

ارزیابی توزیع خسارت در قاب‌های خمشی فولادی دوگانه با دیوار برشی بتنی

غلامرضا عبدالله زاده^{۱*}، آرمین جاویدی^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بابل

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه شمال، آمل

abdollahzadeh@nit.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۰۶

چکیده - در این مطالعه قاب‌های خمشی فولادی دوگانه با دیوار برشی بتنی و با تعداد طبقات ۸، ۱۲ و ۱۵، تحت دو الگوی بارگذاری دینامیکی طیفی و استاتیکی معادل که در اغلب آیین‌نامه‌های معتبر دنیا استفاده می‌شوند و براساس ایده توزیع یکسان مقاومت در اعضا طراحی شده‌اند. سپس این قاب‌های دوگانه تحت شش زمین‌لرزه شدید قرار گرفته و با کمک تحلیل دینامیکی غیر خطی، توزیع خسارت در آن‌ها محاسبه و بررسی شده است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که با وجود توزیع یکسان مقاومت در اعضا و طبقات، توزیع خسارت کلی در طبقات و در انواع اعضای سازه‌ای ساختمان اعم از تیر، ستون و دیوار برشی، یکسان نیست. همچنین نتایج بیانگر این واقعیت هستند که تنها بررسی میانگین توزیع خسارت کلی در طبقات و در انواع اعضای سازه‌ای برای ارزیابی خسارت لرزه‌ای کافی نبوده و باید خسارت موضعی وارد شده به هر یک از اعضای سازه‌ای نیز به‌طور مستقل مورد توجه خاص قرار گیرد. چرا که انهدام موضعی اعضا می‌تواند انهدام کلی سازه را به‌دنبال داشته باشد.

واژگان کلیدی: توزیع خسارت کلی و موضعی، شاخص خسارت، سیستم سازه‌ای دوگانه، قاب خمشی فولادی، دیوار برشی بتنی، الگوی بارگذاری جانبی.

۱- مقدمه

انتظار مهندسان بوده است [۱]. امروزه روش‌های طراحی لرزه‌ای استفاده شده نتیجه پیشرفت تاریخی درک دینامیک سازه و به‌ویژه درک پاسخ سازه به تحریک‌های لرزه‌ای، اصلاحات و پیشرفت‌های آیین‌نامه‌ها در دنیا است. اگر چه کاربرد روش‌های طراحی دقیق‌تر و جامع‌تر شده است ولی اصل و پایه روش از ابتدای

در سال‌های اخیر زلزله‌های شدیدی در اطراف شهرهای مدرن رخ داده که خسارت‌های شدیدی به سازه‌ها و ساختمان‌ها وارد کرده است. با توجه به طرح و اجرای سازه‌ها براساس آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زلزله، این خسارت‌های وارد شده فراتر از

خمشی را تحت الگوهای مرسوم توزیع بار جانبی مانند آیین‌نامه *UBC* بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند برای سازه‌هایی که براساس الگوی بار آیین‌نامه طراحی شده‌اند، توزیع شکل‌پذیری در طبقات تحت زلزله یکنواخت نیست. هم‌چنین واثقی و همکاران [۸] اثر الگوی بارگذاری استاتیکی معادل را با استفاده از قاب‌های خمشی بتنی با دیوار برشی تحت شتاب‌نگاشت‌های مختلف بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با وجود توزیع یکنواخت مقاومت در ارتفاع سازه، در زلزله‌های شدید توزیع خسارت و جابه‌جایی در ارتفاع سازه غیریکنواخت است.

۲- شاخص خسارت

شاخص خرابی برای ارزیابی خسارت وارد بر سازه به‌صورت شاخص خرابی موضعی و شاخص خرابی کلی تعریف می‌شود. شاخص خرابی بیان کمی خسارت است که برای خسارت وارد بر یک عضو (شاخص خرابی موضعی) و یا مجموعه اعضا مانند اعضای یک طبقه یا کل سازه (شاخص خرابی کلی) به‌صورت کمی عددی بین صفر تا یک و یا برحسب درصد بین صفر تا صد درصد بیان می‌شود. عدد شاخص خسارت در عضو یا سازه‌ای که هیچ خسارتی ندیده است با مقدار صفر یا صفر درصد و در عضو یا سازه‌ای که منهدم یا گسیخته می‌شود، با مقدار یک یا صد درصد بیان می‌شود. تا به امروز شاخص‌های خسارت زیادی تعریف شده‌اند. شکل‌پذیری و جابه‌جایی نسبی طبقات از جمله شاخص‌های خسارتی هستند که خسارت را تحت بزرگ‌ترین چرخه در نظر می‌گیرند. زهرا و هال [۹]، فایفر [۱۰] و باسو و گوپتا [۱۱] نشان دادند که شکل‌پذیری به‌تنهایی پارامترهای مدت زمان حرکت شدید زمین، محتوای فرکانسی و تغییر شکل پلاستیک تجمعی را در نظر نمی‌گیرد. بررسی ۱۶۳ ساختمان آسیب‌دیده در زلزله نورث‌ریچ سال

استفاده از آن در اوایل قرن بیستم تغییر قابل توجهی نداشته است. در نتیجه توزیع نیروها در ارتفاع (و بنابراین سختی و مقاومت) براساس مود ارتعاش الاستیک سازه است [۲؛ ۳]. در این خصوص بیش‌تر آیین‌نامه‌های ساختمانی فعلی، الگوی بار لرزه‌ای ساده استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی را در طرح سازه‌ها پیشنهاد کرده‌اند که به‌طور انکارناپذیری بیش‌ترین مقبولیت را یافته است. اگرچه در برخی شرایط غیرمعمول تحلیل تاریخچه زمانی خطی الاستیک یا تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی پلاستیک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. همه این روش‌ها اساساً بر محاسبه نیاز حداکثر یک پارامتر طراحی خاص مانند جابه‌جایی، شکل‌پذیری و نیروی داخلی اعضا متمرکز شده‌اند و دیگر جنبه‌های مهم عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها مانند شکل‌پذیری چرخه‌ای تجمعی، تعداد چرخه‌های تسلیم، ویرانی فزاینده، خستگی کم‌چرخه و ظرفیت اتلاف انرژی تنها به شکل غیرمستقیم و با کمک ضریب کاهش مقاومت مجاز پاسخ الاستیک در نظر گرفته می‌شود [۴].

