مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند نوین»
سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶؛ ص ۱۸۰-۱۷۱

تحلیل تأثیر فرم ساختمان محفظه ایمنی راکتور در مقابل برخورد هواپیما

سید رحمان اقبالی[۱*]، مهسا ابراهیمی[۲]، فرزانه اسدی ملک‌جهان[۳]، محمدرضا کوچکی محمدپور[۴]
۱- استادیار، ۲ و ۴- دکتری معماری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)،
۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت
(دریافت: ۹۴/۰۲/۲۲، پذیرش: ۹۵/۰۸/۰۷)

چکیده

ایمنی و امنیت ساختمان محفظه ایمنی راکتور و مقاومت آن‌ها در برابر نیروهای خارجی دارای اهمیت ویژه‌ای است. توجه به این مسئله پس از حادثه برخورد هواپیما به برج‌های دوقلو در تاریخ ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ بیشتر شده است. یکی از عوامل مؤثر در میزان آسیب‌پذیری یک ساختمان در مقابل نیروهای خارجی، فرم هندسی آن می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق انتخاب فرم هندسی بهینه ساختمان محفظه ایمنی راکتور به منظور کاهش آسیب‌پذیری آن در مقابل برخورد هواپیما است. دو فرم هندسی مختلف، یکی به صورت مکعبی با سقف صاف و دیگری با بدنه استوانه‌ای و سقف گنبدی به صورت عددی مدل‌سازی شدند. مدل‌سازی و حل عددی با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS 6.12-1 انجام شد. از آنجا که نقطه تمرکز این مقاله مطالعه تأثیر فرم ساختمان است، به منظور کاهش زمان حل و ساده‌سازی فیزیکی، بتن به صورت جسمی همگن و بدون میلگردهای مسلح کننده انتخاب گردید. برخورد هواپیمای فانتوم F4 به بدنه ساختمان محفظه ایمنی و سقف آن در زوایای مختلف شبیه‌سازی و پاسخ‌ها در کل سازه و نیز در محل برخورد با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که فرم استوانه‌ای نسبت به فرم مکعبی، آسیب‌پذیری کمتری در برخورد یک جسم از خود نشان می‌دهد به جز در نقطه اتصال گنبد به بدنه.

کلیدواژه‌ها: ساختمان محفظه ایمنی، برخورد هواپیما، فرم استوانه‌ای، فرم مکعبی، فانتوم F4، آباکوس

Analysis of Reactor's Containment Building Form Effect Against an Aircraft Crash

S. R. Eghbali[*], M. Ebrahimi, F. Asadi Malekjahan, M. Koochaki Mohamadpour
Imam Khomeini International University
(Received: 12/05/2015; Accepted: 28/10/2016)

Abstract

Safety and secutity of reactor containment building and its resistance against external forces is particularly important. Paying attention to this subject has been increased due to the incident plane hit the twin towers on September 11, 2001. One of the factors in the vulnerability of a building against the external collision is its geometry. The purpose of this study is to select the optimal geometry of a concrete containment building with the lowest vulnerability against an aircraft crash. Thus, two different geometric forms, one with cubic body and a flat roof and the other with a cylindrical body and domed roof were modeled numerically. Numerical modeling was performed using ABAQUS 6.12-1 software. Considering the impact of building form and in order to reduce the solution time and considering physical symplicity, homogeneous concrete without reinforced bars were chosen. Strike of Phantom F4 to the roof and body of the containment building was simulated at various angles and responses were compared in the whole structure and in the contact location. Results of this study indicate that the cylindrical form is less vurnable in comparison with cubic form exept in the intersection of wall and dome.

Keywords: Containment Building, Aircraft Crash, Cylindrical Form, Cubic Form, Phantom F4, ABAQUS

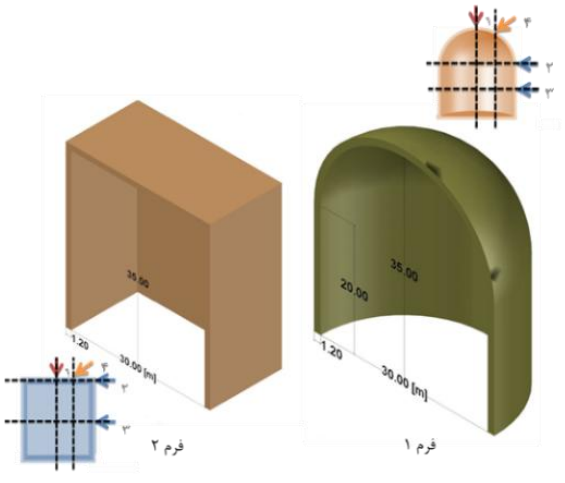
[*]Corresponding Author E-mail: s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017
Arhive of SID
www.SID.ir

Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

۱. مقدمه

ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان محفظه ایمنی راکتورها (نیروگاه‌های هسته‌ای نوع شکافت یا گداخت) در برابر تمام خطرات احتمالی داخلی و خارجی ضروری است. یکی از عملکردهای پوسته خارجی محفظه ایمنی راکتور، محافظت از راکتور در مقابل آسیب‌ها و ضربات خارجی می‌باشد. بنابراین بررسی میزان ایمنی و مقاومت محفظه ایمنی راکتور نقش کلیدی در برآورد ایمنی کلی راکتور دارد. برخورد یک هواپیما به محفظه ایمنی تأسیسات هسته‌ای از حوادث فرای مبنای طراحی[1] است، از این رو، عواقب ناشی از این حوادث باید در محاسبات ایمنی راکتور مورد توجه قرار گیرد [۱ و ۲]. حوادث تروریستی و یا خطاهای انسانی می‌تواند مقدار قابل توجهی انرژی به راکتور وارد نماید و پیامدهای ناشی از انفجار و برخورد هواپیما از نگرانی‌های عمده در زمینه حوادث خارجی تأسیسات هسته‌ای می‌باشند. ساختمان راکتور باید در برابر نیروهای خارجی دارای مقاومت کافی باشد [۳] و طراحی معماری باید به گونه‌ای باشد که این ویژگی مجموعه را افزایش دهد. دو عامل مهم در رسیدن به معماری صحیح و کارا، چیدمان مناسب سایت و انتخاب فرم هندسی بهینه می‌باشد. هدف این مطالعه تجزیه و تحلیل رفتار محفظه ایمنی بتنی[2] یک راکتور بدون در نظر گرفتن نوع راکتور اعم از راکتور تحقیقاتی، قدرت و توکامک، در برابر حادثه خارجی برخورد هواپیما است تا بتوان فرم هندسی بهینه‌ای برای مقاومت بیشتر در مقابل این برخورد را انتخاب نمود. برای بررسی دقیق و تحلیل عملکرد سازه در قسمت‌های مختلف، چهار نقطه متفاوت به عنوان محل برخورد هواپیما در نظر گرفته شده است (شکل (۱)). این چهار برخورد عبارت‌اند از: برخورد ۴۵ درجه به گنبد یا سقف، برخورد افقی به نقطه میانی بدنه، برخورد به محل اتصال دیوار و سقف و برخورد عمودی به سقف یا گنبد.



