

## بررسی عملکرد سقف‌های ساندویچ پانلی تحت بار انفجار به روش اجزاء محدود

ناصر احدی

کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

محمدعلی لطف‌اللهی یقین\*

استاد، دانشکده عمران، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

lotfollahi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۹/۳۰

### چکیده:

امروزه با گسترش حملات انفجاری به ساختمان‌ها در جهان، بررسی دقیق رفتار سازه‌ها تحت اثر بارهای انفجاری یک ضرورت محسوب می‌شود. انفجار واکنشی است که در آن نرخ سوختن مواد با سرعتی به مراتب بیشتر از سرعت صوت انجام می‌شود که در نتیجه آن، گرادیان دما و فشار بسیار بالا ایجاد شده و موج شوک بلافاصله تولید و با سرعت بسیار بالا منتشر می‌شود. در این تحقیق با توجه به اهمیت موضوع به بررسی رفتار سقف‌های ساندویچ پانلی تحت بارهای انفجاری کانوپ با استفاده از نرم افزار آباکوس ۲۰۱۶ پرداخته خواهد شد. بدین ترتیب که جهت اعتبار داشتن نتایج نمونه‌های عددی، در ابتدا به صحت‌سنجی نتایج یک نمونه از مقاله مرجع پرداخته و بعد از درستی نتایج، به مدل‌سازی نمونه‌های عددی به تعداد ۶ مدل و استخراج نتایج در نرم‌افزار اکسل اقدام خواهد شد. در این تحقیق نمونه‌های عددی شامل دو گروه سقف ساندویچ پانل فولادی بوده که در فاصله سخت‌کننده‌های داخلی با هم فرق دارند. هر دو گروه تحت بارهای انفجاری معادل ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم TNT در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از مرکز سقف قرار گرفته و تاثیرات بار انفجاری بر روی توزیع تنش و جابجایی‌های ایجاد شده در نمونه‌ها را مورد بررسی قرار داده خواهد شد. مطابق انتظار با توجه به نمونه‌ها با ثابت بودن ماده منفجره و افزایش فاصله از سطح پانل میزان جابجایی و تنش‌های وارده به پانل کمتر شده و همچنین با ثابت ماندن فاصله ماده منفجره از روی سطح پانل و افزایش میزان ماده انفجاری، جابجایی و تنش وارده به پانل نیز افزایش یافته است.

**کلیدواژگان:** ساندویچ پانل، سخت‌کننده، توزیع تنش، ماکزیمم جابجایی، کانوپ

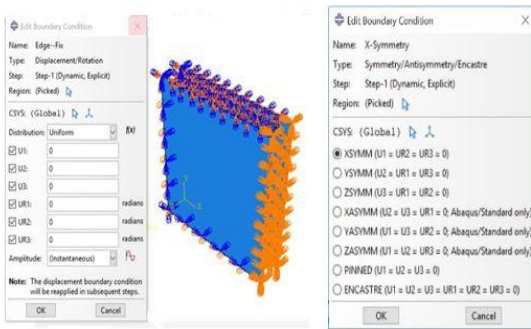
## ۱- مقدمه

بمب‌هایی که در اطراف ساختمان‌ها، در بسیاری از کشورها منفجر شده، باعث خسارات جانی و سازه‌ای گردیده‌اند. جان و مال افراد یک جامعه با ارزش‌ترین سرمایه یک کشور می‌باشند که از نظر ملی جایگزینی برای آنها وجود ندارد در نتیجه حفاظت از آنها اهمیت بسیاری دارد. با توجه به این موضوع هر طرح تحقیقاتی که امنیت بیشتری برای سازه‌ها ایجاد کند از جمله طرح‌های با اولویت هر کشور می‌باشد. معمولاً جلوگیری از رویدادهای تروریستی و حملات انفجاری خارج از توانایی کشورها بوده و به صورت برنامه‌ریزی شده دقیق، سازه‌های شهری، مکان‌های نظامی و دفاعی، مراکز علمی و دولتی و... را مورد حمله قرار می‌دهند [۱]. در پاسخ به این حملات، سازمان‌های دفاعی و مراکز تحقیقاتی به دنبال روش‌ها و تکنیک‌هایی برای طراحی و مقاوم‌سازی سازه‌ها می‌باشند، تا بتوانند از خسارت ناشی از انفجار بر سازه‌ها بکاهند و امنیت را بالا ببرند. به دلیل مقاومت و جرم قابل توجه سازه‌های بتن مسلح، این مصالح به طور ویژه-ای در برابر بارهای انفجاری مناسب هستند، همچنین بتن مقاومت موثری در برابر آتش و نفوذ ترکش دارد. با توجه به وجود گسترده معادن شن و ماسه و کارخانه سیمان در سراسر ایران، طراحی و ساخت ساختمان‌های بتن مسلح بسیار مرسوم و اقتصادی می‌باشد. فشار ناشی از انفجار یکی از مخرب‌ترین بارهایی است که سازه ممکن است تجربه کند. بارهای انفجار می‌توانند سبب آسیب شدید به ساختمان‌ها شوند و گاهی نیز باعث خرابی پیشرونده و کامل سازه گردند. با توجه به مطالب ارائه شده و یک بررسی در مطالعات انجام شده در گذشته می‌توان دریافت که اکثر ساختمان‌های بتن مسلح رفتار خوبی در برابر بارگذاری جانبی مانند زلزله و باد دارند، ولی این سطح طراحی برای سازه‌های فلزی برای مقابله با فشار جانبی ناشی از انفجار (مخصوصاً انفجارهای بزرگ) ناچیز می‌باشد. وقتی سازه‌ای تحت بارگذاری انفجاری (حملات انفجاری) قرار می‌گیرد، باید فشار بسیار زیادی (متناسب با مقدار مواد منفجره و فاصله مرکز انفجار تا سازه) را در زمان بسیار کوتاهی تحمل کند بطوریکه برش پایه ایجاد شده در انفجار می‌تواند بسیار بزرگتر از برش پایه ایجاد شده در زلزله، که برای آن طراحی شده است باشد. در نتیجه مطالعه رفتار سازه‌های فلزی در مقابل بار انفجار بیشتر از گذشته احساس می‌شود. در این تحقیق به صورت موردی به بررسی سقف‌های کامپوزیتی فلزی تحت بار انفجاری پرداخته خواهد شد [۲]. انگوین و تران در سال ۲۰۱۱ در مقاله‌ای به بررسی پاسخ سازه‌های عمودی (دیوار) تحت بارگذاری انفجار در حالت آنالیز دینامیکی پرداختند. در این مقاله واکنش دینامیکی دیوار عمودی را تحت بارگذاری انفجاری بررسی کردند. نتایج عددی نشان می‌دهند که اثر نسبت میرایی، مکان و فشار بارگذاری انفجار به واکنش سازه دیوار

