مهندسی عمران شریف
دوره‌ی ۲ - ۲۶، شماره‌ی ۱، ص. ۳۷-۴۷

ارزیابی رفتار دینامیکی غیرخطی یک قاب خمشی ۱۶ طبقه‌ی بتنی تحت شتاب‌نگاشت‌های تولید شده با تبدیل موجک

امید بهار (استادیار)
ابوالفضل طاهرپور (دانشجوی کارشناسی ارشد)
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

تبدیل موجک ابزار قدرتمندی برای تولید شتاب نگاشت‌هایی با طیف پاسخ سازگار است. در این نوشتار ابتدا بر اساس بزرگای گشتاوری و فاصله از نزدیک‌ترین سطح گسیختگی گسل، در عین مشابه‌بودن سایر ویژگی‌ها، چهار مجموعه‌ی متفاوت از شتاب‌نگاشت‌های حقیقی انتخاب شده است. سپس با اعمال تبدیل موجک شتاب‌نگاشت‌های منطبق با طیف طرح تولید شد. کلیه شتاب‌نگاشت‌ها اصلاح شدند. در ادامه یک سازه‌ی ۱۶ طبقه‌ی بتنی که با روش نیرویی مبتنی بر استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش سوم) تحلیل دینامیکی غیرخطی طراحی شده است به‌دلیل پراکندگی فراوان در پاسخ‌های لرزه‌یی سازه در اثر شتاب‌نگاشت‌های عضو یک مجموعه، روش ساده‌یی برای ارزیابی رفتار لرزه‌یی پیشنهاد شده است. در نهایت، ارزیابی نتایج نشان می‌دهد: ۱) معیار بیشینه‌ی شتاب زمین معیار مطمئنی در انتخاب شتاب‌نگاشت مناسب نیست، ۲) انتخاب شتاب‌نگاشت‌های حقیقی با بزرگای گشتاوری کوچک منجر به ارائه‌ی پاسخ غیرواقعی در نیروهای بیشینه‌ی طبقه می‌شود و سرانجام ۳) استفاده از شتاب‌نگاشت‌های حقیقی با فاصله‌ی نزدیک‌تر به سطح گسیختگی گسل، شتاب‌نگاشت‌های اندکی قوی‌تر به‌دست می‌آید.

واژگان کلیدی: تبدیل موجک، قاب خمشی بتنی، تحلیل دینامیکی، تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی، تولید شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی، انطباق طیف پاسخ با طیف طرح.

omidbahar@iiees.ac.ir
a.taherpour@iiees.ac.ir

۱. مقدمه

پاسخ سازه‌ها در اثر جنبش قوی زمین می‌تواند با استفاده از تحلیل طیف‌پاسخ و یا تحلیل تاریخچه‌ی زمانی محاسبه شود. در کلیه‌ی آیین‌نامه‌های لرزه‌یی، برای طراحی متناسب با نوع زمین، چند طیف طرح پیشنهادی ارائه شده است. روش تحلیل طیف پاسخ به دلیل سادگی و توجه ویژه‌یی که آئین‌نامه‌ها در تهیه‌ی طیف‌های طراحی داشته‌اند، در اغلب تحلیل‌های خطی برای طراحی ساختمان‌ها و سازه‌های متداول استفاده‌ی بسیار می‌شود. اما تحلیل لرزه‌یی بسیاری از سازه‌های مهم و حیاتی مانند نیروگاه‌های برق، سدها، سازه‌های بلند و پل‌های معلق، و نیز ارزیابی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی سازه‌های متداول، نیاز به استفاده از تحلیل‌های گام‌به‌گام تاریخچه‌ی زمانی دارد. به‌علاوه، کاربرد طیف پاسخ در تحلیل‌های غیرخطی نیز چندان آسان نیست. به همین دلیل در بسیاری از حالات نیازمند استفاده از نگاشت‌های زلزله که بیان‌گر ویژگی‌های لرزه‌یی موردنظر در یک ساخت‌گاه خاص باشد مطرح می‌شود. به جز نواحی خاصی از جهان که شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده‌ی زیادی در آن‌ها وجود دارد، مجبور به استفاده از نگاشت زلزله‌های مصنوعی برای انجام این‌گونه تحلیل‌ها هستیم. در چنین مواردی سعی می‌شود طیف پاسخ این زلزله‌ها با طیف طرح مورد نظر انطباق قابل قبولی داشته باشد.[۱و۲]

از دیرباز روش‌های مختلفی برای تولید نگاشت‌های مصنوعی استفاده شده است که می‌توان آن‌ها را در سه گروه کلی دسته‌بندی کرد:

۱. روش‌های حوزه‌ی زمان مانند نویز سفید فیلتر شده، فیلتر کانایی -تاجیمی و ARMA[۳]؛

۲. روش‌های حوزه‌ی بسامد که در آن‌ها محتوای بسامدی مبنای مشابه‌سازی قرار می‌گیرد؛

۳. روش‌های حوزه‌ی زمان -بسامد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها تبدیل موجک (Wavelet Transform) است.[۴]

در این نوشتار سعی شده است با استفاده از این ابزار قدرتمند، مجموعه‌یی از شتاب‌نگاشت‌های حقیقی به‌گونه‌یی تبدیل شوند که طیف پاسخی منطبق بر طیف

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۵/۱۰، داوری ۱۳۸۶/۱۲/۷، پذیرش ۱۳۸۷/۴/۱.

Archive of SID
www.SID.ir

طراحی یک سازه‌ی ۱۶ طبقه‌ی بتنی داشته باشد. این مجموعه‌ها با یکسان‌بودن کلیه‌ی ویژگی‌های اولیه‌ی نگاشت‌ها، از لحاظ فاصله تا گسل به دو گروه، بیشتر از ۵۰ کیلومتر و کمتر از ۱۰ کیلومتر، و هرکدام از آن‌ها نیز به دو گروه جدید با بزرگای گشتاوری بیشتر از ۶٫۵ و کمتر از آن تقسیم می‌شوند. در انتها رفتار دینامیکی غیرخطی سازه‌ی مورد نظر تحت اثر این چهار مجموعه و همچنین میزان تأثیر ویژگی‌های ذاتی مجموعه‌ی نگاشت‌ها در آن سازه ارزیابی و مقایسه شده است.

۲. تئوری ساخت‌نگاشت مصنوعی سازگار با طیف هدف با استفاده از تبدیل موجک

تبدیل موجک تابع $f(t)$ را نسبت به تابع پایه‌ی $\psi(t)$ به‌صورت رابطه‌ی ۱ تعریف می‌کنند:

$$C(a,b)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\,\psi_{a,b}(t)dt, \qquad a,b\in R \tag{۱}$$

$$\psi_{a,b}(t)=\frac{۱}{\sqrt{a}}\psi(\frac{t-b}{a}) \tag{۲}$$

رابطه‌ی ۲ تابعی از دو متغیر a وb است که b پارامتر انتقال و a بیان‌گر مقیاس و برابر معکوس بسامد است. تابع $f(t)$ را از روی ضرایب آن می‌توان مجدداً بازسازی کرد:

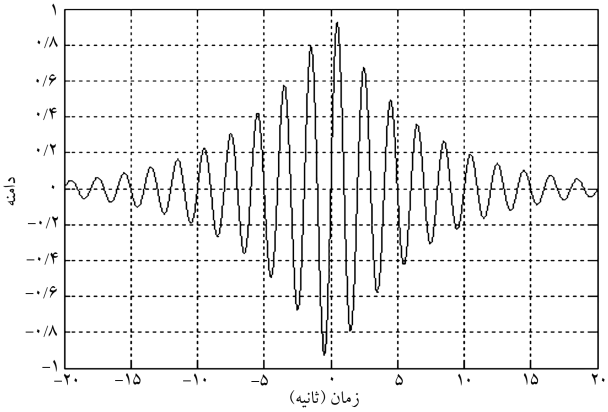
$$f(t)=\frac{۱}{K_\psi}\int_{a=۰}^{\infty}\int_{b=-\infty}^{\infty}\frac{۱}{a^۲}C(a,b)\psi_{a,b}(t)dbda \tag{۳}$$

در رابطه‌ی ۳، ثابت K_ψ به تابع موجک پایه‌ی انتخابی بستگی دارد. در این نوشتار از تابع موجک پایه‌ی پیشنهادی سوآرز و مونتجو استفاده شده است که به‌صورت رابطه‌ی ۴ تعریف می‌شود:[۵]

$$\psi(t)=e^{-\zeta\,\Omega\,|t|}\sin\Omega t \tag{۴}$$

در رابطه‌ی ۴، پارامترهای ζ و Ω به‌ترتیب کاهش دامنه و تغییرات زمانی موجک را مشخص می‌کنند. با انتخاب مقادیر $\zeta=۰٫۰۵$ و $\Omega=\pi rad/sec$ و توجه به این نکته که نیازی به بازسازی نگاشت اولیه نداریم مقدار K_ψ برابر یک خواهد شد.[۵] تابع موجک پایه‌ی انتخابی در شکل ۱ نشان داده شده است.