شکل ۱. محل برخورد هواپیما به محفظه ایمنی و ابعاد محفظه‌های ایمنی انتخابی

برخورد هواپیما ممکن است انواع مختلفی از آسیب‌ها مانند سوراخ شدن، فروپاشی (متلاشی شدن) و ترک‌خوردگی را سبب شود [۴]. از نقطه نظر تحلیلی یک مطالعه گذشته [۵] می‌توان نتیجه گرفت که تجزیه و تحلیل المان محدود غیر خطی[3] تنها روش مطمئن برای پیش‌بینی پاسخ غیر خطی فرم هندسه‌ای پیچیده‌ای همچون محفظه ایمنی بتنی به نیروهای وارده است. بنابراین برای تحلیل تحقیق حاضر از نرم‌افزار ABAQUS 6.12-1 استفاده شده است. در مقاله حاضر به منظور آسان‌سازی تحلیل و به دلیل این‌که تنها تحلیل فرم هندسی مهم بوده است، بتن به صورت غیر مسلح در نظر گرفته شد. هندسه ساختار محفظه ایمنی مطالعه پیش رو به صورت تقارن محوری[4] تعیین گردید [۶]. در این تحقیق مشخص شد که فرم یک در مقایسه با فرم دو، در مقابل برخورد از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار است.

۱-۲. ساختمان محفظه ایمنی و برخورد هواپیما به آن

در همه انواع راکتورها اعم از تحقیقاتی، قدرت و توکامک، محفظه ایمنی ساختمانی است که مخزن راکتور را در خود جای داده و دربرگیرنده تعدادی موانع فیزیکی است که بر اساس ضوابط ایمنی، کدها، مقررات و استانداردهای ساختمانی طراحی شده است که از انتشار کنترل نشده مواد رادیواکتیو به محیط جلوگیری کرده و از مخزن راکتور در مقابل حوادث خارجی همچون برخورد هواپیما محافظت می‌نماید [۵، ۷ و ۸]. بنابراین، عملکرد اصلی محفظه ایمنی بتنی برای جلوگیری از انتشار غیر قابل قبول رادیواکتیویته به محیط‌زیست در طول بهره‌برداری و در زمان یک حادثه پیش‌بینی شده است. محفظه ایمنی راکتور باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شود که تحمل بارهای مرده و زنده، بارهای لرزه‌ای، بارهای موشکی و ضربه، برخورد هواپیما، و بارهای حرارتی و انقباضی را داشته باشد [۹] هر چند در مطالعات قبلی [۱۰] ذکر شده است، که بدترین سناریو در مورد سقوط هواپیما بر یک راکتور مشابه یک فرآیند پزشکی مانند اسکن استخوان و یا اسکن قلب می‌باشد، اما همان‌طور که در استانداردهای ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی به عنوان یک آیتم در ملاحظات ایمنی آمده است [۲]، طراحی این تجهیزات باید با احتساب برخورد وسایل نقلیه هوایی که دارای مجوز پرواز در بالا یا نزدیکی تجهیز هستند، مانند جنگنده‌ها و بالگردها انجام گیرد. بدین منظور در تحقیق حاضر جنگنده فانتوم F4 به عنوان وسیله هوایی برخورد کننده به محفظه ایمنی در نظر گرفته شده است که در سطح جهانی دارای درصد فراوانی بالایی است. یکی از محفظه‌های ایمنی نوعی این تحقیق متشکل از یک دیواره استوانه‌ای، یک سقف گنبدی و دیگری دارای بدنه و سقف مسطح با فرم کلی

[1] Beyond Design Basis Accident (Bdba)
[2] Concrete Containment
[3] Nonlinear Finite Element Analysis
[4] Axisymmetric

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

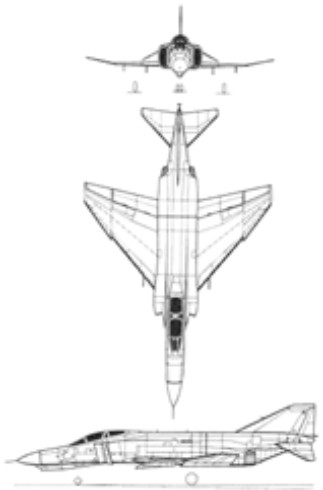
مکعبی می‌باشد. ابعاد مرتبط با این دو فرم هندسی در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.

اولین گام در این مطالعه بررسی هندسه و ایجاد شبکه‌های المان محدود[1] محفظه ایمنی بتنی است. پس از آن، خواص مواد بتن، برای شبیه‌سازی رفتار غیر خطی بتن [۶ و ۱۱] مدل شده و درنهایت، تجزیه و تحلیل محفظه ایمنی در اثر برخورد هواپیما صورت گرفته است تا بتوان فرم هندسی بهینه جهت مقاومت در برابر برخورد هواپیما را تعیین نمود.

تغییر شکل محفظه ایمنی در اثر برخورد هواپیما به سرعت هواپیما، ظرفیت بارگیری، شکل‌پذیری نسبی هدف و هواپیما، زاویه و محل برخورد و غیره بستگی دارد. هنگامی که وسیله نقلیه هوایی به محفظه ایمنی برخورد می‌کند، در ابتدا انرژی جنبشی هواپیما به قسمت برخورد با محفظه ایمنی هدایت می‌شود و توسط آن بخش جذب می‌شود و باعث تغییر شکل پلاستیک و آسیب هواپیما می‌شود. سپس انرژی جذب شده به دال پایه هدایت می‌شود [۱۲]. دو پارامتر مهمی که می‌بایست برای ارزیابی سازوکار آسیب در نظر گرفته شود عبارت‌اند از: سرعت هواپیما و زاویه ضربه [۱۳].

با توجه به محل‌های مختلف برخورد هواپیما به ساختمان محفظه ایمنی، ایده‌های گوناگونی در مورد نقاط ضعف این سازه وجود دارد. برای ساختمان محفظه ایمنی استوانه‌ای با یک گنبد نیم کروی، در تحقیقی [۱۴] ذکر شده است که بحرانی‌ترین بخش در برخورد افقی هواپیما، در نزدیکی تقاطع دیواره استوانه‌ای و گنبد است. اقبال و همکاران [۱۵] نشان داده‌اند که برخورد افقی هواپیما در نقطه میانی دیواره استوانه‌ای بیشترین آسیب را ایجاد نموده و تقاطع دیوار استوانه‌ای و گنبد به دلیل تراکم بیشتر مواد آسیب کمتری می‌بینند. در بسیاری از مطالعاتی که برخورد هواپیما به محفظه ایمنی در آن‌ها بررسی شده است، تعداد موتور و همچنین منحنی زمان را در نظر گرفته‌اند [۱۵ و ۱۶]. از آنجایی که در مطالعه حاضر تنها مقایسه میزان آسیب‌پذیری دو فرم هندسی مختلف مطرح بوده است و در نظر گرفتن چنین مشخصاتی تأثیری در روند انجام مطالعه و نتیجه‌گیری نهایی ندارد، بنابراین اینگونه مشخصات هواپیما لحاظ نشده است.

