بررسی عملکرد میراگرهای ضربه‌ای به منظور به کارگیری در سیستم‌های کاهنده‌ی ارتعاشات سازه‌ها

عارف افشارفر[۱]
محمد گل‌محمدی[۲]

چکیده:
در این پژوهش ارتعاشات آزاد سیستمی مجهز به میراگرضربه‌ای تک جرمی با در نظر گرفتن مدل برخورد هرتز مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، نوسانگر مجهز به میراگر ضربه‌ای با استفاده از جرم، فنر و میراگرهای ویسکوز مدلسازی شده است. به عنوان مثالی کاربردی، ساختمان پنج طبقه‌ای در نرم‌افزار سیمولینک مدل‌سازی و رفتار دینامیکی آن مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه کارایی میراگر ضربه‌ای به منظور کاهش ارتعاشات سازه‌ای ساختمان پنج طبقه، مورد بررسی قرارگرفته است. اثرات به کارگیری سه میراگر ضربه‌ای یکسان در طبقات اول، سوم و پنجم، مورد بررسی قرار گرفته است. نشان داده شده است که با استفاده از میراگر ضربه‌ای کاهش دامنه‌ی نوسانات در طبقات بالاتر از سرعت بیشتری برخوردار می‌باشد. در نهایت با تعریف پارامتری تحت عنوان اثربخشی، اثرات استفاده از میراگر ضربه‌ای در هر طبقه مورد سنجش قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: میراگر ضربه‌ای، ارتعاشات غیرخطی، دینامیک سازه، اثربخشی.

۱-دانشجوی دکتری مکانیک طراحی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، aref.afsharfard@gmail.com.
۲-عضو هیئت علمی، مجتمع آموزش عالی تربت حیدریه، تربت حیدریه.

۱ – مقدمه

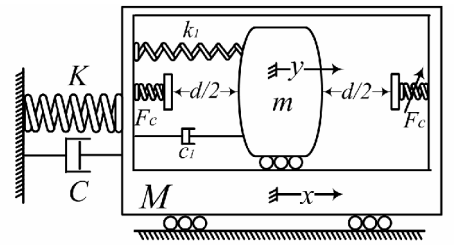
یکی از مهمترین ویژگیهای دینامیک ارتعاش- برخورد، کنترل غیر پویای سیستمهای مرتعش است. کاربرد میراگرهای ضربه‌ای به منظور جذب ارتعاشات سازه‌ها، ماشین آلات و ساختمانهای مرتفع، از چندین سال پیش مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی میراگر ضربه‌ای به جرم کوچک و آزادی اطلاق می گردد که درون یک محفظه ی متصل به یک سیستم نوسان کننده قرار گرفته و می توان از آن برای سرکوب ارتعاشات آزاد و اجباری آن سیستم استفاده نمود. استفاده از میراگرهای ضربه‌ای از فوایدی بارز به نسبت سایر روش‌های سنتی در کاهش ارتعاشات برخوردار است. از آن جمله می‌توان به ارزان بودن، قدرت بالای کاهش ارتعاشات، کارکرد در شرایط محیطی سخت و قابلیت عملکرد در دامنه‌ی وسیعی از ارتعاشات را نام برد [۱-۲]. تاکنون کاربرد میراگرهای ضربه‌ای به منظور کاهش ارتعاشات پره‌های توربین و ماشین‌های ابزار مورد بررسی قرار گرفته است [۳-۷]. علاوه بر این نشان داده شده است که میراگرهای ضربه‌ای عملکردی به مراتب بهتر از میراگرهای سنتی ارتعاشات از خود نشان می‌دهند [۸].

اگرچه عملکرد میراگرهای ضربه‌ای در پژوهش‌های پیشین مورد توجه قرار گرفته است، اما هنوز خلاء اطلاعاتی در این قسمت احساس می‌شود [۹-۱۰]. به عنوان مثال در اغلب پژوهش‌های گذشته، رفتار دینامیکی نوسانگرهای مجهز به میراگر ضربه‌ای به کمک معادلات خطی بررسی شده‌اند، حال آنکه سیستم‌های ارتعاش- برخورد غالبا رفتار شدیدا غیرخطی از خود نشان می‌دهند. بنابراین غالب بررسی‌های پیشین نمی‌توانند رفتار میراگرهای ضربه‌ای را با دقت توصیف نمایند. علاوه بر مورد ذکر شده، تا کنون استفاده از چندین میراگر ضربه‌ای به منظور کاهش دامنه‌ی ارتعاشات سازه‌های چند طبقه مورد استفاده قرار نگرفته است. با توجه به موارد ذکر شده، هدف اصلی از ارائه‌ی این پژوهش، بررسی اثرات استفاده از میراگرهای ضربه‌ای غیرخطی در کاهش دامنه‌ی ارتعاشات یک سازه‌ی چند طبقه می‌باشد.

