Archive of SID.ir

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، (پیاپی ۵۵): صص ۳۹-۲۷

علمی- پژوهشی

مقاوم‌سازی ستون‌های بتنی پایه پل در برابر بارگذاری انفجاری و مقایسه روش‌های مختلف مقاوم‌سازی

پویا حسنوند*[1]، مجتبی حسینی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

چکیده

طراحی اعضایی که تحت بار انفجاری قرار می‌گیرند بعد از جنگ جهانی دوم مورد توجه دانشمندان قرار گرفت. تحقیقات گسترده‌ای در پنجاه سال اخیر بر روی رفتار سازه‌ها در برابر بار انفجار و عکس‌العمل آن‌ها صورت پذیرفته است. با توجه به شدت و بزرگی بارهای انفجاری انجام مناسب‌ترین طرح به لحاظ اقتصادی و ایمنی برای یک سازه مهم است. در صورتی که طراحی به درستی و با انتخاب معیار مناسب صورت نگیرد، ممکن است هزینه‌های گزافی را برای اجرای یک سازه تحمیل کند. نوع انفجار در این تحقیق، انفجار در هوای آزاد و از نوع محدود نشده سطحی است. انفجار سطحی انفجاری است که در سطح و یا فاصله‌ی بسیار نزدیک به زمین اتفاق می‌افتد. در این تحقیق به بررسی روش‌های مختلف مقاوم‌سازی پایه پل‌های بتنی تحت بار انفجار پرداخته خواهد شد. روش‌های مقاوم‌سازی در نظر گرفته شده شامل تغییر آرایش میلگردهای موجود در سطح مقطع، افزایش میزان میلگرد مقطع، استفاده از میلگردهای FRP و افزایش و یا تغییرشکل هندسی سطح مقطع ستون است؛ و سپس مناسب‌ترین، اقتصادی‌ترین و ایمن‌ترین طرح مقاوم‌سازی را برگزیده و یک الگوی مقاوم‌سازی مناسب برای سامانه فوق‌الذکر ارائه می‌گردد. مدل‌های سازه‌ای مورد بررسی در این تحقیق در یک سطح انفجاری یکسان (۱۰۰۰ کیلوگرم TNT در فاصله ۳ متری از سازه) مورد بررسی قرار می‌گیرند. نرم‌افزار مورد استفاده در تحلیل مدل‌های مورد بررسی نرم‌افزار SAP2000 است. نتایج نشان داد که بعضی از روش‌های مقاوم‌سازی مانند افزایش درصد میلگرد مقطع پاسخ‌های سازه‌ای را افزایش می‌دهد. همچنین از بین روش‌های مقاوم‌سازی انتخابی در پژوهش، جایگزین کردن میلگردهای FRP به جای میلگردهای معمولی در ستون‌های بتنی پایه پل به‌عنوان مؤثرترین و بهترین روش تقویت این سازه‌ها در برابر بارهای ناشی از انفجار است.

کلید واژه‌ها: انفجار، پل، طرح مقاوم‌سازی، پایه بتنی، ایمنی و عملکرد

[1] دکتری تخصصی، استاد مدعو گروه مهندسی عمران، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران- (pouya.hassanvand@yahoo.com)- نویسنده مسئول

[2] دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱- مقدمه

امروزه با توجه به افزایش حملات تروریستی در سراسر دنیا، طراحی ساختمان‌ها در مقابل بارهای ناشی از انفجار به‌ویژه در برخی از ساختمان‌های حساس و شریان‌های حیاتی در حوزه پدافند غیرعامل مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار به‌عنوان یک ضرورت، علاوه بر سازمان‌های نظامی و دولتی با توجه به تحت‌الشعاع قرار دادن اقتصاد طرح و بهره‌برداری درازمدت از یک پروژه نظر بخش غیرنظامی را نیز به خود جلب نموده است [۱]. اهمیت بررسی اثرات انفجار بر روی سازه‌ها سبب شده است تا دستورالعمل‌هایی در زمینه‌ی طراحی ساختمان‌ها و فضاهای شهری در برابر انفجار تدوین گردد. دستورالعمل TM5-855-1 [۲] که در سال ۱۹۸۶ توسط دپارتمان نیروی زمینی ارتش آمریکا برای سازه‌های مقاوم در برابر انفجار تهیه شده است را می‌توان به‌عنوان یکی از اولین دستورالعمل‌ها دانست که از اوایل دهه ۵۰ به بعد تهیه و تکمیل شده است. پس از آن دستورالعمل TR 87-57 [۳] در سال ۱۹۸۹ توسط بخش مهندسی نیروی هوایی آمریکا به‌منظور آنالیز و طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجارهای غیر اتمی ارائه شد. در سال ۱۹۹۰ نیز دستورالعمل TM5-1300 [۴] به‌صورت مشترک توسط دپارتمان نیروی زمینی، نیروی دریایی و نیروی هوایی ارتش آمریکا تهیه شد که به‌صورت گسترده جهت طراحی سازه‌ها در برابر انفجار مورد استفاده قرار گرفت. نهایتاً در سال ۲۰۰۸ دستورالعمل UFC 3-340-02 [۵] که نسبت به دستورالعمل‌های پیشین جامعیت بیشتری داشته و نسخه به روز شده TM5-1300 است، توسط دپارتمان دفاعی آمریکا تهیه شد و هم‌اکنون اکثراً به‌عنوان مبنای اصلی طراحی و تحقیقات در این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در چند دهه گذشته به‌موازات توسعه راه‌های کشور حجم قابل‌توجهی از بودجه‌های مربوطه جهت پل‌ها اختصاص یافته است. متأسفانه علی‌رغم پیشرفت‌های فن‌آوری در مهندسی عمران هنوز این سازه‌ها با گذشت زمان به دلایل مختلف ازجمله شرایط محیطی نامناسب و ترافیک سنگین و حوادث طبیعی دچار خرابی‌های متعددی می‌شوند. این خرابی‌ها در صورت عدم توجه به‌موقع علاوه بر کاهش سطح بهره‌برداری و عمر مفید سازه هزینه‌های تعمیر و نگهداری را شدیداً افزایش خواهد داد. که اهمیت به‌کارگیری روش‌های منطقی و سینماتیک در مدیریت نگهداری پل‌ها به‌منظور حفظ ایمنی استفاده‌کنندگان از پل و جلوگیری از هدر رفتن سرمایه‌های کشور را نمایان می‌سازد. بنابراین دست‌یابی به روش یا روش‌هایی جهت بهسازی پل‌هایی که به‌اندازه کافی مقاوم نیستند می‌تواند بسیار مهم باشد [۶].

یکی از اصول اساسی پدافند غیرعامل طراحی و ساخت سازه‌های امن است. با توجه به ماهیت بار انفجاری ازلحاظ بزرگی و شدت، در صورتی که طراحی به درستی و با انتخاب معیار مناسب صورت نگیرد ممکن است هزینه ساخت سازه بسیار افزایش یابد و هزینه‌های گزافی را بر کشور تحمیل کند. پل‌ها سازه‌های حساسی هستند زیرا هرگونه صدمه به آن‌ها باعث خسارات مالی و جانی می‌شود. قبل از انجام مراحل مقاوم‌سازی، مطالعه بر روی سازه اهمیت بالایی دارد که در این بین پل‌ها به‌عنوان سازه‌های استراتژیک و مهم اهمیتی دوچندان دارند. در این میان ستون‌های بتن مسلح، اعضای اصلی مقاوم در برابر بارهای افقی و قائم در سازه‌های بتنی به شمار می‌آیند لذا مقاوم کردن ستون‌ها در برابر نیروهای جانبی می‌تواند نقش مهمی را در مقاوم‌سازی کل سازه ایفا کند درنتیجه استفاده از روش‌های مختلف جهت مقاوم‌سازی ستون‌های بتنی مسلح در دنیا گسترش یافته است.

تحقیق‌های متعددی بر روی مبحث بهسازی و مقاوم‌سازی پل و روش‌های بهبود عملکرد سازه‌ای آن‌ها انجام شده است، که از اهم تحقیقات صورت گرفته تا امروز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ویلیامسون و وینگت [۷] و وینگت و همکاران [۸] برای تعیین عملکرد و پاسخ پل ها تحت بار انفجار، از تحلیل دینامیکی درجه آزادی مجزا (SDOF[۱]) استفاده کردند. در این تحقیقات، بتن پیش تنیده در پل‌های چنددهانه مورد آنالیز قرار گرفت و نتایج نشان داد که هندسه پل، فاصله انفجار از هدف، و محل انفجار اثر مهمی بر روی پاسخ پل دارد.

- عبدالاحد و آروکیاسامی [۹] پل‌ها با سامانه عرشه دال بتنی و تیر T شکل را در برابر بار انفجار ضعیف و متوسط مورد بررسی قرار دادند. از نتایج مهم تحقیق آن‌ها این بود که استفاده از بتن با مقاومت بالا تأثیر چندانی در افزایش مقاومت پل در انفجار نداشت.

- بالوت و همکاران [۱۰]، تحقیقاتی را برای یک روش مؤثر تجزیه و تحلیل شاه‌تیرهای پل با اندازه‌های مختلف وزن و موقعیت مواد منفجره انجام دادند. در این تحقیقات، آن‌ها اثر مقدار و توزیع بار را ارزیابی کردند.

- مهدوی صفت و همکاران [۱۱] در مطالعه‌ای به عملکرد پل‌های بتنی پیش‌تنیده تحت بار انفجاری پرداختند. آن‌ها دریافتند که سیستم کابلی می‌تواند برای یک مسیر بارگذاری متغیر به‌منظور حفظ سازه تحت بار انفجاری شدید، طراحی شود. عملکرد یکپارچه در سیستم کابل پیش‌تنیده اگر بتواند در سرتاسر پل توسعه یابد می‌تواند آسیب‌های موضعی که ممکن است در عرشه

[۱] سیستم یک درجه آزادی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پل اتفاق بیفتد، را کاهش دهد. این سیستم همچنین از تخریب پیشرونده و گسترش تخریب به دهانه‌های مجاور جلوگیری می‌کند.

