

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

طراحی سازه کشتی

(جلد دوم: کاربردها)

تألیف:

یاسوهیسا اکوموتو، یو تاکدا، ماسکی مانو، تتسو اکادا

ترجمه:

دکتر محمدرضا خدمتی

استاد دانشکده مهندسی دریا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

تابستان ۱۳۹۵

عنوان و نام پدیدآور	طراحی سازه کشتی / تالیف یاسوهیسا اکوموتو ... (او دیگران)؛ ترجمه محمدرضا خدمتی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	ج ۲:
شابک	978-964-463-552-6: دوره؛ 978-964-463-550-2: ج ۱؛ 978-964-463-551-9: ج ۲.
وضعیت فهرست نویسی	فیا:
یادداشت	تالیف یاسوهیسا اکوموتو، یو تاکدا، ماساکی مانو، تتسو اکادا.
یادداشت	عنوان اصلی: Design of ship hull structures: a practical guide for engineers
مندرجات	ج ۱. اصول مبانی و تئوری. - ج ۲. کاربردها.
موضوع	معماری بدنه کشتی -- طرح و ساختمان
شناسه افزوده	اکوموتو، یاسوهیسا، ۱۹۴۱-م.
شناسه افزوده	Okumoto, Yasuhisa
شناسه افزوده	خدمتی، محمدرضا، ۱۳۴۶- مترجم.
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
رده بندی کنگره	۱۳۹۳ ط۴ / VM۱۵۶
رده بندی دیویی	۶۲۳/۸۴
شماره کتابشناسی ملی	۳۴۳۶۸۷۹

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۶/۳۱ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	طراحی سازه کشتی (جلد دوم: کاربردها)
تالیف	یاسوهیسا اکوموتو، یو تاکدا، ماساکی مانو، تتسو اکادا
ترجمه	دکتر محمدرضا خدمتی
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ دوم	تابستان ۱۳۹۵
تیراژ	۳۰۰ نسخه
قیمت	۲۰۰۰۰ تومان
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۵۱-۹
شابک دوره	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۵۲-۶
	ISBN : 978-964-463-551-9
	ISBN : 978-964-463-552-6

آدرس مرکز بخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیرمجاز رمزگذاری شده است.

تقدیم به اعضای خانواده ام،
برای صبر، تشویق و حمایت همگی آنها در طول سه سال کار بر
روی ترجمه و تصحیح این کتاب،

تقدیم به دانشجویانم،
که اشتیاق و تلاش آنها موجب تشویق اینجانب و ایجاد انگیزه لازم
برای تهیه این مجموعه گردید،

تقدیم به دانشکده مهندسی دریای دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)،
که بستری منحصر به فرد را برای توسعه علوم مهندسی دریا در
کشور فراهم آورده و خدمات شایسته تقدیر فراوانی را به جامعه
دریایی کشور مبذول داشته است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
I..... معرفی مولفین کتاب.....	
III..... پیشگفتار.....	
V..... مقدمه مترجم.....	
۱..... بخش نخست: اصول و مبانی.....	
۳..... فصل اول: فلسفه طراحی سازه کشتی :.....	
۳..... ۱-۱- اهمیت طراحی سازه کشتی	
۸..... ۲-۱- فرآیند طراحی سازه کشتی	
۱۲..... ۳-سیاست‌های حاکم بر طراحی سازه کشتی	
۱۳..... ۴-۱- ایده اصلی حاکم بر طراحی سازه کشتی	
۱۶..... ۵-۱- مطالعات انجام شده بر روی بارهای موثر بر سازه کشتی	
۱۷..... ۶-۱- طراحی قابل اعتماد و ویژگی‌های آن	
۲۹..... فصل دوم: بارهای طراحی سازه‌ای	
۲۹..... ۱-۲- مقدمه	
۳۴..... ۲-۲- بارهای استحکام طولی	
۴۰..... ۳-۲- بارهای استحکام عرضی.....	
۴۵..... ۴-۲- محاسبه پاسخ کشتی در امواج	
۴۵..... ۲-۴-۱- مقدمه	
۴۶..... ۲-۴-۲- روش نواری	
۴۷..... ۲-۴-۳- تخمین کوتاه مدت.....	
۵۱..... ۲-۴-۴- تخمین درازمدت	

فصل سوم: ارزیابی استحکام	۵۵
۱-۳ کلیات	۵۵
۱-۱-۳ مقدمه	۵۵
۲-۱-۳ فرآیند ارزیابی استحکام سازه‌ای	۵۶
۲-۲-۳ تنش و کرنش	۶۳
۱-۲-۳ الگوی تنش	۶۳
۲-۲-۳ شرایط تنش دو محوری [۱۲]	۶۴
۳-۲-۳ ترکیب تنش قائم و تنش برشی [۱۲]	۶۶
۴-۲-۳ تنشهای قائم اصلی و تنشهای برشی اصلی [۱۲]	۶۷
۵-۲-۳ تنش معادل	۷۰
۶-۲-۳ ارزیابی تنش‌ها به کمک روش اجزای محدود	۷۳
۳-۳ ارزیابی تنش	۷۵
۱-۳-۳ معیارهای خرابی	۷۵
۲-۳-۳ تنش مجاز	۷۸
۴-۳ استحکام خستگی	۸۳
۱-۴-۳ مقدمه	۸۳
۲-۴-۳ S-N منحنی	۸۳
۳-۴-۳ خرابی خستگی	۸۹
۵-۳ کماتش سازه کشتی	۹۱
۱-۵-۳ مقدمه	۹۱
۲-۵-۳ کماتش ستون	۹۳
۳-۵-۳ کماتش ورق	۹۷
۶-۳ استحکام خمیری	۱۰۲
۱-۶-۳ فلسفه استحکام خمیری	۱۰۲
۲-۶-۳ خمش خمیری	۱۰۵
۳-۶-۳ اساس مقطع خمیری	۱۰۷
۴-۶-۳ فروریختگی یا انهدام تیرها	۱۱۰
۵-۶-۳ فروریختگی یا انهدام ورق‌ها	۱۱۵

