

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعالم

سال ششم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، (سپتامبر ۲۱): صص ۶۷-۷۶

## بررسی اثر افزایش ارتفاع و نامنظمی بر پاسخ قاب‌های بتن مسلح تحت اثر بار دینامیکی انفجار

مصطفی امینی مزرعه نو<sup>۱</sup>، رضا غلامی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۱۲

### چکیده

بسیاری از سازه‌های موجود، در برابر انفجار آسیب‌پذیر می‌باشند چرا که اکثر ساختمان‌های موجود، تنها برای مقاومت در برابر زلزله طراحی شده‌اند. در اکثر موارد، بار انفجار در محاسبه و طراحی مدنظر قرار نمی‌گیرد. یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در تحلیل و طراحی سازه در مقابل بار انفجار باید مورد توجه قرار گیرد، منظم یا نامنظم بودن ساختمان در ارتفاع است که می‌تواند اثر موده‌های بالاتر را در تحلیل افزایش و پاسخ‌های سازه را تحت اثر بارهای دینامیکی انفجار تحت تاثیر قرار دهد. هدف از این مقاله، بررسی اثر افزایش ارتفاع و نامنظمی بر پاسخ قاب بتن مسلح تحت اثر بار دینامیکی انفجار است. نتایج این پژوهش نشان داد که اکثر ساختمان‌های بتن مسلح نامنظم طراحی شده بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰، شرایط ایمنی جانی را در مقابل انفجار تامین نمی‌کنند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که نامنظمی قاب‌ها باید به‌عنوان یک پارامتر مهم در طراحی در مقابل انفجار در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: بار انفجار، پاسخ قاب‌های بتن مسلح، نامنظمی در ارتفاع.

۱- مربی و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران دانشگاه کردستان - reza\_gh1990@ymail.com - نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

بر روی اجزای سازه‌ای که به محل انفجار نزدیک‌ترند، بسیار شدیدتر است.

بزرگواری و شوشتری [۸] اثر انفجار بر ساختمان‌های بتنی مقاوم در برابر زلزله را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدت زمان بارهای انفجاری با اینکه بسیار کمتر از زلزله می‌باشد ولی برش پایه و جابجایی بیشتری در ساختمان ایجاد می‌کند. ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله برای مقاومت در برابر بارهای انفجاری باید مورد ارزیابی قرار گیرند.

فراهانی و همکارانش [۹] اثر پیوند سازه بر پاسخ سازه‌های ساختمانی تحت اثر بارهای ناشی از انفجار را، بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که پیوند سازه، تاثیر بسیار زیادی بر پاسخ آن به بارگذاری انفجار دارد و سازه‌های با پیوند  $0/3$  تا  $0/4$  ثانیه، نسبت به دیگر سازه‌ها، در هنگام انفجار وضعیت بحرانی‌تر دارند.

عربزاده و خیراتی [۱۰] اثر انفجار سطحی ناشی از مواد منفجره متمرکز بر روی سازه‌های بتنی را مورد بررسی و مشاهده قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقادیر تنش گره‌ای در اعضایی که در نزدیک‌ترین فاصله تا محل انفجار قرار گرفته‌اند، در مقایسه با اعضای دورتر، بیشتر بوده تا حدی که در زمان بسیار کوتاه بعد از انفجار این اعضا تسلیم می‌شوند.

حبیبی و قوام [۱۱] روش جدیدی جهت تحلیل غیرخطی قاب‌های چند درجه آزادی تحت اثر بارگذاری انفجاری ارائه کردند که پیچیدگی‌ها و دشواری‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی را نداشته و در عین حال، از دقت مطلوبی نیز برخوردار بود. آنها برای این منظور، قاب‌های زیادی تحت بارگذاری‌های مختلف انفجاری، مدل‌سازی کرده و رفتار غیرخطی را مورد ارزیابی قرار دادند. سپس روابط و گراف‌هایی را بر اساس نتایج روش بارافزون استخراج نمودند. نتایج روش پیشنهادی آنها در تعیین توزیع تغییر شکل نسبی طبقات سازه، از دقت بالایی برخوردار بود و می‌توانست برای مقاصد مهم‌تری همچون طراحی سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

امروزه به علت افزایش استفاده از انواع نامنظمی در سازه‌ها که ناشی از ملاحظات معماری و نوع خاص کاربری سازه می‌باشد، آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف، همواره در حال ارزیابی و بازنگری در ضوابط مربوط به سازه‌های نامنظم می‌باشند. یک نوع خاص از نامنظمی در سازه، پس‌رفتگی در ارتفاع می‌باشد. هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین اثر نامنظمی و افزایش ارتفاع در