با جای‌گذاری نگاشت شتاب زمین در هنگام زلزله، $\ddot{X}_g(t)$، به‌جای تابع $f(t)$



شکل ۱. تابع موجک پایه به ازاء $\zeta=۰٫۰۵,\ \Omega=\pi\ rad/s$.

در رابطه‌ی ۳ خواهیم داشت:

$$\ddot{X}_g(t)=\int_{a=۰}^{\infty}(\int_{b=-\infty}^{\infty}\frac{۱}{a^۲}C(a,b)\,\psi_{a,b}(t)\,db)da$$
$$=\int_{۰}^{\infty}D(a,t)\,da \tag{۵}$$

تابع $D(a,t)$، تابع جزئیات نامیده می‌شود. در عمل به جای پارامتر a (مقیاس پیوسته از مجموعه‌یی متشکل ازn)، مقدارگسسته‌ی a_j استفاده می‌شود که به‌صورت رابطه‌ی ۶ تعریف می‌شود:

$$a_j=۲^{\frac{j}{۸}} \qquad ,\ j=-۵۰,...,۱۲ \tag{۶}$$

درکاربردهای عملی، شتاب زمین در بازه‌های زمانی مساوی Δt ثبت می‌شود که N تعداد کل این بازه‌های زمانی است. این مقدار در شتاب‌نگاشت‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد و از آنجا که b نیز مقیاسی زمانی است، باید به N مقدار گسسته تقسیم شود. حال ضرایب گسسته‌ی تبدیل موجک با عبارت تقریبی رابطه‌ی ۷ بیان می‌شود:

$$C(a_j,\,b_i)\approx\ \frac{\Delta t}{\sqrt{a_j}}\sum_{k=۱}^{N}f(t_k)\,\psi(\frac{t_{k-b_i}}{a_j});$$
$$j=۱,...,n,\ \ i=۱,...,N \tag{۷}$$

که در آن، t_k، kاُمین بازه‌ی زمانی است. شکل گسسته‌ی توابع جزئیات نیز به‌صورت رابطه‌ی ۸ بیان می‌شود:

$$D(a_j,t_k)\approx\ \frac{\Delta b}{a_j^{\frac{۱}{۲}}}\sum_{i=۱}^{N}C(a_j,b_i)\,\psi(\frac{t_{k-b_i}}{a_j})\,;$$
$$j=۱,...,n,\qquad k=۱,...,N \tag{۸}$$

بسامد غالب و دوره‌ی تناوب هر تابع جزئیات به‌صورت رابطه‌ی ۹ است:

$$\omega_j=\frac{\Omega}{a_j};\qquad T_j=\frac{۲\pi}{\Omega}\,a_j \tag{۹}$$

ابتدا مقادیر a_j انتخاب و توابع جزئیات به‌دست می‌آیند. طیف پاسخ‌نگاشت موردنظر در دوره‌ی تناوب‌های T_j و نسبت طیف هدف به این طیف در دوره‌های تناوب مختلف محاسبه می‌شوند:

$$\gamma_j=\frac{[S_a(T_j)]_{target}}{[S_a(T_j)]_{reconstructed}} \tag{۱۰}$$

هر تابع جزئیات D_j در نسبت γ_j مربوط به آن ضرب و نگاشت جدید بازسازی می‌شود. سپس دوباره طیف پاسخ این نگاشت به‌دست می‌آید. برای تأیید هم‌گرایی فرآیند تکرار، مقدار خطا در هرگام از رابطه‌ی ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$e(\%)=$$
$$\sqrt{\frac{۱}{N}\sum_{j=۱}^{N}\left(\frac{S_a(T_j)_{target}-S_a(T_j)_{reconstructed}}{S_a(T_j)_{target}}\right)^۲}*۱۰۰ \tag{۱۱}$$

گام‌های فوق تا جایی که همه‌ی مقادیرγ_j به اندازه‌ی کافی به ۱ نزدیک شوند، تکرار می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

۳. تبدیل شتاب‌نگاشت‌های حقیقی به نگاشت‌هایی با طیف منطبق بر طیف طرح

هدف این تحقیق بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی یک سازه‌ی ۱۶ طبقه‌ی بتنی در اثر شتاب‌نگاشت‌هایی با طیف پاسخ منطبق بر طیف طراحی سازه است. طیف طرح، طیف استاندارد ۲۸۰۰ ایران براساس خاک نوع III و خطر لرزه‌خیزی خیلی‌زیاد است. لذا نوع خاک ایستگاه‌های ثبت شتاب‌نگاشت‌ها مطابق با خاک نوع III استاندارد ۲۸۰۰ ایران انتخاب شده است. این نوع خاک طبق طبقه‌بندی USGS، از نوع C با سرعت موج برشی بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ متر بر ثانیه است. سعی شده است کلیه‌ی خصوصیات اولیه‌ی نگاشت‌ها یکسان در نظر گرفته شود. برای بررسی تأثیر بزرگای گشتاوری و فاصله از گسل، چهار مجموعه از شتاب‌نگاشت‌های حقیقی از پایگاه اطلاعات جنبش قوی زمین در دانشگاه برکلی (PEER) انتخاب شده است که فاصله‌ی ثبت شتاب‌نگاشت‌های مجموعه‌های اول و دوم از نزدیک‌ترین سطح گسیختگی گسل بیشتر از ۵۰ کیلومتر و در مجموعه‌های سوم و چهارم کمتر از ۱۰ کیلومتر است. مجموعه‌های اول و سوم از نگاشت‌های با بزرگای گشتاوری بیشتر از ۶٫۵ و مجموعه‌های دوم و چهارم از نگاشت‌های با بزرگای گشتاوری بین ۴ تا ۶٫۵ انتخاب شده‌اند. بیشینه‌ی شتاب زمین درتمامی شتاب‌نگاشت‌ها بیش از ۰٫۰۴g است.[۱] خلاصه‌ی این تقسیم‌بندی در جدول ۱ آورده شده است.

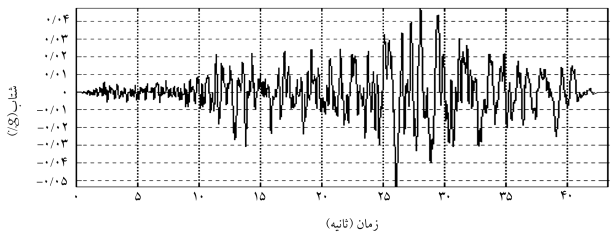
صفر بودن سرعت و جابجایی همه‌ی شتاب‌نگاشت‌های حقیقی در پایان بازه‌ی زمانی، کنترل شده است. برای یکسان‌کردن نمونه‌برداری نگاشت‌ها، تمامی آنها با گام زمانی ۰٫۰۲ مجدداً نمونه‌برداری شده‌اند.

پس از اعمال روش انطباق طیفی با استفاده از تبدیل موجک، سرعت و جابجایی انتهای دامنه‌ی زمانی نگاشت‌های مصنوعی تولید شده مجدداً بررسی و مشاهده شد که روند منطبق‌سازی طیفی با استفاده از تبدیل موجک، باعث بالارفتن چشمگیر مقادیر سرعت و جابجایی در انتهای دامنه‌ی زمان در اکثر شتاب‌نگاشت‌ها شده است. برای رفع این مشکل بررسی‌های زیادی شد. در یک مرحله پس از تولید شتاب‌نگاشت مصنوعی که شرایط انطباق طیفی را برآورد می‌کرد، با اِعمال یک فیلتر مناسب و اصلاح خط مبنا، مجدداً حلقه‌ی انطباق طیفی تکرار شد. از آنجا که فیلترکردن یک نگاشت تغییرات زیادی در طیف آن به‌وجود می‌آورد، سرعت همگرایی بسیار کُند بود، درعین‌حال که تضمین دست‌یابی به پاسخ نیز وجود نداشت. بررسی‌های بیشتر نشان دادند با استفاده از تصحیح خط مبنا بدون اینکه انطباق طیفی نگاشت با طیف طرح، دستخوش تغییرات زیادی شود، می‌توان این مشکل را برطرف کرد.[۶] این تصحیح بر روی کلیه‌ی نگاشت‌های چهار مجموعه انجام شده است.