روش‌های جاری طراحی مقاوم لرزه‌ای به‌طور ضمنی نیازهای ساختمان‌های جدید را محافظه‌کارانه در نظر می‌گیرند. بررسی کفایت سازه‌های موجود در برابر زلزله به‌ویژه در نواحی با خطر لرزه‌خیزی پایین و متوسط نشان می‌دهد که با توجه به نبود یک تعریف جامع از مقاومت چرخه‌ای نهایی، روش‌های تحلیل و طراحی مرسوم می‌توانند برآورد دست بالای نیروی زلزله را به‌دنبال داشته باشند [۴].

تا به امروز مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی متعددی برای ارزیابی صحت توزیع نیروهای جانبی ارائه شده در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای انجام شده است. لی و گوئل [۵] یک سری قاب ۲ تا ۲۰ طبقه را تحت تحریک لرزه‌ای بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که به‌طورکلی بین نیروهای زلزله و نیروهای پیشنهادی آیین‌نامه‌ها تفاوت وجود دارد. مقدم و اسماعیل‌زاده [۶] و چوپرا [۷] تعدادی ساختمان قاب

نهایی تحت بارگذاری استاتیکی یک جهته، θ_r دوران تسلیم و M_y لنگر تسلیم است. کوسزنا و همکاران [۱۷] با توجه رفتار پلاستیک و جذب انرژی هیسترتیک عضو برای β مقدار میانگین ۰/۰۵ برای اعضای با کیفیت خوب و ۰/۱۵ را برای اعضای با کیفیت متوسط پیشنهاد می‌کند. شاخص خسارت طبقه با استفاده از تابع وزنی انرژی هیسترتیک به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$DI_{story} = \sum (\lambda_i)(DI_i) \quad (3)$$

$$\lambda_i = \left[\frac{E_i}{\sum E_i} \right]_{component} \quad (4)$$

که λ_i تابع وزنی انرژی، E_i مجموع انرژی هیسترتیک عضو i ام و DI_i شاخص خسارت عضو i ام است.

شاخص خسارت کلی که از شاخص خسارت اعضا به دست نمی‌آید، برای مثال شاخص خسارت نرمی حداکثر که به وسیله دی پاسکواله و کاکمک [۱۸] ارائه شده است، هیچ اطلاعاتی در مورد نوع و محل خسارت به دست نداده و آسیب پذیری سازه را نشان نمی‌دهد، زیرا پتانسیل ویرانی یک یا چند عضو بحرانی را مشخص نمی‌کند. هم‌چنین استفاده از تابع وزنی و شاخص خسارت موضعی برای محاسبه شاخص خسارت کل محدودیت‌هایی دارد. نخست آن‌که شاخص خسارت کل باید مانند شاخص خسارت موضعی معتبر و موثق باشد. دوم آن‌که روش روشن و مشخصی به منظور تعریف تابع وزنی برای اعضا مختلف و سطوح مختلف خسارت وجود ندارد [۱۹].

۳- الگوهای بارگذاری جانبی

۳-۱- الگوی بارگذاری جانبی استاتیکی معادل

در بیش‌تر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای دنیا هم‌چون UBC97; NEHRP-94; ATC-3-06; ANSI-ASCE 7-95

۱۹۹۴ [۱۲] نشان می‌دهد هیچ همبستگی بین خسارت سازه‌ای و جابه‌جایی نسبی طبقات وجود ندارد و جابه‌جایی نسبی طبقات مدت زمان حرکت شدید زمین، محتوای فرکانسی و تغییر شکل پلاستیک تجمعی را در نظر نمی‌گیرد. کراتزیگ و همکاران [۱۳] معتقدند انرژی هیسترتیک یک شاخص خسارت تجمعی است که تاریخچه بارگذاری و خسارت را بیان می‌کند. آن‌ها نسبت انرژی هیسترتیک تحت زلزله به انرژی هیسترتیک نهایی تحت بار استاتیکی یک‌جهته را به عنوان شاخص خسارت معرفی کردند. بنان و ونزیانو [۱۴] انرژی هیسترتیک را به عنوان شاخص خسارت مناسب ندانستند، زیرا وقتی نیروی وارد به عضو یا سازه شدید باشد، تحت انرژی کمی گسیختگی اتفاق می‌افتد.

پارک و انگ [۱۵] شاخص خسارتی براساس رابطه (۱) را مطرح کردند:

$$DI = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \beta \frac{E_h}{Q_y \delta_u} \quad (1)$$

که δ_m حداکثر تغییر شکل عضو تحت زلزله، δ_u تغییر شکل نهایی تحت بارگذاری استاتیکی یک‌جهته، β ضریب ثابت، E_h انرژی هیسترتیک عضو در مدت زلزله و Q_y مقاومت تسلیم عضو است. شاخص خسارت پارک-انگ بر این فرض استوار است که خسارت زلزله در اثر تغییر شکل حداکثر و انرژی هیسترتیک که مبین تاریخچه بارگذاری و خسارت تجمعی است، ایجاد می‌شود. شاخص خسارت پارک-انگ متداول‌ترین شاخصی است که استفاده می‌شود. کونات و همکاران [۱۶] شاخص خسارت پارک-انگ را به صورت رابطه (۲) اصلاح کردند:

$$DI = \frac{\theta_m - \theta_y}{\theta_u - \theta_y} + \beta \frac{E_h}{M_y \theta_u} \quad (2)$$