- یاکسین پن و همکاران [۱۲] در یک مطالعه عددی عملکرد پل‌های بزرگراه‌ها را در معرض بارهای انفجار بررسی کردند. این مطالعه به بررسی سناریوهای مختلف انفجاری از نظر وزن و محل انفجار، و اثرات آن‌ها بر روی سازه‌های پل می‌پردازد. هر دو مکانیزم آسیب موضعی و پاسخ سازه‌ای کلی پل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که در مجموع پل تقویت‌شده با CFRP[1] عملکرد خوبی دارد و علاوه بر این تقویت وجه پشت به انفجار سازه نسبت به وجه رو به انفجار سازه در جلوگیری از تکه‌تکه شدن و تشکیل پرتابه مؤثرتر است.

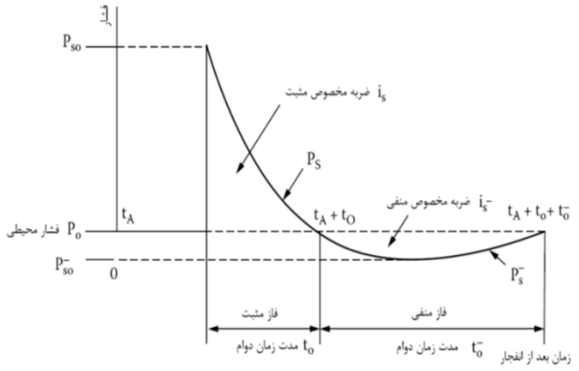
- پائولو زامپیری و همکاران [۱۳] عملکرد سازه‌ای یک پل کابلی فولادی تحت بار انفجار با در نظر گرفتن الگوهای پیکربندی مختلف را بررسی کردند. در این مطالعه سه نوع پیکربندی مختلف برای سازه پل تحت بار انفجار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از اثرات قابل توجه نوع پیکربندی سازه‌ای پل بر پاسخ‌های سازه‌ای ناشی از بارگذاری انفجاری است. همچنین مشخص گردید که پل کابلی با پیکربندی مدل Fan در بین موارد در نظر گرفته شده مؤثرترین پیکربندی در کاهش اثر دینامیکی ناشی از بارگذاری انفجاری بر سازه است.

اکثر تحقیق‌های قبلی، پاسخ اجزای پل‌ها تحت بار انفجار را به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار داده‌اند. ولی مطالعه کمتری در خصوص روش‌های مختلف مقاوم‌سازی ستون‌های بتنی پایه پل در برابر این نوع بارگذاری و مقایسه این روش‌ها با هم انجام شده است. لذا در این مطالعه، بررسی رفتار یک پل با ابعاد واقعی تحت بار انفجار و به کمک تحلیل‌های نرم‌افزاری و مقایسه و بررسی روش‌های مختلف بهسازی و مقاوم‌سازی آن پرداخته شده است.

۲- مواد و مصالح

۲-۱- آشنایی با پدیده‌ی انفجار

به‌طورکلی، انفجار نتیجه‌ی آزاد شدن بسیار سریع مقدار زیادی انرژی در یک فضای محدود است [۱۴]. آزاد شدن ناگهانی انرژی، یک موج فشاری در محیط تولید می‌کند که موج شوک نامیده می‌شود. زمانی که یک انفجار اتفاق می‌افتد، انبساط گازهای داغ، یک موج فشاری در محیط اطراف تولید می‌کند. با حرکت این موج از مرکز انفجار، بخش داخلی به‌وسیله‌ی جبهه‌ی موج از محل اولیه‌ای که قبلاً در آنجا تحت فشار قرار داشت و اکنون داغ شده است حرکت می‌کند. در حین حرکت موج فشاری با سرعت صوت، دما حدود ۴۰۰۰-۳۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار نزدیک ۳۰۰Kbar هست و این عوامل باعث افزایش بیشتر سرعت موج می‌شود. شکل (۱) منحنی فشار - زمان موج انفجار را برای انفجار در محیط آزاد نشان می‌دهد.



شکل (۱): تاریخچه زمانی فشار ناشی از یک موج انفجاری آزاد در هوا [۵]

در مقایسه با دیگر بارهای وارد بر سازه (نظیر زلزله، باد، سیل و...)، بار ناشی از انفجار دارای خصوصیات و تفاوت‌هایی است که حتماً باید موردتوجه واقع شود [۱۵]:

الف- میزان فشار وارد بر سازه در هنگام انفجار می‌تواند چندین برابر بزرگ‌تر از فشار ناشی از دیگر مخاطرات باشد. مثلاً فشار بیشینه ناشی از انفجار یک خودرو که در کنار پیاده‌رو پارک شده است، بر سازه‌های مجاور تا مقدار باورنکردنی ($۷۰۰ton/m^2$) می‌رسد.

ب- فشار ناشی از انفجار با سرعت بسیار زیادی از بین می‌رود. به همین دلیل تخریب ناشی از انفجار در قسمتی از سازه که رو به انفجار است، به‌مراتب شدیدتر و وسیع‌تر از پشت سازه خواهد بود.

ج- بازه زمانی و درنتیجه، دوره بارگذاری در انفجار بسیار کوتاه است که به‌طور معمول در زمان‌هایی نظیر چند هزارم تا چند صدم ثانیه رخ می‌دهد. درحالی‌که مدت دوام بار زلزله چند ده ثانیه و مدت دوام بار باد تا چند ده دقیقه متغیر می‌باشند.

د- موج ضربه‌ای ناشی از انفجار همچنین در جهت‌هایی اثر می‌کند که احتمالاً سازه برای تحمل بار در آن جهت‌ها طراحی نشده است. مثلاً نیروی ناشی از انفجار در جهت بالا بر سقف‌های ساختمان اثر می‌کند.

مقدار بار ناشی از موج انفجار و نحوه توزیع فشارهای حاصله بر روی سازه تابع عوامل زیر است [۵]:

- هندسه و شکل سازه
- موقعیت محل انفجار نسبت به سازه
- خواص مواد منفجره مانند جنس، وزن، مقدار انرژی آزاد شده

[1] ورق‌های تقویتی فیبر کربن

Archive of SID.ir

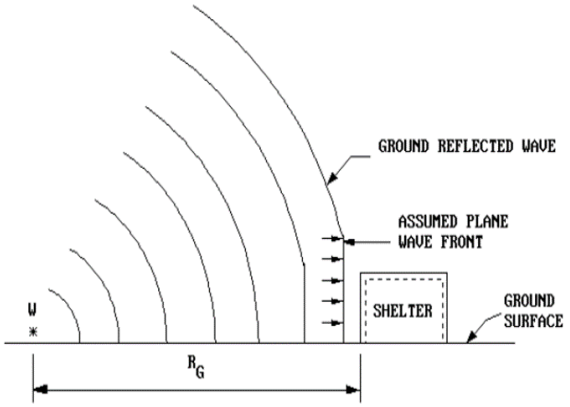
Archive of SID.ir

- مقدار تشدید موج در اثر تداخل با زمین، حفاظ یا خود سازه

۲-۲- نوع انفجار مورد مطالعه

انفجارها از نظر موقعیت نسبت به سازه به دو گروه اصلی انفجار داخلی و انفجار خارجی تقسیم‌بندی می‌شوند. انفجار خارجی را نیز می‌توان در سه گروه انفجار در هوای آزاد، انفجار هوایی و انفجار سطحی تقسیم‌بندی نمود. انفجار در هوای آزاد زمانی رخ می‌دهد که یک انفجار در بالای یک سازه طوری روی دهد که میان منبع ماده منفجره و سازه هیچ‌گونه تقویت موج شوک اولیه وجود نداشته باشد. اما اگر انفجار در فاصله‌ای مشخص از سطح زمین روی دهد، موج اولیه از نقطه انفجار منتشرشده و پس از برخورد با سطح زمین و انعکاس به سطح سازه برخورد می‌کند. بنابراین موج در امتداد سطح زمین در ارتفاعی موسوم به ارتفاع ماخ که ناشی از اندرکنش موج اولیه و موج منعکس‌شده است منتشر می‌گردد. به همین ترتیب اگر یک انفجار در سطح زمین رخ دهد، موج اولیه انفجار مطابق شکل (۲) پس از برخورد با زمین منعکس شده و با ترکیب موج اولیه و موج منعکس‌شده به‌صورت یک موج به شکل نیم‌کره منتشر می‌گردد. نتایج نشان داده است که در شرایط یکسان ازنظر نوع انفجار و فاصله، انفجارهای سطحی به دلیل تشدید ناشی از برخورد موج با زمین نسبت به انفجار در هوای آزاد امواج شدیدتری تولید می‌کنند [۵].

فاز مثبت و منفی فشار، ضربه، دوره تناوب و دیگر پارامترهای ناشی از انفجار سطحی بر روی وجه مقابل و پشت سازه به‌صورت تابعی از فاصله مقیاس‌شده از نقطه انفجار با استفاده از منحنی‌های ارائه شده در دستورالعمل UFC 3-340-02 و مطابق الگوی تغییرات بار وارده برحسب زمان محاسبه می‌شود.

