



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



بررسی انواع مدلها و تعیین خطای روشهای تحلیلی در مقایسه با روش اجزای محدود در پدیده برخورد کشتی با

تاسیسات ساحلی و سازه‌های دریایی

توحید علیزاده کارشناس ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر	حسین دلایلی استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر	سعید ضیایی راد دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان	ابوذر ابادری کارشناس ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر
alizadeh_tohid61@yahoo.com	dalayeli@yahoo.com	szrad@cc.iut.ac.ir	abuzarabazari@yahoo.com

پژوهشکده زیر سطحی دانشگاه صنعتی مالک اشتر - شاهین شهر اصفهان

پیش در آمد

پیشرفت روزافزون ایران در صنایع دریایی و از طرفی بالا رفتن انتقالات دریایی، ترافیک مسیرهای کشتیرانی را افزایش داده است. به دنبال این ترافیک خطر برخورد شناورهای دریایی با سازه‌های دریایی مستقر در دریا و سواحل و بنادر بیشتر از پیش شده است. پیشینه کم کشور در تحقیقاتی با این موضوع لزوم ایجاد مرجعی که مروری کلی بر تمام مدل‌های برخورد را داشته باشد ایجاد می‌کند. در این مقاله با طبقه‌بندی مدل‌ها به دو قسمت صلب و شکل‌پذیر به بررسی آنها پرداخته شده است. مدل‌های صلب شامل هاتچیسون، سیمکل، ایتو، ویزیکی و دمییج می‌باشد. مدل‌های قابل تغییر شکل نیز شامل مینورسکی، مدل‌های دینامیکی و آزمایشات شبه استاتیکی، مدل‌های بر اساس قوانین پایه مکانیک و مدل‌های اجزا محدود می‌باشد. این تقسیم بندی خلاصه‌ای از مطالعه چندین مقاله ژورنال در این موضوع است. در ادامه با اعمال روش یانگ و کالدول به مدل کشتی کانتینربر که یکی از پر رفت آمدترین شناورهای مسیر کشتیرانی می‌باشد، در یک حالت خاص، برخورد قائم با یک سازه ساحلی کاملاً صلب، منحنی نیرو- نفوذ بدست آورده می‌شود. با شبیه سازی برخورد قائم این کشتی منحنی نیرو- نفوذ و خسارت منتهی در اجزای محدود بدست آمده و با نتایج روشهای تحلیلی مقایسه و در مورد خطاها بحث می‌شود. این خطاها تا کنون در هیچ مقاله‌ای اشاره نشده است.

انواع مدل‌های برخورد

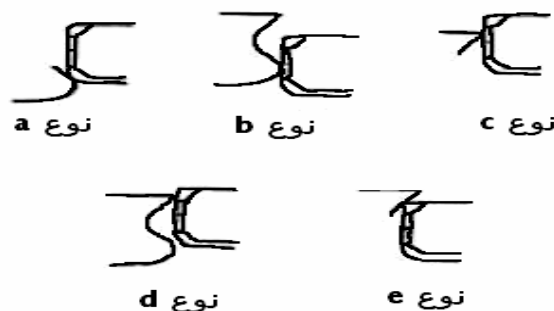
در قسمت اول مقاله به بررسی انواع دماغه‌های بکار رفته در مدل‌های پدیده برخورد پرداخته می‌شود. این تقسیم بندی در حالی انجام می‌شود که چنین مجموعه طبقه بندی تا به حال در مقالات داخلی کشور ارائه نشده است که مطمئناً دید بهتری نسبت به این موضوع ایجاد می‌کند و میانبری مناسب با ذکر منابع مختلف و طبقه بندی شده برای محققان ایرانی خواهد بود. نمودارها و مدل‌های نشان داده شده از مدل‌ها و نمودارهای پایه در مقایسات نتایج بسیاری محققان بوده که در بسیاری از مقالات ژورنال به آنها اشاره شده است. مدل‌های برخورد به دو بخش کلی زیر طبقه بندی می‌شوند [۱]:

- ۱- مدل صلب که با هندسه خارجی تعریف می‌شود.
- ۲- مدل‌های قابل تغییر شکل که نیاز به تعریف ساختار داخلی دارند.

۱- دماغه های صلب

۱-۱ هاتچیسون و سیمکل

این دو مورد دماغه را به شکل گوه با نوک تیز وصلب و نیم زاویه داخلی بکار می‌برند. هاتچیسون وضعیتی را بیان می‌کند که فرضیات بکار رفته محافظه کارانه اند و غیرمنطقی نیستند، مخصوصاً هنگامی که برخورد بین کشتی بزرگ و بارج صورت می‌گیرد.

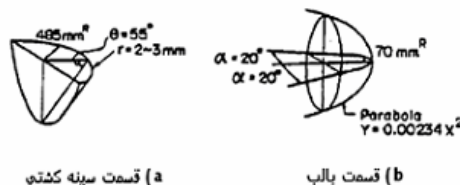


شکل ۲- انواع برخورد مورد بررسی در روش ایتو



شکل ۱- مدل دماغه ای صلب استفاده شده با هاتچیسون [۲]

ایتو اثر پارامترهای گوناگون طراحی را روی استحکام ساختارهای دو جداره بررسی می‌کند. برخوردها به ۵ نوع طبقه بندی می‌شوند. نوع a و b و c معمولاً بحرانی ترین حالت براساس خسارت در برخوردهای واقعی می باشد فقط نوع b (بالب ضربه زنده) و نوع c (سینه کشتی ضربه زنده) در مطالعه ایتو تحلیل می شوند. شکل زیر نیز اجزای ایجاد کننده فرورفتگی در آزمایشات مدل ایتو را نشان می دهد.