که θ_m دوران حداکثر در مدت زمان زمین‌لرزه، θ_u دوران

[۲۳-۲۰] و آیین‌نامه لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش سوم) [۲۴] توزیع بار جانبی در ارتفاع با رابطه (۵) مشخص می‌شود:

$$F_i = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n w_j h_j^k} \times (V - F_t) \quad (5)$$

که w_i وزن طبقه i ام بالای تراز پایه، h_i ارتفاع طبقه i ام بالای تراز پایه و n تعداد طبقات است و هم‌چنین k عدد ثابتی است که مقدار آن در آیین‌نامه‌های مختلف دنیا متفاوت است. در بعضی آیین‌نامه‌ها مانند NEHRP-94 [۲۲] و ANSI-ASCE 7-95 [۲۰] مقدار k برای دوره تناوب $0/5$ تا $2/5$ ثانیه بین ۱ تا ۲ تغییر می‌کند و در برخی دیگر مانند UBC97 [۲۳] و آیین‌نامه لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش سوم) [۲۴] مقدار k برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود و نیروی طبقه آخر (بام) برای دوره تناوب اصلی بیش‌تر از $0/7$ ثانیه به مقدار $F_t = 0.07TV$ افزایش پیدا می‌کند.

۳-۲- الگوی بارگذاری جانبی دینامیکی طیفی

در این روش تحلیل دینامیکی خطی با استفاده از حداکثر پاسخ دینامیکی مودهایی که در پاسخ نهایی سازه سهم عمده‌ای دارند، انجام می‌شود. پاسخ‌های مودی حداکثر با استفاده از منحنی طیف پاسخ مربوط به دوره تناوب هر مود محاسبه می‌شود. در این روش توزیع نیروهای جانبی در ارتفاع براساس رابطه (۶) تعیین می‌شود:

$$F_{im} = \frac{w_i \phi_{im}}{\sum_{j=1}^n w_j \phi_{jm}} \times V_m \quad (6)$$

که ϕ_{im} مولفه m ام نوسان در طبقه i ام بالای تراز پایه، V_m برش پایه مود m ام، F_{im} نیروی افقی مود m ام در طبقه

i ام بالای تراز پایه است.

۴- سیستم سازه‌ای انتخاب شده

در این مطالعه قاب‌های خمشی فولادی دوگانه ۵ دهانه با دیوار برشی بتن مسلح انتخاب شده‌اند. برای این قاب‌ها تعداد طبقات ۸، ۱۲ و ۱۵، ارتفاع طبقات $3/2$ متر، طول تمامی دهانه‌ها $4/5$ متر و تنها طول دهانه دیوار برشی، ۳ متر در نظر گرفته شده است. همه ساختمان‌ها دارای کاربری مسکونی فرض شده و در منطقه با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد (با نسبت شتاب مبنای طرح $0/35$) و خاک نوع III (با سرعت موج برشی ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه در عمق حداکثر ۳۰ متر) واقع شده‌اند. دو الگوی بارگذاری جانبی استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی برای طراحی سازه در نظر گرفته شده‌اند. برای تحلیل و طراحی نرم‌افزار ETABS [۲۵] و برای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی نرم‌افزار RAM-PERFORM [۲۶] مورد استفاده شده‌است. مقاومت فشاری بتن ۲۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و تنش تسلیم میلگردها ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و تنش فولاد نرمه تیرها و ستون‌ها ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع فرض شده است. از آن جایی که هدف از این تحقیق ارزیابی توزیع خسارت و بررسی کفایت الگوی بارگذاری جانبی است، در مرحله طراحی نسبت مقاومت برای همه اعضا یکسان لحاظ شده است تا توزیع خسارت با توجه به توزیع یکسان مقاومت بررسی شود. تیرها و ستون‌ها براساس ضوابط مبحث دهم مقررات ملی [۲۷] با نسبت تنش بین $0/9$ تا $1/0$ و دیوارهای برشی بر اساس ضوابط مبحث نهم مقررات ملی [۲۸] با نسبت تنش $0/95$ طراحی شده‌اند. قاب‌های ۸، ۱۲ و ۱۵ طبقه- که با روش استاتیکی معادل بارگذاری و طراحی شده‌اند- به ترتیب با نام ES-8، ES-12 و ES-15 و قاب‌های ۸، ۱۲ و ۱۵ طبقه‌ای- که با روش دینامیکی طیفی بارگذاری و طراحی شده‌اند- به ترتیب با نام SD-8، SD-12 و SD-15 مشخص شده‌اند.

۵- شتاب‌نگاشت‌های منتخب

با توجه به این‌که سازه‌ها در خاک نوع III واقع شده‌اند، شتاب‌نگاشت شدید با بزرگای بزرگ‌تر از ۶۲ ریشتر که همگی در خاک نوع III ثبت گردیدند، انتخاب شده‌اند. با توجه به آن‌که خیلی از شهرها در همسایگی منابع لرزه‌ای احداث شده‌اند، نگاشت‌های زلزله نیز به نحوی انتخاب شده‌اند که فاصله ایستگاه ثبت این شتاب‌نگاشت از مرکز سطحی زلزله آن‌ها کم‌تر از ۳۵ کیلومتر باشد. سپس همه این شتاب‌نگاشت‌ها که آثار جهت‌پذیری پیشرو در آن‌ها مشاهده نشده‌است، براساس حداکثر شتاب مؤثر، به شتاب‌مبنای طرح همپایه شده‌اند تا امکان مقایسه نتایج تحلیل قاب‌ها تحت اثر این نگاشت‌ها مهیا شده و ترکیب این نتایج امکان‌پذیر باشد. جدول ۱ مشخصات شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده را نشان می‌دهد.

