اثرات انفجار بر روی ستون پل

، جواد اصغری قاجاری[1]، دکتر حمید زعفرانی[2]

1-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

2- دکتری مهندسی زلزله، عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

asghari_446@Gmail.com

چکیده

تاکنون در کشور ماتوجه زیادی به افزایش ایمنی پل های بزرگراه در برابر بار انفجار نشده است . در این تحقیق با توجه به افزایش اقدامات تروریستی رفتار ستون های میا نی پل در برابر بارگذاری انفجاری با استفاده از روش اجزاء محدود با سه درجه آزادی بررسی شده است.

بر اساس نتایج شبیه سازی در فاصله های ایمن در نظر گرفته شده برای میزان ماده منفجره مشخص پل آسیب محسوسی نمی بیند اما در همین فاصله های ایمن با انتخاب میزان ماده منفجره تصادفی بیشتر از میزان مشخص آسیب مکانیکی بزرگ در اثر بار انفجار مشاهده می شود. برابر نتایج بدست آمده توانایی سازه با توجه به تمهیداتی که برای زلزله پیش بینی می‌شود سبب کاهش آسیب ها و کندی در ریزش فوری پل پس از انفجار می شود. نتیجه اینکه قابلیت لرزه ای بهتر(با توجه به امتداد میلگرد های ستون در داخل سر ستون) مستقیما باعث افزایش مقاومت پایه ها در برابرموج ناشی از انفجار می گردد که توان شبیه سازی انفجار با قابلیت انتشار بار انفجار از طریق محیط هوا را دارند، استفاده شده است.

کلمات کلیدی: پل، محدوده فشار موج انفجار، فاصله ایمن، Lsdyna

1–مقدمه

جنگ جهانی دوم اولین جنگی بود که انهدام شهر ها توسط انفجار انجام می شد. در آخرین مراحل جنگ استفاده از دو سلاح هسته ای، اثرات بسیار ویرانگر این سلاح را نشان داد. این امر سبب شد تا در ایالات متحده برنامه مطالعاتی گسترده ای در نیم قرن گذشته برای افزایش مقاومت سازه های نظامی مانند انبار مهمات و تاسیسات فرماندهی و کنترل انجام شود. بسیاری از این تحقیقات جهت توسعه موشک های بالستیک و هدایت شونده انجام شد.

پس از انقلاب اسلامی، گروهک های تروریستی از روش‌های ترور و بمب‌گذاری برای ضربه زدن به جمهوری اسلامی ایران استفاده می‌کنند. در سطح بین‌المللی نیز تعداد و شدت فعالیت های تروریستی بین المللی پس از حوادث سپتامبر 2001 در برج های تجارت جهانی نیورک افزایش یافته است که نیازمند افزایش ایمنی زیرساخت های ارتباطی می باشد. اهداف حمله تروریست ها شامل تلفات انسانی و زیر ساخت های اقتصادی می باشد که هر دو دارای اهمیت می باشند. زیر ساخت های حمل ونقل جزء اهداف مهم حملات می باشندزیرا ارتباط مهمی با زندگی انسان ها و مسائل اقتصادی دارند. بر اساس اعلام سازمان فدرال مدیریت بزرگراه های آمریکا، پل ها علاوه بر آسیب های طبیعی در برابر انواع حملات فیزیکی بیولوژیکی و شیمیایی و تشعشعات آسیب پذیر هستند. بر اساس تدابیر جدید پل ها و تونل های جدید باید در برابر حوادث مختلف مقاوم باشند.