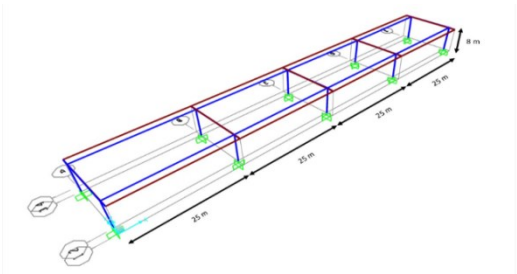


شکل (۲): موج ناشی از انفجار سطحی [۵]

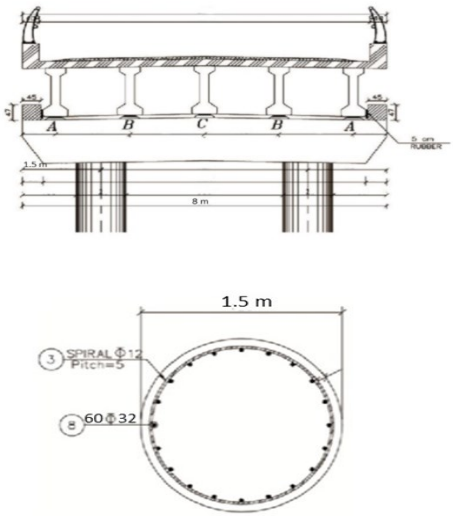
۲-۳- مدل‌های مورد بررسی

در این تحقیق به‌منظور بررسی و مقایسه روش‌های مختلف مقاوم‌سازی پل‌های بتنی تحت اثر بارهای ناشی از انفجار مطالعاتی عددی بر روی مدل‌های سازه پل سه‌بعدی صورت گرفته است. در راستای این هدف پلی با ابعاد واقعی که در استان گیلان شهرستان رودسر واقع شده انتخاب و قاب‌های آن تحت تحلیل قرار گرفت، که در ادامه مشخصات این پل ذکر شده است. سازه پل مورد بررسی در تحقیق دارای پایه‌هایی بتنی با شکل هندسی مقطع دایره‌ای به ارتفاع ۸ متر که در فواصل طولی ۲۵ متر از هم قرار دارند. عرض عرشه پل ۱۶ متر است و هندسه و مقاطع بکار رفته در این پل به‌ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) نمایش داده شده است. برای سازه پل موردنظر ستون‌های مدل‌شده با مقطع معمول دایره‌ای به قطر ۱/۵ متر استفاده شده است، که در آن از ۶۰ میلگرد با قطر ۲۸ میلی‌متر به‌کار گرفته شده است. این میزان از فولاد برای این ستون معادل ۲٪ مساحت مقطع ستون است که به‌صورت دایره‌ای چیده شده است. انتخاب سیستم دایره‌ای برای ستون پایه‌ها به دلیل عملکرد بالای ستون‌های دایره‌ای شکل در برابر ارتعاشات است.

در مدل‌سازی سازه مورد بررسی، عرشه و پل در نرم‌افزار مورد استفاده مدل گردید و جهت اعمال بار ناشی از انفجار، نمودار فشار - زمان به دست آمده از انفجار به‌صورت تاریخچه زمانی در نرم‌افزار تعریف گردید و این بار به ستون وسطی پایه بتنی پل وارد می‌شود.



شکل (۳): ابعاد و هندسه پل مورد مطالعه



شکل (۴): مقطع عرضی عرشه و پایه پل مورد مطالعه

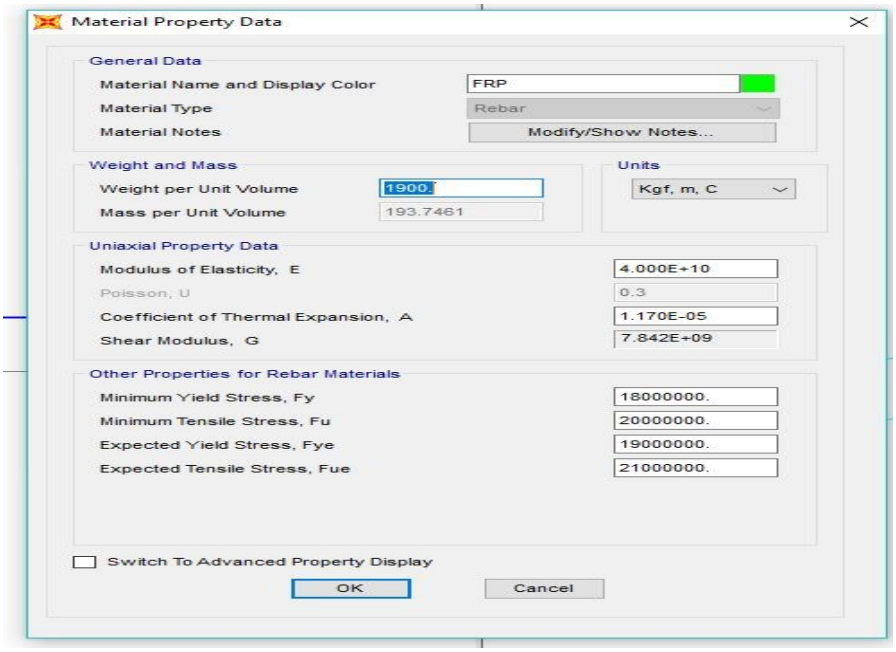
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲-۴- مشخصات مصالح مصرفی

مصالح مصرفی در ساخت نمونه‌ها شامل بتن و فولاد و میلگرد FRP است که مشخصات این مصالح در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

مشخصات میلگردهای FRP همان‌طور که در جدول (۲) ارائه شده است، در قسمت تعریف مصالح نرم‌افزار SAP 2000 مطابق شکل (۵) تعریف گردید. مشخصات هندسی شامل قطر میلگردها، تعداد و مشخصات مکانیکی شامل تنش کششی نهایی، تنش تسلیم، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و وزن مخصوص است. تغییر شکل‌ها در این حالت به میزان زیادی کاهش داشته و این از تأثیر میلگردهای FRP است.



شکل (۵): مدل‌سازی میلگردهای FRP در نرم‌افزار

جدول (۱): مشخصات بتن و فولاد مصرفی

مصالح	نسبت پواسون (ν)	E (kg/m^2)	f´$_c$ (kg/cm^2)	ρ(kg/m^3)
Concrete پایه پل و تیر	۰/۲	۲۱۰۰۰۰	۵۰۰	۲۴۰۰
Concrete0 عرشه	۰/۲	۲۱۰۰۰۰	۲۸۰	۲۴۰۰
Steel	۰/۳	۲۱۰۰۰۰۰	f_y=۳۰۰۰	۷۸۵۰

جدول (۲): مشخصات میلگرد FRP

مصالح	مدول الاستیسیته	وزن مخصوص	تنش تسلیم	تنش نهایی کششی
FRP	E (Gpa)	ρ(kg/m^3)	F_y (kg/cm^2)	F_u (kg/cm^2)
	۴۰۰	۱۹۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰

۲-۵- بارگذاری

۲-۵-۱- بار زنده

بار روسازی پل شامل روسازی و ملحقات آن و شاه‌تیرها به‌صورت بار مرده به محل نئوپرن‌ها اعمال می‌شود. طبق نشریه ۱۳۹ (آیین‌نامه بارگذاری پل‌ها، ۱۳۷۹) [۱۶] باره‌ای بهره‌برداری شامل سه نوع بار فرضی هستند که اثر آن‌ها معادل اثر بارهای واقعی مؤثر بر اجزای پل است که شامل بارهای زیر می‌باشند:

۱- بار نوع اول: بار یک کامیون به وزن ۴۰۰ کیلونیوتن در هر خط عبور، که ۳ متر جلو و ۳ متر عقب آن خالی است،در بقیه طول خط عبور بار یکنواختی به میزان ۱۵ کیلونیوتن بر متر طول قرار داده می‌شود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲- بار نوع دوم: این بار معادل ۸۰ کیلونیوتن است که سطح اثر آن مربعی به ابعاد ۳۰ سانتی‌متر فرض می‌شود و موقعیت آن در محدوده سواره‌رو متغیر است.

۳- بار نوع سوم: اثر دو نوع بار نظامی به شرح زیر:

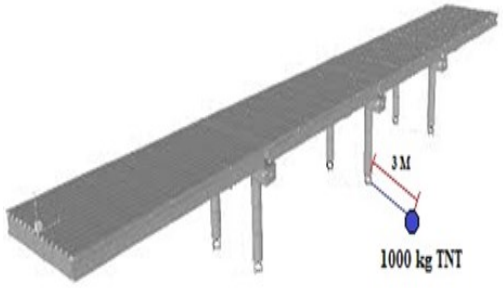
الف) بار تانک: بار یک تانک به میزان ۷۰۰ کیلونیوتن که در امتداد عرض پل تنها یک تانک، و در امتداد طول حداقل فاصله وسط تا وسط هر دو تانک متوالی ۳۰ متر منظور می‌شود.

ب) بار تریلی تانک بر: بار یک تریلی دارای ۶ محور و به وزن ۹۰۰ کیلونیوتن، که در عرض پل تنها یک تریلی و در طول پل حداقل فاصله بین چرخ‌های دو وسیله متوالی ۱۲ متر در نظر گرفته می‌شود.

پس از اعمال این بارها به مدل پل تحت بررسی و تحلیل دستی آن‌ها، بار نوع اول بحرانی‌ترین بار شناخته شده و به‌عنوان بار زنده انتخاب می‌شود.

۲-۵-۲- بار انفجار و نحوه اعمال آن بر سازه

مدل‌ها با توجه به مقدار ماده منفجره براساس دستورالعمل UFC 3-340-02 تحت اثر بار انفجاری مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. سطح انفجار موردنظر مطابق شکل (۶) معادل انفجار ۱۰۰۰ کیلوگرم TNT در فاصله ۳ متری از سازه در نظر گرفته شده است. بارگذاری انفجاری مدل‌ها بر اساس فاز مثبت و منفی فشار ناشی از یک انفجار سطحی در مقابل یک وجه سازه انجام شده است. نمودار فشار-زمان ناشی از انفجار مورد بررسی در شکل (۶) نمایش داده شده است.



