



# توزیع انرژی در طبقات قابهای فولادی مهاربندی هم مرکز تحت نگاشتهای حوزه دور و نزدیک

غلامرضا عبدالله زاده<sup>۱</sup>، اردلان آل هاشم<sup>۲</sup>  
(دریافت: ۸۹/۱/۱۵، پذیرش: ۸۹/۶/۸)

## چکیده

پژوهش های 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. با بررسی های صورت گرفته مشخص شد که مفاهیم انرژی قادر است تقریباً تمامی پارامترهای مؤثر در رفتار لرزه ای سازه ها را توجیه نماید. لذا در چند دهه ی اخیر ایده مطلوب توازن انرژی از طریق بهینه سازی توزیع خسارت در سازه مورد توجه قرار گرفته و در حال گسترش می باشد. از طرفی چون سازه ها تحت اثر زمین لرزه های مخرب وارد مرحله غیرارتجاعی می شوند، لذا مطالعه ی رفتار غیرارتجاعی سازه ها تحت اثر این زمین لرزه ها نیز ضروری به نظر می رسد. هدف از این مطالعه، بررسی نحوه توزیع خسارت، جابجایی نسبی و انرژی هیستریزس در طبقات ساختمان های فولادی باندبندی طراحی شده، بر مبنای آیین نامه ی طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم) می باشد. نتایج بدست آمده حاکی از آنست که حداکثر نیاز تغییر مکان نسبی طبقات و سهم انرژی هیستریزس از کل انرژی ورودی به سازه ها تحت رکوردهای حوزه نزدیک نسبت به حوزه دور به ترتیب به بیش از دو و سه برابر افزایش یافته و علی رغم توزیع یکنواخت مقاومت در ارتفاع قابها، نمودارهای توزیع انرژی هیستریزس و خسارت یکنواخت نبوده و تمرکز انرژی و خسارت در طبقه اول قابها را نشان می دهد که با افزایش تعداد طبقات قابها از شدت این تمرکز کاسته شده و توزیع یکنواخت تری از این انرژی در طبقات مشاهده می شود.

## کلمات کلیدی

رفتار دینامیکی غیرخطی، رکوردهای حوزه نزدیک و دور، مفاهیم انرژی، انرژی هیستریزس

## Energy Distribution in Stories of Concentrically Braced Frames (CBFs) Under Far-Field and Near-Field Records

Gh.Abdollahzadeh, A.Alehashem

### ABSTRACT

Different researches show that during an earthquake, the seismic input energy of structures strongly affects the seismic destructive which foresight them completely is not possible only by strength nonlinear response spectrum or drift methods. Because of the recent studies show that energy concepts be able to explain about all effective parameters on seismic behavior of structures, therefore in some recent decades, energy balance idea in structures was considered by optimum distribution of damage in structures. Since almost all structures will have nonlinear behavior under strong ground motions, therefore study on such behavior of structures is necessary. Purpose of this paper is assessment of damage distribution quality, drift and hysteretic energy in stories of concentrically braced frames which have designed based on Iranian Earthquake Code No. 2800 (Third Edition). The results show that the maximum stories drift and the ratio of hysteretic energy to input energy under near field to far field records have been increased to two and three times, respectively and despite of uniform distribution of strength in frames height, damage and hysteric energy distribution's diagrams are not uniform and centralization of energy and damage are indicated in first story, which with increasing the number of stories, this centralization is decreased and it appear the more uniform distribution of this energy in frames height.

### Key words

Nonlinear Dynamic Analysis, Far-Field and Near-Field Records, Energy Concepts, Hysteretic Energy

۱. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، [abdollahzadeh@nit.ac.ir](mailto:abdollahzadeh@nit.ac.ir) (نویسنده مسئول)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه شمال - آمل، [Ardalan.Alehashem@Gmail.com](mailto:Ardalan.Alehashem@Gmail.com)



خسارت‌های ایجاد شده در سازه ها در اثر زلزله های نورتریج، کوبه و از میت نشان داد که اختلاف فاحشی بین پاسخ سازه ها در برابر زمین‌لرزه های حوزه دور و نزدیک گسل وجود دارد. به گونه‌ای که تاثیر زمین‌لرزه های نزدیک گسل به پارامترهایی همچون فرکانس طبیعی اصلی سازه، پیروید ضربه و ... بستگی دارد [۱]. تحقیقات و بررسی های انجام شده پس از وقوع زلزله های نورتریج و کوبه نشان داد که نیاز تغییر مکانی زلزله های نزدیک گسل بسیار بالا می باشد که این امر ناشی از اعمال یک انرژی حجیم در یک مدت زمان کوتاه توسط رکوردهای حوزه نزدیک می‌باشد [۲].

آثار زمین‌لرزه در نزدیکی گسل مخصوصا در جهت پیشرو مسیر گسیختگی باعث بوجود آمدن خسارات شدیدی به سازه ها بخصوص سازه های با زمان تناوب بالا به علت حرکت‌های پالس گونه با پیروید بلند می‌گردد. این عامل مهم بعنوان یکی از عوامل تعیین کننده در علم شهرسازی نیز وارد گردید بطوریکه آقایان "راچ" و "اسمولکا" [۳] در سال ۱۹۹۶ با بررسی خسارت بوجود آمده تحت اثر زمین لرزه نورتریج در منطقه کالیفرنیا و کوبه در ژاپن، از جمله عوامل مهم و تاثیر گذار در انتخاب و توسعه شهرهای بزرگ آتی را عامل تاثیر نزدیکی به گسل و قرارگیری ساختمان ها در مسیر گسیختگی گسل معرفی کرده‌اند.

در دهه اخیر مطالعاتی در زمینه مفاهیم انرژی صورت پذیرفته است. "یانگ" و "برترو" در سال ۱۹۸۸ [۴]، استفاده از انرژی ورودی را مبنای انتخاب زلزله‌های طراحی مفید ارزیابی نموده و انرژی ورودی را به عنوان یک پارامتر قابل اعتماد برای تعریف پتانسیل خرابی زمین لرزه ها معرفی نمودند.

