



دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران – سازه

عنوان:

بررسی رفتار صفحات محافظ ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی تقویت شده با هسته های لانه
زنبوری تحت بارگذاری انفجاری

استاد راهنما:

دکتر حبیب سعید منیر

اساتید داور:

دکتر سعید تاروردیلو

دکتر حسین شوکتی

نگارش:

مهدیه عباسی

بهمن ۱۳۹۱

چکیده

امروزه احداث ساختمانهای فوق حساس ، وقوع حملات تروریستی و ابداع و گسترش وسایل حمل و نقل فوق سریع از جمله هواپیما، قطار، اتومبیل و ... و گسترش صنعت بسته بندی اشیاء حساس و ... همه و همه مهندسين را برآن داشته است تا با حساسیت خاصی به بررسی مسایل مربوط به ضربه پرداخته و به طراحی قطعات مقاوم مبادرت ورزند. در این میان استفاده از مصالحی که مقاومت بالایی داشته باشند می توانند در کاهش صدمه به سازه موثر واقع شوند.

فوم های فلزی دارای ساختاری متخلخل می باشند که ترکیبی از خواص جالب فیزیکی و مکانیکی را دارا بوده و استحکام بالا در عین وزن مخصوص خیلی کم از آن نمونه است. یکی از کاربرد های این مصالح در ساخت هسته ساندویچ پانل ها می باشد که رفتار مناسبی از خود در افزایش مقاومت این پانل ها نشان می دهند. در این میان پانل های ساندویچی لانه زنبوری نیز با توجه به مقاومت بالا نسبت به وزن پایین خود اهمیت فوق العاده ای در افزایش مقاومت پانل ها دارند. در سالهای اخیر تحقیقاتی در زمینه استفاده از فوم های فلزی و هسته های لانه زنبوری در ساندویچ پانل ها صورت گرفته است.

در این تحقیق رفتار صفحات محافظ ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی تقویت شده با هسته های لانه زنبوری بررسی گردیده است. برای این منظور سه نوع پانل ساندویچی مطرح گردیده است:

۱- پانل ساندویچی با لایه میانی هسته های لانه زنبوری

۲- پانل ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی

۳- پانل ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی تقویت شده با هسته های لانه زنبوری

نتایج نشان می دهد با تقویت پانل فومی با هسته های لانه زنبوری مقاومت پانل از مجموع مقاومت پانل با لایه میانی فوم فلزی و پانل با لایه میانی هسته های لانه زنبوری بیشتر می شود در ادامه تحقیق به بررسی تاثیر ضخامت دیواره لانه زنبوری و تعداد سلول های لانه زنبوری ضخامت فوم فلزی تاثیر نگهداری جانبی سلول های مجاور بر یک سلول و تاثیر بزرگ شدن ابعاد فوم با ثابت ماندن ضخامت پانل درمورد سه نوع پانل مطرح شده پرداخته شده است .

فهرست مطالب

فهرست جداول و شکل ها

چکیده

فصل اول : پیشگفتار

- ۲ ۱-۱ مقدمه
- ۲ ۲-۱ ضربه گیرها (جاذب های انرژی)
- ۳ ۳-۱ هدف این تحقیق
- ۳ ۴-۱ خلاصه فصول

فصل دوم : بارگذاری انفجاری

- ۵ ۱-۲ مقدمه
- ۵ ۲-۲ . امواج انفجاری
- ۶ ۳-۲ . انفجار زیر آب
- ۷ ۴-۲ . اثر انفجار بر سازه ها
- ۸ ۵-۲ . انفجارهای داخلی
- ۹ ۶-۲ . طراحی مقاوم در برابر انفجار
- ۹ ۱-۶-۲ . مدل یک درجه آزادی (SDOF)
- ۱۱ ۲-۶-۲ . روش های تخمین بارهای انفجاری
- ۱۱ ۱-۲-۶-۲ . راهنمای TM5-1300
- ۱۴ ۲-۲-۶-۲ . راهنمای TM5-855-1
- ۱۴ ۳-۲-۶-۲ . مدل بارگذاری انفجاری CONWEP
- ۱۶ ۴-۲-۶-۲ . روش ساده شده برای محاسبه بار انفجاری در نقطه ای بر بالای سطح زمین
- ۱۸ ۵-۲-۶-۲ . مدلسازی انفجار با استفاده از روش های عددی

فصل سوم : فوم های فلزی

۲۱	۱-۳ . مقدمه
۲۱	۲-۳ . تاریخچه فوم فلزی
۲۱	۱-۲-۳ . فرآیند اول
۲۱	۲-۲-۳ . فوم های سلول باز
۲۲	۳-۲-۳ . ورود عامل فومی
۲۲	۴-۲-۳ . فوم سازی به صورت مستقیم از طریق ذوب
۲۲	۳-۳ . فوم کردن فلزات دیگر
۲۳	۴-۳ . کاربردهای فومهای فلزی
۲۳	۱-۴-۳ . جذب کننده ضربه
۲۳	۲-۴-۳ . صنایع ساختمانی
۲۴	۳-۴-۳ . صنایع حمل و نقل
۲۵	۴-۴-۳ . صنایع ریخته گری
۲۶	۵-۴-۳ . ساندویچ پانل فومی
۲۷	۵-۳ . روشهای اصلی تولید فوم
۲۷	۱-۵-۳ . دسته اول
۲۷	۲-۵-۳ . دسته دوم
۲۷	۳-۵-۳ . دسته سوم
۲۷	۴-۵-۳ . دسته چهارم
۲۷	۶-۳ . بررسی منحنی تنش - کرنش فوم
۲۷	۱-۶-۳ . بررسی منحنی تنش - کرنش فشاری فوم و مکانیسم تحمل نیرو در آن
۲۸	۲-۷-۳ . بررسی منحنی تنش - کرنش کششی فوم و مکانیسم تحمل نیرو در آن
۲۹	۷-۳ . مقایسه فوم آلومینیومی با سایر مواد
	۸-۳ . مقایسه مشخصات فوم تولیدی جهاد دانشگاهی مشهد با کارخانه های تولید فوم آلومینیومی
۳۰	معتبردنیا