۱۱۷.....	۳-۷- ارتعاش در کشتی
۱۱۷.....	۳-۷-۱- مقدمه
۱۱۷.....	۳-۷-۲- تئوری مقدماتی سیستم ارتعاش یک درجه آزادی
۱۲۳.....	۳-۷-۳- مسائل ارتعاشی در کشتی ها
۱۲۵.....	۳-۷-۴- طراحی برای جلوگیری از ارتعاش
۱۲۷.....	۳-۸- انتخاب روش تحلیل استحکام
۱۲۷.....	۳-۸-۱- مقدمه
۱۲۸.....	۳-۸-۲- نوع روش تحلیل
۱۳۰.....	۳-۸-۳- فرآیند تحلیل
۱۳۲.....	۳-۸-۴- ارزیابی نتایج تحلیل

فصل چهارم: سیستم طراحی سازه کشتی..... ۱۳۵

۱۳۵.....	۴-۱- جریان طراحی
۱۴۱.....	۴-۲- طراحی پایه سازه کشتی ها
۱۴۱.....	۴-۲-۱- نقش و جایگاه طراحی پایه
۱۴۵.....	۴-۲-۲- کنترل جانمایی عمومی
۱۴۶.....	۴-۲-۳- کنترل نقشه های دیگر
۱۴۷.....	۴-۲-۴- تکنیک بهینه سازی در فرآیند طراحی پایه
۱۵۰.....	۴-۳- نقشه های سازه ای
۱۵۰.....	۴-۳-۱- نقشه های مرتبط با اخذ تأییدیه موسسه رده بندی
۱۵۱.....	۴-۳-۲- نقشه های مرتبط با جزئیات سازه ای
۱۵۴.....	۴-۳-۳- اطلاعات و داده های ساخت
۱۵۵.....	۴-۴- استاندارد سازی
۱۵۸.....	۴-۵- بحث با مالک

فصل پنجم: پیشرفت های طراحی کشتی..... ۱۶۱

۱۶۱.....	۵-۱- افزایش ابعاد کشتی های تانکر
۱۶۶.....	۵-۲- اختصاصی شدن کشتی ها

۱۷۱.....	۳-۵- تغییرات در فرم هندسی بدنه
۱۷۴.....	۴-۵- ارتعاشات کشتی منتهی به تغییرات اجتماعی-اقتصادی
۱۷۸.....	۵-۵- مقررات وضع شده در ارتباط با حفاظت از محیط زیست
۱۷۹.....	۶-۵- نوآوری های فنی

فصل ششم: مواد ۱۸۳

۱۸۳.....	۱-۶- فولادهای کشتی سازی
۱۸۵.....	۲-۶- درجات فولاد
۱۹۱.....	۳-۶- فولاد پر مقاومت یا اعلاء
۱۹۲.....	۴-۶- مقاطع فولادی
۱۹۳.....	۵-۶- مواد دیگر
۱۹۴.....	۶-۶- پراکندگی خواص مواد
۲۰۰.....	۷-۶- پراکندگی خواص فیزیکی
۲۰۰.....	۸-۶- تنش پس ماند [۴۲]

فصل هفتم: روش اجزای محدود ۲۰۵

۲۰۵.....	۱-۷- ویژگی های روش اجزای محدود
۲۰۷.....	۲-۷- مبانی روش اجزای محدود
۲۰۷.....	۱-۲-۷- ماتریس سختی [۴۴]
۲۱۰.....	۲-۲-۷- حالت تنش صفحه ای [۴۳]
۲۱۴.....	۳-۷- فرآیند روش اجزای محدود
۲۱۷.....	۴-۷- کاربرد روش اجزای محدود
۲۱۷.....	۱-۴-۷- جزء بندی
۲۲۰.....	۲-۴-۷- شرایط بارگذاری و تکیه گاهی
۲۲۲.....	۳-۴-۷- درجات آزادی

مراجع بخش نخست ۲۲۵

بخش دوم: تئوری ۲۳۱

فصل اول: طراحی تیرها ۲۳۳

۱-۱- عرض موثر ورق متصل به تقویت کننده ۲۳۳

۱-۱-۱- خمش در شرایط ارتجاعی ۲۳۴

۱-۱-۲- پهنای موثر پس از کمانش ورق ۲۳۶

۲-۱- دهانه آزاد تیر ۲۳۷

۳-۱- طراحی مقطع عرضی تیر ۲۴۲

۱-۳-۱- محاسبه اساس مقطع ۲۴۳

۴-۱- گشتاور خمشی ۲۴۶

۵-۱- حل ساده تیرهای نامعین استاتیکی ۲۵۰

۶-۱- شرایط مرزی ۲۵۳

۷-۱- مساحت مقطع عرضی تیرها ۲۵۹

۸-۱- طراحی بهینه مقطع عرضی تیر ۲۶۲

۱-۸-۱- طراحی ارتجاعی ۲۶۳

۲-۸-۱- طراحی خمیری ۲۶۷

۳-۸-۱- نسبت های بهینه در تیرها ۲۶۸

۹-۱- تیرهای دو سر ساده و تیرهای ممتد ۲۷۰

۱۰-۱- تاثیر ستونک ها ۲۷۳

۱۱-۱- گشتاور خمشی اضافی منتجه از جابه جایی های اجباری ۲۷۵

۱۲-۱- جابه جایی جانبی در تیرها ۲۷۸

فصل دوم: طراحی شاه تیرها ۲۸۱

۱-۲- نیروی برشی ۲۸۲

۲-۲- طراحی منطقی شاه تیرها ۲۸۷

۳-۲- شاه تیرهای عرضی کف متکی بر شاه تیر طولی میانی [۵] ۲۹۱

۴-۲- تغییر شکل شاه تیرها ۲۹۶

فصل سوم: خرابی شاه تیرها ۳۰۱

- ۳-۱- کمانش فشاری ۳۰۳
- ۳-۲- کمانش خمشی ۳۰۷
- ۳-۳- کمانش برشی ۳۰۸
- ۳-۴- کمانش منتهجه از اعمال بارهای متمرکز ۳۱۳
- ۳-۵- ترک‌های تولیدشده در اطراف درزها ۳۱۷
- ۳-۵-۱ ترک‌های نسل اول [۸] ۳۱۷
- ۳-۵-۲ ترک‌های منتشر شده در طولی‌ها ۳۲۷
- ۳-۵-۳ ترک‌های تولیدشده در اطراف درزها ناشی از تنش‌های برشی در شاه‌تیرهای عرضی ۳۲۹