همان‌طور که در مدارک آژانس بین‌المللی انرژی اتمی ذکر شده است [۲] طراحی راکتورها باید با در نظر گرفتن میزان مقاومت در برابر برخورد هواپیما انجام شود. اغلب مطالعاتی که تاکنون انجام گرفته، در تحلیل برخورد هواپیما به محفظه ایمنی راکتورهای قدرت بوده است که تنها با در نظر گرفتن یک فرم هندسی با بدنه استوانه‌ای و سقف گنبدی انجام گرفته است. با توجه به اینکه هدف در این پژوهش بررسی ساختمان محفظه ایمنی یک راکتور بدون در نظر گرفتن نوع آن است، بنابراین، به دلیل استفاده از فرم مکعبی ساختمان محفظه ایمنی در تعدادی از راکتورها با میزان ایمنی بالا همچون راکتور اپال[2] در استرالیا و راکتور هانارو[3] در کره جنوبی و نیز کاربرد بالای فرم هندسی استوانه‌ای با سقف گنبدی در محفظه ایمنی سایر راکتورها، لازم است که مقاومت این دو فرم هندسی مختلف در برابر انواع برخوردها با هم مقایسه شود. این تحقیق به دنبال مقایسه رفتار سازه‌ای محفظه ایمنی بتنی راکتور با توجه به فرم هندسی در برابر برخورد هواپیما می‌باشد. هواپیمای مدل شده در تحقیق حاضر، هواپیمای فانتوم F4 است (شکل ۲)، که در حال حاضر بیشترین ساعات پروازی را در مقایسه با سایر هواپیماهای جنگنده دارد. مشخصات این هواپیما در جدول (۱) آورده شده است



شکل ۲. فانتوم اف۴ [۱۷]

جدول ۱. مشخصات فانتوم اف۴ [۱۷]

طول بال‌های هواپیما	۱۱/۷۷ متر
طول	۱۹/۲ متر
ارتفاع	۵/۰۲ متر
وزن	۱۳۷۵۷ کیلوگرم
وزن عادی برخاست	۱۸۸۱۸ کیلوگرم
حداکثر وزن برخاست	۲۸۰۳۰ کیلوگرم
حداکثر سرعت در سطح ۱۰۹۷۵ متر	۲۳۰۰ کیلومتر / ساعت
حداکثر سرعت در سطح دریا	۱۴۵۰ کیلومتر / ساعت
حداکثر ارتفاع پرواز	۱۷۹۰۵ متر

[1] Finite Element Meshes

[2] Opal

[3] Hanaro

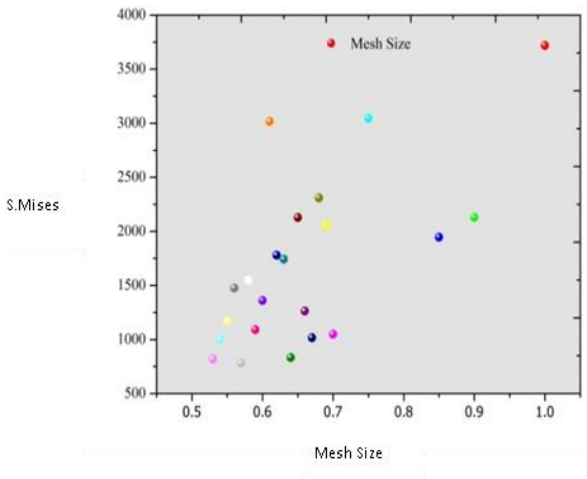
Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

۲. روش تحقیق

کد المان محدود ABAQUS/Explicit برای تجزیه و تحلیل دو فرم مختلف در پژوهش حاضر به کار گرفته شد و هندسه محفظه ایمنی به صورت کامل مدل گردید. در اولین مرحله پیش‌پردازش، یک مدل سه‌بعدی تغییر شکل‌پذیر[۱] از محفظه ایمنی از هر دو فرم هندسی و با در نظر گرفتن ابعاد و اندازه‌های مشخص شده در شکل (۱) ایجاد شد. هواپیما در یک فضای سه‌بعدی از نوع صلب[۲] مدل گردید. سپس مشخصات بتن بر اساس جدول (۲) در نرم‌افزار اعمال شد. با توجه به در نظر گرفتن هواپیما به عنوان یک جسم صلب لزومی به تعیین مشخصات مواد آن در نرم‌افزار نبود. روش تماس حرکتی[۳] به عنوان فرمولاسیون قید مکانیکی[۴] و لغزش محدود[۵] به عنوان فرمولاسیون لغزش[۶] انتخاب شدند. علاوه بر این یک قید تماسی[۷] تعیین شد. اتصال محفظه ایمنی با زمین به صورت اتصال گیردار[۸] تعریف گردید. المان‌ها از نوع پوسته‌ای چهار گره‌ای S4R است. پس از مقایسه مش‌بندی‌های گوناگون و بررسی نمودار همگرایی آنکه در نمودار (۱) آمده است، اندازه مش‌ها ۰/۶۳ میلی‌متر در نظر گرفته شد چرا که در این محدوده جواب‌ها مستقل از اندازه مش می‌باشد. در مطالعه حاضر، کل سازه و نیز محل اصابت فانتوم در برابر برخورد هواپیما مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و نتایج برای انتخاب فرم بهینه با هم مقایسه شد.



نمودار ۱. نمودار همگرایی تنش فون میزس بر اساس اندازه مش

[1] Deformable Model
[2] Discrete Rigid Type
[3] Kinematic Contact Method
[4] Mechanical Constraint Formulation
[5] Finite Sliding
[6] Sliding Formulation
[7] Contact Type Intraction
[8] Clamped

۲-۱. مدل ترکیبی بتن

در مدل‌سازی بتن به علت ضخامت زیاد دیوار بتنی، بتن به صورت پوسته در نظر گرفته شد. رفتار مصالح بتن در شبیه‌سازی عددی با استفاده از مدل آسیب الاستیسیته که در کد ABAQUS وجود دارد انجام گرفت. به دلیل تحلیل فرم هندسی، مدل الاستیسیته راه‌حل مناسبی برای کاهش زمان حل مسئله در تحقیق حاضر می‌باشد. مشخصات بتن و ویژگی‌های رفتاری آن با توجه به مطالعات قبلی [۶ و ۱۱] در نظر گرفته شده است که در جدول (۲) آورده شده‌اند.

جدول ۲. مشخصات بتن [۶ و ۱۱]

دانسیته	۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب
ضریب پوآسون، ϑ	۰/۲
مدول یانگ، E	۳۰۰۰۰ مگاپاسکال

۲- ۲. تحلیل و بررسی مدل‌سازی

دو فرم هندسی مختلف محفظه ایمنی بتنی در حادثه برخورد هواپیما مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. مدل‌سازی عددی مطالعه حاضر توسط نرم‌افزار ABAQUS 6.12-1 و در یک محیط سه‌بعدی انجام شده است. تجزیه و تحلیل در چهار نقطه مختلف با زاویه برخوردهای گوناگون صورت گرفته است. رفتار سازه‌ای هر یک از فرم‌های هندسی انتخابی در برابر برخورد جنگنده فانتوم F4 بررسی شده است. در این مطالعه، همانند عباس و همکاران [۱۸] و اقبال و همکاران [۱۵]، دیوار و سقف یکپارچه در نظر گرفته شده‌اند. برای انجام تحلیل و بررسی مدل‌سازی‌های انجام شده جهت تعیین فرم هندسی بهینه برای ساختمان محفظه ایمنی راکتور حاضر از تنش فون میزس[۹] و نیز جابه‌جایی‌های[۱۰] ایجاد شده در ساختمان در اثر برخورد استفاده شده است. تنش فون میزس معیاری از مجموعه تنش‌های کششی- فشاری و تنش‌های برشی است و جهت و علامت ندارد و برای مدل آسیب الاستیسیته مناسب می‌باشد. بحث مربوط به کشش و فشار در تانسور تنش مطرح می‌شود. برای مشاهده تنش‌های اصلی از تنش در راستای محور همسو با جهت برخورد استفاده می‌شود. تنش‌های کششی و فشاری به ترتیب با مقادیر مثبت و منفی مشخص می‌شوند [۱۹]. یک بازه زمانی ۰/۰۴ ثانیه‌ای مورد بررسی قرارگرفته و نتایج مقایسه شده‌اند. در تحلیل دینامیکی حاضر از روش آنالیز صریح[۱۱] استفاده شده است.

