

تاثیر موقعیت و درصد جرمی میراگر TMD در پلان بر عملکرد لرزه‌های سازه‌های بتن‌آرمه

سعید جواهرزاده، عضو هیأت‌علمی دانشکده فنی، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر،

شبستر، ایران

میر اسلام محمدی اصل نژاد، کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شبستر، شبستر، ایران

Amir57_mohammadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۲۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۰/۸

چکیده:

تکنیک کنترل سازه‌ها، جدیدترین روش جهت بهبود رفتار سازه در مقابل نیروهای غیر متعارف باد و زلزله می‌باشد. در این راستا محققین، استفاده از وسایل ابتکاری نظیر میراگر جرمی تنظیم شده را جهت کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها و نیز فراهم نمودن تسهیلاتی برای مقابله با بار باد و زلزله پیشنهاد می‌کنند. در مقاله حاضر، بررسی تاثیر موقعیت و درصد جرمی میراگر TMD در پلان بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، رفتار سازه هیجده طبقه بتنی با الحاق میراگر جرمی با نسبت جرمی ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ در نرم افزار SAP 2000 مدل‌سازی و تحت آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی تحلیل گردید. نتایج حاصل، بیانگر این می‌باشد که میراگرهای جرمی تنظیم شده می‌توانند پاسخ دینامیکی سازه‌ها را در مقابل زلزله، تا حد زیادی کاهش دهند. از این رو چنین سیستم‌هایی می‌توانند برای مقاوم سازی سازه‌ها و بهبود رفتار آنها تحت اثر زلزله مورد استفاده قرار گیرند.

کلید واژگان: میراگر جرمی تنظیم شده، درصد جرمی میراگر، موقعیت میراگر در پلان، آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی

۱- مقدمه

اصلی مورد بررسی قرار داد. نتیجه مطالعه اخیر نشان داد که جذب کننده دینامیکی با استفاده از مواد با سختی متناسب با فرکانس و ضریب میرایی ثابت می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای ارتعاش تشدید شده سیستم اصلی را کاهش دهد. در سال ۱۹۷۷ آقایان Jennige و Frohrib بصورت عددی اثر یک سیستم جذب کننده انتقالی-چرخشی را در کاهش مقادیر مودال خمشی و پیچشی مربوط به یک ساختمان مورد بررسی قرار دادند [۳]. میراگر جرمی در ایران نیز خوشبختانه در پنج سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این میان Zahrai و Ghannadi-Asl کاربرد میراگر جرمی برای کاهش ارتعاشات لرزه‌ای ساختمان‌های میان مرتبه را بررسی نموده و نشان

میراگر جرمی (TMD) یا Tuned Mass Damper نمونه‌ای از میراگرهای غیر فعال می‌باشد. این میراگر در طبقات و یا پشت‌بام ساختمان نصب می‌گردد. از این رو می‌توان آنرا به عنوان ابزاری جهت مقاوم‌سازی نیز به کار برد. سرآغاز طرح این میراگرها بر پایه مطالعاتی است که بر روی ضربه گیرهای ارتعاشات دینامیکی توسط فراهم انجام شد و نتایج آن در سال ۱۹۰۹ منتشر گردید [۲]. اورموندروید و دن هارتوگ در سال ۱۹۲۸ مدل کامل‌تری از ضربه‌گیرها را گسترش دادند [۲]. در سال ۱۹۶۰ Snowdon برای افزایش بازده، رفتار جذب کننده صلب را در کاهش پاسخ سیستم

$$M_S \ddot{u}_S + C_S \dot{u}_S + K_S u_S = -M_S \ddot{u}_g + F_{TMD} \\ = C_d \dot{u}_d + K_d u_d$$

پارامتر F_{TMD} در واقع همان نیروی اندرکنش میان سازه اصلی و میراگر می‌باشد. در صورتیکه سازه اصلی تحت شتاب نگاشت معینی مرتعش گردد، می‌توان با حل عددی همزمان معادله‌های (۲) و (۳) و (۴) نیروی اندرکنش را برای هر گام زمانی محاسبه نمود و پاسخ سازه را بدست آورد. کارایی روش مزبور در صورتیکه رفتار سازه غیر خطی باشد بسیار بالاست چرا که می‌توان در هر زمانی بدون وارد کردن پارامترهای میراگر در ماتریس سختی سازه اثر میراگر را در پاسخ سازه مورد بررسی قرارداد. هدف این تحقیق بررسی تأثیر موقعیت و درصد جرمی میراگر TMD در پلان بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بتنی می‌باشد. برای این منظور، سازه هیجده طبقه بتنی مطابق با مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰، در نرم افزار ETABS 2000 تحلیل و طراحی گردید. در مرحله بعدی در نرم افزار SAP 2000، با الحاق میراگر جرمی با نسبت جرمی ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ با تغییر موقعیت TMD در پلان، رفتار این سازه از لحاظ برش پایه و تغییر مکان سازه ناشی از بارگذاری مقایسه و ارزیابی گردید.