فصل چهارم: طراحی ستون‌ها ۳۳۱

- ۴-۱- ضریب لاغری ستون‌ها ۳۳۲
- ۴-۲- شکل مقطع عرضی ستون‌ها ۳۳۶
- ۴-۳- ستون‌های کششی ۳۴۲
- ۴-۴- اتصال ستون در دو سر بالا و پایین آن ۳۴۴
- ۴-۵- قیدهای عرضی ۳۴۷
- ۴-۶- شعاع ژیراسیون مقطع مربعی ۳۵۲

فصل پنجم: طراحی ورق‌ها ۳۵۵

- ۵-۱- شرایط مرزی ورق‌ها ۳۵۵
- ۵-۲- استحکام ورق تحت بارهای جانبی ۳۵۹
- ۵-۳- استحکام ورق‌ها تحت بارهای درون صفحه‌ای ۳۷۱
- ۵-۴- ورق‌های واقع در معرض همزمان خمش جانبی و فشار درون صفحه‌ای ۳۷۸
- ۵-۵- تمرکز تنش در اطراف بازشوها ۳۸۱
- ۵-۶- مواد و جهت فرآیند نورد در آنها ۳۸۶
- ۵-۷- آسیب دیدگی ورق‌ها ۳۹۱

فصل ششم: طراحی ورق‌های تقویت شده ۳۹۵

۱-۶- ساختمان گریلاژ ۳۹۷

۲-۶- فاصله بهینه شاه‌تیرها ۴۰۲

۳-۶- فاصله بهینه تیرها ۴۰۵

۱-۳-۶- شرط طراحی در مقابل بارهای جانبی همچون فشار آب ۴۰۶

۲-۳-۶- شرایط طراحی از دیدگاه ارتعاشات ۴۰۶

۳-۳-۶- حداقل ضخامت ورق ۴۰۸

۴-۳-۶- فاصله بهینه میان تیرها ۴۰۹

فصل هفتم: پیچش ۴۱۷

۱-۷- کلیات تئوری پیچش ۴۱۷

۲-۷- تئوری پیچش میله‌های دارای مقطع عرضی بسته ۴۲۰

۳-۷- صلبیت پیچشی انواع مقطع عرضی ۴۲۸

۴-۷- تئوری پیچش مقاطع I- شکل ۴۳۳

۵-۷- تئوری پیچش میله‌های دارای مقطع عرضی باز ۴۳۶

فصل هشتم: تغییر شکل سازه کشتی‌ها ۴۴۳

۱-۸- تغییر شکل شاه‌تیر بدنه کشتی ۴۴۵

۲-۸- تغییر شکل تیرها با مقطع عرضی بهینه ۴۵۴

۳-۸- تغییر شکل شاه‌تیرها و قاب‌های اصلی ۴۵۷

۴-۸- تنش‌های اضافی منته‌جه از تغییر شکل‌ها ۴۵۹

۵-۸- تغییر شکل برشی ۴۶۱

فصل نهم: جوشکاری ۴۶۵

۱-۹- جوش لب به لب (جوش سر به سر) ۴۶۸

۲-۹- جوش گوشه ای (جوش نبشی) ۴۷۴

۳-۹- جوش گوشه با الکترودهای پر مقاومت ۴۸۳

۴-۹- جوش آب ناپذیر ساز ۴۸۵

۴۸۶.....	۵-۹- اسکالوپ ها و دندانها
۴۸۸.....	۶-۹- تبدیل جوش لب به لب به جوش گوشه
۴۹۳.....	۷-۹- جوش های یک در میان طویل
۴۹۵.....	۸-۹- انقباض فلز جوش
۴۹۶.....	۹-۹- جوش یک طرفه

فصل دهم: کنترل شکست..... ۴۹۹

۴۹۹.....	۱-۱۰- دو نیم شدگی کشتی های لایبرتی
۵۰۳.....	۲-۱۰- مکانیک شکست
۵۰۳.....	۱-۲-۱۰- اصول
۵۰۵.....	۲-۲-۱۰- مکانیک شکست خطی
۵۰۹.....	۳-۲-۱۰- مکانیک شکست غیرخطی
۵۱۰.....	۴-۲-۱۰- طاقت شکست
۵۱۱.....	۵-۲-۱۰- درجات فولاد
۵۱۵.....	۳-۱۰- طراحی استحکام خستگی
۵۱۵.....	۱-۳-۱۰- محاسبات رشد ترک با استفاده از رابطه پاریس
۵۱۵.....	۲-۳-۱۰- طراحی استحکام خستگی با احتساب توالرانس های ساخت
۵۱۸.....	[۳۹]

فصل یازدهم: ارتعاش سازه ای بدنه کشتی..... ۵۲۳

۵۲۳.....	۱-۱۱- مقدمه
۵۲۴.....	۲-۱۱- ویژگی های اصلی ارتعاش سازه کشتی
۵۲۸.....	۳-۱۱- کلیاتی در ارتباط با ارتعاش کشتی
۵۳۴.....	۴-۱۱- شرایط مرزی ممکن در بررسی ارتعاش سازه کشتی
۵۴۲.....	۵-۱۱- شرایط مرزی متداول در بررسی ارتعاش سازه کشتی

