

اثر تحریک ناهمسان تکیه گاه بر پاسخ لرزه‌ای خطی ساختمان‌های یک طبقه

مجید محمدی

استاد بار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
m.mohammadigh@iuees.ac.ir

محمد مهدی ایزدی

دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات دانشکده فنی مهندسی، تهران، ایران
mm_izadi@yahoo.com

کلید واژه‌ها: تحریک ناهمسان تکیه‌گاه، سازه یک درجه آزاد، پاسخ خطی ساختمان

چکیده

اثر تحریک نامتقارن تکیه‌گاه بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های گسترده‌ای نظیر پلهای با دهانه بزرگ، سدها، لوله‌ها و سازه‌های نیروگاهی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله سعی شده است اثر تحریک نامتقارن تکیه‌گاه بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های ساختمانی متداول مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور در ابتدا اقدام به ارائه فرمولاسیون پیشنهادی مربوط به تحلیل سازه‌ها تحت تحریک غیریکنواخت گردیده است. در ادامه اثرات این غیریکنواختی را در پاسخ لرزه‌ای یک ساختمان یک طبقه و یک دهانه با دو ستون متفاوت و همچنین یک ساختمان یک طبقه سه دهانه با چهار ستون متفاوت تحت تحریک کسینوسی، زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور مورد بررسی قرار گرفته است. در کلیه تحلیل‌ها فرض بر این است که تکیه‌گاه‌ها از یکدیگر جدا هستند و به وسیله شناژ به هم متصل نشده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در نظر گرفتن تحریک ناهمسان در مقایسه با تحریک یکنواخت می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر پاسخ لرزه‌ای این سازه‌ها داشته باشد.

مقدمه

عموما در تحلیل دینامیکی سازه‌ها فرض بر این است که تمامی تکیه‌گاههای متصل به زمین یک سازه مهندسی در هنگام وقوع زلزله تحت تحریک مشابهی قرار می‌گیرند. این فرض مستلزم آن است که سرعت انتشار امواج بینهایت فرض شود. در صورتی که همانگونه که می‌دانیم با توجه به نوع خاکی که سازه بر آن بنا شده است در سرعت انتشار امواج برشی محدودیت وجود دارد ($175\text{m/s} < V_s < 750\text{m/s}$) لذا عملا تکیه‌گاه‌های سازه تحت تحریک ناهمسان قرار می‌گیرند. هرچه سرعت موج برشی کمتر در نظر گرفته شود اختلاف در تحریک پایه‌ها تفاوت بیشتری با یکدیگر خواهد داشت. در فواصل زیاد علاوه بر اختلاف زمانی، تغییرات فضایی نیز در رکورد‌ها مشاهده می‌گردد. در این تحقیق تنها اختلاف زمانی بین رکورد‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

سه روش تحلیل ارتعاشات تصادفی، روش طیف پاسخ و روش تحلیل تاریخچه زمانی برای تحلیل دینامیکی پاسخ سازه‌هایی که تحت تحریک غیریکنواخت قرار گرفته‌اند وجود دارد. روش تحلیل بر مبنای ارتعاشات تصادفی (Random Vibration Analysis) یک روش احتمالاتی بوده و از این نظر که زلزله را به عنوان یک پدیده تصادفی در نظر می‌گیرد با طبیعت زلزله سازگاری دارد. ورودی‌های این روش به صورت توابع چگالی طیفی SDF می‌باشند. روش طیف پاسخ به عنوان یک روش کارا و کم هزینه در محاسبه پاسخ دینامیکی سیستم‌ها بکار گرفته می‌شود. این روش مستلزم آن است که طیف حرکت زمین (بدر نظر گرفتن تغییرات فضایی امواج) در هر کدام از تکیه‌گاه‌های سازه موجود باشد. در تحلیل سیستم‌های با تحریک متفاوت تکیه‌گاهی نیز می‌توان از این روش استفاده کرد لیکن تحلیل‌ها با تقریب همراه خواهند بود. این روش توانایی مدل کردن رفتار غیرخطی سازه‌ها را نیز ندارد. روش تحلیل تاریخچه زمانی می‌تواند بصورت انتگرال گیری مستقیم از معادله حرکت و یا بصورت مودال انجام گیرد. (Wu, R. W et al., 1978) در تحلیل‌های تاریخچه زمانی برای مسائل با تحریک متفاوت تکیه‌گاهی نیاز به اطلاعات تاریخچه زمانی حرکت زمین که در فواصل نزدیک به هم ثبت شده باشند می‌باشد. این روش توانایی مدل کردن تحریک‌های غیرایستا و رفتارهای غیرخطی را دارد. یکی از متداول‌ترین روشها برای تحلیل تاریخچه زمانی چنین سیستم‌هایی این است که معادله تعادل سیستم در هر لحظه طوری بسط داده می‌شود که شامل درجات آزادی تکیه‌گاهها نیز شود در این حالت بردار تغییر مکان‌های سازه از دو قسمت تشکیل می‌شود. ut مولفه

