



جلد ۱، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴

تأثیر افزایش میرایی مؤثر بر تاب‌آوری لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن‌آرمه مجهز به میراگرهای ویسکوز هوشمند

محمد ارجمند^{*}

۱- دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران - دانشگاه بزرگمهر قائنات - قائن - ایران.

چکیده

با توجه به اهمیت تاب‌آوری لرزه‌ای، در طراحی و ارزیابی عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله، به‌کارگیری راهکارهایی برای افزایش این تاب‌آوری به یک ضرورت در مهندسی سازه تبدیل شده است. در این میان، استفاده از میراگرهای ویسکوز به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته، اما بررسی کمی تأثیر افزایش میرایی مؤثر بر شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای، به‌ویژه در سازه‌های بتن‌آرمه، هنوز به‌طور دقیق انجام نشده است. در این پژوهش، تأثیر افزایش میرایی مؤثر بر تاب‌آوری لرزه‌ای یک قاب خمشی بتنی بررسی شده است. به این منظور، یک قاب خمشی بتنی چهارطبقه با سه دهانه در نرم‌افزار اپنسیس، مدل‌سازی شده و میراگرهای ویسکوز با توزیع یکنواخت در تمامی طبقات آن تعبیه شده‌اند. ضرایب میرایی میراگرها در دو حالت مختلف به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که میرایی مؤثر قاب به ترتیب ۱۵ و ۳۵ درصد باشد. تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی بر روی مدل انجام گرفته و شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای قاب در هر سطح از میرایی محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان میرایی مؤثر، شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای قاب نیز افزایش می‌یابد. این موضوع، بیانگر آن است که استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها داشته باشد. افزایش میرایی نه تنها موجب کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای سازه، از جمله تغییر مکان‌های نسبی و شتاب‌های طبقات، می‌شود، بلکه به بهبود

تاب‌آوری لرزه‌ای سازه در برابر زلزله نیز کمک می‌کند. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به عنوان یک مبنای علمی برای طراحی بهینه سیستم‌های میراگر ویسکوز در سازه‌های بتن‌آرمه مورد استفاده قرار گیرد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵

واژه‌های کلیدی:

تاب‌آوری لرزه‌ای، میراگر ویسکوز، بتن‌آرمه، خسارت.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: m.arjmand@buqaen.ac.ir



۱. مقدمه

نقش بسزایی در بهبود این شاخص داشته باشد، زیرا کاهش انرژی ورودی از زلزله، منجر به کاهش نیازهای سازه‌ای و بهبود عملکرد لرزه‌ای می‌شود.

در این پژوهش، یک قاب خمشی بتن‌آرمه چهارطبقه با سه دهانه، در نرم‌افزار اپنسیس، مدل‌سازی شده و از میراگرهای ویسکوز برای افزایش میرایی مؤثر سازه استفاده شده است. ضرایب میرایی میراگرها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که میزان میرایی مؤثر قاب به ترتیب ۱۵ و ۳۵ درصد باشد. سپس با انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، تأثیر افزایش میرایی بر شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای قاب، بررسی شده است. هدف این پژوهش، ارائه درکی بهتر از ارتباط میان میرایی مؤثر و تاب‌آوری لرزه‌ای در سازه‌های بتن‌آرمه و ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی استفاده از میراگرهای ویسکوز در طراحی لرزه‌ای این نوع سازه‌ها است.

نتایج این تحقیق می‌تواند در طراحی سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله و بهبود استانداردهای طراحی لرزه‌ای مؤثر باشد. همچنین، یافته‌های این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی برای مطالعات آینده در زمینه بهینه‌سازی توزیع و مقدار میرایی میراگرهای ویسکوز در سازه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

