تحلیل عددی اثرات توزیع فشار هیدرودینامیکی بر روی شناور تندرو کامپوزیتی و بهینه‌سازی سازه شناور

احمدرضا قاسمی[۱*]، عبدا... بهروز وزیری[۲]، محمد محمدی فشارکی[۳]

[۱]استادیار، دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی مکانیک؛ ghasemi@kashanu.ac.ir
[۲]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی مکانیک؛ a.behrooz.vaziri@gmail.com
[۳] دانشجوی دکتری، دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی مکانیک؛ mohammadi.shirazu@gmail.com

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰
تاریخ انتشار مقاله:۱۳۹۲/۱۲/۲۸

کلمات کلیدی:
شناور تندرو
فشار هیدرودینامیکی
پوسته کامپوزیت
بهینه سازی
روش اجزای محدود

چکیده

در این تحقیق توزیع فشار هیدرودینامیکی به شکل متغیر با زمان برای یک شناور تندرو تحلیل شده و با توجه به آن تحلیل تنش و جابجایی شناور انجام شده است. توزیع فشار هیدرودینامیکی با توجه به سرعت افقی و عمودی شناور برای زاویه خیز کف متفاوت در دو مرحله همسطح شدن و غرق شدن قسمت گوه ای شکل شناور، مطالعه شده و در زمانهای متوالی از وضعیت متغیر شناور، به آن اعمال شده است. در مدلسازی اجزای محدود، بدنه شناور به چند قسمت با زاویه خیز کف متفاوت تقسیم شده و بارگذاری متناظر دینامیکی اعمال شده است. برای تحلیل اثر هر لایه، با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس پوسته کامپوزیتی به‌شکل لایه‌ای مدل شده است. سپس با تغییر ضخامت هسته و بهینه‌سازی سیستم قاب‌بندی شناور ضریب اطمینان شکست افزایش و وزن سازه کاهش یافته است. در پایان نتایج تحلیل تنش و کرنش به همراه بیشترین جابجایی در قسمتهای مختلف شناور بررسی شده و نتایج به‌دست آمده مقایسه و ارزیابی شده است.

Numerical Analysis of Hydrodynamic Pressure Effect on High Speed Composite Vessel and Optimization of Structure

Ahmad Reza Ghasemi[1*], Abdollah Behrouz Vaziri[2], Mohammad Mohammadi Fesharaki[3]

[1]Assistant professor, Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran; ghasemi@kashanu.ac.ir
[2]M.Sc. student, Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran; a.behrooz.vaziri@gmail.com
[3]Ph.D student, Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran; mohammadi.Shirazu@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 29 May 2013
Accepted: 1 Mar. 2014
Available online:19 Mar. 2014

Keywords:
High Speed Vessel
Hydrodynamic Pressure
Composite Shell
Optimization
Finite element method

ABSTRACT

In this research, hydrodynamic distribution pressure in continuous times is done and stress and displacement of a high speed vessel are studied. Hydrodynamic distribution pressure is studied for different dead rise angle according to vertical and horizontal vessel velocity at dry chine and wet time steps and is applied to vessel at continues times of vessel variable position. Vessel body is divided to some parts according to different dead rise angles and loading is applied as incremental loading. Shell of composite vessel is modeled using ABAQUES commercial finite element software as layer to study the effect of ever layer in stacking sequences, then change of the core thickness and optimization of vessel structure is studied that causing safety factor is increased and weight is decreased. At the end, results of critical stress and maximum displacement of different parts of vessel is compared and evaluated in initial and optimized vessel.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]

۱- مقدمه

در سالهای اخیر استفاده از مواد کامپوزیتی در ساخت شناورها و مطالعه اثرات ناشی از ضربه حاصل از برخورد آب به بدنه (کوبش[۱])، با توجه به سرعت زیاد آنها بسیار قابل اهمیت و یکی از دغدغه‌های اصلی طراحان در صنایع دریایی می‌باشد. از جمله تئوری‌هایی که در این زمینه بسیار مورد توجه قرار گرفته است، تئوری واگنر می‌باشد، که مربوط به کوبش ناشی از وارد شدن یک جسم با زاویه خیز کف[۲]کوچک به سیال می‌باشد [۱]. هر چند این تئوری در مورد اجسام با زاویه خیز کف کوچک بیان شده است، اما وابستگی فشار ناشی از کوبش آب به شکل بدنه و سرعت ورود به آب را نشان می‌دهد. در زمینه توزیع فشار آب بر روی بدنه صلب مطالعات زیادی انجام گرفته است. تاکموتو و یاماموتو [۳-۲] نتایجی را ارائه دادند که با تئوری واگنر تطابق مناسبی دارند. آنها بیشینه فشار کوبش را برای زوایای خیز کف ۳ تا ۱۵ درجه به‌دست آوردند. بِکلِمَن [۴] در سال ۱۹۹۱ با استفاده از نتایج تجربی مدل سه‌بعدی، نشان داد زمانی‌که زاویه خیز کف بدنه از ۲ درجه کمتر باشد، سرعت افقی اثرات بسیار زیادی بر روی فشار دارد. نتایج تجربی دیگری نیز توسط فالتینسن، ژائو و دُبرولسکایا [۷-۵] ارائه شده است که توزیع فشار را برای زوایای خیز کف بین ۴ تا ۸۱ درجه برای سطح مقطع گوه به‌شکل بی‌بعد ارائه داده‌اند. آنها نشان دادند که حساسیت توزیع فشار به زاویه خیز کف با کاهش زاویه خیز کف افزایش می‌یابد. این نتایج تجربی علیرغم خطاهای ممکن، دارای قابلیت اطمینان بالایی هستند. و با تئوری تعمیم یافته واگنر تطبیق مناسبی دارند، و بنابراین مبنای پژوهش در این مقاله قرار گرفته است. سولان و کوروبکین [۸] در سال ۲۰۰۱ از تئوری واگنر برای مطالعه‌ی کوبش بر روی بدنه سه‌بعدی با خط تماس بیضوی با سطح آزاد آب، استفاده کرده‌اند. چیژیان [۹] با استفاده از تئوری واگنر تعمیم یافته، به بررسی کوبش بر بدنه‌های سه‌بعدی پرداخته است. تِویتنس و همکارانش کلارک و واریانی [۱۰] آزمایش‌هایی را طراحی کردند که نحوه ورود گوه‌هایی با زاویه ۰ تا ۴۵ درجه به آب را مورد مطالعه قرار داده و نتایج خود را به صورت نیروی وارده به جسم در طول زمان ورود به آب ارائه دادند. تنویر و همکارانش پنگ و وِیچ [۱۱]، آزمایش‌هایی را برای گوه با زاویه خیز کف ۱۰ درجه در شرایط متفاوت انجام دادند که به نتایج به‌دست آمده توسط فالتینسن بسیار نزدیک است. یکی از اولین تحقیقاتی که در زمینه اجزای محدود بر روی شناورهای تندرو انجام شده است مربوط به موریس [۱۲] می‌باشد، که یک مدل اجزای محدود سه بعدی از یک شناور شکافنده‌ی موج از جنس آلومینیوم را در نرم‌افزار NASTRAN تحلیل کرد. او برای یافتن نقاط تمرکز تنش آنالیز شبه‌دینامیک را بر روی سازه شناور انجام داد. هوگس [۱۳] با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود MAESTRO یک روش برای بهینه‌سازی شناور ارائه نمود و روش خود را بر روی یک شناور تندرو تک بدنه آلومینیومی به اثبات رساند و از قواعد استاندارد DNV برای مدل خود استفاده کرد، اما هیچ گونه بهینه‌سازی برای مدل کامپوزیتی انجام نداده است. اُجِدا و همکارانش پراستی و سالاس [۱۴] یک شناور کامپوزیتی کامل شامل بدنه و سازه فوقانی را به صورت سه بعدی در نرم‌افزار ANSYS مدل و تحلیل کردند. آنها شناور را برای دو حالت نشست تک‌قله و نشست دوقله، مطالعه کرده و بارگذاری را استاتیک و طبق استاندارد DNV درنظر گرفتند. آنها نتایج را به صورت ماکزیمم تنش کامپوزیت در راستای طول بدنه ارائه دادند. در این پژوهش با توجه به نتایج آزمایشی ارائه شده در تحقیقات انجام گرفته، برای تحلیل تنش و جابجایی در پوسته بیرونی و سیستم قاب‌بندی شناور، در ابتدا توزیع فشار هیدرودینامیکی بر روی بدنه شناور در زمانهای متوالی در اثر کوبش به دست می‌آید. این نکته نیز قابل ملاحظه است که در تحقیقات پیشین محاسبات به صورت استاتیکی انجام گرفته شده است، در حالی که در این پژوهش طراحی و محاسبات به شکل دینامیکی در نظر گرفته شده است. بعلاوه در این پژوهش صفحات کامپوزیتی به‌شکل لایه‌ای در نرم افزار آباکوس[۳] مدل شده است، که قابلیت بررسی اثر هر لایه با زاویه خاص را امکان‌پذیر کرده است. همچنین با اعمال بارگذاری دینامیکی، مطالعه تنش در هر لایه از پوسته و بهینه‌سازی سیستم قاب‌بندی شناور مورد مطالعه قرار گرفته و وزن سازه کاهش یافته است. در پایان نتایج تحلیل تنش و کرنش به همراه بیشترین جابجایی در قسمتهای مختلف شناور مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج به‌دست آمده مقایسه و ارزیابی شده است.