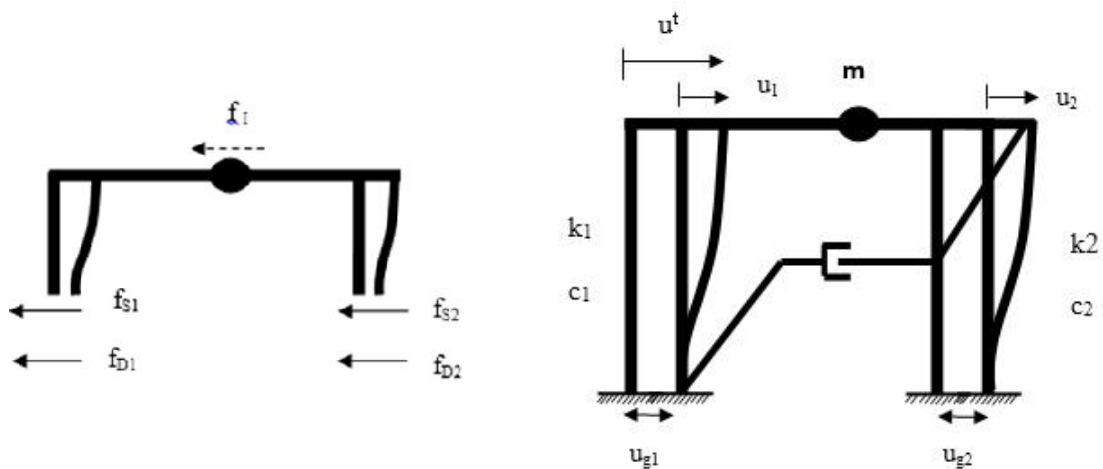


تغییر مکانی روسازه (که عناصر آن تغییر مکان‌های کلی می‌باشند) و u_g که شامل Ng مولفه تغییر مکان تکیه‌گاهی است (Chopra, 2012). در این مقاله در ابتدا اقدام به ارائه فرمولاسیون معادله حرکت بر پایه رکورد جابجایی و سرعت می‌گردد. چنین فرمولاسیونی این امکان را فراهم می‌نماید تا اثر تحریک ناهمسان تکیه‌گاهها به راحتی اعمال شود.

اثر پدیده تحریک غیر یکسان پایه بر روی سازه‌هایی که به صورت طولی امتداد یافته‌اند به ویژه در پل‌ها اولین بار اواسط دهه ۱۹۶۰ مورد توجه قرار گرفت و از آن به بعد به طور گسترده‌ای مورد تحقیق قرار دارد (Zerva, 2008). هیندی و نواک (Hindy and Novak 1980) اولین تحلیل غیر همسان را برای سیستم‌های امتداد یافته در طول (لوله‌های مدفون) با تکیه بر اصول ارتعاشات تصادفی مورد بررسی قرار دادند. هاریچاندران و همکاران (Harichandran et al., 1996) تأثیر تحریک غیریکنواخت تکیه‌گاه را برای پل معلق گلند گیت (Golden Gate) در کالیفرنیا با دهانه مرکزی برابر با ۱۲۸۰ متر و دهانه‌های کناری برابر ۳۴۳ متر مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از تحریکات یکسان در پاسخ برخی از نقاط پل خطای قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌نماید. چن و هاریچاندران (Harichandran, 1999) تأثیر تحریک غیر همسان را در مورد سد خاکی سانتافلیسیا (Santa Felicia) در جنوب کالیفرنیا مورد بررسی قرار دادند. همچنین سکتوس و همکاران (Sextos et al., 2003) به تحلیل دینامیکی پل‌های بتن مسلح با در نظر گرفتن اثر تحریک غیر همسان (با در نظر گرفتن تغییرات فضایی) و اثر تأخیر زمانی به کمک ایجاد یک روند تحلیلی و سپس مطالعه پارامتریک مساله پرداختند. مزور و همکاران (Mezouer et al., 2010) اثر تغییرات فضایی امواج لرزه‌ای و تحریک غیر همسان تکیه‌گاه را بر پاسخ تیرهای بلند به وسیله روش طیفی مورد مطالعه قرار دادند. یاجینگ هوا و چو (Ye, J., Zhang, & Chu, 2011) رفتار دینامیکی الاستوپلاستیک سه سازه فضایی با دهانه‌های بزرگ را تحت تحریک غیر همسان پایه‌ها و تحریک یکسان مورد بررسی قرار دادند. در تحلیل‌های این محققین به این جمع‌بندی رسیدند که در حالتی که تحریک غیر همسان است تعداد اعضای که در آنها مفصل پلاستیک تشکیل شده است بسیار بیشترند همچنین نیروهای داخلی پوسته‌ها و تنش در اعضای نزدیک تکیه‌گاه‌ها نیز در حالت تحریک غیر همسان نسبت به حالت تحریک همسان بسیار بیشتر است. سانگ بول و همکاران (Song Bo et al., 2011) بررسی اثر تحریک غیر همسان سازه را بر پاسخ یک پل قوسی فولادی با طول دهانه اصلی برابر با ۲۶۰ متر و در نظر گرفتن جرم گسترده تحت آنالیز دینامیکی غیر همسان مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحلیلی حاکی از آن بود که اولاً در تحلیل چنین سازه‌هایی حتماً اثر غیر همسانی دیده شود ثانیاً با توجه به نوع خاک و سرعت انتشار موج، بحرانی‌ترین حالت برای تحریک غیر همسان پایه‌ها در نظر گرفته شود. در ادامه با استفاده از فرمول ارائه شده اثر تحریک ناهمسان پایه‌ها با در نظر گرفتن تأخیر زمانی دریافت تحریک در هر تکیه‌گاه، برای یک قاب یک دهانه با دو ستون و یک قاب سه دهانه با چهار ستون مورد بررسی قرار می‌گیرد. برخی از پاسخ‌های این سازه‌ها در دو حالت تحریک ناهمسان و تحریک یکسان مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