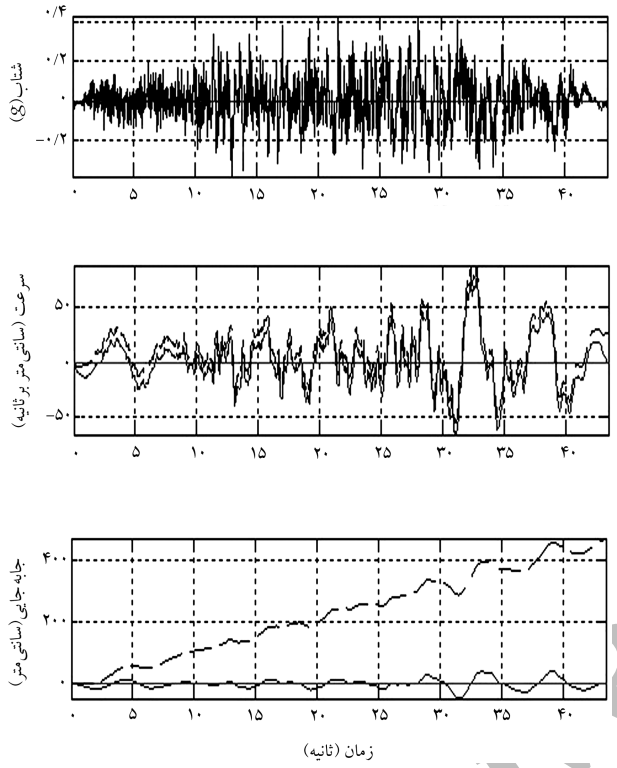
در شکل ۲ شتاب‌نگاشت حقیقی زلزله‌ی ۱۷ آگوست ۱۹۹۹Kocaeli ترکیه در ایستگاه Cekmece از مجموعه‌ی اول نشان داده شده است. شکل ۳ همان شتاب‌نگاشت را پس از انطباق طیفی، قبل و بعد از اصلاح خط مبنا، نشان می‌دهد. در شکل های ۴ تا ۷ نیز نمودارهای تغییرات زمان-بسامد، نمودارهای طیفی

جدول ۱. تقسیم بندی مجموعه‌ی زلزله‌های واقعی.

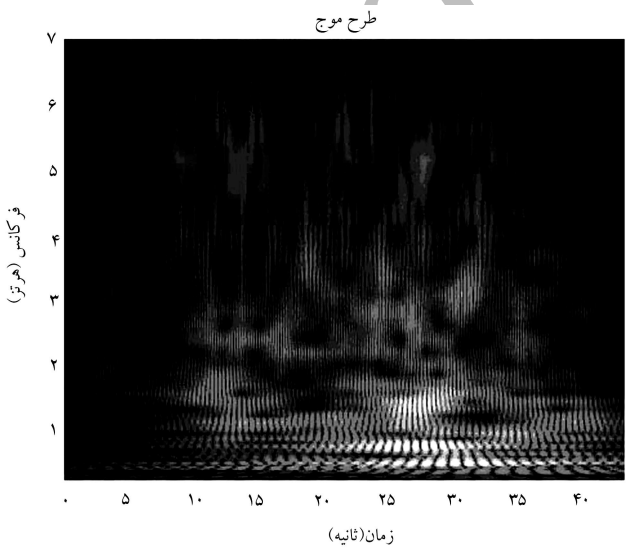
مجموعه	اول	دوم	سوم	چهارم
نزدیک‌ترین فاصله‌از سطح گسیختگی گسل	$R>۵۰\,Km$	$R>۵۰\,Km$	$R<۱۰\,Km$	$R<۱۰\,Km$
بزرگای گشتاوری	$M>۶٫۵$	$۴<M<۶٫۵$	$M>۶٫۵$	$۴<M<۶٫۵$
تعداد	۲۱	۱۵	۱۰	۱۱



شکل ۲. شتاب‌نگاشت حقیقی زلزله‌ی Kocaeli.



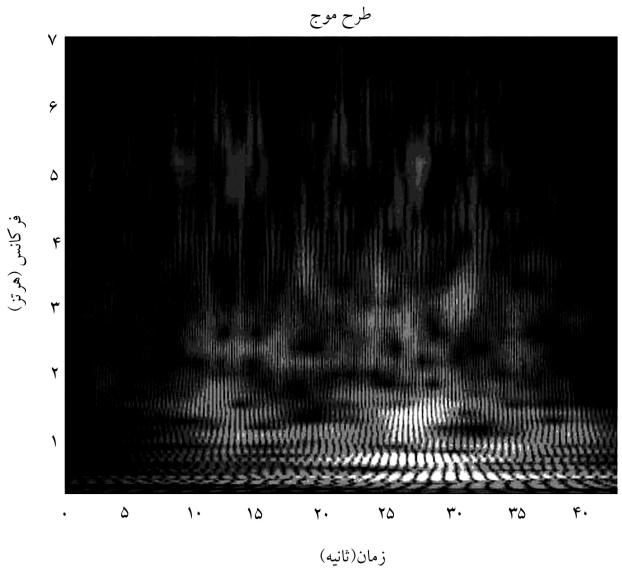
شکل ۳. شتاب‌نگاشت مصنوعی تولید شده از زلزله‌ی Kocaeli قبل و بعد از اصلاح خط مبنا.



شکل ۴. نمای زمان -بسامد شتاب‌نگاشت حقیقی زلزله.

www.SID.ir

نگاشت حقیقی و تولید شده و خطای حاصل از انطباق طیفی آورده شده است. شتاب‌نگاشت حقیقی این زلزله دارای $PGA = ۰/۱۳g$، $PGV = ۹/۵cm/s$ و $PGD = ۲/۹۷cm$ است که به‌ترتیب در زمان های ۲۶/۱ ثانیه، ۲۵/۸ ثانیه و ۳۱/۶ ثانیه رخ می‌دهند. شتاب‌نگاشت مصنوعی تولید شده از همین زلزله با تئوری موجک نیز دارای $PGA = ۰/۴۲g$، $PGV = ۷۱/۶cm/s$ و $PGD = ۱۷۰/۵۱cm$ است که به‌ترتیب در زمان‌های ۲۸/۱ ثانیه، ۳۲/۷ ثانیه و ۲۸/۹ ثانیه رخ می‌دهند. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود مقادیر بیشینه‌ی شتاب، سرعت و جابجایی شتاب‌نگاشت حقیقی و مصنوعی تولید شده و حتی زمان وقوع آنها کاملاً با هم متفاوت است. به عبارت دیگر می‌توان چنین گفت که انطباق طیفی با استفاده از تبدیل موجک، ساختار کلی شتاب‌نگاشت و مشخصه‌های ذاتی آن را دستخوش دگرگونی‌های اساسی می‌کند. این مسئله را از مقایسه‌ی شکل ظاهری و مشخصه‌های بسامد دو شتاب‌نگاشت در شکل‌های ۲ تا ۵ نیز می‌توان آشکارا مشاهده کرد.



شکل ۵. نمای زمان -بسامد شتاب‌نگاشت تولید شده.

۴. معرفی مشخصه‌های مصالح و پارامترهای مورد استفاده در طراحی سازه

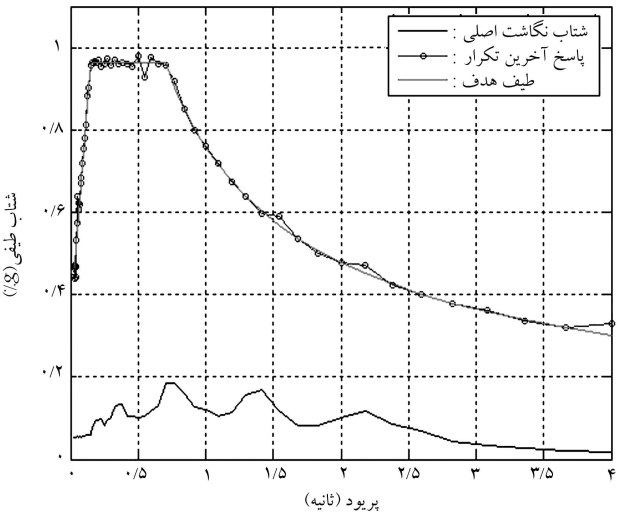
سازه‌ی مورد بررسی یک قاب خمشی دو بُعدی بتن مسلح است. این سازه به‌صورت قابی با دو دهانه‌ی ۱۶ طبقه (طول هر دهانه ۶ متر، ارتفاع هر طبقه ۳ متر و وزن کل هر طبقه ۴۰۷/۱۶KN) با ویژگی‌های مصالح مندرج در جدول ۲ طراحی شده است. شتاب بیشینه‌ی زمین ۰/۳۵g و نوع خاک III در نظر گرفته شده است. پارامترهای طراحی بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ در جدول ۳ ارائه شده است.

برای ارزیابی رفتار سازه، تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی با نرم‌افزار OpenSees[۷] انجام شده است. اِلمان‌ها از نوع «تیر-ستون غیرخطی» با قابلیت اعمال اثر شکل‌پذیری به‌صورت گسترده در طول المان هستند. تحلیل‌های انجام شده به روش اجزاء محدود و با فرض مدل FiberSection هستند. حل عددی در نظرگرفته شده نیوتن -رافسون و روش انتگرال‌گیری روش نیومارک با ضرایب $\alpha = ۰/۵$ و $\beta = ۰/۲۵$ است. میرایی چسبنده برای تحلیل تاریخچه‌ی زمانی به روش رایلی به‌دست آمده است. از تغییرشکل‌های برشی صرف‌نظر و اثر $P-\Delta$ با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار در نظر گرفته شده است. بر اساس مشخصه‌های بتن در جدول ۲ و مقادیر آرماتورهای طولی و عرضی محاسبه شده، با استفاده از نرم افزار USC-RC[۸] رفتار غیرخطی بتن مقاطع تیرها و ستون‌ها برای حالت بتن محبوس شده و نشده، محاسبه و منظور شده است.