۲- توزیع فشار هیدرودینامیکی

به‌طور کلی توزیع فشار هیدرودینامیکی در سطح مقطع جسم به‌شکل آزمایشی و به‌صورت نمودارهای بدون بعد موجود است [۱۵] که با توجه به اینکه شناورها در قسمت پائینی خود به صورت گوه با آب درگیر هستند، از نتایج آزمون‌هایی گوه ای شکل که با سرعت ثابت وارد آب می‌شوند، برای توزیع فشار هیدرودینامیکی استفاده می‌شود. این نمودارها به صورت بدون بعد برای زوایای خیز کف متفاوت موجود می‌باشند، لیکن میزان فشار در هر لحظه و هر نقطه از سطح گوه بررسی نشده است. همچنین در برخورد بدنه شناور با سطح آب در حالت برخورد نامتقارن شرایطی پیچیده‌تر و بحرانی‌تر برای بدنه شناور ایجاد می‌شود، زیرا توزیع فشار هیدرودینامیکی نامتقارن بر روی بدنه، باعث ایجاد گشتاورهای خمشی و پیچشی روی سازه خواهد شد، اما در این تحقیق برخورد متقارن بدنه شناور با سطح آب مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش گسترش دینامیکی فشار

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

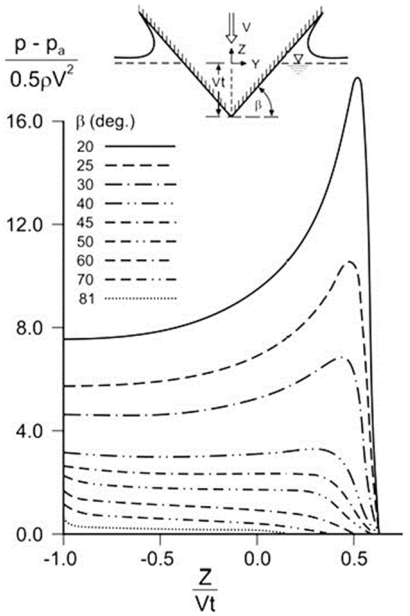
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]

هیدرودینامیکی متقارن و میزان فشار در هر لحظه و هر نقطه از سطح بدنه شناورتحتکوبش مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور کلی توزیع فشار در مسئله ورود گوه با سرعت ثابت به آب را از لحاظ زمانی می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد:

۱- از لحظه تماس بدنه با آب تا لحظه همسطح شدن قاعده گوه با سطح آزاد[۴]

۲- همسطح شدن قاعده گوه با سطح آزاد آب و لحظات غرق شدن گوه در آب[۵]

توزیع فشار هیدرودینامیکی در مرحله همسطح شدن در شکل۱ نشان داده شده است،که در آن، β زاویه خیز کف، Z مؤلفه افقی دستگاه مختصات، ρ دانسیته آب، P_a فشار جو و V سرعت عمودی گوه به سمت پایین و به شکل ثابت است.



شکل ۱- توزیع فشار هیدرودینامیکی درمرحله همسطح شدن [۶]

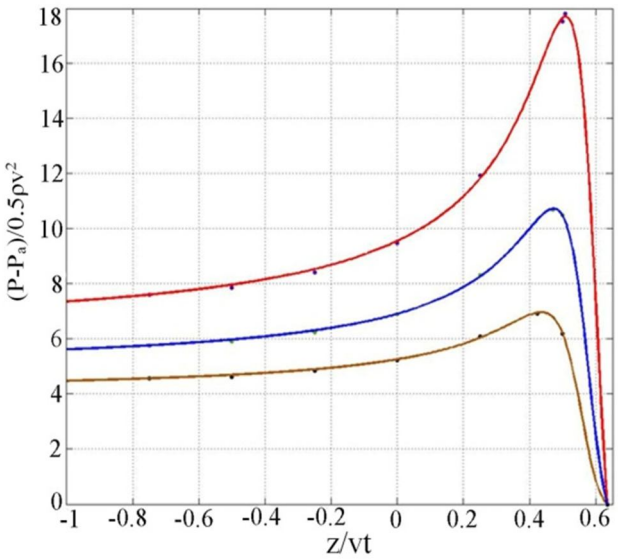
محورها در نمودارهای نشان داده شده در شکل ۱ و ۲، بدون بعد و مربوط به نیمی از سطح گوه است. نمودار شکل ۱، برای زوایای خیز کف متفاوت β از ۲۰ تا ۸۱ درجه، از لحظه برخورد با سطح آب تا لحظه‌ی همتراز شدن قاعده گوه با سطح آزاد آب رسم شده است. همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است با کاهش زاویه خیز کف حساسیت توزیع فشار به این زاویه افزایش می‌یابد، در حالی‌که با افزایش زاویه خیز کف توزیع فشار یکنواخت می‌شود، به‌طوری‌که برایβ>۴۵ بیشینه فشار در ناحیه راس گوه[۶] رخ داده است و به روشنی در شکل ۱ قابل مشاهده است. روابط ریاضی حاکم بر شکل ۱ را می‌توان به صورت روابط زیر نوشت:

$$y = \frac{5.989x^2 - 9.397x + 3.552}{x^2 - 1.205x + 0.3723} \qquad \beta = 20 \qquad (۱)$$

$$y = \frac{4.835x^2 - 6.816x + 2.379}{x^2 - 1.155x + 0.3446} \qquad \beta = 25 \qquad (۲)$$

$$y = \frac{3.995x^2 - 5.263x + 1.731}{x^2 - 1.128x + 0.3297} \qquad \beta = 30 \qquad (۳)$$

که محور X نمادی برای $\frac{Z}{Vt}$ و محور y نماد $\frac{P-P_a}{0.5\rho V^2}$ می‌باشد. رابطه (۱) مربوط به زاویه خیز کف ۲۰ درجه، رابطه (۲)، مربوط به زاویه خیز کف ۲۵ درجه و رابطه (۳) مربوط به زاویه خیز کف ۳۰ درجه است. شکل ۲ نمایش روابط به دست آمده بالاو تطابق با نتایج تجربی در شکل ۱، را نشان می‌دهد. به وضوح مشاهده می‌شود که روابط ریاضی و شکل ۲ بادقت مناسبی بیانگر توزیع فشار هیدرودینامیکی شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۲- منحنی به‌دست آمده برای زوایای خیز کف ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه بر مبنای شکل ۱

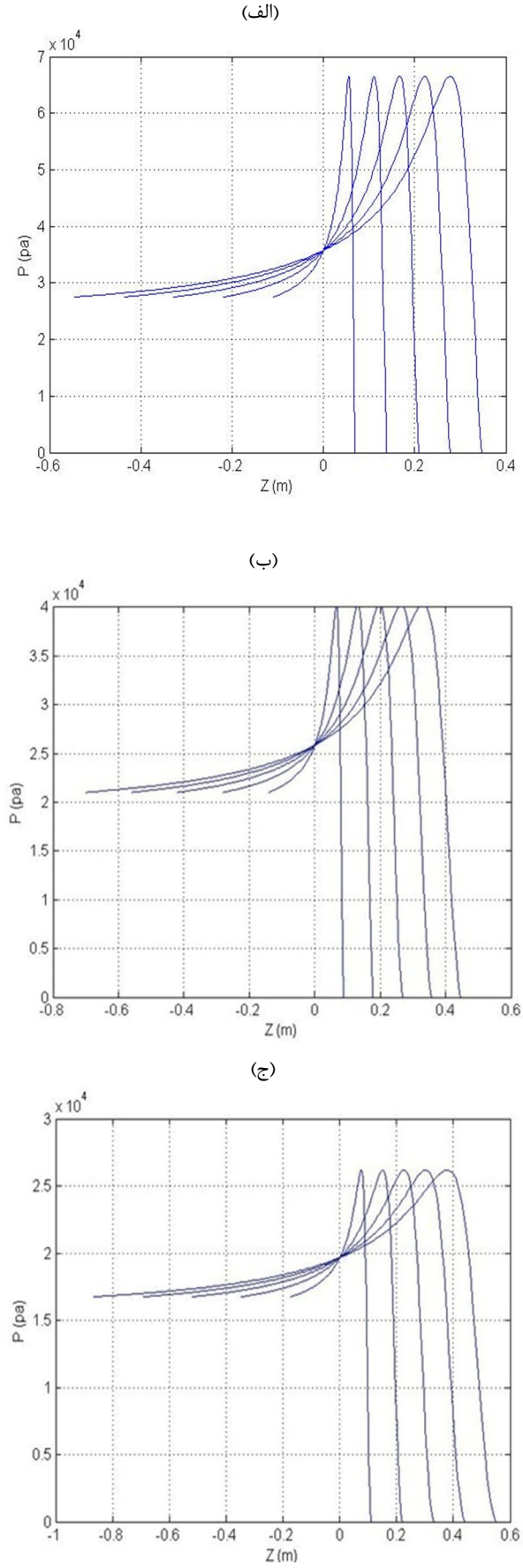
اکنون می‌توان با توجه به روابط (۳-۱) توزیع فشار را به صورت بعددار برای زوایای خیز کف و سرعت متفاوت به‌دست آورد. با فرض اینکه شناور با سرعت ۵۰ گره دریایی معادل ۲۵/۷۲ m/s در راستای افقی در حرکت باشد، و با توجه به نوع شناور که به موج گریز معروف هست، این شناور پس از برخورد موج به شناور، از سطح آب خارج شده و دوباره به سطح آب برخورد می‌کند. اگر زاویه تمایل[۷] شناور τ در هنگام ورود شناور به آب کوچک باشد، سرعت عمودی شناور برابر است با [۱۵]:

$$V = U\tau \qquad (۴)$$

با در نظر گرفتن مقادیر زیر نمودارهای توزیع فشار به‌صورت شکل ۳ برای زوایای خیز کف متفاوت به‌دست می‌آید.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]



شکل ۳- اثر زاویه خیز کف بر روی فشار هیدرودینامیکی با سرعت $۵۰knot$، (الف): زاویه خیز کف ۲۰ درجه، (ب): زاویه خیز کف ۲۵ درجه، (ج): زاویه خیز کف ۳۰ درجه

به‌طوری که P_aفشار هوا، τ زاویه تمایل شناور، U سرعت شناور، ρ چگالی و B عرض شناور می‌باشد.

$$P_a = ۰kpa \qquad \tau = ۶^{\circ} U = ۵۰knot$$
$$\rho = ۱۰۲۵kg/m^3 B = ۳m$$

در شکل۳، در هر یک از نمودارها که مربوط به توزیع فشار در زوایای خیز کف متفاوت بوده و فاصله زمانی مرحله اول بارگذاری به پنج قسمت تقسیم گشته است. واضح است که با ورود هرچه بیشتر گوه به آب گستره توزیع فشار بر روی گوه هم افزایش می‌یابد، که در نمودارهای فوق این واقعیت کاملاً مشهود است.

