



مرکز بررسی‌ها و مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی 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.



سازمان بنادر و دریانوردی



## مدلسازی المان محدود تصادم کشتی با پایه سکوی نیمه‌شناور ایران البرز

سمیه نوری

احمد رضا مصطفی قره‌باغی

سعید مظاهری

[s\\_nouri1940@yahoo.com](mailto:s_nouri1940@yahoo.com)[mgharabaghi@sut.ac.ir](mailto:mgharabaghi@sut.ac.ir)[mazaheri@rahiran.ir](mailto:mazaheri@rahiran.ir)

## چکیده

مقاله حاضر به مدلسازی و تحلیل پدیده تصادم شناور پشتیبانی با پایه سکوی نیمه‌شناور ایران البرز توسط نرم‌افزار المان محدود LS-DYNA که محصول قدرتمند نرم‌افزار ANSYS می‌باشد، اختصاص یافته است. این نرم‌افزار دارای قابلیت مدلسازی و تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌های درگیر در حادثه تصادم است. در تحقیق حاضر، هندسه واقعی شناور پشتیبانی و جزئیات دقیق پایه سکو مدلسازی شده است. جهت ساده‌سازی حادثه مورد مطالعه بدنه شناور پشتیبانی به صورت صلب مدلسازی شده است. موقعیت‌های احتمالی و ناحیه برخورد بر مبنای ابعاد و عمق آب‌خور شناور و سکو، شرایط عملیاتی و حرکات نسبی دو سازه مورد بررسی قرار گرفته است. سپس حالت بحرانی انتخاب و تحت سناریوهای مختلف برخورد سینه، پهلو و گوشه پاشنه شناور تحلیل شده است. در خاتمه بر مبنای نتایج حاصل، انرژی جذب شده توسط قسمت‌های مختلف سازه بررسی و نقش المان-های سازنده پایه در جذب انرژی و مکانیزم غالب جذب و استهلاک انرژی حادثه، مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین ارزیابی آسیب وارده به ستون و گسترش ناحیه آسیب دستاوردهای دیگر این تحلیل‌ها است.

کلمات کلیدی: سکوی نیمه‌شناور، کشتی، تصادم، LS-DYNA.

## مقدمه

نیاز روزافزون بشر به ذخایر نفت و گاز فراساحلی سبب پیشرفت سریع صنایع فراساحلی و ورود آنها به آبهای عمیق و نیمه‌عمیق دریاها و اقیانوس‌ها شده است. از جمله دستاوردهای این پیشرفت استفاده از سکوهای نیمه‌شناور جهت انجام عملیات حفاری اکتشافی و استخراج ذخایر بستر دریاها و اقیانوس‌ها است.

سلامت، بقاء و پایداری چنین سازه‌هایی در طول عمر عملیاتی آنها متاثر از وقوع حوادث تصادفی متعددی است. تصادم کشتی با تاسیسات فراساحلی نمونه‌ای از این حوادث است. به دنبال پیشرفت سریع در ساخت و نصب سازه‌های فراساحلی و افزایش مداوم ترافیک دریایی، احتمال وقوع حادثه تصادم با کشتی در خصوص سازه‌های فراساحلی افزایش یافته و حوادث متعددی در طول سال‌های اخیر گزارش شده است. بنابراین منتشر شده توسط مدیریت ایمنی و سلامت (HSE) در خصوص تاسیسات فراساحلی بخش UKCS، طی سال‌های ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۱، ۵۵۷ حادثه تصادم انواع کشتی‌ها با انواع تاسیسات فراساحلی به ثبت رسیده است [۱]. بررسی جزئیات مربوط به این حوادث نشان می‌دهد که ۱۵۸ مورد از این حوادث مربوط به تصادم کشتی با سکوهای حفاری نیمه‌شناور بوده است. ۶۴٪ این حوادث مربوط به تصادم شناور پشتیبانی با تاسیسات فراساحلی بوده که به ترتیب حدود ۱۷٪ و ۴٪ این حوادث موجب آسیب متوسط و شدید شده است. شایان ذکر است که اکثر این حوادث در شرایط عملیاتی به وقوع پیوسته است که در این شرایط، معمولاً ستون سکو در معرض برخورد قرار دارد. با توجه به اینکه ستونهای یک سکوی نیمه‌شناور نقش بسزایی در تامین پایداری هیدروستاتیکی آن دارند، بنابراین آسیب ناشی از وقوع تصادم به ستونهای این نوع سکوها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مطالعات انجام شده قبلی که با استفاده از روش المانهای محدود صورت گرفته، فرض‌های ساده‌کننده زیادی (به‌ویژه در خصوص مدلسازی هندسی) انجام شده است. با توجه به اینکه هندسه شناور، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در نحوه گسترش آسیب پیش‌بینی شده دارد، بنابراین مطالعه حاضر به شبیه‌سازی حادثه تصادم شناور پشتیبانی با ستون سکوی نیمه‌شناور ایران البرز با استفاده از نرم‌افزار المان محدود LS-DYNA اختصاص یافته است. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر هندسه واقعی شناور و ستون سکو مدلسازی شده است.

## مروری بر مطالعات انجام شده

Zayas & Dao در سال ۱۹۸۵، روش تحلیلی ساده شده‌ای جهت ارزیابی آسیب ناشی از تصادم شناور پشتیبانی با ستون اصلی سکوی نیمه‌شناور،

ارائه نمودند [۲]. نتایج این روش با نتایج مطالعه آزمایشگاهی بر روی مدلی با مقیاس  $\frac{1}{6.25}$  از ستون سکوی نیمه‌شناور SEDCO 711 مقایسه

شده است. مدلسازی ستون شامل حلقه تقویت کننده پیرامونی T شکل، تقویت کننده‌های طولی و سه تیغه داخلی است. در این مطالعه تصادم برای ضربه پهلو کشتی شبیه‌سازی شده و یافته‌های تحلیلی نشان می‌دهد که این روش مقاومت سکو را دست بالا تخمین می‌زند.

Dowling و همکاران در سال ۱۹۸۷، عواقب برخورد یک شناور پشتیبانی با ستون یک سکوی حفاری شناور را مورد آزمایش قرار دادند [۳]. آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های ساخته شده با مقیاس کوچک از پوسته‌های تقویت شده با تقویت کننده حلقوی و یا طولی انجام گرفت. در این آزمایش‌ها اثرات بارهای تصادفی شبیه‌سازی شده و سپس کاهش در مقاومت فشاری مقطع به علت آسیب محاسبه گردید. نتایج مطالعات آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق با نتایج حاصل از مدل‌های المان محدود و سایر روشهای تحلیلی که از آنها در دستورالعمل‌های طراحی استفاده می‌شود، تطابق قابل قبولی را نشان می‌دهد.

