

تدوین نرم افزار محاسبات سازه‌ای شناورهای تندرو سبک کامپوزیتی بر اساس استاندارد

امین اسلامی*، محمد رضایی سنگتایی**

چکیده:

امروزه استفاده از نرم افزارهای مهندسی در طراحی و ارزیابی یک شناور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از این نرم افزارها در انجام محاسبات سازه‌ای شناورها موجب کاهش زمان و هزینه و نیز کاهش خطای انسانی می‌شود. بنابراین در این تحقیق، نرم‌افزاری بر اساس محاسبات سازه‌ای استاندارد تدوین و ارائه شده است. با بکارگیری این نرم‌افزار فرآیند صحت‌گذاری طراحی سازه شناورهای تندرو سبک کامپوزیتی تسریع یافته است. همچنین یک شناور کامپوزیتی به عنوان مطالعه موردی تحت ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از بکارگیری این نرم‌افزار تحلیل شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد استفاده از این نرم‌افزار تاثیر بسزایی در سرعت و دقت صحت‌گذاری طراحی سازه‌ای شناورها داشته است.

واژگان کلیدی:

شناور تندرو، سازه کامپوزیتی، تدوین نرم‌افزار، استاندارد

۱. مقدمه

موسسه‌های رده‌بندی در این زمینه احساس شده است. به همین دلیل موسسه‌های رده‌بندی جهت تسهیل انجام این محاسبات و کاهش احتمال خطای انسانی در انجام آن‌ها اقدام به ارائه نرم‌افزارهایی نموده‌اند که می‌توان به نرم‌افزارهای Mars2000 جهت انجام محاسبات قوانین و مقررات موسسه رده‌بندی BV^۱ [۱] و Nauticus جهت انجام محاسبات قوانین و مقررات موسسه رده‌بندی DNV-GL^۲ [۲] اشاره نمود. این نرم‌افزارها قابلیت حداقلی در انجام محاسبات استحکام عمومی و استحکام محلی را دارا بوده و محاسبات تنش، کماتش و جابجایی‌های ناشی از بارگذاری‌ها در برابر تنش‌های جاری را مورد ارزیابی قرار خواهند داد. در برخی از این نرم‌افزارها مانند Nauticus بخش‌های مربوط به تحلیل مستقیم نیز گنجانده شده است و در موارد دیگر مانند استاندارد BV نرم‌افزارهای جداگانه‌ای مانند Maestro جهت انجام محاسبات مستقیم پیش‌بینی شده است.

علاوه بر استفاده از استانداردها در فرآیند رده‌بندی شناورها، از نرم‌افزارهای اشاره شده می‌توان در بخشی از تحقیق‌های صنعت دریایی استفاده نمود. کاپراس و همکارانش [۳] در تحلیل استحکامی دو مقطع از یک شناور حمل میعانات گازی (LNG Carrier) از نرم‌افزار Mars2000 استفاده نموده‌اند. در

به‌طور کلی بررسی استحکام سازه‌ای بدنه شناورها یکی از مراحل مهم در فرآیند رده‌بندی می‌باشد که در این فرآیند می‌بایست ابعاد هندسی تمامی ورق‌ها و تقویت‌کننده‌ها^۱ مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور دو روش اساسی در آیین‌نامه‌های موسسه‌های رده‌بندی وجود دارد. روش اول استفاده از روابط ارائه شده در استانداردهای بین‌المللی بوده که به روش محاسبات آیین‌نامه‌ای^۲ شناخته می‌شود. روش دوم استفاده از روش‌های عددی مانند روش المان محدود می‌باشد که به روش تحلیل مستقیم^۳ معروف است. استفاده از روش تحلیل مستقیم بسیار زمان‌بر و دارای هزینه‌های بالایی می‌باشد که استانداردهای معتبر استفاده از این روش را برای ارزیابی شناورهایی با بدنه‌های جدید^۴، و یا در شناورهای با طول و (یا سرعت‌های) بالا توصیه می‌نمایند. بنابراین استفاده از روش تحلیل آیین‌نامه‌ای در بسیاری از شناورهای متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد و حجم بالایی از کارهای موسسه‌های رده‌بندی را به خود اختصاص می‌دهد. در روش آیین‌نامه‌ای حجم بالایی از روابط استاندارد را باید برای تمامی ورق‌ها و تقویت‌کننده‌های شناور به صورت جداگانه محاسبه نمود. بنابراین لزوم ارائه نرم‌افزاری بومی برای تمامی

1. Scantling
2. Rule-Base Strength Calculation
3. Direct Calculation
4. Novel Design
5. Bureau Veritas
6. Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd

* کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
** دکترا، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

