

بررسی تاثیر ایجاد پوشش لاستیکی بر رفتار دینامیکی ورق های فلزی در برابر موج شوک ناشی از انفجار زیر آب

ابوبکر قره باش^۱، عبدالرضا کبیری^۲، مهدی دادخواه^۳، علی رهروی^۴، محمد خراشاد^۵

^۱کارشناس ارشد مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ abobakr16@gmail.com

^۲عضو هیئت علمی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ abdulrezakabiri@yahoo.com

^۳عضو هیئت علمی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ m.dadkhah@gmail.com

^۴دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ ali_rahrovi@istu.ac.ir

^۵کارشناسی ارشد مهندسی دریا، گروه تحقیقاتی بنوموسی؛ Khorashad@banumusagr.com

چکیده

محافظت سازه های نظامی در برابر تهدیدات ناشی از انفجار زیر آب از نگرانی های مهم طراحان این سازه ها می باشد. بررسی پاسخ دینامیکی یک سازه مغروق در معرض انفجار زیر آب، به دلیل اندرکنش بین سازه و سیال بسیار پیچیده می باشد. در گذشته تحقیقات گسترده ای در زمینه موج شوک ناشی از انفجار زیر آب به منظور بررسی آسیب های ناشی از نیروهای ضربه ای در شناورها انجام شده است. در این تحقیق تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی بر روی سازه به منظور کاهش آسیب ناشی از انفجار زیر آب مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور صحت سنجی نتایج حاصل از شبیه سازی عددی به کمک نرم افزار ABAQUS، ابتدا رفتار ورق فلزی در برابر موج شوک شبیه سازی شده و نتایج آن با نتایج یک آزمایش تجربی مقایسه شده است. پس از صحت سنجی نتایج ورق فلزی، پوشش لاستیکی با ضخامت های مختلف روی ورق فلزی اعمال شده و تأثیر ایجاد این پوشش در رفتار ورق بررسی شده است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان مشاهده نمود که ایجاد پوشش لاستیکی می تواند در کاهش صدمات ناشی از انفجار زیر آب موثر باشد.

کلمات کلیدی: انفجار زیر آب، موج شوک، پوشش لاستیکی، الاستومر، ABAQUS

مقدمه

انفجار زیر آب^۱ و اثرات آن بر سازه های ثابت، غوطه ور و شناور در محدوده آن یکی از مسائل بسیار مهم، مؤثر و استراتژیک در حیطه تحقیقات نظامی و علوم مهندسی می باشد که از زمان جنگ جهانی دوم تاکنون مورد توجه محققان و مهندسان حوزه علوم نظامی قرار داشته و با توجه به میزان تأثیرگذاری انفجارهای زیر آب در جنگ های دریایی و تخریب شناورهای دشمن، این مقوله بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. این مسئله را می توان نوعی اندرکنش بین سازه و سیال^۲ در نظر گرفت که دارای کاربردهای متنوعی مانند شکل دهی انفجاری صفحات فلزی، عملیات نظامی مخرب، تأثیر انفجار بر تأسیسات دریایی و بندری از قبیل سکوه های نفتی، سازه های نظامی از قبیل کشتی ها و زیردریایی ها و خطوط کابل کشی مخابرات و لوله کشی و تأسیسات نفتی زیر دریا می باشد. تقریباً تمام انواع کشتی ها و زیردریایی های نظامی ممکن است در معرض انفجارهای زیر آب قرار گیرند و اثرات مخرب آن را متحمل شوند. به عنوان مثال انفجار می تواند در اثر مهمات داخلی یک شناور رزمی دریایی مانند اژدر و مین باشد، اما مورد مهم تر و حساس تر که باید روی آن تمرکز نمود انفجار ناشی از مهمات شناورهای دشمن در نزدیکی شناور خودی می باشد که باید اثرات آن مورد بررسی قرار گیرد. اثرات انفجار زیر آب روی هر سازه به یک شکل نبوده و نه تنها به نزدیکی و شدت انفجار، بلکه به شکل آن سازه نیز بستگی دارد. برای مثال در مقایسه با انفجار تماسی (انفجاری که در آن ماده منفجره به سازه هدف اصابت می کند)، مقدار نسبتاً کمی شارژ انفجاری برای سوراخ کردن یک مخزن تک پوسته ای در مقایسه با انفجار غیر تماسی (انفجاری که در آن ماده منفجره بافاصله از سازه هدف منفجر می شود) کافی است. در انفجار زیر آب موج شوک^۳ اولیه نسبت به ضربات حباب گاز، نقش مهم تری در شدت انفجار و تخریب دارد. از آنجاکه دوره زمانی موج شوک اولیه و حباب گاز متفاوت می باشد، به صورت جداگانه نیز می توان آن ها را مدل کرد. چراکه یک فاصله چند ده میلی ثانیه ای بین رسیدن موج شوک اولیه و ضربات حباب گاز وجود دارد. به جهت پیچیدگی انفجار زیر آب، مطالعه دقیق تئوری این پدیده مشکل بوده، لذا در این زمینه مدل سازی های عددی و بعضاً آزمایش های تجربی به روش های اصلی تحقیق در این زمینه تبدیل شده اند.

