

تخمین رابطه RS- μ -TS-TB برای سازه مجهز به جداساز لرزه‌ای به کمک الگوریتم فراابتکاری ABC

سیداحمدرضا میربد

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
a.mirbod@eng.ui.ac.ir

حسین تاجمیری یاحی

استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
tajmir@eng.ui.ac.ir

مریم داعی

استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
m.daei@eng.ui.ac.ir

کلید واژه: سیستم جداساز لرزه‌ای، ضریب رفتار، شکل‌پذیری، الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی، رگرسیون غیرخطی

چکیده

در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه طراحی سازه‌های متکی بر سیستم جداساز لرزه‌ای این فرض لحاظ شده است و این انتظار نیز می‌رود که سازه تنها رفتار الاستیک خطی خواهد داشت و به آن اجازه ورود به محدوده‌ی غیرخطی داده نمی‌شود. اما با توجه به اینکه گاهی اوقات تغییر شکل‌های ایجاد شده در این نوع سازه‌ها در حالت غیرالاستیک از حد انتظار بیشتر است، بررسی دقیق‌تر رفتار غیرخطی این گونه سازه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در طی چند دهه گذشته محققان روابط متعددی برای بدست آوردن ضریب کاهش مقاومت بر حسب ضریب شکل‌پذیری و سایر پارامترهای موثر بر عملکرد لرزه‌ای سازه با پایه ثابت ارائه داده‌اند. از این رو در مطالعه حاضر به بررسی رابطه بین پارامترهای مذکور برای سازه متکی بر سیستم جداساز لرزه‌ای پرداخته شده است. بدین منظور یک مدل دو درجه آزادی در نرم افزار OpenSees ساخته شده و سپس به کمک الگوریتم بهینه‌یابی کلونی زنبور مصنوعی (ABC) مدل رگرسیون غیرخطی مناسب با رفتار این سازه پیشنهاد شده است.

مقدمه

سیستم جداگر لرزه‌ای با دو رویکرد کلی لغزشی و انعطاف‌پذیری به عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های کنترل غیرفعال، از سازه فوقانی در برابر مولفه افقی نیرو ناشی از زلزله محافظت می‌کند (Naeim and Kelly (1999)). در سازه‌های متکی بر جداساز دوره تناوب سازه نسبت به سازه با پایه ثابت افزایش می‌یابد که خود سبب کاهش قابل توجه برش پایه می‌گردد، هم چنین پاسخ شتاب در سازه‌های جداسازی شده به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

معیارهای کنونی موجود در آئین نامه‌ها برای طراحی سازه‌های جداسازی شده برپایه حفظ رفتار سازه فوقانی در محدوده الاستیک استوار است، بر همین مبنا در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه سازه‌های متکی بر سیستم جداساز لرزه‌ای این فرض لحاظ شده است که سازه تنها رفتار الاستیک خطی خواهد داشت، هرچند که این فرضیه با توجه به رویکرد جداگرها منطقی به نظر می‌رسد اما بر طبق مطالعات انجام شده (Ordonez et al., 2003)، (Kikuchi et al., 2008)، (Thiravechyan et al., 2012) با توجه اینکه گاهی اوقات تغییر شکل‌های ایجاد شده در سازه‌های متکی بر سیستم جداساز لرزه‌ای در حالت غیرالاستیک از حد انتظار بیشتر است، بررسی دقیق‌تر رفتار غیرخطی این گونه سازه‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

مطالعه عملکرد سازه‌های جداسازی شده با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه از چند جنبه قابل توجیه است، اول از این دیدگاه که احتمال وقوع زلزله‌ای با نیروی بیشتر از مقاومت طراحی یا اثر مولفه قائم نیرو در زلزله‌های نزدیک گسل وجود دارد، دوم اینکه در این حالت بدون استفاده از میراگر اضافی از میزان جابه‌جائی جداگر در سطح پایه کاسته می‌شود (Thiravechyan et al., 2012) و آخر از منظر اقتصادی، شاید با



استفاده از ظرفیت سازه فوقانی و کاهش هزینه ساخت این قسمت از سازه، بخشی از هزینه به‌کارگیری سیستم جداساز جبران و در نهایت موجب کاربرد فراگیرتر این نوع سیستم کنترل ارتعاش برای سازه‌های با سطح عملکرد پائین‌تر شود.