در سال ۲۰۰۲، گزارشی با عنوان "مقاومت نیمه‌شناورها در برابر تصادم‌ها" براساس آمار حوادث تصادفی ثبت شده تا سال ۲۰۰۰ در بخش UKCS، توسط HSE منتشر گردید [۴]. این گزارش شامل مروری بر ضوابط ارائه شده در دستورالعمل‌های مرتبط با قابلیت پایدار ماندن نیمه‌شناورها در برابر اثرات ناشی از تصادم با شناورهای پشتیبانی است. در این مطالعه، اصلاحات مورد نیاز برای ویرایش چهارم دستورالعمل طراحی فراساحلی، بخش انرژی انگلستان (DEN) ارائه شده است. بخش تحلیلی گزارش مذکور به مطالعه المان محدود ضربه کشتی بر روی ستون تقویت شده دو نیمه‌شناور حفاری متعلق به شرکت Trans Ocean Sedco از نوع Aker H<sub>3</sub>، Aker H<sub>4</sub> توسط نرم‌افزار ABAQUS Version 6.1 اختصاص داده شده است. با توجه به اینکه سهم کلی تغییر شکل خمشی بر حسب استهلاک انرژی ناشی از تصادم جانبی برای ستون نیمه‌شناورها ناچیز است، بنابراین جهت ارزیابی آسیب ناشی از تصادم روی ستون دو نیمه‌شناور مذکور، پاسخ غالب به تغییرشکل‌های پلاستیک موضعی محدود شده است. در نتیجه مدلسازی کل ستون جهت محاسبه پاسخ مطلوب در ناحیه ضربه الزامی نبوده و به جای طول کامل ستون تنها سه پانل تقویت شده آن توسط تقویت کننده‌های حلقوی مدلسازی و تحلیل شده است. همچنین به علت تقارن تنها نصف ستون مدلسازی و آنالیز شده است. تقویت کننده‌های حلقوی به عنوان اعضاء صلب فرض شده و سختی معادل آنها ۱۰۰۰ برابر مصالح استوانه منظور شده است. تصادم به صورت مجاله شدن لوله توسط جسم صلب مدل گردیده است. شناور ضربه زنده صلب و سطح تماس به عنوان سطح صلب تحلیلی در نرم‌افزار ABAQUS مدل شده است. مدل جسم صلب، مجاز به حرکت از پهلو (جانبی) نسبت به ستون است و فرورفتگی آن در بازه‌های زمانی کوچک محاسبه شده است.

### ضوابط مربوط به تصادم کشتی با سکوی نیمه‌شناور از دیدگاه دستورالعمل DNV

بنابر ضوابط دستورالعمل DNV آسیب ناشی از تصادم شناور پشتیبانی با ستون یک سکوی نیمه‌شناور می‌بایست برای تمام المان‌های سازه که در معرض تصادم سینه، پهلو و پاشنه شناور هستند، مورد بررسی قرارگیرد. همچنین گسترش قائم ناحیه آسیب‌دیده بر مبنای عمق و آب‌خور شناور پشتیبانی و حرکت نسبی بین دو سازه ارزیابی گردد. اگرچه تصادم در حالت کلی موجب آسیب موضعی ستون می‌شود ولی برای سازه‌های دارای ستون لاغر، ارزیابی مقاومت کلی سازه الزامی است [۵].

ستون‌های سکوی نیمه‌شناور المان‌هایی کوتاه و قوی محسوب می‌شوند. بر مبنای توصیه‌های دستورالعمل DNV در چنین شرایطی، آسیب موضعی دارای بیشترین احتمال وقوع است. بنابراین در این مطالعه تنها یک ستون سکو جهت بررسی حادثه تصادم مدلسازی شده است. از دیدگاه طراحی سکوی مورد مطالعه، تصادم شناور پشتیبانی ۲۵۰۰ تنی با سرعت  $2 \frac{m}{sec}$  به عنوان حالت حدی خرابی پیشرونده طراحی منظور شده است [۶]. بنابراین وسعت ناحیه آسیب دیده در راستای قائم به ۵ متر بالا و ۳ متر پائین تراز آب در حالت عملیات محدود شده است. همچنین گسترش افقی ناحیه آسیب-دیده ۳ متر و نفوذ آن در راستای عمود بر صفحه پوسته ۱٫۵ متر منظور شده است.

### سناریوی تصادم

سناریوی تصادم بر حسب سرعت شناور پشتیبانی، آب‌خور عملیاتی شناور و سکو و زاویه برخورد قابل تشخیص است. بنابراین موقعیت‌های احتمالی برخورد می‌بایست بر اساس نامساعدترین رخدادها به همراه احتمال وقوع آنها تعیین گردد. در مطالعه حاضر، موقعیت‌های احتمالی تصادم سینه، پهلو و پاشنه شناور پشتیبانی با یک ستون سکوی نیمه‌شناور ایران البرز مورد بررسی قرار گرفته است.

## مکانیک تصادم

مکانیک تصادم به دو بخش مکانیک خارجی و داخلی قابل تقسیم است [۷]. مکانیک خارجی شامل شبیه‌سازی حرکت وابسته به زمان کشتی با محاسبه نیروهای تصادم و تأثیرات سیال پیرامون آن یعنی نیروهای فشار هیدرودینامیکی است. در این حالت معمولاً کشتی به عنوان جسم صلب در نظر گرفته می‌شود. نیروهای هیدرودینامیکی به نیروهای اینرسی (جرم‌افزوده)، نیروهای بازدارنده (ثقل و شناوری)، نیروهای لزجت پسا و نیروهای موج تقسیم می‌شوند. نیروهای اینرسی سبب افزایش انرژی جنبشی موثر کشتی می‌گردد و معمولاً به صورت جرم‌افزوده ثابت، به جرم واقعی اضافه می‌شوند. براساس ضوابط ویرایش چهارم دستورالعمل دپارتمان انرژی انگلستان (DEN)، ضریب جرم‌افزوده برای تصادم پهلوئی شناور ۰/۴ و برای تصادم سینه و پاشنه شناور ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود [۴]. با استفاده از تحلیل مکانیک خارجی، کل استهلاک انرژی جنبشی اولیه در سازه آسیب‌دیده، قابل محاسبه است.

مکانیک داخلی شامل ارزیابی پاسخ گسیختگی سازه است. کاربرد تحلیل مکانیک داخلی در محاسبه منحنی‌های نیروی ضربه بر حسب آسیب وارده می‌باشد. با انتگرال‌گیری از سطح زیر این منحنی‌ها، انرژی جذب شده توسط سازه قابل محاسبه است.

پتانسیل آسیب ناشی از تصادم شناور توسط انرژی جنبشی توصیف می‌گردد. این انرژی بر مبنای سرعت و جرم شناور (شامل جرم‌افزوده هیدرودینامیکی) در هنگام برخورد تعیین می‌گردد. مطابق ضوابط استاندارد DNV، یکی از سناریوهای احتمالی تصادم، مربوط به تصادم شناور از کنترل خارج شده و برخورد آن با سکو در اثر امواج است. در این حالت حداکثر سرعت شناور تابع ارتفاع موج مشخصه بوده و از رابطه تجربی (۱) قابل محاسبه است [۸و۴].

$$v = 0.5H_s \quad (1)$$

در رابطه فوق  $H_s(m)$  حداکثر ارتفاع موج مشخصه در بحرانی‌ترین شرایطی که عملیات در نزدیک سکو امکان‌پذیر است و  $v(\frac{m}{sec})$  سرعت برخورد است. بنابراین حداکثر سرعت ضربه تصادفی چنین شناوری در شرایط محیطی دریای شمال  $2(\frac{m}{sec})$  ارزیابی شده است.