"رهنما" و همکاران در سال ۱۹۹۶ [۵]، انرژی ورودی، انرژی هیستریزس و نسبت انرژی هیستریزس تجمعی به انرژی ورودی را برای شش مجموعه از نوزده شتاب نگاشت (رکوردهای واقعی، رکوردهای شبیه‌سازی شده با

دوره زمانی مشابه رکوردهای واقعی و چهار مجموعه از رکوردهای شبیه سازی شده با دوره های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ثانیه) محاسبه نموده و نتیجه گرفتند که با افزایش دوره زمانی زلزله، انرژی هیستریزس نیز افزایش می‌یابد و مدت زمان زلزله تاثیری بر نسبت انرژی هیستریزس تجمعی به انرژی ورودی ندارد.

گول در سال ۱۹۹۷ [۶]، توزیع انرژی را در سازه های نامتقارن مورد تحقیق قرار داد. او نتیجه گرفت که انرژی ورودی منتقل شده به سازه های یک طبقه متقارن و نامتقارن تقریبا شبیه به هم هستند. او همچنین نشان داد که در یک سازه نامتقارن تقاضای انرژی هیستریزس برای المان های شکل پذیر بیشتر است در حالیکه برای المان‌های سخت تقریبا در همان اندازه اولیه باقی می‌ماند.

"کاناث" و "چای" در سال ۲۰۰۴ [۷]، با برقراری ارتباط مابین انرژی ورودی و انرژی تلف شده سیستم، یک طیف براساس انرژی هیستریزس برای تعدادی از بارهای غیرالاستیک دوره‌ای یک سازه برای اینکه پتانسیل خسارت تجربی ناشی از جنبش زمین را توصیف کند، تعریف کرده‌اند.

"مقدم" و "حاج‌رسولیا" در سال ۲۰۰۶ [۸]، با بررسی تاثیر نحوه توزیع عوامل مقاوم بر عملکرد لرزه‌ای سازه روشی جهت طراحی لرزه‌ای بهینه بر پایه عملکرد سازه مطرح کردند به طوری که توزیع شکل‌پذیری در ارتفاع طبقات بصورت یکنواخت در آمده و از حداکثر ظرفیت سازه استفاده شده است. در سال ۲۰۰۷ "بنانت" [۹]، مدلی را جهت تعیین خسارت در اجزای سازه های فلزی با رفتار هیستریزس پایدار در معرض زمین لرزه های مختلف تعریف کرد. خسارت در نظر گرفته در این مدل ترکیبی از انرژی هیستریزس کلی و جابجایی ماکزیمم است. خسارت در این مدل توسط دو پارامتر انرژی هیستریزس کلی و انرژی کلی تلف شده در قسمت اسکلتون منحنی نیرو-جابجایی است.

"گنجوی" و همکاران در سال ۲۰۰۴ [۱۰]، خسارت و انرژی هیستریزس را در تعدادی از قابهای خمشی بتن



مسلح مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که مقدار خسارت و انرژی هیستریزس در طبقات مختلف یکسان نبوده و از حداکثر ظرفیت عضوهای سازه‌ای در هنگام زلزله استفاده نشده است.

"امیری" و همکاران نیز در سال ۲۰۰۸ [۱۱]، به بررسی توزیع خسارت و انرژی هیستریزس در تعدادی قاب خمشی بتن مسلح با دیوار برشی که براساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های در برابر زلزله (ویرایش سوم- استاندارد ۲۸۰۰)، طراحی شده بود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم توزیع یکنواخت نسبت مقاومت در ارتفاع، توزیع انرژی هیستریزس، خسارت و جابجایی نسبی در ارتفاع، در معرض جنبش‌های قوی یکنواخت نیست و یک تمرکز از پارامترهای مذکور در یک یا دو طبقه دیده می‌شود.

به دلیل نیاز تغییر مکانی بالای زلزله‌های نزدیک گسل، سازه‌هایی که بر طبق نیروهای پایه معمولی ارائه شده در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای فعلی طراحی شده‌اند به هیچ وجه نمی‌توانند تامین‌کننده‌ی این نیاز باشند. لذا لزوم بررسی و شناخت رکورد‌های نزدیک گسل و گنجاندن تاثیرات این رکوردها در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و بهبود ظرفیت سازه‌ها برای نیازهای بالای تغییر مکانی حاصل از زمین لرزه-های نزدیک گسل موضوع تحقیقات دهه اخیر بوده است که در راستای ضرورت مذکور، آیین‌نامه UBC97 تاثیرات رکورد‌های نزدیک گسل را با ارائه یک سری ضرایب بزرگنمایی در نواحی نزدیک گسل در روابط مربوط به روش استاتیکی معادل و طیف طرح آیین‌نامه اعمال نموده و ضرورت دارد در دیگر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای نیز با انجام تحقیقات وسیع‌تری تاثیرات اینگونه زلزله‌ها گنجانده شود. در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم [۱۲])، در مورد زمین لرزه-های نزدیک گسل هیچگونه تمهیداتی در نظر گرفته نشده است و تنها به بیان جمله «بطور کلی باید از احداث ساختمان در مجاورت گسل‌های فعال و محل‌هایی که احتمال بوجود آمدن شکستگی در سطح زمین هنگام زلزله

وجود دارد، اجتناب شود. در مواردی که احداث ساختمان-ها در چنین مکان‌هایی اجتناب ناپذیر باشد، علاوه بر رعایت این آیین‌نامه باید تمهیدات ویژه‌ای که کارشناسان مشخص می‌کنند منظور شود.» اکتفا می‌کند. در کشور ایران شهرهای زیادی از جمله آستارا، اردبیل، بم، مهاباد و... بر روی گسل واقع شده‌اند و همچنین شهرهایی نظیر آمل، بجنورد، تبریز، خوی و... فاصله‌ای کمتر از ۲۰ کیلومتر تا گسل دارند که نزدیک به ۷۰ درصد این شهرها سابقه لرزه‌خیزی با بزرگی بالاتر از ۶ ریشتر را داشته‌اند. تنها با تکیه بر همین مسائل ضرورت تحقیقات بیشتر در این زمینه قابل توجیه و پر اهمیت می‌باشد [۱۳]. در این تحقیق نیز با درک این نیاز و برای قابهای بادبندی هم مرکز (که در غالب ساختمانهای فلزی کشورمان به دلیل سرعت اجرا و مسائل اقتصادی از این سیستم مقاوم جانبی استفاده می‌شود) چگونگی توزیع انرژی هیستریزس در ارتفاع این گونه از قابها با تعداد طبقات مختلف و مقایسه اثرات رکورد‌های حوزه دور و نزدیک در این توزیع، مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مدلسازی قابها