اولین بار (Newmark and Hall (1973)) رابطه‌ای بین ضریب کاهش مقاومت سازه و شکل‌پذیری و سایر پارامترهای موثر بر عملکرد لرزه‌ای سازه با پایه ثابت ارائه داده‌اند، در ادامه (Nassar and Krawinkler., 1991) رابطه مذکور را به‌صورت غیرخطی و هم‌چنین (Vidic et al., 1994) رابطه‌ای دو خطی برای سازه با پایه ثابت پیشنهاد کردند. تنها (Tsiavos et al., 2013) رابطه‌ای برای سازه متکی بر سیستم جداساز لغزشی پیشنهاد کرده‌اند.

از این رو در تحقیق حاضر برای دست‌یابی به رابطه‌ای بین ضریب کاهش مقاومت سازه R_p ، شکل‌پذیری سازه μ ، دوره تناوب سازه T_s ، دوره تناوب جداگر T_b ، با استفاده از نرم افزار کد باز OpenSees، کل سیستم به صورت دو درجه آزادی مدل شده‌است و به کمک آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی پاسخ سازه تحت رکورد زلزله مورد بررسی قرار گرفته‌است. برای مدل‌سازی تاثیر پارامترهای مورد بحث بر ضریب کاهش مقاومت از مدل رگرسیون غیرخطی استفاده شده‌است و در نهایت برای تعیین ضرایب رابطه نهایی از الگوریتم فرابتنکاری کلونی زنبور مصنوعی (ABC) استفاده شده‌است.

مدل‌سازی سازه و جداگر

در مطالعه حاضر مطابق شکل (۱) کل سازه جداسازی شده به صورت یک مدل دو درجه آزادی مدل‌سازی شده‌است، به طوری که بر طبق شکل‌های (۲ و ۳) به ترتیب سیستم جداساز لرزه‌ای به صورت الاستیک خطی و سازه فوقانی با فرض رفتار الاستوپلاستیک کامل مدل‌سازی شده‌اند. به کمک روابط (۱ و ۲) به ترتیب دوره تناوب سازه فوقانی و سیستم جداساز و از روابط (۳ و ۴) به ترتیب نسبت میرایی سازه فوقانی و سیستم جداساز حاصل می‌شود.

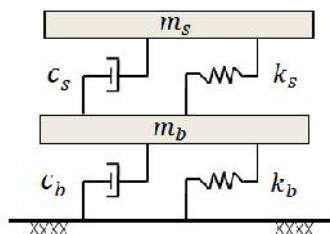
$$T_s = 2f \sqrt{\frac{m_s}{k_s}} \quad (1)$$

$$T_b = 2f \sqrt{\frac{m_b + m_s}{k_b}} \quad (2)$$

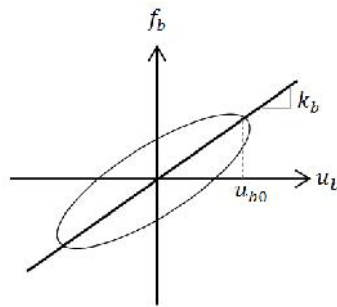
$$\zeta_s = \frac{c_s T_s}{4f m_s} \quad (3)$$

$$\zeta_b = \frac{c_b T_b}{4f (m_b + m_s)} \quad (4)$$

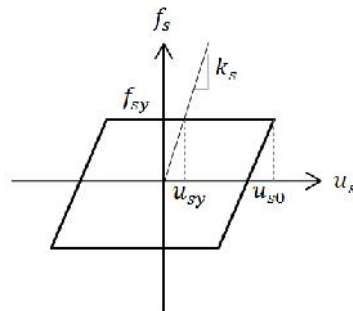
که در آن T_s دوره تناوب، m_s جرم، k_s سختی، ζ_s نسبت میرایی، c_s ضریب میرایی سازه فوقانی و T_b دوره تناوب، m_b جرم دال پایه، k_b سختی، ζ_b نسبت میرایی و c_b ضریب میرایی سیستم جداگر لرزه‌ای هستند.