فصل چهارم : پانل های ساندویچی

۳۲	۴-۱ . مقدمه
۳۲	۴-۲ . مطالعات تئوری و آزمایشگاهی در زمینه پانل های ساندویچی
۳۳	۴-۲-۱ . پانل های ساندویچی با هسته ی فوم فلزی و هسته لانه زنبوری

فصل پنجم : معرفی نرم افزار و مدل سازی پانل ساندویچی

۳۸	۵-۱ . مقدمه
۳۹	۵-۲ . روش های آنالیز
۳۹	۵-۲-۱ . روش صریح دینامیکی - حدود پایداری
۴۰	۵-۳ . مدل رفتاری مصالح
۴۱	۵-۳-۱ . رفتار مصالح
۴۱	۵-۳-۱-۱ . خواص مصالح الاستیک
۴۱	۵-۳-۱-۲ . خواص مصالح غیرالاستیک
۴۱	۵-۳-۲-۱ . پلاستیسیته در فلزات شکل پذیر
۴۳	۵-۳-۲-۲ . اندازه گیری تنش و کرنش برای تغییر شکل های محدود
۴۳	۵-۳-۲-۳ . معرفی پلاستیسیته در ABAQUS
۴۴	۵-۴ . مدلسازی پانل ساندویچی با لایه میانی فوم تقویت شده با هسته های لانه زنبوری
۴۴	۵-۴-۱ . رسم هندسی
۴۵	۵-۴-۲ . انواع قطعه ی part
۴۶	۵-۴-۳ . تعریف ویژگی های ماده (property)
۴۶	۵-۴-۴ . مونتاژ (Assembly)
۴۷	۵-۴-۵ . تعیین نوع حل و مراحل حل step
۴۷	۵-۴-۶ . بخش تماس (Interaction)
۴۸	۵-۴-۷ . قیود و بارگذاری (Loading)
۴۹	۵-۴-۸ . مش بندی (Mesh Module)
۵۰	۵-۴-۹ . انواع مدل های تهیه شده
	۵-۵ . مدلسازی پانل ساندویچی با هسته های لانه زنبوری شش ضلعی و مقایسه نمودار

فصل ششم: نتایج تحلیل مدل ها

- ۵۴ ۱-۶. مقدمه
- ۵۵ ۲-۶. بررسی پانل های ساندویچی با لایه میانی هسته های لانه زنبوری (H)
- ۵۵ ۱-۲-۶. پانل 30×30 لانه زنبوری ۴ سلولی با ضخامت های متفاوت دیواره ی لانه زنبوری
- ۵۶ ۲-۲-۶. پانل 30×30 لانه زنبوری با تعداد سلولهای متفاوت
- ۵۷ ۳-۶. پانل 30×30 با لایه میانی فوم فلزی (F) با ضخامت متفاوت
- ۶۱ ۴-۶. پانل ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی تقویت شده با هسته های لانه زنبوری (FH)
- ۶۳ ۱-۴-۶. پانل 30×30 (FH) با ضخامت متفاوت پانل
- ۶۶ ۱-۴-۶. پانل 30×30 (FH) با ضخامت متفاوت دیواره لانه زنبوری
- ۷۰ ۲-۴-۶. پانل 30×30 (FH) با تعداد متفاوت سلول های لانه زنبوری
- ۷۳ ۳-۴-۶. تاثیر نگهداری جانبی سلول های مجاور بر یک سلول در پانل 30×30 (FH)
- ۷۵ ۴-۴-۶. تاثیر بزرگ شدن ابعاد فوم با ثابت ماندن ضخامت پانل (FH)

فصل هفتم: نتایج و پیشنهادات

- ۸۰ ۱-۷. مقدمه
- ۸۱ ۲-۷. نتایج
- ۸۱ ۳-۷. پیشنهادات
- ۸۲ منابع

عنوان و صفحه شکل ها

فصل دوم

- شکل (۱-۲) تاریخچه زمانی فشار انفجار ۵
- شکل (۲-۲) بارگذاری انفجاری بر سازه ۸
- شکل (۳-۲) تاریخچه زمانی فشار داخلی در ساختمان ۹
- شکل (۴-۲) سیستم یک درجه آزادی میرا ۱۰
- شکل (۵-۲) منحنی پاسخ دینامیکی ۱۰
- شکل (۶-۲) پارامترهای موج ضربه ای در فاز مثبت برای انفجار سطحی نیمکره ای TNT ۱۳

شکل (۷-۲) تاریخچه زمانی فشار برخوردی و انعکاس یافته محاسبه شده توسط برنامه

CONWEP

۱۵

- شکل (۸-۲) هندسه یک مدل ساده بلوک ۱۶
- شکل (۹-۲) ضریب فشار انعکاس یافته در مقابل زاویه برخوردی ۱۷
- شکل (۱۰-۲) اثر انفجار بر ساختمان بنایی در زمان های متوالی (محاسبه شده توسط برنامه AUTODYN-3D) ۱۹