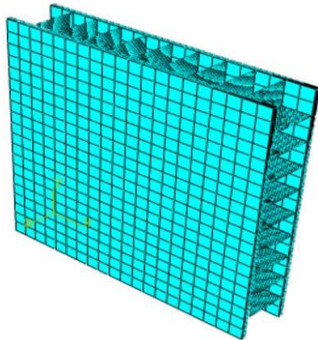
حساس است [۳]. مقیمی و درایور در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی به ارزیابی عملکرد دیوارهای برشی با صفحه فولادی تحت بارهای انفجاری تصادفی پرداختند. در مطالعه عددی سیستم دیوار در نظر گرفته شده. این به ویژه در اعضای سازه فولاد بسیار مهم است، زیرا انعطاف‌پذیری آنها باعث آسیب رساندن و خسارات شدید فشار انفجار با زمان بسیار کوتاه سنگین می‌شود. با توجه به هندسه‌های مختلف، خواص مکانیکی و خصوصیات دینامیکی باید در نظر گرفته شود. [۴]. هاجک و همکاران در سال ۲۰۱۶ تاثیر نوع مصالح و شکل دیوار حایل در کاهش موج انفجار را مورد بررسی قرار دادند. این مقاله به بررسی ابزار افزایش کارایی یک حایل انفجار با استفاده از انواع مختلف دیوار حایل می‌پردازد. نتایج تجزیه و تحلیل ثابت کرد که استفاده از سطح مشبک اثر مثبت قابل ملاحظه‌ای در مقابله با موج انفجار دارد، در عین حال همان خاصیت قبلی که مانع از برخورد ترکش با سازه می‌شود را دارا می‌باشد [۵]. یوخین پان و همکاران در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی عملکرد پل‌های بزرگراه‌ها تحت بار انفجار مورد مطالعه قرار دادند. نتایج عددی در این مطالعه، صاحبان پل‌ها و مهندسان را با اطلاعات کامل و مهم در مورد عملکرد سازه‌ای پل‌های بزرگراه تحت بارهای انفجار، کمک می‌کند تا آنها را در انتخاب راهکارهای موثر حفاظت از وقایع احتمالی انفجار، فراهم کنند [۶]. جان‌لی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی به مطالعه عددی ستون‌های قطعه‌ای پیش‌ساخته تحت بارهای انفجاری پرداختند. با وجود مزایای استفاده از سازه‌های پیش‌ساخته از جمله دوره کوتاه ساخت و ساز، کنترل کیفیت بهتر، اثرات زیست محیطی و ترافیکی کمتر، عدم مطالعه در مورد رفتار آنها در برابر بارهای دینامیکی، استفاده گسترده از سازه‌های پیش‌ساخته در مناطق لرزه‌ای بالا و جایی که حمله تروریستی می‌تواند اتفاق بیفتد، یک مانع برای گسترش آن می‌شود. [۷]. هاشمی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی واکنش دینامیکی و عملکرد پل‌های کابلی تحت بار انفجار و اثرات هندسه تیر را مورد مطالعه قرار دادند. شباهت بین نتایج حاصل از اندازه‌گیری فشار حادثه در فاصله ۵ متر از آزمایش انفجار و محاسبه با استفاده از برنامه ConWep ثابت کرد که تخمین دقیق بار فشار انفجار برای طراحی حفاظتی امکان‌پذیر است. نمونه‌های PSC و PSRC با توجه به استحکام سازه‌ای بالاتر آنها نسبت به نمونه RC، مقاومت برشی را بهتر می‌کنند. نمونه‌های PSRC به لحاظ بهبود سختی سازه‌ای و ظرفیت جذب انرژی از کابل PS و میلگرد فولادی به طور معنی داری بهتر از انفجار روی RC و PSC بودند [۸].

