

چکیده

در این مقاله تأثیر هم‌زمان بار انفجار و زلزله بر پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه بررسی می‌شود. بدین منظور فرض می‌شود که در حین زلزله، تحریک زمین سبب بروز انفجار در نزدیکی سازه می‌شود. در ابتدا، فشار ناشی از بار انفجار با دو شدت متفاوت محاسبه و در فواصل مختلف زمانی، هنگامی که سازه تحت بار زلزله‌ی سرپل ذهاب قرار دارد، بر سازه وارد می‌شود. به منظور بررسی تأثیر هم‌زمان اعمال بار زلزله و انفجار بر پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه، چهار مدل مختلف انتخاب می‌شود. در مدل اول، بار انفجار در حین شروع زلزله، در مدل دوم، بار انفجار در ابتدای زمان جنبش نیرومند زمین، در مدل سوم، بار انفجار در زمانی که بیشینه شتاب زلزله رخ می‌دهد و در مدل چهارم بار انفجار در انتهای زلزله بر سازه اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهند در حالتی که زمان وقوع انفجار دقیقاً مصادف با زمان رسیدن بار زلزله به بیشینه شتاب آن بوده است، بیشینه پاسخ سازه رخ داده است. به‌عنوان مثال در حالت استفاده از ۱۵۰۰ کیلوگرم ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی پنج‌متری از سازه به همراه بار زلزله، بیشینه جابه‌جایی سازه ۶۴/۷۵ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار انفجار به‌تنهایی و همچنین ۶۵/۹۴ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار زلزله به‌تنهایی می‌باشد.

واژگان کلیدی: زلزله، انفجار، تحلیل دینامیکی غیرخطی، دریافت، شاخص خرابی.

تأثیر بار انفجار توأم با بار زلزله بر رفتار غیرخطی سازه

رضا کامگار (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، kamgar@sku.ac.ir

یوسف عسگری

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

نوراله مجیدی

کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۱- مقدمه

توسط لوله شک و با استفاده از یک خرج انفجاری-احتراقی صورت گرفت. بیکر و همکاران [۲] نیز تعدادی مدل را به‌منظور محاسبه‌ی اضافه فشار و ضربه‌ی ناشی از انفجارهای اتفاقی صنعتی مطرح و مدل معادل تی‌ان‌تی را به‌صورت کلی برای آن به کار بردند. آنها نشان دادند که با استفاده از منحنی‌های داده شده با مدل معادل تی‌ان‌تی می‌توان رابطه‌ی بین اضافه فشار، فاصله و ضربه‌ی ایجاد شده را بررسی نمود. انگو و همکاران [۳] رفتار ستون‌های با مقاومت بالا تحت بار انفجار را بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که خرابی برشی حاکم بر مد شکست برای انفجار در نزدیک ستون رخ می‌دهد و ستون‌های با مقاومت بالا نسبت به ستون‌های معمولی در مواقع قرارگیری در مقابل بارهای شدید عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند ضمن اینکه آنها قدرت جذب انرژی بهتری را نیز دارند. میلز [۴] تأثیر ترکیب بار انفجار و ضربه‌ی ترکش را بر روی سازه‌های بتنی بررسی نمود و نشان داد

با توجه به وجود احتمال رخداد انفجار در حین زلزله، مطالعات در مورد چگونگی مقابله و کاهش اثرات ناشی از بارگذاری سازه تحت تأثیر هم‌زمان بار زلزله و انفجار از اهمیت بالایی برخوردار است. حرکت سازه در اثر انفجار و ضربه‌ی ناشی از آن، شامل حرکات با مدت‌زمان کوتاه و فرکانس بالاست. به جهت همین ویژگی‌های منحصربه‌فرد، بررسی پاسخ ساختمان به این چنین بارگذاری‌هایی بسیار متفاوت با پاسخ به زمین‌لرزه خواهد بود. در رابطه با بررسی پاسخ سازه تحت بار زلزله تحقیقات متعددی وجود دارد. در همین زمینه محققین متعددی پاسخ سازه را تحت بار انفجار بررسی نموده‌اند، درحالی که در رابطه با تحریک سازه تحت اثر توأم بار زلزله و انفجار وجود ندارد.

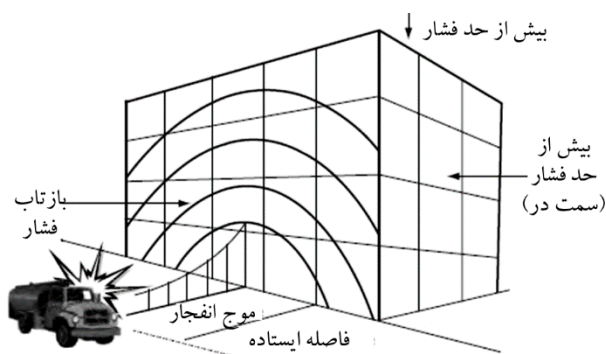
مگنسا و موریل [۱] مطالعاتی آزمایشگاهی بر روی تیر بتنی با مقاومت‌های گوناگون انجام دادند. در این تحقیق، آزمایش انفجار

خرپایی و مهار بازویی را با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه بررسی کردند. محققین مقادیر بهینه‌ی میراگر جرمی تنظیم شونده را تحت تحریک بحرانی محاسبه و عملکرد سازه را حین زلزله بهبود بخشیدند [۱۵-۱۶]. کامگار و همکاران [۱۷] تأثیر اندرکنش خاک و سازه را بر روی پاسخ سازه‌ی بهینه‌سازی شده با استفاده از میراگر جرمی تنظیم شونده تحت بار زلزله بررسی نمودند. موسوی و ضیائی‌فر [۱۸] میراگر انقباض محوری جدیدی را معرفی و مدلی ساده جهت تعیین رفتار عمومی برای این میراگر معرفی نمودند.

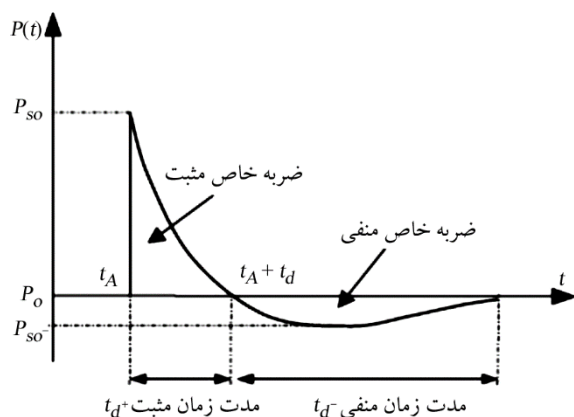
در این مقاله تأثیر هم‌زمان انفجار و زلزله بر روی پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه شش طبقه فولادی در نرم‌افزار OpenSees بررسی می‌شود. بدین منظور، در ابتدا مقدار فشار ناشی از بار انفجار ۱۰۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی و ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله پنج‌متری از سازه محاسبه و به آن وارد می‌شود. زلزله‌ی سر پل ذهاب نیز انتخاب شده و در چهار حالت بار انفجار و زلزله بر سازه اعمال می‌شوند. در حالت اول، بار انفجار در حین شروع زلزله اعمال می‌شود. در حالت دوم، نیز بار انفجار در ابتدای زمان جنبش نیرومند زمین اعمال می‌شود. در حالت سوم، انفجار در زمانی که بیشینه شتاب زلزله رخ می‌دهد اعمال می‌شود در حالی که در مدل چهارم، انفجار پس از اتمام جنبش نیرومند زمین و در انتهای زلزله رخ می‌دهد. در حقیقت فرض بر این است که در حین زلزله و یا ابتدا و انتهای زمان زلزله، تحریک زمین سبب بروز انفجار در نزدیکی سازه می‌شود که در زلزله‌های رخ داده در گذشته به کرات مشاهده شده و سبب بروز تلفات مالی و جانی زیادی شده است. در نهایت نیز منحنی‌های شتاب، دررفت، جابه‌جایی و برش پایه‌ی سازه با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش مقدار ماده‌ی منفجره پاسخ سازه در حالت کلی افزایش یافته است. همچنین با در نظر گرفتن حالات مختلف، حالت C که در آن زمان وقوع انفجار دقیقاً مصادف با رسیدن بار زلزله به بیشینه شتاب آن است، بیشینه پاسخ سازه رخ داده است و با افزایش مقدار ماده‌ی انفجاری، بیشینه پاسخ سازه تحت تأثیر هم‌زمان بار انفجار و زلزله تغییری