فصل سوم

- شکل (۱-۳) استفاده از فوم آلومینیومی در تولید کف پوش های سبک ۲۴
- شکل (۲-۳) استفاده از فوم آلومینیومی در ضربه گیر سپر خودرو ۲۵
- شکل (۳-۳) استفاده از فوم آلومینیومی در صنایع ریخته گری ۲۶
- شکل (۴-۳) پانل ساندویچی با هسته ۲۶
- شکل (۵-۳) منحنی تنش-کرنش فوم تحت نیروی فشار ۲۸
- شکل (۶-۳) منحنی تنش-کرنش فوم تحت نیروی کشش ۲۹

فصل چهارم

- شکل (۱-۴) دو نوع فوم فلزی آزمایش شده توسط Theobald و همکارانش ۳۳

- شکل (۲-۴) a و b تغییر شکل فوم Alpores و C-d تغییر شکل فوم Cymat ۳۴
- شکل (۳-۴) a و b تغییر شکل هسته لانه زنبوری با ضخامت ۱۳ mm ۳۴
- شکل (۴-۴) مدل Burlayenko و همکاران ۳۵
- شکل (۵-۴) مقایسه ی مدل آزمایشگاهی و مدل المان محدود Honing و Stronge ۳۶

فصل پنجم

- شکل (۱-۵) رابطه تنش - کرنش برای مصالح الاستیک خطی در کرنش های کوچک ۴۲
- شکل (۲-۵) رابطه تنش - کرنش اسمی مصالح الاستو پلاستیک در آزمایش کششی ۴۲
- شکل (۳-۵) تفکیک کرنش کل به کرنش های الاستیک و پلاستیک ۴۴
- شکل (۴-۵) منحنی تنش - کرنش فوم ۴۶
- شکل (۵-۵) مراحل مونتاژ ۴۷
- شکل (۶-۵) اعمال شرایط مرزی ۴۸
- شکل (۷-۵) نمونه ای از مش بندی انجام گرفته روی مدل ۵۰
- شکل (۸-۵) مدل سازی انجام شده در Abaqus ۵۱
- شکل (۹-۵) نمودار نتایج آزمایش Theobald و همکاران ۵۱
- شکل (۱۰-۵) نمودار نیرو-تغییر مکان مدل سازی انجام شده (سطح مقطع: $3/6 \text{ mm}^2$) ۵۲

فصل ششم

- شکل (۱-۶) نمودار مقایسه ای پانل H با دیواره لانه زنبوری ۲ و ۴ و ۶ میلی متر ۵۵
- شکل (۲-۶) مدل تغییر شکل یافته پانل H ۵۶
- شکل (۳-۶) نمودار مقایسه ای سه مدل پانل لانه زنبوری ۵۶
- شکل (۴-۶) مدل تغییر شکل یافته پانل H ۵۷
- شکل (۵-۶) نمودار مقایسه ای چهار مدل پانل با لایه میانی فوم ۵۸
- شکل (۶-۶) مدل تغییر شکل یافته پانل F ۵۸
- شکل (۷-۶) نمودار مقایسه ای Dissipated Energy کل مدل برای پانل F با ضخامت های ۴ و ۶ و ۸ سانتی متر ۵۹
- شکل (۸-۶) نمودار مقایسه ای جابجایی مرکز پانل F با ضخامت های ۴ و ۶ و ۸ سانتی متر ۶۰
- شکل (۹-۶) مدل تغییر شکل یافته پانل F ۶۰
- شکل (۱۰-۶) نمودار مقایسه ای سه پانل FH, H, F ۶۱