روش پیشنهادی به منظور تحریک غیر یکنواخت پایه‌ها

در تحلیل‌های دینامیکی غیر یکنواخت، واقع بینانه عمل شده و نیروهای زلزله با منظور کردن سرعت انتشار و کاهش همبستگی در هنگام انتشار امواج، بصورت غیر یکنواخت در طول انتشار در نظر گرفته می‌شوند و پاسخ سازه بدست می‌آید. در این تحقیق تنها اختلاف زمانی بین رکورد‌ها در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱: ساختمان یک طبقه یک دهانه

برای سازه یک درجه آزاد نشان داده شده در شکل (۱) با در نظر گرفتن نیروی سختی f_s ، میرایی f_D هر ستون و نیروی اینرسی f_I معادله حرکت به صورت زیر می‌باشد.

$$f_I + f_D + f_s = 0 \quad (1)$$

$$m\ddot{u}^t + c\dot{u} + ku = 0 \quad (2)$$

در حل معمول معادله حرکت تغییر مکان کلی جرم سازه u^t شامل تغییر مکان نسبی u و تغییر مکان زمین u_g حین ارتعاش خواهد شد.

$$u^t = u_g + u \quad (3)$$

$$m(\ddot{u}_g + \ddot{u}) + c\dot{u} + ku = 0 \quad (4)$$

$$mu + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g \quad (5)$$

به منظور حل عددی این معادله، مقادیر شتاب زمین به عنوان ورودی در نظر گرفته می شود و از حل این معادله مقادیر تغییر مکان نسبی u در هر لحظه بدست می آید. در صورتی که از معادله (۲) مقادیر تغییر مکان نسبی u محاسبه شود.

$$u^t = u_g + u \rightarrow u = u^t - u_g \rightarrow \dot{u} = \dot{u}^t - \dot{u}_g \quad (6)$$

با جایگذاری این مقادیر در معادله حرکت خواهیم داشت:

$$m\ddot{u}^t + c(\dot{u}^t - \dot{u}_g) + k(u^t - u_g) = 0 \quad ()$$

$$m\ddot{u}^t + c\dot{u}^t - c\dot{u}_g + ku^t - ku_g = 0 \quad ()$$

$$m\ddot{u}^t + c\dot{u}^t + ku^t = c\dot{u}_g + ku_g = P_{eff} \quad ()$$

با در نظر گرفتن معادله حرکت به فرم رابطه (۹)، مقادیر تغییر مکان و سرعت زمین به عنوان ورودی در نظر گرفته می شود و از حل عددی این معادله مقادیر تغییر مکان کلی درجه آزادی u^t در هر لحظه بدست می آید. در صورتی که هدف تعیین تغییر مکان نسبی جرم که ارتباط مستقیم با نیروهای داخلی ایجاد شده در سیستم دارد باشد می توان با استفاده از رابطه (۶) استخراج گردد. فرم جدید معادله حرکت این امکان را فراهم می نماید که اثر زلزله در دو تکیه گاه متفاوت در نظر گرفته شود در محاسبه پاسخ سازه تحت تحریک ناهمسان موثر می باشد. در صورتیکه تغییر مکان و سرعت زمین در تکیه گاه اول به ترتیب u_{g1} و \dot{u}_{g1} و در تکیه گاه دوم u_{g2} و \dot{u}_{g2} باشد معادله شماره (۹) به صورت زیر در خواهد آمد.