مراجع بخش دوم..... ۵۴۵

بخش سوم: کاربردها ۵۵۱

فصل اول: جانمایی سازه کشتی ۵۵۳

۱-۱- جانمایی انبارها ۵۵۴

۲-۱- معیارهای حاکم بر طراحی جانمایی سازه کشتی ۵۵۷

۱-۲-۱- مخازن کناری تانکرها ۵۵۷

۲-۲-۱- جانمایی دیوارها در کشتی های فله بر ۵۶۱

۳-۱- جانمایی دیوارها خارج از ناحیه انبارها ۵۶۴

۱-۳-۱- ساختمان سینه بدون دیوارهای طولی امتداد یافته در آن ۵۶۴

۲-۳-۱- ساختمان موتورخانه بدون دیوارهای طولی امتداد یافته در آن ۵۶۵

فصل دوم: استحکام طولی سازه کشتی ۵۶۹

۱-۲- تنش های مجاز برای تحلیل استحکام طولی ۵۷۰

۲-۲- موقعیت گشتاور خمشی طولی بیشینه ۵۷۶

۳-۲- محاسبه اساس مقطع شاه تیر بدنه کشتی ۵۷۸

۴-۲- استحکام طولی و وزن فولاد بدنه ۵۷۹

۵-۲- کاربرد فولادهای پر مقاومت یا اعلاء ۵۸۲

۶-۲- تحلیل استحکام طولی در میان امواج ۵۸۵

۷-۲- جانمایی اجزای مقاوم طولی ۵۹۲

۸-۲- تمرکز تنش در اجزای مقاوم طولی ۵۹۶

۹-۲- خمش اضافی اجزای محلی در نتیجه خمش عمومی سازه کشتی ۶۰۰

۱۰-۲- تنش های منتهجه از خمش طولی سازه کشتی در نواحی سینه و پاشنه کشتی

..... ۶۰۴

۱۱-۲- کاهش استحکام نهایی بدنه کشتی در اثر وزن فولاد بدنه ۶۰۶

فصل سوم: استحکام عرضی کشتی ۶۰۷

۱-۳- تنشهای مجاز برای تحلیل استحکام عرضی ۶۰۹

۲-۳- باریک شدگیِ طویل و نیمرخ مارگونِ بال ۶۱۴

- ۳-۳- شکل شاه‌تیرهای عرضی کف در مخزن میانی ۶۱۶
- ۳-۴- شکل شاه‌تیرهای عرضی کف در مخازن کناری ۶۱۷
- ۳-۵- استحکام عرضی تانکرها ۶۱۸
- ۳-۵-۱- قیدهای عرضی ۶۱۹
- ۳-۵-۲- بارهای موثر بر اجزای مقاوم عرضی ۶۲۳
- ۳-۵-۳- فشار داخلی در مخازن پهن ۶۲۶
- ۳-۵-۴- اتصال میان قاب‌های رینگی شکل و پوسته جانبی کشتی ۶۲۹
- ۳-۵-۵- کمانش جان قاب‌های رینگی شکل ۶۳۱
- ۳-۵-۶- ساختمان براکت دار و ساختمان یکپارچه از اتصال قید عرضی ۶۳۴
- ۳-۵-۷- قاب‌های رینگی شکل در بخش‌های سینه و پاشنه مخازن ۶۳۵
- ۳-۶- استحکام عرضی کشتی‌های ویژه حمل سنگ معدن ۶۳۶
- ۳-۷- استحکام عرضی کشتی‌های فله‌بر ۶۴۳
- ۳-۸- استحکام عرضی کشتی‌های کانتینربر ۶۵۲

فصل چهارم: استحکام پیچشی کشتی ۶۵۵

- ۴-۱- خرابی سازه‌ای ناشی از پیچش (مثال شماره ۱) ۶۵۷
- ۴-۲- خرابی سازه‌ای ناشی از پیچش (مثال شماره ۲) ۶۶۰

فصل پنجم: ساختمان پوسته ۶۶۵

- ۵-۱- ضخامت ورق پوسته ۶۶۶
- ۵-۲- پوسته در ناحیه جلویی کف کشتی ۶۶۹
- ۵-۳- پوسته در ناحیه خمیده سینه کشتی ۶۷۱
- ۵-۴- ورق خن کشتی ۶۷۴
- ۵-۵- پوسته در نزدیکی قاب پاشنه کشتی ۶۷۵
- ۵-۶- خرابی پوسته ۶۷۶

فصل ششم: دیواره‌ها ۶۷۹

- ۶-۱- استحکام ورق دیواره ۶۸۰

- ۶-۲- شاه تیرهای افقی بر روی دیواره‌های عرضی (در مخازن میانی) ۶۸۲
- ۶-۳- جانمایی شاه تیرهای افقی بر روی دیواره‌ها ۶۸۸
- ۶-۴- تقویت کننده‌های قائم دیواره‌های عرضی ۶۹۱
- ۶-۵- دیواره‌های مشبک ۶۹۳
- ۶-۶- تقویت کننده‌های افقی روی دیواره‌های عرضی ۶۹۷
- ۶-۷- حداقل ضخامت ورق در دیواره‌های طولی ۷۰۳
- ۶-۸- سهم مشارکت در انتقال نیروی برشی ۷۰۷
- ۶-۹- دیواره‌های موج دار ۷۰۹
- ۶-۱۰- شاه تیرهای افقی بر روی دیواره‌های موج دار ۷۱۴
- ۶-۱۱- سختی دیواره‌های موج دار در مقابل بارهای درون صفحه‌ای ۷۱۶

فصل هفتم: سازه عرشه ۷۲۳

- ۷-۱- تمرکز تنش در گوشه‌های دریچه‌های بارگیری ۷۲۴
- ۷-۱-۱- کلیات ۷۲۴
- ۷-۱-۲- بهینه‌سازی شکل گوشه‌های دریچه‌های بارگیری در کشتی‌های کانتینربر ۷۲۸
- ۷-۲- استحکام عرشه برای بارهای گسترده محلی ۷۳۳
- ۷-۳- عرشه‌های مقاوم در مقابل بارهای روبه بالا ۷۳۸
- ۷-۴- خرابی‌ها در سازه عرشه ۷۴۰

فصل هشتم: سازه‌های دوجداره بدنه کشتی ۷۴۳

- ۸-۱- سیستم سازه‌ای در سازه‌های دوجداره بدنه کشتی ۷۴۵
- ۸-۲- سازه‌های دوجداره و یک جداره بدنه کشتی ۷۴۷
- ۸-۳- مثال‌هایی از سازه‌های دوجداره بدنه کشتی ۷۴۹
- ۸-۳-۱- کشتی‌های باربری ۷۴۹
- ۸-۳-۲- تانکرها ۷۵۰
- ۸-۳-۳- کشتی‌های کانتینربر ۷۵۲
- ۸-۳-۴- کشتی‌های با سیستم رانش هسته‌ای ۷۵۳