- شکل (۶-۱۱) نمودار مقایسه ای Dissipated Energy کل مدل برای پانل FH و F ۶۲
- شکل (۶-۱۲) نمودار مقایسه ای جابجایی مرکز پانل برای پانل FH و F ۶۲
- شکل (۶-۱۳) نمودار مقایسه ای سه مدل پانل FH با ضخامت های ۴ و ۶ و ۸ سانتی متر ۶۳
- شکل (۶-۱۴) مدل تغییر شکل یافته پانل FH ۶۴
- شکل (۶-۱۵) نمودار مقایسه ای Dissipated Energy کل مدل برای پانل FH با ۶۴
ضخامت ۴ و ۶ و ۸ سانتی متر
- شکل (۶-۱۶) نمودار مقایسه ای جابجایی مرکز پانل FH با ضخامت ۴ و ۶ و ۸ سانتی متر ۶۵
- شکل (۶-۱۷) مدل تغییر شکل یافته پانل FH با لانه زنبوری ۶ سلولی تحت بار انفجاری ۶۶
- شکل (۶-۱۸) نمودار مقایسه ای پانل FH با دیواره لانه زنبوری ۲ و ۴ و ۶ میلی متر ۶۶
- شکل (۶-۱۹) مدل تغییر شکل یافته پانل FH برای ضخامت ۶ میلی متر دیواره لانه زنبوری ۶۷
- شکل (۶-۲۰) نمودار مقایسه ای Dissipated Energy کل مدل برای پانل با ضخامت دیواره ۶۸
لانه زنبوری ۲ و ۴ و ۶ میلی متر
- شکل (۶-۲۱) نمودار مقایسه ای جابجایی مرکز پانل برای پانل های با ضخامت دیواره ۶۹
لانه زنبوری ۲ و ۴ و ۶ میلی متر
- شکل (۶-۲۲) مدل تغییر شکل یافته پانل FH تحت بار انفجاری ۷۰
- شکل (۶-۲۳) نمودار مقایسه ای پانل FH با لانه زنبوری ۶ و ۱۵ و ۲۵ سلولی ۷۰
- شکل (۶-۲۴) مدل تغییر شکل یافته پانل FH ۲۵ سلولی ۷۱
- شکل (۶-۲۵) نمودار مقایسه ای Dissipated Energy پانل ۳۰×۳۰ با لانه زنبوری ۴ و ۹ و ۱۵ و ۲۵ سلولی ۷۲
- شکل (۶-۲۶) نمودار مقایسه ای جابجایی مرکز پانل ۳۰×۳۰ با لانه زنبوری ۴ و ۹ و ۱۵ و ۲۵ سلولی ۷۲
- شکل (۶-۲۷) مدل تغییر شکل یافته پانل FH با لانه زنبوری ۹ سلول تحت بار انفجاری ۷۳
- شکل (۶-۲۸) نمودار نیرو-تغییر مکان یک سلول از لبه کناری پانل ۳۰×۳۰ سانتی متر ۷۴
- شکل (۶-۲۹) نمودار نیرو-تغییر مکان برای یک سلول در حالتی که به مجاورت آن سلول های دیگری به همان اندازه اضافه شده است. ۷۴
- شکل (۶-۳۰) نمودار مقایسه ای یک سلول در دو حالت فوق ۷۵
- شکل (۶-۳۱) نمودار مقایسه پانل های ۳۰×۳۰ و ۶۰×۶۰ ۷۶
- شکل (۶-۳۲) نمودار مقایسه Dissipated Energy پانل ۳۰×۳۰ و ۶۰×۶۰ ۷۶
- شکل (۶-۳۳) نمودار مقایسه ای جابجایی مرکز پانل ۳۰×۳۰ و ۶۰×۶۰ ۷۷
- شکل (۶-۳۴) مدل تغییر شکل یافته پانل ۶۰×۶۰ تحت بار انفجاری ۷۸

عنوان و صفحه جداول

فصل دوم

- ۱۵ جدول (۱-۲) نتایج برنامه CONWEP برای بار انفجاری ناشی از 100 کیلوگرم TNT در فاصله 15 متری

فصل سوم

- ۲۹ جدول (۱-۳) مقایسه دانسیته و مدول الاستیسیته فوم آلومینیومی با سایر مواد صنعتی
- ۳۰ جدول (۲-۳) مقایسه گستره خواص فوم آلومینیومی تولیدی با فوم های آلومینیومی مشابه

فصل پنجم

- ۴۶ جدول (۱-۵) مشخصات مواد استفاده شده در مدل ها

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱. مقدمه

وقوع حوادث مختلف تروریستی، حملات هوایی و وجود سازه های حساس از جمله تاسیسات هسته ای و نظامی و تهدید به حملات نظامی و همچنین ابداع وسایل حمل و نقل با سرعت بالا از جمله اتومبیل، قطار و هواپیما و لزوم گسترش صنعت بسته بندی ابزار خاص و حساس به ضربه، همه و همه مهندسی را بر آن داشته است تا با حساسیت خاصی به مطالعه ی بحث ضربه و انفجار پرداخته و متناسب با آن به طراحی ضربه گیرها و جاذب های انرژی ضربه مبادرت ورزند. در این میان پانل های ساندویچی لانه زنبوری با توجه به مقاومت بالا نسبت به وزن پایین خود دارای اهمیت فوق العاده ای می باشند و در قسمت های مختلف بدنه ی هواپیما، کشتی و زیردریایی مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین یکی از مصالحی که دارای پتانسیل های مناسبی در کاهش صدمات حاصل از ضربه و انفجار و توانای جذب انرژی های آزاد شده در انفجار را دارا می باشد، خانواده ای از مواد نو و پیشرفته با نام فوم های فلزی می باشند. این مواد دارای خواصی مانند چگالی کم، نسبت استحکام به وزن بالا، عایق بودن صوت و حرارت و خواص ویژه دیگر می باشند. جمع شدن این خواص منحصر بفرد در این مصالح باعث استفاده روز افزون از این محصول شده است. از دیگر کاربردهای فوم های فلزی می توان به صنایع هوا فضا، خودرو سازی، الکترودهای باطری، کاربرد های الکتروشمیایی، تصفیه آب، عایق های صوتی و غیره اشاره نمود.

با استفاده از این مواد در هسته ساندویچ پانلها می توان در بهترین حالت از خواص استثنایی این مواد بهره برد. با توجه به جدید بودن ساندویچ پانل های ساخته شده با هسته ای تشکیل شده از فوم های فلزی و لانه زنبوری زمان زیادی از تحقیقات در مورد این پانل ها نمی گذرد و در بسیاری از جنبه ها نیاز به بررسی بیشتر این پانل ها احساس می شود.