2–ماهیت انفجار

مواد منفجره برای آزادسازی مقدار بسیار زیادی انرژی در زمان کوتاه، ناشی از مواد شیمیایی جامد یا مایع یا بخار برای تبدیل شدن به مواد پایدارتر تولید می شوند. که عموما به شکل گاز می باشند. یک انفجار قوی به گونه ای است که سرعت واکنش بیشتر از سرعت صوت باشد. انفجار قوی یک موج شوک در محیط گازی ایجاد می کند که مشخصات انفجار در بازه زمانی میکروثانیه اندازگیری میشوند. مواد انفجاری در اشکال مختلف مانند

Archive of SID

www.SID.ir

TNT,RDX,PETN تولید می شوند. قدرت تخریب مواد منفجره در قرن 19 بسیار افزایش یافته است. اثرات انفجار بر سازه ها ارتباط مستقیم با فشار موج شوک منتشر شده دارد.

انفجار به وسیله یک موج شوک با سرعت بسیار بالا به سمت ستون حرکت می کند. برای مثال یک موج باز با سرعتی در محدوده 2700 تا 3400 متر بر ثانیه در بتن و 4900 تا 5800 متر بر ثانیه در فولاد گسترش می یابد. در این سرعت ها بازتابها و تبادلات مواد بسیار سریع اتفاق می افتد و وابسته به مشخصات مواد می باشد. برای مثال در یک موج شوک فشاری، بتن که ماده ای ترد است دچار چندین شکست می شود به ویژه اگر معایبی در ساخت آن وجود داشته باشد. قطعات متلاشی شده زمانی ایجاد می شوند که مواد منفجره در تماس با مصالح باشند. سرعت اولیه قطعات متلاشی شده وابسته به فشار انفجار است. قطعات متلاشی شده ثانویه بوسیله موج انفجار در مصالحی که با مواد منفجره تماس نداشته اند تولید می شوند.

سایر اثرات انفجار مانند آتش، دود، آسیب های فیزیکی و حرکت شدید سازه می باشد.حرکت موج انفجار می تواند موجب آسیب رساندن به پلها به دلایل زیر بیان می شود:

- تهدید ایمنی سازه ها
- آسیب هایی که مانع از خدمات رسانی سازه برای مدت طولانی شود
- خرابی های شدید بر اثر حملات(افتادن کامل ستون میانی پل)

3–مواد منفجره

انفجاریک روند پخش انرژی است که مقدار زیادی انرژی را در زمان بسیار بسیار کمی پراکنده میکند. مدت زمان برای انفجار یا ضربه ناگهانی به محیط معمولاً با دامنه 1.0 ms تا 0.5 با بار گذاری در دامنه چندین هزار پوند بر اینچ مربع است.

اگر چه اشکال مختلفی از آسیب مواد منفجره وجود دارد، اما اصلی ترین تهدید مواد منفجره برای پل های بزرگراه ممکن است در اثر بمب های مواد منفجره قوی باشد.(مانند بمب هایی با هدف عمومی که در اثر انفجار و تکه تکه کردن آسیب میرساند و بمب های سبک که به طور اولیه باعث ایجاد آسیب انفجاری میشوند)بمب های ماشینی و آتش زا(که اثرات انفجار توسط یک نارنجک از یک سوخت آتش زا مانند بنزین، افزایش پیدا میکند) ایجاد شود. وقتی یک ساختمان برای مقاوم بودن نسبت به بار انفجار طراحی شده است، تکه تکه شدن شیشه یا بتن یک فاکتور بسیار مهم است، چرا که پتانسیل ایجاد آسیب و حتی مرگ ساکنان را دارد. این موضوع برای طراحی پل های مقاوم به انفجار از اهمیت کمتر برخوردار است. از این رو در این تحقیق، ما فرض کرده ایم که سازه توسط بار موجی انفجار با قدرت انفجار بالا، بدون اثرات تکه تکه یا سوراخ شدن آسیب می بینند.