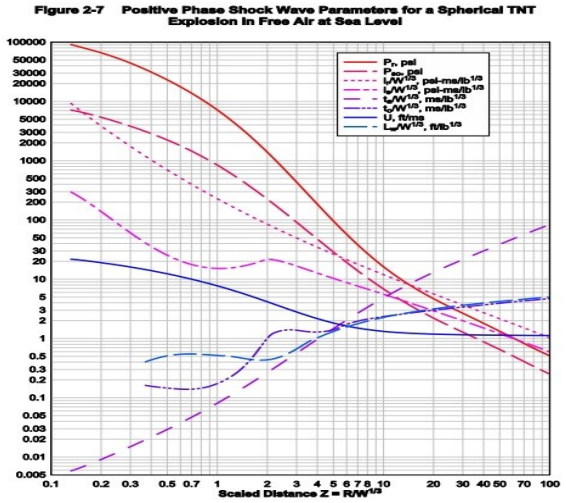
شکل (۶): موقعیت و فاصله ماده منفجره نسبت به پل

برای محاسبه پارامترهای انفجار معمولاً از روشی به نام روش فاصله مقیاس‌بندی شده استفاده می‌کنند. عمومی‌ترین روش مقیاس‌گذاری انفجار روش هاپکینسون – کرانز یا ریشه سوم است که ابتدا توسط هاپکینسون در سال ۱۹۱۹ و سپس توسط کرانز در سال ۱۹۲۶ فرمول‌بندی شد [۱۷]. بر اساس این قانون امواج مشابه هنگامی به وجود می‌آیند که دو ماده منفجره با جنس یکسان در فواصل مقیاس‌گذاری شده مشابه منفجر شوند [۱۷]. مواد منفجره مختلف فشارهای متفاوتی را ایجاد می‌کنند، بنابراین برای داشتن یک مبنا برای مقایسه، مواد منفجره مختلف با ماده منفجره TNT معادل و مقایسه می‌شوند. پارامتر مقیاس Z_G (فاصله مقیاس‌شده)، برای محاسبه اثر انفجار بر مبنای وزن معادل TNT طبق معادله زیر تعریف می‌شود:

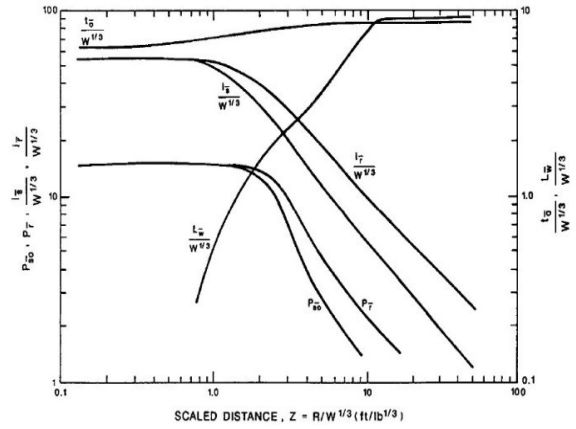
$$Z_G = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \qquad (۱)$$

در این رابطه، R فاصله از محل انفجار و W وزن ماده منفجره معادل TNT می‌باشد.

برای تعیین پارامترهای موج انفجار و رسم نمودار فشار – زمان ارائه‌شده در شکل (۱) می‌توان از منحنی‌های ارائه‌شده در دستورالعمل UFC 3-340-02 استفاده کرد (به‌صورت نمونه در شکل (۷) و (۸)) که بر اساس آن می‌توان با توجه به محاسبه فاصله مقیاس شده، پارامترهایی نظیر بیشینه فشار انفجار در فاز مثبت و منفی، مدت زمان فاز مثبت و منفی انفجار، ضربه ناشی از انفجار در فاز مثبت و منفی و... را تعیین نمود. با استفاده از پارامتر فاصله مقیاس‌شده (Z)، محاسبه‌شده طبق رابطه (۱) و نمودارهای UFC 3-340-02 نمودار فشار- زمان ناشی از انفجار موردمطالعه، محاسبه و در شکل (۹) ارائه شده است.



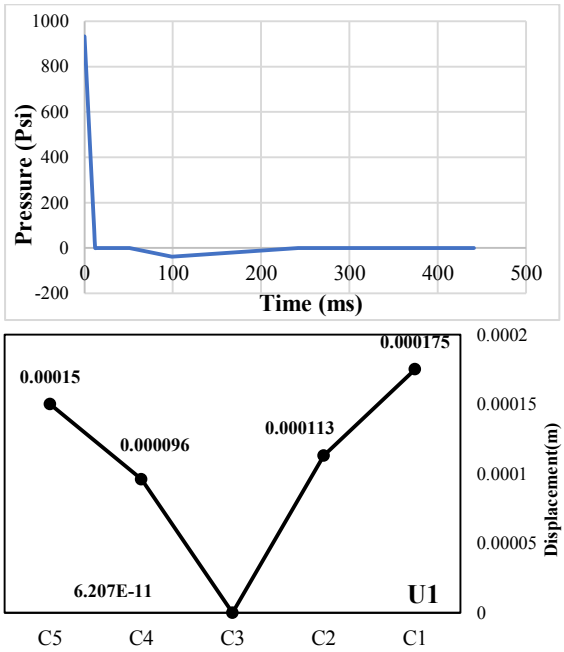
شکل (۷): پارامترهای فاز مثبت موج انفجار [۵]



شکل (۸): پارامترهای فاز منفی موج انفجار [۵]

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل (۹): نمودار فشار – زمان ناشی از سناریوی انفجاری مورد بررسی

به‌منظور ساده‌سازی محاسبات بارگذاری انفجاری، فرض‌های ساده کننده زیر در نظر گرفته شده است:

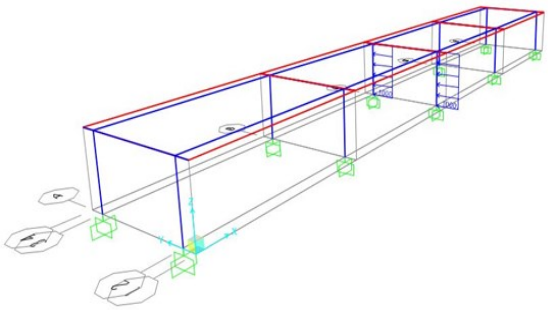
۱- بارهای ناشی از انفجار صرفاً به پایه‌های بتنی پل اعمال شده است و عرشه پل تحت نیروهای ناشی از انفجار قرار نگرفته است.

۲- فشار انفجار وارد بر ستون بتنی پایه پل، در ارتفاع پایه ثابت و یکنواخت و برابر فشار مربوط به پای ستون در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که با توجه به کاهش مقدار واقعی فشار انفجار وارد بر سازه، با افزایش ارتفاع آن، این فرض محافظه‌کارانه است.

۳- در این تحقیق از تکان زمین زیر سازه در اثر انتقال امواج انفجار در زمین صرف‌نظر شده است.

۴- بار گسترده روی ستون ناشی از انفجار از ضرب عرض بارگیر ستون در منحنی فشار وارد شده به ستون رو به انفجار به دست می‌آید و این بار به‌صورت خطی و ثابت در تمام ارتفاع ستون به سازه وارد می‌شود.

با توجه به فرضیه‌های بالا نحوه انتقال بار ناشی از انفجار به سازه در شکل (۱۰) آمده است.



شکل (۱۰): نحوه اعمال بار انفجار به سازه

۲-۶- معرفی نرم‌افزار مورد استفاده

جهت شبیه‌سازی مدل‌های مورد استفاده در پژوهش از نرم‌افزار SAP 2000 استفاده شد. نرم‌افزار SAP 2000 در حدود سی سال است که در طراحی و آنالیز سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر سال امکانات این نرم‌افزار بیشتر می‌شود و با حفظ رابط کاربری ساده و مشخص، بر پیچیدگی انواع محاسبات و آنالیزها اضافه می‌شود. درواقع SAP 2000 برنامه‌ای فوق‌العاده پیشرفته، قابل درک همراه با رابط کاربری چند بعدی و فراگیر است که با بهره‌گیری از موتور تحلیلی بی‌نظیر و ابزارهای طراحی منحصربه‌فرد قدرتمند شده است. محیط مدل‌سازی گرافیکی سه‌بعدی باعث شده است به‌سادگی بتوانید به طرح‌های خود تجسم بخشید و سپس انواع تحلیل‌های لازم را روی آن انجام داد. مدل‌سازی‌های پیچیده با کمک تمپلت‌های پرقدرتی که در رابط کاربری آن گنجانده شده است، ارائه می‌گردد و کاربران می‌توانند آن‌ها را با یکدیگر تلفیق کنند. این نرم‌افزار تمامی نیازهای لازم برای طراح را یکجا فراهم آورده است و در ساخت سازه‌ها از این نرم‌افزار به‌طور عملی استفاده می‌شود. از قابلیت‌های نرم‌افزار می‌توان به تحلیل استاتیکی و دینامیکی، تحلیل‌های خطی و غیرخطی، تحلیل بار متحرک وسایل نقلیه برای پل‌ها اشاره نمود.

