

پل های مقاوم در برابر انفجار

تدوین:

محمد ابراهیمی

علی وکیلی





سرشناسه	: ابراهیمی - محمد/۱۳۵۷
عنوان و نام پدیدآور	: پل های مقاوم در برابر انفجار (مترجمان: محمد ابراهیمی - علی وکیلی)
مشخصات نشر	: تهران: عمارت پارس، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۲۶۸ص: مصور، جدول، نمودار
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰۰-۹۵۲۰۴-۳-۵
وضعیت فهرست نویسی	: فیبای مختصر
یادداشت	: فهرست نویسی کامل این اثر در نشانی: http://opac.nlaj.ir قابل دسترسی است
شناسه افزوده	: پدافند غیرعامل - وکیلی علی/۱۳۶۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۱۰۳۰۷

پل های مقاوم در برابر انفجار

تدوین: محمد ابراهیمی - علی وکیلی

ناشر: عمارت پارس ناشر همکار: موسسه انتشاراتی جهان جام جم

مدیر تولید و ناظر فنی چاپ: فرزین معتکفی

چاپ و صحافی: صادق

نوبت و سال چاپ: اول - ۱۳۹۴

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۶۸۰۰ تومان

نشانی: تهران/ میدان انقلاب/ خیابان کارگر جنوبی/ خیابان لبافی نژاد غربی/ کوچه سیمین/ پلاک ۵

تلفن: ۶۶۵۹۶۶۱۸ - ۶۶۹۲۶۶۳۴ تلفکس: ۶۶۵۶۵۸۲۵

www.nashrejamejam.com

فهرست

مقدمه.....	۱
فصل اول.....	۹
۱-۱- چشم انداز.....	۹
۱-۲- تاریخچه.....	۱۱
۱-۳- روش پژوهش.....	۱۵
فصل دوم.....	۱۷
۱-۲- چشم انداز.....	۱۷
۲-۲- ادبیات فنی.....	۱۷
۳-۲- الزامات پژوهشی.....	۴۸
۴-۲- تمرکز پژوهش جاری.....	۵۷
فصل سوم مطالعات آزمایشگاهی.....	۶۰
۱-۳- چشم انداز.....	۶۰
۲-۳- مطالعه تعیین بار در بخش اول.....	۶۰
۳-۳- آزمایش بررسی پاسخ بخش دوم.....	۶۳
فصل چهارم برنامه پژوهشی تحلیل.....	۸۸
۱-۴- چشم انداز.....	۸۸
۲-۴- وضعیت عملی جاری: تک درجه آزادی.....	۸۹
۳-۴- مدل سازی ساده و نرم افزار.....	۹۴
فصل پنجم مشاهدات و یافته های پژوهشی.....	۱۱۶