$$m\ddot{u}^t + (c_1 + c_2)\dot{u}^t + (k_1 + k_2)u^t = c_1\dot{u}_{g1} + k_1u_{g1} + c_2\dot{u}_{g2} + k_2u_{g2} \quad (10)$$

در این معادله و سختی و میرایی را در ستون اول به ترتیب C_1 و k_1 و در ستون دوم به ترتیب C_2 و k_2 در نظر گرفته شده است. در صورتیکه محاسبه تغییر مکان نسبی هر یک از ستون ها مد نظر باشد می توان از فرمول های (۱۱) و (۱۲) استفاده نمود.



$$u_1 = u^t - u_{g1} \quad (11)$$

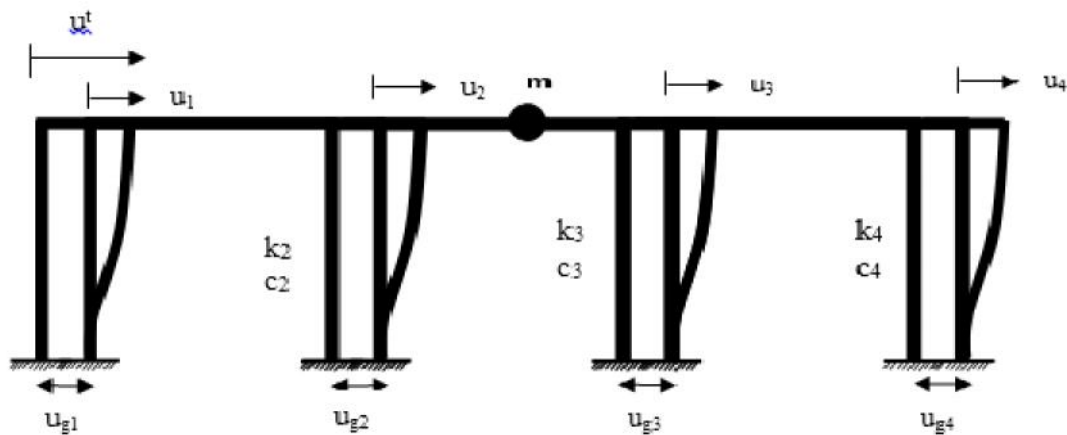
$$u_2 = u^t - u_{g2} \quad (12)$$

این فرمولاسیون قابل تعمیم به یک سیستم یک درجه آزادی چند دهانه نیز می باشد. به عنوان نمونه یک ساختمان یک طبقه سه دهانه با چهار ستون متفاوت در نظر گرفته می شود. معادله (۱۰) برای این سیستم که در شکل شماره (۲) نشان داده شده به صورت زیر خواهد بود.

$$m\ddot{u}^t + (c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \dot{u}^t + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)u^t =$$

$$c_1 u_{g1} + k_1 u_{g1} + c_2 u_{g2} + k_2 u_{g2} + c_3 u_{g3} + k_3 u_{g3} + c_4 u_{g4} + k_4 u_{g4}$$

برای در نظر گرفتن تاخیرات زمانی به منظور بررسی تاثیر تحریک ناهمسان در نظر گرفتن سرعت انتشار موج برشی برابر ۲۰۰ متر بر ثانیه دو تکیه گاه از سازه با فواصل ۵ متر از هم با تاخیر زمان ۰/۰۲۵ ثانیه تحریک خواهند شد. لذا این تاخیر زمانی (Time delay) در صورتی که گام های زمانی رکورد ها را ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شود هر رکورد با ۵ گام متفاوت به پایه بعدی خواهد رسید.