۲-۷- تحلیل مدل‌ها

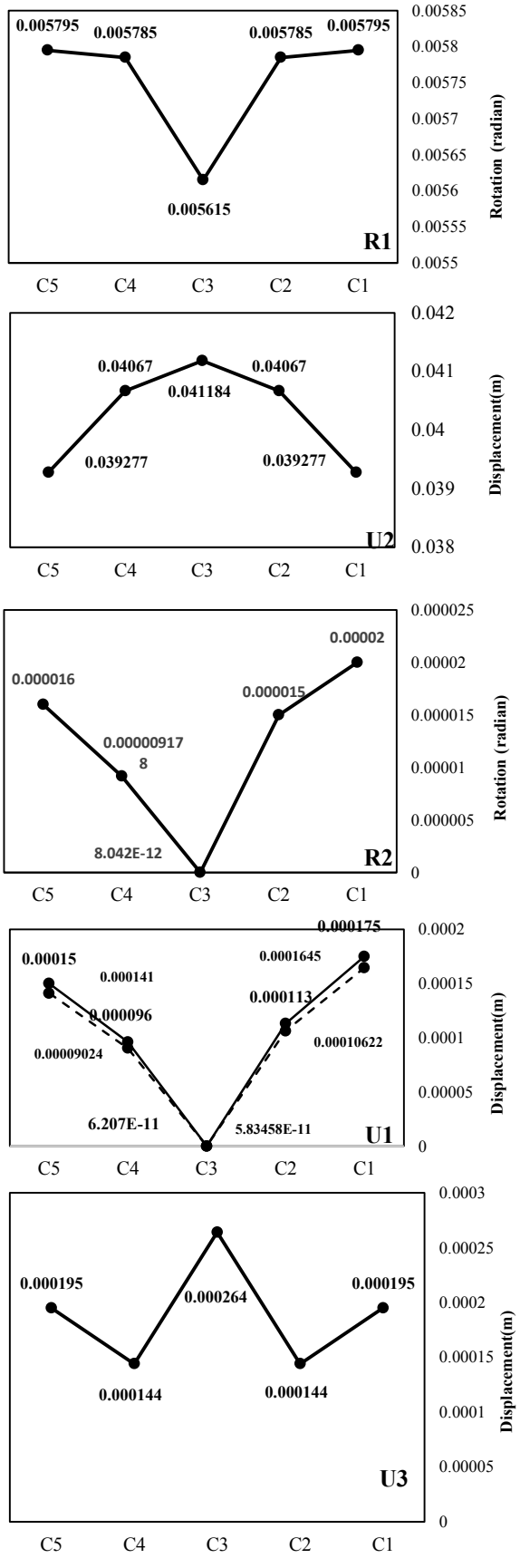
تحلیل مدل با استفاده از نرم‌افزار SAP 2000 و به روش دینامیکی و از نوع تاریخچه زمانی انجام شده است. تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی روشی است تحلیلی برای تعیین بازتاب‌ها در هر مقطع زمانی (در مدت وقوع اعمال بار در سازه)، وقتی که سازه پل تحت تأثیر امواج ناشی از انفجار قرار می‌گیرد. در این روش، بازتاب‌های دینامیکی سازه به‌صورت تابعی از زمان محاسبه می‌گردد. از این روش می‌توان برای تحلیل خطی ارتجاعی و یا تحلیل غیرخطی سازه‌ها استفاده نمود.

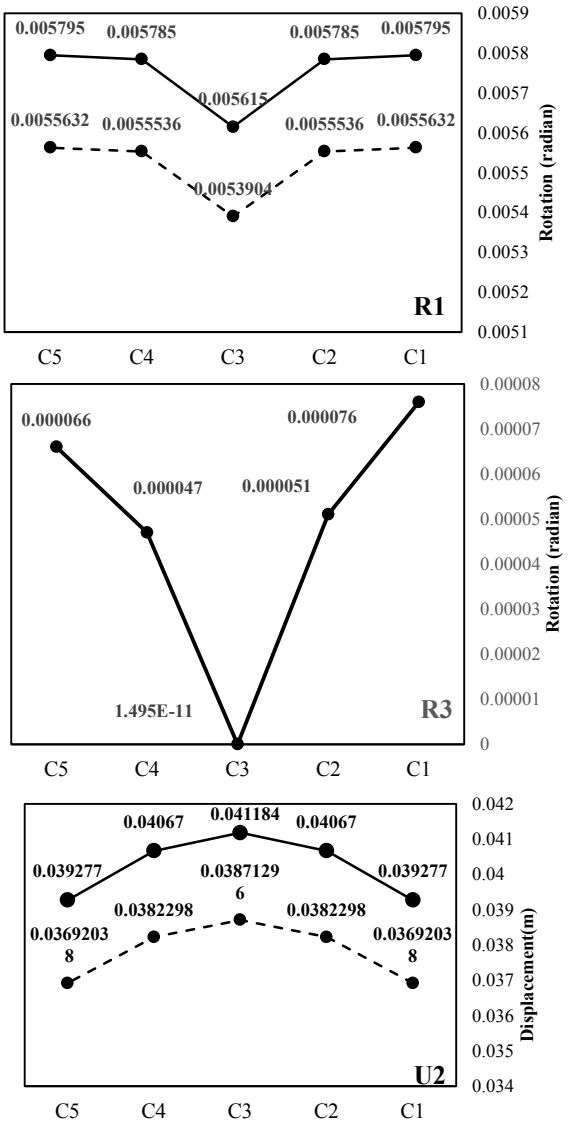
۳- نتایج و بحث

ابتدا طرح اولیه را که بدون تقویت است و با هندسه و مقاطع ذکرشده در بند (۳-۲) تحلیل و طراحی کرده و تغییرشکل‌های ناشی از بار انفجار در حالت بدون تقویت بررسی می‌کنیم. نتایج تغییرشکل‌ها فقط در سرستون‌ها و محل اتصال به عرشه مورد بررسی قرار می‌گیرد زیرا همان‌طور که می‌دانیم محل اتصال به عرشه از نقاط ضعف سازه است و اگر تغییرشکل‌ها در این نقطه کنترل شود به عبارتی خرابی‌های احتمالی سازه کم شده و قابل کنترل است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir





شکل (۱۱): جابجایی ماکزیمم و تغییر زاویه سر ستون تحت اثر بار انفجار در جهت X,Y,Z

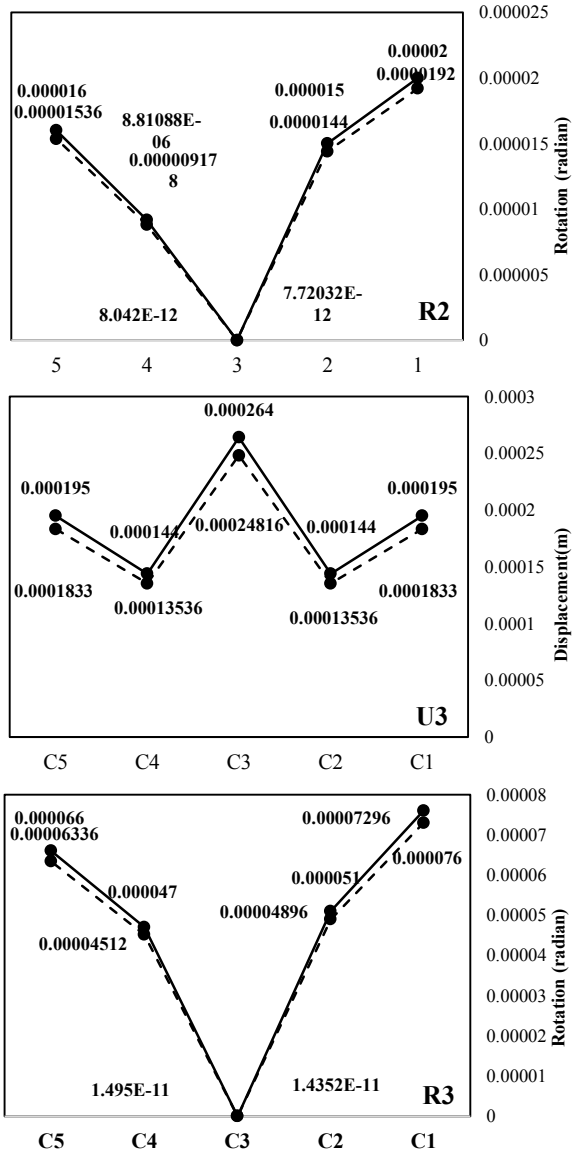
۳-۱- نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها در حالت تقویت به روش افزایش ابعاد ستون

در این حالت همان‌طور که در نمودارهای شکل (۱۱) مشخص است هنگام اعمال بار انفجار بر ستون وسط تغییرمکان سرستون در راستای محور X کمترین مقدار (تقریباً نزدیک به صفر) است و در مورد تغییرمکان ستون‌ها در راستای محورهای Y و Z نیز تغییرمکان در ستون وسط بیشترین مقدار و در ستون‌های مجاور کمتر است. در مورد پارامتر تغییر زاویه سرستون تغییر زاویه سرستون حول محور Y کمترین مقدار (تقریباً نزدیک به صفر) و تغییر زاویه حول محور X و Z برای ستون وسط کمترین مقدار و در ستون‌های مجاور بیشتر است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با افزایش ابعاد ستون به میزان ۳۰ سانتی‌متر که معادل ۲۰٪ بعد اولیه است، همان‌طور که در نتایج می‌بینیم باعث کاهش تغییرشکل به‌طور محسوس در کل سازه پل نشده است. که این کاهش در تغییرمکان بیشتر و در تغییر زاویه کمتر بوده است. همچنین این تغییر در جهت اعمال بار انفجار بیشتر و در جهت‌های دیگر کمتر بوده است.