۳- مشخصه‌های میراگر جرمی تنظیم شده

با در نظر گرفتن رابطه‌های عمده میراگر جرمی در حالتیکه سازه اصلی نامیرا باشد می‌توان فرم تحلیلی تعیین مشخصات TMD را ارائه نمود [۲]. در صورت وجود میرایی برای تعیین مشخصات بهینه رابطه تحلیلی وجود ندارد. تسای ولین، بر پایه کمینه ساختن نوسانات سازه یکدرجه آزادی اصلی، طی یکسری فرآیندهای عددی جداولی را جهت محاسبه پارامترهای میراگر جرمی منتشر نمودند [۱]. به کمک این جدول می‌توان بر اساس نسبت جرم میراگر به جرم سازه اولیه و همچنین استهلاک سازه اصلی، مقادیر مطلوب مؤلفه‌های جرم تنظیم شونده را تعیین نمود. با توجه به اینکه مشارکت مود اول ارتعاشی در ساختمانها بیش از سایر مودهاست، پارامترهای میراگر جرمی سازه بر اساس جرم مودی اول ساختمان‌های بتنی و میرایی کلی سازه تعیین گردید. کارایی میراگرهای مزبور زمانی است که در پشت‌بام نصب شوند زیرا مود اول بیشترین نقش را در جابجایی بام دارد.

برای تعیین مقادیر بهینه نسبت جرم و فرکانس و میرایی روش‌های مختلفی از جمله بهینه‌سازی با کمک الگوریتم‌های ژنتیک یا میانگین مربع پاسخها بکار گرفته شده است. بر اساس نتایج تحلیلی در تحقیقات انجام شده با موضوع میراگر جرمی تنظیمی (TMD)، اغلب نتایج حاکی از این هستند که مناسب‌ترین نسبت میرایی میراگر ۲۰ تا ۳۰ درصد می‌باشد. همچنین نسبت فرکانس میراگر به فرکانس مود تنظیم شونده بین ۰/۹ و ۱ در تغییر است. البته این مقادیر برای شرایط مختلف ممکن است متفاوت باشد. بنابراین با استناد به نتایج به دست آمده در تحقیقات گذشته، نسبت‌های جرمی μ ، فرکانسی f و

دادند که مشخصات زلزله بر راندمان میراگر جرمی مؤثر است [۴]. Mohtat و همکاران نیز بر روی معیاری برای پایداری تأثیر عملکرد بهینه میراگرهای جرمی چندگانه کار کردند [۵].

۲- مدل تحلیلی میراگر جرمی تنظیم شده برای سیستم‌های یک درجه آزاد

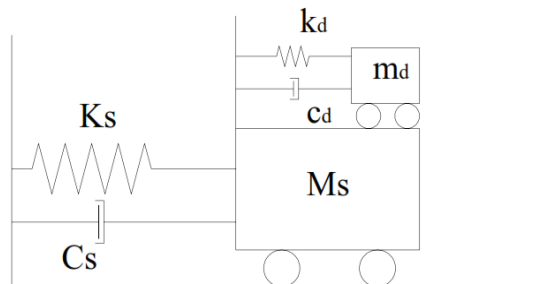
شکل ۱ نمای ساده شده‌ای از تعامل میراگر جرمی و سازه اصلی را نشان می‌دهد. پارامترهای M_S ، C_S ، K_S به ترتیب نمایانگر جرم سازه اصلی، استهلاک و سختی آن بوده و پارامترهایی که دارای زیر نویس d می‌باشند، بیانگر مقادیر نظیر آن برای میراگر هستند. اگر u_g ، u_s ، u_d و به ترتیب نشانگر تغییر مکان سازه اصلی نسبت به تکیه گاه، تغییر مکان میراگر نسبت به سازه اصلی و تغییر مکان تکیه گاه باشند، آنگاه معادلات دیفرانسیل تعادل دینامیکی سیستم به صورت زیر نوشته خواهد شد

(۱)

$$(M_S + M_d) \ddot{u}_S + C_S \dot{u}_S + K_S u_S \\ = -(M_S + m_d) \ddot{u}_g - m_d \ddot{u}_d$$