[9] S.Mises
[10] S1l
[11] Explicit

www.SID.ir

Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

۳. نتایج و بحث

پس از مدل‌سازی با استفاده از مدل المان محدود و نیز مشخصاتی که در قبل برای بتن ذکر شد، به مطالعه تنش‌ها و جابه‌جایی‌های ایجاد شده در کل جسم و نیز محل‌های چهارگانه برخورد پرداخته می‌شود. این بررسی به منظور انتخاب فرم بهینه صورت خواهد گرفت.

۳-۱. محل برخورد ۱

هنگامی که هواپیما به محل ۱ یعنی به صورت عمودی بر مرکز سقف و یا گنبد برخورد می‌کند، تنش ایجاد شده در راستای برخورد با توجه به جدول (۳) بیان می‌دارد که بیشترین میزان تنش کششی در محل برخورد در فرم ۲ ایجاد شده و این مقدار برابر است با ۴/۴۳E+۰۹ پاسکال و در فرم ۱، ۳/۹۷E+۰۹ پاسکال می‌باشد. تنش فشاری بیشینه در فرم ۱ ایجاد می‌شود و برابر است با ۴/۶E+۰۸ پاسکال و تنش کششی ایجاد شده با مقدار ۱/۷E+۰۸ به میزان قابل توجهی پایین‌تر از فرم ۱ می‌باشد. شکل (۳) تنش ون میزس در برخورد به محل ۱ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۴)، تنش ون میزس در محل برخورد در فرم ۱ برابر است با ۵/۱E+۰۹ پاسکال و در فرم ۲، ۴/۵۲E+۰۹ پاسکال می‌باشد.

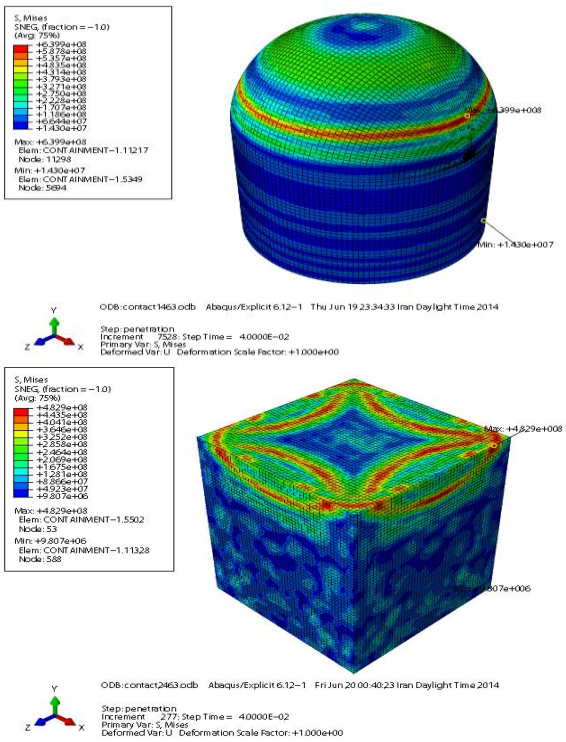
جدول ۳. حداکثر تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۱

زمان	تنش	بیشترین به کمترین تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد به محل ۱ (پاسکال)
۰/۰۴ (ثانیه)	تنش کششی	فرم ۲ (۴/۴۳E+۰۹) فرم ۱ (۳/۹۷E+۰۹)
	تنش فشاری	فرم ۱ (۴/۶E+۰۸) فرم ۲ (۱/۷E+۰۸)

جدول۴. حداکثر تنش ون میزس در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۱

زمان	بیشترین به کمترین تنش ون میزس در نقطه برخورد محل برخورد ۱ (پاسکال)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۵/۱E+۰۹)	فرم ۱ (۴/۵۲E+۰۹)

جدول (۵)، حداکثر جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد را نشان می‌دهد. این مقادیر برای فرم‌های ۱ و ۲ به ترتیب برابر است با ۰/۶۸۸ و ۰/۷۰۰ متر. نمودار (۲) برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد فانتوم به محل ۱ و شکل (۴) جابه‌جایی در راستای برخورد فانتوم به محل ۱ را نمایش می‌دهند. با توجه به جدول (۶) مشخص است که میزان برآیند جابه‌جایی[1] در محل برخورد در فرم ۲ بیشتر و برابر با ۰/۷۰۱ متر است.



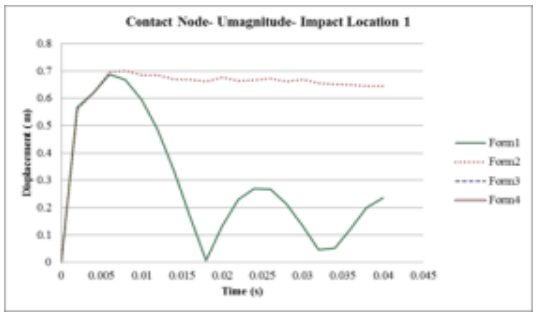
شکل ۳. تنش ون میزس در برخورد به محل ۱

جدول ۵. حداکثر جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۱

زمان	بیشترین به کمترین جابه‌جایی در نقطه برخورد به محل ۱ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۰/۷۰۰)	فرم ۱ (۰/۶۸۸)

جدول ۶. حداکثر برآیند جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۱

زمان	بیشترین به کمترین برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد - محل برخورد۱ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۰/۷۰۱)	فرم ۱ (۰/۶۸۸)



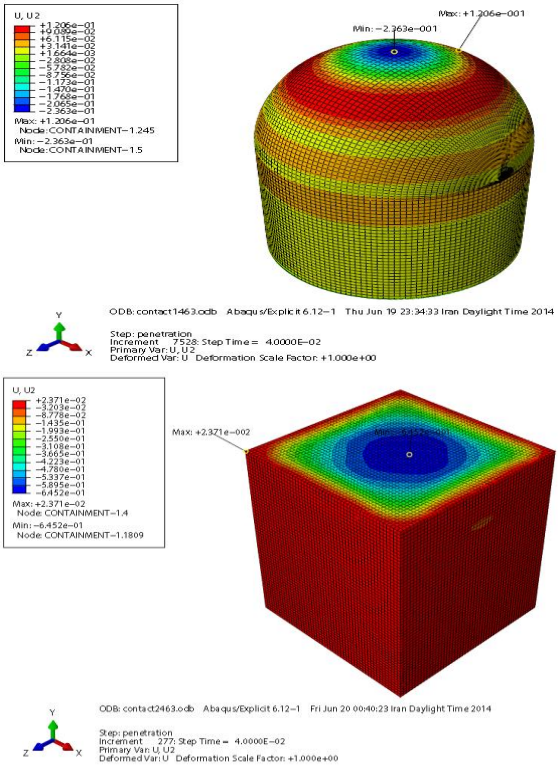
نمودار ۲. برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد فانتوم به محل ۱