که مقاومت ضربه در زمان اضافه کردن رشته آهنی به بتن که نتیجه آن تغییر عمق نفوذ در هدف بوده سبب کاهش مقدار پوسته شدن و کنده شدن بتن شده است. شی و همکاران [۵]، مدل‌سازی دقیق موج انفجار را در تعامل با ستون بتن آرمه با استفاده از نرم‌افزار AUTODYN انجام دادند و نشان دادند که ابعاد و شکل هندسی ستون تأثیر قابل توجهی در نحوه‌ی انتشار موج انفجار و بار وارده بر ستون دارد. لوچیونی و همکاران [۶] با استفاده از هایدروکد AUTODYN، شبیه‌سازی واکنش یک ساختمان را نسبت به انفجار ۴۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی بررسی نمودند و تمامی مراحل، از انفجار تا تخریب کامل سازه از جمله نحوه‌ی انتشار موج انفجار و تعامل آن با سازه را مورد بررسی قرار دادند. هائو و همکاران [۷] نیز شبیه‌سازی عددی فروپاشی تدریجی یک سازه‌ی بتن مسلح را تحت بار انفجاری با استفاده از LS-DYNA مورد بررسی قرار دادند. هائو [۸] همچنین یک روش نوآورانه را به منظور تجزیه و تحلیل پاسخ سازه در برابر انفجار ارائه نمود. در این روش پاسخ سازه در دو مرحله محاسبه می‌شود. در مرحله‌ی اول نیروی وارده با استفاده از روش یک درجه آزادی محاسبه می‌شود و سرعت به‌دست آمده در پایان مرحله‌ی اول به‌صورت شرایط اولیه در مرحله‌ی دوم که ارتعاش آزاد سازه است، استفاده می‌شود. نقص این روش در نادیده گرفتن جابه‌جایی سازه در مرحله‌ی اول است. در تحقیقات بعدی لی و هائو [۹] این نقصان را برطرف نموده و جابه‌جایی و سرعت ناشی از مرحله‌ی اول بارگذاری را در مرحله دوم به‌عنوان شرایط اولیه استفاده نمودند. کامگار و شمس [۱۰] پاسخ غیرخطی مهاربند کمانش‌ناپذیر را تحت بار انفجار بررسی کردند. توکلی و همکاران [۱۱] نیز موقعیت بهینه‌ی کمربند خرپایی و مهار بازویی را تحت بار انفجار محاسبه نمودند. بحیرایی و همکاران [۱۲] تأثیر بارگذاری انفجار را بر روی دال بتنی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS بررسی کردند. امینی و همکاران [۱۳] توابع بی‌اسپلین برای ارائه‌ی روشی جدید جهت تحلیل دینامیکی سازه‌ها تحت بار انفجار را مورد استفاده قرار دادند.

در رابطه با پاسخ سازه تحت بار زلزله نیز تحقیقات متعددی انجام شده است. توکلی و همکاران [۱۴] موقعیت بهینه‌ی کمربند



شکل (۱): گسترش امواج انفجار [۲۲].



شکل (۲): نمودار فشار زمان انفجار [۲۲].

به گونه‌ای که t_A زمان رسیدن بار انفجار به سازه، P_{so} بیشینه فشار مثبت بار انفجار، P_o فشار محیط، P_{so-} بیشینه فشار منفی بار انفجار، t_{d-} زمان فاز منفی انفجار و t_{d+} زمان فاز مثبت انفجار را نشان می‌دهد.

رایج‌ترین روش برای محاسبه‌ی بار انفجار ناشی از ماده‌ی منفجره روش هاپکینسون-کرانز یا روش ریشه‌ی سوم فاصله مشهور است. بنیان‌گذار این روش هاپکینسون است و بعداً توسط کرانز این روش اصلاح شد [۲۴]. در این رابطه از پارامتر مقیاس (Z) جهت محاسبه‌ی پارامترهای انفجار استفاده می‌شود.

$$Z = \frac{W}{R^{1/3}} \quad (1)$$

رابطه‌های متفاوتی نیز جهت پیش‌بینی بار انفجار وجود دارد. در این مقاله از رابطه معروف پیشنهاد شده توسط میلز [۴] (مطابق رابطه ۲) جهت تخمین بیشینه فشار ناشی از بار انفجار استفاده می‌شود.

نداشته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار برش پایه و ممان پایه زمانی که سازه به تنهایی تحت تأثیر بار انفجار قرار دارد به مراتب بیشتر از همین مقادیر برای زمانی است که سازه صرفاً تحت تأثیر بار زلزله قرار دارد. مقادیر چرخش بام، دررفت بام، برش و ممان پایه زمانی که انفجار در ابتدا و یا انتهای زلزله رخ می‌دهد (حالات A و D) با همین مقادیر زمانی که سازه صرفاً تحت تأثیر بار انفجار قرار دارد یکسان است و این نشان می‌دهد که به علت کوتاه بودن زمان انفجار و کم بودن شدت زلزله در ابتدای زلزله، بار زلزله نتوانسته تأثیری در پاسخ سازه ایجاد نماید. در انتهای زلزله نیز به علت نبود بار زلزله صرفاً سازه تحت تأثیر بار انفجار بوده و نتایج یکسانی اتفاق افتاده است.

۲- انفجار

انفجار آزاد شدن ناگهانی، سریع و در مقیاس زیاد انرژی است که به معنی واکنش خیلی سریع و پایدار در ماده‌ی منفجره است [۱۹-۲۱]. در مواد منفجره با قابلیت انفجار بالا، سرعت انفجار در محدوده ۶۷۰ تا ۸۵۳ متر بر ثانیه است و موج حاصل از انفجار به صورت فشاری بیشتر از فشار محیط اطراف (وجه پرفشار) به سمت خارج از منبع انفجار توسعه یافته و با گذر زمان از شدت آن کاسته می‌شود. موج انفجاری دارای دو فاز است. ۱- فاز مثبت یا فاز فشاری که در آن ازدیاد سریع فشار نسبت به فشار اتمسفری را داراست و ۲- فاز منفی یا فاز مکنده که با کاهش فشار به حد اتمسفری دنبال می‌شود؛ بنابراین، در یک فاصله مشخص از محل انفجار، با گذشت مدت زمانی کوتاه، فشار در آن محل به طور ناگهانی بالا رفته تا اینکه به نقطه اوج خود برسد. بعد از آن، فشار رفته رفته میرا شده و به فشار محیط و حتی پایین تر از آن تنزل می‌یابد (شکل ۱).

۲-۱- پارامترهای انفجار

در انفجار دو جزء مهم وجود دارد که عبارتند از اندازه‌ی بمب یا وزن خرج (W) و فاصله‌ی بین منبع انفجار و هدف (R). نمودار فشار زمان بار انفجار در شکل (۲) نشان داده شده است [۲۳].

$$U = a_0 \sqrt{\frac{6P_{so} + 7P_o}{7P_o}} \quad (5)$$

که در آن P_o فشار هوای محیط معادل ۱۰۱ کیلو پاسکال است و a_0 نیز سرعت صوت در هواست که برابر با ۳۳۵ متر بر ثانیه است. همچنین زمان رسیدن موج انفجار به سازه را می‌توان از رابطه (۶) محاسبه نمود.

$$t_A = \frac{R_h}{U} \quad (6)$$

جهت محاسبه‌ی مقدار فشار منعکس شده نیز بایستی ثابت C_r را مطابق رابطه‌ی (۷) محاسبه نمود [۲۶].

$$C_r = 34 \sqrt{\frac{P_{so}}{101}} \quad (7)$$

و بنابراین مقدار فشار منعکس شده نیز از رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$P_r = C_r \times P_{so} \quad (8)$$

در انتها رابطه مربوط به فشار ناشی از موج انفجار در بستر زمان برای هر طبقه مطابق پارامترهای انفجار از رابطه (۹) به دست می‌آید.

$$P(t) = P_o + P_r (1 - t/t_0) \exp^{-\gamma t/t_0} \quad (9)$$

که در آن γ پارامتری است که برای کنترل نسبت دامنه‌ی موج استفاده می‌شود و مطابق رابطه (۱۰) به دست می‌آید.

$$\gamma = Z_h^2 - 3.7Z_h + 4.2 \quad (10)$$

لازم به ذکر است که مطابق روابط ارائه شده، شکل (۴) نمودار تاریخچه زمانی فشار انفجار وارد بر طبقه‌ی اول سازه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۳- زلزله‌ی سرپل ذهاب

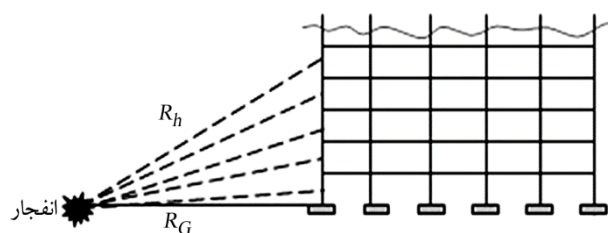
شامگاه روز یکشنبه ۲۱ آبان‌ماه ۱۳۹۶ (۱۲ نوامبر ۲۰۱۷) در ساعت ۲۱:۴۸:۱۶ به وقت محلی (۱۸:۱۸:۱۶ بین‌المللی) زمین‌لرزه‌ی بسیار قوی با بزرگای $M_n 7/3$ (مؤسسه ژئوفیزیک) و $M_w 7/3$ (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) منطقه‌ی مرزی مرزی ایران و عراق در استان کرمانشاه پیرامون شهرستان سرپل ذهاب را به شدت به لرزه درآورد. این زمین‌لرزه بزرگ‌ترین رویداد لرزه‌ای پس از زمین‌لرزه‌ی ۱۲۸۷ خورشیدی سیلاخور با بزرگای $7/4$ در نزدیکی بروجرد در گستره‌ی زاگرس بوده است.