4–اثرات مواد منفجره

اگر یک ماده منفجره در تماس با ماده جامد قرار گیرد، رسیدن امواج انفجار به سطح ماده منفجره موج های تنشی قوی را در ماده تولید میکند که باعث خرد و شکسته شدن و از هم پاشیدگی ماده میشود. این اثر از هم پاشیدگی چکشی را ضربه انفجاری مینامند. فشار دینامیکی در موج جلویی انفجار را فشار انفجاری P گویند که با واحد کیلو بار با استفاده از رابطه تجربی بدست آمده است.

$$P1=2.5\times 10^{-9}\times \rho D^2$$

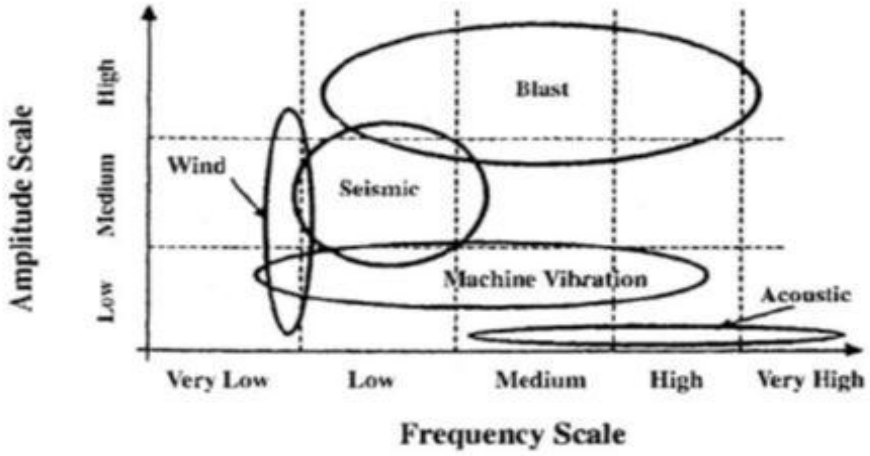
Archive of SID

www.SID.ir

کهρچگالی ماده منفجره با واحد کیلو گرم بر متر مکعب است و D سرعت موج انفجار بر حسب متر بر ثانیه است. که اگر برای,RDX 7400 =D متر بر ثانیه و چگالی 1500 کیلو گرم بر متر مکعب باشد فشار انفجاری P1 با توجه به معادله 3125.4 کیلو بار خواهد بود که خیلی بیشتر از قدرت فشردگی اکثر مواد است.

5–شکل موج انفجار

یک سازه در زمان وجودش با انواع مختلفی از مخاطرات روبرو می شود. این مخاطرات می توانند به دو زیر گروه تقسیم شوند. ساخته دست انسان(انفجار) و طبیعی(زلزله، باد و ...). برای رسیدن موفق به هر طراحی سیستمی، دانستن طبیعت مخاطره ضروری است. مخاطرات دینامیکی میتوانند توسط دامنه نسبی و زمان نسبی شان توصیف شوند. شکل 3-2 یک شکل شماتیک روابط دامنه – فراوانی مخاطرات دینامیکی مختلف را نشان می دهد.



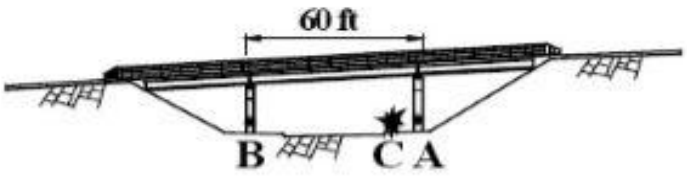
شکل(1)-دامنه – فراوانی مخاطرات دینامیکی مختلف [8]

مهم است که بر روی تفاوت های بین بار های استاتیک، دینامیک و دینامیک زمان کوتاه تاکید کنیم. معمولاً بار های استاتیکی اثرات سکون در پاسخ های سازه ای تولید نمی کنند. وابسته به زمان نیستند و فرض شده اند که روی سازه برای دوره های طولانی مدت تاثیر گذارند(مثل بارهای جاذبه) بار های دینامیکی، مانند آن هایی که توسط زمین لرزه یا تند باد ها ایجاد میشوند وابستگی زیادی به زمان دارند و مدت زمان معمولی که طول می کشد در دهم ثانیه اندازه گیری می شود. بار های دینامیکی زمان کوتاه، مانند آنهایی که توسط انفجار یا فشار مخرب ایجاد میشوند، بار های بدون نوسان پالسی هستند و مدت زمان آنها در حدود 1000 برابر کوتاه تر از مدت زمان یک زمین لرزه معمولی است. پاسخ های سازه ای در اثرات دینامیکی کوتاه مدت می توانند مشخصاً با آنهایی که مدت بارگذاری شان بسیار آرام تر است متفاوت باشندو یک طراحی چند مخاطره ای پل ها، باید به روشنی اثرات مرسوم بارها را به خوبی محیط های شدیدا بارگذاری شده که توسط مخاطرات مختلفی تحمیل میشوند را نشان دهد.