(۲)

$$m_d \ddot{u}_S + C_d \dot{u}_d + K_d u_d = -m_d (\ddot{u}_g + \ddot{u}_d)$$



شکل ۱- تصویر شماتیک سازه اصلی و میراگر جرمی متصل به آن

اگر مولفه $m_d \ddot{u}_d$ را با استفاده از رابطه (۲) استخراج نموده در معادله (۱) قرار دهیم، معادلات (۳) و (۴) به شرح زیر حاصل می‌گردد:

$$M_S \ddot{u}_S + C_S \dot{u}_S + K_S u_S = -M_S \ddot{u}_g + F_{TMD}$$

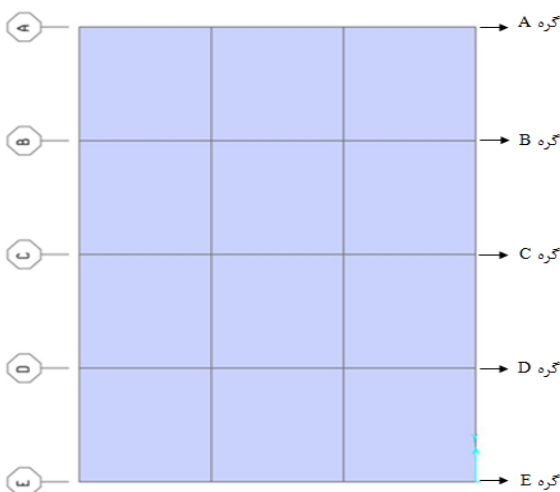
(۳)

(۴)

- ۱- زلزله Chi-Chi در سال ۱۹۹۹، با فواصل زمانی ۰/۰۰۵ ثانیه، از ایستگاه HWA 059 و به بزرگای ۷/۶۲ ریشتر.
- ۲- زلزله Friuli در سال ۱۹۷۶، با فواصل زمانی ۰/۰۰۵ ثانیه، از ایستگاه Tolmezzo و به بزرگای ۶/۵ ریشتر.
- ۳- زلزله Imperial Valley در سال ۱۹۷۹، از ایستگاه Sahop Casa Flores و به بزرگای ۶/۵۳ ریشتر.
- ۴- زلزله Kobe در سال ۱۹۹۵، با فواصل زمانی ۰/۰۱ ثانیه، از ایستگاه Shin-Osaka و به بزرگای ۶/۹ ریشتر.
- ۵- زلزله Loma Prieta در سال ۱۹۸۹، با فواصل زمانی ۰/۰۰۵ ثانیه، از ایستگاه Capitola و به بزرگای ۶/۹۳ ریشتر.
- ۶- زلزله Northridge در سال ۱۹۹۴، با فواصل زمانی ۰/۰۲ ثانیه، از ایستگاه Santasusana و به بزرگای ۶/۶۹ ریشتر.
- ۷- زلزله Victoria, Mexico در سال ۱۹۸۰، با فواصل زمانی ۰/۰۱ ثانیه، از ایستگاه Cerro Prieto و به بزرگای ۶/۳۳ ریشتر.

۴- اثر تغییر موقعیت و درصد جرمی میراگر در پلان بر عملکرد لرزه‌ای سازه

در شکل (۲) پلان سازه به همراه محور قرارگیری میراگر و همچنین نقاطی از سازه که تغییر مکان آنها مورد مقایسه قرار خواهد گرفت، آورده شده است.



شکل ۲ - پلان سازه [۷].

شکل (۳) نمایانگر تغییر مکان ماکزیمم سازه در ۵ گره در حالت بدون میراگر جرمی و حالت‌های مختلف الحاق میراگر جرمی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰٪ در محور A.

میرایی ξ_d میراگر جرمی تنظیم شده در این تحقیق با استفاده از روابط زیر و از مرجع [۶] انتخاب شدند:

(۵)

$$\mu = \frac{m_d}{m}$$

(۶)

$$f = \frac{\omega_d}{\omega}$$

(۷)

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

نسبت جرمی μ برابر با ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد، نسبت فرکانسی f برای تمام مدل‌ها برابر با ۹۶ درصد و مقدار سختی کل سیستم میراگر جرمی تنظیم شده از رابطه زیر به دست می‌آید:

(۸)

$$k_d = m_d (f \omega_{1b})^2$$

نسبت میرایی میراگر ξ_d برای تعیین ضریب میرایی آن، برابر با ۲۷ درصد فرض شد. ضریب میرایی کل سیستم میراگر جرمی تنظیم شده از رابطه زیر به دست می‌آید:

(۹)