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} \quad (2)$$

۲-۲- محاسبه‌ی بار انفجار وارد بر سازه

در این مقاله جهت بررسی تأثیر توأمان بار زلزله و بار انفجار بر پاسخ دینامیکی سازه‌ی شش طبقه‌ی فولادی، چهار حالت بارگذاری در نظر گرفته می‌شود. ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی ۵ متری از سازه و به میزان ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شوند. لازم به ذکر است که برای حالات بارگذاری در نظر گرفته شده مقدار پارامتر مقیاس (Z) به ترتیب برابر با $584/80$ و $877/20$ می‌باشد. با توجه به این نکته که توزیع بار انفجار به صورت قابل توجهی در ارتفاع ساختمان متفاوت است، به منظور توسعه‌ی بار انفجار بر روی سازه از مدل تئوری بر پایه‌ی تجربی استفاده می‌شود که این رویکرد، روش عددی ساده برای اعمال بار انفجار بر سازه را ایجاد می‌نماید. بدین منظور لازم است تا فاصله‌ی ماده‌ی منفجره از وسط ارتفاع هر طبقه مطابق شکل (۳) محاسبه شود. لازم به ذکر است که در همه‌ی معادلات به کار رفته واحدهای طول، جرم، فشار و زمان به ترتیب متر، کیلوگرم، کیلوپاسکال و ثانیه می‌باشند.

$$R_h = \sqrt{R_G^2 + h^2} \quad (3)$$

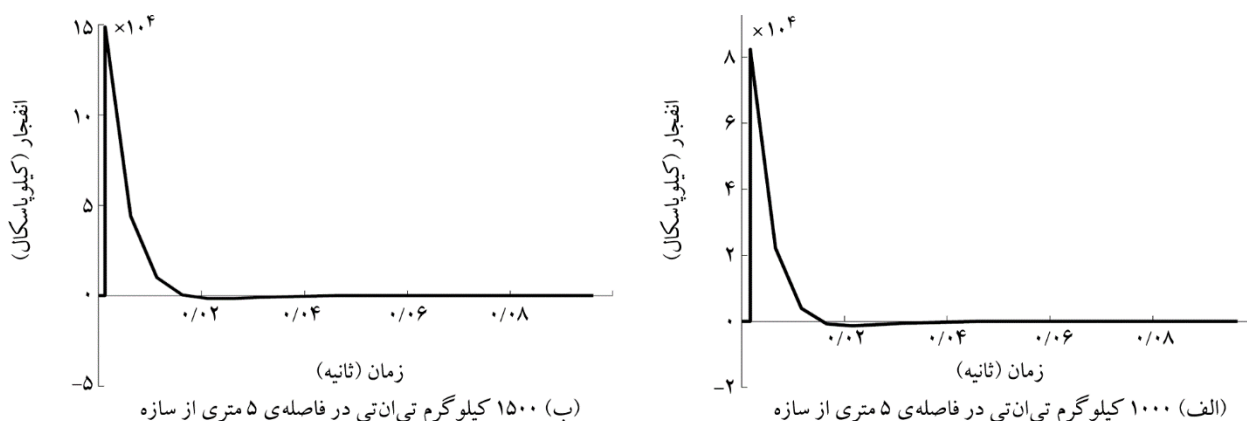


شکل (۳): هندسه‌ی استفاده‌شده جهت محاسبه‌ی R_h [۱۱].

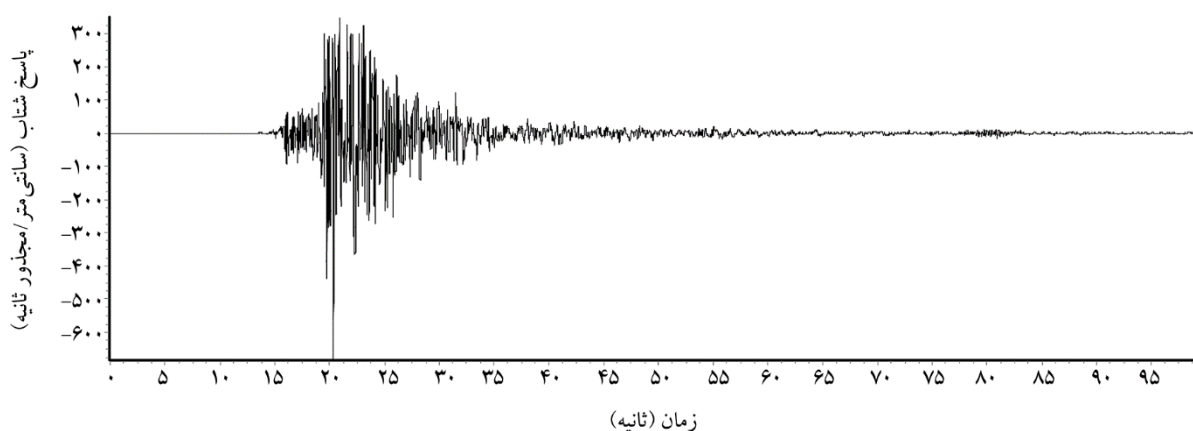
حال با به دست آمدن پارامتر R_h از رابطه (۳)، مابقی پارامترهای انفجار را مطابق روابط زیر برحسب R_h می‌توان محاسبه نمود. بر این اساس، مدت‌زمان فشار مثبت انفجار از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$t_0 = w^{1/3} 10^{[-2.75 + 0.27 \log(R_h)]} \quad (4)$$

همچنین سرعت موج انفجار را می‌توان از رابطه (۵) محاسبه نمود [۲۵].



شکل (۴): نمودار تاریخچه زمانی فشار انفجار وارد بر طبقه اول سازه مورد مطالعه.

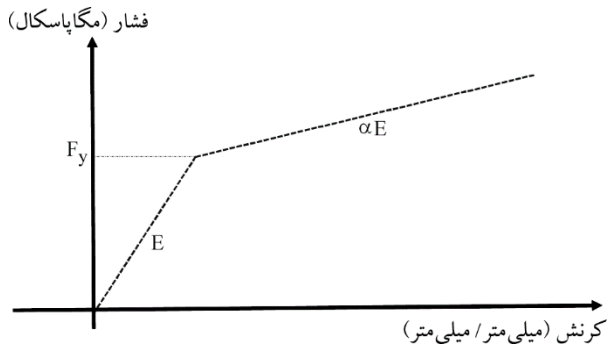


شکل (۵): مؤلفه‌ی اصلاح شده زلزله‌ی سرپل ذهاب.

یا سایر گسیختگی‌های پیش‌رونده وجود داشته باشد، اهمیت بیشتری دارد [۲۷]. در ارزیابی روانگرایی و تحلیل‌های تغییر مکان لازم است این پارامتر مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرد. لازم به ذکر است که مدت زلزله ارتباط مستقیمی با شدت اریاس دارد. از جمله پرکاربردترین تعاریف مدت زمان جنبش نیرومند زمین را می‌توان به مدت زمان یکنواخت زلزله نسبت داد. مدت زمان یکنواخت عبارت است از مجموع مدت‌زمان‌هایی که شتاب حرکت زمین از یک مقدار مشخص بیشتر شود [۲۷]. معمولاً این مقدار مشخص ۵ درصد شتاب بیشینه زلزله است. برای زلزله‌ی سرپل ذهاب زمان جنبش نیرومند زمین بین زمان ۱۵/۸۹ تا ۴۰/۵۴ ثانیه قرار دارد. در این مقاله به منظور ارزیابی تأثیر هم‌زمان انفجار و زلزله بر پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه، بار انفجار در زمان ۱ ثانیه که قبل از زمان جنبش نیرومند زلزله است، در زمان ۱۶ ثانیه که مربوط به زمان شروع جنبش نیرومند است، در زمان

در این مقاله برای تأثیر هم‌زمان انفجار و زلزله از مؤلفه‌ی L زلزله‌ی کرمانشاه که در سرپل ذهاب ثبت شده استفاده می‌شود. همچنین از روش باند گذر با محدوده‌ی فرکانسی صفر تا سی هرتز برای اصلاح رکورد ثبت شده استفاده می‌شود. بیشینه شتاب در رکورد اصلاح نشده ۶۸۴/۴۲ و در رکورد اصلاح شده ۶۸۱/۴۵ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه است. شکل (۵) منحنی اصلاح‌شده‌ی شتاب‌نگاشت زلزله را نشان می‌دهد. بیشینه شتاب اصلاح‌شده مؤلفه‌ی L ، ۴۳ درصد با مقدار ثبت‌شده‌ی اولیه اختلاف دارد.

مدت دوام زلزله که از پارامترهای لرزه‌ای است، به کل مدتی که در طی آن زلزله رخ داده است، اطلاق می‌شود. مدت دوام زلزله در پاسخ سازه‌ای ژئوتکنیکی در برابر زلزله بسیار مؤثر است، به‌ویژه در شرایطی که در لایه‌های خاک احتمال افزایش فشار آب حفره‌ای، کاهش مقاومت و سختی در طول بارگذاری دینامیکی و



شکل (۷): نمودار تنش-کرنش فولاد مصرفی.

مصالص در کشش و فشار یکسان فرض می‌شود. بار مرده و زنده‌ی طبقات نیز به ترتیب برابر با ۲۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته می‌شود. همچنین مطابق شکل (۶)، نقطه‌ی مرجع در بالاترین گره‌ی بام سازه و در سمت راست سازه انتخاب می‌شود. جهت مدل‌سازی مصالح تیر و ستون در قاب مورد مطالعه از مصالح Steel 02 در نرم‌افزار OpenSess استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که زمان تناوب طبیعی سه مود اول ارتعاشی سازه‌ی مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۰/۵۶، ۰/۱۶ و ۰/۰۷ ثانیه می‌باشد. شکل (۷) نیز نمودار تنش-کرنش فولاد مصرفی را نشان می‌دهد.

۴-۱- بررسی اثر اندرکنش بار انفجار و زلزله بر پاسخ

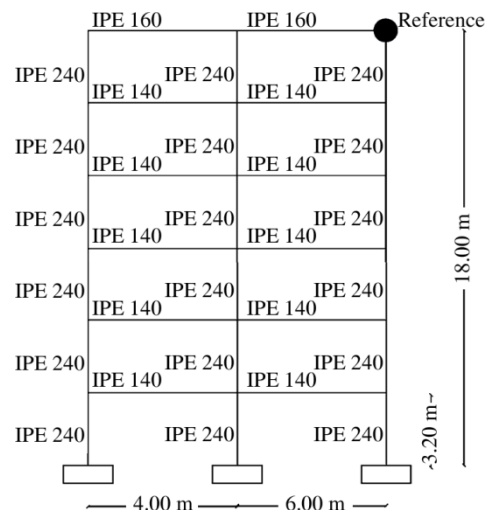
غیرخطی سازه

در این قسمت از مقاله، اندرکنش بار انفجار و بار زلزله بر پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل‌های (۸) تا (۱۴) منحنی جابه‌جایی و چرخش نقطه‌ی مرجع، برش پایه، ممان پایه، بیشینه جابه‌جایی و بیشینه چرخش نقطه‌ی مرجع را برای حالتی که ماده منفجره در فاصله‌ی ۵ متری و به مقدار ۱۰۰۰ و همچنین ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی باشد را نشان می‌دهد. در این نمودارها هر کدام از حالت‌های A، B، C و D به ترتیب مربوط به حالتی است که ماده منفجره در ثانیه ۱، ۱۶، ۲۰/۴۳ و ۶۰ ثانیه از مدت زمان زلزله بر سازه اعمال می‌شود.