در این پژوهش، رفتار غیرخطی نوسانگر مجهز به میراگر ضربه‌ای تک جرمی با استفاده از جرم، فنر و میراگر ویسکوز مدل‌سازی شده و معادلات دینامیکی حاکم بر رفتار این سیستم استخراج گردیده است. به عنوان نمونه‌ای کاربردی، رفتار دینامیکی یک سازه‌ی پنج طبقه مجهز به سه میراگر ضربه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به منظور نمایش تاثیر استفاده از میراگرهای ضربه‌ای بر نوسانات هر یک از طبقات، مفهومی جدید تحت عنوان "اثربخشی" ارائه گردیده است.

۲ – میراگر ضربه‌ای

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، در نوسانگر مجهز به میراگر ضربه‌ای، جرم ضربه زننده با m ، فاصله‌ی خالی با d ، جرم اصلی با K سفتی نوسانگر اصلی با K و میراگر ویسکوز با C نشان داده شده است. علاوه بر این میراگر ویسکوز c_1 اتلاف انرژی جرم ضربه زننده در حرکت بین ضربه گیرها و فنر خطی k_1 رفتار نوسانی جرم ضربه زننده در بین ضربه‌گیرها را مدلسازی می‌نماید.



شکل۱: نمایش شماتیک نوسانگر مجهز به میراگر ضربه‌ای تک جرمی.

همانطور که در شکل (۱) نمایش داده شده است، واضحست که هنگامی‌که $|y\text{-}x|<d/2$ جرم ضربه زننده آزادانه مابین ضربه‌گیرها حرکت می‌کند. هنگامی‌که برخورد صورت می‌پذیرد ($|y\text{-}x|\geq d/$) نیروی آنی برخورد (F_c) به هردو جرم اعم از ضربه زننده و اصلی وارد می‌شود. لذا معادله‌ی حاکم بر حرکت دوجرم ضربه‌زننده و اصلی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{cases} M\ddot{x}+C\dot{x}+Kx=k_1(y-x)+c_1(\dot{y}-\dot{x})+F_c \\ m\ddot{y}+k_1(y-x)+c_1(\dot{y}-\dot{x})+F_c=0 \end{cases} \quad (۱)$$

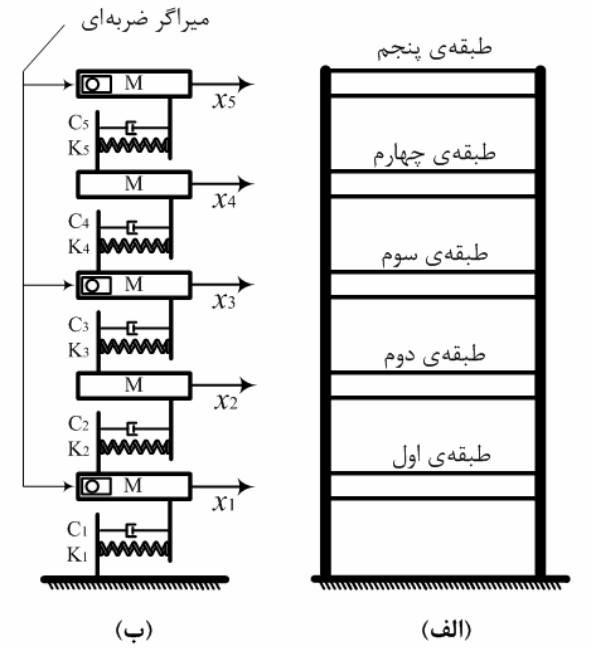
در این پژوهش، برخورد الاستیک بین جرم ضربه زننده و ضربه‌گیر به وسیله‌ی مفهوم برخورد هرتز مدل‌سازی شده است. بر اساس مدل برخورد هرتز، رابطه‌ی بین نیروی برخورد و جابجایی نسبی اجرام در حال برخورد را می‌توان به صورت زیر نوشت [۱۱،۴]:

$$F_c=K_{Hz}(y-x)^{3/2} \quad (۲)$$

در رابطه‌ی فوق K_{Hz} سفتی برخورد هرتز و متغیرهای y و x به ترتیب جابجایی جرم ضربه‌زننده و جرم اصلی می‌باشد.