بر مبنای شرایط برخورد، بخشی از انرژی جنبشی به صورت انرژی کرنشی در سکو و شناور مستهلک شده و بخشی از آن به صورت انرژی جنبشی پس از برخورد باقی می‌ماند.

مطالعه مکانیک تصادم بر حل معادله دیفرانسیل حاکم بر تعادل دینامیکی متمرکز می‌گردد. به‌طور کلی تحلیل تصادم بر مبنای دو اصل بقای مومنتوم و انرژی استوار است.

اصل بقای مومنتوم و انرژی برای برخورد مرکزی مابین شناور و سکوی نیمه‌شناور که در یک سمت حرکت می‌کنند، به ترتیب مطابق رابطه (۲) و (۳) بیان می‌گردد [۴].

$$(m_s + a_s).v_s + (m_p + a_p).v_p = [(m_s + a_s) + (m_p + a_p)].v_c \quad (2)$$

$$\frac{1}{2}(m_s + a_s)v_s^2 + \frac{1}{2}(m_p + a_p).v_p^2 = \frac{1}{2}[(m_s + a_s) + (m_p + a_p)].v_c^2 + E_s \quad (3)$$

که  $m_s$ ،  $a_s$  و  $v_s$  به ترتیب بیانگر جرم، جرم‌افزوده و سرعت شناور در هنگام برخورد است. همچنین  $m_p$ ،  $a_p$  و  $v_p$  به ترتیب بیانگر جرم، جرم‌افزوده و سرعت سکوی نیمه‌شناور،  $v_c$  سرعت مشترک شناور و سکو پس از برخورد اولیه،  $E_s$  انرژی کرنشی مستهلک شده توسط سکو و شناور است.

با توجه به روابط (۲) و (۳)، کل انرژی مستهلک شده توسط سکو و شناور ضربه زننده از رابطه (۴) قابل ارزیابی است.

$$E_s = \frac{1}{2}(m_s + a_s)v_s^2 \frac{(1 - \frac{v_p}{v_s})^2}{1 + \frac{m_s + a_s}{m_p + a_p}} \quad (4)$$

برای ضربه مرکزی بین سکوی نیمه‌شناور و شناور پشتیبانی و شرایط  $m_p \gg m_s$  و این فرض که هیچ حرکتی پس از برخورد رخ نخواهد داد، رابطه (۵) برای محاسبه انرژی جنبشی کشتی در لحظه برخورد حاصل می‌گردد [۴].

$$E_s = \frac{1}{2}(m_s + a_s)v_s^2 \quad (5)$$

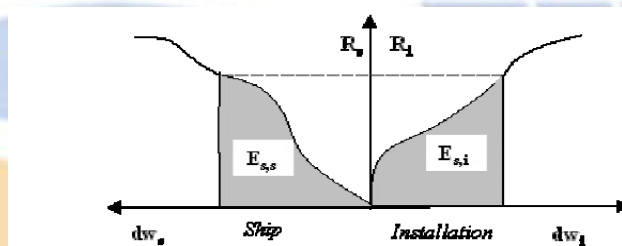
رابطه (۵) نشان می‌دهد که کل انرژی جنبشی شناور ضربه‌زنده به‌صورت انرژی کرنشی توسط شناور و سکو جذب می‌گردد. در این حالت، وقوع تغییرشکل‌هایی به اندازه چندین برابر ضخامت سازه مورد مطالعه، یکی از عوامل پیچیدگی مسئله است. بنابراین مناسب‌ترین شیوه جهت تحلیل مکانیک داخلی تصادم استفاده از شبیه‌سازی المان محدود غیرخطی پدیده است. نتیجه استفاده از این روش، کسب جزئیات بیشتری در خصوص پاسخ سازه مورد مطالعه است.

### پاسخ سکوی نیمه‌شناور به تصادم

انرژی برخورد به‌روشنای متعددی توسط سازه فولادی جذب می‌گردد. تغییرشکل موضعی در ناحیه برخورد، نمونه‌ای از این روش‌ها است. در اعضا با نسبت قطر به ضخامت زیاد مانند ستون سکوه‌های نیمه‌شناور، تغییرشکل موضعی دارای بیشترین احتمال وقوع است. شایان ذکر است که دو حالت اصلی تبدیل ویا ذخیره انرژی، ایجاد انرژی کرنشی الاستیک و پلاستیک است [۴].

### استهلاک انرژی

استهلاک انرژی کرنشی شامل تغییرشکل‌های پلاستیک بزرگ و آسیب سازه‌ای به سکو و شناور ضربه‌زنده است. استهلاک انرژی توسط منحنی نیرو-تغییرشکل برای سکو و شناور قابل محاسبه است. منحنی نیرو-تغییرشکل در محل ضربه به‌روشنای تئوری و آزمایشگاهی تعیین می‌گردد. برای یک تراز ضربه مشخص مانند شکل (۱)، کل انرژی جذب شده ( $E$ ) برابر مجموع سطح زیر منحنی نیرو-فرورفتگی است. ستون سکوی نیمه‌شناور، استوانه‌ای تقویت‌شده با قطر تقریبی ۵الی ۱۰ متر است. به‌دلیل کوتاه و قوی بودن این المان، سهم تغییرشکل‌های خمشی ناشی از اعمال ضربه جانبی بر روی آن ناچیز است. بنابراین پاسخ ستون سکوی نیمه‌شناور بر گسترش تغییرشکل‌های پلاستیک موضعی متمرکز می‌گردد. تغییرشکل‌های پلاستیک ناشی از کشیدگی غشائی صفحات پوسته‌ای و تقویت‌کننده‌های طولی و تغییرشکل شعاعی حلقه‌های تقویتی است. پی‌آمد این مسئله کرنش‌های پلاستیک قابل ملاحظه و گسیختگی مصالح است. بنابراین ظرفیت جذب انرژی کرنشی توسط ستون تقویت‌شده مورد اصابت، تابع ابعاد پوسته، فاصله و اندازه تقویت‌کننده‌ها و مقدار بارضربه است.



شکل ۱: نمونه منحنی نیروی ضربه-تغییرشکل برای تصادم شناور پشتیبانی با سکوی نیمه‌شناور.