ا) قسمت سینه کشتی

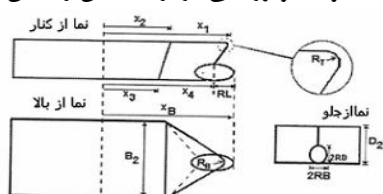
ب) قسمت بالب

شکل ۳- ایجادکننده‌های فرورفتگی مدل دماغه ایتو

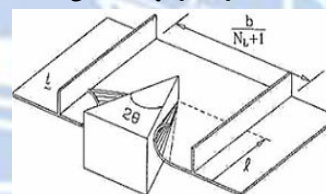
ایجادکننده‌های فرورفتگی بتدریج با جک هیدرولیک به داخل ساختار دوجداره فشار داده می شود. بار، نفوذ، تغییرشکل و کرنش اندازه گیری ارائه می شود [۳ و ۴ و ۵].

۳-۱ ویرزبکی

ویرزبکی یک حل بسته برای استحکام متوسط برخورد و مقاومت برش ساختارهای صفحه در اثنای برخورد در نظر گرفت. آزمایشات او و دمیح مدل دماغه صلب را بکار بردند. شکل ۴ دماغه صلب گوه ای شکل استفاده شده توسط ویرزبکی در آزمایشاتش را نشان می دهد.



شکل ۵- مدل دماغه دردمیح ۴



شکل ۶- مدل دماغه شبه گوه استفاده شده با ویرزبکی [۶]

۴-۱ دمیح ۴

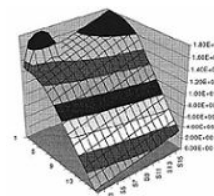
دمیح ۴ یک دماغه صلب با جزئیات هندسی قابل توجه بکارمیبرد. شکل ۵ هندسه دماغه و شکل ۶ نقشه سطح اکسل از مدل دماغه بکاربرده شده با دمیح را نشان می دهد.

۵-۱ سیمکل ۲.۱

سیمکل ۲ تا ۲ فرض می کند که دماغه ضربه زنده صلب به شکل گوه و نیم زاویه داخلی با امتداد عمودی بینهایت است. در شکل ۷ سیمکل ۲.۱، امتداد بالایی و پایینی دماغه نسبت به کشتی صدمه دیده را نشان می دهد. مدل دماغه گوه ای نامحدود بکاربرده شده در سیمکل ۱ نتایج ارضا کننده ای را در تحلیلهای برخورد ایجاد نمی کرد.



شکل ۷- مدل دماغه در سیمکل نسخه ۲.۱



شکل ۸- نقشه سطح در اکسل از مدل دماغه

۲- دماغه های قابل تغییرشکل

۲-۱ اطلاعات از دماغه در برخوردهای واقعی _ مینورسکی

¹ ITO

مینورسکی تغییرشکل اجزای ساختاری در دو کشتی را، شامل موارد زیر در نظر گرفت:

- عرشه‌ها، صفحه‌های پایینی صاف در شناورهای ضربه زننده و صدمه دیده
- بالکهد عرضی در شناورضربه خورده
- بالکهد طولی در شناورضربه زننده
- اجزای در جهت برخورد پوسته شناورضربه زننده

در این موارد، درصد انرژی جذب شده توسط کشتی ضربه زننده ثابت نیست. این مطلب این بینش را به دنبال دارد که دماغه ضربه زننده می‌تواند نقش مهمی در انرژی جذب شده ناشی از برخورد ایجاد کند و باید در نظر گرفته شود.

۲-۲ دماغه‌ها در آزمایشات مدل‌های دینامیکی

۱-۲-۲ ویسون

ویسون طرح ساختاری کشتی‌های هسته‌ای را برای کاهش خسارت برخورد، با یک سری از آزمایشات در آلمان تحلیل کرد. این آزمایشات مدل دماغه قابل تغییرشکل را بکار بردند. او تئوری دماغه نرم را برای مینیمم کردن نفوذ به دیگر کشتی‌ها پیشنهاد کرد.

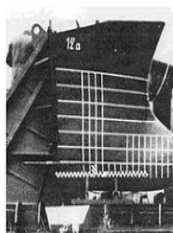
آزمایش شامل یک کالسکه حمل بار تا ۲۵ تن همراه با مدل جلوی کشتی که به ساختار جانبی یک کشتی برخورد می‌کرد، بود. سرعت و انرژی لازم برخورد با یک سطح شیب دار ایجاد می‌شد که در آن کالسکه، بعد از رهایی از وسیله نگهدارنده تا سطح افق شتاب می‌گیرد و خسارت قابل توجهی به مدل دماغه وارد می‌آمد. مقیاس مدل‌های بکار رفته ۱:۱۲ و ۱:۷/۵ بود. نتایج اختلاف مهمی در نیروی برخورد با طرح‌های ساختاری گوناگون دماغه را نشان می‌داد [۷]. براساس این آزمایشات، ویسون تعدادی روش برای طراحی دماغه نرم پیشنهاد کرد:

