

انفجار و اثر آن بر سازه‌ها

نویسندگان:

آرش منظم دانشجوی دکتری مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

محمد فردوسی کارشناس ارشد مواد پیرانرژی

حامد عنایتی دانشجوی دکتری مهندسی عمران دانشگاه تهران



سازمان صنایع دفاع

معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری

کلیه حقوق محفوظ و متعلق به سازمان صنایع دفاع است.

هر نوع تکثیر یا نشر تمام یا بخش‌های مستقلی از این کتاب، منوط به اجازه‌ی کتبی ناشر است.

سرشناسه : منظم، آرش
 عنوان و نام پدیدآور : انفجار و اثر آن بر سازه‌ها/ نویسندگان آرش منظم، محمد فردوسی، حامد عنایتی ؛
 [برای] سازمان صنایع دفاع، معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری ؛ نظارت
 پژوهشکده اندیشه دفاعی، گروه پژوهشی آینده‌نگاری علوم و فناوری‌های دفاعی.
 مشخصات نشر : تهران: شرکت پیشرو فناوری قائد، ۱۳۹۳.
 مشخصات ظاهری : ب، ۲۶۱ ص: مصور(رنگی)، جدول، نمودار.
 شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۷۷۴۹-۰۵-۰ ۲۵۰۰۰۰ ریال
 موضوع : ساختمان‌ها — اثر انفجار، سازه‌های بتنی — اثر انفجار
 شناسه افزوده : عنایتی، حامد، ۱۳۶۵ -
 شناسه افزوده : سازمان صنایع دفاع، معاونت آموزش، تحقیقات و توسعه فناوری
 شناسه افزوده : موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، پژوهشکده اندیشه دفاعی، گروه
 پژوهشی آینده‌نگاری علوم و فناوری‌های دفاعی
 رده‌بندی کنگره : ۱۳۹۳ الف۸/م۸-۹۷/TH۱
 رده‌بندی دیویی : ۶۹۳/۸۵۴ شماره کتابشناسی ملی: ۳۷۳۵۶۰۲

عنوان: انفجار و اثر آن بر سازه‌ها

نویسندگان: آرش منظم، محمد فردوسی، حامد عنایتی
 صاحب امتیاز و پدیدآورنده: معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری سازمان صنایع دفاع
 نظارت: پژوهشکده اندیشه دفاعی، گروه پژوهشی آینده‌نگاری علوم و فناوری‌های دفاعی
 ناشر: انتشارات شرکت پیشرو فناوری قائد
 نوبت چاپ: اول- زمستان ۱۳۹۳
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۷۴۹-۰۵-۰
 تیراژ: ۲۰۰ جلد
 قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان

مرکز توزیع و بخش:

تهران، بالاتر از چهارراه پاسداران، سه‌راه اختیاریه، سازمان صنایع دفاع، معاونت علوم، تحقیقات و
 توسعه فناوری www.idea-sasad.ir ۲۲۷۷۱۲۲۳-۲۱
 تهران، نارمک، بالاتر از میدان نبوت (هفت حوض)، خیابان کیانی ثابت، مجتمع تجاری کیش، طبقه نشیم،
 واحد ۱۱، انتشارات شرکت پیشرو فناوری قائد ۷۷۲۴۱۰۱۴-۲۱

پیش‌گفتار

مسئله‌ی پیشرفت علمی و ارتباط علم با فناوری را در کشور جدی بگیرید؛ یعنی نسبت به این مسئله واقعاً هیچ کوتاهی صورت نگیرد. این مسئله، مسئله‌ی اساسی ما است؛ یکی از اصلی‌ترین، اساسی‌ترین و فوری‌ترین مسائل ما است. از بیانات مقام معظم رهبری (مدظله العالی) (۹۳/۴/۱۱)

توجه به ظرفیت‌های تولید درون‌زای علم و دانش بر پایه تحقیق و توسعه موجب نوآوری و خلق محصولات و فناوری‌های توانمندساز به‌عنوان عامل پیشران حرکت صنایع دانش‌بنیان خواهد شد.