### انتخاب ابزار مطالعه

ابزار مناسب جهت مطالعه المان محدود مسائلی که در محدوده تغییرشکل‌های بزرگ بوده و یا مسائل تماسی پیچیده مانند انفجار و تصادم، استفاده از نرم‌افزارهای مبتنی بر روش حل صریح است [۹]. تفاوت اصلی روش حل صریح نسبت به روش ضمنی استفاده از معادله تعادل ارائه شده در رابطه (۶) و جایگزین نمودن مقدار سرعت و جابجایی در این رابطه است. لذا محاسبه  $U$  نیازی به معکوس نمودن ماتریس سختی نداشته و در نتیجه همگرایی آسان و سرعت حل افزایش می‌یابد. بنابراین مزایای استفاده از این نرم‌افزار نسبت به نرم‌افزارهای مبتنی بر روش حل ضمنی، کاهش محاسبات، سهولت همگرایی نتایج تحلیل‌ها علی‌رغم انتخاب کوچک‌ترین گام زمانی، و افزایش دقت محاسبات است. برای اساس نرم‌افزار ANSYS محصول قدرتمندی به نام LS-DYNA تهیه و در اختیار کاربران قرار داده است. در تحقیق حاضر، برخورد تصادفی شناور پشتیبانی به یک پایه سکوی نیمه‌شناور ایران البرز در شرایط عملیاتی توسط نرم‌افزار مذکور مدلسازی و تحلیل شده است.

$$M \ddot{U} + C \dot{U} + KU = F \quad (6)$$

در این رابطه  $M$ ،  $C$  و  $K$  به ترتیب بیانگر ماتریس جرم، میرایی و سختی سازه است. همچنین  $\ddot{U}$ ،  $\dot{U}$  و  $U$  به ترتیب بیانگر بردار شتاب، سرعت و جابجایی است.

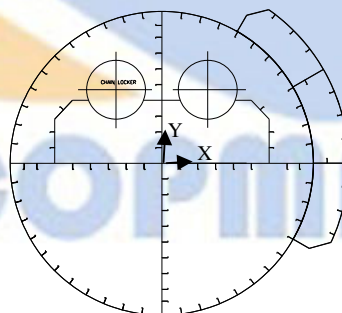
### معرفی سازه مورد مطالعه

سازه مورد مطالعه در این مقاله، یکی از ستون های سکوی نیمه شناور ایران البرز است. این سکو نمونه ای از یک سکوی حفاری نیمه شناور از نوع GVA4000 است که برای عملیات در دریای خزر ساخته شده است. سازه اصلی این سکو شامل دو پنتون جهت تامین شناوری، ۴ پایه استوانه ای جهت اتصال به پنتون ها، دو عضو مهارى افقى (در حد فاصل دو پایه) و عرشه عملیاتی است. این سکو دارای وزن تقریبی ۱۴۵۰۰ تن بوده و عمق آبخور آن در شرایط عملیاتی ۱۹/۵ متر است. پایه های این سکو شامل پوسته استوانه ای به قطر ۱۲/۹ متر و ضخامت متوسط جداره ۱۶ میلی متر است که به صورت متعامد توسط ترکیب تقویت کننده های طولی و حلقوی تقویت شده است. طول هر ستون از روی پنتون تا زیر عرشه ۲۲ متر است. شایان ذکر است که بر روی پایه های این سکو ضربه گیرهای فولادی نصب شده است. این ضربه گیرها از نظر نوع سازه و مصالح سازنده، مشابه پایه های سکو هستند. هر ضربه گیر قطاع ۹۰ درجه ای از یک پوسته استوانه ای به ضخامت متوسط ۱۲ میلی متر است که توسط تقویت کننده های طولی و حلقوی مشابه پایه سکو تقویت شده است. اندازه هر ضربه گیر ۹ متر است.

همزمان با پروژه ساخت این سکو، ساخت سه فرورد شناور پشتیبانی چند منظوره (AHT<sup>1</sup>) با کاربری های یدک کشی، انجام عملیات پیش لنگراندازی و ارائه خدمات به سکو آغاز و به اتمام رسیده است. هریک از این شناورها دارای طول تقریبی ۷۴/۴ متر و وزن تقریبی ۲۵۰۰ تن در آبخور ۶/۵ متر می باشند.

### مدلسازی به روش المان محدود

مدل المان محدود ساخته شده برای پایه این سکو شامل استوانه ای به شعاع ۶/۴۵ متر، ضخامت متوسط ۱۶ میلی متر و ارتفاع ۲۲ متر (از روی پنتون تا زیر عرشه) است. شایان ذکر است که در این مدل درجات آزادی انتقالی گره های دو انتهای ستون مقید شده است. مطابق شکل (۲) مقطع این پایه توسط دو تیغه متعامد با ضخامت متوسط ۱۲ میلی متر به ۴ قطاع مساوی تقسیم شده است. هر قطاع توسط ۱۲ تقویت کننده طولی (مقاطع  $HP200 \times 9mm^2$ ) به ۱۱ قسمت مساوی تقسیم شده است. همچنین هر تیغه در امتداد محورهای X و Y توسط تقویت کننده های طولی مشابه به ترتیب به ۱۰ و ۸ قسمت مساوی تقسیم شده است. فاصله نصب حلقه های تقویتی از انتهای ستون تا محل نصب ضربه گیر به ترتیب شامل ۱/۸ متر، دو حلقه با فاصله ۱/۹ متر و دو حلقه با فاصله ۱/۷ متر است. ارتفاع باقیمانده توسط ۴ حلقه با فاصله های مساوی ۱/۸ متر به ۵ ناحیه مساوی تقسیم شده است. مقاطع این تقویت کننده ها به طور مشابه با صفحاتی به ضخامت متوسط ۱۲ میلی متر و رعایت جزئیات هندسی آن مطابق نقشه های اجرایی، مدلسازی شده است. از سوی دیگر ضربه گیر نصب شده بر روی ستون نیز قطاع ۹۰ درجه پوسته استوانه ای تقویت شده ای به شعاع ۷/۹۵ متر و ضخامت متوسط ۱۲ میلی متر است. این قطاع توسط دو تیغه مشابه به ۳ قسمت مساوی تقسیم شده است. در هر قسمت ۳ تقویت کننده طولی با مقطعی مشابه تقویت کننده پایه، تعبیه شده است. تقویت کننده های حلقوی ضربه گیر مشابه پایه اصلی است.



شکل ۲: تصویر مقطع پایه سکوی مورد مطالعه به همراه ضربه گیر آن.

بر اساس توضیحات ارائه شده، مدل المان محدود پایه مورد مطالعه به همراه ضربه گیر آن در شکل (۳) نشان داده شده است. المان مورد استفاده در این مدل المان پوسته ای (Shell 163) از المانهای تعریف شده نرم افزار ANSYS LS-DYNA است. همچنین مصالح نوع ۲۴ نرم افزار مذکور با جزئیات ارائه شده در جدول (۱) جهت شبیه سازی مصالح این مدل، مورد استفاده قرار گرفته است.

<sup>1</sup> Anchor Handling Tug

جدول ۱: خصوصیات مصالح برای مصالح نوع ۲۴ جهت مدلسازی پایه و ضربه گیر آن.