۱-۵ چشم انداز..... ۱۱۶

۲-۵ مشاهدات برنامه های تحلیلی..... ۱۵۶

۳-۵ خلاصه..... ۱۶۳

فصل ششم راهکارهای طراحی و جزئیات اجرایی..... ۱۶۴

۱-۶ چشم انداز..... ۱۶۴

۲-۶ راهکارهای ارزیابی خطر برای پل ها..... ۱۶۴

۳-۶ راهکارهای بار انفجاری..... ۱۶۵

۴-۶ راهکارهای طراحی و تعیین جزئیات ستون ها..... ۱۶۷

۵-۶ راهکارهای تحلیل برای ستون ها..... ۱۷۹

۶-۶ خلاصه..... ۱۸۳

فصل هفتم روش تحلیل..... ۱۸۴

۱-۷ بررسی..... ۱۸۴

۲-۷ راهنمای تحلیل ساده شده..... ۱۸۴

۳-۷ مدل سازی انفجار هوایی با استفاده از دینامیک سیالات محاسبانی..... ۱۹۱

۴-۷ مدلسازی بتنی..... ۱۹۷

۵-۷ تحلیل های کوپله..... ۱۹۸

۶-۷ خلاصه..... ۱۹۹

فصل هشتم مثال های طراحی..... ۲۰۰

۱-۸ چشم انداز..... ۲۰۰

۲-۸ مثال های طراحی..... ۲۰۰

۳-۸ خلاصه..... ۲۳۲

فصل نهم خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۲۳۳

۹-۱- خلاصه برنامه پژوهشی..... ۲۳۳

۹-۲- نتیجه گیری و پیشنهاد..... ۲۳۵

۹-۳- پیشنهاد هایی برای مطالعات آینده..... ۲۳۷

منابع..... ۲۴۳

www.ketab.ir

پل های بزرگراهی مقاوم در برابر انفجار: طراحی و راهنمایی در خصوص جزئیات احتمال عملیات تروریستی روی پل های ملی یک تهدید روزافزون در جوامع امروزی می باشد. اطلاعات گردآوری شده بخشی حاصل تجربه ومابقی مطالب توسط موسسه حمل و نقل مینتا آمریکا نشان می دهد که دست کم ۵۳ حمله تروریستی در سراسر جهان در سال های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ به طور خاص پل ها را هدف گرفته و ۶۰ درصد این حملات بمب گذاری بوده اند. افزون بر این، ریزش ناگهانی پل ها در ایالات متحده و حملات تروریستی بر پل ها در عراق عواقب اقتصادی و اقتصادی - اجتماعی خرابی های ویرانگر پل ها را نشان می دهد. برای کمک به تضمین ایمنی پل ها در ایالات متحده و حفاظت از مردم در زیرساخت های ملی، نیاز به طراحی و تعیین اجزای پل های مقاوم در برابر انفجار وجود دارد. برای تامین این نیاز، برنامه پژوهشی همکاری ملی در بزرگراه ها^۱، پروژه ۷۲-۱۲ خود را برای بررسی پل های بزرگراهی در معرض بارهای انفجاری تامین بودجه کرده است.

به دلیل این که ستون پل ها تقریباً در همه پل ها جدا از نوع زیرساخت یکپارچه است و نیز به دلیل این که از دست دادن یک ستون کلیدی می تواند یکپارچگی اکثر پل ها را با مشکل مواجه نماید، تیم پژوهشی بر آن شده تا تلاش های خود را بر ستون های بتن مسلح معطوف نماید. اهداف عمده پژوهش عبارتند از:

- بررسی پاسخ ستون های پل های بتنی به بارهای انفجاری
- ارائه طراحی مقاوم در برابر انفجار و راهنمایی تعیین اجزا برای ستون های پل های بزرگراهی
- ایجاد مدل های تحلیلی برای توزیع بار انفجاری و بررسی پاسخ ستون ، که با داده های تجربی اعتبار سنجی شده است.

گروه پژوهشی دو بخش مختلف را در آزمایش در نظر گرفتند که با مدل سازی محاسباتی و تحلیلی تکمیل می شوند. بخش اول برنامه آزمایش تجربی شامل آزمون های انفجاری در مقیاس کوچک روی ستون های مربعی و دایره ای شکل بدون واکنش می باشد. این آزمایش ها توسط گروه پژوهش مهندسی و مرکز توسعه مهندسان ارتش آمریکا در پایگاه خود در ویکسبورگ

^۱ National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)

می‌سی‌سی پی به انجام رسیده‌اند و آن‌ها برای تعیین نحوه واکنش امواج شوک بر اجزای سازه‌ای لاغر طراحی شده‌اند به گونه‌ای که تغییر در فشار و ضربه با زمان و مکان در راستای ارتفاع ستون را بتوان مورد مطالعه قرار داد.

بخش دوم برنامه آزمایش عملی شامل آزمایش‌های نزدیک به محل انفجار در نیمی از ستون‌های بتن مسلح می‌باشد. این آزمایش‌ها در محلی دوردست به کمک مشاوران مهندسی حفاظت و موسسه پژوهشی جنوب غرب به انجام رسیده‌اند. قالب آزمایش شامل ده نیم ستون با سه طراحی می‌باشد: یک طراحی پایه که نشان دهنده یک بررسی و مطالعه ملی بر روی ویژگی‌های ستون‌های پل‌های موجود، طراحی لرزه‌ای نشان‌دهنده اجزای لرزه‌ای موجود و طراحی انفجاری است که شامل یک شبکه متراکم با میلگرد‌های عرضی می‌باشد. در کنار این سه طراحی، پنج پارامتر اصلی در طول زمان انجام آزمایش‌های بخش دوم تغییر داده شده‌اند که فاصله توقف مقیاس شده²، هندسه ستون، مقدار میلگرد عرضی، نوع میلگرد عرضی و محل وصله میلگردها را دربر می‌گیرد. تعداد ده ستون با قرارگیری خرج انفجاری با فاصله توقف کم، تحت آزمایش قرار گرفتند و این آزمایش‌ها برای مشاهده حالت شکست در طراحی‌های مختلف ستون انجام گرفت.