www.SID.ir

۶–بارهای انفجار روی اجزای پل

فشار موج انفجار به سرعت با فاصله ثابت کاهش پیدا می‌کند. به خاطر اندازه بزرگ و پیچیدگی هندسی ساختار یک پل، پیاده کردن بار موج انفجار به طور دقیق روی اجزای مختلف پل کاریست سخت. مثلاً، فرض کنید که یک ظرفیت 1500-lb TNT تحت دور فرضی 60-ft پل اتوبان در نقطه C، همانطور که در شکل نشان داده شده است، منفجر می‌شود. ظرفیت TNT، 10 ft دورتر از ستون A و 50 ft دورتر از ستون B است. مقطع پایه پل 3 ft ×3 ft است.



شکل (2) - یک پل بزرگراهی فرضی و نقطه انفجار در آن

بار انفجار شبیه‌سازی شده روی اجزای پل باید حداقل به موارد زیر برسد:

1. نزدیک نقاط A و B، فشار و جریان موج انفجار باید شبیه آن‌چه که توسط داده‌های تجربی یا داده‌های نیمه تجربی استاندارد با استفاده از برنامه ConWep به دست می‌آید باشد.
2. زمان رسیدن موج‌های انفجار به نقاط A و B باید شبیه آن‌هایی که با برنامه ConWep به دست می‌آید باشد تا ترتیب بار موج انفجار و پاسخ سازه‌ای اثرات دینامیک صحیحی داشته باشد؛
3. بار باید بتواند اختصاصی اجزای پل باشد.

روش‌های زیادی برای ارزشیابی رفتار سازه‌ای تحت بارهای فشرده وجود دارد. محلول‌های مدل بسته منتشر موج معمولاً توزیع بار ساده‌ای را فرض می‌کنند، پاسخ الاستیکی ندارند و نمی‌توانند برای آنالیز سه بعدی استفاده شود. روش‌های ساده شده که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل درجه آزادی تک یا چندتایی، نمودار فشار- ایمپالس (P-I)، و سطوح پاسخ گسترش یافته از آنالیز عناصر محدود، می‌شود.

این روش‌ها دقت نسبتاً پایینی در پیش‌بینی رفتار بار یا سازه دارد. لی در 2002 اثر شکل بارگذاری را با استفاده از نمودار فشار- ایمپالس مورد بررسی قرار داده‌اند و مشاهده کردند که فاکتور شکل بار، روی رفتار سازه مخصوصاً در محدوده الاستیکی با استفاده از آنالیز روش نمودار PI اثر دارد.

یک بار انفجار می‌تواند به عنوان بار نقطه‌ای روی سازه SDOF (درجه آزادی)اجرا شود. اگرچه، مکانیسم شکست اجزای سازه باید یک سازه ساده مانند مدل SDOF فرض شوند. در این تحقیق، چون هدف ما بررسی مکانیسم شکست پل زیر بار انفجار است، مدل‌سازی ساده شده سازه مانند سیستم SDOF یک نتیجه دقیق و قابل قبول نیست..