در این تحقیق از مهاربند ضربداری برای مدل سازی ۳ قاب CBF استفاده شده است. هر یک از این قابها دارای ۳ دهانه بوده و به ترتیب ۳ طبقه به عنوان قاب با تعداد طبقات پایین، ۶ طبقه به عنوان قاب با تعداد طبقات متوسط و ۱۲ طبقه به عنوان قاب با تعداد طبقات بالا با ارتفاع یکسان ۳ متر برای تمام طبقات انتخاب شده‌اند. در تمامی مدل‌ها دهانه میانی بادبندی شده است. نرم افزار مورد استفاده در تحلیل و طراحی سازه ETABS.Ver.9.5.0 بوده و طراحی المان‌های سازه بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۴] به روش تنش مجاز طراحی و بر اساس آیین‌نامه حداقل بار وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی [۱۵] و با تکیه بر توزیع مقاومت یکسان در طبقات به روش استاتیکی معادل انجام گرفته است.

جدول (۱): مشخصات رکوردهای مورد بررسی

	زلزله	مولفه	فاصله (Km)	PGA (g)	PGV (Cm/S)	PGD (Cm)
NEAR FAULT	Kocaeli, Turkey 1999/08/17	SKR090	3.1	0.376	79.5	70.52
	Landers 1992/06/28 11:58	LCN000	1.1	0.785	31.9	16.42
	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	STG000	13.0	0.512	41.2	16.21
	Tabas, Iran 1978/09/16	TAB-TR	3.0	0.852	121.4	94.58
FAR FAULT	Kocaeli, Turkey 1999/08/17	ARC090	17.0	0.149	39.5	35.57
	Landers 1992/06/28 11:58	JOS090	21.6	0.284	43.2	14.51
	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	WDS090	39.9	0.082	16.7	8.89
	Tabas, Iran 1978/09/16	DAY-TR	17.0	0.406	26.5	8.75

طبق بند ۲-۳-۴ این آیین‌نامه، برای خاک نوع ۲ مقادیر  $T_0=0.1$  و  $T_s=0.5$  و  $S=1.5$  در نظر گرفته شده است. ۴. از مشخصات مربوط به فولاد St-37 استفاده شده و همچنین کلیه اتصالات تیر به ستون و مهاربند به تیر و ستون، مفصلی مدل شده است.

۵. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم، به علت منظم بودن و ارضاء شرط ارتفاع قاب (کمتر از ۵۰ متر)، از روش استاتیکی معادل برای تحلیل استفاده شده است.

۶. محل احداث سازه، شهر تهران، با خطر نسبی لرزه‌خیزی بسیار بالا می‌باشد که برای آن از نسبت شتاب مبنای طرح ( $A=0.35$ ) استفاده شده است.

۷. سیستم قاب ساختمانی از نوع قاب ساده فولادی به همراه مهاربند هم مرکز از نوع ضربدری می‌باشد که ضریب رفتار آن ( $R=6$ ) می‌باشد و همچنین فرض شده است که جداگرهای میانقابی هیچگونه مزاحمتی در برابر حرکت جانبی قاب‌ها ایجاد نمی‌کنند.

۸. برای طراحی کلیه قاب‌ها اثرات  $P-\Delta$  لحاظ شده است، همچنین برای طراحی قاب ۱۲ طبقه بر طبق استاندارد ۲۸۰۰، اثر نیروی شلاقی زلزله محاسبه و اعمال شده است.

#### ۴- فرضیات تحلیل دینامیکی و مدلسازی در نرم‌افزار

ابعاد مقاطع پس از محدود شدن تنش مجاز تمامی المان‌ها به عدد ۰,۹ تا ۱ از نرم‌افزار ETABS استخراج شده و با

مدل‌های در نظر گرفته شده تحت رکوردهای انتخابی برای حوزه‌های دور و نزدیک گسل (جدول ۱)، توسط نرم افزار perform-3D v4.0.3 [۱۶]، آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی شده‌اند. تغییر مکان نسبی طبقات و سهم جذب انرژی هیستریزس طبقات قابها و همچنین میزان جذب و اتلاف انرژی به تفکیک قابها و تاریخچه زمانی انرژی ورودی در این تحقیق بررسی شده و نتایج نظیر رکوردهای حوزه دور و نزدیک با یکدیگر مقایسه شده است.

#### ۳- بارگذاری و طراحی قاب‌ها در نرم‌افزار ETABS

در مدلسازی سه قاب مورد بررسی، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

۱. ارتفاع کلیه طبقات ثابت و برابر ۳ متر و عرض دهانه‌ها ۴ متر در نظر گرفته شده است.

۲. بار مرده، زنده و تیغه‌بندی در تمام طبقات به ترتیب برابر ۵۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار مرده و زنده بام به ترتیب ۵۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده است. بعلاوه دیوار خارجی از نوع دیوار سفالی با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر و با وزن واحد سطح ۳۰۶ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

۳. کاربری ساختمان مسکونی و با درجه اهمیت متوسط می‌باشد که بر روی خاک نوع ۲ بر اساس تقسیم‌بندی استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم واقع شده است که بر



اعمال فرضیات زیر جهت بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی در نرم‌افزار Perform-3D مدل شده‌اند:

۱. رابطه نیرو- تغییرمکان سه خطی بوده و زوال در مقاومت در آن اعمال شده است. برای نشان دادن رابطه سه خطی برای المان‌های غیرخطی، از پیشنهاد آیین نامه بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره ۳۶۰ [۱۷] استفاده شده است.

