

فهرست عناوین

فصل 1- مقدمه	1
فصل 2- مروری بر تحقیقات انجام شده	4
1-2- تئوری بهسازی لرزه ای و کنترل ارتعاشات در سازه	4
2-2- کنترل فعال	5
3-2- کنترل هیبریدی	5
4-2- کنترل نیمه فعال	6
5-2- سیستمهای کنترل غیر فعال	8
1-5-2- جداساز پایه	10
2-5-2- میراگرهای جرمی	12
3-5-2- میراگر مایع تنظیم شده	16
4-5-2- میراگرهای تسلیمی (فلزی)	17
5-5-2- میراگرهای ویسکو الاستیک	21
6-5-2- میراگرهای اصطکاکی	23
7-5-2- میراگر ویسکوز (سیال لزج)	26
6-2- بهسازی از طریق تلفیق کنترل غیر فعال و کاهش سختی سازه	38
فصل 3- مراحل انجام پژوهش، فرضیات و روشهای اتخاذ شده	39
1-3- پیشگفتار	39
2-3- معرفی روش پیشنهادی	40
3-3- انتخاب مدل های آزمایش، انتخاب شتاب نگاشت ها و تحلیل سازه ها	46
4-3- روند طراحی میراگر ویسکوز برای سازه	47
1-4-3- مراحل طراحی میراگر	47
2-4-3- رابطه انرژی درون سازه و میراگر	55
5-3- نحوه مدلسازی میراگر در نرم افزار sap2000	57
6-3- ارزیابی طیفی سازه های بهسازی شده	58

فصل 4- کلیات تحلیل های غیر خطی	60
1-4- مقدمه	60
2-4- تحلیل استاتیکی غیر خطی	60
1-2-4- تحلیل غیر خطی مصالح	61
2-2-4- انواع مفصل های الاستوپلاستیک	63
3-2-4- منحنی های رفتار غیر خطی و معیار خرابی اعضا	68
4-2-4- اصول کلی تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی	70
5-2-4- روند انجام تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی	71
6-2-4- ضعف های روش استاتیکی فزاینده غیر خطی	71
3-4- تحلیل دینامیکی غیر خطی	73
فصل 5- شرح مدل ها و تحلیل ها	73
1-5- پیشگفتار	73
2-5- معرفی سازه های مورد مطالعه	73
3-5- تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی	76
1-3-5- پیش تحلیل با بارهای ثقلی	76
2-3-5- توزیع بارهای جانبی	77
3-3-5- فرآیند بهسازی	77
4-3-5- رفتار غیر خطی مصالح	89
4-5- نتایج در روش استاتیکی فزاینده غیر خطی	89
1-4-5- منحنی برش پایه - تغییر مکان	90
2-4-5- منحنی ظرفیت و نقطه عملکرد	92
5-5- تحلیل دینامیکی غیر خطی	97
1-5-5- کلیات تحلیل دینامیکی غیر خطی	97
2-5-5- انتخاب شتاب نگاشتها و مقیاس کردن آنها	98
3-5-5- نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی	103

فصل 6- نتیجه گیری.....130

فهرست منابع و مراجع133

فهرست اشکال و تصاویر

فصل دوم

- شکل (2-1): نمودار بلوکی یک سیستم کنترل حلقه باز و بسته 8
- شکل (2-2): نمودار بلوکی سیستم سازه با کنترل غیر فعال 9
- شکل (2-3): (a) تاثیر حرکت زمین روی سازه با و بدون جداساز پایه (b) نصب جداساز پایه در پای ستون 10
- شکل (2-4): به ترتیب از سمت راست- چگونگی وارد شدن نیروی اینرسی میراگر، وسط- حرکت ساختمان به سمت راست، ثابت ماندن جرم و جمع و کشیده شدن فنرها، چپ- حرکت ساختمان به سمت چپ، ثابت ماندن جرم و جمع و کشیده شدن فنرها 13
- شکل (2-5): کاربرد میراگرهای جرمی 14
- شکل (2-6): اثر میراگر جرمی بر پاسخ تشدید 15
- شکل (2-7): میراگر مایع تنظیم شده ستونی 16
- شکل (2-8): میراگر مایع تلاطمی 17
- شکل (2-9): میراگر تسلیمی مثلی شکل (TADAS) و منحنی پسماند آن 18
- شکل (2-10): میراگر تسلیمی X- شکل (ADAS) 18
- شکل (2-11): سیستم بادبند شکل پذیر 19
- شکل (2-12): المان شکل پذیر جدید 19
- شکل (2-13): منحنی ترسیم شده هستریزیس توسط ANSYS 20
- شکل (2-14): میراگرهای تسلیمی در بادبندهای هم محور 20
- شکل (2-15): انواع معمول میراگرهای ویسکو الاستیک 21
- شکل (2-16): نحوه نصب میراگر ویسکو الاستیک 21
- شکل (2-17): حلقه هستریزیس ایده آل میراگر ویسکو الاستیک 22
- شکل (2-18): شکل های جدید میراگر اصطکاکی شرکت PALL 24
- شکل (2-19): الف - اجزای میراگر اصطکاکی دورانی جدید و ب - مکانیزم کار میراگر اصطکاکی دورانی 25
- شکل (2-20): تست میراگر 200 تنی ویسکوز برای نیروی هوایی آمریکا (1961) 27
- شکل (2-21): مقطع طولی میراگر ویسکوز (a) میراگر با محفظه ذخیره ساز (b) میراگر با میله توخالی 28

- شکل (2-22): نمودار سرعت - نیروی میراگر ویسکوز 29
- شکل (2-23): حلقه هیستریزیس میراگر با رفتار ویسکوز خالص و ویسکوالاستیک 30
- شکل (2-24): حلقه کامل انرژی تلف شده در میراگر ویسکوز 32
- شکل (2-25): ساختمان یک طبقه، بدون میراگر تحت زلزله النسرتو 33/3٪ 33
- شکل (2-26): ساختمان یک طبقه، با دو میراگر تحت زلزله النسرتو 100٪ 33
- شکل (2-27): نصب میراگر در سیستم جداساز مرکز پزشکی Arrowhead Regional 34
- شکل (2-28): نصب میراگر در هتل Woodland 35
- شکل (2-29): نصب میراگر در مرکز San Francisco Civic 35
- شکل (2-30): نصب میراگر در استادیوم Pacific Northwest Baseball 36
- شکل (2-31): استفاده از میراگر ویسکوز بجای بادبند 36

فصل سوم

- شکل (3-1): تاثیر افزایش سختی جانبی بر تغییر مکان 42
- شکل (3-2): گامهای اصلی فرایند بهسازی معرفی شده 44
- شکل (3-3): روشهای پیشنهادی برای کاهش سختی سازه 46
- شکل (3-4): الگوریتم طراحی میراگر 48
- شکل (3-5): تاریخچه و طیف شتاب نگاشت النسرتو 49
- شکل (3-6): نمای یک ساختمان 10 طبقه تغییر مکان بام بصورت تابعی از تعداد میراگر 50
- شکل (3-7): تعریف انرژی تلف شده W_d ، در یک چرخه از حرکت هارمونیک و ماکزیموم انرژی کرنشی W_s یک سیستم یک درجه آزادی با میراگر ویسکوز 52
- شکل (3-8): مدل چند درجه آزادی یک سیستم با میراگر ویسکوز 53
- شکل (3-9): نمودار انرژی جذب شده توسط میراگر 56
- شکل (3-10): نحوه مدلسازی میراگر در نرم افزار sap 2000 57

فصل چهارم

- شکل (4-1): رابطه نیرو- جابجایی در مفصل پلاستیک محوری 64
- شکل (4-2): رابطه لنگر- دوران در مفصل پلاستیک خمشی 66
- شکل (4-3): دوران صلب مفصل پلاستیک 67

شکل (4-4): رفتارهای مختلف اعضا 68

شکل (4-5): منحنی های رفتاری اعضا 70

شکل (4-6): سیکل کامل دوره تناوب 72

فصل پنجم

شکل (5-1): مقاطع قاب 2 طبقه 74

شکل (5-2): مقاطع قاب 4 طبقه 75

شکل (5-3): مقاطع قاب 7 طبقه 75

شکل (5-4): موقعیت مفصلها در سازه 2 طبقه 78

شکل (5-5): موقعیت مفصلها در سازه 4 طبقه 78

شکل (5-6): موقعیت مفصلها در سازه 7 طبقه 79

شکل (5-7): مکان میراگر در سازه 2 طبقه 80

شکل (5-8): مکان میراگر در سازه 4 طبقه 80

شکل (5-9): مکان میراگر در سازه 7 طبقه 81

شکل (5-10): اعمال میرایی های مختلف بر طیف شتاب نگاشت زلزله السنترو با مقیاس $0/35 g$ 82

شکل (5-11): درصد انرژی های جذب شده توسط میراگر برای سازه 2 طبقه 83

شکل (5-12): انرژی درونی سازه 2 طبقه 85

شکل (5-13): درصد انرژی های جذب شده توسط میراگر برای سازه 4 طبقه 86

شکل (5-14): انرژی درونی سازه 4 طبقه 86

شکل (5-15): درصد انرژی های جذب شده توسط میراگر برای سازه 7 طبقه 87

شکل (5-16): انرژی درونی سازه 7 طبقه 88

شکل (5-17): منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 2 طبقه 90

شکل (5-18): منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 4 طبقه 91

شکل (5-19): منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 7 طبقه 92

شکل (5-20): منحنی ظرفیت و طیف طرح سازه 2 طبقه 93

شکل (5-21): منحنی ظرفیت و طیف طرح سازه 4 طبقه 94

شکل (5-22): منحنی ظرفیت و طیف طرح سازه 7 طبقه 95

- شکل (5-23): اثر کاهش سختی در افزایش دوره تناوب اصلی قابهای مطالعه شده 96
- شکل (5-24): شتاب نگاشت های زمین لرزه ها قبل از مقیاس شدن 99
- شکل (5-25): طیف زمین لرزه ها قبل از مقیاس شدن با میرایی 5٪ 100
- شکل (5-26): شتاب نگاشت های زمین لرزه ها بعد از مقیاس شدن 101
- شکل (5-27): طیف زمین لرزه ها بعد از مقیاس شدن با میرایی 5٪ 102
- شکل (5-28): تاریخچه تغییر مکان سازه 2 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت 103
- شکل (5-29): الگوی تشکیل مفاصل قاب 2 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت الف) سازه اولیه، ب) سازه با سختی کاهش یافته و ج) سازه با سختی کاهش یافته به همراه میراگر 104
- شکل (5-30): تاریخچه تغییر مکان سازه 4 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت 105
- شکل (5-31): الگوی تشکیل مفاصل قاب 4 طبقه در سه حالت الف) سازه اولیه، ب) سازه با کاهش سختی و ج) سازه با کاهش سختی به همراه میراگر 106
- شکل (5-32): تاریخچه تغییر مکان سازه 7 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت 107
- شکل (5-33): الگوی تشکیل مفاصل قاب 7 طبقه در سه حالت الف) سازه اولیه، ب) سازه با کاهش سختی و ج) سازه با کاهش سختی به همراه میراگر 108
- شکل (5-34): پاسخ سازه 2 طبقه تحت شتاب نگاشت منجیل 109
- شکل (5-35): پاسخ سازه 4 طبقه تحت شتاب نگاشت منجیل 110
- شکل (5-36): پاسخ سازه 7 طبقه تحت شتاب نگاشت منجیل 111
- شکل (5-37): سطح عملکرد قاب 2 طبقه تحت تحلیل دینامیکی 124
- شکل (5-38): سطوح عملکرد قاب 4 طبقه تحت تحلیل دینامیکی 125
- شکل (5-39): سطوح عملکرد قاب 7 طبقه تحت تحلیل دینامیکی 126
- شکل (5-40): نمودار میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات قاب 2 طبقه تحت تحلیل دینامیکی 127
- شکل (5-41): نمودار میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات قاب 4 طبقه تحت تحلیل دینامیکی 128
- شکل (5-42): نمودار میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات قاب 7 طبقه تحت تحلیل دینامیکی 129

فهرست جداول

فصل دوم

جدول (2-1): برخی کاربرد میراگرهای ویسکوز در ساختمانها در مقابل نیروی باد.....37

فصل چهارم

جدول 4-1- رفتار اجزای مختلف سازه [29].....70

فصل پنجم

جدول (5-1): تغییرات ماکزیموم تغییر مکان در سازه 2 طبقه.....112

جدول (5-2): تغییرات متوسط تغییر مکان در سازه 2 طبقه.....113

جدول (5-3): تغییرات ماکزیموم تغییر مکان در سازه 4 طبقه.....113

جدول (5-4): تغییرات متوسط تغییر مکان در سازه 4 طبقه.....114

جدول (5-5): تغییرات ماکزیموم تغییر مکان در سازه 7 طبقه.....115

جدول (5-6): تغییرات متوسط تغییر مکان در سازه 7 طبقه.....115

جدول (5-7): تغییرات ماکزیموم شتاب در سازه 2 طبقه.....116

جدول (5-8): تغییرات متوسط شتاب در سازه 2 طبقه.....117

جدول (5-9): تغییرات ماکزیموم شتاب در سازه 4 طبقه.....117

جدول (5-10): تغییرات متوسط شتاب در سازه 4 طبقه.....118

جدول (5-11): تغییرات ماکزیموم شتاب در سازه 7 طبقه.....118

جدول (5-12): تغییرات متوسط شتاب در سازه 7 طبقه.....119

جدول (5-13): تغییرات ماکزیموم برش پایه در سازه 2 طبقه.....120

جدول (5-14): تغییرات متوسط برش پایه در سازه 2 طبقه.....120

جدول (5-15): تغییرات ماکزیموم برش پایه در سازه 4 طبقه.....121

جدول (5-16): تغییرات متوسط برش پایه در سازه 4 طبقه.....121

جدول (5-17): تغییرات ماکزیموم برش پایه در سازه 7 طبقه.....122

جدول (5-18): تغییرات متوسط برش پایه در سازه 7 طبقه.....122

فصل 1- مقدمه

انسانها ساختن را آموخته اند و زلزله ها ویران کردن را به ارث برده اند ارثیه ای که نه از گذشتگان که از انسانها برایشان به جا مانده است، چنانچه انسانها ساختن را به خویش و ویران کردن را به زلزله ها نسبت داده اند.

زلزله، این خطر طبیعی اجتناب نا پذیر می تواند موجب خرابی های ویران کننده ای در ساختمانهای اطراف ما گردد. زلزله های متوسط و قوی در چند دهه اخیر، مناطق زیادی از دنیا را مورد لرزش قرار داده اند. این زلزله ها از جمله نورتریج در آمریکا (1994)، کوبه در ژاپن (1995)، گالاک در ترکیه (1999)، چی چی در تایوان (1999) و بم در ایران (1381 شمسی) سبب مرگ میلیونها نفر و ضررهای اقتصادی زیادی گردیده اند.

زلزله ها نه ساختمان ها را، که تمدن ها را ویران ساخته اند و مهندسی زلزله، نه فن پایدار نمودن ساختمانها، که علم پایدار نمودن تمدنها است، مدنیته ای که خود حاصل و دستاورد آن است. به میزان تغییراتی که انسانها در تجهیزات و چگونگی ساخت و ساز ایجاد نموده اند، شدت تخریب زلزله ها را کاهش داده اند، بناهای ساخته شده را ترمیم و ساختمانهای نو ساز را تقویت نمودند و در صدد دست یافتن به عملکرد لرزه ای مناسب و دلخواه از ساختمانها فن مقاوم سازی را گسترش بخشیدند.

بهسازی لرزه ای سازه ها یک فعالیت نسبتا جدیدی در زمینه مقابله با این زمین لرزه ها برای مهندسین سازه می باشد و کنترل سازه ها یکی از این روش ها به شمار می آید.

میرایی نیز به عنوان یکی از روش های مختلف ارائه شده در سازه ها برای رسیدن به عملکرد بهتر می باشد. وقتی که سازه در معرض زلزله، طوفان، باد و یا انواع دیگر بارهای دینامیکی قرار می گیرد باید بتواند از طریق ترکیبی از مقاومت، انعطاف پذیری و قابلیت تغییر شکل باعث میرایی اثر انرژی وارده

گردد. سطح میرایی در سازه های الاستیک مرسوم خیلی پائین است و بنابراین مقدار انرژی تلف شده در طی زلزله یا موارد دیگر انتقال انرژی بسیار پائین است.

طی یک حرکت شدید، مثلاً زلزله، سازه تغییر شکلی ورای حدود تغییر شکل خطی از خود نشان می دهد و ممکن است ناگهان فرو بریزد یا بشکند. بنابراین بیشتر انرژی تلف شده توسط اجزای سازه ای جذب می شوند تا اینکه یک یا برخی از اجزاء فرو ریزد.

مفهوم میراگرهای اضافی سازه فرض می کند که مقدار زیادی از انرژی ورودی منتقل شده به سازه، نه به وسیله خود سازه، بلکه به وسیله اجزای میراگر اضافی جذب می شود.

رساله حاضر بهسازی لرزه ای سازه ها را با استفاده از میراگرها به همراه کاهش سختی سازه به عنوان یک روش جدید مورد بررسی و توجه قرار می دهد و با هدف مطلوب سازی تغییر مکان های جانبی و کاهش جابه جایی و شتاب، تلفیق کاهش سختی و به کارگیری میراگرهای ویسکوز را مد نظر قرار داده است.

در این روش بهسازی، نخست سختی جانبی سازه را با استفاده از یکی از روشهای ممکن (که در فصول آینده بطور گسترده تری مورد بحث قرار می گیرد) کاهش داده، که این عمل باعث کاهش نیاز لرزه ای، شتاب و برش پایه در سازه میگردد ولی از طرفی با کاهش سختی، تغییر مکان جانبی افزایش می یابد، در مرحله بعدی با افزایش میراگر مناسب جابه جایی نیز به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. از مزایای بزرگ این روش کاهش شتاب، برش پایه و تغییر مکان بطور همزمان می باشد.

رساله پیش رو مشتمل بر شش فصل می باشد. فصل اول (فصل حاضر) مقدمه و فصل دوم شامل مروری بر انواع روشهای بهسازی می باشد، که به دلیل استفاده از میراگر ویسکوز تمرکز خاصی روی این میراگر صورت گرفته است؛ در فصل سوم مراحل انجام پژوهش، فرضیات و روشهای اتخاذ شده برای انجام مراحل مختلف این بهسازی عنوان گردیده و در فصل چهارم کلیات تحلیل های غیر خطی دینامیکی و استاتیکی بیان شده است؛ در فصل پنجم شبیه سازی عددی بر روی مدلها انجام شده و در این راستا 3 ساختمان فولادی با ارتفاع های مختلف به ترتیب زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

مدل اول: ساختمان فولادی 2 طبقه با سیستم قاب خمشی

مدل دوم: ساختمان فولادی 4 طبقه با سیستم قاب خمشی

مدل سوم: ساختمان فولادی 7 طبقه با سیستم قاب خمشی

تمام مدل‌های ذکر شده با استفاده از آنالیز استاتیکی غیر خطی (push over) تحلیل گشته و پس از آن نقطه عملکرد سازه‌ها در 3 حالت سازه اولیه، سازه تضعیف شده بوسیله کاهش سختی و سازه با سختی کاهش یافته به همراه میراگر مورد مقایسه قرار گرفته است، همچنین با انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی پاسخ سازه اعم از برش پایه، شتاب و تغییر مکان در 3 حالت ذکر شده تحت اثر 7 زلزله النسترو، لوماپرتیا، منجیل، ناقان، نورتریج، طبس و سن فرناندو بررسی شده است؛ در فصل ششم، نتیجه گیری نهایی بر اساس تحلیل‌های انجام شده و پیشنهادات جهت ادامه تحقیقات در این زمینه ذکر گردیده است.

فصل 2- مروری بر تحقیقات انجام شده

1-2- تئوری بهسازی لرزه ای و کنترل ارتعاشات در سازه:

در راستای تحول تمدن ها، روشهای بهسازی لرزه ای سازه ها نیز دچار تحولات زیادی گشته و در کنار روشهای قدیمی بهسازی سازه ها از قبیل، افزایش سختی و مقاومت، پوششهای فلزی و اجزای مقاوم سازه ای پیش تنیده خارجی، روشهای جدیدی بکار گرفته شده است که این روشها را می توان به انواع زیر تقسیم بندی نمود:

- کاهش سختی (مثل جداسازهای لرزه ای)
 - افزایش شکل پذیری (مثل مواد مرکب جدید FRP)
 - کنترل سازه ای شامل کنترل فعال، کنترل هیبریدی، کنترل نیمه فعال و غیر فعال
 - ترکیب روشهای مختلف (مثل روش کاهش سختی سازه به همراه میراگر)
- تنوع و تاثیرات مختلف زلزله ها رفتار لرزه ای پیش بینی نا پذیر ساختمانها و وجود متغیرهای زیاد در عملکرد آنها و نیز تنوع سازه ها، دستیابی به رفتار لرزه ای دلخواه از ساختمان شامل مقاومت جانبی و شکل پذیری کافی حین وقوع زلزله را دشوار ساخته است.
- نظر به اینکه ساختمانهای بلند با اسکلت فولادی حین وقوع زلزله و یا باد متحمل تغییر شکلهای جانبی بالا می گردند و این مطلب به عنوان یک عملکرد نا مطلوب از سازه مطرح می گردد بحث مقاوم سازی این گونه سازه ها تحت عنوان کنترل سازه ها به کمک انواع سیستمهای کنترل، از سوی مهندسين سازه بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

در مورد ساختمانهای بلند، مسئله کنترل تغییر مکان جانبی یک پارامتر تعیین کننده در طراحی بوده و مشخصات طرح اغلب متأثر از آن میگردد. لذا در حالت کلی مساله اصلی به صورت کنترل دامنه ارتعاشات در سازه ها مطرح میگردد. علیرغم اینکه سیستم هایی نظیر مهاربندی، دیوار برشی یا قاب

خمشى در اين گروه طبقه بندى ميشوند اما روشهاى مدرن كنترل سازه ها در چهار گروه عمده به شرح زير طبقه بندى ميشوند[1]:

- سيستمهاى كنترل فعال
- سيستمهاى كنترل نيمه فعال
- سيستم كنترل هيبريدى
- سيستمهاى كنترل غير فعال

در ادامه اين فصل اين سيستمها به اختصار توضيح داده مى شود.

2-2- كنترل فعال

وسايل كنترل فعال به وسايلي گفته مى شود كه به مقدار قابل توجهى انرژى براى فعال شدن نياز دارند تا نيروى مورد نياز براى كنترل سازه را فراهم كنند. اين وسايل از پاسخ هاى اندازه گيرى شده براى محاسبه نيروى كنترل استفاده مى كنند. اين سيستمها به علت توانايى آنها در اضافه كردن انرژى به سازه ممكن است باعث ناپايدارى سازه گردند. توانايى اين سيستمها در تعديل شرايط بارگذاري و كنترل مودهاى مختلف لرزش بيشتر از وسايل غيرفعال است و چون ممكن است در هنگام زلزله منبع انرژى آنها قطع گردد، قابليت اطمينان آنها كمتر از وسايل كنترلى غيرفعال است، از وسايل كنترل فعال مى توان به موارد زير اشاره كرد [2]:

- ميراگرهاى جرمى فعال
- سيستم هاى كنترلى با سختى متغير

3-2- كنترل هيبريدى [3]

از آنجاى كه سيستمهاى كنترل فعال نيازمند هزينه بالايى هستند، عموماً با سيستمهاى كنترل غيرفعال تركيب مى شوند به طوري كه در هنگام فعاليت از هر دو مكانيزم مى توان استفاده كرد.

قابلیت اطمینان این سیستم ها نسبتا بالا است، چون اگر منبع انرژی قطع شود سیستم غیر فعال به کار خود ادامه خواهد داد. از انواع سیستم های هیبریدی می توان دو دسته زیر را نام برد:

1- میراگرهای جرمی هیبریدی (رایج ترین نوع می باشد)

2- سیستم های جداساز پایه هیبریدی

4-2- کنترل نیمه فعال

- وسایل کنترل نیمه فعال [2و4]:

این وسایل نمی توانند به سازه انرژی وارد کنند اما خواص مکانیکی آنها می تواند برای بهبود عملکرد در سازه تنظیم شوند. این تنظیم براساس پاسخ های اندازه گیری شده می باشد. انرژی خارجی تنها برای تغییر خواص وسیله مانند میرایی و سختی است و برای تولید یک نیروی کنترلی نیست. از مزایای این وسیله نیاز کم به انرژی و عملکرد بهتر از میراگرهای غیرفعال و قابلیت تطبیق پذیری مانند میراگرهای فعال است. از طرفی این وسیله در هنگام قطع منبع انرژی به صورت غیرفعال به کار خودش ادامه می دهد و در نتیجه قابلیت اطمینان آن بالا است.

تحقیقات وسیعی که در سال های اخیر صورت گرفته این مطلب را نشان می دهد که وسایل کنترل نیمه فعال قابلیت سازگاری بیشتری نسبت به وسایل کنترل فعال دارند، در حالی که به نیروی بسیار کمی احتیاج دارند و تجهیزات مربوط به کنترل نیمه فعال در مقام مقایسه با وسایل کنترل فعال به فضای کمتری احتیاج دارند.

چنانچه در هنگام زلزله منبع انرژی قطع شود، دستگاه های کنترل نیمه فعال اغلب می توانند با انرژی باتری به کار خود ادامه دهند. مطالعات گسترده صورت گرفته بر روی سیستم های کنترل این مطلب را نشان می دهد که سیستم کنترل نیمه فعال در مقایسه با سیستم کنترل غیر فعال از عملکرد بهتری برخوردار می باشد.

به طور کلی وسایل کنترل نیمه فعال را می توان به سه گروه زیر تقسیم کرد:

1- تجهیزات کنترل نیمه فعال با تغییر سختی

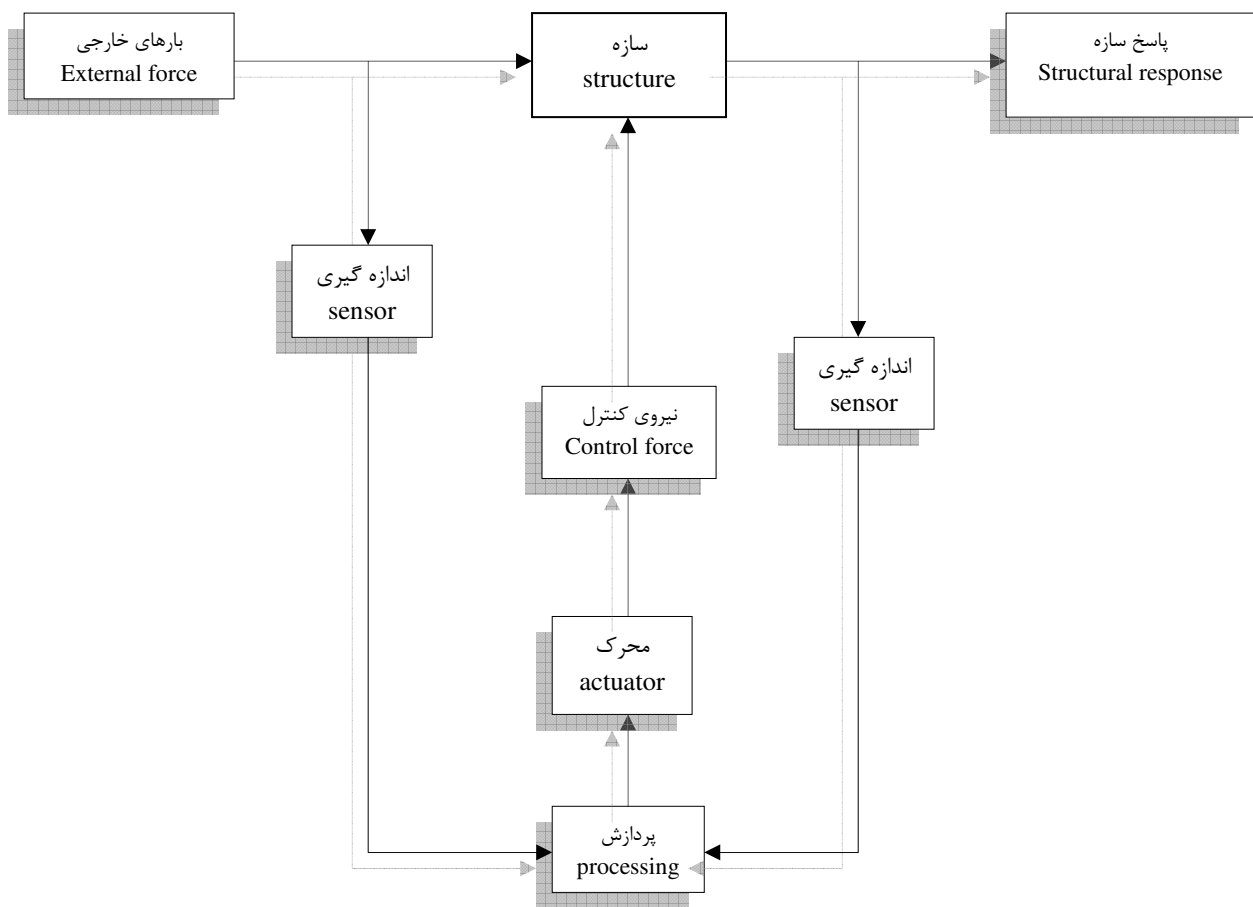
2- تجهیزات کنترل نیمه فعال با تغییر میرایی

3- تجهیزات کنترل نیمه فعال با جداسازی پایه سازه

- ساختار کنترل نیمه فعال [5]:

یکی از مشکلات سیستم های کنترل فعال بالا بودن میزان انرژی مورد نیاز جهت کنترل سازه و عدم توجیه اقتصادی این نوع سیستم می باشد لذا در سال های اخیر سعی شده تا سازه بوسیله تغییر در خصوصیات دینامیکی از جمله سختی و میرایی کنترل گردد.

ایده طرح یک سیستم حلقه باز و بسته شکل (1-2)، جهت کنترل نیمه فعال برای سازه مطرح گردیده است که با اندازه گیری بارهای خارجی در هر لحظه و اندازه گیری پاسخ سازه (با علم به مشخصات هندسی و فیزیکی و مکانیکی سازه)، تغییرات مورد نیاز در پارامترهای دینامیکی سازه محاسبه و توسط تجهیزات کنترل نیمه فعال به سازه اعمال می گردد.



شکل (2-1): نمودار بلوکی یک سیستم کنترل حلقه باز و بسته [4]

بنابراین در حالت کلی تغییرات مناسب پارامترهای دینامیکی سازه از جمله سختی و میرایی بصورت تابعی از جابجایی، سرعت، شتاب سازه و همچنین بار خارجی وارد در هر لحظه خواهد بود. تجهیزات کنترل نیمه فعال قادرند با تغییر پارامترهای دینامیکی خود، نیروی مورد نیاز جهت کنترل سازه و کاهش پاسخ آن را تامین نمایند.

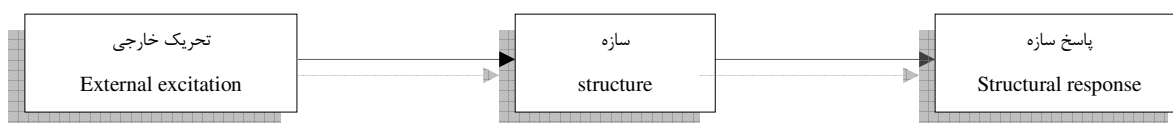
5-2- سیستمهای کنترل غیر فعال

وسایل غیرفعال اتلاف انرژی (کنترل غیرفعال) شامل مصالح و وسایلی است به منظور افزایش میرایی، سختی و مقاومت در سازه که می تواند برای جلوگیری از خطرات لرزه ای و همچنین بهسازی سازه های ضعیف بکار رود [6].

این سیستمها به هیچ گونه منبع انرژی خارجی نیازی نداشته و انرژی مورد نظر خود را از انرژی پتانسیل سازه تامین می نمایند. این گونه سیستم ها بسته به قابلیت اتلاف انرژی شان مورد ارزیابی قرار می گیرند. عملکرد این وسایل عموماً بر مبنای لغزش اصطکاکی، جاری شدن فلز، تغییر شکل مایع یا جامد ویسکوالاستیک و یا جاری شدن مایع بوده و بر این اساس به دسته های گوناگون به شرح زیر تقسیم می گردند [2]:

- جدا ساز پایه
- میراگرهای ویسکوالاستیک
- میراگرهای اصطکاکی
- میراگرهای جرمی تنظیم شده (TMD)
- میراگرهای مایع تنظیم شده
- میراگرهای تسلیمی فلزی
- میراگرهای مایع ویسکوز

از دیدگاه مهندسی کنترل سازه، کنترل غیر فعال در حکم یک حلقه باز می باشد که نمودار بلوکی آن در شکل (2-2) نشان داده شده است:



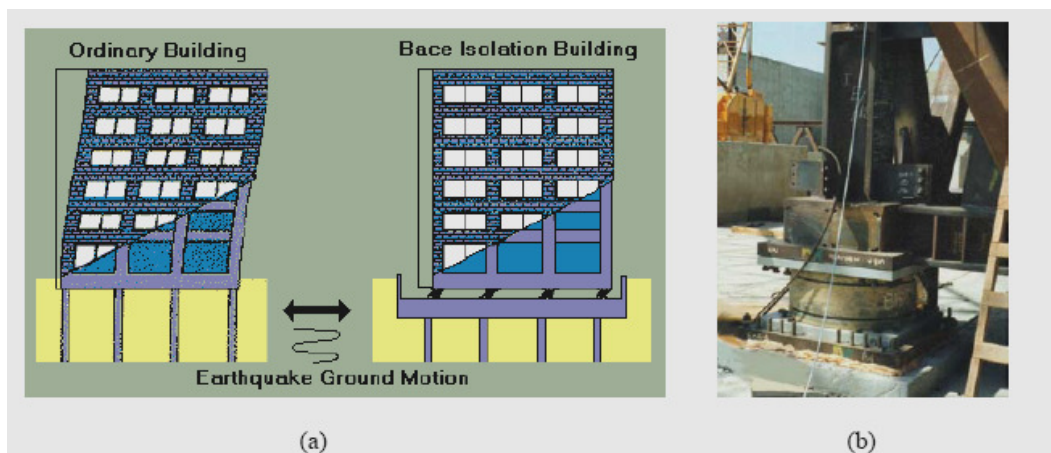
شکل(2-2): نمودار بلوکی سیستم سازه با کنترل غیر فعال [4]

سیستم کنترل غیر فعال از این جهت که با قطع منبع انرژی (که در هنگام زلزله متحمل است) اختلالی در عملکردشان بوجود نمی آید و به کار خود ادامه می دهند کاربرد وسیعی در علم مهندسی زلزله پیدا کرده اند. همچنین با توجه به اینکه این سیستم منبع انرژی خارجی ندارد لذا هیچگاه انرژی ورودی سازه را تغییر نمی دهد و قادر به ناپایدار کردن سازه نیست، همچنین هزینه نگهداری پائینی دارد [7].

1-5-2- جداساز پایه :

- معرفی:

سال 1909 در اوت پزشکی بنام کلانتارینتز روش نوینی را برای مقاوم سازی ساختمانها معرفی کرد که مبنی بر جداسازی فونداسیون از سازه بود. روش های جداسازی پیشنهادی وی استفاده از درزهای آزاد روغنکاری شده، لایه ای از ماسه نرم، سیلکا و یا تالک در تراز بین فونداسیون و سازه بود که ساختمان بتواند به راحتی بر روی آن بلغزد. قبل از وی مهندس معدنی به نام جان مایلن در سال 1876 تا 1895 در توکیو جداسازی را توسط گوی هایی انجام داده بود که عملکرد آن نیز در زلزله موفقیت آمیز بود [8]. شکل (2-3 a) تاثیر حرکت زمین روی سازه با و بدون جداساز پایه را نشان می دهد.



شکل (2-3): (a) تاثیر حرکت زمین روی سازه با و بدون جداساز پایه (b) نصب جداساز پایه در پای ستون

نحوه عملکرد این وسیله به این صورت است که فونداسیون را از سازه اصلی جدا می کند و یک سیستم جدا ساز انعطاف پذیر بین فونداسیون و سازه بالایی قرار می دهد این سیستم دارای سختی عمودی بالا و سختی افقی پائینی است و سازه را از مولفه افقی حرکت زمین جدا می کند. این عمل باعث افزایش زمان تناوب اصلی سازه گشته و همچنین افزایش در تغییر مکان سازه را در تراز ایزولاسیون نتیجه می دهد. نکته قابل توجه این است که برای جلوگیری از تشدید احتمالی در

محدوده فرکانس ارتعاشی سیستم جدا ساز مقدار مشخصی میرایی نیز در آن مفید و ضروری است. این وسیله با جذب انرژی لرزه ای قبل از اینکه این انرژی به سازه منتقل شود باعث کاهش انرژی درون سازه و همچنین تغییر مکان نسبی طبقات می گردد این روش عموماً برای سازه های کوتاه و متوسط (10 الی 12 طبقه) مناسب می باشد که فرکانس پایه آن در محدوده فرکانس زلزله می باشد [9].

- اجزای جدا سازی

با توجه به توضیحات بالا 3 جزء اساسی در هر سیستم عملی برای جدا سازی ضد زلزله به صورت زیر می باشد:

- 1- تکیه گاه انعطاف پذیر: به نحوی که زمان تناوب ارتعاشی کل سیستم را به مقدار کافی طولانی کند تا باعث کاهش نیروی پاسخ شود.
- 2- یک میرا کننده یا اتلاف کننده انرژی به نحوی که تغییر شکلهای نسبی بین ساختمان و زمین را در یک حد عملی کنترل کند.
- 3- ابزاری برای تامین صلبیت جانبی تحت اثر بارهای کم (خدمت) نظیر بارهای باد و زلزله کوچک.

- امکان پذیر بودن جدا ساز لرزه ای، مزایا و معایب آن:

جدا ساز لرزه ای مزایایی دارد، به عنوان مثال نیروی جانبی زلزله را تا حد بسیار بالایی مثلاً نصف و یا حتی تا یک سوم کاهش داده و سهم اندکی را به سازه منتقل میکند و کاهش 5 تا 20 درصدی هزینه ها را در سازه ایجاد کرده است [2] و همچنین در بهسازی ساختمانهای قدیمی و تاریخی کاربرد وسیعی دارد اما این وسیله کنترل غیر فعال شرایطی را برای نصب می طلبد که به همراه نکات دیگر در ادامه خلاصه شده است:

- خاک زیرین، حالت زمان تناوب بلند برای حرکت زمین (نظیر چیزی که در مکزیکوسیتی اتفاق افتاد) حاکم نکند.

- سازه دارای دو طبقه یا بیشتر (یا به طور غیر عادی سنگین) باشد.
- سازه نسبتاً چاق باشد.
- محل احداث سازه اجازه تغییر مکان های افقی حدود 6in را در پای سازه بدهد [10].
- در مقدار حرکت سازه باید دقت کرد چون میزان برون محوری موجب لنگری می شود که ممکن است در اعضا کشش بوجود آورد و این برای اعضای که کشش تحمل می کنند و خود جداسازها خطرناک می باشد.
- عملیات بهسازی با جداساز پایه از جهت اینکه در یک طبقه متمرکز است راحت است.
- اثر خروج از مرکزیت و ایجاد گشتاور واژگونی را باید بررسی کرد تا به اجزای سازه ای و خود جداساز آسیب نرساند [11].

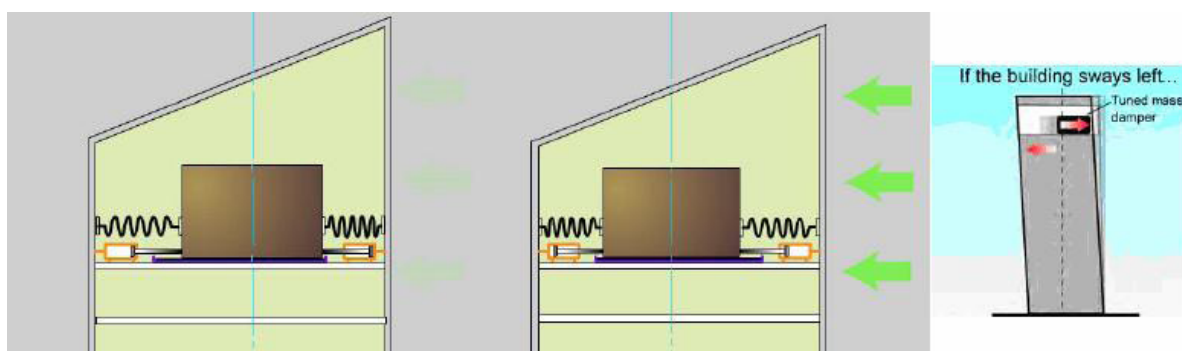
2-5-2- میراگرهای جرمی [12]

- معرفی:

میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) برای اولین بار توسط فراهم (Frahm) در سال 1909 برای کاهش حرکات سالن کشتی مورد استفاده قرار گرفت. بعدها تئوری میراگرهای جرمی توسط هارتوگ (Hartog) در مقاله ای در سال 1982 ارائه گردید که بوسیله بحث های مفصل تری راجع به تنظیمات و پارامترهای میرایی بهینه در کتاب «ارتعاشات دینامیکی» آقای Hartog پیگیری شد. تئوری اولیه برای یک سیستم یک درجه آزادی نامیرا تحت اثر بار سینوسی مورد استفاده قرار گرفته بود. این تحقیقات به سیستم های یک درجه آزادی دارای میرایی نیز بوسیله محققان زیادی از جمله (Randall 1981, Warburton 1980, 1981, 1982) و (Lin 1993), Tusi تعمیم داده شد.