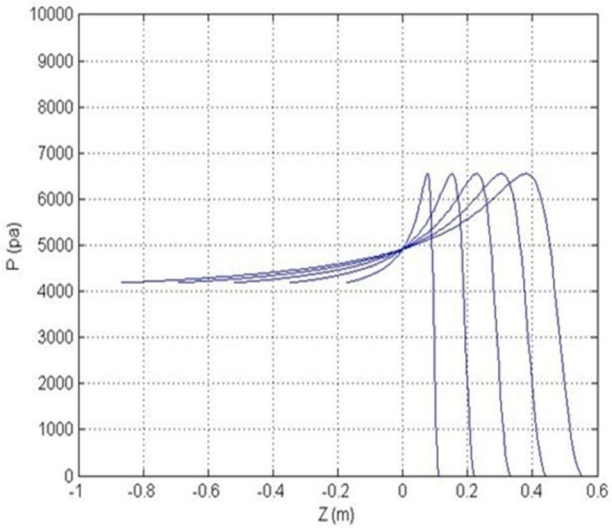
برای یک زاویه خیز کف معین، بیشینه و کمینه فشار، عددی ثابت است و تنها محل وقوع آن بر روی بدنه در لحظات مختلف تغییر می‌کند، که با استفاده از نمودارهای بالا می‌توان مؤلفه قائم این نقطه را نسبت به دستگاه مختصات موجود بر روی سطح آزاد آب، به‌دست آورد. شکل‌های بالا نشان می‌دهد که زاویه خیز کف بر روی شکل توزیع فشار تأثیر به‌سزایی دارد. اثر سرعت بر روی فشار هیدرودینامیکی در مرحله اول نیز در شکل ۴ نشان داده است.

همانطور که در نمودارهای مربوط به شکل ۴ مشاهده می‌شود، سرعت افقی بر روی مقدار بیشینه و کمینه فشار تاثیر می‌گذارد، اما شکل توزیع فشار را تغییر نمی‌دهد. با توجه به رابطه (۴) می‌توان اظهار داشت که اثر تغییرات زاویه تمایل نیز مانند اثر تغییرات سرعت افقی شناور می‌باشد.

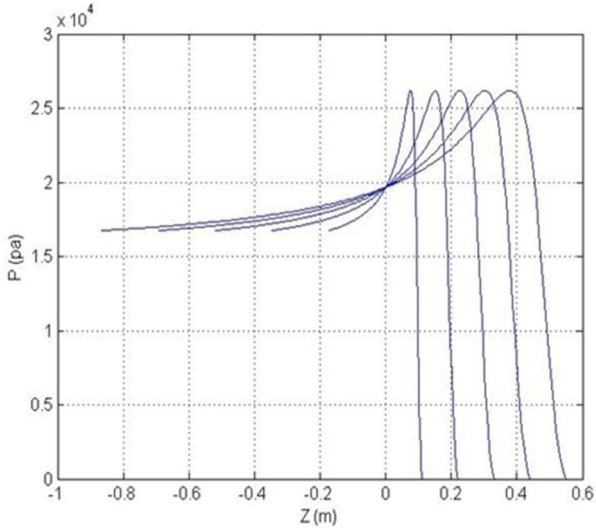
در مورد مرحله دوم ورود گوه به آب و غرق شدن، توزیع تنش با توجه به نتایج آزمایشی برای زاویه خیز کف ۳۰ درجه در شکل ۵ ارائه شده است که در آن، لحظه‌ی $t = t_0$ لحظه‌ای است که سطح قاعده گوه با سطح آزاد آب همسطح می‌شود، نمودارهای شکل ۵ لحظات پس از همسطح شدن قاعده گوه با سطح آزاد آب یعنی زمانهایی که گوه در حال غرق شدن است را توصیف می‌کنند. همانطور که مشاهده می‌شود، نمودارهای شکل ۵ نیز به صورت بی‌بعد بیان شده است و تقارن نسبت به خط تقارن مرکزی گوه به وضوح در نمودارهای توزیع فشار دیده می‌شود. با توجه به شکل ۵، شکل نمودارها از لحظه t_0تا لحظه $2t_0$ به کلی تغییر می‌کند. بطوریکه در $2t_0$ نقطه وسط مقطع دارای فشار بیشینه است، در صورتی که در t_0 نقطه‌ای نزدیک به سطح گوه که ریشه پاشش[۸] آب می‌باشد، مقدار بیشینه فشار را به خود اختصاص داده است. بیان نمودارهای شکل ۵ برای زاویه خیز کف ۳۰ درجه به شکل روابط ریاضی به صورت روابط (۸-۵) می‌باشد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]

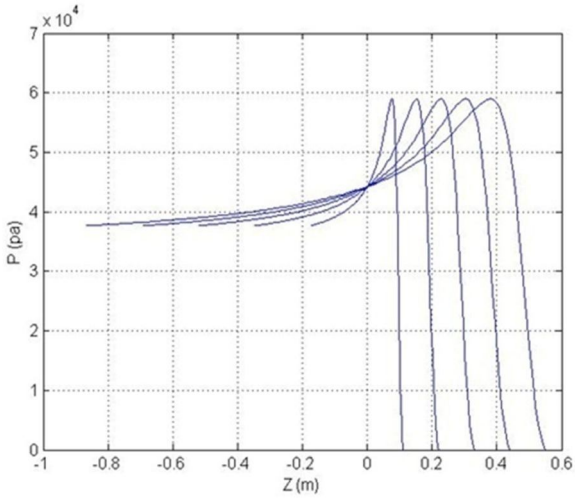
(الف)



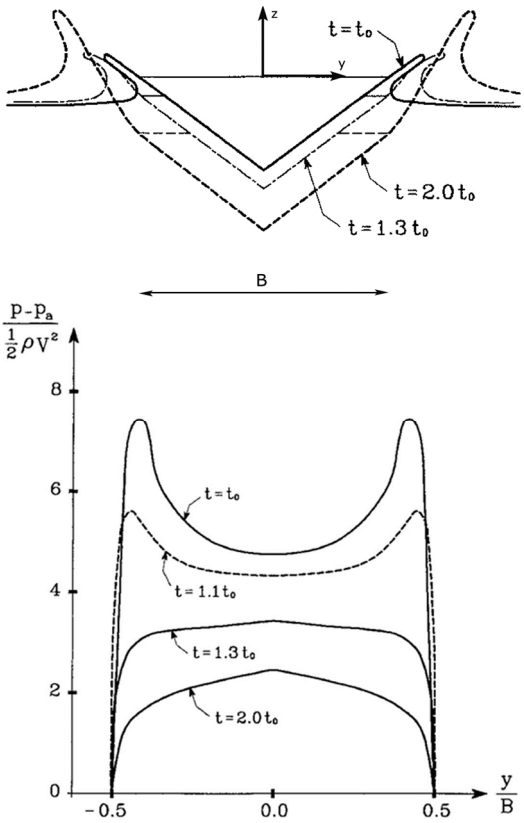
(ب)



(ج)



شکل ۴- اثر سرعت افقی بر روی فشار هیدرودینامیکی با زاویه خیز کف ۳۰ درجه، (الف): سرعت *knot* ۲۵، (ب): سرعت *knot*۵۰، (ج): سرعت *knot*۷۵



شکل ۵- نمودارهای توزیع فشار بر روی یک بدنه با زاویه خیز کف ۳۰ درجه در لحظات مختلف پس از همسطح شدن با آب[۱۵]

$$t = t_0 \qquad (۵)$$

$$y = \frac{-0.9959x + 0.4979}{x^4 - 0.4626x^3 + 0.0009242x^2 - 0.2157x + 0.104}$$

$$t = 1.1t_0 \qquad (۶)$$

$$y = \frac{-0.6998x + 0.3499}{x^4 - 0.7738x^3 + 0.1739x^2 - 0.1783x + 0.08074}$$

$$t = 1.3t_0 \qquad (۷)$$

$$y = \frac{-18.86x + 9.428}{x^3 - 1.408x^2 - 4.961x + 2.745}$$

$$t = 2t_0 \qquad (۸)$$

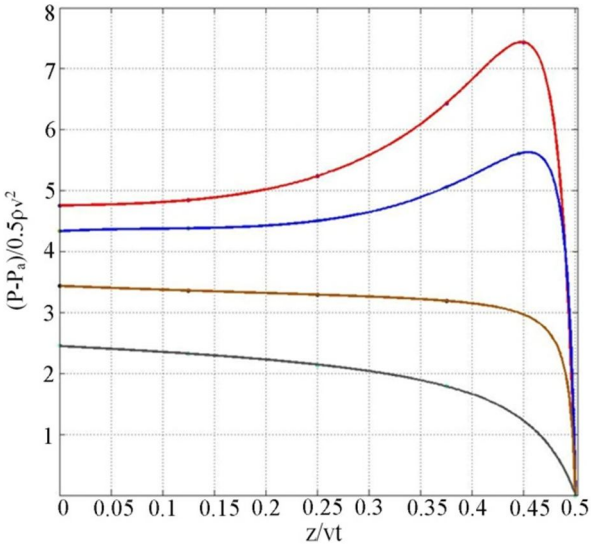
$$y = \frac{-5103x + 2551}{x^3 - 312.5x^2 - 1710x + 1042}$$

رابطه (۵) مربوط به زمان $t = t_0$، رابطه (۶) مربوط به زمان $t = 1.1t_0$، رابطه (۷) مربوط به زمان $t = 1.3t_0$ و رابطه (۸) مربوط به زمان $t = 2t_0$ می‌باشد. روابط بالا در شکل ۶ نمایش

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]

داده شده است. این روابط با توجه به تقارنشکل ۵، توصیف کننده‌ی نیمی از نمودارهای آزمایشی شکل ۵ است که تطابق آن با نتایج آزمایشی مشهود است.