۱-۲. ضربه گیرها (جاذب های انرژی)

ضربه گیرها یا جاذب های انرژی وسیله هایی هستند که انرژی جنبشی را به فرم دیگری از انرژی تبدیل می کنند. بعنوان مثال، انرژی فشاری در سیالات، انرژی الاستیک در جامدات و انرژی پلاستیک در جامدات تغییر شکل پذیر و در همه ی این موارد اولین پدیده ی قابل مشاهده کاهش ضربه با توزیع بار در یک بازه ی زمانی محدود است. در این بین پانل های ساندویچی لانه زنبوری دارای مقاومت بالایی نسبت به وزن خود بوده و خواص جذب انرژی خوبی از خود نشان می دهند. در مورد پانل های ساندویچی با هسته فوم فلزی و لانه زنبوری تحقیقاتی انجام گردیده است در همه تحقیقات انجام شده تمرکز بر روی پانل ساندویچی با هسته فومی و یا هسته لانه زنبوری بصورت جداگانه است.

۳-۱. هدف این تحقیق

هدف این تحقیق بررسی رفتار صفحات محافظ ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی تقویت شده با هسته های لانه زنبوری تحت بارگذاری انفجاری است برای این منظور سه نوع پانل ساندویچی مطرح گردیده و مورد مطالعه قرار گرفته است .

۱- پانل ساندویچی با لایه میانی لانه زنبوری

۲- پانل ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی

۳- پانل ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی تقویت شده با هسته های لانه زنبوری

که در مورد پانل ساندویچی با لایه میانی لانه زنبوری به بررسی تاثیر ضخامت لانه زنبوری و تعداد سلول های لانه زنبوری و در مورد پانل های لانه زنبوری با لایه میانی فوم فلزی به بررسی تاثیر ضخامت فوم فلزی و در مورد پانل ساندویچی با لایه میانی فوم فلزی تقویت شده با هسته های لانه زنبوری به بررسی تاثیر ضخامت پانل، ضخامت لانه زنبوری و تعداد سلول های لانه زنبوری و تاثیر نگهداری جانبی سلول های مجاور بر یک سلول پرداخته شده است .

۴-۱. خلاصه فصول

این تحقیق در هفت فصل ارائه گردیده است . بعد از مقدمه در فصل اول ، در فصل دوم به بارگذاری انفجاری اشاره شده است و در فصل سوم به بررسی فوم های فلزی پرداخته شده است و اطلاعاتی در مورد خصوصیات مکانیکی این مصالح و همچنین کاربردهای این مصالح در صنایع مختلف شرح داده شده است و در انتها خواص مکانیکی فوم آلومینیمی تولیدی جهاد دانشگاهی مشهد و همچنین دامنه خواص مکانیکی که این گروه قادر به تولید آن می باشند آورده شده است. در فصل چهارم خلاصه ای از تحقیقات گذشته در مورد رفتار پانل های ساندویچی با هسته های لانه زنبوری و فوم های فلزی بیان شده است . در فصل پنجم به معرفی نرم افزار ABAQUS و نحوه مدلسازی اشاره گردیده و در ادامه به مدلسازی پانل ساندویچی موضوع Theobald و همکاران [۱] پرداخته شده است و ملاحظه می کنیم که نتایج بدست آمده با نتایج Theobald و همکاران مطابقت می نماید. در فصل ششم به بحث و بررسی نتایج تحلیل مدل ها پرداخته شده و در فصل هفتم خلاصه ای از نتایج مهم این تحقیق و پیشنهادات برای تحقیقات آینده مطرح گردیده است .

فصل دوم

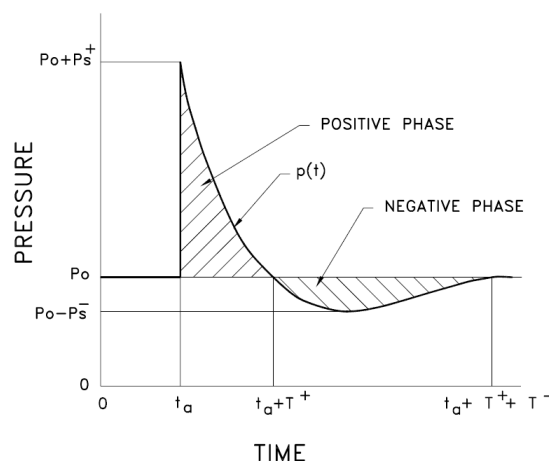
بارگذاری انفجاری

۲-۱ مقدمه

انفجارها می توانند ناشی از حوادث فیزیکی، هسته ای یا شیمیایی باشند. یک نمونه رایج برای انفجار فیزیکی، خرابی مخازن تحت فشار می باشد. تغییر ساختار هسته اتم، منجر به انفجارهای هسته ای می شود، و مقادیر زیاد انرژی می تواند در زمان کوتاهی با گسستن پیوند بین پروتون ها و نوترون ها آزاد شود. در شکافت هسته ای، هسته اتم های سنگین متلاشی شده و در هم جوشی هسته ای، هسته اتم های سبک ترکیب می شوند. در انفجارهای هسته ای انرژی جنبشی، انرژی داخلی و انرژی حرارتی ایجاد می شود. اکسیداسیون سریع اجزای سوخت منجر به انفجار شیمیایی می شود. این واکنش، حرارت و گاز تولید می کند که گسترش می یابد. مواد منفجره ضعیف ایجاد بارهای استاتیکی می کند، ولی مواد منفجره قوی در محیط اطراف مثل هوا یا آب، امواج انفجاری ایجاد می کند. انفجار، گازهایی با فشار و دمای بالا آزاد می کند که این گازها گسترش می یابد و بر محیط اطراف فشار وارد می کند. محیط فشرده شده، سبب تشکیل جبهه موج می شود، این جبهه موج به صورت شعاعی گسترش می یابد [۲]. زمانی که گازها سرد می شوند، حرکت آنها کند می شود و میزان اضافه فشار در جبهه موج کاهش می یابد. بعد از کاهش فشار، دوباره محیط به فشار اتمسفر باز می گردد. هوای پشت جبهه موج بر اشیای برخوردی، نیروی دراگ وارد می کند.