به دلیل اینکه فرکانس این میراگرها با فرکانس طبیعی سازه تنظیم شده است، به آنها میراگرهای جرمی تنظیم شده می گویند. این میراگر تحت بار جانبی سازه حرکت کرده و برای این حرکت از

نیروی اینرسی استفاده می کند. حرکت میراگر 90 درجه با فاز حرکت سازه اختلاف دارد، در واقع می توان گفت جرم نسبت به یک نقطه بیرون ساختمان ساکن است. به عنوان مثال هنگامی که ساختمان به سمت چپ حرکت می کند، جرم در جای خودش مانده و ساختمان را به سمت راست می کشد و بالعکس. اگر این میراگر را با سیستم جرم - فنر دوطرفه مدل کنیم در واقع یکی ساختمان را می کشد و یکی ساختمان را هل می دهد. این مکانیزم در شکل (2-4) دیده می شود.



شکل (2-4): به ترتیب از سمت راست- چگونگی وارد شدن نیروی اینرسی میراگر، وسط- حرکت ساختمان به سمت راست، ثابت ماندن جرم و جمع و کشیده شدن فنرها، چپ- حرکت ساختمان به سمت چپ، ثابت ماندن جرم و جمع و کشیده شدن فنرها

اگر یک دوربین ویدیویی در کف ساختمان نصب باشد حس می شود که ساختمان ثابت است و میراگر حرکت می کند. سیستم جرم - فنر مربوطه به دیوارهای ساختمان متصل می باشد و میراگرهایی در انتهای فنرها قرار دارند که وظیفه شان انتقال نیروی میراگر جرمی است و اثر ضربه و نوسانات بعد از ارتعاش توسط میراگرهای متصل دیگر خنثی می شود. این نوع میراگرها بیشتر در ساختمان های بلند که نیروی باد موثرتر است کاربرد دارند. برای عملکرد بهتر میراگر، آن را در طبقات بالاتر ساختمان قرار می دهند، در واقع هرچه میراگر بالاتر باشد به جرم کمتری از آن نیاز است. در انواع جدید این میراگرها، برای صرفه اقتصادی به جای بتن یا سرب و فولاد از آب به عنوان جرم استفاده می شود. از آنجایی که اکثراً در ساختمانهای بلند منبع های آب برای عملیات ضد حریق موجود می باشد، از همین آب که معمولاً ثابت است به عنوان جرم متمرکز استفاده می شود، البته برای اینکه جرم آب به

صورت متمرکز عمل کند باید از موج زدن آن به هنگام حرکت جلوگیری شود. این نوع میراگرها به طور وسیعی در موارد زیر کاربرد دارند:

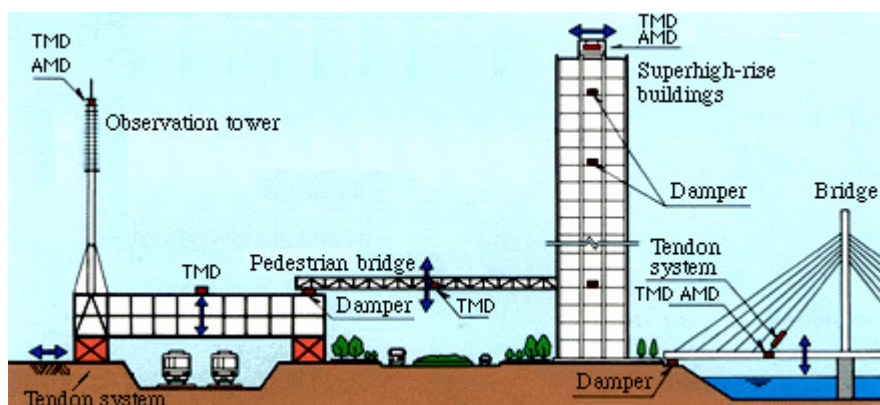
1- سازه های با دهانه های عریض (پل ها، جایگاه های تماشاچیان، پله های پیاده رو، سقف های استادیوم و...)

2- سازه های بلند و باریک از قبیل دودکش ها، پله های بلند برج های تلویزیونی، ساختمان های بلند (این سازه ها تمایل به ارتعاش با دامنه بالا در یکی از شکل های مود اصلی شان را دارند، که ممکن است توسط باد، زلزله، دویدن افراد و... فراهم شود)

3- کف های کارخانه ها که توسط ارتعاش دستگاه ها تحریک می شوند مثل غربال ها، دستگاه های گریز از مرکز، فن ها و....

4- کشتی ها که در فرکانس اصلی شان با روشن شدن موتورهای کشتی و حتی حرکات کشتی تحریک می شوند

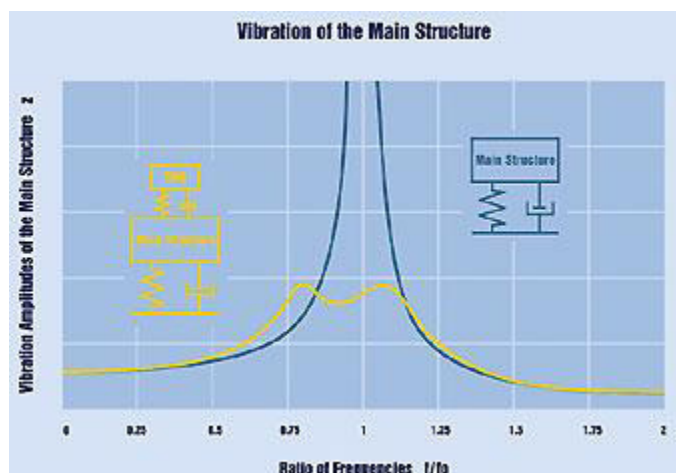
استفاده از این نوع میراگرها در کشورهای عربستان، پاکستان، ژاپن، استرالیا، انگلستان، آلمان، بلژیک، کانادا و ایالات متحده مرسوم می باشد. در شکل (2-5) میتوان برخی از کاربردهای میراگرهای جرمی را دید.



شکل (2-5): کاربرد میراگرهای جرمی

- مزایای میراگرهای جرمی:

- موثر بودن به علت قرار گرفتن در ارتفاع بسیار بالا و نوک ساختمان.
- به علت نداشتن قسمت های مکانیکی اضافی هزینه نگهداری آنها کم است.
- صرفه جویی در هزینه ها به علت کاهش تغییر مکان های جانبی.
- جلوگیری از تشدید شکل (2-6).
- انرژی به سازه اعمال نمی کند و نمی تواند آنرا ناپایدار کند.
- به علت عدم نیاز به نیروی خارجی برای فعالیت قابل اعتماد است.



شکل (2-6): اثر میراگر جرمی بر پاسخ تشدید [13]

- معایب میراگرهای جرمی:

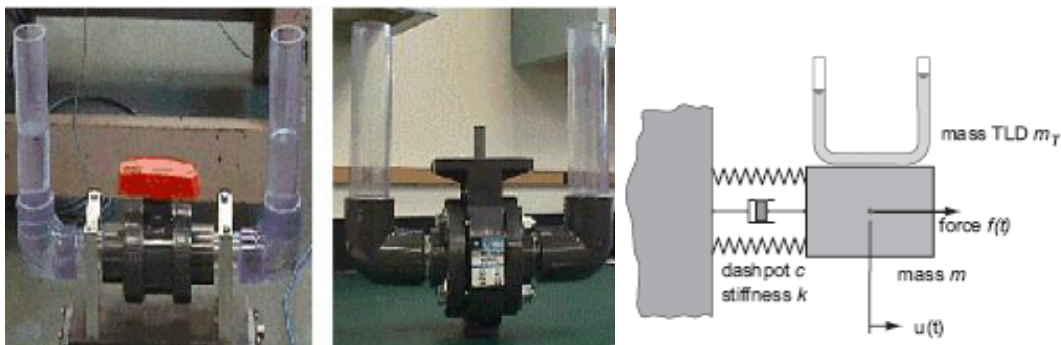
- محدودیت طراحی برای فضا دارد.
- میراگر جرمی تنظیم شده برای مود اول تنظیم می شود، ممکن است مود های دیگر را خراب کند [3].
- این میراگر حرکات سازه را کمتر می کند ولی آن را خنثی نمی کند و این در ساختمان های بلند موجب ناراحتی و آشفته گی ساکنین می شود و باید در کنار این میراگر در کف میراگرهای دیگری برای تعدیل حرکات نصب شود [14].

3-5-2- میراگر مایع تنظیم شده [15]

- معرفی

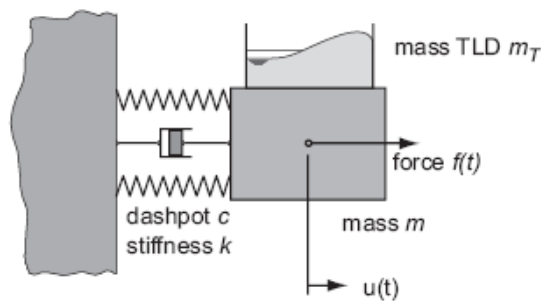
اساس عملکرد میراگر مایع تنظیم شده (TLD) شبیه به میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) می باشد، به خصوص اینکه جرم ثانویه متحرک به صورت یک سیال به سیستم سازه ای اولیه اضافه شده و از جهت اینکه فرکانس حرکت آن با فرکانس حرکت سازه برابر است جزء میراگرهای تنظیم شده می باشد. در این نوع میراگر وزن به عنوان نیروی باز دارنده عمل می کند و اتلاف انرژی از عمل ویسکوز بین لایه های مرزی مایع بدست می آید. مدل ساده TLD شامل مخزن مستطیلی یا استوانه ای با آب داخل آن است که حرکت افقی مخزن حرکت موجی مایع درون آن را ایجاد می کند. میراگرهای مایع تنظیم شده به دو دسته تقسیم می شوند:

1- میراگر مایع تنظیم شده ستونی (TLCD): شامل یک ظرف U شکل بخصوصی است که با مایع پر می شود و حرکت مایع در این ستون ها عمل جرم متمرکز را انجام می دهد. شکل (2-7) یک میراگر مایع تنظیم شده ستونی را نشان می دهد. عملکرد این میراگر با به کارگیری مخازن تنظیم فشار در روی ستون ها بهتر میشود.



شکل (2-7): میراگر مایع تنظیم شده ستونی

2- میراگر موجی مایع (TSD): TSD ها به دو دسته کم عمق و عمیق تقسیم می شوند و می تواند به شکل مخازن مستطیلی و یا مخازن استوانه ای باشد، که به محض حرکت سازه ستون مایع شروع به نوسان می کند شکل (2-8).



شکل (2-8): میراگر مایع تلاطمی

4-5-2- میراگرهای تسلیمی (فلزی)

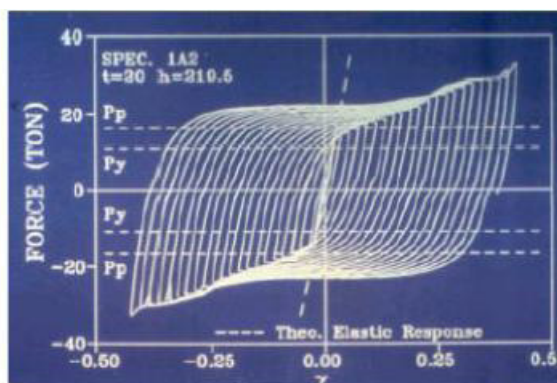
- معرفی

میراگرهای تسلیمی وسایل فلزی هستند که می توانند انرژی را در یک زلزله در اثر تغییرات غیر الاستیک فلزات تلف کنند. این میراگرها در حقیقت در حالات خمشی، پیچشی، محوری و یا برشی تسلیم می شوند و جزء میراگرهای هیستریزیس به حساب می آیند [7].

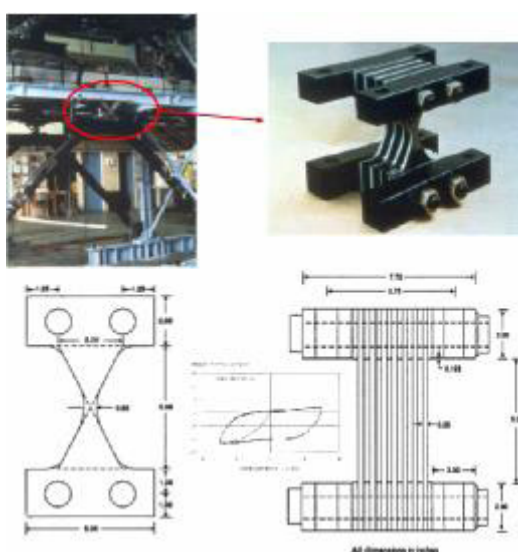
میراگرهای تسلیمی به انواع زیر تقسیم می شوند:

1- اشکال خاص مثلثی یا X - شکل:

این دو نوع میراگر علاوه بر شکل، در جهت قرارگیری صفحات نیز با هم متفاوت هستند. در این میراگرها تسلیم به صورت یکنواخت در مقطع عرضی فلزی پخش می شود، شکل‌های (2-9) میراگر تسلیمی رایج مثلثی و منحنی پسماند آن را نشان می دهد، همچنین در شکل (2-10) نیز میراگر تسلیمی X- شکل نشان داده شده است. مدل X- شکل رفتار بسیار منظمی در طی بارهای تناوبی دارد [15]. این میراگرها در فرم برون محور بر روی پاشنه بادبند قرار می گیرند و به تیر بالا اتصال می یابند.

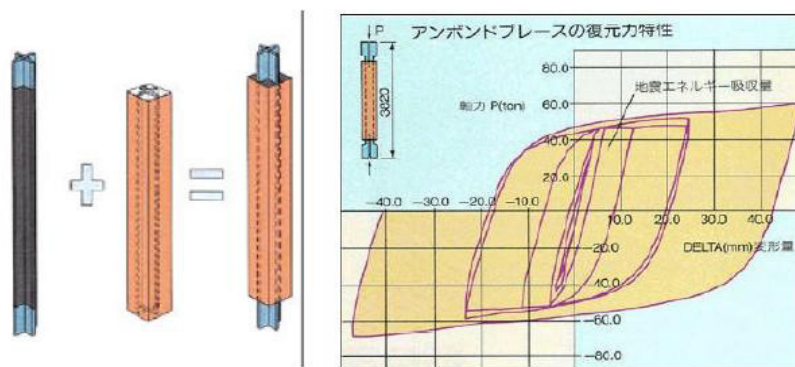


شکل (2-9): میراگر تسلیمی مثلثی شکل (TADAS) و منحنی پسماند آن [15]



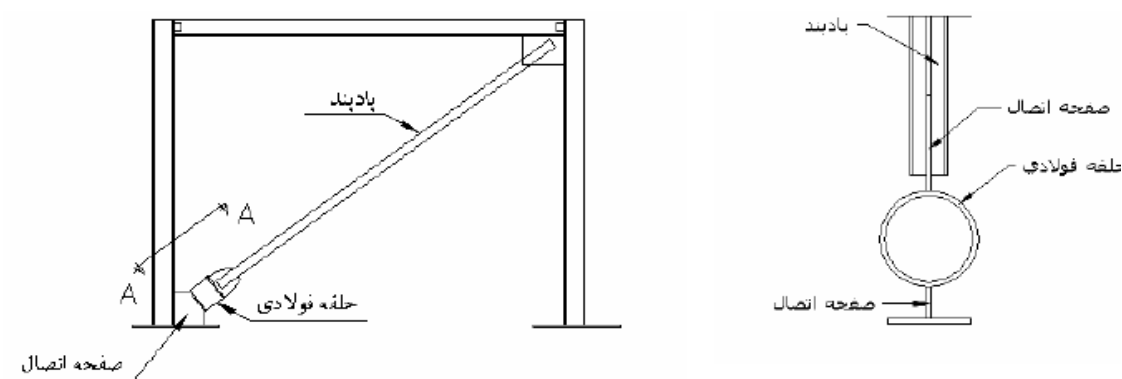
شکل (2-10): میراگر تسلیمی X- شکل (ADAS) [15]

2- بادبندهای شکل پذیر: از نوع دیگر می توان به بادبندهای هستریزیس اشاره کرد. سیستم بادبند شکل پذیر به این صورت است که قسمتی از بادبند توسط ماده ای برای کاهش اصطکاک پوشانده شده و روی آن بتن گرفته می شود. اجزای داخلی تحت بارهای رفت و برگشتی حلقه های پسماند را تشکیل می دهند که در شکل (2-11) دیده می شود [7]. این المانها علاوه بر اتلاف انرژی موجب شکل پذیری بیشتر سازه نیز می شود.

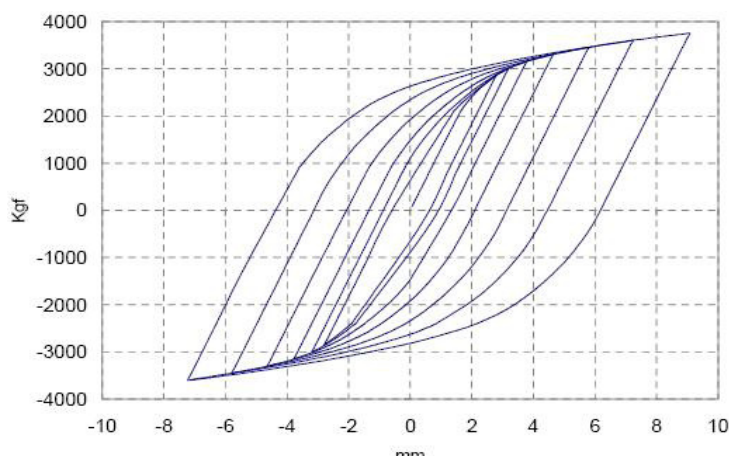


شکل (2-11): سیستم بادبند شکل پذیر [7]

3- المانهای تسلیمی اضافه شده به سازه: از موارد دیگر میراگرهای تسلیمی می توان به المان تسلیمی جدید ساخته شده در سال 2006 در دانشگاه علم و صنعت ایران نام اشاره کرد که به آن المان شکل پذیر جدید نیز می گویند، این میراگر شامل یک حلقه فولادی اضافه شده به بادبندهای هم محور می باشد. مصالح این میراگر از منحنی تنش و کرنش دوخطی پیروی می کنند و اتلاف انرژی از طریق تسلیم شدن نقاط حلقه و تشکیل حلقه پسماند صورت می پذیرد. در شکلهای (2-12) و (2-13) نحوه قرار گرفتن این میراگر و منحنی های هستیزیس آن نشان داده شده است [8].

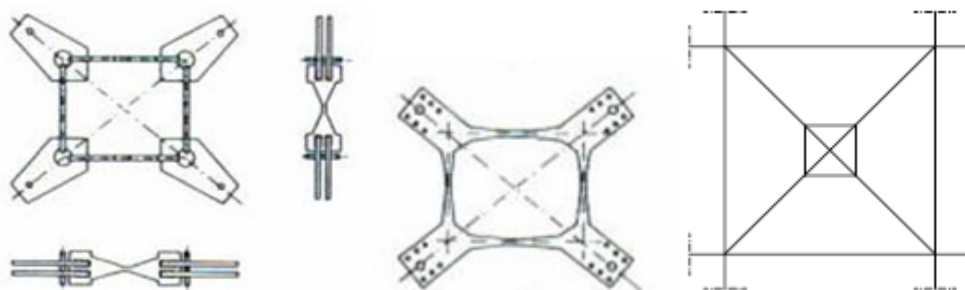


شکل (2-12): المان شکل پذیر جدید [8]



شکل (2-13): منحنی ترسیم شده هستریزیس توسط ANSYS [8]

4- قابهای تسلیمی مرکزی: نوع دیگر میراگرهای تسلیمی قاب فلزی است که در وسط میراگرهای ضربدري قرار می گیرد، شکل (2-14). این مستطیل از کمانش بادبند جلوگیری کرده و موجب شکل پذیر شدن سازه می شود و با تسلیم یکنواخت قاب فلزی انرژی را جذب می کند. شکل (2-15) انواع مختلف این اتصال را نشان می دهد [7و16].



شکل (2-14): میراگرهای تسلیمی در بادبندهای هم محور [16]

- مزایا و معایب میراگرهای تسلیمی

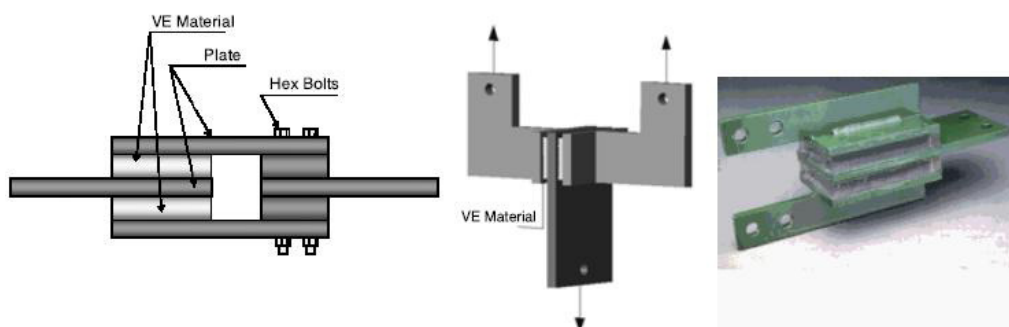
از مزایای این میراگرها می توان افزایش کارایی سازه در مقابل زلزله به سبب تمرکز خرابی به نقطه مشخصی از سازه اشاره کرد و تا حدی موجب افزایش سختی سازه می شود به طوریکه نسبت جابجایی ها را به $0/3$ تا $0/7$ جا به جایی سازه اصلی می رساند. روی ظرفیت باربری سیستم تاثیری ندارد و اینکه بعد از زلزله به راحتی تعویض می شود. این میراگر تسلیمی 50 تا 80 درصد انرژی

ورودی سازه را جذب می کند. از معایب این وسیله می توان به تغییر شکل دائمی بعد از زلزله اشاره کرد [16].

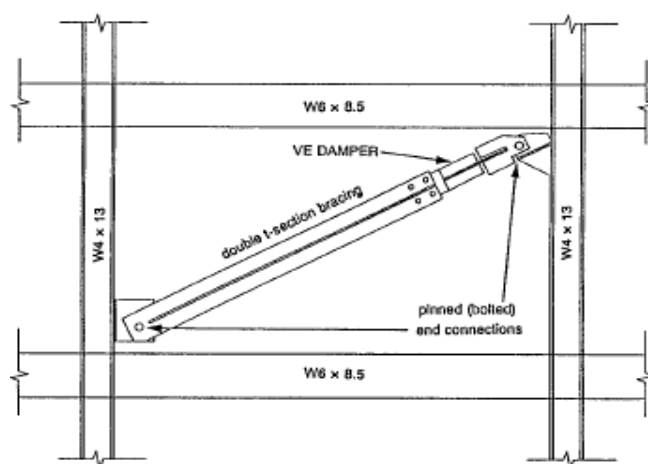
5-5-2- میراگرهای ویسکو الاستیک (VE) [17]

- معرفی

میرایی VE ترکیبی پیچیده از قوانین هیستریزیس و ویسکوز است. میراگرهای VE ساده عموماً از صفحه لاستیک مانند بین دو صفحه فولادی تشکیل شده است و یا دو لایه لاستیک مانند که بین سه صفحه قرار گرفته است که در شکل (2-15) و شکل (2-16) دیده می شود. زمانی که یک سازه تحریک می شود صفحات در جهات مختلف حرکت کرده و لایه های لاستیکی متحمل تغییر شکل برشی می شوند.

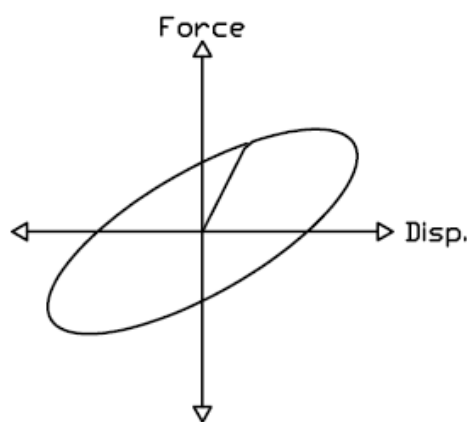


شکل (2-15): انواع معمول میراگرهای ویسکو الاستیک



شکل (2-16): نحوه نصب میراگر ویسکو الاستیک

میراگر هر دو فاکتور کاهش (انرژی اتلاف شده) و فاکتور نیروی بازگرداننده (انرژی ذخیره شده-تولید سختی) را دارد و بخصوص در محدوده فرکانس بالا و سطوح لرزش پایین در مقابل بادهای قوی و زلزله های متوسط موثر است. میراگرهای VE معمولاً به صورت مدل سخت Kelvin مثل یک فنر-میراگر مدل می شوند، حلقه هستریزیس ایده آل میراگر VE بیضی شکل است که به صورت قطری کج شده است، این منحنی در شکل (2-17) نشان داده شده است.



شکل (2-17): حلقه هستریزیس ایده آل میراگر ویسکو الاستیک

- مزایا و معایب میراگرهای ویسکو الاستیک

مزیت اصلی استفاده از میراگرهای VE بر وسایل تسلیمی این است که اگر VE به صورت صحیح قرار داده شود نیاز به جایگزینی نخواهد داشت. تغییر شکل صفحات لاستیک مانند، مثل تغییر شکل های خیلی بزرگ ثابت نیست. دو عیب بزرگ برای میراگرهای ویسکو الاستیک وجود دارد، یکی اینکه مدل کردن آنها پیچیده است. میراگرهای VE از موادی به نام همبسیپار (copolymer) تشکیل شده اند. مواد همبسیپار خواص سختی و میرایی خاصی دارند که با دما، محیط، فرکانس تحریک، تغییرات حرارت موضعی و سطوح کرنش برشی تغییر می کند. حلقه های هستریزیس می تواند توسط بیضی های کج ایده آل شود اما قانون هستریزیس واقعی از حلقه ای به حلقه دیگر تغییر می کند. دومین عیب این میراگر ناپایداری آن است. هر ماده VE می تواند خواص مختلفی داشته باشد که به

خاطر خاصیت ذاتی پلیمر مخصوص است، اولین گام آزمایش میراگرهای VE معمولاً پیدا کردن این خواص است. این خواص معمولاً نمی تواند به خواص دلخواه مرتبط با تحلیل همراه شوند. برای مثال اگر میرایی بیشتر از سختی مورد نظر باشد، هیچ تضمینی نیست که مصالح همبستار مطلوبی وجود داشته باشند که همان خواص را از خود نشان دهد [17].

2-5-6- میراگرهای اصطکاکی

- معرفی

این نوع میراگر بر اساس مکانیزم اصطکاک بین اجسام صلب نسبت به یکدیگر عمل می کند. در حقیقت اصطکاک یک مکانیزم عالی اتلاف انرژی است و به صورت گسترده و موفقیت آمیزی در ترمزهای خودرو و اتلاف انرژی جنبشی به کار می رود. میراگرهای اصطکاکی به این صورت عمل می کنند که یک قسمت به صورت ثابت قرار گرفته و قسمت دیگر به صورت دینامیکی بر روی آن می لغزد و این لغزش روی داده در مقدار مشخصی از نیرو اتفاق می افتد که بر اساس قانون اصطکاک کلمب می باشد، به این صورت که تا مقدار مشخصی از نیرو هیچ حرکتی روی نمی دهد اما بعد از اینکه نیرو به مقدار معینی رسید لغزش و حرکت آغاز می شود.

مصالح گوناگونی برای سطوح لغزنده اصطکاکی وجود دارد که از آنها می توان به لایه های ترمز روی فولاد، فولاد روی فولاد، فولاد روی برنج و در اتصالات پیچی لغزنده به ترکیب گرافیک با برنز، روی، فولاد ضد زنگ و دیگر آلیاژهای فلزی نام برد. انتخاب فلز پایه برای میراگر اصطکاکی بسیار مهم است، مقاومت بالا در مقابل خوردگی اغلب می تواند ضریب اصطکاک فرض شده را برای عمر مورد نظر وسیله کاهش دهد.

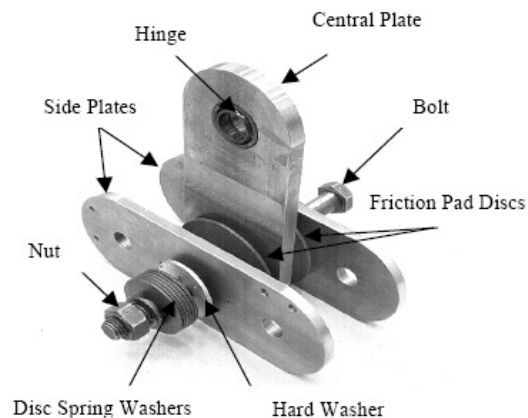
وسایل اصطکاکی در دسته میراگرهای هستریزیس قرار می گیرند و انرژی را با تغییر مکان و لغزش خود اتلاف می کنند. این نوع میراگرها کارایی بسیار خوبی دارند و پاسخ آنها از دامنه فرکانس و تعداد

سیکل های بارگذاری مستقل است، بنابراین پتانسیل هزینه بسیار بالا را با هزینه به نسبت پائین با هم دارند [7].

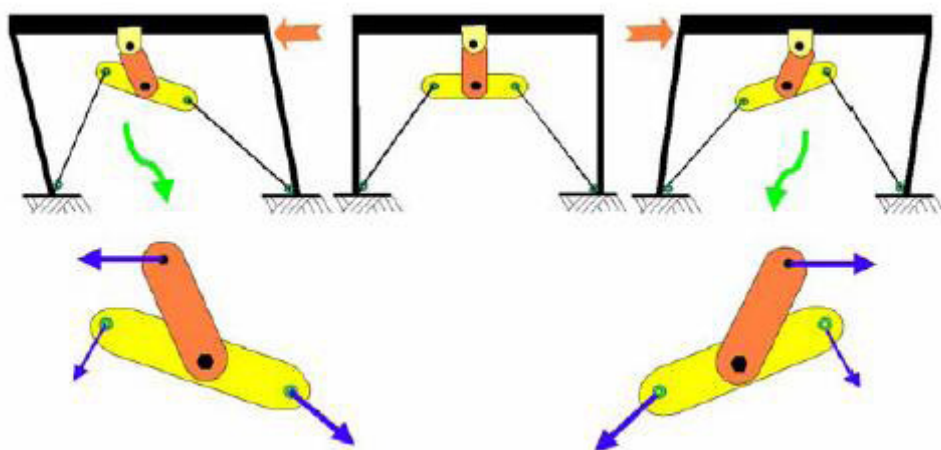
ترکیب بندی و نحوه قرار گرفتن سطوح لغزش موجب ایجاد میراگرهای اصطکاکی مختلف می شود، از جمله این میراگرها می توان به میراگر اصطکاکی PALL و میراگر اصطکاکی دورانی اشاره کرد که در شکل (2-18) و (2-19 الف) نشان داده شده اند [17]. مکانیزم کار میراگر اصطکاکی دورانی نیز در شکل (2-19 ب) نشان داده شده است.



شکل (2-18): شکل های جدید میراگر اصطکاکی شرکت PALL



(الف)



(ب)

شکل (2-19): الف - اجزای میراگر اصطکاکی دورانی جدید و ب - مکانیزم کار میراگر اصطکاکی دورانی [18]

- مزایا و معایب میراگرهای اصطکاکی

میراگرهای اصطکاکی نسبتاً ساده برای مدل سازی هستند و می توانند مانند تاندوم یا فنر با سختی داخلی و نیروی تسلیم برای اعمال بار لغزش مدل شوند. مدل ها معمولاً منحنی های کاملاً الاستوپلاستیک هستند تا بتوان میراگرهای اصطکاکی را مشخص کرد، بنابراین هیچ فرضی در افزایش ظرفیت در هنگام لغزش نخواهیم داشت. میراگرهای اصطکاکی تا زمان لغزش، سختی سازه را افزایش می دهند و اگر افزایش سختی برای سازه سودمند باشد، کاربرد میراگر اصطکاکی برای سازه مفید خواهد بود. اصطکاک منبع اتلاف انرژی ارزانتری نسبت به سایر منابع است و این ساخت میراگرهای

اصطکاکی را ارزانتر می سازد، اما از طرف دیگر میراگرهای اصطکاکی اغلب در معرض هوا هستند و ممکن است زنگ بزنند یا خیس شوند و خواص لغزش آنها تغییر کند. از طرفی این میراگرها ممکن است در سازه بعد از زلزله یک تغییر شکل ثانویه ایجاد کنند [17].

2-5-7- میراگر ویسکوز (سیال لزج)

- معرفی:

دو مکانیزم میرایی در هنگام لرزش برای وسایل جاذب انرژی وجود دارد، مکانیزم هایی که نیروی میراگر تابع جابه جایی سازه و مکانیزم هایی که نیروی میراگر تابع سرعت سازه است. وسایل کنترل تسلیمی و اصطکاکی جزء انواع هستریتیک هستند، یعنی میرایی آنها وابسته به جابه جایی است و بر پایه سرعت تحریک، نیروی داخلی شان افزایش پیدا نمی کند. از طرف دیگر در میراگرهای ویسکوز، نیروی داخلی وابسته به سرعت تحریک است [3]. میراگرهای ویسکوز اولین بار در نیمه پایانی قرن 19 برای خنثی سازی اثرات ضربه توپ ها در کشتی استفاده شدند. در طی جنگ سرد میراگرهای ویسکوز برای جداسازی سیلوها و سنگرهای پرتاب موشک استفاده شد، به علاوه توسعه و استفاده آن برای توپ های بزرگ و کشتی جنگی افزایش یافت. در پایان سال 1980 نوع کوچکی از این میراگرها به صورت گسترده ای توسط همان پیمانکاران (نظامی) برای کاربرد بخش غیر نظامی مورد استفاده قرار گرفت [19].

بعد از اتمام جنگ سرد در سال 1990، معلوم شد که بسیاری از شاخه های نظامی آمریکا برای بیش از 35 سال از میراگرهای مایع لزج بزرگی بعنوان بخشی از برنامه استراتژی دفاعی خود استفاده می کردند و کارخانه های سازنده این میراگرها مایل بودند که این تکنولوژی را در پروژه های عمرانی و تاسیساتی استفاده کنند و سوال اساسی این بود که آیا میراگر ویسکوز لزج می تواند طوری طراحی شود که سیلوها و کشتیها را در مقابل انفجارات هسته ای محافظت کنند؟ و یا برای محافظت ساختمانها در مقابل زلزله بکار گرفته شود؟ [19]

شکل (20-2) میراگر 200 تنی ساخته شده برای نیروی هوایی آمریکا را نشان می دهد که در سیستم جداساز پایه سکوی پرتاب بالیستیک اطلس بکار رفت [19].



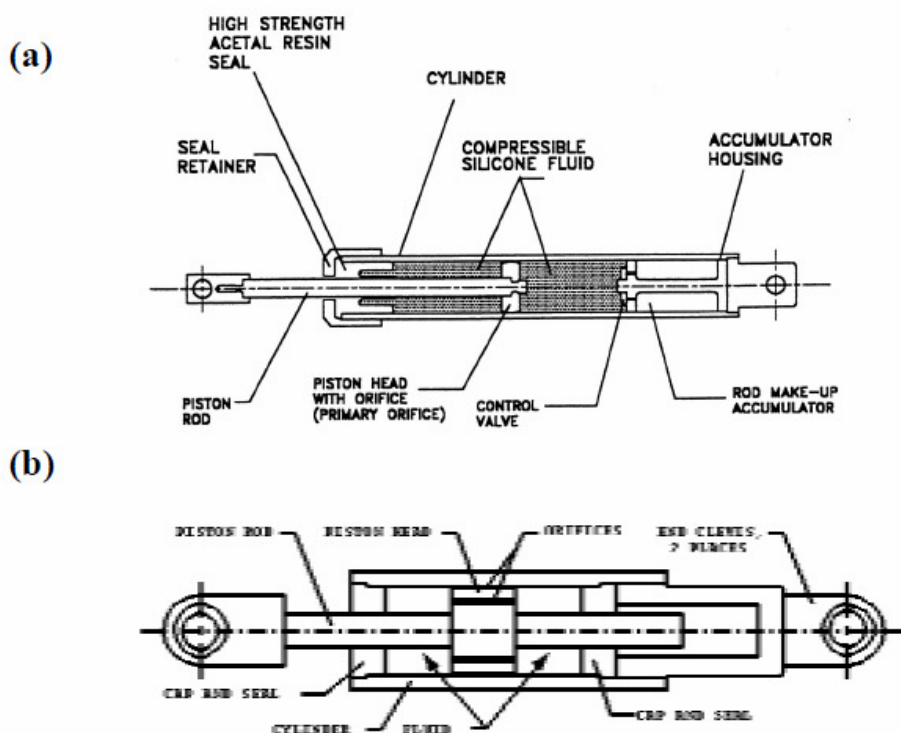
شکل (20-2): تست میراگر 200 تنی ویسکوز برای نیروی هوایی آمریکا (1961) [19]

در نیمه اول قرن بیستم کمپانی های اتومبیل سازی به صورت گسترده ای از میراگرهای ویسکوز برای سیستم های تعلیق وسایل نقلیه استفاده نمودند.

Taylor Devices یک پیمانکار نظامی، آزمایشاتی را در همکاری با مرکز ملی مهندسی زلزله در دانشگاه نیورک در بوفالو انجام داد و بر روی تطبیق پذیری میراگرهای ویسکوز در کاربردهای ساختمانی برای مقابله با حرکات ناشی از باد و زلزله تحقیق کرد، از آن پس در بیش از 110 کاربرد سازه ای بزرگ میراگرهای ویسکوز به کار گرفته شد.

- اجزا مکانیکی میراگرهای سیال ویسکوز و خواص آن [20]:

میراگرهای مایع لزج بر پایه حرکت سیال درون یک مجرا عمل می کنند. یک پیستون فلزی ضدزنگ، درون یک محفظه که از روغن سیلیکون پر شده است حرکت می کند. این روغن سیلیکون از نظر شیمیایی خنثی بوده و غیر قابل اشتعال، غیر سمی و پایدار برای دوره زمانی فوق العاده طولانی می باشد. شکل (2-21) شامل دو نوع مقطع طولی از میراگرهای ویسکوز می باشد، هر دو مقطع شامل یک پیستون ضد زنگ با یک سر دریچه ای هستند که با روغن سیلیکون پر شده اند.



شکل (2-21): مقطع طولی میراگر ویسکوز (a) میراگر با محفظه ذخیره ساز (b) میراگر با میله توخالی [20]

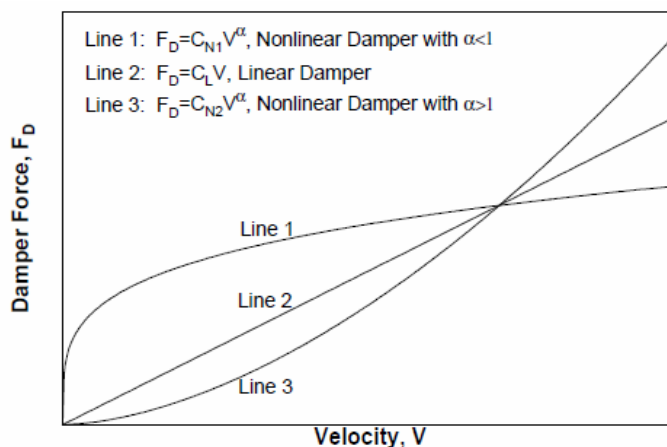
اختلاف فشار بین دو طرف سر پیستون باعث حرکت روغن سیلیکون درون مجرای پیستون شده و انرژی جنبشی به انرژی گرمایی تبدیل شده و نیروی میرایی تولید می کند و ضریب میرایی می تواند با تنظیم شکل دریچه سر پیستون تعیین شود. وقتی رفتار ویسکوز خالص مورد انتظار است، نیروی میراگر و سرعت آن باید هم فاز باقی بماند. در هر صورت، برای میراگر نشان داده شده در

شکل (21-2 a)، حجم ذخیره مایع وقتی که پیستون حرکت می کند تغییر می نماید، بنابراین یک نیروی بازگرداننده که با تغییر مکان هم فاز است ایجاد می شود، برای حل این مشکل از ذخیره ساز و یا میله توخالی استفاده شده است. ولی در هر صورت، برای حرکت های با فرکانس بالا، محفظه ذخیره ساز ممکن است به درستی عمل نکند و نیروی بازگرداننده رخ دهد. رابطه نیروی خروجی ایده آل میراگر ویسکوز بصورت زیر می باشد:

$$F_d = C|\dot{x}|^\alpha \text{sgn}(\dot{x}) \quad (1-2)$$

که f_d نیروی میراگر، C ضریب میرایی، $\dot{x}$ سرعت نسبی بین دو سر میراگر، و α یک ضریب بین 0 و 1 می باشد.