این تحقیق تعیین ابعاد ورق‌ها و تقویت‌کننده‌ها در دو مقطع به کمک روابط موسسه BV ارزیابی شده است. کیم و پای [۴] در تحلیل حالت حدی استحکام نهایی از نرم افزار Maestro استفاده نموده‌اند. در برخی از تحقیق‌ها نیز از روابط آیین‌نامه‌ای جهت طراحی یک شناور و یا بخشی از یک شناور استفاده می‌شود [۴-۷]. پایر و اسچلین [۵] از قوانین و مقررات موسسه رده‌بندی GL جهت طراحی سازه‌های یک شناور کانتینربر جهت انجام محاسبات تعیین بارگذاری، ارزیابی استحکام عمومی، ارزیابی در برابر بارهای ضربه‌ای استفاده نموده‌اند. شین و همکارانش [۶] از استانداردهای IACS^۷ ارائه شده برای ارزیابی شناورهای تانکر حامل سوخت استفاده نموده‌اند تا به کمک یک روش جستجوی تصادفی اقدام به بهینه‌سازی سازه‌ای نمایند. لیو و همکارانش [۷] نیز از استاندارد LR^۸ جهت محاسبه نیروی جانبی وارد بر بدنه یک شناور SWATH^۹ استفاده نموده‌اند. بدین ترتیب اهمیت موضوع استفاده از قوانین موسسه‌های رده‌بندی با اشکال مختلف (استفاده از نرم افزارهای ارائه شده از موسسه‌های رده‌بندی و یا استفاده از بخش‌هایی از روابط ارائه شده در قوانین و مقررات موسسه‌های رده‌بندی) مشخص شده است.

در این تحقیق نرم‌افزاری تدوین و ارائه شده تا به کمک آن بتوان محاسبات آیین‌نامه‌ای سازه شناورهای تندرو سبک کامپوزیتی را انجام داد. این محاسبات بر اساس فصول مختلف استاندارد DNV [۸] انجام شده و یک نمونه از این شناورها به عنوان مطالعه موردی تحت ارزیابی قرار گرفته است. نحوه ورود اطلاعات به نرم افزار به دو صورت همزمان با استفاده از پنجره‌های طراحی شده در محیط نرم افزار برای مشخصات کلی شناور و چند فایل از نرم افزار EXCEL جهت ورود اطلاعات هر یک از ورق‌ها و تقویت‌کننده‌ها می‌باشد. در خروجی نرم افزار، تنش‌ها و جابجایی‌ها همراه با مقایسه معیارهای استاندارد ارائه می‌شود تا بتوان المان‌های سازه‌ای که الزامات استاندارد را رعایت نمی‌کنند به طور مشخص شناسایی نمود.

۲ معرفی نرم افزار Hull Design

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش مقدمه در خصوص اهمیت کدنویسی روابط آیین‌نامه‌ها در موسسات رده‌بندی، سعی شده است نرم‌افزاری تدوین و ارائه شود تا محاسباتی جامع بر اساس روابط استاندارد انجام گردد که بخشی از این

فعالیت به صورت مقاله در اینجا ارائه شده است. در این راستا نرم افزار Hull Design در حال حاضر در دو ماژول کامپوزیت و آلومینیوم برای طراحی شناورهای تندروی سبک ارائه شده است که نمای اصلی نرم افزار در شکل ۱ نمایش داده شده است. همچنین بخش‌هایی از استاندارد که روابط آن در این نرم افزار کدنویسی شده در این پنجره مشخص شده است.



شکل ۱: نمای اصلی نرم افزار Hull Design

نرم افزار موجود بر اساس بخش‌های مربوط به محاسبات سازه‌های شناورهای تندرو سبک مطابق با استاندارد DNV تدوین شده است.

* DNV, part3, ch.1: محاسبه شتاب‌ها، نیروها و فشارهای وارد بر اجزای مختلف بدنه

* DNV, part3, ch.3: طراحی سازه آلومینیومی

* DNV, part3, ch.4: طراحی سازه کامپوزیتی تک پوسته و ساندویچ پل

لازم به ذکر است در این مقاله به تشریح ماژول کامپوزیت این نرم افزار پرداخته شده و بخش آلومینیومی این نرم افزار در حال تکمیل و صحنه‌گذاری می‌باشد. به منظور آشنایی بیشتر در این بخش به معرفی پنجره‌های مختلف این نرم افزار پرداخته شده است. پس از ورود به نرم افزار نوع بدنه شناور را بدنه کامپوزیتی انتخاب کرده و وارد پنجره مربوط به داده‌های ورودی جهت طراحی سازه خواهیم شد که در شکل ۲ نمایی از آن نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود اطلاعاتی از قبیل مشخصات شناور، محدوده دریانوردی، خواص مواد، اطلاعات هندسی ورق‌ها (پوسته‌ها)، تقویت‌کننده‌ها، مخازن و مدول‌های مقاطع وارد نرم افزار می‌شوند.