[1] Umagnitude

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017



شکل ۴ . جابه‌جایی در راستای برخورد فانتوم به محل ۱

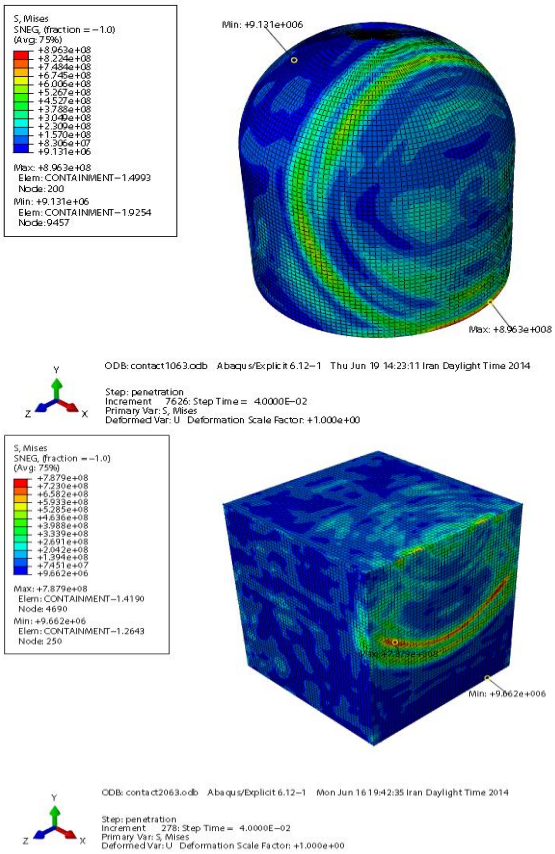
با بررسی‌های دقیق می‌توان نتیجه گرفت که در این نوع برخورد، فرم گنبدی سقف نسبت به فرم صاف دارای عملکرد بهتر بوده و مقاومت بیشتری در برابر برخورد عمودی هواپیما دارد.

۳-۲. محل برخورد ۲

با توجه به جدول (۷) که حداکثر تنش در راستای برخورد (افقی) در نقطه اصابت جنگنده به محل ۲ را نشان می‌دهد، حداکثر تنش کششی و فشاری به فرم ۲ تعلق دارد که به ترتیب عبارت‌اند از: ۴/۳۶E+۰۹ و ۱/۸E+۰۹ پاسکال. این مقادیر برای فرم ۱ به ترتیب عبارت‌اند از: ۴/۰۳ E+۰۹ و ۲/۳E+۰۸ پاسکال. همچنین با توجه به جدول (۸) حداکثر تنش ون میزس در نقطه برخورد با مقدار ۵/۰۵E+۰۹ پاسکال به فرم ۲ تعلق دارد. بیشترین تنش ون میزس در محل برخورد ۲ در فرم ۱ برابر است با ۴/۸۵E+۰۹ پاسکال.

شکل (۵) و جدول‌های (۹ و ۱۰) بیان می‌دارند که هم در کل سازه و هم در محل برخورد، جابه‌جایی در راستای برخورد و جابه‌جایی برآیند در فرم ۱ به میزان قابل توجهی بیش از فرم ۱ می‌باشد. نمودار (۳) نیز تأکیدی بر این مطلب است. بنابراین در برخورد به محل ۲، علی‌رغم تنش‌های بیشتری که در فرم ۲ ایجاد می‌شود، فرم ۲ تغییر شکل کمتری را از خود نشان می‌دهد. بنابراین در این برخورد فرم ۲ عملکرد بهتری دارد. شکل (۶) به درک بهتر ما از تحلیل جابجایی در برخورد به محل ۲ کمک می‌نماید.

از مقایسه نمودارها، تصاویر و جدول‌ها مرتبط با این نوع از برخورد که به صورت افقی و به محل اتصال سقف یا گنبد به بدنه می‌باشد، می‌توان مشاهده کرد که علی‌رغم تنش‌های بیشتری که در فرم ۲ ایجاد می‌شود، این فرم تغییر شکل کمتری را از خود نشان می‌دهد. این محل از نقاط آسیب‌پذیر فرم ۱ می‌باشد که می‌توان این مسئله را با ایجاد تغییراتی در ضخامت محل اتصال و آرماتوربندی و طراحی دقیق جزئیات کاهش داد.



شکل ۵. تنش ون میزس برخورد به محل ۲

جدول ۷. حداکثر تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۲

زمان	تنش	بیشترین به کمترین تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد به محل ۲ (پاسکال)	
۰/۰۴ (ثانیه)	تنش کششی	فرم ۲ (۴/۳۶E+۰۹)	فرم ۱ (۴/۰۳E+۰۹)
	تنش فشاری	فرم ۲ (۱/۸E+۰۹)	فرم ۱ (۲/۳E+۰۸)

جدول۸. حداکثر تنش ون میزس در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۲

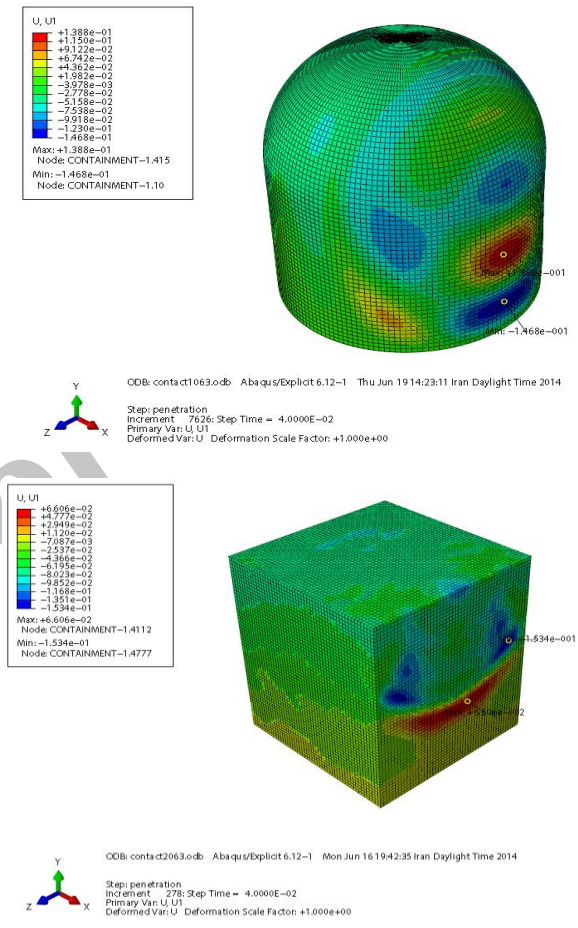
زمان	بیشترین به کمترین تنش ون میزس در نقطه برخورد محل برخورد ۱ (پاسکال)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۵/۰۵E+۰۹)	فرم ۱ (۴/۸۵E+۰۹)

www.SID.ir

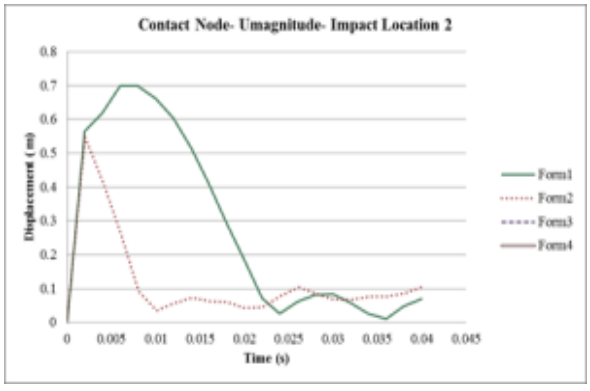
Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