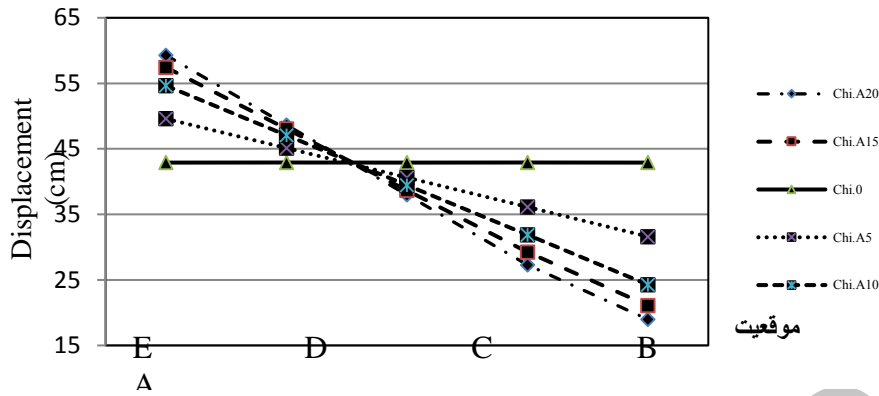
$$C_d = 2m_d (f \omega_{1b}) \zeta_d$$

در روابط یاد شده ω_{1b} فرکانس مود اول ساختمان می‌باشد. برخی از مشخصات دینامیکی سازه مورد مطالعه و میراگرها، از جمله مقادیر سختی، میرایی و نسبت جرمی در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین جرم کل سازه بدون میراگر برابر با 4060400.6 Kg می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر سختی، میرایی و نسبت جرمی میراگر

Damping Ratio	Mass , Kg	Stiffness , N/Cm	Damping , N.Sec/Cm
5%	203020	31948	43489
10%	406040	63897	86979
15%	609060	95845	130469
20%	812080	127794	173959

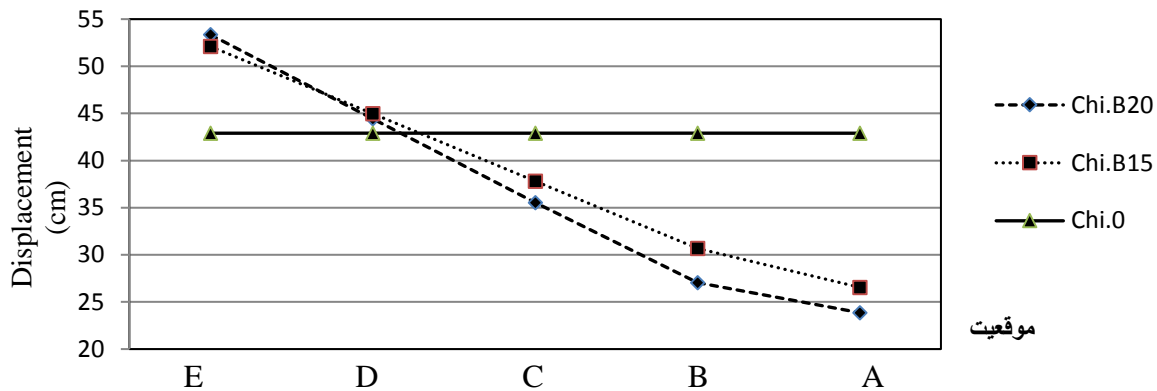
هفت زوج شتاب نگاشت از سایت PEER به شرح توضیحات زیر برای تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گرفته است (در این مقاله جهت اختصار نتایج مربوط به یک رکورد ردیف ۱ آورده شده):



شکل ۳ - نمودار مقایسه‌ای تغییر مکان سازه در محور A تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].

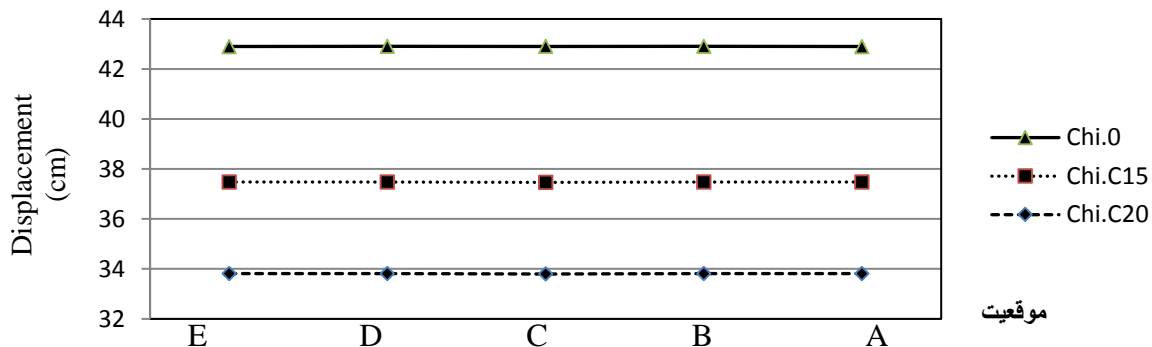
شکل (۴) نمایانگر تغییر مکان ماکزیمم سازه در ۵ گره در حالت بدون میراگر جرمی و حالت‌های مختلف الحاق میراگر جرمی ۱۵٪ و ۲۰٪ در محور B.