7. International Association Classification Societies

8. Lloyd's Register

9. Small Waterplane Area twin hull

The screenshot displays the software's input interface, organized into several sections:

- 1. Vessel Specifications:** Fields for LOA, LBP, LWL, LCG, V, Height B, BWL, draft (T), T0, TL, dis., beta_cg, Aarea_b, Aarea_s, and Aarea_d.
- 2. Restriction Service:** Selection boxes for vessel Type, number of hull, Res., and beau.
- 3. Material Specifications:** A grid of input fields for material properties such as $\sigma_{nu_pl_b,s,d}$, $\sigma_{nu_stiff_b,s,d}$, $\sigma_{nu_gir_b,s,d}$, $\tau_{u_core_pl_b,s,d}$, $\tau_{u_stiff_b,s,d}$, $\tau_{u_gir_b,s,d}$, $t_{skin_outside_b,s,d}$, $t_{skin_inside_b,s,d}$, $t_{stiff_b,s,d}$, $t_{gir_b,s,d}$, $d_{skin_bottom,s,d}$, $d_{stiff}(bf)_{b,s,d}$, $d_{gir}(bf)_{b,s,d}$, $hw_{stiff_b,s,d}$, $hw_{gir_b,s,d}$, $E_{pl_b,s,d}$, $E_{stiff_b,s,d}$, $E_{gir_b,s,d}$, $E_c_{b,s,d}$, $G_c_{b,s,d}$, $G_w_{stiff_b,s,d}$, and $G_w_{gir_b,s,d}$.
- 4. Import Plating Data:** A table for plating data.
- 5. Import Stiffener & Girder Data:** A table for stiffener and girder data.
- 6. Import Tank & Bulk. & Superstr. Data:** A table for tank and bulkhead data.
- 7. Import Weight Of Laminate:** A table for laminate weight data.
- 8. Import Section Modulus Data:** A table for section modulus data.
- 9. Total Weight Elements:** A table for total weight elements.
- A central **Done** button.

شکل ۲: نمای ورودی (Inputs) ماژول طراحی سازه کامپوزیتی

این شکل مشاهده می‌شود نتایج مربوط به شتاب‌ها، بارهای طراحی، محاسبات مربوط به مشخصات ورق‌ها (پوسته‌ها) و تقویت‌کننده‌ها به همراه تخمین وزن شناور به عنوان خروجی در این پنجره به نمایش گذاشته می‌شود. لازم به ذکر است هر یک از مشخصات ورودی شناور و نیز پارامترهای خروجی در مطالعه موردی انجام شده در بخش بعد، به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

بخش بعدی نرم‌افزار پنجره مربوط به نمایش نتایج محاسبات سازه‌ای به عنوان خروجی نرم‌افزار می‌باشد که در شکل ۳ نمایش داده شده است. پنجره شکل ۳ پنجره ابتدایی نرم‌افزار می‌باشد که با فشردن دکمه input پنجره شکل ۲ ظاهر می‌شود و پس از ثبت اطلاعات و فشردن دکمه Calculate محاسبات سازه‌ای انجام شده و خروجی‌های حاصل از آن به نمایش گذاشته خواهد شد. همان‌گونه که در

The screenshot displays the software's output interface, organized into several sections:

- Inputs, Acceleration (m/s²) & Pressure (KN/m²):** A summary of input values and a **Calculate** button.
- 3. Design Pressure (KN/m²):** A table of design pressures for various components: bottom_plate, bottom_stiffener, bottom_girder, side_above WL_plate, side_above WL_stiffener, side_above WL_girder, superstruc. end bnds., watertight bulkheads, tank, weather deck, accommodation deck, and wash bulkhead.
- 4. Plating Stress, Laminate weight & Deflection:**
 - 4. Normal stress in the skin laminates (N/mm²):** Tables for Value, P/F, and Mar. % for bottom and side edges (longest and shortest).
 - 5. Shear stress in core (sandwich panel)(N/mm²):** Tables for Value, P/F, and Mar. % for bottom and side edges (longest and shortest).
 - 6. Analyse Of Laminate Weight_Skin (g/m²):** Tables for Value, P/F, and Mar. % for hull bot., Trans. & outside hull, hull side & bott. above WL, and Weather deck (no cargo).
 - 7. Deflection Of a Flat Panel (w/b) (-):** Tables for Value, P/F, and Mar. % for bottom, side, and deck.
 - 8. Graph:** Two line graphs showing Vertical Acceleration (m/s²) - X (m) and Design pressure on bottom for plating (KN/m²) - X (m).
- Stiffener Section modulus, Stress, Deflection, Bonding area & Buckling:**
 - 9. Minimum Requirement For Section Modulus (cm³):** Table for Cr_Value, P/F, and Mar. % for bottom_stiffener, bottom_girder, side_stiffener, side_girder, deck_stiffener, deck_girder, and bulk.&tran_stiff.
 - 10. Other Criteria (for stiff.) Margin (%):** Table for sig_stiff. & gir.>3.3, tau_stiff. & gir.>4, wb_stiff. & gir.<0.02, Aw_stiff. & gir.>Aweff, and buck_stiff. & gir.
- 11. Esti. Structure Weight(kg):** A table for Skin, Stiffener, and total weight.