جدول (۱) مشخصات شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده

Ground motion	Date	PGA[g]	Magnitude	Station
Kocaeli	99/08/17	0.098	7.4	Iznik
Landers	92/06/28	0.152	7.3	Yermo Fire Station
Tabas	78/09/16	0.142	7.6	Boshrooy
Imperial Valley	79/10/15	0.254	6.5	Chihuahua
Loma Prieta	89/10/18	0.215	6.9	Hollister City Hall
Morgan Hill	84/04/24	0.071	6.2	Hollister City Hall

۶- مشخصات مدل و تابع خسارت

مفاصل پلاستیک تیر و ستون با در نظر گرفتن آثار سخت‌شدگی کرنشی با شیبی برابر ۳ درصد شیب قسمت الاستیک معرفی شده‌اند و برای آن‌ها کاهش مقاومت^۱ نیز در نظر گرفته شده‌است. در مفاصل پلاستیک ستون‌ها آثار اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی لحاظ شده‌است. دیوار برشی از نوع مقطع الیافی^۲ با رفتار پلاستیک است و مقطع دیوار به صورت مستطیل با ضخامت ثابت در نظر گرفته شده‌است و جزء مرزی در دو انتهای دیوار برشی به وسیله نرم‌افزار محاسبه شده‌است.

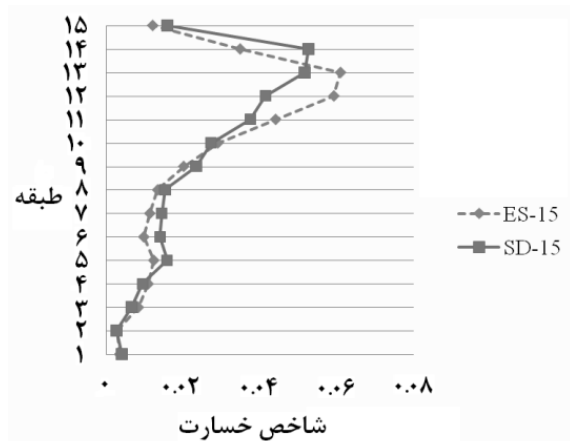
برای محاسبه شاخص خسارت مقادیر M_y و θ_r ، θ_{ii} براساس نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه تعریف شده است و بر همین مبنا نیز مفاصل در دو انتهای اعضا قرار دارد. برای مقدار β مقدار ۰/۰۵ در نظر گرفته شده‌است و مقدار θ_m ، دوران حداکثر در مدت زمان زمین‌لرزه، و E_h ، انرژی هیسترتیک عضو در مدت زلزله، از نرم‌افزار استخراج شده‌است.

در این تحقیق سازه‌های مطالعه‌شده تحت هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها قرار گرفته و تحلیل دینامیکی غیرخطی روی آن‌ها انجام شده‌است. با استخراج داده‌های مورد نیاز، خسارت هر یک از اعضا تحت هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها با استفاده از رابطه (۲) (شاخص خسارت پارک-انگ) محاسبه شده است و سپس خسارت مجموعه اعضا شامل خسارت تیرها، ستون‌ها، دیوار برشی و طبقات هر سازه تحت اثر هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها با استفاده از رابطه (۳) به دست آمده است و در نهایت متوسط خسارت وارد بر طبقات هر سازه با احتمال وقوع پنجاه درصد تحت اثر ۶ شتاب‌نگاشت انتخابی محاسبه و در شکل ۱ تا ۳ نشان داده شده‌است. سپس برای ارزیابی چگونگی توزیع خسارت بین اعضا مختلف سازه‌ای، متوسط خسارت کلی وارد بر انواع اعضا (تیرها، ستون‌ها و دیوار برشی) در هر طبقه تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های مختلف به طور مستقل محاسبه و در شکل‌های ۴ تا ۹ نمایش داده شده است. برای ارزیابی چگونگی توزیع خسارت‌های موضعی در بین هر یک از اعضا قاب که در بخش‌های مختلف قاب قرار دارند، میانگین خسارت موضعی وارد شده به هر عضو ناشی از وقوع زلزله‌های مختلف محاسبه و در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شده‌است.

۷- توزیع خسارت کلی در طبقات

پس از محاسبه خسارت‌های کلی و توزیع آن‌ها در طبقات قاب‌ها، همان‌طور که در شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود، در همه سازه‌ها با وجود به‌کارگیری ایده توزیع یکسان مقاومت

1- Strength Loss
2- fiber section

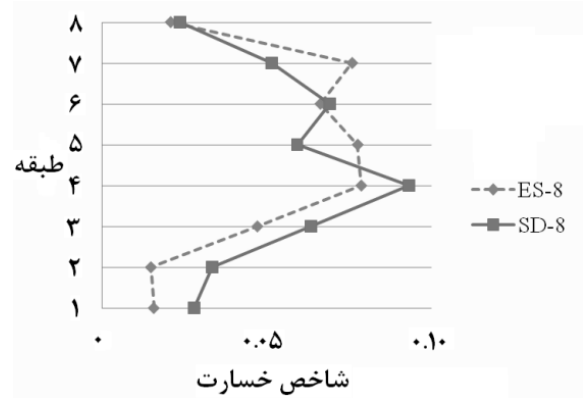


شکل (۳) متوسط خسارت کلی در طبقات ساختمان‌های ۱۵ طبقه تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های مختلف برای سازه‌های بارگذاری شده با روش‌های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی

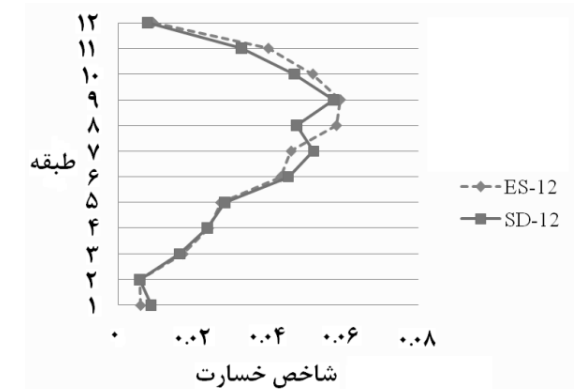
۸- میانگین توزیع خسارت برای هر نوع عضو در هر طبقه