۲. میراگر ویسکوز

میراگرهای ویسکوز سیال به طور گسترده برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های جدید و همچنین سازه‌های موجود که نیاز به بهسازی دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. در یک سیستم پیستون-سیلندر، حرکت خطی میله پیستون، باعث جریان یافتن روغن سیلیکونی از طریق حفره‌های میکروسکوپی شده و آن را از یک محفظه به محفظه دیگر منتقل می‌کند [۱۳]. در این مکانیزم، که مشابه یک دمپر عمل می‌کند، انرژی جنبشی حاصل از حرکت میله پیستون به گرما تبدیل شده و در نتیجه، انرژی مستهلک می‌شود. نیروی مقاوم ایجاد شده توسط میراگرهای ویسکوز، همواره در خلاف جهت حرکت سازه است. این نیرو به سرعت نسبی بین دو انتهای میراگر وابسته بوده و می‌توان آن را با رابطه (۱) بیان کرد:

$$F_d = c_d |\dot{u}_d|^\alpha \operatorname{sgn}(\dot{u}_d) \quad (1)$$

که در آن F_d نیروی میراگری را نشان می‌دهد. $\dot{u}_d$ بیانگر سرعت نسبی بین دو انتهای میراگر در امتداد محور آن است. c_d ضریب میرایی را نشان می‌دهد. α توان سرعت میرایی مورد استفاده را مشخص می‌کند و تابع علامت با $\operatorname{sgn}(\cdot)$ نمایش داده می‌شود.

سازه‌های بتن‌آرمه، به دلیل استحکام و دوام مناسب، به طور گسترده در ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، عملکرد لرزه‌ای این سازه‌ها به‌ویژه در برابر زلزله‌های شدید، می‌تواند با چالش‌هایی همراه باشد. یکی از مشکلات اساسی در این نوع سازه‌ها، میزان محدود میرایی ذاتی آن‌ها است که موجب افزایش پاسخ‌های دینامیکی، نظیر تغییر مکان‌های نسبی طبقات و شتاب‌های لرزه‌ای می‌شود. در سال‌های اخیر، برخی پژوهش‌ها به توسعه و استفاده از مصالح نوآورانه، سیستم‌های اتلاف انرژی اضافی و روش‌های اصلاح پاسخ لرزه‌ای برای ساختمان‌های جدید و موجود اختصاص یافته‌اند تا قابلیت بهره‌برداری و عملکرد آن‌ها پس از زلزله تضمین شود و همچنین هزینه‌های تعمیر کاهش یابد [۱، ۲، ۳]. به این منظور، در سال‌های اخیر، به جای استفاده از روش‌های مقاوم‌سازی سنتی، از روش‌های کاهش اثرات زلزله، مانند جداسازی لرزه‌ای، سیستم‌های اتلاف انرژی اضافی و سیستم‌های کنترل فعال استفاده شده است. در این راستا، استفاده از سیستم‌های کنترل ارتعاشات، از جمله میراگرهای ویسکوز، به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش اثرات مخرب زلزله و افزایش تاب‌آوری لرزه‌ای سازه‌ها پیشنهاد شده است.

تاکنون پژوهش‌های آزمایشگاهی و تحلیلی متعددی بر روی میراگرهای ویسکوز غیرخطی انجام شده است [۴، ۵]. زیرا این میراگرها به راحتی در عمل قابل استفاده بوده و می‌توان آن‌ها را به سادگی با یک دمپر خطی یا غیرخطی، مدل‌سازی کرد. بر اساس این تحقیقات، کاربرد این میراگرها در بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، از جمله ساختمان‌های اداری، صنعتی و بیمارستانی اجرا شده است [۲، ۳، ۶، ۷].

تاب‌آوری لرزه‌ای سازه‌ها، به عنوان یک مفهوم جامع در مهندسی زلزله، نشان‌دهنده توانایی یک سازه در حفظ عملکرد خود پس از وقوع زلزله و کاهش خسارات سازه‌ای و غیرسازه‌ای است. شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای، معمولاً بر اساس معیارهایی مانند میزان تغییر مکان‌های ماندگار، آسیب‌پذیری سازه‌ای و سرعت بازگشت به شرایط بهره‌برداری تعریف می‌شود. در دهه‌های گذشته، پژوهش‌های متعددی در زمینه تاب‌آوری لرزه‌ای انجام شده است که شامل چارچوب کلی ارزیابی تاب‌آوری [۸]. تخمین کمی زمان بازیابی، زیان‌های اقتصادی و میزان خسارات [۹] و چارچوب‌های کمی برای تحلیل تاب‌آوری در برابر بلایا برای سیستم‌های سازه‌ای مختلف [۱۰، ۱۱]. با استفاده از روش‌های مختلف بهسازی لرزه‌ای می‌شود. مطالعات پیشین نشان داده است که افزایش میرایی مؤثر می‌تواند