شکل ۳: نمای خروجی ماژول طراحی سازه کامپوزیتی

لازم به ذکر است در بکارگیری از این نرم افزار جهت طراحی یک شناور، مشخصات اولیه به عنوان تخمین اولیه فاز طراحی به نرم افزار معرفی می شود. بدیهی است که در مرحله اول پس از انجام محاسبات، بخشی از معیارهای استاندارد ارضا نشود. بنابراین می بایست تخمین اولیه، اصلاح و محاسبات تکرار شود. این کار تا رعایت تمامی معیارهای استاندارد ادامه می یابد. همچنین در صورت رعایت معیارها می بایست ضرایب اطمینان را بررسی نمود تا طراحی دارای ضرایب اطمینان مناسب بوده و از ضرایب اطمینان بسیار بزرگ یا طراحی های غیرمعقول اجتناب شود. هر چه طراح تبحر و تجربه بیشتری داشته باشد تعداد سعی و خطا و تخمین ها برای طراحی بهینه کمتر خواهد بود. بنابراین این نرم افزار می تواند ابزاری در اختیار طراح جهت انجام محاسبات طراحی و انجام چندین باره محاسبات برای بررسی تغییرات طراحی سازه‌ای در طول فرآیند طراحی یک شناور باشد. این نرم افزار علاوه بر فاز طراحی یک شناور می تواند ابزاری در اختیار کارشناسان موسسه های رده بندی جهت ارزیابی صحت محاسبات صورت پذیرفته در دفاتر طراحی واقع گردد.

۳ مطالعه موردی

در این بخش سعی شده است روند طراحی یک شناور تندروی سبک کامپوزیتی با استفاده از نرم افزار Hull Design بطور کامل شرح داده شود. این شناور از دسته شناورهای گشتی بوده که کاربرد فراوانی در بخش شناورهای کامپوزیتی موجود در کشور دارد که نمایی از این شناور در شکل ۴ نمایش داده شده است. این شناور دارای بدنه ساندویچی کامپوزیتی با هسته های فومی می باشد. در ادامه به تفصیل نحوه ارائه ورودی های مربوط به این شناور و بهره برداری از نتایج تحلیل آن ارائه خواهد شد.



شکل ۴: نمای سه بعدی شناور نمونه

۳-۱ ورودی های نرم افزار

در این بخش با توجه به شکل ۲، داده های ورودی نرم افزار معرفی شده است. در ابتدا می بایست مشخصات شناور مطابق بخش ۱ از شکل ۲ به عنوان ورودی ارائه شود. بدین منظور اطلاعات مربوط به شناور تندرو کامپوزیتی مطابق جدول ۱ به نرم افزار داده می شود. مشخصات مربوط به نوع کاربری، محدوده عملیات، چند بدنه بودن و فورس دریای^{۱۰} شناور در بخش ۲ از شکل ۲ تعیین می شود که این مشخصات برای شناور مذکور در جدول ۲ آورده شده است. در بخش نوع بدنه می توان موارد زیر را به صورت کد عددی به عنوان ورودی نرم افزار در نظر گرفت: ۱- مسافری، ۲- خودروبر، ۳- باری، ۴- گشتی و ۵- تفریحی.

جدول ۱: مشخصات شناور نمونه

پارامتر	مقدار
طول کلی (متر)	۲۳/۷
طول آبخور (متر)	۲۰/۳
عرض کلی (متر)	۵
عرض آبخور (متر)	۴/۹
ارتفاع ساختمانی (متر)	۵/۱
وزن (تن)	۴۶/۵
سرعت حداکثر (گره)	۴۰
آبخور حداکثر در آب آرام (T) (متر)	۱/۱۵
آبخور در وسط شناور با سرعت کروز (T0) (متر)	۱
آبخور در عمود سینه با سرعت کروز (T1) (متر) "محاسبه شده از خط آب تا کیل یا امتداد کیل"	۰/۹
مرکز ثقل طولی (متر)	۹/۱
مرکز ثقل عمودی (متر)	۱
زاویه تریم (درجه)	۰
زاویه رأس ^{۱۱} در مرکز ثقل (درجه)	۲۷
مساحت کف، مساحت کنار و مساحت عرشه (متر)	۸۶/۴، ۹۹/۴ و ۱۰۱/۹

جدول ۲: محدوده دریانوردی شناور

پارامتر	مقدار/نوع
نوع کاربری	۴ (گشتی)
تعداد بدنه	۱ (تک بدنه)
محدوده عملیات ^{۱۲}	R3
فورس	۴

بخش ۳ از شکل ۲ مربوط به ضخامت لایه ها ((mm)) و خواص مواد از قبیل استحکام نهایی (Mpa)، مدول یانگ (Mpa) و ضریب پواسون در نواحی مختلف سازه می باشد.