۲۰/۴۳ ثانیه که لحظه‌ی وقوع شتاب بیشینه‌ی زلزله است و در زمان ۶۰ که زمان اتمام جنبش نیرومند زلزله است، بررسی می‌شود. جدول (۱) اطلاعات مربوط به زلزله‌ی سریل ذهاب را نشان می‌دهد.

۴- بررسی مثال عددی

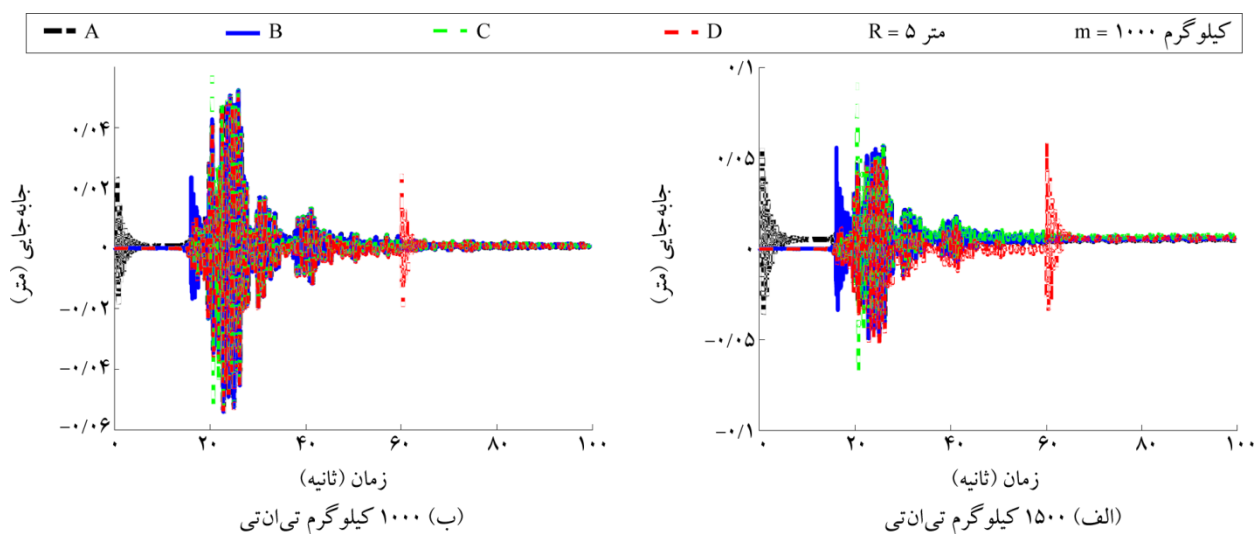
در این مقاله به منظور بررسی تأثیر هم‌زمان انفجار و زلزله، سازه‌ی ۶ طبقه‌ی فولادی انتخاب می‌شود. بدین منظور در ابتدا سازه‌ی مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 و تحت طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ و بر اساس آیین‌نامه AISC 360-10 طراحی می‌شود. در ادامه نیز به منظور انجام تحلیل غیرخطی سازه از نرم‌افزار OpenSees استفاده می‌شود. مقاطع تیرها و ستون‌های طراحی شده برای قاب مورد مطالعه مطابق شکل (۶) است. لازم به ذکر است که تنش تسلیم و مدول الاستیسیته‌ی فولاد مصرفی برای قاب به ترتیب $F_y = 2/5 \times 10^7$ و $E = 2/04 \times 10^{10}$ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشند (مطابق شکل ۷). لازم به ذکر است که نسبت سختی پس از تسلیم به سختی قبل از تسلیم شدن مصالح (α) برابر با ۰/۰۲ در نظر گرفته می‌شود. همچنین مطابق شکل (۷)، رفتار



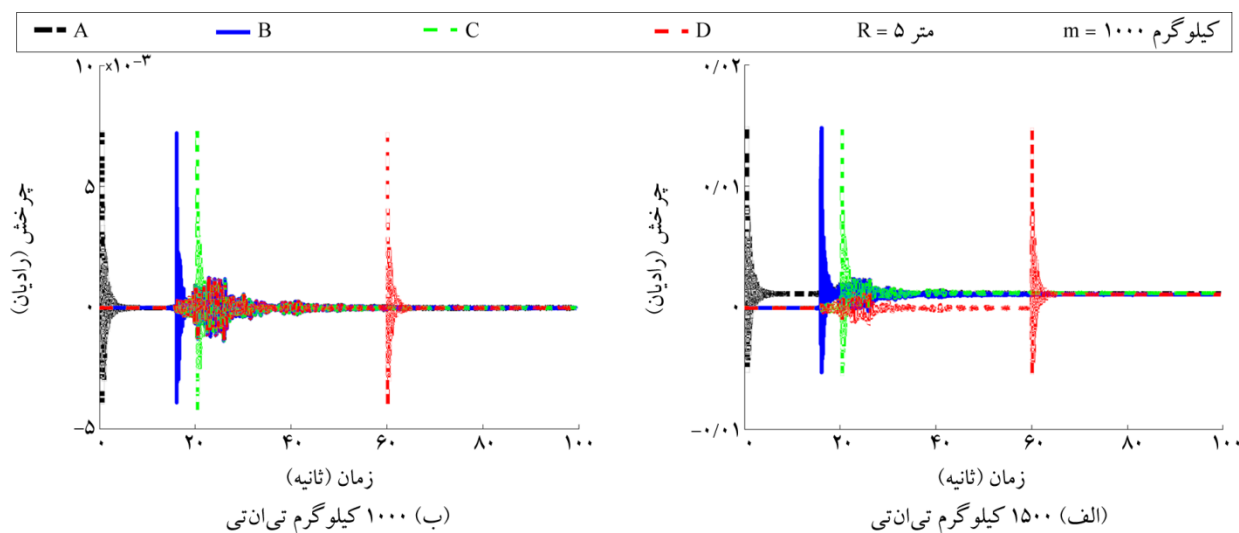
شکل (۶): سازه‌ی قاب شش طبقه‌ی فولادی و نقطه‌ی مرجع انتخاب شده.

جدول (۱): خصوصیات زلزله‌ی سریل ذهاب.

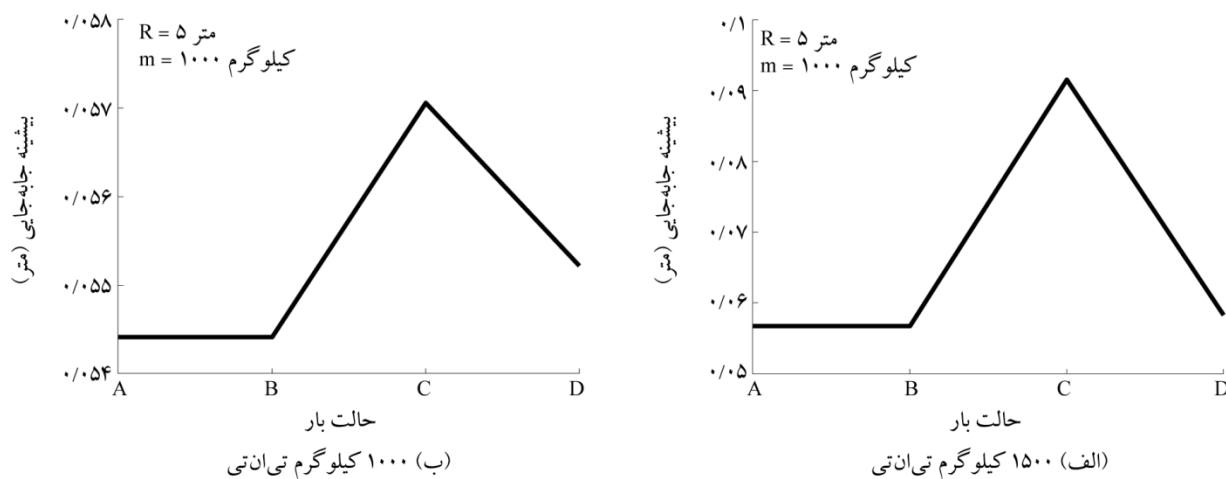
نام زلزله	سال وقوع	ایستگاه ثبت زلزله	بیشینه شتاب (متر بر مجذور ثانیه)	بیشینه سرعت (متر بر ثانیه)	شدت اوریاس (متر بر ثانیه)	مدت زمان حرکت قوی زلزله (ثانیه)	مدت زمان کل زلزله (ثانیه)	PGA/PGV (g.sec/m)
سریل ذهاب	۲۰۱۷/۱۱/۱۲	سریل ذهاب	۶/۸۱	۰/۴۶	۳/۲۵۵	۱۰/۸۴	۹۹/۴۵	۱/۵۳