- تقویت کننده‌ای عرضی به جای طولی
- پرکردن آب داخل آن
- برست هوک^۲ کمتر و کاهش ضخامت صفحه سینه کشتی
- عدم وجود نقطه سختی

طراحی دماغه بالب دار و در نظر گرفتن قسمت‌های شیبدار بالای آب به عنوان منطقه قابل برخورد ویسون فرمول زیر را برای پیش‌بینی ماکزیمم نیروی برخورد از ساختارهای دماغه کلی به عنوان تابعی از DWT کشتی ضربه زننده ارائه داد

$$P_{\max} = 088\sqrt{DWT} \pm 50\% \quad (1)$$

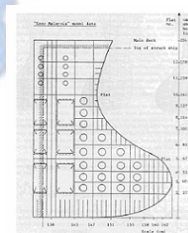
به عنوان نمونه، یکی از آزمایشات ویسون که یک مدل مقیاسی ۱:۱۲ از دماغه^۳ در مقابل دیوار صلب بود، در اینجا آورده شده است. سرعت برخورد ۶/۵۱ متر بر ثانیه با وزن کلی ۱۸ تن بود. تورفتگی دماغه ۰/۲ متر بود. شکل‌های زیر به ترتیب جزئیات ساختاری مدل و شکل‌های بعد مدل را قبل و بعد از خسارت نشان می‌دهد. آخرین شکل نتایج مدل عددی کیرکگارد را برای این مورد آزمایشی نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- مدل دماغه اسو مالزی [۸]



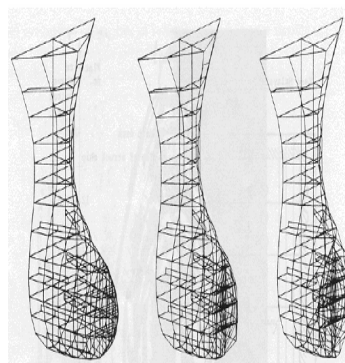
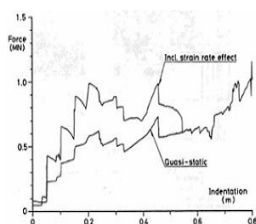
شکل ۹- مدل دماغه اسو مالزی بعد از خسارت [۸]



شکل ۸- جزئیات ساختاری مدل اسو مالزی [۸]

² Breast hook

³ ESSO MALAYSIA



شکل ۱۲- نتایج مدل کیرگارد برای مدل آزمایشی اسو مالزیا [۸]

شکل ۱۱- نتایج مدل اجزامحدود کیرگارد برای مدل آزمایشی اسو مالزیا [۸]

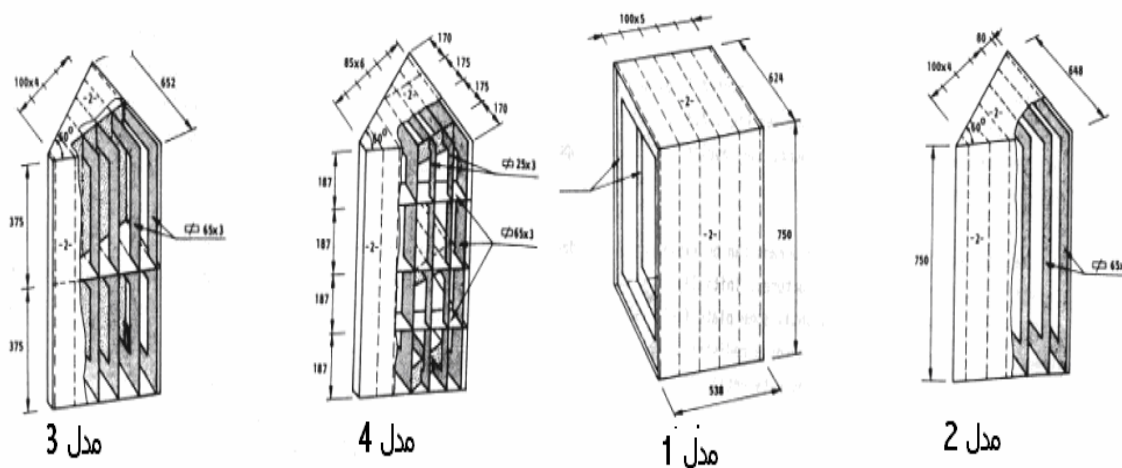
۳-۲ دماغه ها در مدل‌های آزمایشات شبه استاتیکی

۱-۳-۲ امداهل

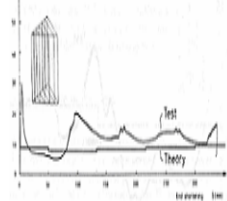
امداهل یک سری از آزمایشات با مدل‌های ساده شده را انجام داد. مدل‌ها شامل موارد زیر بود:

۱. جعبه مانند با قابهای عرضی
۲. گوه مانند با قابهای عرضی
۳. گوه مانند با قابهای عرضی و عرشه و بالکهد طولی
۴. گوه مانند با قابهای عرضی، سه عرشه تقویت شده و بالکهد طولی
۵. گوه مانند با قابهای عرضی، عرشه، بالکهد و تقویت کننده های طولی
۶. دماغه شیب دار با تقویت کننده های عرضی

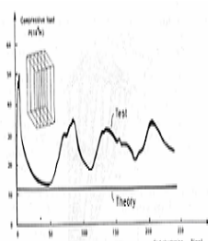
یک فشار شبه استاتیکی طولی به هر کدام اعمال می شود. مدل‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۵ و ۶ و منحنی بار-جابجایی منتجه آنها در شکل‌های ۱۳ تا ۱۹ نشان داده شده است [۹و۸].