۲. زوال سختی در حلقه‌های هیستریزس اعمال شده است.  
۳. المان‌های مهاربند Inelastic Bar و المان‌های ستون Inelastic Coloumn در نظر گرفته شده‌اند، اما المان‌های تیر بدلیل دو سر مفصل بودن (سیستم قاب سازه‌ای ساده)، تنها تحت اثر نیروهای ثقلی بوده و انتظار رفتار غیرخطی از آنها نمی‌رود. در نتیجه جهت کاهش حجم عملیات محاسباتی نرم‌افزار و در نتیجه کاهش درصد خطای محاسباتی، المان‌های تیر Elastic Beam در نظر گرفته شده‌اند.

۴. گام‌های زمانی برای تمامی شتاب‌نگاشت‌ها ۰,۰۰۵ ثانیه اعمال شده و برای کنترل توقف تحلیل برای هر گام زمانی ۱۰۰۰ زیر بازه در نظر گرفته شده است.

۵. نسبت میرایی سازه ۵ درصد در نظر گرفته شده و برای اعمال میرایی ثابت برای تمامی سازه‌ها، نسبت  $T_A/T_1$  حدود ۱,۲ و نسبت  $T_B/T_1$  حدود ۲,۶ انتخاب شده است.

۶. بدلیل عدم استفاده از میراگرهای ویسکوز، مقدار "Alpha-M Viscous Energy" و "Beta-K Viscous Energy" و همچنین "Energy in fluid dampers" در نمودارهای تاریخچه زمانی انرژی ورودی تجمعی صفر بوده و تنها "Modal Damping Energy" یا انرژی میرایی تلف شده در اعضای سازه‌ای محاسبه خواهد شد.

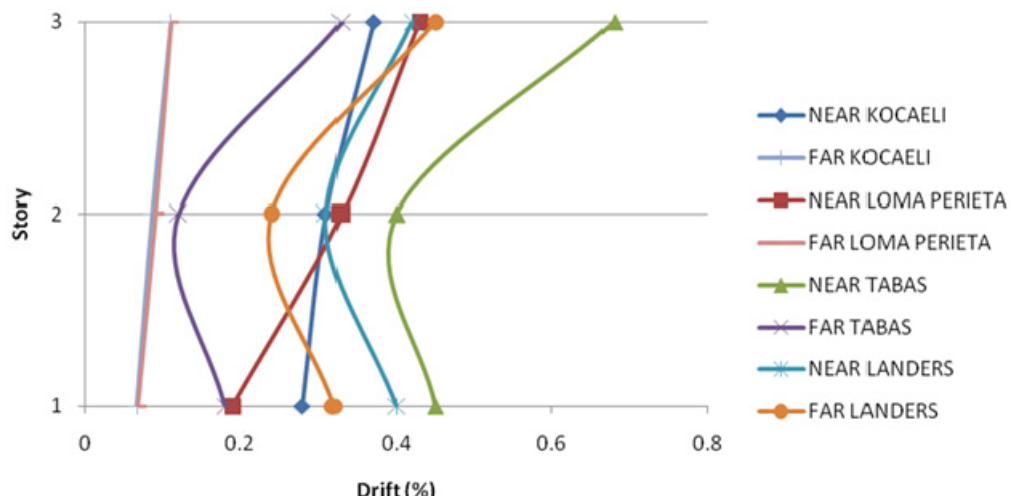
#### ۵- شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های دور و نزدیک گسل

برای انجام این تحقیق چهار شتاب‌نگاشت حوزه دور از میان نگاشت‌های زلزله‌های بسیار شدید گذشته که با وارد ساختن سازه به ناحیه غیرارتجاعی و گذشتن سازه از سطح عملکرد ایمنی جانی منظور شده برای آنها تحت زلزله‌های

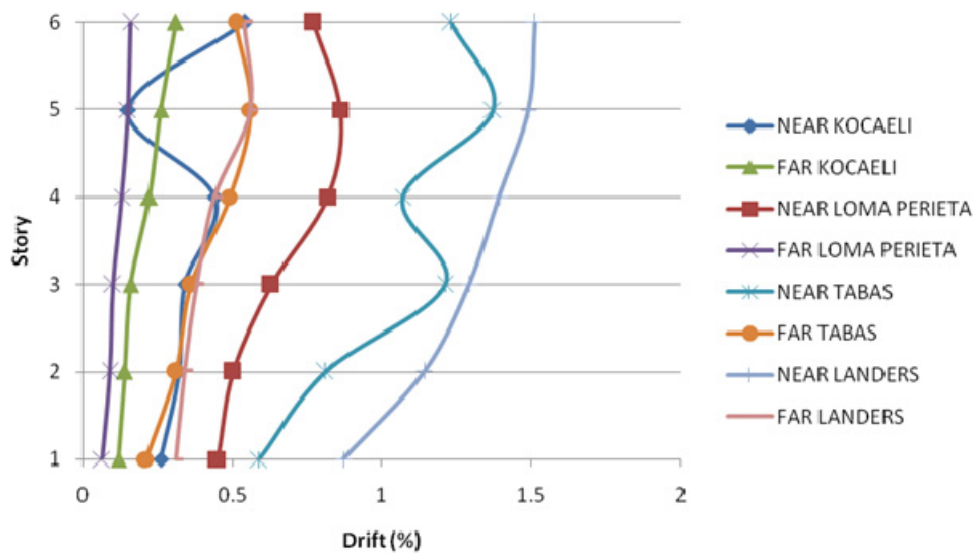
طرح، سبب تخریب‌های گسترده‌ای شده بودند، انتخاب شده‌اند که همه این رکوردها در خاک نوع ۲ (بر اساس تقسیم بندی استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم) ثبت شده‌اند. همچنین به منظور بررسی تفاوت اثرات نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک در چگونگی جذب و توزیع انرژی ورودی و تلف شده در سازه‌ها، از همان زلزله‌های شدید چهار شتاب‌نگاشت ثبت شده در خاک نوع ۲ نیز انتخاب شده‌اند که مشخصات این شتاب‌نگاشت‌های انتخابی در جدول ۱ آمده است. سپس به منظور بررسی عملکرد سازه‌ها و چگونگی توزیع انرژی در آنها تحت اثر زلزله طرح، با عنایت به طرح این ساختمانها برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد، شتاب‌نگاشت‌های انتخابی به ۰,۳۵ شتاب ثقل همپایه شده‌اند.