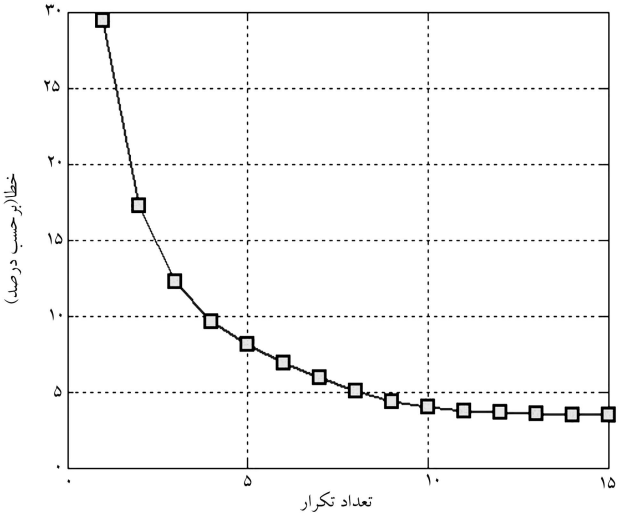
در این مرحله تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی سازه در اثر کلیه‌ی شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی تولیدشده در هر چهار مجموعه انجام شده است تا چگونگی و میزان تأثیر ویژگی‌های ذاتی نگاشت‌های تولید شده بر رفتار لرزه‌یی سازه‌ی موردنظر بررسی شود.

۵. انتخاب مجموعه‌های هفت عضوی از شتاب‌نگاشت‌ها

در شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب پاسخ بیشینه‌ی نسبت جابجایی طبقات و نیروی جانبی بیشینه در ارتفاع سازه، حاصل از تعدادی از شتاب‌نگاشت‌های مجموعه‌ی اول نشان داده شده است. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود سازه‌ی مورد بررسی در مقابل اعضای



شکل ۶. طیف‌های طرح زلزله‌ی حقیقی و تولید شده.



شکل ۷. جذر میانگین مجموع مربع‌های خطا در تکرارهای متوالی.

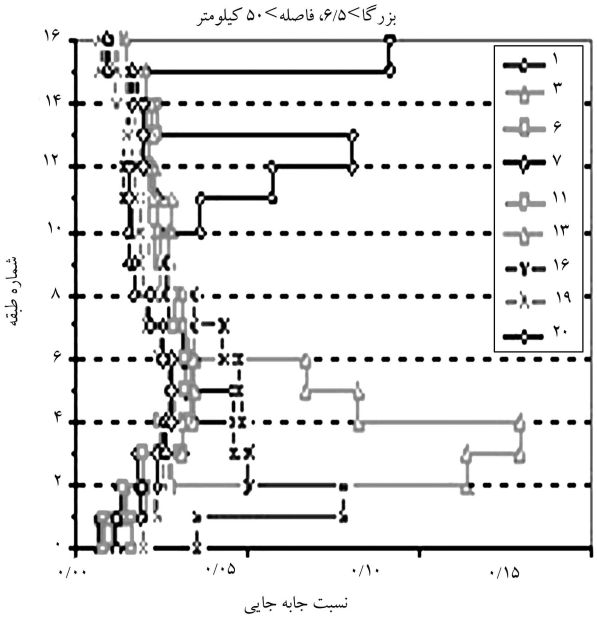
Archive
www.SID.ir

جدول ۲. مشخصات مصالح.

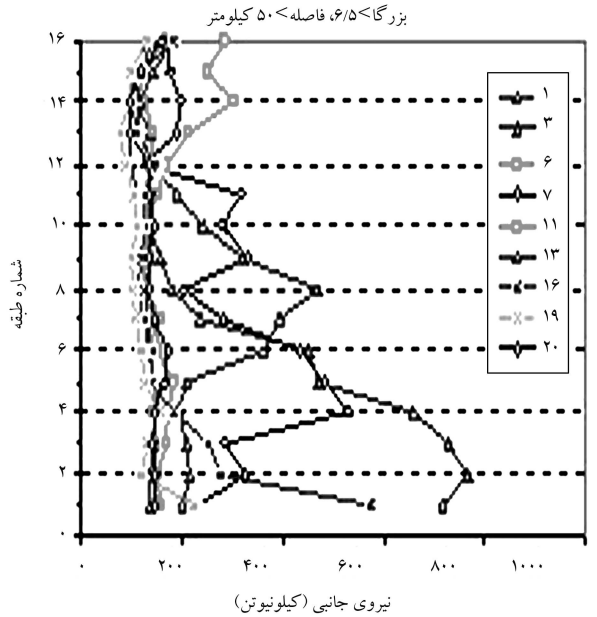
خاصیت	f'_c	E_c	ρ	f_y	f_{ys}	E_y	ε_y
مقدار	۳۵MPa	۲۷۸۰۰MPa	۲/۴t/m^۳	۴۵۰MPa	۳۵۰MPa	۲۰۰۰۰۰MPa	$\frac{f_y}{E_y}=$ ۰/۰۰۲۲۵

جدول ۳. پارامترهای طراحی با استفاده از نیروهای استاندارد ۲۸۰۰.

تعداد طبقات	R	$T_\bullet$	T_S	S	A	I	T	B	C	V(KN)	F_t
$n=$ ۱۶	۱۰	۰/۱۵	۰/۷	۱/۷۵	۰/۳۵	۱	۱/۵۹۵۶	۱/۵۸۷۷	۰/۰۵۵۶	۵۱۷/۲۶	۵۷/۷۷



شکل ۸. نسبت جابجایی بیشینه‌ی طبقات حاصل از شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی گروه ا ول.



شکل ۹. نیروی جانبی بیشینه‌ی طبقات حاصل از شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی گروه اول.

مختلف یک مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت، با ویژگی‌های اولیه‌ی مشابه و طیف نهایی یکسان، رفتارهای کاملاً متفاوتی از خود نشان داده است.

در این ارزیابی، معیاری با توجه به پراکندگی پاسخ‌های حاصل از تحلیل‌های غیرخطی و هدف بررسی رفتار عمومی یک سازه در مقابل طیف طرح عمومی پیشنهادی یک آئین‌نامه‌ی لرزه‌یی ارائه شده است. فرض می‌شود رفتار حقیقی و متعارف یک سازه‌ی خاص تحت اثر نگاشت‌های مختلف که همگی آنها طیفی منطبق بر طیف طرح عمومی دارند، نباید چندان با هم متفاوت باشند. با این فرض درگام اول پاسخ بیشینه‌ی نسبت جابجایی طبقات حاصل از کلیه‌ی نگاشت‌های یک گروه در یک نمودار ترسیم می‌شود. درگام دوم منحنی میانگین و منحنی‌های حدّ بالا و پائین با استفاده از مقادیر میانگین به اضافه و منهای یک انحراف معیار محاسبه و ترسیم می‌شوند. درگام سوم پاسخی که در دورترین فاصله از حدهای ترسیم شده‌ی بالا یا پائین است حذف می‌شود. این گام تا آنجا تکرار می‌شود که فقط پاسخ هفت شتاب‌نگاشت که کمترین پراکندگی آماری را دارند باقی بماند. حال می‌توان براساس پیشنهاد استاندارد ۲۸۰۰، کلیه‌ی معیارهای ارزیابی رفتار لرزه‌یی سازه را از محاسبه‌ی میانگین مقادیر متناظر پاسخ حاصل از این هفت شتاب‌نگاشت به دست آورد.

مشخصات کلی قبل و بعد از انطباق طیفی هفت شتاب‌نگاشت برگزیده با این روش، برای گروه‌های اول تا چهارم در جداول ۴ تا ۷ آورده شده است. این مشخصه‌ها شامل پارامترهای PGA، PGV و انرژی ورودی نگاشت‌هاست. محققان، انرژی ورودی هر شتاب‌نگاشت را با رابطه‌ی ۱۲ چنین محاسبه کرده‌اند.[۹]

$$\frac{E_i}{m}=۲/۲\,(t_{di})^{۰/۵}\,(PGV)^{۲} \qquad (۱۲)$$

در این رابطه، t_{di} مدت زمان مؤثر زلزله است که براساس روش Trifunac Brady & محاسبه می‌شود و PGV نیز بیشینه‌ی سرعت زمین در هنگام زلزله است. توجه شود که رابطه‌ی ۱۲ برای ناحیه‌ی سرعت ثابت (دوره‌های تناوب متوسط) است و از آنجا که بیشتر سازه‌های معمول در این ناحیه (تقریباً بین ۰/۳۵-۳ ثانیه) قرار دارند می‌توان از این رابطه استفاده کرد.

