

## مطالعه تحلیلی تأثیر نسبت پرئود پالس غالب زلزله به پرئود اصلی سازه در تخمین نیازهای لرزه‌ای قاب فولادی در حوزه نزدیک گسل با منظور نمودن تأثیر موده‌های بالاتر

محسن گرامی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان  
نوید سیاه‌پلو (نویسنده مسؤؤل)، استادیار گروه عمران، جهاد دانشگاهی خوزستان،  
E-mail: n\_siahpolo@yahoo.com  
رضا وهدانی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

**چکیده:** چنانچه زلزله دارای اثر سوی‌مندی پیش‌رونده باشد، کل انرژی زلزله در چند سیکل محدود بر سازه وارد می‌شود. در این حالت، سرعت پارگی گسل نزدیک به سرعت موج برشی بوده و راستای پارگی گسل در امتداد سایت می‌باشد. ویژگی بارز این نوع زلزله، وجود پالس با دامنه بزرگ در رکورد ثبت‌شده سرعت است. مطالعات قبلی نشان می‌دهد نیازهای وارد بر قاب‌های فولادی در اثر زلزله نزدیک گسل در مقایسه با زلزله معمولی مقادیر قابل توجهی است. حساسیت پاسخ سازه نسبت به دوره تناوب پالس و نبود تعداد کافی رکورد نزدیک گسل با مقادیر مختلف دوره تناوب پالس، انگیزه اصلی این مقاله می‌باشد. تاکنون مدل‌های مختلفی برای پالس ساده تعریف شده‌اند که در این پژوهش از مدل آگراوال استفاده شده است. برآورد نیازهای ارتجاعی قاب خمشی فولادی برای مقادیر مختلف نسبت دوره تناوب پالس به دوره تناوب اصلی سازه  $(T_p / T_1)$  و تأثیر موده‌های بالاتر هدف اصلی این پژوهش است. به این منظور، اثر موده‌های بالاتر بر پاسخ تغییر مکان کلی، دریافت بین طبقه‌ای، برش پایه، برش طبقه بام و لنگر واژگونی بررسی شده است. نتایج در حوزه مدل‌های این مقاله نشان داد که برای  $T_p / T_1 = 1.0$  بیشینه نیاز تغییر مکانی و نیرویی در قاب‌های مختلف شکل می‌گیرد و برخلاف افزایش تعداد طبقات از اثر موده‌های بالاتر کاسته می‌شود. در این حالت، تمایل سازه به نوسان در مود اول می‌باشد. همچنین بیشترین تأثیر موده‌های بالاتر بر تخمین نیاز نیرویی برش طبقه بام، و تأثیر موده‌های بالاتر بر برش پایه و تغییر مکان بام در جایگاه دوم و سوم است. به علاوه، افزایش تعداد دهانه باعث شد تا اثر موده‌های بالا بر نیاز برش پایه کاهش یابد؛ اما این موضوع بر برش طبقه بام و تغییر مکان بام بی‌تأثیر است.

**کلیدواژه‌ها:** زلزله نزدیک گسل، پالس ساده، نیاز تغییر مکان، اثر موده‌های بالاتر، قاب خمشی فولادی

### ۱- مقدمه

پرتابی یا فلینگ شناخته می‌شود. بنابراین پارامترهای زلزله نزدیک گسل باعث می‌شود که مقدار قابل توجهی انرژی پارگی گسل به شکل یک تحریک پالس‌گونه با دوره تناوب بلند نمایان گردد (لازم به ذکر است که اثرات سوی‌مندی

در مجاورت گسل‌های فعال، حرکت زمین به شدت متأثر از مکانیسم گسلش، راستا و جهت پارگی گسل با توجه به سایت (به‌طور مثال سوی‌مندی پیش‌رونده) و تغییر شکل استاتیکی ماندگار در محل گسلش است که به‌عنوان اثرات

(MDOF)، سؤالات اساسی زیر می‌بایست در نظر گرفته شوند:

- تا چه اندازه مدل پالس ساده می‌تواند حداکثر پاسخ سازه بلند را برآورد نماید؟
- آیا اثر مودهای بالاتر در محاسبه پاسخ سازه بلند در برابر زلزله نزدیک گسل مهم هستند؟
- اثر مودهای بالاتر تا چه اندازه بر مدل پالس ساده جهت برآورد حداکثر پاسخ سازه بلند مهم می‌باشد؟

بنینف [۳] گزارشی از مهم‌ترین ویژگی‌های زلزله نزدیک گسل را به کمک الگوهای شدت ایجادشده در اثر زلزله کرن- کانتی (۱۹۵۲) ارائه نمود. بعدها افراد دیگری همچون ماهین [۴] و برترو [۵] موضوع آسیب‌های سازه‌ای را به دلیل ماهیت پالس گونه زلزله نزدیک گسل سان فرناندو (۱۹۷۱) بررسی نمودند. هال و همکارانش [۶] نشان دادند که تغییر مکان ایجاد شده در اثر پالس زلزله نزدیک گسل، نیازهای لرزه‌ای قابل توجهی را بر سازه تحمیل نمود. اندرسون و همکارانش [۷] با ارزیابی قاب خمشی فولادی در اثر رکورد نزدیک گسل، نشان دادند که پاسخ سازه نسبت به زمان تداوم پالس شتاب که متناسب با دوره تناوب اصلی است، بسیار حساس می‌باشد. وسترگارد [۸] ضمن مطالعه رفتار ساختمان‌های بلند در برابر زلزله نزدیک، به کمک تئوری انتشار موج، نشان داد که تغییر مکان تراز بام ساختمان به دلیل تغییر شکل یا بازتاب موج تقویت می‌گردد. ایشان همچنین نشان داد اگر دوره تداوم پالس به دوره تناوب اصلی سازه نزدیک باشد، برخورد موج‌های رفت و برگشت در طبقات میانی سازه، نیازهای قابل توجهی را به سازه تحمیل می‌نماید [۸]. بیگز [۹] نشان داد که دامنه پالس ساده شده و مدت تداوم آن نسبت به دوره تناوب سازه یک‌درجه آزاد دو پارامتر اساسی در کنترل بیشینه پاسخ الاستیک می‌باشد. مدل‌های مختلفی برای توصیف زلزله نزدیک به صورت روابط ریاضی توسط محققین مختلفی ارائه شده است که به کمک آن می‌توان به قابلیت مدل‌های ریاضی پی برد [۶، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷].

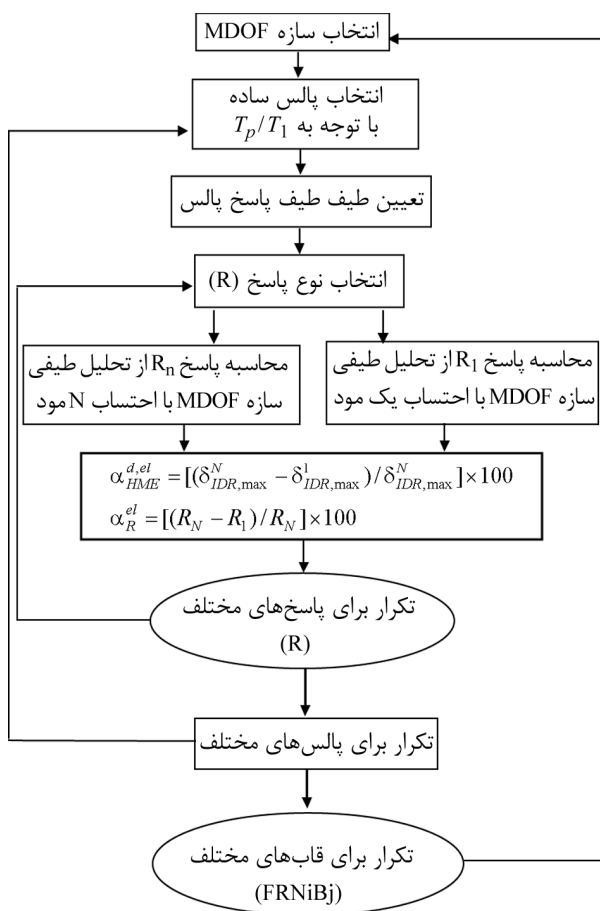
شاخص‌ترین مطالعه انجام‌شده در خصوص مدل‌های

پس‌رونده فاقد ماهیت پالس گونه می‌باشد). حرکت زمین دارای چنین ماهیت پالس گونه غالباً در ابتدای شتاب‌نگاشت نمایان شده و تمایل دارد که بخش دوره تناوب بلند طیف پاسخ شتاب را افزایش دهد [۱]. در این حالت سازه مقدار قابل توجهی انرژی زلزله را با تعداد اندکی اغتشاش با دامنه بزرگ مستهلک نموده و نیازهای قابل توجهی بر سازه تحمیل می‌شود. در نتیجه خطر ایجاد شکست ترد در المان‌های سازه با جزئیات اجرایی ضعیف تقویت می‌گردد [۲]. تأثیرات تعیین‌کننده چنین پدیده‌ای در خلال زلزله ارزکان (۱۹۹۲)، لاندرز (۱۹۹۲)، نورتریچ (۱۹۹۴)، کوبه (۱۹۹۵)، کوچاپلی (۱۹۹۹)، دیوز و چی- چی تایوان مشاهده گردید.

شواهد به دست آمده از زمین‌لرزه‌های پیشین نشان می‌دهد که ضوابط موجود در آیین‌نامه‌های طراحی که حرکت زمین را به کمک طیف پاسخ در نظر می‌گیرند، در بسیاری از موارد ماهیت زلزله نزدیک گسل را به خوبی نمایان نمی‌سازند. این موضوع برای ساختمان‌های با دوره تناوب طولانی از اهمیت بیشتری برخوردار است. اگرچه ضوابط پیشنهادی و تجویزی مثل ATC40 (۱۹۹۶)، UBC (ICBO97)، ASCE2000 و IBC (ICBO2000) فاکتورهای سورس-سایت و فاصله را برای زلزله نزدیک گسل تعریف نموده‌اند ( $N_v$  و  $N_a$ ) و به کمک آن دامنه طیف طراحی الاستیک را تقویت می‌نماید (به‌طور مثال مقیاس‌سازی برش پایه)، اما همچنان اعمال چنین ضرایب ثابتی در تأمین سطوح مختلف شکل‌پذیری در شرایط نزدیک گسل مورد سؤال است. بنابراین همواره این موضوع اهمیت داشته که درجه آسیب‌پذیری سازه‌های طرح‌شده با طیف طرح دور از گسل که در موقعیت نزدیک گسل ساخته شده‌اند به چه ترتیبی است. مطالعات نشان می‌دهد که پالس با دامنه سرعت قابل توجه باعث می‌گردد نیازهای غیر ارتجاعی قابل توجهی بر ساختمان‌های بلند تحمیل گردد.