محققان به‌عنوان سرمایه‌های انسانی دانش‌مدار، رکن اساسی تحقیق و توسعه و کانون تولید دانش و فناوری محسوب شده و نقش اساسی را در شکستن مرزهای دانش و نوآوری و کشف راه‌های میان‌بر توسعه علم و فناوری و در نهایت خلق شایستگی و کسب اقتدار بر عهده دارند و بدون وجود زیرساخت‌های لازم برای مدیریت اثربخش محققان و نخبگان، حرکت در مسیر چشم‌انداز صنایع بسیار کند خواهد بود.

از این رو معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری ضمن ارج نهادن به محققین دانش با حمایت از آثار مولفین و مترجمین و انتشار دستاوردهای با ارزش آنان گامی موثر در ترویج و توسعه دانش برداشته است. بدون تردید رهیافت‌های این عمل پسندیده، آموزه‌های گرانقدری

را برای غنا بخشیدن به اندوخته‌های نظری و بهبود رویکردهای علمی در اختیار محققین و بهره‌برداران قرار خواهد داد.

اقدامات تروریستی در سال‌های اخیر، طراحان و مجریان را بر آن داشته تا راهکارهایی مناسب برای مقاوم کردن سازه‌ها در برابر حملات ضربه‌ای و انفجاری به کار بندند. مواجهه با این اقدامات نیازمند پاسخ‌های پویا در طراحی سازه‌ها می‌باشد. این روش‌ها مستلزم انعطاف‌پذیری در طراحی سازه‌ها و افزایش رویکردهای ایمنی و حفاظتی سازه است. این کتاب بر روی آثار حملات تروریستی و نظامی به مراکز و سازه‌های راهبردی می‌پردازد و تلاش دارد تا راهکارهایی جهت افزایش ایمنی این سازه‌ها و کاهش خسارات جانی و مالی ارائه نماید.

در پایان، معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری بر خود لازم می‌داند تا از همهی پژوهشگران و محققانی که با رهنمودها و توصیه‌های ارزشمند خود بر غنای کتاب افزوده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر نماید.

معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری

فهرست مطالب

۱- مقدمه.....	۱۳
۲- انفجار.....	۱۴
۳- انواع انفجار.....	۱۴
۳-۱ انفجار در اثر تغییرات شیمیایی.....	۱۴
۳-۲ انفجار بر اثر تغییرات فیزیکی.....	۱۵
۳-۳ انفجار بر اثر تغییرات اتمی.....	۱۶
۴- انواع مواد منفجره و محترقه.....	۱۶
۵- مقاومت سازی سازه‌ها در برابر انفجار.....	۲۲
۶- پارامترهای موثر در میزان فشار انفجار.....	۲۲
۷- سازه‌ی بتی ضد انفجار.....	۲۳
۸- مراحل طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار.....	۲۳
۸-۱ فرایند ارزیابی ریسک.....	۲۴

- ۹- وقایع مربوط به انفجار..... ۲۶
- ۱۰- دستگاه‌های انفجاری حمل شده توسط انسان..... ۲۹
- ۱۱- ملاحظات مبارزه با تروریسم..... ۳۱
- ۱۲- همکاری برای تجزیه و تحلیل ریسک..... ۳۲
- ۱۳- انفجار در اثر فشار و شعله..... ۳۹
- ۱۴- رفتار سازه‌های فلزی در برابر آتش..... ۴۰
- ۱۵- رفتار سازه‌های بتنی در برابر آتش..... ۴۱
- ۱۶- راهنمایی برای آتش‌سوزی شدیدی که در اثر انفجار رخ داده است..... ۴۵
- ۱-۱۶ فنون و روش‌ها..... ۴۶
- ۲-۱۶ راهنمایی‌های اجرایی..... ۴۷
- ۳-۱۶ عملیات ماشین‌آلات..... ۴۸
- ۴-۱۶ عملیات شرکت نردبانی..... ۴۹
- ۵-۱۶ مهاجم: تهدیدها و شیوه‌ها..... ۵۰
- ۶-۱۶ طبقه‌بندی: سبک‌ها و فنون..... ۵۰
- ۷-۱۶ شیوه‌ی نظارتی..... ۵۲
- ۸-۱۶ شیوه‌ی پیاده..... ۵۲
- ۹-۱۶ شیوه‌ی تحویل دادن..... ۵۲
- ۱۰-۱۶ جواب سبک‌های پیاده و تحویل دادن..... ۵۳
- ۱۱-۱۶ مشکلات ایستگاهی و مدیریت..... ۵۷
- ۱۲-۱۶ شرایط مورد نیاز روش ممانعت‌کننده وسایل نقلیه..... ۵۹