۷۵۴..... ۸-۳-۵- کشتی‌های فله‌بر بزرگ

فصل نهم: ساختمان سینه ۷۵۷

۷۵۸..... ۹-۱- جانمایی سازه‌ای

۷۶۰..... ۹-۲- ساختمان سازه ورقه‌ای

۷۶۳..... ۹-۳- شتاب قائم وابسته به حرکت پیچ کشتی

۷۶۴..... ۹-۴- سازه عرشه

۷۶۶..... ۹-۵- پیوستگی سازه‌ای

۷۶۷..... ۹-۶- خرابی‌های بزرگ در ساختمان سینه

فصل دهم: ساختمان موتورخانه ۷۷۱

۷۷۳..... ۱۰-۱- جانمایی موتورخانه و اتاق پمپ‌ها

۷۷۸..... ۱۰-۲- معیارهای صلبیت یا سختی در طراحی سازه موتورخانه

۷۸۰..... ۱۰-۲-۱- کف دوجداره در موتورخانه

۷۸۲..... ۱۰-۲-۲- پانل‌های ورقه‌ای، قاب‌های اصلی، تقویت‌کننده‌ها و غیره

۷۸۲..... ۱۰-۳- طراحی اجزای سازه‌ای در موتورخانه

۷۸۷..... ۱۰-۴- شاه‌تیرهای طولی و عرضی کف دو جداره در موتورخانه

۷۸۹..... ۱۰-۵- مسائل منتجه از تغییر شکل کف دو جداره در موتورخانه

۷۹۲..... ۱۰-۶- تغییر شکل کف دوجداره در موتورخانه

۱۰-۶-۱- تغییر شکل‌های خمشی و برشی شاه‌تیر بدنه کشتی در نزدیکی

موتورخانه ۷۹۴

۱۰-۶-۲- تغییر شکل قاب‌های اصلی موتورخانه (که نقش تکیه‌گاههای کف

دوجداره در آن ناحیه را بر عهده دارند) ۷۹۶

۱۰-۶-۳- تغییر شکل‌های خمشی و برشی کف دوجداره در موتورخانه

..... ۷۹۷

۷۹۸..... ۱۰-۷- حد مجاز تغییر شکل کف دوجداره در موتورخانه

۸۰۲..... ۱۰-۸- کنترل تغییر شکل کف دوجداره در موتورخانه

۸۰۴..... ۱۰-۹- ورودی آب دریا در کف دوجداره در موتورخانه

فصل یازدهم: ساختمان پاشنه و قاب پاشنه کشتی..... ۸۰۷

۱-۱۱- ساختمان مخزن انتهایی پاشنه ۸۰۸

۲-۱۱- ارتعاش سازه پاشنه ۸۱۱

۱-۲-۱۱- ارتعاش آویزگاه پاشنه ۸۱۱

۲-۲-۱۱- ارتعاش عرضی بوش محل عبور محور پروانه از بدنه شناورهای تک

پروانه ای..... ۸۱۵

۳-۲-۱۱- ارتعاش عمودی بوش های دوقلوی محل عبور محور پروانه ها از

بدنه کشتی های دوپروانه ای ۸۱۷

۳-۱۱- قاب پاشنه ۸۲۰

فصل دوازدهم: مقابله با ارتعاشات ۸۲۹

۱-۱۲- نیروهای تحریک ۸۳۰

۱-۱-۱۲- بزرگی نیروهای تحریک ناشی از پروانه ۸۳۳

۲-۱-۱۲- بزرگی نیروی تحریک موتور دیزلی ۸۳۸

۳-۱-۱۲- بزرگ نمایی نیروی تحریک توسط تشدیدگر..... ۸۴۱

۴-۱-۱۲- حذف نیروهای تحریک کننده ۸۴۹

۵-۱-۱۲- کاهش نیروی تحریک موتوراصلی از طریق اتصالات الاستیک

..... ۸۵۲

۲-۱۲- مقابله با ارتعاش..... ۸۵۵

۱-۲-۱۲- ارتعاشات خمشی شاه تیر بدنه کشتی ۸۵۶

۲-۲-۱۲- ارتعاشات سوپر استراکچر ۸۵۹

۳-۲-۱۲- میراگر جرمی فعال برای ارتعاشات سوپر استراکچر..... ۸۶۲

۴-۲-۱۲- ارتعاشات سازه های درون مخزنی ۸۶۵

۵-۲-۱۲- روش های محاسباتی فرکانس طبیعی ارتعاش سازه های درون مخزنی

..... ۸۶۶

فصل سیزدهم: سوپر استراکچر ۸۷۳

۱-۱۳- مثالی از آسیب دیدگی سوپر استراکچرهای طویل ۸۷۴

۱۳-۲- اندرکنش میان بدنه اصلی کشتی و سوپر استراکچر آن ۸۷۵

۱۳-۳- بزرگی تنش‌های خمشی طولی ۸۷۷

۱۳-۴- جلوگیری از خرابی‌های سازه‌ای ۸۸۰

۱۳-۴-۱- انفصال سازه‌ای ۸۸۰

۱۳-۴-۲- هندسه مستدیر گوشه بازشوهای دیواره‌های جانبی ۸۸۲

۱۳-۴-۳- کمانش ۸۸۵

۱۳-۴-۴- درزهای انبساط ۸۸۷

مراجع بخش سوم ۸۸۹

معرفی مولفین کتاب

✓ دکتر مهندس، یاسوهیسا اُگوموتو

از ۱۹۶۵ تا ۱۹۹۱: بخش کشتی‌سازی و سازه‌های فراساحلی و همچنین،
انستیتو تحقیقات شرکت صنایع سنگین ایشی کاواجیما - هاریمما، ژاپن
از ۱۹۹۲ تاکنون: پروفیسور، دانشکده مهندسی، دانشگاه کینکی، ژاپن

✓ دکتر مهندس، یو تاکیدا

از ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۷: بخش کشتی‌سازی و سازه‌های فراساحلی، شرکت صنایع سنگین
ایشی کاواجیما-هاریمما، ژاپن
از ۱۹۹۷ تاکنون: مدیر، انستیتو تحقیقات شرکت صنایع سنگین ایشی کاواجیما -
هاریمما، ژاپن

✓ دکتر مهندس، ماساکی مائو (عضو پیوسته موسسه سلطنتی معماران کشتی انگلستان)