برای استفاده از مدل پالس ساده‌شده متناظر با رکورد واقعی در محاسبه بیشینه نیازهای سازه سامانه چند درجه آزاد

تأثیر تعداد دهانه نیز از دیگر محورهای تحقیق می‌باشد. لازم به ذکر است تحقیق ارائه‌شده بخشی از یک مطالعه بنیادین در تخمین نیازهای لرزه‌ای ارتجاعی و غیر ارتجاعی تحمیل‌شده بر قاب‌های خمشی فولادی در اثر زلزله‌های نزدیک گسل است که توسط نگارندگان در دست انجام است. در شکل (۱) فلوجارت کلی تحقیق در برآورد پارامترهای مورد نیاز ارائه شده است



شکل (۱): فلوجارت بخش‌های مختلف تحقیق در ارزیابی تأثیر  $T_p/T_1$  و HME بر نیازهای نیرویی و تغییرمکانی.

## ۲- معرفی مشخصات قاب‌های مورد مطالعه

در قاب‌های مورد مطالعه، ارتفاع کلیه طبقات ثابت و برابر ۴ متر و طول دهانه‌ها ثابت و برابر ۵ متر در نظر گرفته شده است. برای قاب‌های خمشی فولادی دو بعدی مورد استفاده در این مطالعه شکل‌پذیری از نوع ویژه انتخاب گردید. همچنین، B برای کلیه قاب‌ها ثابت و برابر ۳ در نظر گرفته

پالس ساده توسط علوی و کراوینکلر [۱۸] انجام شده است. ایشان نشان دادند که اگر نسبت دوره تناوب سازه به دوره تناوب غالب پالس سرعت (که از طیف شبه سرعت به دست می‌آید) بین ۰/۳۷۵ تا ۳ ثانیه باشد، می‌توان از مدل پالس ساده‌شده متناظر با رکورد واقعی به‌جای رکورد واقعی زلزله استفاده نمود. همچنین برای سازه MDOF، چنانچه عمده پاسخ سازه در مود اول باشد، مدل پالس ساده‌شده متناظر با رکورد واقعی نتایج قابل قبولی را به‌دنبال دارد. به‌طور کلی مدل پالس ساده‌شده به‌جهت این‌که فاقد محتوای فرکانسی بالا می‌باشد، بنابراین نمی‌تواند اثر مودهای بالاتر از جریان ارتعاش را در نظر بگیرد [۱۶].

در مجموعه مطالعات انجام‌شده در ارزیابی تأثیر پالس ساده بر رفتار الاستیک و غیر الاستیک قاب‌های خمشی فولادی، موضوع تأثیر نسبت دوره تناوب پالس بر دوره تناوب اصلی سازه ( $T_p/T_1$ ) برای تعداد محدودی مدل بررسی شده است. از طرفی نوع پالس مورد استفاده غالباً بر اساس مدل‌های ساده‌ای همچون پالس مستطیل، مثلث یا سینوسی انتخاب گردیده است. همچنین تأثیر درجات آزادی و تعداد مودهای ارتعاشی در تحلیل الاستیک و رابطه آن با مدل پالس ساده در برآورد نیازهای سازه MDOF نیز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر کارهای انجام‌شده تنها به توزیع نیازهای تغییر مکانی محدود شده و به موضوع برش طبقه و برش پایه کمتر پرداخته شده است. بنابراین در این پژوهش تلاش شده است تا قاب‌های خمشی فولادی با شکل‌پذیری ویژه در تعداد طبقات ۴، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ طبقه در برابر پالس ساده‌شده با مقادیر مختلف  $T_p/T_1$  بررسی شده و تأثیر  $T_p/T_1$  بر نیازهای تغییر مکانی و روند توزیع نیروی تراز طبقات، برش پایه و برش طبقه بام ارزیابی گردد. از طرفی اثر درجات آزادی و تعداد مودهای مورد استفاده در تحلیل دینامیکی مودال که از این پس با HME نمایش داده می‌شود در برآورد نیازهای الاستیک مدل‌های مورد بررسی برای حالت‌های مختلف  $T_p/T_1$  به بحث گذاشته می‌شود.

## ۲- مدل پالس‌گونه

برای تعریف زلزله نزدیک گسل و اثرات پالس‌گونه آن در شرایط سوی‌مندی پیش‌رونده، می‌توان از رکوردهای واقعی و یا از پالس‌های ساده‌شده بهره گرفت. یکی از محدودیت‌های اساسی در تحلیل سازه‌های SMRF در برابر زلزله، عدم دسترسی به تعداد قابل توجه نگاشت نزدیک گسل است. بنابراین، محققین مختلفی استفاده از پالس‌های مصنوعی را در شبیه‌سازی نگاشت نزدیک گسل معرفی نموده‌اند. پالس‌های ساده‌شده به روش‌های گوناگون قابل محاسبه هستند و محققین مختلف، فرم‌های ریاضی متفاوتی را برای این پالس‌ها ارائه کرده‌اند. این پالس‌های مصنوعی در قسمت‌های مختلف تحقیق ایشان برای ارزیابی رفتار فرا ارتجاعی قاب SMRF مورد استفاده قرار گرفته است. یکی دیگر از روش‌های تولید پالس، روشی است که توسط مارکیس و آگراوال تعریف شده است [۲۲]. ایشان برای تعریف ماهیت پالس‌گونه نگاشت سرعت، سه دسته پالس تعریف نمودند که به پالس A، B و D معروفند. برای تولید پالس D رابطه (۱) پیشنهاد شده است:

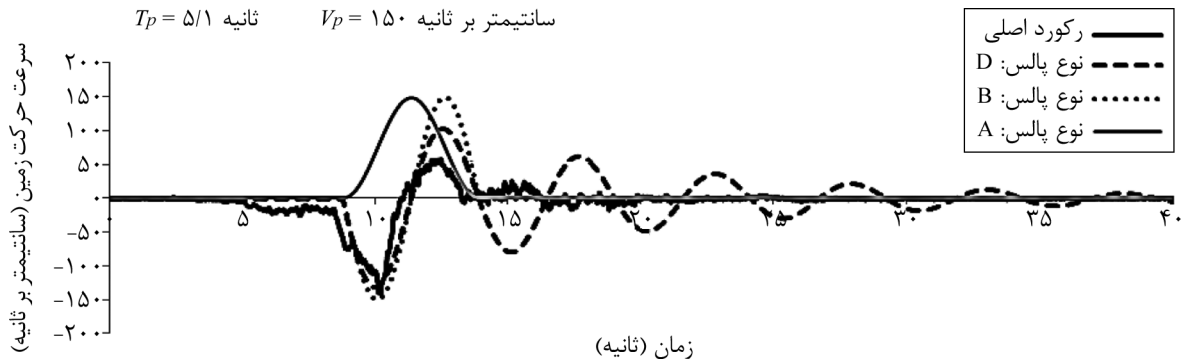
$$\ddot{u}_p(t) = V_p e^{at} [a \sin(bt) + b \cos(bt)] \quad (1)$$

$$a = -\xi_p \omega_p, \quad b = \omega_p \sqrt{1 - \xi_p^2}$$

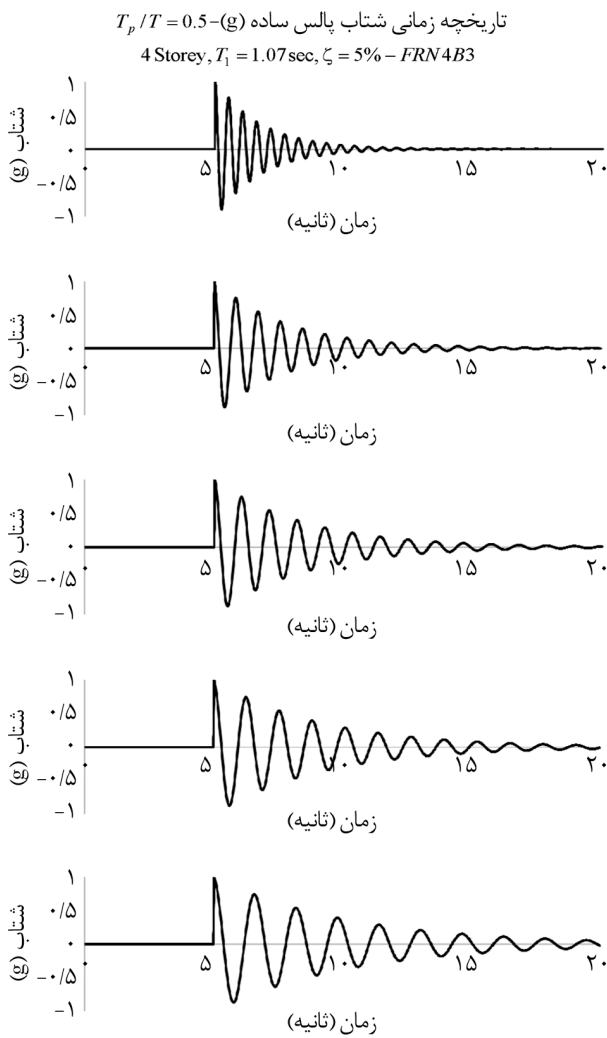
در این رابطه،  $T_p$  زمان تناوب پالس غالب،  $\omega_p$  فرکانس پالس غالب،  $V_p$  سرعت پالس غالب و  $\xi_p$  میرایی خاک می‌باشد. در این پژوهش از پالس با نام D استفاده شده است. به این منظور  $V_p$ ، سرعت پالس غالب و  $\xi_p$ ، میرایی خاک به ترتیب ۱۴۰ متر بر ثانیه و ۵ درصد فرض شده است. همچنین زمان تأخیر ورود پالس نیز ۵ ثانیه انتخاب شده است. مهم‌ترین مشکل پالس معادل این است که محتوای فرکانسی خاص زلزله نزدیک گسل را به‌خوبی معرفی نمی‌کند. پارامترهای اصلی در پالس ساده‌شده عبارتند از: دوره تناوب غالب پالس ( $T_p$ ) و حداکثر سرعت پالس. در شکل (۲) بازسازی پالس‌گونه زلزله لاندرز در ایستگاه لاکرن به کمک نرم‌افزار که در متلب نوشته شده است به‌همراه رکورد اصلی ثبت‌شده نمایش داده شده است.