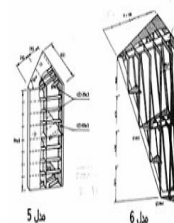
شکل ۱۳- مدل‌های دماغه ۱ و ۲ و ۳ و ۴ بکاربرده شده در آزمایشات امداهل



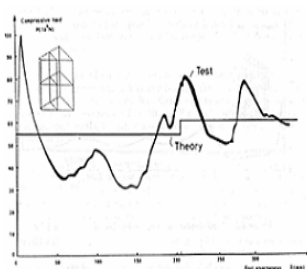
شکل ۱۶- منحنی مربوطه مدل ۲



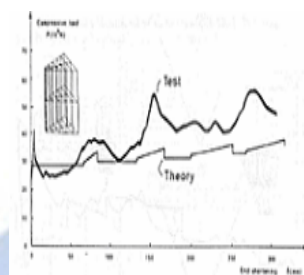
شکل ۱۵- منحنی مربوطه مدل ۱



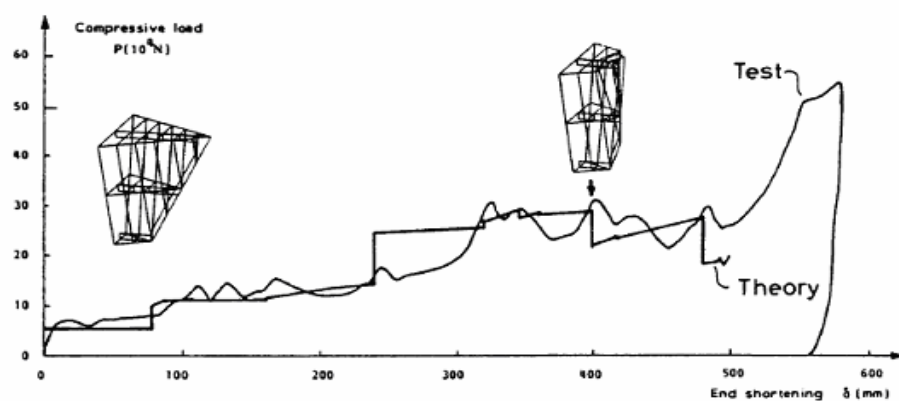
شکل ۱۴- مدل‌های دماغه ۱ و ۲ با کاربرد شده در آزمایشات امداهل



شکل ۱۸- منحنی مربوطه مدل ۵



شکل ۱۷- منحنی مربوطه مدل ۳



شکل ۱۹- منحنی مربوطه مدل ۶

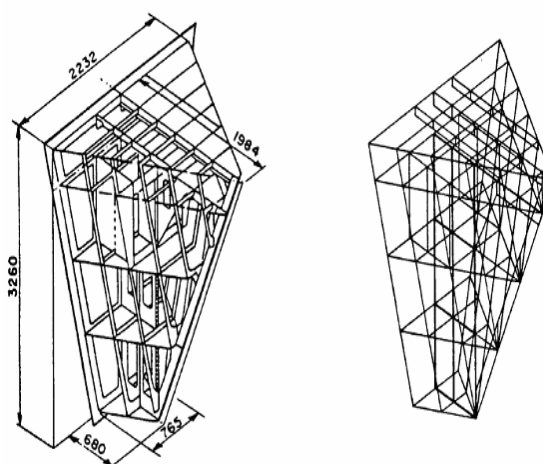
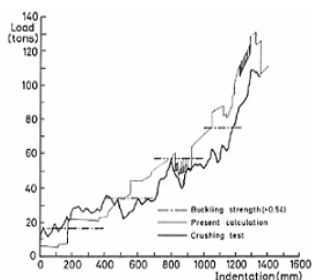
۲-۳-۲ آکیتا و کیتامورا^۴

آکیتا و کیتامورا یک سری آزمایشات شبه استاتیکی را در ژاپن انجام دادند که در آن مدل دماغه به مدل ساختار جانبی صلب کشتی حمل مواد هسته ای برخورد می‌کرد [۸ و ۱۰].

۲-۳-۳ هاگیوارا^۵

مدل دماغه مورد آزمایش هاگیوارا با مقیاس ۱:۵ از کشتی باربری ۱۷۰۰ dwt با قابهای عرضی در شکل ۲۰ همراه با مدل اجزای محدود کیرگارد نشان داده شده است [۱۱].

⁴ Akita and Kitamura
⁵ Hagiwara



شکل ۲۱- منحنی نیرو- نفوذ مدل آزمایشی هاگیوارا و اجزا محدود کیر کگارد

شکل ۲۰- مدل آزمایشی دماغه هاگیوارا و مدل اجزا محدود کیر کگارد

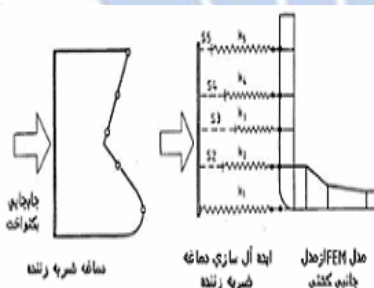
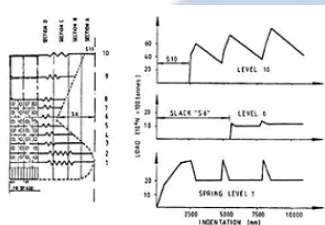
۲-۴ مدل‌های دماغه قابل تغییر شکل با قانونهای پایه مکانیک

این مدلها شامل کیم و گودینگ^۶، جرارد، امداهل، یانگ و کالدول، پدرسن، مدل دماغه به طور عرضی تقویت شده لهما و ویو، لوتزن و سیمسون و پدرسن و کیر کگارد است.