شکل ۶- نمودار به‌دست آمده از معادلات (۸-۵)

لازم به ذکر است که که سرعت ورود شناور به آب در این تحقیق ثابت فرض شده است. هرچند در واقعیت با ورود هرچه بیشتر بدنه به آب، سرعت ورود آن به آب کاهش یافته و بیشینه فشار در نقطه اسپری آب کاهش می یابد. آزمایشات سقوط گوه به آب، نیز با همین تدبیر که سرعت سقوط گوه را ثابت نگه می‌دارند، به وسیله‌ی فالتینسن [۶] انجام شده است.

۳ - مدل‌سازی شناور به روش اجزای محدود

شناور در نظر گرفته شده در این پژوهش شناوری از نوع تندرو پروازی تک بدنه می‌باشد که از جنس کامپوزیت ساخته شده است. به علت وجود نیروهای هیدرودینامیک وارده بر بدنه در حالتهای متفاوت کارکرد، زاویه خیز کف در طول شناور واقعی متغیرمی-باشد. در این تحلیل زاویه تمایل بدنه نیز در نظر گرفته نشده است، درحالی‌که به صورت واقعی تمام مقاطع به طور همزمان با سطح آب برخورد ندارند که این عوامل باعث پیچیدگی بیشتر شرایط بارگذاری می‌شود. لیکن با فرض درنظر نگرفتن زاویه تمایل بدنه، تمام مقاطع بدنه همزمان با سطح آب برخورد نموده و در این حالت ضریب اطمینان بالاتری در طراحی مورد توجه قرار گرفته است.

۳-۱- مدل هندسی سیستم قاب‌بندی شناور

با توجه به پیچیدگی مدل هندسی از ذکر ابعاد جزئی شناور صرف نظر شده و تنها ابعاد کلی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات هندسی پوسته و سیستم قاب‌بندی شناور

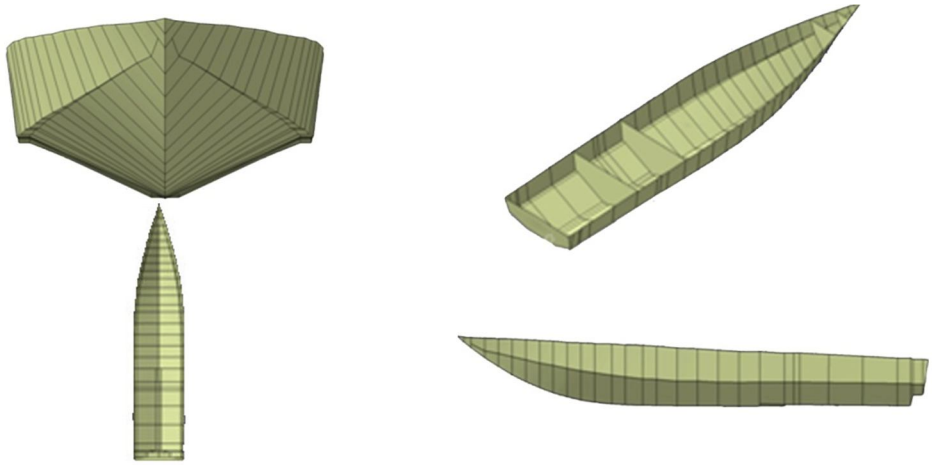
	قسمت های مختلف شناور	ابعاد $[mm]$
پوسته بیرونی	طول کلی شناور	۱۳۷۳۰
	بیشینه ارتفاع بدنه از نقطه صفر بدنه	۱۵۳۰
	بیشینه عرض شناور	۲۵۹۰
سیستم قاب‌بندی	قاب‌های تقویت کننده و مستحکم کننده‌ها	۲۰×۵۰
	فاصله قاب‌ها در قسمت عقب	۱۰۰۰
	فاصله قاب‌ها در قسمت میانی	۶۰۰
	فاصله قاب‌ها در قسمت جلویی	۴۰۰ و ۵۰۰

در مدل ساده شده، محل خط راس گوه[۹] و خطوط قاعده گوه[۱۰] در **بدنه** ثابت باقی مانده و قسمت گوه‌ای بدنه بدون ریل پاشش آب مدل شده است، که در شکل ۷ نشان داده شده است. نقش ریل پاشش آب در پوسته، هیدرودینامیکی بوده و اثر چندانی در تقویت سازه ندارد. به علت وجود تقارن در بدنه و فشار هیدرودینامیکی وارد بر بدنه نسبت به خط راس گوه، نیمی از بدنه در محاسبات مدلسازی وارد شده تا زمان و هزینه حل کاهش یابد.جنس پوسته بیرونی شناور از الیاف شیشه با چیدمان مناسب به روش سعی و خطا $[0_2,45_2,-45_2,90_2,Core]_s$ و جنس هسته ساندویچ پنل‌های کامپوزیتی، و سیستم قاب‌بندی و مستحکم کننده‌ها از جنس چوب می‌باشد، که خصوصیات مواد به کار رفته در شناور مورد نظر در جدول ۲ بیان شده است.

در این شناور زاویه خیز کف از انتهای بدنه تا دماغه بین مقادیر ۲۵ تا ۴۵ درجه متغیر است. با توجه به اینکه پروفیل فشار هیدرودینامیک برای تمامی زوایا به شکل آزمایشی وجود ندارد، با حفظ شکل هندسی واقعی، بدنه به چهار قسمت با زاویه خیز کف ثابت در هر ناحیه تقسیم شده است. در قسمت انتهایی بدنه فشار متناظر با زاویه خیز کف ۲۵ درجه اعمال شده است، به قسمت میانی فشار متناظر با زاویه خیز کف ۳۰ درجه، به قسمت جلویی بدنه فشار متناظر با زاویه خیز کف ۴۰ درجه و به قسمت دماغه شناور فشار متناظر با زاویه خیز کف ۴۵ درجه اعمال شده است. با در نظر گرفتن اینکه زمانی که بخش عمده بدنه که دارای زاویه خیز کف ۲۵ درجه است، مرحله همسطح شدن را به طور کامل تجربه می‌کند، بدنه در آب به حالت تعادل رسیده و دماغه بدنه که مربوط به ناحیه‌ی ابتدایی است و دارای زاویه خیز کف ۴۵ درجه می‌باشد، با آب تماس پیدا نمی‌کند که این توزیع فشار در مسیرهای متفاوت در شکل ۸ نشان داده شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]

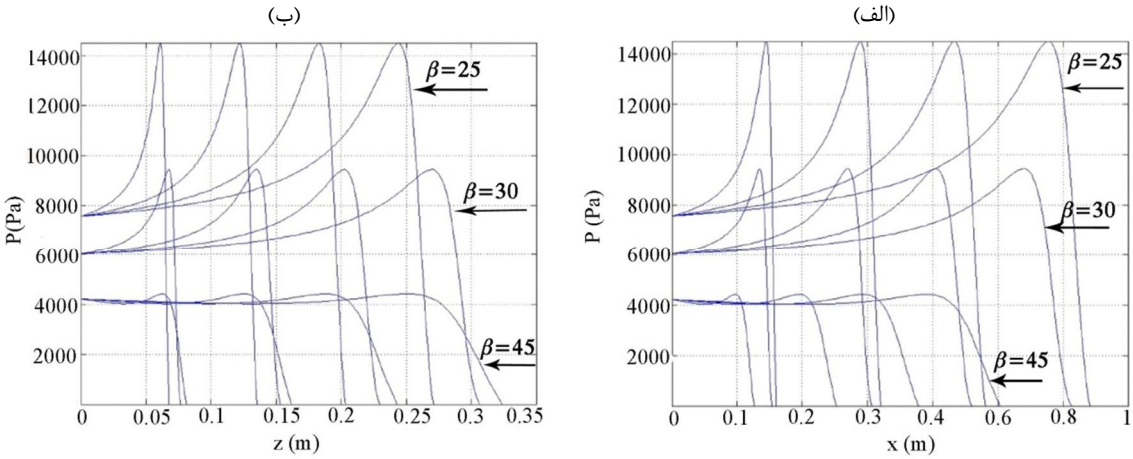


شکل ۷- مدل سه بعدی ساده سازی شده پوسته شناور بکار رفته درتحلیل اجزای محدود

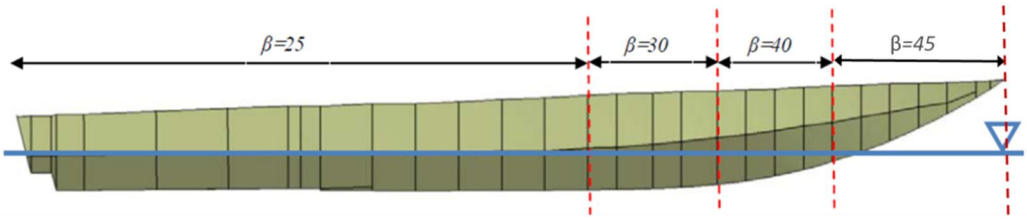
جدول ۲- خواص مکانیکی مواد به کار رفته در شناور