شده است. از طرفی برای قاب ۲۰ طبقه مقادیر B عبارت است از: ۵، ۳، ۲ و ۱. مقادیر N نیز عبارت است از: ۳۰، ۲۰، ۱۵ و ۱۰. به‌منظور سهولت در معرفی قاب‌ها، در تحقیق حاضر هر قاب با نام FRNiBj معرفی گردیده است که منظور، قاب i طبقه و j دهانه می‌باشد. تعداد ۸ قاب مورد نظر، مطابق مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان ایران بارگذاری ثقلی و لرزه‌ای شده‌اند [۱۹-۲۰]. در بارگذاری ثقلی، بار مرده طبقات، بار معادل تیغه‌بندی و بار متوسط زنده طبقات به ترتیب مقادیر ۵۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع با عرض بارگیر ۵ متر در نظر گرفته شد. در بارگذاری لرزه‌ای در محاسبه جرم طبقات از بار مرده به اضافه ۲۰ درصد بار زنده استفاده شده است. خاک محل احداث، خاک نوع III، منطقه با خطرپذیری بسیار زیاد و نوع کاربری مسکونی با درجه اهمیت متوسط در نظر گرفته شده است. همه قاب‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 تحلیل استاتیکی معادل (در برخی مدل‌ها تحلیل شبه دینامیکی و همسان‌سازی برش پایه طراحی) و به‌روش ضرایب بار و مقاومت (AISC-LRFD99)، طراحی شده‌اند. علاوه بر طراحی بر اساس معیار مقاومت، توزیع سختی قاب‌ها در ارتفاع به‌گونه‌ای تنظیم شده است تا بیشینه زاویه دررفت بین طبقه‌ای به مقادیر مجاز مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم محدود گردد. برای تیرها از مقطع تیر ورق و برای ستون‌ها از مقطع جعبه‌ای استفاده گردید. در کلیه مقاطع ضابطه مقطع فشرده لرزه‌ای رعایت گردید. به‌منظور ارزیابی امکان استفاده از مدل‌های ساده‌شده، از روند تحلیل دینامیکی الاستیک مودال استفاده شده است. در توجیه استفاده تحلیل الاستیک می‌توان به دو دلیل زیر اشاره نمود [۲۱]:

- معمولاً پالس‌های ساده به‌گونه‌ای تدقیق می‌شوند تا طیف پاسخ الاستیک آنها با یک طیف پاسخ الاستیک هدف تطبیق داشته باشد.
- برای مقاصد طراحی در مرحله خدمت‌پذیری یا سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه، حداکثر پاسخ الاستیک سازه به‌عنوان کلیدی‌ترین پاسخ مورد نیاز است.



شکل (۲): مقایسه پالس‌های مصنوعی و اصلی سرعت نداشت زلزله لاندروز مربوط به ایستگاه لاکرن.



شکل (۳): شتاب‌نگاشت پالس ساده D برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ .

به هر شکل مودهای گسیختگی غیرقابل پیش‌بینی همراه با حجم قابل توجه خسارت‌های مالی وارد بر سازه‌های مهندسی سازه باعث شده تا تحقیقات گسترده‌تری برای تخمین رابطه بین ظرفیت سازه و نیازهای تغییرمکانی

همان‌گونه که از شکل مشخص است، هر سه نتایج خوبی را برای مدل‌سازی پالس‌گونه زلزله در اختیار محقق قرار می‌دهند. به‌منظور تولید طیف پاسخ الاستیک سازه یک‌درجه آزاد برای مقادیر مختلف پالس از نرم‌افزار Seismosignal استفاده شده است [۱۸]. همچنین در تولید پالس ساده، مقادیر  $T_p/T_1$  برابر ۰/۵، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲ و ۱/۵ انتخاب گردید. در شکل (۳) نمودار تاریخچه زمانی شتاب هر یک از پالس‌های انتخاب شده نمایش داده شده است.

#### ۴- ارزیابی پالس ساده بر نیازهای تغییر مکان و نیروی برشی

پیشرفت‌های اخیر در مهندسی زلزله نیازمند توصیف کمی پارامترهای نیاز زلزله می‌باشد. این عوامل در ارزیابی سطوح عملکردی و متغیرهای تصمیم‌گیری طراحی سازه تأثیرگذار می‌باشد. در نتیجه برای تخمین درست‌تر از نیازهای تغییر شکلی کلی و محلی تلاش‌های قابل‌توجهی انجام گرفته که به کمک آن می‌توان تغییر مکان متناظر با سطح خطر مفروض و حالت عملکردی را با دقت بیشتری محاسبه نمود. یکی از شاخص‌ترین زمین‌لرزه‌هایی که خسارت‌های حاصل از آن مؤید عدم‌کفایت ظرفیت شکل‌پذیری اعضای سازه‌ای است زلزله ۱۹۹۴ نورث‌ریچ می‌باشد. نیازهای تغییر شکل قابل توجه متأثر از رکوردهای نزدیک گسل نورث‌ریچ در زمین‌لرزه سال ۱۹۹۵ کوبه ژاپن نیز مشاهده شد.

تغییرات MRD، MRDR و IDR برای مدل‌های ۴، ۱۰ و ۳۰ طبقه ترسیم شده است. هر نمودار از ۶ دسته گراف جداگانه تشکیل شده است که یک گراف (خط ضخیم‌تر) میانگین آماری نتایج مربوط به هر یک از مقادیر  $T_p/T_1$  را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل‌های ترسیم‌شده در کلیه قاب‌های مورد بررسی چنانچه  $T_p$  نسبت به  $T_1$  (زمان تناوب اصلی سازه) مقادیر کوچکی را داشته باشد، نیازهای تغییر مکان تحمیل‌شده به تمامی سازه مقادیر محدودی را به خود اختصاص می‌دهد. از طرفی در چنین حالتی نرخ تغییرات MRD در طبقات مختلف تقریباً ثابت بوده که نشان می‌دهد سازه تمایل دارد در مود اول نوسان کند. با افزایش  $T_p/T_1$ ، نیازهای تغییر شکلی تحمیل‌شده بر قاب‌ها افزایش می‌یابد به شکلی که در  $T_p/T_1 = 1.0$  بیشترین مقادیر MRD، MRDR و IDR برآورد گردیده است. در توجیه این موضوع می‌توان از شکل (۵) بهره گرفت. در این شکل طیف پاسخ شبه سرعت هر یک از پالس‌های مختلف برای میرایی ۵ درصد ترسیم شده‌اند. بدیهی است که حداکثر مقدار طیفی در این شکل مربوط به حالتی است که دوره تناوب اصلی سازه با دوره تناوب پالس یکی گردد. این موضوع شبیه به حالت تشدید است. با افزایش  $T_p/T_1$  از بیشینه نیازهای تغییر مکانی تحمیل‌شده به طبقات کاسته می‌شود به نحوی که برای  $T_p/T_1 = 1/5$ ، مقادیر MRD، MRDR و IDR به دست آمده با میانگین آماری نتایج انطباق خوبی را نشان می‌دهند.

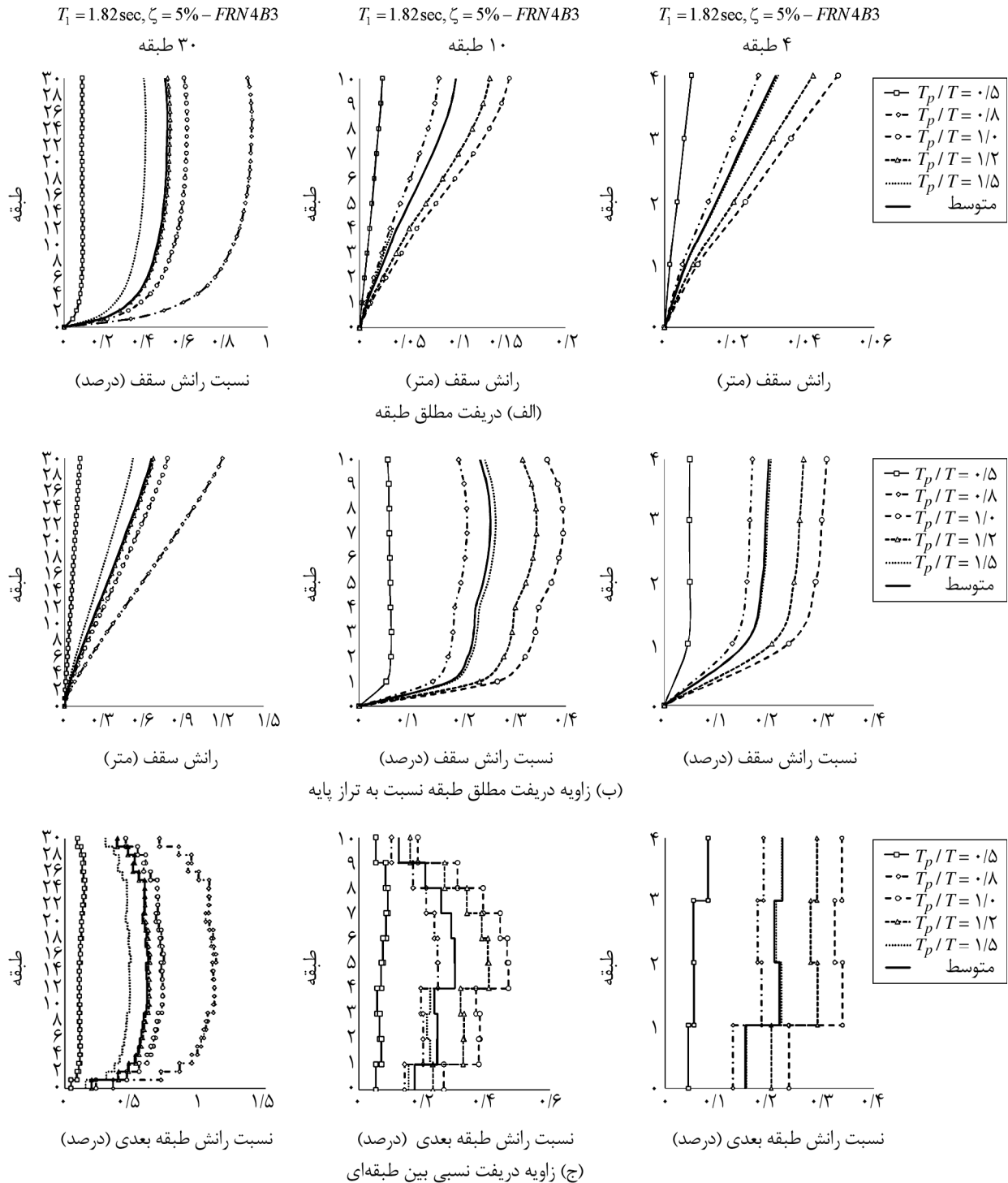
از دیگر موارد مهم، تأثیر مودهای بالاتر بر توزیع IDR در ارتفاع سازه است. در سازه ۴ طبقه اختلاف بین دریافت طبقات مختلف ناچیز است که نشان می‌دهد سازه تمایل دارد در مود اصلی خود نوسان نماید. در مود اصلی، توزیع تغییر مکان نسبی بین طبقات به‌طور یکنواخت در ارتفاع پخش می‌گردد که باعث می‌شود IDR طبقات مختلف نزدیک به هم برآورد گردند. با افزایش ارتفاع سازه، نحوه توزیع IDR علاوه بر آنکه از اثر مودهای بالاتر (HME) تأثیر می‌پذیرد، به نسبت  $T_p/T_1$  نیز وابسته است. این موضوع به‌خوبی در شکل (۴-ج) مشهود است.