۲-۲. امواج انفجاری

شکل کلی موج ضربه ای در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. فاکتورهای مهمی که فشار انفجار را توصیف می کنند عبارتند از: فشار حداکثر، مدت زمان، چگالی هوای پشت جبهه موج، سرعت جبهه موج، مقدار ضربه و...



شکل (۲-۱) تاریخچه زمانی فشار انفجار

روش های متعددی برای محاسبه سرعت جبهه موج U_s ، فشار دینامیکی حداکثر q_s و چگالی هوای پشت جبهه موج ρ_s بر اساس اضافه فشار، فشار اتمسفر و سرعت صوت در فشار اتمسفر وجود دارد. در معادلات زیر، نمونه‌ای از این روش ها نشان داده شده است [۳]:

$$U_s = \sqrt{\frac{6p_s + 7p_o}{7p_o}} \cdot a_o \quad (1-2)$$

$$\rho_s = \frac{6p_s + 7p_o}{p_s + 7p_o} \cdot \rho_o \quad (2-2)$$

$$q_s = \frac{5p_s^2}{2(p_s + 7p_o)} \quad (3-2)$$

که p_s اضافه فشار استاتیکی، p_o فشار هوای اتمسفر در جلوی موج انفجاری، ρ_o چگالی هوا جبهه موج انفجار و a_o سرعت صوت در فشار هوای اتمسفر می باشد.

اضافه فشار به فاکتور مهمی موسوم به فاصله مقیاس بندی شده Z مرتبط می باشد. فاصله مقیاس بندی شده با فاصله از ماده منفجره نسبت مستقیم و ریشه جرم ماده منفجره نسبت عکس دارد.

$$Z = R/W^{1/3} \quad (4-2)$$

که R فاصله از منبع انفجار و W جرم خرج ماده منفجره بر حسب TNT می باشد. معمولاً جرم ماده منفجره بر حسب TNT بیان می شود و سایر انواع مواد منفجره به این نوع ماده منفجره تبدیل می شود، هرچه فاصله افزایش یابد، ماکزیمم فشار امواج انفجاری کاسته می شود. زمانی که موج انفجاری به سطحی برخورد می کند، اضافه فشار افزایش می یابد. اضافه فشار در انفجار سطحی تقریباً دو برابر انفجار آزاد در هوا می باشد.

۲-۳. انفجار زیر آب

در انفجار زیر آب نیز انرژی انفجار تابعی از وزن مواد منفجره و فاصله می باشد. تاریخچه زمانی فشار در هر نقطه با رابطه تجربی زیر بیان می شود:

$$P(t) = P_0 e^{-(t-t_d)/\theta} \quad 0 \leq t \leq \theta \quad (5-2)$$

برای مواد منفجره TNT، حداکثر فشار P_0 و ضریب استهلاک θ به صورت زیر بیان می شود:

$$P_0 = 52.16 \times 10^6 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{1.13} \quad (6-2)$$

$$\theta = 92.5 \times W^{1/3} \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{-0.22} \quad (7-2)$$

$P(t)$ فشار بر حسب Pa در هر لحظه از زمان t بر حسب μs می باشد. P_0 حداکثر فشار جبهه موج، θ ضریب استهلاک بر حسب μs ، W وزن ماده منفجره بر حسب kg، $t_d = (R - R_0)/c$ تاخیر زمانی بر حسب μs ، R فاصله بر حسب m، R_0 کوتاهترین فاصله شعاعی و c سرعت صوت در آب بر حسب m/s می باشد. فشار حداکثر بر صفحه در زیر آب با در نظر گرفتن اندرکنش سیال-سازه با رابطه زیر بیان می شود:

$$P_i = 2 \times P(t) - (\rho c v(t) / \sin \phi) \quad (8-2)$$

که

$$v(t) = \frac{2P_0}{\rho c} \frac{1}{z-1} \{e^{(-t/z\theta)} - e^{(-t/\theta)}\} \quad (9-2)$$