## ۲- صحت‌سنجی نمونه عددی

پانل بدلیل داشتن دو محور تقارن، بصورت یک چهارم مدل‌سازی شده است و برای اعمال شرایط مرزی و تکیه‌گاهی دور تا دور پانل را گیردار در نظر گرفته‌ایم که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای تحلیل نمونه عددی از روش دینامیکی غیرخطی و برای ایجاد اتصال در بین قطعات ساخته شده، از المان Tie استفاده شده است. نام المان مورد استفاده در مش‌بندی C3D8R می‌باشد که یک المان ۸ گرهی با روش حل آنالیز کاهش یافته می‌باشد. برای ورق هسته فولادی از المان S4R استفاده شده است که یک المان ۴ گرهی می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است. برای اعمال مشخصات پلاستیک فولاد از ضرایب سخت‌شوندگی مجدد جانسون کوک استفاده شده است. با توجه به نوع بارگذاری (دینامیکی) در این مدل‌سازی زمان تحلیل ۰/۰۰۱۵ ثانیه در نظر گرفته شده است. در این آزمایش از ۱ کیلوگرم TNT در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از مرکز پانل استفاده شده است.



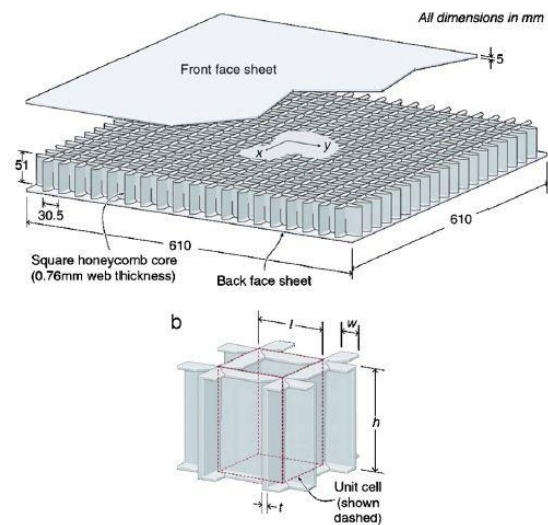
شکل ۲- نمایی از شرایط مرزی و مرزی اعمال شده



شکل ۳- نمایی از مش‌بندی نمونه عددی

در شکل‌های ۴ و ۵ تنش و کرنش پلاستیک و جابجایی ایجاد شده در نمونه عددی نشان داده شده است.

در این تحقیق به منظور اطمینان از صحت نتایج مدل‌سازی از مقاله دارماسنا و همکارانش که در سال ۲۰۰۸ در طی یک کار آزمایشگاهی به بررسی پاسخ مکانیکی سقف ساندویچ پانل لانه زنبوری (مربعی) فلزی تحت بارگذاری دینامیکی با شدت بالا (Air Balast) پرداخته‌اند، استفاده شده است [۹]. شکل هندسی نمونه در شکل ۱ نشان داده شده است. جدول ۱ نیز مشخصات مصالح استفاده شده در المان‌ها نشان داده شده است.



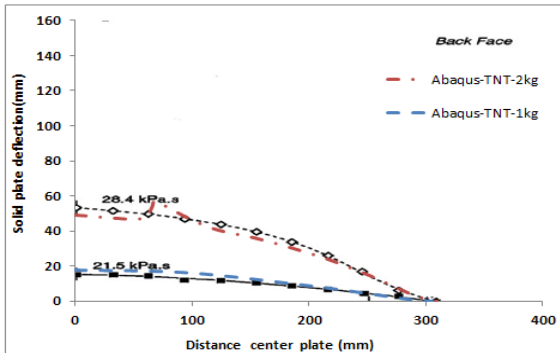
شکل ۱- مشخصات هندسی نمونه مورد نظر (واحد برحسب میلی‌متر) [۹]

جدول ۱- مشخصات مصالح نمونه آزمایشگاهی

Item	Youngs Modulus (Gp)	Poisson Ratio	Mass Density	Thickness (mm)
Face Plate	161	0.35	7850	5
Core	161	0.35	7850	0.76

در این مدل‌سازی ورق زیرین و رویه از نوع Solid انتخاب شده‌اند و هسته فولادی از نوع Shell می‌باشد. فولاد بکار رفته در نمونه‌ها از آلیاژ ضد زنگ فوق آستنیتی ساخته شده‌اند. مطالعات اخیر نشان داده است که تراکم نسبی ساندویچ پانل در محدوده ۳ تا ۱۰٪ بیشترین توجه را به سازه‌های مقاوم در برابر انفجار دارد. در این مطالعه، پانل‌های هسته‌ای لانه زنبوری با چگالی نسبی حدود ۶٪ طراحی شده‌اند.

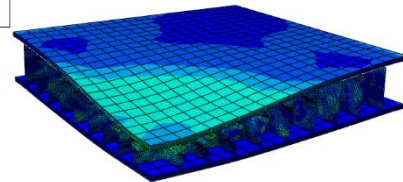
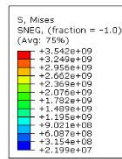
آزمایشگاهی در حین انجام آزمایش باشد، که این یک امر کاملاً طبیعی است. با وجود این درصد و میزان خطا باید منطقی بوده و از حد طبیعی فراتر نرود.