نسبت پواسون	مدول مماسی (نیوتن/متر <sup>۲</sup> )	مدول یانگ (نیوتن/متر <sup>۲</sup> )	تنش تسلیم (نیوتن/متر <sup>۲</sup> )	چگالی (کیلوگرم/متر <sup>۳</sup> )	نوع مصالح
۰/۳	۳/۲۳×۱۰ <sup>۹</sup>	۲/۱×۱۰ <sup>۱۱</sup>	۳/۵۵×۱۰ <sup>۸</sup>	۷۸۵۰	۲۴

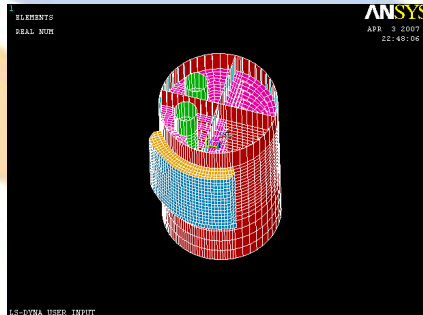
این مصالح قادر به مدلسازی رفتار الاستیک-پلاستیک وابسته به نرخ کرنش مصالح و مدلسازی گسیختگی کامل آن است. در این مدل کرنش گسیختگی مصالح ۰/۱ منظور شده است. همچنین نرخ کرنش مصالح با استفاده از فرمول نرخ کرنش Cowper and Symonds مطابق رابطه (۷) محاسبه شده است [۱۰].

$$\sigma_D = \sigma_y \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}_r}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \quad (7)$$

در رابطه فوق  $\sigma_D$ ،  $\sigma_y$  و  $\dot{\epsilon}_r$  به ترتیب بیانگر تنش تسلیم دینامیکی، استاتیکی و کرنش پلاستیک مصالح هستند. همچنین  $C$  و  $P$  دو ثابت مصالح رابطه مذکور بوده و در بیشتر موارد برای فولاد معمولی به ترتیب معادل  $4 \times 10^{-1}$  و ۵ در نظر گرفته می‌شوند [۱۱ و ۱۲]. جهت مدلسازی دقیق هندسه ناحیه برخورد دو سازه از قابلیت ایجاد تماس خودکار بین دو سطح توسط نرم‌افزار مذکور استفاده شده است. مدلسازی اصطکاک در نرم‌افزار LS-DYNA بر اساس فرمول اصطکاک کولمب مطابق رابطه (۸) محاسبه می‌گردد [۱۰].

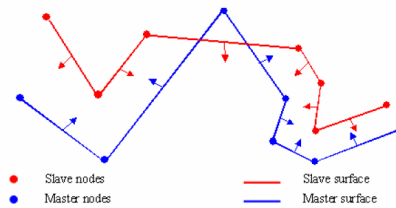
$$\mu_c = FD + (FS - FD)e^{-DC|v_{rel}|} \quad (8)$$

مطابق این رابطه  $\mu_c$  ضریب اصطکاک کولمب،  $FD$  و  $FS$  به ترتیب ضریب اصطکاک دینامیکی و استاتیکی برای دو فولاد معمولی تاثیرگذار بر روی یکدیگر،  $v_{rel}$  سرعت نسبی دو سطح تماس و  $DC$  ثابت نمایی زوال است. بنابر نتایج تحقیقات محققان مقادیر پارامترهای  $FD$ ،  $FS$  و  $DC$  در مقاله حاضر به ترتیب ۰/۷، ۰/۳ و ۰/۷ در نظر گرفته شده است [۱۱ و ۱۲].



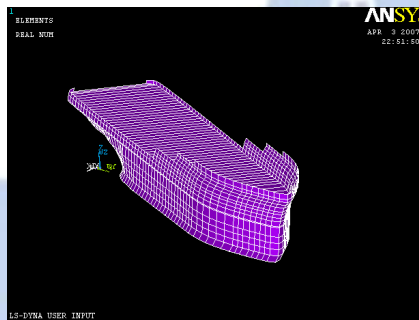
شکل ۳: مدل المان محدود پایه سکو در نرم‌افزار ANSYS LS-DYNA.

بنابراین تحقیقات محققین قبلی، مناسب‌ترین روش جهت مدلسازی هندسه واقعی آسیب (برای حالات تاشدگی، خردشدگی و پاره‌شدگی) استفاده از تماس سطح با سطح است. بنابراین در تحقیق حاضر جهت شبیه‌سازی تماس بین دو سازه در حین تصادم از قابلیت تشخیص تماس خودکار سطح با سطح نرم‌افزار المان محدود LS-DYNA استفاده شده است. همچنین الگوریتم ارائه شده در شکل (۴) جهت تعریف این نوع تماس به کار گرفته شده است. گره‌ها و خطوط ارائه شده در تصویر با رنگ قرمز و آبی به ترتیب بیانگر گره‌ها و سطوح Slave و Master هستند. به عنوان مثال، نقاط Slave و Master به ترتیب همان گره‌های مش‌بندی شده بر روی ستون سکو و بدنه کشتی هستند. در این نوع تماس تغییر شکل هر دو سطح مجاز بوده درحالی‌که از وارد شدن نقاط Slave به درون سطوح Master ممانعت به عمل می‌آید [۱۱].



شکل ۴: الگوریتم تماس مورد استفاده جهت مدلسازی تماس دوجسم در نرم افزار LS-DYNA.

مدل المان محدود شناور ضربه‌زننده، بر اساس جزئیات دقیق هندسی و مشخصات شناور پشتیبانی سکوی مورد مطالعه، به‌طور مستقیم در نرم‌افزار LS-DYNA مدل‌سازی شده است. المان مورد استفاده در این مدل، المان پوسته (Shell 163) است. جهت مدل‌سازی رفتار صلب برای مصالح در این مدل، از مصالح نوع ۲۰ نرم‌افزار مذکور استفاده شده است. خصوصیات اختصاص داده شده به این مصالح شامل چگالی و تنش تسلیم است. این مشخصات، مشابه مقادیر ارائه شده در جدول (۱) انتخاب شده است. جرم شناور (شامل مجموع جرم شناور به علاوه جرم افزوده) بر روی بدنه خارجی آن توزیع شده است. تاثیر درجات آزادی Heave, Roll و Pitch شناور ضربه‌زننده در حین حادثه تصادم ناچیز است. بنابراین حرکات انتقالی شناور در راستای Z و دوران آن حول محورهای X و Y مقید شده است [۱۱ و ۱۲]. بر اساس توضیحات ارائه شده، مدل المان محدود شناور ضربه‌زننده در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: مدل المان محدود شناور پشتیبانی در نرم‌افزار LS-DYNA.

تحلیل می‌تواند با تعیین زمان توقف (ENDTIME) و یا بازه توقف (ENDCYCLE) متوقف گردد [۱۱]. در تحقیق حاضر روش تعیین زمان توقف (ENDTIME) مورد استفاده قرار گرفته است. حداقل مقدار این پارامتر می‌بایست به گونه‌ای تعیین گردد که حادثه تصادم به‌طور کامل رخ دهد. بنابراین با توجه به اینکه در ضوابط طراحی پایه سکو حداکثر عمق فرورفتگی (ناشی از حادثه تصادم) ۳ متر برآورد شده، رابطه (۹) برای تعیین زمان توقف تحلیل به‌کار گرفته شده است.

$$ENDTIME = \frac{DBI + 3}{V_B} \quad (9)$$

در رابطه فوق  $DBI$  معرف فاصله بین نزدیک‌ترین نقطه روی بدنه کشتی و نقطه‌ای در موقعیت ضربه بر روی ستون در زمان صفر است. همچنین  $V_B$  سرعت کشتی در درجه آزادی Surge برحسب متر بر ثانیه و در زمان صفر است.