7–شبیه‌سازی انفجار

هدف شبیه‌سازی انفجار تولید بارهای انفجار از طریق انفجار مواد منفجره قوی با استفاده از LS-DYNA است. دلیل استفاده از مش (ALE[1]) بر دو واقعیت استوار است. اول آن‌که شبیه‌سازی رخدادهای انفجار، نیازمند تخریب اساسی عناصر مش است که معمولاً فرای توانایی مش Lagrangian

Archive of SID

www.SID.ir

است (گره‌ها با جابه‌جایی مواد در طول حرکت می‌کنند). مش Eulerian (گره‌ها همزمان با جابه‌جایی مواد در بین عناصر مختلف، ثابت می‌شوند) برای حل مشکل تخریب بزرگ استفاده می‌شود. اگرچه هنگامی که رخداد بین سازه با مش Lagrangian و مش Eulerian را محاسبه می‌شود، این باعث تحریک یک مشکل به نام مشکل دینامیک مرزی می‌شود که کنترل آن سخت است. بنابراین مش ALE را برای شبیه‌سازی محیط انفجار در این تحقیق انفجار پل‌ها انتخاب می‌شود. یک ساختار ALE شامل مرحله زمانی Lagrangian به دنبال مرحله «remap» یا «advection» است. مرحله ادوکشن نوسازی محیط توسعه یافته را انجام می‌دهد، جایی که توسعه به این حقیقت اشاره دارد که موقعیت گره‌ها فقط به میزان بسیار کمی اندازه عناصر پیرامون را جابه‌جا می‌کنند. برخلاف بازسازی انسانی منطقه، توپولوژی مش در یک محاسبه ALE تثبیت شده است. یک محاسبه ALE می‌تواند توسط یک محاسبه طبقاتی متوقف شود و یک بازسازی منطقه می‌تواند اجرا شود در صورتی که یک مش کاملاً جدید وجود داشته باشد که بتوان محاسبه را ادامه داد.

8– مشخصات پل مورد مطالعه

پل شیرگاه شامل سه دهانه می‌باشد. دهانه های کناری به طول 30 متر یک دهانه 44 متری در وسط می‌باشد. عرض عرشه 12/2متر می باشد. عرشه با استفاده از نیمرخ‌های فولادی که در وسط دهانه قرار دارند نگهداری می‌شود. این تیرها که در وسط دهانه ارتفاع 1/5 متر دارند، در فواصل 2 متری از هم قرار دارند و بر روی پایه‌ها ارتفاعی برابر 2 متر دارند.این تیرها با استفاده از دال به ضخامت 25 سانتی متر و دیافراگمهای انتهایی و میانی به یکدیگر متصل می گردند. پایه های میانی متشکل از دو ستون به قطر 1/8 متر و یک سر ستون به ابعاد 1/5 در 2/2 متر و بطول و به طول 12/2 متر می باشند و بر روی نشیمنی به ابعاد 1/5 در 9 متر قرار می گیرند. پایه های میانی در راستای طولی پل بصورت طره ای و در راستای عرضی به صورت قابی شکل عمل می کنند.

9– مدل سازی

برای مدلسازی المان محدود از نرم افزار Altair Hypermeshاستفاده شده و سپس مدل ساخته شده برای تحلیل و پردازش وارد درنرم افزار LS-Dynaشده است. در مدل سازی ستون های پل، هسته بتنی و پوشش محافظ بتن به صورت جداگانه جهت در بر گرفتن اثر جداگانه میله های تقویت کننده روی هسته بتن، مدل سازی شدند. تیرهای طولی تقویتی تا پی ساختمان و خرک مانند نقشه ساخت، توسعه یافته اند. پایه فوندانسیون طبق نقشه های ساختمانی جهت تعیین کردن شرایط مرزی بتن زیر قسمت انتهایی بتن مدلسازی شده است. مدل سازی مفصل از ستون پل، تیر افقی و بتن انجام شده است در نتیجه مکانیزم شکست سیستم ستون می تواند تحت روی داد بار انفجاری مشخص شود.