بر اساس آمارهای منتشره از سوی سازمان‌های بین‌المللی، کشور عزیز ما ایران، در یکی از پر مخاطره‌ترین نقاط دنیا از نظر جنگ و حملات تروریستی قرار گرفته است [۱] و در سال‌های اخیر، تسلیحات انفجاری مخصوصاً خودروهای بمب‌گذاری شده، با توجه به دسترسی نسبتاً آسان به این تسلیحات و نیز به اطلاعات مربوط به کاربری آنها، گزینه‌ای پرکاربرد برای انواع عملیات تروریستی تبدیل شده است. این مسئله به خودی خود، اهمیت پرداختن به مبحث پدافند غیرعامل در همه زمینه‌ها، و به‌طور ویژه در طراحی ساختمان‌های مهم را انکارناپذیر جلوه می‌دهد و بارگذاری انفجاری را به یکی از مخاطرات و ملاحظات اصلی و مهم در طراحی سازه تبدیل نموده است. در گذشته، طراحی سازه در مقابل بار ناشی از انفجار به ساختمان‌های نظامی و صنعتی محدود بوده و هدف آن، مقابله با بارهای ناشی از انفجارهای نظامی و صنعتی بوده است. ولی در سال‌های اخیر و با توجه به افزایش حملات تروریستی در سراسر دنیا، ساختمان‌های دیگری، از جمله ساختمان‌های تجاری، سیاسی، اجتماعات و هر ساختمان مهم دیگری به اهداف مناسبی برای اینگونه حملات تبدیل گردیده‌اند. لذا مسلم است که بررسی پارامترهای مهم در این زمینه، ضروری است. در ادامه، تعدادی از پژوهش‌هایی که در رابطه با بررسی اثر انفجار بر سازه‌ها انجام شده‌اند به‌طور مختصر آورده شده است.

کامیاجو و همکارانش [۲] اثرات اندرکنش سازه و سیال و پیامدهای تاثیرگذار بر روی سازه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. بلانک و همکارانش [۳] روش‌های تجربی به‌منظور تخمین بارهای انفجاری را ارائه کردند. بشار [۴] در زمینه مدل‌سازی اثر بارهای انفجار بر سازه‌های روی زمین، مطالعاتی انجام داد. یوریک و همکارانش [۵] پس از مدل‌سازی عددی، یک فرمول لاگرانژی خاص به‌منظور تعیین پاسخ سازه در برابر یک بار انفجاری خاص ارائه کردند. لوسیونی و همکارانش [۶] خرابی سازه‌های ناشی از بار انفجاری، یک ساختمان بتن مسلح را مورد بررسی قرار دادند.

فراهانی و هادیان‌فرد [۷] اثر بارهای ناشی از انفجار بر روی سازه‌های ساختمانی فولادی را بررسی نمودند. آنها دریافتند که برای مدل کردن بارهای ناشی از انفجار بر روی سازه، استفاده از بارهای متمرکز در تراز طبقات با توزیع خطی نسبت به زمان، دارای دقت کافی بوده و میزان خطای آن نسبت به حالت بار گسترده با توزیع غیرخطی نسبت به زمان، کمتر از ده درصد است. اثر انفجار

پارامترهای انفجار و همچنین روابط مناسب جهت تخمین فشار ناشی از انفجار، هدف تعداد بسیاری از تحقیقات علمی در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ بوده است. نخستین بار بیشینه فشار انفجار با استفاده از فاصله مقیاس شده (Z)، توسط بورد (Borde) در سال ۱۹۵۵ به صورت زیر بیان شد:

در پژوهش حاضر، جهت محاسبه فشار ناشی از انفجار، از روش بورد استفاده می‌شود:

$$P_{so} = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019 \text{ bar} \quad (2)$$

$$(0.1 \text{ bar} < P_{so} < 10 \text{ bar})$$

$$P_{so} = \frac{6.7}{Z^3} + 1 \text{ bar} \quad (P_{so} > 10 \text{ bar}) \quad (3)$$

از سوی دیگر، رابطه‌ای که برای به دست آوردن  $t_d$  (مدت زمان اعمال موج انفجار)، به کار می‌رود، به صورت لگاریتمی زیر است [۱۶]:

$$\log_{10} \left( \frac{t_d}{W^{\frac{1}{3}}} \right) \approx -2.75 + 0.27 \log_{10} \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} \right) \quad (4)$$

$$(Z \geq 1/0)$$

$$\log_{10} \left( \frac{t_d}{W^{\frac{1}{3}}} \right) \approx -2.75 + 1.95 \log_{10} \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} \right) \quad (5)$$

$$(Z \leq 1/0)$$

این «بار» به صورت باری گسترده بر نمای خارجی ساختمان اعمال می‌شود، اما برای سهولت، نمودار فشار در مقابل زمان به صورت یک «بار» مثلثی فرض می‌شود (به عبارت دیگر، تغییرات فشار با زمان خطی فرض می‌شود)، که در آن، فشار اولیه  $P_{so}$  در مدت  $t_0$  به صفر می‌رسد. اگر موج انفجار در مسیر خود به مانعی برخورد کند، پدیده انعکاس موج، پیش خواهد آمد که میزان این انعکاس متناسب با زاویه برخورد موج، متفاوت خواهد بود. در صورتی که زاویه برخورد صفر باشد (مانع موجود در مسیر بر مسیر حرکت موج عمود باشد)، میزان انعکاس ایجاد شده، از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۶]:

$$P_r = \left[ \frac{7P_0 + 4P_{so}}{7P_0 + P_{so}} \right] \quad (6)$$

در رابطه بالا،  $P_0$  فشار جو است. در ضمن باید در نظر داشت

پاسخ قاب‌های خمشی بتن مسلح تحت اثر انفجار با استفاده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی می‌باشد.

