هشتمین همایش صنایع دریایی
۹ لغایت ۱۱ آبانماه ۱۳۸۵
استان بوشهر

مقایسه مدل های مختلف برای تحلیل سازه شناورهای نظامی

احمد رهبر رنجی [1] _ علی زینتی ۲ _ ایرج حسینی ۳

چکیده

برای تحلیل سازه هر نوع کشتی بسته به میزان دقت مورد نیاز و زمان و هزینه می توان از روش های ساده یا پیچیده استفاده نمود. در خصوص کشتی های تجاری این روش ها مورد بررسی قرار گرفته و دقت هر کدام تعیین شده است. ولی برای کشتی های نظامی این موضوع کمتر بحث شده، به همین علت در این مقاله یک فروند شناور نظامی از نوع frigate طبق روابط موسسه رده بندی BV-military بارگذاری شده و با مدل های مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است. مقایسه نتایج نشان می دهند که اختلاف بین مدل ساده و مدل یکپارچه کشتی حداکثر ۲۰ درصد است که در طراحی ها می توان با انتخاب ضرایب اطمینان مناسب در مواقع نیاز از روش های ساده استفاده نمود.

کلمات کلیدی: تحلیل سازه کشتی ، روش المان محدود ، شناورهای نظامی

مقدمه

برای طراحی هر سازه یکی از مهمترین مراحل، تحلیل سازه، یعنی تعیین نیروهای داخلی، عکس العمل های تکیه گاهی و تغییر شکل ها می باشد. برای این منظور یکی از قویترین ابزاری که امروزه در کلیه رشته های مهندسی بکار میرود، روش اجزاء محدود است. این روش می تواند با دقت بالایی برای تحلیل هر نوع سازه بکار رود.

[1] -استادیار دانشکده مهندسی کشتی‌سازی و صنایع دریایی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، *rahbar@cic.aut.ac.ir*
۲- کارشناس ارشد سازه کشتی از دانشگاه صنعتی شریف و کارشناس ارشد مرکز طراحی و پژوهش های دریایی
۳- کارشناس ارشد معماری کشتی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و کارشناس ارشد مرکز طراحی و پژوهش های دریایی

برای تحلیل سازه کشتی نیز می توان از این روش استفاده کرد تنها مشکل زمان لازم برای مدل کردن سازه کشتی می باشد. به علت هندسه پیچیده و المان های سازه ای متفاوت و غیر پیوسته در طول، مدل کردن کل سازه کشتی بسیار مشکل و زمان بر می باشد و حجم بالایی از حافظه را اشغال می کند. به همین علت امکان تحلیل سازه کشتی در کامپیوتر های شخصی شاید هنوز غیر ممکن باشد.

بنابر این نیاز به روش های ساده تحلیل سازه شناورها امری ضروری است که در گذشته به علت عدم وجود کامپیوتر، این تنها روش موجود برای تحلیل سازه کشتی به شمار می رفت. سئوالی که همواره مطرح بوده این است که خطای روش های ساده چه میزان است و در چه مواردی می توان از آنها استفاده نمود. پس مقایسه روش های مختلف تحلیل سازه کشتی ها مسئله مهمی است. کاربرد روش های ساده برای کشتی های تجاری در مراجع و برخی موسسات رده بندی پیشنهاد شده که با ارائه ضرایب اطمینان مناسب خطای های محاسباتی جبران شده اند. ولی برای کشتی های نظامی به علت تقاضای کمتر این موضوع خیلی مورد توجه قرار نگرفته است. بر همین اساس در این مقاله یک فروند شناور نظامی از نوع frigate که اطلاعات سازه ای آن در اختیار بوده با روش های ساده و پیچیده مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج مقایسه شده اند.

مشخصات کشتی مورد نظر

برای مقایسه روش های مختلف تحلیل سازه کشتی یک فروند شناور نظامی Frigate با مشخصات زیر که اطلاعات سازه ای آن در دسترس بود، انتخاب شد. کشتی مورد نظر دارای ابعاد اصلی زیر می باشد:

$$L_{bp} = 88.39 \text{ [m]}$$

$$B = 11.10 \text{ [m]}$$

$$D = 7.62 \text{ [m]}$$

$$T = 3.20 \text{ [m]}$$

$$C_B = 0.48$$

کشتی دارای ۶۵ فریم عرضی ساختمانی می باشد که فاصله بین فریم ها در طول متغیر بوده، عمود سینه بین فریم شماره ۰ و ۱ و عمود پاشنه بین فریم شماره ۶۴ و ۶۵ قرار دارد. این کشتی دارای عرشه اصلی(Main Deck) و دو عرشه

میانی(Lower Decks) ، شامل عرشه دوم (2^{nd} deck) و عرشه سوم (3^{rd} deck) می باشد. که عرشه های میانی در برخی قسمت ها در طول امتداد دارند.