E-Glass Fiber $[0_2,45_2,-45_2,90_2,Core]_s$												
E_{11} $[Mpa]$	E_{22} $[Mpa]$	G_{12} $[Mpa]$	G_{23} $[Mpa]$	G_{13} $[Mpa]$	X^T $[Mpa]$	X^C $[Mpa]$	Y^T $[Mpa]$	Y^C $[Mpa]$	S $[Mpa]$	ν_{12}	t_{lamina} $[mm]$	t_{core} $[mm]$
۷۶۰۰۰	۱۰۷۰۰	۵۵۰۰	۲۸۰۰	۵۵۰۰	۱۰۶۲	۶۱۰	۳۱	۱۱۸	۷۲	۰/۲۸	۰/۳	۲۰

Wood				
$E[Mpa]$	$S_t[Mpa]$	$S_c[Mpa]$	$S_s[Mpa]$	ν_{12}
۱۰	۶۰	۳۹	۷/۶	۰/۳



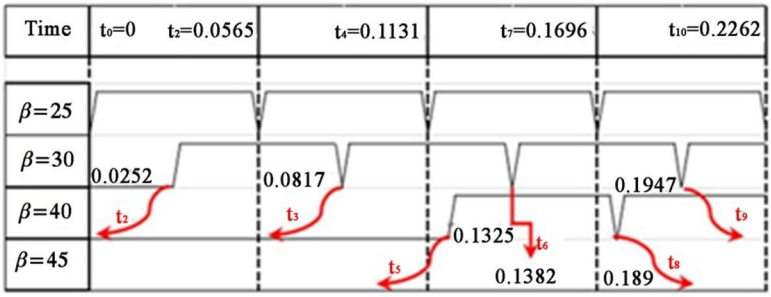
شکل ۸- توزیع فشار هیدرودینامیکی بر روی مقاطع مختلف بارگذاری، (الف): در راستای x، (ب): در راستای Z



شکل ۹- تقسیم بندی بدنه جهت اعمال فشار هیدرودینامیکی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]



شکل ۱۰- زمانبندی بارگذاری در مقاطع مختلف طول شناور

. بنابراین خط آب را می‌توان مطابق با شکل ۹ در نظر گرفت. با توجه به سرعت شناور و ارتفاع شناور مربوط به هر قسمت، مدت زمان مرحله همسطح شدن به‌دست می‌آید، که برای زاویه خیز کف ۲۵ درجه ۰/۲۲۶۲ ثانیه، برای زاویه خیز کف ۳۰ درجه ۰/۱۱۵۶ ثانیه و برای زاویه خیز کف ۴۰ درجه ۰/۱۲۲۲ ثانیه می‌باشد. با توجه به اینکه از زاویه تمایل بدنه صرف‌نظر شده است، قسمت انتهایی بدنه که دارای زاویه ۲۵ درجه می‌باشد، ابتدا وارد آب می‌شود. با توجه به انحنای خط راس گوه ، می‌توان محاسبه کرد که مقطع با زاویه خیز کف ۳۰ درجه، ۰/۰۲۵۲ ثانیه بعد از ۲۵ درجه و مقطع با زاویه خیز کف ۴۰ درجه، ۰/۱۳۲۵ ثانیه بعد از ۲۵ درجه وارد آب می‌شوند. چون مقطع با زاویه ۴۵ درجه ۰/۳۳۶۶ ثانیه بعد از اولین برخورد بدنه با آب، با سطح آب تماس پیدا می‌کند، و در این زمان قسمت‌هایی از بدنه که زاویه خیز کف ۲۵ درجه دارند و بخش اعظم بدنه را تشکیل می‌دهند، به پایان مرحله همسطح شدن رسیده‌اند، نیروی پسای قابل توجهی به سمت بالا ایجاد می شود و به همین دلیل قسمتی از بدنه که زاویه خیز کف آن ثابت و برابر ۴۵ درجه فرض شده است، وارد آب نخواهد شد. بنابراین قسمتهایی از بدنه که زاویه خیز کف آنها ثابت و برابر ۲۵ درجه فرض شده است به‌طور کامل مرحله همسطح شدن را تجربه می‌کنند، در حالیکه قسمت‌هایی از بدنه که زاویه خیز کف آنها ثابت و برابر ۳۰ و ۴۰ درجه درنظر گرفته شده است، بطور غیرکامل این مرحله را تجربه می‌کنند و قسمتهایی از بدنه که زاویه خیز کف آنها ۴۵ درجه یا بیشتر است، اصلاً این مرحله را تجربه نمی‌کنند. بنابراین در شکل۸، توزیع فشار هیدرودینامیک برای زوایای ۲۵، ۳۰ و ۴۰ درجه ارائه شده است. در شکل ۱۰ این تاخیر زمانی بین بارگذاری مقاطع مختلف شناور، نشان داده شده است. توابع پله‌ای نشان می‌دهند در هر مقطع هر مرحله‌ی بارگذاری در چه زمان آغاز و در چه زمانی پایان می‌یابد. همانگونه که مشاهده می‌شود طول زمان بارگذاری در مقطع ۲۵ درجه به چهار قسمت مساوی تقسیم شده است، که طول بازه مورد نظر برابر با ۰/۰۵۶۵ ثانیه می‌باشد که این بازه برای قسمت های مختلف با زاویه خیز کف ۳۰ و ۴۰ درجه نیز در نظر گرفته شده است.

۴- تحلیل اجزای محدود

برای تحلیل اجزای محدود شناور از نرم‌افزار آباکوس و تحلیل به شکل صریح دینامیکی استفاده شده است. حل دینامیکی صریح برای حالاتی است که زمان وقوع بارگذاری بسیار کم است و یا تغییر شکل‌ها قابل توجه است و می تواند روی دینامیک مسئله تاثیرگذار باشد. در این پژوهش به علت اینکه کوبش یک پدیده از نوع ضربه است و زمان وقوع آن بسیار کوتاه است و همچنین در ابتدای حل اطمینان از بزرگ یا کوچک بودن تغییرشکل‌ها وجود ندارد، از حل دینامیکی صریح استفاده شده است تا خطای ناشی از تغییر شکل‌های نسبتا بزرگ احتمالی بوجود نیاید. برای تحلیلحساسیت اندازه جزءبندی و مراحل زمانی که بیانگر میزان پایداری برای حل به روش صریح مسئله می باشد، رابطه زیر استفاده شده است [۱۶]:

$$\Delta t_{stable} \propto \frac{L_{element}}{C_d} \qquad (۹)$$

رابط بالا کوچکترین مدت زمان برای عبور یک موج از هر جزء را بیان می‌کند، که در آن $L_{element}$ نشانگر کوچکترین طول جزء موجود در مدل و C_d سرعت موج در ماده است، که با چگالی ρ و ثوابت لامه λ و μ ماده، با رابطه زیر ارتباط دارد.

$$C_d = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \qquad (۱۰)$$

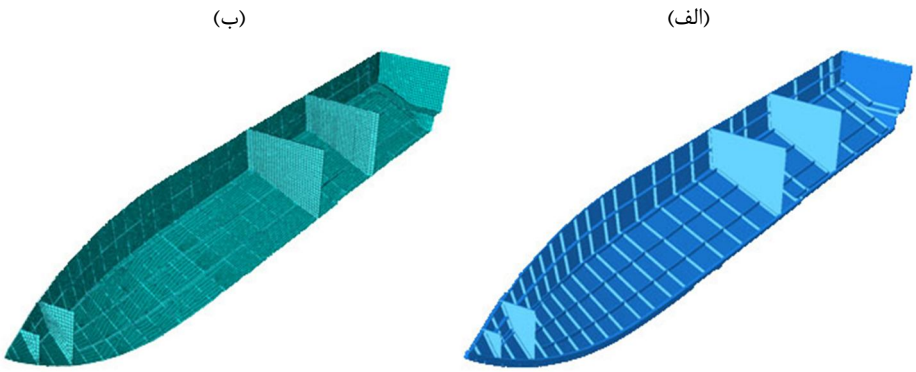
ثوابت لامه بر اساس مدول الاستیک E وضریب پواسون ν به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \qquad (۱۱)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \qquad (۱۲)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]



شکل ۱۱- نیمه شناور مدل شده در نرم افزار، (الف): سازه شناور (ب): مدل جزءبندی شده

بنابراین عدم وابستگی یا حساسیت حل به اندازه جزءبندی به ما اطمینان از پایداری مراحل زمانی حل را نیز خواهد داد.برای جزءبندی سازه بدنه از جزء B31 استفاده شده و پوسته بدنه با جزء S4R مانند شکل ۱۱ مدل شده است. به دلیل جابجایی زیاد پوسته در اثر بارهای هیدرودینامیکی، از تیغه‌های عرضی برای کاهش جابجایی در نقاط بحرانی استفاده شده است. در شکل ۱۱، دو تیغه عرضی قرار داده شده در انتها، علاوه بر وظیفه جلوگیری از نفوذ آب به قسمتهای دیگر شناور، باعث کاهش جابجایی غیر قابل قبول و کاهش تنش در قسمتهای مشخص شده بدنه می‌شوند. دو تیغه عرضی جلویی بیشتر به علت افزایش استحکام بدنه در برخورد با اجسام دیگر می باشد.

۴-۱- تحلیل پوسته بیرونی شناور

در شکل ۱۲ کانتورهای مربوط به بیشینه جابجایی و ضریب اطمینان شکست در معیار تسای- وو در بحرانی‌ترین مرحله بارگذاری نشان داده شده است. همانگونه که در جدول‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، بحرانی‌ترین مرحله بارگذاری مربوط به زمان t_6 می‌باشد. در جدول ۴، ضریب شکست معیار تسای- وو[11] (R) معکوس ضریب اطمینان شکست (n) می‌باشد. بیشترین مقدار در جدول ۴، برابر ۰/۲۸ بوده و کمترین ضریب اطمینان شکست برابر ۳/۵۷ به دست می‌آید.