جدول ۹. حداکثر جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۲

زمان	بیشترین به کمترین جابه‌جایی در نقطه برخورد - محل برخورد۲ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۱ (۰/۶۹۸)	فرم ۲ (۰/۵۴۸)



شکل ۶. جابه‌جایی در راستای برخورد فانتوم به محل ۲



نمودار ۳. برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد فانتوم به محل ۲

جدول ۱۰. حداکثر برآیند جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۲

زمان	بیشترین به کمترین برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد - محل برخورد۱ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۱ (۰/۷۰۰)	فرم ۲ (۰/۵۴۸)

۳-۳. محل برخورد ۳

جدول (۱۱) نشان می‌دهد که تنش کششی بیشینه در راستای برخورد و در محل اصابت هواپیما به میانه بدنه با مقدار ۴/۳۵E+۰۹ پاسکال به فرم ۲ و تنش فشاری بیشینه با مقدار ۳/۷E+۰۸ پاسکال به فرم ۱ تعلق دارد. جدول (۱۲) مقایسه‌ای ست از حداکثر تنش ون میزس در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۳. با توجه به شکل (۶) می‌توان مشاهده کرد که تنش ون میزس ایجاد شده در کل سازه در فرم ۲ به طور قابل ملاحظه‌ای بیش از این نوع تنش در فرم ۱ می‌باشد. این مقادیر در فرم ۱ و ۲ به ترتیب عبارت‌اند از: ۶,۱۰۳E+۰۸ و ۱,۱۰۱E+۰۹ پاسکال. در شکل (۷) تنش ون میزس برخورد به محل ۳ و در شکل (۸) جابه‌جایی در راستای برخورد فانتوم به محل ۳ نشان داده شده‌اند. بر اساس جدول (۱۳) حداکثر جابه‌جایی در راستای برخورد در محل اصابت هواپیما در فرم ۲، ۰,۷۰۰ متر و در فرم ۱، ۰,۶۹۷ متر است. نمودار (۴) نیز نشان می‌دهد که بیشینه ایمن مقادیر در هر دو فرم بسیار به هم نزدیک است. جدول (۱۴) حداکثر برآیند جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۳ را مقاسیه می‌نماید. با این بررسی مشخص است که در برخورد به صورت افقی به بدنه باوجود تنش‌های مختلف و متغیر بودن بیشترین مقدار تنش در دو فرم در زمان‌های گوناگون، تغییر شکل در هر دو فرم هندسی تقریباً یکسان بوده و هر دو از عملکرد تقریباً مشابهی برخوردارند. اما به طور کلی در این برخورد فرم ۱ به فرم ۲ برتری دارد.

جدول ۱۱. حداکثر تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۳

زمان	تنش	بیشترین به کمترین تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد - محل ۳ (پاسکال)	
۰/۰۴ (ثانیه)	تنش کششی	فرم ۲ (۴/۳۵E+۰۹)	فرم ۱ (۴/۰۱.E+۰۹)
	تنش فشاری	فرم ۱ (۳/۷E+۰۸)	فرم ۲ (۱/۸.E+۰۸)

جدول ۱۲. حداکثر تنش ون میزس در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۳

زمان	بیشترین به کمترین تنش ون میزس در نقطه برخورد محل برخورد ۳ (پاسکال)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۵/۱۴E+۰۹)	فرم ۱ (۴/۸۱E+۰۹)

Archive of SID

www.SID.ir

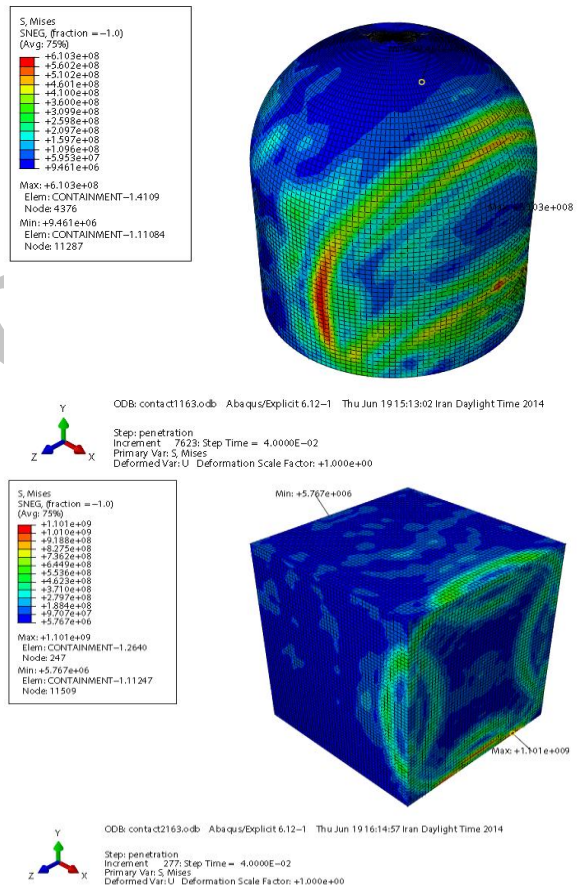
Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

جدول ۱۳. حداکثر جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۳

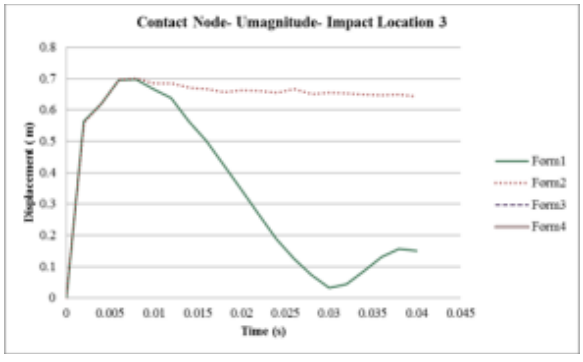
زمان	بیشترین به کمترین جابه‌جایی در نقطه برخورد - محل برخورد ۳ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۰/۷۰۰)	فرم ۱ (۰/۶۹۷)