10. Beaufort
11. Dead rise
12. Service Restriction

جدول ۳: لایه چینی پوسته کف

لایه چینی سمت بدنه و هسته	لایه چینی سمت آب
CSM (150 g/m ²)	CSM (150 g/m ²)
EWR (200 g/m ²)	Kevlar (480 g/m ²)
CSM (150 g/m ²)	CSM (150 g/m ²)
Kevlar (480 g/m ²)	EWR (200 g/m ²)
CSM (150 g/m ²)	CSM (150 g/m ²)
EWR (200 g/m ²)	Kevlar (480 g/m ²)
CSM (150 g/m ²)	CSM (150 g/m ²)
EWR (200 g/m ²)	Kevlar (480 g/m ²)
CSM (150 g/m ²)	CSM (150 g/m ²)
EWR (200 g/m ²)	Core [Thickness 50 mm , Density 130 kg/m ³]
CSM (150 g/m ²)	

جدول ۴: مشخصات پوسته و تقویتی کف

پوسته‌ها و تیرچه‌های کف (مرحله ۴ و ۵)			
زاویه رأس (درجه)	فاصله دهانه (متر)	فاصله مرکز تا مرکز (متر)	موقعیت (متر)
۱۸/۱۵	۰/۹	۰/۷۵	۰/۷۵
۱۹/۶	۰/۹	۰/۷۵	۳
۲۲/۰۲	۰/۹	۰/۷۵	۵/۲۵
۲۳/۴۸	۰/۹	۰/۷۵	۷/۵
۲۵/۶۸	۰/۹	۰/۷۵	۹/۷۵
۲۷/۵۵	۰/۹	۰/۷۵	۱۲
۳۲/۷۷	۰/۹	۰/۷۵	۱۴/۲۵
۳۹/۵	۰/۹	۰/۷۵	۱۶/۵
۴۴/۲	۰/۹	۰/۷۵	۱۸/۷۵
۳۱/۳	۰/۹	۰/۷۵	۲۱
۳۱/۳	۰/۹	۰/۷۵	۲۲/۵
تیرچه کف (مرحله ۸)			
پارامتر	مقدار		
ارتفاع جان (میلی‌متر)	۷۰		
عرض بال (میلی‌متر)	۳۰		
ضخامت جان و بال (میلی‌متر)	۳/۴		
عرض اتصال (میلی‌متر)	۶۰		
ضخامت هسته (میلی‌متر)	۳۰		
ممان اینرسی (mm ⁴)	۲۰۴/۲		
مدول مقطع (سانتی‌متر مکعب)	۵۳/۲		
مساحت جان (میلی‌متر مربع)	۴۷۶		

۲-۳ خروجی‌های نرم‌افزار

پس از تعیین ورودی‌های بخش ۳-۱، محاسبات طراحی سازه بر اساس استاندارد مذکور انجام خواهد شد. در این بخش به توضیح نتایج خروجی ارائه شده در شکل ۳ پرداخته شده است. در بخش ۱ و ۲ از شکل ۳، شتاب عمودی در مرکز ثقل، سرعت مجاز در فورس مرتبط، حداکثر شتاب عمودی در کف،

باید توجه داشت که خواص مواد ارائه شده مربوط به لایه‌های الیاف و رزین می‌باشد. بدین منظور می‌بایست نمونه‌هایی از لایه‌های مورد نظر مطابق استاندارد تهیه شده و مورد آزمایش کشش قرار گرفته و نتایج استخراج شود. اگر نتایج آزمایشات برای هر یک از لایه‌های الیاف به صورت جداگانه (به‌عنوان مثال CSM150) در دسترس باشد می‌توان از برهم‌نهی خواص مطابق رابطه زیر، خواص لایه‌های مورد نظر (به‌عنوان مثال CSM¹³150+EWR¹⁴200+CSM150+EWR200+CSM150) را بدست آورد.

$$\sigma_{nu} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{nu_i} \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

رابطه فوق مربوط به استحکام نهایی می‌باشد که جهت محاسبه سایر خواص نیز می‌توان از رابطه‌ای مشابه استفاده نمود. در بخش ۴ از شکل ۲، می‌بایست اطلاعات مربوط به پوسته‌های کف، کناره‌ها^{۱۵} و عرشه شامل موقعیت مرکز آن، فاصله دهانه^{۱۶}، فاصله تا مرکز پوسته کناری^{۱۷}، ارائه شود. در این بخش، زاویه رأس نیز در هر موقعیت باید ارائه شود.