ضریب میراگر مؤثر برای یک سازه که توسط میراگرهای ویسکوز غیرخطی در یک سیستم چند درجه آزادی تأمین می‌شود، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد. با این حال، این رابطه تنها مد ارتعاشی اول را در نظر می‌گیرد [۱۵].

$$\xi_{eff} = \xi_0 + \frac{T^{2-\alpha} \times \sum_j \eta_j \times C_j \times \lambda \times \cos^{1+\alpha} \theta_j \times (\phi_j - \phi_{j-1})^{1+\alpha}}{(2\pi)^{3-\alpha} \times A^{1-\alpha} \sum_i M_i \cdot \phi_i^2} \quad (2)$$

۳. تاب‌آوری لرزه‌ای

یک توصیف جامع از تاب‌آوری به دلیل رویکردهای متمایز اتخاذ شده توسط سیمارو و همکاران [۱۰] و برونو و راینهورن [۸] توسعه یافته است. در این چارچوب، توانایی یک لرزه‌ای را می‌توان به صورت گرافیکی، به عنوان مساحت نرمال شده زیر تابع عملکرد $Q(t)$ تعریف کرد (نگاه کنید به شکل ۱) که به صورت ریاضی، توسط رابطه (۴) بیان می‌شود.

$$R_i = \int_{t_{NE,j}}^{t_{NE,j} + t_{RE}} Q(t) dt \quad (4)$$

$Q(t)$ یک فرایند تصادفی متغیر است. برای یک رخداد، می‌تواند به صورت رابطه (۵) بیان شود (Bruneau and Reinhorn 2007):

$$Q(t) = 1 - L(I, T_{RE}) [H(t - t_{NE}) - H(t - (t_{NE} + T_{RE}))] \alpha_R f_{Rec}(t, t_{NE}, T_{RE}) \quad (5)$$

(α_I) که به اهمیت سازه و تأثیر آن بر دیگر سیستم‌ها بستگی دارد، ضرب می‌شود.

بسته به نوع سیستم و پاسخ آمادگی جامعه، می‌توان انواع مختلف توابع بازیابی را انتخاب کرد، به عنوان مثال، سه توابع بازیابی احتمالی مطابق رابطه (۷) به صورت خطی، نمایی [۱۶]، مثلثاتی [۱۷] بیان می‌شود.

$$f_{rec}(t, T_{RE}) = \left(1 - \frac{t - t_{0E}}{T_{RE}}\right) \quad \text{خطی:} \quad (7)$$

تحلیل غیرخطی سازه با استفاده از نرم‌افزار اپنسیس انجام شده است [۱۴] که در آن میراگرهای ویسکوز غیرخطی با استفاده از المان "twoNodeLink" و مصالح "ViscousDamper" مدل‌سازی شده‌اند. این پیاده‌سازی شامل یک مدل ماکسول است.

در اینجا، T به دوره طبیعی مد ارتعاشی بنیادی اشاره دارد، C_j ضریب میراگری میراگرهای ویسکوز غیرخطی در طبقه j ام است، و η_j تعداد میراگرهای ویسکوز غیرخطی با ضریب میراگری یکسان C_j در هر طبقه را نشان می‌دهد. جابجایی‌های مد اول طبقات j ام و $j-1$ ام با شماره‌های ϕ_j و ϕ_{j-1} به ترتیب نشان داده می‌شود. میراگرهای ویسکوز غیرخطی در طبقه j ام زاویه θ_j دارند. A دامنه پاسخ سقف مربوط به ϕ_j است که به یک مقدار نرمال شده در سقف تبدیل می‌شود. λ عاملی است که می‌توان آن را با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کرد، و M_i نمایانگر جرم طبقه- i ام است.

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1+0.5\alpha)}{\Gamma(2+\alpha)} \quad (3)$$

در اینجا، Γ نمایانگر تابع گاما است.

$H()$ تابع هویساید، α_R ضریب بازیابی، T_{LC} زمان کنترل سیستم، T_{RE} زمان بازیابی رخداد E ، t_{NE} زمان بروز رخداد E و I شدت رخداد است.

