یک چهارم وزن ورق محاسبه شده از تئوری ناویر می باشد.

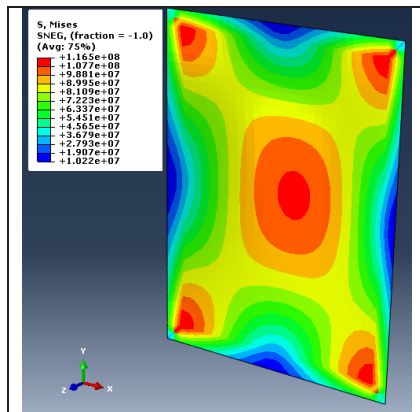
جدول ۲- تعداد و وزن تیرهای محاسبه شده

شماره تیر I شکل	۲۴	۲۷	۳۰
وزن نهایی درب	۴۸۵۸/۲	۴۶۱۷/۵	۴۳۱۰/۸
تعداد تیر در عرض ۳	۲۰	۱۳	۹
تعداد تیر در طول ۴	۲۸	۱۹	۱۳
I	۳۸۹۰	۵۷۹۰	۸۳۶۰
A	۳۹/۱	۴۵/۹	۵۳/۸
b	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰
t	۱۰/۲	۹/۸	۱۰/۷
s	۶/۲	۶/۶	۷/۱
h	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰

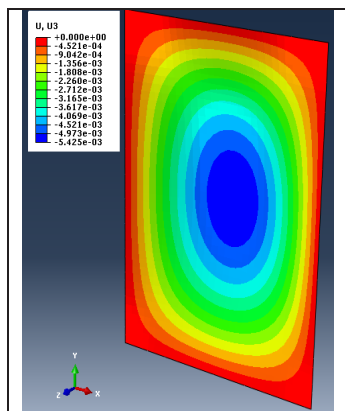


شکل های ۴ تا ۹ خروجی های این نرم افزار می باشد. ابتدا ضخامت ورق به دست آمده از تئوری ناویر را با خروجی نرم افزار آباکوس مقایسه می کنیم. برای این کار یک ورق با عرض ۳ m، طول ۴ m و ضخامت ۱۸ cm را در نرم افزار آباکوس با بارگذاری گسترده ای استاتیکی و با شرایط تکیه گاهی ساده، مدل می کنیم. با تحلیل استاتیکی ورق مذکور، نتایج زیر برای ورق حاصل شد.

بر اساس شکل ۴ نیز ماکزیمم تنش فون میسز در وسط درب و به اندازه ۱۱۶/۵ MPa می باشد و با توجه به اینکه تنش تسلیم برای این فولاد طبق جدول ۲ به اندازه ۲۵۰ MPa است لذا بر اساس تئوری پلاستیسیته و معیار تسلیم فون میسز، اگر تنش معادل فون میسز به اندازه ای تنش تسلیم در کشش ساده برسد جسم در آستانه ای تسلیم قرار می گیرد، بنابراین ورق مورد نظر به حد تسلیم نرسیده است و می تواند بار وارده را تحمل کند.



شکل ۴- مقدار تنش فون میسز وارد بر ورق



شکل ۵- مقدار تغییر مکان ورق در راستای محور Z

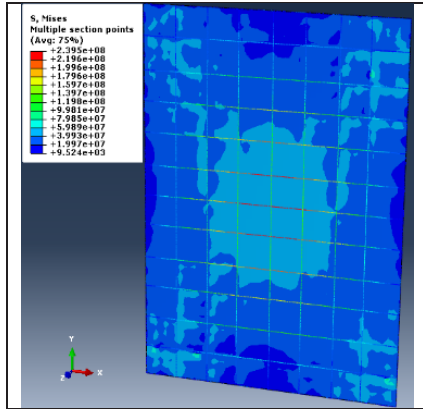
همانطور که انتظار می رفت مطابق شکل ۵ ماکزیمم تغییر مکان در وسط ورق و در راستای محور Z و به مقدار mm 5.42 است که مقدار قابل قبولی نسبت به حل تئوری