مهم‌ترین و معتبرترین مرجع در مورد انفجار زیر آب کتاب " انفجارهای زیر آب " متعلق به سال ۱۹۴۸ میلادی می‌باشد که بر اساس نتایج تحقیقات، آزمایش‌های تجربی و بررسی‌های علمی گروه‌های مختلف می‌باشد که در خلال سال‌های ۱۹۴۱ تا ۱۹۴۶ صورت پذیرفته و توسط رابرت اچ کول جمع‌آوری و تألیف گردیده است [۱]. این کتاب مشتمل بر ۱۰ فصل مجزا بوده که در آن سعی شده است که در خصوص تئوری، فیزیک پدیده و روابط انفجار زیر آب و تأثیر آن بر سازه‌های در معرض انفجار بحث گردیده و نتایج تجربی به دست آمده در این زمینه در بخش‌های مختلف آورده شده است. جان کی برگرسن [۲] در سال ۱۹۹۲، تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی^۱ بر روی پوسته استوانه‌ای را مورد بررسی قرار داده است. او در نتایج خود اشاره کرده است که افزایش در مدول و ضخامت پوشش لاستیکی باعث بهتر شدن رفتار پوسته فلزی در برابر انفجار زیر آب می‌شود. راماجیاتیلگام و همکارانش [۳] در سال ۲۰۰۰ پاسخ دینامیکی گذرای ورق‌های فلزی را در برابر موج شوک ناشی از انفجار زیر آب به صورت تجربی و عددی بررسی کرده‌اند. آن‌ها آزمایش تجربی خود را در یک تانک آب انجام داده و نتایج خود را به صورت تغییر شکل مرکز ورق‌های فلزی ارائه کرده‌اند. یانگ چن و همکارانش [۴] در سال ۲۰۰۹ به صورت تجربی تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی ساندویچی با هسته لانه‌زنبوری بر روی یک سازه کشتی مقیاس شده را در یک دریاچه بررسی کرده‌اند. چول-هونگ کیم^۵ [۵] در سال ۲۰۱۳ تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی را بر رفتار دینامیکی ورق فلزی در برابر موج شوک ناشی از انفجار زیر آب مورد بررسی قرار داده است. یونگ چن^۳ و همکارانش [۶] در سال ۲۰۱۳ به بررسی تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی از جنس نئوپرن^۴ بر رفتار دینامیکی پوسته‌های فلزی در برابر انفجار زیر آب به صورت تجربی پرداخته‌اند.

انفجار زیر آب

یک انفجار می‌تواند در محیط هوا یا آب اتفاق بیافتد. پدیده انفجار یک واکنش شیمیایی در یک ماده می‌باشد که ماده اصلی آن را به گاز با فشار و دمای بسیار بالا تغییر می‌دهد. به خاطر ویژگی‌های دینامیکی آب، مطالعه علم انفجار زیر آب را می‌توان بخشی از علم هیدرودینامیک در نظر گرفت.

اولین مرحله در بررسی و مطالعه این پدیده بر اساس روابط هیدرودینامیکی، بررسی قوانین پایه مکانیکی بر پایه روابط ریاضی می‌باشد. اولین فرض این است که سیال ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود. این فرض بیان می‌کند که از تنش‌های ویسکوز^۵ و تأثیرات انتقال حرارت، می‌توان صرف نظر کرد. دومین فرض این می‌باشد که در فشار، سرعت سیال و انرژی درونی، ناپیوستگی وجود ندارد. معادلات (۱)، (۲)، (۳) و (۴) معادلات اساسی در انفجار زیر آب می‌باشند [۷].

الف) بقاء جرم

$$\partial p / \partial t + \rho \text{Div}(V) = 0 \quad (1)$$

ب) بقاء مومنوم

$$\rho \, dv/dt = \text{Grad}(p) \quad (2)$$

که گرادیان به صورت زیر می‌باشد:

$$\partial / \partial x_i + \partial / \partial y_j + \partial / \partial z_k \quad (3)$$

ج) بقاء انرژی

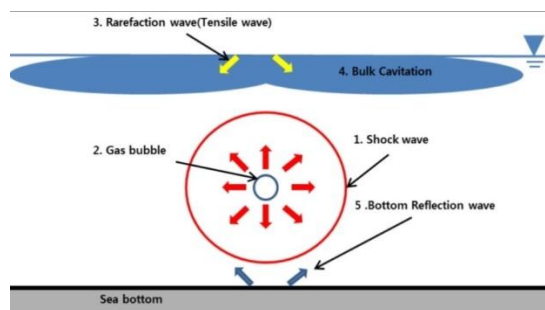
$$\rho \, dE/dt = p/\rho \, d\rho/dt \quad (4)$$

که در آن P فشار سیال، E انرژی درونی بر واحد جرم سیال و ρ چگالی سیال می‌باشند. د) و رابطه‌ی فشار-چگالی که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{\frac{p}{\rho^2} - \frac{\sigma E}{\sigma \rho}}{\left(\frac{\sigma E}{\sigma p}\right)} \quad (5)$$

Rubber coating
C. H. Kim
Y. Chen
neoprene
Viscose stress

به دلیل تراکم‌پذیری آب، نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که، وقتی فشار به یک نقطه از مایع وارد می‌شود به‌صورت موج اغتشاشی و با سرعت محدود به نقاط دیگر سیال منتشر می‌شود. این موج اغتشاشی باعث حرکت محلی سیال شده و باعث تغییر در فشار می‌شود. اگر یک ماده منفجره مثل TNT، HBX-1، یا RDX، زیر آب منفجر شود، تعدادی پدیده در محیط سیال اتفاق می‌افتد که قابل مشاهده است. این پدیده‌ها عبارت‌اند از موج شوک، حباب گاز، کاویتاسیون و... که در شکل ۱: نشان داده شده‌اند.