$$z = \frac{m}{\rho c \theta} \quad (10-2)$$

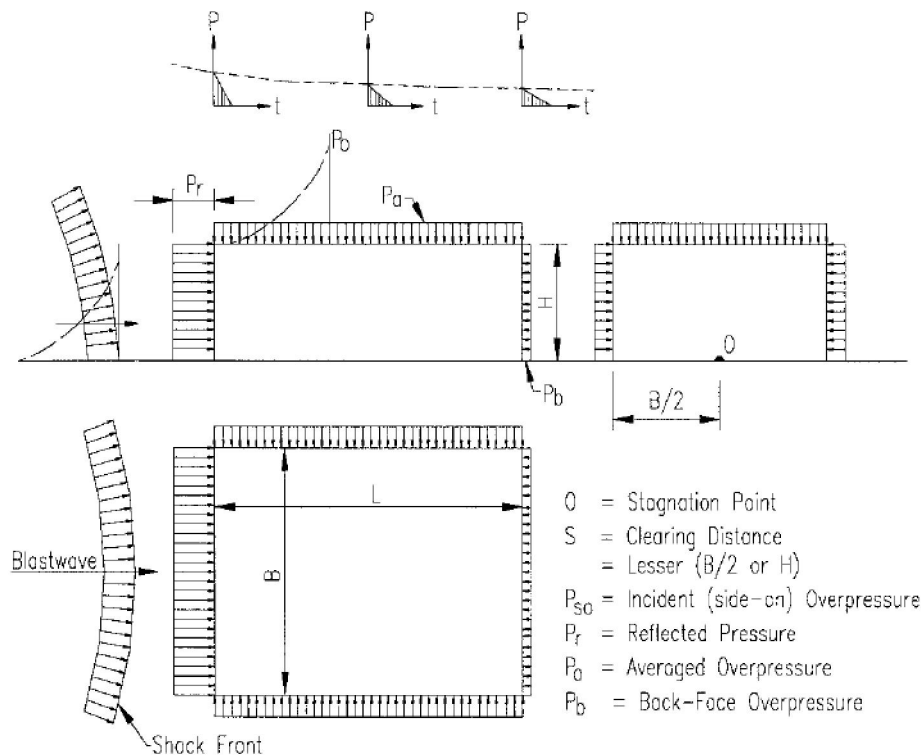
$$\phi = \sin^{-1}(R_0 / R) \quad (11-2)$$

P_i فشار کل بر حسب Pa در صفحه در زمان t ، ρ چگالی سیال بر حسب kg/m^3 ، m جرم واحد سطح، z نسبت جرم مشخصه، $v(t)$ سرعت بر حسب m/s و ϕ زاویه برخوردی می باشد. در آنالیزهای المان محدود، فشار محاسبه شده با معادله (8-2) بر مرکز پانل اعمال می شود و با فرض گسترش کروی، تغییرات فشار در صفحه تخمین زده می شود [4].

۲-۴. اثر انفجار بر سازه ها

سه نوع وضعیت بارگذاری برای اثر انفجار بر سازه ها قابل بیان است [2]. در نوع اول، موج ضربه ای نسبتاً بزرگ به یک سازه نسبتاً کوچک برخورد می کند، و موج انفجاری سازه را احاطه می کند. همچنین یک نیروی دراگ به دلیل حرکت سریع باد پشت موج انفجاری بر سازه وارد می شود، ولی سازه در مقابل حرکت مقاومت می کند.

نوع دوم، شامل یک موج نسبتاً بزرگ و سازه های کوچکتر از حالت قبلی می باشد. در این حالت، جسم به قدر کافی کوچک می باشد و توسط نیروی دینامیکی دراگ جابجا می شود. در حالت آخر، موج انفجار کوچک و سازه خیلی بزرگ می باشد. به جای بارگذاری همزمان اعضا، هر عضو به طور مجزا بارگذاری می شود. در این حالت، وجه جلویی ساختمان با اضافه فشار انعکاس یافته بارگذاری می شود.



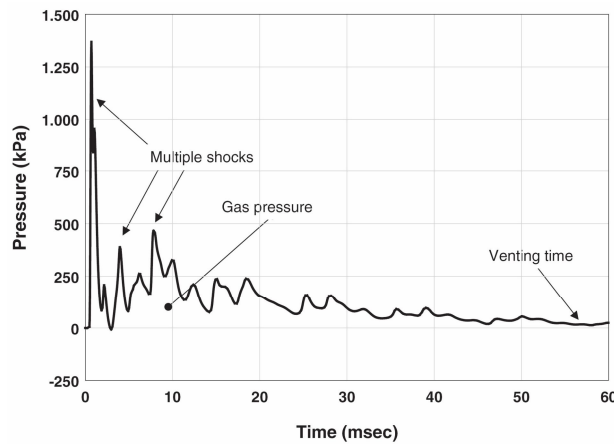
شکل (۲-۲) بارگذاری انفجاری بر سازه

فشار انعکاسی زمانی رخ می دهد که موج انفجاری به مصالحی با چگالی بیشتر از چگالی محیط انتشار برخورد کند. در این حالت، مولکول های هوا توسط این مصالح متوقف می شود و با جبهه موج پشت سر خود فشرده می شود. این فشار انعکاس یافته با گذشت زمان مستهلک می شود. بام و وجوه کناری ساختمان با فشار موج برخوردی (نه انعکاسی) بارگذاری می شود (شکل ۲-۲). پس از عبور موج از بام و کناره ها، فشار به پشت ساختمان می رسد. برای این وجه نیز باید اثرات انعکاس در نظر گرفته شود. علاوه بر این اضافه فشار، نیروی دراگ نیز بر سازه وارد می شود.

۲-۵. انفجارهای داخلی

زمانی که انفجار در داخل یک ساختمان اتفاق می افتد، وجود دیوارها و سقف، تعداد اندر کنش های موج انفجار با سازه را به طور قابل توجهی افزایش می دهد. چندین انعکاس اتفاق می افتد و امواج زیادی با هم آمیخته می شوند و در گوشه ها و سایر مجراهای باریک سبب تشدید می شود. بزرگترین اختلاف بین انفجار داخلی و خارجی به دلیل وجود فشار شبه استاتیکی گاز^۱ می باشد. مواد منفجره متراکم، تقریباً هزار برابر غلیظ تر از هوا هستند. بسته به مقدار نسبی جرم ماده منفجره و حجم ساختمان، فشار گاز ممکن است بارگذاری غالب المان های سازه ای باشد.