۲-۳- بررسی عددی با نرم افزار آباکوس

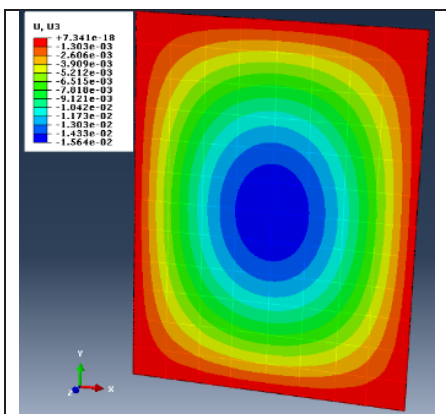
نرم افزار آباکوس یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای شبیه سازی به روش اجزای محدود می باشد و از تحلیل ساده تا پیشرفته را به نحو شایانی انجام می دهد. در این مقاله، برای صحنه سنجی مدل تئوری ارائه شده، از نرم افزار آباکوس استاندارد نسخه 6.14 استفاده شده است. در این مدل سازی ورق و تیر از نوع shell و wire بوده است و از باقید Tie به یکدیگر متصل شده است. جدول ۳ تنظیمات بکار رفته در نرم افزار آباکوس را نشان می دهد.

جدول ۳- تنظیمات بکار رفته در نرم افزار آباکوس

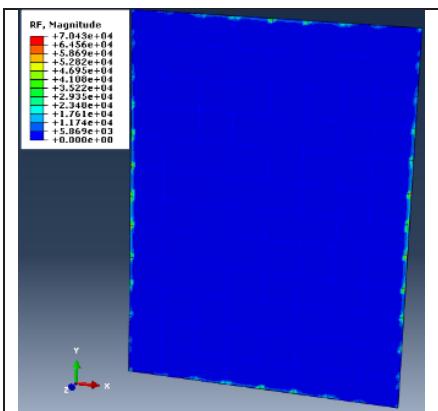
Parameter	Method/Title	Description
Abaqus analysis	Static, General procedure	Max. increment: 100
Geometry model	shell- Deformable	For plate model
	wire- Deformable	For beam model
Mesh	Quad- Structure	For plate model
	Seed edge	For plate model



شکل ۷- مقدار تنش فون میسز وارد بر درب تقویت شده



شکل ۸- مقدار تغییر مکان درب تقویت شده در راستای محور Z

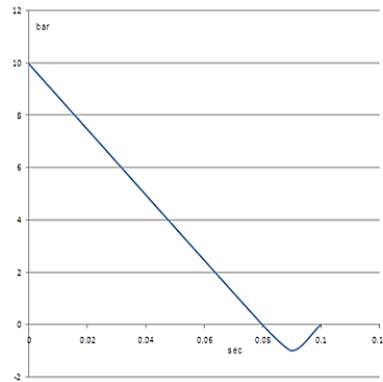


شکل ۹- مقدار نیروی عکس‌العمل تکیه‌گاهی درب تقویت شده

با توجه به نتایج حاصل از حل تئوری بر مبنای معادلات ناویر و حل عددی نرم‌افزار آباکوس برای ورق ضخیم با ضخامت ۱۸ cm، مقادیر تنش‌های اصلی در راستای محور x به ترتیب، مقدار 120.37 MPa و 123.6 MPa و در راستای محور y به ترتیب، 86.85 MPa و 85.63 MPa می‌باشد که اختلاف مقادیر حل عددی نسبت به تئوری به ترتیب برابر با ۲.۴۳ درصد و ۱.۴ درصد می‌باشند. همچنین ماکزیمم تغییر مکان به دست آمده از حل تئوری و عددی به ترتیب برابر 5.28 mm و 5.42 mm است که دارای

می‌باشد. بنابراین تئوری حاضر برای به دست آوردن ضخامت ورق مقاوم در برابر انفجار، مناسب می‌باشد.