- ۱۷- وضعیت ساختمان ۶۲
- ۱۸- بخش برنامه‌های مفید ساختمانی ۶۷
- ۱۹- بازیابی فاجعه و برنامه‌ریزی حادثه ۷۰
- ۲۰- کاهش خطر ۷۱
- ۲۱- روش‌های پیشنهادی مقاوم‌سازی سازه‌های موجود در برابر انفجار ۷۴
- ۲۲- انفجارهای تصادفی ۷۵
- ۲۳- انفجارهای عمدی ۷۷
- ۲۴- کاهش آسیب‌پذیری ۸۰
- ۲۵- ضوابط عملکرد برای بخش‌های ساختمان ۸۱
- ۲۶- معیار پاسخ برای نیروهای ایستایی ۸۶
- ۲۷- محدودیت‌های معیار پاسخ‌گویی ۸۹
- ۲۸- کارایی مصالح ساختمانی ۹۱
- ۱- ۲۸ فولاد ساختمانی-ارتباط تنش به افزایش طول نسبی ۹۲
- ۲- ۲۸ الگوهای ساختمانی برای فولاد ساختمانی ۹۳
- ۲۹- میزان تغییر شکل نسبی تراز بخشی و اثرات دما ۹۷
- ۳۰- مشخصه‌ها یا ویژگی‌های مکانیکی طرح ۱۰۰
- ۳۱- منابع بلاست ۱۰۲
- ۳۲- ظروف فشار انفجاری ۱۱۱
- ۳۳- انفجارهای ابر بخار ۱۱۲
- ۳۴- روش تجربی (آزمایشی) ۱۱۷

۳۵- تعریف تهدید.....	۱۲۰
۳۶- اثرات سلاح‌ها.....	۱۲۳
۳۷- خسارات ساختمان.....	۱۲۶
۳۸- مهارت‌های اصولی.....	۱۳۰
۳۹- فلسفه طراحی.....	۱۳۱
۴۰- متدهای طراحی.....	۱۳۲
۴۱- سطوح خسارت قابل قبول.....	۱۳۴
۴۲- کاربردها.....	۱۳۴
۴۳- مسائل معماری و مکان (سایت).....	۱۳۵
۴۴- مشخصه‌ی فشار انفجاری.....	۱۷۰
۴۵- برنامه‌ی آزمایشی.....	۱۷۲
۴۶- آزمون راه‌اندازی.....	۱۷۴
۴۷- ابزارآلات.....	۱۷۶
۴۸- قطعات غیرگیردار دور از بار الکتریکی.....	۱۸۶
۴۹- پارامترهای قطعه طرح.....	۱۹۱
۵۰- سرعت نهایی قطعه.....	۱۹۱
۵۱- مسیر قطعه.....	۱۹۲
۵۲- آسیب و خسارت برخورد قطعه.....	۱۹۳
۵۳- نفوذ قطعه در مصالح گوناگون (معادله THOR).....	۱۹۴
۵۴- فولاد.....	۱۹۶