بخش ۵ از شکل ۲ نیز مشخص کننده اطلاعات مربوط به تقویتی‌ها (تیرچه و شاه‌تیر) شامل موقعیت آن‌ها، فاصله دهانه، فاصله تا تقویتی کناری، می‌باشد. مشخصات دیواره‌ها^{۱۸}، مخازن و سوپراستراکچر شامل موقعیت و ارتفاع آن‌ها، فاصله دهانه و فاصله تقویتی‌ها در بخش ۶ از شکل ۲ تعیین می‌شود. در بخش ۸ از شکل ۲، مشخصات مربوط به تقویتی‌ها شامل ابعاد و ضخامت جان^{۱۹} و بال^{۲۰} تقویتی، ممان اینرسی، مدول مقطع، مساحت سطح برشی تقویتی، عرض ناحیه اتصال تقویتی به بدنه، باید ارائه شود. در نهایت اطلاعات مربوط به لایه‌چینی و مساحت نواحی مختلف سازه به ترتیب در بخش ۷ و ۹ از شکل ۲ تعیین شده است. به‌عنوان نمونه لایه‌چینی پوسته کف در جدول ۳ و اطلاعات مربوط به بخش ۴، ۵ و ۸ برای کف با فواصل پوسته و تقویتی ۷۵ سانتی‌متری به طور خلاصه در جدول ۴ ارائه شده است. اطلاعات ورودی در دیگر نواحی سازه بدنه شناور از جمله پوسته کناره‌ها، عرشه، سوپراستراکچر و دیواره‌ها به‌همین صورت تعیین شده است.

13. Chopped Strand Mat
14. E-glass Woven Roving
15. Side
16. Span
17. Space

18. Bulkheads
19. Web
20. Flange

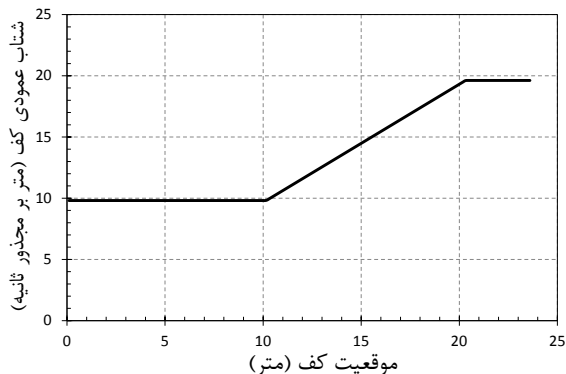


شتاب طولی و افقی، نمایش داده شده است. فشارهای طراحی وارد بر پوسته و تقویتی کف، کناره‌ها، سوپر استراکچر، دیواره‌ها، مخازن و عرشه در بخش ۳ از شکل ۳ نشان داده شده است. به بطور نمونه منحنی توزیع شتاب عمودی و توزیع فشار وارد بر کف در بخش ۸ از شکل ۳ ارائه شده است. مقادیر فشارها و شتاب‌های شناور نمونه در جدول ۵ و دیگرگام مربوط به شتاب عمودی و فشار وارد بر کف شناور در شکل ۵ و شکل ۶ نشان داده شده است.

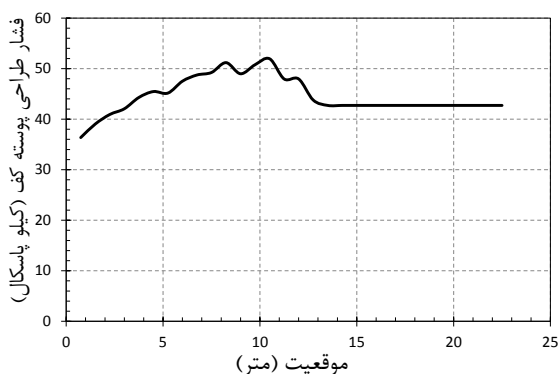
جدول ۵: شتاب‌ها و فشارهای وارد بر بدنه

مقدار	پارامتر
۹/۸۱	شتاب عمودی مرکز ثقل (متر بر مجذور ثانیه)
۲۰/۰۵	سرعت سرویس (متر بر ثانیه)
۱۹/۶۲	شتاب عمودی سینه (متر بر مجذور ثانیه)
۶/۷	شتاب طولی (متر بر مجذور ثانیه)
۱/۴۷	شتاب عرضی (متر بر مجذور ثانیه)
۵۱/۹۵	فشار پوسته و تیرچه کف (کیلو پاسکال)
۲۸/۱۳	فشار شاه تیر کف (کیلو پاسکال)
۲۹	فشار پوسته کناره (کیلو پاسکال)
۴۲/۸	فشار تیرچه کناره (کیلو پاسکال)
۱۱	فشار دیواره انتهایی سوپر استراکچر (کیلو پاسکال)
۲۴/۷	فشار دیواره آب‌بند (کیلو پاسکال)
۱۳/۴	فشار مخزن (کیلو پاسکال)
۲۹	فشار عرشه رویاب (کیلو پاسکال)
۶/۹	فشار عرشه روسازه (کیلو پاسکال)
۹/۱	فشار دیواره موج‌گیر (کیلو پاسکال)