۲-۵ دماغه های قابل تغییر شکل در تحلیلهای اجزا محدود

۲-۵-۱ والسگارد و پترسن

یک دماغه قالب دار را مدل می کنند و سختی دماغه با مجموعه ای از فنرهای غیر خطی و با استفاده از دیدگاه نیمه تجربی ارزیابی می شود.



شکل ۲۳- تقریب سختی دماغه با مجموعه ای از فنرهای غیرخطی

شکل ۲۲- مدل دماغه ایده آل سازی شده با مجموعه ای از فنرهای غیرخطی

کشتی صدمه دیده قبل از برخورد سرعت صفر دارد. بعد از برخورد هر دو کشتی سرعت مشترک دارند که با بقای مومنتوم مشخص می شود و برخورد با زاویه قائم با یک درجه آزادی است. انرژی برخورد توسط هردو ساختار دماغه و پوسته جانبی صدمه دیده جذب می شود. ویژگیهای سختی محاسبه شده (بار بر حسب نفوذ) در تعیین خسارت و انرژی جذب شده در هر قسمت بکار برده می شوند. موقعیتهای گوناگون ضربه و سرعتهای گوناگون بررسی می شود.

دماغه ضربه زنده با مجموعه ای از فنرهای غیر خطی که شکل دماغه هندسی را ارائه می کند، شبیه سازی می شود. فنرها با یک سری گره ها در جانب کشتی همراه می شوند به طوری که ویژگیهای سختی با یک فرایند ساده شده غیر خطی FE مشخص می شود. بدین طریق انرژی جذب شده و خسارت نسبی دماغه و دیواره جانبی مشخص می شود. نتیجه بستگی به سختی نسبی دماغه دارد.

ثابت‌های فنر دماغه به عنوان توابع خطی گسسته از مقادیر نیرو _ تغییر شکل به عنوان ورودی به برنامه کامپیوتری داده می شود. فنرهای دماغه غیر خطی برای دماغه ضربه زنده با باج- گانسمو و والسگارد برای ۱۰ کلاس عمودی در دماغه کشتی مدل شدند. این فنرها با ترکیبی از بارهای مشخص شده از آزمایش جرارد و بارهای کماتش الاستیک بنا نهاده شده است. سختی نسبی بدنه کشتی و دماغه مشخص می کند که

⁶ Kim and gooding

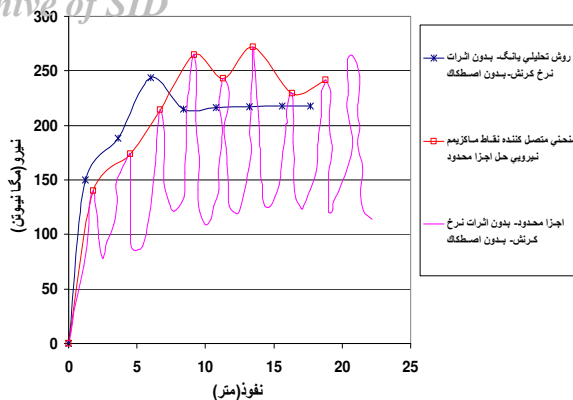
کدام ساختار خسارت بیشتری در یک برخورد تحمل می کند [۱۲]. نتایج نشان می دهد که دماغه کشتی ضربه زننده در این مورد حدود ۵۵٪ از کل انرژی را در مقایسه با ۱۵٪ هنگامی که سختی دماغه کشتی ضربه زننده ۱۰ برابر سختی واقعی فرض می شود، جذب می کند. جدول زیر مدل‌های دماغه گوناگون شرح داده شده بالا را خلاصه می کند.

جدول ۱- خلاصه دماغه های بکار رفته در مدل‌های پدیده برخورد کشتی

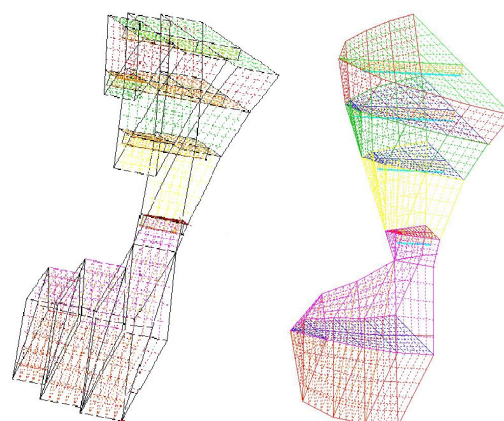
مدل	صلب	قابل تغییر شکل	معادلات تحلیلی	اجزای محدود	تجربی	اجزای متقاطع	دماغه گوه‌ای نامحدود
مینورسکی		√	√		√		
هاتجیسون	√						√
ایتو	√		√		√		
ویرزبکی	√		√			√	
سیمسون	√			√	√	√	
سیمکل ۱-۲	√						√
سیمکل ۲.۱	√						
وایسون		√			√		
کیم		√	√		√		
جرارد		√	√			√	
امداهل		√	√			√	
کیرکارد		√		√	√	√	
کیتامورا و آکیتا		√			√		
هاگیوارا		√			√		
یانگ و کالدول		√	√			√	
پدرسن		√	√				
لوتزن		√	√			√	
والسگارد و پترسن		√		√		√	