برای بررسی بهتر، مقادیر بیشینه و میانگین PGA، PGV و انرژی ورودی نگاشت‌های مجموعه‌ها در جدول ۸ آورده شده است. با نگاهی به نتایج این جدول مشخص می‌شود که مجموعه‌ی نگاشت‌های با فاصله‌ی بیش از ۵۰ کیلومتر از گسل فعال (مجموعه‌های اول و دوم) نسبت به مجموعه‌ی نگاشت‌های با فاصله‌ی کمتر از ۱۰ کیلومتر از گسل فعال (مجموعه‌های سوم و چهارم)، هم در مقیاس متوسط و هم در مقیاس بیشینه، دارای مقادیر کوچک‌تر PGA، PGVو انرژی ورودی هستند. به همین دلیل می‌توان انتظار داشت که مقادیر میانگین تغییر مکان و نسبت جابجایی‌های بیشینه‌ی طبقات حاصل از مجموعه‌های سوم و چهارم بیش از مجموعه‌های اول و دوم باشند. مشابه همین استدلال را در مورد میانگین نیروی

Archive
www.SID.ir

جدول ۴. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های حقیقی و مصنوعی گروه اول.

شماره	زلزله	ایستگاه	مولفه شتاب‌نگاشت	حداکثر شتاب PGA(g)		حداکثر سرعت PGV(cm/s)		مدت دوام (T_d) [sec]		انرژی ورودی		پریود غالب (TP)[sec]	
				حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی
۱	Kocaeli,Turkey ۱۹۹۹/۰۸/۱۷	Cekmce	KOCAELI /CNA۰۹۰	۰٫۱۳	۰٫۴۲	۹٫۵	۷۱٫۶	۲۶٫۸۸	۲۹٫۰	۱۰۲۹٫۴	۶۰۷۰۶	۰٫۷۲	۰٫۶۲
۲	Kocaeli,Turkey ۱۹۹۹/۰۸/۱۷	Kutahya	KOCAELI /KUT۱۸۰	۰٫۰۵	۰٫۴۳	۹٫۹	۰٫۳۴	۱۰۰٫۲	۲۷٫۹۶	۳۲٫۱	۱۱۴۰٫۱	۰٫۲۸	۱۲۵۱۸۳
۳	Landers ۱۹۹۲/۰۶/۲۸ ۱۱ : ۵۸	۱۲۳۳۱ Hemet Fire Station	LANDERS H/۰۵۰۰۰	۰٫۰۸	۰٫۴۷	۵٫۶	۶۸٫۵	۳۳٫۲۴	۳۹٫۱	۳۹۷٫۸	۶۴۶۵۸	۰٫۱۲	۰٫۰۸
۴	۱۲۰۲۶Indio- ۱۹۹۲/۰۶/۲۸ ۱۱ : ۵۸	Landers Coachella Canal	LANDERS/ IND۰۰۰	۰٫۴۰	۹٫۶	۷۵٫۷	۳۵٫۹۲	۴۴٫۳	۱۲۱۵٫۲	۸۳۸۳۵	۰٫۴۴	۰٫۱۶	۰٫۱
۵	Landers ۱۹۹۲/۰۶/۲۸ Jaboneria	۹۰۰۹۴Bell Gardens- ۱۱ : ۵۸	LANDERS/ JAB۳۱۰	۰٫۰۴	۰٫۴۳	۱۰٫۵	۸۰٫۱	۲۲٫۵	۳۵٫۶	۱۱۵۰٫۵	۸۴۳۲۷	۱	۰٫۲۲
۶	Landers ۱۹۹۲/۰۶/۲۸ ۱۱ : ۵۸	۹۰۰۱۲- Burbank N Buena Vista	LANDERS/ BUE۲۵۰	۰٫۰۵	۰٫۴۴	۷٫۲	۸۶٫۳	۳۵٫۷	۴۰٫۰	۶۸۱٫۴	۱۰۳۶۷۹	۰٫۵۴	۰٫۶۶
۷	Landers ۱۹۹۲/۰۶/۲۸ ۱۱ : ۵۸	۹۰۰۱۲ Burbank- N Buena Vista	LANDERS/ BUE۳۴۰	۰٫۰۷	۰٫۵۱	۱۰٫۴	۶۷٫۰	۲۵٫۷۸	۳۴٫۹	۱۲۰۸٫۲	۵۸۲۷۳	۰٫۹۲	۰٫۵۲

برش پایه و نیروهای جانبی بیشینه نیز می‌توان مطرح کرد. این بدان معنی است که مجموعه‌های سوم و چهارم از مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت‌های قوی‌تری تشکیل شده است. این مسئله در عین حال که نقش فاصله‌ی ساخت‌گاه از گسل فعال را مورد تأکید قرار می‌دهد، نشان دهنده‌ی کم اثربودن پارامتر بزرگای گشتاوری مجموعه‌ی نگاشت‌های حقیقی انتخابی و PGA آنها پس از انطباق طیفی است. این استدلال در قسمت‌های بعدی بررسی می‌شود.

۶. ارزیابی قاب خمشی بتنی طراحی شده با نیروهای حاصل از ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰

با مشخص‌شدن گروه‌های هفت عضوی از مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت‌هایی که دارای کمترین پراکندگی در نسبت جابجایی بیشینه‌ی طبقه هستند، براساس استاندارد ۲۸۰۰، میانگین عددی پاسخ‌های بیشینه‌ی سازه حاصل از اعضای یک گروه، ملاک ارزیابی رفتار دینامیکی غیرخطی سازه در مقابل آن گروه قرارگرفته است. پاسخ‌های میانگین تغییرمکان، نسبت جابجایی بیشینه، نیروی بیشینه‌ی طبقه و نیروی برشی بیشینه‌ی گروه‌های یک تا چهار در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ نشان داده شده است. در ادامه میزان تأثیر بزرگای گشتاوری در انتخاب نگاشت‌های حقیقی و فاصله‌ی سازه از گسل فعال بررسی و همچنین برای پیش‌بینی رفتار سازه، مقادیر میانگین و بیشینه‌ی خصوصیات گروهی نگاشت‌ها نیز بازبینی و ارزیابی شده است.

۱.۶. فاصله‌ی سازه از سطح گسل: بالای ۵۰ کیلومتر

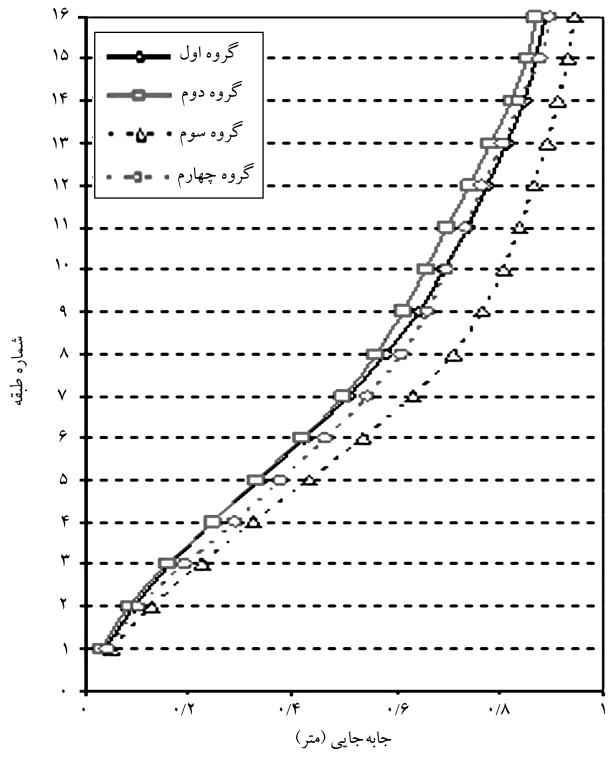
این تعریف شامل گروه‌های اول و دوم است که بزرگای گشتاوری نگاشت‌های آنها قبل از انطباق طیفی، به بیشتر از ۶٫۵ و کمتر از آن تقسیم می‌شود. بارزترین ویژگی در شکل های ۱۱، ۱۲ و حتی ۱۳ این است که مقادیر میانگین پاسخ‌های سازه در مقابل این دو گروه با هم تفاوت قابل ملاحظه‌یی ندارند. این بدان معنی است که تعریف بزرگای گشتاوری نگاشت‌های حقیقی، مربوط به گسل فعال در فاصله‌ی دور، نقش تعیین‌کننده‌یی در رفتار سازه ایفا نمی‌کند. به عبارت‌دیگر در هنگام کار با نگاشت‌های دور، دامنه‌ی وسیع‌تری از نگاشت‌های حقیقی برای انطباق طیفی در اختیار طراح است.

از طرف دیگر افزایش بسیار جزئی مقادیر پاسخ تغییر مکان و نسبت جابجایی

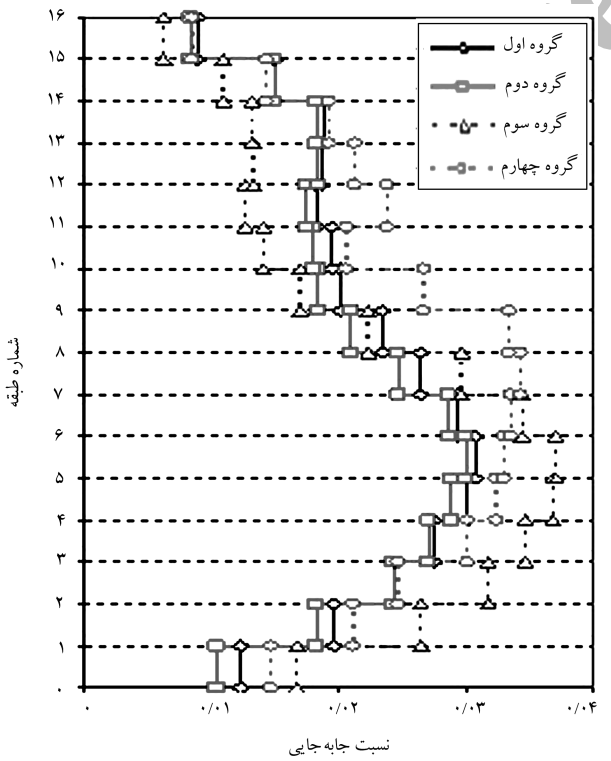
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. مشخصات شتاب نگاشت‌های حقیقی و مصنوعی گروه دوم.