پس از محاسبه شتاب‌ها و فشارها محاسبات مربوط به پوسته در بخش‌های ۴ تا ۷ از شکل ۳ انجام شده است. محاسبات پوسته شامل تنش نرمال، تنش برشی، تغییر شکل پوسته و حداقل میزان مصرف الیاف می‌باشد. مقادیر تنش نرمال و تنش برشی وارد بر پوسته‌های کف، کنار و عرشه به ترتیب در بخش ۴ و ۵ از شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین میزان الیاف استفاده شده در نواحی مختلف سازه در بخش ۶ از شکل ۳ و تغییر شکل پوسته‌ها در بخش ۷ از شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۵: توزیع شتاب عمودی کف



شکل ۶: توزیع فشار وارد بر کف شناور

لازم به ذکر است مقادیر ارائه شده تمامی پارامترها در نمای بصری نرم‌افزار، بیشینه آن پارامتر در موقعیت‌های مختلف بوده و جزئیات مقادیر در فایل‌های مجزا جهت تجزیه و تحلیل دقیق‌تر ذخیره شده است.

پس از محاسبات تنش‌ها، میزان الیاف و تغییر شکل پوسته، محاسبات مربوط به تقویتی‌ها در بخش‌های ۹ و ۱۰ از شکل ۳ انجام شده است. در بخش ۹، حداقل مدول مقطع مورد نیاز تقویتی‌ها در نواحی مختلف سازه محاسبه شده است. این حداقل مقدار مدول مقطع به پارامترهایی همچون فشار وارد بر تقویتی، فاصله دهنه، فاصله بین دو تقویتی، وضعیت تکیه‌گاه تقویتی‌ها و استحکام لایه‌ها وابسته است. همچنین در بخش ۱۰ محاسبات تنش نرمال، تنش برشی، تغییر شکل تقویتی، سطح مقطع مورد نیاز جان و مقدار کمانش ارائه شده است. در نهایت با توجه به لایه‌چینی پوسته‌ها و تقویتی‌های نواحی مختلف، تخمین وزن سازه در بخش ۱۱ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود این تعیین وزن برای پوسته‌ها و تقویت کننده‌ها به تفکیک ارائه شده است.

بطور نمونه مقادیر مربوط به بخش‌های ۴ تا ۱۱ از شکل ۳ برای پوسته و تیرچه‌های کف با فواصل پوسته و تقویتی ۷۵

سانتی متری به طور خلاصه در جدول ۶ ارائه شده است. مقادیر مذکور شامل تنش‌ها، تغییر شکل و سایر پارامترها برای پوسته و تقویتی‌های کف شناور نمونه می‌باشد. محاسبات مربوط به کناره، عرشه، سوپر استراکچر و دیواره‌ها با روندی کاملاً مشابه صورت خواهد پذیرفت.

جدول ۶: مقادیر تنش، تغییر شکل و سایر پارامترهای پوسته و تقویتی کف

پوسته کف (بخش ۴ تا ۷)		
پارامتر	مقدار	
تنش نرمال پوسته (مگا پاسکال)	۸/۳	
تنش برشی هسته (مگا پاسکال)	۰/۴۵	
مقادیر الیاف (گرم بر متر مربع)	سمت آب	۲۱۱۰
	سمت بدنه	۱۴۸۰
تغییر شکل وسط پوسته (میلی‌متر)	۳/۲۲	
تغییر شکل پوسته/ فاصله مرکز تا مرکز پوسته	۰/۰۰۴۲	
تیرچه کف (بخش ۹ و ۱۰)		
پارامتر	مقدار	
مدول مقطع مورد نیاز (سانتی متر مکعب)	۴۲/۷	
تنش نرمال (مگا پاسکال)	۷۴/۱۲	
تنش برشی (مگا پاسکال)	۵/۱۱	
تغییر شکل وسط تقویتی (میلی‌متر)	۵/۵	
مساحت مورد نیاز مقطع عرضی جان (میلی متر مربع)	۱۷۰۰	
نیروی کمانش کلی محوری (کیلو نیوتن)	۵/۹۴	

۳-۳ ارزیابی معیارهای سازه ای

پس از انجام محاسبات بر اساس استاندارد DNV و ارائه مقادیر خروجی‌های تنش‌ها و جابجایی‌ها، می‌بایست نتایج محاسبات مطابق با معیارهای استاندارد مورد بررسی قرار گیرد. ارزیابی

جدول ۷: معیارهای استحکام پوسته کف

پارامتر	مقادیر معیار	مقادیر طراحی	رعایت معیار / عدم رعایت معیار
تنش برشی هسته کف در زیر خط آب (مگا پاسکال)	۰/۸	۱/۶	رعایت معیار
تنش فشاری هسته کف در زیر خط آب (مگا پاسکال)	۰/۹	۲/۴	رعایت معیار
مقدار مورد نیاز الیاف کف در سمت آب (گرم بر متر مربع)	۲۰۴۰	۲۱۱۰	رعایت معیار
تنش نرمال مجاز پوسته کف (مگا پاسکال)	$۰/۳ \times ۱۹۶$	۸/۴۵	رعایت معیار
تنش برشی مجاز هسته کف (مگا پاسکال)	$۰/۴ \times ۱/۶$	۰/۴۶	رعایت معیار
تغییر شکل مجاز پوسته کف (تغییر شکل پوسته/ فاصله مرکز تا مرکز پوسته)	۰/۰۲	۰/۰۰۴۳	رعایت معیار