شکل ۱: مدل دو درجه آزادی سازه و جداگر لرزه‌ای



شکل ۲: مدل رفتاری الاستیک خطی سیستم جداگر لرزه‌ای



شکل ۳: مدل رفتاری الاستیک-پلاستیک کامل سازه فوقانی

برای سیستم مفروض نسبت جرم دال پایه به جرم سازه $m_b/m_s = 0.1$ و نسبت میرایی سازه فوقانی ζ_s و سیستم جداگر ζ_b معادل $0.2/0$ در نظر گرفته شده است. هم‌چنین برای انجام آنالیز تاریخیچه زمانی از ۲۰ رکورد زلزله LA21 تا LA40، مقیاس شده منطقه لس آنجلس با احتمال بازگشت ۲٪ در ۵۰ سال استفاده شده است.

ضریب کاهش مقاومت سازه مطابق رابطه (۵)، نسبت مقدار نیرو بیشینه در حالت خطی به مقاومت تسلیم سازه را نشان می‌دهد.

$$R_s = \frac{f_{s0,el}}{f_{sy}} \quad (5)$$

که در آن R_s ضریب کاهش مقاومت، $f_{s0,el}$ نیرو بیشینه در حالت خطی، f_{sy} مقاومت تسلیم سازه هستند.

شکل‌پذیری سازه عبارتست از ظرفیت پذیرش تغییرشکل‌های خمیری که خود معیاری برای میزان خرابی سازه نیز می‌باشد، شکل‌پذیری همان‌طور که در رابطه (۶) آمده است، معادل با نسبت جابه‌جائی بیشینه در حالت غیرخطی به جابه‌جائی در نقطه تسلیم سازه است. در این‌جا منظور شکل‌پذیری از پیش تعیین شده (هدف) برای سازه فوقانی است.

$$\sim = \frac{u_{s0}}{u_{sy}} \quad (6)$$

که در آن \sim شکل‌پذیری، u_{s0} جابه‌جائی بیشینه در حالت غیرخطی و u_{sy} جابه‌جائی در نقطه تسلیم سازه هستند. مطابق رابطه (۷) که نشان دهنده‌ی رابطه‌ی بین شکل‌پذیری و ضریب کاهش مقاومت می‌باشد، اگر رفتار سازه فوقانی کاملاً الاستیک باشد یعنی برای $R_s = 1$ ، آن‌گاه $\sim = 1$ خواهد شد و اگر $R_s > 1$ باشد، شکل‌پذیری $\sim > 1$ می‌شود.

$$\sim = \frac{R_s \cdot u_{s0}}{u_{s0,el}} \quad (7)$$

که در آن \sim شکل پذیری، R_s ضریب کاهش مقاومت، u_{s0} جابه‌جائی بیشینه در حالت غیرخطی و $u_{s0,el}$ جابه‌جائی بیشینه سازه در حالت رفتار الاستیک هستند.

الگوریتم فراابتکاری ABC

نحوه فعالیت دسته جمعی و جستجوگرایانه زنبورها محققان زیادی را مجذوب خود کرده است، به نحوی که بر همین مبنا چندین الگوریتم ارائه و توسعه داده شده است. الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی (ABC) اولین بار توسط (Karaboga (2005) ارائه شد، سپس نشان داده شد که نسبت به سایر الگوریتم‌های شناخته شده از جمله PSO، GA، و PS-EA عملکرد بهتری دارد. (Karaboga and Basturk (2006,2007))

مشابه سایر الگوریتم‌های برگرفته از طبیعت، الگوریتم ABC نیز رفتار کلونی زنبور عسل را البته نه به صورت دقیق مدل می‌کند. در این الگوریتم زنبورها به سه دسته کارگر، تماشاگر و پیش‌آهنگ تقسیم می‌شوند.

در ابتدا مجموعه‌ای از منابع غذایی (راه حل) به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. زنبورهای کارگر به منابع مراجعه کرده و میزان شهد آنها را محاسبه می‌کنند. سپس این زنبورها به کندو بازگشته و اطلاعات خود را با دیگر زنبورها (تماشاگران) به اشتراک می‌گذارند. در مرحله دوم بعد از تبادل اطلاعات، هر زنبور کارگر به سمت منبعی می‌رود که قبلاً دیده‌است و ممکن است براساس اطلاعات دیداری که از گام قبلی در حافظه خود سپرده است یک منبع جدید در همسایگی منبع قبلی انتخاب کند. در مرحله سوم تماشاگران با توجه به اطلاعاتی که از زنبورهای کارگر گرفته‌اند یک محدوده منبع غذایی را بر مبنای شهد آن ترجیح می‌دهند. بعد از رسیدن به محل ممکن است با توجه به اطلاعات دیداری یک منبع جدید را که در همان اطراف قرار دارد انتخاب کنند. زمانی که یک منبع پایان پذیرد یا ترک شود یک منبع جدید که به طور تصادفی توسط پیش‌آهنگان یافت شده‌است، جایگزین می‌شود. این چرخه تا برآورده شدن نیازها تکرار خواهد شد. در این مدل در هر چرخه حداکثر یک پیش‌آهنگ وجود دارد و تعداد زنبورهای کارگر و تماشاگران برابر است.