شکل ۲: ساختمان یک طبقه سه دهانه

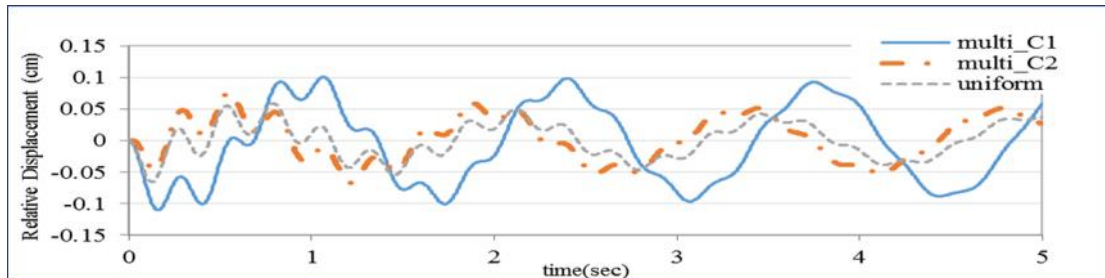
اثر تحریک ناهمسان بر پاسخ ساختمان

به منظور بررسی فرمولاسیون پیشنهادی در بخش ۲ یک ساختمان یک طبقه سه دهانه تحت بار گذاری قرار گرفته و طراحی شده است. در مرحله اول یکی از دهانه های ۵ متری این سازه با دو ستون متفاوت در نظر گرفته شده و اثر تحریک نامتقارن به ازای سه نوع بارگذاری برای این سازه مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه یکی از قاب های این سازه سه دهانه با چهار ستون متفاوت استخراج گردیده و اثر تحریک نامتقارن تکیه گاه بر آن بررسی می گردد.

سازه یک طبقه یک دهانه

یک قاب یک دهانه با ارتفاع ۳/۲ متر و طول دهانه ۵ متر مشابه قاب نشان داده شده در شکل (۱) در نظر گرفته شده است. جرم سقف ۹/۹۳ تن، سختی ستون اول ۱۶۵/۵ N/m و سختی ستون دوم ۴۰۴/۲ N/m می باشد. به منظور افزایش اثر تحریک نامتقارن تکیه گاه بارگذاری سازه به گونه ای در نظر گرفته شده است که ستون ها دارای سختی متفاوتی باشند لیکن میرایی دو ستون یکسان در نظر گرفته شده است. زمان تناوب اصلی ارتعاش این قاب ۰/۲۶ ثانیه و نسبت میرایی 5% = می باشد.

در ابتدا اثر تحریک نامتقارن تکیه گاه برای رکورد مصنوعی $u_g = 1 - \cos(\omega t)$ با فرکانس های تحریک () از ۰/۵ هرتز تا ۵ هرتز مورد بررسی قرار می گیرد. این رکورد به گونه ای انتخاب شده است که در لحظه $t=0$ sec مقدار تغییر مکان اولیه u_g و سرعت اولیه $\dot{u}_g = \omega \sin(\omega t)$ صفر باشد. برخی از پاسخ های سازه در دو حالت (۱) با در نظر گرفتن تحریک نامتقارن تکیه گاه (۲) بدون در نظر گرفتن تحریک نامتقارن تکیه گاه، مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۳) تغییر مکان نسبی هر یک از ستون های سازه یک دهانه به ازای فرکانس ۰/۷ هرتز و نسبت میرایی ۵٪ را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تغییر مکان نسبی ستون ۱ زمانی که سازه تحت تحریک ناهمسان قرار گرفته است در مقایسه با حالت تحریک یکنواخت افزایش یافته است.



شکل ۳: تغییر مکان نسبی ستون های C1 و C2 تحت تحریک ناهمسان و تحریک یکنواخت رکورد مصنوعی با فرکانس ۰/۷ هرتز و نسبت میرایی ۵٪

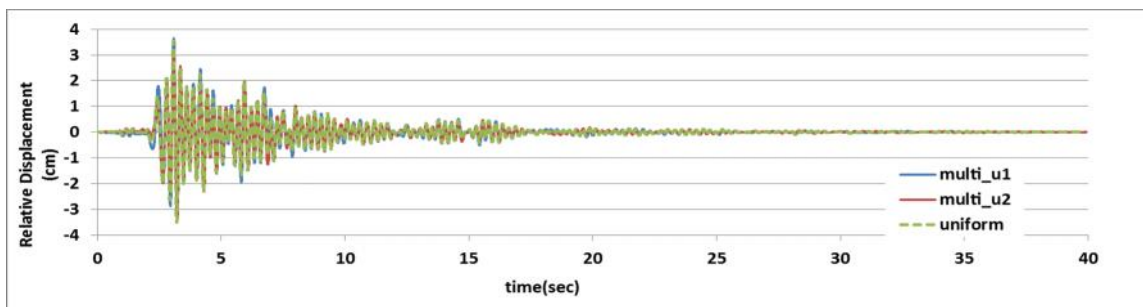
جدول ۱: تغییر مکان نسبی هریک از ستون ها و برش پایه ساختمان یک طبقه یک دهانه تحت فرکانس های مختلف و نسبت میرایی های متفاوت