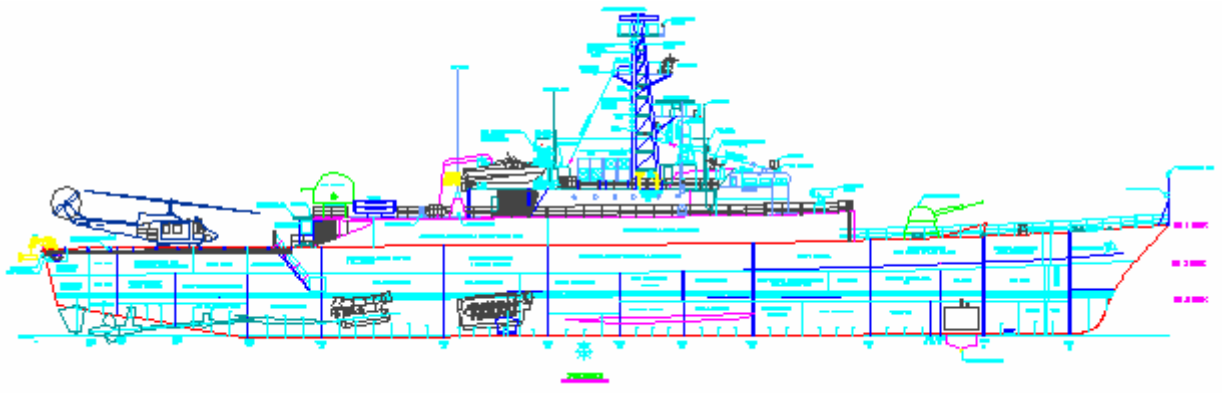
از فریم شماره ۳۴ تا فریم شماره ۸ یک بالک هد طولی از کف تا عرشه سوم قرار گرفته است. این بالک هد در قسمت فریم شماره ۱۹ تا فریم شماره ۲۲ و از فریم شماره ۸ تا فریم شماره ۱۱,۵ از نوع مسطح بوده و از فریم شماره ۱۱,۵ تا فریم شماره ۱۵ بالک هد مشبک (wash bulkhead) و در سایر قسمت ها بالک هد کنگره دار است. از فریم شماره ۲۲ تا فریم شماره ۳۰ نیز دو عدد بالک هد طولی مشبک در فاصله ۲۵۰۰ میلیمتری از مرکز بین کف و عرشه سوم قرار دارد.

بالک هد عرضی در فریم های زیر قرار دارد:

- در فریم شماره ۳، ۸، ۱۵، ۲۲، ۳۴، ۴۱، ۴۸ ، ۶۰ و ۶۲ تا عرشه اصلی
- در فریم شماره ۱۱، ۲۵، ۳۰، ۳۶، ۵۲ و ۵۸ تا عرشه دوم
- در فریم شماره ۶، ۱۱,۵، ۱۹، ۳۱ و ۶۲ تا عرشه سوم.

-بالک هد تصادم (Collision Bulkhead) در فریم شماره ۳ و بالک هد پاشنه در فریم شماره ۶۲ قرار دارد.