10- تاثیر جرم و موقعیت طولی TNT

1-10 در فاصله 1Kg TNT 3m

در ابتدا TNT به جرم 1kg در فاصله 3m از پای ستون قرار داده شده ،شوک حاصل از انفجار جرم فوق هیچگونه خرابی در پایه پل را بهمراه نداشته است. در این فاصله دو وزن مختلف از ماده منفجره مورد بررسی فرار گرفته است. نتایج این دو وزن در ادامه آمده است. در اینجا میزان جابجایی در راستای Y نودهای چهارگوشه سرستونها برای دو حالت وزن مواد منفجره آمده است. این دو در واقع حد و مرز خرابی در فاصله یاد شده می باشند.

جدول (۱) حد و مرز تخریب برای فاصله ۳ متر

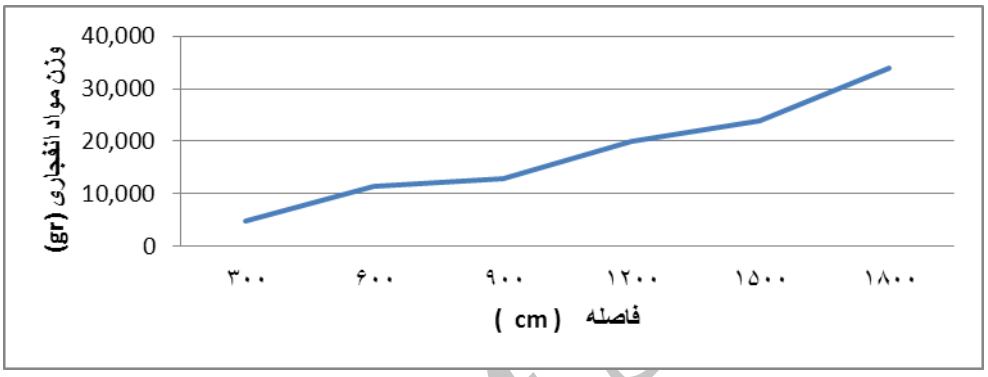
وزن منفجره (gr)	ماده	x (cm)	y (cm)	z (cm)	زمان (microsec)	P max(Mbar)	max(Mbar)*P	Failure	Y disp-max	Y disp-min

Archive of SID

www.SID.ir

0.1	0.05	No	1.58E-05	4.13E-05	20,000	0	300	0	4,700
-0.189	0.165	Yes	5.29E-06	4.19E-05	20,000	0	300	0	4,770

مشاهده می شود فشار هم مانند جابجایی با افزایش ماده منفجره تغییرات محسوسی ایجاد می کند. این دو میزان در حد مرز خرابی قرار دارند و در صورتی که میزان ماده منفجره در این فاصله از این مقدارها بیشتر گردد خرابی ستون در یک سوم ارتفاع از پای ستون حتمی است. در این حالت برای جلوگیری از خرابی، اگر احتمال استفاده از میزان بیشتری از ماده منفجره باشد، باید دسترسی به ستون پل محدود گردد.



شکل (3) رابطه فاصله با وزن مواد منفجره

10–2 در فاصله 6 متر

در این فاصله نیز دو وزن مختلف از ماده منفجره مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این دو وزن در ادامه آمده است. در اینجا میزان جابجایی در راستای Y نودهای چهارگوشه سرستونها برای دو حالت وزن مواد منفجره آمده است. این دو در واقع حد و مرز خرابی در فاصله یاد شده در فاصله 6 متر می باشند.

جدول (۲) حد و مرز تخریب برای فاصله ۶ متر

وزن ماده منفجره (gr)	x (cm)	y (cm)	z (cm)	زمان (microsec)	P max(Mbar)	max(Mbar)*P	Failure	Y disp-max	Y disp-min
11350	0	600	0	20,000	7.12E-6	7.12E-6	No	0.03	-0.21
11400	0	600	0	20,000	7.15E-6	7.15E-6	Yes	0.23	-0.21

www.SID.ir

نتایج نشان می دهد این دو میزان ماده منفجره برای یک المان ثابت با توجه به اینکه تنها یکی از آن ها منجر به خرابی می شود سبب تغییرات بسیاری در جابجایی در راستای Y و فشار ماکزیمم می گردد