شکل ۱: پدیده‌های مختلف ایجادشده در اثر انفجار زیر آب [۷]

انتشار موج شوک

در طول یک انفجار زیر آب، ماده منفجره به‌سرعت انرژی انفجار را به گاز بسیار داغ با دمای در حدود 3000°C تبدیل می‌کند و موجب شوک با فشار در حدود 5 GPa ایجاد می‌شود. این موج شوک به‌صورت کروی در درون محیط سیال انتشار می‌یابد [۷]. امواج شوک به دلیل تبدیل شدن ماده منفجره ناپایدار به مواد پایدار جامد و گاز، با رها کردن گرمای بالا و انرژی زیاد، بسیار آبی و سریع انتشار می‌یابند و مدت‌زمان آن در حدود 10^{-5} تا 10^{-3} ثانیه می‌باشد. انرژی ماده منفجره تابعی از وزن ماده و فاصله آن از هدف می‌باشد. فشار در یک محل به‌صورت آبی افزایش می‌یابد و با یک تابع نمایی به‌صورت زیر (معادله (۶)، (۷) و (۸)) تقریب زده می‌شود [۷]:

$$P(t) = p_{max} e^{-\frac{t-t_1}{\theta}} \quad (t \geq t_1) \quad (6)$$

$$p_{max} = k_1 \left(\frac{w^{1/3}}{R} \right)^{A_1}, \quad (psi) \quad (7)$$

$$\theta = k_2 w^{1/3} \left(\frac{w^{1/3}}{R} \right)^{A_2}, \quad (ms) \quad (8)$$

که در معادلات بالا w وزن ماده منفجره، R فاصله از ماده منفجره، k_1, k_2, A_1, A_2 مؤلفه‌های موج شوک ناشی از انفجار می‌باشند. سرعت ذره آب را می‌توان به‌صورت معادله زیر بیان کرد که $p(t)$ فشار متغیر با زمان موج شوک می‌باشد، ρ چگالی سیال و c سرعت صوت در آب می‌باشد:

$$u(t) = \frac{p(t)}{\rho c} + \frac{1}{\rho R} \int_0^t p(t) dt \quad (9)$$

ترم اول در معادله بالا سرعت موج صفحه‌ای را بیان می‌کند. ترم دوم مربوط به جریان پسا می‌باشد. با توجه به معادله، اگر R خیلی بزرگ باشد جریان پسا قابل چشم‌پوشی می‌باشد. معادلات (۱۰) و (۱۱)، به ترتیب ضربه بر واحد سطح و انرژی بر واحد حجم را نشان می‌دهند. معادلات (۱۰) و (۱۱) تابعی از وزن (kg) و شعاع (m) می‌باشند. ضرایب k_3, k_4, A_3, A_4 مؤلفه‌های تجربی وابسته به جنس ماده منفجره می‌باشند.

$$I = \int_0^t p(t) dt = k_3 w^{1/3} \left(\frac{w^{1/3}}{R} \right)^{A_3} \quad (10)$$

$$E = \int_0^t \rho u dt = k_4 w^{1/3} \left(\frac{w^{1/3}}{R} \right)^{A_4} = \frac{w}{R^2} \quad (11)$$

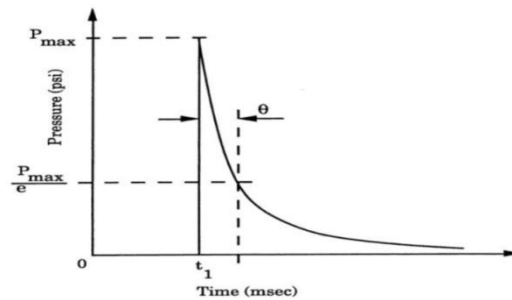
انرژی کل برای فاصله مشخص از ماده منفجره به‌صورت زیر (معادله (۱۲)) می‌باشد:

$$E_S = 4\pi R^2 E = 4\pi k_4 w \left(\frac{w^{\frac{1}{3}}}{R}\right)^{A_4-2} \quad (12)$$

مقدار A_4 بسیار نزدیک به ۲ می‌باشد، بنابراین تأثیر $\left(\frac{w^{\frac{1}{3}}}{R}\right)$ در معادله (۱۲) قابل چشم‌پوشی می‌باشد. انرژی کل E_S در معادله (۱۲) به صورت زیر (معادله (۱۳)) تقریب زده می‌شود:

$$E_S = w c_1 \quad \text{و} \quad c_1 = 4\pi K_4 \quad (13)$$

که c_1 انرژی شوک بر واحد جرم ماده منفجره می‌باشد. شکل ۲ نمودار فشار بر حسب زمان را برای یک موج شوک نشان می‌دهد.