## ۲- روش شناسی پژوهش

تخریب ناشی از انفجار از دو بخش تشکیل شده است:

الف) اثر مستقیم موج انفجار، شامل تخریب دیوارهای خارجی، پنجره‌ها، سیستم کف‌ها، سقف‌ها و ستون‌ها.

ب) خرابی پیش‌رونده که خود ناشی از دو عامل است؛ یکی ترک‌ها و تخریب‌های به وجود آمده در مرحله برخورد موج انفجار با سازه، که به تدریج توسعه یافته و قسمت‌های آسیب‌دیده را گسترش می‌دهند و دیگری پرتاب تکه‌ها و اجزای ساختمان در اثر باد انفجار، که ضربه ناشی از برخورد آنها با اجزای سازه‌ای، ایجاد ترک می‌کند و موجب گسترش ترک‌ها در سازه می‌شود [۱۲].

در هر کدام از مراحل بالا، مشخصات سازه‌ای اثر خاصی خواهند داشت. به طور مشخص در هر دو مرحله، مشخصات، مصالح اثرگذار خواهد بود. در مرحله اول (اثر مستقیم موج انفجار)، با توجه به سرعت بارگذاری و نرخ بالای کرنش، تنش تسلیم و نهایی در مصالح، متناسب با ضریبی به نام ضریب افزایش دینامیکی افزایش می‌یابند [۱۳]. همچنین نوع اتصال و شکل‌پذیری قاب‌ها در پاسخ به بار انفجار تاثیرگذار می‌باشد که این مسایل نیز توسط برخی از محققان مورد توجه قرار گرفته است [۱۴]. در این پژوهش، ضریب افزایش دینامیکی (DIF) و ضریب افزایش مقاومت (SIF) برای مصالح بتنی و فولادی بر اساس مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شد [۱۵].

پارامترهای مربوط به انفجار، وابسته به دو پارامتر مستقل هستند، یکی میزان انرژی آزاد شده در هنگام انفجار و دیگری، فاصله بین مرکز انفجار تا محل اثر موج انفجار. قدرت تخریبی یک بمب نیز به واسطه همین دو فاکتور بسیار مهم مورد محاسبه قرار می‌گیرد: وزن مواد منفجره که با معادل‌سازی بر حسب وزن TNT معادل بیان می‌شود (W) و فاصله اثر مواد منفجره (R). حاصل این دو کمیت، به صورت پارامتر Z (فاصله مقیاس شده)، به شرح زیر بیان می‌شود:

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

در رابطه بالا، R بر حسب متر و W بر حسب کیلوگرم به کار می‌روند [۱۶].

هندسه قاب‌ها در شکل (۱) آورده شده است. همچنین برای بارگذاری بر روی قاب‌ها، از بار معادل ۵۰ کیلوگرم TNT که در فاصله ۲۰ متری منفجر می‌شود استفاده شده است [۹]. فاصله قاب‌ها (عرض برابر هر قاب) ۴ متر فرض شده است و بار به صورت متمرکز غیر یکنواخت، متناسب با فاصله پایین و بالای دیوار نمای جلویی ساختمان، بر روی قاب سازه اعمال شده است. به منظور انجام تحلیل دینامیکی قاب‌ها تحت بار انفجار، از نرم‌افزار SeismoStruct استفاده گردید [۲۱]. جابجایی طبقه بام، متناسب سطح عملکرد ایمنی جانی براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود تعیین گردیده است [۲۲].