حال مطابق مطالب گفته شده درباره‌ی تقویت درب در قسمت ۲-۳، درب مورد نظر را که از تیر I شکل شماره‌ی ۳۰ و یک ورق با ابعاد ۳ m عرض، ۴ m طول و ۲ cm ضخامت ساخته شده‌است؛ در نرم افزار آباکوس با بارگذاری فرضی انفجاری طبق نمودار شکل ۷، مدل و تحلیل می‌کنیم. نتایج حاصل نشان می‌دهد که طراحی درب صحیح و قابل استفاده می‌باشد.



شکل ۶- نمودار بار دینامیکی فرضی حاصل از انفجار وارد بر درب

شکل ۷ مقدار تنش فون میسز، شکل ۸ مقدار تغییر مکان در راستای محور Z و شکل ۹ نیروی عکس‌العمل تکیه‌گاهی درب تقویت شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حداکثر تغییر مکان در مرکز درب ۱.۵۶ MPa است و ماکزیمم تنش فون میسز حاصل ۲۳۹.۵ و در محل اتصال تیرها به ورق، در وسط درب می‌باشد و به حد تنش تسلیم نیز نرسیده است؛ بنابراین درب در برابر بار وارده مقاومت می‌کند. می‌توان با تغییر چیدمان تیرها و تمرکز آنها در وسط درب، ماکزیمم تغییر مکان و تنش را باز هم به حداقل رساند.

همان‌طور که از شکل ۶ مشاهده می‌شود بارگذاری انفجاری دارای مقداری مکش بعد از انفجار می‌باشد یعنی هنگامی که بار انفجاری در زمان $t = 0.08 \text{ s}$ به مقدار صفر می‌رسد بارگذاری پلیمان نمی‌پذیرد و همچنان تا زمان $t = 0.09 \text{ s}$ که جهت بارگذاری عوض شده ادامه دارد و به مقدار -1 bar می‌رسد و در نهایت، بارگذاری در زمان $t = 0.1 \text{ s}$ پایان می‌پذیرد و به مقدار صفر می‌رسد.

خطای ۲.۵۸ درصدی است. با توجه به مقایسه نتایج به دست آمده از حل عددی نسبت به تئوری، بر نتایج حل عددی صحت گذاری شد.

نتایج عددی حاصل از درب تقویت شده نیز بیانگر صحت مدل ارائه شده برای تقویت ورق (معادل کردن ممان اینرسی)، می باشد. همان طور که مشاهده می شود بیشترین تغییر مکان درب بعد از انفجار ۱.۵۶ cm می باشد و این مقدار با توجه به تنش های اصلی ۵۶.۸۳ MPa و ۴۱.۵۶ MPa در راستای محورهای x و y و تنش فون میسز ۲۳۹.۵، نشان می دهد تعداد ۲۲ تیری که از حل تئوری به دست آمد برای مقاومت درب کافی می باشد و درب در برابر انفجار مقاومت می کند و از مرز تسلیم نیز فاصله دارد. ماکزیمم نیروی عکس العمل تکیه گاهی درب ۷۰.۴۳ kN می باشد که نشان می دهد طراحی تکیه گاه در این درب های از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۴- نتیجه گیری

این بخش شامل ارائه ی نتایج تحقیق و مباحث مربوط به آنها می باشد. با توجه به مطالب گفته شده در قسمت های قبل، برای طراحی یک درب ضد انفجار آب بند در کشتی، ابتدا باید ضخامت ورق مقاوم در برابر انفجار را به دست آورد و سپس با انتخاب یک ورق استاندارد و موجود در بازار و با تیرهای استاندارد به تقویت ورق پرداخت.