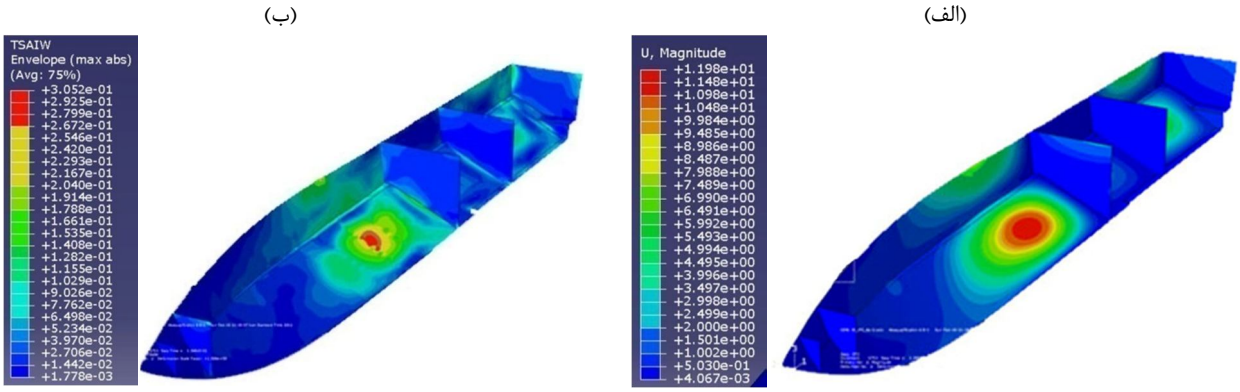
جدول ۳- بیشینه جابجایی پوسته در مراحل مختلف بارگذاری بر حسب [mm]

t_9	t_8	t_7	t_6	t_5	t_4	t_3	t_2	t_1	t_0
۸/۵	۷/۹	۶/۶	۱۱/۹	۱۰/۷	۵/۹	۴/۸	۲/۶	۲/۶	۰/۹

جدول ۴- بیشینه ضریب شکست معیار تسای-وو پوسته بدنه در مراحل مختلف بارگذاری

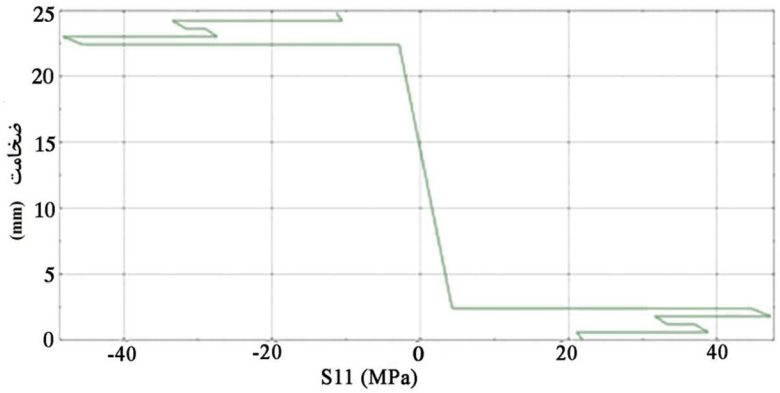
t_9	t_8	t_7	t_6	t_5	t_4	t_3	t_2	t_1	t_0
۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲	۰/۳	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱

در شکل ۱۳ نمودار تنش در جهت اصلی اول برای جزء بحرانی نشان داده شده است. در این نمودار تنش اصلی در لایه‌های زیرین به بیشترین مقدار خود رسیده و تا$۴۵Mpa$ افزایش پیدا می‌کند. نتایج تنش در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که بار غالب وارده بر پوسته کامپوزیتی ممان خمشی می‌باشد، بنابراین تنش در لایه‌های زیرین و بالایی به حداکثر مقدار خود رسیده است.

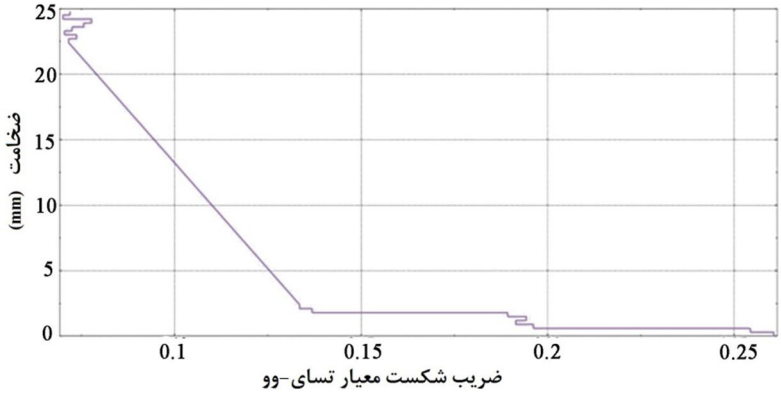


شکل ۱۲- کانتور بحرانی ترین زمان t_6، (الف): جابجایی، (ب): معیار تسای-وو

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]



شکل ۱۳- تنش در جهت اصلی اول در راستای ضخامت در بحرانی ترین جزء پوسته در زمان t_6



شکل ۱۴- نمودار ضریب شکست معیار تسای-وو در راستای ضخامت برای بحرانی ترین جزء پوسته در زمان t_6

ضریب شکست معیار تسای- وو در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در این شکل نیز ضریب شکست در لایه‌های زیرین حداکثر مقدار را نشان می‌دهد. نتایج معیار شکست تسای-وو نشان می‌دهد که پوسته بدنه با چیدماندر نظر گرفته شده ضریب اطمینان شکست بیشتر از ۳، برای تمامی نقاط بدنه را دارد. این موضوع از آن جهت اهمیت دارد که با ثابت در نظر گرفتن سرعت ورود بدنه به آب، فشار بیشینه برای تمامی مراحل بارگذاری ثابت است، در حالیکه در واقعیت کاهش سرعت بدنه در حین ورود به آب سبب کاهش فشار وارده به بدنه در زمان ورود به آب و افزایش ضریب اطمینان شکست می‌شود. از طرف دیگر، تبدیل یک نیروی ضربه‌ای که در حدود ۰/۲ ثانیه به بدنه وارد می‌شود، به چند ضربه با فرکانس اعمال حدود ۰/۰۵ ثانیه به بدنه در این پژوهش، شرایط سخت‌تری را برای شناور ایجاد تموده و سبب بالا رفتن قابلیت اطمینان طراحی می‌شود. بنابراین تحلیل انجام گرفته در این پژوهش در ناحیه‌ی امن و با ضریب اطمینان بالا انجام شده است.

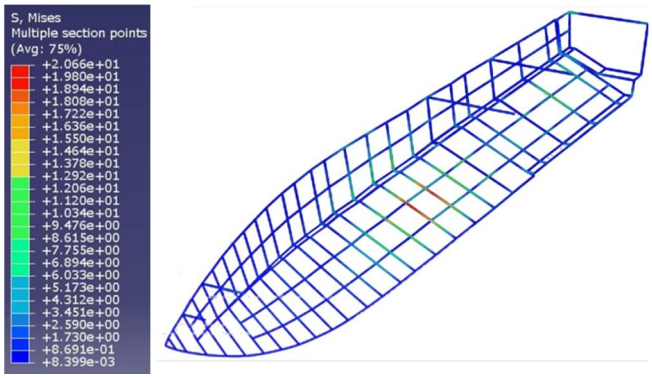
۴-۲- تحلیل سیستم قاب‌بندی شناور

با توجه به اینکه سیستم قاب‌بندی شناور از ماده‌ای همگن است، در جدول ۵ بیشینه تنش ون- مایزز در مراحل مختلف بارگذاری نشان داده شده است.

جدول ۵- بیشینه تنش ون-مایزز برای در مراحل مختلف بارگذاری برای سازه بدنه $[Mpa]$

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
۳/۲	۴/۹	۶/۱	۹/۵	۱۲/۳	۱۸/۴	۲۰/۶	۱۳	۱۴/۵	۱۵/۲

در این تحلیل نیز زمان t_6 بحرانی‌ترین زمان بارگذاری می‌باشد. کانتور تنش در این مرحله بارگذاری در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل۱۵- کانتور تنش ون-مایزز برای سازه بدنه در زمان t_6

نتایج تحلیل تنش برای سیستم قاب‌بندی نشان می‌دهد که بالاترین تنش برای سیستم قاب‌بندی در طول زمان بارگذاری

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]

برابر Mpa ۲۰ می‌باشد. البته تنش برای بیشتر نقاط سیستم قاب‌بندی بسیار کمتر از این مقدار است. بنابراین ضریب اطمینان بالاتر از ۳ برای تمامی قسمت‌های سیستم قاب‌بندی در سرتاسر زمان بارگذاری حاصل می‌شود. این موضوع نیز قابلیت بهینه‌سازی در بدنه را به اثبات می‌رساند. بیشترین مقدار جابجایی نیز برابر ۱۱/۹mm می‌باشد.

۵- بهینه سازی شناور

در بخش قبل، ضریب اطمینان شکست پوسته بیرونی و سیستم قاب‌بندی بیش از ۳ به‌دست آمد. با در نظر گرفتن عواملی چون کاهش سرعت ورود بدنه به آب که در این تحقیق ثابت در نظر گرفته شده است و یا وجود ریل پاشش آب که در اینجا حذف شده بود، ضریب اطمینان شکست بالاتری در عمل نیز قابل پیش‌بینی است. بنابراین لازم به نظر می‌رسد که بهینه سازی شناور مورد نظر قرار گیرد، تا اهداف زیر به‌دست آید:

۱- بار خمشی پوسته کاهش یابد، زیرا طبق اصول طراحی پوسته برای تحمل بار خمشی مناسب نمی‌باشد و بنابراین سهم بیشتر تحمل بار خمشی به تیرهای سازه انتقال می‌یابد و تیر جزء مناسب جهت تحمل بار خمشی است.