به منظور ارزیابی توزیع خسارت کلی در هر نوع عضو، پس از محاسبه خسارت در هریک از اعضا تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های مختلف و محاسبه میانگین خسارت هر نوع عضو در هر طبقه، نمودارهای میله‌ای شکل‌های ۴ تا ۹ ترسیم شده‌اند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با وجود توزیع یکسان مقاومت در مرحله طراحی تمامی اعضا، توزیع خسارت در این اعضا یکسان نبوده و تمرکز خسارت در یک یا چند عضو مشاهده می‌شود بطوریکه برخی از اعضای خسارت قابل توجهی متحمل می‌شوند ولی در سایر اعضا خسارت ناچیز است. در همه قاب‌های بررسی شده مشاهده می‌شود که در بیش‌تر طبقات تیرها به‌طور قابل ملاحظه‌ای خسارت زیادتری نسبت به ستون‌ها و دیوار برشی متحمل شده‌اند. البته در برخی از طبقات رفتار متفاوتی ملاحظه می‌شود که در مجموع می‌توان اذعان داشت در همه سازه‌ها خسارت فقط در دیوار

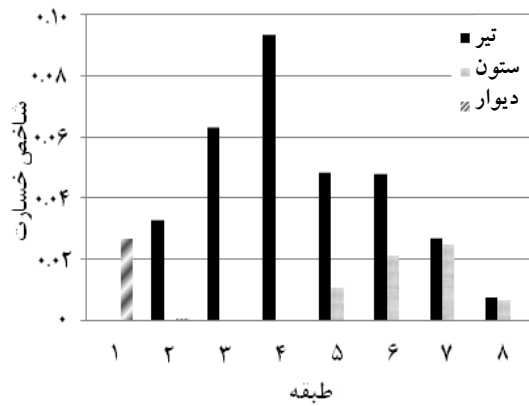
در طبقات در مرحله طراحی، توزیع خسارت کلی در طبقات یکسان نبوده و تمرکز خسارت در یک یا چند طبقه مشاهده شده و برخی طبقات خسارت قابل توجهی متحمل شده‌اند، در حالی که در طبقات دیگر خسارت ناچیز است. در طبقات اول و آخر خسارت نسبت به دیگر طبقات کم‌تر بوده و بیش‌ترین خسارت برای ساختمان‌های ۸ طبقه در طبقات میانی آن‌ها (در مدل‌های ES-8 و SD-8) و برای ساختمان‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه در طبقات نیمه بالایی آن‌ها (در مدل‌های ES-12, SD-12, ES-15, SD-15) مشاهده می‌شود.



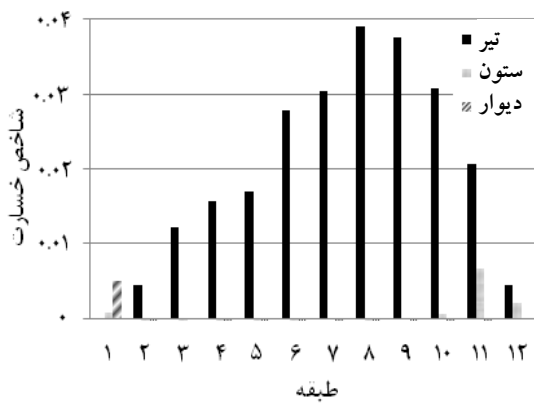
شکل (۱) متوسط خسارت کلی در طبقات ساختمان‌های ۸ طبقه تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های مختلف برای سازه‌های بارگذاری شده با روش‌های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی



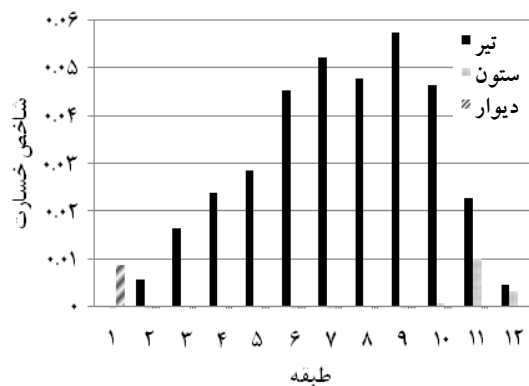
شکل (۲) متوسط خسارت کلی در طبقات ساختمان‌های ۱۲ طبقه تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های مختلف برای سازه‌های بارگذاری شده با روش‌های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی



شکل (۵) توزیع خسارت کلی در هریک از انواع اعضا ساختمان ۸ طبقه بارگذاری شده با روش دینامیکی طیفی



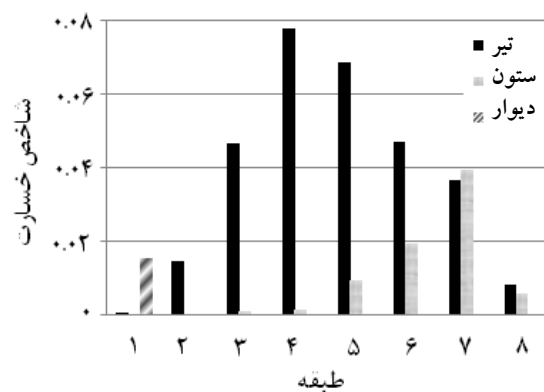
شکل (۶) توزیع خسارت کلی در هریک از انواع اعضای ساختمان ۱۲ طبقه بارگذاری شده با روش استاتیکی معادل



شکل (۷) توزیع خسارت کلی در هریک از انواع اعضای ساختمان ۱۲ طبقه بارگذاری شده با روش دینامیکی طیفی

برشی طبقه اول از خسارت وارد شده به تیرها و ستون‌های آن طبقه بیش تر است، اما دیوار برشی در دیگر طبقات الاستیک باقی مانده است. در مدل‌های ES-8 و SD-8 در دو طبقه آخر و در مدل‌های ES-15، ES-12 و SD-15 و SD-12 در طبقه آخر خسارت وارد به ستون‌ها با تیرها برابر است.