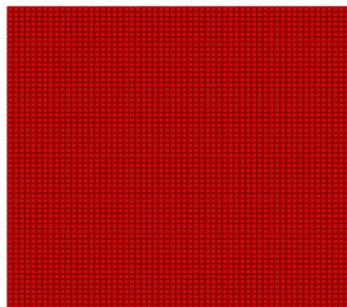


شکل ۲: نمودار متغیر با زمان برای موج شوک [۱]

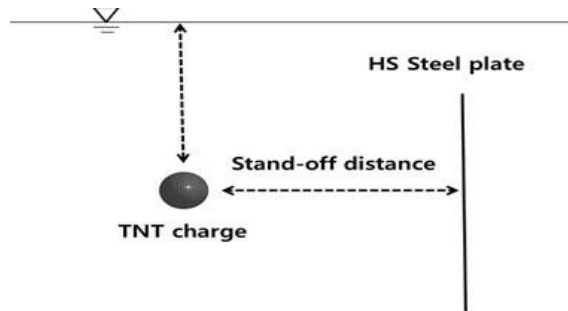


شکل ۳: شرایط مرزی ایجاد شده در ورق فلزی [۲]

با توجه به شکل ۳ مشخص است که شرایط مرزی ورق به گونه‌ای ایجاد شده که پشت ورق در تماس با هوا باشد. ابعاد سطحی از ورق که در تماس با سیال می‌باشد برابر با $0.3 \times 0.25 \text{ m}^2$ و ضخامت آن 4 mm می‌باشد. برای مدل‌سازی ورق از المان‌های پوسته S4R استفاده شده است. مدل المان محدود ورق فلزی در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین شماتیک نحوه قرارگیری ورق فلزی و ماده منفجره در زیر آب در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴: مدل المان محدود ورق فلزی



شکل ۵: نحوه قرارگیری ورق فلزی و ماده منفجره در زیر آب

ورق از جنس فولاد HS می باشد که قابلیت تغییر شکل الاستیک و پلاستیک را دارا می باشد. وقتی ماده متحمل بارهای دینامیکی آنی و لحظه ای می شود، تأثیر نرخ کرنش ماده باعث افزایش استحکام دینامیکی آن نسبت به استحکام آن در حالت استاتیکی می گردد. بنابراین، برای در نظر گرفتن شرایط واقعی لازم است که نرخ کرنش ماده نیز لحاظ شود. از مدل کوپر-سایموند^۱ برای در نظر گرفتن نرخ کرنش ورق فلزی استفاده شده است که معادله آن به صورت زیر (معادله (۱۴)) می باشد:

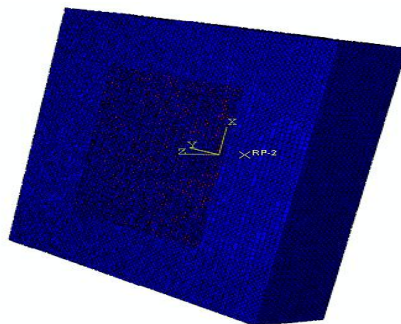
$$\sigma_{dy} = \sigma_y \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{D} \right)^{1/p} \right] \quad (14)$$

σ_y ، σ_{dy} و ϵ به ترتیب تنش تسلیم، تنش دینامیکی و کرنش ماده می باشد و D و p پارامترهای نرخ کرنش وابسته به جنس ماده می باشند. مشخصات جنس ورق فلزی به کار گرفته شده در شبیه سازی در جدول ۱ بیان شده است [۳].

جدول ۱: مشخصات ورق فلزی مورد استفاده در شبیه سازی [۳]

۷۸۰۰	چگالی (kg/m^3)
۲۱۰	مدول الاستیسیته (Gpa)
۰/۳	ضریب پواسون
۴۰۰	تنش تسلیم (Mpa)
۴۰	پارامتر نرخ کرنش (D)
۵	پارامتر نرخ کرنش (p)

مدل المان محدود ورق فلزی در تمام لبه های آن گیردار شده است. از المان های آکوستیکی AC3D4 برای مدل سازی و مش بندی محیط سیال و از المان های پوسته S4R برای مش بندی ورق فلزی استفاده شده است. در شکل ۶ مدل المان محدود محیط سیال نشان داده شده است.



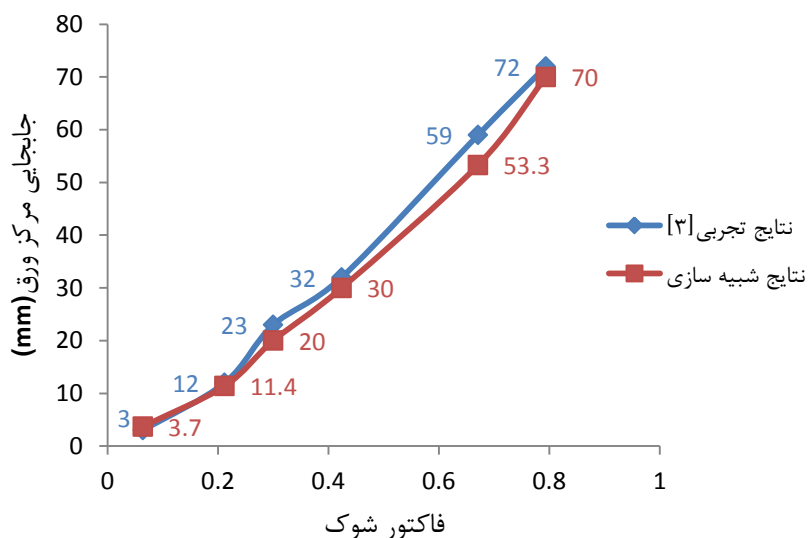
شکل ۶: مدل المان محدود محیط سیال

در جدول ۲ نتایج به دست آمده از شبیه سازی انفجار زیر آب به کمک نرم افزار ABAQUS و نتایج تجربی ارائه شده است.