#### ۴- یافته‌های پژوهش

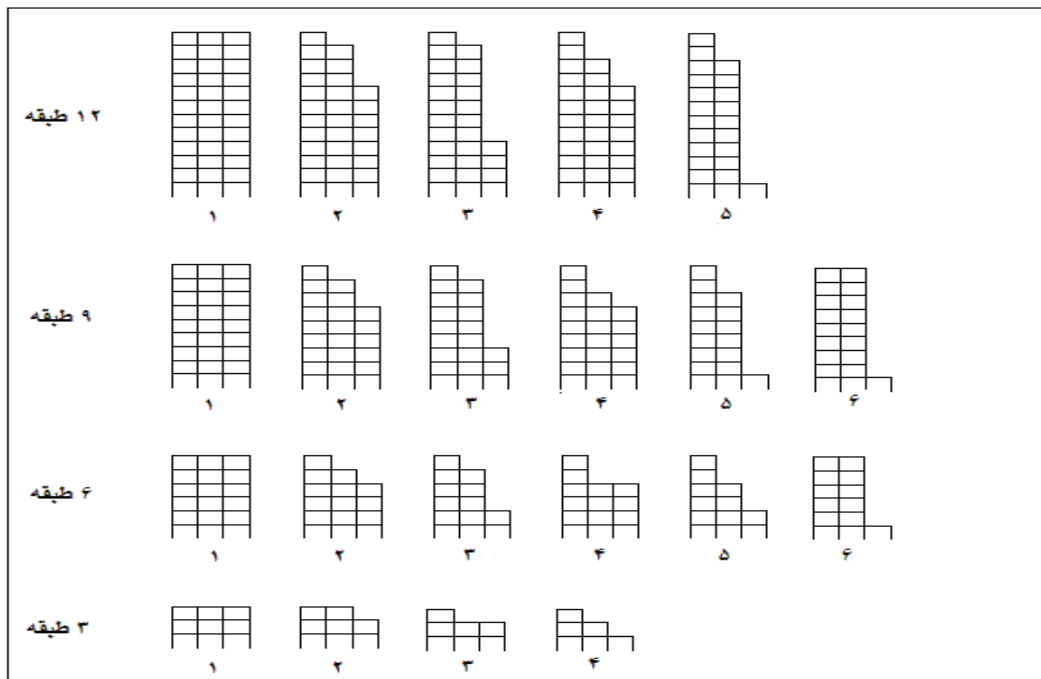
منحنی‌های جابجایی طبقه بام-زمان برای قاب‌های ۳ و ۹ طبقه با نامنظمی متفاوت که با استفاده از انجام تحلیل دینامیکی بر روی قاب‌ها تحت بار انفجار به دست آمده است، در زیر آورده شده است.

به منظور ارائه روابطی جهت بررسی اثر نامنظمی‌های قائم و افقی و همچنین افزایش ارتفاع و دوره تناوب بر جابجایی طبقه بام به عنوان پاسخ (شاخص خسارت) قاب‌های بتن مسلح نامنظم و همچنین برش پایه این قاب‌ها از رگرسیون استفاده گردید. بر این اساس، با فرض جابجایی طبقه بام و برش پایه به عنوان متغیر

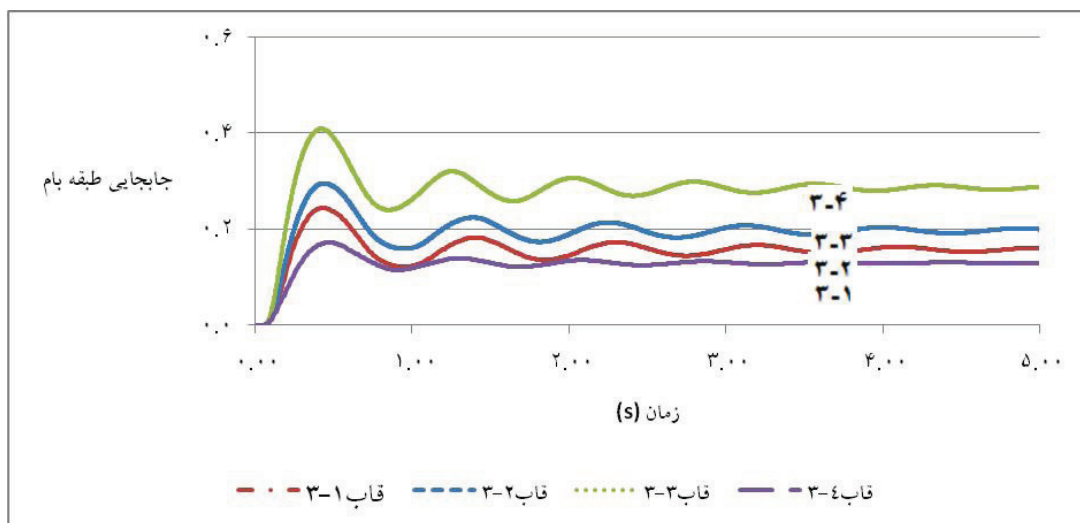
که اضافه فشار وارد بر دیوار جلوی ساختمان، مساوی فشار انعکاس خواهد بود.