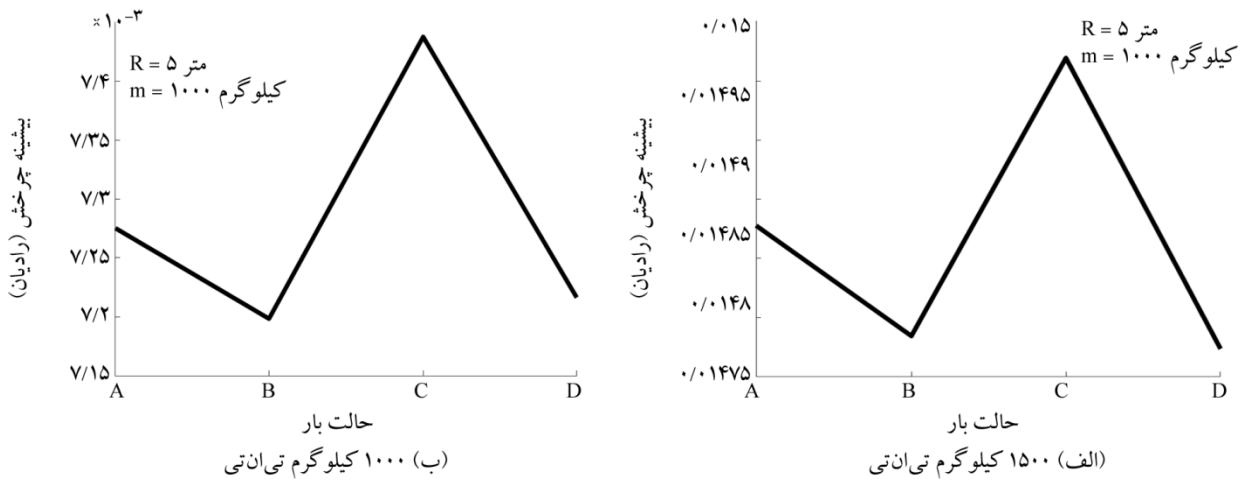
شکل (۸): منحنی تاریخچه زمانی جابه‌جایی نقطه‌ی مرجع.



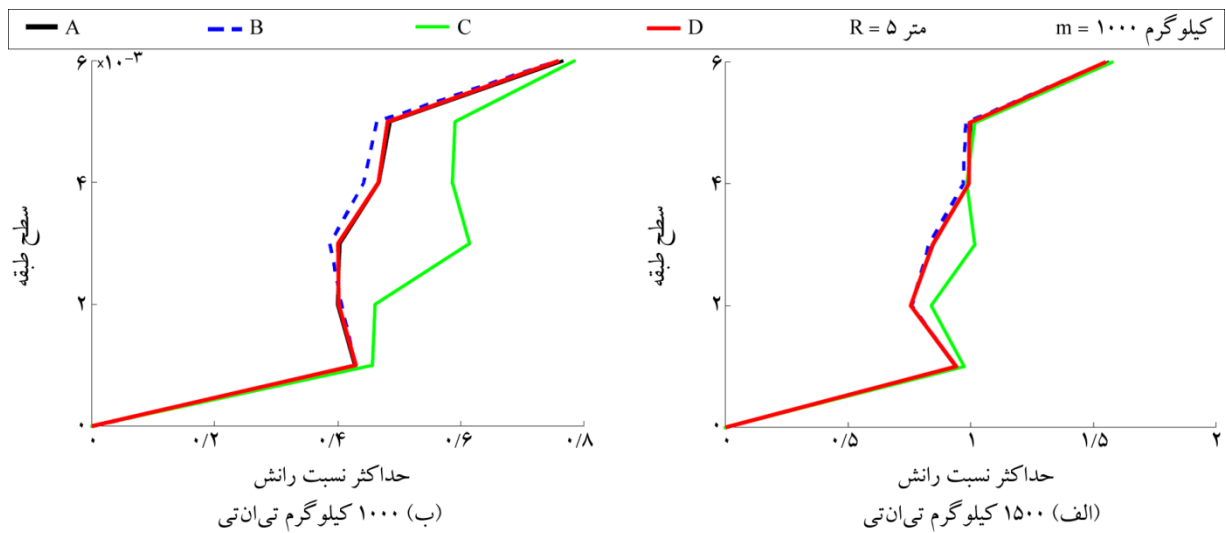
شکل (۹): منحنی تاریخچه زمانی چرخش نقطه‌ی مرجع.



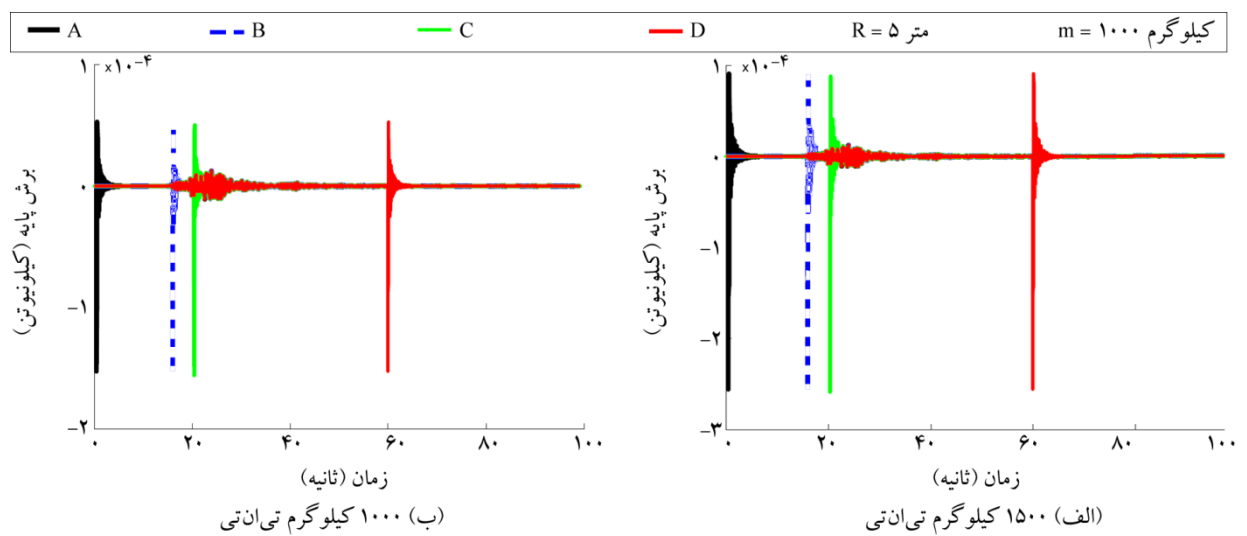
شکل (۱۰): منحنی تاریخچه پیشینه جابه‌جایی نقطه‌ی مرجع.



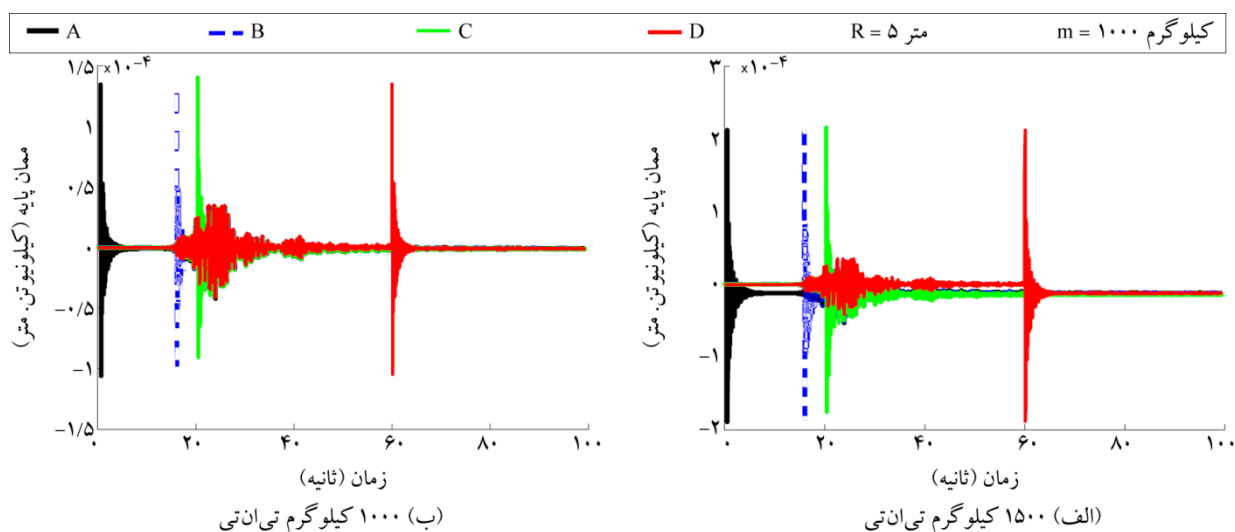
شکل (۱۱): منحنی تاریخچه بیشینه چرخش نقطه‌ی مرجع.



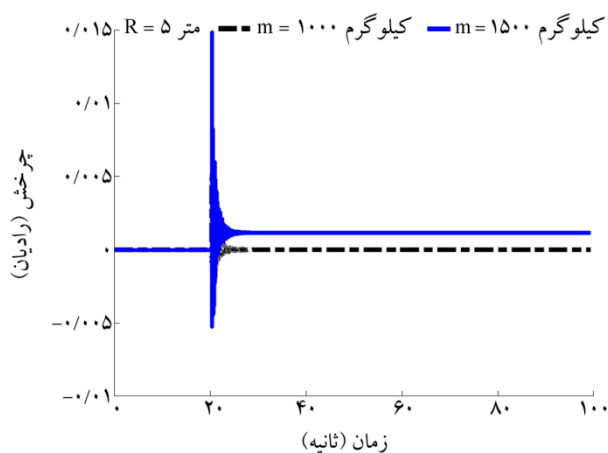
شکل (۱۲): منحنی جابه‌جایی نسبی طبقات تحت حالات بارگذاری زلزله و انفجار.