نسبت میرایی در فرکانس ۰/۵ هرتز				فرکانس تحریک (هرتز)						
%20	%10	%5	%2	5	3	2	1	0.7	0.5	
2.37	2.22	2.19	2.20	0.96	1.04	1.07	1.68	1.69	2.19	نسبت تغییر مکان نسبی برای ستون C1
1.05	1	1.07	1.18	0.94	0.93	0.94	0.92	1.15	1.07	نسبت تغییر مکان نسبی* برای ستون C2
0.94	0.96	0.97	0.98	0.95	0.96	0.98	1.14	0.97	1.39	نسبت برش پایه

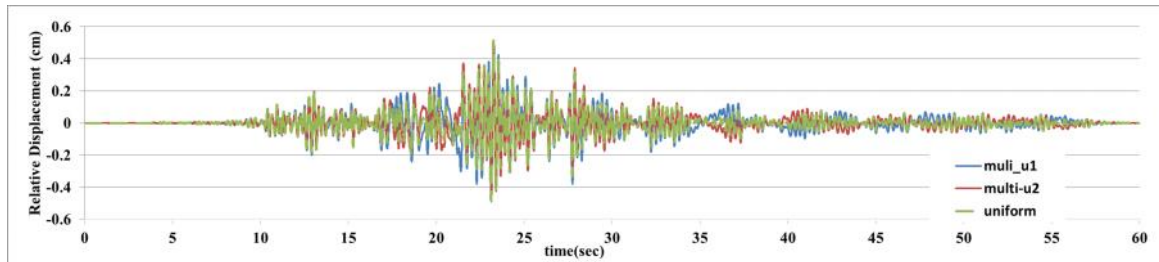
* - نسبت حالت (۱) به حالت (۲)

نسبت حالت (۱) به حالت (۲) برای پاسخ تغییر مکان نسبی (drift) هریک از ستون ها و برش پایه تحت فرکانس های مختلف و نسبت میرایی های متفاوت برای این سازه یک دهانه در جدول (۱) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود با در نظر گرفتن تحریک ناهمسان در برخی از فرکانس های ارتعاشی تغییر مکان نسبی ستون ها تا ۱۱۹٪ و برش پایه نیز تا ۳۹٪ (هر دو در فرکانس ۰/۵ هرتز) افزایش یافته است. همچنین در این جدول اثر نسبت میرایی سازه در فرکانس ثابت ۰/۵ هرتز مورد بررسی قرار گرفته است. همان گونه که مشاهده می شود اثر تحریک ناهمسان، تغییر مکان نسبی طبقات را ۱۳۷٪ افزایش می دهد ولی برش پایه طبقات را تا ۶٪ نسبت به حالت تحریک یکنواخت کاهش خواهد داد. لازم به ذکر است با در نظر گرفتن تحریک نامتقارن تکیه گاه، تغییر مکان نسبی ستون ها از تغییر مکان نسبی طبقه متفاوت می باشد. اثر تحریک نامتقارن تکیه گاه برای این سازه یک دهانه تحت رکورد های حوزه نزدیک و حوزه دور زلزله با استفاده از فرمول های ارائه شده در بخش ۲ مورد بررسی قرار گرفته است. مؤلفه شمالی- جنوبی زلزله Loma Prieta 1989/10/18 در ایستگاه LOMAP به عنوان یک نمونه از رکورد های حوزه نزدیک به سازه اعمال می شود. شکل (۴) تغییر مکان نسبی هر یک از ستون های سازه را تحت این زلزله نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تغییر مکان نسبی ستون اول با در نظر گرفتن تحریک ناهمسان ۳٪ افزایش یافته است لیکن برای ستون دوم این مقدار ۴٪ کاهش داشته است. مؤلفه شمالی- جنوبی زلزله AQABA 1995/11/22 در ایستگاه EILAT به عنوان یک نمونه از رکورد های حوزه دور در نظر گرفته شده است. شکل ۵ تغییر مکان نسبی هر یک از ستون های سازه را تحت این زلزله نشان می دهد. تغییر مکان نسبی هر دو ستون با در نظر گرفتن تحریک ناهمسان تا ۶٪ کاهش داشته است.