با الحاق میراگر جرمی در محور A از میزان تغییر مکان در این محور کاسته می‌شود. با افزایش درصد جرمی میراگر در محور A کاهش تغییر مکان محسوس‌تر می‌باشد. ولی از طرف دیگر در محور E شاهد افزایش تغییر مکان می‌باشیم.



شکل ۴ - نمودار مقایسه‌ای تغییر مکان سازه در محور B تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].

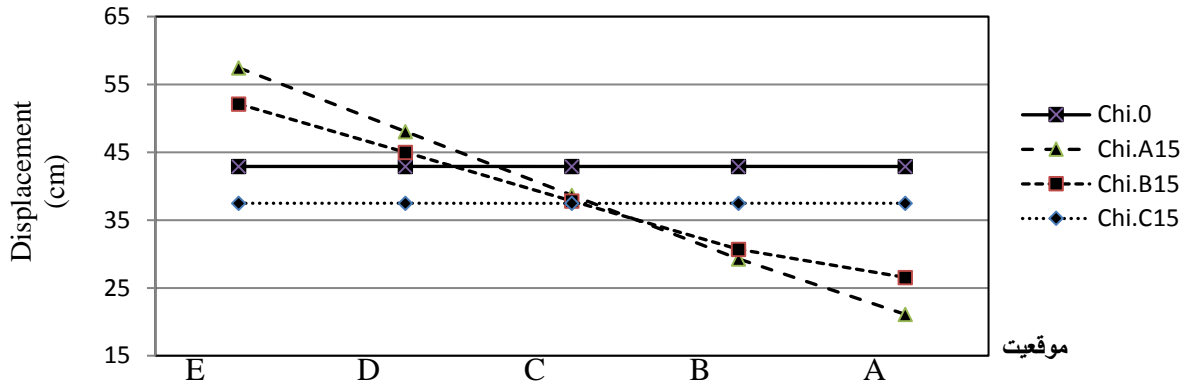
شکل (۵) نمایانگر تغییر مکان ماکزیمم سازه در ۵ گره در حالت بدون میراگر جرمی و حالت‌های مختلف الحاق میراگر جرمی ۱۵٪ و ۲۰٪ در محور C.



شکل ۵ - نمودار مقایسه‌ای تغییر مکان سازه در محور C تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].

حالت بدون میراگر جرمی و الحاق میراگر جرمی ۱۵٪ در محورهای A، B و C.

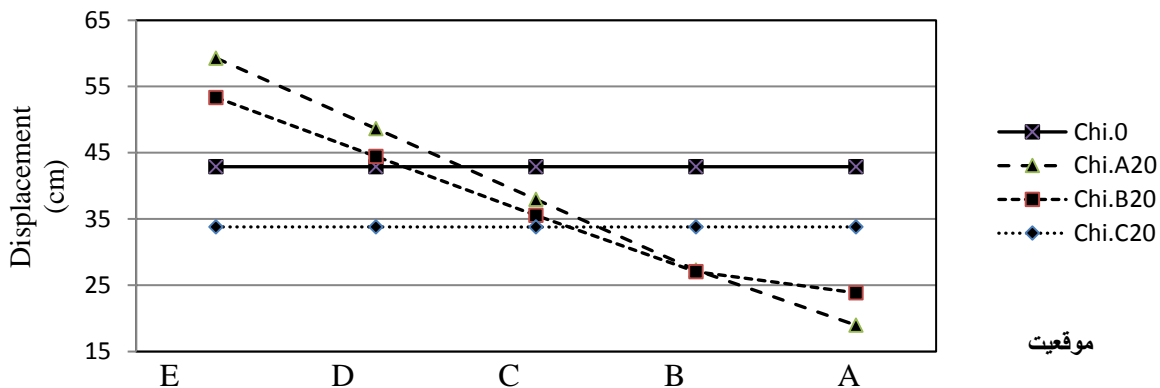
شکل (۶) نمایانگر تغییر مکان ماکزیمم سازه در ۵ گره در



شکل ۶ - نمودار مقایسه‌ای تغییر مکان سازه با میراگر جرمی ۱۵٪ تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].

حالت بدون میراگر جرمی و الحاق میراگر جرمی ۲۰٪ در محورهای A، B و C.