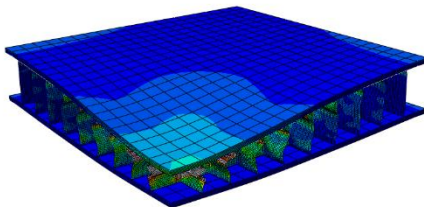
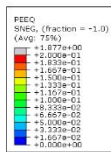
شکل ۷- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی نمونه عددی با نمونه آزمایشگاهی

### ۳- مدل سازی نمونه های عددی

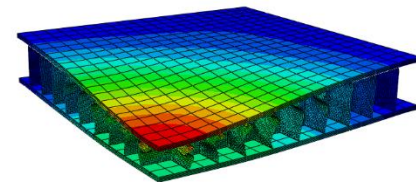
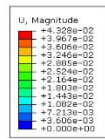
در این تحقیق به بررسی تاثیر استفاده از ماده انفجاری (TNT) با وزن های مختلف و تغییر در شکل هندسی پانل ساندویچی با افزایش فاصله سخت کننده های هسته پانل نسبت به مدل مقاله مرجع پرداخته شده است. در مدل های عددی وزن پانل ها تغییری نکرده و فقط برای جبران کاهش وزن نسبت به مقاله مرجع ضخامت سخت کننده ها افزایش یافته است. برای این منظور به بررسی تعداد ۶ نمونه عددی پرداخته شده است. نوع بارگذاری استفاده شده همانند نمونه های عددی مقاله مرجع می باشد. در جدول ۲ مشخصات کلیه نمونه ها نشان داده شده است. فاصله و تعداد سخت کننده های هسته پانل در مقاله مرجع در شکل ۸ نشان داده شده است. در ۳ نمونه ابتدایی با افزایش فاصله سخت کننده ها مطابق شکل ۹، میزان جابجایی و توزیع تنش روی پانل را با مدل های قبلی مورد بررسی قرار داده ایم. بدین خاطر فاصله سخت کننده ها را از  $30/5\text{mm}$  به  $43/5\text{mm}$  افزایش داده و برای ثابت ماندن وزن پانل ضخامت هسته را از  $0/76\text{mm}$  به  $1/13\text{mm}$  افزایش داده ایم. در مدل مقاله مرجع تعداد سخت کننده ها ۱۸ عدد بود که در این مدل به ۱۲ عدد کاهش داده شده است. برای نامگذاری این مدل ها از نام T113 استفاده شده است.



شکل ۴- تنش ایجاد شده در نمونه عددی بعد از آنالیز



شکل ۵- کرنش پلاستیک ایجاد شده در نمونه عددی با بزرگنمایی ۲



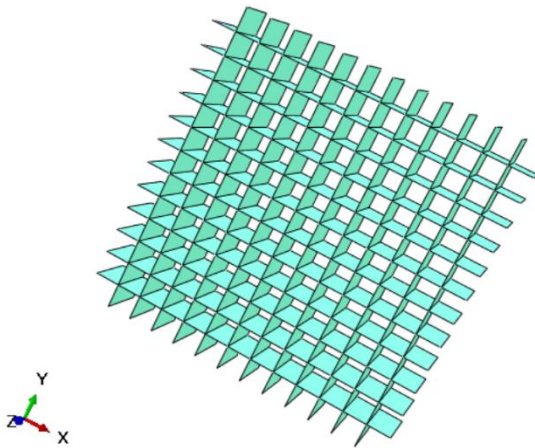
شکل ۶- کانتور جابجایی در راستای قائم در نمونه عددی بعد از انفجار

در شکل ۷ نتیجه مقایسه دو نمودار آزمایشگاهی و نمونه عددی نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود نتیجه مدل سازی عددی به نتیجه نمونه آزمایشگاهی بسیار نزدیک بوده و می توان گفت که منطق مدل سازی برای بررسی نمونه های عددی می تواند قابل استناد باشد. خطای مدل سازی در این تحقیق کمتر از ۳ درصد بوده که این مقدار خطا می تواند به علت برخی خطاهای عددی در نرم افزار و یا خطاهای

جدول ۲- مشخصات نمونه‌های عددی

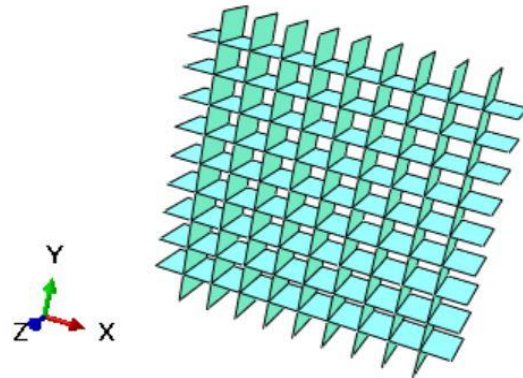
Model Name	Distance From center of panel(mm)	TNT(Kg)	Core Thickness (mm)
M1-1Kg-S20-T113	200	1	1.13
M2-2Kg-S20-T113	200	2	1.13
M3-3Kg-S20-T113	200	3	1.13
M4-1Kg-S20-T46	200	1	0.46
M5-2Kg-S20-T46	200	2	0.46
M6-2Kg-S20-T46	200	3	0.46

در ۳ نمونه بعدی قصد داریم با کاهش فاصله سخت‌کننده‌ها میزان جابجایی و توزیع تنش روی پانل را با مدل‌های قبلی مورد بررسی قرار بدهیم. بدین خاطر فاصله سخت‌کننده‌ها را از  $30/5 \text{ mm}$  به  $23/4 \text{ mm}$  کاهش داده و برای ثابت ماندن وزن پانل ضخامت هسته را  $0/469$  در نظر گرفته شده است. مدل مقاله مرجع تعداد سخت‌کننده‌ها ۱۸ عدد بود که در این مدل مطابق شکل ۱۰ به ۲۴ عدد افزایش داده شده است. برای نامگذاری این مدل‌ها از نام T46 استفاده شده است.