#### ۶- تغییر مکان نسبی طبقات

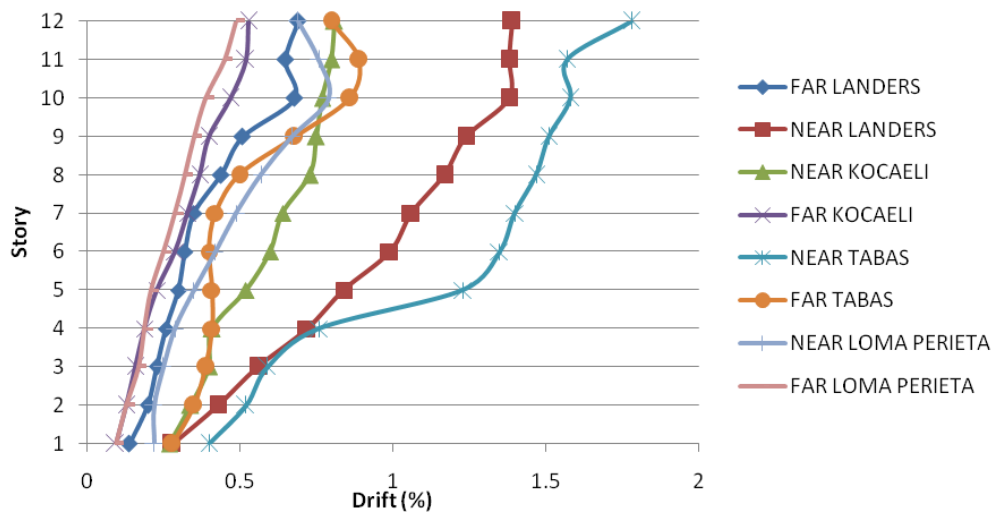
پس از انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، نتایج تغییر مکان نسبی طبقات برای تمام قاب‌های ۳، ۶ و ۱۲ طبقه محاسبه گردیده و نمودار ماکزیمم تغییر مکان نسبی در ارتفاع برای زلزله‌های مختلف حوزه دور و نزدیک گسل در شکل‌های (۱) الی (۳) نشان داده شده است. از این نمودارها نتیجه می‌شود که تغییر مکان نسبی طبقات ناشی از رکوردهای نزدیک گسل، در مقایسه با رکوردهای دور از گسل تفاوت زیادی دارند و لذا لزوم در نظر گرفتن تاثیرات رکوردهای نزدیک گسل اهمیت می‌یابد. ماکزیمم تغییر مکان نسبی در رکوردهای نزدیک گسل برای قاب‌های ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب برابر ۰,۶۸، ۱/۵۱ و ۱/۷۸ درصد و در رکوردهای دور گسل برای قاب‌های ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب برابر ۰,۴۵، ۰/۵۱ و ۰/۸۹ می‌باشد که نشان دهنده حداکثر نیاز تغییر مکانی تقریباً دو برابری در قاب‌های کوتاه، متوسط و بلند، تحت اثر زمین لرزه‌های حوزه نزدیک گسل نسبت به حوزه دور می‌باشد.



شکل (۱): حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات در قاب ۳ طبقه تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک



شکل (۲): حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات در قاب ۶ طبقه تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک



شکل (۳): حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات در قاب ۱۲ طبقه تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک

## ۷- انرژی هیستریزیس<sup>۱</sup>

نخستین بار هاوژنر [۱۸] روش انرژی را برای طرح لرزه‌ای مطرح ساخت و معتقد بود در اثر حرکت زمین انرژی به سازه منتقل می‌شود. تحقیقات نشان داد که بخشی از انرژی منتقل شده به سازه طی حرکات شدید زمین در اثر میرایی<sup>۲</sup> و رفتار غیرخطی<sup>۳</sup> (انرژی هیستریزیس) تلف می‌شود و بقیه در سازه به شکل انرژی‌های جنبشی<sup>۴</sup> و کرنش الاستیک<sup>۵</sup> ذخیره می‌شود.

$$E_i = E_k + E_\xi + E_s + E_h \quad (1)$$

رابطه (۱) معادله تعادل انرژی سازه را نشان می‌دهد که در این رابطه  $E_i$  انرژی ورودی زلزله،  $E_k$  انرژی جنبشی،  $E_\xi$  انرژی میرایی،  $E_s$  انرژی کرنش الاستیک و  $E_h$  انرژی هیستریزیس است [۱۹].

## ۸- تفکیک ذخیره و اتلاف انرژی ورودی در سازه‌ها

انرژی میرایی لزج یا ویسکوز ( $E_\xi$ ) بخشی از انرژی ورودی است که نه تنها سبب افزایش خسارت سازه‌ای نمی‌شود بلکه با کاهش سهم انرژی هیستریزیس باعث کاهش خسارت می‌گردد و جزء مطلوب معادله انرژی محسوب می‌گردد.  $E_\xi$  ضمن تطابق شکلی با منحنی  $E_i$ ، هموارتر و دارای تغییرات کمتری است و پرش آن نرمتر و تدریجی‌تر است. این مسأله نشان می‌دهد که با نزدیک شدن به انتهای زلزله، انرژی میرایی نقش موثرتری در استهلاک انرژی ورودی دارد و در لحظاتی که شدت زلزله بیشتر می‌باشد، با ورود مصالح به ناحیه غیر خطی، انرژی هیستریزیس و انرژی جنبشی نقش موثرتری دارند.

انرژی هیستریزیس ( $E_h$ ) انرژی است که در رفتار غیرارتجاعی سیستم و پس از تسلیم شدن اعضا تلف

می‌گردد. به دلیل رابطه مستقیم خسارت وارده به سازه با انرژی هیستریزیس، این بخش از انرژی، مهمترین جزء معادله انرژی است. میزان انرژی وارده به سازه و مقدار جذب و اتلاف آن، می‌تواند بیانگر عملکرد کلی سازه در برابر زلزله باشد، اما مدلی از چگونگی رفتار آن را نمایش نمی‌دهد. به عبارتی میزان انرژی هیستریزیس در یک سازه، شاخصی از سطح خسارت سازه و یا میزان شکل پذیری آن سازه خواهد بود اما نمی‌تواند بیانگر توزیع خسارت در اجزاء مختلف آن و نوع ساز و کار تسلیم یا فرو ریزش باشد و توزیع انرژی در سازه، تا حدود زیادی از مدل سازه‌ای و خصوصیات آن پیروی می‌کند.