محل‌ی در یک دهه گذشته انجام گیرد (پروژه سازه فولادی SAC) به هر شکل مودهای گسیختگی غیرقابل‌پیش‌بینی همراه با حجم قابل توجه خسارت‌های مالی وارد بر سازه‌های مهندسی سازه باعث شده تا تحقیقات گسترده‌تری برای تخمین رابطه بین ظرفیت سازه و نیازهای تغییر مکانی محل‌ی در یک دهه گذشته انجام گیرد (پروژه سازه فولادی SAC). بسیاری از مطالعات انجام‌شده در این پروژه به ارزیابی نیازهای دریافت لرزه‌ای برای فرم‌های سازه‌ای مشخصی در برابر زلزله‌های واقعی یا شبیه‌سازی‌شده، نزدیک گسل با سطوح مختلف احتمال فراگذشت محدود شده‌اند [۱۸، ۲۴ و ۲۵]. اطلاعات اولیه به دست آمده نشان می‌دهد که به جهت عدم قطعیت قابل توجه زمین‌لرزه نزدیک گسل و ارتباط آن با پارامترهای سازه روند تغییرات نیازهای تغییر مکانی محل‌ی بسیار پیچیده و مبهم است. یکی از وجوه متمایزکننده پاسخ زلزله نزدیک گسل و اثر آن بر تغییر مکان محل‌ی سازه رابطه بین دوره تناوب سازه و دوره تناوب پالس رکوردهای نزدیک گسل است که به دلایل سوی‌مندی پیش‌رونده می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی تأثیر پالس ساده و پارامتر  $T_p/T_1$  بر نیازهای تغییر مکانی و نیرویی، کلیه مدل‌ها برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$  و به‌صورت سه دهانه به کمک تحلیل دینامیکی طیفی مودال، تحلیل گردیدند. منظور از نیاز تغییر مکانی، تغییر مکان طبقات (MRD)، زاویه دریافت کلی سازه (MRDR) (نسبت حداکثر تغییر مکان مطلق طبقه هم‌پایه شده به ارتفاع، نسبت به تراز پایه) و زاویه دریافت بین طبقه‌ای (IDR) به‌عنوان شاخص‌های اصلی تعریف گردیدند. از بین موارد مذکور، زاویه دریافت بین طبقه‌ای مؤثرترین عامل در محدود ساختن خسارت‌های وارده بر اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای است. از آنجا که در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای اهمیت توزیع نیرویی تراز طبقات و برش بین طبقه‌ای نیز مد نظر می‌باشد، در ادامه این بخش تأثیر  $T_p/T_1$  در تخمین برش طبقه‌ای توزیع‌شده در ارتفاع بررسی گردیده است. برای اختصار در شکل‌های (۴-الف) تا (۴-ج) روند

IDR کم‌رنگ‌تر می‌گردد. به عبارتی، به نظر می‌رسد که در این سازه، برای نسبت‌های مختلف  $T_p/T_1$ ، سازه تمایل دارد که در مود اول نوسان نماید. در شکل (۶) نرخ تغییرات نیروی برش طبقه در طبقات مختلف برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$  ترسیم شده است.

در سازه ۱۰ طبقه HME باعث گردید تجمع نیازهای تغییر شکل به طبقات فوقانی سازه متمایل شود که این تأثیر با افزایش  $T_p/T_1$  تقویت می‌گردد. شرایط مشابهی نیز برای قاب‌های ۱۵ و ۲۰ طبقه مشاهده گردید. در قاب ۳۰ طبقه موضوع HME به دلیل تأثیر بیشتر  $T_p/T_1$  بر توزیع



شکل (۴): بیشینه و میانگین نیازهای تغییرمکانی قاب‌های FRN4B3 برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ .

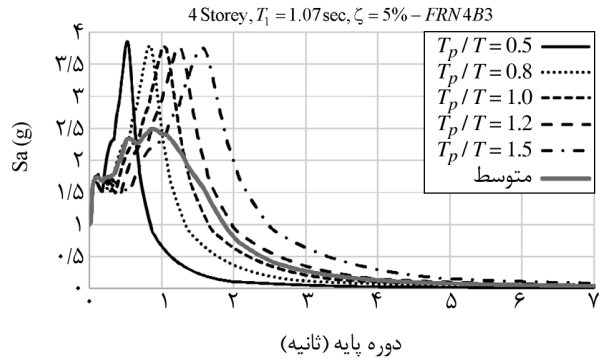
در تمامی این شکل‌ها نقطه اشتراک این است که با افزایش  $T_p/T_1$  و تمایل آن به مقدار واحد، بیشینه برش طبقات برآورد گردیده است. از طرفی بین برش توزیع یافته در  $T_p/T_1 = 0.5$  و سایر مقادیر  $T_p/T_1$  اختلاف قابل توجهی دیده می‌شود. از طرفی تغییر در  $T_p/T_1$  بر شکل توزیع یافته برش طبقات تأثیر قابل توجهی نمی‌گذارد. در تمام قاب‌ها بیشینه نیروی برش طبقه در طبقات تحتانی قرار دارد و با افزایش تعداد طبقات، برش طبقات فوقانی برای سطوح مختلف  $T_p/T_1$  به یکدیگر نزدیک می‌شوند. نکته دیگر اینکه اثر مودهای بالاتر چندان بر شکل توزیع برش طبقات تأثیرگذار نیست. همچنین با افزایش  $T_p/T_1$  ( $T_p/T_1 = 1/5$ ) برش توزیع یافته در ارتفاع با میانگین برش توزیع یافته در ارتفاع یکی می‌گردد.

### ۵- تأثیر مودهای بالاتر در بازتاب‌های مختلف

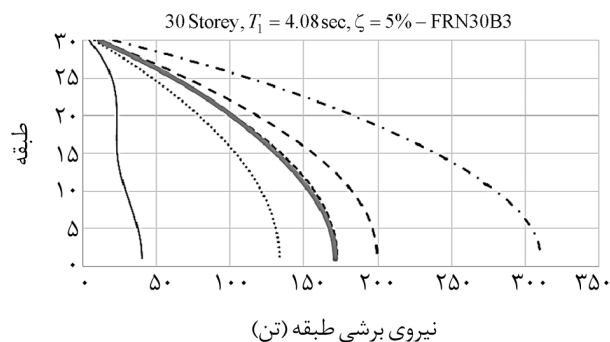
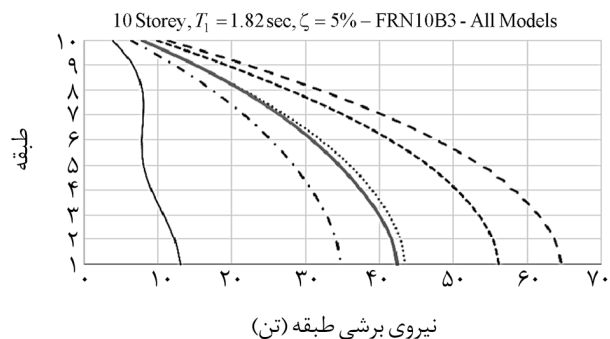
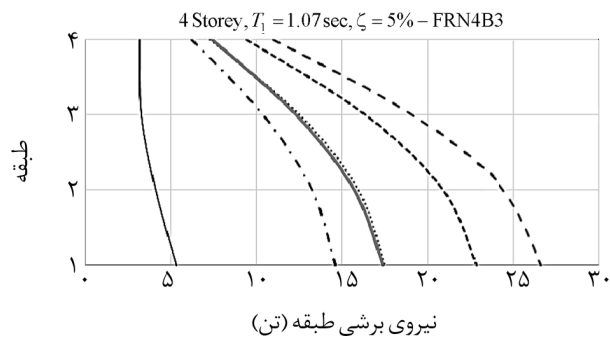
استفاده از تحلیل دینامیکی طیفی (مودال) در حوزه رفتار ارتجاعی ابزاری است که بسیاری از آیین‌نامه‌های لرزه‌ای معتبر همچون UBC، IBC و FEMA بر امکان استفاده از آن تأکید داشته‌اند. در این روش سازه MDOF به کمک قاعده تفکیک متغیر به تعدادی سازه تک‌درجه آزادی تفکیک می‌شود. دوره تناوب هریک از سازه‌های SDOF تفکیک شده نماینده دوره تناوب مودهای مختلف سازه MDOF است. مزیت این معادل‌سازی به دلیل سادگی در محاسبه نیازهای تغییر مکانی و نیرویی هر یک از سازه‌های SDOF می‌باشد. نکته مهم در آنالیز مودال امکان استفاده از تعداد محدودی مود در کاهش حجم تحلیل برای محاسبه پاسخ نهایی سازه است و این مهم‌ترین ویژگی آنالیز مودال است. بدیهی است که تعداد مودها به شکل بارگذاری، طیف طرح و خواص سازه بستگی دارد. هرچه انرژی انتقال یافته به سازه در مود کم باشد از اهمیت آن نیز کاسته شده و می‌توان اثر آن را در تخمین بازتاب سازه نادیده گرفت.