#### ۳- جزئیات مدل سازی قاب‌ها و بار انفجار در نرم‌افزار

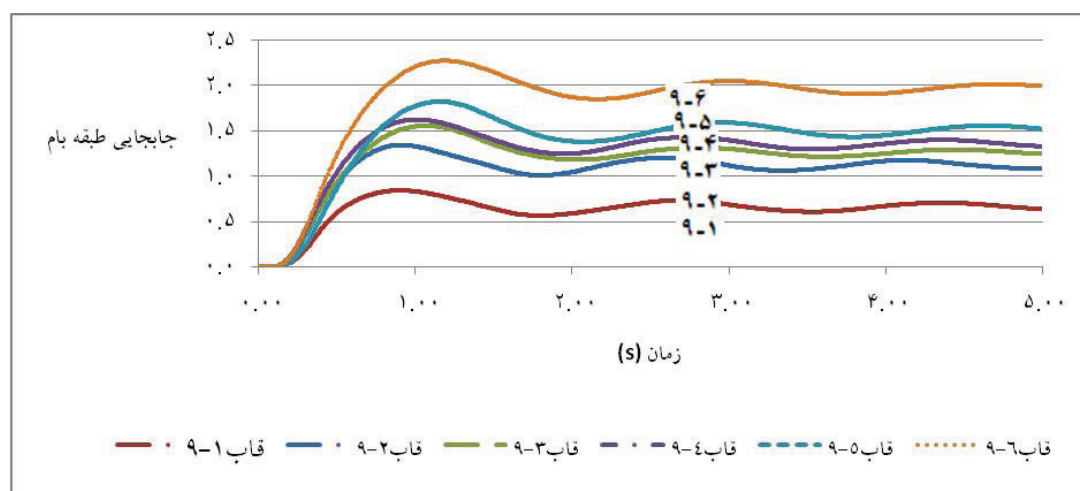
به منظور بررسی اثر افزایش ارتفاع در پاسخ و عملکرد قاب‌های خمشی بتن مسلح تحت اثر انفجار با استفاده از تحلیل دینامیکی تاریخیچه زمانی غیرخطی تعداد ۲۱ قاب خمشی بتن مسلح منظم و نامنظم ۳ دهانه با تعداد طبقات ۳، ۶، ۹، ۱۲ و با شکل پذیری زیاد که بر اساس آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) [۱۸] و آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های بتنی ایران [۱۹] طراحی شده است، انتخاب گردید. طول هر یک از دهانه‌های قاب ۴ متر است، (جهت اطلاع از جزئیات طراحی قاب‌های مورد بررسی به مرجع [۲۰] مراجعه شود). ارتفاع کلیه طبقات یکسان و برابر ۳/۲ متر می‌باشد. برای محاسبه برش پایه طراحی لرزه‌ای، پارامترهای ضریب اهمیت (I)، ضریب خطر لرزه‌ای (A)، نوع خاک و ضریب رفتار (R) مطابق استاندارد ۲۸۰۰ به ترتیب برابر با ۱، ۰/۳۵، ۲ و ۱۰ در نظر گرفته شده است. بار مرده و زنده تقلی به ترتیب برابر ۲۰۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم بر متر در طبقات و بام در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن نیز به ترتیب برابر ۳۰ و ۲۷/۴ مگاپاسکال، تنش تسلیم فولاد میلگرد ۴۰۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال است.