تابع خسارت $L(I, T_{RE})$ می‌تواند به عنوان یک تابع افزودنی، از دو بخش اصلی خسارت‌های مستقیم (L_D) و خسارت‌های غیرمستقیم (L_I) تشکیل شود [۱۰].

$$L(I, T_{RE}) = L_D + \alpha_I L_I \quad (6)$$

خسارت‌های مستقیم (L_D) بلافاصله هنگام وقوع رویداد ایجاد می‌شود، در حالی که خسارت‌های غیرمستقیم به زمان وابسته هستند. در رابطه ۶، خسارت‌های غیرمستقیم با یک ضریب وزنی)

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: m.arjmand@buqaen.ac.ir

سیستم دال کف ۲۰/۳ سانتی متری است. طول دهانه ستون‌ها ۶/۰۹۶ متر و ارتفاع طبقه اول ۴/۵۷ و سایر طبقات ۳/۹۶ متر است. بار مرده و زنده طراحی به ترتیب ۸۵۵ و ۲۴۵ کیلوگرم بر مترمربع است. مقاومت مشخصه بتن در ستون‌ها و تیرها ۳۴/۵ مگاپاسکال و مقاومت کششی آرماتورها ۴۱۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. در این مدل، اثرات سه بعدی و نیز عدم قطعیت در مدل‌سازی در نظر گرفته شده است [۱۸]. همچنین حالت‌های زوال چرخه‌ای که در فروریزش سازه‌ای مؤثر هستند، با استفاده از المان‌های توسعه داده شده توسط ایبارا و کراوینکلر [۱۹] و نیز ایبارا و همکاران [۲۰] مدل‌سازی شده است. در این راستا از نرم افزار *OpenSees* [۱۴] استفاده شده است.

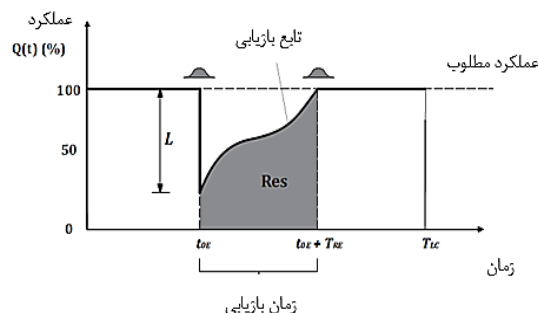
مشخصات سازه‌ای قاب خمشی مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است و همچنین در شکل ۲، مشخصات قاب خمشی ۴ طبقه شامل هندسه و ابعاد قاب‌ها نمایش داده شده است [۱۸]. در این قاب، اثر *P-Delta* با اعمال فرم ترکیبی از بارهای ثقلی بر روی قاب‌های خمشی جانبی و بارهای ثقلی بر روی المان‌های ستون مجاور و با استفاده از یک ستون تکیه‌گاهی، با اتصال مفصلی در پای ستون مدل‌سازی شده است.

$$f_{rec}(t) = \exp \left[-(t - t_{0E}) \times \frac{(\ln 2000)}{T_{RE}} \right]$$

نمایی:

$$f_{rec}(t) = 0.5 \times \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi(t - t_{0E})}{T_{RE}} \right] \right\}$$

مثلاثی:



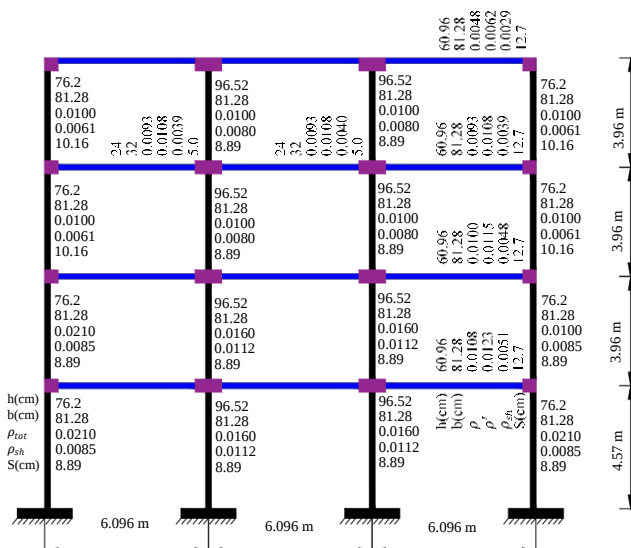
شکل ۱: نمودار تاب‌آوری در طول زمان بازیابی (مأخذ: [۱۰]).