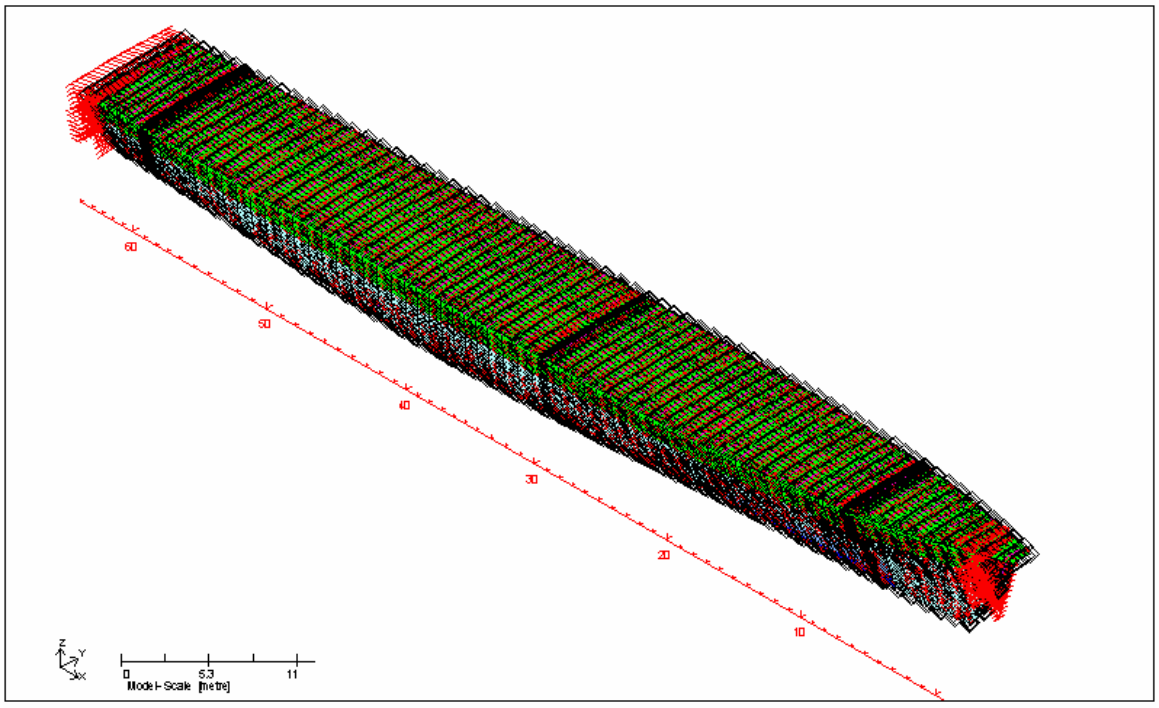
عرشه سوم و عرشه دوم بصورت عرضی فریم بندی شده و کف ، دیواره و عرشه اصلی بصورت طولی فریم بندی شده اند. در شکل شماره (۱) جانمای عمومی کشتی نشان داده شده است.



شکل (۱) جانمای عمومی کشتی

مدل کلی سازه کشتی

در مرحله اول تحلیل کلی سازه کشتی انجام گرفته که برای این منظور از نرم افزار POSEIDON که توسط موسسه رده بندی GL تهیه شده استفاده شده است. این نرم افزار قابلیت انجام محاسبات سازه ای طبق Rule و محاسبات اجزاء محدود را دارد. برای مدل کردن سازه کشتی بایستی کلیه مقاطع عرضی با فرم صحیح بدنه و المان های طولی و عرضی ایجاد شود. به علت پیچیدگی هندسه بدنه شناور مورد نظر و تغییر تعداد المان های طولی در چندین مقطع عرضی بیش از ۶۰۰ ساعت کاری برای مدل کردن شناور وقت صرف شده است. در شکل (۲) مدل اجزاء محدود کل کشتی با شرائط تکیه گاهی مناسب نشان داده شده است.



شکل شماره (۲) مدل اجزاء محدود کل کشتی

این مدل دارای ۱۴۶۹۵ تعداد گره، ۲۶۹۳ تعداد المان تیر و ۱۸۵۸۴ تعداد المانهای پوسته می باشد. تعداد معادلات ۸۸۱۷۰ عدد و تعداد درجات آزادی کشتی ۸۸۱۷۰ عدد است. بعد از ایجاد هندسه مدل نوبت به بارگذاری و اعمال شرایط تکیه گاهی می رسد. برای این منظور حداکثر شرایط بارگذاری طبق آیین نامه BV-military صورت گرفته و شرایط تکیه گاهی طبق این آیین نامه در دو عمود منظور شده است.

نمونه ای از نتایج تحلیل در جدول شماره (۱) آورده شده است.

مدل جزئی سازه کشتی

بر اساس نحوه انتقال نیرو در سازه کشتی می توان تنش ها را با تحلیل های جداگانه ای در اجزاء سازه ای بدست آورد و سپس با یکدیگر جمع نمود. در مرحله اول تحلیل ورق و تیرچه صورت می گیرد. برای تحلیل ورق و تیرچه می توان از روابط موجود در تئوری صفحه و تیر ها استفاده کرد. در جدول شماره (۲) مقادیر تنش ها در ورق در قسمت های مختلف در دو جهت طولی و عرضی به کمک روابط تئوری صفحات (مرجع [۴]) برای حداکثر بارگذاری بدست آمده است.