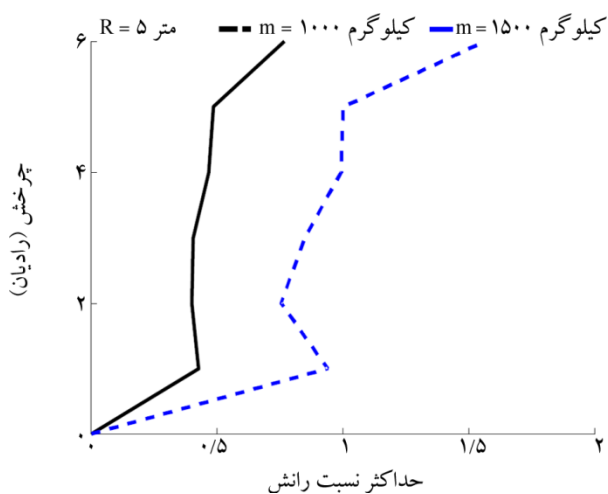
شکل (۱۳): منحنی تاریخچه زمانی برش پایه.



شکل (۱۴): منحنی تاریخچه زمانی ممان پایه.

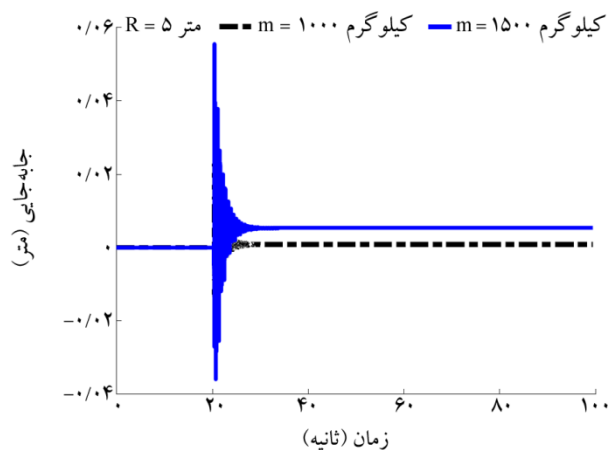


شکل (۱۶): منحنی تاریخچه زمانی چرخش نقطه‌ی مرجع تحت بار انفجار.

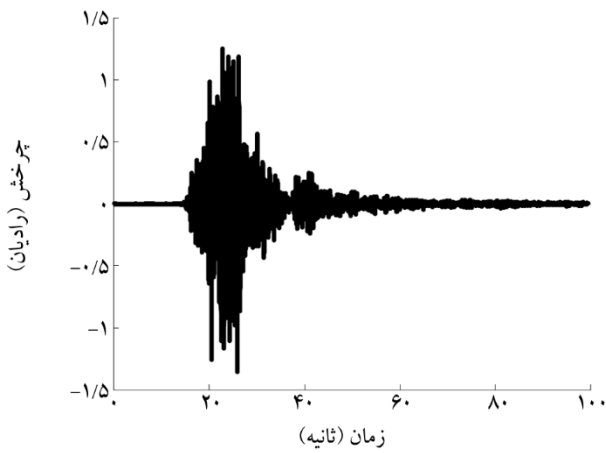


شکل (۱۷): منحنی جابه‌جایی نسبی طبقات سازه‌ی مورد مطالعه تحت بار انفجار.

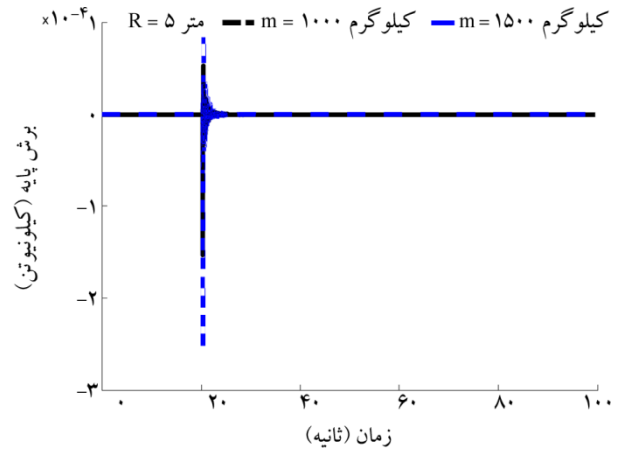
با توجه به نمودارهای فوق چنین برداشت می‌شود که اولاً با افزایش مقدار ماده‌ی منفجره پاسخ سازه در حالت کلی افزایش یافته است. همچنین با در نظر گرفتن حالات مختلف انفجار، حالت C که در آن زمان وقوع انفجار دقیقاً مصادف با رسیدن بار زلزله به بیشینه شتاب آن است، بیشینه پاسخ سازه رخ داده است و با افزایش مقدار ماده‌ی انفجاری، بیشینه پاسخ سازه تحت تأثیر هم‌زمان بار انفجار و زلزله تغییری نداشته است. به منظور بررسی شدت افزایش پاسخ سازه تحت تأثیر اندرکنش بار زلزله و بار انفجار، منحنی پاسخ سازه تحت تأثیر بار انفجار به تنهایی در شکل‌های (۱۵) تا (۱۹) نشان داده شده است. شکل‌های (۲۰) تا (۲۴) نیز منحنی پاسخ سازه تحت تأثیر بار زلزله را نشان می‌دهند.



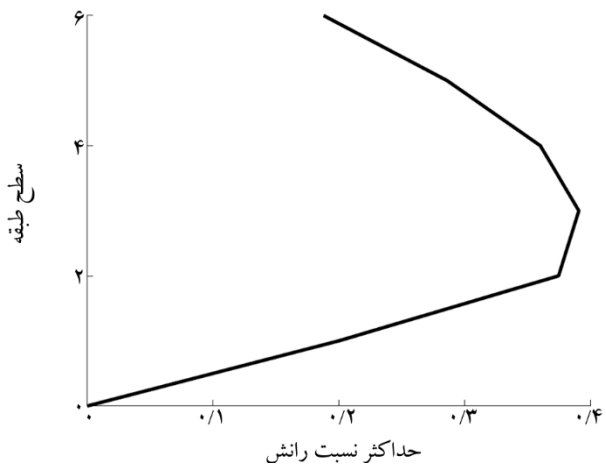
شکل (۱۵): منحنی تاریخچه زمانی جابه‌جایی نقطه‌ی مرجع تحت بار انفجار.



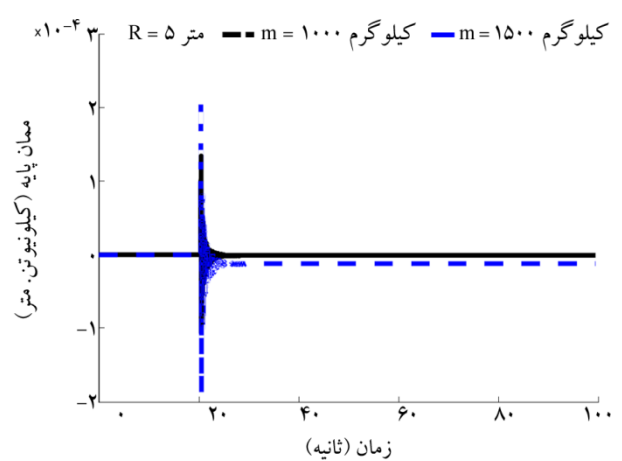
شکل (۲۱): منحنی تاریخچه زمانی چرخش نقطه‌ی مرجع تحت بار زلزله.



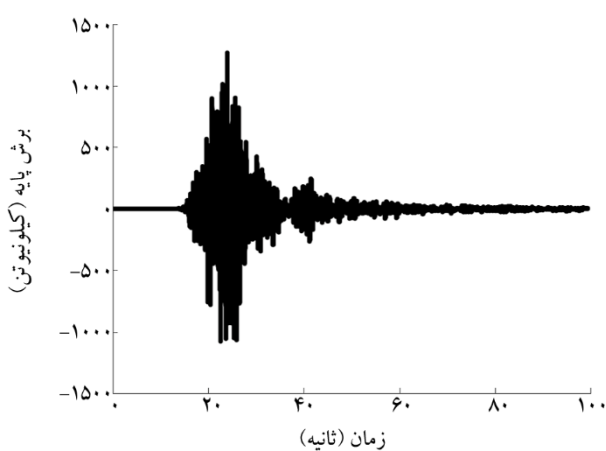
شکل (۱۸): منحنی تاریخچه زمانی برش پایه‌ی سازه‌ی مورد مطالعه تحت بار انفجار.



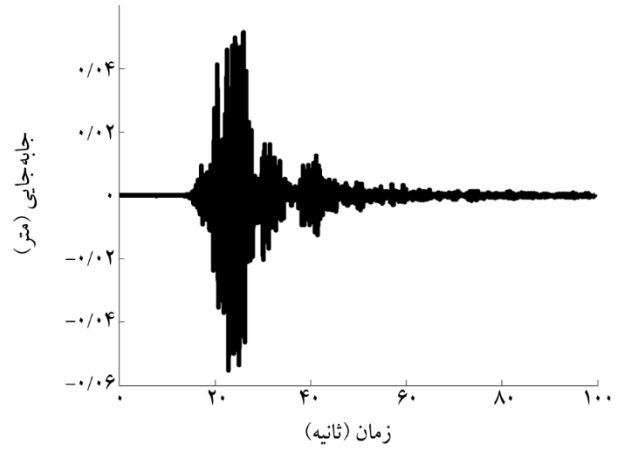
شکل (۲۲): منحنی جابه‌جایی نسبی طبقات سازه‌ی مورد مطالعه تحت بار زلزله.



شکل (۱۹): منحنی تاریخچه زمانی ممان پایه‌ی سازه‌ی مورد مطالعه تحت بار انفجار.