جدول ۱۴. حداکثر برآیند جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۳

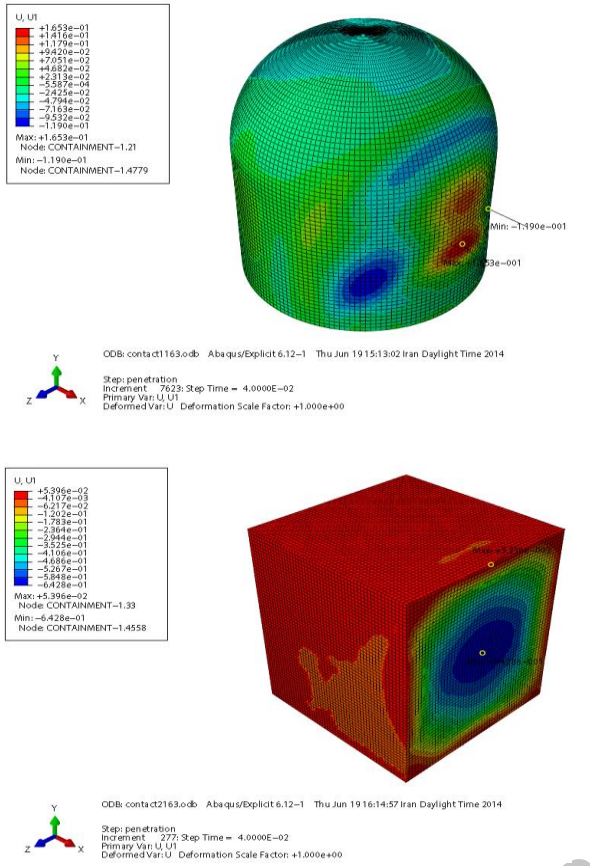
زمان	بیشترین به کمترین برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد - محل برخورد ۳ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۰/۷۰۰)	فرم ۱ (۰/۶۹۷)



شکل ۷. تنش ون میزس برخورد به محل ۳



نمودار ۴. برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد فانتوم به محل ۳



شکل ۸. جابه‌جایی در راستای برخورد فانتوم به محل ۳

۳-۴ محل برخورد ۴

در بررسی برخورد هواپیما با زاویه ۴۵ درجه به سقف یا گنبد جدول (۱۵) نشان می‌دهد که بیشترین میزان تنش کششی و فشاری متعلق به فرم ۲ بوده و این مقادیر به ترتیب عبارت‌اند از: ۵/۴۱E+۰۹ و ۵/۵E+۰۸ پاسکال. همچنین با توجه به شکل (۹) مشخص است که بیشترین تنش ون میزس در کل سازه به فرم ۲ تعلق دارد که برابر است با ۶/۸۶۶E+۰۸ پاسکال. در جدول (۱۶) می‌توان مشاهده کرد که تنش ون میزس در نقطه برخورد و در زمان ۰/۰۴ ثانیه پس از اصابت هواپیما به نقطه ۴ به ترتیب در هر دو فرم برابر است با ۴/۰۳E+۰۹ و ۵/۰۶E+۰۹ پاسکال، که عدد مرتبط با فرم ۲ به مراتب بزرگ‌تر می‌باشد. با توجه به جدول (۱۷) جابه‌جایی ایجاد شده در محل برخورد در فرم ۱ بسیار بیشتر از فرم ۲ می‌باشد. اما نمودار (۵) و جدول (۱۸) حاکی از آن است که برآیند جابه‌جایی در فرم ۲ بیش از فرم ۱ می‌باشد. با شکل (۱۰) جابه‌جایی در راستای برخورد فانتوم به محل ۴ در فرم ۲ بیش از فرم ۱ است.

از تحلیل و بررسی این نوع ضربه با زاویه ۴۵ درجه به سقف مشخص می‌گردد فرم گنبدی عملکرد بهتری دارد و کمتر آسیب‌پذیر می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

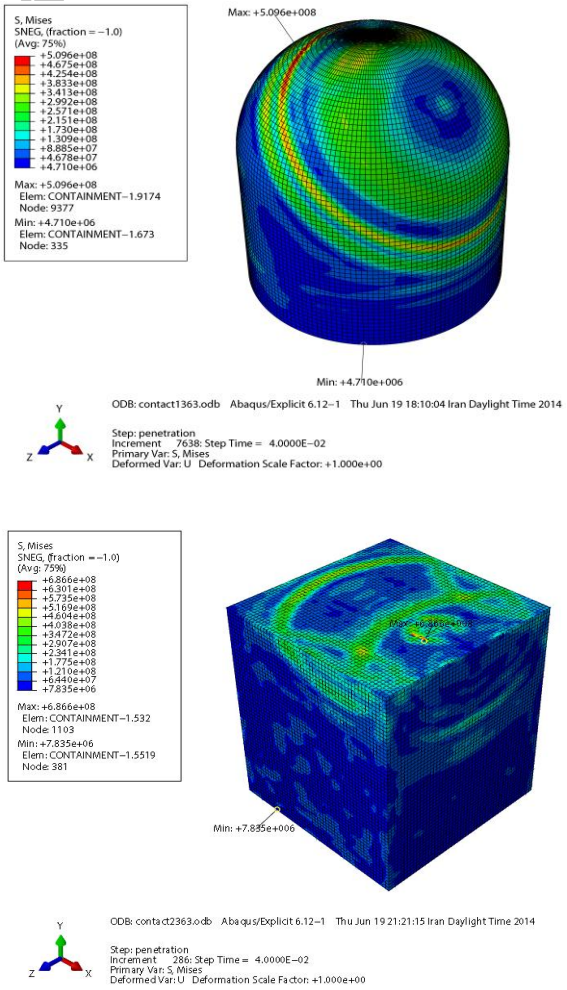
Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

جدول ۱۵. حداکثر تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۴

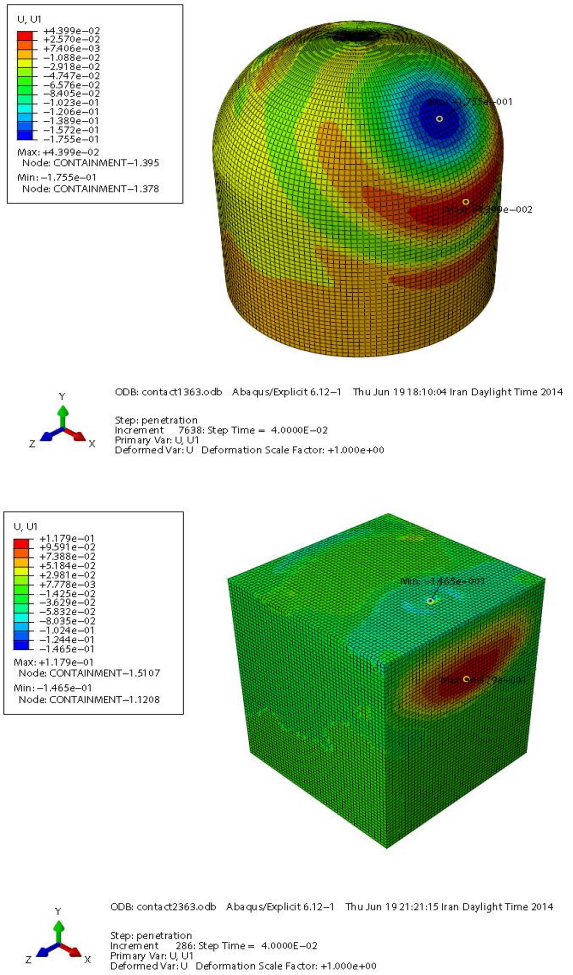
زمان	تنش	بیشترین به کمترین تنش در راستای برخورد در نقطه برخورد به محل ۲ (پاسکال)	
۰/۰۴ (ثانیه)	تنش کششی	فرم ۲ (۵/۴۱E+۰۹)	فرم ۱ (۴/۲۷.E+۰۹)
	تنش فشاری	فرم ۲ (۵/۵E+۰۸)	فرم ۱ (۳/۹.E+۰۸)