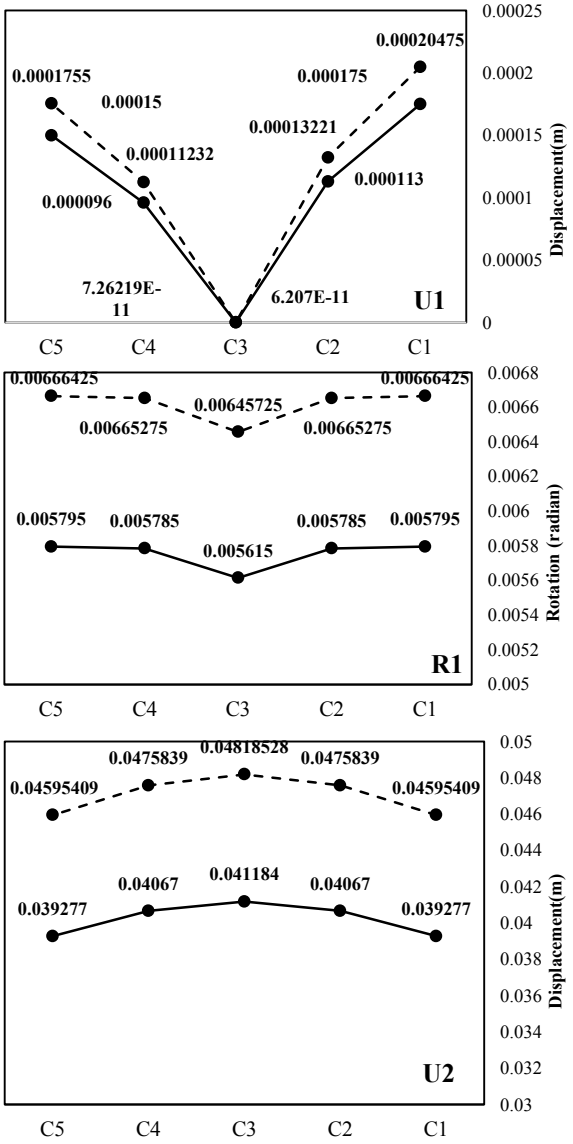


شکل (۱۲): مقایسه جابجایی ماکزیمم و تغییر زاویه سر ستون تحت اثر بار انفجار بعد از تقویت با روش افزایش بعد ستون در جهت ابعاد X,Y,Z

در این حالت با توجه به نمودارهای شکل (۱۲) و اعداد به دست آمده مشخص می‌شود افزایش ابعاد به میزان ۲۰٪ تغییر محسوسی در نتایج پاسخ‌های سازه‌ای شامل تغییرمکان و تغییر زاویه سرستون حاصل نشده است. لذا افزایش ابعاد مقطع ستون پایه پل به‌منظور مقاوم‌سازی و کاهش پاسخ‌های سازه‌ای در برابر بار انفجار مقرون‌به‌صرفه نیست. دلیل این مقدار ناچیز کاهش مقادیر، افزایش سطح بارگیر سازه به‌دلیل افزایش بعد ستون و در نتیجه افزایش بار وارده ناشی از انفجار به موازات افزایش بعد ستون و در نتیجه افزایش مقاومت آن است.

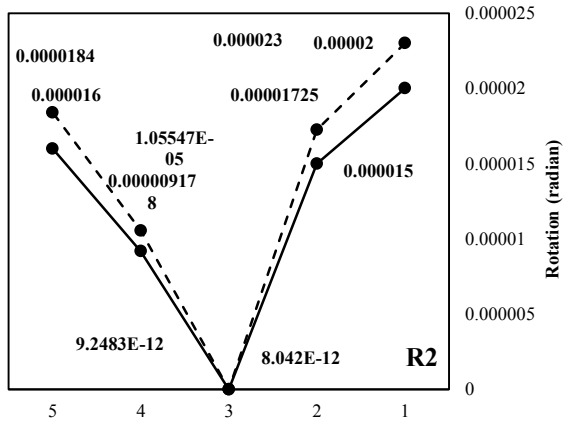
۳-۲- نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها در حالت تقویت به روش اثر تغییر آرایش میلگردها

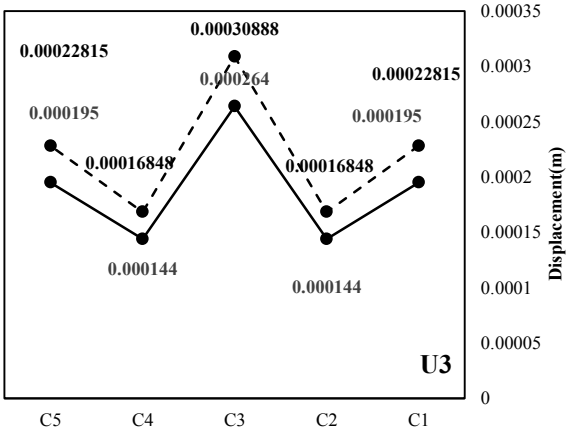
در این حالت نه ابعاد مقطع را تغییر دادیم و نه میزان میلگردها تغییر کرد بلکه آرایش قرارگیری میلگردها در مقطع از یک ردیف به دو ردیف تغییر پیدا کرد. در این حالت با توجه به نتایج به دست آمده تغییر وضعیت میلگردها نمی‌تواند کمکی به تقویت سازه داشته باشد زیرا هسته مرکزی و مقاوم بتن کم شده و توانایی تحمل بار توسط خود بتن کم می‌شود. همچنین فاصله میلگردها کمتر شده و لنگر مقاوم نیز کاهش می‌یابد و درنتیجه تغییرشکل‌ها به‌طور محسوسی بیشتر شده است.

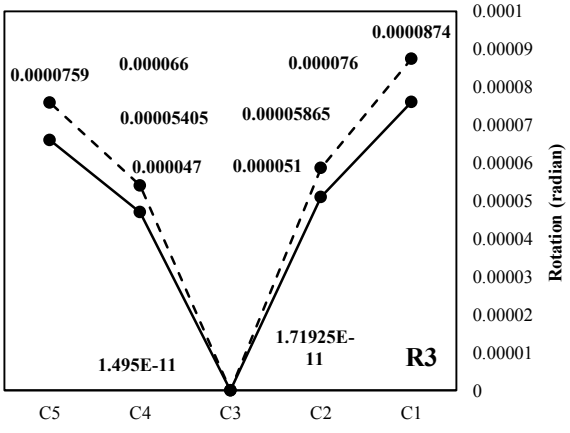


Archive of SID.ir

Archive of SID.ir





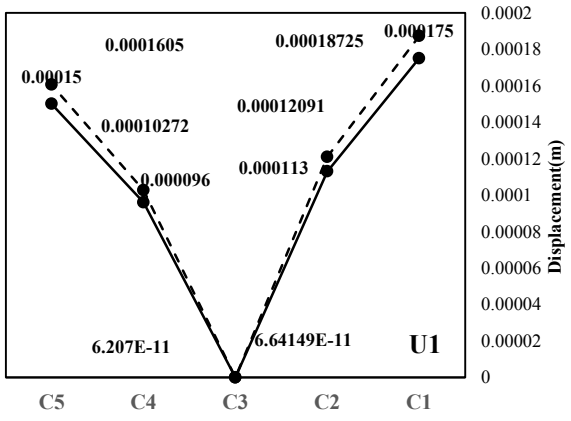


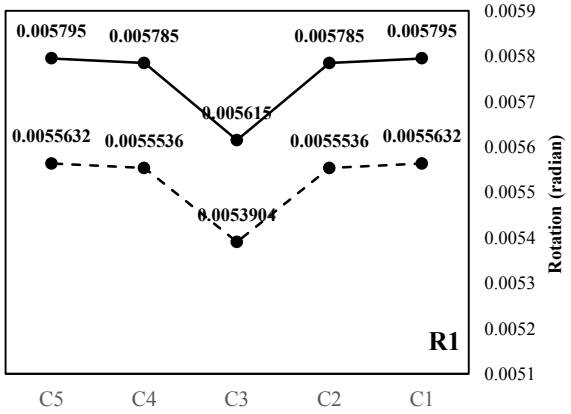
شکل (۱۳): مقایسه جابجایی ماکزیمم و تغییر زاویه سر ستون تحت اثر بار انفجار بعد از تغییر آرایش میلگردها در مقطع در جهت ابعاد X,Y,Z

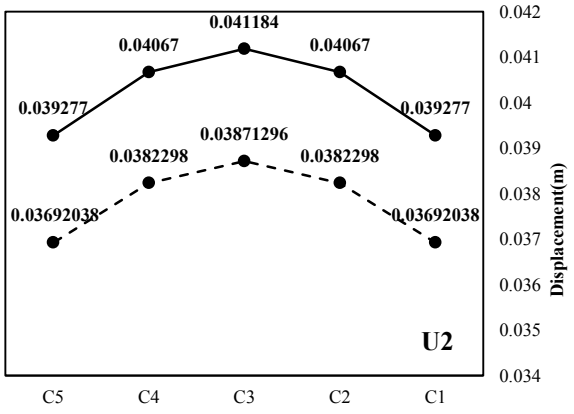
با توجه به نمودارهای شکل (۱۳) و اعداد به‌دست آمده مشخص می‌شود که این حالت مقاوم‌سازی پاسخ‌های سازه‌ای شامل تغییرمکان و تغییر زاویه سرستون را نه تنها کاهش بلکه آن‌ها را افزایش و سازه را تضعیف می‌نماید. لذا تقویت به روش تغییر آرایش میلگردها به‌منظور مقاوم‌سازی و کاهش پاسخ‌های سازه‌ای در برابر بار انفجار توصیه نمی‌گردد.

۳-۳- نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها در حالت تقویت به روش افزایش درصد میلگرد ستون

در این حالت افزایش درصد میلگردهای سطح مقطع از ۲ درصد به ۳ درصد انجام شد و به دلیل آنکه میلگردها به دلیل مشکلات اجرایی و آیین‌نامه‌ای در یک ردیف جا نمی‌شدند تعداد نصف شده و در دو ردیف قرار داده شد. تغییرشکل‌ها به‌جای اینکه کاهش یابند افزایش داشته است، ولی این افزایش همانند تغییرات ناشی شده از دو ردیف قرار دادن میلگردها نیست و کمتر است. زیرا درست است که درصد میلگردها افزایش یافته ولی در عوض هسته بتنی مقاوم کاهش یافته و نیرویی کمتری توسط بتن تحمل می‌شود. درنتیجه تغییرشکل‌ها افزایش می‌یابد ولی تغییرات زیاد محسوس نیست و این تغییرات در تغییرات زاویه سرستون بیشتر بوده است.