از ۱۹۵۲ تا ۱۹۸۶: بخش کشتی‌سازی و سازه‌های فراساحلی و همچنین، انستیتو
تحقیقات شرکت صنایع سنگین ایشی کاواجیما - هاریمما، ژاپن
از ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۹: پروفیسور، دانشکده مهندسی، دانشگاه کینکی، ژاپن و همچنین،
مشاور معماری کشتی

✓ دکتر مهندس، تسُو اکادا

از ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۲: بخش کشتی‌سازی و سازه‌های فراساحلی، شرکت صنایع سنگین
ایشی کاواجیما-هاریمما، ژاپن
از ۲۰۰۲ تاکنون: مدیر، شرکت آی‌اچ‌آی مارین یونایتد

پیشگفتار

عموماً طراحی کشتی به چهار بخش تفکیک می‌شود: طراحی فرم بدنه کشتی^۱، طراحی جانمایی کشتی^۲، طراحی سازه کشتی^۳ و طراحی تجهیزات^۴ (تجهیزات بدنه^۵ و تجهیزات موتور خانه^۶). طراحی کشتی‌های تجاری عموماً با تعیین خواسته‌ها یا نیازمندیهای مالک^۷ شامل بر نوع و حجم بارها، مسیر دریانوردی و زمان دریانوردی آغاز می‌گردد. در برخی موارد، مالک کشتی درخواست‌هایی خاص، از جمله عدم نیاز به تعبیه دیواره^۸ در ناحیه انبارهای کشتی، دارد.

در ابتدا بر اساس خواسته‌ها و نیازمندی‌های مالک کشتی، طرحی مقدماتی از جانمایی عمومی^۹ کشتی ارائه می‌گردد و متقابلاً، مطالعات بعدی از دیدگاه‌های پایداری^{۱۰}، استحکام^{۱۱}، عملکرد^{۱۲} و سکونت پذیری^{۱۳} می‌بایست انجام پذیرند. سپس طرح نقشه جانمایی عمومی کشتی با احتساب برخی اصلاحات (در صورت نیاز) نهایی می‌گردد. در مرحله طراحی سازه‌ای بدنه کشتی، با استناد بر نقشه خطوط بدنه^{۱۴} که خود در بر گیرنده اطلاعاتی در خصوص فرم هندسی بدنه کشتی می‌باشد و همچنین با تکیه بر نقشه جانمایی

^۱ Hull Form Design

^۲ Arrangement Design

^۳ Hull Structure Design

^۴ Fitting Design

^۵ Hull Fitting

^۶ Machinery Fitting

^۷ Owner

^۸ Bulkhead

^۹ General Arrangement

^{۱۰} Stability

^{۱۱} Strength

^{۱۲} Operation

^{۱۳} Habitability

^{۱۴} Lines Plan

عمومی کشتی، بر روی مواردی همچون ابعاد، موقعیت و مواد مورد استفاده برای اجزای سازه‌ای با تاکید بر روشهای ساخت و مونتاژ، تصمیم‌گیری به عمل می‌آید.

مهمترین وظیفه در مرحله طراحی سازه‌ای کشتی، تامین سازه‌ای مقاوم برای بدنه کشتی جهت مقابله با انواع بارهای داخلی و خارجی موثر بر آن می‌باشد. از این رو، کتاب‌ها یا دستنامه‌های^۱ مرتبط با موضوع استحکام سازه‌ای بدنه کشتی برای طرح سازه‌ای کشتی مفید خواهند بود. اما واضح است که این گونه کتاب‌ها یا دستنامه‌ها عموماً از دیدگاه تئوری استحکام سازه‌ای نگارش شده و به نظر می‌رسد که برای مقاصد طراحی عملی یا کاربردی سازه کشتی چندان مناسب نمی‌باشند.

مؤلفین این کتاب از جمله طراحان سازه‌ای بدنه کشتی‌ها در چهار نسل یا دوره متفاوت محسوب می‌شوند. این نسل‌ها یا دوره‌ها را می‌توان بدین‌گونه برشمرد: دوره تکامل در طراحی سازه‌ای کشتی‌ها تحت تاثیر رشد سریع در ابعاد آنها، دوره تکامل در طراحی سازه‌ای کشتی‌ها از طریق رشد سریع در ساخت آنها، دوره تکامل در فناوری طراحی کشتی‌ها به کمک کامپیوتر^۲ و دوره تکامل در فناوری مهندسی کشتی‌ها به کمک کامپیوتر^۳. در این کتاب کتاب تجارب مؤلفین طی دوره‌های یادشده از دیدگاه طراحی عملی سازه کشتی جمع‌بندی می‌شود. از اینرو، کتاب حاضر نه تنها شامل تئوری اساسی طراحی سازه کشتی می‌باشد، بلکه دربرگیرنده جنبه‌های عملی و کاربردی طراحی سازه کشتی نیز خواهد بود. بر این اساس، مؤلفین این کتاب معتقدند که کتاب حاضر از یک سو، ابزاری معتبر برای طراحان به هنگام طراحی سازه کشتی بوده و از سویی دیگر موجب می‌شود تا دانشجویان در نقاط مختلف جهان با مفاهیم مرتبط با طراحی سازه‌ای کشتی‌ها آشنا شوند.

ماساکی مائو، یاسوهیسا اکوموتو، یو تاکدا و تسو اکادا

تاکایا، یوکوهاما و توکیو

۲۰ اوت ۲۰۰۸ میلادی

^۱ Handbooks

^۲ CAD

^۳ CAE

مقدمه مترجم

کشتی‌ها در زمره محصولات راهبردی کشورهای توانمند دریایی محسوب می‌شوند. شاید بتوان گفت که دانش طراحی کشتی‌ها نیز تنها در اختیار برخی از کشورهای دریایی می‌باشد. انتقال دانش فنی طراحی کشتی‌ها از کشورهای پیشرفته دریایی به دیگر کشورهای متقاضی، عموماً با موانعی گوناگون از جمله هزینه‌های بالا و انفصال در فرآیند انتقال همراه است. کشور پرافتخار ما ایران، کشوری با مرزهای آبی بیکران، بنادر مجهز متعدد و ناوگان‌های قدرتمند دریایی می‌باشد. در سال‌های اخیر، توجه خاصی نسبت به حوزه مهندسی دریا از سوی ارگان‌های دریایی کشور اعمال شده است. تصمیمات قاطعی در راستای ساخت برخی کشتی‌ها در کارخانجات کشتی‌سازی داخلی گرفته شده و پیشرفت‌های شایسته تقدیری نیز در این حوزه حاصل شده است. از طرفی دیگر، برخی دانشگاه‌های کشور نیز با تأسیس دانشکده‌ها، گروه‌ها یا مراکز آموزشی و پژوهشی، تلاش نموده‌اند تا وظیفه خود را در خصوص آموزش و پژوهش در حوزه راهبردی مهندسی دریا انجام دهند. یکی از ابزارهای مهم دستیابی به اهداف ترسیم شده در این راستا، کتب درسی و غیر درسی می‌باشد.