پس از برآورد پاسخ هر سیستم SDOF، بازتاب‌های به‌دست آمده به روش‌های مرسوم ترکیب مودی مانند CQC

طیف شبه شتاب پالس ساده

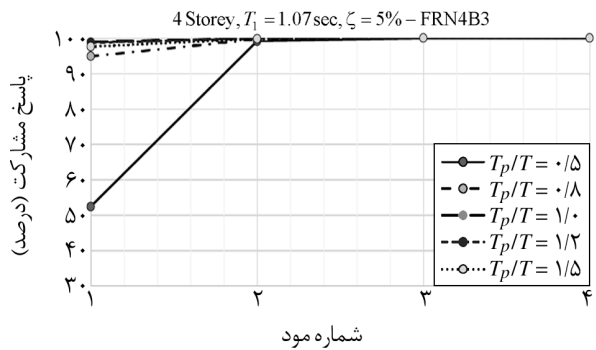
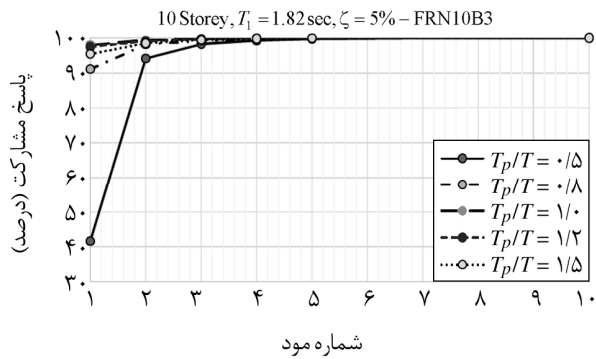
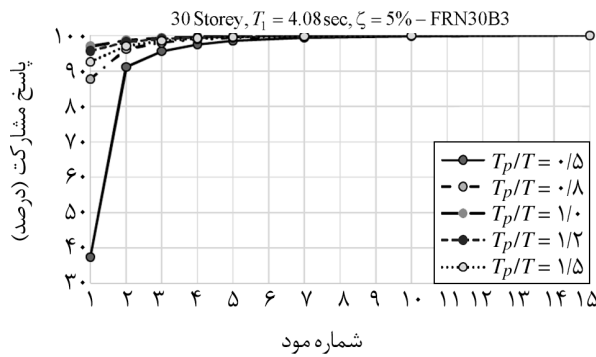


شکل (۵): طیف پاسخ شبه‌شتاب هر یک از پالس‌های با مقادیر مختلف  $T_p/T_1$  برای میرایی ۵ درصد.



شکل (۶): بیشینه و میانگین نیازهای نیروی برش توزیع یافته در ارتفاع قاب‌های FRNiB3 برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ .





شکل (۷): اثر موده‌های بالاتر بر  $V_{roof}$  برای مدل‌های مختلف FRNIB3 برای مقادیر مختلف  $T_p / T_1$ .

۵۰ درصد از کل بازتاب (انتخاب ۴ مود) را داراست. از طرفی با افزایش نسبت  $T_p / T_1$  بر میزان مشارکت مود اول در کلیه قاب‌ها افزوده می‌شود. در کلیه قاب‌ها بیشترین تأثیر مود اول مربوط به  $T_p / T_1 = 1/0$  است، گویی که سازه تمایل دارد کاملاً در مود اول نوسان نماید. به عبارتی با افزایش تعداد طبقات میزان دخالت مود اول در پاسخ کل کاهش می‌یابد به شرط آنکه دوره تناوب غالب پالس ( $T_p$ ) به مراتب کمتر از دوره تناوب اصلی سازه ( $T_1$ ) باشد؛ بنابراین اثر HME بر  $V_{roof}$  برای نسبت‌های کوچک  $T_p / T_1$  مشهود است. این روند را می‌توان در دو بازتاب دیگر نیز مشاهده نمود. به‌عنوان مثال، میزان

یا SRSS باید با هم ترکیب شوند. نکته دیگر انتخاب تعداد موده‌های ارتعاشی است. معمولاً اکثر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای انتخاب تعداد موده‌های ارتعاشی در سه ضابطه زیر اتفاق نظر دارند:

۱- حداقل سه مود اول نوسان.

۲- کلیه مودهایی که دوره تناوب آنها بیش از ۰/۴ ثانیه است.

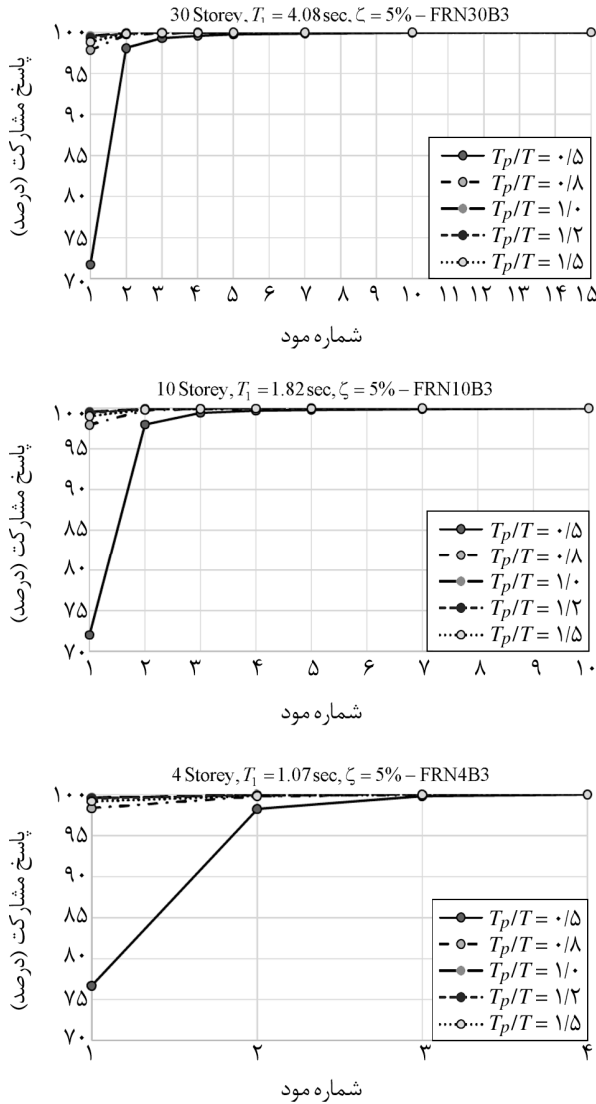
۳- کلیه مودهایی که مجموع جرم مؤثر مودی آنها بیش از ۹۰ درصد جرم کل سازه است.

بنابراین در این قسمت از پژوهش موضوع تأثیر انتخاب تعداد موده‌های نوسانی در تخمین بازتاب‌های سازه مد نظر قرار گرفته است. بازتاب‌های مورد بررسی عبارتند از نیروی برش طبقه بام ( $V_{roof}$ )، نیروی برش پایه ( $V_{base}$ ) و تغییر مکان طبقه بام ( $U_{roof}$ ). نتایج مربوط به این بخش در شکل‌های (۷) تا (۹) ارائه شده است. لازم به ذکر است برای اختصار تنها گراف‌های مربوط به مدل‌های ۴، ۱۰ و ۳۰ طبقه ترسیم شده‌اند؛ اما در تفسیر نتایج از نتایج کلیه قاب‌ها استفاده شده است. در این نمودارها محور قائم درصد پاسخ محاسبه‌شده متناظر با تعداد موده‌های انتخاب شده و محور افقی تعداد مود انتخاب شده است. حداکثر تعداد مود انتخاب شده به‌گونه‌ای است که ۱۰۰ درصد بازتاب مورد نظر را تأمین نماید؛ بنابراین ضریب مشارکت مود (MCF) به شکل زیر محاسبه شده است:

$$MCF = \frac{R_N}{R_{Nmax}} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه فوق  $R_N$  و  $R_{Nmax}$ ، به ترتیب بازتاب متناظر با  $N$  مود و پاسخ متناظر با حداکثر تعداد مودی است که ۱۰۰ درصد بازتاب را تولید می‌نماید. در کلیه مدل‌های مورد بررسی از روش ترکیب SRSS استفاده شده است. از طرفی این نتایج برای نسبت‌های مختلف  $T_p / T_1$  ترسیم شده‌اند.

در ابتدا مقایسه بازتاب متناظر با نیروی برش طبقه بام در نظر گرفته می‌شود. چنانچه از شکل (۷) ملاحظه می‌شود، در قاب ۴ طبقه با  $T_p / T_1 = 0/50$ ، انتخاب یک مود

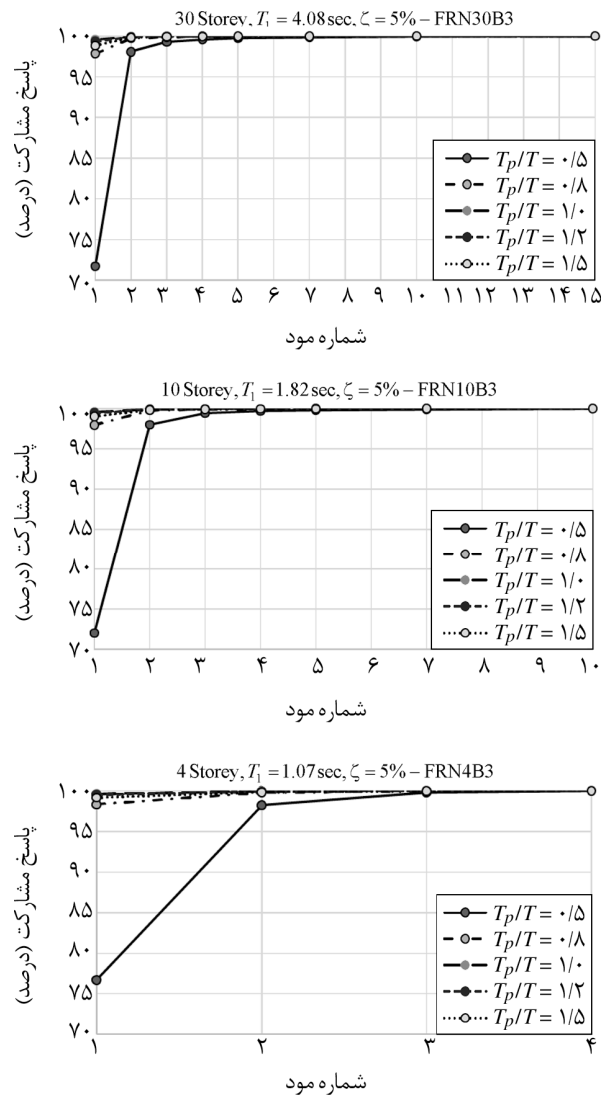


شکل (۹): اثر مودهای بالاتر بر  $V_{roof}$  برای مدل‌های مختلف FRN $i$ B3 برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ .

از مقایسه نتایج مذکور این نتیجه کلی حاصل می‌شود که اثر مودهای بالاتر در پاسخ  $V_{roof}$  بیشترین اهمیت را داشته و پس از این اثر در  $V_{base}$  مؤثر بوده و بالاخره اثر مودهای بالاتر در پاسخ  $U_{roof}$  از اهمیت چندانی برخوردار نیست. از طرفی افزایش نسبت  $T_p/T_1$  و نزدیک شدن این نسبت به یک باعث می‌شود در کلیه بازتاب‌های مذکور بر اهمیت مود اول افزوده شود. به عبارتی استفاده از مود اول برای  $T_p/T_1$  بین  $0.18$  تا  $1.2$  می‌تواند به نتایج قابل قبولی بیانجامد.

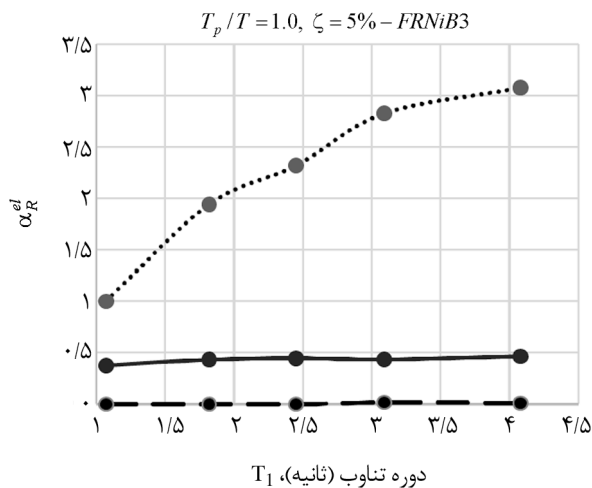
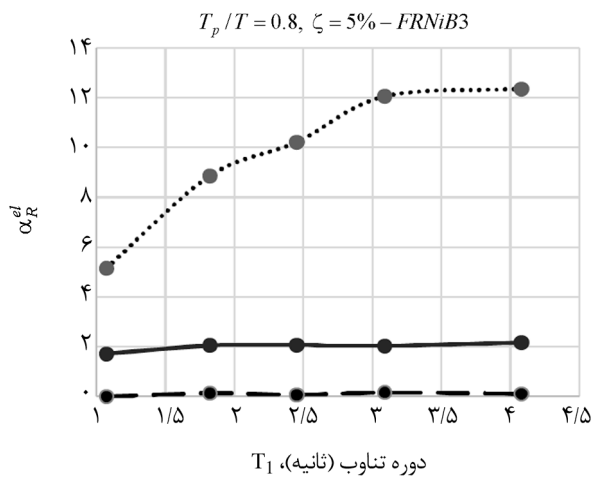
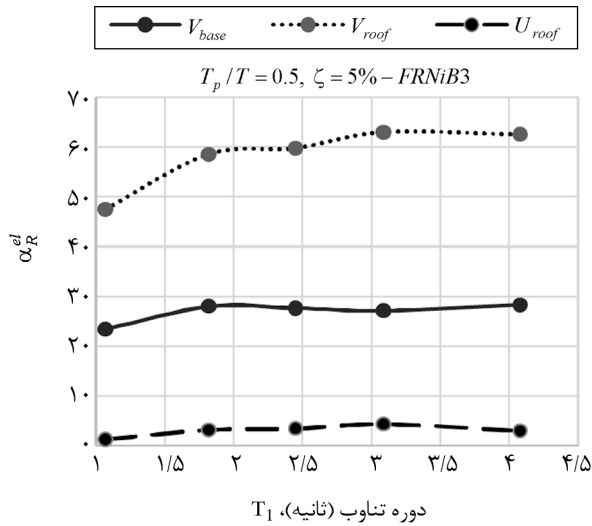
به‌منظور دستیابی به میزان خطای ناشی از حذف

مشارکت مود اول در کل پاسخ  $V_{base}$  برای قاب‌های ۴، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ طبقه به ترتیب به ۷۶، ۷۱، ۷۴ و ۷۲ درصد برای  $T_p/T_1 = 0.15/0.5$  برآورد گردید. چنانچه در شکل (۸) ملاحظه می‌گردد، برای افزایش  $V_{base}$  افزایش  $T_p/T_1$  باعث گردید درصد مشارکت مود اول محسوس‌تر گردد. به‌عنوان مثال در قاب ۳۰ طبقه و  $T_p/T_1 = 0.18/0.5$ ، تأثیر مود اول بر  $V_{base}$  و  $V_{roof}$  به ترتیب ۸۸ و ۹۷ درصد برآورد گردید. کمترین تأثیر انتخاب تعداد مود بر بازتاب سازه مربوط به  $U_{roof}$  است که در شکل (۹) نمایش داده شده است. از طرفی در این بازتاب، افزایش  $T_p/T_1$  باعث گردید که استفاده از تک مود به تقریب قابل قبولی از  $U_{roof}$  بیانجامد.



شکل (۸): اثر مودهای بالاتر بر  $V_{base}$  برای مدل‌های مختلف FRN $i$ B3 برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ .

در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ ، بیشترین مقدار کمیت  $\alpha_R^{el}$  مربوط به برش بام ( $V_{roof}$ ) است. این موضوع در تمامی دوره تناوب‌های مورد



شکل (۱۰): روند تغییرات  $\alpha_R^{el}$  برای مدل‌های مختلف FRNiB3 برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ .

مودهای بالاتر در محاسبه بازتاب‌های مختلف سازه از پارامتر  $\alpha_R^{el}$  استفاده شده است. در این پارامتر،  $R$ ، نماینده بازتاب‌های مختلف سازه است که در این پژوهش با  $V_{roof}$ ،  $V_{base}$  و  $U_{roof}$  معرفی شده‌اند. رابطه زیر برای محاسبه این کمیت استفاده شده است:

$$\alpha_R^{el} = \frac{R_N - R_1}{R_N} \times 100 \quad (3)$$

در رابطه فوق  $\alpha_R^{el}$  کمیت متناظر با درصد خطای حذف مودهای بالاتر در محاسبه بازتاب  $R$  از قاب  $N$  طبقه به دست آمده از تحلیل الاستیک مودی است.  $R_1$  و  $R_N$  نیز بازتاب با در نظر گرفتن یک مود و تمامی  $N$  مود ارتعاشی قاب است. در جدول (۱) کمیت  $\alpha_R^{el}$  برای قاب‌های ۰.۴، ۱.۰ و ۳.۰ طبقه و نسبت‌های متفاوت  $T_p/T_1$  ارائه شده است. برای استحصال درک بهتر از نتایج جدول (۱) برای هر یک از مقادیر  $T_p/T_1$ ، مقادیر  $\alpha_R^{el}$  متناظر با زمان تناوب اصلی قاب‌های مورد مطالعه در شکل (۱۰) ترسیم شده است.

جدول (۱): درصد خطای حذف مودهای بالاتر،  $\alpha_R^{el}$ ، در محاسبه بازتاب‌های گوناگون قاب‌های مختلف سه دهانه.

نوع قاب	دوره تناوب مود اول	دوره تناوب غالب پالس	نوع پاسخ به ترتیب طیف‌های مختلف		
			$U_{roof}$	$V_{base}$	$V_{roof}$
FRN4B3	۱/۰۷	۰/۵۰	۱/۲۸	۲۳/۴۱	۴۷/۵
		۰/۸	۰	۱/۷۱	۵/۱۴
		۱/۰	۰	۰/۳۸	۱/۰۰
		۱/۲	۰	۰/۴۸	۱/۱۶
FRN10B3	۱/۸۲	۰/۵۰	۳/۱۹	۲۷/۹۸	۵۸/۵۶
		۰/۸	۰/۱۳	۲/۰۴	۸/۸۵
		۱/۰	۰	۰/۴۳	۱/۹۴
		۱/۲	۰	۰/۵۵	۲/۶۳
FRN30B3	۴/۰۸	۰/۵۰	۳/۰۰	۲۸/۳۲	۶۲/۵۰
		۰/۸	۰/۱۱	۲/۱۷	۱۲/۳۶
		۱/۰	۰/۰۱	۰/۴۷	۳/۰۷
		۱/۲	۰/۰۲	۰/۶۶	۴/۳۶
		۱/۵	۰/۰۴	۱/۱۷	۷/۴۵

توسط گرامی و دانشجو [۲۶-۲۷] نیز تأیید شده است.

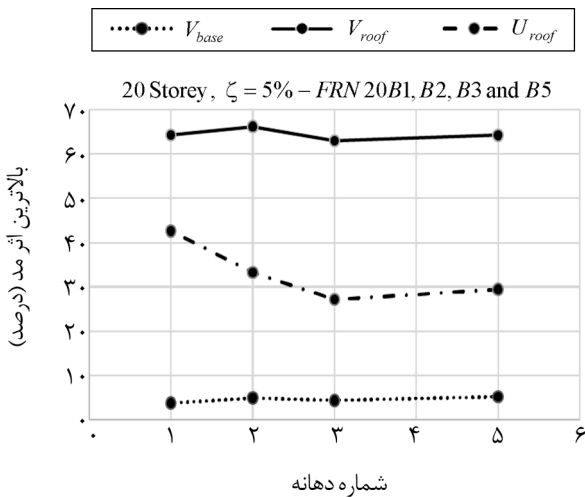
### ۶- بررسی اثر تعداد دهانه‌ها در پاسخ مودهای بالاتر

به‌منظور بررسی اثر تعداد دهانه‌ها در پاسخ «مودهای بالاتر»، قاب ۲۰ طبقه با تعداد ۱، ۲، ۳ و ۵ دهانه را انتخاب نموده و در هر مورد درصد تأثیر «مودهای بالاتر» بر پاسخ‌های مختلف  $V_{roof}$ ،  $V_{base}$  و  $U_{roof}$  به کمک رابطه (۳) محاسبه شده است. نتایج مربوط به میزان تأثیر «مودهای بالاتر» در جدول (۲) خلاصه شده است.