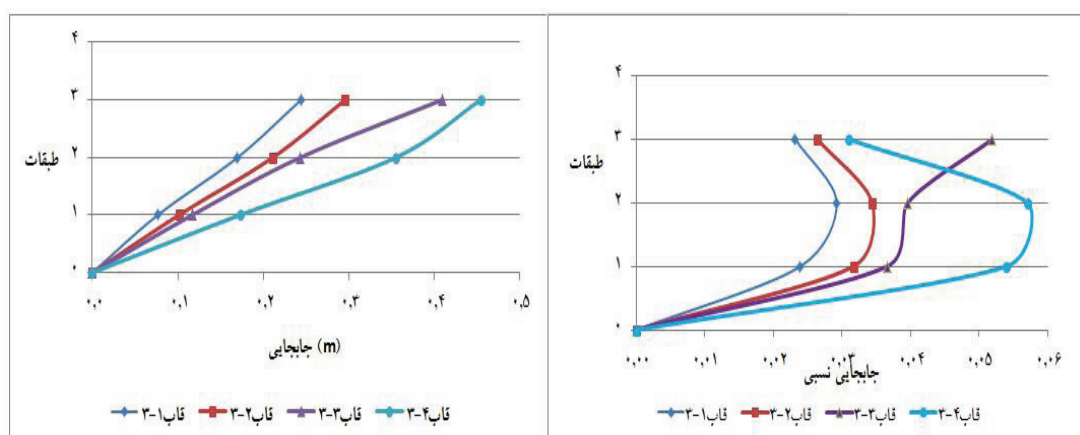
شکل ۱- شکل هندسی قاب‌های مورد مطالعه



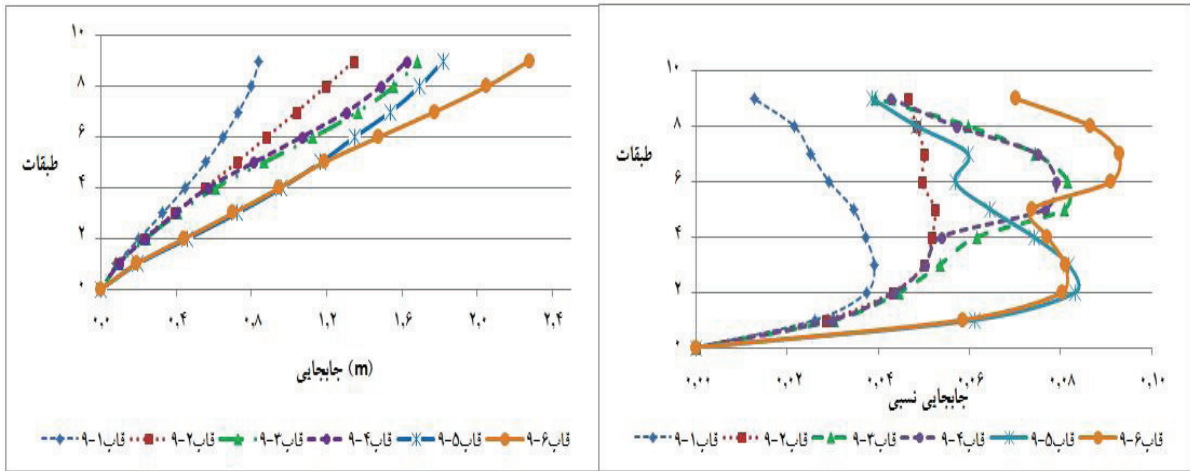
شکل ۲- نمودار تاریخچه زمانی جابجایی بام-زمان برای قاب ۳ طبقه با نامنظمی متفاوت



شکل ۳- نمودار تاریخچه زمانی جابجایی بام-زمان برای قاب ۹ طبقه با نامنظمی متفاوت



شکل ۴- جابجایی و جابجایی نسبی طبقات قاب‌های ۳ طبقه با نامنظمی متفاوت



شکل ۵- جابجایی و جابجایی نسبی طبقات قاب‌های ۹ طبقه با نامنظمی متفاوت

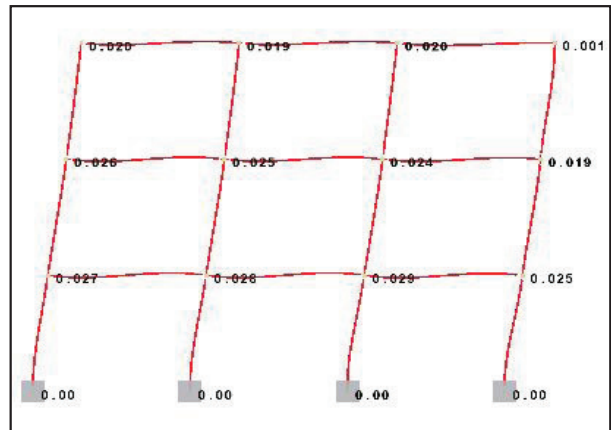
$$D_E = 0.01 \times b^{0.386} \times s^{1.072} \times H^{1.412} \quad (1)$$

$$V_E = 104.23 \times b^{-0.059} \times s^{-0.266} \times H^{0.623} \quad (2)$$

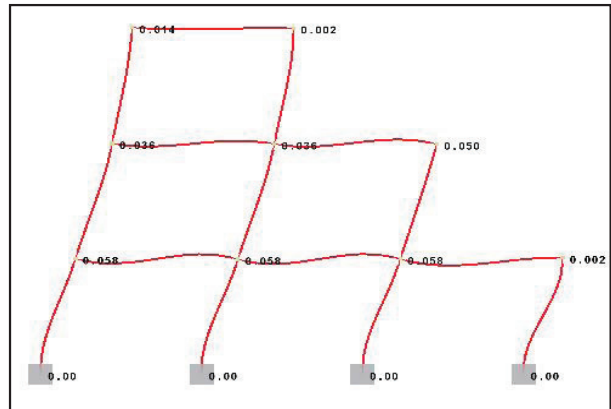
که در آن،  $D_E$  جابجایی طبقه بام،  $V_E$  برش پایه حداکثر تحت بار انفجار می‌باشد. ضریب همبستگی روابط (۱) و (۲) به ترتیب برابر ۰/۹۷۱ و ۰/۹۷۴ می‌باشد که دقت بالای آنها را در برآورد پاسخ سازه و برش پایه بیان می‌کند.

### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به روابط به‌دست آمده با استفاده از رگرسیون با افزایش ارتفاع قاب‌ها، جابجایی طبقه بام و حداکثر برش پایه ایجاد شده در سازه که باید توسط ستون‌های طبقه اول تحمل گردد، افزایش پیدا کرده است. افزایش برش پایه با افزایش ارتفاع، به علت افزایش سطح بارگیر انفجار است. با افزایش ارتفاع، رفتار قاب از حالت برشی به خمشی می‌رسد که این موضوع باعث کاهش سختی قاب و افزایش جابجایی بام می‌گردد. موج انفجار باعث تسلیم شدن طبقات میانی قاب‌ها و ایجاد طبقه نرم در سازه شده و افزایش نامنظمی باعث تشدید این موضوع می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). حداکثر برش پایه به دلیل ماهیت دینامیکی بار انفجار، وابستگی زیادی به جرم سازه دارد. با افزایش نامنظمی، جرم قاب کاهش پیدا کرده، که این امر منجر به کاهش برش پایه با افزایش نامنظمی قائم و افقی می‌گردد. تمامی قاب‌ها شرایط ایمنی جانی آیین‌نامه را تامین نمی‌کنند. به هر حال با افزایش نامنظمی، وضعیت قاب‌ها به مراتب بحرانی‌تر می‌گردد (شکل‌های ۲ و ۳). با افزایش ارتفاع و نامنظمی، تغییر شکل ماندگار قاب‌ها نیز بیشتر شده است (شکل‌های ۱ و ۲). جابجایی نسبی قاب‌های نامنظم ۶



شکل ۶- دوران مفصل‌های پلاستیک قاب ۳-۱



شکل ۷- دوران مفصل‌های پلاستیک قاب ۳-۴

وابسته و ارتفاع سازه و شاخص‌های نامنظمی افقی و قائم به‌عنوان متغیرهای مستقل، رابطه‌های زیر به ترتیب برای جابجایی طبقه بام و برش پایه با استفاده از رگرسیون حاصل گردید:

جدول ۱- حداکثر برش پایه و جابجایی قاب‌های بتن مسلح نامنظم

		شاخص نامنظمی			پاسخ‌ها	
قاب	ارتفاع	قائم	افقی	تناوب	جابجایی بام (m)	برش پایه (KN)
۳-۱	۹/۶	۱	۱	۰/۶۸	۰/۲۴۵	۴۳۸/۹
۳-۲	۹/۶	۱/۲۵	۱/۲۵	۰/۶۱	۰/۲۵۹	۳۹۱
۳-۳	۹/۶	۲	۱/۲۵	۰/۵۴	۰/۴۰۹	۴۰۱/۳
۳-۴	۹/۶	۱/۷۵	۱/۷۵	۰/۵۴	۰/۴۵۵	۳۲۲/۰۳
۶-۱	۱۹/۲	۱	۱	۱/۰۴	۰/۶۴۴	۶۷۱/۴۳
۶-۲	۱۹/۲	۱/۳	۱/۲۵۵	۰/۸۰	۱/۱۱۷	۵۷۴/۳۵
۶-۳	۱۹/۲	۱/۳	۱/۸۵	۰/۸۴	۱/۳۲۴	۵۶۸
۶-۴	۱۹/۲	۱/۴	۱/۲۵	۰/۷۹	۱/۲۹	۶۰۲/۵
۶-۵	۱۹/۲	۱/۳	۱/۷۵	۰/۸۱	۰/۴۵۲	۴۷۲/۸
۶-۶	۱۹/۲	۱/۱	۳/۵	۰/۹۲	۱/۰۶	۶۲۰/۴۳
۹-۱	۲۸/۸	۱	۱	۱/۲۰	۰/۸۴۱	۸۸۶/۴
۹-۲	۲۸/۸	۱/۱۸۷	۱/۲۲۹	۱/۰۸	۱/۳۴۴	۸۷۹/۸۴
۹-۳	۲۸/۸	۱/۱۸۷	۱/۸۹۵	۱/۰۸	۱/۶۸۴	۸۱۷/۵۳
۹-۴	۲۸/۸	۱/۱۸۷	۱/۲۲۶	۱/۰۸	۱/۶۲۴	۸۴۶/۴۴
۹-۵	۲۸/۸	۱/۰۶	۵	۱/۲۱	۱/۸۲	۷۸۲/۶
۹-۶	۲۸/۸	۱/۱۸۷	۴/۱۴	۱/۱۱	۲/۲۸	۷۵۹/۵
۱۲-۱	۳۸/۴	۱	۱	۱/۴۷	۱/۴۴	۹۱۹/۸
۱۲-۲	۳۸/۴	۱/۱۳۶	۱/۲۳۲	۱/۳۷	۱/۹۵	۹۵۱/۷
۱۲-۳	۳۸/۴	۱/۱۳۶	۱/۹۲	۱/۳۸	۲/۳۱	۸۹۵/۹۴
۱۲-۴	۳۸/۴	۱/۱۳۶	۲/۴۶	۱/۳۵	۲/۵۰	۹۶۶/۳۲
۱۲-۵	۳۸/۴	۱/۱۳۶	۵/۶	۱/۴۰	۴/۱۳	۸۷۸/۸