جدول ۲: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی به کمک نرم افزار ABAQUS

شماره تست	فاکتور شوک	تغییر شکل پایدار مرکز ورق (mm) (تجربی)	حالت ورق (تجربی)	تغییر شکل دائمی مرکز ورق (mm) (شبیه سازی)	حالت ورق (شبیه سازی)
۱	۰/۰۱۶	-	الاستیک	-	الاستیک
۲	۰/۰۱۸	-	الاستیک	-	الاستیک
۳	۰/۰۲۶	-	الاستیک	-	الاستیک
۴	۰/۰۳۲	-	الاستیک	-	الاستیک
۵	۰/۰۴۲	-	الاستیک	-	الاستیک
۶	۰/۰۶۴	۳	پلاستیک	۳/۷	پلاستیک
۷	۰/۲۱۲	۱۲	پلاستیک	۱۱/۴	پلاستیک
۸	۰/۳	۲۳	پلاستیک	۲۰	پلاستیک
۹	۰/۴۲۴	۳۲	پلاستیک	۳۰	پلاستیک
۱۰	۰/۶۷۱	۵۹	پلاستیک	۵۳/۳	پلاستیک
۱۱	۰/۷۹۴	۷۲	پلاستیک	۷۰	پلاستیک

در شکل ۷ نتایج حاصل از تحلیل عددی با نتایج تجربی به صورت نموداری مورد مقایسه قرار گرفته است و نتایج تحلیل مطابقت خوبی با نتایج تجربی دارد.

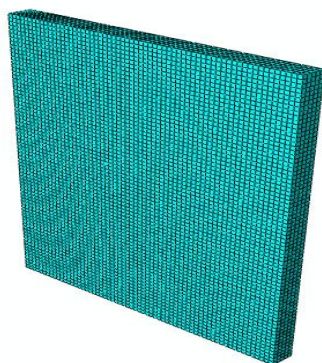


شکل ۷: مقایسه نتایج تجربی و نتایج شبیه سازی

تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی

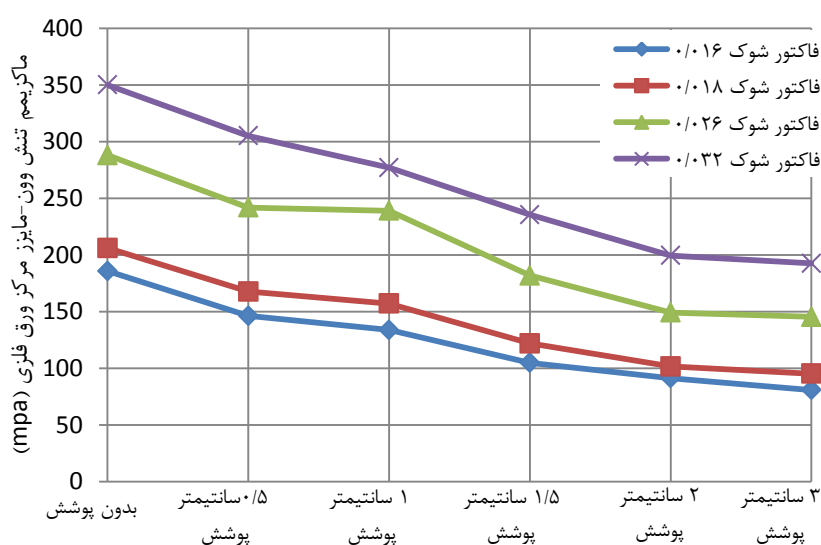
الاستومرها و مواد شبه لاستیک به دلیل مدول پایین، مشخصات دمپینگ بالا و قابلیت کشیدگی زیاد اغلب برای کاهش خسارات ناشی از نیروهای ضربه ای و برخوردی مورد استفاده قرار می گیرند [۵]. یکی از مسائل مهمی که در مدل سازی این مواد در نرم افزارهای شبیه سازی وجود دارد این است که کدامیک از مدل های مکانیکی، رفتار لاستیک مورد نظر را بهتر شبیه سازی می کند. به منظور بررسی این مسئله یکی از قابلیت های نرم افزار ABAQUS این می باشد که با داشتن رفتار تنش- کرنش حاصل از نتایج تست کشش تک محوره، کشش دوم محوره و تست کشش صفحه ای ماده مورد نظر می توان مناسب ترین مدل مکانیکی برای شبیه سازی آن را یافت. لاستیک مورد استفاده در این تحقیق یک نوع لاستیک طبیعی (NR) می باشد که نتایج حاصل از تست کشش تک محوره آن برای مدل کردن رفتار هایپرالاستیک و نتایج تست relaxation آن برای شبیه سازی رفتار ویسکوالاستیک در دسترس می باشد. پس از وارد کردن نتایج تست کشش تک محوره در نرم افزار آباکوس و ارزیابی نمودارهای حاصل از آن برای مدل های مکانیکی مختلف مشخص شد که مدل reduced polynomial مرتبه ۲ رفتار هایپرالاستیک ماده مورد نظر را به خوبی شبیه سازی

می‌کند. برای شبیه‌سازی رفتار ویسکوالاستیک لاستیک موردنظر نیز از نتایج تست relaxation test data موجود برای محاسبه ضرایب پرونی^۱ ماده استفاده شده است. در شکل ۸ مدل المان محدود ماده لاستیکی شبیه‌سازی شده به کمک نرم‌افزار ABAQUS نشان داده شده است. از المان‌های C3D8R برای مش بندی استفاده شده است.