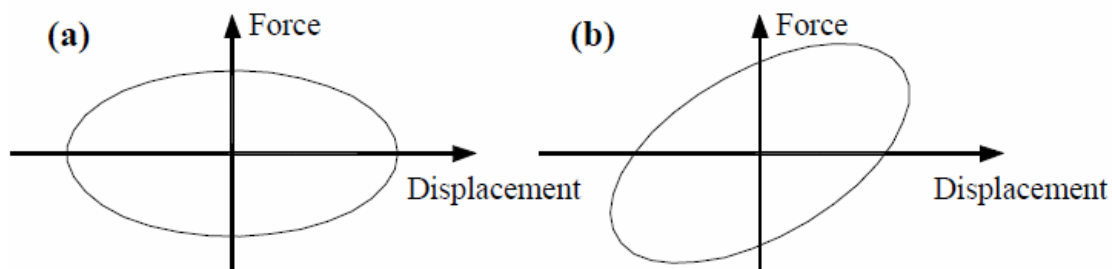
میراگر با $\alpha = 1$ را میراگر ویسکوز خطی می نامند که نیروی میراگر با سرعت نسبی، متناسب است ($F_d = CV$). میراگر با α بزرگتر از یک اغلب در کاربردهای عملی مشاهده نمی شود [21]، و میراگر با α کوچکتر از یک، میراگر مایع ویسکوز غیر خطی نامیده می شود که در مینیمم کردن شوکهای با سرعت بالا موثر است. شکل (22-2) رابطه سرعت نیرو را برای 3 نوع میراگر مختلف نشان می دهد این شکل کفایت میراگرهای غیرخطی را در کاهش اثر شوکهای با سرعت بالا نشان میدهد برای سرعت نسبی کمتر میراگر با α کمتر از یک می تواند نیروی میرایی بزرگتری نسبت به دو نوع میراگر دیگر نتیجه دهد.



شکل (22-2): نمودار سرعت - نیروی میراگر ویسکوز

اندازه دمپرهایی که در کاربردهای عملی استفاده می شوند از 5 تن نیرو شروع شده تا 900 تن نیرو که می توانند تحمل نمایند و مقدار جابجایی قابل کنترل از 5 میلی متر تا بزرگی 1/5 متر تغییر می نماید [16].

شکل (23-2 a)، نمودار هیستریزیس میراگر با رفتار خطی ویسکوز خالص را نشان می دهد. این نمودار به صورت یک بیضی کامل و مستقیم است. به علت عدم وجود سختی اضافی در سازه ها با افزودن وسایل میرایی ویسکوز، فرکانس طبیعی سازه تغییر نمی کند و این مشخصه، روند طراحی سازه ها با وسایل میرایی ویسکوز اضافی را ساده مینماید ولی اگر میراگر نیروی بازگرداننده ایجاد کند شکل حلقه از (23-2 a) به (23-2 b) تغییر میکند، به عبارت دیگر رفتار میراگر از حالت ویسکوز به حالت ویسکوالاستیک تغییر می یابد.



شکل (23-2): حلقه هیستریزیس میراگر با رفتار ویسکوز خالص و ویسکوالاستیک

- روابط مورد استفاده در میرایی ویسکوز [12]:

معادله سیستم یک درجه آزادی با نیروی میراگر خارجی f_d و توزیع نیروی خارجی f_w به صورت زیر است:

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = f_d + f_w \quad (2-2)$$

که m اشاره به جرم، c میرایی داخلی و k سختی سیستم یک درجه آزادی دارد. در اینجا میراگر ویسکوز وسیله ای فرضی است که نیروی میرایی تولید می کند که متناسب با سرعت سیستم است و به صورت زیر نوشته می شود:

$$f_d = -c_d \cdot \dot{x} \quad (3-2)$$

فاکتور c_d ، ضریب میرایی میراگر ویسکوز خارجی است. برتری میراگرهای ویسکوز خطی، در خطی بودن معادلات آنها می باشد که حل تحلیلی مسائل را امکان پذیر می سازد [11]:

$$m \cdot \ddot{x} + \left(c + \frac{1}{2} c_d \right) \cdot \dot{x} + k \cdot x = f_w \quad (4-2)$$

در کل، کار انجام شده در وسیله در طی بازهای زمانی $[t_1, t_2]$ به صورت زیر داده می شود:

$$W = \int_{Y(t_1)}^{Y(t_2)} F du = \int_{t_1}^{t_2} F \dot{u} dt \quad (5-2)$$

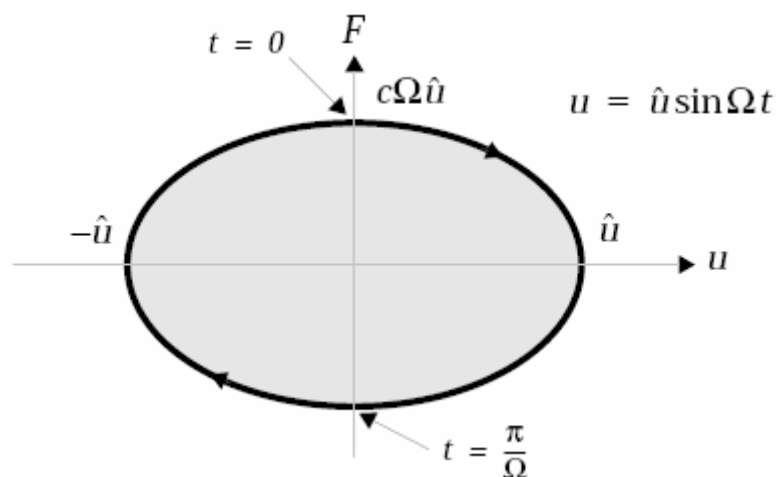
با فرض تحریک تناوبی:

$$u = \hat{u} \sin \Omega t \quad (6-2)$$

با حل معادله (5-2) برای یک حلقه کامل میرایی ویسکوز به رابطه زیر می انجامد:

$$W_{viscous} = c \pi \Omega \hat{u}^2 \quad (7-2)$$

این رابطه مقدار انرژی اتلاف شده در یک سیکل کامل بارگذاری طی حرکت تناوبی با دامنه $\hat{u}$ و فرکانس Ω را محاسبه می کند. شکل (24-2) رابطه نیرو و تغییر مکان برای حرکت تناوبی را نشان می دهد. سطح بسته داخل منحنی مقدار w را نشان می دهد.



شکل (24-2): حلقه کامل انرژی تلف شده در میراگر ویسکوز

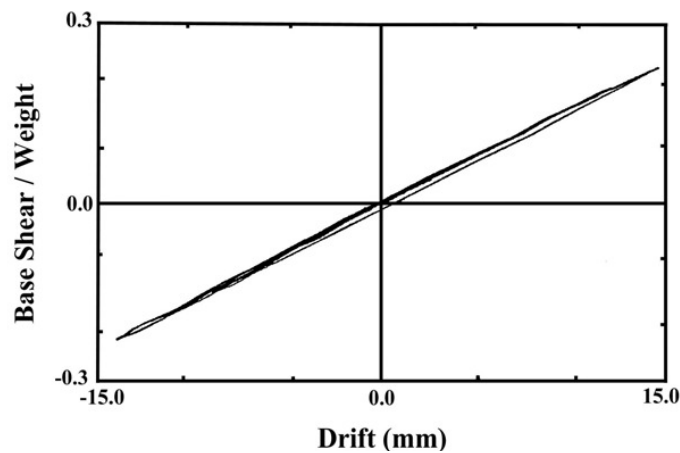
- مثالهای کاربردی و تحقیقات [19]

از آنجاییکه میرایی ویسکوز خالص می تواند توسط عبور یک مایع ویسکوز از درون یک مجرا تامین شود، (soong & constantinou 1994)، لذا، میراگرهای ویسکوز بطور گسترده ای در طراحی لرزه ای سازه های مهم کاربرد داشته است (whittaker & constantinou, 2000).

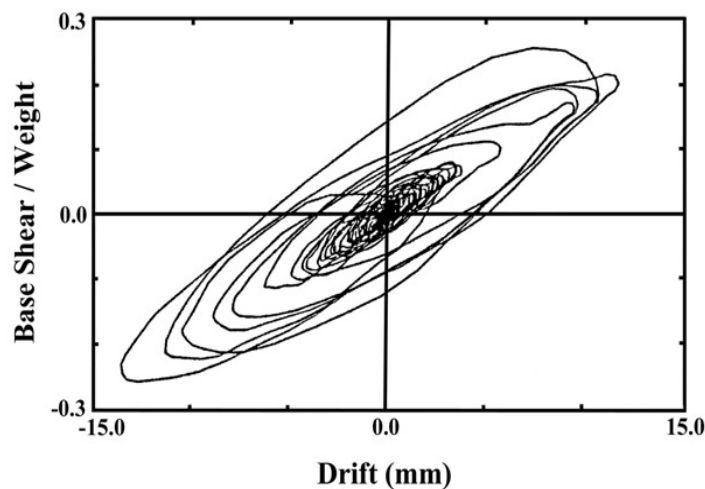
میراگرهای ویسکوز بعنوان جاذب های انرژی، نه فقط در سیستم های جداساز لرزه ای جهت جلوگیری از تغییر مکان های زیاد، بلکه در سیستم اتلاف انرژی در کل ساختمان برای کاهش پاسخ سازه در مقابل نیروهای زلزله و باد و طوفان به کار می رود، می توان گفت که استفاده از میراگرهای ویسکوز سیال یکی از راه حل های مورد نظر برای محافظت سازه در برابر نیروهای دینامیکی در قرن 21 می باشد [21].

کاربردهای میراگرهای ویسکوز لزج بعنوان بخشی از سیستم جاذب انرژی بصورت تجربی و تحلیلی مورد مطالعه بسیاری قرار گرفته است. کاربرد تکنولوژی میراگر سیال بوسیله آزمایشات گسترده ای که روی سازه هایی با مقیاس $\frac{1}{6}$ تا $\frac{1}{2}$ و مدل های پل در طول دوره 1990-1993 انجام شد مورد تأیید قرار گرفت. این آزمایشات در مرکز (MCEER)، واقع شده در دانشگاه ایالتی نیویورک در بوفالو آمریکا صورت گرفت که در این تحقیق اثر میرایی اضافی سیال در یک سازه یک طبقه فولادی با قاب

خمشی تحت تاثیر نیروی زلزله النسترو بررسی شد. شکل (2-25) پاسخ سازه را تحت تاثیر زلزله النسترو با مقیاس ورودی 33٪ نشان می دهد. میرایی سازه در قاب در محدوده 2٪ - 1/5٪ بود. در مقایسه، شکل (2-26) پاسخ همان سازه به اضافه 20٪ میرایی اضافی می باشد که بوسیله 2 میراگر مایع لزج خطی نصب شده در المانهای قطری بادبندی بدست آمده است. با توجه به اینکه زلزله ورودی به سازه در شکل 3 زلزله النسترو با مقیاس 100٪ می باشد ولی شکل نشان می دهد که هنوز تغییر شکل و برش پایه قاب نسبت به حالت سازه بدون میراگر با زلزله موجود تغییر چندانی نکرده است و می بینیم که افزایش 20٪ میرایی سازه بوسیله میراگر سیال لزج خطی باعث افزایش مقاومت لرزه ای سازه با ضریب 3 شده است.



شکل (2-25): ساختمان یک طبقه، بدون میراگر تحت زلزله النسترو 33٪



شکل (2-26): ساختمان یک طبقه، با دو میراگر تحت زلزله النسترو 100٪

نکته مهم این است که این بهبود عملکرد سازه ای بدون افزایش تنش یا تغییر شکل در سازه حاصل شد، در واقع این نشانگر عملکرد خوب میراگر ویسکوز می باشد که برای مهندسين عمران جالب توجه است.

مرکز پزشکی ناحیه آروهد (Arrow head) اولین پروژه ای است که در آن از میراگرهای ویسکوز سیال در مقابل زلزله استفاده شد. در طراحی اولیه این سازه فقط سیستم جداساز لرزه ای در نظر گرفته شده بود که با توجه به نیاز لرزه ای سازه که حدود 1/5 متر جابجایی نیاز داشت، هیچ جداساز لرزه ای نمی توانست چنین نیازی را مرتفع سازد، بنابراین از میراگرهای ویسکوز سیال استفاده کردند تا میزان جابجایی را کم کنند. این میراگرها به موازات سیستم جداساز لرزه ای به کار گرفته شدند.

مقدار میرایی ایجاد شده توسط این میراگرها حدود 37٪ بود در حالیکه سیستم جداساز میرایی معادل 8٪ را ایجاد می کرد که روی هم رفته طبق محاسبات مهندسين 45٪ میرایی بحرانی را مهیا می کردند. با این حساب محققین توانستند مقدار جابجایی را به 0/6 متر کاهش دهند. نوع میراگر ویسکوز به کار رفته از نوع غیرخطی با ضریب $\alpha = 4 \leftarrow F = CV^{-4}$ بود. هر میراگر حدود 3/4 متر طول و 1500 کیلوگرم وزن داشت که در شکل (27-2) نشان داده شده است. برخی از کاربردهای میراگر ویسکوز در ادامه در شکلهای (28-2) الی (31-2) آمده است.



شکل (27-2): نصب میراگر در سیستم جداساز مرکز پزشکی Arrowhead Regional



شکل (28-2): نصب میراگر در هتل Woodland



شکل (29-2): نصب میراگر در مرکز San Francisco Civic



شکل (2-30): نصب میراگر در استادیوم Pacific Northwest Baseball



شکل (2-31): استفاده از میراگر ویسکوز بجای بادبند

جدول (2-1): برخی کاربرد میراگرهای ویسکوز در ساختمانها در مقابل نیروی باد

Structure	Location	Installation Date	Type & Number of Dampers	Additional Information
Rich Stadium	Buffalo, NY	1993	12 Fluid Dampers 50 kN, ± 460 mm stroke	Dampers connect light poles to stadium wall to eliminate base plate anchor bolt fatigue
28 State Street	Boston, MA	1996	40 Fluid Dampers 670 kN, ± 25 mm stroke	used in diagonal bracing for serviceability issues
Petronas Twin Towers	Kuala Lumpur City	1995	12 Fluid Dampers 10 kN, ± 50 mm stroke	part of mass damping system in skybridge legs
Building A		1995	80 Oil Dampers, ± 60 mm stroke	Increased Damping by 2.1% of critical

- مزایا و معایب میراگرهای ویسکوز

چند مزیت مهم برای استفاده از میراگرهای ویسکوز وجود دارد. میراگرهای ویسکوز نیروی میرایی وابسته به سرعت به سازه وارد می کنند که به طور ذاتی غیر هم فاز با ماکزیمم پاسخ در سازه در طی رویداد لرزه ای است، به همین دلیل زمانی که نیاز سازه ناشی از نیروی جانبی بالاترین حد است نیروی میراگر کمترین حد است و بالعکس، در نتیجه میراگرهای ویسکوز می توانند برش طبقه، شتاب و برش پایه را کاهش دهند. میراگر ویسکوز نسبت به میراگرهای دیگر کمتر در معرض شرایط جوی قرار می گیرد. تایلر (2003) اظهار کرد که کیفیت بالای محصولات نیاز به نگهداری دائم را از بین می برد، همچنین عملکرد میراگر ویسکوز تقریباً مستقل از حرارت است. متأسفانه میراگرهای ویسکوز هنوز برای مدلسازی پیچیده هستند. به علت اینکه نیروی خروجی آنها بر اساس سرعت آنهاست و نیرو در بقیه سازه بر اساس تغییر شکل است، فرض های میرایی نسبی ممکن است بی اعتبار شوند [15].

همچنین مزایای دیگر برای میراگرهای ویسکوز وجود دارد به علت قابلیت فشردگی کم سیال ویسکوز شروع به کار میراگر با ضربه همراه است و به همین دلیل این میراگرها در تغییر شکل های کوچک سازه ای مانند سیستم صلب عمل می کنند [17].

2-6- بهسازی از طریق تلفیق کنترل غیر فعال و کاهش سختی سازه:

بسیاری روش های بهسازی دیگری وجود دارد که از طریق تلفیق چند روش می تواند بدست آید، که از این میان می توان به استفاده از میراگرها درون سیستم جداساز پایه و روش بهسازی با کاهش سختی به اضافه میراگر اشاره کرد که روش دوم، روش مورد نظر در این پروژه می باشد.

این روش که روش جدیدی برای بهسازی ساختمان ها تحت اثر زلزله و باد می باشد، فرآیندی متفاوت از روش های متداول بهسازی است. در روشهای متداول، بهسازی از طریق افزایش سختی و مقاومت سازه انجام می پذیرد، در حالیکه در روش پیشنهادی در مرحله اول با استفاده از کاهش سختی جانبی سازه (که در فصل بعدی شرح داده خواهد شد) نیاز لرزه ای سازه کاهش یافته و در مرحله بعدی با استفاده از میراگر (از جمله میراگر ویسکوز) جابجایی سازه کاهش داده می شود.

در مرحله نخست با کاهش سختی سازه، تغییر مکان های نسبتا زیادی مورد انتظار می باشد که باید این افزایش تغییر مکان را از طریق عملی تعدیل کرد، این امر با استفاده از میراگر و بالابردن میرایی ویسکوز معادل سازه تحقق می یابد، بدین ترتیب هم جابه جایی سازه و هم نیاز لرزه ای سازه کاهش می یابد.

فصل 3- مراحل انجام پژوهش، فرضیات و روشهای اتخاذ شده

3-1- پیشگفتار

طبق آنچه در بخشهای قبل بدان اشاره گردید در طراحی سازه ها علاوه بر لحاظ اثر نیروی ثقلی، بارگذاری زلزله نیز باید برای سازه مورد نظر انجام گیرد و همچنین در بهسازی سازه های موجود به خصوص در سازه های واقع شده در مناطق زلزله خیز تحلیل و بررسی زلزله طرح و بررسی عملکردی سازه در مقابل این زلزله بسیار حائز اهمیت می باشد.

فلسفه طراحی مناسب سازه اینست که سازه در مقابل زلزله های خفیف با عملکرد خطی مقاومت کند و در مقابل زلزله های متوسط یا بزرگ آسیب ببیند، بدون اینکه فرو ریزد. این عملکرد از طریق ایجاد مفصلهای پلاستیک در طی زلزله های بزرگ و متوسط بوجود می آید تا انرژی لرزه ای سازه را تلف کند. روشهای بهسازی براساس این فلسفه طراحی قادر به تامین ایمنی جانی در عین در نظرگرفتنی ملحوظات می باشند. ولی، از طرفی گسترش مفصلهای پلاستیک منجر به تغییر شکلهای زیاد سازه می گردد. تغییر شکل زیاد سازه نیز منجر به آسیبهایی می گردد که موجب بروز اختلال در بهره برداری از سازه می گردد. بعلاوه، لازم است که برخی سازه های مهم مثل بیمارستان و آتشنشانی بعد از وقوع زلزله های بزرگ به عملکردشان ادامه دهند در نتیجه فلسفه طراحی مذکور (براساس ایمنی جانی) برای اینگونه سازه ها مناسب نمی باشد. این گونه سازه ها باید به اندازه کافی قوی باشند تا بتوانند از تغییر مکان ها و شتاب های بزرگ که ممکن است در اثر حرکات شدید زمین بوجود آید جلوگیری کنند. طبق آنچه در بخش های قبل اشاره گردید، در این رساله هدف کاهش شتاب، برش پایه و تغییر مکان سازه به هنگام وقوع زلزله از طریق کاهش سختی سازه و بکارگیری میراگر غیر فعال می باشد.

آنچه به عنوان میراگر غیرفعال در نظر گرفته شده، سیستم میراگر مایع ویسکوز می باشد؛ که از این سیستم به دلیل اینکه سختی اضافی به سازه اعمال نمی کند استفاده گردید و همچنین کاهش سختی سازه نیز به منظور پائین آوردن برش پایه و شتاب در سازه می باشد. مراحل انجام تحقیق به تفصیل در ذیل ارائه می گردد.

3-2- معرفی روش پیشنهادی:

روش پیشنهادی بهسازی لرزه ای، یک روش جدید می باشد که ویژگی اصلی این روش کاهش ماکزیمم شتاب سازه و نیروهای داخلی ساختمان در معرض زلزله بوسیله کاهش سختی آن می باشد. بهسازی بوسیله کاهش سختی، یک استراتژی متفاوت و گاه متضاد با افزایش مقاومت می باشد، که بویژه برای سازه هایی با اعضا و یا تکیه گاههای دارای تنش بیش از حد و یا دارای اعضای ضعیف شکننده مناسب می باشد [20]. هرچند با کاهش سختی جانبی سازه، تغییر شکل های بزرگتری مورد انتظار می باشد ولی با افزودن وسایل اتلاف انرژی می توان این تغییر شکل ها را کنترل کرد و به سطح محدوده مجاز رسانید.

در نتیجه انتظار می رود، سازه بهسازی شده با این روش، کاهش در پاسخ شتاب سازه و همچنین کاهش در میزان تغییر شکل را نتیجه دهد. بسته به میزان میرایی اضافه شده به سازه این کاهش تغییر شکل، تغییر می کند.

در این تحقیق سعی شده است تصویری از فرآیند بهسازی جدید معرفی شده بوسیله ارزیابی پاسخ غیرخطی سازه نشان داده شود. هدف این تکنیک اینست که عملکرد سازه را با نگهداری طیف پاسخ در زیر محدوده مجاز بهبود بخشد.

برای این ارزیابی ابتدا از روش آنالیز پوش آور استفاده شد و نتیجه با یک آنالیز دینامیکی غیرخطی مورد ارزیابی بیشتری قرار گرفت.

پاسخ سازه غیرخطی را معمولاً براساس تغییر مکان (تغییر شکل) اندازه گیری می کنند، هرچند شتاب (وتنش) نیز به منظور جلوگیری از آسیب دیدگی در اعضای غیر سازه ای و تجهیزات داخل ساختمان مهم می باشد. این نکته بسیار مهم است که از محتویات و سیستم غیر سازه ای به خصوص در تسهیلات مهم از جمله بیمارستان ها، آزمایشگاه ها، مراکز تکنولوژی پیشرفته، و جاهایی که سیستم "ثانویه" بسیار گرانتر از خود سازه است محافظت شود.

بنابراین، به منظور بهبود عملکرد سازه، هر دو پارامتر تغییر مکان و شتاب باید در محدوده مجاز نگه داشته شود. بیشترین روشهای مرسوم موجود برای بهبود عملکرد لرزه ای سازه های موجود، همانطور که در فصلهای قبل اشاره شد، به شرح زیر می باشد [22]:

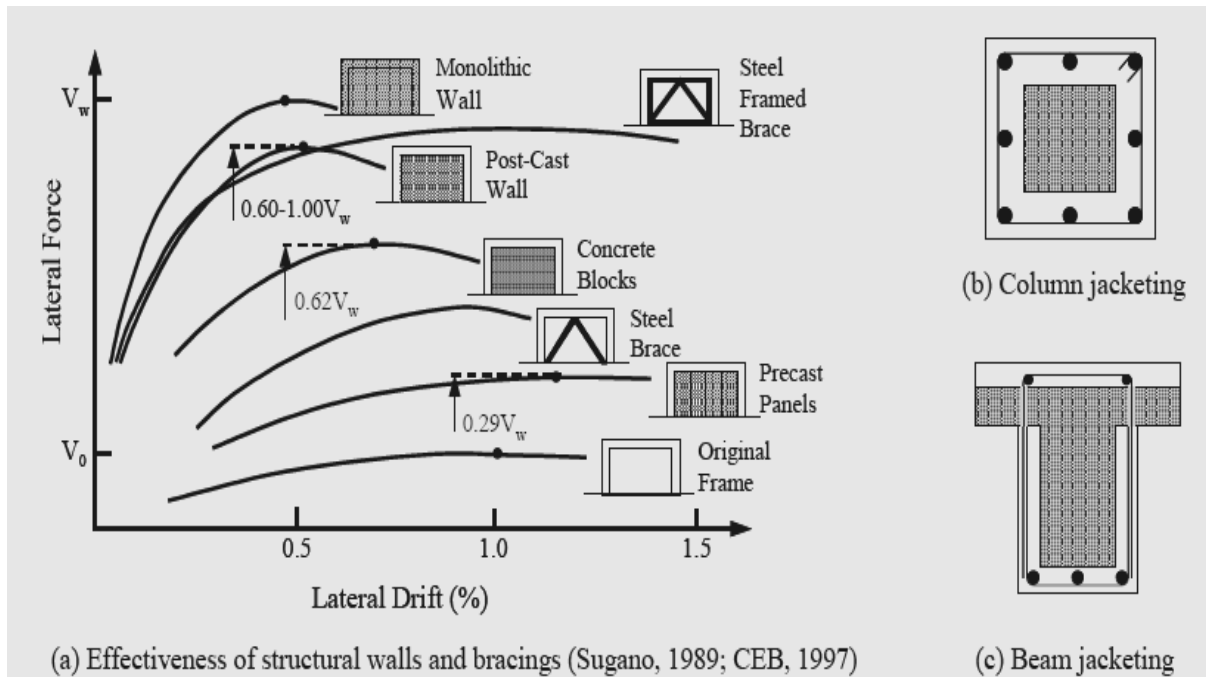
1- افزایش مقاومت: که با اضافه کردن (یا بوسیله آرماتوربندی) اعضای باربر جانبی، که منجر به کاهش تغییر مکان می شود، از طرفی منجر به افزایش شتاب در سازه های جاری شده می گردد.

2- جداساز پایه: ویژگی های دینامیکی سازه را تغییر می دهد، کاهش شتاب لرزه ای و تغییر مکان را نتیجه می دهد، اما تغییر مکان کلی سازه را افزایش می دهد.

3- وسایل میرایی اضافی: تغییر مکان جانبی را کاهش می دهد، ولی اساساً تغییری در میزان شتاب لرزه ای در سازه های غیرخطی بوجود نمی آورد.

➤ افزایش مقاومت سازه، روش مستقیمی است که برای بهبود عملکرد سازه ای امروزه بطور گسترده ای استفاده می شود. این روش می تواند به تمام یا قسمتی از سازه اعمال شود تا ضعف سازه یا غیر همگن بودن توزیع مقاومت را برطرف نماید. اگرچه این روش مزایایی دارد، ولی توزیع سختی در سازه را تغییر می دهد، که ممکن است منجر به آسیب در قسمتهای تقویت نشده گردد. از طرفی افزایش مقاومت تمام قسمت های سازه نیز بسیار غیر اقتصادی و

وقت گیر می باشد. برخی تکنیکهای افزایش مقاومت و تاثیر آن بر تغییر مکان جانبی در شکل (1-3) نشان داده شده است.



شکل (1-3): تاثیر افزایش سختی جانبی بر تغییر مکان [22]

➤ تکنیک جداساز پایه، تاثیر زیادی در کاهش تغییر مکان نسبی طبقات سازه دارد ولی تغییر مکان کلی سازه را در تراز فونداسیون افزایش می دهد، از اینرو یکی از شرایط امکانپذیر بودن اعمال آن در سازه اینستکه محدودیت فضا در اطراف سازه وجود نداشته باشد از طرف دیگر اعمال آن در قسمتی از سازه امکانپذیر نمی باشد و باید به کل سازه اعمال گردد. این تکنیک بهسازی از این جهت که هم شتاب و هم تغییر مکان سازه را کاهش می دهد شباهت زیادی با روش بهسازی از طریق تلفیق کاهش سختی به همراه میراگر دارد.

➤ میرایی اضافه شده به سازه، تأثیر مثبتی روی کاهش پاسخ سازه دارد. در سازه های غیرخطی این تاثیر بیشتر کاهش تغییر مکان، و در سازه های خطی بیشتر کاهش شتاب می باشد. وسایل میرایی نسبتاً ارزان هستند و نصب آنها در ساختمانهای موجود آسان می باشد. وسایل

میرایی مختلفی با خواص مکانیکی متفاوت و ویژگی های اتلاف انرژی مختلف می توان انتخاب کرد. بسته به نوع میراگر انتخاب شده، سختی و مقاومت سازه نیز ممکن است علاوه بر ویژگی های میرایی اضافه شده افزایش یابد که با استفاده از میراگر ویسکوز از این افزایش سختی و مقاومت می توان اجتناب نمود [22].

➤ روش بهسازی مورد نظر، به منظور کاهش هر دو پارامتر تغییر مکان و شتاب سازه پیشنهاد شده است، این تکنیک بهسازی شامل دو مرحله می باشد:

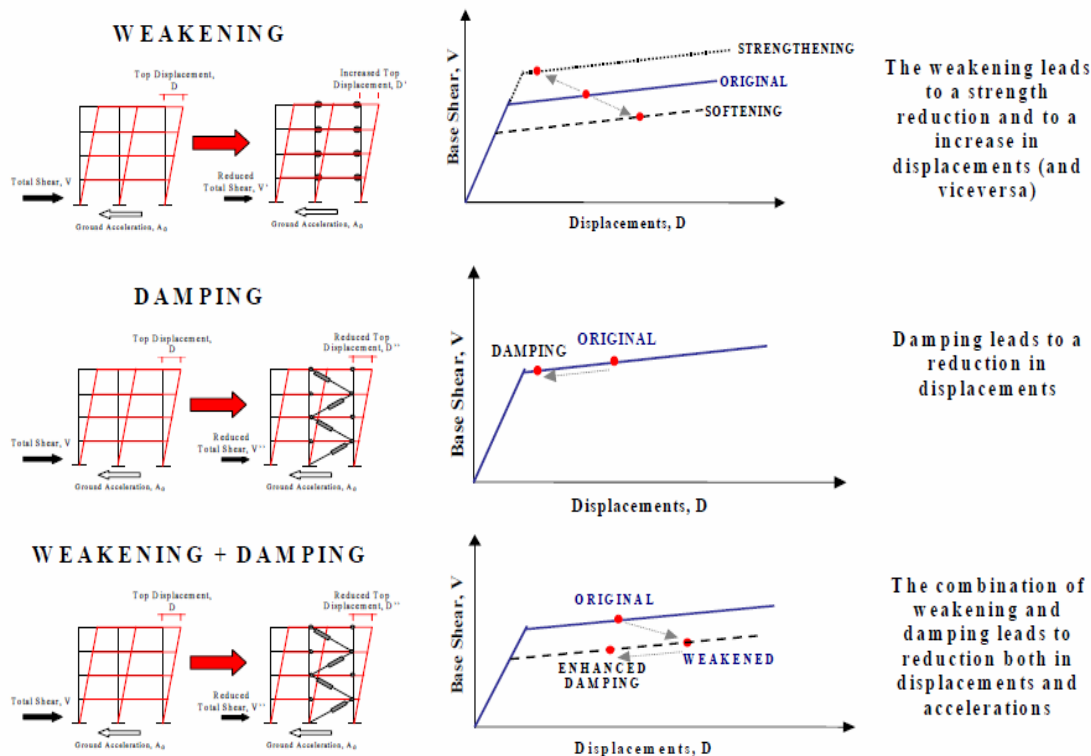
مرحله اول) کاهش سختی جانبی سازه (weakening): بوسیله قطع پیوستگی قاب یا قطع (برداشتن) دیوارها در سازه، برای کاهش سختی جانبی آن. این کاهش سختی اغلب با افزایش تغییر مکان همراه است، در ادامه انواع این روشها نام برده شده است.

مرحله دوم) اضافه نمودن وسایل اتلاف انرژی (damping): به منظور کاهش و کنترل تغییر شکل و تغییر مکانهای سازه.

مهمترین عاملی که باعث شد در این پروژه از میراگرهای ویسکوز استفاده شود (همانطور که پیشتر نیز ذکر شده است)، خاصیت این میراگرها در افزایش میرایی بدون هیچگونه افزایش مقاومت و سختی در سازه می باشد. در این روش بدلیل اینکه سختی سازه را کاهش می دهیم تا بتوانیم برش پایه را در سازه پائین بیاوریم، باید از میراگری استفاده شود که باعث افزایش دوباره سختی در سازه نگردد، از اینرو میراگرهای ویسکوز بهترین میراگر غیر فعالی است که می تواند هدف ما را در این امر را برآورده کند.

شکل (2-3) تأثیر هر یک از مراحل این روش و افزایش مقاومت را بطور مجزا و سپس ترکیب این دو مرحله را روی سازه نشان می دهد. در شکل منحنی ظرفیت سازه بوسیله منحنی دو خطی برش پایه (BS) - جابه جایی (D) نشان داده شده است که تقریباً رفتار سازه را نشان می دهد.

در ردیف اول از شکل (2-3) تأثیر افزایش مقاومت و ضعیف سازی سازه با استفاده از طیف برش پایه - تغییر مکان نشان داده شده است. با کاهش سختی، مقاومت جاری شدن سازه کاهش می یابد و تغییر مکان متناظر بزرگتری بدست می آید.



شکل (2-3): گامهای اصلی فرایند بهسازی معرفی شده [23]

در ردیف دوم از شکل (2-3) تأثیر میرایی را در ناحیه غیرخطی مشاهده می کنیم. در این شکل کاهش جابه جایی در امتداد شاخه غیرخطی نمودار منحنی ظرفیت سازه دیده می شود. همان طور که پیشتر به آن اشاره شد تأثیر افزایش میرایی در کاهش جابه جایی سازه در قسمت غیرخطی نمودار ظرفیت سازه می باشد و در ناحیه خطی تأثیر بیشتر آن در کاهش شتاب سازه می باشد، در حالیکه در ناحیه غیرخطی تأثیر زیادی در کاهش شتاب مشاهده نمی گردد.

ردیف سوم از شکل (2-3) نتیجه نهایی از تکنیک بهسازی پیشنهاد شده را نشان می دهد که به دلیل ترکیب اثر کاهش سختی و میرایی اضافه شده به سازه، کاهش نیاز در هر دو پارامتر تغییر مکان و شتاب دیده می شود.

این روش به لحاظ عملکرد شباهت زیادی با تکنیک جداسازی پایه دارد و هر دو این روشها، دو پارامتر شتاب و تغییر مکان را کاهش می دهند.

- انواع روشهای کاهش سختی در سازه:

اعمال کاهش سختی در سازه به منظور کاستن از سختی سازه در مقابل بارهای جانبی می باشد. تحقق این امر بسته به نوع سیستم سازه ای و مصالح بکار رفته می تواند از طرق گوناگون از جمله موارد زیر انجام پذیرد:

1- مفصل نمودن اتصالات قاب های خمشی از طریق قطع صفحات اتصال صلب

2- حذف و یا کاستن بادبندها در قابهای فولادی مهاربندی شده

3- بریدن دال و سقف در ناحیه نزدیک به اتصال تیر به ستون

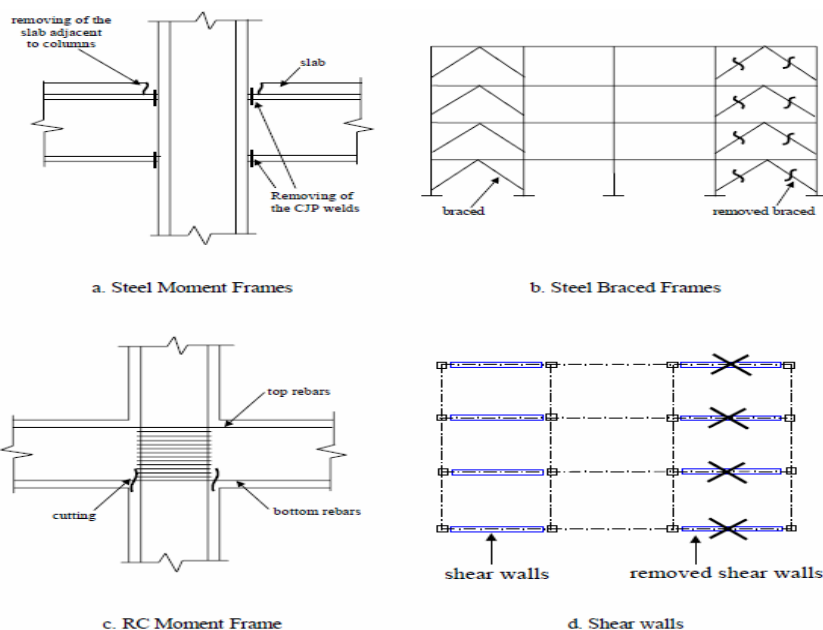
4- تعویض بادبندهای موجود با بادبندهایی با سطح مقطع و سختی کمتر

5- حذف دیوارهای برشی در قابهای بتنی یا فولادی

6- قطع میلگردهای تحتانی در چشمه اتصال ساختمانهای بتنی

7- حذف میانقابها

در شکل (3-3) اعمال برخی از این روشها در ساختمانهای فولادی و بتنی نشان داده شده است.



شکل (3-3): روشهای پیشنهادی برای کاهش سختی سازه [23]

3-3- انتخاب مدل های آزمایش، انتخاب شتاب نگاشت ها و تحلیل سازه ها:

در راستای انجام پروژه حاضر 3 مدل در نظر گرفته شده است. این 3 مدل، دارای سیستم ساختمانی قاب خمشی فولادی می باشند که مدل اول دارای 2 طبقه با 4 دهانه و مدل دوم دارای 4 طبقه با 4 دهانه و مدل سوم 7 طبقه با 4 دهانه می باشد.

فرض شده است کلیه ساختمان های مذکور، از قبل طراحی گشته و برای بررسی عملکرد آنها از تحلیل پوش آور و تحلیل تاریخچه زمانی استفاده شده است. انجام تحلیلهای فوق با استفاده از نرم افزار sap2000 انجام شده است.

شتاب نگاشت ها از سایت، انتخاب گردید و 7 شتاب نگاشت السنترو، لوماپرتیا، منجیل، نورتریج، ناقان، سنفراندو و طبس، که 3 تا از این زلزله ها ایرانی و بقیه زلزله های خارجی هستند در نظر گرفته شده اند.

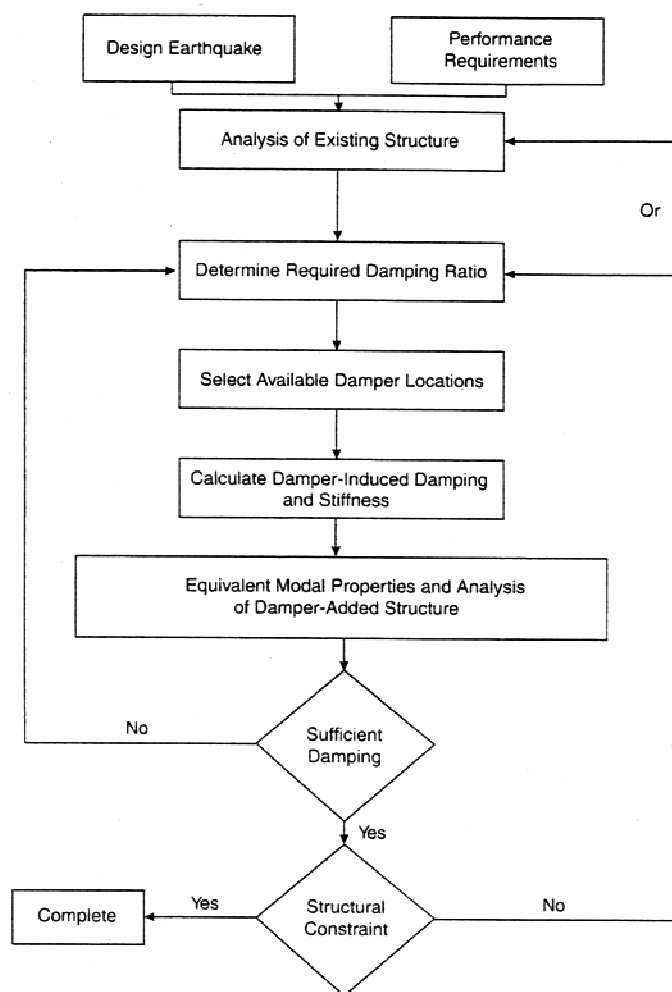
4-3- روند طراحی میراگر ویسکوز برای سازه [24]:

قبل از انجام طراحی میراگر چند عامل مهم باید در نظر گرفته شود که در ذیل به برخی از مهمترین این عوامل اشاره شده است.