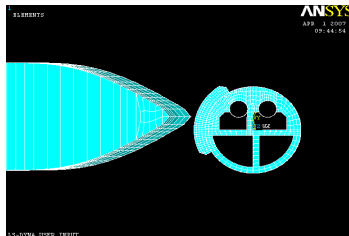
### تحلیل دینامیکی غیرخطی مدل المان محدود

جهت ارزیابی پاسخ پایه مورد مطالعه به ضربه تصادفی شناور پشتیبانی، برخورد سینه، پهلو و پاشنه شناور در موقعیت‌های مختلف پایه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به ابعاد، هندسه و عمق آبخور دو سازه، ناحیه برخورد همواره بر روی ضربه‌گیر ستون قرار دارد. همچنین با توجه به مقطع ستون در شکل (۲)، بحرانی‌ترین ناحیه اعمال ضربه، قطاع میانی ضربه‌گیر است. بنابراین نتایج مربوط به تحلیل بحرانی‌ترین حالت تصادم سینه، پهلو و گوشه پاشنه شناور پشتیبانی با پایه سکو به شرح زیر است.



### نتایج تحلیل حالت تصادم سینه شناور

سناریوی انتخاب شده در این حالت برخورد مستقیم سینه شناور با پایه سکو است. موقعیت دو سازه نسبت به یکدیگر در اینحالت در شکل (۶) ارائه شده است.



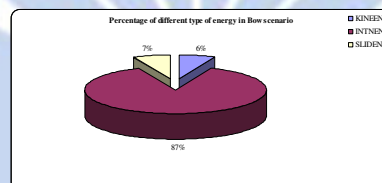
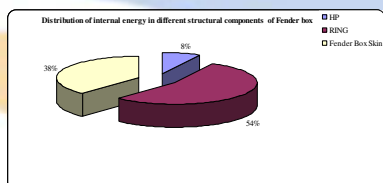
شکل ۶: موقعیت شناور پشتیبانی و پایه سکو در تحلیل حالت تصادم سینه شناور.

منشاء انرژی این حادثه تصادم با فرض شرایط سکون برای جسم مورد اصابت پیش از وقوع حادثه، انرژی جنبشی شناور پشتیبانی است. پس از وقوع حادثه، بخشی از این انرژی به صورت انرژی داخلی توسط ستون و ضربه گیر آن جذب می شود. همچنین بخشی از این انرژی به علت مدلسازی تماس مابین دو جسم به انرژی لغزشی تبدیل می شود. کل انرژی این حالت تصادم با توجه به انتخاب روش انتگرال گیری کامل برای حل المان پوسته با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می گردد [۹]. سهم هریک از انرژی های مذکور برای حالت تصادم سینه شناور محاسبه و در شکل (۷) ارائه شده است.

$$E_{total} = E_{kinetic} + E_{internal} + E_{slid} \quad (10)$$

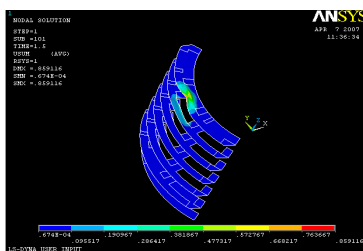
پارامترهای  $E_{kinetic}$ ،  $E_{internal}$  و  $E_{slid}$  در رابطه فوق به ترتیب بیانگر انرژی جنبشی جسم ضربه زننده، انرژی داخلی جسم مورد اصابت و انرژی لغزشی حاصل از مدلسازی تماس بین دو سازه است.

بررسی نتایج حاصل از این حالت تصادم نشان می دهد که حدود ۹۸٪ انرژی داخلی توسط ضربه گیر پایه سکو جذب شده است. المان های سازنده این ضربه گیر متشکل از تقویت کننده های طولی، حلقوی و بدنه آن است. توزیع جذب این انرژی در قسمت های مختلف ضربه گیر محاسبه و در شکل (۸) ارائه شده است. مطابق این شکل، سهم قابل توجه تقویت کننده های حلقوی در جذب انرژی داخلی در مقایسه با تقویت کننده های طولی مشهود است.

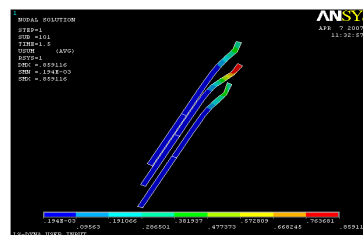


شکل ۷: سهم هریک از انواع انرژی (تصادم سینه شناور). شکل ۸: توزیع انرژی داخلی جذب شده توسط قسمت های مختلف ضربه گیر.

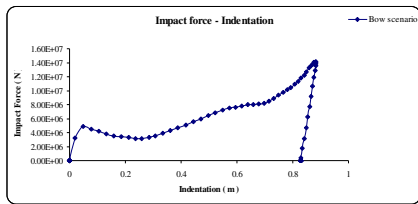
بررسی منحنی تنش- کرنش مصالح در ناحیه آسیب دیده نشان می دهد که رفتار المان ها در این ناحیه وارد مرحله غیرخطی شده است. تغییر شکل های موضعی پلاستیک ایجاد شده در قسمت های مختلف ضربه گیر در شکل های (۹) الی (۱۱) نشان داده شده است. همچنین منحنی نیروی ضربه- حداکثر فرورفتگی بر روی بدنه ضربه گیر در شکل (۱۲) ارائه شده است. مطابق این شکل حداکثر فرورفتگی ایجاد شده بر روی بدنه ضربه گیر حدود ۰/۸۳ متر ارزیابی شده است.



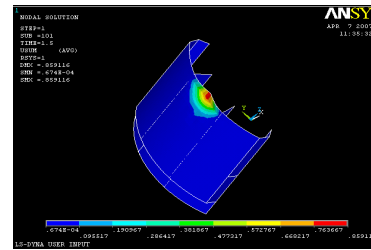
شکل ۱۰: تغییر شکل موضعی تقویت کننده های حلقوی ضربه گیر.



شکل ۹: تغییر شکل موضعی تقویت کننده های طولی ضربه گیر.



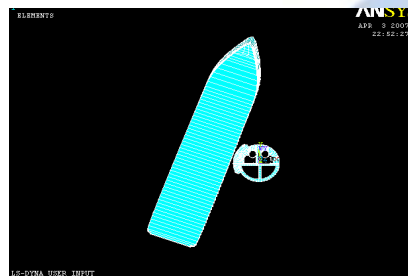
شکل ۱۲: منحنی نیروی ضربه-حداکثر فرورفتگی بدنه ضربه گیر.



شکل ۱۱: تغییر شکل موضعی بدنه ضربه گیر.