جدول ۱۶. حداکثر تنش ون میزس در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۴

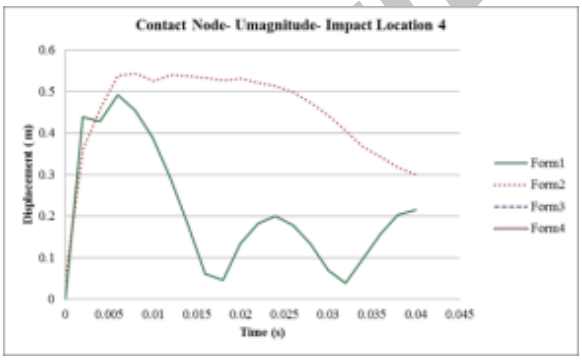
زمان	بیشترین به کمترین تنش ون میزس در نقطه برخورد - محل برخورد ۴ (پاسکال)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۲ (۵/۰۶E+۰۹)	فرم ۱ (۴/۰۳E+۰۹)



شکل ۹. تنش ون میزس برخورد به محل ۴



شکل ۱۰. جابه‌جایی در راستای برخورد فانتوم به محل ۴



نمودار ۵. برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد فانتوم به محل ۴

جدول ۱۷. حداکثر جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۴

زمان	بیشترین به کمترین جابه‌جایی در نقطه برخورد - محل برخورد ۴ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم ۱ (۰/۳۴۵)	فرم ۲ (۰/۰۸۷)

www.SID.ir

جدول ۱۸. حداکثر برآیند جابه‌جایی در راستای برخورد در نقطه برخورد فرم‌های هندسی برای محل برخورد ۴

زمان	بیشترین به کمترین برآیند جابه‌جایی در نقطه برخورد - محل برخورد ۴ (متر)	
۰/۰۴ (ثانیه)	فرم۲ (۰/۵۴۲)	فرم ۱ (۰/۴۹۲)

۴. نتیجه‌گیری

تنها روش مناسب برای پیش‌بینی پاسخ غیر خطی فرم هندسه‌ای پیچیده ساختمان محفظه ایمنی بتنی یک راکتور به نیروی خارجی برخورد هواپیما، تجزیه و تحلیل المان محدود غیر خطی است. بدین منظور نیاز به بررسی حالت‌های مختلف برخورد در محل‌های گوناگون می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده و با مدل‌سازی عددی که در این راستا در این تحقیق صورت گرفت، مشخص شد که به طور کلی برای ساختمان محفظه ایمنی راکتور، میزان آسیب‌پذیری فرم هندسی مکعبی با سقف صاف در مقابل برخورد یک جنگنده نسبت به فرم هندسی با بدنه استوانه‌ای و سقف گنبدی در اکثر محل‌ها بیشتر است. اما محل تلاقی گنبد با دیواره استوانه‌ای نقطه ضعف فرم استوانه‌ای نسبت به فرم مکعبی است. در این محل برخورد، تغییر شکل ایجاد شده در اثر برخورد هواپیما به محل تلاقی گنبد و بدنه استوانه‌ای به مراتب بیشتر از این تغییر شکل در محل تلاقی سقف صاف و بدنه مکعبی می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق بیان می‌کند که فرم استوانه‌ای نسبت به فرم مکعبی، آسیب‌پذیری کمتری در برخورد یک جسم از خود نشان می‌دهد به جز در نقطه اتصال گنبد به بدنه. لازم به ذکر است که این آسیب‌پذیری را می توان با طراحی دقیق و مناسب جزئیات و اتصالات سازه‌ای برطرف نمود.

۵. مراجع

[1] Jeon, S. J.; Chul-Hun Chung, C. H. “Axisymmetric Modeling of Prestressing Tendons in Nuclear Containment Dome”; Nucl. Eng. Des. 2005, 235, 2463-2476.

[2] IAEA “Safety Analysis for Research Reactors”; Safety Reports Series No. 55, IAEA, Vienna, 2008.

[3] IAEA “Siting of Research Reactors”; IAEA-TECDOC-403, IAEA, Vienna, 1987.

[4] Chelapati, C. V.; Kennedy, R. P. “Probabilistic Assessment of Aircraft Hazard for Nuclear Power Plants”; Nucl. Eng. Des. 1972, 19, 333- 364.

[5] Hessheimer, M. F.; Dameron, R. A. “Containment Integrity Research at Sandia National Laboratories: An Overview”; NUREG/CR-6906, U.S. Nuclear Regulatory Commission; Washington, USA, 2006.

[6] Hu, H.; Liang, J. “Ultimate Analysis of BWR Mark III Reinforced Concrete Containment Subjected to Internal Pressure”; Nucl. Eng. Des. 2000, 195, 1-11.

[7] Lundqvista, P.; Nilsson, L. “Evaluation of Prestress Losses in Nuclear Reactor Containments”; Nucl. Eng. Des. 2011, 241, 168-176.

[8] CHOO, Y. “Pressures Due to Post-Tensioned Tendons on a Dome of a Nuclear Reactor Containment Vessel”; Nucl. Eng. Des. 1975, 32, 386-393.

[9] INVAP “SAR Chapter 4 Buildings and Structures-ANSTO Replacement Research Reactor Facility”; Document Number: RRRP-7225-EBEAN-002-REV0-Chapter-04 Revision (2004).

[10] ANSTO “Q & A-ANSTO Research Reactor Alleged Security Threats”; ANSTO Home, 2003.

[11] Jankowiak, T.; Lodygowski, T. “Identification of Parameters of Concrete Damage Plasticity Constitutive Model”; Foundations of Civil and Environmental Engineering, University of Technology, Poznan, Poland, 2005.

[12] Lo Frano, R.; Forasassi, G. “Preliminary Evaluation of Aircraft Impact on a Near Term Nuclear Power Plant”; Nucl. Eng. Des. 2011, 241, 5245–5250.

[13] Degen, P.; Furrer, H.; Jemielewski, J. “Structural Analysis and Design of a Nuclear Power Plant Building for Aircraft Crash Effects”; Nucl. Eng. Des. 1976, 37, 249-268.

[14] Abbas, H.; Paul, D. K.; Godbole,P. N.; Nayak, G. C. “Aircraft Crash upon Outer Containment of Nuclear Power Plant”; Nucl. Eng. Des. 1996, 160, 13-50.

[15] Iqbal, M. A.; Rai, S.; Sadique, M. R.; Bhargava, P. “Numerical Simulation of Aircraft Crash on Nuclear Containment Structure”; Nucl. Eng. Des. 2012, 243, 321-335.

[16] Riera, J. D.; Zorn, N. F.; Schueller, G. I. “An Approach to Evaluate the Design Load Time History for Normal Engine Impact Taking into Account the Crash-Velocity Distribution”; Nucl. Eng. Des. 1982, 71, 311-316.

[17] http://www.aerospaceweb.org/aircraft/fighter/f4/.

[18] Abbas, H.; Paul, D. K.; Godbole, P. N.; Nayak, G. C. “Reaction-Time Response of Aircraft Crash”; Comp. Strategy 1995, 5, 809-817.

[19] http://ravaji.com/abaqus/truss.

Downloaded from adst.ir at 11:32 +0430 on Saturday August 12th 2017

Arhive of SID

www.SID.ir