مقایسه منحنی نیرو - نفوذ اجزای محدود و روش تحلیلی یانگ [۱۳ و ۱۴]

در این قسمت مقایسه‌ای بین یکی از بهترین روش‌های تحلیلی بدست آوردن منحنی نیرو-نفوذ و اجزای محدود در پدیده برخورد کشتی صورت می‌پذیرد. روش یانگ [۳] بر اساس تشکیل لولای پلاستیک در ورق‌های تحت بار محوری پایه‌گذاری شده است. به طور خلاصه می‌توان چنین بیان کرد که بعد از تعیین مقدار انرژی لازم برای چین خوردگی اجزای ساختاری L و T و صلیبی شکل و اصل توازن انرژی میزان نیروی لازم برای تخریب آن جزء بدست می‌آید. با تقسیم مقطع بین هر دو قاب عرضی دماغه به اجزای ساختاری و استفاده از رابطه یانگ، منحنی نیرو-نفوذ بدست می‌آید. بعد از اعمال روش یانگ منحنی نیرو-نفوذ منتجه با نتایج اجزای محدود مقایسه می‌شود. برنامه نوشته شده براساس فرمولبندی یانگ همراه با توضیح مبسوط این روش در مرجع [۱۴] آمده است. همچنین نحوه مدلسازی در اجزای محدود به همراه ابعاد کشتی به طور کامل در مرجع [۱۵] آورده شده است. اختلاف در نتایج به دو قسمت تقسیم می‌شود ۱- تا قبل از مقطع چهارم (سه مقطع اول). ۲- بعد از آن. در سه مقطع اول بار قابل تحمل بر اساس روش اجزای محدود کمتر از روش تحلیلی است که نتیجه‌ای منطقی است زیرا مدل تحلیلی با این فرض که هر مقطع کشتی تا ۲/۴ متری به همان شکل ادامه پیدا می‌کند (شکل ۲۴- راست)، بار فروپاشی برای هر جز ساختاری را بدست می‌آورد. اما مدل اجزای محدود انحنا واقعی دماغه که بصورت شکل ۲۴- چپ است، را مورد تحلیل قرار داده است. بعد از سه مقطع اول نیرویی که اجزای محدود نشان می‌دهد بالاتر از حل تحلیلی می‌باشد زیرا از مقطع چهارم به بعد شکل مقاطع در هر دو روش تحلیلی و اجزای محدود تقریباً یکی است. حل تحلیلی شرایط تکیه‌گاهی لبه‌های اجزای ساختاری L و T و صلیبی شکل را مفصلی فرض کرده است این در حالی است که در مدل اجزای محدود اجزای ساختاری بوجود آمده از تقاطع‌های صفحه‌ای در محل اتصالشان با یکدیگر گیردار شده‌اند و این امر موجب بالا رفتن حداکثر نیروی قابل تحمل می‌شود.



شکل ۲۵- منحنی نیرو- نفوذ مدل روش تحلیلی یانگ و مدل واقعی کشتی



شکل ۲۴- مدل واقعی دماغه (راست) - مدل تحلیلی دماغه (چپ)

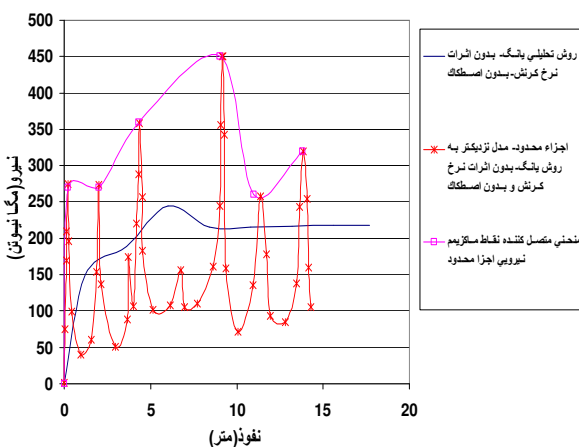
توجیه نوسانات منحنی نیرو- نفوذ

وجود مقادیر حداکثر و حداقل در منحنی نیرو- نفوذ بر خلاف منحنی‌های هموار بدست آمده از روشهای تحلیلی واقعیت تشکیل لولاهای پلاستیک، در ورقهای بین قابهای عرضی پس از به تسلیم رسیدن تمام قسمتهایشان را نشان می‌دهد. تعبیر این واقعیت بدین صورت است که هنگام رسیدن هر صفحه عرضی به مانع صلب نیروی یکنواختی به تمام ورقهای بین این صفحه عرضی و صفحه عرضی بعدی (عرشه‌ها و تقویت کننده‌های L شکل و T شکل و پوسته جانبی) وارد می‌شود. با از بین رفتن تعادل این ورقه‌های تحت بار محوری و کمانش یافتن آنها به مرور زمان تنش تا جایی ادامه پیدا می‌کند که کل ورق به حالت حد نهایی تحمل تنش برسد در این لحظه یعنی زمانی که فرو رفتگی حدودا به اندازه نصف طول ورق بین دو قاب رسیده است، لولای پلاستیک تشکیل و فروپاشی ورقها آغاز می‌شود. از این به بعد هیچ مقاومت نیرویی از طرف ورقها به مانع صلب اعمال نمی‌شود.