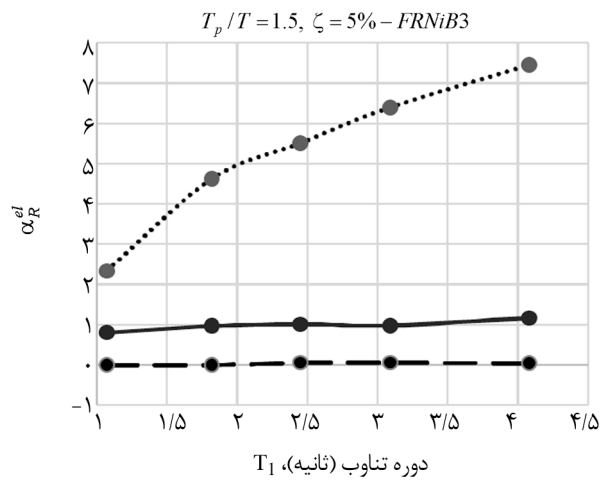
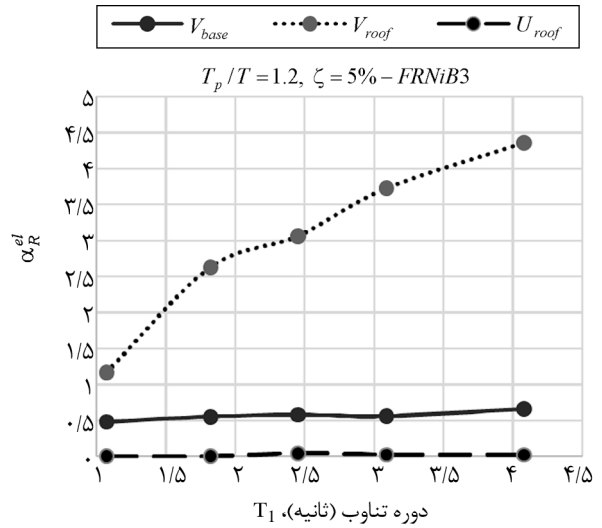
اثر تعداد دهانه بر تأثیر مودهای بالاتر در پاسخ‌های مختلف قاب ۲۰ طبقه در شکل (۱۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تمامی مقادیر مندرج در جدول (۲) و شکل (۱۱) برای  $T_p/T_1=0.5$  محاسبه گردیده است.

**جدول (۲):** میزان تأثیر مودهای بالا در پاسخ‌های گوناگون از تعداد دهانه‌های مختلف قاب ۲۰ طبقه به درصد.

نوع پاسخ و درصد تأثیر مودهای بالاتر			$T_p/T$	دوره تناوب مود اول (ثانیه)	تعداد دهانه
$U_{roof}$	$V_{base}$	$V_{roof}$			
۳/۷۱	۴۲/۶۰	۶۴/۳۱	۰/۵۰	۳/۷۹	۱
۴/۸۶	۳۳/۲۴	۶۶/۲۱		۳/۳۰	۲
۴/۳۱	۲۷/۱۲	۶۳/۰۰		۳/۰۹	۳
۵/۱۴	۲۹/۴۳	۶۴/۲۳		۲/۹۸	۵



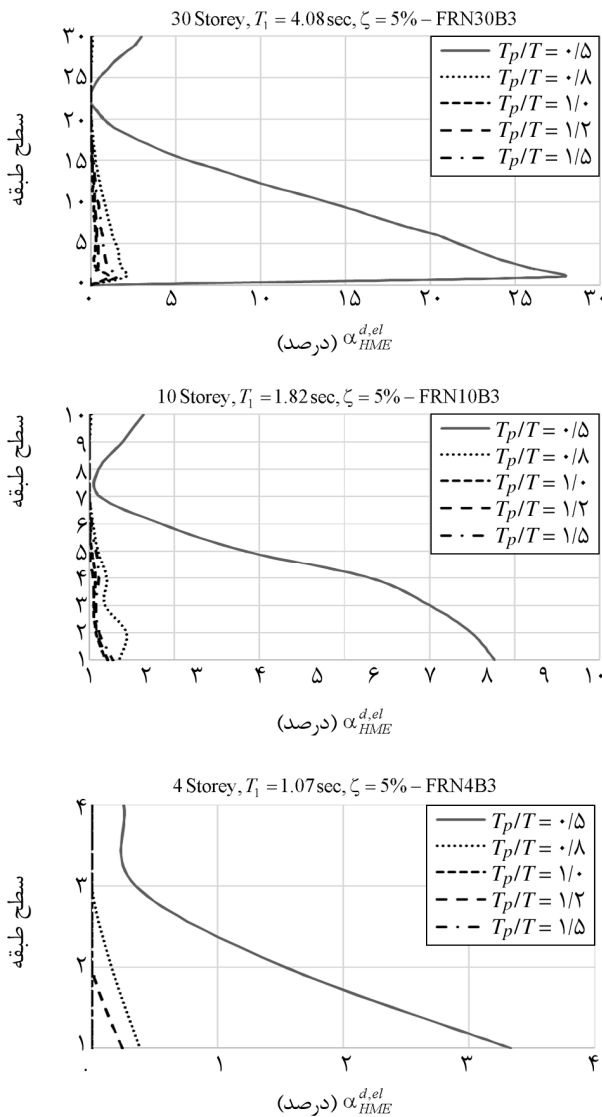
**شکل (۱۱):** اثر تعداد دهانه بر بازتاب‌های مختلف قاب ۲۰ طبقه،  $T_p/T_1=1/0$ .



**شکل (۱۰):** ادامه شکل.

مطالعه دیده می‌شود. از طرفی کمیت  $\alpha_R^{el}$  مرتبط با  $V_{roof}$ ، با افزایش زمان تناوب (افزایش تعداد طبقات)، افزایش می‌یابد. همچنین  $\alpha_R^{el}$  مرتبط با  $V_{base}$  در جایگاه دوم و متناظر با  $U_{roof}$  در جایگاه سوم قرار دارد. این کمیت متأثر از تغییر زمان تناوب نیست. نکته دیگر اینکه با افزایش نسبت  $T_p/T_1$  از مقدار  $\alpha_R^{el}$  کاسته می‌شود. به عبارتی با افزایش  $T_p/T_1$  اثر مودهای بالاتر برای مقادیر مختلف زمان تناوب کم‌رنگ می‌گردد. به‌عنوان مثال در سازه FRN15B3 با تغییر  $T_p/T_1$  از ۰/۵ به ۰/۸،  $\alpha_R^{el}$  متناظر با  $V_{roof}$  به اندازه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش  $\alpha_R^{el}$  برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$  مربوط به حالتی است که  $T_p/T_1=1/0$  می‌شود. این کاهش در  $\alpha_R^{el}$  متأثر از تعداد طبقات قاب نبوده و در تمامی مدل‌ها مشاهده شد. نتایج مشابهی در تحقیق صورت گرفته

شکل‌ها ملاحظه می‌گردد، برای تمامی قاب‌ها، تجمع بیشینه  $\alpha_{HME}^{d,el}$  در طبقات پایین قرار دارد. از طرفی بیشترین  $\alpha_{HME}^{d,el}$  مربوط به  $T_p/T_1=1/0$  می‌باشد. با فاصله گرفتن نسبت  $T_p/T_1$  از یک،  $\alpha_{HME}^{d,el}$  به شدت کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال برای قاب ۲۰ طبقه با  $T_p/T_1=1/0$ ، در طبقه اول  $\alpha_{HME}^{d,el}$  برابر ۲۴ درصد و برای  $T_p/T_1=1/8$  حدود ۳ درصد برآورد گردیده است. از طرفی در تمام مدل‌ها از ۷۵ درصد ارتفاع سازه به بالا، کمیت  $\alpha_{HME}^{d,el}$  به صفر همگرا می‌شود (به‌جز برای نسبت  $T_p/T_1=1/0$  که بعد از تراز ۷۵ درصد ارتفاع،  $\alpha_{HME}^{d,el}$  افزایش می‌یابد).



شکل (۱۲): روند تغییرات  $\alpha_{HME}^{d,el}$  برای مدل‌های مختلف FRN3B برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ .

چنانکه در شکل (۱۱) نیز مشاهده می‌شود، از تحقیقات انجام شده مشخص گردید که اثر «مودهای بالاتر» در پاسخ‌های نیرویی  $V_{roof}$  با افزایش تعداد دهانه، کاهش می‌یابد. همچنین اثر مودهای بالاتر بر بازتاب  $V_{base}$  نیز به‌صورت جزئی کاهشی است؛ اما در مقابل، اثر «مودهای بالاتر» در پاسخ‌های تغییر مکانی  $U_{roof}$  با افزایش تعداد دهانه، افزایش نشان می‌دهد. این نتیجه در مورد کلیه قاب‌های مورد مطالعه، صادق بوده است.