موضوع طراحی سازه‌ای کشتی‌ها به یکی از پیچیده‌ترین و در عین حال، مهم‌ترین مراحل طراحی کشتی‌ها اشاره دارد. کتب متعددی در زمینه طراحی سازه‌ای کشتی‌ها از سوی مولفین مختلف در کشورهای بیگانه نوشته شده است. بدیهی است که موضوع مورد بحث در این کتاب، از منظرهای گوناگونی توسط مولفین مختلف پرداخته شده است. از سویی دیگر، می‌بایست به این نکته اشاره کرد که آن دسته از کتبی که قادر به پُرکردن سریع خلاء شدید آموزشی در ارتباط با موضوع طراحی سازه‌ای کشتی‌ها باشند، از رجحان بیشتری برخوردارند. در نگاه مترجم این کتاب، با عنایت به سال‌ها تجربه‌ی تدریس و تحقیق خود، کتاب پیش‌رو، کتابی بی‌نظیر است که نمونه آن در کشور نه تألیف شده و نه برگردان آن در اختیار علاقه‌مندان قرار گرفته است.

این کتاب در سه بخش، مشتمل بر اصول و مبانی تئوری و کاربردهای طراحی سازه‌ای تهیه شده است. همان‌طور که در فهرست مطالب کتاب مشهود است، در هر یک از بخش‌ها نگرشی عمیق بر روی مباحث مختلف آن بخش، منتها با تکیه بر چگونگی

دستیابی به سازه‌هایی موثر و قابل اعتماد از کشتی‌ها، ارائه گردیده است. مولفین کتاب نیز تجربیات خود به خصوص موارد مرتبط با مسائل برخاسته از رشد سریع ابعاد کشتی‌ها و پیدایش کشتی‌های با طرح‌های نوین و پیچیده را در مطالب کتاب گنجانیده‌اند. نخستین خرابی‌ها و یا آسیب‌های پدید آمده در این سازه‌های "نو"، به منظور ارائه توضیحات درخصوص این موضوع که چرا طراحی سازه‌ای در ترازهای مختلف می‌بایست انجام شود، تا اعمال بارگذاری صحیح بر روی اجزای سازه‌ای و درک مناسب از رفتارهای سازه‌ای محلی را تضمین کند، تجزیه و تحلیل شده‌اند.

اهمیت جانمایی سازه‌ای با روشی پایه‌ای به گونه‌ای تشریح شده است که بیانگر چگونگی اثرگذاری جانمایی سازه‌ای بر روی نحوه انتقال بارها در سازه و همچنین طراحی سازه‌ای اجزای اصلی و فرعی سازه باشد. تحلیل‌های تئوری ارائه شده، روش‌ها و روابط طراحی مورد نیاز برای طراحی سازه‌ای کل سازه کشتی و دامنه وسیعی از مسائل مرتبط با طراحی جزئیات سازه‌ای آن را به خوبی توصیف نموده‌اند. بحث ارتعاشات به کمک راهنمایی‌های عملی در مورد چگونگی برخورد با این موضوع پیچیده و غالباً مشکل‌ساز، در ملاحظات طراحی وارد شده است. مواد، جوشکاری و روش‌های تولید مربوط به آنها از یک سو و چگونگی تعامل آنها با فرآیند طراحی سازه‌ای کشتی نیز از سوئی دیگر مرور شده‌اند و مهم‌تر از همه، این بخش از کتاب با ارائه تحلیل‌های کم‌هزینه‌ای بر روی گزینه‌های مختلف طراحی توأم شده است.

کاربردهایی از روش‌های طراحی کلی و جزئی برای دامنه‌ای وسیع از سازه‌های اصلی و فرعی ارائه شده است. به‌طور مثال، طراحی سازه‌ای ورق‌ها برای پوسته خارجی، دیواره‌ها و عرشه‌ها برای انواع مختلفی از کشتی‌ها به گونه‌ای عمقی تشریح می‌شوند. جانمایی‌ها در محل انتهای پاشنه کشتی غالباً توأم با مسائل ویژه‌ای برای طراحان سازه‌ای و مهندسین دریایی بوده و اصولاً طراحی سازه‌ای مستحکم جهت نگهداری موتور کشتی، در ارتباط مستقیم با تجربه مسائل واقعی در خصوص موتورها، جعبه دنده و محور پروانه می‌باشد. سازه کشتی در ناحیه انتهای سینه آن نیز به عنوان موضوعی خاص در نظر گرفته شده و در این خصوص، تجربیاتی عملی و واقعی به منظور تشریح چگونگی دستیابی به جانمایی‌ها و طراحی‌های مناسب آن ارائه می‌گردد.

تشریح مسائل طراحی سازه‌ای کلی و جزئی با تکیه بر تجارب حاصل از طراحی کشتی‌های پیشین و روش‌های تئوری و تجربی، ابزارهای طراحی بسیار خوبی را برای

دانشجویان از یک سو و راهنمای بسیار مناسبی را برای طراحان از سویی دیگر، ارائه می‌دهد. این کتاب، فلسفه طراحی سازه‌ای را با دستورالعمل‌های طراحی جزئیات ترکیب کرده و از اینرو، برای دامنه وسیعی از خوانندگان به ویژه دانشجویان و طراحان سازه‌ای کشتی مفید واقع خواهد شد.

ترجمه کتاب به دلایلی گوناگون از جمله لزوم امانت‌داری و بذل دقت فراوان در برگردان فارسی، زمانی را در حدود سه سال از عمر مترجم به خود اختصاص داده است. در پاره‌ای موارد نیز، پس از حصول اطمینان از لزوم روشن شدن بیشتر برخی مطالب، پس از کسب نظر مساعد نویسندگان کتاب، اصلاحاتی بر روی متن اولیه به عمل آمده و متنی معتبرتر در اختیار علاقه‌مندان قرار گرفته است.