همان‌طور که بیان شد هر کدام از زنبورهای کارگر و یا تماشاگر ممکن است تغییراتی بر روی موقعیت منبع غذایی در حافظه خود ایجاد کنند و شایستگی آن را محاسبه کرده، در صورتی که میزان شایستگی از راه حل قدیمی بیشتر باشد، راه حل جدید انتخاب می‌گردد و راه حل قدیمی فراموش می‌شود، در غیر این صورت همان راه حل قدیمی باقی خواهد ماند. این تغییرات توسط رابطه (۸) بدست می‌آید.

$$v_{ij} = x_{ij} + W_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (8)$$

که در آن v منبع غذایی جدید، $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ ، پارامتر مربوط به بعد حرکت زنبورها در فضا، $k \in \{1, 2, \dots, NB\}$ ، $i \neq k$ و $W_{ij} \in random[-1, +1]$ و NB تعداد زنبورهای کارگر هستند.

در رابطه فوق با انتخاب یکی از ابعاد برای تمامی حل‌ها، جواب‌های جدید کنترل می‌شود. با توجه به میزان عدد تصادفی W_{ij} به جواب جدید نزدیک یا دور می‌شود و در نتیجه از قرارگیری در بهینه محلی اجتناب می‌شود. بعد از اتمام فرایند جستجو، زنبورهای تماشاگر اطلاعات هر کدام از زنبورهای کارگر را ارزیابی می‌کنند و با یک احتمال که متناسب است با میزان کیفیت شهد منبع، یکی از منابع غذایی را انتخاب می‌کنند. این احتمال مطابق رابطه (۹) حاصل می‌شود.

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (9)$$

که در این رابطه fit_i بر طبق رابطه (۱۰) میزان شایستگی حل موجود (میزان شهد منابع غذایی) و SN تعداد منابع غذایی (تعداد راه حل‌های موجود) هستند.

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f(x_i)} & , f(x_i) \geq 0 \\ 1+|f(x_i)| & , f(x_i) < 0 \end{cases} \quad (10)$$

که در این رابطه $f(x_i)$ تابع هدف مربوط به حل x_i می‌باشد.

در صورتی که یک منبع پایان پذیرد و یا کیفیت یک منبع غذایی مناسب نباشد، زنبور کارگر آن را رها کرده و به یک پیش آهنگ تبدیل می‌شود. این رفتار بدین صورت مدل می‌گردد که اگر شایستگی یک راه حل بعد از چندین تکرار (limit) بهبود نیابد، بدین معنی است که در یک بهینه محلی قرار داریم بنابراین آن نقطه حذف می‌شود و یک نقطه جدید به صورت تصادفی تولید می‌گردد.

مدل بهینه‌یابی پیشنهادی اول برای محاسبه ضریب رفتار سازه براساس شکل پذیری هدف یک سازه با مشخصات ثابت

در این مطالعه ابتدا با انتخاب دوره تناوب سازه فوقانی و جداگر به عنوان ورودی و با سایر مشخصات ثابت برای نیل به شکل پذیری هدف، کل سیستم تحت زلزله مذکور قرار گرفته و آنالیز تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی صورت گرفته و در نتیجه مقدار ضریب کاهش مقاومت سازه برای میانگین پاسخ سازه حاصل می‌شود. برای این کار از الگوریتم ABC استفاده شده به نحوی که ضریب کاهش مقاومت به عنوان متغیر تصمیم و رابطه (۱۱) به عنوان تابع هدف انتخاب شده است.

$$F(x) = \min \sum \left| \left(\frac{R_s \cdot u_{s0}}{u_{s0,el}} - \sim_{target} \right) \right| \quad (11)$$

که در آن \sim_{target} شکل پذیری هدف سازه فوقانی است.