با توجه به سه نوع تیری که در این مقاله بررسی شد این نتیجه حاصل شد که با افزایش ممان اینرسی و پهنای تیر برای تحمل بار حاصل از انفجار با کاهش وزن درب روبرو می شویم که در نتیجه از تیر با شماره ی بالاتری جهت طراحی درب استفاده شد. همچنین مشاهده شد که بیشترین جابجایی در مرکز درب اتفاق می افتد لذا تقویت این ناحیه در طراحی بسیار مهم است. همان طور که از شکل ۷ مشاهده می شود ماکزیمم تنش در محل اتصال تیرها به ورق اتفاق افتاده است بنابراین تقویت اتصالات در این سازه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله با توجه به رویکرد ارائه ی مدل جدید برای طراحی درب های ضد انفجار، صرفا به طراحی درب پرداخته شده است و فقط از تیر I شکل استفاده شده است؛ بنابراین پیشنهاد می شود طراحی درب های ضد انفجار کشتی با انواع مختلف تیرها نیز مورد بررسی واقع شود. همچنین در این مقاله مقاومت تکیه گاه های این گونه درب ها مورد بررسی قرار نگرفته است

به طوری که در برخی از انفجارها درب به همراه چارچوب آن از محل نصب جدا می شود، بنابراین پیشنهاد می شود که در پژوهش های آتی تکیه گاه درب های آب بند مورد بررسی قرار گیرد.

۸- فهرست علائم

D	سختی خمشی
M	ممان خمشی و پیچشی
P	بار گسترده
t	ضخامت ورق
W	خیز ورق
σ	تنش عمودی
τ	تنش برشی

مراجع

- [1]. LR. July 2016, Rules and Regulation for the Classification of Ships, Part 5 Main and Auxiliary engine.
- [2]. Koh, C.; Ang, K.; Chan, P. "Dynamic analysis of shell structures with application to blast resistant doors"; J. Shock and Vibration 2003.10.269-279
- [3]. Goel, M.D.; Matsagar Vasant, A.; Gupta, A.K. "Dynamic response of stiffened plates under air blast"; J. Protective Structures 2011.2.139-156
- [4]. Hao, H. "Preliminary study of the structure and support forms to mitigate blast and impact loading effects"; In Pros. 21st Australian conference on the mechanics of structures and Materials Melbourne, Australia; 2010.
- [5]. Chen, L.; Fang, Q.; Zhang, Y.; Fan, J. "Numerical and Experimental Investigations on the blast-resistant properties of arched RC blast doors"; J. Protective Structures 2010.1.425-441
- [6]. Hsieh, M.W.; Hung J.P.; Chen D.J. "Investigation on the Blast Structure"; J. Marine Science and Technology, 2008.16.149-157
- [7]. Zhu, F.; Lu, G.; Ruan, D.; Wang, Z. "Plastic deformation, failure and energy absorption of sandwich structures with metallic cellular cores"; J. Protective Structures 2010.1.507-541
- [8]. Nurick, G.N.; Olson, M.D.; Fagnan, J.R. "Deformation and tearing of blast loaded stiffened square plates"; J. Impact Engineering, 1995.16. 273-291
- [9]. Nurick, G.N.; Shave, G.C. "The deformation and tearing of thin square plates

- [13]. Wensu, C.; Hong, H. "Numerical study of a new multi-arch double-layered blast-resistance door panel", J. Impact Engineering 2012.43.6-28
- [14]. Chen H, Li F. Design of quadrilateral zero-Poisson's ratio metamaterial and its application in ship explosion-proof hatch door. Ocean Engineering. 2022 Dec 15; 266: 112667.
- [15]. Ugural, A.C. "Stresses in Plates and Shells"; Technology & Engineering, McGraw Hill.1981
- [16]. Beer, F.; Johnston, R.; Dewolf, J. "Mechanics of Materials"; McGraw Hill.1981
- subjected to impulsive loads-an experimental study"; J. Impact Engineering, 1996.18.99-116
- [10]. Rudrapatna, N.S.; Vaziri, R.; Olson, M.D. "Deformation and failure of blast-loaded stiffened plate"; J. Impact Engineering, 2000.24. 457-474
- [11]. Louca, L.A.; Pan, Y.G.; Harding, J.E. "Response of stiffened and unstiffened plates subjected to blast loading"; j Engineering Structure, 1998.20.1079-1086
- [12]. Saeid monir, H.; Naser, A.; Ahmadi, H.; Vahedi, J. "Retrofitting steel plates behavior of energy absorbing against blast wave and Impact", In Proc. of the International Conference Civil Engineering 2009. (In Persian)