۴. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از قاب خمشی بتن‌آرمه ۴ طبقه که توسط دیرلین و هسلتون [۱۸] طراحی گردیده، استفاده شده است. این ساختمان براساس آیین‌نامه‌های IBC(۲۰۰۳)، ASCE7-02(۲۰۰۲) و ACI 318-02(۲۰۰۲) با در نظر گرفتن تمامی ضوابط سختی، مقاومت، طرح ظرفیت و جزئیات مربوطه طراحی شده است. این مدل دارای

جدول ۱: مشخصات سازه‌ای قاب‌های ۴ طبقه [۱۸].

قاب خمشی بتنی (طبقه)	ضریب برش پایه طراحی (C _s) (g)	زمان تناوب مد اول ارتعاش (T ₁) (s)	تیرها f _c (MPa)	ستون‌ها f _c (MPa)	آرماتورها f _y (MPa)
۴	۰/۰۹۲	۱/۱۲	۳۴/۴۵	۳۴/۴۵	۴۱۳/۴



شکل ۲: مشخصات قاب خمشی بتن‌آرمه ۴ طبقه.

طبقات) محاسبه شود. شتاب طیفی (S_a) عموماً به‌عنوان پارامتر اندازه‌گیری شدت حرکت زمین اعمال می‌شود. در این رساله، منحنی‌های شکنندگی سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای ساختمان‌های قاب خمشی بتن‌آرمه ۴ طبقه با استفاده از داده‌های ارزیابی HAZUS در حالات مختلف خسارت تولید شده‌اند. در HAZUS، مقدار حدی دریافت طبقات، برای حالات مختلف خسارت، برای انواع مختلف ساختمان‌ها در نظر گرفته شده است. جدول ۳ مقدار حدی دریافت طبقات را در چهار سطح خسارت برای یک ساختمان اداری ۴ طبقه بر اساس توصیه HAZUS نشان می‌دهد.

جدول ۳: حدود دریافت برای ساختمان قاب خمشی اداری ۴ طبقه [۲۱]

نوع ساختمان	نسبت دریافت بین‌طبقه‌ای در سطح خسارت			
	توضیحات	جزئی	متوسط	گسترده
ساختمان قاب				
CIL	خمشی	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۲۰۰
	بتنی			
	میان‌مرتب			

منحنی‌های صدک‌های ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ تحلیل IDA قاب خمشی ۴ طبقه در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

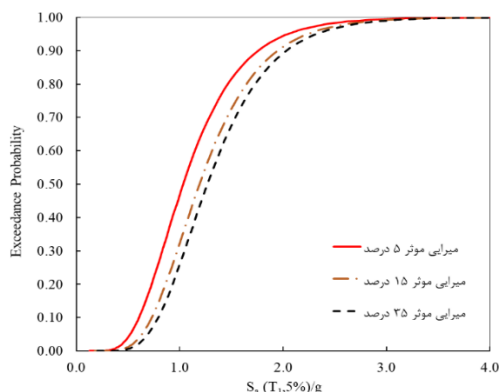
برای بررسی تأثیر میرایی بر تاب‌آوری، میراگرهای ویسکوز به صورت یکنواخت در تمامی طبقات قاب نصب شده است. مقادیر ضریب میرایی و توان سرعت میرایی میراگرهای ویسکوز قرار گرفته در طبقات و دهانه وسطی قاب خمشی بتنی ۴ طبقه برای ایجاد میرایی مؤثر ۱۵ و ۳۵ درصد ارائه گردیده است. برای هر حالت، تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت مجموعه‌ای از تحریک‌های زمین انجام گردیده است. در نهایت، پاسخ لرزه‌ای قاب، شامل دریافت نسبی طبقات، شاخص تاب‌آوری، برای سطوح مختلف میرایی استخراج و مقایسه گردید.