3-4-1- مراحل طراحی میراگر:

روند طراحی میراگر عموماً شامل مراحل زیر می‌باشد:

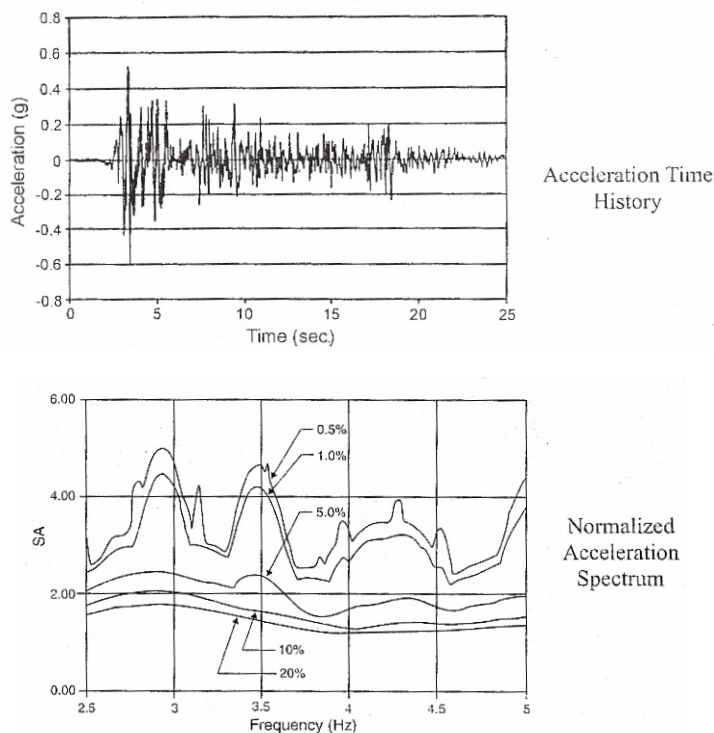
- 1- تعیین مشخصات و ویژگیهای ساختمان و انجام تحلیلهای سازه ای
 - 2- تعیین نسبت میرایی کل مورد نیاز سازه
 - 3- انتخاب موقعیت مکانی مورد نظر و قابل اجرای میراگر در سازه
 - 4- محاسبه میرایی معادل ایجاد شده توسط میراگر
 - 5- محاسبه نسبت میرایی مودال و شکل مودال سازه به همراه میراگر به کاربرده شده
 - 6- انجام تحلیل سازه میرا
- وقتی نتایج مراحل 6 و 5 نشان دهد که نسبت میرایی موردنظر و معیارهای عملکرد سازه برآورده شد، می توان گفت که طراحی کامل است در غیر این صورت مراحل 2 تا 6 مجدداً تکرار می شود. الگوریتم عمومی فرآیند طراحی در شکل (3-4) آمده است، همچنین برخی از این مراحل در ادامه شرح داده می شود.



شکل (3-4): الگوریتم طراحی میراگر

الف - تعیین میرایی مورد نیاز سازه:

عموماً، درصد میرایی مورد نیاز سازه با توجه به طیف بازتاب زلزله طرح مشخص می شود. در این روش با انتخاب یک شتاب نگاشت مقیاس شده به عنوان زلزله طرح برای سازه، طیف بازتاب شتاب نگاشت مورد نظر را بدست آورده و با اعمال میرایی های مختلف به طیف، و با توجه به مشخصات دینامیکی سازه، میرایی مناسب برای سازه مورد نظر را بدست می آوریم. برای مثال در شکل (3-5) شتاب نگاشت السنترو با مقیاس $0/6 g$ و طیف بازتاب آن با میرایی 1% تا میرایی 20% نشان داده شده است.



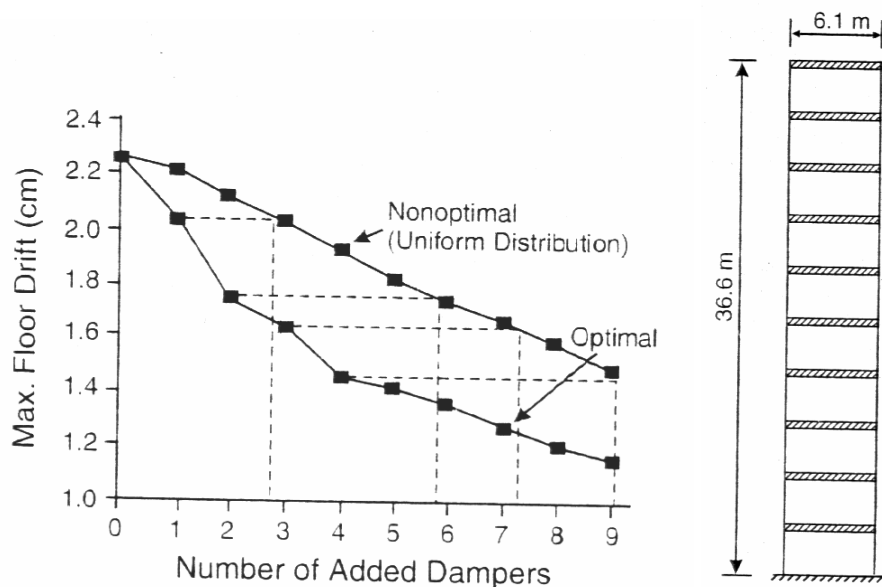
شکل (3-5): تاریخچه و طیف شتاب نگاشت السنترو

با توجه به شکل دیده می شود در میرایی معادل 1٪ میرایی بحرانی در فرکانس های 3 هرتز و 3/5 هرتز طیف بازتاب، شتاب زیادی را به سازه اعمال می کند، ولی با اعمال میرایی 20٪ بر طیف ، سطح طیف بازتاب کاهش قابل توجهی پیدا می کند و تاثیر آن بر سازه کاهش می یابد. بدین ترتیب با اعمال میرایی های مختلف به طیف بازتاب طرح می توان میرایی مورد نیاز سازه را برای سطوح عملکرد مختلف بدست آورد.

ب - موقعیت مکانی میراگر:

واضح است که محل قرارگیری میراگر درون سازه ممکن است تأثیر قابل توجهی روی عملکرد میراگرها در سازه بگذارد. آشور و هنسن (1987) روی استراتژی تعیین مکان میراگر در سازه ها بحث کردند و به این نتیجه رسیدند که توزیع بهینه برای میراگرها به گونه ای است که نسبت میرایی

بحرانی مود اول را به بیشترین مقدار برساند. زانگ و سونگ (zhang , soong1992) یک روند ترتیبی دیگر برای بدست آوردن موقعیت مکانی بهینه میراگر پیشنهاد کردند. در این روند یک شاخص عملکرد ماکزیموم می شود تا موقعیت بهینه میراگر مشخص گردد. ایده اساسی این است که میراگر در مکانی قرار گیرد که بیشترین تغییر مکان و سرعت بین دو انتهای میراگر ایجاد گردد. نصب میراگر در موقعیت مکانی بهینه را می توان با تعداد میراگرهای مورد نیاز برای رسیدن به یک سطح عملکرد مشخص نشان داد. برای مثال یک سازه 10 طبقه با اسکلت فلزی در شکل (3-6) نشان داده شده است. این شکل تغییر مکان نسبی ماکزیموم طبقه بام را نسبت به تعداد میراگر ویسکوز اضافه شده در 2 حالت بهینه و غیر بهینه نشان میدهد.



شکل (3-6): نمای یک ساختمان 10 طبقه تغییر مکان بام بصورت تابعی از تعداد میراگر

همانطور که مشاهده میشود مقدار ثابت تغییر مکان تقریبی $1/45$ cm می تواند با استفاده از 4 میراگر استفاده شده در موقعیت بهینه بدست آید، در حالیکه همین مقدار جابه جایی در موقعیت غیر بهینه با استفاده از 9 میراگر بدست می آید.

ج - نسبت میرایی معادل ویسکوز ایجاد شده در سازه با میراگر خطی:

حرکت یک سازه یک درجه آزادی مجهز به میراگر ویسکوز خطی تحت یک تاریخچه زمانی تغییر مکان سینوسی به شکل زیر است:

$$u = u_0 \sin \omega t \quad (1-3)$$

که u برابر است با تغییر مکان سیستم و میراگر، u_0 دامنه تغییر مکان و ω فرکانس نیروی خارجی (تغییر مکان وارد شده به سازه) می باشد، نیروی عکس العمل اندازه گیری شده برابر است با:

$$p = p_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (2-3)$$

که p برابر است با نیروی پاسخ سازه، p_0 دامنه نیرو و δ اختلاف فاز می باشد. در اینصورت انرژی تلف شده توسط میراگر W_d برابر است با:

$$W_d = \oint F_d du \quad (3-3)$$

که F_d برابر است با نیروی میراگر که مساوی $C\dot{u}$ است، C ضریب میرایی میراگر و $\dot{u}$ سرعت سیستم و میراگر می باشد. بنابراین داریم:

$$\begin{aligned} W_d &= \oint C\dot{u} du = \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} C\dot{u}^2 du \\ &= C u_0^2 \omega^2 \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \cos^2 \omega t d(\omega t) \\ &= \pi C u_0^2 \omega \end{aligned} \quad (4-3)$$

و اگر نسبت میرایی توزیع شده بوسیله میراگر را بصورت $\xi_d = C/C_{cr}$ در نظر بگیریم بدست می آید:

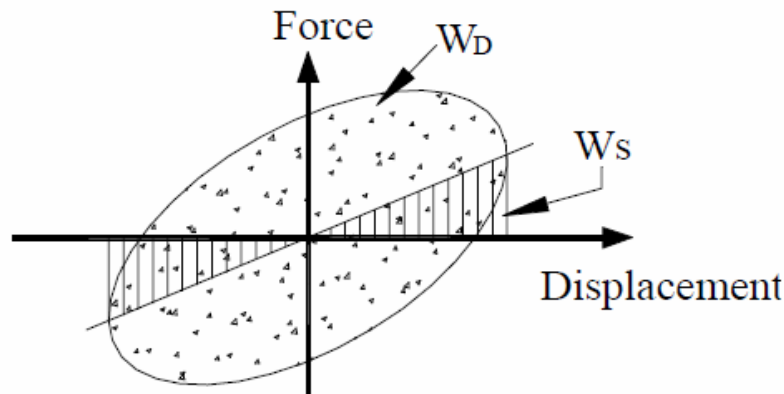
$$\begin{aligned} W_d &= \pi C u_0^2 \omega = \pi \xi_d C_{cr} u_0^2 \omega \\ &= 2\pi \xi_d \sqrt{k m} u_0^2 \omega \\ &= 2\pi \xi_d k u_0^2 \frac{\omega}{\omega_0} = 2\pi \xi_d W_s \frac{\omega}{\omega_0} \end{aligned} \quad (5-3)$$

که W_s و ω_0 , m , k , c_{cr} به ترتیب عبارتند از: ضریب میرایی بحرانی , سختی , جرم , فرکانس طبیعی و انرژی کرنشی الاستیک سازه نسبت میرایی معادل میراگرها را می توان بصورت زیر نشان داد:

$$\xi_d = \frac{Wd}{2\pi W_s} \frac{\omega_0}{\omega} \quad (6-3)$$

Wd و W_s در شکل (7-3) نشان داده شده اند. ω و ω_0 برای یک زلزله تقریباً مساوی میباشند در نتیجه:

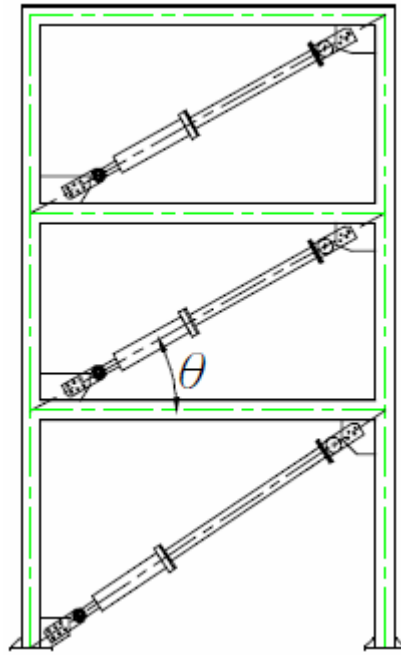
$$\xi_d = \frac{Wd}{2\pi W_s} \quad (7-3)$$



شکل (7-3): تعریف انرژی تلف شده Wd ، در یک چرخه از حرکت هارمونیک و ماکزیموم انرژی کرنشی W_s یک سیستم یک درجه آزادی با میراگر ویسکوز

برای سیستم MDOF (چند درجه آزادی) نشان داده شده در شکل (8-3) نسبت میرایی معادل سازه ξ_{eff} بصورت زیر نشان داده می شود:

$$\xi_{eff} = \xi_0 + \xi_d \quad (8-3)$$



شکل (3-8): مدل چند درجه آزادی یک سیستم با میراگر ویسکوز

که ξ_0 برابر است با میرایی درونی سازه MDOF بدون میراگر اضافی و ξ_d میرایی ویسکوز بوجود آمده در اثر اضافه نمودن میراگر می باشد.

با تعمیم معادلات سیستم SDOF، معادله نشان داده شده در زیر توسط آئین نامه FEMA273 برای بدست آوردن ξ_d استفاده می شود:

$$\xi_d = \frac{\sum W_j}{2\pi W_k} \quad (9-3)$$

که $\sum W_j$ مجموع انرژی تلف شده توسط زامین میراگر سیستم در یک دوره تناوب، و W_k انرژی کرنشی الاستیک قاب می باشد. W_k از عبارت معادل $\sum F_i \Delta_i$ بدست می آید که F_i ، برش طبقه و Δ_i تغییر مکان نسبی طبقه i ام می باشد. انرژی تلف شده توسط میراگر ویسکوز بصورت رابطه (3-10) نشان داده می شود:

$$\sum_j W_j = \sum_j \pi C_j u_j^2 \omega_0 = \frac{2\pi^2}{T} \sum_j c_j u_j^2 \quad (10-3)$$

که u_j ، تغییر مکان محوری نسبی بین دو انتهای میراگر j می باشد.

شواهد تجربی نشان داده اند که هرچه میرایی سازه افزایش یابد، پاسخ موده‌های بالاتر خیلی ناچیز می شود. در نتیجه، در سازه های چند درجه آزادی به منظور ساده سازی در کاربردهای عملی تنها اثر مود اول در نظر گرفته می شود.

با استفاده از انرژی کرنشی مودال، انرژی تلف شده به وسیله میراگرها و انرژی کرنشی الاستیک مرتبط با قاب های اولیه به صورت زیر می باشد:

$$\sum_j W_j = \frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j \quad (11-3)$$

و

$$\begin{aligned} W_k &= \Phi_1^T [K] \Phi_1 = \Phi_1^T \omega^2 [m] \Phi_1 \\ &= \sum_i \omega^2 m_i \phi_i^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \phi_i^2 \end{aligned} \quad (12-3)$$

که Φ_1 ، $[m]$ و $[k]$ به ترتیب عبارتند از ماتریس سختی، ماتریس جرم متمرکز و شکل مود اول ارتعاشی سازه؛ ϕ_{rj} تغییر مکان نسبی افقی میراگر j مربوط به شکل مود اول، ϕ_i تغییر مکان مود اول در طبقه i ام، m_i جرم طبقه i ام، و θ_j زاویه میراگر j با سطح افق می باشند.

با جایگذاری معادلات (9-3)، (11-3) و (12-3) در معادله (8-3)، نسبت میرایی موثر سازه یا میراگر ویسکوز خطی با استفاده از معادله زیر بدست می آید:

$$\xi_{eff} = \xi_0 + \frac{\frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{2\pi \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \phi_i^2} = \xi_0 + \frac{T \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (13-3)$$

در رابطه با میرایی معادل مورد نظر سازه، تاکنون هیچ روش پیشنهادی توسط آئین نامه طراحی برای نحوه توزیع مقادیر C در کل سازه ارائه نشده است. وقتیکه میراگر طراحی می شود، ممکن است مناسب باشد که مقادیر C رابطور مساوی در هر طبقه توزیع کنیم. هرچند نتایج تجربی زیادی نشان داده اند که در طبقات بالاتر مقدار کمتر میراگر نسبت به طبقات پائین تر مورد نیاز

است (etal.1999 pekcan). بنابراین، یک توزیع مناسب مقادیر C میراگرها، اینستکه نیروی افقی میراگر را متناسب با نیروی برشی آن طبقه از قاب در نظر بگیریم.

در پروژه حاضر توزیع میراگرها در ارتفاع طبقات بطور یکنواخت انجام شده است، همچنین از میراگر با روابط سرعت - نیروی خطی ($\alpha=1$) استفاده شده است.

3-4-2- رابطه انرژی درون سازه و میراگر:

تاثیر میراگر ویسکوز سازه در مقابل نیروی زلزله را میتوان به وضوح با بررسی تغییرات انرژی درونی سازه نشان داد معادله انرژی مطلق (Uang and Bertero, 1998) بصورت زیر میباشد:

$$E_I = E_K + E_s + E_h + E_d \quad (14-3)$$

در حالیکه E_I انرژی ورودی زلزله، E_K انرژی جنبشی (سینتیک)، E_s انرژی کرنشی الاستیک قابل برگشت، E_h انرژی هیسترتیک غیر قابل برگشت و E_d انرژی تلف شده بوسیله قابلیت میرایی ذاتی خود سازه و یا میرایی ویسکوز اضافه شده به سازه میباشد.

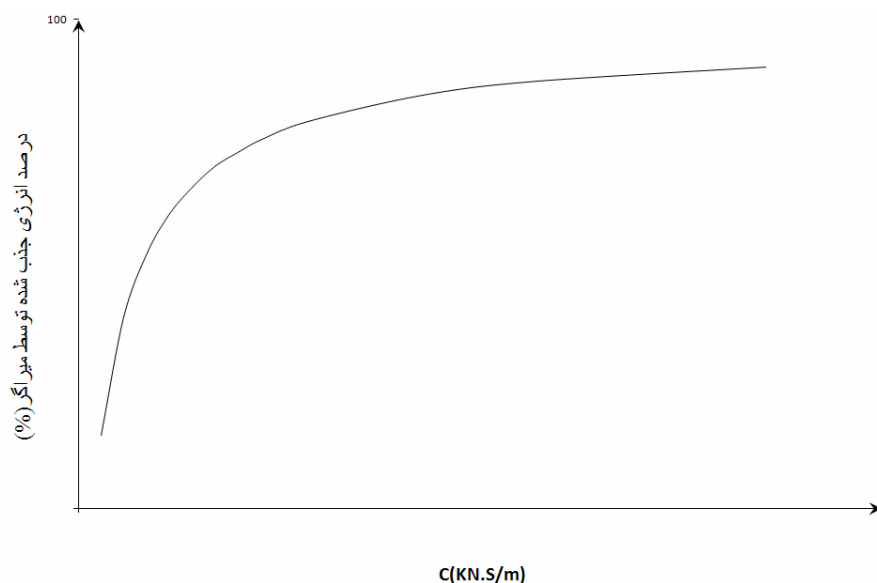
سمت راست معادله مقدار ظرفیت انرژی تامین شده توسط سازه، سمت چپ معادله انرژی لرزه ای مورد نیاز سازه تحت اثر حرکت زمین میباشد. برای اینکه یک سازه تحت زلزله پایدار بماند انرژی تامین شده توسط سازه باید از انرژی مورد نیاز بیشتر باشد.

در طراحی لرزه ای عادی تامین ظرفیت انرژی عموماً توسط انرژی هیسترتیک، E_h ، که نتیجه تغییر شکلهای غیر الاستیک سازه میباشد، انجام می پذیرد. برای سازه های با میراگر ویسکوز ظرفیت اتلاف انرژی سازه بدلیل اضافه کردن میرایی، E_d ، فزایش می یابد و عملکرد سازه طوری است که میراگرها انرژی ورودی سازه را قبل از اینکه وارد مرحله تغییر شکلهای غیر خطی گردد جذب میکند به عبارت دیگر قابهای اولیه در سازه ها در مقابل تحریکات زلزله محافظت شده و عملکرد سازه در معرض زلزله بهبود می یابد.

در اینجا به بررسی یک روش برای طراحی میراگر و همچنین کنترل مناسب بودن میراگر طراحی شده پرداخته شده است.

در واقع یکی از روشهایی که می توان بر اساس آن میراگر ویسکوز را طراحی نمود، بر پایه انرژی جذب شده توسط المانهای میراگر و سازه می باشد. در این روش می توان با در نظر گرفتن یک حدس اولیه برای ضریب میرایی میراگر و محاسبه انرژی جذب شده توسط المانهای میراگر و همچنین سازه و انجام سعی و خطا به ضریب میرایی مناسب دست یافت.

اگر نسبت انرژی جذب شده توسط سازه به انرژی ورودی بر حسب ضریب میرایی روی یک نمودار ترسیم گردد (شکل 3-9) مشاهده می شود با افزایش ضریب میرایی، انرژی جذب شده توسط سازه کاهش یافته تا جاییکه شیب نمودار ثابت می شود، از آن پس افزایش ضریب میرایی تاثیری در جذب انرژی توسط میراگر ندارد.



شکل (3-9): نمودار انرژی جذب شده توسط میراگر

در نتیجه نقطه تقریبی در شروع هموار شدن نمودار نسبت انرژی جذب شده به انرژی ورودی، ضریب میرایی مناسب برای جذب بیشترین مقدار انرژی توسط میراگر، و جذب کمترین مقدار انرژی توسط سازه را بدست می دهد.

انرژی جذب شده توسط سازه شامل انرژی جنبشی (سینتیک) و انرژی کرنشی الاستیک (قابل برگشت) می باشد.

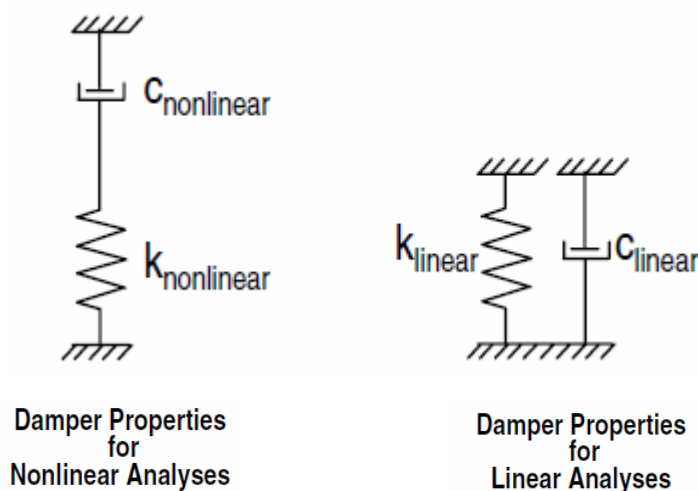
در این تحقیق، برای طراحی میراگر ابتدا طبق مطالب مذکور در بخش 3-4-1 مقدار میرایی مورد نیاز سازه بدست آمده سپس با روش شرح داده شده در این بخش میراگر مورد نظر طرح گردیده و بعد میرایی معادل محاسبه گشته و با میرایی مورد نیاز بدست آمده مقایسه می گردد.

برای طراحی میراگر به روش انرژی از تحلیل دینامیکی غیر خطی سریع (FNA) استفاده شده است.

3-5- نحوه مدلسازی میراگر در نرم افزار sap2000 [25]:

همانگونه که شرح داده شد در این تحقیق از میراگر ویسکوز خطی استفاده شده است. از آنجائیکه برای مدلسازی میراگر از نرم افزار Sap2000 استفاده گردید بررسی نحوه عملکرد این میراگر در این نرم افزار مورد توجه قرار می گیرد. میراگرها در این نرم افزار با استفاده از المان دو نقطه ای خطی از نوع میراگر مدل شده اند.

در این برنامه در تحلیل های غیر خطی، میراگر به صورت یک فنر مدل می شود که با یک کمک فنر به صورت سری قرار گرفته است. بالعکس برای تحلیلهای خطی، المان میراگر به صورت یک فنر موازی با کمک فنر مدل می شود، شکل (3-10).



شکل (3-10): نحوه مدلسازی میراگر در نرم افزار sap 2000

اگر رفتار میراگر با میرایی خالص در تحلیل غیر خطی (بدون سختی) مورد انتظار باشد، همانطور که در این تحقیق در نظر گرفته شده است، تاثیر فنر می تواند با در نظر گرفتن سختی خیلی زیاد برای آن، قابل صرف نظر گردد. سختی فنر باید به اندازه کافی زیاد باشد تا زمان مشخصه مدل فنر - کمک فنر که از رابطه زیر بدست می آید، تقریباً یک یا دو مرتبه توانی کوچکتر از گام های بار گذاری باشد، به عنوان مثال اگر داشته باشیم، $c=1000 \text{ KN.s/m}$ ، آنگاه به ازای $k = 10000000$ مقدار $\tau = 0.0001 \text{ sec}$ می شود که تقریباً به اندازه دو مرتبه توانی کوچکتر از گام های بار گذاری، $0/01$ ثانیه می باشد و عدد $10/000/000$ مقدار قابل قبولی برای بدست آوردن میرایی خالص به نظر می رسد.

$$\tau = \frac{c}{k_{\text{nonlinear}}} = \frac{1000}{10000000} = 0.0001 \text{ sec}$$

3-6- ارزیابی طیفی سازه های بهسازی شده:

تحلیل سازه ها و عملکرد آنها در مراحل مختلف بهسازی پیشنهادی، سازه اولیه (اصلی)، سازه با سختی کاهش یافته و سازه با سختی کاهش یافته به همراه میراگر می تواند بوسیله تحلیل دینا میکی غیرخطی و تحلیل طیف ظرفیت از طریق آنالیز پوش آور مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی نقطه عملکرد سازه از روش طیف ظرفیت استفاده شده است بدین منظور، از برنامه نوشته شده تحت برنامه اکسل در مرجع [26]، برای بدست آوردن نقطه عملکرد سازه استفاده شده است. با توجه به آنکه به کار بردن فرمولها، حدود و شروط ذکر شده در تفسیر دستور العمل بهسازی جهت تعیین نقطه عملکرد به روش طیف ظرفیت و سعی و خطا برای یافتن نقطه عملکرد کاری دشوار، زمان بر و توأم با خطای احتمالی است، لذا کاربران استفاده از روشهای ساده تر همچون روش ضرایب که در دستورالعمل بهسازی پیشنهاد شده اما دارای دقت پائین تری نسبت به روش طیف ظرفیت می باشد را ترجیح می دهند. بنابراین می توان از این برنامه (به روش طیف ظرفیت) که از قابلیت و دقت بیشتر برخوردار است به جای روشهای ساده اما کم دقت در تعیین نقطه عملکرد استفاده نمود [26].

در این روش از منحنی ظرفیت غیر خطی سازه در برخورد با طیف پاسخ شتاب و تغییر مکان (طیف طرح 2800) برای تعیین شتاب و تغییر مکان نیاز سازه استفاده می شود [22].

یک فرآیند دیگر برای بررسی پاسخ سازه در 3 حالت (سازه اصلی، سازه با سختی کاهش یافته و سازه با سختی کاهش یافته به همراه میراگر اضافی)، آنالیز دینامیکی غیر خطی (nonlinear dynamic analysis direct integration) میباشد. در این تحلیل نیز پاسخ سازه اعم از تغییر مکان، برش پایه و شتاب را در مراحل مختلف بهسازی بر روی یک نمودار مورد مقایسه قرار می دهیم که در فصل بعد راجع به چگونگی انجام این تحلیل و فرضیات انجام آن به تفصیل بحث خواهد شد.

فصل 4- کلیات تحلیل های غیر خطی

4-1- مقدمه

بر اساس آیین نامه های طراحی لرزه ای چهار روش تحلیل شامل استاتیکی خطی، دینامیکی خطی، استاتیکی غیر خطی و دینامیکی غیر خطی در مدل سازی و تحلیل سازه ها مطرح می باشند. در این پایان نامه روش های استاتیکی غیر خطی و دینامیکی غیر خطی مورد استفاده قرار گرفته، به همین جهت در این فصل کلیاتی از این روشها بیان می شود.

4-2- تحلیل استاتیکی غیر خطی

در سال های اخیر عملکرد غیر خطی سازه های ساختمانی در حین زلزله مورد توجه و اهمیت خاصی قرار گرفته است به همین دلیل رفتار سازه ها بعد از محدوده ارتجاعی توسط روش های تحلیل دینامیکی غیر خطی بررسی می گردد که در این روش ها معمولاً از شتاب نگاشت های زلزله های گذشته استفاده می شود. از میان تحلیل های غیر خطی تحلیل دینامیکی غیر خطی بسیار پیچیده و وقت گیر و به صورت یک روند محاسباتی، کاربردی در دفاتر مهندسی ندارد. بر این اساس ایده تحلیل غیر خطی استاتیکی مطرح شده که شامل سه روش عمده برای تخمین تغییر مکان حداکثر سازه ها می باشد [27]:

- استفاده از یک سیستم یک درجه آزاد معادل

- استفاده از مدل الاستیک سازه

- استفاده از روش طیف ظرفیت

در روش اول رفتار نهایی سازه مورد نظر متناسب با پاسخ سیستم یک درجه آزاد معادل، در نظر گرفته شده، تغییر مکان حداکثر سازه (تغییر مکان هدف) تعیین می گردد. در روش دوم با استفاده از یک مدل الاستیک سازه و با استفاده از روش تاریخچه زمانی یا روش طیفی تغییر مکان هدف به دست

می آید. در روش سوم ظرفیت مانده با نیاز حرکت شدید زمین مقایسه و بر اساس آن، حداکثر پاسخ سازه در برابر زلزله محاسبه می شود.

4-2-1- تحلیل غیر خطی مصالح

در چند دهه گذشته، تحقیقات بسیاری برای ارزیابی و توسعه روش های پیشرفته برای تحلیل مصالح صورت گرفته است. روش های پیشرفته در مقایسه با روش های الاستیک به روش هایی اطلاق می شوند که مقاومت و پایداری سیستم سازه ای را طوری برآورد می کنند که نیاز به مقایسه چند باره با آیین نامه ها و انجام کنترل های مختلف کاهش یابد. تاکنون 5 روش برای تحلیل پیشرفته سازه ها معرفی شده است:

1- روش ناحیه پلاستیک (خاصیت پلاستیسیته گسترده)

2- روش شبه مفصل پلاستیک

3- روش مفصل الاستوپلاستیک

4- روش مفصل پلاستیک با بار حدسی

5- روش مفصل پلاستیک اصلاح شده

تفاوت این روش ها در میزان تقریب برآورد اثرات پلاستیک است. روش ناحیه پلاستیک دقیق ترین و روش مفصل الاستوپلاستیک تقریبی ترین این روش ها می باشند. روش شبه مفصل پلاستیک به لحاظ دقت بین این دو روش قرار دارد. دو روش آخر روش های ساده ای هستند که برای بهبود تقریب روش مفصل پلاستیک بکار رفته اند.

- روش ناحیه پلاستیک [28]

در این روش، اعضای قاب به اجزاء محدودی تقسیم می شوند و سطح مقطع هر یک از این اجزاء به فیبرهایی تقسیم بندی شده، مقدار تغییر شکل در هر ناحیه از عضو با انتگرال گیری عددی حاصل می شود در هر مرحله از بارگذاری، هندسه تصحیح می شود که این هندسه اثرات مرتبه دو را در تغییر شکل، مدل می کند. با کوچک در نظر گرفتن فیبرها می توان تنش پسماند را در آنها ثابت فرض کرد. بدین ترتیب می توان تنش در فیبرها را بررسی کرد به نحوی که گسترش تدریجی ناحیه پلاستیک را بتوان تعقیب نمود.

در حالت کلی دو نوع آنالیز ناحیه پلاستیک وجود دارد. نوع اول مبتنی بر المان های محدود پوسته می باشد که در آن از ماتریس بنیادی الاستوپلاستیک استفاده می شود. بر مبنای تغییر شکل در پلاستیسیته می توان اثرات نیروهای برشی و قائم را هم زمان مدل کرد. این فرایند نیازمند مدل کردن هر عضو با تعداد زیادی المان از این نوع و انتگرال گیری عددی و محاسبه ماتریس سختی الاستوپلاستیک می باشد. با توجه به آنچه گفته شد این روش، روش مفیدی برای محاسبه و تحلیل سازه ها در مقیاس کوچک و جمع آوری اطلاعات در مورد ناپایداری موضعی سازه هاست.

نوع دوم تحلیل ناحیه پلاستیک بر مبنای تئوری های تیر- ستون استوار است. در این تکنیک هر عضو به قطعاتی تقسیم شده، هر قطعه به عناصر محدودی تجزیه می گردد. وقتی تنش محاسبه شده در مرکز هر المان به مقاومت تک محوره مصالح می رسد آن المان کاملاً پلاستیک فرض می گردد. اغلب روش های ناحیه پلاستیک برای سازه های دو بعدی کاربرد دارند، اما بعضی از این روش ها به سه بعد نیز تعمیم داده شده اند. روش ناحیه پلاستیک گسترش خصوصیات خمیری، تنش پس ماند، خطای مساحت و مشخصات مرتبه دوم را به خوبی مدل می کند ولی این روش در مدل کردن سازه های پرالمان کاربردی نداشته، برای مطالعه رفتارهای پیچیده اعضاء بررسی صحت روش های ساده تر، مقایسه با نتایج آزمایشگاهی، استنتاج روش های طراحی و برای مسائل خاص طراحی کارایی دارد.

- روش مفصل الاستوپلاستیک [28]

ساده ترین و کاربردی ترین روش تعریف خصوصیات غیر خطی، روش مفصل الاستوپلاستیک می باشد. در این روش فرض بر آن است که المان در طول خود ارتجاعی باقی می ماند ولی در نقاط انتهایی آن مفاصل پلاستیک با طول صفر تشکیل می شوند. با وجود آنکه این روش خصوصیات غیر خطی اعضا را به خوبی مدل می کند ولی در مدلسازی نحوه گسترش ناحیه پلاستیک شده و نیز اثرات تنش پسماند ناتوان است. این روش راه حلی کارا و اقتصادی برای تحلیل اعضای قاب است به این شرط که اعضای نیروی محوری نسبتاً کوچکی داشته و رفتار غالب آنها رفتار خمشی باشد از طرفی با تمهیدات کافی از کمانش جانبی - پیچشی و یا محلی اعضا ممانعت به عمل آمده باشد.

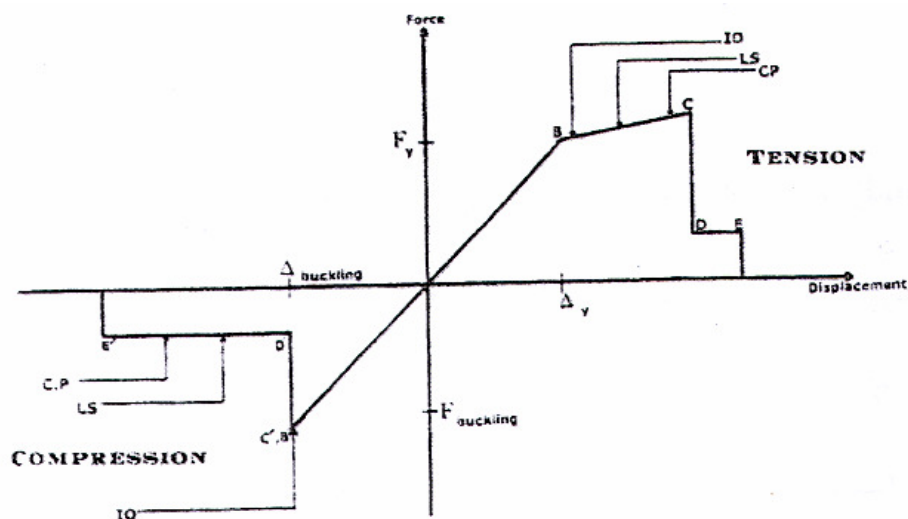
تحقیقات زیمن (Ziemian) نشان داده که تحلیل مفصل الاستوپلاستیک روشی پیشرفته در تحلیل غیر خطی است و نتایج آن در برآورد تغییر شکل و مقاومت قاب های ساختمانی با نیروی محوری کمتر از 0.5py به روش پلاستیک گسترده نزدیک است سایر تحقیقات اثبات می کند که این روش در عناصر لاغر جوابهای دقیق تر و نزدیک به روش پلاستیک گسترده دارد در حالیکه در عناصر غیر لاغر منجر به ارزیابی دست بالا از مقاومت و سختی سازه می شود.

4-2-2- انواع مفصل های الاستوپلاستیک

به خاطر شناخته شده بودن عملکرد لرزه ای سازه های ساختمانی متعارف و با توجه به اینکه محل تشکیل مفصل های پلاستیک قبل از آنالیز این سازه ها قابل پیش گویی است، از این جهت پایه اغلب نرم افزارهای تحلیل غیر خطی از جمله SAP 2000, ETABS 2000 (مورد استفاده در این پایان نامه)، Drain و... را روش تخصیص مفصل الاستوپلاستیک تشکیل می دهد. اساس این روش بر اختصاص مفاصل پلاستیک در مدل المان های الاستیک استوار است. یک مفصل پلاستیک، رابطه غیر خطی نیرو- تغییر شکل را برای یک مقطع مشخص، تعریف می کند. در ادامه به انواع مفصل های مورد استفاده نرم افزار SAP 2000 اشاره خواهد شد.

- مفصل پلاستیک محوری (P)

نیروهای داخلی در مهاربندها و ستون های لرزه بر قاب ها عمدتاً از نوع کشش یا فشار محوری است و تغییر شکل های پلاستیک در این اعضا به صورت تسلیم کششی یا کمانش فشاری خواهد بود. از این رو برای مدل کردن رفتار غیر خطی اعضای کششی یا فشاری لازم است که یک مفصل محوری بر یک نقطه از طول المان اختصاص داده شود. موقعیت مفصل محوری در طول عضو، مهم نیست چرا که طول مفصل پلاستیک برای محاسبه جابه جایی نظیر تسلیم یا کمانش عضو، بدون توجه به موقعیت مفصل محوری برابر طول آزاد عضو می باشد. رفتار نیرو- جابجایی مفصل پلاستیک محوری را در حالت کلی می توان به صورت شکل (1-4) تعریف نمود [29].



شکل (1-4): رابطه نیرو- جابجایی در مفصل پلاستیک محوری [29]

نقاط E, C, B در این شکل به ترتیب مربوط به ترازهای تسلیم، حداکثر مقاومت و حد شکست در رفتار کششی می باشد. نقاط C', B' که به هم منطبق می باشند مربوط به تراز کمانش فشاری و نقطه E' مربوط به تراز شکست فشاری پس کمانشی است. موقعیت سه تراز عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه (IO)، ایمنی جانبی (LS) و آستانه ی فروریزش (CP) در هر دو رفتار کششی و فشاری در شکل (1-4) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود در تراز عملکرد ایمنی جانی تغییر شکل های پلاستیک قابل توجهی در عضو کششی رخ می دهد، ولی هنوز تا نقطه C که مربوط به افت

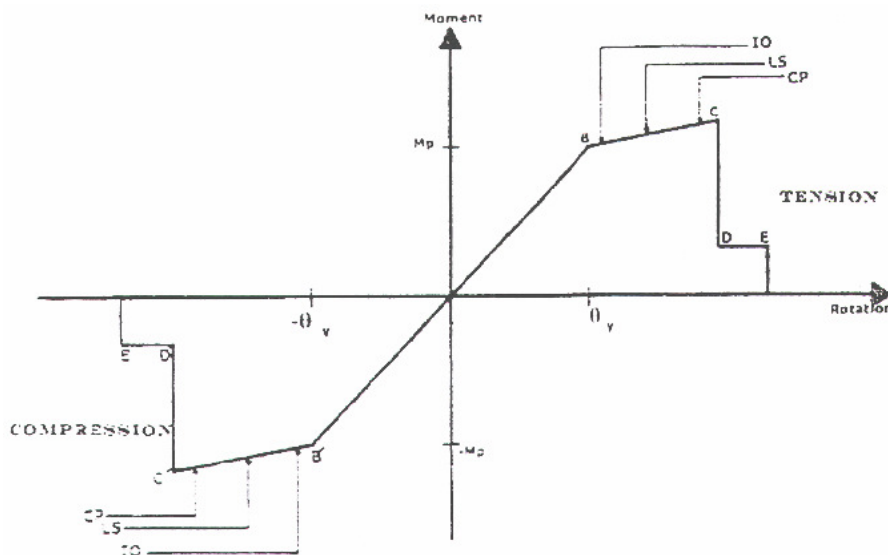
قابل توجه مقاومت است، فاصله زیادی باقی مانده است. رفتار مذکور برای اعضای کششی اصلی (اعضای که در باربری ثقلی مشارکت دارند مثل ستون ها) و فرعی (اعضای که در باربری ثقلی سازه مشارکت ندارند، مثل مهاربندی فولادی) مشابه می باشد. اما در مورد عملکرد فشاری، همان طور که مشاهده می شود، تراز عملکرد ایمنی جانی بعد از نقطه کمانش قرار دارد. این بدین معنی است که کمانش یک عضو به معنی آسیب جانی نیست و تغییر شکل های پس از کمانش تا تراز عملکرد ایمنی جانی، مجاز است اما باید توجه کرد که این مطلب فقط برای اعضای فشاری فرعی سازه، از جمله مهاربندهای فولادی که نقشی در باربری ثقلی سازه ندارند، معتبر است در حالی که در مورد ستون های لرزه بر یک قاب مهاربندی شده، صادق نیست. بر اساس FEMA273/356 کمانش و افت مقاومت ناشی از آن در یک ستون جایز نیست و ستون های یک قاب بایستی تحت حداکثر نیروهای فشاری، خطی و الاستیک و بدون کمانش، به شکل پایدار باقی مانده و به باربری ثقلی خود ادامه دهند.