جدول شماره (۲) محاسبه تنش در ورق در قسمت های مختلف

موقعیت	t	σ_{x4}	σ_{y4}
Keel	8.0	3.40	10.93
bilge	8.0	3.71	11.99
Shear strake	7.0	1.95	5.84
Main Deck	5.0	1.50	4.42
2nd Deck	5.0	4.42	1.50
3rd Deck	6.0	77.81	25.94

در جدول شماره (۳) مقادیر تنش ها در تیرچه های قسمت های مختلف با مدل تیر تنها (دو سر گیردار یا ساده) محاسبه شده است.

جدول شماره (۳) تنش در تیرچه ها با مدل تیر تنها

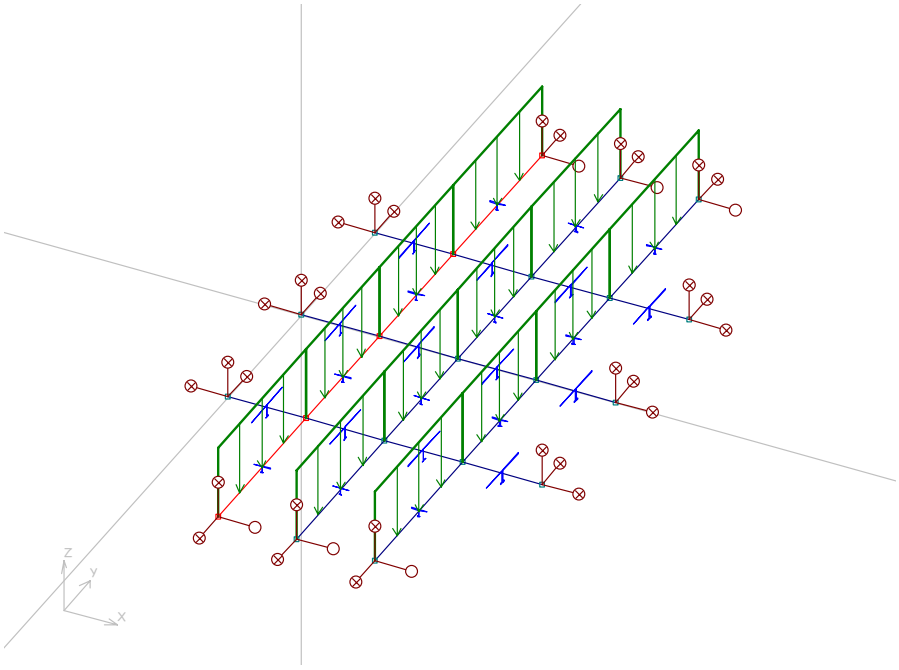
موقعیت	σ_3 [MPa]	τ_3 [MPa]
Bottom Longitudinal		
-1L	83.59	21.10
-2L	82.64	20.86
-13L	118.81	29.39
Main deck Long.	16.17	3.89
2nd Deck Beams	73.23	10.75

در مرحله دوم، تحلیل شاهتیر در یک قسمت، نظیر یک تانک یا انبار صورت می گیرد. برای تحلیل شاهتیر، می توان از مدل ساده تیر تنها (بیشتر دوسر گیردار) یا مدل های پیچیده استفاده نمود. در جدول (۴) تنش در شاهتیر های قسمت های مختلف با کمک مدل تیر تنها بدست آمده است.

جدول شماره (۴)، تنش ایجاد شده در شاهتیر ها با مدل تیر تنها

موقعیت	σ_2 [MPa]	τ_2 [MPa]
Center girder	-	-
Bottom Side Girder	80.4	46.96
Floor	70.2	63
Deck Center Girder	95	14
Deck Side girder	95	14
Deck Beam	86.55	14.31
Side Transverse	102.7	55.12

برای محاسبه تنش با مدل شاهتیر های مرکب (grillage) بایستی از نرم افزار های اجزاء محدود استفاده کرد. در اینجا برای تحلیل شاهتیر ها از نرم افزار Nauticus که توسط موسسه رده بندی DnV تهیه شده، استفاده شده است. در شکل شماره (۳) مدل شاهتیر های طولی و عرضی عرشه در فاصله بین دو بالک هد نشان داده شده است.