در این تحقیق میزان سهم هر یک از انرژی‌ها بصورت تجمعی در طول زمان از کل انرژی ورودی در هر ۳ مدل سازه‌ای، برای تمام رکوردها اندازه‌گیری شده است و میانگین آن برای رکوردهای دور و نزدیک گسل در شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده است.

شکل‌های (۴) تا (۶) سهم بالای انرژی غیرالاستیک تلف شده تحت رکوردهای نزدیک گسل نسبت به رکوردهای دور از گسل و در نتیجه وقوع خسارتهای نسبی بیشتر به سازه‌های مختلف را نشان می‌دهند. همانگونه که در این شکل‌ها مشخص است، تحت رکوردهای حوزه دور برای قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب ۱۷، ۵ و ۷ درصد انرژی ورودی توسط رفتار غیرخطی اعضا تلف شده و موجب خسارات سازه‌ای شده در حالیکه این مقدار تحت زلزله‌های حوزه نزدیک به دلیل ضربات پالس گونه با توان بالای این گونه از زلزله‌ها و با کاهش سهم انرژی میرایی و انرژی کرنش الاستیک، با افزایش بیش از سه برابری به ترتیب به ۴۶، ۵۱ و ۲۶ درصد افزایش یافته و خسارتهای به مراتب بیشتری را سبب شده است. همچنین در این شکل‌های مشاهده میشود که تحت رکوردهای حوزه دور برای قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب ۵۹، ۶۸ و ۶۲ درصد انرژی ورودی توسط میرایی غیر سازه‌ای تلف شده در حالیکه این مقدار تحت زلزله‌های حوزه نزدیک به ترتیب به ۴۶، ۴۴ و ۶۵ درصد کاهش یافته است.

<sup>1</sup> Hysteretic Energy

<sup>2</sup> Damping Energy

<sup>3</sup> Inelastic Energy

<sup>4</sup> Kinetic Energy

<sup>5</sup> Strain Energy

## ۹- توزیع خسارت در طبقات بر مبنای انرژی هیستریزس

پس از انجام تحلیل های دینامیکی غیرخطی لازم و ضمن محاسبه کل انرژی های هیستریزس تلف شده در قابها، با هدف بررسی چگونگی توزیع این انرژی ها در طبقات قابها، متوسط درصد انرژی هیستریزس هر طبقه تحت تمامی رکوردهای دور و نزدیک محاسبه شده و نتایج آن در شکل های (۷) تا (۹) نشان داده شده است.

در مدل های بررسی شده، تیرها بدلیل طراحی دو سر مفصل وارد مرحله غیرارتجاعی نشده و در نتیجه سهمی از نیروی زلزله نمی برند. همچنین درصد سهم انرژی جذب شده در ستون ها برای هر یک از مدل ها و نیز خسارت وارده به آنها بسیار ناچیز بوده است بطوریکه حداکثر این مقدار برای قاب ۶ طبقه برابر  $1/42$  درصد می باشد. این بدان معناست که ستون های طبقات آسیب ناچیزی دیده و موید دست یابی به مفهوم تیر ضعیف - ستون قوی در طرح این سازه ها است.

از بررسی چگونگی توزیع کل انرژی هیستریزس تلف شده در مدل ۳ طبقه تحت اثر رکوردهای حوزه دور و نزدیک مشاهده می شود که در هر دو حوزه به طور میانگین بیش از نیمی از این انرژی توسط مهاربندهای طبقه اول این قاب جذب و تلف شده و در نتیجه خسارتهای قابل توجهی در این طبقه ایجاد شده است. در حالیکه طبقات دوم و سوم این قاب مجموعاً با سهم کمتر از ۵۰ درصدی از کل انرژی هیستریزس تلف شده توسط این قاب، و با اختلاف سهمی در حدود ۴۰ درصد نسبت به طبقه اول، خسارت به مراتب کمتری را تجربه نموده اند. همچنین در خصوص مقایسه چگونگی توزیع انرژی هیستریزس در طبقات این قاب تحت اثر رکوردهای حوزه دور و نزدیک ملاحظه میشود که میزان تمرکز این انرژی در مهاربندهای طبقه اول تحت رکوردهای حوزه نزدیک با سهمی بیش از ۶۶ درصد به مراتب بیشتر از حوزه دور با سهمی بالغ بر ۵۲ درصد بوده و با توزیع نایکنواخت تر این انرژی در طبقات، خسارت بیشتری در طبقه اول متمرکز شده است که این موضوع با شدت گرفتن رکوردهای زلزله و با خروج یکباره عملکرد

بادبندهای این طبقه از عملکرد آستانه فروریزش میتواند مکانیزم و انهدام کامل قاب را سبب شود.