۳ – مدل‌سازی رفتار دینامیکی ساختمان پنج طبقه مجهز به میراگرهای ضربه‌ای

ساختمانی پنج طبقه مطابق شکل (۲- الف) را در نظر بگیرید. ارتعاشات عرضی این ساختمان را می‌توان با استفاده از پنج جرم، فنر و میراگر ویسکوز مطابق شکل (۲- ب) مدل نمود. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، در هریک از طبقات اول، سوم و پنجم یک میراگر ضربه‌ای قرار داده شده است. در این قسمت به دنبال آن خواهیم بود که اثر استفاده از میراگرهای ضربه‌ای را بر ارتعاشات آزاد ساختمان را مورد بررسی قرار دهیم.



شکل۲: نمایش شماتیک ساختمان پنج طبقه‌ی مجهز به میراگرهای ضربه‌ای تک جرمی.

۴ – اثر به‌کارگیری میراگر ضربه‌ای بر ارتعاشات سازه

مقادیر درنظر گرفته شده برای پارامترهای طراحی ساختمان و میراگرهای ضربه‌ای به کار گرفته شده در آن در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. در این پژوهش، فاصله‌ی خالی بین ضربه‌گیرها (d) معادل ۲۰ سانتی‌متر درنظر گرفته شده است.

جدول ۱: پارامترهای سیستم اصلی نوسان‌کننده

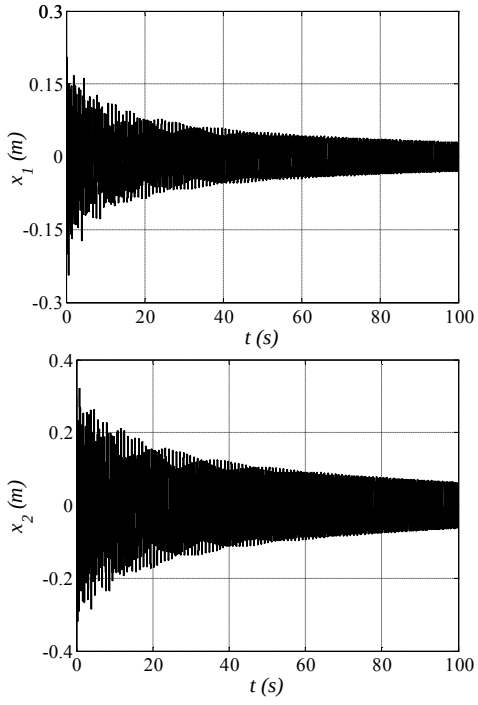
شماره‌ی طبقه (n)	ساختمان پنج طبقه		
	M (Kg)	C (N.s/m)	K (N/m)
۱	۱	۰/۳۰	۳۰۰۰
۲	۱	۰/۲۵	۲۵۰۰
۳	۱	۰/۲۰	۲۰۰۰
۴	۱	۰/۱۵	۱۵۰۰
۵	۱	۰/۱۰	۱۰۰۰

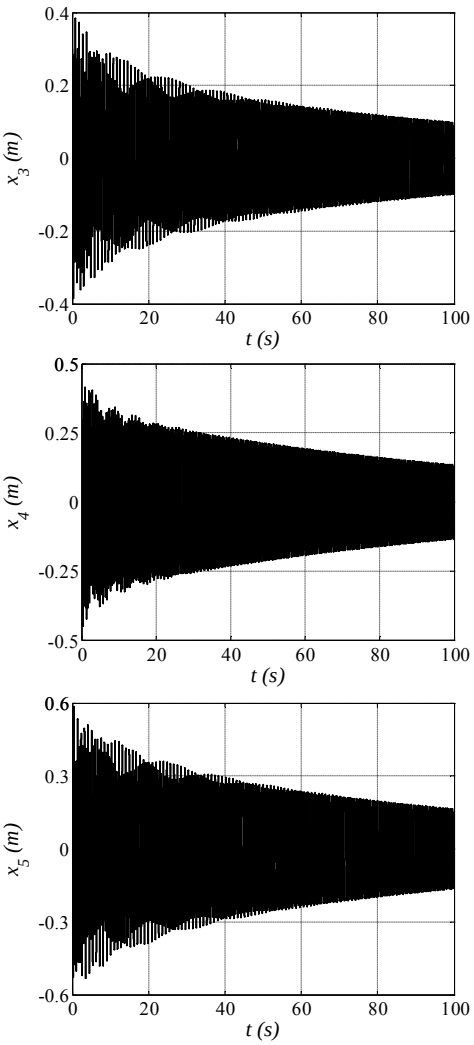
جدول ۲: پارامترهای میراگرهای ضربه‌ای

شماره‌ی طبقه (n)	میراگرهای ضربه‌ای			
	m (Kg)	K_{Hz} (MN/m$^{1.5}$)	k_1 (N/m)	c_1 (N.s/m)
۱	۰/۲۰	۱۰	۱	۰/۰۲
۲	-	-	-	-
۳	۰/۲۰	۱۰	۱	۰/۰۲
۴	-	-	-	-
۵	۰/۲۰	۱۰	۱	۰/۰۲