۲- ضریب اطمینان تقریباً یکسان برای تمامی نقاط بدنه به‌دست آید، زیرا در غیر این‌صورت قسمت‌های بسیارزیادی از ماده بکار رفته در بدنه غیر مفید خواهد بود. این هدف با بهینه‌سازی توزیع کرنش و تنش به‌دست می‌آید.

۳- در صورت امکان وزن بدنه کاهش یابد، زیرا شناور مورد مطالعه تندرو بوده و عامل وزن بسیار مهم است.

۴- محدودیت‌های استاندارد رعایت شود.

برای بهینه سازی شناور گزینه‌های زیر برای هر طراح موجود است:

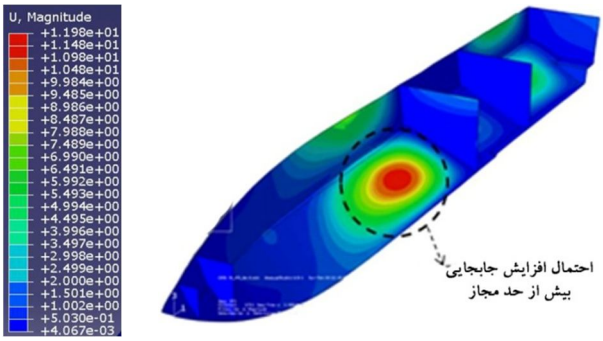
۱- بهینه‌سازی چیدمان پوسته کامپوزیتی

۲- بهینه‌سازی سیستم قاب‌بندی مانند: بهینه سازی فواصل در سیستم قاب‌بندی، بهینه‌سازی ابعاد تیرها، بهینه‌سازی جنس سیستم قاب‌بندی.

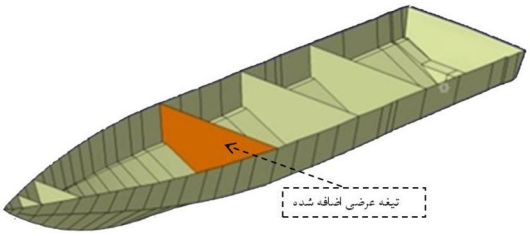
لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت در جنس و هزینه مواد قابل دسترسی، تغییر در جنس ماده جزء راهکارها نبوده است

۵-۱- بهینه سازی پوسته بیرونی

در این تحقیق ابتدا بهینه سازی پوسته مورد توجه قرار گرفته و تغییراتی در سیستم قاب‌بندی نیز ایجاد می‌شود. لیکن در هر مرحله بهینه سازی، تقویت سازه و تحلیل شناور تا دستیابی به اطمینان از عدم شکست کل سازه انجام شده است. برای مثال با روش سعی و خطا، و با درنظر گرفتن امکانات و محدودیتهای ساخت، برای پوسته با چیدمان $[0_2,45_2,-45_2,90_2,Core]_s$ ضخامت هسته را از ۲۰mm به ۱۰ mm، کاهش می‌دهیم. با این کاهش ضخامت، احتمال افزایش جابجایی به بیشتر از حد مجاز در قسمتهایی از بدنه مانند شکل ۱۶ وجود دارد. بنابراین از تیغه‌ی عرضی برای کاهش این جابجایی استفاده شده است، که چیدمان آن مانند چیدمان پوسته می‌باشد. همچنین این تیغه علاوه بر کاهش جابجایی در مناطق بحرانی، وظیفه جداسازی قسمتهای مختلف را برایجلوگیری از نفوذ آب به عهده دارد، که این تیغه اضافه شده در شکل ۱۷ نشان داده شده است. در مدل قبلی، بیشترینجابجایی در ناحیه‌ای با زاویه خیز کف ۲۵ درجه که فشار هیدرودینامیکی از مناطق دیگر بیشتر است، برابر ۱۱/۹ mm بود. در طراحی جدید این جابجایی به ۷/۶ mm کاهش یافته است.



شکل ۱۶- ناحیه مورد توجه جهت بهینه سازی



شکل ۱۷- تیغه عرضی اضافه شده به شناور

۵-۲- بهینه سازی سیستم قاب‌بندی شناور

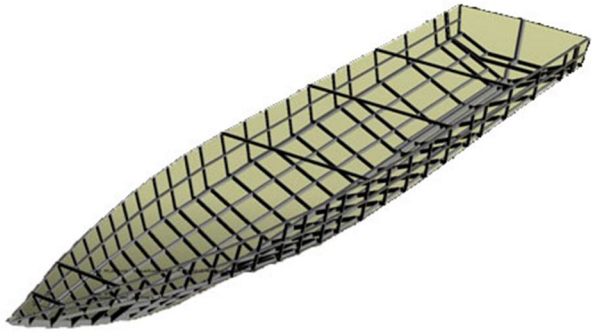
سیستم قاب‌بندی شناور در قسمت زیرین خود تحت تاثیر بارهای کوبشی بوده و بنابراین تقویت آنها لازم است. هدف از تغییرات تیرهای قاب سازه و مستحکم کننده‌ها افزایش مدول مقطع آنها و در نتیجه کاهش تنش و کرنش در آنها می‌باشد. تقویت قاب‌ها تنها در بخشی که در معرض کوبش می‌باشد، با استفاده از استاندارد DNV [۱۹-۱۷] پذیرفته می‌باشد. تغییرات انجام گرفته در سیستم قاب‌بندی در جدول ۶ آورده شده و در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

جدول ۶- تغییرات سیستم قاب‌بندی شناوربر حسب [mm]

سازه	حالت اولیه	حالت بهینه
قابهای سازه	۲۰×۵۰	۲۰×۷۰
مستحکم کننده ها	۲۰×۵۰	۳۰×۶۰

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]



شکل ۱۸- سیستم قاب‌بندی شناور بهینه سازی شده

۶- نتایج تحلیل اجزای محدود شناور بهینه‌شده

تحلیل اجزای محدود در این حالت از نظر نوع جزء و نرم افزار همانند حالت اولیه است و میزان جابجایی و ضریب اطمینان شکست مورد بررسی قرار می‌گیرد.

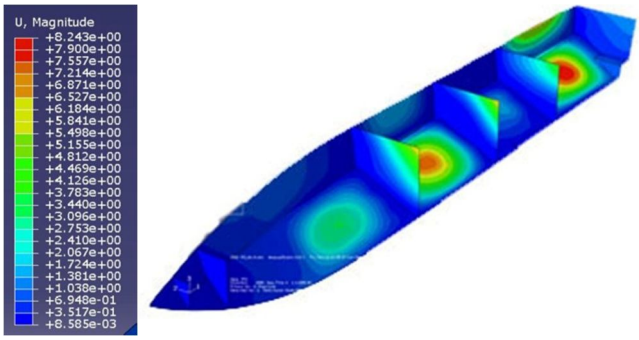
۶-۱- نتایج تحلیل اجزای محدود پوسته بهینه

در ابتدا به مطالعه بیشینه جابجایی در اجزای پوسته شناور در مراحل مختلف همسطح شدن پرداخته شده است. در جدول ۷ بیشینه جابجایی در هر یک از مراحل بارگذاری نشان داده شده است.

جدول ۷- بیشینه جابجایی پوسته بهینه در مراحل مختلف بارگذاری بر حسب $[mm]$

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
۰/۷	۲	۳/۹	۴/۲	۴/۴	۵/۸	۷/۶	۸/۲	۷/۵	۶/۲

بیشترین جابجایی برای زمان بارگذاری t_7 و برابر با ۸/۲ mm می‌باشد. کانتور بیشینه جابجایی در این مرحله بارگذاری در شکل ۱۹ نشان داده شده است. بیشترین ضریب شکست در معیار تسای- وو پوسته بیرونی شناور در جدول ۸ نشان داده شده است. این مقدار بیشینه مربوط به زمان بارگذاری t_7 و برابر با ۰/۲ می‌باشد.

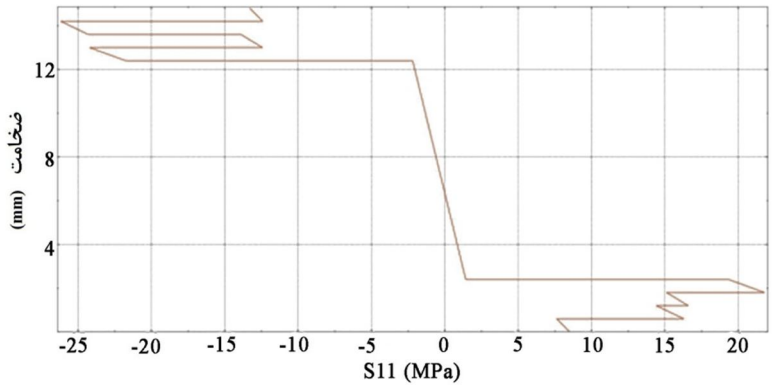


شکل ۱۹- کانتور جابجایی پوسته بهینه شده برای زمان t_7

جدول ۸- بیشینه ضریب شکست معیار تسای-وو پوسته بهینه بدنه در مراحل مختلف

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۹

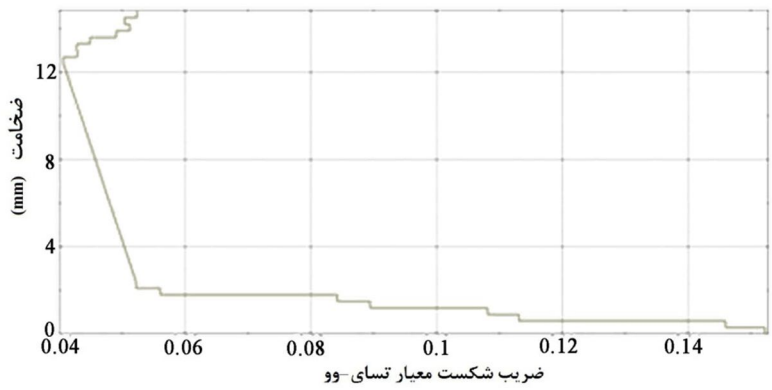
در شکل ۲۰ تنش در راستای اصلی اول جزء بحرانی سازه‌ی بهینه و در شکل ۲۱ نمودار ضریب شکست جزء بحرانی نشان داده شده است. در پوسته بهینه بیشترین تنش S_{11} برابر Mpa ۲۵و بیشینه ضریب شکست در معیار تسای- وو ۰/۲ می‌باشد، که حداقل ضریب اطمینان شکست ۵ را نشان می‌دهد. با کاهش ضخامت هسته و در نتیجه کاهش مدول مقطع پوسته و از طرف دیگر تقویت تیرها و در نتیجه افزایش مدول مقطع سازه، سهم پوسته از تحمل بار خمشی کم شده و سهم سازه بیشتر شده است.