شکل (۷) نمایانگر تغییر مکان ماکزیمم سازه در ۵ گره در

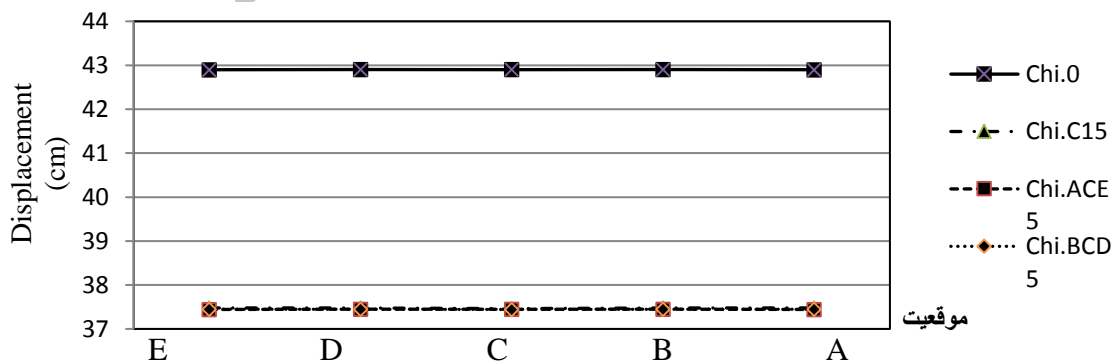


شکل ۷ - نمودار مقایسه‌ای تغییر مکان سازه با میراگر جرمی ۲۰٪ تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].

میراگر و دارای میراگر در سه حالت مختلف:

شکل (۸) نمایانگر تغییر مکان ماکزیمم سازه در ۵ گره

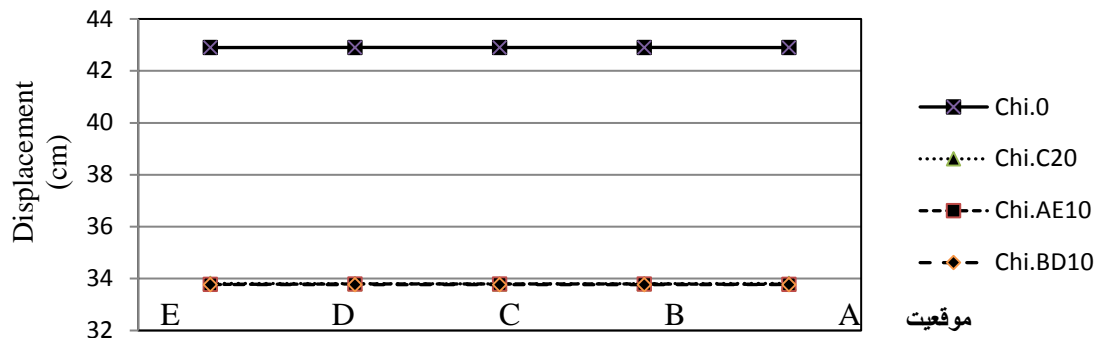
مشخص شده در نمونه‌های ACE5، BCD5 و C15 در شرایط بدون



شکل ۸ - نمودار تغییر مکان سازه نمونه‌های ACE5، BCD5 و C15 تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].

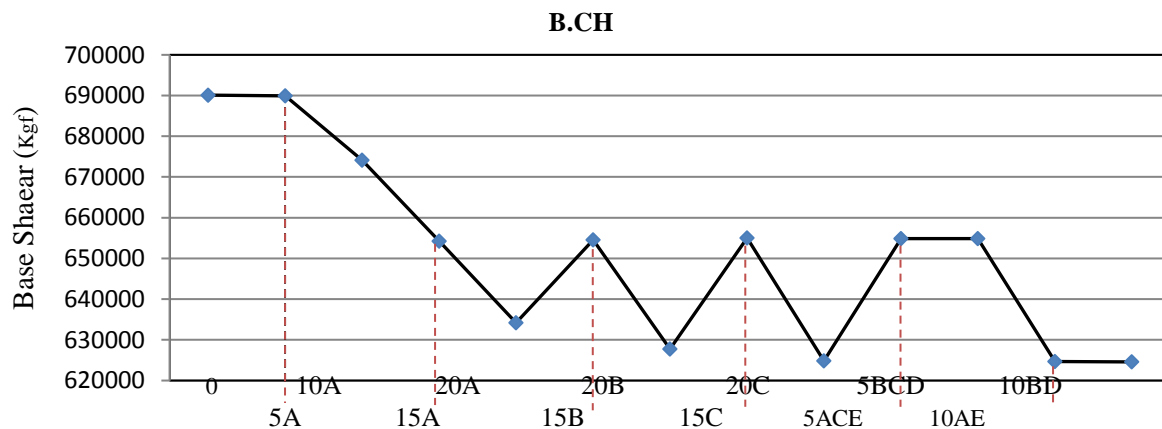
بدون میراگر و دارای میراگر در سه حالت مختلف :

شکل (۹) نمایانگر تغییر مکان ماکزیمم سازه در ۵ گره مشخص شده در نمونه‌های AE10، BD10 و C20 در شرایط