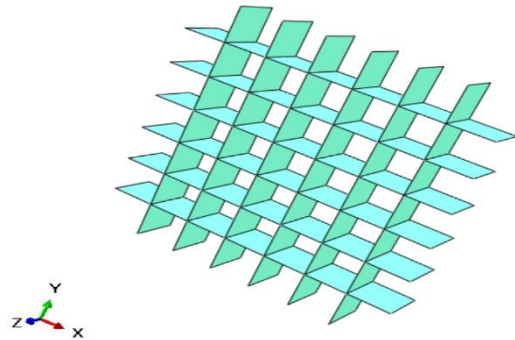


شکل ۱۰. تعداد و فاصله سخت‌کننده‌های هسته پانل نمونه عددی

در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ کانتورهای ایجاد شده (تنش، جابجایی در محور X) در نمونه‌های عددی بعد از آنالیز نشان داده شده است.

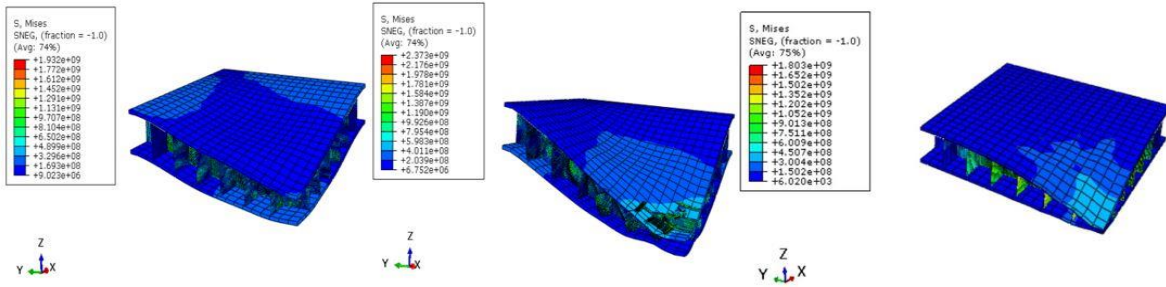


شکل ۸- تعداد و فاصله سخت‌کننده‌های هسته پانل مقاله مرجع

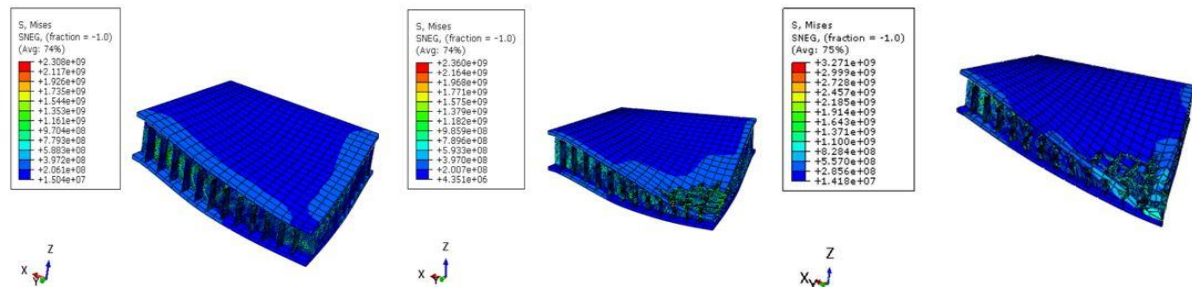


شکل ۹. تعداد و فاصله سخت‌کننده‌های هسته پانل نمونه عددی

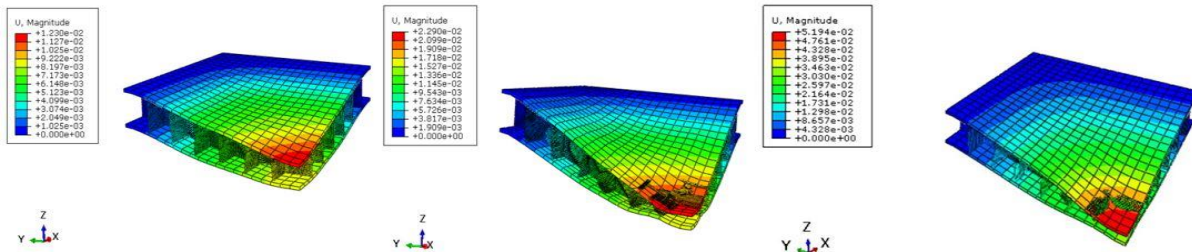




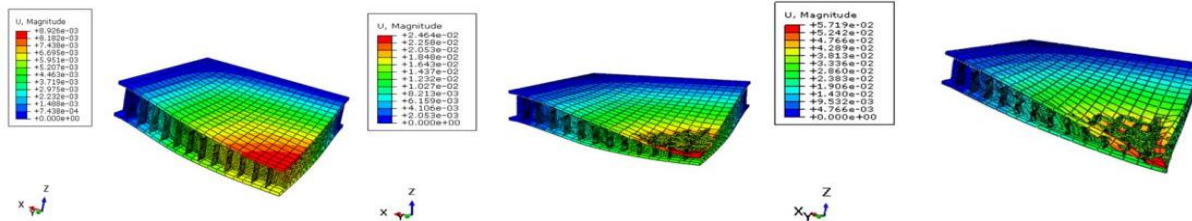
شکل ۱۱- به ترتیب از چپ به راست: تنش‌های ایجاد شده در نمونه‌های ۱ تا ۳