شماره	زلزله	ایستگاه	مولفه شتاب‌نگاشت	حداکثر شتاب PGA(g)		حداکثر سرعت PGV(cm/s)		مدت دوام (T_d) [sec]		انرژی ورودی		پریود غالب (TP)[sec]	
				حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی
۱	Coalinga ۱۹۸۳/۰۵/۰۲ ۲۳ : ۴۲	۳۶۲۲۶ Parkfield -Cholame۸W	COALINGA /H-C۰۸۲۷۰	۰٫۱	۰٫۴۷	۸	۷۷٫۱	۱۲٫۵	۲۱٫۰۶	۴۹۸٫۴	۶۰۰۴۰	۰٫۴۴	۰٫۴۶
۲	Morgan Hill ۱۹۸۴/۰۴/۲۴ ۲۱ : ۱۵	۵۶۰۱۲ Los Banos	MORGAN /LBN۰۹۰	۰٫۰۵	۰٫۴۱	۵٫۸	۷۴٫۵	۱۵٫۷	۲۴٫۱۲	۲۹۳٫۲	۵۹۹۶۹	۰٫۴	۰٫۱۸
۳	Morgan Hill ۱۹۸۴/۰۴/۲۴ ۲۱ : ۱۵	۵۸۲۲۳ SF Intern. Airport	MORGAN /SFO۰۵۰	۰٫۰۵	۰٫۴۸	۳٫۲	۹۶٫۴	۱۴٫۶	۲۱٫۳۴	۸۶٫۱	۹۴۵۲۲	۰٫۳۲	۰٫۲۸
۴	N. Palm Springs ۱۹۸۶/۰۷/۰۸ ۰۹ : ۲۰	۱۳۱۷۲ Temecula Fire Station	PALMSPR /TFS۰۰۰	۰٫۱۲	۰٫۵۶	۶٫۹	۹۸٫۳	۱۲٫۹	۲۴٫۳۸	۳۷۵٫۶	۱۰۵۰۵۱	۰٫۳	۰٫۶
۵	N. Palm Springs ۱۹۸۶/۰۷/۰۸ ۰۹ : ۲۰	۱۳۱۷۲ Temecula Fire Station	PALMSPR /TFS۰۹۰	۰٫۴۶	۰٫۱	۴٫۶	۷۷٫۷	۱۱٫۲	۲۲٫۳۶	۱۵۶٫۱	۶۲۷۹۰	۰٫۲۴	۰٫۳۴
۶	Whittier Narrows ۱۹۸۷/۱۰/۰۱ ۱۴ : ۴۲	۲۴۰۵۵ Leona Valley #۵-Ritter	WHITTIER /A-LV۵۰۰۰	۰٫۰۵	۰٫۴۶	۲٫۱	۷۵٫۹	۱۳٫۹	۲۷٫۴۲	۳۶٫۲	۶۶۳۳۹	۰٫۱۸	۰٫۱۸
۷	Whittier Narrows ۱۹۸۷/۱۰/۰۱ ۱۴ : ۴۲	۲۴۳۰۹ Leona Valley #۶	WHITTIER /A-LV۶۰۹۰	۰٫۰۵	۰٫۵۰	۱٫۹	۶۸٫۷	۱۴٫۴	۲۷٫۰۴	۳۰٫۲	۵۳۹۹۳	۰٫۱۲	۰٫۲۴



شکل ۱۰. میانگین بیشینه‌ی تغییرمکان طبقات سازه.

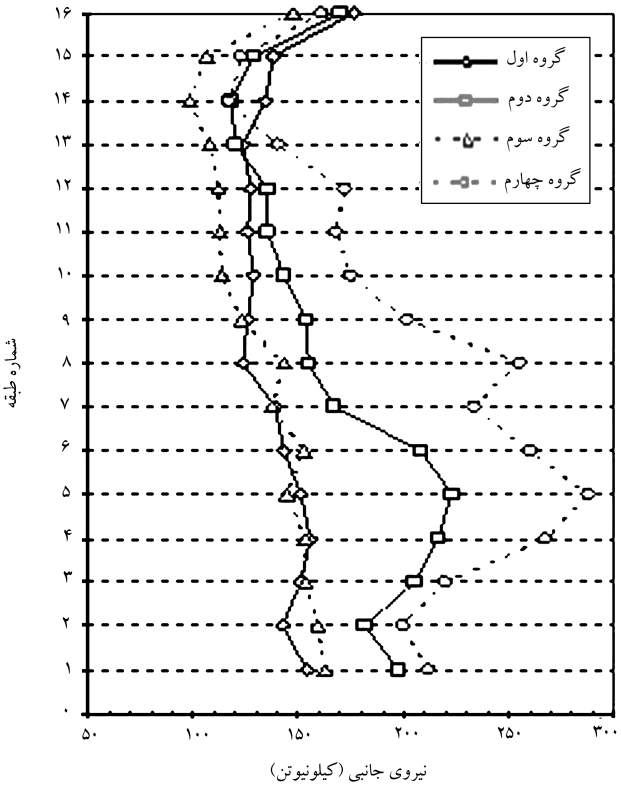


شکل ۱۱. میانگین بیشینه‌ی نسبت جابجایی طبقات سازه.

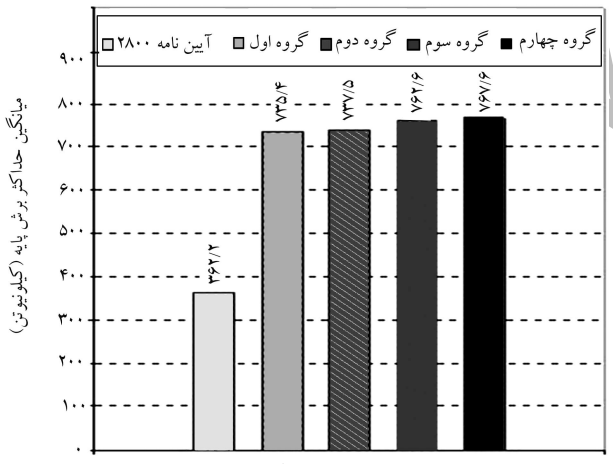
www.SID.ir

جدول ۶. مشخصات شتاب نگاشت‌های حقیقی و مصنوعی گروه سوم.

شماره	زلزله	ایستگاه	مولفه شتاب‌نگاشت	حداکثر شتاب PGA(g)		حداکثر سرعت PGV(cm/s)		مدت دوام (T_d) [sec]		انرژی ورودی		پریود غالب (TP)[sec]	
				حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی
۱	Duzce,Turkey ۱۹۹۹/۱۱/۱۲	Duzce	DUZCE /DZC۲۷۰	۰٫۵۴	۰٫۴۸	۸۳٫۵	۹۲٫۳	۱۰٫۸	۱۵٫۶۸	۵۰۳۶۲	۷۴۲۱۶	۰٫۲۲	۰٫۲
۲	Imperial Valley ۱۹۴۰/۰۵/۱۹ ۰۴ : ۳۷	۱۱۷ El Centro Array #۹	IMPVALL /I-ELC۱۸۰	۰٫۳۱	۰٫۴۷	۲۹٫۸	۸۶٫۱۹۵	۲۴٫۱	۲۴٫۸۲	۹۵۹۱	۸۱۴۳۱	۰٫۴۶	۰٫۱۸
۳	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳ : ۱۶	۵۰۵۴ Bonds Corner	IMPVALL /H-BCR۱۴۰	۰٫۵۹	۰٫۵۴	۴۵٫۲	۹۳٫۴۱	۹٫۶۸	۱۸٫۸۶	۱۳۹۸۴	۸۳۳۶۴	۰٫۴۲	۰٫۶۲
۴	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳ : ۱۶	۵۱۵۴ EC County Center FF	IMPVALL/ H-ECC۰۰۲	۰٫۲۱	۰٫۴۵	۳۷٫۵	۸۲٫۱۶	۱۰٫۴	۱۶٫۷۸	۹۹۷۷	۶۰۸۳۳	۰٫۵	۰٫۲۲
۵	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳ : ۱۶	۵۱۵۴ EC County Center FF	IMPVALL/ H-ECC۰۹۲	۰٫۲۴	۰٫۵۱	۶۸٫۸	۱۰۶٫۷۷	۱۳٫۲	۱۹٫۲۴	۳۷۸۰۶	۱۱۰۰۰۸	۰٫۶۲	۰٫۴۸
۶	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳ : ۱۶	۵۱۵۵ EC Meloland Overpass FF	IMPVALL/ H-EMO۰۰۰	۰٫۳۱	۰٫۵۲	۷۱٫۷	۱۴۰٫۶۳	۸٫۲۲	۱۳٫۴۶	۳۲۴۲۶	۱۵۹۶۲۵	۰٫۶۶	۰٫۲۲
۷	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳ : ۱۶	۵۱۵۵ EC Meloland Overpass FF	IMPVALL/ H-EMO۲۷۰	۰٫۳	۰٫۵	۹۰٫۵	۱۱۸٫۷۲	۶٫۷۶	۱۸٫۳۲	۴۶۸۴۸	۱۳۲۷۱۹	۰٫۵۶	۰٫۳۲



شکل ۱۲. میانگین بیشینه‌ی نیروی طبقات سازه.