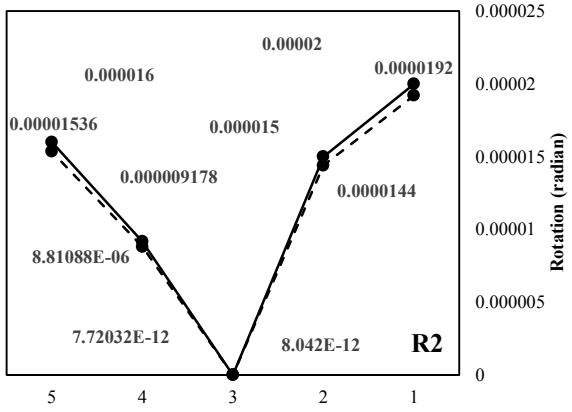


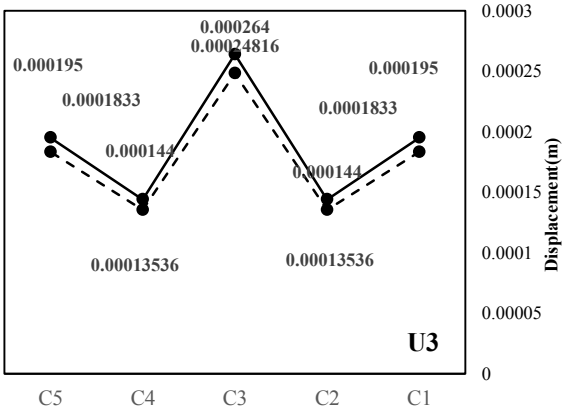


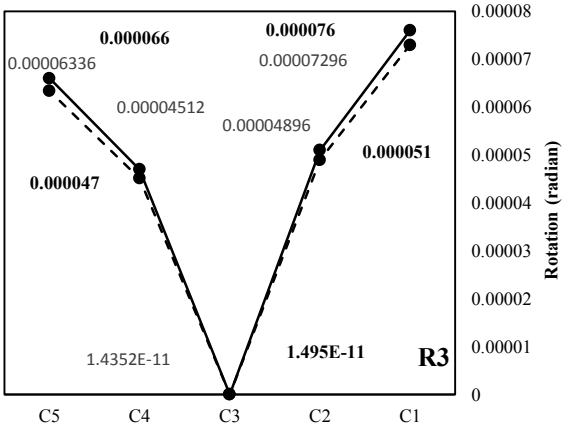


Archive of SID.ir

Archive of SID.ir





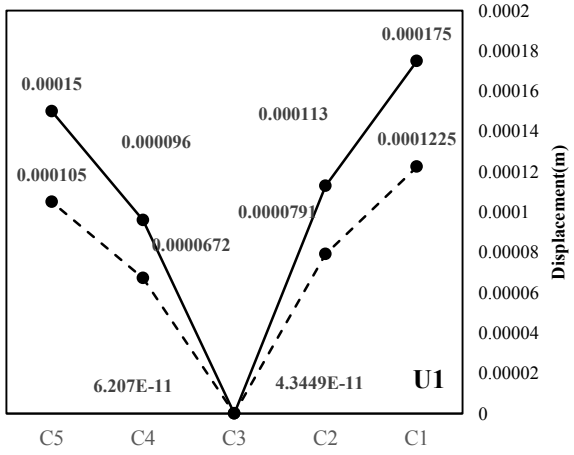


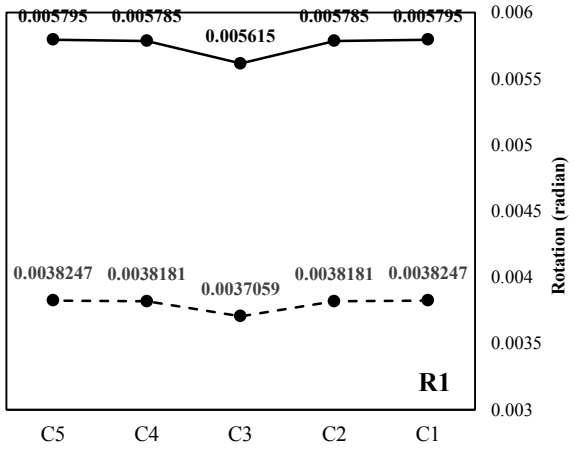
شکل (۱۴): مقایسه جابجایی ماکزیمم و تغییر زاویه سر ستون تحت اثر بار انفجار بعد از تقویت به روش افزایش درصد میلگرد سطح مقطع در جهت ابعاد X,Y,Z

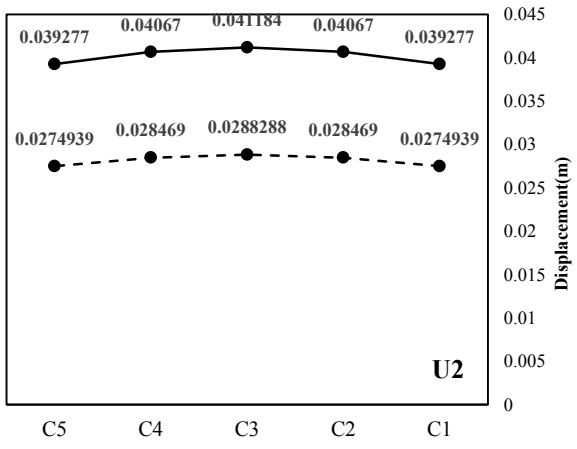
با توجه به نمودارهای شکل (۱۴) و اعداد به دست آمده مشخص می‌شود که این حالت مقاوم‌سازی نیز پاسخ‌های سازه‌ای شامل تغییرمکان و تغییر زاویه سرستون را نه‌تنها کاهش بلکه آن‌ها را افزایش و سازه را تضعیف می‌نماید. لذا تقویت به روش افزایش درصد میلگرد مقطع ستون به‌منظور مقاوم‌سازی و کاهش پاسخ‌های سازه‌ای در برابر بار انفجار توصیه نمی‌گردد.

۴-۳- نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها در حالت استفاده از میلگردهای FRP

این میلگردها به شکل قابل‌توجهی می‌توانند برای کنترل تغییرشکل‌ها مؤثر باشند و تأثیرات ناشی از انفجار را کم کنند.. این تغییرات آن‌قدر کنترل‌کننده است برای تغییرشکل‌های ناشی از انفجار که می‌توانند به‌عنوان راه حل مؤثر برای پیشگیری از خطرت ناشی از انفجار در نظر گرفته شوند.

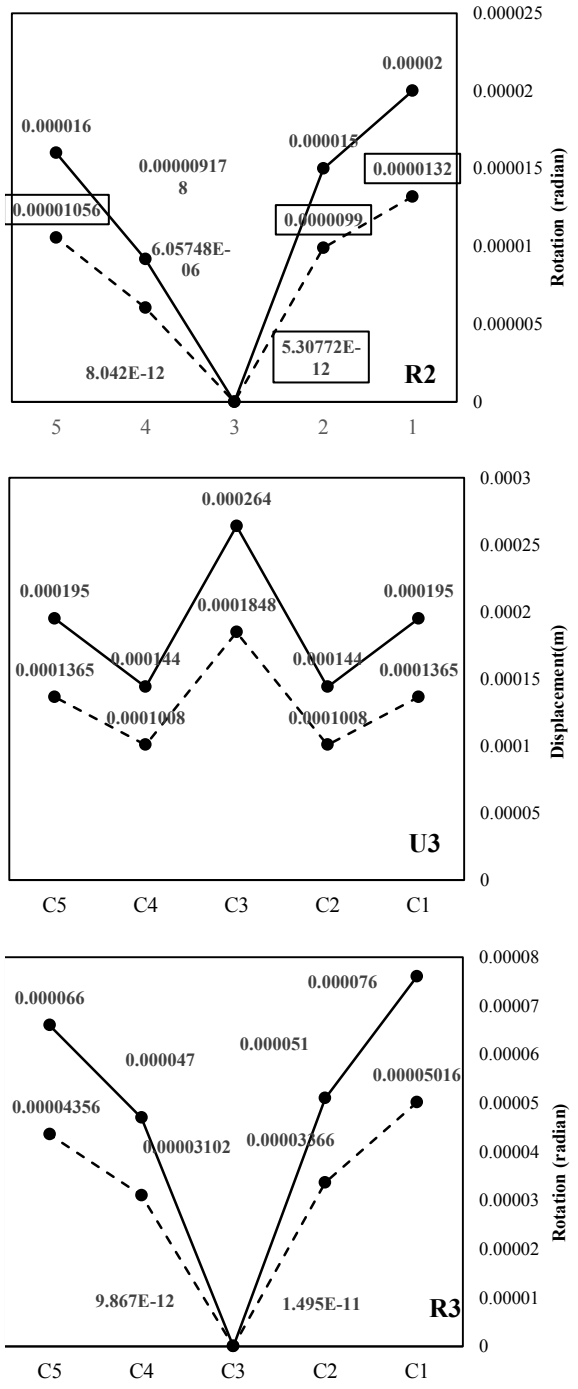






Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل (۱۵): مقایسه جابجایی ماکزیمم و تغییر زاویه سرستون تحت اثر بار انفجار در حالت استفاده از میلگردهای FRP در جهت ابعاد X,Y,Z

با توجه به نمودارهای شکل (۱۵) و اعداد به دست آمده در این حالت مقاوم‌سازی و مقایسه با سایر حالات مقاوم‌سازی انجام شده مشخص می‌شود که پاسخ‌های سازه‌ای شامل تغییرمکان و تغییر زاویه سرستون به‌طور محسوسی کاهش می‌یابند و این نتیجه عملکرد مناسب میلگردهای FRP است لذا این روش به‌عنوان مؤثرترین و بهترین روش تقویت ستون‌های بتنی پایه پل در برابر بار انفجار توصیه می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