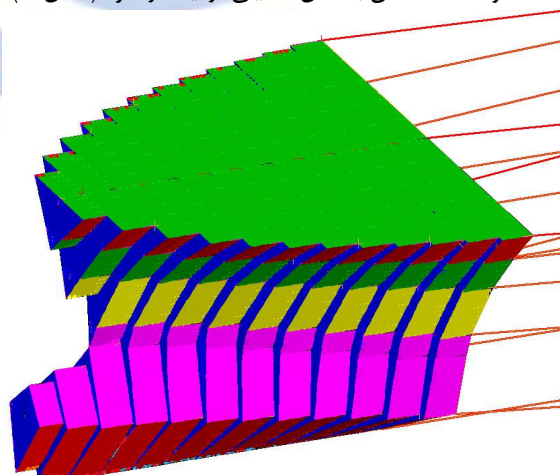
کاهش نیرو در منحنی نیرو- نفوذ تا جایی ادامه می‌یابد که دوباره پس از رسیدن صفحه عرضی بعدی مقاومت ورقه‌های واقع در مقطع بعدی حس شود و نیرو نیز همانطور که در بالا ذکر شد دوباره تا تشکیل لولای پلاستیک در آن مقطع افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه فاصله بین قابهای عرضی $2/4$ است طبق منطق ذکر شده در بالا انتظار داریم مقادیر حداکثر در منحنی نیرو- نفوذ حدودا در فرورفتگی‌های به فواصل $1/2$ و $3/6$ و 6 و... صورت گیرد.

نزدیک شدن مدل اجزاء محدود به مدل روش تحلیلی

در قسمت قبل به تفاوت‌های مدل اجزاء محدود و تحلیلی اشاره شد که موجب خطاهایی در مسئله شده بود. در این قسمت سعی می‌شود مدل اجزاء محدود تا حد امکان به مدل تحلیلی نزدیک‌تر شود (شکل ۲۶).



شکل ۲۷- مقایسه منحنی نیرو- نفوذ روش تحلیلی یانگ و نتیجه مدل اجزاء محدود

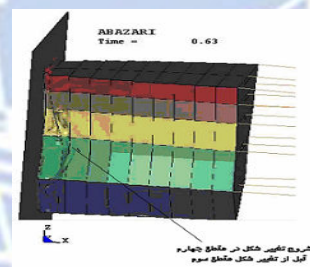
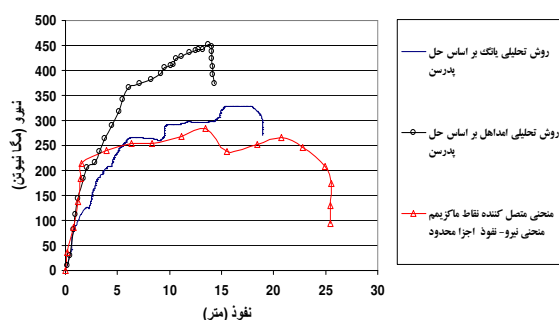


شکل ۲۶- مدل اجزاء محدود نزدیک به مدل مورد تحلیل در روش یانگ و کالدول

بعد از مقایسه منحنی‌های نیرو- نفوذ بدست آمده از دو روش تحلیلی و اجزاء محدود باز هم اختلاف مشاهده شد (شکل ۲۷). این اختلاف بوجود آمده باز هم اعتبار هیچکدام از حلها را نقض نمی‌کند زیرا علاوه بر اینکه نزدیک کردن مدل جدید اجزاء محدود به مدل تحلیلی نیروی منتجه را نسبت به مدل قبلی اجزاء محدود بالا می‌برد، عدم قیدگذاری در لبه‌های اجزای ساختاری در مدل تحلیلی همچنان عاملی برای این افزایش نیرو است. لازم به ذکر است در این حالت برای صلب شدن صفحات عرضی، ضخامت آنها در مقدار ۲۵۰ میلی‌متر می‌تواند مانع از خم شدن آنها تحت بار وارد شده از مقطع جلویی شود. نکته قابل توجه این است که نکات ذکر شده بالا تا به حال در هیچ مقاله‌ای اشاره نشده است.

مقایسه نتایج روش اجزاء محدود با روش یانگ و امداهل (تصحیح شده بر اساس مرجع [۸])

در یک سیستم متوالی از نیروها به علت پشت سر هم بودن مقاطع و اتصال آنها به یکدیگر در صورت اعمال بار به اولین مقطع همه مقاطع این نیرو را احساس می‌کنند. در این حالت تغییر شکل در مقطعی اتفاق می‌افتد که از لحاظ ساختاری مقاومت کمتری دارد. این مطلب در مورد مدل مورد بحث ما نیز صادق است. زیرا مقطع ۳ که در آن بالب وجود دارد، نسبت به بقیه مقاطع سخت‌تر است و هنگام تماس آن با مانع صلب قسمتهای عقب‌تر آن که از لحاظ نیرویی مقاومت کمتری دارند، تغییر شکل می‌دهند. البته ذکر این نکته بسیار مهم است که مشاهده نشدن حداکثر مقدار در منحنی نیرو - نفوذ در شکل ۲۵ در نفوذ ۶ متری (میانہ مقطع ۳ که حداکثر نیروی وارد به مقطع باید آنجا اتفاق افتد) به علت توجه ذکر شده در بالا نیست، زیرا در اولین مدل اجزاء محدود سه مقطع جلویی در مقایسه با مقاطع بعدی از نظر ساختاری مقاومت پائینتری دارند.