شکل ۱۲- به ترتیب از چپ به راست: تنش‌های ایجاد شده در نمونه‌های ۴ تا ۶

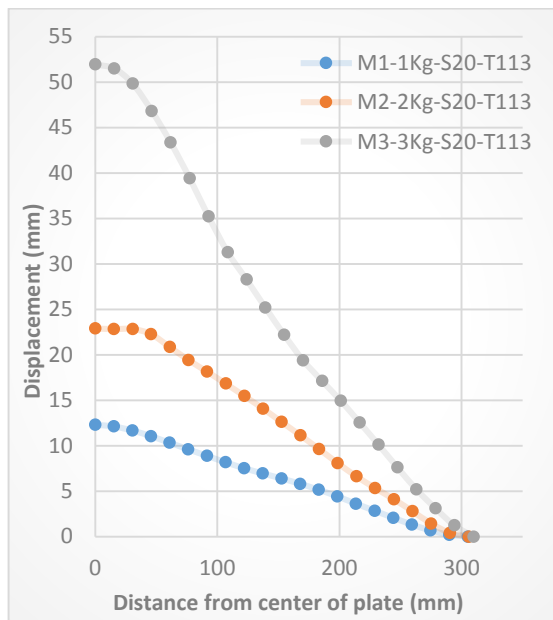


شکل ۱۳- به ترتیب از چپ به راست: جابجایی ایجاد شده در نمونه‌های ۱ تا ۳



شکل ۱۴- به ترتیب از چپ به راست: جابجایی ایجاد شده در نمونه‌های ۴ تا ۶

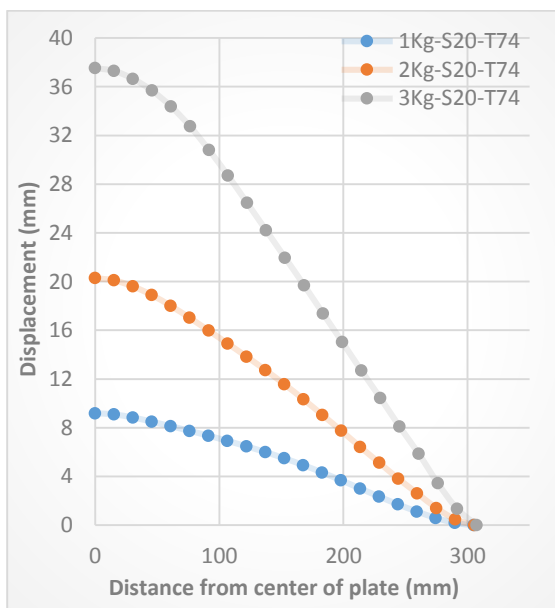
جابجایی مدل M3 حدود ۱۳۶ درصد نسبت به مدل M2 افزایش می‌یابد.



شکل ۱۶. نمودار جابجایی مدل‌های M1 و M2 و M3

در شکل ۱۷ نمودار جابجایی مدل‌های ۴ و ۵ و ۶ نشان داده شده است. در این سه مدل از ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم تی ان تی در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از سطح پانل استفاده شده است. در این نمودار بصورت واضح مشخص می‌شود که بیشترین جابجایی متعلق به مدل شماره M6 به میزان تقریباً ۵۴ میلی‌متر و کمترین جابجایی متعلق به مدل شماره M4 به میزان تقریباً ۹ میلی‌متر می‌باشد. با مقایسه مدل‌های M4 و M5 چنین نتیجه می‌شود که با ثابت نگه داشتن فاصله ماده انفجاری از سطح پانل در این مدل‌ها و با افزایش ۱۰۰ درصدی ماده انفجاری از ۱ به ۲ کیلوگرم، جابجایی مدل M5 حدود ۱۶۷ درصد نسبت به مدل M4 افزایش می‌یابد. و با مقایسه مدل‌های M5 و M6 چنین نتیجه می‌شود که با ثابت نگه داشتن فاصله ماده انفجاری از سطح پانل در این مدل‌ها و با افزایش ۵۰ درصدی ماده انفجاری از ۲ به ۳ کیلوگرم، جابجایی مدل M6 حدود ۱۲۵ درصد نسبت به مدل M5 افزایش می‌یابد.

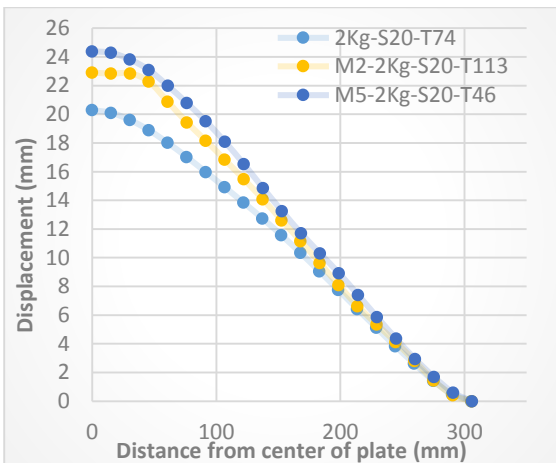
در شکل ۱۵ زیر میزان جابجایی سه نمونه از مدل صحت‌سنجی شده مقاله مرجع نشان داده شده است. برای متمایز شدن مدل اصلی مقاله و نمونه‌ها نام مدل‌های مقاله مرجع را T74 (ضخامت هسته لانه زنبوری) انتخاب کرده‌ایم. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با افزایش ماده منفجره میزان جابجایی در مدل‌ها افزایش پیدا کرده است.