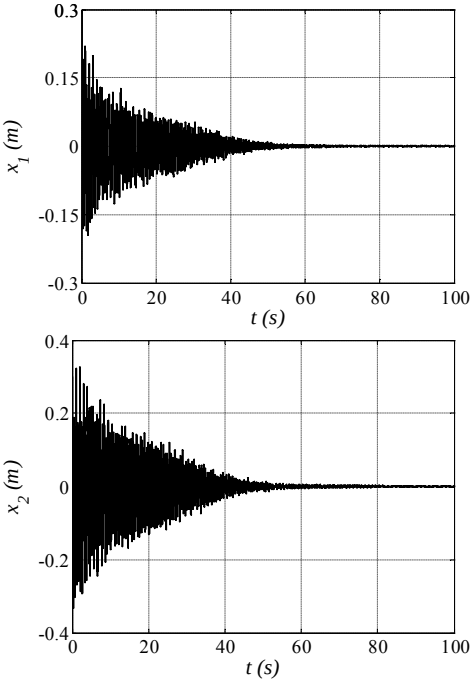
ساختمان مورد بررسی در این پژوهش، با استفاده از جعبه ابزار SimMechanics در نرم‌افزار MATLAB مدلسازی شده است. ارتعاشات آزاد طبقات ساختمان با در نظر گرفتن شرایط اولیه‌ی x_1=0.3m و x_2= x_3= x_4= x_5=0 و بدون حضور میراگرهای ضربه‌ای در شکل (۳) نشان داده شده است.

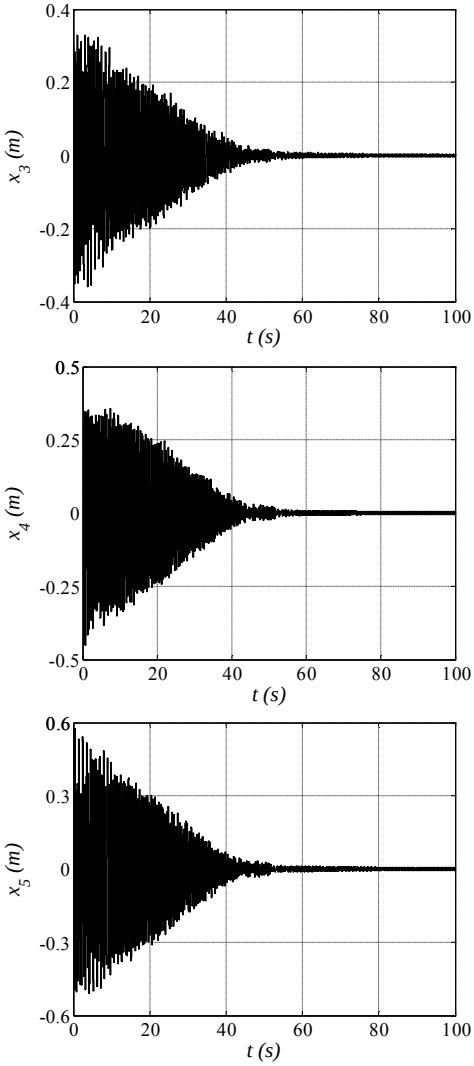
ارتعاشات آزاد طبقات ساختمان با در نظر گرفتن شرایط اولیه‌ی x_1=0.3m و x_2= x_3= x_4= x_5=0 و با حضور میراگرهای ضربه‌ای در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل به صورت واضح مشهود است، میراگرهای ضربه‌ای به خوبی توانسته‌اند دامنه‌ی ارتعاشات تمامی طبقات را کاهش دهند.





شکل۳: نوسانات آزاد طبقات ساختمان پنج طبقه بدون حضور میراگر ضربه‌ای.





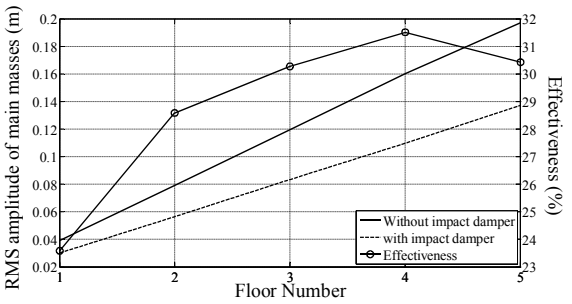
شکل۴: نوسانات آزاد طبقات ساختمان پنج طبقه با حضور میراگر ضربه‌ای.