به‌منظور تحقق اهداف تعیین‌شده در این تحقیق پلی با ابعاد هندسی مفروض و مشخص ابتدا در نرم‌افزار SAP2000 تحت بارگذاری لرزه‌ای طراحی و تحلیل می‌شود و سپس سازه پل طراحی‌شده بر اساس نیروهای لرزه‌ای تحت بارگذاری انفجاری قرار داده شد. سپس چند روش مقاوم‌سازی شامل افزایش ابعاد مقطع ستون، افزایش درصد فولاد مقطع ستون، تغییر آرایش میلگردهای سطح مقطع و استفاده از میلگردهای FRP جهت مقاوم‌سازی و بهبود عملکرد و کاهش پاسخ‌های سازه‌ای اعمال گردید و درنهایت پاسخ‌های سازه‌ای مربوط به روش‌های مختلف مقاوم‌سازی با هم مقایسه و نتایج به‌صورت زیر ارائه می‌گردد:

۱- با توجه به نمودارها و نتایج ارائه‌شده در بند ۳، هنگام اعمال بار انفجار بر ستون وسط، تغییرمکان راستای X (در امتداد پل) برای ستون موردنظر نزدیک به صفر ولی در بقیه ستون‌ها زیاد می‌شود ولی تغییرمکان راستای انفجار و عمود بر راستای پل از همه بیشتر است. در ستون موردنظر (ستون وسط) این میزان تغییرمکان زیاد، در ستون‌های هم‌جوار کمتر می‌شود.

۲- همان‌طور که در نمودارهای نتایج ارائه‌شده نمایان است، هنگام اعمال بار انفجار بر ستون وسط تغییر زاویه سر ستون حول محور X (در امتداد پل) کمتر ولی در راستای پل تغییر چندانی ندارد، این موضوع عیناً در مورد تغییر زاویه حول محور Y و Z نیز رخ می‌دهد با این تفاوت که در این حالت میزان تفاوت بیشتر می‌شود.

۳- با اعمال اولین روش یعنی افزایش ابعاد ستون به میزان ۳۰ سانتی‌متر که معادل ۲۰٪ بعد اولیه است، همان‌طور که در نتایج می‌بینیم این روش مقاوم‌سازی باعث کاهش تغییرشکل به شکل محسوس در کل سازه پل نشده است. که این کاهش در تغییرمکان بیشتر و در تغییر زاویه کمتر بوده است. میزان این کاهش میزان تغییرشکل‌ها و بهبود عملکرد سازه‌ای در پارامترهای ماکزیمم جابجایی و تغییر زاویه سرستون به‌ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۰۵ درصد است.

۴- اثر تغییر آرایش میلگردها از یک ردیف به دو ردیف نمی‌تواند کمکی به تقویت سازه داشته باشد زیرا هسته مرکزی و مقاوم بتن کم شده و توانایی تحمل بار توسط خود بتن کم می‌شود. افزایش تغییرشکل‌ها در ماکزیمم جابجایی و تغییر زاویه سرستون به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۲۸ است.

۵- اثر افزایش درصد میلگرد در مقطع ستون (از ۲ درصد به ۳ درصد) باعث شد تغییرشکل‌ها به‌جای اینکه کاهش یابند افزایش داشته باشند، ولی این افزایش همانند تغییرات ناشی شده از دو ردیف قرار دادن میلگردها نیست و کمتر است. افزایش تغییرشکل‌ها در ماکزیمم جابجایی و تغییر زاویه سرستون ناشی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

از افزایش درصد میلگرد سطح مقطع به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۲۷ است.

۶- با جایگزین کردن میلگردهای FRP به جای میلگردهای معمولی، تغییرشکل‌ها در این حالت به میزان زیادی کاهش داشته است. این میلگردها به شکل قابل‌توجهی می‌توانند برای کنترل تغییرشکل‌ها مؤثر باشند و تأثیرات ناشی از انفجار را کم کنند. این تغییرات برای تغییرشکل‌های ناشی از انفجار آنقدر کنترل‌کننده است که می‌توانند به‌عنوان راه حل مؤثر برای پیشگیری از خطرت ناشی از انفجار در نظر گرفته شوند. میزان کاهش تغییرشکل‌ها در پارامترهای ماکزیمم جابجایی و تغییر زاویه سرستون به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۴۹ است.

۷- با بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل سازه پل تقویت‌شده به روش‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت که جایگزین کردن میلگردهای FRP به جای میلگردهای معمولی در ستون‌های بتنی پایه پل به‌عنوان مؤثرترین و بهترین روش تقویت و بهسازی این سازه‌ها در برابر بارهای ناشی از انفجار است.

۵- مراجع

[1] P. Hassanvand, M. Hosseini, A. R. Sarvghad Moghadam, and M. Heydari Rasoul Abadi, "Assessment Behaviour of the Concrete Flexural Frame and Shear Wall Partially Buried System under Blast Loadings," Journal of structural and construction engineering, vol. 5, no. 1, pp. 55-70, 2018. (In Persian) 10.22065/JSCE.2017.83948.1162.

[2] US Department of the Army, "Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons," TM 5-855-1, Washington DC, 1986.

[3] J. L. Drake, et al., "Protective Construction Design Manual. Final Report, Air Force Engineering and Services Center," ESL-TR-87-57, November 1989.

[4] U. S. Army, U. S. Navy, and U. S. A. Force, "Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions," TM5-1300, p. 1400, 1990.

[5] Unified Facilities Criteria (UFC 3-340-02), "Structure to Resist the Effects of Accidental Explosion," U. S. Army Corps of Engineers, 2008.

[6] A. Rahae and A. Firouzi, "Methods of Inspection and Maintenance of Concrete Bridges," The first conference on securing and improving structures. In Iran, 2002.

[7] E. B. Williamson and D. G. Winget, "Risk Management and Design of Critical Bridges for Terrorist Attacks," J. Bridge. Eng., vol. 10, no. 1, pp. 96-106, 2005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2005)10:1(96).

[8] D. G. Winget, K. A. Marchand, and E. B. Williamson, "Analysis and Design of Critical Bridges Subjected to Blast Loads," J. Struct. Eng-ASCE., vol. 131, no. 8, pp. 1243-1255, 2005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:8(1243).

[9] V. Lute, A. Upadhyay, and K. K. Singh, "Genetic algorithms-based optimization of cable stayed bridges," J. Softw. Eng. Appl., vol. 4, no. 10, pp. 571-578, 2011. 10.4236/jsea.2011.410066.

[10] J. Baylot, J. Roy, and J. Hall, "Prediction Method for Response of Steel Bridge Beams and Girders to Blast and Fragment Load," Transport Res. Rec., vol. 1827, no. 1, pp. 69-74, 2002. https://doi.org/10.3141/1827-09.

[11] E. Mahdavi Sefat and M. Vatani, "Behavior of prestressed concrete bridge under blast loading," Passive Defense Quarterly, vol. 1, no.25, pp. 1-10, 2016. (In Persian)

[12] Y. Pan, C. E. Ventura and M. M.S. Cheung, "Performance of highway bridges subjected to blast loads," Eng. Struct., vol. 151, pp. 788-801, 2017. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.028.

[13] C. D. Tetougueni, P. Zampieri, and C. Pellegrino, "Structural performance of a steel cable-stayed bridge under blast loading considering different stay patterns," Eng. Struct., vol. 2019, 110739, 2020. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110739.

[14] M. Y. H. Bangash, "Shock, impact and explosion," Springer Berlin Heidelberg, New York, 2009.

[15] INBC,"Loads on the Buildings," Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code 6, 1398. (In Persian)

[16] Management and Planning Organization of Iran, Office of the Deputy for Technical Affairs, Bureau of Technical Affairs and Standards," Standard Loads for Bridges: No. 139," First revision, 1379. (In Persian)

[17] N. Y. H. Bangash and T. Bangash, "Explosion-Resistant Buildings," Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Strengthening of Reinforced Concrete Bridge Columns Against Blast Loading and Comparison of Different Methods of Strengthening

P. Hassanvand*, M. Hosseini

Abstract

The design of elements under blast load came to the attention of scientists after World War II. Extensive research has been done in the last fifty years on the behavior of structures against blast loads and their reaction. Due to the intensity and magnitude of blast loads, it is important to carry out the most appropriate scheme in terms of economics and safety for a structure. If the design is not done correctly and with the right criteria selected, it may impose exorbitant costs on the execution of a structure. The type of blast in this research is blast in the open air and unrestricted surface. A surface blast is a blast that occurs at a surface or at a very close distance to the ground. In this research, different methods of strengthening the column of concrete bridges under blast load will be investigated. The considered strengthening methods include changing the arrangement of the rebars on the cross-sectional area, increasing the amount of cross-sectional rebars, using FRP rebars and increasing or changing the geometric shape of the column cross-sectional area; Then the most appropriate, economical and safest strengthening scheme is selected and a suitable strengthening model for the above system is presented. The structural models studied in this research are investigated at an identical blast level (1000 kg TNT at 3 meters from the structure). The software used in analyzing the studied models is SAP2000 software. The results showed that some strengthening methods, such as increasing the amount of cross-sectional rebars, increase structural responses. Also, among the strengthening methods selected in the research, replacing FRP rebars instead of regular rebars in the reinforced concrete bridge columns is the most effective and the best method of strengthening these structures against the blast loads.

Key Words: *Blast, Bridge, Strengthening Scheme, Concrete Column, Safety and Performance*

*Ph.D, Lorestan University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Visiting Professor, Iran.
(pouya.hassanvand@yahoo.com) - Writer-in-Charge

Archive of SID.ir