شکل ۴: تغییر مکان نسبی ستون های C1 و C2 سازه یک دهانه تحت تحریک ناهمسان و تحریک یکنواخت رکورد حوزه نزدیک (Loma Prieta-1989)



شکل ۴: تغییر مکان نسبی ستون های C1 و C2 سازه یک دهانه تحت تحریک ناهمسان و تحریک یکنواخت رکورد حوزه دور (AQABA-1995)

سازه یک طبقه سه دهانه

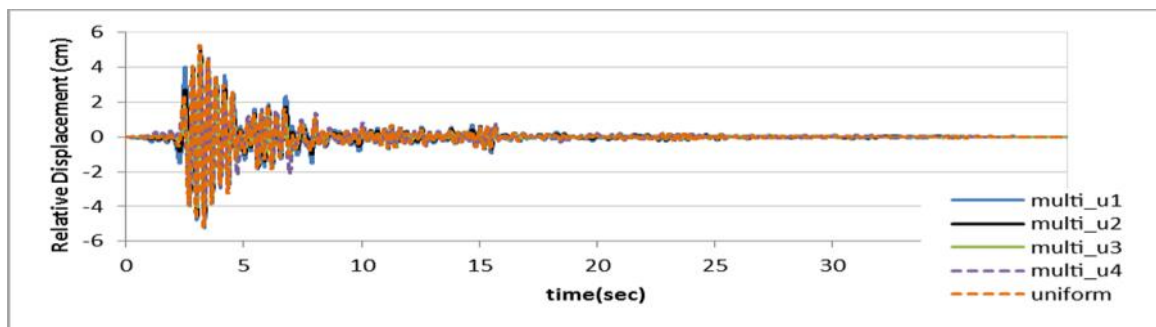
مشابه حالت قبل در این مرحله نیز یک قاب سه دهانه با ارتفاع ۳/۲ متر و طول دهانه ۵ متر مشابه قاب نشان داده شده در شکل (۲) در نظر گرفته شده است. جرم سقف ۲۹/۷۹ تن، سختی ستون های اول و چهارم N/m ۱۶۵/۵ و سختی ستون های دوم و سوم N/m ۴۰۴/۲ می باشد. به منظور افزایش اثر تحریک نامتقارن تکیه گاه، بارگذاری سازه به گونه ای در نظر گرفته شده است که ستون ها دارای سختی متفاوتی باشند. لیکن میرایی چهار ستون یکسان در نظر گرفته شده است. زمان تناوب اصلی ارتعاش این قاب ۰/۳۲ ثانیه و نسبت میرایی ۵٪ = می باشد.

در جدول (۲) نسبت حالت (۱) به حالت (۲) برای پاسخ تغییر مکان نسبی هر یک از ستون ها و برش پایه تحت فرکانس های مختلف و نسبت میرایی های متفاوت نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود با در نظر گرفتن تحریک ناهمسان در برخی از فرکانس های ارتعاشی تغییر مکان نسبی ستون ها تا ۱۸۷٪ افزایش یافته است. همچنین در این جدول اثر نسبت میرایی سازه در فرکانس ثابت ۰/۵ هرتز مورد بررسی قرار گرفته است. همان گونه که مشاهده می شود اثر تحریک ناهمسان، تغییر مکان نسبی طبقات را ۲۲۴٪ افزایش می دهد ولی برش پایه طبقه تا ۵٪ نسبت به حالت تحریک یکنواخت کاهش می یابد. لازم به ذکر است زمانی که تحریک نامتقارن تکیه گاه در نظر گرفته می شود تغییر مکان نسبی ستون ها از تغییر مکان نسبی طبقه متفاوت می باشد. شکل ۶ تغییر مکان نسبی هر یک از ستون های سازه را تحت زلزله حوزه نزدیک Loma Priet نشان می دهد. تغییر مکان نسبی ستون سوم با در نظر گرفتن تحریک ناهمسان ۱۵٪ نسبت به حالت تحریک یکسان کاهش یافته است. همچنین برای ستون دوم این مقدار ۶٪ کاهش را نشان می دهد. شکل ۷ تغییر مکان نسبی هر یک از ستون های سازه سه دهانه را تحت زلزله حوزه دور AQABA نشان می دهد. تغییر مکان نسبی ستون سوم با در نظر گرفتن تحریک ناهمسان ۸٪ افزایش یافته است. لیکن برای ستون دوم این مقدار ۹٪ کاهش را نشان می دهد.

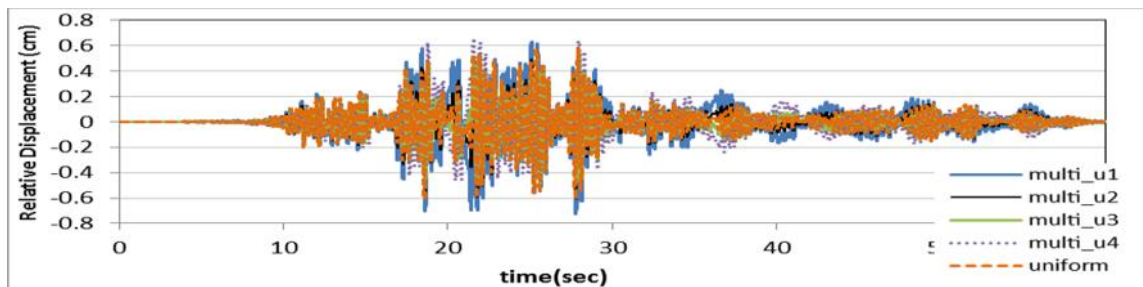
جدول ۲: تغییر مکان نسبی هریک از ستون‌ها و برش پایه ساختمان یک طبقه سه دهانه تحت فرکانس‌های مختلف و نسبت میرایی‌های متفاوت