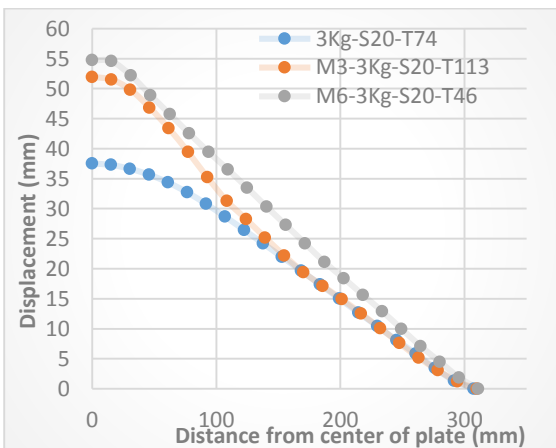
شکل ۱۵- نمودار جابجایی مدل‌های مقاله مرجع

در ادامه به مقایسه میزان در جابجایی مدل‌های یاد شده می‌پردازیم. در شکل ۱۶ نمودار جابجایی مدل‌های ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده است. در این سه مدل از ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم تی ان تی در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از سطح پانل استفاده شده است. در این نمودار بصورت واضح مشخص می‌شود که بیشترین جابجایی متعلق به مدل شماره M3 به میزان تقریباً ۵۲ میلی‌متر و کمترین جابجایی متعلق به مدل شماره M1 به میزان تقریباً ۱۲ میلی‌متر می‌باشد. با مقایسه مدل‌های M1 و M2 چنین نتیجه می‌شود که با ثابت نگه داشتن فاصله ماده انفجاری از سطح پانل در این مدل‌ها و با افزایش ۱۰۰ درصدی ماده انفجاری از ۱ به ۲ کیلوگرم، جابجایی مدل M2 حدود ۸۳ درصد نسبت به مدل M1 افزایش می‌یابد. و با مقایسه مدل‌های M2 و M3 چنین نتیجه می‌شود که با ثابت نگه داشتن فاصله ماده انفجاری از سطح پانل در این مدل‌ها و با افزایش ۵۰ درصدی ماده انفجاری از ۲ به ۳ کیلوگرم،

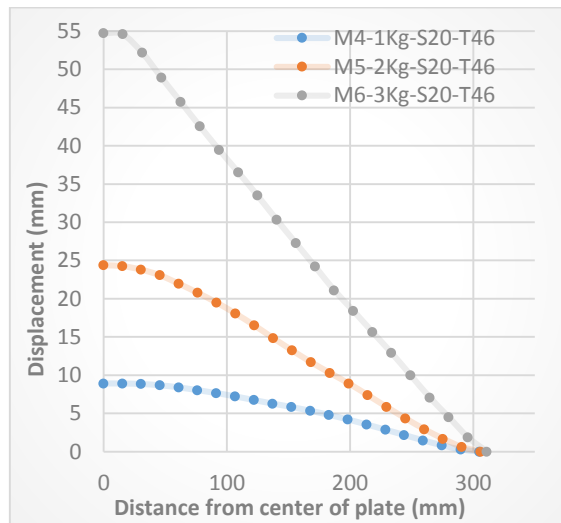
نمونه‌هایی است که تراکم هسته پانل آنها افزایش پیدا کرده است. در کل در این مدل‌ها بهترین عملکرد با ۳ میزان ماده انفجاری متعلق به نمونه مقاله مرجع می‌باشد و کاهش و افزایش فاصله سخت‌کننده‌ها که منجر به کاهش و افزایش ضخامت سخت‌کننده‌ها شده است تاثیر محسوسی در عملکرد مطلوب پانل در کاهش میزان جابجایی ایجاد شده در پانل نداشته است.



شکل ۱۹- مقایسه نهایی جابجایی نمونه‌ها تحت بار ۱ کیلوگرم

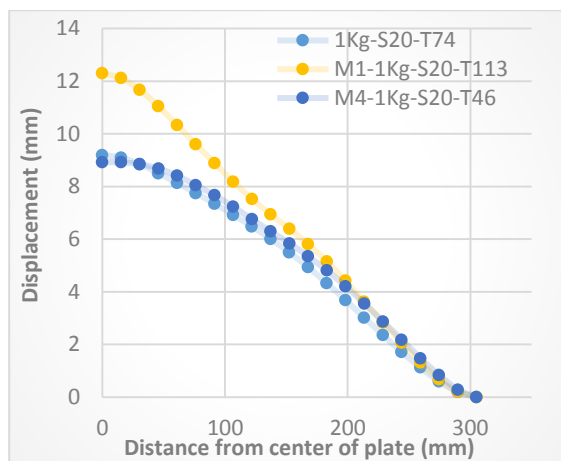


شکل ۲۰. مقایسه نهایی جابجایی نمونه‌ها تحت بار ۱ کیلوگرم



شکل ۱۷- نمودار جابجایی مدل‌های M4 و M5 و M6

در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ با توجه به مشخصات هندسی و میزان بار انفجاری وارده به پانل‌هایی که قصد داریم میزان جابجایی آنها را با هم مقایسه کنیم نشان داده شده است. با دقت به شکل ۱۸ متوجه می‌شویم که بهترین عملکرد در ماده انفجاری ۱ کیلوگرم با کمترین میزان جابجایی در مدل مرجع و مدل M4 می‌باشد. در این میزان ماده منفجره کاهش فاصله سخت‌کننده‌ها تاثیر مطلوبی در کاهش جابجایی پانل داشته است.