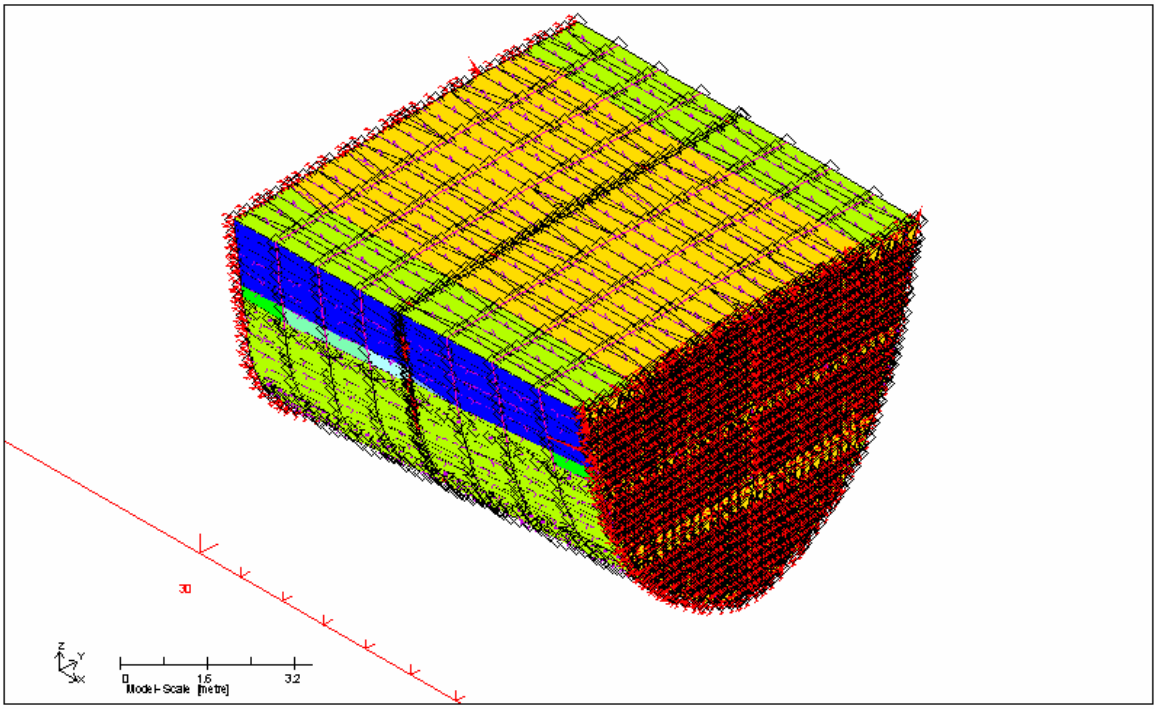
شکل (۳) مدل شاهتیر عرشه در نرم افزار NAUTICUS

نتایج تحلیل در شاهتیر های طولی و عرضی در جدول شماره (۵) آورده شده است.

جدول شماره (۵) تنش در شاهتیر ها با مدل گریلیج

موقعیت	σ_2 [MPa]	τ_{xy} [MPa]
Deck Center Girder	74	12
Deck Side girder	79	12
Deck Beam	120	17

البته امروزه به کمک تحلیل اجزاء محدود می توان کل یک منطقه را در نرم افزار ها مدل کرده و مجموع تنش های فوق الذکر را در یک مرحله محاسبه نمود. در شکل (۴) مدل یک انبار از بالک هد تا بالک هد در ناحیه میانی کشتی که در آن کلیه المانها شامل ورق، تیرچه ها و شاهتیر ها در نرم افزار POSEIDON مدل شده اند، نشان داده شده است. این مدل تحت اثر همان بارگذاری قبل قرار گرفته و نمونه ای از نتایج تحلیل در جدول (۶) آورده شده است.



شکل (۴) مدل اجزاء محدود ازبالک هد تا بالک هد

تنش اولیه در کشتی

در تحلیل با روش ساده در سطوح مختلف، آخرین مرحله محاسبه تنش ها، تحلیل کل کشتی بصورت یک تیر شناور می باشد که برای این منظور از تئوری خمش ساده تیر استفاده می شود. ابتداء تیر کشتی برای بدترین حالت ها بصورت استاتیکی بارگذاری شده و سپس با دو بار انتگرال گیری از منحنی بار، نیروی برشی و ممان خمشی در حالت ساکن بدست می آید و برای بدست آوردن مولفه دینامیکی می توان از روابط ارائه شده در موسسات رده بندی استفاده کرد.