هر یک از ستون‌های آزمایش شده در طول زمان بخش دوم آزمایش شامل شش کرنش سنج بودند و داده‌های کرنش گردآوری شده در مدت آزمایش‌ها برای بررسی شرایط مرزی و توزیع بار انفجار در هر یک از آزمون‌های با فاصله توقف کم به کار گرفته شدند. سه ستون از ده ستون آزمایش شده در مدت این آزمایش‌ها تغییر شکل‌های برشی عمده‌ای را در پایه شاهد بودند و هفت ستون دیگر ترکیبی از ترک خمشی و برشی را دارا بودند. بقیه ستون‌ها با بارهای تماسی یا مجاور دوباره آزمایش شدند و هدف از این آزمایش‌ها مشاهده الگوی شکستگی ستون‌های بتنی در معرض بار انفجار بود. دو ستون از شش ستون آزمایش شده در مدت آزمایش‌های آسیب موضعی شکست قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند و بقیه ستون‌ها ریزش بتن از نمای جانبی یا پشت را داشتند. پژوهش تحلیلی و محاسباتی، با استفاده از اطلاعات و مشاهدات حاصل از آزمایش‌های تجربی، گسترش پیدا کردند. این کار شامل استفاده از روش‌های ساده شده برای پیش‌بینی بارها و نیز تحلیل مفصل و غیرخطی اجزای محدود است. روش‌های ساده شده از رویکرد‌های تحلیلی موجود بهره می‌گیرند از جمله مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی بارهای انفجار و مدل‌های تک درجه آزادی برای محاسبه پاسخ.

² Scaled StandOff

داده های تجربی و تحلیلی گردآوری شده در زمان برنامه پژوهشی مبنای ارائه دستورالعمل تعیین جزئیات و ارائه یک رویه طراحی عمومی برای ستون پل های مقاوم در برابر انفجار می باشند. این راهکارها شامل سه دسته بندی طراحی می باشد که هر یک شامل الزامات طراحی فزاینده ای است که مقدار میلگرد عرضی را در طراحی با افزایش تهدید افزایش می دهد. دسته بندی A طراحی کمترین سخت گیری را دارد و نیازمند ملاحظه خاصی برای تهدیدهای طراحی مربوط به بارهای انفجاری نیست. دسته بندی B نیازمند تعیین جزئیات لرزه ای با استثنائاتی است که عبارتند از: افزایش طول گیرداری برای قلاب های میلگرد عرضی و جزئیات میلگرد بندی در محل مفصل پلاستیک را می توان برای کل ارتفاع ستون به کار گرفت تا عدم قطعیت در مکان رویداد تهدید بالقوه لحاظ گردد. طراحی دسته بندی C مربوط به مواردی است که تحت تهدید های شدید می باشند. درصد میلگرد های عرضی برای ستون های این دسته بندی باید به میزان ۵۰ درصد بیشتر از درصد میلگرد عرضی مورد نیاز برای طراحی لرزه ای باشد. و حتی طول گیرداری نیز باید در قلاب های میلگرد عرضی بیشتر از دسته بندی B باشند. دسته بندی C نیز نیاز به انجام تحلیل پاسخ دینامیکی تک درجه آزادی توسط طراح است تا اطمینان حاصل گردد نسبت شکل پذیری و دوران تکیه گاه کمتر از محدوده توصیه شده می باشد.

نتایج آزمایش ها نشان می دهد که پیشگیری ها به غیر از استحکام سازه باید انجام شود تا به کاهش میزان تهدید در طراحی با فاصله های توقف کم مقیاس شده مربوط به بارهای تماسی کمک کند زیرا خرابی های شکست موضعی مانند خردشدگی، شروع به کنترل پاسخ در این نواحی می کنند. همه ستون هایی که در طول آزمون های با فاصله توقف کم آزمایش شده اند در دسته بندی C قرار می گیرند و نتایج این آزمون ها در کنار کار تحلیلی مبنایی را تشکیل می دهد که به وسیله آن حدود به کار رفته برای تعریف هر یک از گروه بندی های طراحی را بتوان تعیین کرد.