- مفصل پلاستیک خمشی و خمشی - محوری (P, P-M-M)

نیروهای داخلی در تیرها و ستون های قاب های خمشی به ترتیب خمشی و خمشی - محوری است از طرفی تغییر شکل های پلاستیک در این اعضا تحت بارهای جانبی زلزله، معمولاً به صورت مفصل های پلاستیک در دو انتهای تیرها و ستون ها ظاهر می گردد، که البته به خاطر بارگذاری روی تیرها، ممکن است در طول تیرها نیز مفصل پلاستیک خمشی ایجاد گردد. همچنین در صورتی که بار محوری ستون ها در قاب های خمشی تقویت شده با مهار بندی فولادی، قابل توجه باشد (سیستم دو گانه) در این صورت احتمال تسلیم کشش یا کمانش فشاری نیز در این اعضا وجود نخواهد داشت. بنابراین برای قاب های خمشی لازم است به ترتیب زیر مفصل پلاستیک اختصاص داده شود.

به دو انتهای تیرها، مفصل پلاستیک خمشی، به دو انتهای بالا و پایین ستون ها بایستی مفصل خمشی - محوری (P-M-M) اختصاص داده شود. به وسط ستون ها (تقریباً محل لنگر صفر) و نیز به

وسط مهاربندی فولادی (در صورت وجود) لازم است مفصل محوری (P) اختصاص داده شود. رابطه لنگر- دوران یک مفصل پلاستیک خمشی در حالت کلی به صورت شکل (2-4) تعریف می شود.



شکل (2-4): رابطه لنگر- دوران در مفصل پلاستیک خمشی [29]

در شکل (2-4) رابطه لنگر- دوران مفصل پلاستیک خمشی برای لنگر مثبت و منفی، متقارن فرض شده است. در حالت کلی برای مقاطع خمشی نامتقارن از جمله مقاطع بتن آرمه، این رابطه نامتقارن می باشد. تا نقطه B رابطه لنگر- دوران خطی است. در نقطه B لنگر داخلی مقطع به لنگر پلاستیک می رسد و در واقع نقطه B متناظر با تشکیل مفصل پلاستیک و آغاز دوران پلاستیک در مقطع است. با فرض اینکه نقطه عطف در وسط طول عضو فولادی تشکیل گردد، می توان دوران تسلیم آن را از روابط (1-4) و (2-4) آورد [29].

$$\theta_y = \frac{Z\sigma_y L_c}{\sigma E I_c} \left(1 - \frac{P}{P_y}\right) \quad \text{در ستون ها} \quad (1-4)$$

$$\theta_y = \frac{Z\sigma_y L_b}{\sigma E I_b} \quad \text{تیرها} \quad (2-4)$$

در این روابط:

I, Z : به ترتیب مدول پلاستیسته و ممان اینرسی مقطع عضو

σ_y, E : به ترتیب مدول الاستیسته و تنش تسلیم فولاد

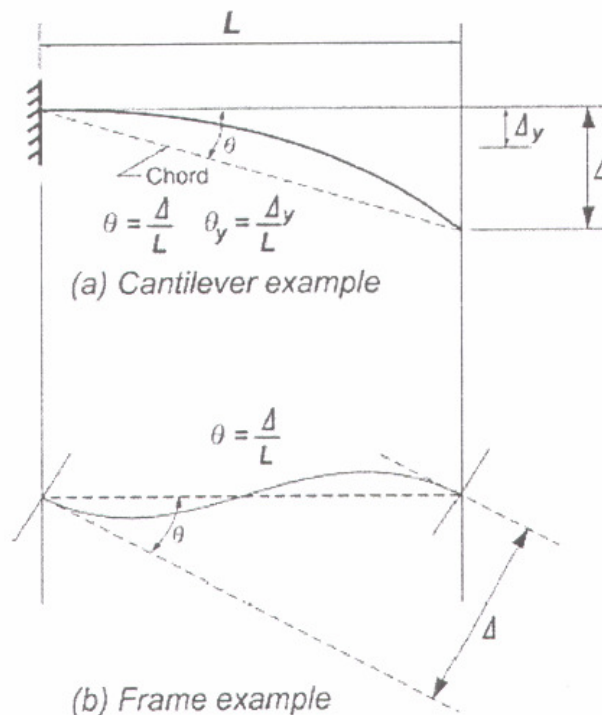
L : طول عضو

P_y, P : به ترتیب نیروی محوری عضو و ظرفیت تسلیم عضو $(A_g F_y)$

برای اعضای بتن آرمه معمولاً از θ_y صرفنظر می گردد. در شکل (3-4)، دوران مفصل پلاستیک برای

یک تیر تعریف شده است. همان طور که دیده می شود منظور از دوران مفصل پلاستیک، دوران صلب

عضو حول موقعیت مفصل پلاستیک می باشد. $\left(\theta = \frac{\Delta}{L}\right)$.



شکل (3-4): دوران صلب مفصل پلاستیک [29]

دوران پلاستیک از کم کردن دوران تسلیم (θ_y) از دوران مفصل پلاستیک (θ) بدست می آید.

$$\theta_p = \theta - \theta_y \quad (3-4)$$

اگر نقطه عطف ستون های قاب های خمشی را در وسط طول فرض کنیم، در این صورت می توان

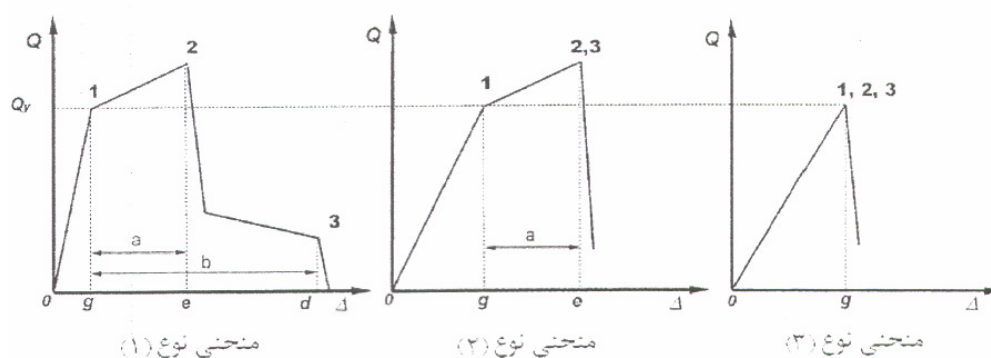
دوران مفصل پلاستیک در انتهای بالا و پایین ستون را برابر نسبت جابه جایی نسبی بین طبقه ای

(Δ/L) در نظر گرفت. بسته به میزان دوران پلاستیک، عملکرد عضو در یکی از ترازهای LS, IO یا CP قرار می گیرد.

موقعیت این ترازها در شکل (4-2) نشان داده شده است. در نقطه C مقطع به حداکثر مقاومت خمشی خود می رسد و بعد از آن ضمن افت مقاومت تغییر شکل های پلاستیک تا حداکثر مقدار خود در E توسعه می یابد و در این نقطه شکست خمشی در مقطع رخ می دهد. رابطه لنگر- دوران مفصل پلاستیک خمشی- محوری (P-M-M) مشابه رابطه لنگر- دوران مفصل پلاستیک خمشی (M) می باشد با این تفاوت که این رابطه سازگار سطح اندرکنش بار محوری و لنگر خمشی می باشد. به عبارت دیگر در این مفصل پلاستیک، مقدار M_p بستگی به مقدار P در مقطع خواهد داشت.

4-2-3- منحنی های رفتار غیر خطی و معیار خرابی اعضا

در تحلیل های خطی برای ساختن مدل یک سازه تنها به خصوصیات خطی مصالح نیاز داریم و به شناخت رفتار مصالح پس از حد تسلیم احتیاجی نیست. ولی در تحلیل های غیر خطی، باید رفتار اعضا پس از رسیدن به حد تسلیم نیز مشخص باشد. برای این منظور از منحنی های رفتاری و یا معیارهای شکست استفاده می شود. در این منحنی ها رابطه بین تغییر مکان عضو با نیروی آن مشخص می شود که این رابطه در ابتدا به صورت خطی است تا اینکه عضو به تسلیم برسد و سختی سازه تغییر کند. به طور کلی مطابق شکل (4-5) منحنی های رفتاری به سه شکل تعریف می شوند.



شکل (4-4): رفتارهای مختلف اعضا [29]

منحنی نوع اول نماینده رفتار شکل پذیر است. این منحنی به چند بخش تقسیم می شود که بخش اول یعنی نقطه 0 الی 1 نشان دهنده رفتار خطی عضو می باشد. بخش دوم یعنی از 1 الی 2 ناحیه پلاستیک نامیده می شود که می تواند شامل سخت شدگی کرنشی (strain hardening) و یا کاهش سختی باشد. در بخش سوم نیز مقاومت و سختی سازه به میزان زیادی کاهش می یابد ولی سازه در نقطه 3 هنوز قادر به تحمل بارهای ثقلی می باشد.

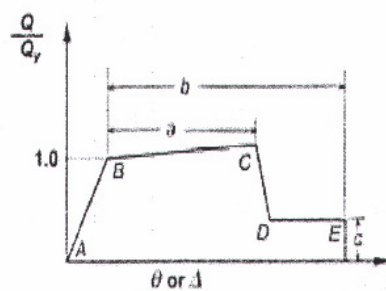
منحنی نوع دوم نیز نماینده رفتار نیمه شکل پذیر می باشد با این تفاوت که، نسبت به منحنی نوع 1 در این حالت سازه پس از نقطه 2 دیگر قادر به تحمل بارهای ثقلی نمی باشد. منحنی نوع سوم نیز رفتار ترد و شکننده اعضا را نمایش می دهد که پس از ناحیه الاستیک به طور ناگهانی مقاومت و سختی خود را از دست می دهند. چنین رفتاری در اعضای لاغر فشاری دیده می شود.

در جدول (4-1) اعضای فولادی بر اساس نوع رفتار طبقه بندی شده اند، این جدول نشان می دهد که انتخاب نوع تلاش (کنترل شونده توسط نیرو یا کنترل شونده توسط تغییر مکان) در اختیار طراح نمی باشد بلکه بر حسب نوع رفتار اعضا مشخص می شود.

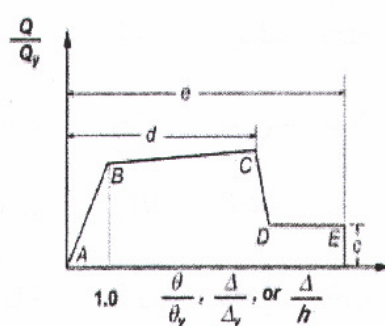
طبق این اصول در مراجع مختلف منحنی های رفتاری اعضا بر اساس آزمایش به دست آمده است. منحنی های رفتاری مطابق شکل (4-6) تنظیم شده اند. منحنی (الف) نشان دهنده منحنی نیرو (و یا لنگر) عضو بر حسب تغییر مکان (و یا دوران) عضو می باشد. در منحنی (ب) این دو کمیت به صورت بی بعد درآمده اند و منحنی (ج) حد قابل قبول عملکرد عضو در هر یک از سطوح عملکردی و برای هر یک از اعضای اولیه و ثانویه را به طور شماتیک نشان می دهد.

جدول 4-1- رفتار اجزای مختلف سازه [29]

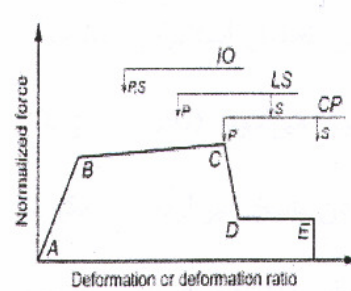
عضو	تلاشهای کنترل شونده توسط تغییر شکل	تلاش کنترل شونده توسط نیرو
قاب خمشی بتنی یا فولادی	لنگر خمشی (M) M -	برشی (v) نیروی محوری (V), (P) v
قاب مهار بندی شده فولادی	P - V -	- P P,M P



الف) تغییر شکل مطلق



ب) تغییر شکل نسبی



پ) تغییر شکل مجاز

شکل (4-5): منحنی های رفتاری اعضا [29]

4-2-4- اصول کلی تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی

آنالیز Pushover به دو روش دینامیکی و استاتیکی قابل انجام است که حالت استاتیکی معمولاً با این فرض انجام می شود که مد اصلی ارتعاش سازه، مد غالب بر پاسخ لرزه ای سازه باشد. این فرض تنها برای سازه هایی با پریود اصلی ارتعاش کمتر از یک ثانیه معتبر می باشد [30].

ولی برای سازه هایی که دارای پرپود اصلی بزرگتری می باشند اثرات مدهای بالاتر را با تنظیم الگوی بارگذاری روی سازه به گونه ای اعمال می کنیم که سازه در مدهای دیگر نیز تغییر شکل دهد.

در آنالیز استاتیکی غیر خطی نیروها یا جابه جایی جانبی وارد بر مدل سازه به صورت گام به گام افزایش یافته، تا حدی که کل المان های سازه یا قسمتهایی از آن جاری شوند. حاصل تحلیل استاتیکی غیر خطی نمودار برش پایه - تغییر مکان بام است.

آنالیز Pushover در حالت دینامیکی نیز به این صورت انجام می شود که برای یک زلزله مشخص با افزایش ضریب مقیاس زلزله به تدریج سازه را از حالت خطی وارد محدوده غیر خطی می کنند و پاسخ سازه در هر تحلیل را به عنوان نقطه ای از آنالیز Pushover در نظر می گیرند.

4-2-5- روند انجام تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی

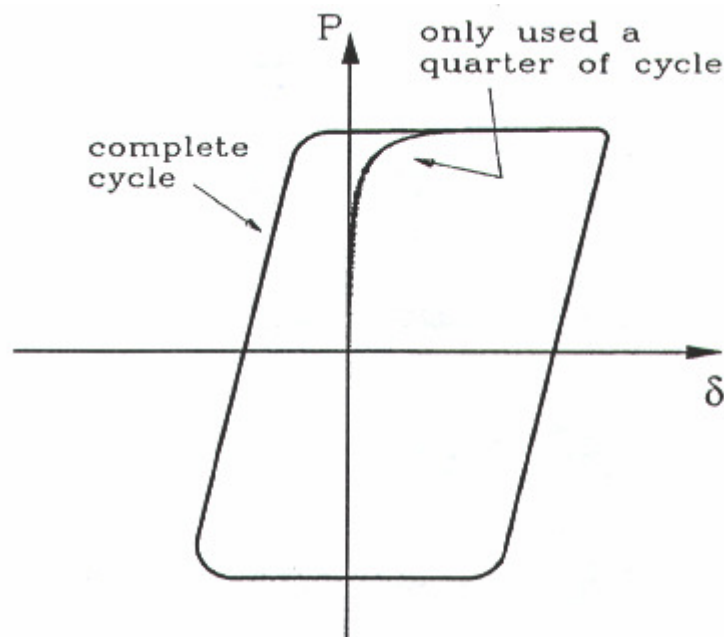
روش تحلیل استاتیکی غیر خطی Pushover شامل دو مرحله است. در مرحله اول یک تغییر مکان هدف تعیین می شود. (تخمینی از بالاترین تغییر مکان متحمل تحت تحریک زلزله) این کار عموماً با به دست آوردن پاسخ غیر ارتجاعی یک سیستم یک درجه آزاد معادل انجام می شود. در مرحله دوم نیروهای جانبی به طور فزاینده به مدل سازه اعمال می شود تا تغییر مکان گره کنترل آن برابر تغییر مکان هدف شود. در هنگام تحلیل، تغییر شکل های سازه و نیروهای داخلی اعضا به طور پیوسته کنترل و نیروی طراحی و نیاز تغییر شکل در هر عضو برای تغییر مکان های زلزله محاسبه می شود.

تفاوت این روش با تحلیل استاتیکی خطی در این است که اولاً در این روش رفتار غیر خطی تک تک اعضا و اجزا سازه در تحلیل وارد می شود، ثانیاً اثر زلزله به جای اعمال بار مشخص، بر حسب تغییر شکل برآورد می گردد.

4-2-6- ضعف های روش استاتیکی فزاینده غیر خطی

همان گونه که در معرفی روش استاتیکی غیر خطی عنوان شد این روش با استفاده از مود اول نوسان سازه بسط یافته است. این موضوع به خصوص در مورد سازه های بلند (که اثر مدهای بالاتر نوسان

نیز در رفتار سازه قابل توجه است) موجب کاهش دقت در نتایج می شود. به عبارت دیگر در روش فوق از طیف طراحی نرم شده استفاده می شود، بنابراین نسبت به تغییرات زمان تناوب حساس نمی باشد.



شکل (4-6): سیکل کامل دوره تناوب [30]

یکی دیگر از معایب این روش همان طوری که در شکل (4-7) نیز نشان داده شده، آن است که تغییر رفتار غیر خطی اجزا سازه به دلیل حرکات رفت و برگشتی مستقیماً منظور نمی شود زیرا در این روش تنها یک چهارم دوره تناوب طی می گردد.

به این ترتیب محاسبه نیروها و برآورد تغییر شکل های خمیری ممکن است با خطا انجام شود خصوصاً زمانی که اثر مودهای بالاتر به دلیل افزایش تغییر شکل های خمیری قابل توجه شود. تحقیقات انجام گرفته نشان می دهد که روش موجود برای سازه های کوتاه تا متوسط قابل قبول است و برای سازه های بلند که در آنها مشارکت مودهای بالا بیشتر است خطا قابل اغماض نیست.

3-4- تحلیل دینامیکی غیر خطی

اصول تحلیل در روش دینامیکی غیر خطی به روش استاتیکی غیر خطی نزدیک است با این تفاوت که در این روش تغییر مکان هدف تعیین نمی گردد بلکه سازه اثر شتاب زمین قرار می گیرد و پاسخ سازه به تاریخچه زمانی شتاب به عنوان نتیجه تحلیل مورد استفاده قرار می گیرد.

از آنجا که پاسخ ها در روش مذکور بسیار به مشخصه های حرکت زمین و جنبش خاک محل سازه حساس می باشد، توصیه شده که تحلیل دینامیکی غیر خطی با بیش از یک شتاب نگاشت انجام پذیرد. بنابر دستور العمل بهسازی لرزه ای در هر امتداد حداقل سه شتاب نگاشت باید مورد استفاده قرار گیرد و در صورتی که برای تحلیل کمتر از هفت شتاب نگاشت بکار رود باید بیشینه اثر آنها برای کنترل تغییر شکل ها و نیروهای داخلی منظور شود. با استفاده از هفت شتاب نگاشت یا بیشتر از آن می توان مقدار متوسط اثر آن بر سازه را در کنترل تغییر شکل ها و نیروهای داخلی منظور کرد.

از آنجا که مدل های عددی ساختمان بطور مستقیم اثرات پاسخ غیر الاستیک مصالح را در نظر می گیرند نیروهای داخلی محاسبه شده، تقریبی منطقی از نیروهای مورد انتظار در حین زلزله طراحی می باشند. در مدل سازی روش دینامیکی غیر خطی باید کلیه اعضای اصلی و غیر اصلی آورده شوند و رفتار غیر خطی آنها تا حد امکان به واقعیت نزدیک گردد.

فصل 5- شرح مدل ها و تحلیل ها

1-5- پیشگفتار

در فصل حاضر با مثالهای عددی عملکرد روش پیشنهادی به طور کامل و مشروح بررسی می گردد. به این منظور سه قاب خمشی فولادی در نظر گرفته شده است و هر کدام از سه مدل قاب خمشی در دو مرحله بهسازی شده است، مرحله اول شامل کاهش سختی سازه با استفاده از یکی از روشهای مرسوم و امکان پذیر و مرحله دوم شامل افزودن میراگر به سازه مرحله اول (سازه با سختی کاهش یافته) می باشد. هدف عمده از انجام این پروژه، بررسی امکان کاهش شتاب و تغییر مکان و همچنین برش پایه سازه به هنگام وقوع زلزله با استفاده از روش پیشنهادی کاهش سختی و افزایش میرایی می باشد. قابهای منتخب بر اساس روشهای تحلیل استاتیکی فزاینده و دینامیکی غیر خطی در سه حالت ذیل مورد آنالیز قرار گرفته اند:

1- سازه اصلی

2- سازه با در نظر گرفتن کاهش سختی جانبی در آن

3- افزودن میراگر به سازه همزمان با کاهش سختی جانبی

و در پایان به مقایسه نتایج تحلیل ها و تاثیر کاهش سختی بر سازه با توجه به زلزله و افزودن میراگر در سطوح عملکرد قابها پرداخته می شود.

2-5- معرفی سازه های مورد مطالعه:

همانگونه که ذکر شد برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی سه مدل در نظر گرفته شده است. هر یک از مدل های مورد نظر یک قاب از ساختمانهای فولادی 2، 4 و 7 طبقه با سیستم های باربر جانبی قاب خمشی می باشد.

فرض شده است کلیه ساختمانها از پیش برای کاربری بیمارستان واقع در شهرستان ساری و بر اساس آئین نامه 519 ایران برای تعیین بارهای مرده و زنده وارده بر ساختمان و آئین نامه 2800 زلزله (ویرایش 3) جهت تعیین نیروهای زلزله طراحی شده است.

همه قابهای مورد مطالعه شامل 4 دهانه می باشند، ارتفاع طبقات 3 متر و بار هر دهانه مطابق زیر می باشد که در طبقات

$$DL=2.8 \text{ ton/m}$$

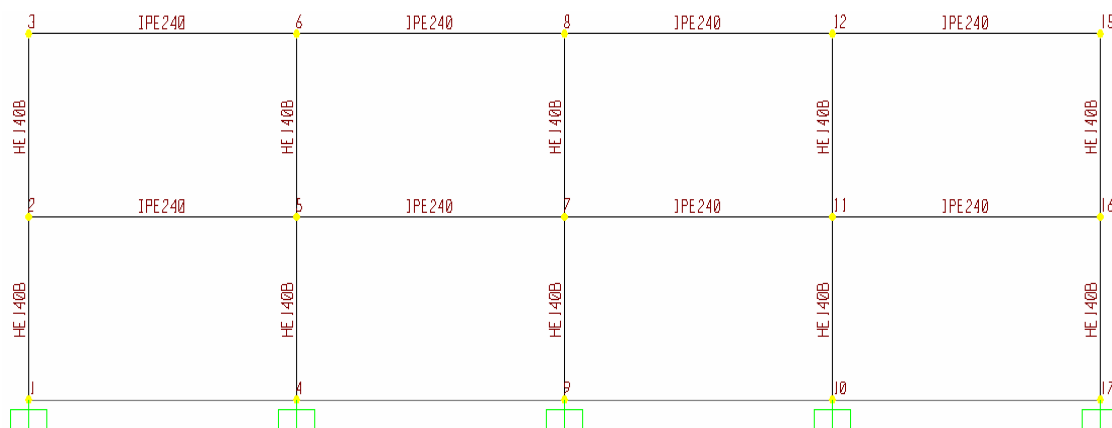
$$LL=1.4 \text{ ton/m}$$

و در بام

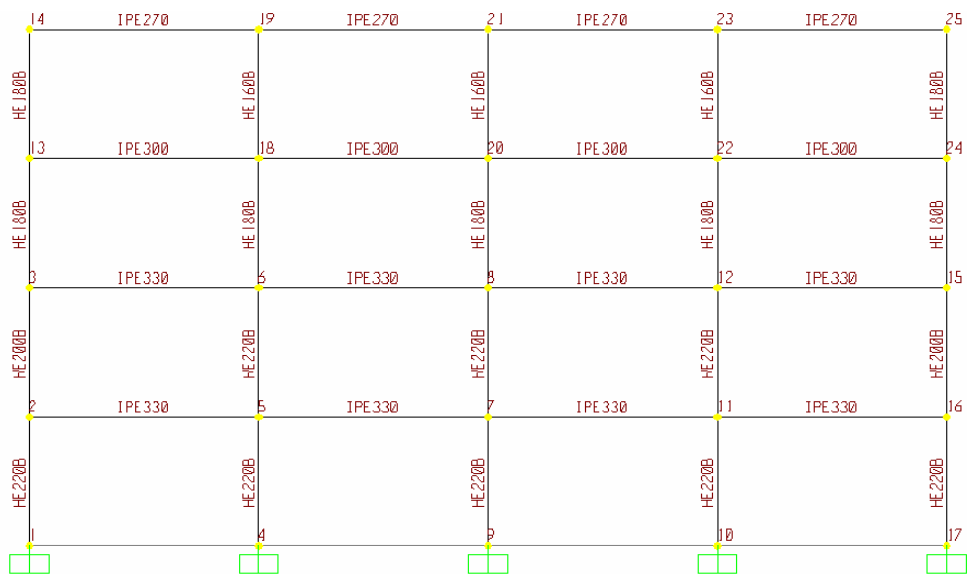
$$DL=2.24 \text{ ton/m}$$

$$LL=1.05 \text{ ton/m}$$

مقاطع پروفیل‌های به کار برده شده در سازه اصلی در سه قاب 2، 4 و 7 طبقه در شکل‌های (1-5) الی (3-5) نمایش داده شده است در کلیه قابها از مقاطع استاندارد اروپایی استفاده شده است.



شکل (1-5): مقاطع قاب 2 طبقه



شکل (5-2): مقاطع قاب 4 طبقه



شکل (5-3): مقاطع قاب 7 طبقه

مشخصات فولاد مصرفی در قابها به شرح زیر می باشد:

$$7850 \text{ kg} / \text{m}^3 = \text{وزن واحد حجم}$$

$$800 \text{ kg} / \text{m}^3 = \text{جرم واحد حجم}$$

$$2.04 \times 10^6 \text{ kg} / \text{cm}^2 = (E) \text{ مدول الاستیسیته}$$

$$0.3 = (\mu) \text{ ضریب پواسون}$$

$$2400 \text{ kg} / \text{cm}^2 = (f_y) \text{ مقاومت جاری شدن فولاد}$$

$$3700 \text{ kg} / \text{cm}^2 = (f_u) \text{ مقاومت کششی فولاد}$$

3-5- تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی

در این روش تحلیل با تعیین تغییر مکان هدف برای هر سازه نیروهای جانبی به طور فزاینده به مدل سازه اعمال می شود تا تغییر مکان نقطه کنترل به تغییر مکان هدف برسد. تحلیل استاتیکی غیر خطی به صورت مدل ساده شده انجام می شود. در مدل کامل تمامی اعضای سازه ای اصلی و غیر اصلی مدل می شوند در حالی که در مدل ساده شده تنها اعضای سازه ای اصلی در نظر گرفته می شود. همچنین در هر یک از مدل‌های مطالعه شده نقطه کنترل در تراز بام در نظر گرفته شده و رفتار غیر خطی قاب فولادی نیز با تعریف مفاصل خمیری لحاظ شده است. در ادامه سایر مفروضات تحلیل بیان می شود.

3-5-1- پیش تحلیل با بارهای ثقلی:

در تحلیل غیر خطی به دلیل عدم صحت جمع آثار قوا لازم است ابتدا بارهای ثقلی بر سازه اعمال شده و سپس بارهای جانبی به مرور اعمال می گردد تا در نهایت با رسیدن به تغییر مکان هدف در نقطه کنترل تحلیل به پایان برسد بارهای ثقلی با کرانه بالا و پائین مطابق ترکیبات ذیل می باشد. که در آن Q_L, Q_D هر یک نمایانگر بار مرده و بار زنده موثر می باشند.

$$\begin{aligned} Q_G &= 1.1(Q_D + Q_L) & Q_u &= 1.1(Q_D + Q_L) + Q_E \\ Q_G &= 0.9Q_D & Q_u &= 0.9Q_D + Q_E \end{aligned} \quad (1-5)$$

(2-5)

لازم است Q_E بر اساس الگوهای مختلف بار جانبی که در بندهای بعدی اشاره می شود اعمال گردد. این بار در حالت عادی باید به طور جداگانه و در دو راستای متفاوت و در دو جهت مثبت و منفی اعمال گردد.

2-3-5- توزیع بارهای جانبی:

مطابق دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود و نیز ضوابط FEMA 356 حداقل باید دو نوع توزیع بار جانبی دو روش تحلیل به روش pushover استفاده شود. در این پژوهش به عنوان توزیع نوع اول از توزیع متناسب با توزیع بار جانبی در روش استاتیکی خطی استفاده شده و توزیع نوع دوم نیز توزیع یکنواخت می باشد که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه و بر سازه وارد می شود.

3-3-5- فرآیند بهسازی:

➤ سازه اصلی یا اولیه (original)

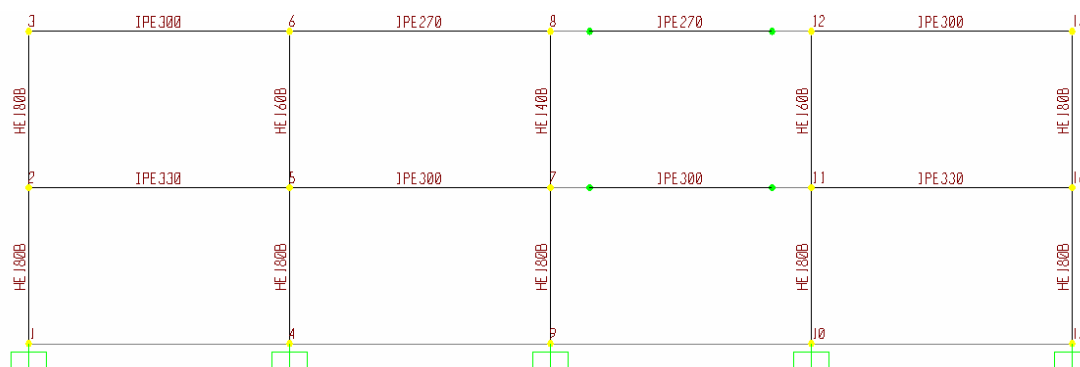
منظور از سازه اصلی همان مدلی است که مطابق طراحی اولیه سازه (سازه مفروض) در نظر گرفته شده است و قرار است مورد بهسازی قرار گیرد.

➤ سازه با سختی کاهش یافته (weakened)

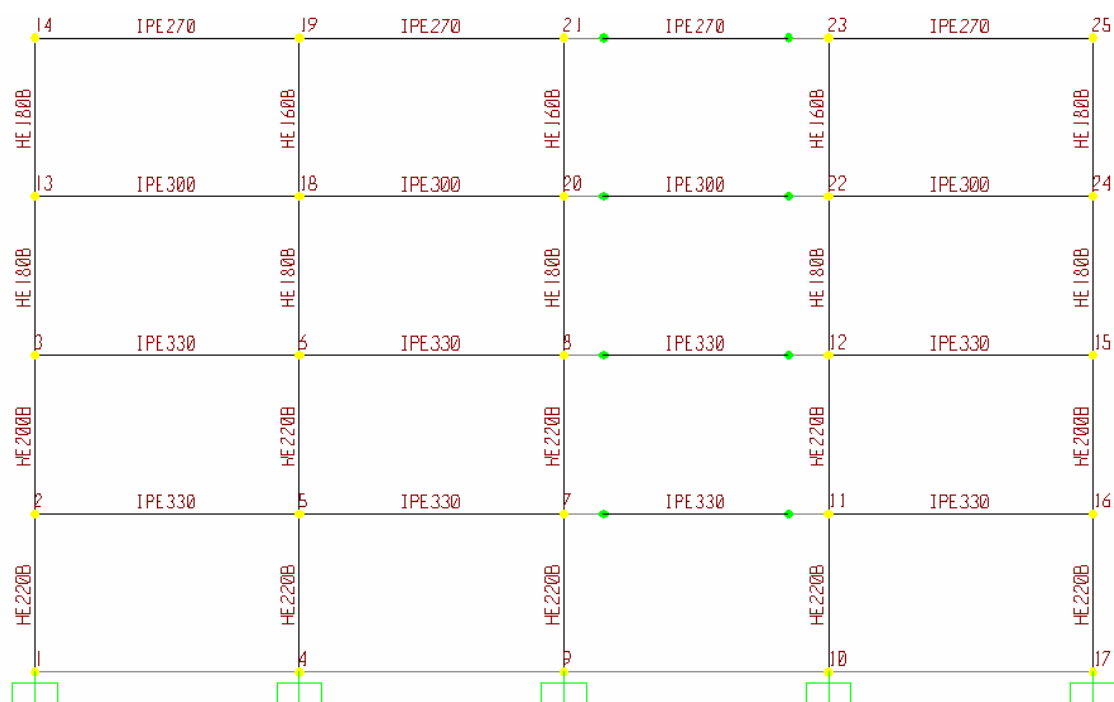
برای اعمال کاهش سختی در سازه های فولادی از روشهای مختلفی از جمله مفصلی کردن اتصالات گیر دار، برداشتن دیوارهای برشی، برداشتن میانقابها می توان استفاده نمود.

در این تحقیق، به منظور کاهش سختی قاب خمشی، در یک دهانه از قابهای 4 دهانه، اتصال گیردار به اتصال ساده مفصلی تیر به ستون تبدیل شد. در اجرا این عمل را بوسیله برداشتن ورقهای بالا و پائین اتصال گیردار و یا بریدن بالهای تیر و باریک تر کردن آنها، تضعیف اتصال در ناحیه بال کششی و

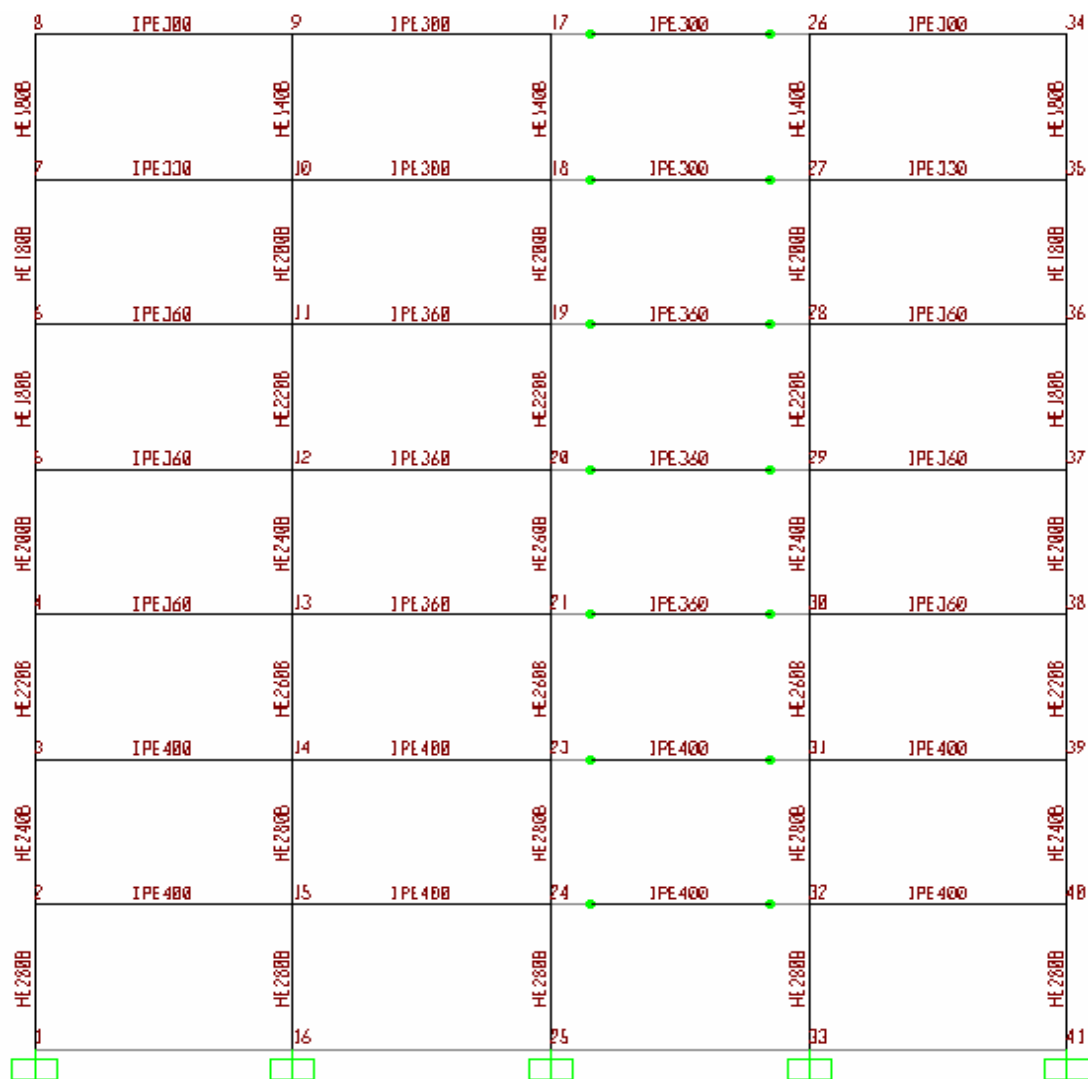
عملکرد مفصلی این ناحیه می توان اعمال کرد. در شکل (4-5)، (5-5) و (6-5) موقعیت مفصلها در سازه های مفروض نشان داده شده است.



شکل (4-5): موقعیت مفصلها در سازه 2 طبقه



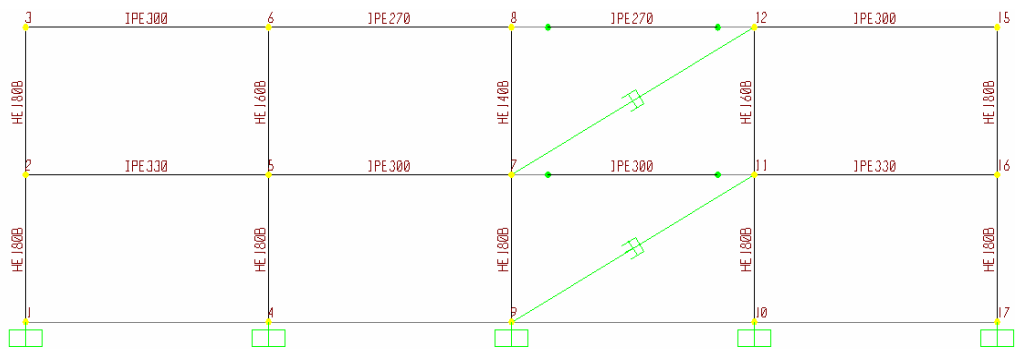
شکل (5-5): موقعیت مفصلها در سازه 4 طبقه



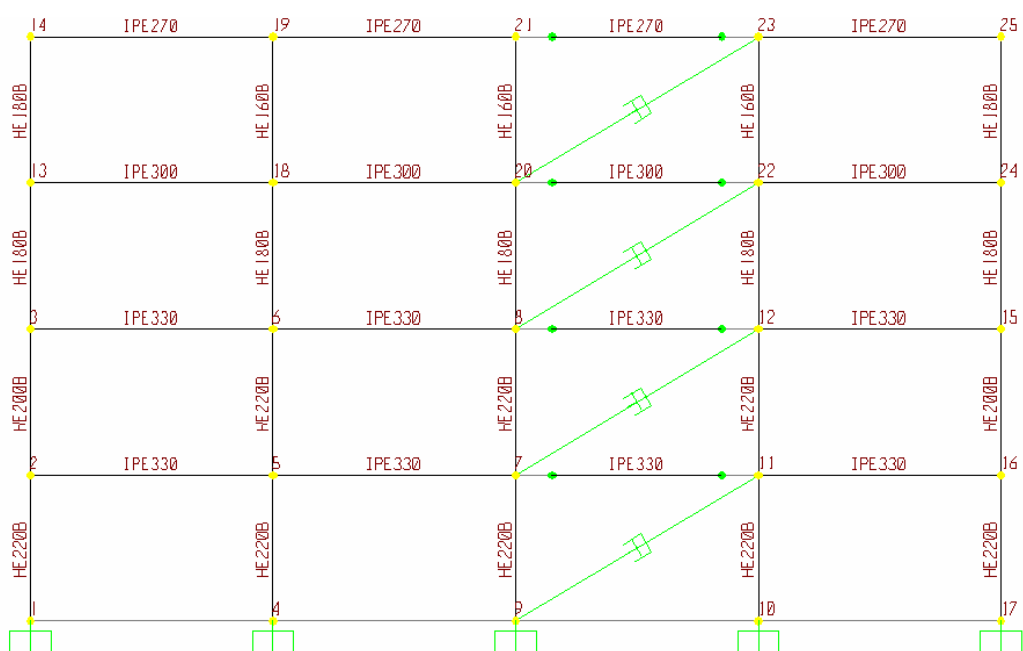
شکل (5-6): موقعیت مفصلها در سازه 7 طبقه

➤ سازه با سختی کاهش یافته به همراه میراگر (weakened+ damped):

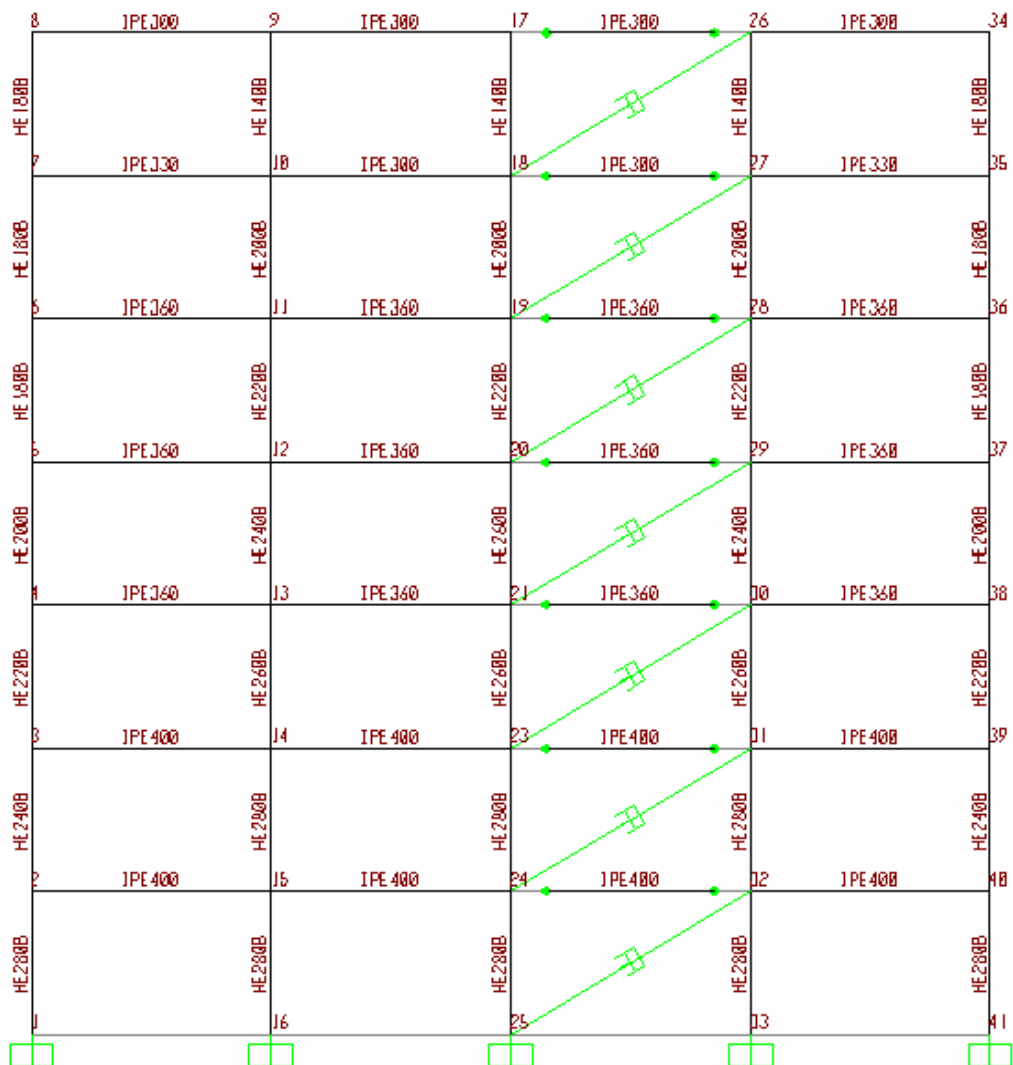
در این مرحله به سازه با سختی کاهش یافته میراگر ویسکوز اضافه می گردد. موقعیت مکانی میراگرها در سازه های مورد مطالعه در تمامی طبقات در دهانه با اتصال مفصلی در نظر گرفته شده است، همچنین در تمامی طبقات از یک نوع میراگر استفاده شده است (در واقع از توزیع یکنواخت میرایی در سازه استفاده شده است). محل قرار گیری میراگرها در سازه های مورد نظر در شکل های (5-7) الی (5-9) نشان داده شده است.