### ۸- اثر «مودهای بالاتر» در حداکثر دررفت طبقه‌ای

در یک سازه MDOF چنانچه توزیع سختی و مقاومت طوری تنظیم گردد که تحت یک الگوی بار طراحی، حالت تغییر شکل ارتجاعی، یک خط مستقیم باشد، تمامی طبقات همزمان دچار تسلیم می‌گردند و نتایج حاصل از چنین تحلیلی، دررفت بین طبقه‌ای را در کلیه طبقات یکسان و برابر با ضریب دررفت سراسری  $(\delta_t/h_t)$  پیش‌بینی می‌کند. درحالی‌که مقادیر دررفت بین طبقه‌ای حاصل از تحلیل‌های دینامیکی، در ارتفاع سازه، تغییرات عمده‌ای می‌یابند. از طرف دیگر چنانچه سازه، تحت تأثیر «مودهای بالاتر» باشد و رفتار آن را فقط مود اول (به‌صورت خطی) تعیین نماید، مقادیر دررفت بین طبقه‌ای سازه، با حالتی که این دررفت تحت تأثیر کلیه مودهای سازه محاسبه شود، متفاوت خواهد بود. برای تعیین میزان این اثر،  $\alpha_{HME}^{d,el}$  به‌عنوان معیار تأثیر «مودهای بالاتر» در دررفت ارتجاعی طبقه، به‌صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\alpha_{HME}^{d,el} = \frac{\alpha_{IDR,max}^N - \alpha_{IDR,max}^1}{\alpha_{IDR,max}^N} \times 100 \quad (4)$$

در رابطه فوق  $\alpha_{IDR,max}$  حداکثر زاویه دررفت بین طبقه‌ای است که در دو حالت (تحت تأثیر  $N$  مود و یک مود) محاسبه می‌شود. روند توزیع  $\alpha_{HME}^{d,el}$  برای طبقات مختلف مدل‌های ۴، ۱۰ و ۳۰ طبقه در شکل (۱۲) ترسیم شده است. در هر شکل، توزیع  $\alpha_{HME}^{d,el}$  در ارتفاع برای نسبت‌های مختلف  $T_p/T_1$  ترسیم گردیده است. چنانکه در این

## ۸- نتیجه‌گیری

برای مقادیر مختلف  $T_p/T_1$ ، بیشترین مقدار کمیت متناظر با خطای ناشی از حذف مودهای بالاتر  $\alpha_R^{el}$  مربوط به برش بام ( $V_{roof}$ ) است. این موضوع در تمامی دوره تناوب‌های مورد مطالعه دیده می‌شود. از طرفی کمیت  $\alpha_R^{el}$  مرتبط با  $V_{roof}$ ، با افزایش زمان تناوب (افزایش تعداد طبقات)، افزایش می‌یابد. از طرفی  $\alpha_R^{el}$  مرتبط با  $V_{base}$  در جایگاه دوم و متناظر با  $U_{roof}$  در جایگاه سوم قرار دارد. این کمیت متأثر از تغییر زمان تناوب نیست.

از تحقیقات انجام‌شده مشخص گردید که اثر «مودهای بالاتر» در پاسخ‌های نیرویی  $V_{roof}$  با افزایش تعداد دهانه، کاهش می‌یابد. همچنین اثر مودهای بالاتر بر بازتاب  $V_{base}$  نیز به صورت جزئی کاهشی است. در مقابل اما اثر «مودهای بالاتر» در پاسخ‌های تغییر مکانی  $U_{roof}$  با افزایش تعداد دهانه، افزایش نشان می‌دهد. برای تمامی قاب‌ها، تجمع بیشینه  $\alpha_{HME}^{d,el}$  در طبقات پایین قرار دارد. از طرفی بیشترین  $\alpha_{HME}^{d,el}$  مربوط به  $T_p/T_1=1/0$  می‌باشد. با فاصله گرفتن نسبت  $T_p/T_1$  از یک،  $\alpha_{HME}^{d,el}$  به شدت کاهش می‌یابد.

## مراجع

1. Galesorkhi, R. and Gouchon, J. (2000) Near-source effects and correlation to recent recorded data. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering*.
2. Manfredi, G., Polese, M., and Cozenza, E. (2000) Cyclic demand in the near-fault area. *Proceedings, 6<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, Washington.
3. Benioff, H. (1955) 'Mechanism and strain characteristics of the White Wolf fault as indicated by the aftershock sequence'. In: *Earthquakes in Kern County, California during 1952*, ed. Oakeshott, G.B., Division of Mines, CA, 199-202.
4. Mahin, S.A., Bertero, V.V., Chopra, A.K., and Collins, R.G. (1976) *Response of the Olive View Hospital Main Building during the San Fernando*

محدودیت در نگاشت‌های نزدیک گسل با اثر سوی‌مندی پیش‌رونده و لزوم توجه به نسبت دوره تناوب غالب پالس بر دوره تناوب اصلی سازه ( $T_p/T_1$ ) محققین را بر آن داشت تا با تعریف مدل‌های ریاضی پالس، اثر زلزله نزدیک را بر سازه‌های مختلف بررسی نمایند. در این پژوهش تلاش گردید تا ضمن استفاده از مدل ریاضی آگراوال، اثرات زلزله نزدیک گسل دارای سوی‌مندی پیش‌رونده بر تخمین نیازهای ارتجاعی قاب‌های خمشی فولادی ویژه برای نسبت‌های مختلف  $T_p/T_1$  به کمک تحلیل دینامیکی مودال بررسی گردد. در این خصوص موضوع اثرات درجات آزادی و تعداد مودهای ارتعاشی در برآورد نیازهای تغییر مکانی و نیرویی مورد توجه قرار گرفته است.

در همه قاب‌های مورد بررسی چنانچه  $T_p$  نسبت به  $T_1$  (زمان تناوب اصلی سازه) مقادیر کوچکی را داشته باشد، نیازهای تغییر مکان تحمل‌شده به تمامی سازه‌ها مقادیر محدودی را به خود اختصاص می‌دهد. از طرفی در چنین حالتی نرخ تغییرات MRD در طبقات مختلف تقریباً ثابت بوده که نشان می‌دهد سازه تمایل دارد در مود اول نوسان نماید. با افزایش  $T_p/T_1$ ، نیازهای تغییر شکلی تحمل‌شده بر قاب‌ها افزایش می‌یابد به شکلی که در  $T_p/T_1=1/0$  بیشترین مقادیر MRD، MRDR و IDR برآورد گردیده است. با افزایش ارتفاع سازه نحوه توزیع IDR علاوه بر آنکه از اثر مودهای بالاتر (HME) تأثیر می‌پذیرد، به نسبت  $T_p/T_1$  نیز وابسته است. به عبارتی به نظر می‌رسد که در این سازه، برای نسبت‌های مختلف  $T_p/T_1$  سازه تمایل دارد که در مود اول نوسان نماید و استفاده از مود اول برای  $T_p/T_1$  بین ۰/۸ تا ۱/۲۰ می‌تواند به نتایج قابل قبولی بیانجامد.

در کلیه قاب‌ها، بیشینه نیروی برش طبقه در طبقات تحتانی قرار دارد و با افزایش تعداد طبقات، برش طبقات فوقانی برای سطوح مختلف  $T_p/T_1$  به یکدیگر نزدیک می‌شوند. نکته دیگر اینکه اثر مودهای بالاتر چندان بر شکل توزیع برش طبقات تأثیرگذار نیست.

- response of sdof systems. *Proc. of the 7<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering*, Earthquake Engineering Research Institute, Boston.
15. Mavroeidis, G. P. and Papageorgiou, A.S. (2003) A mathematical representation of near-fault ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**(3), 1099-1131.
  16. Mavroeidis, G.P., Dong, G., and Papageorgiou, A.S. (2004) Near-fault ground motions, and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **33**(9), 1023-1050.
  17. He, W.L. and Agrawal, A.K. (2008) Analytical model of ground motion pulses for the design and assessment of seismic protective systems. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **134**(7), 1177-1188.
  18. Alavi, B. and Krawinkler, H. (2001) Rep. *Effects of Near-Fault Ground Motion on Frame Structures*. No. 138, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford Univ., Stanford, California.
  ۱۹. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم (۱۳۸۴) مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
  ۲۰. پیش‌نویس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰-۹۱، ویرایش چهارم (۱۳۹۱) مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
  21. Rupakhety, R. and Sigbjörnsson, R. (2011) Can simple pulses adequately represent near-fault ground motions? *Journal of Earthquake Engineering*, **15**, 1260-1272
  22. Agrawal, A.K. and He, W.L. (2002) A closed-form approximation of near-fault ground motion pulses for flexible structures. *15<sup>th</sup> ASCE Engineering Mechanics Conference*, Columbia University, New York, NY.
  23. Seismosoft. Seismosignal Ver. 5.0.0, www.seismosoft.com.
  - Earthquake*. Technical Report 1976-10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
  5. Bertero, V.V., Mahin, S.A., and Herrera, R.A. (1978) Aseismic design implications of nearfault San Fernando earthquake records. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **6**(1), 31-42.
  6. Hall, J.F., Heaton, T.H., Halling, M.W., and Wald, D.J. (1995) Near-source ground motion and its effects on flexible buildings. *Earthquake Spectra*, **11**(4), 569-605.
  7. Anderson, J.C. and Bertero, V.V. (1987) Uncertainties in establishing design earthquakes. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **113**(8), 1709-1724.
  8. Westergaard, H.M. (1933) Earthquake-shock transmission in tall buildings. *Engineering News Record*, **112**(22), 654-656.
  9. Biggs, J.M. (1964) *Introduction to Structural Dynamics*. McGraw-Hill, New York.
  10. Makris, N. (1997) Rigidity-plasticity-viscosity: can electrorheological dampers protect base isolated structures from near source ground motions? *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**(5), 571-592.
  11. Makris, N. and Chang, S.P. (2000) Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **29**(1), 85-107.
  12. Alavi, B. and Krawinkler, H. (2001) Effects of near-field ground motion on building structures. *Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering*, CUREE Publication No CKIII-02, CA.
  13. Alavi, B. and Krawinkler, H. (2004) Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **33**(6), 687-706.
  14. Menu, C. and Fu, Q. (2002) An analytical model for near-field ground motions and the

24. Luco, N. and Cornell, C.A. (2000) Effects of connection fractures on SMRF seismic drift demands. *J. Struct. Eng.*, **126**(1), 127-136.
25. MacRae, G.A. and Mattheis, J. (2000) Three-dimensional steel building response to near-fault motions. *J. Struct. Eng.*, **126**(1), 117-126.

۲۶. دانشجو، فرهاد و گرامی، محسن (۱۳۸۰) تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت افزون قاب‌های خمشی فولادی بلندمرتبه تحت تأثیر زلزله. مجموعه مقالات دومین همایش بین‌المللی ساختمان‌های بلند، ۱۶۴-۱۵۳.

۲۷. گرامی، محسن و دانشجو، فرهاد (۱۳۸۱) اثر موده‌ای بالاتر در نیاز drift طبقات قاب‌های MDOF. خلاصه مقالات همایش علمی - تحقیقی مدیریت امداد و نجات، صفحه ۱۵۴.