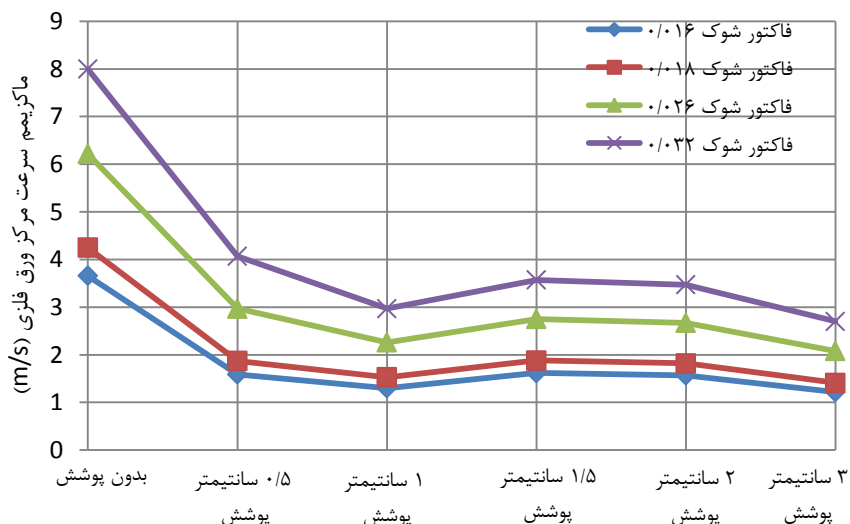
شکل ۸: مدل المان محدود پوشش لاستیکی

محل ایجاد پوشش لاستیکی بر روی سطحی از ورق فلزی می‌باشد که در برابر موج شوک ناشی از انفجار زیر آب قرار دارد. تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی در دو حالت الاستیک و پلاستیک ورق فلزی بررسی شده است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ نتایج تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی وقتی که ورق در حالت الاستیک خود قرار دارد نشان داده شده است.



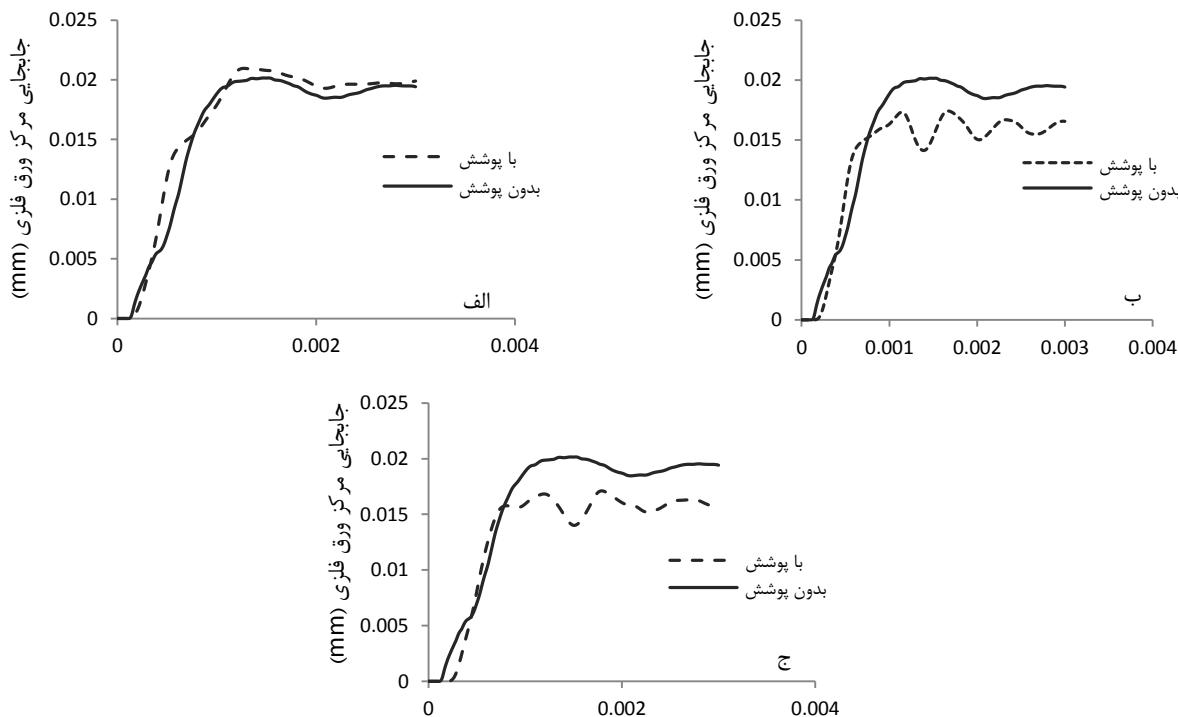
شکل ۹: تأثیر افزایش ضخامت پوشش لاستیکی بر کاهش ماکزیمم تنش وون-مایز مرکز ورق فلزی

