

ارزیابی عملکرد لرزه‌های قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از شاخص‌های خسارت

علیرضا حبیبی^۱*؛ مهدی ایزدپناه^۲؛ آزادیزدانی^۳

چکیده

یکی از مهمترین مسایل در طراحی عملکردی، تعیین و پیش‌بینی میزان خسارت وارد بر سازه‌ها است که بدین منظور استانداردهای مبتنی بر عملکرد، سطوح و حدود مشخصی را ارائه نموده‌اند. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی این سطوح، با استفاده از مقایسه‌ی شاخص‌های خسارت در حالت دینامیکی و بارافزون و همچنین بررسی نحوه‌ی عملکرد آیین‌نامه‌های آبا و ۲۸۰۰ در محدود نمودن خسارت وارد بر سازه‌ها است. بدین منظور با طراحی چندین قاب خمشی بتن مسلح و با در نظر گرفتن ۷ ثبات زلزله، به گونه‌ای که طیف حاصل از آنها دارای کمترین اختلاف با طیف طرح آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ باشد، به ارزیابی و مقایسه‌ی خسارت وارد بر این قاب‌ها پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهند که، معیار تغییرشکل نسبی ارائه شده در استانداردهایی مانند FEMA و ATC40 نمی‌تواند به تنهایی میزان خسارت وارد بر سازه‌ها را به خوبی منعکس نمایند. همچنین نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب آیین‌نامه‌های آبا و ۲۸۰۰ در محدود نمودن خسارت وارد بر سازه‌های طراحی شده طبق این آیین‌نامه‌ها در هدف تامین ایمنی‌جانی افراد است.

کلمات کلیدی

خسارت، طراحی براساس عملکرد، تحلیل دینامیکی، تحلیل بارافزون، معیار تغییرشکل نسبی

Evaluation Of Seismic Performance Of RCMRFs Using Damage Indices

AR. Habibi; M. Izadpanah; A. Yazdani

ABSTRACT

Determination and prediction of damage imposed on the structures is one of the most important topics related to the performance based design. In this regard, the standards regarding the performance based design have introduced some levels & limitations. The main objective of this research is to evaluate these levels by comparison of damage indices calculated from dynamic & pushover analysis. IN addition, performance of ABA & 2800 codes in limiting damage of structures is evaluated. For this purpose, seven earthquake records, which are appropriate for site effects under consideration, are selected & scaled in such a way that average response spectrum of them has minimum difference with Iranian code 2800 design spectrum. then damage analysis is performed on several reinforced concrete moment resisting frames. Results represented that drift criterion introduced by standards such as FEMA273 & ATC40 can lead to incorrect results in determination of seismic performance of structures. it was illustrated that ABA & 2800 codes have proper performance in limiting damage of structures at Life Safety level.

KEYWORDS

damage, performance base design, Dynamic Analysis, Pushover Analysis, Drift Criterion

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۸

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۱/۲۷

^۱* نویسنده مسئول و استادیار گروه عمران؛ دانشگاه کردستان؛ گروه مهندسی عمران : ar.habibi@uok.ac.ir

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد کنگاور؛ دانشکده فنی و مهندسی؛ گروه عمران؛ کنگاور؛ ایران: m.eazadpanah@yahoo.com

^۳ استادیار گروه عمران؛ دانشگاه کردستان؛ گروه مهندسی عمران : a.yazdani@uok.ac.ir

تعیین وضعیت عملکردی سازه مناسب است یا خیر؟ و اگر مناسب نیست، آیا می‌توان شاخصی بر اساس تحلیل بارافزون ارائه نمود که دارای تخمین مناسبی از عملکرد واقعی سازه باشد؟ سپس این سؤال مطرح می‌شود که آیین‌نامه‌ی طراحی آبا و ۲۸۰۰ ایران تا چه حد در محدود نمودن خسارت وارد بر سازه‌ها موفق هستند؟ در پاسخ به این سوالات، ابتدا باید شاخص خسارتی انتخاب شده تا ملاک سنجش رفتار سازه‌ها قرار گیرد، بطوریکه دارای برابری مناسبی با خسارت واقعی وارد بر سازه باشد و همچنین با دیدن خسارت سازه‌ها، مقادیر آن کالیبره شده باشند. بدین‌منظور شاخص‌های گوناگون خسارت، مطالعه شد و در پایان شاخص خسارت پارک و انگ به عنوان معیار ارزیابی خسارت واقعی سازه‌ها، در نظر گرفته شد.

در واقع هدف اصلی تحقیق حاضر ارائه معیاری مؤثر و در عین حال کاربردی بر اساس نتایج تحلیل بارافزون که تحلیلی به‌نسبت ساده‌تر و سریع‌تر از تحلیل دینامیکی غیرخطی است، برای ارزیابی خسارت قاب‌های بتنی خواهد بود. به این منظور، با در نظر گرفتن ۷ ثبات زلزله، به طراحی غیرخطی چندین قاب خمشی پرداخته شده و شاخص خسارت پارک و انگ، برای آنها محاسبه می‌شود. سپس با مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج شاخص‌های خسارت پیشنهادی در تحلیل بار افزون، معیار جدید معرفی می‌شود.

۲- روش طیف ظرفیت

از آنجا که تحلیل خسارت با روش بارافزون از ارکان اصلی این تحقیق است، نیاز به محاسبه‌ی نقاط عملکرد سازه است تا بتوان خسارت را در حالت بارافزون با خسارت در حالت دینامیکی مقایسه نمود. بدین منظور از روش طیف ظرفیت، ارائه شده در مرجع [۵]، استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده شده است.

در این روش نقطه‌ی عملکرد باید دو شرط زیر را هم‌زمان داشته باشد:

۱- نقطه باید روی طیف ظرفیت قرار گیرد

۲- نقطه باید روی طیف تقاضای غیرخطی قرار گیرد.

بدین منظور لازم است تا منحنی نیاز و ظرفیت در دستگاه واحد شتاب طیفی در مقابل جابجایی طیفی موسوم به 'ADRS رسم شود که بدین منظور، روابطی در مرجع [۵]، ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین مسائل در روش طیف ظرفیت تخمین میرایی مؤثر سازه در حالت غیرخطی و تهیه طیف نیاز کاهش یافته است. هر نقطه روی منحنی ظرفیت دارای یک میرایی معادل، یک دوره تناوب معادل، یک شکل‌پذیری و یک نقطه‌ی تسلیم

فلسفه جدیدی که از چند سال گذشته به طور جدی در نقاط مختلف دنیا آغاز شده است و به سرعت در حال تکامل است، طراحی لرزه‌ای براساس عملکرد است. در این روش سعی شده که سازه طراحی شده در یک منطقه با سطح لرزه‌خیزی خاص، قابلیت رسیدن به عملکرد مورد انتظار طراح را در زلزله طرح داشته باشد. از مهم‌ترین مقولات در طراحی عملکردی، داشتن تصویری روشن از میزان خسارت وارد بر سازه‌ی طراحی شده در سطوح مختلف خطر است. بدین منظور در دستورالعمل‌هایی مانند FEMA و ATC40 [۱۶]، [۵] سطوح مختلفی از خسارت وارد بر سازه ارائه شده است. معیار تعیین‌کننده‌ی وضعیت سازه در این دستورالعمل‌ها، بر اساس تغییرشکل جانبی است؛ هر چند که در برخی از تحقیقات، نشان داده شده است که استفاده از این معیار به عنوان تنها معیار خرابی، جای تأمل دارد [۲].

در مقوله‌ی تعیین خسارت وارد بر سازه‌ها، تحقیقات بسیاری انجام شده است که از آن جمله، می‌توان به تحقیق پارک و انگ در سال ۱۹۸۵ [۱۹]، براسی ۱۹۸۹ [۶]، دی‌پاسکواله و کک مک [۷]- [۹]، یوسامی و کومار در سال ۱۹۹۸ [۲۱]، گوبارا و همکارانش در سال ۱۹۹۹ [۱۸]، اشاره نمود که هر یک با در نظر گرفتن جنبه‌ای از رفتار سازه، به ارائه شاخص‌هایی برای تعیین میزان خسارت وارد بر سازه‌ها پرداختند. در سال‌های اخیر نیز تحقیقات ارزشمندی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به تحقیقات کولمبو و نگرو در سال ۲۰۰۵ [۱۲]، ژانگ و همکارانش ۲۰۰۷ [۲۳]، فالپرو و همکارانش در سال ۲۰۰۸ [۱۵] و چلینی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ [۱۰] اشاره نمود. کولمبو و نگرو شاخص خسارتی کلی بر مبنای زوال مقاومت ارائه نمودند- [۱۲]. ژانگ و همکارانش با استفاده از روش مقایسه‌ی نیرو و ترکیبی از انرژی و تغییرمکان سازه، به ارائه شاخصی، برای کمی نمودن میزان خسارت وارد بر سازه‌ها پرداختند [۲۳]. فالپرو و همکارانش به ارائه یک طرح خسارت پلاستیک برای قاب‌های بتن مسلح پرداختند [۱۵] و چلینی و همکارانش به تحلیل خسارت قاب‌های مرکب با استفاده از طرح اجزاء محدود به روز شونده پرداختند [۱۰]. مطالعه‌ی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که بیشتر شاخص‌های پیشنهادی توسط محققین، بر اساس انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی است که تحلیلی بسیار پیچیده و وقت‌گیر بوده و این امر سبب شده، کمتر از این شاخص‌ها در مقاصد کاربردی استفاده شود.

تحقیق حاضر دو هدف کلی را دنبال می‌نماید. ابتدا سعی بر پاسخ به این سؤال است که آیا شاخص تغییرشکل جانبی، برای

۳- شاخص‌های انتخابی و پیشنهادی تحقیق

۳-۱- شاخص خسارت پارک و آنگ

در این تحقیق، با توجه به اینکه هدف، ارزیابی عملکرد لرزه- ای آیین‌نامه‌های آبا و ۲۸۰۰ است، لازم است شاخصی انتخاب شود که برای مقادیر مختلف آن، تعاریف کیفی از سطح خسارت سازه امکان‌پذیر باشد. از طرف دیگر با توجه به آنکه هدف، ارائه حدودی برای سطوح مختلف عملکردی براساس شاخص پیشنهادی تحقیق است، در نتیجه نیاز است حدود خسارت و وضعیت کیفی خسارت، برای شاخص دینامیکی، موجود باشد. برای این منظور به مطالعه‌ی شاخص‌های مختلف پرداخته شد و در پایان شاخص پارک به عنوان شاخص مبنا انتخاب شد. از مزیت‌های این شاخص، این است که جزء معدود شاخص‌هایی است که درستی عملکرد آن مورد قبول محققان بسیاری است [۴] و در تحقیقات بسیاری به‌عنوان یکی از شاخص‌های معتبر، مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳] و [۱۴]. این شاخص برای چندین سازه‌ی واقعی مورد ارزیابی قرار گرفته و کالیبره شده است و در ضمن، حدود این شاخص با توجه به آزمایش‌های واقعی، برای میزان خسارت وارد بر سازه، تعیین شده است و هر عدد محاسبه شده از این شاخص متناظر با یک سطح خسارت معین در سازه است [۲۲]. از دیگر مزیت‌ها، می‌توان به وجود تعاریف کیفی سطوح خسارت متناظر با مقدار شاخص پارک-آنگ اشاره نمود که باعث می‌شود، متناظر ساختن آن با سطوح عملکردی و ارزیابی عملکرد سازه‌ها بر اساس معیار واقعی و همچنین ارزیابی ضوابط آیین‌نامه، فراهم شود. این شاخص از رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید [۱۹]:

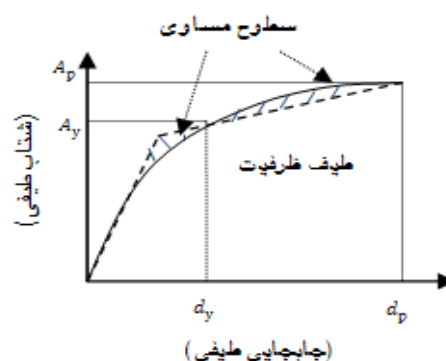
$$DI_{P\&A} = \frac{\theta_m - \theta_r}{\theta_u - \theta_r} + \frac{\beta E_h}{M_y \theta_u} \quad (1)$$

که در این رابطه: θ_m بیش‌ترین چرخش ایجاد شده در عضو در تاریخچه‌ی بارگذاری، θ_u بیش‌ترین ظرفیت چرخش مقطع، θ_r چرخش بازیافتی پس از باربرداری، M_y لنگر تسلیم، β ثابت طرح و E_h انرژی تلف شده در مقطع است. در جدول (۱)، تناسب خسارت واقعی وارد بر سازه با مقادیر این شاخص که توسط پارک ارائه شده است، آورده شده است.

جدول (۱): جزئیات خسارت، متناسب با شاخص پارک [۲۲]

درجه آسیب	نمود ظاهری	شاخص آسیب	وضعیت ساختمان
فرو ریزش	فرو ریختن موضعی یا کلی ساختمان	> ۱	تخریب

مشخص است که برای تعیین این مشخصات، منحنی ظرفیت با یک منحنی دو خطی، به‌گونه‌ای تقریب زده شود که سطح زیر این دو منحنی تا نقطه‌ی موردنظر که معرف انرژی جذب شده توسط سامانه است، با هم برابر شوند. با استفاده از این تساوی طبق شکل (۱)، نقطه‌ی تسلیم مربوطه مشخص شده و با داشتن این نقطه می‌توان کلیه اطلاعات نامبرده برای هر نقطه از منحنی ظرفیت را مشخص نمود. پس از انجام محاسبات مزبور، با استفاده از روابط ارائه شده در مرجع [۵]، میرایی مؤثر محاسبه شده و با استفاده از این میرایی مؤثر، طیف نیاز کاهش یافته محاسبه شده و می‌توان به سمت تعیین نقطه‌ی عملکرد سازه، گام برداشت.



شکل (۱): منحنی ظرفیت و منحنی دو خطی معادل

تعیین نقطه‌ی عملکرد در روش طیف‌ظرفیت، عملیاتی سعی و خطا است و برای تعیین نقطه‌ی عملکرد، روش‌های مختلفی در مراجع وجود دارد. در استاندارد ATC40، سه روش برای تعیین نقطه‌ی عملکرد، با عنوان روش A، B و C پیشنهاد شده است. روش‌های A و B روش‌هایی تحلیلی و روش C روشی گرافیکی است که دقت کمتری نسبت به دو روش دیگر دارد. از نواقص روش A، می‌توان به همگرا نبودن آن در پاره‌ای موارد، اشاره نمود [۱۱]. روش B نیز از فرض ساده‌کننده‌ی تقریب کلی طیف- ظرفیت با منحنی ۲ خطی، استفاده نموده که سبب ایجاد تقریب در نتایج، خواهد شد. در این تحقیق از روش B در تعیین نقاط عملکرد استفاده شده است، اما برای افزایش دقت در تعیین نقاط عملکرد، بجای استفاده از فرض ساده‌کننده‌ی این روش، در هر نقطه از منحنی ظرفیت، سطح زیر این منحنی با استفاده از روش- های انتگرال‌گیری عددی (روش نوزنقه)، با دقت بسیار خوبی محاسبه شده است (از این روش با عنوان روش دقیق، در ATC40 نام برده شده است) [۱].

شدید	خرد شدن گسترده بتن، نمایان شدن آرماتورهای کمانه کرده	۰/۴-۱/۰	غیر قابل تعمیر
متوسط	ترک‌های بزرگ و گسترده، متورق شدن بتن در اعضای ضعیف‌تر	۰/۲۵-۰/۴	قابل تعمیر
کم	ترک‌های کوچک، خرد شدن موضعی بتن در ستون‌ها	۰/۱-۰/۲۵	قابل تعمیر
ناچیز	بروز ترک‌های پراکنده	< ۰/۱	قابل تعمیر

محاسبه‌ی این شاخص در این تحقیق بدین شکل است که، تغییرمکان بیشینه، متناظر با تغییرمکان نقطه‌ی عملکرد و تغییرمکان نهایی، متناظر با نقطه‌ی نهایی در منحنی ظرفیت تغییرمکان تسلیم با توجه به روش مربوط به تساوی انرژی‌ها، در مرجع [۵] که در بخش ۲ توضیح داده شد، برای هر نقطه‌ی عملکرد محاسبه می‌شود. برای تعیین ظرفیت نهایی سازه، تعاریف مختلفی توسط محققین مطرح شده است، اما در این تحقیق نقطه‌ی ظرفیت نهایی سازه، نقطه‌ای از منحنی ظرفیت سازه در نظر گرفته می‌شود که در آن با افزایش اندک نیروی جانبی، سازه دچار تغییرشکل ناگهانی بسیار بزرگی، نسبت به گام قبل شود و به اصطلاح در منحنی ظرفیت سازه، پرش رخ دهد.

۴- طراحی قابها

در این بخش برای ارزیابی شاخص‌های خسارت معرفی شده در بخش‌های قبل، تعداد ۱۴ قاب بتن مسلح به گونه‌ای در نظر گرفته شدند که سطح وسیعی از تعداد طبقات و دهانه‌ها را شامل شوند. قاب‌های چهار دهانه از مرجع [۲] و ده قاب دیگر (۲ و ۵ دهانه) نیز از مرجع [۱] انتخاب شده‌اند. قاب‌های چهار دهانه با تعداد طبقات ۵، ۸، ۱۲ و ۱۵، قاب‌های ۵ دهانه دارای تعداد طبقات ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و قاب‌های ۲ دهانه با تعداد طبقات ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ هستند. ارتفاع کلیه طبقات ۳/۲ متر و طول همه دهانه‌ها نیز ۴ متر است. در طراحی این قاب‌ها فرض می‌شود همه قاب‌ها در بستر سنگی قرار دارند و برای منطقه با خطرپذیری متوسط طبق استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری و طبق آیین‌نامه آبا طراحی شده‌اند (در طراحی این قاب‌ها، همه ضوابط، از جمله محدودیت تغییرشکل جانبی در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، رعایت شده است). قاب‌ها دارای عرض برابر ۴ متر و در تمام طبقات دارای بار مرده ۷۶۰ و بار زنده ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع هستند. اهمیت قاب‌ها از نوع متوسط طبق استاندارد ۲۸۰۰ فرض شده است. در فرایند تحلیل و طراحی این قاب‌ها مقاومت مشخصه بتن برابر با ۳۰ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته بتن برابر با ۲۷۳۸۶ مگاپاسکال، کرنش متناظر با حداکثر مقاومت بتن برابر با ۰/۰۰۲، کرنش نهایی بتن برابر با ۰/۰۰۳، مقاومت جاری شدن فولاد ۳۰۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته فولاد برابر با ۲۰۰۰۰۰ مگاپاسکال فرض شده است. نمای کلی این قاب‌ها در شکل (۲) آمده است و جزئیات مربوط به طراحی آنها در جدول (۲) آورده شده است.

حال با مراجعه به جزئیات معرفی شده برای سطوح مختلف عملکردی در مراجعی مانند ATC40 و FEMA273 می‌توان بطور تقریبی سطح عملکردی OP^2 را متناظر با خسارت ناچیز پارک، سطح عملکردی IO^2 را متناظر با خسارت متوسط و سطح LS^4 را متناظر با خسارت شدید و بالاتر در شاخص پارک در نظر گرفت.

۳-۲- شاخص خسارت تغییرمکان جانبی

این شاخص از مشهورترین شاخص‌ها در دسته‌ی شاخص‌های کلی سازه است که از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$DI_{Drift} = \frac{\Delta m}{H} \quad (2)$$

که در این رابطه: Δm بیش‌ترین تغییرمکان بام (متناظر با نقطه‌ی عملکرد) و H ارتفاع سازه است. در این تحقیق این شاخص با استفاده از تحلیل بارافزون قابل محاسبه است و با نتایج خسارت پارک و انگ (دینامیکی) مقایسه می‌شود.

۳-۳- شاخص خسارت شکل‌پذیری پلاستیک

این شاخص توسط پاول و الاهدی [۲۰] پیشنهاد شد و جزء شاخص‌های محلی^۶ و غیرتجمعی محسوب می‌شود که به دلیل ماهیت ساده‌ی آن، جزء شاخص‌های معروف در میان محققین و مهندسان است. پیشنهاد این تحقیق، بکاربردن این شاخص به صورت کلی^۷ و متناسب با منحنی ظرفیت کل سازه در تحلیل بارافزون، طبق رابطه‌ی (۳) است که با شاخص پارک و انگ (دینامیکی) مقایسه می‌شود.

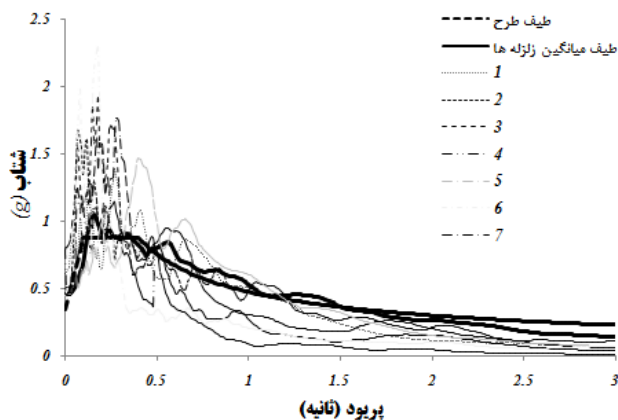
$$DI_{\mu} = \frac{u_{\max} - u_y}{u_{\text{mon}} - u_y} \quad (3)$$

که در این رابطه: u_{\max} تغییرمکان بیشینه، u_y تغییرمکان تسلیم و u_{mon} تغییرمکان نهایی قابل تحمل است. روند

اهمیت برای قاب‌های طراحی شده در این تحقیق است (محدوده بین $0.2T$ و $1/5T$)، کمترین اختلاف را با طیف طرح آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ داشته باشد. مشخصات مربوط به این ثبات‌ها و طیف میانگین حاصل از آنها و طیف مقیاس شده‌ی تمام زلزله‌ها، به ترتیب در جدول (۳) و شکل (۳) آورده شده‌اند.

جدول (۳): مشخصات کلی زلزله‌ها

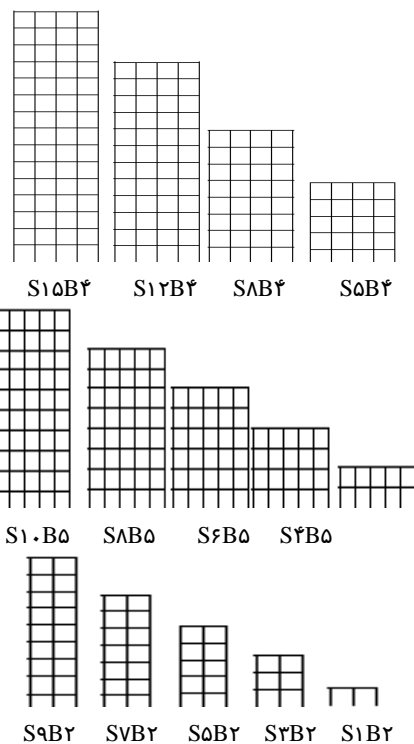
شماره زلزله	نام زلزله	ایستگاه	مولفه (درجه)	بیشینه شتاب (g)
۱	امپریال والی	۲۸۶	۱۳۵	۰/۱۹۵
۲	لندرز	۲۱۰۸۱	۹۰	۰/۱۴۶
۳	لوما پریتا	۵۸۱۳۱	۲۷۰	۰/۰۶
۴	لوما پریتا	۵۸۱۵۱	۹۰	۰/۰۹
۵	لوما پریتا	۵۸۳۳۸	۴۵	۰/۰۸۴
۶	نورثریج	۲۳۵۹۰	۹۰	۰/۰۵۶
۷	نورثریج	۹۰۰۱۹	۱۸۰	۰/۲۵۶



شکل (۲): طیف میانگین و طیف طرح آیین‌نامه ۲۸۰۰

۶- مطالعه‌ی عددی

در این بخش ابتدا به مقایسه‌ی شاخص‌های خسارت پارک و انگ و شاخص تغییرشکل جانبی پرداخته می‌شود و سپس به ارزیابی شاخص پیشنهادی این تحقیق پرداخته خواهد شد. بدین‌منظور، قاب‌های مورد نظر، طراحی شده و تحلیل‌های بارافزون و دینامیکی غیرخطی بر روی طرح‌ها انجام می‌شود. تحلیل بارافزون در این تحقیق با استفاده از الگوی بارگذاری توانی موجود در مرجع [۱۶] انجام شده است که نمودار برش‌پایه-تغییرمکان بام قاب‌های مورد نظر، در شکل (۴) نشان داده شده است.



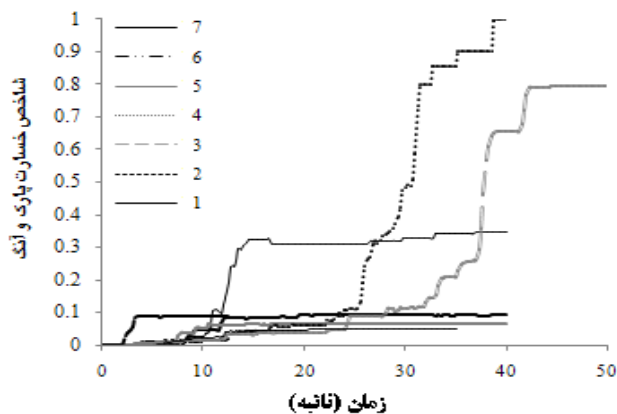
شکل (۲): نمای قاب‌های مورد مطالعه

جدول (۲): مشخصات کلی قاب‌های مورد مطالعه

دوره تناوب سازه	برش پایه (کیلو نیوتن)	تعداد دهانه	تعداد طبقات
۰/۵۶	۱۵۹/۸	۴	۵
۰/۷۹	۲۰۲/۱	۴	۸
۱/۰۷	۲۴۷/۶	۴	۱۲
۱/۲۷	۲۷۶/۸	۴	۱۵
۰/۲۸	۱۱۴/۱	۵	۲
۰/۴۷	۱۷۳/۵	۵	۴
۰/۶۴	۲۱۵/۲	۵	۶
۰/۷۹	۲۴۸/۳	۵	۸
۰/۹۴۱	۲۷۷/۷۶	۵	۱۰
۰/۱۶۷	۲۲/۸۳	۲	۱
۰/۳۸	۷۳	۲	۳
۰/۵۶	۹۴/۳	۲	۵
۰/۷۲	۱۱۱/۸۲	۲	۷
۰/۸۷	۱۰۵/۵۲	۲	۹

۵- انتخاب زلزله‌ها

در این تحقیق ۷ ثبات زلزله از مجموعه ثبات‌های موجود در FEMA440 [۱۷] متناسب با مشخصات ژئوتکنیکی بستر سنگی و دارای فاصله از گسل، به گونه‌ای انتخاب و طبق ضوابط آئین-نامه ۲۸۰۰ مقیاس شده‌اند که طیف میانگین حاصل از آنها در بازه‌ی 0.3 تا $2/4$ ثانیه که بنابر آیین‌نامه ۲۸۰۰، محدوده‌ی با



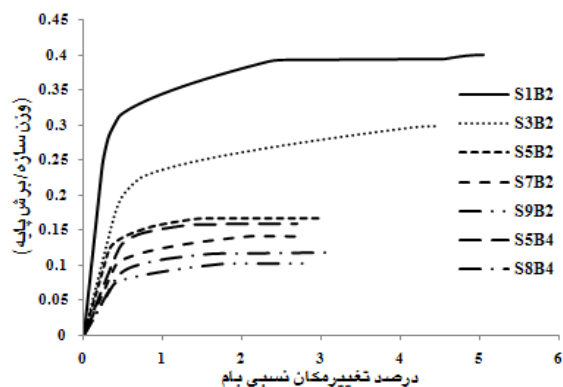
شکل (۵): تحلیل خسارت دینامیکی برای قاب ۷ طبقه

متناظر با هر خسارت محاسبه شده در نقاط عملکرد در تحلیل بارافزون، با میانگین گرفتن از نتایج مربوط به ۷ زلزله سازگار شده با طیف به مقیاس درآمده، خسارت مربوط به تحلیل دینامیکی غیرخطی محاسبه گردید.

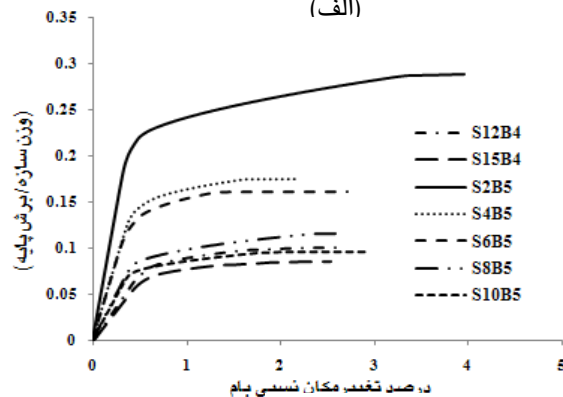
در اشکال ارائه شده در این بخش، نقاط مثلثی شکل مربوط به خسارت متناظر با طیف میانگین در شکل (۳) و متناظر با زلزله طراحی آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ می‌باشند؛ نقاط دایره شکل متناظر با ۱/۵ برابر طیف میانگین در شکل (۳) می‌باشند، که به صورت تقریبی، می‌تواند متناظر با سطح خطر M.E. در ATC40 باشد که معرف احتمال وقوع ۵ درصد در ۵۰ سال می‌باشد (اگرچه تعیین این سطح نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد اما با مراجعه به مرجع [۴]، این سطح تقریباً ۱/۲۵ تا ۱/۵ برابر طیف سطح طراحی می‌باشد که با توجه به این موضوع، به منظور بیان تخمینی نسبی از خسارات در این سطح، بیشترین حد این تقریب یعنی ۱/۵ برابر طیف میانگین، انتخاب گردیده است) و سایر نقاط با مربع مشخص شده‌اند. از این پس در این تحقیق از این نقاط با ذکر شکل سخن گفته می‌شود.

۶-۱- مقایسه‌ی شاخص خسارت پارک و انگ با تغییر شکل جانبی

در این بخش به مقایسه‌ی شاخص خسارت پارک و انگ در تحلیل دینامیکی و شاخص خسارت تغییر شکل جانبی در تحلیل بارافزون پرداخته شده است که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۴): منحنی برش‌پایه- تغییر مکان بام قاب‌ها

برای انجام همه تحلیل‌ها، از نرم‌افزار IDARC V6.1 استفاده شده است [۲۲].

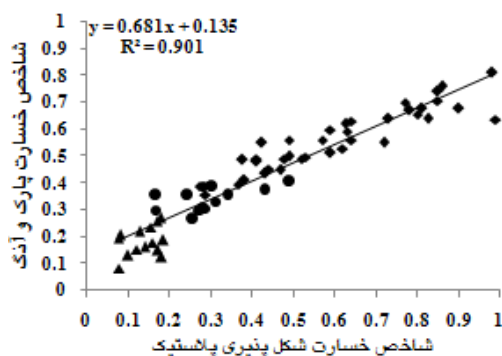
برای محاسبه‌ی شاخص‌های خسارت در تحلیل بارافزون، ابتدا نقطه‌ی عملکرد سازه با روش طیف‌ظرفیت، تعیین شده و سپس مقادیر این شاخص‌ها در نقطه‌ی عملکرد سازه محاسبه شده‌اند. در ادامه برای اینکه ارتباط میان شاخص‌های بیان شده در سطح وسیعی تعیین شود، برای هر یک از قاب‌ها، ۵ نقطه‌ی عملکرد محاسبه شد که به ترتیب مربوط به طیف پاسخ میانگین نمایش داده شده در شکل (۳) و طیف‌هایی که با ضرایب ۲، ۱/۵، ۲/۵ و ۳ برابر طیف اولیه به مقیاس در می‌آیند، است و سپس مقادیر شاخص‌های خسارت در این نقاط محاسبه می‌شوند. در ادامه، برای محاسبه‌ی شاخص‌های خسارت در حالت دینامیکی، ثبات‌های سازگار موجود، با طیف‌های به مقیاس درآمده، سازگار شدند و به انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی قاب‌ها پرداخته شد. برای نمونه در شکل (۵) تغییرات شاخص خسارت پارک و انگ در تحلیل دینامیکی، برای قاب ۷ طبقه‌ی ۲ دهانه در زلزله‌های انتخابی، آورده شده است.

عملکردی OP و IO تلقی شود. این موضوع نشان از عملکرد مناسب آیین‌نامه‌های آبا و ۲۸۰۰ در محدود نمودن خسارت وارد بر سازه‌های طراحی شده با استفاده از ضوابط این آیین‌نامه‌ها و عملکرد دست‌بالای آنها دارد. همچنین با مراجعه به نقاط دایروی که معرف سطح خطر ۵ درصد در ۵۰ سال است، بازه‌ی تغییرات این نقاط از ۰/۲۷ تا ۰/۴۲ بود، که با مراجعه به جدول (۱)، نشان‌دهنده‌ی سطح خسارت متوسط و با مراجعه به سطوح عملکردی، می‌تواند معرف سطح عملکردی LS باشد. این موضوع نشان از عملکرد مناسب آیین‌نامه‌های آبا و ۲۸۰۰ دارد. نتایج نشان می‌دهند که برای نقاط مثلی، بازه‌ی تغییرات جابجایی نسبی از ۰/۶۷۳ تا ۱/۲۵ و برای نقاط دایره شکل از ۰/۹۱۵ تا ۲/۱ است که با توجه به مشخصات سطوح عملکردی تعریف شده در مرجع [۱۶] براساس مقادیر این معیار، نشان از عملکرد مناسب سازه‌ها دارد. از دیگر نکات قابل تأمل در این شکل‌ها، می‌توان به این نکته اشاره نمود که تا حدود جابجایی نسبی ۱/۷ درصد، مقادیر شاخص پارک و انگ، کم‌تر از مقدار ۰/۴ که مرز سطوح خسارت تعمیرپذیری و تعمیرناپذیری است.

۶-۲- مقایسه‌ی شاخص خسارت پارک و انگ با شاخص

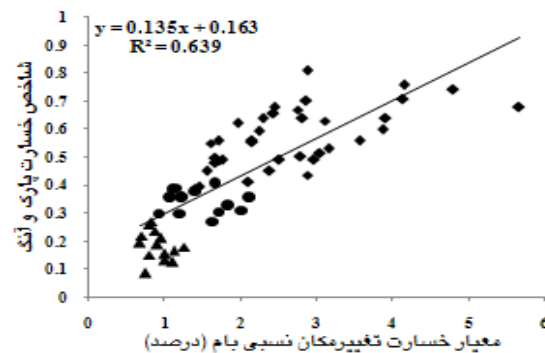
شکل‌پذیری پلاستیک

در این بخش، مقادیر شاخص خسارت پارک و انگ در تحلیل دینامیکی، با مقادیر شاخص خسارت شکل‌پذیری پلاستیک که در بخش ۳-۳ معرفی شد، مقایسه شده است و نتایج مربوط به آن در شکل (۸) آورده شده است.



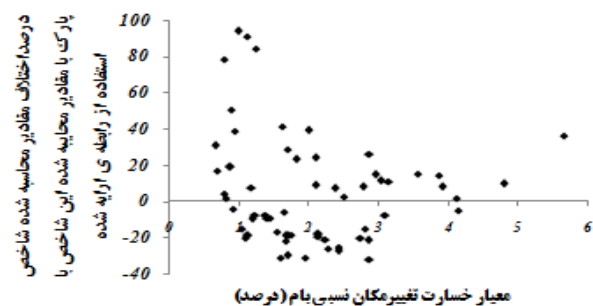
شکل (۸): مقایسه‌ی شاخص خسارت پارک و شاخص شکل‌پذیری پلاستیک

در این بخش نیز، به ارزیابی رابطه‌ی آرایه شده در شکل (۸) پرداخته شده است و درصد اختلاف در شکل (۹) دیده می‌شود.



شکل (۶): رابطه‌ی شاخص خسارت پارک و معیار تغییرمکان نسبی

در شکل (۷) به ارزیابی رابطه‌ی آرایه شده در شکل (۶) پرداخته شده است. در شکل (۷) برای هر مقدار تغییرمکان نسبی بام در تحلیل بارافزون، مقدار شاخص پارک، با استفاده از رابطه‌ی آرایه شده محاسبه گردید و با مقدار بدست آمده‌ی شاخص پارک در تحلیل دینامیکی مقایسه گردید.



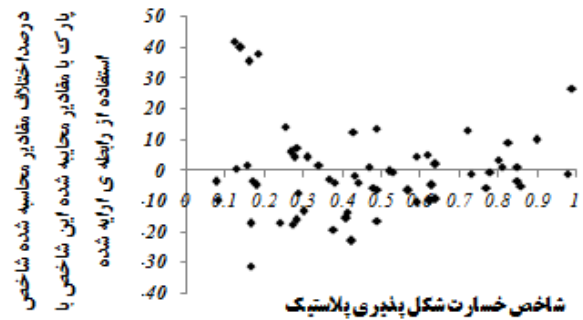
شکل (۷): مقایسه‌ی شاخص خسارت پارک و معیار تغییرمکان نسبی

همانطور که در شکل (۶) می‌توان دید، این دو معیار دارای پراکندگی زیادی، نسبت به هم هستند. در شکل (۷) نیز درصد اختلاف در برخی نقاط، بسیار زیاد است. از این نکته می‌توان نتیجه گرفت که معیار جابجایی نسبی نمی‌تواند شاخص مناسبی برای سنجش عملکرد سازه باشد. علت این موضوع را می‌توان با لحاظ نکردن ظرفیت نهایی سازه در این شاخص، مرتبط دانست چراکه در این معیار فقط به میزان تغییرمکان جانبی بام توجه شده است و ظرفیت کلی سازه در تحمل این تغییرمکان لحاظ نمی‌شود. با توجه به نقاط مثلث شکل که متناظر با طیف طراحی هستند و معرف سطح خطر ۱۰ درصد در ۵۰ سال است، دیده می‌شود که مقادیر شاخص خسارت پارک، از ۰/۰۸۴۱ تا ۰/۲۷ متغیر است. با رجوع به جدول (۱)، این بازه‌ی تغییرات، معرف وضعیت‌های بدون خسارت و خسارت اندک است که با توجه به مشخصات سطوح عملکردی معرفی شده، می‌تواند سطح

جزئیات خسارت	مقادیر شاخص خسارت انرژی	مقادیر جابجایی نسبی بام %
بدون خسارت: وجود ترک با تعداد کم و کوچک	$D < 0.076$	$D < 0.67$
خسارت اندک: ترک کوچک در طول عضو	$0.076 < D < 0.165$	$0.67 < D < 1.15$
خسارت متوسط: ترک شدید و وجود شکاف	$0.165 < D < 0.38$	$1.15 < D < 1.8$
خسارت شدید: تخریب بتن و ظاهر شدن فولاد	$0.38 < D < 1$	$2.1 < D$

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ابتدا به ارزیابی معیار جابجایی نسبی با استفاده از شاخص خسارت پارک و انگ پرداخته شد. نتایج نشان از این نکته است که استفاده از معیار تغییرشکل جانبی بام، به عنوان تنها معیار تشخیص عملکرد سازه، مناسب نیست. مقایسه-ی شاخص خسارت شکل‌پذیری پلاستیک در تحلیل بارافزون و شاخص خسارت پارک و انگ در تحلیل دینامیکی، حاکی از عملکرد مناسب‌تر شاخص شکل‌پذیری نسبت به معیار جابجایی نسبی است. بر اساس نقاط نسبتاً زیاد حاصل شده که هر کدام از آنها نتیجه دو تحلیل خسارت در حالات دینامیکی غیرخطی و استاتیکی غیرخطی است، روابطی برای تخمین مقدار شاخص دینامیکی بر حسب نتایج استاتیکی استخراج شدند. ارزیابی خسارت وارد بر سازه‌های طراحی شده بر مبنای آیین‌نامه‌ی آبا و ۲۸۰۰ ایران، نشان داد که در زلزله‌ی سطح طراحی آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و سطح خطر M.E. در ATC40، آیین‌نامه‌ی آبا و ۲۸۰۰ ایران در محدود نمودن خسارت وارد بر سازه‌ها، عملکرد مناسبی در سطح عملکرد ایمنی جانی دارند. جدول ارائه شده در این تحقیق بر اساس شاخص پیشنهادی، معیارهای ساده و مؤثری را برای پیش‌بینی سطح عملکرد و خسارت قاب‌های خمشی بتن مسلح، بدون نیاز به انجام تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی پیچیده و وقت‌گیر، در اختیار طراحان قرار می‌دهد.



شکل (۹): مقایسه‌ی شاخص خسارت پارک و معیار تغییرمکان نسبی

از نکات قابل توجه در این شکل‌ها می‌توان به پراکندگی کمتر نقاط نسبت به معیار جابجایی نسبی اشاره نمود که سبب می‌شود بتوان با استفاده از روابط ارائه شده، با دقت مناسبی، مقادیر شاخص خسارت پارک و انگ (دینامیکی) را از مقادیر شاخص خسارت شکل‌پذیری پلاستیک (استاتیکی)، استخراج نمود. با مراجعه به شکل (۹) دیده می‌شود جز در تعداد محدودی از نقاط، در سایر نقاط، درصد اختلاف بسیار ناچیز است که می‌تواند عملکرد مناسب رابطه‌ی داده شده را نشان دهد. همچنین در این شاخص نقاط دور، تراکم کمتری نسبت به جابجایی نسبی دارد. از دیگر نکات قابل مشاهده در این منحنی، می‌توان به محدودی تغییرات این شاخص متناظر با نقاط مثلی و دایروی اشاره نمود که به ترتیب برابر با بازه‌ی تغییرات ۰/۰۷۶ تا ۰/۱۸۵ برای نقاط مثلی و ۰/۱۶۵ تا ۰/۴۸۷ برای نقاط دایروی است.

حال چنانچه هدف ارائه‌ی جدولی مانند جدول (۱) برای معرفی سطوح خسارت قابل انتظار متناظر با مقادیر جابجایی نسبی و شکل‌پذیری باشد، با مراجعه به شکل‌های (۶) و (۸)، می‌توان جدولی را بصورت جدول (۴)، تهیه نمود. این جدول در تعیین سطح عملکرد و خسارت یک قاب بتنی فقط بر اساس نتایج تحلیل بار افزون، می‌تواند بسیار مفید و موثر باشد.

جدول (۴): سطوح مختلف خسارت، متناسب با مقادیر شاخص

خسارت شکل‌پذیری پلاستیک و جابجایی نسبی بام

۸- مراجع

اندیس خسارت سختی، نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۰، شماره ۵، صفحه ۷۰۱، ۱۳۸۵.

[۲] سلیمی، محمد؛ "تحلیل غیرخطی قاب‌های خمشی بتن مسلح با تأکید بر اثر محصور شدگی بتن بر ضریب رفتار"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت

[۱] ایزدپناه، مهدی؛ "ارزیابی یک معیار ساده و مؤثر برای تخمین خسارت قاب‌های خمشی بتن مسلح"، پایان‌نامه کارشناسی

ارشد، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه کردستان، ۱۳۸۸.
[۲] حبیبی، علیرضا؛ محرمی، حمید؛ تسنیمی، عباسعلی؛ "ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن مسلح با استفاده از

- Estekanchi H, Arjomandi K, "Comparison of damage indexes in nonlinear time history analysis of steel moment frames" Asian Journal of civil engineering(building and housing).8, PP629-646,2007. [۱۳] مدرس، ۱۳۸۳.
- Estekanchi .H, Arjomandi .K and Vafai .A, "Estimating structural damage of steel moment frames by Endurance Time method" Journal of Constructional Steel Research.64, PP145-155,2008. [۱۴] رهایی ع و نعمتی .س، "ارزیابی عملکرد و روش‌های مقاوم-سازی سازه‌های بتنی". تهران، ۱۳۸۳ [۴]
- Falerio S. Oller S and Barbat A, "Plastic-damage seismic model for reinforced concrete frames" Computers and Structures.86, PP581-597,2008. [۱۵] Applied Technology Council, ATC40; "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings California Seismic Safety Commission", 1997. [۵]
- Federal Emergency Management Agency, FEMA273. "NEHRP Guidline for The Seismic Rehabilitation of Building", Building Seismic Safety Council, Washington DC.1997. [۱۶] Bracci, J.M. and Reinhorn, A.M. and Mander, J.B. and Kunnath, S.K.; "The Deterministic model for seismic damage evaluation of RC structures", Technical Report NCCEER-89-0033, National Center for earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo NY.1989. [۶]
- FEMA440, "Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures", Federal Emergency Management Agency, Washington,DC.2005. [۱۷] Cakmak, A.S, Dipasquale E, "Identification of the serviceability limit state and detection of seismic structure damage" Report NCEER-88-0022, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, NY, 1988. [۷]
- Ghobarah A, Abou-Elfath H, Biddah A, "Response-Based Damage Assessment of Structures", Earthquake Engng. Struct. Dyn. Vol. 28, 1999, PP79-104. [۱۸] Cakmak, A.S, Dipasquale E, "On the relation between local and global damage indices". Technical Report NCEER-89-0034, State University of New York at Buffalo, 1989. [۸]
- Park Y.J., Ang A.H.S, "Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 4, PP.722-739,1985. [۱۹] Cakmak, A.S. and Dipasquale, E., "Seismic damage assessment using linear models". Soil Dynamics and Earthquake Engineering; No.4, 9; 194-215; 1990. [۹]
- Powell H.Graham and Allahabadi R., "Seismic damage prediction by deterministic methods" Concepts and Procedures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 16, 719-734,1988. [۲۰] Chellini G, De Roeck G, Nardini L, Salvatore W, "Damage analysis of a steel-concrete composite frame by finite element model updating" Journal of Constructional Steel Research.66, PP398-411,2010. [۱۰]
- Usami, T., and Kumar, S. "Inelastic seismic design verification method for steel bridge piers using a damage index based hysteretic model." Engineering structures, Vol.20, PP. 472-480.1998. [۲۱] Chopra AK,Goel RK. "Capacity-demand-diagram-methods for estimating seismic deformation of inelastic structures:SDF Systems". Report No.PEER-1999/02.Berkeley(CA):Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley. 1999. [۱۱]
- Valles, R.E; Reinhorn, A.M; Kunnath, S.K; Li4, C and Madan .A, "IDARC version 4.0:a program for the inelastic damage analysis of reinforced concrete structures" Technical Report NCEER-96-0010, National Center For Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo. 1996. [۲۲] Colombo .A, Negro .P, "A damage index of generalized applicability" Engineering Structures.27, PP1163-1174, 2005. [۱۲]
- Zhang X, Wong K, Wang Y, "performance assessment of moment resisting during earthquakes base on the force analogy method" Engineering Structures.29, PP2792-2802,2007. [۲۳]

۹- زیر نویس ها

¹ Acceleration Displacement Response Spectrum

² Operational

³ Immediately Occupancy

⁴ Life Safety

⁵ Collapse Prevention

⁶ Local

⁷ Global