هم‌چنین در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که در بعضی طبقات با وجود این‌که خسارت قابل توجهی به تیرها وارد می‌شود، در ستون‌ها و دیوار برشی خسارت مشاهده نمی‌شود. این‌که تیر بیش تر از ستون خسارت ببیند می‌تواند با ایده ستون‌قوی- تیرضعیف قابل توجیه باشد، ولی خسارت ندیدن دیوار برشی چندان قابل قبول به نظر نمی‌رسد علت این مسئله هم رفتار متفاوت سازه در حالت الاستیک و غیرالاستیک و نیز تغییر سختی و در نتیجه توزیع نیرو پس از تسلیم هر یک از اعضاست. این توزیع غیریکنواخت خسارت در اعضا به‌طور واضح نشان می‌دهد که الگوهای آیین‌نامه‌ای بارگذاری جانبی (الگوهای استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی) به توزیع یکنواخت خسارت و بهره‌برداری بهینه از ظرفیت سازه و مصالح منجر نخواهند شد.



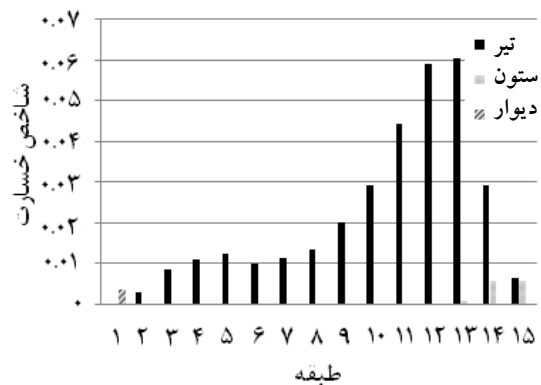
شکل (۸) توزیع خسارت کلی در هریک از انواع اعضا ساختمان ۸ طبقه بارگذاری شده با روش استاتیکی معادل

کناری در حالت الاستیک باقی می‌ماند. هم‌چنین در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که افزایش تعداد طبقات تأثیری بر چگونگی توزیع خسارت در اعضا نداشته و توزیع خسارت در اعضا در قاب‌های ۸، ۱۲ و ۱۵ طبقه مشابه یکدیگر است.

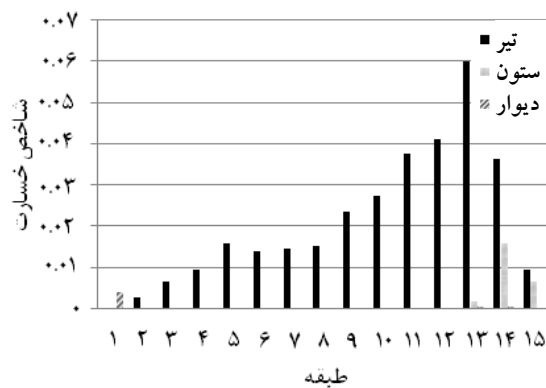
۱۰- ضرورت تعیین توزیع خسارت‌های کلی

و موضعی سازه

درباره استفاده از انواع شاخص‌های خسارت طبقه، انواع اعضا و هر یک از اعضا باید توجه داشت که شاخص خسارت طبقه و شاخص خسارت انواع اعضا نوعی شاخص خسارت کلی هستند و محاسبه شاخص خسارت کلی به تعیین تابع وزنی مناسب نیاز دارد که این کار پیچیده و دشوار است. در نهایت نیز شاخص خسارت کلی نقایصی دارد و پتانسیل خسارت در یک یا چند عضو را نشان نمی‌دهد، درحالی‌که خسارت وارد به هر یک از اعضا را انهدام موضعی برخی از اعضا می‌تواند انهدام کلی سازه را به‌دنبال داشته باشد. نتیجه آن‌که اگرچه خسارت کلی در هر یک از طبقات یا انواع اعضا نتایج منطقی و اطلاعات مفیدی درباره سازه‌ها به‌دست می‌دهد ولی باید خسارت هر یک از اعضا نیز بررسی شود تا ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه کامل شود، چرا که در نهایت نیز باید اعضای ضعیف که نیاز به تقویت یا جایگزینی دارند، مشخص شوند. در این تحقیق نیز در شکل ۴ ملاحظه می‌شود باوجود آن‌که توزیع خسارت کلی در طبقات و انواع اعضای مدل SD-8 با مدل ES-8 مشابه یکدیگر است ولی توزیع خسارت موضعی در بین اعضای مختلف این مدل‌ها یکسان نیست. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که در ستون‌های طبقات فوقانی مدل SD-8 نسبت به مدل ES-8 تمرکز خسارت بیش‌تر است به نحوی که براساس شکل ۱۰ در یکی از ستون‌های میانی طبقه قبل



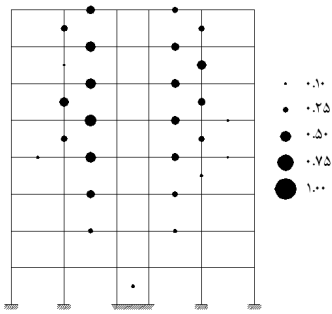
شکل (۸) توزیع خسارت کلی در هر یک از انواع اعضای ساختمان ۱۵ طبقه بارگذاری شده با روش استاتیکی معادل



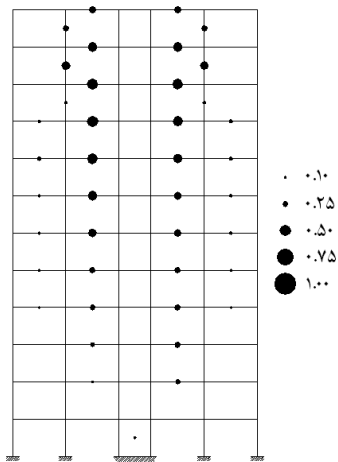
شکل (۹) توزیع خسارت کلی در هر یک از انواع اعضای ساختمان ۱۵ طبقه بارگذاری شده با روش دینامیکی طیفی