شکل ۲۰- تنش در جهت اصلی اول در راستای ضخامت در بحرانی ترین جزء پوسته در زمان t_7

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]



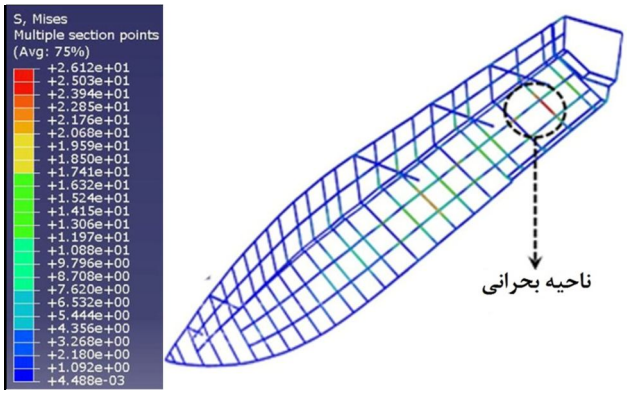
شکل ۲۱- نمودار ضریب شکست معیار تسای-وو در راستای ضخامت برای بحرانی ترین جزء پوسته در زمان t_7

۶-۲- نتایج تحلیل اجزای محدود سیستم قاب‌بندی بهینه شده شناور

با توجه به همگن بودن سیستم قاب‌بندی شناوراز معیار ون-مایزز برای تحلیل سیستم قاب‌بندی استفاده شده است. بیشینه این تنش در مراحل مختلف بارگذاری در جدول ۹ نشان داده شده است. بالاترین مقدار تنش ون-مایزز[۱۲] برای سیستم قاب‌بندی در کل مراحل بارگذاری برابر Mpa ۲۶/۱۲ می‌باشد که در شکل ۲۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در منطقه انتهایی سازه موتور قرار گرفته و به استحکام سازه در برابر بارهای اعمالی افزوده خواهد شد و ضریب اطمینان در آن ناحیه بیش از مقدار نشان داده شده، افزایش خواهد یافت. برای دیگر نقاط سازه شناور عددی بالاتر از Mpa ۲۰/۶۸ ثبت نگردیده است و بنابراین ضریب اطمینان ۲/۹ کمترین ضریب اطمینان سازه می‌باشد.حداکثر جابجایی برای بدنه باز هم در همین منطقه و برابر mm ۸/۲ است که مورد تائید استاندارد طراحی نیز می‌باشد.

جدول ۹- بیشینه تنش ون-مایزز برای در مراحل مختلف بارگذاری برای سازه بدنه [Mpa]

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
۵/۱۸	۶/۴۷	۱۰	۱۵/۶۸	۱۶/۱	۲۳/۱	۲۶/۱۲	۲۵/۵	۲۲/۶۴	۱۵/۷۶



شکل ۲۲- نمایش قسمت بحرانی سیستم قاب‌بندی

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق فشار هیدرودینامیکی ناشی از کوبش بدنه شناور به سطح آب، برای زوایای مختلف خیز کف محاسبه شده است. نتایج توزیع فشار نشان می‌دهد که با کاهش زاویه خیز کف، مقدار فشار وارد بر بدنه افزایش می‌یابد، لیکن در یک زاویه خیز کف مشخص در زمانهای متوالی مقدار بیشینه و کمینه توزیع فشار ثابت بوده، اما محل وقوع آن بر روی بدنه شناور تغییر می‌کند. آنگاه با استفاده از نرمافزار اجزای محدود، مدلسازی پوسته بیرونی و سیستم قاب‌بندی با اعمال توزیع فشار هیدرودینامیکی متغیر با زمان در طول شناور و در زمانهای متوالی از برخورد به سطح آب، مورد توجه قرار گرفت. نتایج اولیه تحلیل اجزای محدود نشان داد که بار غالب پوسته خمشی بوده و امکان بهینه‌سازی پوسته و سیستم قاب‌بندی برای تحمل تنش و کاهش جابجایی امکانپذیر است. با کاهش هسته پوسته به نصف و تغییر هندسه سیستم قاب‌بندی، سازه بهینه‌شده دارای توزیع تنش یکنواخت در پوسته و سیستم قاب‌بندی است و ضریب اطمینان شکست معیار تسای- وو از مقدار ۳/۶ به مقدار عددی ۵ افزایش یافته است. بهینه‌سازی شناور کامپوزیتی سبب کاهش وزن در حدود ۲۰٪ شده و با اضافه نمودن تیغه‌های عرضی در محلهای مناسب جابجایی پوسته به میزان ۳۱٪ کاهش یافته است.

کلید واژگان

1- Slamming
2- Dead-rise angle
3- ABAQUES
4- Dry Chine
5- Wet Chine
6- Keel
7- Trim Angle
8- Spray root
9- Keel line
10- Chine lines
11- Tsai-Wu
12- Von-Misses

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]

۸- مراجع

1- Takagi, K. (2004), *Numerical Evaluation of Three-dimensional Water Impact by the Displacement Potential Formulation*. Journal of engineering mathematics, Vol. 48, p. 339-352.

2- Takemoto, H., (1984), *Some Considerations on Water Impact Pressure,* Journal of the Society of Naval Architect of Japan, Vol.156, p.314–322.

3- Yamamoto, Y., Ohtsubo, H. and Kohno, Y., (1984), *Water Impact of Wedge Model*, Journal of the Society of Naval Architect of Japan, Vol.155, p.236–45.

4- Beukelman, W., (1991), *Slamming on Forced Oscillating Wedges at Forward Speed, Part I: Test results,* Delft University of Technology, Ship Hydromechanics Laboratory, Netherlands, Report. No. 888.

5- Dobrovol'skaya, Z. N., (1969), *On Some Problems of Fluid with a Free Surface*, Journal of Fluid Mechanics, Vol.36, Part.4, p.805–29.

6- Zhao, R. and Faltinsen. O. M., (1993), *Water Entry of Two Dimensional Bodies*, Journal of Fluid Mechanics, Vol.246, p.593–612.

7- Zhao, R., Faltinsen, O. M. and Aarsnes, J. V., (1996), *Water Entry of Arbitrary Two-Dimensional Sections with and Without Flow Separation*, In Proc. 21st Symposium On Naval Hydrodynamics, Washington, D.C: National Academy Press. , p.23–408.

8- Scolan, Y. M and Korobkin, A. A., (2001), *Three-Dimensional Theory of Water Impact, part.1, Inverse Wagner Problem*, Journal of Fluid Mechanics, Vol.440, p.293–326.

9- Chezhian, M., (2003), *Three-Dimensional Analysis of Slamming*, Dr.ing thesis, Department of Marine Technology, NTNU, Trondheim, Norway.

10- Tveitnes, T., Fairlie-Clarke, A.C. and Varyani, K., (2008), *An Experimental Investigation into the Constant Velocity Water Entry of Wedge-Shaped Sections*, Ocean Engineering, Vol.35, p.1463–1478.

11- Tanvir, M., Peng, H. and Veitch, B., (2010), *Experimental Investigation of Slamming Loads On a Wedge* , The International Conference on Marine Technology, p.107-112.

12- Morris, J.A., (1991), *A Three Dimensional Structural Analysis of a Large Wave Piercing Catamaran Design*. IMAS 91 High Speed Marine Transportation.

13- Hughes, O., (1997). *Two First Principles Structural Designs of a Fast Ferry All-Aluminum and All-Composite.* In: Proceedings of the Fourth International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'97), Sydney (Australia), p.91-98.

14- Ojeda, R., Prusty, B G. and Salas, M., (2003), *Finite Element Investigation on the Static Response of a Composite Catamaran Under Slamming Loads*, Ocean Engineering, Vol.31, p.901–929.

15- Faltinsen, O M., (2005), *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*, Publication of Cambridge University Press.

16- Miller, K., Joldes, G., Lance, D. and Wittek, A., (2007), *Total Lagrangian explicit dynamics finite element algorithm for computing soft tissue deformation*, Communications in numerical methods in engineering, Vol. 23(2), p.121-134.

17- Det Norske Veritas., (2010), *Rules For Classification Of High Speed, Light Craft And Naval Surface Craft*, Part 1-Chapter 1.

18- Det Norske Veritas., (2010), *Rules For Classification Of High Speed, Light Craft And Naval Surface Craft*, Part 1, Cahpter 2.

19- Det Norske Veritas., (2010), *Rules For Classification Of High Speed, Light Craft And Naval Surface Craft*, Part 2-Chapter 4.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-02-15]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.18.3.7]