به علت هندسه پیچیده کشتی محاسبه ممان خمشی در حالت ساکن با انتگرال گیری به روش عددی صورت می گیرد که در عمل از نرم افزار های هیدرومکانیکی مناسب نظیر AUTO-SHIP ، TRIBON و غیره استفاده می شود. در اینجا این ممان خمشی در حالتSagging به کمک نرم افزار TRIBON برابر

$$M_{SW} = 110000\,[\mathrm{KN.m}]$$

بدست آمده است. مولفه دینامیکی ممان خمشی به کمک روابط موسسات رده بندی در دو حالت Hogging و Sagging به قرار زیر بدست می آید.

$$M_{WV,H} = 76366.43\ [KN.m]$$

$$M_{WV,S} = 106382.68\ [KN.m]$$

مرحله بعد محاسبه اساس مقطع تیر کشتی می باشد که برای این منظور می توان از نرم افزار های مرتبط نظیر POSEIDON استفاده کرد.

$$Z_{ZB} = 0.6946\ [m^3]$$

$$Z_{AD} = 0.781\ [m^3]$$

بدین ترتیب تنش های اولیه در تمام نقاط قابل محاسبه می باشد.

مقایسه مدل های مختلف محاسباتی

چنانچه ملاحظه شد برای محاسبه مولفه های مختلف تنش و تنش کل می توان از مدل های مختلف استفاده نمود. در این قسمت به مقایسه نتایج بدست آمده از مدل های مختلف می پردازیم.

مقایسه مدل اجزاء محدود یک منطقه با ورق و تیر تنها در قسمت های مختلف در جدول شماره (۶) و (۷) انجام گرفته است.

جدول شماره (۶)، مقایسه تنش ها در قسمت های مختلف و با روش های متفاوت

موقعیت	مدل ورق	مدل اجزاء محدود یک منطقه
Bottom Plate -Keel Plate	$\sigma_{x4} = 3.4$ $\sigma_{y4} = 10.93$	$\sigma_{x4} = 3$ $\sigma_{y4} = 6$

جدول شماره (۵)، مقایسه تنش ها در قسمت های مختلف و با روش های متفاوت

موقعیت	مدل تیر تنها	مدل اجزاء محدود یک منطقه
Bottom Floor	$\sigma_{2x} = 70.2$	$\sigma_{2x} = 71$

از مقایسه نتیجه می شود که محاسبات دستی با مدل اجزاء محدود کمتر از ده درصد خطا داشته و می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

برای مقایسه مدل اجزاء محدود کل کشتی و روش تحلیل در سطوح مختلف، تنش در روی نقطه ای از Keel در فریم شماره ۲۶ برای حالت بارگذاری یکسان تعیین شده است.

تنش با مدل اجزاء محدود در مرکز المان:

$$\sigma = 17 \ , +166 \quad [MPa]$$

ملاحظه می گردد که مقدار تنش نرمال در جهت طول کشتی برابر است با:

$$\sigma = +166 \quad [MPa]$$

این مقدار تنش کل در نقطه مورد نظر است، تنش محاسبه شده با روش تحلیل در سطوح مختلف به شرح زیر می باشد:

۱- تنش اولیه با مدل تیر

حالت Sagging $\sigma_x = +173.11 \quad [MPa]$

۲- تنش چهارمی

$$\sigma_x = +3.4 \quad [MPa]$$

تنش کل:

$$\sigma_x = +173.11 \; + 3.40 \; = 176.51 \; [MPa]$$

از مقایسه دو مقدار بدست آمده نتیجه می شود که مقدار خطا با روش تحلیل در سطوح مختلف در این نقطه ۵ درصد می باشد.

مقایسه تنش ها به سهولت در سایر نقاط و سایر شرایط بارگذاری نیز می تواند انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

برای تحلیل سازه ها روش های ساده و پیچیده می تواند بکر رود. دقت روش های ساده همواره مورد تردید است. در این مقاله دو روش ساده و روش اجزاء محدود در تحلیل سازه یک فروند شناور نظامی بکر گرفته شد و نتایج نشان می دهند که دقت روش های ساده بین ۵ تا ۱۰ درصد در این مورد می باشد که با انتخاب ضرایب اطمینان مناسب می توان این میزات خطا را جبران نمود.

منابع

1) Rules for the classification of Military ships, 2003
2) Poseidon ND, Ver. 3.7
3) MARS 2000, Ver. V 1.7c
4) F.Hughs, “Ship Structural design” , John Wiley & sons, Inc. 1983