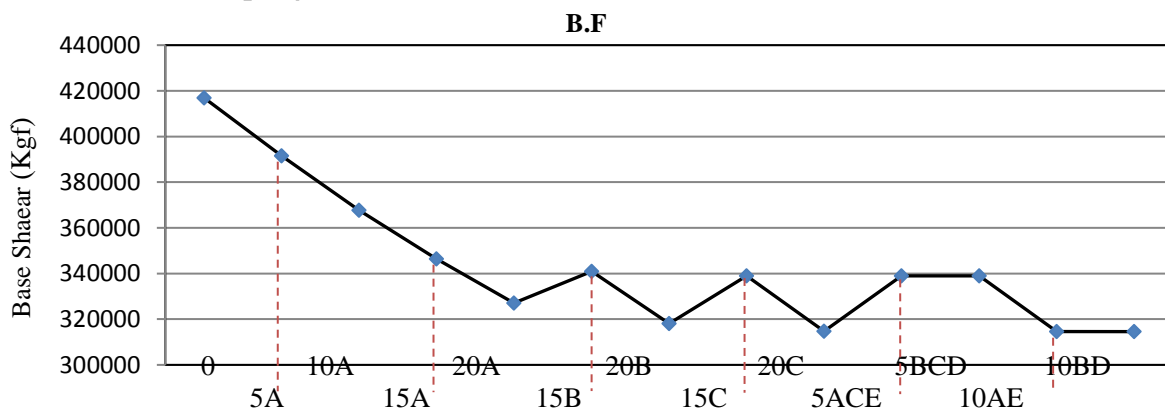


شکل ۹ - نمودار تغییر مکان سازه نمونه‌های AE10، BD10 و C20 تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].

اشکال (۱۰) و (۱۱) نمایانگر نمودارهای برش پایه ماکزیمم سازه تحت رکورد زلزله های مختلف :



شکل ۱۰ - نمودار برش پایه نمونه‌ها تحت رکورد زلزله Chi-Chi [۷].



شکل ۱۱ - نمودار برش پایه نمونه‌ها تحت رکورد زلزله Friuli [۷].

حالت مطلوب سوق دهد. لازم به ذکر است استفاده از ادوات کنترل هوشمند دارای هزینه بسیار بالا می باشد ضمن اینکه در صورت قطعی یا وجود اختلالات در جریان برق هنگام زلزله، سیستم های فعال کاملاً از کار می افتند.

یکی از دغدغه های مهم در امر مقاوم سازی به حداقل رساندن ناهماهنگی های معماری است. همانگونه که ذکر گردید میراگر جرمی را می توان در بام یا کف طبقات نصب نمود. بنابراین می توان بدون نیاز به اعمال تغییرات در معماری داخلی ساختمان و تنها با نصب میراگر در بام، سازه را در مقابل زلزله های متوسط مقاوم نمود. بطور کلی تفاوت محتوای فرکانسی زمین لرزه با فرکانس سازه اصلی باعث کاهش مطلوبیت میراگر جرمی می گردد. از سوی دیگر با توسعه تغییر شکل های پلاستیک در زلزله های شدید سختی تغییر کرده و تناسب آن با پارامتر های میراگر به هم می ریزد. به تعبیری تنظیم بین سازه و میراگر مختل می گردد لذا کارایی TMD نیز از بین خواهد رفت.

۶- منابع

- [1]- Wilson, e.M.d, (2005), "Fuzzy Control of Magnetorheological Damper for Vibration Reduction of Seismically Excited Structure, Chapter2: Control of Civil Structures", Thesis for Ph.D, Florida State University, Florida.
- [2]- Den Hartog, J.P., (1956), "Mechanical Vibrations.", 4th edition, McGraw-Hill, NY, Pages 57-78.
- [3]- Frohrib, D.A., Jennige, R.L., (1977), "Alternative Tuned Absorbers for Steady State Vibration Control of Tall Structures.", J. Mech. Des., ASME, Volume 77, Issue 8, Pages 1-7.
- [4]- Zahrai, S.M., Ghannadi Asl, A., (2008), "Seismic Performance of TMDs in Improving the Response of MRF Buildings.", Scientia Iranica, Volume 18, Issue 1, Pages 94-105.
- [5]- Mohtat, A., Zahrai, S.M., Dehghan-Niri, E., (2007), "Design Methodology for MTMD Performance Optimization Using a New Criterion for Robustness, COMPDYN.", European conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering, Rethymno, Greece, Pages 135-141.
- [6]- Warburton, G.B., (1982), "Optimum Absorber Parameters for Various Combinations of Response and Excitation Parameters.", Earth Eng Struct Dyn, Volume 10, Issue 7, Page 381-401.

در کلیه نمودارها محور افقی نشان دهنده محورهای آکس سازه و محور قائم بیان کننده مقادیر تغییر مکان و برش پایه سازه می باشد.