در شکل ۹ تأثیر افزایش ضخامت پوشش لاستیکی بر رفتار ورق فلزی نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل بالا، در هر فاکتور شوک، با افزایش ضخامت پوشش لاستیکی از تنش وون-مایز مرکز ورق فلزی کاسته می‌شود. در فاکتور شوک ۰/۳۲، ایجاد ۰/۵ سانتی‌متر پوشش باعث کاهش ۱۲/۸۳ درصد در تنش در مرکز ورق فلزی می‌شود. در حالی که، با افزایش ضخامت پوشش لاستیکی تا ۳ سانتی‌متر، ماکزیمم تنش وون-مایز مرکز ورق فلزی ۴۴/۹۸ درصد و در حالت فاکتور شوک ۰/۳۲، نسبت به حالت بدون پوشش کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان با افزایش ضخامت پوشش لاستیکی، بیشینه تنش ایجاد شده در سازه را به مقدار قابل توجهی کاهش داد. در شکل ۱۰ نیز، تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی بر ماکزیمم سرعت مرکز ورق فلزی نشان داده شده است.



شکل ۱۰: تأثیر افزایش ضخامت پوشش لاستیکی بر ماکزیمم سرعت مرکز ورق فلزی

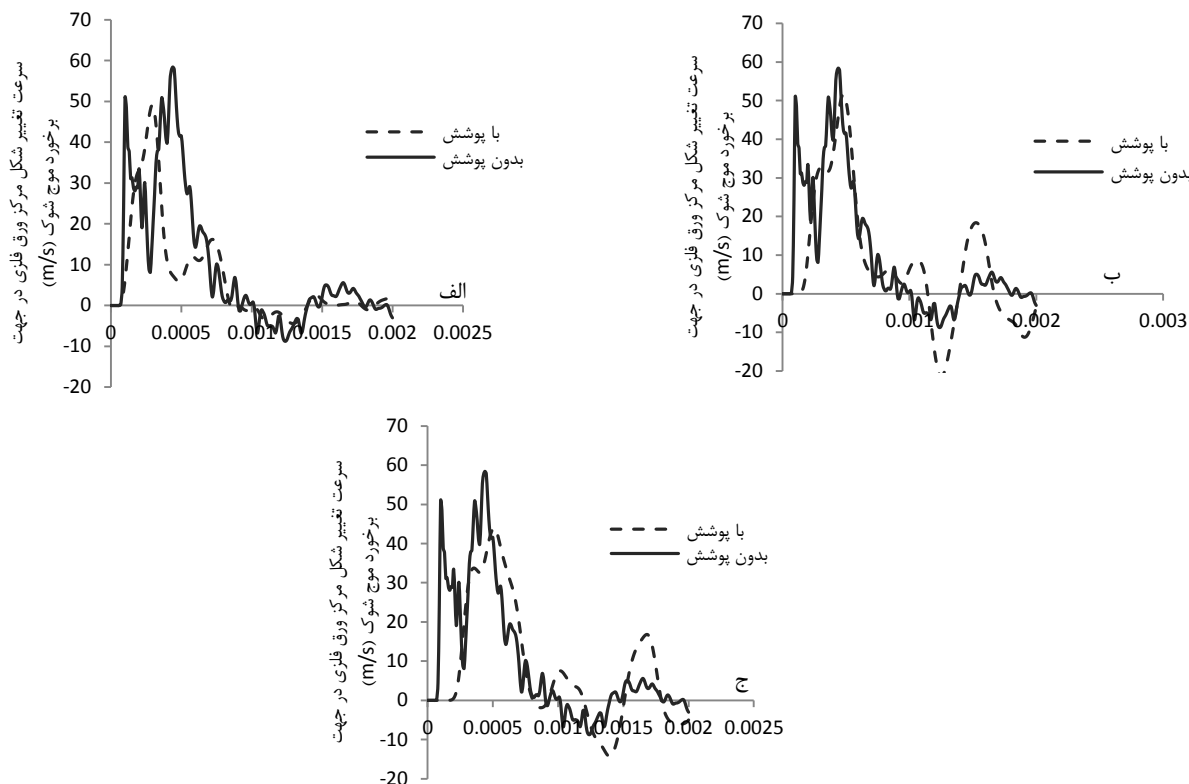
با توجه به شکل ۱۰ با افزایش ضخامت پوشش تا ۱ سانتی‌متر، در فاکتور شوک ۰/۰۳۲، در حدود ۶۲/۸۷ درصد از ماکزیمم سرعت مرکز ورق فلزی نسبت به حالت بدون پوشش کاسته می‌شود و پس‌از آن در ضخامت‌های ۱/۵ و ۲ سانتی‌متر این درصد کاهش کمی کمتر شده و دوباره در ضخامت ۳ سانتی‌متر درصد کاهش سرعت مرکز ورق فلزی افزایش می‌یابد. ایجاد ۳ سانتی‌متر پوشش لاستیکی بر روی ورق فلزی باعث کاهش ۶۶/۲۵ درصدی در سرعت جابجایی مرکز ورق فلزی می‌شود. بنابراین افزایش ضخامت پوشش لاستیکی، باعث کاهش در سرعت نیز می‌شود. برای بررسی تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی در حالتی که ورق فلزی وارد ناحیه پلاستیک می‌شود، از لاستیک با ضخامت‌های ۱/۵، ۲ و ۳ سانتی‌متر در حالت فاکتور شوک ۰/۳ استفاده شده است.