جدول ۲: مشخصات میراگرهای ویسکوز برای ساختمان قاب خمشی اداری ۴ طبقه با میرایی‌های مؤثر مختلف

توان سرعت میرایی	ضریب میرایی میراگر	میرایی مؤثر
(mm/sec)	(kN.sec/mm)	(درصد)
۰/۳	۳/۹۰	۱۵
۰/۳	۱۱/۷۲	۳۵

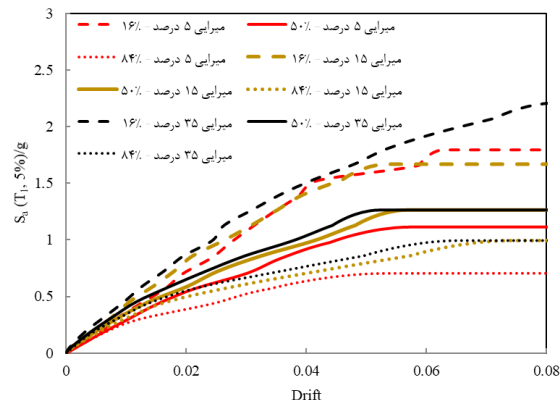
۵. بحث و نتایج

آنالیز دینامیکی افزایشی (IDA) با استفاده از تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی انجام می‌شود تا نیاز لرزه‌ای استخراج شود. نیاز لرزه‌ای بر اساس شدت حرکت زمین انتخاب شده (I) تعیین می‌شود و می‌تواند با استفاده از پاسخ‌های سازه‌ای لرزه‌ای (مانند دریافت



شکل ۴: منحنی‌های شکنندگی برای قاب خمشی ۴ طبقه با میرایی مؤثر مختلف در سطح خسارت کامل.

برای ارزیابی خسارت لرزه‌ای، لازم است سناریوهای احتمالی خطر را با توجه به شدت زلزله در محل ساختمان مورد مطالعه در نظر گرفت که شامل زلزله‌های با بزرگی کم و یا با بزرگی بیشتر با احتمال وقوع پایین است. در این راستا، سناریوهای لرزه‌ای با احتمال تجاوز ۱۰ درصد و ۲ درصد در طول ۵۰ سال انتخاب شده‌اند. جدول ۳ نسبت هزینه تعمیرات سازه‌ای و غیرسازه‌ای را بر حسب درصد هزینه‌های تعویض ساختمان برای ساختمان اداری بر اساس HAZUS نشان می‌دهد.



شکل ۳: منحنی‌های صدک‌های ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ تحلیل IDA قاب خمشی ۴ طبقه.

اینجا در شکل ۴، منحنی‌های شکنندگی برای قاب خمشی ۴ طبقه در سطح خسارت کامل نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که احتمال شکست در هر مقدار داده شده از شتاب طیفی برای قاب خمشی ۴ طبقه، دارای میرایی مؤثر ۳۵ درصد در سطح خسارت کامل، نسبت به قاب خمشی ۴ طبقه دارای میرایی ۵ و ۱۵ درصد کمتر است.

جدول ۴: نسبت هزینه‌های تعمیر ساختمان به هزینه‌های ساختمان جایگزین (به درصد) (مأخذ: [۲۱])

Cs/Is (%)				اجزا
کامل	گسترده	متوسط	جزئی	
۱۹/۲	۹/۶	۱/۹	۰/۴	اجزای سازه‌ای
۴۷/۹	۱۴/۴	۴/۸	۰/۹	اجزای غیرسازه‌ای حساس به شتاب
۳۲/۹	۱۶/۴	۳/۳	۰/۷	اجزای غیرسازه‌ای حساس به دررفت

زمان بازیابی مربوط به دو شدت خطر لرزه‌ای و شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای قاب خمشی ۴ طبقه واقع در لس‌آنجلس، تحت سناریوهای زلزله مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۵: مقادیر زمان بازیابی و شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای در برابر سطوح مختلف خطر برای قاب خمشی ۴ طبقه

شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای			زمان بازیابی (روز)	احتمال فراگذشت در ۵۰ سال (%)
میرایی مؤثر ۳۵ درصد	میرایی مؤثر ۱۵ درصد	میرایی مؤثر ۵ درصد		
۰/۹۵۸۹	۰/۹۲۴۶	۰/۸۵۳۴	۹۰	۱۰
۰/۸۲۴۲	۰/۷۱۱۵	۰/۵۹۴۱	۴۸۰	۲

2015.

[3]. A. Ras, and N. Boumechra, "Seismic Energy Dissipation Study of Linear Fluid Viscous Dampers in Steel Structure Design", Alexandria Engineering Journal, vol. 55, No. 3, pp. 2821–32, 2016.