مدل بهینه‌یابی پیشنهادی دوم برای تخمین رابطه R_s - μ - T_s - T_b

مدل رگرسیون غیر خطی

روش رگرسیون به بررسی وابستگی یک متغیر وابسته به یک یا چند متغیر مستقل می‌پردازد، اصطلاح خطی یا غیرخطی بودن وابسته توان پارامترهاست در نتیجه ممکن است مدل از نظر متغیرهای مستقل، خطی یا غیرخطی باشد. در اینجا نیز با توجه به نحوه‌ی تاثیر تغییرات پارامترها در ضریب کاهش مقاومت از مدل رگرسیون غیرخطی مطابق روابط (۱۲-۱۵) استفاده شده است.

$$f_1(x) = (x(1) \cdot T_s + x(2)) \wedge x(3) \quad (12)$$

$$f_2(x) = (\sim - 1) \wedge x(4) \quad (13)$$

$$f_3(x) = (x(5) \cdot T_b + x(6)) \wedge x(7) \quad (14)$$

$$f(x) = \frac{f_1(x) \cdot f_2(x)}{f_3(x)} + 1 \quad (15)$$

برای محاسبه ضرایب در مدل پیشنهادی مساله بصورت مساله بهینه‌یابی مدل‌سازی شده است، بدین ترتیب که تابع هدف به صورت رابطه (۱۶) و ضرایب $x(i)$ نیز به عنوان متغیر تصمیم تعریف شده‌اند.

$$F(x) = \min(\max \sum |f(x) - R_s|) \quad (16)$$

در نهایت فرمول مدنظر مطابق رابطه (۱۷) حاصل می‌شود، به طوری که در این رابطه‌ی ۳ قسمتی پارامترهای μ و \sim که خود تابعی از مقدار شکل پذیری هدف می‌باشند، براساس جدول (۱) بدست می‌آیند.

$$R_s = \begin{cases} \frac{(0.95T_s - 0.1)(\sim - 1)^r}{(2T_b + 0.1)} + 1 & \text{for } T_s \leq \frac{T_b}{2} \\ \frac{(0.22T_s + 0.4)^{1.1}(\sim - 1)^s}{(0.9T_b - 0.1)^{0.6}} + 1 & \text{for } \frac{T_b}{2} < T_s \leq 1.2 \left[\frac{(0.9T_b - 1)^{0.6}}{(\sim - 1)^{s-1}} \right]^{0.9} - 1.8 \\ \sim & \end{cases} \quad (17)$$