شکل (5-7): مکان میراگر در سازه 2 طبقه



شکل (5-8): مکان میراگر در سازه 4 طبقه



شکل (5-9): مکان میراگر در سازه 7 طبقه

طراحی میراگر برای سازه با سختی کاهش یافته در دو گام به شرح زیر انجام شده است:

گام 1) در این گام ابتدا میرایی مورد نیاز سازه را بدست می آوریم. زمان تناوب اصلی سازه های مورد

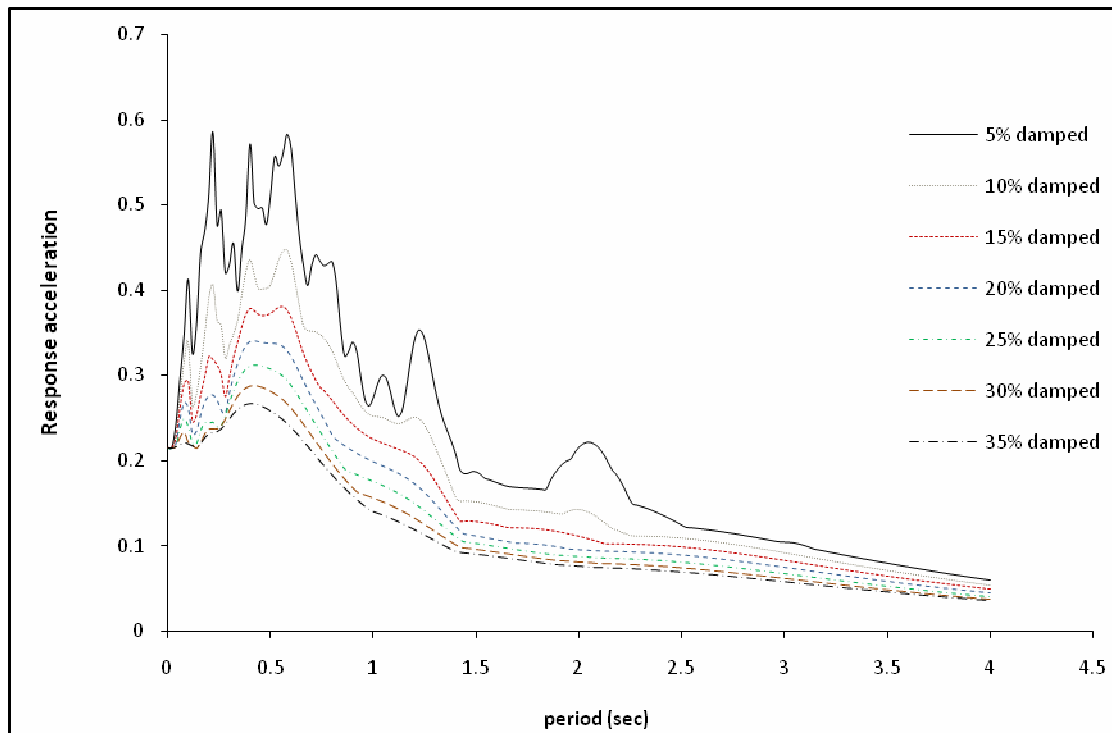
مطالعه بشرح زیر است :

$$T_{2STORY} = 0.81 \text{ sec}$$

$$T_{4STORY} = 1.19 \text{ sec}$$

$$T_{7STORY} = 1.58 \text{ sec}$$

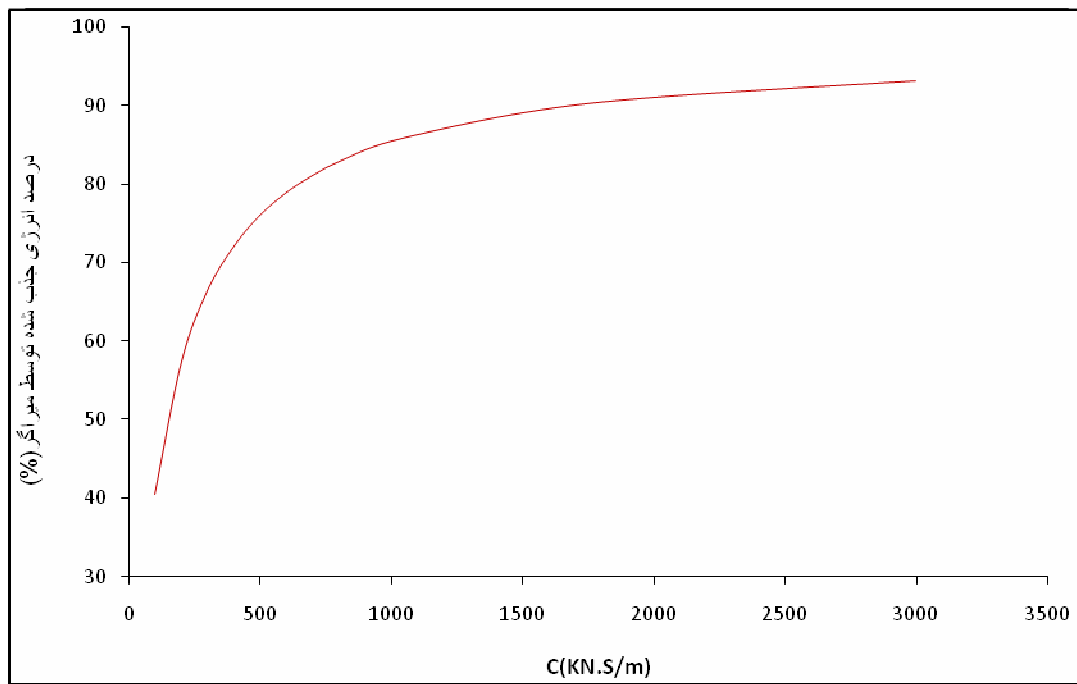
با استفاده از طیف پاسخ زلزله السنترو در میرایی های مختلف، میرایی موثر مورد نیاز هر سازه با استفاده از زمان تناوب اصلی همان سازه تخمین زده می شود. در نمودار شکل (5-10) میرایی های 5٪ تا 35٪ به طیف شتاب نگاشت السنترو اعمال شده است.



شکل (5-10): اعمال میرایی های مختلف بر طیف شتاب نگاشت زلزله السنترو با مقیاس $g/35/0$

همانگونه که در شکل (5-10) مشاهده می گردد با اعمال میرایی های 10٪، 15٪، 20٪ و 25٪ مقادیر شتاب روی نمودار کاهش یافته است و از میرایی 25٪ تا 35٪ مقادیر شتاب روی نمودار، به جز محدوده دوره تناوب 0/3 تا 0/8، در بقیه دوره تناوب ها کاهش چندانی ندارد. در نتیجه، به نظر می رسد برای سازه های مورد مطالعه، افزایش میرایی در مقادیر بالاتر از 25٪ تأثیری بر کاهش طیف شتاب نداشته و اعمال میرائیهای بالاتر ضروری نبوده و غیر اقتصادی محسوب می شود. البته، تعیین مقدار میرایی مورد نیاز با روش مذکور، تقریبی می باشد و مقدار دقیق میرایی لازم برای یک سازه به محاسبات دقیقتر و آنالیز دینامیکی نیازمند می باشد.

گام 2) در این مرحله ابتدا میراگر مورد نیاز برای جذب ماکزیموم انرژی ورودی سازه طراحی شده و سپس مقدار میرایی معادل ویسکوز ایجاد شده در سازه با میرایی مورد نیاز بدست آمده در گام 1 مورد مقایسه و کنترل قرار می گیرد. شکل (5-11) درصد انرژی جذب شده توسط میراگر را بر حسب ضرایب میرایی مختلف در سازه 2 طبقه نشان می دهد.



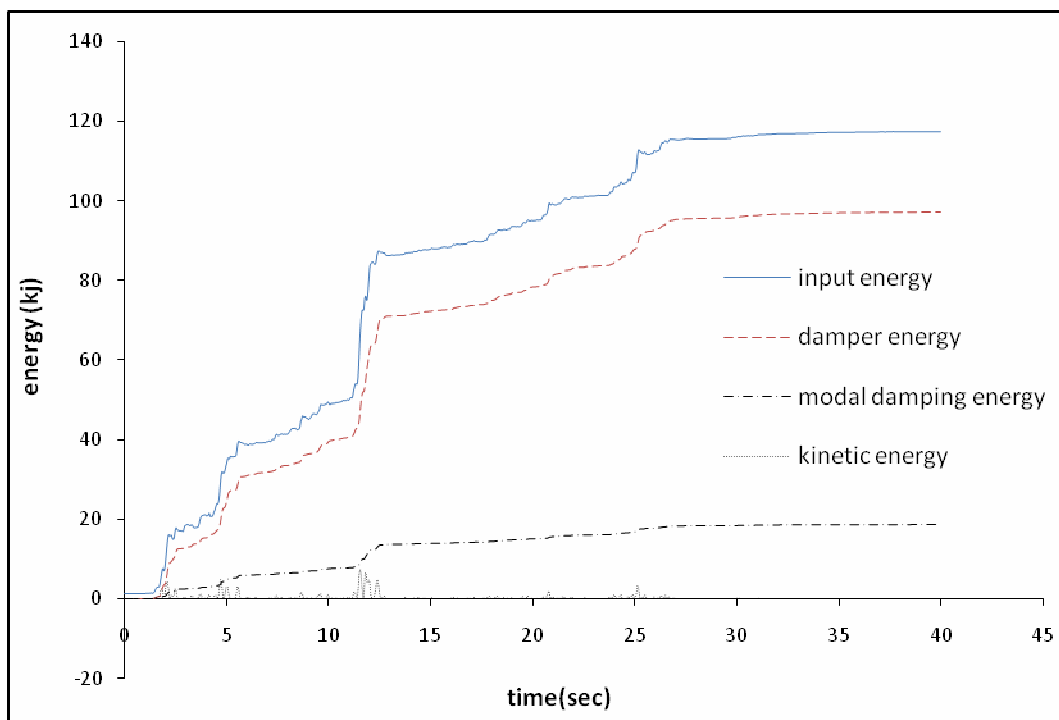
شکل (5-11): درصد انرژی های جذب شده توسط میراگر برای سازه 2 طبقه

منحنی شکل (5-11) با استفاده از نمودارهای انرژی درونی کل سازه به ازای ضرایب میرایی های مختلف بدست آمده است. محور عمودی نشانگر درصد انرژی جذب شده توسط میراگر می باشد که از تقسیم ماکزیموم انرژی جذب شده توسط میراگر (Dampner energy)، در پایان زمان زلزله السنترو (40 ثانیه) به ماکزیموم انرژی ورودی سازه (Input energy) بدست می آید. همانگونه که در شکل مشاهده می شود جذب انرژی توسط میراگر با افزایش ضریب میرایی افزایش یافته، تا جاییکه افزایش ضریب میرایی تأثیر چندانی بر جذب انرژی توسط میراگر ندارد و شیب نمودار تقریباً ثابت می شود.

برای انتخاب ضریب میرایی مناسب برای جذب بیشترین مقدار انرژی در سازه و همچنین ضریب میرایی متناسب با عملکرد خطی در سازه با استفاده از نمودار شکل (5-11) برای سازه 2 طبقه با انجام سعی و خطا و تحلیل دینامیکی غیر خطی ضریب میرایی 800 KN.S/m برای میراگرها در نظر گرفته شده است.

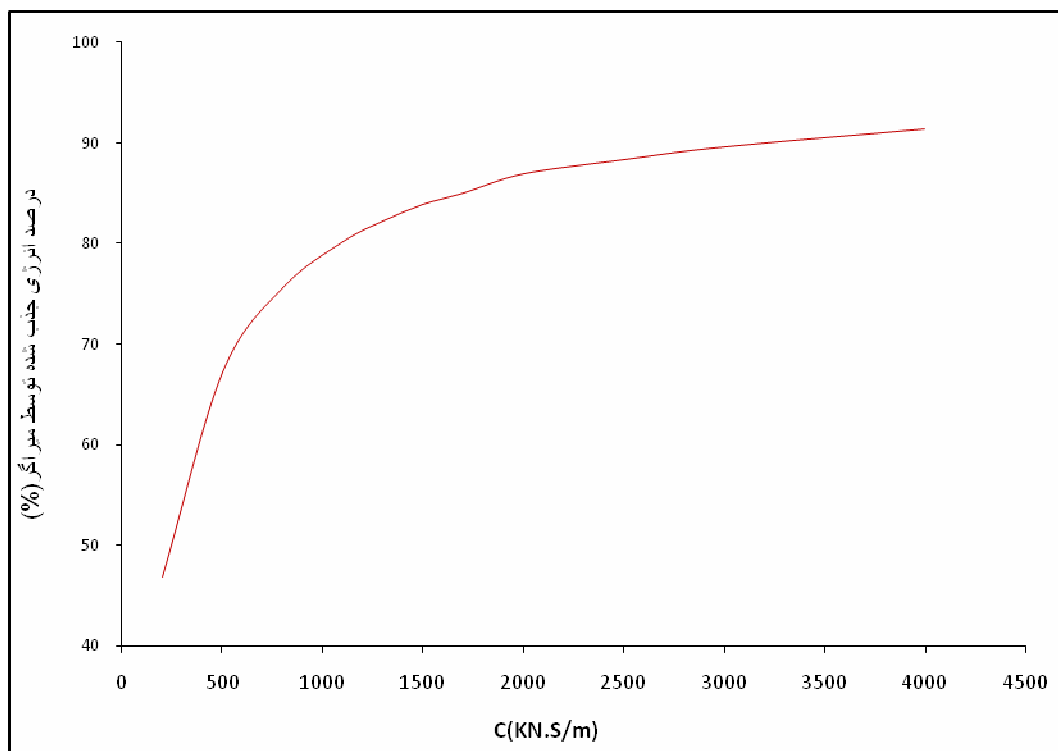
با انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی مشاهده میگردد ضرایب میرایی کمتر از 800 سطح عملکرد مورد نظر را تأمین نمی کند. همانگونه که در شکل (5-11) مشاهده میگردد درصد انرژی ورودی جذب شده توسط میراگر در نقطه مقابل ضریب میرایی 800 KN.S/m ، 82/86٪ می باشد و از آن پس تأثیر افزایش میرایی در جذب انرژی خیلی چشمگیر نبوده و غیر اقتصادی محسوب می گردد. با در نظر گرفتن ضریب میرایی مذکور، هم سطح عملکرد مورد نظر (خطی) تأمین می گردد و هم درصد زیادی از انرژی ورودی توسط میراگر جذب می شود.

شکل (5-12) منحنی انرژی درونی سازه شامل، انرژی ورودی (input energy)، انرژی جذب شده توسط میراگر (damper energy)، انرژی تلف شده در مودها به ازای 5٪ میرایی ذاتی سازه (modal energy) و انرژی جنبشی (kinetic energy) بر حسب زمان برای سازه 2 طبقه با میراگر طراحی شده را نشان می دهد.

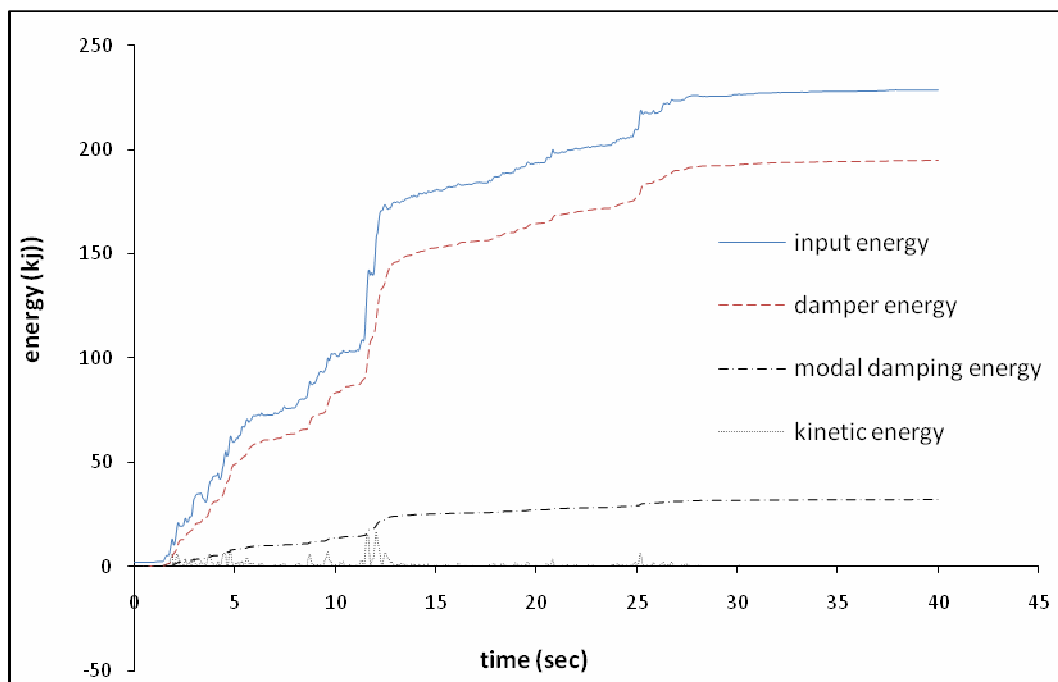


شکل (5-12): انرژی درونی سازه 2 طبقه

شکل (5-13) نمودار درصد انرژی جذب شده توسط میراگر را در سازه 4 طبقه نشان می دهد. مطابق این نمودار، برای این سازه ضریب میرایی 1700 KN.S/m در نظر گرفته شده است که معادل 85٪ انرژی ورودی زلزله را جذب می کند و همچنین سطح عملکرد مورد نظر را نیز تأمین می نماید. شکل (5-14) نیز منحنی انرژی درونی سازه 4 طبقه با میراگر 1700 KN.S/m را طی 40 ثانیه زلزله السنترو نشان می دهد.

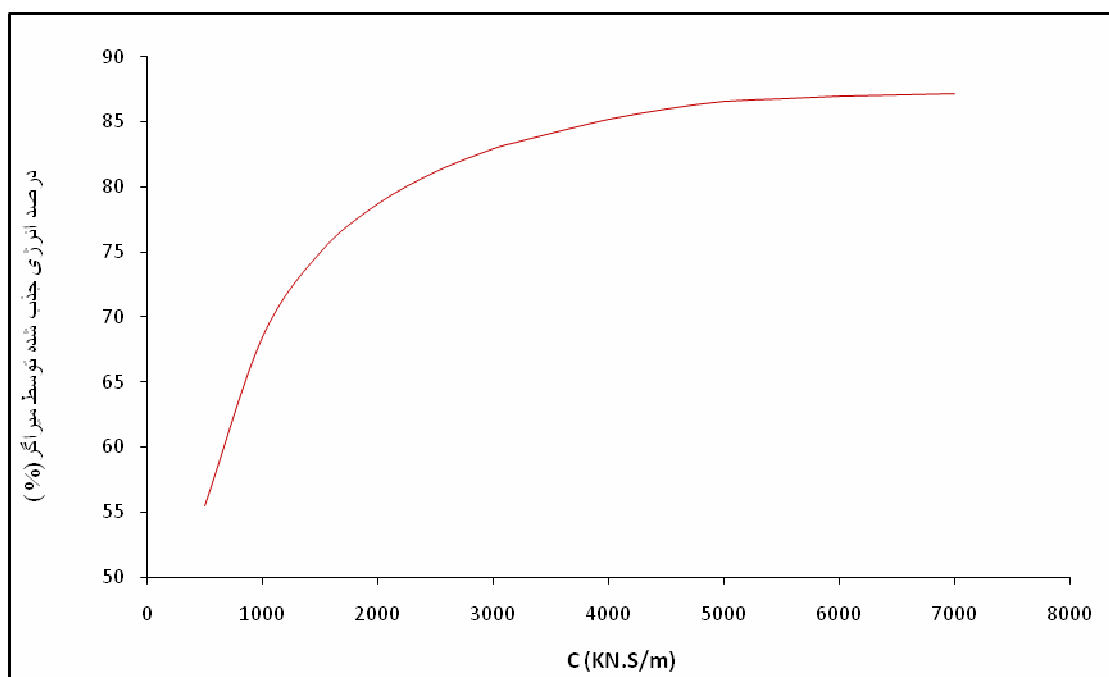


شکل (5-13): درصد انرژی های جذب شده توسط میراگر برای سازه 4 طبقه

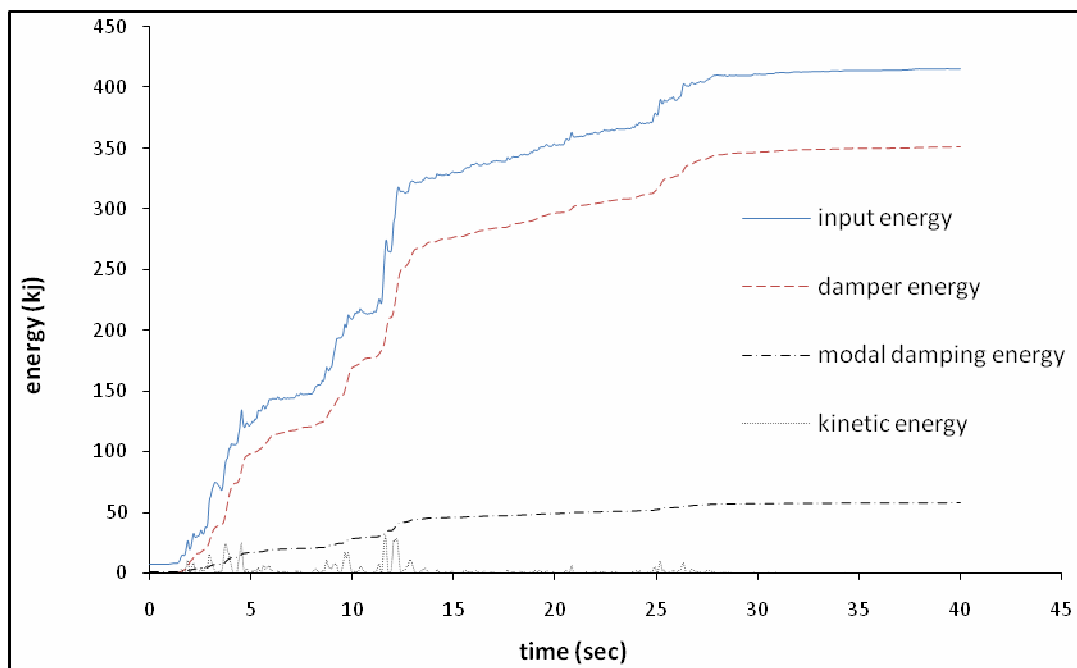


شکل (5-14): انرژی درونی سازه 4 طبقه

برای سازه 7 طبقه نیز، با توجه به نمودار درصد انرژی جذب شده توسط میراگر، شکل (5-15)، ضریب میرایی 3500 KN.S/m در نظر گرفته شده است که معادل 84٪ انرژی ورودی را جذب می کند و همچنین سطح عملکرد مورد نظر را نیز تأمین می نماید. شکل (5-16) نیز انرژی درونی سازه 7 طبقه را با میراگر مورد نظر نشان می دهد.



شکل (5-15): درصد انرژی های جذب شده توسط میراگر برای سازه 7 طبقه



شکل (5-16): انرژی درونی سازه 7 طبقه

میرایی موثر ویسکوز ایجاد شده در سازه های مورد مطالعه با استفاده از رابطه (3-15) بدست می آید که در سازه 2 طبقه میرایی معادل ایجاد شده توسط میراگر 26٪، در سازه 4 طبقه 24٪، و در سازه 7 طبقه 33٪ می باشد (روش محاسبه میرایی معادل در پیوست 1 ضمیمه شده است). با توجه به اعداد بدست آمده و میرایی مورد نیاز در نظر گرفته شده در گام 1 مشاهده می گردد، در قابهای 2 طبقه و 7 طبقه و میرایی ایجاد شده، میرایی مورد نیاز را تأمین می نماید ولی در سازه 4 طبقه میرایی معادل کمتر از میرایی مورد نیاز می باشد. این تفاوت جزئی می تواند بیانگر تقریب موجود در گام 1 باشد که می توان از آن صرف نظر نمود. همچنین در سازه 7 طبقه نیز میرایی ایجاد شده بیشتر از میرایی مورد نیاز در نظر گرفته شده در گام 1 می باشد که با استفاده از تحلیل دینامیکی مشاهده می گردد میرایی معادل 25٪ برای سازه 7 طبقه نمی تواند سطح عملکرد مورد نظر را تأمین نماید از اینرو با بالابردن ضریب میراگر، میرایی معادل موجود در سازه تا حد تأمین عملکرد خطی افزایش داده می شود تا میرایی معادل موجود در سازه به 33٪ برسد، که این میرایی متناظر با ضریب 3500 KN.S/m می باشد.

4-3-5- رفتار غیر خطی مصالح

رفتار غیر خطی سازه با تعریف مفاصل پلاستیک در مدل اعمال می شود این مفاصل در اجزای سازه و در موقعیتهایی که احتمال تشکیل مفصل پلاستیک وجود دارد، در نظر گرفته می شوند.

مفاصل پلاستیک در تیرها از نوع خمشی و در دو موضع ابتدا و انتهای تیر پیش بینی شده است برای ستونها نیز مفاصل پلاستیک از نوع خمشی - محوری در دو موضع ابتدا و انتها معرفی شده است.

در ستونها دو مفصل محوری - خمشی در ابتدا و انتهای ستون اختصاص می دهیم که برای تعریف منحنی رفتاری اعضای محوری - خمشی ابتدا سازه را تحت ترکیبات بار ثقلی تعریف شده در قسمت قبل تحلیل کرده و مقدار نیروی فشاری موجود در ستون را بدست آورده و با توجه به نیروی فشار موجود در ستون و سایر مشخصات ستون از جدول 6-8 دستور العمل بهسازی استفاده شده [29] و مقادیر مربوط به معیارهای پذیرش و منحنی رفتاری عضو از جدول مذکور استخراج می شود و به عنوان معیارهای پذیرش و منحنی رفتاری در نرم افزار استفاده می شود. لازم به ذکر است در تعریف مفاصل محوری - خمشی فوق مقادیر نیروی فشاری ولنگر خمشی ستون توسط دیاگرام اندرکنش ستون توسط نرم افزار محاسبه می گردد.

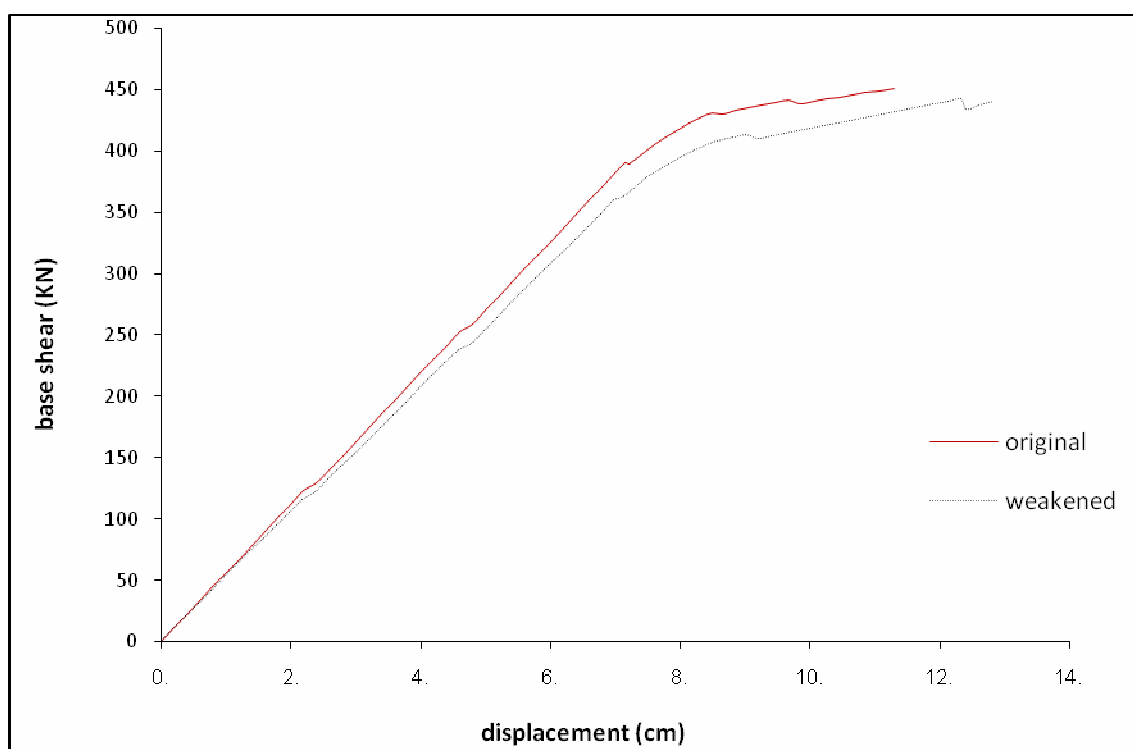
در تیرها مطابق آنچه گفته شده دو مفصل خمشی در ابتدا و انتهای عضو تعریف می کنیم و مقادیر دقیق مربوط به منحنی رفتاری و معیارهای پذیرش عضو را همانند ستونها به روش سعی و خطا بدست می آوریم.

4-5- نتایج در روش استاتیکی فزاینده غیر خطی:

بعد از کامل شدن مدلها در سه حالت مذکور و انجام آنالیز استاتیکی غیر خطی تحلیل نتایج با استفاده از منحنی برش پایه - تغییر مکان و منحنی طیف ظرفیت به شرح زیر انجام گرفته است.

1-4-5- منحنی برش پایه - تغییر مکان:

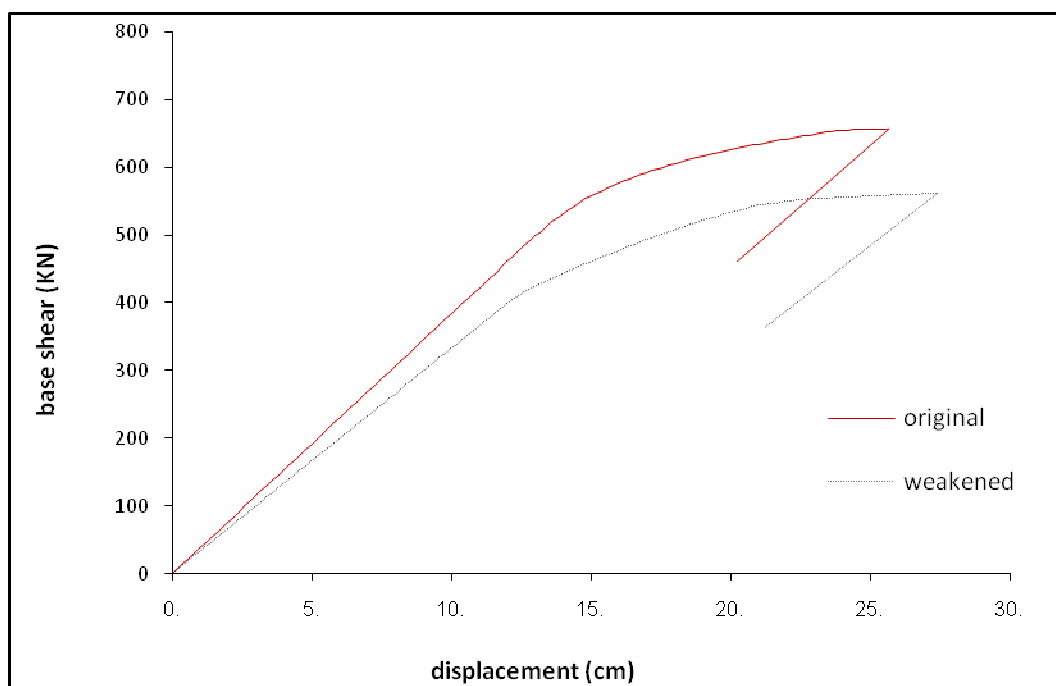
پس از شروع تحلیل استاتیکی غیر خطی (pushover) اعمال بار جانبی تا جایی ادامه پیدا می کند که ظرفیت سازه در تغییر مکان های بزرگ تا حد 1 متر بررسی گردد، از اینرو مقدار تغییر مکان هدف در هر یک از سازه ها برابر 1 متر در نظر گرفته شده است. منحنی های برش پایه - تغییر مکان سازه های 2، 4 و 7 طبقه در اشکال (5-17) الی (5-19) آمده است.



شکل (5-17): منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 2 طبقه

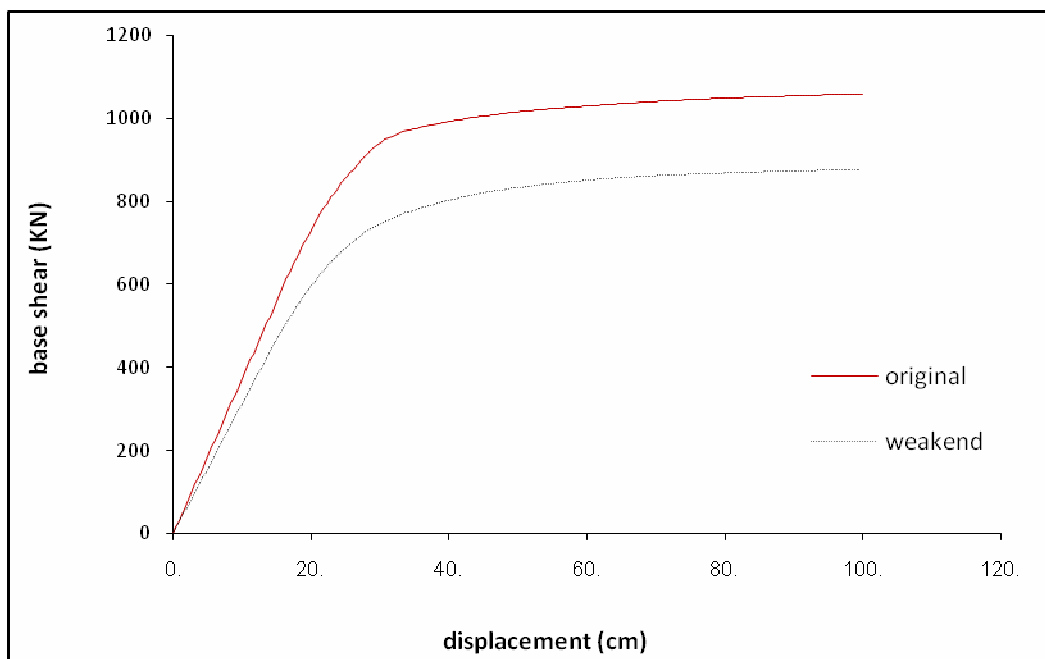
با توجه به شکل (5-17) مشاهده می گردد کاهش سختی سازه 2 طبقه منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه مقدار کمی بسمت پایین آمده و برش پایه کاهش می یابد. بعنوان مثال برش پایه متناظر با تغییر مکان 10 cm در سازه اولیه 440 KN و در سازه با سختی کاهش یافته 418 KN می باشد که حدود 5٪ نسبت به سازه اولیه کاهش یافته است و این کاهش برش پایه با وارد شدن در ناحیه غیر خطی شدت می یابد. همچنین مشاهده می گردد ماکزیموم تغییر مکان وارده به سازه در حالت

اولیه 11/29 cm ولی در حالت کاهش یافته 12/82 cm می باشد که نسبت به تغییر مکان سازه اولیه 13/5 % افزایش یافته است. شکل (5-18) منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 4 طبقه را نشان می دهد.



شکل (5-18): منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 4 طبقه

با توجه به شکل (5-18) مشاهده می گردد، در سازه 4 طبقه نیز با کاهش سختی سازه مقادیر برش پایه کاهش یافته است، همچنین پس از ایجاد ماکزیموم تغییر شکل در سازه نمودار برش پایه - تغییر مکان رفتاری متفاوت داشته و کاهش برش پایه به همراه کاهش تغییر مکان در نمودار مشاهده می گردد که این بدلیل افت مقاومت مصالح در سازه می باشد. همچنین مشاهده می گردد ماکزیموم تغییر مکان ایجاد شده در سازه با سختی کاهش یافته 21/2 cm می باشد که حدود 5% از ماکزیموم تغییر مکان سازه اولیه که 20/23 cm می باشد بیشتر است. شکل (5-19) نیز منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 7 طبقه را نشان می دهد.