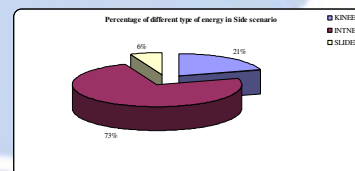
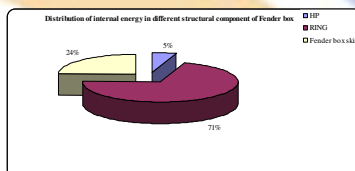
### نتایج تحلیل حالت تصادم سینه شناور

سناریوی انتخاب شده در این حالت برخورد پهلوی شناور پشتیبانی با پایه سکو است. موقعیت دو سازه نسبت به یکدیگر در این حالت تصادم در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



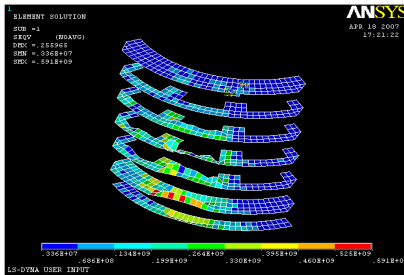
شکل ۱۳: موقعیت شناور پشتیبانی و پایه سکو در تحلیل حالت تصادم سینه شناور.

مشابه حالت تصادم سینه شناور، در این حالت نیز منشاء انرژی حادثه مورد مطالعه، انرژی جنبشی شناور پشتیبانی است. سهم انواع انرژی در این حالت در شکل (۱۴) ارائه شده است. بررسی نتایج حاصل از این حالت تصادم نشان می‌دهد که بیش از ۹۰٪ انرژی داخلی توسط ضربه گیر پایه سکو جذب شده است. همچنین توزیع جذب این انرژی توسط قسمت‌های مختلف ضربه گیر محاسبه و در شکل (۱۵) ارائه شده است. مطابق این شکل سهم قابل ملاحظه تقویت کننده‌های حلقوی در جذب انرژی داخلی در مقایسه با تقویت کننده‌های طولی به وضوح قابل مشاهده است.

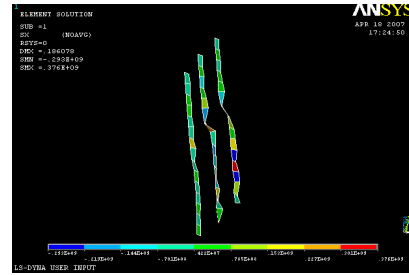


شکل ۱۴: سهم هریک از انواع انرژی (تصادم پهلوی شناور). شکل ۱۵: توزیع انرژی داخلی جذب شده توسط قسمت‌های مختلف ضربه گیر.

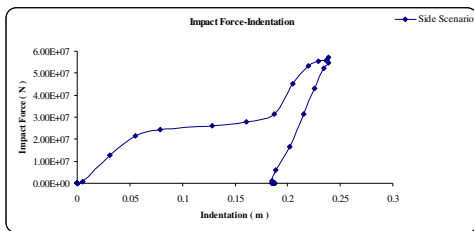
بررسی منحنی تنش-کرنش مصالح در ناحیه آسیب دیده نشان می‌دهد که رفتار المان‌ها در این ناحیه وارد مرحله غیرخطی شده است. تغییر شکل‌های موضعی پلاستیک ایجاد شده در قسمت‌های مختلف ضربه گیر در شکل‌های (۱۶) تا (۱۸) نشان داده شده است. همچنین منحنی نیروی ضربه-حداکثر فرورفتگی بر روی بدنه ضربه گیر در شکل (۱۹) ارائه شده است. مطابق این شکل حداکثر فرورفتگی ایجاد شده بر روی بدنه ضربه گیر حدود ۰/۲۴ متر برآورد شده است.



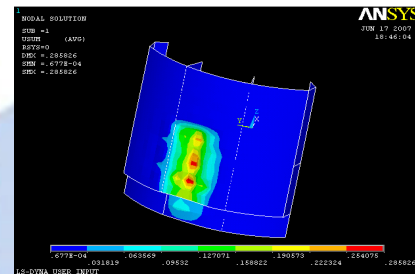
شکل ۱۷: تغییر شکل موضعی تقویت کننده‌های حلقوی ضربه گیر.



شکل ۱۶: تغییر شکل موضعی تقویت کننده‌های طولی ضربه گیر.



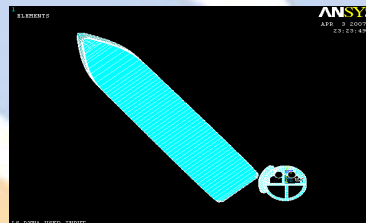
شکل ۱۹: منحنی نیروی ضربه-حداکثر فرورفتگی بدنه ضربه گیر.



شکل ۱۸: تغییر شکل موضعی بدنه ضربه گیر.

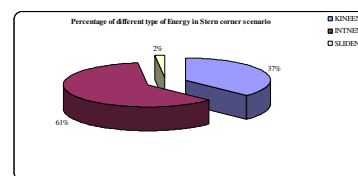
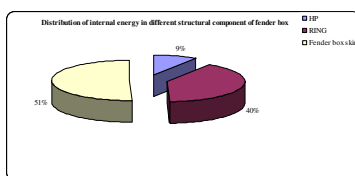
### نتایج تحلیل حالت تصادم گوشه پاشنه شناور

با توجه به اینکه احتمال برخورد مستقیم پاشنه شناور پشتیبانی با پایه سکو بسیار ضعیف است لذا سناریوی انتخاب شده در این حالت برخورد گوشه پاشنه شناور پشتیبانی با پایه سکو است. موقعیت دو سازه نسبت به یکدیگر در این حالت تصادم، در شکل (۲۰) نشان داده شده است.



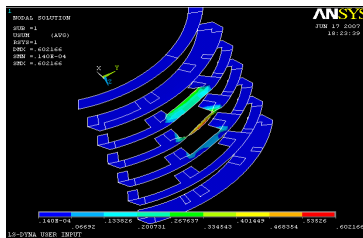
شکل ۲۰: موقعیت شناور پشتیبانی و پایه سکو در تحلیل حالت تصادم گوشه پاشنه شناور.

این حالت تصادم نیز مشابه دو حالت قبلی تحلیل شده است. سهم انواع انرژی در این حالت در شکل (۲۱) ارائه شده است. بررسی نتایج حاصل از این حالت تصادم نشان می‌دهد که حدود ۹۸٪ انرژی داخلی توسط ضربه گیر پایه سکو جذب شده است. همچنین توزیع جذب این انرژی توسط قسمت‌های مختلف ضربه گیر محاسبه و در شکل (۲۲) ارائه شده است. مطابق این شکل در این حالت نیز سهم تقویت کننده‌های حلقوی در جذب انرژی داخلی در مقایسه با تقویت کننده‌های طولی قابل ملاحظه است.

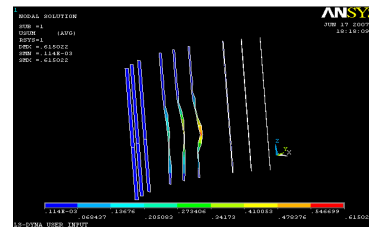


شکل ۲۱: سهم هریک از انواع انرژی (تصادم گوشه پاشنه شناور). شکل ۲۲: توزیع انرژی داخلی جذب شده توسط قسمت‌های مختلف ضربه گیر.