شکل ۲۸- تغییر شکل مقطع چهارم دماغه کشتی قبل از تغییر شکل مقطع سوم

شکل ۲۹- مقایسه منحنی‌های نیرو- نفوذ بدست آمده بر اساس روش اجزاء محدود و دو روش تحلیلی یانگ و امداهل

در راستای مطالب ذکر شده در بالا منحنی‌های نیرو - نفوذ شکل ۲۷ نکته ذکر شده را تایید می‌کنند یعنی علی‌رغم اینکه مدل یانگ پیش‌بینی می‌کند حداکثر میزان نفوذ در مقطع سوم (روش تحلیلی یانگ) باشد، این اتفاق پیش نیامد. برای درک بیشتر از این موضوع، نمایی از تغییر شکل مدل دوم اجزاء محدود در شکل ۲۸ نشان داده شده که مشخص می‌کند مقطع سوم از لحاظ ساختاری مقاومت بیشتری نسبت به مقطع بعدی دارد. لذا تغییر شکل ابتدا در مقطع ضعیفتر انجام می‌شود.

کیرگارد با ذکر تحلیلی عددی مشکلات ذکر شده را بر طرف و روشهای یانگ و امداهل را تصحیح کرد در این مرحله مقایسه‌ای بین نتایج منحنی نیرو- نفوذ تحلیلهای یانگ و امداهل تصحیح شده (مقاله پادرسون [۱۶]) و مدل اجزاء محدود، صورت پذیرفته است (شکل ۲۹). همانطور که پادرسن پیش‌بینی کرده بود که حل یانگ نسبت به امداهل دقیقتر باشد. مقایسه بین این حل با مدل دقیق اجزاء محدود در شکل ۲۹ نیز تاییدی بر این موضوع است.

مراجع:

1. Sajdak, J.A.W., Brown, A.J. MODELING LONGITUDINAL DAMAGE IN SHIP COLLISIONS, SSC_Report_SR_1426_Chapters, 2004.
2. Hutchison, B.L., "Barge Collisions, Rammings and Groundings - an Engineering Assessment of the Potential for Damage to Radioactive Material Transport Casks", Report No. SAND85-7165 TTC-05212, 1986.
3. Ito, H., et al, "A Simplified Method to Analyze the Strength of Double Hulled Structures in Collision", Journal of Society of Naval Architects of Japan, Vol. 156, pp. 283-295, 1984.
4. Ito, H., et al, "A Simplified Method to Analyze the Strength of Double Hulled Structures in Collision, 2nd Report", Journal of Society of Naval Architects of Japan, Vol. 158, pp. 420-434, 1985.

5. Ito, H., et al, "A Simplified Method to Analyze the Strength of Double Hulled Structures in Collision, 3rd Report", Journal of Society of Naval Architects of Japan, Vol. 160, pp. 401-409, 1986.

6. Wierzbicki, T., "Crushing Behavior of Plate Intersections", Structural Crashworthiness, edited by A. Jones and T. Wierzbicki, Chapter 3, Butterworth and Co., London, 1983.

7. Woison G. (1979): "Design against Collision". Schiff & Hafen. Vol. 31. No. 2. pp. 1059-1069. Germany.

8. Kierkegaard, H., "Ship Collisions with Icebergs", PhD Thesis, DTU, April 1993.

9. Amdahl, J., "Energy Absorption in Ship-Platform Impacts", Dr. Ing. Thesis, Report No. UR-83-84, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 1983.

10. Kitamura, K. and Akita, M., "A Study on Collision by an Elastic Stem to the Side Structure of Ships", Trans. SNAJ, 131, 307-317, 1972.

11. Hagiwara, K., Takanabe, H. and Kawano, H., "A Proposed Method of Predicting Ship Collision Damage", International Journal of Impact Engineering, No. 1, International Journal of Impact Engineering, No. 1, 1983.

12. Valsgard, S. and Pettersen, E., "Simplified Non-Linear Analysis of Ship/Ship Collisions", Norwegian Maritime Research, No. 3, pp. 2-17, 1982.

۱۳. ابوذر ابادری، "بررسی پدیده برخورد کشتی به تاسیسات ساحلی و سازه‌های دریایی به روش تحلیلی اجزا محدود"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، بهمن ۸۶.

۱۴. ابوذر ابادری، "بررسی مکانیک داخلی و دینامیک خارجی پدیده برخورد کشتی به روش تحلیلی"، شانزدهمین کنفرانس بین المللی مکانیک. اردیبهشت ۸۷.

۱۵. ابوذر ابادری، "بررسی پارامترهای موثر در ایجاد خطا در مدلسازی برخورد کشتی به روش اجزاء محدود (lsdyna) و بررسی اثرات اصطکاک روی میزان خسارت کشتی در برخورد"، دهمین کنفرانس مهندسی دریا.

16. Pedersen, p.t, etal, "ship Impacts: Bow collisions", international journal of impact engineering, vol-13.no.2, pp.163-187, 1993.