راهکارهای کلی زیر برای افزایش مقاومت در برابر انفجار در ستون های پل های بتن مسلح توصیه می شوند:

- عملکرد ستون با افزایش فاصله توقف بهبود می یابد و یکی از بهترین روش ها برای کاهش خطر در یک پل افزایش فاصله توقف است. به این ترتیب، دسته بندی های طراحی به طراح امکان می دهند تا روی این واقعیت سرمایه گذاری کند که افزایش فاصله توقف با استفاده از

سنگ های گوشه دار، فنس های حفاظت یا موانع خودرویی، یک راه ایمن، مقرون به صرفه و کارآمد برای افزایش حیطه طراحی و الزامات جزئیات می باشد.

● داده های آزمایشگاهی و تحلیلی نشان می دهند که ستون های دایره ای بار خالص کمتری را نسبت به ستون های مربعی در معرض خرج انفجاری و فاصله توقف مشابه متحمل می شوند. از این رو، در ستون های پل باید هر جا که امکان دارد از مقاطع دایره ای برای کاهش بار اعمال شده خالص ناشی از هر تهدیدی استفاده نمایند. با این حال، باید به خاطر داشت که ستون های مربعی را می توان تا حد قابل قبولی با اجزا و ابعاد مناسب در برابر انفجار مقاوم سازی کرد.

● ابعاد مقطع ستون بتن مسلح نقش مهمی در عملکرد ستون دارد چرا که این پارامتر وقوع خرابی شکستگی را کنترل می کند. به این صورت، افزایش سطح مقطع عموماً مقاومت ستون در برابر بارهای انفجار را افزایش می دهد و کمینه قطر ۳۰ اینچ برای ستون در معرض بارهای انفجاری نزدیک پیشنهاد می گردد.

● میلگرد عرضی ماریچی پیوسته، محصورشدگی بهتری را ایجاد می کند و رفتار کلی بهتری را نسبت به قلاب های گسسته برای فاصله توقف کم و تهدیدهای نزدیک نشان می دهد و در هر زمان در اولویت قرار دارد. اگر محدودیت های طراحی و ساخت جلوی استفاده از میلگرد عرضی ماریچی را بگیرند، ستون باید از حلقه هایی با طول گیرداری بیش از آن چه به طور معمول برای طراحی های استاندارد و لرزه ای به کار می رود بهره گیرد.

● افزایش درصد میلگردهای عرضی، پاسخ ستون را نسبت به بارهای انفجار را بهبود می بخشد. مشاهدات آزمایشگاهی نشان می دهد طراحی های انفجاری که از شبکه های بسیار متراکم میلگردهای عرضی بهره می گیرند بهتر از طراحی های لرزه ای عمل می کنند که آنها نیز عملکردی بهتر نسبت به طراحی های بر اساس کنترل بار گرانشی دارند. در نتیجه، کمینه میلگرد عرضی برای یک ستون دسته C بیش از ۵۰ درصد بزرگتر از چیزی که برای طراحی لرزه ای استفاده می شود، توصیه می گردد و این میلگرد عرضی باید در کل طول ستون گسترده باشد تا در برابر سناریوهای تهدید بالقوه گوناگون مقاومت نماید.

● در صورت امکان، از وصله میلگردهای طولی باید پرهیز کرد و دور کردن محل وصله میلگردها از نواحی که بارها ممکن است در تماس با ستون قرار گیرند می تواند به کمینه کردن آسیب انفجاری موضعی کمک نماید.

درنهایت، مهندسان پل، باید به یاد داشته باشند که درحالی که این طراحی و جزئیات مقاومت ستون‌های پل را در برابر انفجار را بالا می‌برند، امکان طراحی یک ستون برای مقاومت در برابر همه تهدیدهای احتمالی وجود ندارد. صاحبان پل‌ها باید تحلیل ریسک دقیقی را برای تعیین محتمل‌ترین تهدیدها انجام دهند و پل‌های خود را بر اساس آن طراحی نمایند. یک سطح مشخص ریسک برای بدترین حالت‌های تهدید به‌عنوان بخشی از این پژوهش مدنظر قرار می‌گیرند. اگر مقدار زیادی مواد منفجره در فاصله کافی از هر ستون پل قرار گیرد شکست و گسیختگی ستون را باید انتظار داشت، بدون توجه به طراحی و الزامات اجرایی آن.