مشاهده می شود فشار هم مانند جابجایی با افزایش ماده منفجره تغییرات محسوسی ایجاد می کند. این دو میزان در خد و مرز خرابی قرار دارند و در صورتی که میزان ماده منفجره در این فاصله از این مقدارها بیشتر گردد خرابی ستون در یک سوم ارتفاع از پای ستون حتمی است. در این حالت برای جلوگیری از خرابی، اگر احتمال اسفاده از میزان بیشتری از ماده منفجره باشد، باید دسترسی به ستون پل محدود گردد.

در دو فاصله فوق تفاوت بین میزان مواد منفجره در حالت مرزی تخریب مشاهده شده است. در ادامه تنها میزان کم مواد منفجره در فواصل معین که موجب تخریب نمی گردد بررسی می گردد.

جدول (۳) حد و مرز تخریب برای فواصل

Ydisp-min	Ydisp-max	Failure	max(Mbar)*P	P max(Mbar)	Time shock (micro sec)	زمان (microsec)	وزن ماده منفجره (gr)	y (cm)
0.1	0.05	No	1.5E-05	4.13E-05	1203	20,000	4,700	300
-0.21	0.03	No	7.12E-06	7.12E-6	4839	20,000	11350	600
-0.28	0.024	No	2.26E-06	2.26E-06	10658	20000	12800	900
0.18	0.032	No	3.24E-08	1.76E-06	15678	20000	24000	1200
-0.013	0.009	No	1.05E-06	1.05E-06	22998	25000	24000	1500
-0.3	0.03	No	9E-07	9E-07	29042	35000	34000	1800

جدول فوق میزان ماده منفجره به ازای فاصله های مختلف را نشان می دهد. مشاهده می شود با افزایش فاصله میزان فشار و جابجایی حتی با افزایش میزان ماده منفجره به شدت کاهش می یابد.

11–تاثیر جابجایی مواد منفجره در طول و ارتفاع

تغییر ارتفاع می تواند در تغییر پارامترهای انفجار موثر باشدبدین ترتیب نمونه هایی با میزان فاصله و میزان ماده منفجره یکسان اما در ارتفاع هایی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج این مدل سازی‌ها در ادامه آمده است.

جدول (۴) تاثیر ارتفاع در انفجار

Y disp-min	Y disp-max	P max(Mbar)	shock time	failure	زمان (microsec)	z (cm)	y (cm)	x (cm)	وزن ماده منفجره (gr)	شماره مدل
-0.1	0.05	4.13E-05	1,203	No	20,000	0	300	0	4,700	3
-0.59	0.18	4.13E-05	1,115	Yes	20,000	100	300	0	4,700	4

Archive of SID

www.SID.ir

مشاهده می شود در فاصله 3 متر و میزان ماده منفجره 4/7 کیلوگرم در سطح زمین تخریبی رخ نمی دهد اما با افزایش تنها 1 متر ارتفاع، میزان زمان رسیدن موج کاهش می یابد و تخریب نیز رخ می دهد. در فاصله 9 متر نیز با 10 کیلوگرم تخریب در سطح زمین رخ می دهد و با افزایش ارتفاع زمان رسیدن کاهش می یابد.تخریب در فاصله 3 متری می تواند به علت نزدیکی محل انفجار به سرستون ها باشد.