۹- میانگین توزیع خسارت برای هر عضو

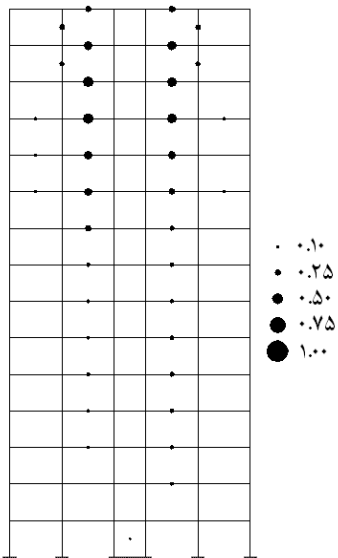
برای بررسی چگونگی توزیع خسارت موضعی در هر یک از اعضای یک قاب، میانگین خسارت وارد شده به هر یک از اعضا تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های مختلف محاسبه شده و در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ به نمایش درآمده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، در هر طبقه خسارت وارد شده به تیرها و ستون‌های میانی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از تیرها و ستون‌های کناری است و در برخی از موارد با وجود خسارت قابل توجه در تیرها و ستون‌های میانی، تیرها و ستون‌های



شکل (۱۰) میانگین خسارت موضعی در هریک از اعضای ساختمان ۸ طبقه بارگذاری شده با روش استاتیکی معادل



شکل (۱۱) میانگین خسارت موضعی در هریک از اعضای ساختمان ۱۲ طبقه بارگذاری شده با روش استاتیکی معادل



شکل (۱۲) میانگین خسارت موضعی در هر یک از اعضای ساختمان ۱۵ طبقه بارگذاری شده با روش استاتیکی معادل

از آخر مدل SD-8 خسارت قابل توجهی مشاهده می‌شود، حال آن‌که در ستون مشابه در مدل ES-8 میزان این خسارت بسیار ناچیز است.

۱۱- مقایسه دو الگوی بارگذاری جانبی

مقایسه مدل‌های SD-8, SD-12, SD-15 به ترتیب با مدل‌های ES-8, ES-12, ES-15 در شکل‌های ۱ تا ۹ نشان می‌دهد که توزیع خسارت در طبقات و هر گروه از اعضا و خسارت موضعی وارد بر هر عضو در سازه‌هایی که با روش استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی بارگذاری و طراحی شده‌اند، شباهت‌های زیادی به هم دارد. علت این شباهت‌ها می‌تواند ناشی از ۱- نقاط مشترک این دو الگوی بارگذاری در استفاده از مود ارتعاشی الاستیک سازه و ۲- نزدیکی بسیار زیاد مقدار برش پایه آن‌ها به جهت دستورالعمل آیین‌نامه لرزه‌ای ایران - استاندارد ۲۸۰۰- در اصلاح و یکسان‌سازی برش پایه روش بارگذاری دینامیکی طیفی به روش بارگذاری استاتیکی معادل، دانست.

باید توجه داشت با وجود آن‌که در هر دو الگوی بار جانبی مقدار کل نیروهایی که در طراحی سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند، تقریباً با هم برابر بوده و مود ارتعاشی هر دو آن‌ها الاستیک فرض می‌شود، ولی چون چگونگی توزیع نیروهای جانبی در ارتفاع سازه در این دو الگوی بارگذاری به طور لزوم یکسان نبوده و تحت زلزله‌های شدید تغییر شکل‌های غیرخطی بزرگی را سازه متحمل می‌شود که این رفتار کاملاً متفاوت با رفتار خطی الاستیک است، از این رو نمی‌توان از همان آغاز با وجود شباهت‌های ذکر شده رفتار پلاستیک و توزیع خسارت مشابهی را از آن‌ها انتظار داشت.

۱۲- خلاصه نتایج

افزایش تعداد طبقات تأثیری بر چگونگی توزیع خسارت در اعضا نداشته است و توزیع خسارت اعضا در قاب‌های ۸، ۱۲ و ۱۵ طبقه مشابه یکدیگر است.

نتایج بالا بیانگر این واقعیت‌اند که تنها بررسی میانگین توزیع خسارت کلی در طبقات برای ارزیابی خسارت لرزه‌ای کافی نبوده و باید خسارت موضعی وارد شده به هر یک از انواع اعضای سازه‌ای، اعم از تیر، ستون و دیوار برشی نیز به‌طور مستقل مورد توجه خاص قرار گیرد، چرا که انهدام موضعی اعضا می‌تواند انهدام کلی سازه را در به‌دنبال داشته باشد.

مقایسه سازه‌هایی که با روش استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی بارگذاری و طراحی شده‌اند، نشانگر این واقعیت است که علی‌رغم توزیع متفاوت بار جانبی در ارتفاع سازه‌ها، توزیع خسارت کلی در طبقات و هر گروه از اعضا در یک طبقه و خسارت وارد بر هر عضو، در این دو الگوی بارگذاری تا حدود زیادی به هم شبیه است.

۱۳- مراجع

- [1] Sunasaka, Y., Toki, K., and Kiremidjian, A.S; "Evaluation of damage potential of ground motions during great ground motions"; *Ground Motion Spectra*, Vol.19, No.3, pp.713-730, 2003.
- [2] Green, N.B., "Ground motion resistant building design and construction"; Second ed. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
- [3] Hart, G.C.; "Ground motion forces for the lateral force code"; *The Structural Design of Tall Buildings*, 49-64, 2000.
- [4] Bruneau, M., and Wang, N.; "Some aspects of energy methods for the inelastic seismic response of Ductile SDOF structures"; *Engineering Structures*, Vol. 18 No.1, pp. 1-12.
- [5] Lee, S.S., and Goel, S.C., "Performance based seismic design of structures using target drift and

در این تحقیق قاب‌های خمشی فولادی دوگانه با دیوار برشی بتنی با تعداد طبقات ۸، ۱۲ و ۱۵- که براساس ایده توزیع یکسان مقاومت در اعضا به‌وسیله دو الگوی بارگذاری دینامیکی طیفی و استاتیکی معادل طراحی شده بودند- تحت اثر شش زمین‌لرزه شدید قرار گرفته و با کمک تحلیل دینامیکی غیر خطی، توزیع خسارت در آن‌ها محاسبه شده و نتایج زیر حاصل شد:

علی‌رغم آن‌که در طراحی طبقات ساختمان، مقاومت طبقات یکسان در نظر گرفته شده بود، ولی میانگین توزیع خسارت کلی ناشی از زلزله در طبقات ساختمان یکسان نبوده و تمرکز خسارت در یک یا چند طبقه مشاهده می‌شود، به‌نحوی که در طبقات اول و آخر خسارت نسبت به دیگر طبقات کم‌تر بوده و بیش‌ترین خسارت در طبقات میانی مشاهده شده است.

با وجود توزیع یکسان مقاومت در طراحی انواع اعضا در هر یک از طبقات، میانگین توزیع خسارت کلی در انواع اعضای سازه‌ای در هر یک از طبقات ساختمان یکسان نبوده و در بیش‌تر طبقات تیرها به‌طور قابل ملاحظه‌ای خسارت بیش‌تری نسبت به ستون‌ها و دیوار برشی متحمل شده‌اند و فقط در طبقه اول خسارت وارد شده به دیوار برشی از خسارت وارد شده به تیرها و ستون‌های آن طبقه بیش‌تر است، اما دیوار برشی در دیگر طبقات الاستیک باقی مانده است.

با بررسی چگونگی توزیع خسارت در هر یک از اعضای یک قاب، مشاهده شده است که در هر طبقه خسارت وارد شده به تیرها و ستون‌های میانی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از تیرها و ستون‌های کناری است و در برخی از موارد با وجود خسارت قابل توجه در تیرها و ستون‌های میانی، تیرها و ستون‌های کناری در حالت الاستیک باقی می‌مانند. همچنین مشاهده شده است که

- structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.10, pp.179-193.
- [15] Park, Y.J., and Ang, A. H.-S., 1985, Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 722-739
- [16] Kunnath, S.K., Reinhorn, A.M. and Lobo, R.F. 1992. "IDARC Version 3.0: A Program for the Inelastic Damage Analysis of RC Structures" Report No. NCEER-92-0022, National Center of Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, N.Y.
- [17] Cosenza, E., Manfredi, G., and Ramasco, R., 1993, The Use of Damage Functionals in Earthquake Engineering: A Comparison between Different Methods, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 22, No.10, pp. 855-868.
- [18] DiPasquale, E., and Cakmak, A.S., 1988, Identification of the serviceability limit state and detection of seismic structural damage, Report NCEER-88-0022, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo.
- [19] Williams, M.S., and Sexsmith, R.G., 1995 "Seismic Damage Indices for Concrete Structures: A State-of-the-art Review," *Earthquake Spectra*, Vol. 11, No. 2, pp. 319-349.
- [20] ANSI-ASCE 7-95, 1996. Minimum Design Loads for Building and other Structures.
- [21] ATC-3-06 Report, 1987. Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings, San Francisco, California.
- [22] NEHRP; Recommended provisions for the development of seismic regulation for new buildings"; Building Seismic Safety Council, Washington, DC., 1994.
- [23] Uniform Building Code (UBC); *International Conference of Building Officials*, Vol. 2 , 1997.
- [24] آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد
- yield mechanism"; In: US Japan Seminar on Advanced Stability and Seismicity Concept for Performance Based Design of Steel and Composite Structures, Kyoto, Japan, 2001.
- [6] Moghaddam, H., and Esmailzadeh Hakimi, B.;"On the optimum seismic loading of multistory structures". In: 3rd International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran, pp. 669-676, 1999.
- [7] Chopra, A.K., *Dynamics of structures: Theory and applications to ground motion engineering*; Second ed. Prentice Hall Inc., London, 2001.
- [8] Vaseghi Amiri, J., Ahmadi, Q.Y., G., and Ganjavi, B.,"Assessment of reinforced concrete buildings with shear wall based on Iranian Building Code (third edition)", *Journal of Applied Sciences*, Vol. 8, No. 23, pp.4274-4283, 2008.
- [9] Zahrah, T.F., and Hall, W.J.;"Ground motion energy absorption in SDOF structures"; *Journal Structural Engineering* , ASCE, 110(8), pp. 1757-1772, 1984.
- [10] Fajfar, P., "Equivalent ductility factors taking into account low-cycle fatigue"; *Ground Motion Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 21, No.10, pp. 837 – 848, 1992,
- [11] Basu, B. and Gupta, V.K.;"A Note on damage-based inelastic spectra"; *Ground Motion Engineering and Structural Dynamics*, Vol.25, pp. 421-433, 1996.
- [12] SAC 95-06;"Technical report: Surveys and assessment of damage to buildings affected by the northridge ground motion of January 17, 1994, Structural Engineers Association of California, Applied Technology Council, and California Universities for Research in Ground motion Engineering, 1995.
- [13] Kratzig, W.B., Meyer, I.F., and Meskouris, K.; Damage evolution in reinforced concrete members under cyclic loading; *Proceedings of 5th International Conference on Structural Safety and Reliability*, pp. 795-802, 1989.
- [14] Banon, H., and Veneziano, D., 1982, Seismic safety of reinforced concrete members and

- ۲۸۰۰، ویرایش سوم، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.
- [۲۷] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی)؛ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۷.
- [۲۸] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های بتنی)؛ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۷.
- [25] Computer and Structure Inc., ETABS. Linear and nonlinear static and dynamic analysis and design of building systems, Computer and Structure Inc., Berkeley, Calif, 2004.
- [26] Computer and Structure Inc. و Ram Perform-3DS, Nonlinear analysis and performance assessment for 3D structures, Computer and Structure Inc., Berkeley, Cali, 2004.