شکل ۱۸. مقایسه نهایی جابجایی نمونه‌ها تحت بار ۱ کیلوگرم

با مقایسه نمونه‌ها در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ به این نتیجه رسیده‌ایم که هرچه قدر میزان ماده انفجاری افزایش پیدا کرده است بهترین نمونه‌ها متعلق به



## ۴- نتیجه گیری

## منابع

- ۱- مجتهد پور، م، فیوض، ع، توکلی زاده، م، ۱۳۸۸، مقاوم سازی دیوار فولادی در برابر بار انفجاری عمود بر دیوار با استفاده از سخت کننده، نخستین همایش عمران و مقاوم سازی، مشهد مقدس.
- ۲- طاهونی، شاپور، ۱۳۹۴، طراحی سازه های مقاوم در برابر انفجار، انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
- 3- T. P. Nguyen, M. T. TRAN, Response of Vertical Wall Structures under Blast Loading by Dynamic Analysis, Procedia Engineering 14 (2011) 3308–3316
- 4- Moghimi, Hassan, Robert G. Driver, 2015, Performance assessment of steel plate shear walls under accidental blast loads, Journal of Constructional Steel Research 106 (2015) 44–56
- 5- Radek, Hajek, Marek, Foglar, Josef, Fladr, 2016, Influence of barrier material and barrier shape on blast wave mitigation, Construction and Building Materials 120 (2016) 54–64
- 6- Yuxin Pan, Carlos E. Ventura, Moe M.S. Cheung, 2017, Performance of highway bridges subjected to blast loads, Engineering Structures 151 (2017) 788–801
- 7- Jun Li, Hong Hao, Chengqing Wu, 2017, Numerical study of precast segmental column under blast loads, Engineering Structures 134 (2017) 125–137
- 8- S.K. Hashemi, M.A. Bradford, H.R. Valipour, 2017, Dynamic response and performance of cable-stayed bridges under blast load: Effects of pylon geometry, Engineering Structures 137 (2017) 50–66
- 9- Kumar P. Dharmasena, Haydn N.G. Wadleya, Zhenyu Xue, John W. Hutchinson, 2008, Mechanical response of metallic honeycomb sandwich panel structures to high-intensity dynamic loading, International Journal of Impact Engineering 35 (2008) 1063–1074

- ۱- مطابق انتظار با توجه به نمونه ها هر چه میزان بار انفجاری افزایش یافته است، میزان تغییر مکان و تنش های وارده به پانل حاصل از انفجار ماده منفجره افزایش یافته و با افزایش فاصله ماده منفجره و پانل این میزان کاهش یافته است.
- ۲- نتایج نمونه های عددی در مورد نمونه هایی با بار انفجاری متفاوت نشان داد که با افزایش میزان بار در فواصل ثابت میزان جابجایی و تنش های وارده به سطح پانل افزایش قابل ملاحظه ای دارند، بطوریکه برای مثال با مقایسه مدل 1Kg-S20-T74 با مدل 2Kg-S20-T74 که در هر دو مدل فاصله بار انفجاری از روی سطح پانل ۲۰ سانتی متر ثابت بوده و فقط میزان بار انفجاری تغییر داده و به این نتیجه رسیدیم که با افزایش ۱۰۰ درصدی میزان بار انفجاری میزان ماکزیمم جابجایی ۱۲۳ درصد افزایش می یابد.
- ۳- همچنین با مقایسه دو مدل یاد شده میزان متوسط تنش وارده به کل سطح پانل با افزایش ۱۰۰ درصدی میزان بار انفجاری از ۱ به ۲ کیلوگرم به میزان تقریباً ۶۷ درصد افزایش یافته است.
- ۴- با توجه شکل های بدست آمده از نتایج در نمونه ها علاوه بر تغییر شکل پانل، در سخت کننده ها شاهد کماتش هستیم که در نمونه هایی که میزان بار انفجاری در فواصل نزدیک بیشتر بوده، کماتش جانبی سخت کننده ها قابل توجه بوده که هر چه از محل انفجار دور می شویم از این کماتش نیز کاسته می شود.
- ۵- بر خلاف نمونه M4-1Kg-S20-T46 که تعداد سخت کننده ها بیشتر و فاصله آنها کمتر بوده در نمونه M2-2Kg-S20-T113 که تعداد سخت کننده ها کاهش و فاصله آنها افزایش یافته است، کماتش جانبی سخت کننده ها قابل توجه تر بوده است.

## Investigation of the Performance of Sandwich Floor Under the Explosive Load by Finite Element Method

Naser Ahadi

Master of Civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University,  
Maragheh, Iran

Mohammad Ali Lotfollahi Yaghin\*

Professor of Structural Engineering, Maragheh University, Maragheh, Iran

### Abstract:

Nowadays, with the spread of explosive attacks on buildings in the world, a detailed study of the behavior of structures under the influence of explosive loads is a necessity. The explosion is a reaction in which the rate of burning material is carried out at a much higher rate than the sound speed, resulting in a very high temperature and pressure gradient generated and the shock wave is immediately generated and released at a very high speed. In this study, considering the importance of the subject, we examined the behavior of the panel sandwich ceilings under the canwep loads using Abqus 2016 software. In order to validate the results of the numerical examples, we first verified the results of a sample of the reference article and, after correctness of the results, we applied numerical modeling to six models and extracted the results in Excel software. In this research, numerical examples include two groups of roof panel sandwich panels that differ in interior hardening intervals. Both groups under the load of 1, 2 and 3 kg of TNT were located at a distance of 20 cm from the center of the roof and examined the impact of the explosive charge on the distribution of stress and displacements in the samples. As expected, according to the samples, the explosion of the explosive and the increase in distance from the surface of the panel reduced the amount of displacement and stresses on the panel, as well as the distance of the explosive from the surface of the panel and the increase in the amount of explosive material, displacement and The tension on the panel has also increased.

**Keywords:** Sandwich panels, stiffeners, stress distribution, the maximum displacement, canwep