- و ۱۲ از جابجایی نسبی تعیین شده توسط آیین‌نامه (مبحث ۲۱) بیشتر است. دوران مفصل‌های پلاستیک در تمامی قاب‌ها به جز در قاب ۳ طبقه از ۰/۰۳۵ (بر اساس مبحث ۲۱) بیشتر بوده است و با افزایش نامنظمی، دوران مفصل پلاستیک بیشتر گردید (شکل‌های ۶ و ۷). در واقع با افزایش نامنظمی تعداد اعضای سازه‌ای که در جذب انرژی انفجار مشارکت کرده‌اند کاهش پیدا کرده است، در نتیجه، قاب به‌منظور جذب انرژی ناشی از انفجار ناگزیر به تجربه دوران‌های بیشتر در مفصل پلاستیک است. در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که اکثر ساختمان‌های بتن مسلح نامنظم طراحی شده بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰، شرایط ایمنی جانی را در مقابل انفجار تامین نمی‌کنند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که نامنظمی قاب باید به‌عنوان یک پارامتر مهم در طراحی در مقابل انفجار در نظر گرفته شود.
- مراجع**
۱. فراهانی، احمد؛ هادیان‌فرد، محمدعلی؛ بررسی اثر بارهای ناشی از انفجار بر روی سازه‌های ساختمانی، پنجمین کنگره ملی عمران، مشهد، ایران، (۱۳۸۹).
  ۲. بزرگوار، محمود؛ شوشتری؛ احمد، اثر انفجار بر ساختمان‌های بتنی مقاوم در برابر زلزله، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، ایران، (۱۳۹۰).
  ۳. فراهانی، احمد؛ هادیان‌فرد، محمدعلی؛ رهنما، حسین؛ بررسی اثر پیوند سازه بر پاسخ سازه‌های ساختمانی تحت اثر بارهای ناشی از انفجار، پنجمین کنگره ملی عمران، سمنان، ایران، (۱۳۹۰).
  ۴. عربزاده، ابوالفضل؛ خیراتی، عباس؛ اثر انفجار سطحی ناشی از مواد منفجره متمرکز بر روی سازه‌های بتنی، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز، ایران، (۱۳۸۶).
  ۵. حبیبی، علیرضا؛ قوام، سید افشین؛ یک روش جدید جهت تحلیل غیرخطی قاب‌های چند درجه آزادی تحت اثر بارگذاری انفجاری، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، ایران، (۱۳۹۰).
  ۶. فراهانی، احمد؛ هادیان‌فرد؛ محمد علی، بررسی اثر شکل‌پذیری بر رفتار قاب‌ها، تحت اثر بارهای انفجاری، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، مشهد، ایران، (۱۳۸۸).
  ۷. آیین‌نامه پدافند غیرعامل، پیش‌نویس مبحث بیست‌ویکم مقررات ملی ساختمان، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش ۶، (۱۳۸۸).
  ۸. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، (۱۳۸۴).
  ۹. آیین‌نامه طراحی و اجرای ساختمان‌های بتن مسلح، مبحث نهم، دفتر مقررات ملی ساختمان، ویرایش ۴، (۱۳۹۲).
  ۱۰. حبیبی، علیرضا؛ اسدی، کیوان؛ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن مسلح طراحی شده بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰، سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه کردستان، (۱۳۹۰).
  ۱۱. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (کد ۳۶۰)، سازمان مدیریت برنامه‌ریزی و بودجه، (۱۳۸۵).
  12. Bangash, M.Y.H, "Shock, Impact and Explosion", Springer Berlin, Heidelberg, London, (2009).
  13. Kambouchev, N., Noel, L., Radovitzky, R., "Nonlinear compressibility effects in fluid-structure interaction and their implication on air-blast loading of structures", J. AIP. Phys., vol:100, (2006).
  14. Blanc, G., Adoum, M., Lapoujade, V., "External blast load on structures – Empirical approach", 15<sup>th</sup> European LS-DYNA Users conference.
  15. Beshara, F., "Modelling of blast loading on above-ground structures-1. General phenomenology and external blast", ComputStruct., vol:51(5), ppt:585-96.
  16. Barvik, T., Hanssen, A.G, Langseth, M., Olovsson, L., "Response of structures to planar blast loads a finite element engineering approach", J. Computers & Structures, Vol:87, (2009).
  17. Luccioni, B.M., Ambrosini, R.D., Danesi, R.F., "Analysis of building collapse under blast loads", J. Engineering Structures, Vol:26, (2004).
  18. Federal Emergency Management Agency, "Nehrp Recommended Provisions for Seismic Regulations



- for new Buildings and other Structures", FEMA303", (1997).
19. Unified Facilities Criteria (UFC), "Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions", UFC3-340-02, (2008).
  20. Ngo T., Mendis P., Gupta A. and Ramsay J., "Blast Loading and Blast Effects on Structure- An overview". J. Structural Engineering, (2007).
  21. Silva ,P., Lu, B., Nanni, A., "Prediction of blast loads based on expected damage level by using displacement based method", SAFE2005 WIT Conference Proceeding Rome, Italy, (2005).
  22. <http://www.seissoft.com>, " SeismoStruct User Manual for version 6.5"