شکل (۲۳): منحنی تاریخچه زمانی برش پایه‌ی سازه‌ی مورد مطالعه تحت بار زلزله.



شکل (۲۰): منحنی تاریخچه زمانی جابه‌جایی نقطه‌ی مرجع تحت بار زلزله.

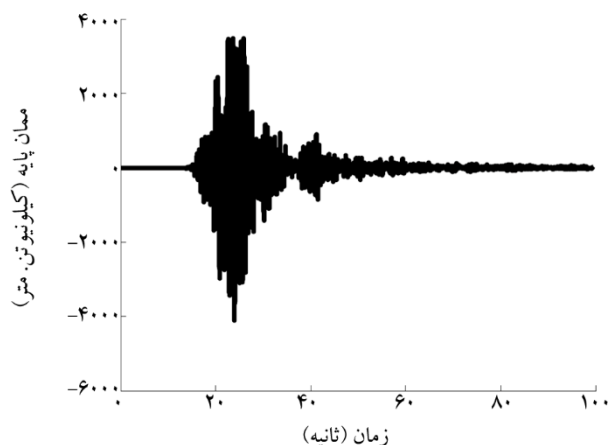
برش و ممان پایه زمانی که انفجار در ابتدا و یا انتهای زلزله رخ می‌دهد (حالات A و D) با همین مقادیر زمانی که سازه صرفاً تحت تأثیر بار انفجار قرار دارد یکسان است و این نشان می‌دهد که به علت کوتاه بودن زمان انفجار و همچنین کم بودن شدت زلزله در ابتدا و انتهای زلزله، بار زلزله نتوانسته در ترکیب با بار انفجار تأثیری در پاسخ سازه ایجاد نماید. در انتهای زلزله نیز به علت نبود بار زلزله صرفاً سازه تحت تأثیر بار انفجار بوده و نتایج یکسانی اتفاق افتاده است.

جدول (۳): مقایسه‌ی بیشینه چرخش بام سازه تحت حالات مختلف بارگذاری.

بیشینه چرخش بام (رادیان)	حالت بارگذاری	
۰/۰۰۱۴	زلزله به تنهایی	
۰/۰۰۷۳	۱۰۰۰ کیلوگرم	ماده منفجره به تنهایی
۰/۰۱۴	۱۵۰۰ کیلوگرم	
۰/۰۰۷۳	A	تأثیر توأم زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۰۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه
۰/۰۰۷۲	B	
۰/۰۰۷۴	C	
۰/۰۰۷۲	D	
۰/۰۱۴	A	تأثیر توأم زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه
۰/۰۱۴	B	
۰/۰۱۵	C	
۰/۰۱۴	D	

جدول (۴): مقایسه‌ی بیشینه دریفت بام سازه تحت حالات مختلف بارگذاری.

بیشینه دریفت بام (درصد)	حالت بارگذاری	
۰/۱۸۷۷	زلزله به تنهایی	
۰/۷۶۷۱	۱۰۰۰ کیلوگرم	ماده منفجره به تنهایی
۱/۵۶	۱۵۰۰ کیلوگرم	
۰/۷۳۷۱	A	تأثیر توأم زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۰۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه
۰/۷۵۶۸	B	
۰/۷۸۵۱	C	
۰/۷۵۹۶	D	
۱/۵۳	A	تأثیر توأم زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه
۱/۵۵	B	
۱/۵۷	C	
۱/۵۵	D	



شکل (۲۴): منحنی تاریخچه زمانی ممان پایه‌ی سازه‌ی مورد مطالعه تحت بار زلزله.

با توجه به شکل‌های (۱۵) تا (۲۴) مقادیر بیشینه پاسخ سازه تحت ترکیبات مختلف بارگذاری در جدول‌های (۲) تا (۶) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

مطابق جدول‌های (۲) تا (۶) مشخص است که در حالت بارگذاری C بیشترین پاسخ سازه رخ داده است. همچنین مقدار برش پایه و ممان پایه زمانی که سازه به تنهایی تحت تأثیر بار انفجار قرار دارد به مراتب بیشتر از همین مقادیر برای زمانی است که سازه صرفاً تحت تأثیر بار زلزله قرار دارد. مقادیر چرخش بام، دریفت بام،

جدول (۲): مقایسه‌ی بیشینه جابه‌جایی بام سازه تحت حالات مختلف بارگذاری.

بیشینه جابه‌جایی بام (متر)	حالت بارگذاری	
۰/۰۵۵۲	زلزله به تنهایی	
۰/۰۲۳۲	۱۰۰۰ کیلوگرم	ماده منفجره به تنهایی
۰/۰۵۵۶	۱۵۰۰ کیلوگرم	
۰/۰۵۴۴	A	تأثیر توأم زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۰۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه
۰/۰۵۴۲	B	
۰/۰۵۷۱	C	
۰/۰۵۵۲	D	
۰/۰۵۶۸	A	تأثیر توأم زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه
۰/۰۵۷۱	B	
۰/۰۹۱۶	C	
۰/۰۵۸۳	D	

جدول (۵): مقایسه‌ی مقدار برش پایه تحت حالات مختلف بارگذاری.

حالت بارگذاری	بیشینه برش پایه 10^3 (کیلو نیوتن)
زلزله به تنهایی	۱/۲۶
ماده منفجره به تنهایی	۱۰۰۰ کیلوگرم
	۱۵۰۰ کیلوگرم
تأثیر توأمان زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۰۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه	A
	B
	C
	D
تأثیر توأمان زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه	A
	B
	C
	D

جدول (۶): مقایسه‌ی مقدار ممان پایه تحت حالات مختلف بارگذاری.

حالت بارگذاری	بیشینه ممان پایه 10^3 (کیلو نیوتن.متر)
زلزله به تنهایی	۴/۱۱
ماده منفجره به تنهایی	۱۰۰۰ کیلوگرم
	۱۵۰۰ کیلوگرم
تأثیر توأمان زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۰۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه	A
	B
	C
	D
تأثیر توأمان زلزله و بار انفجار ناشی از ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۵ متری از سازه	A
	B
	C
	D

۴- نتیجه‌گیری

نظر به وقوع انفجار حین زلزله‌های رخ داده در گذشته که خود منجر به تلفات مالی و جانی فراوانی شده است، در این مقاله تأثیر هم‌زمان انفجار و زلزله بر روی پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه شش طبقه‌ی فولادی بررسی می‌شود. بدین منظور، در ابتدا مقدار فشار ناشی از انفجار ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله‌ی پنج متری از سازه محاسبه می‌شود. زلزله‌ی سر پل ذهاب

نیز که اخیراً اتفاق افتاد و دارای ویژگی‌های ممتازی است، انتخاب شده و در چهار حالت بار انفجار و زلزله بر سازه اعمال می‌شوند. در حالت اول، بار انفجار در حین شروع زلزله اعمال می‌شود در حالی که در حالات دوم و سوم، بار انفجار به ترتیب در ابتدای زمان جنبش نیرومند زمین و حین رخداد بیشینه شتاب زلزله بر سازه اعمال می‌شوند. در آخرین حالت مورد مطالعه نیز بار انفجار در انتهای زلزله بر سازه اعمال می‌شود. در حقیقت فرض بر این است که در حین زلزله و یا ابتدا و انتهای زمان زلزله، تحریک زمین سبب بروز انفجار در نزدیکی سازه می‌شود که در زلزله‌های رخ داده در گذشته به کرات مشاهده شده است. در نهایت نیز منحنی‌های چرخش، دریفت، جابه‌جایی، برش و ممان پایه‌ی سازه تحت تأثیر بار انفجار و زلزله محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش مقدار ماده‌ی منفجره پاسخ سازه در حالت کلی افزایش یافته است. همچنین با در نظر گرفتن حالات مختلف، حالت C که در آن زمان وقوع انفجار دقیقاً مصادف با رسیدن بار زلزله به بیشینه شتاب آن است، بیشینه پاسخ سازه رخ داده است و با افزایش مقدار ماده‌ی انفجاری، بیشینه پاسخ سازه تحت تأثیر هم‌زمان بار انفجار و زلزله تغییری نداشته است. به‌عنوان مثال در حالت استفاده از ۱۵۰۰ کیلوگرم ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی پنج متری از سازه به همراه بار زلزله، بیشینه جابه‌جایی سازه ۶۴/۷۵ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار انفجار به تنهایی و همچنین ۶۵/۹۴ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار زلزله به تنهایی می‌باشد. این مقادیر برای حالت استفاده از ۱۰۰۰ کیلوگرم ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی پنج متری از سازه به ترتیب به میزان ۱۴۶/۱۲ درصد و ۳/۴۴ درصد افزایش یافته‌اند. همچنین در حالت استفاده از ۱۵۰۰ کیلوگرم ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی پنج متری از سازه به همراه بار زلزله، بیشینه جابه‌جایی نسبی (دریفت) سازه ۰/۶۴ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار انفجار به تنهایی و همچنین ۷۳۶/۴۴ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار زلزله به تنهایی می‌باشد. این مقادیر برای حالت استفاده از ۱۰۰۰ کیلوگرم ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی پنج متری از سازه به ترتیب به میزان ۲/۳۵ درصد و