به منظور نمایش اثر استفاده از میراگرهای ضربه‌ای در کاهش ارتعاشات هریک از طبقات پارامتری تحت عنوان "اثربخشی" (Effectiveness) به صورت زیر تعریف شده است.

$$\text{Effectiveness}_{(\%)} = \frac{\text{RMS}_{\substack{\text{without}\\ \text{impact}\\ \text{damper}}} - \text{RMS}_{\substack{\text{with}\\ \text{impact}\\ \text{damper}}}}{\text{RMS}_{\text{without impact damper}}} \times 100 \qquad (۳)$$

ریشه دوم میانگین (RMS) دامنه‌ی ارتعاشات هریک از طبقات ساختمان بدون میراگر ضربه‌ای و در حضور میراگر ضربه‌ای در شکل (۵) نشان داده شده است. علاوه بر این، در این شکل، مقادیر اثربخشی برای هر طبقه نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، میراگرهای ضربه‌ای می‌توانند ریشه دوم میانگین دامنه‌ی نوسانات طبقات را تا حداکثر ۳۱/۵ درصد کاهش دهند. البته باید توجه نمود که بهره‌گیری از میراگرهای ضربه‌ای در

طبقات اول، سوم و پنجم، اثربخشی بیشتری را در طبقات چهارم و پنجم نتیجه خواهد داد.



شکل۵: ریشه دوم میانگین دامنه‌ی نوسانات طبقات ساختمان و میزان اثربخشی در هر طبقه.

۵ – نتیجه گیری

میراگرهای ضربه‌ای، سیستم‌هایی کارا می‌باشند که به صورت قابل توجه ارتعاشات سیستم‌های مکانیکی را کاهش می‌دهند. در این پژوهش، میراگر ضربه‌ای تک جرمی به منظور کاهش ارتعاشات یک نمونه سازه‌ی کاربردی مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش از مدل برخورد هرتز برای بیان رفتار الاستیک برخورد اسفاده شده است. بدین منظور میراگر ضربه‌ای با استفاده از فنرهای غیرخطی در ضربه‌گیرها مدل‌سازی شده است. در این پژوهش نشان داده شده است که استفاده از سه میراگر ضربه‌ای در طبقات فرد یک ساختمان پنج طبقه، دامنه‌ی ارتعاشات تمامی طبقات سازه را کم خواهد کرد. در نهایت نشان داده شده است که انتخاب طبقات فرد ساختمان برای نصب میراگرهای ضربه‌ای، اثربخشی بیشتری بر نوسانات طبقات بالایی سازه خواهد داشت.

۶ – منابع

1. Dehghan-Niri E, Zahrai SM, Rod AF Numerical studies of the conventional impact damper with discrete frequency optimization and uncertainty considerations. Scientia Iranica (0)
2. Duncan MR, Wassgren CR, Krousgrill CM (2005) The damping performance of a single particle impact damper. Journal of Sound and Vibration 286 (1–2):123-144
3. Dimentberg MF, Iourtchenko DV (2004) Random Vibrations with Impacts: A Review. Nonlinear Dynamics 36 (2):229-254. doi:10.1023/B:NODY.0000045510.93602.ca
4. Ibrahim RA (2009) Vibro-impact dynamics : modeling, mapping and applications. Lecture notes in applied and computational mechanics,, vol 43. Springer Verlag, Berlin
5. Popplewell N, Liao M (1991) A simple design procedure for optimum impact dampers. Journal of Sound and Vibration 146 (3):519-526
6. Zhang D-G, Angeles J (2005) Impact dynamics of flexible-joint robots. Computers & Structures 83 (1):25-33
7. Zinjade PB, Mallik AK (2007) Impact damper for controlling friction-driven oscillations. Journal of Sound and Vibration 306 (1-2):238-251
8. Blazejczyk-Okolewska B (2001) Analysis of an impact damper of vibrations. Chaos, Solitons & Fractals 12 (11):1983-1988
9. Afsharfard A, Farshidianfar A (2011) An efficient method to solve the strongly coupled nonlinear differential equations of impact dampers. Archive of Applied Mechanics. doi:10.1007/s00419-011-0605-1
10. Afsharfard A, Kolahan F (2012) Reliability-based Design for Damping Behavior of Inner Mass Single-unit Impact Dampers. Quality and Reliability Engineering International:1-7. doi:10.1002/qre.1400
11. Goldsmith W (2002) Impact : the theory and physical behaviour of colliding solids. Dover Publications, Mineola, N.Y.