- ۵۵- نفوذ قطعه در اهداف فولاد نرم..... ۱۹۶
- ۵۶- نفوذ قطعه در اهداف بتونی..... ۱۹۷
- ۵۷- سوراخ کردن قطعه اهداف بتونی..... ۲۰۰
- ۵۸- خرد کردن قطعه در اهداف بتونی..... ۲۰۱
- ۵۹- سایر مصالح..... ۲۰۱
- ۶۰- محدوده‌ی انفجار..... ۲۰۲
- ۶۱- حالت‌های شکست سطحی - مؤلفه..... ۲۰۴
- ۶۱-۱ خمیدگی..... ۲۰۶
- ۶۱-۲ برش..... ۲۰۸
- ۶۱-۳ دلمه بستن..... ۲۱۱
- ۶۱-۴ خرد شدن..... ۲۱۱
- ۶۲- زمین لرزه در مقابل انفجار..... ۲۲۳
- ۶۳- مفاهیم طراحی مقاوم در برابر انفجار و شرح کامل یک بخش بتن..... ۲۵۰
- ۶۴- جراحات ناشی از انفجار..... ۲۵۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱- نمونه‌ای از انفجار ۲۰
- شکل ۲- تصمیم‌های مدیریت خطر و اثر متقابل آن‌ها بر یکدیگر ۲۵
- شکل ۳- برهه‌های تحکیم دانش ۳۷
- شکل ۴- شرح تراز خسارات پنجره DOD برای پنجره‌های Blast-loaded ۸۵
- شکل ۵- شرح تراز خسارات پنجره ISC برای پنجره‌های حاوی جریان نیرو ۸۶
- شکل ۶- ارتباطات تنش بر افزایش طول نسبی برای فولادهای ساختمانی در دمای ۹۲
- شکل ۷- تاثیر سرعت کشسانی بر روی میزان کشش در دماهای مختلف ۹۴
- شکل ۸- الگوی عنصر محدود یک سطح تقاطع فولادی W شکل ۹۴
- شکل ۹- اثر میزان تغییر شکل نسبی روی فولاد نرم ۹۵

- شکل ۱۰- انتشار موج انفجار ۱۰۱
- شکل ۱۱- موج فشار از Deflagration ۱۰۱
- شکل ۱۲- موج شوک حاصل از انفجار ۱۰۲
- شکل ۱۳- انفجار آبر ۱۰۵
- شکل ۱۴- مقایسه‌ی میدان آزاد منعکس شده و بارهای انفجار ۱۰۶
- شکل ۱۵- پارامترهای بلاست برای سطح TNT ۱۰۶
- شکل ۱۶- منحنی فشارهای گازیک درمقابل حجم / وزن ۱۰۸
- شکل ۱۷- فشار زیاد برای انفجار بخار آبر ۱۱۴
- شکل ۱۸- تکانه برای انفجار بخار ۱۱۴
- شکل ۱۹- فشار برای انفجار ۱۱۵
- شکل ۲۰- مدت زمان انفجار ۱۱۵
- شکل ۲۱- نمودار فشار ۱۲۰
- شکل ۲۲- تهدید سلاح حامل ۱۲۱
- شکل ۲۳- میله‌های ضد چکش ۱۲۲
- شکل ۲۴- دیوار زانویی ضد چکش ۱۲۲
- شکل ۲۵- فشارهای هوای دم به صورت تابعی از فاصله و اندازه‌ی سلاح ۱۲۴
- شکل ۲۶- هوای دم به صورت تابعی از زمان ۱۲۴
- شکل ۲۷- دنباله‌ی اثرات هوای دم ۱۲۵
- شکل ۲۸- بمباران برج‌های 1996' khobar ۱۲۷
- شکل ۲۹- ساختمان فدرال Alfred p. Murrah (بمباران شهر 1995.oklahoma) ۱۲۸
- شکل ۳۰- اثر شکل ساختمان بر روی بارگذاری هوای دم ۱۳۶
- شکل ۳۱- واشنگتون, SEATTLE, کاخ دادگستری ایالات متحده ۱۳۷