۵- نتیجه گیری

همانطور که در نمودارها قابل ملاحظه است، تغییرمکان سیستم تاحد زیادی به شکل رکورد زلزله ورودی وابسته است. در صورت الحاق میراگر به محورهای خارج از مرکز پلان، الحاق میراگر هرچند می تواند تغییر مکان سازه را کاهش دهد ولی به علت وقوع پیچش در سازه، تغییر مکان سازه می تواند در گره های دیگر افزایش یابد. بطوریکه با الحاق میراگر جرمی در محور A از میزان تغییر مکان در این محور کاسته می شود. با افزایش درصد جرمی میراگر در محور A کاهش تغییر مکان محسوس تر می باشد. ولی از طرف دیگر در محور E شاهد افزایش تغییر مکان می باشیم. در صورت الحاق میراگر در مرکز پلان، تغییر مکان سازه کاهش می یابد. با قرارگیری میراگر در محور میانی سازه، با توجه به تقارن سازه تمامی محورها کاهش تغییرمکان یکسانی را تجربه می کنند.

با توجه به نمودارهای تغییرمکان و برش پایه نمونه های ACE5، BCD5 و C15 ملاحظه گردید رفتار سازه از لحاظ تغییرمکان و برش پایه دقیقاً منطبق برهم می باشد. این مطلب برای نمونه های AE10، BD10 و C20 نیز صادق می باشد. می توان نتیجه گرفت که با ثابت نگه داشتن درصد جرمی و استفاده از دو یا سه میراگر بجای استفاده از یک میراگر در مرکز پلان، می توان از تمرکز جرم در محل خاصی از سازه جلوگیری کرد. با مقایسه نمودارهای برش پایه مشخص گردید که الحاق میراگر برش پایه سازه را کاهش می دهد. با افزایش درصد جرمی میراگر، تغییر مکان و برش پایه سازه کاهش می یابد. اصولاً میراگر جرمی بعد از وقوع اولین ماکزیمم بار ورودی (شتاب) فعال شده و توان فرو نشاندن حداکثرهای بعدی را دارا است. از آنجا که کلیه مشخصه های میراگر جرمی در طول زمان لرزش ثابت می ماند، عملکرد این میراگرها به صورت غیر فعال است. در اثراختلالات تنظیم ممکن است TMD اثر نا مطلوب نیز داشته باشد.

لذا پیشنهاد می گردد جهت مهار لرزه ای سازه ها در زلزله هایی با شدت های زیاد از سامانه های چندگانه شامل ادوات میراگر غیر فعال نظیر TMD به همراه تجهیزات مستهلک کننده فعال مانند جرم های فعال (Active Mass) یا کشنده های فعال (Active Tendon) استفاده گردد. ادوات میراکننده فعال یا هوشمند دارای قابلیت برنامه ریزی بوده و می توانند به صورت خودکار با ایجاد یک سیستم نیرویی مانع بر هم خوردن تعادل سازه و فرو ریختن آن شوند. تدارک سیستم کنترلی فعال برای سازه های با رفتار غیر خطی مستلزم دانستن مدل واقعی رفتار مصالح و اجزاء و طراحی آنها است که با استفاده از اطلاعات ارسالی توسط سیستم مونتورینگ وضعیت سازه را ارزیابی نموده، با فرمانهای مناسب برای عملگرهای مکانیکی، سازه را به سمت

[۷]- محمدی اصل نژاد، میراسلام (۱۳۹۳) "تاثیر موقعیت و در صد جرمی میراگر TMD در پلان بر عملکرد لرزه ای سازه‌های بتن آرمه"، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر.

Archive of SID

The effect of position and percentage of TMD in plan on seismic performance of concrete structures

Saeid Javaherzadeh

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shabestar Branch, Shabestar, Iran

Mireslam Mohammadi aslnejad

Master of Science in Civil Engineering- Structures, Islamic Azad University, Shabestar Branch, Sabestar, Iran

ABSTRACT

The most modern control techniques to improve the structural behavior of structures against unconventional forces of wind and earthquake. In this regard, researchers using innovative tools such as tuned mass damper (TMD) to reduce seismic vibrations. This paper examines the effect of the position and the percentage by mass damper TMD plan on seismic performance of concrete structures. For this purpose, a concrete structures eighteen floor, are selected. The TMD are uniformly distributed along the height of the structural models. Nonlinear dynamic time history analyses are used to determine the add TMD related response reduction. The results show an reduction in the dynamic response, by increasing damping ratios of structural systems caused by add TMD. Therefore, such systems can be used to retrofit buldings and improve their behavior under earthquake used.

Key words: tuned mass damper, percentage mass damper, time history analyses, position mass damper