12–نتیجه‌گیری:

1- . با توجه به نیاز مسئله، 35 مدل در شرایط مختلف شبیه‌سازی و بررسی شده‌اند. این مدل ها برای مقایسه بیشتر تحت فاصله های مشخص دسته‌بندی شده‌اند. خروجی این نتایج حد و مرز میزان ماده منفجره که سبب تخریب می گردد را مشخص می کند. این ماده منفجره مرزی با ثابت بودن همه شرایط در نظر گرفته شده اند و با تغییر شرایط مانند تغییر ارتفاع و تغییر فاصله X این میزان نیز تغییر می کند. با تغییر ارتفاع مشاهده شد که در شرایط یکسان امکان وقوع خرابی وجود دارد. دلیل این امر نقش سرستون ها در خرابی است و افزایش ارتفاع سبب نزدیکی فاصله مواد منفجره به سرستون ها می گردد؛ در نتیجه تاثیر موج بر ستون و سر ستون بیشتر خواهد شد. افزایش فاصله طولی X نیز سبب ایجاد تغییرات در نتایج می شود. با تغییر این فاصله در سطح زمین فاصله مواد منفجره تا سازه پل نیز تغییر می کند. در این حالت برآیند فاصله بیشتر می شود. افزایش فاصله با ثابت بودن ماده منفجره سبب کاهش تاثیر موج بر سازه می گردد.

2- نتایج نشان می دهد که باید از ایجاد فشار در محدوده بالا جلوگیری شود. یعنی از قرار گیری میزان مواد منفجره زیاد در فاصله کم جلوگیری شود. از نتایج حاصله جدول مشاهده می شود که با میزان ماده منفجره 10 کیلوگرم در فاصله 3 متری که قابلیت حمل دستی را دارد، شاهد ایجاد فشار بالا و خرابی ستون خواهیم بود.

3- میزان ماده منفجره برای هر فاصله در شرایط مرزی قرار گرفته است و با افزایش آن تخریب اتفاق می افتد. در صورتی که احتمال استفاده از میزان بیشتری از ماده منفجره باشد، باید دسترسی و نزدیکی به سازه پل محدود گردد.

4- حرکت موج انفجار پس از برخورد به ستون‌های میانی پل ابتدا سبب تخریب بتن شده و سپس در محدوده فشار بدست آمده در میزان ماده منفجره بالا و فاصله کم سبب تخریب میلگردهای پل می گردد. با توجه به اینکه برخورد موج انفجار به ستون های پل از سمت شمال غربی بوده و در محدوده ارتفاعی که موج به پل می رسد متفاوت است با توجه به اینکه انفجار در هوا و در نزدیکی زمین صورت می گیرد، موج انفجار از پایین ستون‌های پل به پل برخورد می کند و سبب تخریب پل می گردد.

منابع:

[1] Hetherington. J.G, Smith. P.D, “Blast and Ballistic loading of structure,” Cranfield University, royal Militirary college of science1994

[2] Wang C.H,Introduction to Fracture Mechanics, Airfarmes and Engines Division, Aeronautical and Maritime Research Laboratoryy. 2001

[3] Liu,H.,“Dynamics Analysis of Subway Structures Under Blast Loading,” Department of Civil Engineering, the City Vollege of New York2009

[4] Crawford,J, Malvar,L,RETROFIT OF REINFORCEDCONCRETE COLUMNS USING COMPOSITE WRAPS TO RESIST BLAST EFFECTS,Karagozian & Case, structural engineers, 2005

[5] Whirley, R. G. and B. E. Engelmann, “DYNA3D: A Nonlinear Explicit Three-Dimensional Finite Element Code for Solid and Structural Mechanics,” User Manual, Report UCRL-MA- 107254 Rev. 1, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, November 1993.

[6] “Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions,” U.S. Department of the Navy, NAVFAC, November 1990 (TM-5-1300 and AFM 88-22 are identical documents published by the U.S. Army and Air Force, respectively).

Archive of SID

www.SID.ir

[7] David Naso, Michele Surico, Biagio Turchiano, Uzay Kaymak , Genetic algorithms for supply-chain scheduling: A case study in the distribution of ready-mixed concrete, European Journal of Operational Research, March, 2007

[8] Mohamad Ali, R,"PERFORMANCE BASED DESIGN OF OFFSHORE STRUCTURES SUBJECTED TO BLAST LOADING" Department of Civil and Enviromental Engineering, Imperial Colege London, United Kingdom, 2007

Archive of SID

www.SID.ir