معیارهای استاندارد جهت صحت‌گذاری مقادیر ابعادی اتخاذ شده برای ورق‌ها و تقویت کننده‌های نواحی مختلف بدنه شناور می‌باشد که این امر نیز در بخش خروجی نرم‌افزار ارائه شده است. در محاسبات سازه‌ای بدنه این شناور معیارهای حداقل استحکام فشاری و برشی هسته، حداقل الیاف پوسته، حداکثر تنش نرمال وارد بر پوسته، حداکثر تنش برشی وارد بر هسته و حداکثر تغییر شکل پوسته ارائه شده است. جهت ارائه نمونه‌ای از بخش‌های بدنه که با این معیارها مورد ارزیابی واقع شده‌اند در جدول ۷ معیارهای استحکام کف به همراه مقادیر محاسبه شده این پارامترها در شناور نمونه نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، سطر اول و دوم مربوط به استحکام برشی و فشاری هسته می‌باشد که با توجه به هسته بکار رفته در سازه ساندویچی کف شناور، معیار مورد نظر رعایت شده است. در سطر سوم، میزان الیاف بکار برده شده در کف نشان داده شده که مقدار ۲۱۱۰ گرم بر متر مربع، معیار حداقل ۲۰۴۰ را مرتفع نموده است. سطرهای بعدی نیز به ترتیب مربوط به تنش نرمال، تنش برشی و تغییر شکل می‌باشد که هر سه کمتر از مقدار معیار بوده و مورد پذیرش واقع شده است. ارزیابی معیارهای مربوط به کناره، عرشه، سوپر استراکچر و دیواره‌ها نیز به همین شکل تعیین شده است. لازم به ذکر است که میزان عدول از معیار و همچنین میزان رعایت نمودن معیارها بر حسب درصد، در بخش خروجی نرم‌افزار نمایش داده شده است. این درصد به طراح کمک می‌کند تا ضریب اطمینان بهینه طراحی را انتخاب نماید.

۴ نتیجه گیری

نرم افزار حاضر با انجام محاسبات طراحی سازه‌های شناور تندرو سبک کامپوزیتی، مسائل مبهم استاندارد را از پیش رو طراح برداشته و طراحی را در زمان کوتاهی ممکن می‌سازد. با نمای بصری که در اختیار کاربر قرار گرفته است، مشخصات ورودی با سهولت در پنجره‌های تعیین شده، وارد شده و تحلیل سازه‌ای براساس استاندارد DNV صحت‌گذاری می‌شود. استفاده از این نرم‌افزار تاثیر بسزایی در کاهش زمان و هزینه و افزایش دقت در انجام محاسبات سازه‌ای داشته و تا حد امکان خطای انسانی در انجام محاسبات سازه‌ای شناورهای تندرو سبک را از بین می‌برد. همچنین نرم‌افزار موجود با توجه به حجم بالای محاسبات در ارزیابی شناورهای کامپوزیتی می‌تواند در انجام سریع‌تر و دقیق‌تر در حوزه صحت‌گذاری طراحی شناورها کمک شایانی نماید.

۵ منابع

- [1] BUREAU VERITAS (BV), Rules for the Classification of Steel Ships, 2016
- [2] DNV GL, Rules for classification: Ships, 2016, available from <http://www.dnvgl.com>
- [3] Caprace, J.D., Bair, F. and Rigo, P., "Scantling multi-objective optimisation of a LNG carrier", Marine Structures, Vol. 23, p.p. 288–302, 2010.
- [4] Kim, D. H. and Paik, J. K., "Ultimate limit state-based multi-objective optimum design technology for hull structural scantlings of merchant cargo ships", Ocean Engineering, Vol. 129, p.p. 318–334, 2017.
- [5] Payer, H.G., Schellin, T.E., "A class society's view on rationally based ship structural design", Ships Offshore Struct, Vol. 8 (3–4), p.p. 319–336, 2013.
- [6] Shin, S.H., Song, H.C. and Jang, C.D., "Optimum structural design of tankers using multi-objective optimization technique", Ships Offshore Struct, Vol. 1 (3), p.p. 213–219, 2006.
- [7] Liu, B., Wu, W. and C. Guedes Soares, C., "Ultimate strength analysis of a SWATH ship subjected to transverse loads", Marine Structures, Vol. 57, p.p. 105–120, 2018.
- [8] DNV, Rules for classification of high speed, light and naval surface craft, 2013.