در پایان، اگر شما دانشجو هستید، به شما تبریک گفته و امیدوارم در درس‌هایتان موفق باشید. همچنین، اگر در زمره مدرسین ارزشمند حوزه مهندسی سازه کشتی و یا طراحان گرانقدر سازه کشتی به شمار می‌روید، بهترین آرزوها را برای موفقیت در کارهایتان دارم. این ترجمه، به عنوان هدیه‌ای بسیار کوچک، تقدیم همگی شما شده و امیدوارم که بتواند مفید واقع گردیده و پاسخگوی برخی نیازها و سئوالات ارزشمند شما باشد.

بر خود لازم می‌دانم تا در خاتمه، از مساعدت‌های بی‌دریغ برخی دانشجویان عزیز دانشکده مهندسی دریای دانشگاه صنعتی امیرکبیر، از جمله آقایان احسان بهمیاری، مسعود پدرام، محسن خبیر، اشکان بابازاده و مجتبی شمالی ورزنده در امر تصحیح و مقابله کتاب تشکر نمایم. از زحمات جناب آقای دکتر منصور فارسی، ریاست مرکز نشر و انتشارات مرکزی دانشگاه صنعتی امیرکبیر صمیمانه قدردانی به عمل می‌آورم. همچنین، از تلاش‌ها و پیگیری‌های سرکار خانم مهربانو ملکی، مسئول کمیته کتاب و مدیر چاپ انتشارات مرکزی دانشگاه صنعتی امیرکبیر و جناب آقای جواد پرویزی، مدیر امور مالی انتشارات مرکزی دانشگاه صنعتی امیرکبیر صمیمانه تشکر می‌کنم.

محمد رضا خدمتی

تهران

فروردین ماه ۱۳۹۲ هجری شمسی

بخش سوم:

کاربردها

جانمایی سازه کشتی

همانطور که در فصل اول از بخش نخست این مجموعه تشریح شد، جانمایی عمومی سازه یک کشتی بر اساس استحکام سازه‌ای آن و انواع گوناگونی از الزامات اجتماعی - اقتصادی تعریف می‌گردد. عملکرد یک کشتی به شدت وابسته به جانمایی عمومی آن می‌باشد. عموماً گفته می‌شود که کشتی‌ای که توسط یک طراح بدون تجربه طراحی گردد، می‌تواند مشکلاتی داشته باشد.

در این فصل سعی بر آن است تا مبحث جانمایی عمومی سازه کشتی از دیدگاه طراحی سازه‌ای بدنه کشتی مورد مطالعه قرار گیرد. در این راستا دو موضوع اصلی وجود دارد که می‌بایست در طراحی مد نظر قرار گیرند. موضوع نخست در ارتباط با جانمایی مخازن است که می‌بایست به گونه‌ای تعیین شود که منجر به فزونی گشتاورهای خمشی موثر بر شاه تیر بدنه کشتی نگردد. همچنین مطلب دوم مرتبط با چگونگی تعیین جانمایی دیواره‌ها و یا به عبارتی تعیین تعداد مخازن و یا انبارها می‌باشد.

موضوع اول اشاره شده در بالا به خوبی شناخته شده و در فصل دوم تحت عنوان "طراحی استحکام طولی شاه تیر بدنه کشتی" مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این در حالی است که موضوع دوم چندان مورد رسیدگی قرار نگرفته و فصل حاضر بدان می‌پردازد.

۱-۱- جانمایی انبارها

نگرشی جمعی در خصوص کشتی‌های فله‌بر وجود داشته است که بر اساس آن، جانمایی عمومی با ۵ انبار برای وزن مرده تا ۷۰,۰۰۰ تن، جانمایی عمومی با ۷ انبار برای وزن مرده ۷۰,۰۰۰ تا ۱۵۰,۰۰۰ تن و جانمایی عمومی با ۹ الی ۱۱ انبار برای وزن مرده بزرگتر از ۱۵۰,۰۰۰ تن مناسب می‌باشد. همچنین نظریه‌ای می‌گوید که ساختمان پوسته جانبی در کشتی‌های فله‌بر با وزن مرده بیش از ۱۵۰,۰۰۰ تن می‌تواند از نوع دوجداره انتخاب گردد. بزرگترین فله‌بری که تاکنون ساخته شده است، از وزن مرده‌ای برابر با ۲۵۰,۰۰۰ تن برخوردار بوده و همچنین دارای ۹ انبار و ساختمان پوسته جانبی یک جداره می‌باشد.

تصمیم‌گیری در خصوص جانمایی دیواره‌ها و یا به عبارتی تعداد انبارها و مخازن از اهمیتی بالا در مراحل اولیه طراحی برخوردار است. این موضوع تاکنون آنچنان به روشنی با شفافیت گزارش نشده است. امروزه سازه کشتی به صورت جامع و با کمک رایانه‌های پیشرفته مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در همین راستا موضوع چگونگی انتخاب تعداد انبارها و یا مخازن به عنوان مسئله‌ای مهم در طول فرآیند محاسبات رایانه‌ای نمود پیدا می‌کند.

دو نیروی مهم موثر بر سازه کشتی شامل وزن و بویانسی می‌باشند که هر دو در راستای قائم بر آن اثر می‌کنند. آن دسته از اجزای سازه‌ای کشتی همچون پوسته‌های جانبی، دیواره‌های عرضی و دیواره‌های طولی، که در راستای قائم استقرار یافته‌اند؛ در تأمین استحکام لازم برای مقابله سازه بدنه کشتی با این نوع بارهای قائم مشارکت جدی دارند. به عبارتی دیگر می‌توان گفت که استحکام سازه‌ای کشتی در مقابل این دسته از بارها از طریق استحکام برشی پوسته‌های جانبی کشتی، دیواره‌های عرضی و دیواره‌های طولی تأمین می‌گردد. بر این اساس در کشتی‌های با ابعاد بزرگ، افزایش تعداد دیواره‌های عرضی و همچنین افزایش ضخامت پوسته‌های جانبی، دیواره‌های عرضی و دیواره‌های