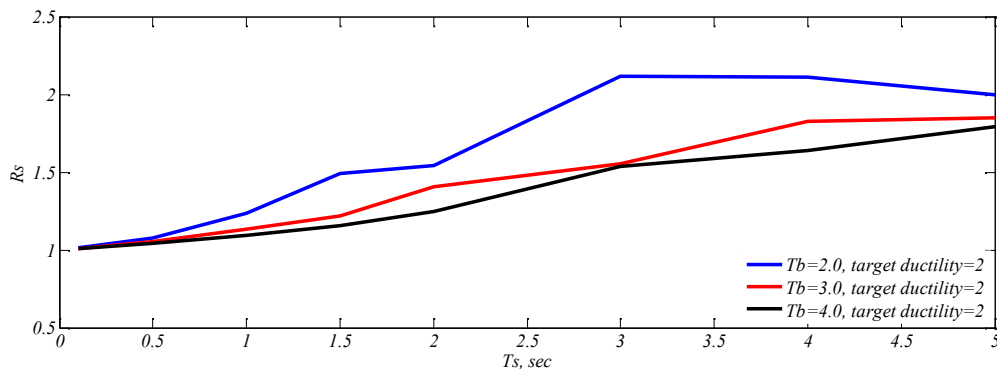


جدول ۱: برآورد مقادیر پارامترهای و

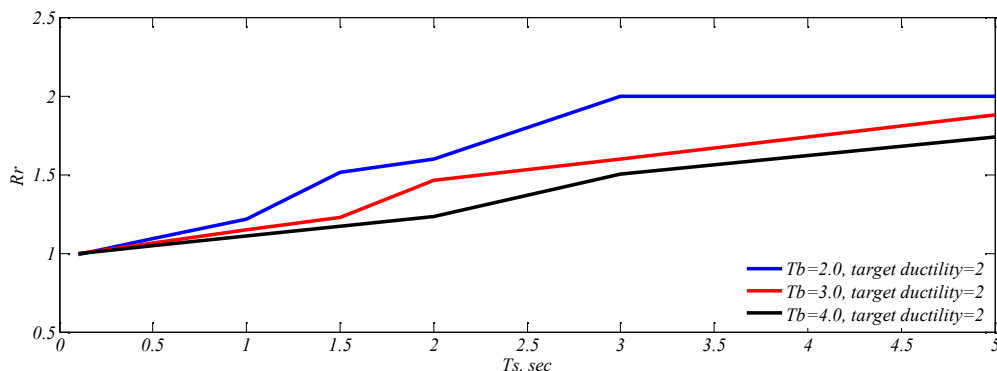
| μ | ۳ | ۴ |
|-------|------|------|
| | ۰.۶ | ۰.۵ |
| | ۱.۰۲ | ۰.۹۸ |

نتایج عددی

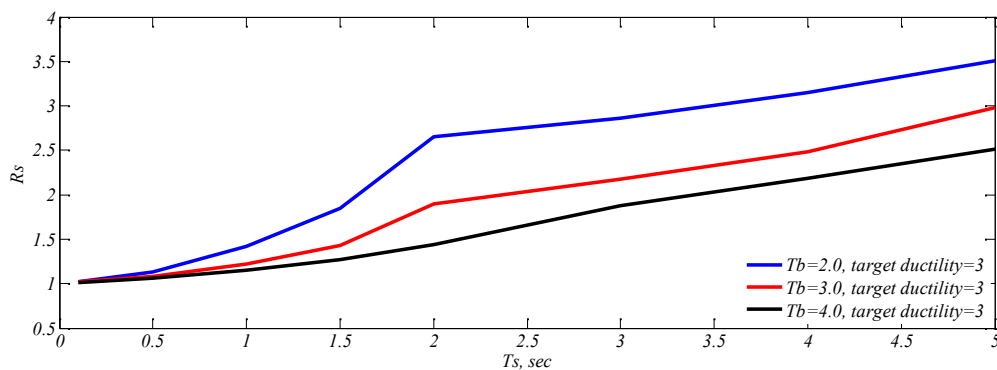
در ادامه برای مقایسه نتایج حاصل از مدل بهینه‌یابی اول (مقادیر واقعی) و نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی (۱۷)، به ترتیب شکل‌های (۴ و ۶) به ترتیب مبین تغییرات ضریب کاهش مقاومت بر حسب دوره تناوب سازه برای جداگر با مشخصات ثابت و شکل‌پذیری هدف ۲ و ۳ و براساس مدل بهینه‌یابی پیشنهادی اول هستند و همین‌طور شکل‌های (۵ و ۷) مقادیر حاصل از رابطه (۱۷) را نشان می‌دهند.



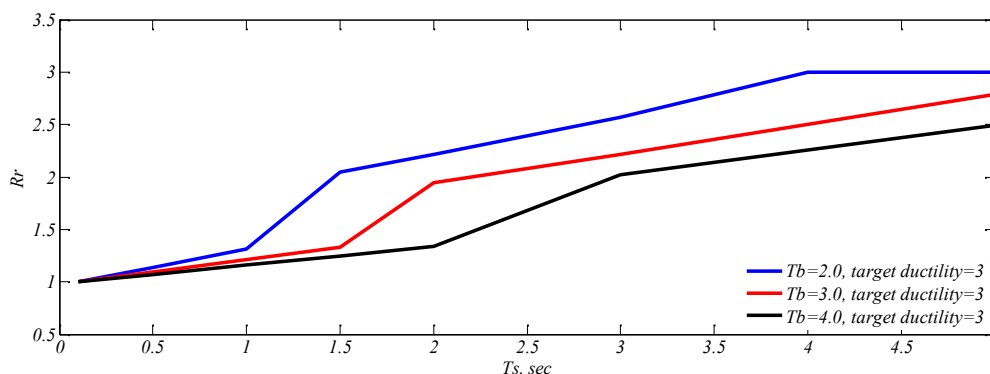
شکل ۴: ضریب کاهش مقاومت بر حسب دوره تناوب سازه فوقانی برای شکل پذیری ثابت ۲ و دوره تناوب مختلف جداساز (آنالیز مستقیم تاریخیچه زمانی و مدل بهینه‌یابی اول)