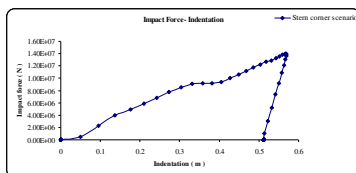
بررسی منحنی تنش- کرنش مصالح در ناحیه آسیب دیده نشان می دهد که رفتار المان ها در این ناحیه وارد مرحله غیرخطی شده است. تغییر شکل های موضعی پلاستیک ایجاد شده در قسمت های مختلف ضربه گیر در شکل های (۲۳) الی (۲۵) نشان داده شده است. همچنین منحنی نیروی ضربه- حداکثر فرورفتگی بر روی بدنه ضربه گیر در شکل (۲۶) ارائه شده است. مطابق این شکل حداکثر فرورفتگی ایجاد شده بر روی بدنه ضربه گیر حدود ۰/۵۶ متر ارزیابی شده است.



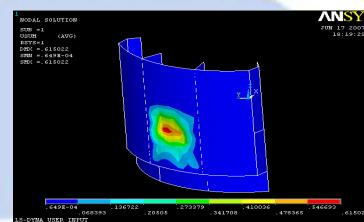
شکل ۲۴: تغییر شکل موضعی تقویت کننده های حلقوی ضربه گیر.



شکل ۲۳: تغییر شکل موضعی تقویت کننده های طولی ضربه گیر.



شکل ۲۶: منحنی نیروی ضربه- حداکثر فرورفتگی بدنه ضربه گیر.



شکل ۲۵: تغییر شکل موضعی بدنه ضربه گیر.

### نتیجه گیری

در این تحقیق حادثه تصادم شناور پشتیبانی با پایه سکوی نیمه شناور ایران البرز مدلسازی و تحلیل شده است. ابزار مطالعاتی انتخاب شده جهت مدلسازی و تحلیل دینامیکی غیرخطی این حادثه، محصول قدرتمند نرم افزار المان محدود ANSYS به نام LS-DYNA است. مدل المان محدود ساخته شده تحت سه حالت تصادم سینه، پهلو و گوشه پاشنه شناور تحلیل شده است. در هر سه حالت تحلیل شده منشاء انرژی حادثه تصادم انرژی جنبشی شناور پشتیبانی است. مقایسه این نتایج بیانگر جذب بخش قابل ملاحظه انرژی حادثه تصادم توسط ضربه گیر ستون است. به طوریکه در بحرانی ترین حالت بیش از ۹۰٪ این انرژی به صورت انرژی داخلی توسط ضربه گیر ستون جذب شده است. مقایسه سهم جذب این انرژی توسط تقویت کننده های حلقوی و طولی ضربه گیر در سه حالت تحلیل شده نشان می دهد که حداکثر سهم جذب انرژی توسط تقویت کننده های حلقوی و طولی به ترتیب بیش از ۷۰٪ و کمتر از ۱۰٪ است. بنابراین نقش تقویت کننده های حلقوی در جذب انرژی حادثه تصادم قابل ملاحظه است. بنابراین مدلسازی دقیق ابعاد و هندسه آن ها جهت مطالعه حادثه تصادم دارای اهمیت بسزایی است. بررسی نتایج حاصل نشان می دهد که مکانیزم غالب جذب انرژی در سه حالت تحلیل شده، ایجاد فرورفتگی و تغییر شکل در بدنه و تقویت کننده های ضربه گیر است. همچنین مکانیزم غالب استهلاک انرژی تغییر شکل های پلاستیک موضعی قسمت های مختلف ناحیه آسیب دیده است. با توجه به شکل هندسی بدنه شناور، حداکثر مقدار فرورفتگی ایجاد شده در ناحیه آسیب دیده مربوط به حالت تصادم سینه شناور و حداقل آن مربوط به تصادم پهلو شناور و به ترتیب حدود ۰/۸۳ و ۰/۲۴ متر برآورد شده است. شایان ذکر است که انرژی حادثه تصادم و وسعت ناحیه آسیب دیده در حالت تصادم پهلو شناور بیش از دو حالت دیگر است. بنابراین مدلسازی هندسه دقیق دو جسم در حادثه تصادم جهت ارزیابی پاسخ سازه ها دارای تاثیر بسزایی در کسب نتایج صحیح و نزدیک به واقعیت است.

### مراجع

1- Serco Assurance (2003). "Ship/Platform Collision Incident Database (2001)," Health and Safety Executive, RESEARCH REPORT 053.

- 2- Zayas,V.A, Dao, B.V, and Hammett, D.S.(1985). "Experimental & Analytical Compression of Semi-submersible Offshore Rig Damage Resulting from a Ship Collision," Offshore Technology Conference, OTC 4888, pp. 413-422.
- 3- Dowling P.J, Ronalds B.F, Onourfriou A., and Harding JE (1987). "Resistance of Buoyancy Columns to Vessel Impact," Proceeding of the Third International Symposium PARDS: Practical Design of Ship and Mobile Unit Vol 1-2,pp 1034-42.
- 4- K W Consultants Ltd (2002). "Resistance of Semi-submersibles to Collision," Health and Safety Executive, Offshore Technology Report 2002/007.
- 5- DET NORSKE VARITAS (2001). "RECOMMENDED PRACTICE DNV-OS-C103, Column Stabilized Unit "
- 6- Konstantin Roumeliotis, "STRUCTURAL DESIGN BRIFE" National Iranian oil Company, Document of GVA4000 Semi-submersible unit for KHAZAR Project,2002.
- 7-Ge Wang, Dajiu Jiang, Yung Shin, American Bureau of shipping,"Consideration of Collision and Contact Damage Risks in FPSO Structural Design", OTC 15316, Texas U.S.A. May 2003.
- 8-Kenny J.P., (1988). "Protection of Offshore Installation Against Impact," Department of Energy (Den), Offshore Technology Report, OT1 88 535.
- 9- ANSYS User's Manual Rel 10,2005.
- 10- Hallquist J.O. (2006). "LS-DYNA THEORY MANUAL".
- 11- Sajdak J.A.W. (2004). "Analyses of Ship Collisions: Determination of Longitudinal Damage and Penetration," Doctorate of Philosophy in Naval Architecture and Ocean Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, USA.
- 12- SSC-1400 Draft Report (2002). "Modeling Structural Damage in Ship Collisions," Ship Structure Committee.



ICOPMAS

**Finite Element Modeling of Ship Collision to the Column of Iran Alborz  
(Semi-Submersible Platform)**

*S. Nouri*

*A. M. Gharabaghi*

*S. Mazaheri*

**Abstract**

In this paper, the collision between a supply vessel and the column of a semi-submersible platform (Iran-Alborz) is simulated with ANSYS LS-DYNA finite element software, concerning the real geometry of ship hull and structural geometry of column of platform (Iran-Alborz). This software is used to Modeling and analyzing the non-linear dynamic response of structures involved in collision event. Due to the importance of damage to the platform, the ship hull is assumed rigid. Most probable impact locations and impact geometries are studied based on the dimensions and geometry of the platform and vessel, operational sea-states and relative motions of the vessel and platform. Then, various impact scenarios are considered. The worst impact scenarios are modeled and analyzed. At the end, based on the results, the mechanics of energy absorption and the extent of damage is presented and discussed.

**Keywords:** *Semi-submersible; Ship; Collision; LS-DYNA.*