[4]. D. A. Lee, D. Taylor, T. Douglas P, and D. Taylor, "Viscous Damper Development and Future Trends", The structural design of tall buildings, vol. 10, No. 5, pp. 311–20, 2001.

[5]. S. Sorace, and G. Terenzi, "Advanced Steel Construction Fluid Viscous Damper-Based Seismic Retrofit Strategies of Steel Structures: General Concepts and Design Applications", http://ascjournal.com/index.php?option=com_djcatalog2&view=item&id=20&Itemid=562, 2009.

[6]. H. Cetin, A. Ersin, and O. Baki, "Optimal Design and Distribution of Viscous Dampers for Shear Building Structures under Seismic Excitations", Frontiers in Built Environment 5, 2019.

[7]. k. Miyamoto, A. S J Gilani, and R. S Glasgow, "Seismic Retrofit of a Hospital Building with Supplementary Damping Devices", In New Horizons and Better Practices, pp. 1–10, 2007.

[8]. M. Bruneau, and R. Andrei, "Exploring the Concept of Seismic Resilience for Acute Care Facilities", Earthquake spectra, vol. 23, No. 1, pp. 41–62, 2007.

[9]. M. Bruneau, "A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities", Earthquake spectra, vol. 19, No. 4, pp. 733–52, 2003.

[10]. G. P. Cimellaro, R. Andrei M, and B. Michel, "Framework for Analytical Quantification of Disaster Resilience", Engineering structures, vol. 32, No. 11, pp. 3639–49, 2010.

[11]. A. Titi, and F. Biondini, "Resilience of Concrete Frame Structures under Corrosion", In 11th International Conference on Structural, Safety & Reliability, pp. 16–20, 2013.

[12]. C. Christopoulos, and A. Filiatrault, "Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic", IUSS Press, Pavia, Italy, 2006.

[13]. M. C. Constantinou, and M. D. Symans, "Experimental Study of Seismic Response of Buildings with Supplemental Fluid Dampers", The Structural Design of Tall Buildings, vol. 2, No. 2, pp. 93–132, 1993.

[14]. S. Mazzoni, M. Frank, S. Michael H, and F. Gregory L, "OpenSees Command Language Manual", Pacific earthquake engineering research (PEER) center, vol. 264, No. 1, pp. 137–58, 2006.

[15]. a. a. Seleemah, and M. C. Constantinou, "Investigation of Seismic Response of Buildings with Linear and Nonlinear Fluid Viscous Dampers", 1997.

[16]. C. Kafali, and M. Grigoriu, "Rehabilitation Decision Analysis", In ICOSSAR'05: Proceedings of the Ninth

مطابق جدول ۴ سازه با میرایی مؤثر ۳۵ درصد، دارای شاخص تاب‌آوری ۰/۹۵۸۹، در سطح خطر ۱۰ درصد در ۵۰ سال و شاخص تاب‌آوری ۰/۸۲۴۲ در سطح خطر ۲ درصد در ۵۰ سال است. سازه با میرایی مؤثر ۳۵ درصد، دارای شاخص تاب‌آوری بیشتری نسبت به سایر سازه‌ها می‌باشد.

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر میزان میرایی مؤثر بر تاب‌آوری لرزه‌ای یک قاب خمشی بتن‌آرمه چهارطبقه با استفاده از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی و منحنی‌های شکنندگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش میرایی مؤثر سازه، به‌ویژه از ۵ درصد به ۱۵ و ۳۵ درصد، تأثیر قابل توجهی در کاهش احتمال وقوع خسارت در سطوح مختلف عملکردی دارد. این امر، نشان می‌دهد که استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند به طور مؤثری، نیازهای سازه‌ای را کاهش داده و عملکرد لرزه‌ای را بهبود بخشد.

تحلیل منحنی‌های شکنندگی حاکی از آن است که با افزایش میرایی مؤثر، احتمال عبور از آستانه‌های خسارت کاهش می‌یابد، به طوری که در سطوح بالاتر میرایی، احتمال وقوع آسیب‌های شدید به میزان چشمگیری کمتر می‌شود. این کاهش احتمال خسارت، منجر به افزایش شاخص تاب‌آوری لرزه‌ای می‌شود، چرا که سازه قادر خواهد بود پس از وقوع زلزله با خسارت کمتر و در زمان کوتاه‌تری به شرایط بهره‌برداری بازگردد.