شکل ۱۳. میانگین بیشینه‌ی نیروی برش پایه.

سازه درگروه اول نسبت به گروه دوم با مقادیر بیشینه و میانگین PGA این دو گروه در جدول ۸ تفاوت دارد. این درحالی است که این روند با مقادیر بیشینه و میانگین انرژی ورودی به سازه ناشی از این دو گروه هم‌خوانی دارد. به عبارت دیگر معیار بیشینه‌ی شتاب زمین که در بسیاری از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی معیار اصلاح شتاب‌نگاشت‌های حقیقی قرار می‌گیرد معیار مطمئنی نیست. در مقابل می‌توان از معیار انرژی ورودی یک نگاشت به سازه استفاده کرد.

توجیه قانع‌کننده‌یی برای بیان تفاوت قابل‌ملاحظه میان مقادیر میانگین نیروهای

www.SID.ir

جدول ۷. مشخصات شتاب نگاشت‌های حقیقی و مصنوعی گروه چهارم.

شماره	زلزله	ایستگاه	مولفه شتاب‌نگاشت	حداکثر شتاب PGA(g)		حداکثر سرعت PGV(cm/s)		مدت دوام (T_d) [sec]		انرژی ورودی		پریود غالب (TP)[sec]	
				حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی	حقیقی	مصنوعی
۱	Coyote Lake ۱۹۷۹/۰۸/۰۶ ۱۷:۰۵	۴۷۳۸۱ Gilroy Array #۳	COYOTELK /G۰۳۱۴۰	۰٫۲۳	۰٫۵۱	۲۸٫۸	۸۵٫۶	۸٫۶۵	۱۵٫۴	۵۳۶۷	۶۳۲۱۹	۰٫۱۴	۰٫۲۶
۲	Coyote Lake ۱۹۷۹/۰۸/۰۶ ۱۷:۰۵	۵۷۳۸۲ Gilroy Array #۴	COYOTELK /G۰۴۲۷۰	۰٫۲۵	۰٫۴۲	۲۳٫۱	۸۸٫۱	۸٫۴۴	۱۶٫۹	۳۴۱۰	۷۰۱۱۴	۰٫۲۸	۰٫۵۲
۳	Coyote Lake ۱۹۷۹/۰۸/۰۶ ۱۷:۰۵	۵۷۳۸۲ Gilroy Array #۴	COYOTELK /G۰۴۳۶۰	۰٫۲۷	۰٫۵۶	۲۶٫۳	۷۳٫۴۷	۱۱٫۵	۱۷٫۰	۵۱۴۹	۴۸۹۹۲	۰٫۳	۰٫۲۲
۴	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳:۱۶	۵۰۲۸El Centro Array	IMPVALL /H-E۰۷۱۴۰	۰٫۳۴	۰٫۵۴	۴۷٫۶	۹۵٫۹۲	۶٫۸۳	۱۶٫۴	۱۳۰۲۷	۸۱۹۷۲	۰٫۷	۰٫۴۲
۵	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳:۱۶	۵۰۲۸El Centro Array	IMPVALL/ H-E۰۷۲۳۰	۰٫۴۶	۰٫۵۱	۱۰۹	۱۱۵٫۸۳	۴٫۸	۱۴٫۲	۵۷۵۸۲	۱۱۱۳۰۵	۰٫۷۴	۰٫۳۲
۶	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳:۱۶	۵۰۵۵ Holtville Post Office	IMPVALL/ H-HVP۲۲۵	۰٫۲۵	۰٫۴۲	۴۸٫۸	۱۰۷٫۱۲	۱۱٫۸	۲۰٫۵	۱۸۰۱۲	۱۱۴۱۸۷	۰٫۳۴	۰٫۴۸
۷	Imperial Valley ۱۹۷۹/۱۰/۱۵ ۲۳:۱۶	۵۰۵۵ Holtville Post Office	IMPVALL/ H-HVP۳۱۵	۰٫۲۲	۰٫۴۸	۴۹٫۸	۱۱۷٫۷۵	۱۳٫۱	۲۳٫۸	۱۹۷۶۳	۱۴۸۸۷۳	۰٫۲۲	۰٫۲

جدول ۸. مشخصات بیشینه و میانگین مجموعه‌ی شتاب نگاشت‌های مصنوعی تولید شده.

	PGA(%g)		PGV(cm/sec)		انرژی ورودی (KN)	
	بیشینه	میانگین	بیشینه	میانگین	بیشینه	میانگین
مجموعه‌ی اول	۰٫۵۱	۰٫۴۴	۱۰۰٫۲	۷۸٫۵	۱۲۵۱۸۳	۸۲۹۵۱
مجموعه‌ی دوم	۰٫۵۶	۰٫۴۷	۹۸٫۳	۸۱٫۲	۱۰۵۰۵۱	۷۱۸۱۵
مجموعه‌ی سوم	۰٫۵۴	۰٫۵۰	۱۴۰٫۶	۱۰۲٫۸	۱۵۹۶۲۵	۱۰۰۳۱۴
مجموعه‌ی چهارم	۰٫۵۶	۰٫۴۹	۱۱۷٫۷	۹۷٫۷	۱۴۸۸۷۳	۹۱۲۳۷

بیشینه‌ی طبقات سازه در مقابل گروه‌های اول و دوم وجود ندارد. شاید بتوان آن‌را به بزرگای گشتاوری نگاشت‌های حقیقی این دو مجموعه قبل از انطباق طیفی نسبت داد. اما نتایج موجود برای چنین نتیجه‌گیری کافی نیستند.

۲.۶. فاصله‌ی سازه از سطح گسل: کمتر از ۱۰ کیلومتر

این تعریف شامل گروه‌های سوم و چهارم می‌شود که بر اساس بزرگای گشتاوری نگاشت‌های آن‌ها قبل از انطباق طیفی، به بیشتر از ۶٫۵ و کمتر از آن تقسیم می‌شود. همان‌گونه که در شکل های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود، مقادیر میانگین پاسخ‌های تغییرمکان و نسبت جابجایی سازه در مقابل این دو گروه با هم تفاوت قابل ملاحظه‌یی دارند. به‌طوری‌که در گروه سوم نسبت جابجایی‌ها بیشتر در طبقات پایین رخ داده است، درحالی‌که در گروه چهارم این مقادیر به سمت طبقات بالای سازه حرکت کرده است. شاید بتوان این اثر را در مقادیر بالای انرژی ورودی و PGV مجموعه‌ی

Archive of SID

www.SID.ir

نگاشت‌ها جستجو کرد. اما باز هم بی‌تأثیر بودن مقادیر PGA نگاشت‌ها کاملاً مشهود است.

مقادیر میانگین بیشینه‌ی برش پایه‌ی سازه حاصل از گروه‌های سوم و چهارم در شکل ۱۳ تفاوت مشخصی را نشان نمی‌دهند. درحالی‌که مشابه حالت قبل، مقادیر میانگین نیروهای بیشینه‌ی طبقات سازه ناشی از مجموعه‌ی نگاشت با گشتاوری کوچک‌تر بسیار بیشتر از مقادیر متناظر در مجموعه با گشتاوری بزرگ‌تر است. مقایسه‌ی این حالت با مقادیر مشابه حاصل از گروه‌های اول و دوم مؤید این نکته است که پارامترهای شتاب، سرعت و حتی انرژی ورودی مجموعه‌ی نگاشت‌ها، منعکس در جدول ۸، در تعیین مقادیر میانگین نیروهای بیشینه‌ی طبقات سازه هیچ نقشی ایفا نمی‌کنند. شاید بتوان چنین گفت که انتخاب شتاب‌نگاشت‌های حقیقی با بزرگای گشتاوری بالاتر (از ۶/۵)، مقادیر واقعی‌تری از نیروهای بیشینه‌ی طبقات ارائه می‌کنند. در عین‌حال که این انتخاب تأثیر خاصی بر کلیّت مسئله ندارد و در بقیه‌ی مشخصه‌های سازه‌یی تغییری ایجاد نمی‌کند.