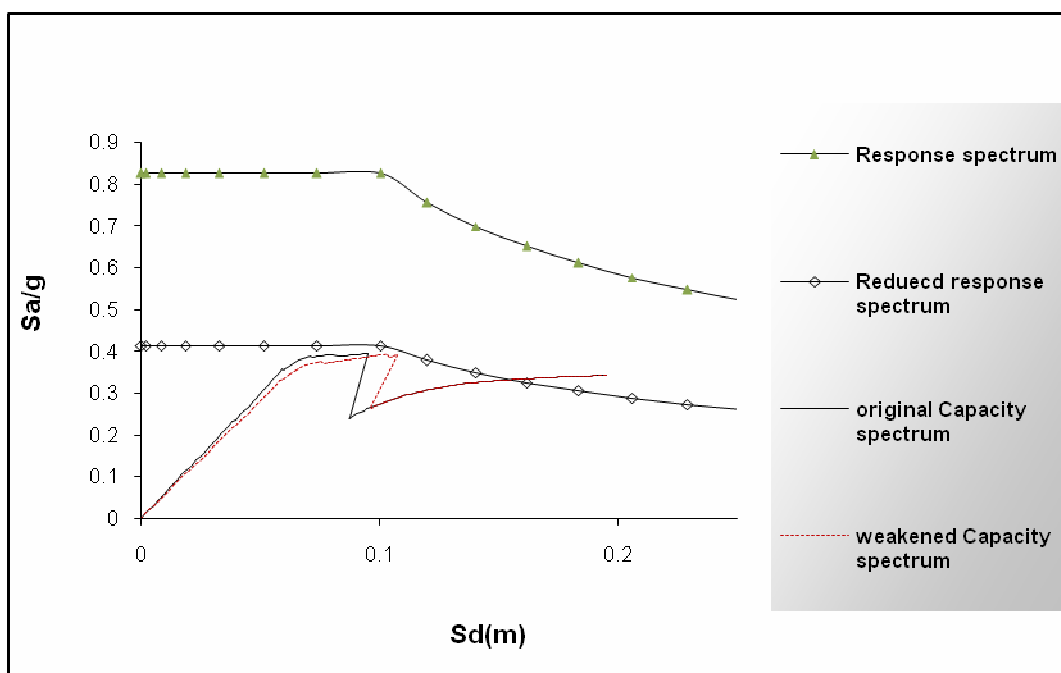
شکل (5-19): منحنی برش پایه - تغییر مکان سازه 7 طبقه

با توجه به شکل (5-19) در سازه 7 طبقه نتایج مشابهی با سازه 2 طبقه و 4 طبقه دیده می شود، و با کاهش سختی برش پایه سازه کاهش می یابد ماکزیموم تغییر مکان سازه اولیه و سازه کاهش یافته 1 متر می باشد که هر دو سازه با تشکیل مفاصل زیاد جابجایی 1 متر (جابجایی هدف) را متحمل می شوند، با توجه به نمودار به ازای یک تغییر مکان معین مثلاً 25 cm، برش پایه در سازه با سختی کاهش یافته حدود 690 KN می باشد که حدود 25 درصد از برش پایه سازه اولیه بیشتر می باشد. همچنین با توجه به نمودار های (5-17) الی (5-19)، نتیجه گرفته می شود با افزایش ارتفاع سازه، میزان کاهش برش پایه در سازه با سختی کاهش یافته محسوس تر می باشد. بعنوان مثال در تغییر مکان معین 10 cm با اعمال کاهش سختی در سازه 2 طبقه، 4 طبقه و 7 طبقه برش پایه به ترتیب به میزان 5٪، 13/5٪ و 17٪ کاهش می یابد.

5-4-2- منحنی ظرفیت و نقطه عملکرد:

در اینجا به بررسی نقطه عملکرد سازه اولیه و سازه بهسازی شده در مراحل مختلف بهسازی از طریق منحنی ظرفیت پرداخته می شود.

شکل های (20-5) الی (22-5) منحنی های ظرفیت سازه اولیه و سازه با کاهش سختی را نشان می دهد این نمودار ها شامل طیف طرح استاندارد 2800 با میرایی های در نظر گرفته شده برای هر یک از سازه ها می باشد.

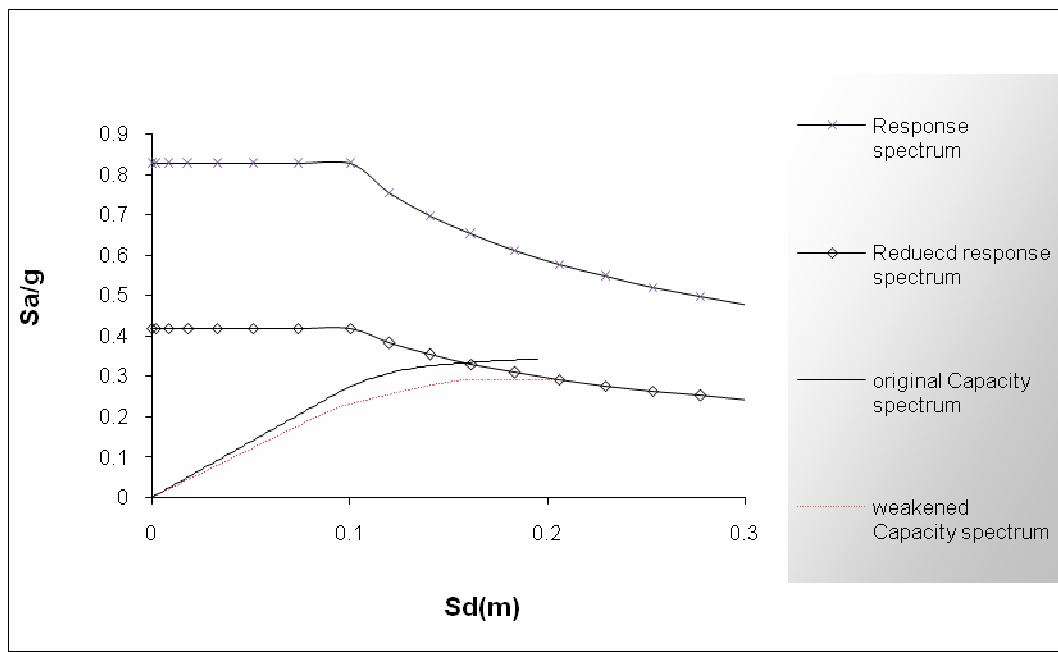


شکل (20-5): منحنی ظرفیت و طیف طرح سازه 2 طبقه

با توجه به شکل (20-5)، مشاهده می شود منحنی ظرفیت سازه 2 طبقه در مرحله اول بهسازی (کاهش سختی) نسبت به سازه اولیه مقداری به سمت راست شیفت یافته است، یعنی با کاهش سختی سازه، تغییر مکانها افزایش یافته است. همچنین یک افت ناگهانی در منحنی ظرفیت سازه اولیه و سازه با سختی کاهش یافته مشاهده می گردد و بعد از این افت، منحنی های ظرفیت بر هم منطبق می باشند، همچنین مشاهده می شود در ناحیه قبل از ایجاد افت، با کاهش سختی در سازه مقادیر شتاب به میزان ناچیزی کاهش می یابد.

با توجه به طیف طرح استاندارد بدون میرایی دیده می شود هیچیک از دو نمودار ظرفیت سازه اولیه و سازه با سختی کاهش یافته طیف طرح را قطع نمی کند ولی در طیف طرح با میرایی 26٪ (معادل میرایی میراگرهای اضافه شده) مقادیر شتاب طیفی کاهش یافته و منحنی های ظرفیت، طیف طرح را قطع می نماید. این نشان می دهد با اعمال کاهش سختی در مرحله اول و افزایش میرایی در مرحله دوم بهسازی، نقطه عملکرد سازه بهبود یافته است.

نقطه عملکرد سازه، نقطه برخورد منحنی ظرفیت با طیف طرح استاندارد می باشد که در سازه اولیه منحنی، طیف را قطع نمی کند ولی با اعمال میرایی به طیف منحنی ظرفیت سازه با کاهش سختی، طیف را در نقطه $15/6 \text{ cm}$ قطع می کند. در واقع با بهسازی سازه به روش پیشنهادی، نیاز لرزه ای سازه اعم از شتاب و تغییر مکان سازه کاهش داده میشود. شکل (5-21) نیز منحنی ظرفیت و طیف طرح را برای سازه 4 طبقه نشان می دهد.

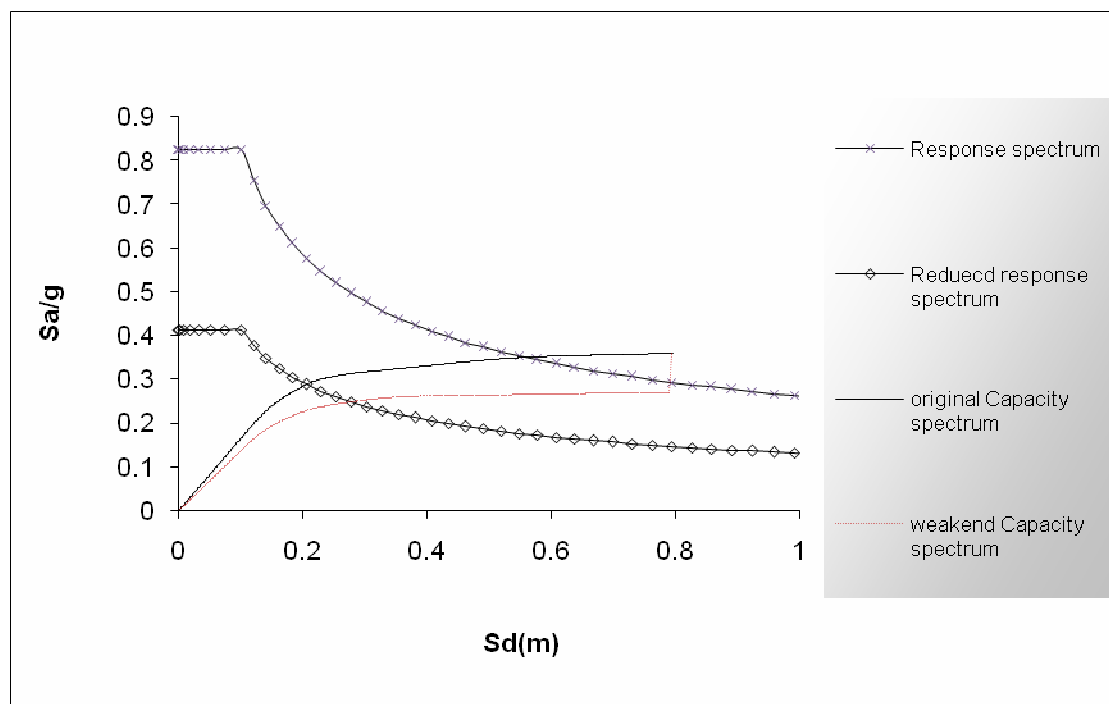


شکل (5-21): منحنی ظرفیت و طیف طرح سازه 4 طبقه

چنانچه در شکل (5-21) مشاهده میگردد، منحنی ظرفیت سازه 4 طبقه تا نقطه $19/5 \text{ cm}$ پیش میرود و طیف طرح استاندارد 2800 را قطع نمیکند، که این بیانگر ضعیف بودن سازه است، با کاهش

سختی سازه، مقادیر شتاب روی طیف ظرفیت کاهش می یا بد ولی همچنان منحنی ظرفیت سازه با سختی کاهش یافته نیز طیف طرح را قطع نمی نماید.

در مرحله دوم بهسازی با اعمال میرایی 24٪ (معادل میراگرهای به کاررفته)، مقادیر طیف طرح کاهش می یابند، در واقع نیاز لرزه ای سازه کاهش یافته و منحنی ظرفیت سازه با سختی کاهش یافته در نقطه 20/5 cm قطع میکند که شتاب متناظر با آن 0/28g میباشد. این مطلب بیانگر بهبود عملکرد سازه با روش پیشنهادی بهسازی می باشد. در شکل (5-22) منحنی ظرفیت و طیف طرح برای سازه 7 طبقه نشان داده شده است.

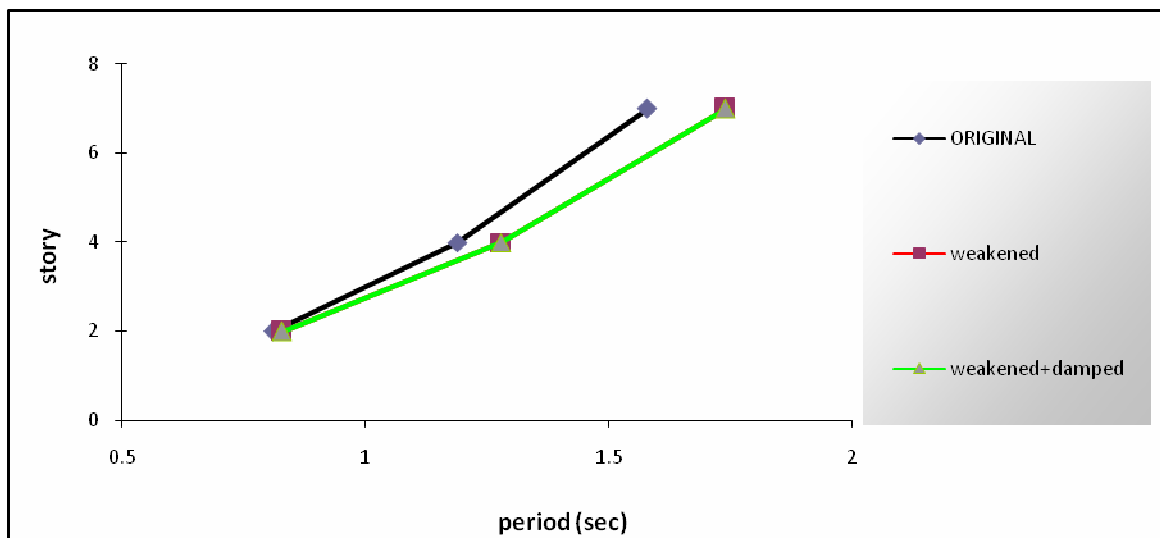


شکل (5-22): منحنی ظرفیت و طیف طرح سازه 7 طبقه

مطابق شکل (5-22)، منحنی ظرفیت سازه 7 طبقه طیف طرح استاندارد را در نقطه تقریبی 56 cm قطع مینماید که شتاب متناظر با آن 0/35g می باشد. در مرحله اول بهسازی با اعمال کاهش سختی، منحنی ظرفیت پایین تر آمده و مقادیر شتاب روی نمودار به ازای یک تغییر مکان معین کاهش می یابد، بعنوان مثال به ازای تغییر مکان 56 cm مقدار شتاب به 0/26g میرسد که 25٪ نسبت به

شتاب سازه اولیه کاهش یافته است و این مطلب تاثیر مثبت کاهش سختی را در کاهش شتاب نشان می دهد، ولی منحنی ظرفیت سازه با سختی کاهش یافته طیف استاندارد را قطع نمی نماید. در مرحله دوم بهسازی با اعمال میرایی به طیف طرح به میزان 33٪ (میرایی معادل میراگرهای به کار رفته) مقادیر شتاب روی طیف کاهش یافته و منحنی ظرفیت سازه با سختی کاهش یافته، طیف را در نقطه 28 cm متناظر با شتاب طیفی 0/24g قطع می نماید که جابه جایی و شتاب نسبت به سازه اولیه به ترتیب 50٪ و 31٪ کاهش یافته اند. با توجه به مطالب ذکر شده نقطه عملکرد سازه 7 طبقه نیز با بهسازی به روش پیشنهادی به میزان قابل توجهی بهبود یافته است.

از مقایسه قابهای 2، 4 و 7 طبقه مشاهده می گردد با افزایش طبقات، تاثیر این روش بهسازی روی بهبود عملکرد سازه افزایش می یابد و نتایج محسوس تر میباشد.



شکل (5-23): اثر کاهش سختی در افزایش دوره تناوب اصلی قابهای مطالعه شده

شکل (5-23) اثر کاهش سختی را در افزایش دوره تناوب اصلی قابهای مطالعه شده نشان میدهد. همانطور که انتظار میرود کاهش سختی روی پریود طبیعی سازه تاثیر می گذارد و باعث افزایش مقدار آن می شود، همچنین به کار گیری میراگر ویسکوز تاثیر روی پریود طبیعی سازه ندارد از اینرو

نمودار پیروید طبیعی سازه با میراگر و بدون میراگر بعد از اعمال کاهش سختی بر هم منطبق می باشد.

5-5- تحلیل دینامیکی غیر خطی

5-5-1- کلیات تحلیل دینامیکی غیر خطی

در تحلیل دینامیکی غیرخطی همانند استاتیکی غیرخطی ترکیبات بار شامل دو حد بالا و پایین بار ثقلی با نیروی زلزله می باشد که در روابط 5-1 و 5-2 بیان شدند. در این تحلیل نیز جمع آثار قوا صحت کاملی ندارد، بنابراین ابتدا بارهای ثقلی بر سازه اعمال گشته سپس تاریخچه زمانی شتاب اعمال می گردد. همچنین رفتار غیر خطی قابها با تعریف مفاصل پلاستیک کاملاً مشابه با حالت استاتیکی در نظر گرفته شده است. با توجه به انتخاب مشخصات مشابه برای مفاصل، ضوابط موجود در بند 5-3-4 در این قسمت نیز تکرار می گردد. در این بخش نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی برای مطالعه قابهای مذکور مورد مطالعه قرار می گیرد که بر این اساس با توجه به بررسی رفتار مدل در برابر زلزله های مختلف درک بسیار مفیدی از پاسخ سازه ارائه خواهد شد، ضمناً معایبی چون در نظر گرفتن تنها یک چهارم سیکل بارگذاری که در روش استاتیکی غیر خطی دیده می شود در این روش وجود ندارد.

اصولاً تحلیل دینامیکی غیرخطی پارامترهای بسیار بیشتری در مقایسه با دیگر تحلیل ها دارد و پاسخ سازه به انتخاب وصحت این پارامترها حساس است. نرم افزار SAP 2000 قابلیت تحلیل دینامیکی را پیش بینی نموده و در نسخه 11.0.8 این نرم افزار، این قابلیت تقویت شده است.

تحلیل تاریخچه زمانی در SAP2000 علاوه بر تنظیمات و پارامترهای مربوط به تحلیل، به توابع بار و شتاب از پیش تعریف شده نیز نیاز دارد. در این پژوهش هفت شتاب نگاشت طبس، منجیل، ناقان، السنترو، سن فرناندو، لوما پریتا و نورتریج انتخاب شده و الگوهای رفتار غیر خطی، تشکیل مفاصل

خمیری، سطوح عملکرد سازه، و تغییرات شتاب، برش پایه و تغییر مکان سازه در سه حالت مورد مقایسه و همچنین مقادیر تغییر مکان نسبی طبقات در مدل‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است.

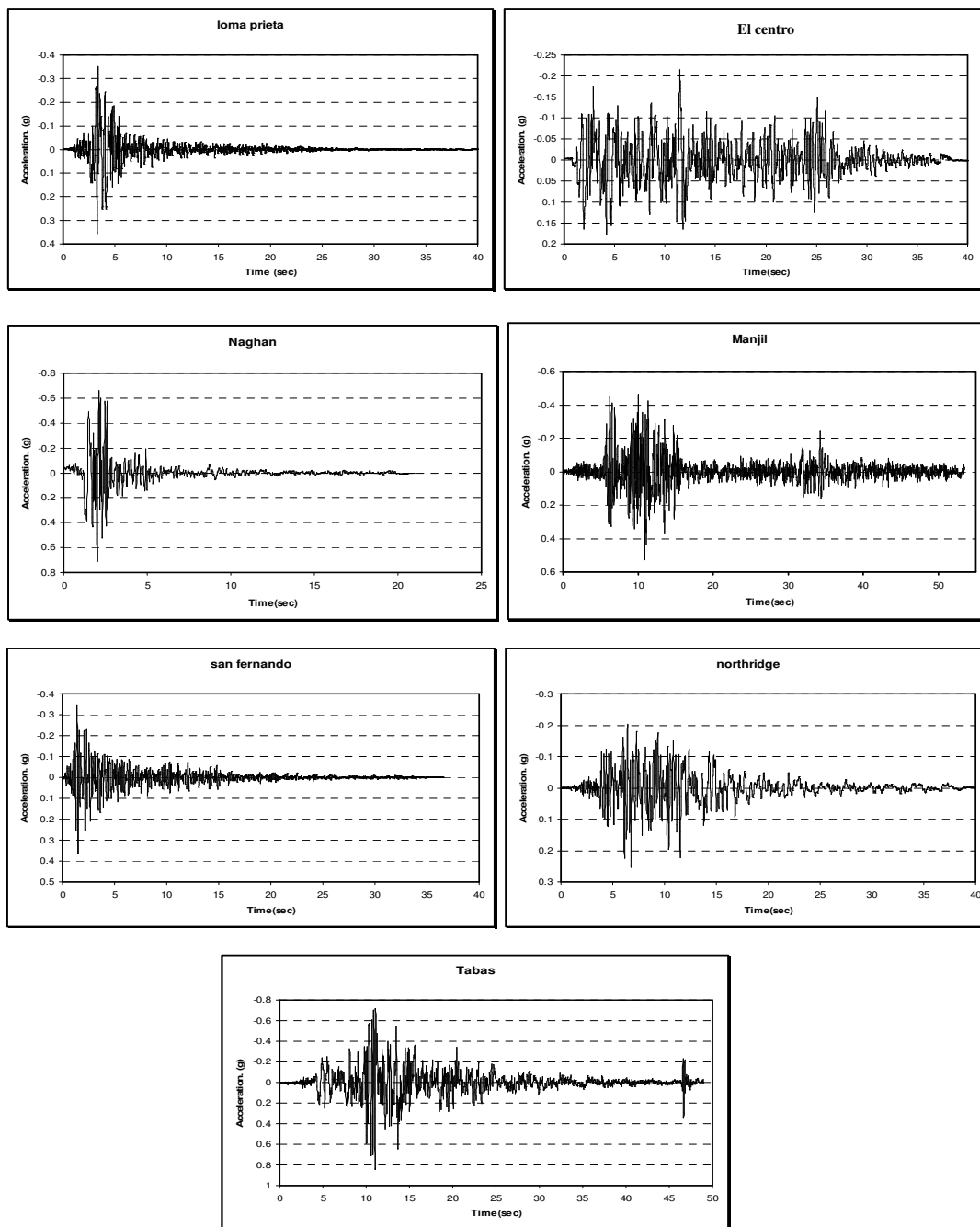
5-5-2- انتخاب شتاب نگاشته‌ها و مقیاس کردن آنها

در تحلیل تاریخچه زمانی، پاسخ سازه با استفاده از روابط دینامیکی در گام‌های زمانی کوتاه محاسبه می‌شود. برای تحلیل دینامیکی گام به گام تاریخچه زمانی، بارگذاری زلزله با به کار بستن شتابهای ثبت شده زمین اعمال می‌شود. تجربه نشان داده است که نتایج تحلیل مذکور به تغییرات شتاب زمین حساس می‌باشد. در این پژوهش هفت شتاب نگاشت انتخاب شده است که با توجه به ضوابط FEMA356 و دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود متوسط مقدار پاسخها به عنوان نتیجه تحلیل ملاک قرار می‌گیرد.

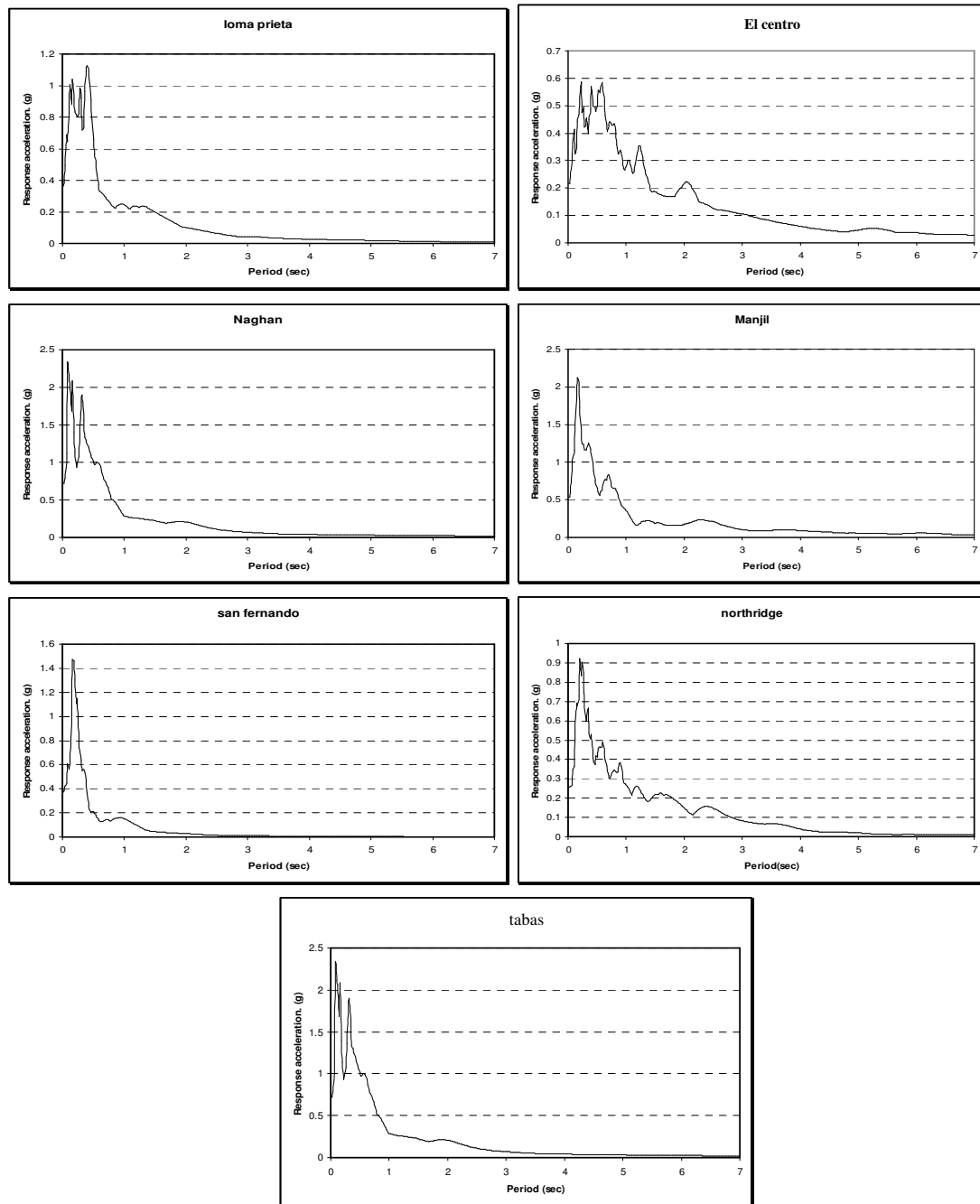
اصولاً شتاب نگاشتهایی که برای تحلیل دینامیکی غیرخطی انتخاب می‌شوند باید از نظر محتوای فرکانسی، پاسخ طیفی و دوام جنبش مشابه زلزله هایی باشند که امکان رویداد آنها در منطقه مورد نظر وجود دارد و در انتخاب زمان دوام جنبش ضرورت دارد تا ویژگی های زمین ساختی ساختگاه، مورد توجه قرار گیرد.

همچنین جهت مقایسه دقیق تر با تحلیل های استاتیکی غیر خطی لازم است تا این شتاب نگاشت ها مقیاس شوند.

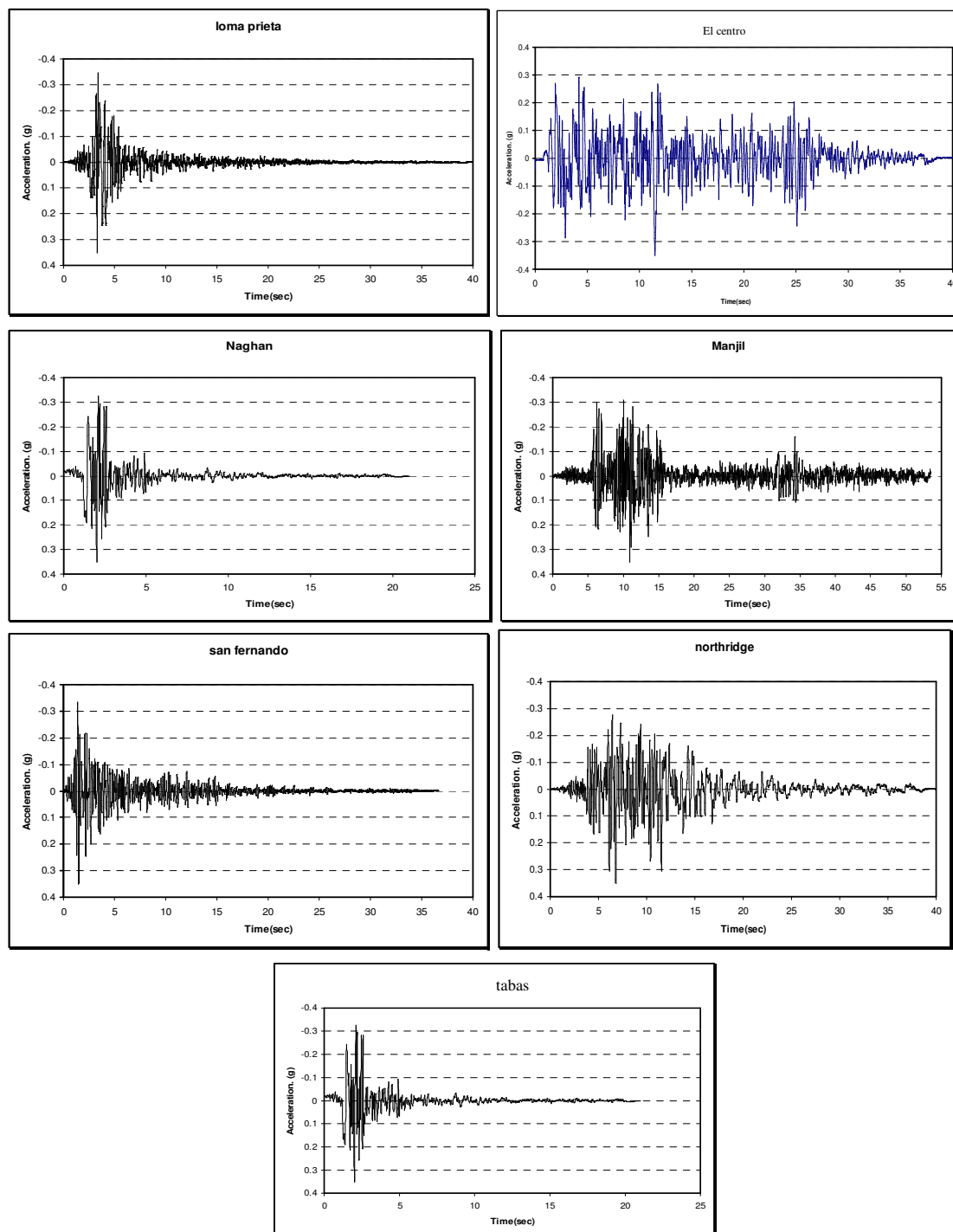
در این پژوهش شتاب نگاشت زلزله های انتخاب شده به حداکثر شتاب $0/35g$ مقیاس شده اند. در شکل (5-24) شتاب نگاشت های این زمین لرزه ها قبل از مقیاس شدن نشان داده شده اند. در شکل (5-256) نیز طیف پاسخ هر یک از این زمین لرزه ها قبل از مقیاس شدن مشاهده می‌شود. در شکل (5-26) شتاب نگاشت زمین لرزه ها پس از آنکه به $0/35g$ مقیاس شده اند ارائه شده است. در شکل (5-27) نیز طیف پاسخ زمین لرزه ها پس از آنکه به $0/35g$ مقیاس شده اند نشان داده شده است.



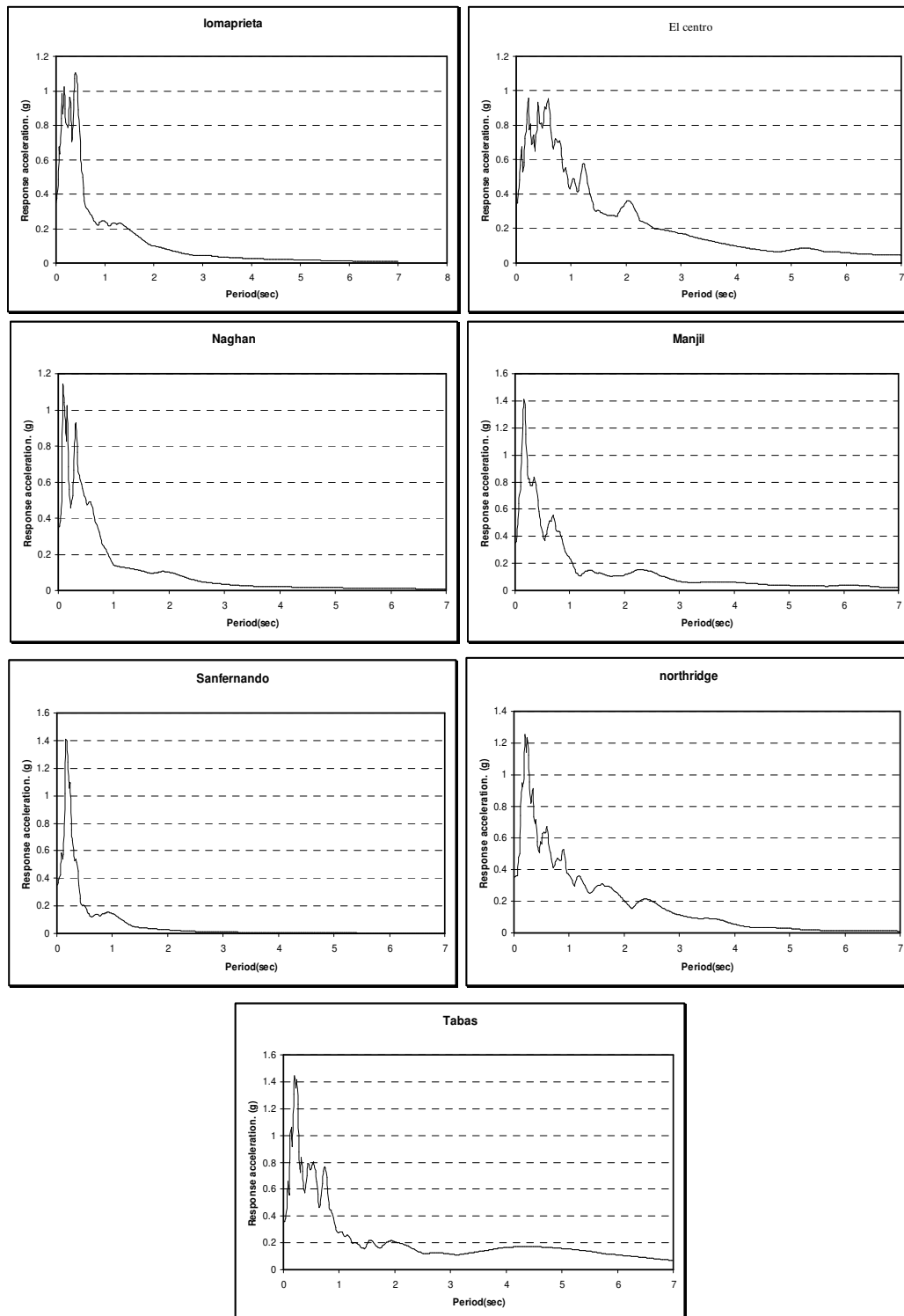
شکل (5-24): شتاب نگاشت های زمین لرزه ها قبل از مقیاس شدن



شکل (5-25): طیف زمین لرزه ها قبل از مقیاس شدن با میرایی 5٪



شکل (5-26): شتاب نگاشت های زمین لرزه ها بعد از مقیاس شدن

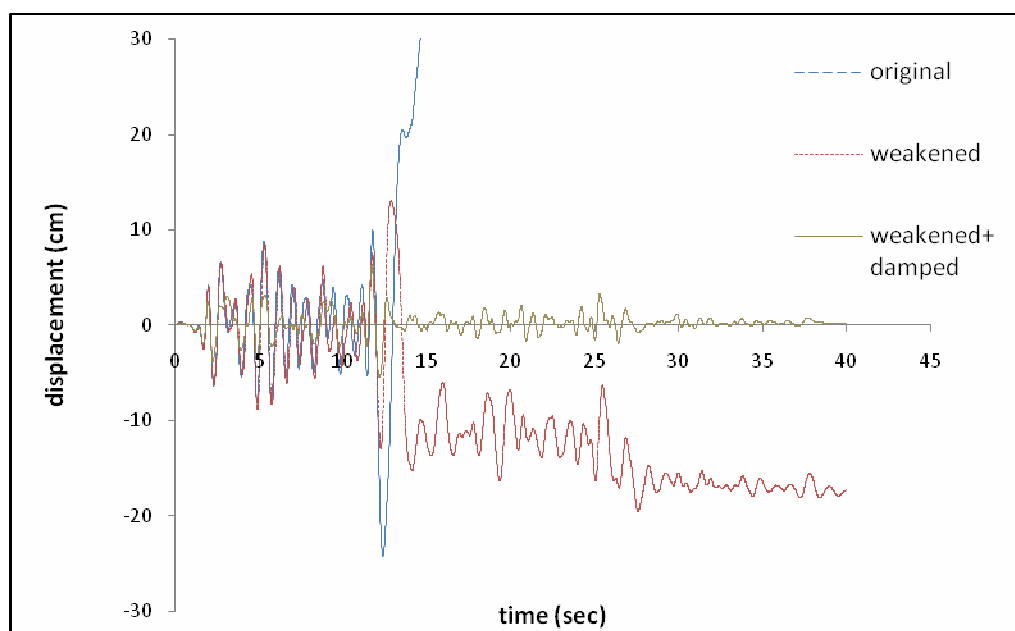


شکل (5-27): طیف زمین لرزه ها بعد از مقیاس شدن با میرایی 5٪

3-5-5- نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی

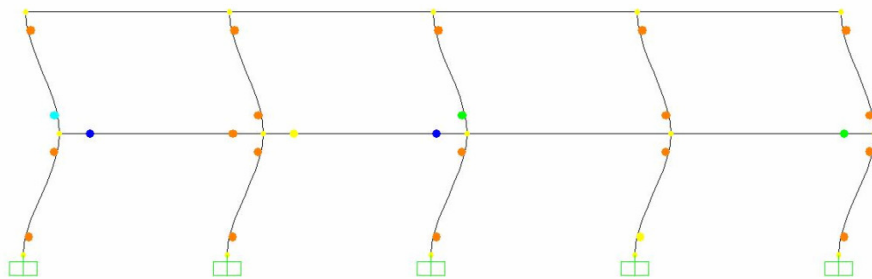
پس انجام آنالیزهای غیرخطی با شتاب نگاشت های ذکر شده در بند 2-5-5 در این قسمت نتایج آنالیز بررسی و مقایسه می گردد. این نتایج شامل تاریخچه تغییر مکان، شتاب، برش پایه و سطوح عملکرد سازه در قابهای اولیه (original)، با سختی کاهش یافته (weakened) و کاهش سختی به همراه میراگر (weakened+damped) می باشد.

در اینجا الگوی تشکیل مفاصل قابهای مورد مطالعه در سه حالت اولیه، سازه با کاهش سختی و سازه با کاهش سختی به همراه میراگر تحت شتاب نگاشت السنترو و بررسی می گردد. نمودار شکل (5-5) الگوی تشکیل مفاصل و شکل (5-28) تاریخچه جابجایی طبقه بام سازه 2 طبقه را تحت شتاب نگاشت السنترو نشان می دهد. مطابق شکل (5-28) سازه 2 طبقه تحت زلزله السنترو، تا زمان 18/42 ثانیه مقاومت کرده و از آن پس فرو می ریزد، و تغییر مکان های سازه در لحظه فرو پاشی بسیار زیاد است، درحالیکه با اعمال کاهش سختی با اینکه سازه از حال تعادل خارج می شود ولی تا پایان تاریخچه شتاب نگاشت قادر به پاسخگویی است.

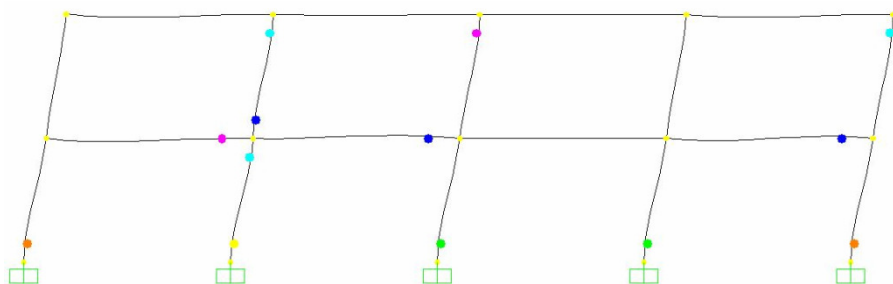


شکل (5-28): تاریخچه تغییر مکان سازه 2 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت

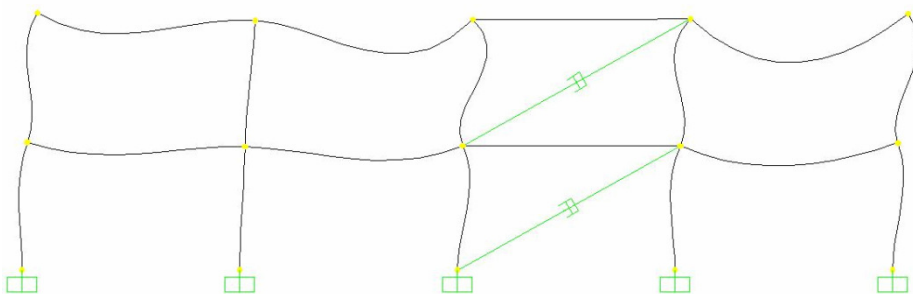
شکل (5-28) نشان می دهد با کاهش سختی نیروهای درون اجزای سازه کمتر شده و سازه می تواند مدت زمان بیشتری به زلزله پاسخگو باشد و با افزایش میرایی در مرحله دوم، مقدار ماکزیموم جابجایی به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.