چون ساختمان های معمولی (برخلاف ساختمان های مخزنی) در، پنجره، داکت و ... دارند، اجازه می دهند گاز به اتاق های مجاور یا بیرون تخلیه شود و فشار گاز ثابت نخواهد بود. در هر حال استهلاک فشار در مقیاس زمانی بسیار بزرگتر از زمان انعکاس های شوک انفرادی می باشد و زمان کلی بسیار بزرگتر از زمان پاسخ المان های بارگذاری شده ساختمان می باشد. به همین دلیل به آن فشار شبه استاتیکی گاز می گویند [۵]. یک نمونه از تاریخچه زمانی فشار انفجار داخلی در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) تاریخچه زمانی فشار داخلی در ساختمان

۲-۶. طراحی مقاوم در برابر انفجار

طراحی مقاوم در برابر بارهای انفجاری شامل مراحل زیر می باشد: تعیین نوع خطر، محاسبه بارهای طراحی برای این خطر، تحلیل رفتار سازه و انتخاب سیستم سازه ای، طراحی اعضای سازه و ترمیم سازه های موجود. در ادامه به مدل یک درجه آزادی اشاره شده است که ساده ترین مدل برای طراحی مقاوم در برابر انفجار می باشد

۲-۶-۱. مدل یک درجه آزادی (SDOF)

ساده ترین مدل برای طراحی مقاوم در برابر انفجار بر اساس مدل یک درجه آزادی می باشد (شکل ۲-۴). در این روش، سازه یا عضو سازه ای با یک مدل یک درجه آزادی ایده آل سازی می شود. معادله حرکت برای یک سیستم الاستیک خطی یک درجه آزادی میرا به صورت زیر بیان می شود [۶]:

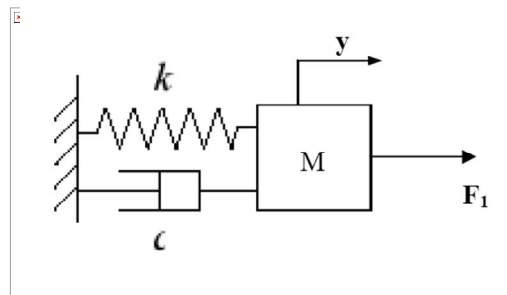
$$M\ddot{y} + ky + c\dot{y} = F_1[f(t)] \quad (۲-۱۲)$$

که M جرم سازه، k سختی سازه، F_1 مقدار نیروی ثابت و $\ddot{f}(t)$ تابع بدون بعد بار- زمان می باشد. برای سادگی، ضریب میرایی صفر فرض می شود. حل این معادله با استفاده از روش انتگرال دوهمامل بدست می آید:

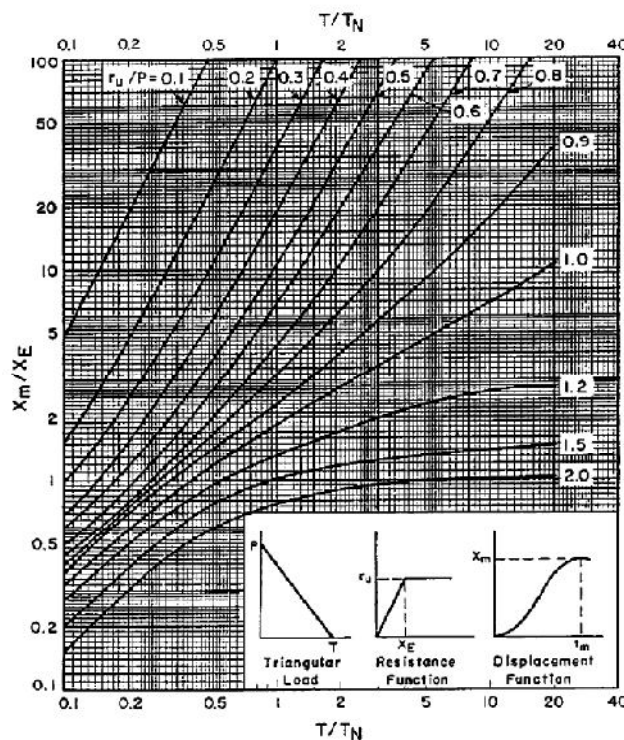
$$y = y_o \cos \omega t + \frac{\dot{y}_o}{\omega} \sin \omega t + y_{st} \int_0^t f(\tau) \sin \omega(t-\tau) d\tau \quad (13-2)$$

که y_o تغییرمکان اولیه، \dot{y}_o سرعت اولیه، $\omega = \sqrt{k/M}$ سرعت زاویه ای، $y_{st} = F_1/k$ تغییرمکان استاتیکی و $f(\tau)$ تابع بدون بعد بار-زمان می باشد.

دو روش مدل یک درجه آزادی برای خطرات انفجاری استفاده شده است. در روش اول که در راهنماهایی مثل TM 5-855-1 استفاده شده است، پریود سازه برابر مود اول ارتعاش در نظر گرفته می شود و سپس از منحنی های نرمالیزه برای محاسبه ماکزیمم تغییرمکان برای بارگذاری های دینامیکی مختلف استفاده می شود. رایج ترین بار دینامیکی استفاده شده بار مثلثی می باشد.



شکل (۲-۴) سیستم یک درجه آزادی میرا



شکل (۲-۵) منحنی پاسخ دینامیکی ایده آل برای بارگذاری مثلثی [۷]