شکل ۱۱: جابجایی مرکز ورق فلزی (الف) ۱/۵ سانتی‌متر پوشش (ب) ۲ سانتی‌متر پوشش (ج) ۳ سانتی‌متر پوشش

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل ۱۱: مشخص است که با افزایش ضخامت پوشش لاستیکی از ۱/۵ سانتی‌متر تا ۳ سانتی‌متر از جابجایی پایدار مرکز ورق فلزی کاسته می‌شود. در حالت ۱/۵ سانتی‌متر پوشش، جابجایی مرکز ورق فلزی ۲۰ میلی‌متر می‌باشد که در مقایسه با حالت بدون پوشش که ۲۰ میلی‌متر می‌باشد، ایجاد پوشش لاستیکی تأثیری نداشته و با افزایش ضخامت پوشش لاستیکی، کاهش جابجایی مرکز ورق فلزی

بیشتر محسوس می‌باشد. همان‌طور که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، با افزایش فاکتور شوک از قدرت کاهندگی پوشش نیز کاسته می‌شود، بنابراین در حالتی که فاکتور شوک $0/3$ می‌باشد و ورق فلزی وارد ناحیه پلاستیک می‌شود به دلیل قوی بودن موج شوک نسبت به حالتی که ورق فلزی در ناحیه الاستیک قرار دارد، از ضخامت $1/5$ سانتی‌متر به بعد بیشتر است که پوشش لاستیکی باعث کاهش در جابجایی مرکز ورق فلزی می‌شود. همچنین در شکل ۱۲، تأثیر افزایش ضخامت پوشش لاستیکی بر سرعت مرکز ورق فلزی در حالت فاکتور شوک $0/3$ ، در جهت برخورد موج شوک نشان داده شده است.



شکل ۱۲: تأثیر ایجاد پوشش بر سرعت مرکز ورق فلزی. الف) $1/5$ سانتی متر پوشش ب) 2 سانتی متر پوشش ج) 3 سانتی متر پوشش

نتیجه گیری و جمع بندی

همان‌طور که اشاره شد مواد لاستیکی به مقاومت خوب در برابر نیروهای ضربه ای مشهور هستند. در این تحقیق تأثیر ایجاد پوشش لاستیکی بر رفتار دینامیکی ورق‌های فلزی در برابر موج شوک ناشی از انفجار زیر آب مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی این مطلب ابتدا رفتار ورق‌های فلزی بدون پوشش در برابر موج شوک ناشی از انفجار زیر آب شبیه سازی شده و نتایج آن با نتایج کار تجربی انجام شده توسط راماجیاتیلانگام و همکارانش مورد مقایسه قرار گرفته است. پس از صحت سنجی نتایج تحلیل به کمک نرم افزار ABAQUS، پوشش لاستیکی با ضخامت‌های مختلف بر روی ورق فلزی اعمال شده و تأثیر آن در بهبود رفتار ورق فلزی در برابر موج شوک ناشی از انفجار زیر آب مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده، با افزایش ضخامت پوشش لاستیکی پارامترهای مورد مقایسه نظیر تنش وون-مایرز و سرعت تغییر شکل مرکز ورق فلزی نسبت به حالت بدون پوشش کاهش پیدا می‌کنند. البته باید توجه داشت که با افزایش فاکتور شوک و قوی تر شدن قدرت موج شوک ناشی از انفجار زیر آب، از قدرت کاهندگی پوشش لاستیکی نیز کاسته می‌شود. با این حال می‌توان گفت که با انتخاب یک پوشش لاستیکی با ضخامت مناسب می‌توان رفتار سازه را در برابر انفجار زیر آب بهبود بخشید.

مراجع

- [۱] R. H. Cole, *Underwater explosions*. Princeton: Princeton Univ. Press, 1948.
- [۲] J. K. Bergersen, "Effect of surface coating on cylinders subjected to underwater shock," Monterey, California. Naval Postgraduate School, 1992.

- [۳] K. Ramajeyathilagam, C. Vendhan, and V. B. Rao, "Non-linear transient dynamic response of rectangular plates under shock loading," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 24, pp. 999-1015, 2000.
- [۴] Y. Chen, Z. Tong, H. Hua, Y. Wang, and H. Gou, "Experimental investigation on the dynamic response of scaled ship model with rubber sandwich coatings subjected to underwater explosion," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 36, pp. 318-328, 2009.
- [۵] C.-H. Kim and Y. S. Shin, "Numerical simulation of surface shield effects to waterblast wave," *Ocean engineering*, vol. 60, pp. 99-114, 2013.
- [۶] Y. Chen, Y. Wang, Z. Zhang, and H. Hua, "Experimental research on the responses of neoprene coated cylinder subjected to underwater explosions," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 135, p. 011102, 2013.
- [۷] J. W. Park, "Underwater explosion testing of catamaran-like structure vs. simulation and feasibility of using scaling law," 2012.

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop