

بررسی آسیب پذیری ساختمانهای بتن مسلح خمشی با استفاده از شاخص خسارت پارک-انگ (مطالعه موردی زلزله های طبس و منجیل)

مهدی نیکو¹، آزاده امیری²، محمد نیکو³، مژده آریانفر⁴

1- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

2- دانشجوی دکتری جغرافیا، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

3- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

4- کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران

¹پست الکترونیکی: sazeh84@yahoo.com

خلاصه:

در ارزیابی آسیب پذیری سازه های بتنی نحوه برخورد مناسب با پدیده زلزله و پیش بینی صحیح و دقیق اثرات آن بر سازه از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. با رخ دادن زلزله های بزرگ و مخرب در چند دهه اخیر همچنین توسعه روش های مطالعاتی و امکانات آزمایشگاهی ثابت شده است که افزایش مقاومت سازه به عنوان تک پارامتر طراحی در روش سنتی نمی تواند به تنهایی ایمنی کافی را تأمین نموده و یا خسارت سازه ای را کاهش دهد.

امروزه یکی از پارامترهایی که در نگرش نوین پژوهشگران به رفتار سازه ها مدنظر قرار گرفته، مفهوم انرژی در سازه ها می باشد. انرژی هیسترتیک که پس از رخداد تسلیم و در حلقه های هیستریزاس آن تلف می شود اثر بسیار عمده ای در ایجاد خسارت سازه ای سیستم دارد و مهم ترین جزء معادله انرژی وارده به سازه ها است. لذا کنترل این مقدار انرژی، می تواند به کنترل رفتار سازه و میزان خسارت آن رهنمون گردد. میزان انرژی هیسترتیک در یک سازه می تواند شاخصی از سطح خسارت وارده و یا میزان نرمی آن باشد.

در این مقاله برای ارزیابی آسیب پذیری قاب های بتنی خمشی از شاخص خسارت پارک-انگ به علت تأثیر انرژی هیسترتیک در آن استفاده شده است. بدین منظور تعدادی قاب بتنی خمشی که بارگذاری جانبی آن مطابق ضوابط مندرج در آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد 2800 - ویرایش سوم) می باشد انتخاب و طراحی شده اند. قاب تحت سه زمین لرزه طبس، منجیل، السنترو با استفاده از نرم افزار IDARC2D(ver6.0) تحلیل دینامیکی غیر خطی شده و میزان خسارت وارده بر هر طبقه محاسبه شده است. در ادامه نمودارهای درصد توزیع انرژی هیسترتیک، drift نسبی طبقات و توزیع خسارت در هر طبقه رسم شده است. با توجه به نمودارهای توزیع خسارت و انرژی هیسترتیک در طبقات می توان نتیجه گرفت که تمرکز خسارت و انرژی در یک یا چند طبقه می باشد که این امر موجب عدم بهره برداری از حداکثر ظرفیت سیستم می باشد، بنابراین تک پارامتر مقاومت در طراحی لرزه ای کافی نبوده و می بایست از پارامتر دیگری به نام انرژی هیسترتیک در طراحی سازه ها استفاده نمود.

کلمات کلیدی: ارزیابی آسیب پذیری، انرژی هیسترتیک، قابهای بتنی خمشی، خسارت پارک-انگ

مقدمه

پژوهشهای مختلف نشان می دهند که اثرات مخرب زلزله بسیار متأثر از انرژی لرزه ای رسیده به سازه در طول زمان زلزله است که پیش بینی آن با طیف پاسخ غیرخطی مقاومت و یا حتی تغییر شکل به طور کامل مقدور نمی باشد. در ادامه این پژوهشها، با بررسی های صورت گرفته مشخص شد که تقریباً تمامی پارامترهای مؤثر در رفتار لرزه ای سازه ها در قالب مفاهیم انرژی قابلیت توجه و یا اعمال در فرآیند طراحی را می یابند. لذا ایده مطلوب توازن انرژی در سازه از طریق بهینه سازی توزیع خسارت، در حال گسترش می باشند.

برای نخستین بار Housner در سال 1956 یک تحلیل از طراحی حدی بر اساس انرژی را پیشنهاد کرد که در آن ظرفیت جذب انرژی کافی سازه در برابر زلزله های بزرگ، به عنوان یک عامل اطمینان و سلامتی سازه مطرح می شد.

¹ کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه

² عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

³ کارشناس فنی، معاونت برنامه ریزی، استانداری خوزستان

⁴ کارشناس مطالعات، معاونت برنامه ریزی، استانداری استان خوزستان

پارک - انگ و ون در سال 1984 با استفاده از رابطه معروف شاخص خسارت پارک-انگ روشی در جهت طراحی سازه ها ارائه دادند. در این روش عمده ترین پارامترهای اولیه طرح، برش پایه و شاخص شدت زمین لرزه است که بر اساس آن شکل پذیری سازه به دست می آید [4]. آکی یاما در کتاب خود در سال 1985 روشی را برای طراحی سازه ها ارائه داد که مبتنی بر طیف انرژی ورودی و توزیع بهینه خسارت در کل سازه است [6]. شن واکباس در سال 2000 با توجه به طراحی بر اساس عملکرد یک شاخص خسارت جدید که در آن انرژی ورودی، انرژی تلف شده و خصوصیات سازه ای ساختمان از قبیل جابه جایی نسبی طبقات و شکل پذیری لحاظ شده بود معرفی نمودند [8]. Uang و Bertero را می توان از جمله افراد پیشرو در مورد روش انرژی دانست، آن ها انرژی ورودی را به عنوان یک پارامتر اعتماد و خوش آتیه برای تعریف پتانسیل خرابی سازه ها معرفی نمودند [5]. در این مقاله با استفاده از نرم افزار IDARC2D(ver6.0) و تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی قاب های بتنی خمشی، نحوه میزان خسارت وارده بر هر طبقه، مقدار drift نسبی در هر طبقه و درصد توزیع انرژی هیسترتیک در طبقات مورد ارزیابی و بررسی قرار می گیرد [1].

محاسبه انرژی هیسترتیزس در سازه های مورد مطالعه

یکی از روش های متعارف محاسبه انرژی هیسترتیک در نرم افزارهای غیرخطی، به دست آوردن مساحت زیر منحنی نیرو- تغییر مکان کلیه اجزایی می باشد که وارد ناحیه غیرارتجاعی می شوند. این روش مستلزم بررسی رفتار کلیه اجزا سیستم در لحظات مختلف پاسخ است و باید حین تحلیل غیرخطی انجام پذیرد. در برنامه های تحلیل غیرخطی همچون IDARC از روش بیان شده که دقیق می باشد استفاده می کنند. در این مقاله با استفاده از نرم افزار IDARC2D(ver6.0) و به کمک تحلیل دینامیکی غیرخطی، انرژی هیسترتیک اعضاء قاب بتنی خمشی محاسبه شده و سپس به منظور توزیع انرژی هیسترتیک در طبقات، المان های تیر و ستون به عنوان اعضاء آن طبقه تعریف شده است.

مدل آسیب پارک - انگ برای محاسبه خسارت در قاب های بتنی

در نرم افزار IDARC برای محاسبه آسیب از شاخصی بر مبنای الگوی ارائه شده توسط پارک و همکارانش (1984) استفاده می شود. شاخص آسیب پارک - انگ برای یک المان سازه ای به صورت زیر تعریف می گردد [7].

$$DI = \frac{d_m}{d_u} + \frac{b}{d_u \cdot P_y} \int dE_h \quad (1)$$

d_m : تغییر شکل ماکزیمم ناشی از بار زلزله

P_y : مقاومت حد تسلیم

d_u : تغییر شکل نهایی قابل تحمل المان

b : پارامتر کاهش مقاومت

$\int dE_h$: انرژی هیسترتیزس جذب شده توسط المان در طول تاریخچه پاسخ

برای کاهش مقاومت اسمی، پارک و همکارانش مقدار $b = 0/1$ را پیشنهاد کرده اند. با استفاده از این مدل سه شاخص آسیب محاسبه می شود.

✓ شاخص آسیب المان: تیرها و ستون ها

✓ شاخص آسیب طبقه: اجزای افقی و قائم و آسیب کل طبقه

✓ آسیب کل ساختمان

به عبارت دیگر در این مدل میزان خسارت به صورت تجمعی در کلیه اعضاء، طبقات و کل سازه در نظر گرفته می شود.

در نرم افزار IDARC برای محاسبه خسارت در طبقات ابتدا خسارت تیرها و ستون های هر طبقه به عنوان اعضاء آن طبقه محاسبه شده سپس با استفاده از ضرایب وزنی که بر مبنای انرژی هیسترتیزس مستهلک شده در اجزاء و تراز طبقات می باشند، خسارت طبقات و کل قاب محاسبه می گردد [7].

ساختمان های مورد بررسی در این مطالعه :

برای ارزیابی آسیب پذیری سازه های بتن مسلح خمشی بر اساس مفاهیم انرژی و همچنین تاثیر روش های بارگذاری مختلف (مطابق با آیین نامه 2800) در نحوه توزیع خسارت، جذب و اتلاف انرژی در طبقات ساختمان که هدف اصلی این پژوهش می باشد ابتدا یک سری سازه های منظم و متفاوت بتن مسلح در طبقات 4، 8 و 12 با تعداد دهانه های ثابت 4 عدد از نوع قاب خمشی انتخاب شده اند [1]. سپس بارگذاری جانبی هر یک از سازه های مذکور در شرایط یکسان بر اساس ضوابط مندرج در آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد 2800- ویرایش سوم) صورت پذیرفته است و در مرحله بعد کلیه سازه ها بر اساس آیین نامه طراحی سازه های بتن مسلح طراحی شده اند [1]. با توجه به تاثیر روند طراحی اولیه در نتایج آنالیز نهایی نکات زیر در حین تحلیل و طراحی قایها مد نظر قرار گرفته است، که این نکات در جدول (1) آمده است. [1]

جدول (1): اطلاعات مربوط به قاب های بتنی خمشی

قاب	بتن مسلح ویژه	بارگذاری ساختمان	استاندارد 519 و 2800-ویرایش سوم
دهانه در هر قاب	5 متر	ارتفاع هر طبقه	3,2 متر
بار مرده بام	600 کیلوگرم بر مترمربع	بار مرده طبقات	500 کیلوگرم بر مترمربع
بار زنده بام	175 کیلوگرم بر متر مربع	بار زنده طبقات	200 کیلوگرم بر مترمربع

✓ تحلیل و طراحی سازه ها در محدوده الاستیک توسط نرم افزار ETABS2000 انجام شده است . اما برای بررسی رفتار سازه در محدوده غیرخطی و همچنین محاسبه انرژی های ورودی و هیسترتیک و بررسی آسیب پذیری سازه های مذکور از جدیدترین نسخه نرم افزار تحلیل دینامیکی غیر خطی سازه های بتن مسلح IDARC(ver6.0) استفاده شده است .

✓ در تحلیل ساختمان ها از فرضیات موجود در جدول (2) استفاده گردیده است.

جدول (2): خصوصیات تحلیل در ساختمان های مورد مطالعه

ضریب اهمیت سازه	گروه 2	I=1.2
نوع زمین	خاک نوع II	T ₀ =0.1sec و T _s =0.5sec
ضریب رفتار	قاب خمشی بتن مسلح ویژه	R=10
خطر زمین لرزه	پهنه با خطر نسبی زیاد	A=0.30
مقاومت 28 روزه نمونه استوانه بتنی	برای تیرها و ستون ها	f _c = 240 kg/cm ²
تنش جاری شده فولاد	برای تیرها و ستون ها	f _y = 3000 kg/cm ²
نسبت فولاد (r)	در ستون های ساختمان ها	0.015 ≤ r ≤ 0.035

✓ تحلیل دینامیکی طیفی مدل ها با فرض رفتار الاستیک و خطی سازه به روش تحلیل مودها و با لحاظ کردن همه مودها صورت گرفته است . در این تحلیل ، از طیف استاندارد 2800 با نسبت میرایی (X = 0.05) استفاده شده است . در محاسبه پریودها و مقادیر ویژه طبق توصیه ETABS به علت تاثیر اندر کنش مودها ، از روش ریتز استفاده شده است .

بررسی نتایج حاصل از نرم افزار IDARC

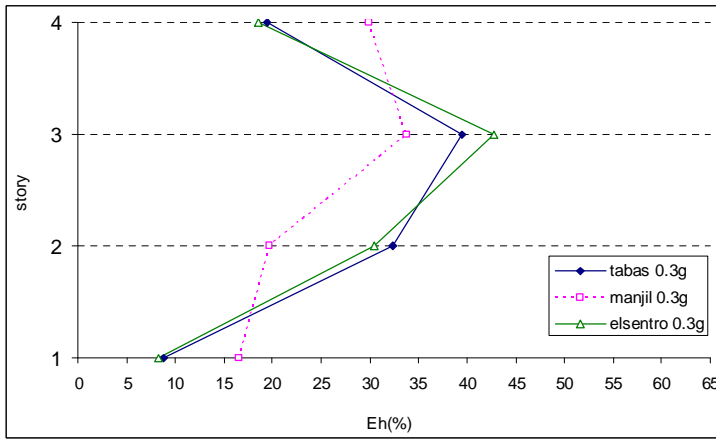
1- درصد توزیع انرژی هیسترتیک در طبقات

نرم افزار IDARC مقدار انرژی هیسترتیک کلیه اعضاء قاب را به صورت تک به تک می دهد، برای به دست آوردن مقدار کل در هر طبقه باید مقادیر کلیه اعضاء آن طبقه اعم از تیر و ستون را با هم جمع نماییم. برای نمایش توزیع انرژی هیسترتیک در هر طبقه از نماد درصد استفاده می نماییم یعنی :

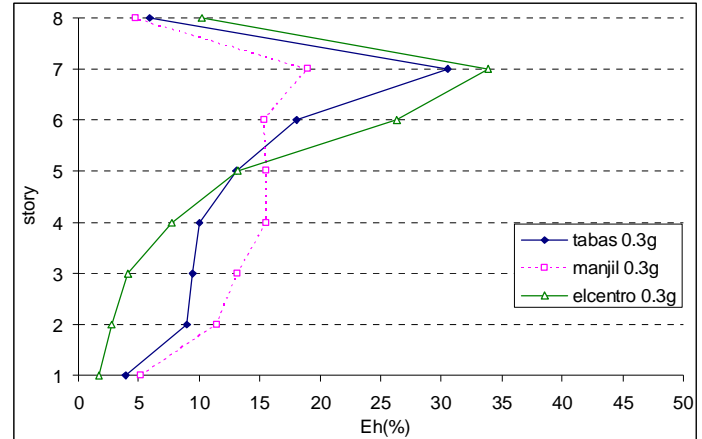
$$(2) \quad 100 \times (\text{مجموع کل انرژی هیسترتیک در قاب} / \text{مقدار انرژی هیسترتیک در هر طبقه}) = \text{درصد توزیع انرژی هیسترتیک در هر طبقه}$$

درصد توزیع انرژی هیسترتیک در طبقات قاب های خمشی با تعداد دهانه ثابت 4 عدد تحت سه زلزله طبس، منجیل و السنترو در شکل (1) نشان داده شده است [1].

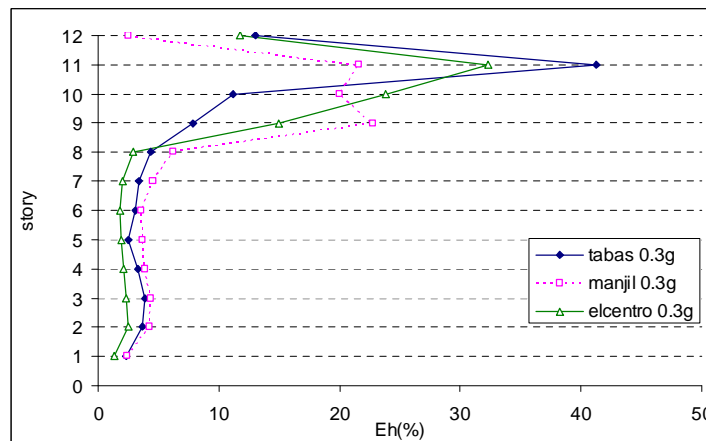
بنابراین در قاب های بتنی خمشی 4، 8 و 12 طبقه بیشترین درصد انرژی هیسترتیک در طبقات 3، 7 و 11 می باشد [1].



الف) قاب خمشی 4 طبقه



ب) قاب خمشی 8 طبقه



ج) قاب خمشی 12 طبقه

شکل (1): در صد توزیع انرژی هیسترتیک در طبقات قاب بتنی خمشی تحت سه رکورد طیس، منجیل و السنترو ($PGA=0.3g$ و میرایی 5%)

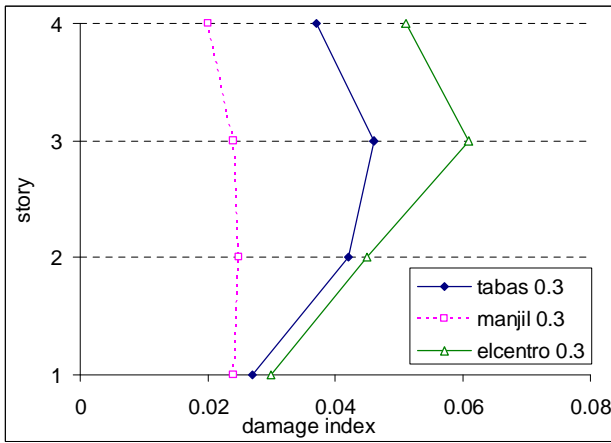
2- توزیع خسارت در طبقات

خسارت ماندگار سازه معمولاً در انتهای زمین لرزه نمود پیدا می کند و در این لحظه خسارت و انرژی جذب شده، حالت نسبتاً پایداری خواهند داشت. لذا بررسی توزیع انرژی هیسترتیک و خسارت در انتهای زمین لرزه به نوعی، بیان صحیحی از توزیع خسارت ماندگار در طبقات ساختمان می باشد.

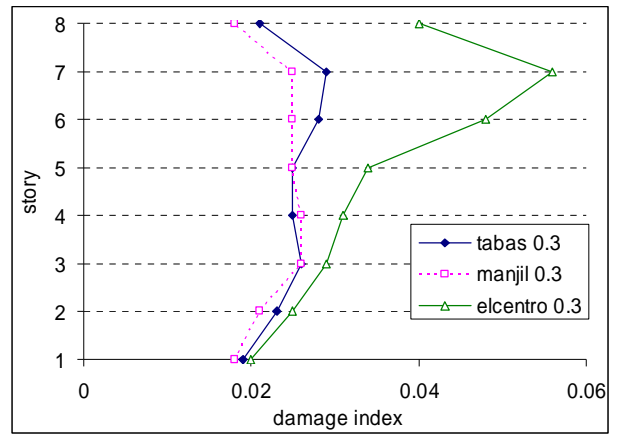
توزیع خسارت در طبقات قاب های خمشی با تعداد دهانه ثابت 4 عدد تحت سه زلزله طیس، منجیل و السنترو در شکل (2) نشان داده شده است [1].

3- درصد drift نسبی در طبقات

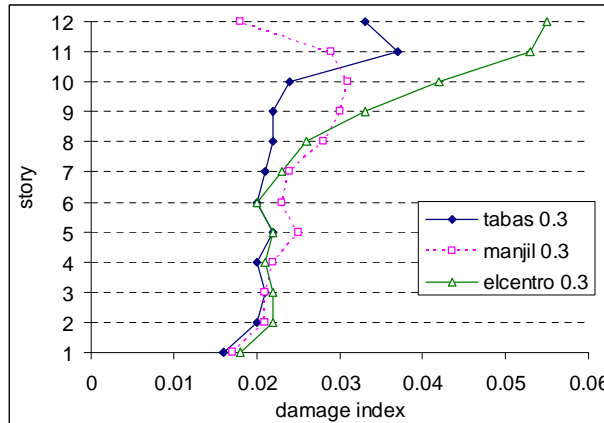
درصد drift نسبی طبقات در قاب های بتنی خمشی با تعداد دهانه ثابت 4 عدد تحت سه رکورد طیس، منجیل و السنترو در شکل (3) نشان داده شده است.



الف) قاب خمشی 4 طبقه

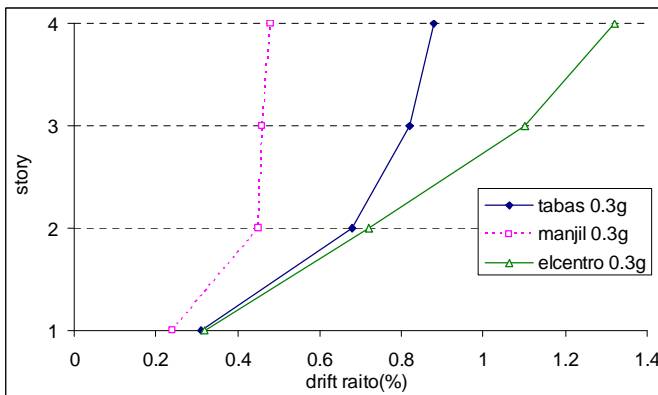


ب) قاب خمشی 8 طبقه

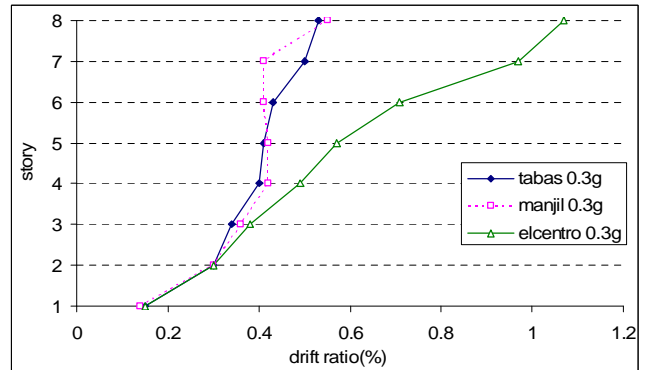


ج) قاب خمشی 12 طبقه

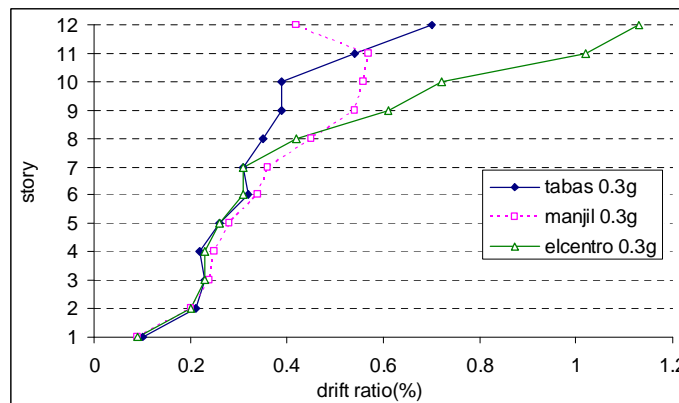
شکل (2): توزیع خسارت در طبقات قاب بتنی خمشی تحت سه رکورد طبس، منجیل و السنترو ($PGA=0.3g$ و میرایی 5%)



الف) قاب خمشی 4 طبقه



ب) قاب خمشی 8 طبقه



ج) قاب خمشی 12 طبقه

شکل (3): درصد drift نسبی در طبقات قاب بتنی خمشی تحت سه رکورد طبس، منجیل و السنترو ($PGA=0.3g$ و میرایی 5%)

نتیجه گیری :

✓ درصد توزیع انرژی هیسترتیک در قاب های خمشی در طبقات بالایی از مابقی طبقات بیشتری باشد.
✓ در طراحی های انجام شده بر اساس مقاومت (آیین نامه 2800-ویرایش سوم) به نظر می رسد که طبقات انتهایی با مقاومت بیشتری عمل می کنند. در واقع ظرفیت طبقات بالایی بسیار بیشتر از مقاومت مورد نیاز آن ها است.
✓ مقدار آسیب در قاب های بتن مسلح خمشی در طبقات بالایی از مابقی طبقات بیشتر می باشد.
✓ با توجه به نمودارهای توزیع خسارت و انرژی در طبقات قاب های بتنی خمشی می توان نتیجه گرفت که تمرکز خسارت و انرژی در یک یا چند طبقه می باشد که این امر موجب عدم بهره برداری از حداکثر ظرفیت سیستم می باشد.
✓ در این مقاله تأثیر زلزله های طیس، منجیل و السنترو در قاب های بتنی خمشی مورد بررسی قرار گرفته است. علی رغم توزیع یکنواخت بارگذاری در طبقات قاب ها، نمودارهای درصد توزیع انرژی هیسترتیک، توزیع خسارت و drift نسبی در طبقات دارای توزیع یکنواخت نمی باشد و تمرکز انرژی و خسارت در یک یا چند طبقه از مابقی طبقات بیشتر می باشد و این امر بیانگر کافی نبودن تک پارامتر مقاومت در طراحی لرزه ای می باشد که باید از پارامترهای دیگری مانند انرژی هیسترتیک در طراحی لرزه ای سازه ها استفاده نمود.

مراجع

- [1] نیکو، مهدی، مفید، مسعود، بخشینانی، عباس، زرفام، پنام، "ارزیابی آسیب پذیری ساختمان های بتن مسلح بر اساس شاخص خسارت مبتنی بر انرژی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده فنی مهندسی، بهار 1387
- [2] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد 2800 - ویرایش سوم)
- [3] مقدم، حسن، "مهندسی زلزله مبانی و کاربرد"، انتشارات نشر فراهنگ، زمستان 1384
- [4] Y.J.Park, A.H.S.Ang and Y.W.Wen, "*Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings*", Journal of Structural Division ASCE, 111, 1985
- [5] Bertero V.V, Uang C.M, 1988. "*Use of Energy as a Design Critreion in Earthquake Resistant Design* ", UCB/EERC-88/18. University of California . Berkely (50)
- [6] Akiyama H, "*Earthquake Resistant Limit-State Design for Buildings*" University of Tokyo, 1985.
- [7] R.E.Valles, A.M.Reinhorn, S.K.Kunnath, C.Li and A.Mandan, "*IDARC2D Version 6.0: A Computer program for the Inelastic damage Analysis of building*", NCEER-96-0010-, 1996
- [8] shen.j, Akbas,B, "*Energy approach in performance based earthquake resistant design(PB-EQRD)*"^{12th} European Conference on Earthquake Engineering, 2000
- [9] Luis M, Moreschi, 2000, "*Seismic Design of Energy Dissipation Systems for Optimal Structural Performance*", Blacksburg, Virginia
- [10] Hagiwara Y, 2000, "*Momentary Energy Absorption and Effective Loading Cycles of Structures During Earthquake*"s, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Newzland,
- [11] A.Ghobarah, H.Abou-elfath and A.Biddah, 1999, "*Response-based damage asesment of structures*", Earthquake Engineering and structural Dynamics, 28
- [12] Kuwamura H, Galambos T.V, 1989, "*Earthquake Load for Structural Relibility*", Jurnal of Structural Engineerign, ASCE Vol 15. Pp 1446-1462.
- [13] M.S Williams, I.Villemure and R.G.Sexsmith, May-June 1977, "*Evaluation of seismic damage indices for concrete elements loaded in combined shear and flexure*", ACI Structural Journal
- [14] R.M.Czarnecki, 1973, "*Earthquake damage totall buildings*", Report No. R73-8 Department of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, MA.