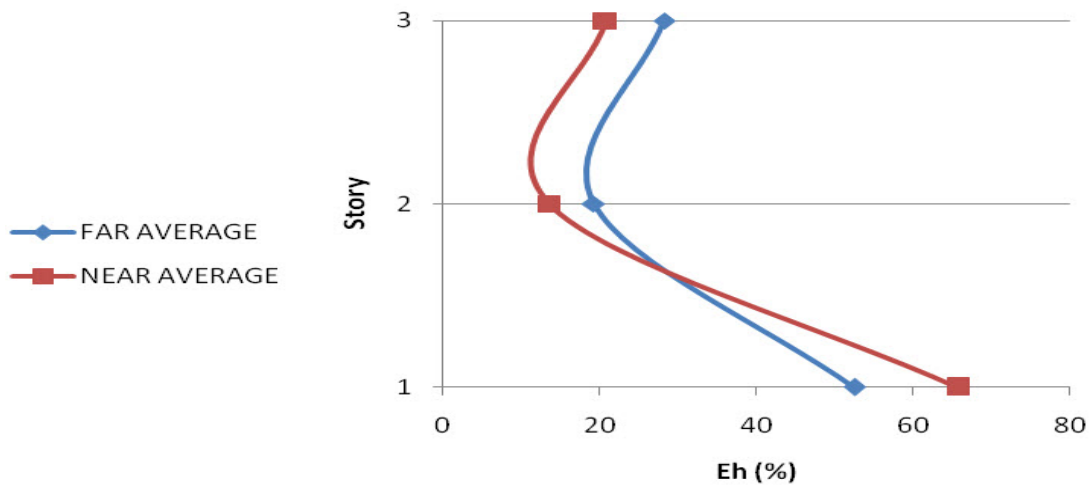
در قاب ۶ طبقه با وجود تمرکز انرژی هیستریزس در طبقه اول، ملاحظه می شود که علیرغم افزایش تعداد طبقات و تعداد سهم ها، همچنان تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک سهم طبقه اول در اتلاف انرژی هیستریزس نسبت به سایر طبقات به حدود ۴۰ درصد رسیده و تمرکز شدید خسارت در این طبقه مشاهده می شود. حال آنکه در این قاب تحت اثر رکوردهای حوزه دور توزیع این انرژی در طبقات یکنواخت تر بوده و با ایجاد اختلاف حدود ۱۰ درصدی سهم طبقه اول نسبت به سایر طبقات از میزان تمرکز انرژی هیستریزس و خسارت در طبقه اول نسبت به قاب ۳ طبقه کاسته شده است و در طبقات میانی این قاب تحت اثر رکوردهای هر دو حوزه توزیع این انرژی تقریباً بصورت یکنواخت بوده است.

در قاب ۱۲ طبقه مشاهده میشود که اگر چه تحت رکوردهای حوزه نزدیک همچنان تمرکز انرژی هیستریزس در طبقه اول است اما از شدت این تمرکز کاسته شده و توزیع یکنواخت تری از این انرژی در طبقات در مقایسه با قابهای کوتاه تر قبلی مشاهده می شود. در این قاب تحت اثر رکوردهای حوزه دور توزیع نسبتاً یکنواختی از انرژی هیستریزس در طبقات مشاهده شده و تمرکز نسبتاً قابل توجهی از این انرژی در طبقات نیمه پایینی این قاب مشاهده می شود.

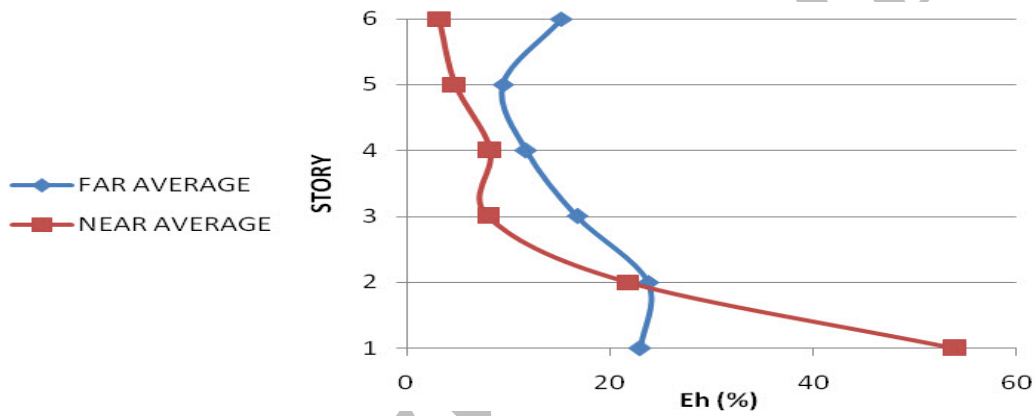
در جمع بندی چگونگی توزیع انرژی هیستریزس در قابهای سه گانه فوق می توان به تمرکز این انرژی و خسارت در طبقه اول تمامی این قابها اشاره کرد که تحت رکوردهای حوزه نزدیک شدت این تمرکز انرژی بیشتر بوده و با افزایش تعداد طبقات قابها از میزان این شدت کاسته شده و توزیع یکنواخت تری از این انرژی در طبقات قابل مشاهده است.



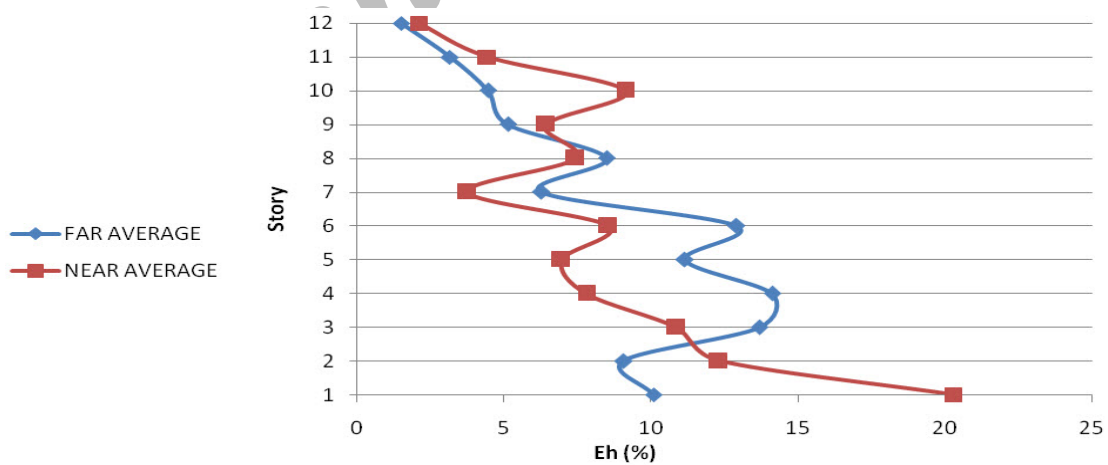




شکل (۷) : توزیع میانگین درصد انرژی هیستریزس در طبقات قاب ۳ طبقه برای رکوردهای حوزه دور و نزدیک



شکل (۸) : توزیع میانگین درصد انرژی هیستریزس در طبقات قاب ۶ طبقه برای رکوردهای حوزه دور و نزدیک



شکل (۹) : توزیع میانگین درصد انرژی هیستریزس در طبقات قاب ۱۲ طبقه برای رکوردهای حوزه دور و نزدیک