یافته‌های این پژوهش بر اهمیت استفاده از سیستم‌های میرایی در طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بتن‌آرمه تأکید دارد. به‌ویژه، استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند به عنوان یک راهکار کارآمد برای کنترل ارتعاشات و بهبود تاب‌آوری لرزه‌ای در نظر گرفته شود. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی برای تحقیقات آینده در زمینه بهینه‌سازی پارامترهای میرایی و توزیع بهینه میراگرها در سازه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

[1]. M. Arjmand, H. Naderpour, and A. Kheyroddin. "Optimal Control Based on Damage of Concrete Moment-Resisting Frames Retrofitted with Nonlinear Viscous Dampers", Structures 63(February): 106387. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106387>, 2024.

[2]. T. Guo, Tong, X. Jia, X. Weijie, and D. Zhiqiang, "Seismic Upgrade of Existing Buildings with Fluid Viscous Dampers: Design Methodologies and Case Study", Journal of Performance of Constructed Facilities, vol. 29, No. 6, 4014175,

International Conference on Structural Safety and Reliability, IOS Press Amsterdam, The Netherlands, 2005.

[17]. S. E. Chang, and SH. Masanobu, "Measuring Improvements in the Disaster Resilience of Communities", *Earthquake Spectra*, vol. 20, No. 3, pp. 739–55, 2004.

[18]. G. Deierlein, and H. Curt B, "Developing Consensus Provisions to Evaluate Collapse of Reinforced Concrete Buildings", In *US-Japan DaiDaiToku/NEES Workshop on Seismic Response of Reinforced Concrete Structures*, pp. 7–8, 2005.

[19]. L. F. Ibarra, and H. Krawinkler, "Global Collapse of Frame Structures under Seismic Excitations. PEER Report 2005/06", University of California at Berkeley, California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2005.

[20]. L. F. Ibarra, M. Ricardo A, and K. Helmut, "Hysteretic Models That Incorporate Strength and Stiffness Deterioration", *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 34, No. 12, pp. 1489–1511, 2005.

[21]. HAZUS, Multi-Hazard Loss Estimation Methodology, and Multi-hazard Loss Estimation Methodology, "Earthquake Model HAZUS-MH MR5 Technical Manual", Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, 2020.

[22]. A., and F. Biondini, "Resilience of Concrete Frame Structures under Corrosion", In *11th International Conference on Structural, Safety & Reliability*, pp. 16–20, 2013.

The Effect of Increased Effective Damping on the Seismic Resilience of Reinforced Concrete Moment Frames Equipped with Smart Viscous Dampers

Mohammad Arjmand^{1*}

1- Faculty of Engineering - Department of Civil Engineering- Bozormehr Qaenat University - Qaen – Iran.

Abstract

Given the importance of seismic resilience in the design and performance evaluation of structures under earthquakes, implementing strategies to enhance this resilience has become a necessity in structural engineering. Among these strategies, the use of viscous dampers has gained attention as an effective method for controlling structural seismic responses. However, a quantitative investigation into the effect of increased effective damping on the seismic resilience index (particularly in reinforced concrete structures) has not yet been thoroughly conducted. This research investigates the impact of increased effective damping on the seismic resilience of a reinforced concrete moment frame. To achieve this, a four-story, three-bay reinforced concrete moment frame was modeled in the OpenSees software, and viscous dampers with a uniform distribution were installed on all floors. The damping coefficients of the dampers were adjusted in two different scenarios to achieve effective damping ratios of 15% and 35% for the frame, respectively. Nonlinear dynamic analyses were performed on the model, and the seismic resilience index of the frame was calculated for each damping level. The results indicate that the seismic resilience index of the frame increases with increasing effective damping. This suggests that the use of viscous dampers can significantly improve the seismic performance of structures. Increasing damping not only reduces the seismic responses of the structure, including story drifts and floor accelerations, but also helps improve the seismic resilience of the structure against earthquakes. The findings of this research can serve as a scientific basis for the optimal design of viscous damper systems in reinforced concrete structures.

Keywords: Seismic Resilience, Viscous Damper, Reinforced Concrete, Damage.