۳.۶. بررسی تأثیر فاصله‌ی سازه از سطح گسل

مقایسه‌ی پاسخ‌های میانگین سازه در مقابل چهار مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی تولید شده با تئوری موجک در شکل های ۱۱ تا ۱۳ نشان می‌دهد که استفاده از مجموعه‌ی نگاشت‌های حقیقی با فاصله‌ی نزدیک از گسل فعال، به نگاشت‌های قوی‌تر با انرژی ورودی و PGV بزرگ‌تری منتهی خواهد شد. اما تفاوت مشخصی در رفتار سازه و حتی مقادیر پاسخ‌های لرزه‌یی دیده نمی‌شود. این در حالی است که استفاده از نگاشت‌های حقیقی با بزرگای گشتاوری کوچک‌تر به نیروی بیشینه‌ی طبقه‌ی بزرگ‌تر (که می‌تواند غیرواقعی نیز باشد) می‌انجامد.

۴.۶. بررسی میانگین بیشینه‌ی برش پایه و میانگین نیروهای بیشینه‌ی طبقات

میانگین بیشینه‌ی نیروهای برش پایه‌ی قاب ۱۶ طبقه در چهار مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت در شکل ۱۳، ارائه شده است. براین اساس:

۱. مقادیر به‌دست آمده از تحلیل‌های غیرخطی تقریباً دو برابر مقدار برش پایه‌ی کاهش یافته‌ی مبنای طراحی سازه است؛

۲. مقادیر میانگین بیشینه‌های مجموعه‌ها به بزرگای اولیه‌ی آن‌ها بستگی ندارند؛

۳. نگاشت‌های مصنوعی با فاصله نزدیک‌تر به سطح گسیختگی گسل، اندکی مقادیر برش پایه‌ی بزرگ‌تری به‌دست می‌آید؛

۴. برداشت‌کلی: بیشینه‌ی برش پایه‌ی سازه‌ی ۱۶ طبقه‌ی مورد نظر با رفتار غیرخطی در هنگام وقوع زلزله مقداری (تقریباً) ثابت است.

با ارائه‌ی میانگین نیروهای بیشینه‌ی طبقات در شکل ۱۲، می‌توان مشاهده کرد که:

۱. نگاشت‌های با بزرگای بیشتر از ۶/۵، از فاصله تا سطح گسیختگی گسل تأثیر نمی‌پذیرند؛

۲. در نگاشت‌های با بزرگای بیشتر از ۶/۵، توزیع مقادیر میانگین نیروهای بیشینه‌ی طبقات نزدیک به یک مثلث با قاعده در پایین، با اندکی افزایش در طبقات بالاست؛

۳. مقادیرمیانگین نیروهای بیشینه‌ی طبقات در نگاشت‌های غیر قابل پیش‌بینی با بزرگای کمتر از ۶/۵، با توزیع انرژی قابل ملاحظه‌یی در طبقات زیر میانی دارند.

البته از آنجا که این مقادیر هم‌زمان اتفاق نمی‌افتند تأثیری در مقادیر نیروی برش پایه ندارند.

۷. نتیجه گیری

در این نوشتار با استفاده از تبدیل موجک، چهار مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت مصنوعی با طیف پاسخی منطبق بر طیف طراحی یک سازه‌ی بتن مسلح تولید شده است. سازه‌ی مورد نظر ۱۶ طبقه با دو دهانه، براساس نیروهای حاصل از ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده است. مجموعه‌ی شتاب‌نگاشت‌های حقیقی براساس فاصله‌ی ثبت نگاشت از گسل فعال و بزرگای گشتاوری متفاوت، در عین ثابت بودن بقیه‌ی پارامترها، به چهار مجموعه دسته‌بندی شده‌اند. ارزیابی‌ها نشان دادند که پس از اعمال این روش بر روی اعضای این چهار مجموعه، مقادیر سرعت و جابجایی بیشتر شتاب‌نگاشت‌های تولید شده در انتهای دامنه‌ی زمانی خطای قابل ملاحظه‌یی دارند. بنابراین لازم است کلیه‌ی شتاب‌نگاشت‌ها پیش از استفاده در تحلیل‌ها به‌گونه‌یی اصلاح شوند که طیف پاسخ آنها تغییر نکند. پس از تصحیح، تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی سازه‌ی مورد نظر در اثر کلیه‌ی شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی تولید شده در هر مجموعه انجام شد.

به‌دلیل پراکندگی پاسخ‌های سازه در مقابل شتاب‌نگاشت‌های عضو یک مجموعه، روش ساده‌یی برای ارزیابی پاسخ عمومی سازه پیشنهاد شده است. با توجه به هدف اصلی یعنی بررسی رفتار عمومی سازه در مقابل طیف طرح عمومی پیشنهادی یک آئین‌نامه‌ی لرزه‌یی، فرض می‌شود رفتار حقیقی و متعارف سازه‌یی خاص در اثر نگاشت‌های مختلف با طیف پاسخی منطبق بر طیف طرح عمومی، نباید چندان با هم متفاوت باشند. با این فرض هر بار شتاب‌نگاشتی که بیشترین پراکندگی نسبت به میانگین جمعی بیشینه‌ی نسبت جابجایی طبقه را دارد، حذف می‌شود. این عمل تا آنجا تکرار می‌شود که فقط پاسخ هفت شتاب‌نگاشت دارای کمترین پراکندگی آماری باقی بمانند. حال می‌توان کلیه‌ی معیارهای ارزیابی رفتار لرزه‌یی سازه را طبق استاندارد ۲۸۰۰ از محاسبه‌ی میانگین مقادیر متناظر پاسخ‌های حاصل از این هفت شتاب نگاشت به‌دست آورد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که در هنگام استفاده از نگاشت‌های فاصله‌ی دور، بزرگای گشتاوری نقش تعیین کننده‌یی ایفا نمی‌کند. این در حالی است که انتخاب نگاشت‌های فاصله‌ی نزدیک می‌تواند پاسخ های اندکی بزرگ‌تر در سازه ایجاد کند. در هر صورت این انتخاب چندان در مقادیر بیشینه‌ی نیروی برش پایه و نیروی بیشینه‌ی طبقات تأثیرگذار نیست. از طرف دیگر استفاده از نگاشت‌های با بزرگای گشتاوری کوچک‌تر در عین‌حال که تأثیر چندانی بر مقادیر تغییر مکان بیشینه، نسبت جابجایی بیشینه و حتی بیشینه‌ی نیروی برش پایه ندارد، مقادیر غیر حقیقی فزاینده‌یی را برای بیشینه‌ی نیروهای طبقه به‌دست می‌دهد.

همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهند که پارامتر بیشینه‌ی شتاب زمین نقش مؤثری در پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه ندارد و لازم است پارامترهای مطمئن‌تر بیشینه‌ی سرعت زمین و انرژی ورودی به سازه، معیار انتخاب شتاب‌نگاشت ها قرار گیرد.

در نهایت می‌توان روش تبدیل موجک را روشی قدرتمند و کارآمد در تولید نگاشت‌های با پاسخ طیفی مشخص در نظر گرفت. اما این مسئله به تنهایی معیار کاملی برای انتخاب نگاشت در تحلیل‌های غیرخطی سازه‌ها نیست.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. طاهرپور، ابوالفضل، «تولید شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی با روش تبدیل موجک و تأثیر آنها بر رفتار غیرخطی سازه‌های بتنی»، *پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله*، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۶).

۲. طاهرپور، ابوالفضل؛ بهار، امید و حمزه‌لو، حسین، «تولید شتاب نگاشت‌های منطبق بر طیف طرح با استفاده از تبدیل موجک و بررسی تأثیر آن بر رفتار غیرخطی سازه‌ی بتنی»، پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران (۱۳۸۶).

3. Rajasekaran, S.; Latha, V., and Lee, S.C., " Generation of artificial earthquake motion records using wavelets and principal component analysis", *Journal of Earthquake Engineering,* **10**(5), pp. 665-691 (2006).

4. Daubechies, I. , "Ten lectures on wavelets", *SIAM, Philadelphia,* PA, Notes from the 1990 CBMS-NSF Conference on wavelets and applications at Lowell, MA(1992).

5. Suarez, L.E., and Montejo, L.A., "Generation of artificial earthquakes via the wavelet transform", *Int. Journal of Solid and Structures* **42**, pp. 5905-5919 (2005).

6. Boore, D.M., "Effect of baseline correction on displacements and response spectra for several recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake", *Bulletin of the Seismological Society of America,* **91**(5), pp. 1199-1211 (2001).

7. "OpenSees, ver. 1.7.2: OpenSees is an object-oriented framework for finite element analysis.",*Pacific Earthquake Engineering Research Center [PEER], University of California, Berkeley*, Available from URL:http://opensees.berkeley.edu/ (2006).

8. "USC_RC: Analysis of reinforced concrete members" *Civil Engineering Dept. University of Southern California [USC],* Available from URL: http://www.usc.edu/dept/civil_eng/structural_lab/asad/ (2001).

9. FajFar, P.; Vidic, T., and Fischinger, M., "Seismic design in medium -and long- period structures" , *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, **18**, pp. 1133-1144 (1989).

Archive of SID

www.SID.ir