## ۱۰- نتیجه گیری

در این تحقیق سه مدل قاب فولادی مهاربندی هم مرکز با تعداد طبقات ۳، ۶ و ۱۲ طرح شده و تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک زلزله های شدید کوکائلی، لندرز و طبس قرار گرفته و نتایج زیر از تحلیل دینامیکی غیر خطی آنها بدست آمده است:

۱. ماکزیمم تغییر مکان نسبی در رکوردهای حوزه نزدیک برای قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب برابر ۰/۶۸، ۰/۵۱ و ۱/۷۸ درصد و در رکوردهای حوزه دور برای قاب های ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب برابر ۰/۴۵، ۰/۵۱ و ۰/۸۹ بدست آمده است که نشان دهنده حداکثر نیاز تغییر مکانی تقریبا دو برابری در قابهای کوتاه، متوسط و بلند، تحت اثر زمین لرزه های حوزه نزدیک گسل نسبت به حوزه دور می باشد.

۲. تحت رکوردهای حوزه دور برای قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب ۱۷، ۵ و ۷ درصد انرژی ورودی توسط رفتار غیرخطی اعضا تلف شده و موجب خسارات سازه ای شده در حالیکه این مقدار تحت زلزله های حوزه نزدیک به دلیل ضربات پالس گونه با توان بالای این گونه از زلزله ها، با افزایش بیش از سه برابری به ترتیب به ۴۶، ۵۱ و ۲۶ درصد افزایش یافته و خسارتهای به مراتب بیشتری را سبب شده است.

۳. تحت رکوردهای حوزه دور برای قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب ۵۹، ۶۸ و ۶۲ درصد انرژی ورودی توسط میرایی غیر سازه ای تلف شده در حالیکه این مقدار تحت زلزله های حوزه نزدیک به ترتیب به ۴۶، ۴۴ و ۶۵ درصد کاهش یافته است.

۴. با مشاهده چگونگی توزیع انرژی هیستریزس در طبقات قابهای سه گانه فوق تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک می توان به تمرکز این انرژی و خسارت در طبقه اول تمامی این قابها و سهم بیش از ۵۰ درصدی این طبقه از کل انرژی هیستریزس قاب در ساختمانهای کوتاه، علیرغم توزیع یکنواخت مقاومت در مراحل طراحی آنها، اشاره کرد. همچنین مشاهده می شود تحت رکوردهای حوزه نزدیک شدت این تمرکز انرژی بیشتر بوده که سهم این انرژی در طبقه اول ساختمانهای کوتاه تا ۶۶ درصد بالغ می گردد که با افزایش تعداد طبقات قابها از میزان این شدت کاسته شده و توزیع یکنواخت تری از این انرژی در طبقات قابها قابل مشاهده است.

## مراجع

1-Sinan Akkar and Polat Gulkan, "A Near-Fault Design Spectrum and Its Drift Limits", In: Proceeding of Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 2010, Tehran, Iran.

2-Decanini, Luis & Mollaioli, Fabrizio & Saragoni, Rodolfo. Energy and Displacement Demand Imposed by Near-Source Ground Motions. In: Proceeding of 12WCEE. New Zealand. 2000, Paper 1136.

3-Smolka, A; Rauch, E, "The earthquake of Northridge 1994 and Kobe 1995-Lessons for risk assessment and loss Prevention With Special Reference to Earthquake Insurance", Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Pergamon, Elsevier Science Ltd, [Oxford, England], 1996, Paper NO.1847.

4-Uang CM, Bertero VV. Use of energy as design criterion in earthquake resistant design. Report no. EERC-88/18. Berkeley (CA): Earthquake Engineering Research Center, University of California; 1988.

5-Rahnama, M. and Manuel, L., "The effect of strong motion duration on seismic demands", In: Proceeding of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, Mexico, 1996, Paper No. 924.

6-Goel, S. C. and Berg, G. V. "Inelastic Earthquake Response of Tall Steel Frames," ASCE Structural Engineering Conference, Seattle, Washington, May 1967.



۱۷- "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود"، نشریه شماره ۳۶۰ دفتر امور فنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ویرایش اول، ۱۳۸۵.

18- Housner, G.W., Limit design of structures to resist earthquakes, In: Proceeding of the 1st World Conference on Earthquake Engineering, California, USA, 1956, Vol. 5, pp. 5-1 to 5- 13.

19-Uang, C.-M., and Bertero, V.V., Evaluation of Seismic Energy in Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1990, Vol.19, No. 1, pp. 77-90.

7-Kunnath, S.K. and Chai, Y.H. "Cumulative Damage-Based Inelastic Cycle Demand Spectrum" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2004, Vol. 33, pp.499-520.

8-Moghaddam, H. and Hajrasouliha, I. "Toward more Rational Criteria for Determination of Design Earthquake Forces", International journal of Solids and Structural, 2006, Vol. 43, pp. 2631-2645

9-Benavent, A. "An Energy-Based Damage Model for Seismic Response of Steel Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2007, Vol. 36, pp. 1049-1064.

۱۰- گنجوی، بهنود. امیری واقفی، جواد. قدرتی، غلامرضا. "تاثیر روش‌های طراحی لرزه‌ای در نحوه توزیع خسارت و انرژی جذب شده در ساختمان‌های قاب خمشی بتن مسلح (MDOF)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، ۱۳۸۳.

11-Amiri, J.V. Ahmadi, Q.Y. and Ganjavi, B. "Assessment of Reinforced Concrete Buildings with Shear Wall Based on Iranian Code(Third Edition)", Journal of applied Science, 2008, 8(23): 4274-4283.

۱۲- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، انتشارات مرکز تحقیقات مسکن، ۱۳۸۶.

۱۳- دانشجو، فرهاد و بدرلو بیت الله، رفتار دینامیکی غیرخطی قاب‌های فولادی برون محور تحت تاثیر زمین- لرزه‌های نزدیک گسل، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران- سازه، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.

۱۴- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمانهای فولادی)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۷.

۱۵- آیین‌نامه حداقل بار وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی (استاندارد ۵۱۹)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۷۹.

16-CSI Perform-3D, User Guide, Version 4.0.3.RAM Intenational, L.L.C., University of Colifornia