نسبت میرایی در فرکانس ۰/۵ هرتز				فرکانس تحریک (هرتز)						
20%	10%	5%	2%	5	3	2	1	0.7	0.5	
3.24	2.96	2.87	2.84	0.94	0.98	1.17	2.14	2.43	2.87	نسبت تغییر مکان نسبی * ستون C1
1.45	1.37	1.334	1.313	0.931	0.932	0.934	1.293	1.415	1.334	نسبت تغییر مکان نسبی * ستون C2
1.21	1.202	1.258	1.329	0.909	0.884	0.924	1.156	1.079	1.258	نسبت تغییر مکان نسبی * ستون C3
3.12	2.872	2.81	2.814	0.826	0.854	1.053	2.02	2.326	2.813	نسبت تغییر مکان نسبی * ستون C4
0.962	0.955	0.952	0.95	0.82	0.92	0.93	0.94	1.018	0.952	نسبت برش پایه دو حالت

*- نسبت حالت (۱) به حالت (۲)



شکل ۶: تغییر مکان نسبی ستون‌های C1 و C2 و C3 و C4 سازه سه دهانه تحت تحریک ناهمسان و تحریک یکنواخت رکورد حوزه نزدیک (Loma Prieta-1989)



شکل ۷: تغییر مکان نسبی ستون‌های C1 و C2 و C3 و C4 سازه سه دهانه تحت تحریک ناهمسان و تحریک یکنواخت رکورد حوزه دور (AQABA-1995)

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج حاصل از تحلیل سازه یک طبقه، یک دهانه و یک طبقه سه دهانه نشان می‌دهد اثر تحریک ناهمسان تکیه‌گاه در تحلیل لرزه‌ای سازه‌های متداول ساختمانی نیز تاثیر گذار است و عدم در نظر گرفتن این پدیده می‌تواند در تخمین دقیق نیروهای داخلی سازه تاثیر گذار باشد. لذا اثر تحریک نامتقارن تکیه‌گاه علاوه بر سازه‌های گسترده باید در تحلیل سازه‌های متداول ساختمانی نیز در نظر گرفته شود.



- Chopra AK (2012) Dynamics of Structures Theory and Application to Earthquake Engineering 4nd Ed., Perentice-Hall, New Jersey
- Harichandran R.S.(1999) Spatial Variation of Earthquake Ground Motion, Report www.msu.edu/~harichandran.
- Harichandran RS, Hawwari A and Sweidan BN (1996), Response of long-span bridges to spatially varying ground motion, *Journal of Structural Engineering* 122, 476–484
- Hindy A and Novak M (1980) , Response of pipelines to random ground motion, *J. Eng. Mech. Div.* 106, 339–360
- Mezouer N, Silhadi K & Afra H (2010) Importance of spatial variability of seismic ground motion effects on long beams response. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 1(1)
- Sextos AG, Kappos AJ & Pitilakis KD (2003) Inelastic dynamic analysis of RC bridges accounting for spatial variability of ground motion, site effects and soil–structure interaction phenomena. Part 2: Parametric study. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 32(4), 629-652.
- SONG Bo, YI Han-bin, ZHOU Hong-yu (2011) Seismic Response Analysis for Long-span Arch Bridges under Consideration of Traveling Wave Effect , *Journal of Beijing University of Technology*
- Wu, R. W., Hussain, F. A., & Liu, L. K. (1978). Seismic response analysis of structural system subjected to multiple support excitation. *Nuclear Engineering and Design*, 47(2), 273-282.
- Ye Jihong , Zhang Zhiqiang and Chu Ye (2011) Strength failure of spatial reticulated structures under multi-support excitation, *Earthq Eng & Eng Vib* 10: 21-36, Vol.10, No.1
- Ye J, Zhang Z & Chu Y (2011) Strength failure of spatial reticulated structures under multi-support excitation. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 10(1), 21-36
- Zerv Aspasia (2008) Spatial variation of seismic ground motions: modeling and engineering applications by Taylor & Francis Group, LLC