شکل ۵: ضریب کاهش مقاومت بر حسب دوره تناوب سازه فوقانی برای شکل پذیری ثابت ۲ و دوره تناوب مختلف جداساز (حاصل از رابطه ارائه شده)



شکل ۶: ضریب کاهش مقاومت بر حسب دوره تناوب سازه فوقانی برای شکل پذیری ثابت ۳ و دوره تناوب مختلف جداساز (آنالیز مستقیم تاریخیچه زمانی و مدل بهینه‌یابی اول)



شکل ۷: ضریب کاهش مقاومت بر حسب دوره تناوب سازه فوقانی برای شکل پذیری ثابت ۳ و دوره تناوب مختلف جداساز (حاصل از رابطه ارائه شده)

نتیجه گیری

با وجود اینکه در این پژوهش رفتار سیستم جداساز به صورت خطی مدل شد، ولی به لحاظ قرار گیری جداگر در پای سازه عملکردی متناسب با رفتار واقعی سیستم‌های جداساز خواهد داشت. با علم به این که ایجاد شکل پذیری، باعث ایجاد خسارت می شود اما لحاظ کردن شکل پذیری در طرح، معادل استفاده از ظرفیت مقاطع و مصالح به کار رفته در سازه است. فلسفه کاربرد جداساز هم ایجاد همان شکل‌پذیری اما به صورت موضعی در پای سازه است. ولیکن با توجه به اینکه بیان گردید ورود سازه متکی بر سیستم جداساز به محدوده رفتاری غیرخطی نیاز به کنترل و بررسی بیشتری دارد، می‌تواند برای درک بهتر و آسان‌تر تاثیر پارامترهای جداساز و سازه بر عملکرد کل سیستم و بدون نیاز به انجام آنالیز دینامیکی رابطه‌ای ارائه گردد. فرمول پیشنهادی که دقیقاً بین ضریب کاهش مقاومت، شکل پذیری، دوره تناوب سازه و دوره تناوب جداساز ارتباط برقرار می‌کند دارای بیشترین درصد خطای ۴٪ و ۷٪، به ترتیب برای شکل پذیری هدف ۲ و ۳ است.

مراجع

- Basturk B and Karaboga D (2006) An Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Numeric Function Optimization. In: *Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium*, Indianapolis, Indiana, USA, 12–14
- Karaboga D (2005) *An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization*, Technical Report, TR06, Erciyes University
- Karaboga D and Basturk B (2007) A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, *Journal of Global Optimization* 39 :459–471
- Kikuchi M, Black CJ and Aiken ID (2008) On the Response of Yielding Seismically Isolated Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37 (5):659–679
- Naeim F and Kelly JM (1999) *Design of Seismic Isolated Structures*, Wiley, New York.
- Nassar AA and Krawinkler H (1991) *Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems*, *The John A. Blume Earthquake Engineering Center*, Technical Report, Stanford University, Stanford
- Newmark NM and Hall WJ (1973) *Seismic Design Criteria for Nuclear Reactor Facilities*, Report 46, *Building Practices for Disaster Mitigation*, National Bureau of Standards, 209–236
- Ordonez D, Foti D and Bozzo LC (2003) Comparative Study of the Inelastic Response of Base Isolated Buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32: 151–164
- Thiravechyan P, Kasai K and Morgan TA (2012) Response of Base Isolated Structures Considering Inelastic Behavior of Superstructure, *Proc. of the 15th World Conf On Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal
- Thiravechyan P, Kasai K and Morgan TA (2012) The Effects of Superstructural Yielding on the Seismic Response of Base Isolated Structures, *Proc. of the 9th World Conf. On Urban Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan



Tsiavos A, Vassiliou MF, Mackie KR and Stojadinovic B (2013) R_y - μ - n Relation for Seismically Isolated Structures, *4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Greece, Kos Island

Vidic T, Fajfar P and Fischinger M (1994) Consistent Inelastic Design Spectra: Strength and Displacement, *Earthquake Engng. Structural Dynamics*, 23:502–521