- derivation of pressure–impulse diagrams for prediction of RC column damage to blast loads. *Int. J. Impact Eng.*, **35**(11), 1213-1227.
6. Luccioni, B., Ambrosini, R., and Danesi, R. (2004) Analysis of building collapse under blast loads. *Eng. Struct.*, **26**(1), 63-71.
 7. Hao, H., Wu, C., Li, Z., and Abdullah, A. (2006) Numerical analysis of structural progressive collapse to blast loads. *Rans. Tianjin Univ.*, 31-34.
 8. Hao, H. (2010) A simple numerical approach to predict structure responses to blast loading. *The First Int. Conf. Prot. Struct.*, Manchester, UK.
 9. Li, J. and Hao, H. (2011) A two-step numerical method for efficient analysis of structural response to blast load. *Inter. J. Prot. Struct.*, **2**(1), 103-126.
 10. Kamgar, R. and Shams, G.R. (2018) Effect of blast load in nonlinear dynamic response of the buckling restrained braces core. *The Sci. J. Pass. Def. Sci. Tech.*, **9**(1), 107-118.
 11. Tavakoli, R., Kamgar, R., and Rahgozar, R. (2018) The best location of belt truss system in tall buildings using multiple criteria subjected to blast loading. *Civil Eng. J.*, **4**(6), 1338-1353.
 12. Boheirae, M., Biglari, M., and Ashayeri, I. (2015) Numerical assessment of explicit dynamic analysis of structures in severe loading (case study of three concrete slabs). *Bull. Earth. Sci. Eng.*, **2**(3), 2-13 (in Persian).
 13. Amini, M., Shojaee, S., and Rostami, S. (2015) Inelastic dynamic analysis of structures under blast loads using generalized B-Spline method. *Asian J. Civil Eng.*, **16**(2), 183-202.
 14. Tavakoli, R., Kamgar, R., and Rahgozar, R. (2019) Seismic performance of outrigger–belt truss system considering soil–structure interaction. *Int. J. Adv. Struct. Eng.*, **11**(1), 45-54.
 15. Kamgar, R., Samea, P., and Khatibinia, M. (2018) Optimizing parameters of tuned mass damper subjected to critical earthquake. *The Struct. Des. Tall Spec. Build.*, **27**(7), e1460.
 16. Khatibinia, M., Gholami, H., and Kamgar, R. (2018) Optimal design of tuned mass dampers subjected to continuous stationary critical excitation. *Int. J. Dyn. Cont.*, **6**(3), 1094-1104.
- ۳۱۸/۲۷ درصد افزایش یافته‌اند. در حالت استفاده از ۱۵۰۰ کیلوگرم ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی پنج‌متری از سازه به همراه بار زلزله، بیشینه برش پایه‌ی سازه ۱/۱۸ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار انفجار به تنهایی و همچنین ۱۹۵۰ درصد بیشتر از مقدار مربوط به اعمال بار زلزله به تنهایی می‌باشد. این مقادیر برای حالت استفاده از ۱۰۰۰ کیلوگرم ماده‌ی منفجره در فاصله‌ی پنج‌متری از سازه به ترتیب به میزان ۲/۱۶ درصد و ۱۱۳۶/۵۱ درصد افزایش یافته‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار برش پایه و ممان پایه زمانی که سازه به تنهایی تحت تأثیر بار انفجار قرار دارد به مراتب بیشتر از همین مقادیر برای زمانی است که سازه صرفاً تحت تأثیر بار زلزله قرار دارد. مقادیر چرخش بام، دریافت بام، برش و ممان پایه زمانی که انفجار در ابتدا و یا انتهای زلزله رخ می‌دهد (حالات A و D) با همین مقادیر زمانی که سازه صرفاً تحت تأثیر بار انفجار قرار دارد یکسان است و این نشان می‌دهد که به علت کوتاه بودن زمان انفجار و همچنین کم بودن مقدار شدت زلزله در ابتدا و انتهای زلزله، بار زلزله در ترکیب با بار انفجار نتوانسته تأثیری در پاسخ سازه ایجاد نماید. در انتهای زلزله نیز به علت نبود بار زلزله صرفاً سازه تحت تأثیر بار انفجار بوده و نتایج یکسانی اتفاق افتاده است.
- ### مراجع
1. Magnussa, N.M. and Morrill, K. (2008) Fast running model for the residual capacity of steel columns damaged by blast & fragment loads. *Proc. 79th Shock and Vib. Sym.* Orlando, Florida.
 2. Baker, J.F., Williams, E.L., and Lax, D. (1948) The design of framed buildings against high-explosive bombs. *The Civil Engineer in War: A Symp. Papers on War-Time Eng. Prob.*, **3**, 80-112.
 3. Ngo, T., Mendis, P., Gupta, A., and Ramsay, J. (2007) Blast loading and blast effects on structures–an overview. *J. Load. Struct.*, **131**(6), 76-91.
 4. Mills, C. (1987) The design of concrete structure to resist explosions and weapon effects. *Proc. 1st Int. Conf. Conc. Haz. Prote.*, Edinburgh, UK. 61-73.
 5. Shi, Y., Hao, H., and Li, Z.-X. (2008) Numerical

17. Kamgar, R., Khatibinia, M., and Khatibinia, M. (2019) Optimization criteria for design of tuned mass dampers including soil-structure interaction effect. *Int. J. Opt. Civil Eng.*, **9**(2), 213-232.
18. Mousavi, S. and Ziyaeifar, M. (2017) study on a contractible viscous dashpot with variable damping constant *Bull. Earth. Sci. Eng.*, **4**(1), 55-63, (in Persian).
19. Habibi, A.R. and Sahabi, E. (2016) Development of a proper load pattern for nonlinear static analysis of composite girder bridges under blast. *The Sci. J. Pass. Def. Sci. Tech.*, **6**(4), 235-244.
20. Khaledy, N., Habibi, A., and Memarzadeh, P. (2018) A Comparison between different techniques for optimum design of steel frames subjected to blast. *Latin Amer. J. Sol. Struct.*, **15**(9), 1-26.
21. Khaledy, N., Habibi, A.R., and Memarzadeh, P. (2019) Minimum weight and drift design of steel moment frames subjected to blast. *Int. J. Opt. Civil Eng.*, **9**(1), 39-63.
22. De Silva, C.W. (2005) *Vibration and Shock Handbook*. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York.
23. Acosta, P.F. (2011) Overview of UFC 3-340-02 structures to resist the effects of accidental explosions. *Struct. Cong.* Las Vegas, Nevada, 1454-1469.
24. Dusenberry, D.O. (2010) *Handbook for Blast-Resistant Design of Buildings*. John Wiley & Sons, USA.
25. Macquorn Rankine, W.J. (1870) On the Thermodynamic Theory of Waves of Finite Longitudinal Disturbance. *Philos. T. R. SOC. Lon.*, **160**, 277-288.
26. Lam, N., Mendis, P., and Ngo, T. (2004) Response spectrum solutions for blast loading. *Electron. J. Struct. Eng.*, **4**, 28-44.
27. Kamgar, R. and Rahgozar, R. (2015) Determination of critical excitation in seismic analysis of structures. *Earth. Struct.*, **9**(4), 875-891.

The Effect of Blast Load and Earthquake Load on the Nonlinear Behavior of Structures

Reza Kamgar^{1*}, Yousef Askari², and Noorollah Majidi³

1. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, *Corresponding Author, email: kamgar@sku.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran
3. M.Sc. Graduate, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

This paper examines the simultaneous effect of blast and earthquake loads on the structural nonlinear dynamic responses of the structure. For this purpose, it is assumed that an explosion occurs near the structure during the earthquake, induced by the ground motion. Initially, the pressure caused by the explosion is calculated with two different intensities (i.e., 1000 and 1500 kg TNT at a distance of five meters from the structure) and is applied to the structure at different time intervals. It is assumed that the structure is excited by the Sarpol-eZahab earthquake. In order to investigate the simultaneous effect of earthquake and blast loads on the nonlinear dynamic responses of the structure, four different scenarios are considered. In the first scenario (State *A*), the explosion occurs at the beginning time of the earthquake, while in the second state (State *B*), the explosion happens at the time that the strong ground motion will be started. In the third state (State *C*), the blast load is applied to the structure at the time that the maximum earthquake acceleration occurs. Finally, in the fourth state (State *D*), the blast load is applied to the structure at the end time of the earthquake. It is assumed that during an earthquake, or at the beginning and the end of the earthquake, the earth's motion causes an explosion near the structure, which has been observed repeatedly in previous earthquakes and causing significant financial and human casualties. Therefore, to study the simultaneous effect of blast and earthquake loads on the structural nonlinear dynamic responses of the structure, a six-story steel structure modeled in OpenSees software is considered. The frame is modeled nonlinearly, and the Steel 02 material is used to model the frame members. Finally, the acceleration, drift, displacement, and base shear curves of the structure are computed. The results show that with increasing the amount of blast load, the structural response has generally increased. In addition, considering the different scenarios, the maximum response of the structure has occurred in state *C*. Besides, by increasing the amount of blast load, the maximum response of the structure has not been changed by considering the simultaneous effect of the blast and earthquake loads. In the case that the structure is only excited by the blast load, the results also show that the amount of base shear and base moment is much more than the same values for the state that the structure is only excited by the earthquake load. The values of roof rotation, roof drift, shear, and base moment for the states *A* and *D* are similar to these values when the structure is only affected by the blast load. This is due to the short time of the blast load and also the low intensity of the earthquake at the beginning time of the earthquake. Therefore, the earthquake load could not change the response of the structure in these cases. At the end of the earthquake, due to the lack of earthquake load, only the structure was excited by the blast load, and the same results occurred. For example, in the case of using 1500 kg of explosives at a distance of five meters from the structure along with the earthquake load, the maximum displacement of the structure is 64.75% more than the amount of the responses of the structure when it is only excited by the explosive load and also 65.94% more than the amount of the responses of the structure when it is only excited by the earthquake load. These values were increased by 146.12% and 3.44%, respectively, when 1000 kg explosive is considered at a distance of five meters from the structure.

Keywords: Earthquake, Blast, Nonlinear Dynamic Analysis, Drift, Damage Index.