- شکل ۳۲-Kampala, اوگاندا، سفارت ایالت متحده ۱۴۰
- شکل ۳۳- حالات شکست اولویت‌دار برای پنجره ۱۴۸
- شکل ۳۴- تصویر نشان دهنده‌ی شرایط سطح کارایی برای پنجره‌ها. ۱۵۱
- شکل ۳۵- هم‌پوشانی مربوط به زمین لرزه در مقابل انفجار و نوع بارگذاری زمین لرزه در برابر انفجار ۱۶۴ ۱۶۴
- شکل ۳۶- جزییات هندسی گونه‌ها ۱۷۳
- شکل ۳۷- پل‌های تپت ۱۷۴
- شکل ۳۸- نمونه آزمایش و سه‌بایه‌ی نگاه‌دارنده ۱۷۵
- شکل ۳۹- گونه مورد تست ۱۷۶
- شکل ۴۰- نمونه تابع ضبط شده و نمودارهای فشار منعکس شده برای کنترل قطعه CS3 و قطعه مقاوم سازی همنشین آن CS3 ۱۸۱
- شکل ۴۱- الگوی شکستگی ۱۸۲
- شکل ۴۲- معادله ۱۶ برای شرایط تکیه‌گاه دو سر گیردار (یا ثابت) و یک سر گیردار ۱۹۰
- شکل ۴۳- بارگذاری محدوده‌ی انفجار ۲۰۳
- شکل ۴۴- بارگذاری تقریبی برای انفجار ۲۰۳
- شکل ۴۵- نمودار تکانه ۲۰۵
- شکل ۴۶- آزمایش مانع وسیله‌ی نقلیه ۲۱۵
- شکل ۴۷- آزمایش درجه‌بندی کامل سازه ۲۱۶
- شکل ۴۸- پیکربندی پهنه در چارچوب‌های آزمایش ۲۱۷
- شکل ۴۹- اندازه‌گیری انحراف و عکس دیجیتالی ۲۲۱
- شکل ۵۰- شبیه ساز جریان هوای لوله صدمات ۲۲۱
- شکل ۵۱- نمودار P-I برای سطوح مختلفی از انفجار ۲۳۵

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱- ترازهای خسارت DOD برای پنجره‌های Blast-loaded ۸۲
- جدول ۲- شرایط عملکرد ISC و ترازهای خسارات برای پنجره‌های Blast-loaded ۸۴
- جدول ۳- مقایسه معیار پاسخ برای خسارت متوسط ۸۸
- جدول ۴- معیار اجرا برای بخش‌های ساختمانی ۸۹
- جدول ۵- عوامل افزایشی و رشد جنبشی برای فولاد ساختمانی ۹۹
- جدول ۶- ویژگی‌های مواد منفجره ۱۰۳
- جدول ۷- داده‌های نمونه‌ی ثبت شده برای هر نمونه آزمایش ۱۷۸

جدول ۸- ارقام برای ضربه گاز مدرج ۲۰۴

جدول ۹- فشار طراحی شده دینامیکی ۲۰۷

جدول ۱۰- مولفه‌های فشار ۲۱۸

جدول ۱۱- مقادیر معمول ρ و C_p ۲۲۱

جدول ۱۲- ضریب اصطکاک بین بتن و خاک (به نقل از دیارتان نیروهای زمینی،

دریایی و هوایی، ۱۹۹۰) ۲۴۲

www.ketab.ir

۱- مقدمه

اقدامات تروریستی در سال‌های اخیر، طراحان و مجریان را بر آن داشته تا راهکارهایی مناسب برای مقاوم کردن سازه‌ها در برابر بارهای ضربه‌ای و انفجاری به کار بندند. از نظر طراحی سازه‌ای، بمب‌های خودرویی اهمیت زیادی دارند، چون این نوع بمب‌ها می‌توانند حاوی مقدار زیادی مواد منفجره باشند که سبب آسیب شدید سازه‌ای شوند. برای بمب خودرویی، موقعیت بحرانی، نزدیک‌ترین نقطه‌ی ممکن به ساختمان می‌باشد. بمب‌های کوچک قابل حمل با دست، زمانی بیش‌ترین آسیب را می‌رسانند که در فضا‌های داخلی ساختمان منفجر شوند. با توجه به نرخ بالای کرنش سازه‌های بتنی در برابر بارهای انفجاری، خواص دینامیکی سازه‌های بتنی ارزیابی می‌گردد و در پایان راهکارهایی مناسب جهت بهبود خواص سازه‌های بتنی در برابر بارهای ضربه‌ای و انفجاری ارائه می‌شود. هم‌چنین در این تحقیق جراحات ناشی از انفجار نیز بررسی می‌گردد.