شکل (5-29 الف)



شکل (5-29 ب)

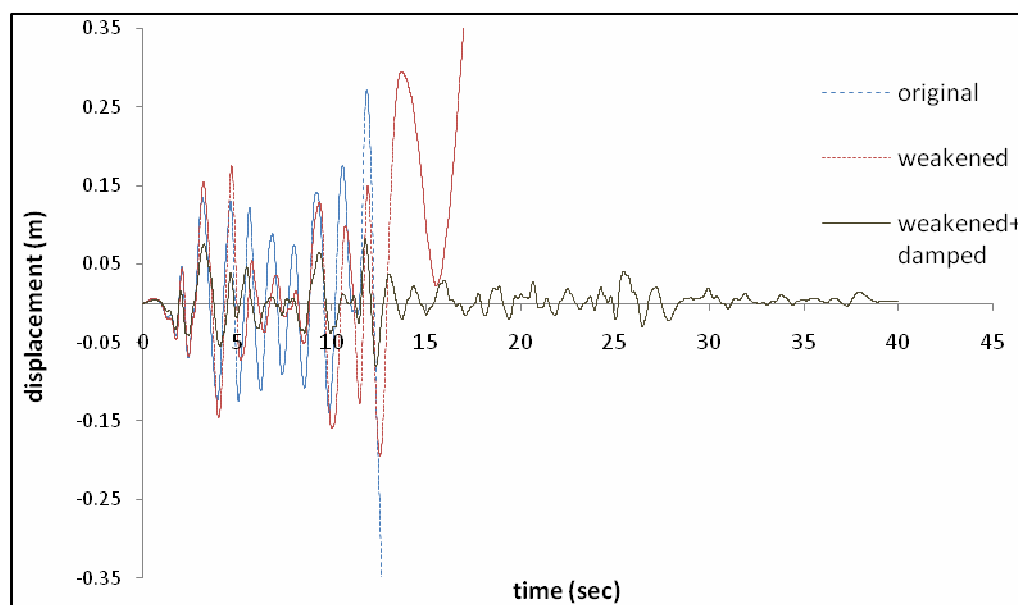


شکل (5-29 ج)

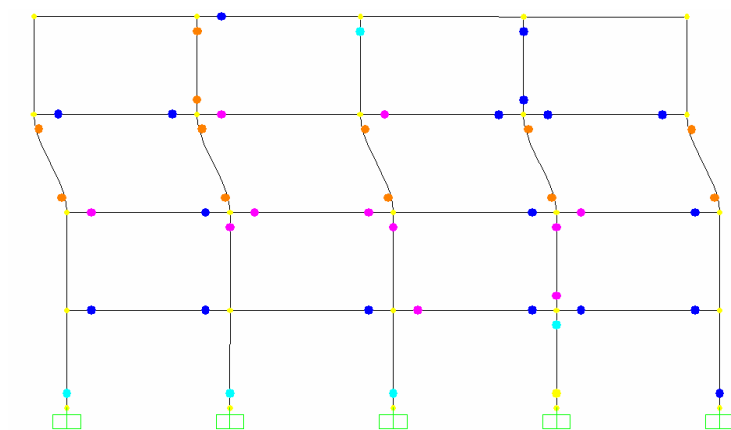
شکل (5-29): الگوی تشکیل مفاصل قاب 2 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت الف) سازه اولیه، ب) سازه با سختی کاهش یافته و ج) سازه با سختی کاهش یافته به همراه میراگر

مطابق شکل (5-29 الف) تحت زلزله السنترو در سازه 2 طبقه مفاصل زیادی تشکیل می شود و با انجام مرحله اول بهسازی تعداد مفاصل کاهش می یابد و در مرحله دوم بهسازی با افزودن میراگر سازه به صورت خطی عمل کرده و هیچ مفصلی تشکیل نمی گردد و تاثیر مثبت روش بهسازی پیشنهادی را می توان ملاحظه کرد.

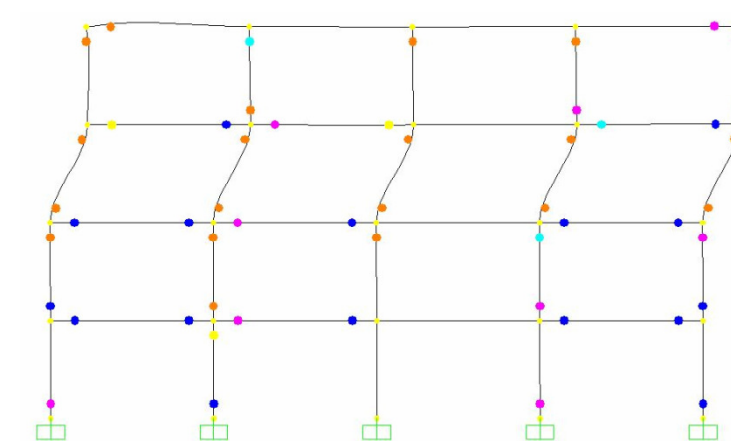
تاریخچه تغییر مکان طبقه بام سازه 4 طبقه را می توان در شکل (5-30) مشاهده کرد. این سازه نیز تحت شتاب نگاشت السنترو دچار خرابی های زیادی می گردد و در طبقه سوم پس از 12 ثانیه، دچار شکست نرم می گردد و فقط 2 طبقه پایین تا پایان زلزله با تشکیل مفاصل پلاستیک زیاد مقاومت می کند (شکل 5-31 الف)، و در مرحله اول بهسازی با کاهش سختی جانبی، پس از تشکیل مفاصل زیاد (شکل 5-31 ب) سازه تا زمان 20/24 ثانیه مقاومت کرده و پس از آن کل سازه فرو می ریزد ولی مدت دوام سازه در مقابل زلزله نسبت به حالت اولیه 40٪ افزایش یافته است. در مرحله دوم بهسازی با افزودن میراگر، سازه تا پایان زلزله به صورت خطی عمل کرده و هیچگونه خرابی در اعضا مشاهده نمی گردد (شکل 5-31 ج).



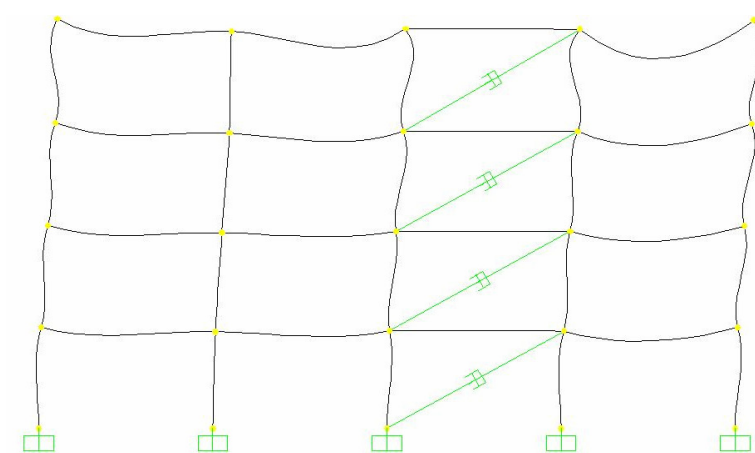
شکل (5-30): تاریخچه تغییر مکان سازه 4 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت



شکل (31-5) الف

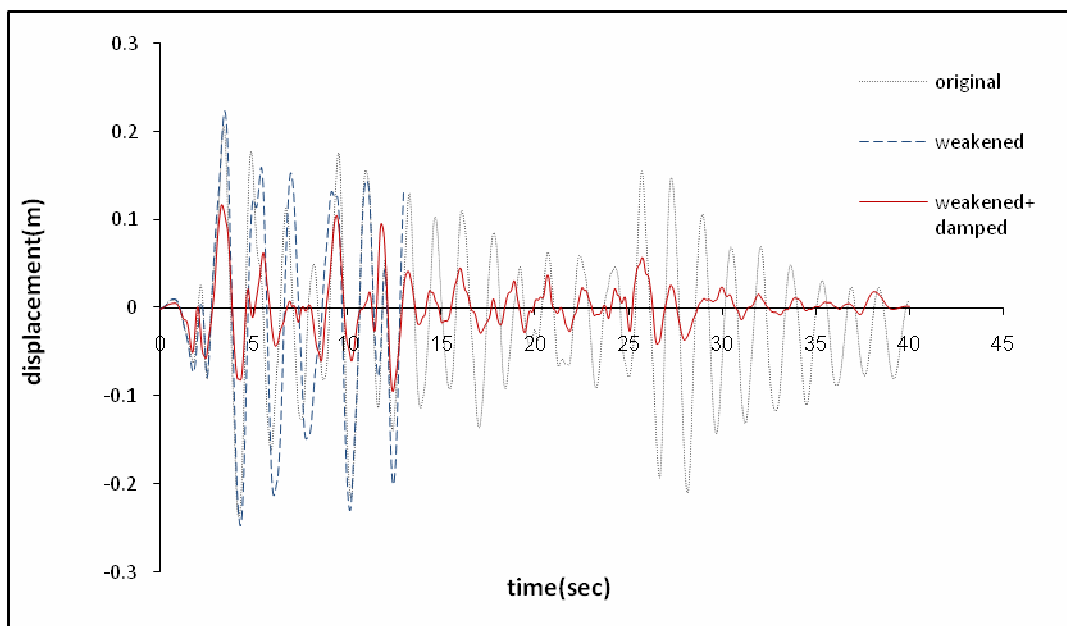


شکل (31-5) ب



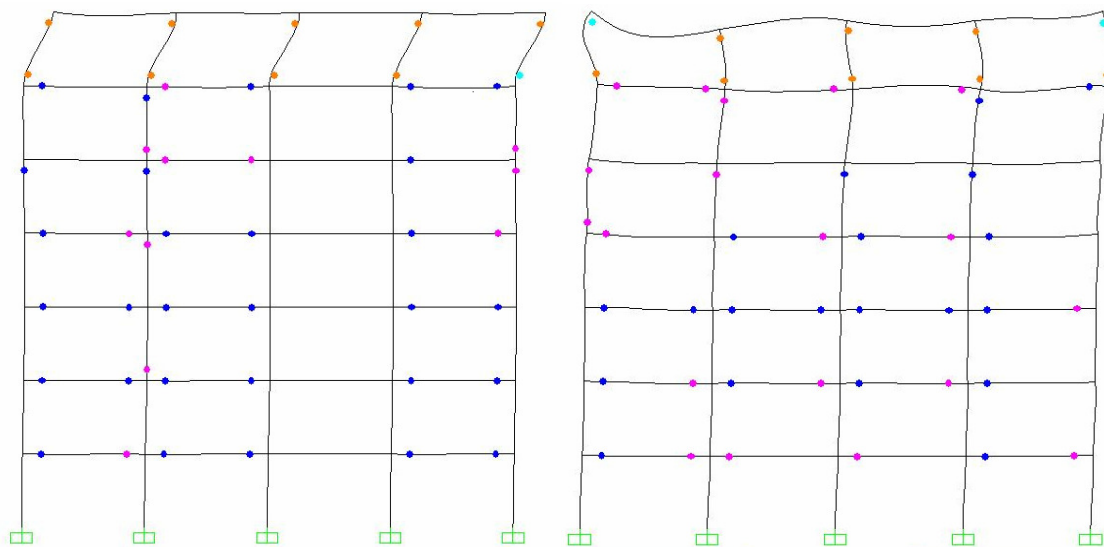
شکل (31-5) ج

شکل (31-5): الگوی تشکیل مفاصل قاب 4 طبقه در سه حالت الف) سازه اولیه، ب) سازه با کاهش سختی و ج) سازه با کاهش سختی به همراه میراگر



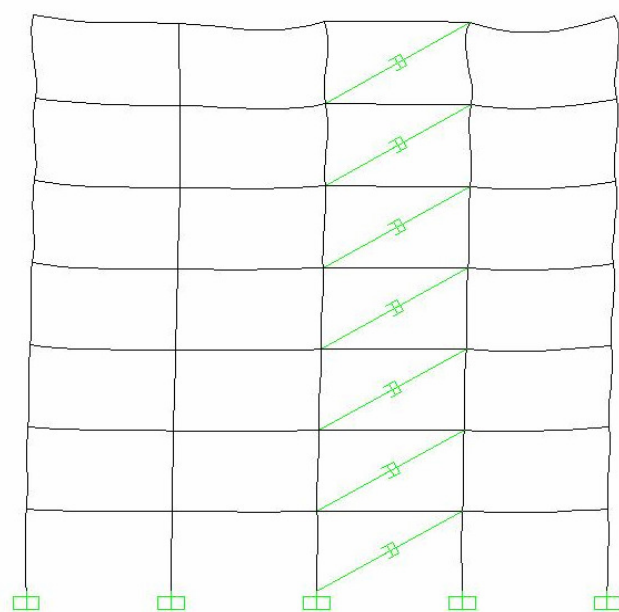
شکل (5-32): تاریخچه تغییر مکان سازه 7 طبقه تحت شتاب نگاشت السنترو در سه حالت

تاریخچه تغییر مکان طبقه بام سازه 7 طبقه را می توان در شکل (5-32) مشاهده کرد. سازه 7 طبقه نیز مطابق شکل (5-33 الف) تحت شتاب نگاشت السنترو با ایجاد مفصل های زیاد دچار خرابی های زیادی گشته ولی تا پایان زلزله مقاومت می کند ولی در مرحله کاهش سختی تا زمان 13/02 ثانیه باقی می ماند (شکل 5-32) و بعد از آن، با ایجاد مفاصل زیاد فرو می ریزد (شکل 5-33 ب) ولی با افزودن میراگر (شکل 5-33 ج)، سازه در پایان 40 ثانیه زلزله نیز به صورت خطی باقی می ماند و هیچگونه مفصلی بوجود نمی آید و خرابی ها به میزان قابل توجهی کاهش یافته و به صفر می رسد. می توان نتیجه گرفت با اعمال کاهش سختی در سازه، تغییر مکانها افزایش یافته و باعث فروپاشی سازه می گردد و با افزودن میراگر وضعیت سازه به میزان زیادی بهبود می یابد و سازه در مرحله خطی باقی می ماند.



(ب)

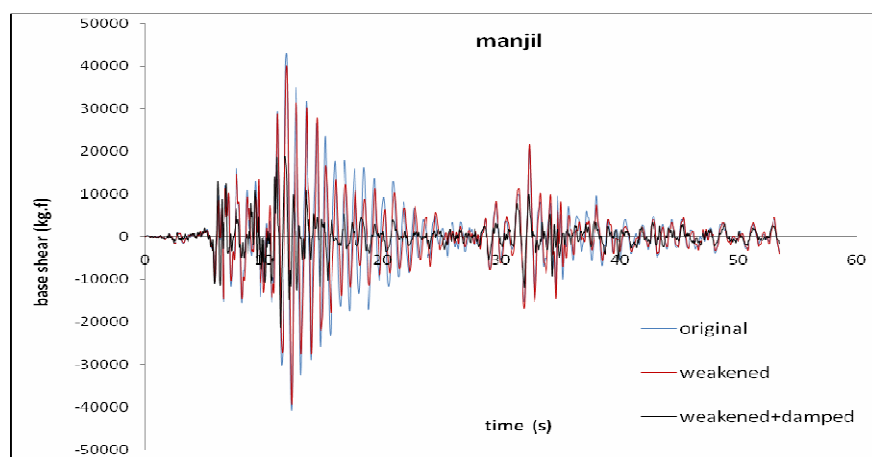
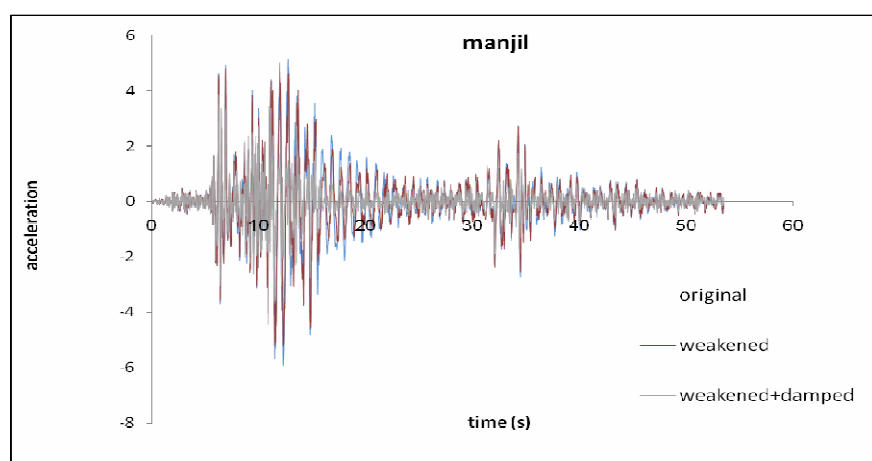
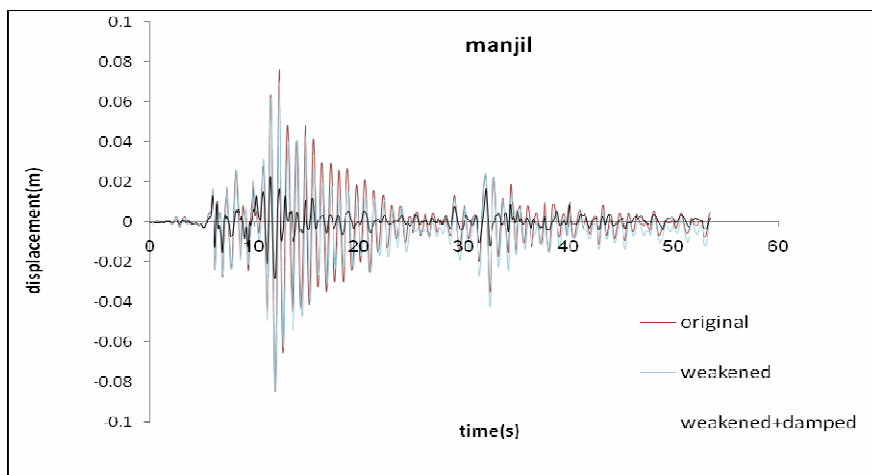
(الف)



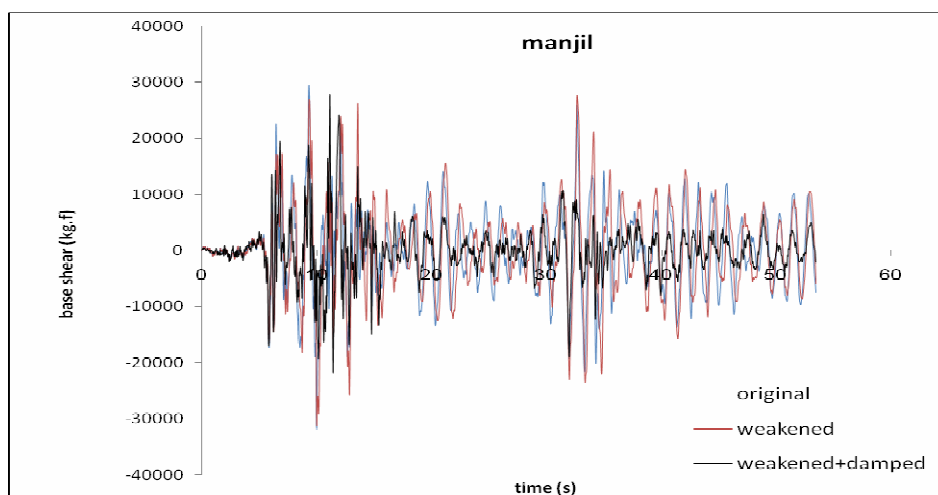
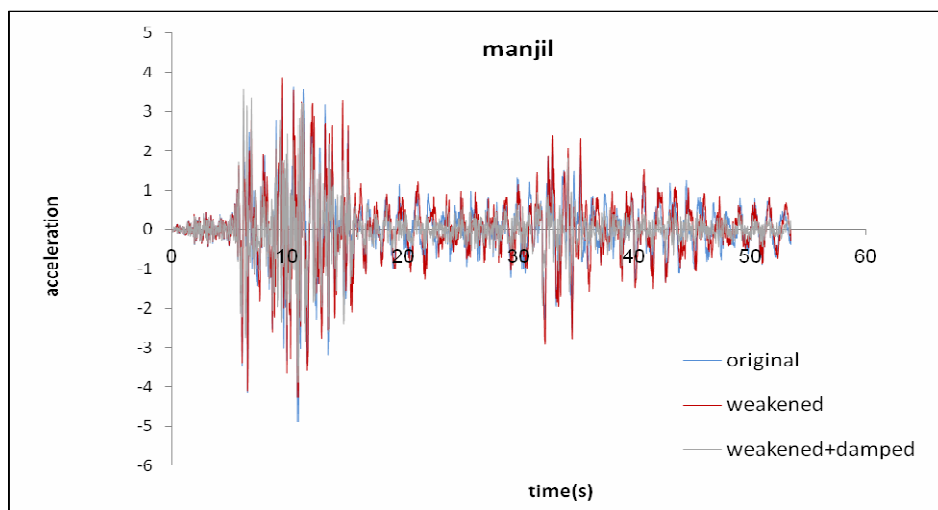
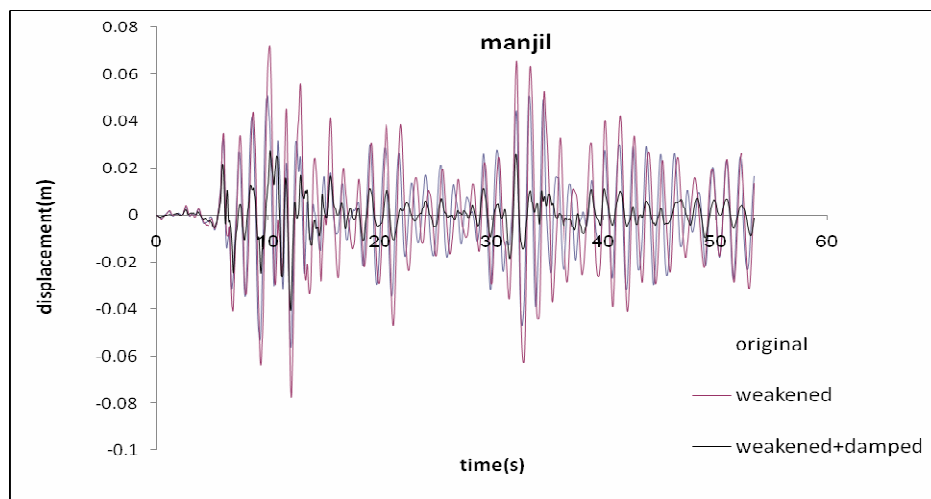
(ج)

شکل (5-33): الگوی تشکیل مفاصل قاب 7 طبقه در سه حالت الف) سازه اولیه، ب) سازه با کاهش سختی و ج) سازه با کاهش سختی به همراه میراگر

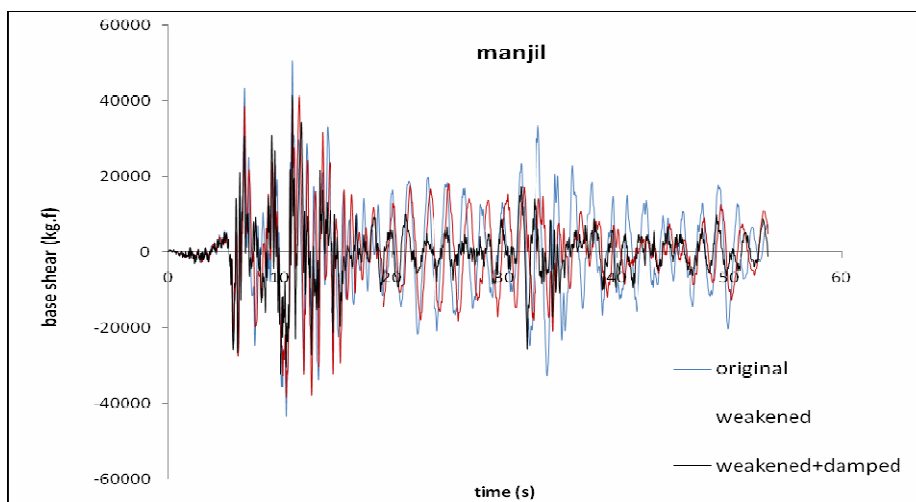
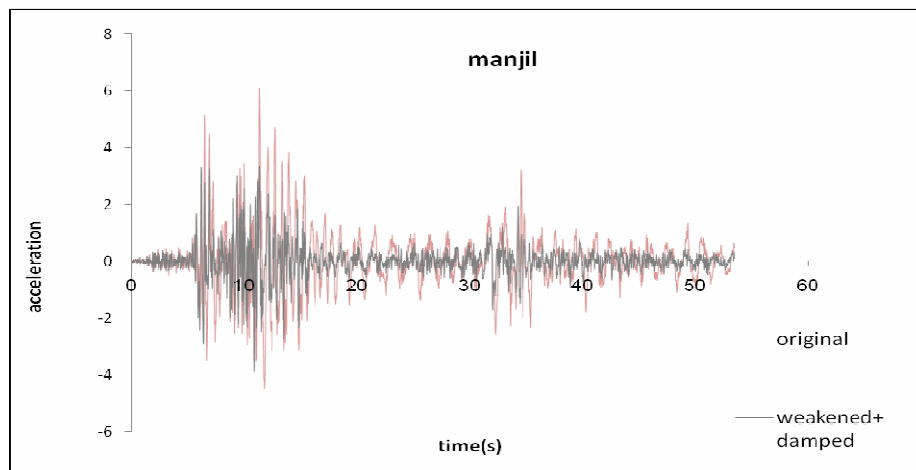
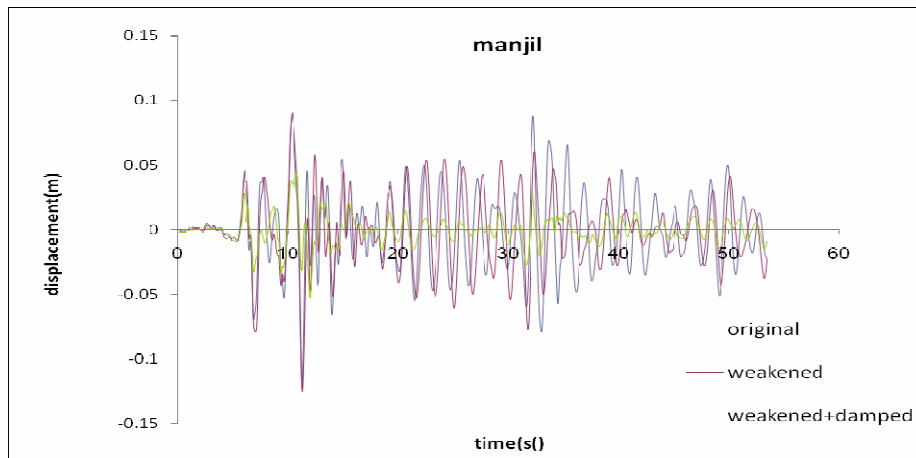
در شکل‌های (34-5) الی (36-5) تاریخچه تغییر مکان، شتاب و برش پایه سازه‌های مورد مطالعه تحت شتاب نگاشت منجیل ارائه شده است.



شکل (34-5): پاسخ سازه 2 طبقه تحت شتاب نگاشت منجیل



شکل (5-35): پاسخ سازه 4 طبقه تحت شتاب نگاشت منجیل



شکل (5-36): پاسخ سازه 7 طبقه تحت شتاب نگاشت منجیل

یکی از پارامترهای مورد بررسی در تحلیل دینامیکی، مقادیر تغییر مکان سازه بصورت ماکزیموم و متوسط مقادیر تحت شتاب نگاشت های در نظر گرفته شده در سه حالت سازه اولیه، سازه با کاهش سختی و سازه با کاهش سختی به همراه میراگر می باشد.

این نتایج بصورت مقایسه درصد تغییرات ماکزیموم مقدار و همچنین متوسط (RMS) تغییر مکان سازه های مورد مطالعه در مراحل مختلف بهسازی تحت 7 شتاب نگاشت برای قابهای 2، 4 و 7 طبقه در جداول (1-5) تا (6-5) آمده است.

جدول (1-5): تغییرات ماکزیموم تغییر مکان در سازه 2 طبقه

	(Weakening) مرحله اول		(Damping) مرحله دوم	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
السنترو				
لوماپریتا	2/4 %			57 %
منجیل	بدون تغییر			66/8 %
ناقان	4/4 %			62/4 %
نورتریج	8/4 %			56 %
سن فرناندو	11/11 %			64 %
طبس	بدون تغییر			59/3 %

مطابق جدول (1-5) در مرحله کاهش سختی مقادیر تغییر مکان ماکزیموم سازه 2 طبقه طی زلزله های لوماپریتا، ناقان، نورتریج و سن فرناندو افزایش یافته ولی در زلزله های طبس و منجیل تغییری در تغییر مکان سازه در این مرحله مشاهده نشده است ولی با افزایش میراگر در مرحله دوم، مقادیر تغییر به میزان قابل توجهی (در همه موارد بیش از 50%) کاهش یافته است. در جدول (2-5) تغییرات متوسط تغییر مکان سازه طبقه در هریک از مراحل بهسازی آمده است.

جدول (2-5): تغییرات متوسط تغییر مکان در سازه 2 طبقه

	(Weakening) مرحله اول		(Damping) مرحله دوم	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
السنتر				
لوماپریتا	٪ 2/7		٪ 43/3	
منجیل		٪ 0/91		٪ 70/6
ناقان	٪ 2/5			٪ 69
نورتریج	٪ 10/5			٪ 49/4
سن فرناندو	٪ 5			٪ 10
طیس	٪ 13/3			٪ 61/5

مطابق جدول (2-5)، در مرحله اول بهسازی مقدار متوسط جابجایی سازه، تحت همه شتاب نگاشت ها به جز السنتر و منجیل افزایش یافته است که این افزایش در بعضی از موارد مثل زلزله لوماپریتا، ناقان و... ناچیز می باشد و قابل چشمپوشی است و تحت زلزله منجیل نیز می توان گفت مقدار جابجایی تغییر نمی کند. در مورد زلزله السنتر این مقایسه امکان پذیر نمی باشد زیرا سازه اولیه تحت این زلزله فرو می پاشد. در مرحله دوم بهسازی، با افزودن میراگر، در همه موارد کاهش قابل توجهی در مقادیر تغییر مکان ملاحظه می شود. جداول (3-5) و (4-5) به ترتیب تغییرات ماکزیموم تغییر مکان و متوسط تغییر مکان سازه 4 طبقه را در مراحل مختلف بهسازی تحت 7 شتاب نگاشت انتخابی نشان می دهد.

جدول (3-5): تغییرات ماکزیموم تغییر مکان در سازه 4 طبقه

	(Weakening) مرحله اول		(Damping) مرحله دوم	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
السنتر				
لوماپریتا		٪ 2/63		٪ 57/01
منجیل	٪ 39/2			٪ 28/57
ناقان	٪ 11/6			٪ 31/83
نورتریج		٪ 41/79		٪ 79/76
سن فرناندو		٪ 11/3		٪ 70/45
طیس	٪ 6/73			٪ 43/26

طبق جدول (5-3)، سازه 4 طبقه تحت شتاب نگاشت های السنترو، لوماپریتا، نورتریج و سن فرناندو، در مرحله اول بهسازی با کاهش جابجایی همراه است که در زلزله های السنترو و نورتریج به دلیل ناپایداری سازه اولیه تحت این شتاب نگاشت ها، تغییر مکان آنها در لحظه فروپاشی بسیار زیاد می باشد از اینرو با کاهش سختی نیروهای درون سازه کمتر شده و سازه پایدارتر می گردد و تغییر مکانها نیز کاهش می یابند. تحت زلزله لوماپریتا نیز کاهش تغییر مکان خیلی جزئی و کم می باشد که می توان از آن صرف نظر نمود. تحت شتاب نگاشت های منجیل و ناقان و طبس با کاهش سختی در سازه، تغییر مکانها افزایش می یابند. افزایش میراگر در مرحله دوم در همه موارد، کاهش قابل توجهی در میزان جابجایی را به همراه دارد.

جدول (5-4): تغییرات متوسط تغییر مکان در سازه 4 طبقه

	(Weakening) مرحله اول		(Damping) مرحله دوم	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
السنترو				
لوماپریتا	٪ 15/5			٪ 71/8
منجیل	٪ 28/4			٪ 58/4
ناقان	٪ 1/9			٪ 45/5
نورتریج		٪ 68/4		٪ 90/9
سن فرناندو		٪ 22/2		٪ 70/3
طبس	٪ 10/2			٪ 56/6

مطابق جدول (5-4) مقادیر متوسط تغییر مکان در سازه 4 طبقه در مرحله اول بهسازی تحت شتاب نگاشت های السنترو، نورتریج و سن فرناندو همانند مقادیر ماکزیموم، کاهش یافته و تحت شتاب نگاشت های لوماپریتا، منجیل، ناقان و طبس افزایش جابجایی مشاهده می گردد و در مرحله دوم بهسازی این مقادیر، شدت کاهش یافته و در برخی از موارد با افزودن میراگر کاهش ٪ 90 متوسط تغییر مکان نیز مشاهده می گردد. جداول (5-5) و (5-6) نتایج تغییرات ماکزیموم و متوسط تغییر مکان سازه 7 طبقه را در مراحل مختلف بهسازی تحت شتاب نگاشت های انتخابی نشان می دهد.

جدول (5-5): تغییرات ماکزیموم تغییر مکان در سازه 7 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 58/8		٪ 5/6		لوماپریتا
٪ 58/4			٪ 1/05	منجیل
٪ 41/45			٪ 19/4	ناقان
٪ 67/2			٪ 4/03	نورتریچ
٪ 56/7		٪ 10/8		سن فرناندو
٪ 60/4		٪ 1/5		طبس

با بررسی جدول (5-5) مشاهده می گردد سازه 7 طبقه تحت شتاب نگاشت السنتر و پس از اعمال کاهش سختی ناپایدار گشته و نیز افزایش جابجایی را به همراه دارد همچنین تحت شتاب نگاشت های منجیل، ناقان و نورتریچ نیز با کاهش سختی سازه، تغییر مکانهای ماکزیموم سازه افزایش می یابند. که تحت شتاب نگاشت منجیل این مقدار ناچیز و قابل چشمپوشی است و تحت شتاب نگاشت های لوماپریتا، سن فرناندو و طبس با کاهش سختی در سازه، کاهش تغییر مکان مشهود می باشد که این کاهش در شتاب نگاشت طبس بسیار ناچیز است.

جدول (5-6): تغییرات متوسط تغییر مکان در سازه 7 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 76/3		٪ 24/4		لوماپریتا
٪ 63/7		٪ 4/5		منجیل
٪ 64/03			٪ 52/6	ناقان
٪ 71/6			٪ 72/5	نورتریچ
٪ 64			بدون تغییر	سن فرناندو
٪ 60/8		٪ 2/40		طبس

مطابق جدول (5-6) تغییرات متوسط تغییر مکان در مرحله اول بهسازی کم و بیش مشابه نتایج تغییرات ماکزیموم تغییر مکان می باشد و در مرحله دوم بهسازی مطابق جداول (5-5) و (5-6) همواره کاهش جابجایی مشاهده می گردد.

یکی دیگر از پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق مقادیر ماکزیموم شتاب و متوسط شتاب (RMS) طی تاریخچه شتاب نگاشت ها در مراحل مختلف بهسازی می باشد که این مقادیر نیز بصورت تغییرات شتاب هر یک از مراحل نسبت به مرحله اول در نظر گرفته شده است و برای سازه های 2, 4 و 7 طبقه به ترتیب در جداول (5-7) تا (5-12) آمده است. جداول (5-7) و (5-8) به ترتیب تغییرات ماکزیموم شتاب و متوسط شتاب را برای سازه 2 طبقه نشان می دهد.

جدول (5-7): تغییرات ماکزیموم شتاب در سازه 2 طبقه

	(Weakening) مرحله اول		(Damping) مرحله دوم	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
السنتر		12/7 %		45 %
لوماپریتا		5 %		بدون تغییر
منجیل		11/7 %		40/7 %
ناقان		2/3 %		33 %
نورتریج		6/26 %		31/7 %
سن فرناندو		11/17 %	19/8 %	
طبیس		12/5 %		47/2 %

همانگونه که در جدول (5-7) مشاهده می گردد با اعمال کاهش سختی در سازه 2 طبقه شتاب ماکزیموم تحت اکثر شتاب نگاشت ها کاهش یافته است به جز شتاب نگاشت نورتریج که افزایش شتاب مشاهده شده است. و در مرحله دوم بهسازی، با افزودن میراگر کاهش شتاب به میزان قابل ملاحظه ای مشهود می باشد که به دلیل رفتار خطی سازه در اثر افزودن میراگر بوده و همانطور که نتایج نشان می دهد در ناحیه خطی میراگر باعث کاهش شتاب و برش پایه می گردد. تنها در یک مورد زلزله سن فرناندو افزایش شتاب مشاهده می گردد.

جدول (5-8): تغییرات متوسط شتاب در سازه 2 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 25/9		٪ 4/2		لوماپریتا
٪ 45/3		٪ 5/51		منجیل
٪ 45/6		٪ 2/2		ناقان
٪ 26/04			٪ 1/1	نورتریچ
٪ 16/58			٪ 0/43	سن فرناندو
٪ 49/7		٪ 6/6		طبس

مطابق جدول (5-8) متوسط شتاب نیز با کاهش سختی، کاهش می یابد و افزایش میراگر نیز باعث کاهش چشمگیر شتاب سازه می گردد به جز دو مورد زلزله های نورتریچ و سن فرناندو که در مرحله اول افزایش شتاب بصورت درصد بسیار ناچیزی مشاهده می گردد که می توان از آنها صرف نظر نمود. جداول (5-9) و (5-10) به ترتیب تغییرات ماکزیموم شتاب و متوسط شتاب را در مراحل مختلف بهسازی برای سازه 4 طبقه تحت شتاب نگاشت های انتخابی نشان می دهد.

جدول (5-9): تغییرات ماکزیموم شتاب در سازه 4 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 34/32		٪ 25/37		لوماپریتا
٪ 20/8		٪ 12/5		منجیل
٪ 37/5		٪ 5/35		ناقان
٪ 24/1		٪ 9/09		نورتریچ
	٪ 14/7	بدون تغییر		سن فرناندو
٪ 52/8		٪ 10		طبس

جدول (5-10): تغییرات متوسط شتاب در سازه 4 طبقه

	(Weakening) مرحله اول		(Damping) مرحله دوم	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
السنتر				
لوماپریتا		٪ 7/6	٪ 48/8	
منجیل	٪ 4/8			٪ 26/1
ناقان		٪ 0/83	٪ 31/58	
نورتریچ		٪ 44/7	٪ 97/1	
سن فرناندو		٪ 6/1	٪ 17/6	
طیس		٪ 7/1	٪ 46/2	

مطابق جداول (5-9) و (5-10) نیز مشاهده می گردد هم ماکزیموم شتاب و هم متوسط شتاب در سازه 4 طبقه با کاهش سختی سازه، کاهش می یابند به جز زلزله منجیل که با کاهش سختی متوسط شتاب در آن به میزان ٪ 4/8 افزایش می یابد همچنین مقدار ماکزیموم شتاب تحت زلزله سن فرناندو تغییری نمی یابد. در اینجا نیز با افزایش میراگر در مرحله دوم بهسازی کاهش شتاب مشاهده می گردد، این کاهش شتاب در زلزله نورتریچ که سازه در مرحله اولیه دچار فروپاشی می شود بسیار قابل توجه می باشد که هم کاهش سختی و هم افزایش میراگر مقدار شتاب را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می دهند. جداول (5-11) و (5-12) به ترتیب تغییرات ماکزیموم شتاب و متوسط شتاب را در مراحل مختلف بهسازی برای سازه 7 طبقه تحت شتاب نگاشت های انتخابی نشان می دهد.

جدول (5-11): تغییرات ماکزیموم شتاب در سازه 7 طبقه

	(Weakening) مرحله اول		(Damping) مرحله دوم	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
السنتر				
لوماپریتا		٪ 9/2	٪ 43/07	
منجیل		٪ 9/8	٪ 45/9	
ناقان		٪ 11/6	٪ 54/5	
نورتریچ		٪ 2/6	٪ 58/6	
سن فرناندو		٪ 5/5	٪ 2/7	
طیس		٪ 26	٪ 44	

جدول (5-12): تغییرات متوسط شتاب در سازه 7 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 43/6		٪ 16/5		لوماپریتا
٪ 43/9		٪ 7/7		منجیل
٪ 34/8			٪ 5/3	ناقان
٪ 49/6		٪ 3/31		نورتریچ
٪ 11/5		٪ 1/4		سن فرناندو
٪ 47/6		٪ 8/36		طبس

طبق جداول (5-11) و (5-12)، با اعمال کاهش سختی در سازه 7 طبقه همواره کاهش شتاب مشاهده می گردد به جز شتاب نگاشت ناقان که تحت این زلزله با کاهش سختی جانبی، افزایش شتاب متوسط در سازه مشاهده می گردد. در مرحله دوم بهسازی در سازه 7 طبقه نیز مانند سازه های 2 طبقه و 4 طبقه، با افزایش میرایی در سازه، مقادیر ماکزیموم و متوسط شتاب سازه نسبت به سازه اولیه به میزان بسیار بالایی که در جدول ذکر شده است کاهش می یابد. از دیگر پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق برش پایه می باشد که همانند تغییر مکان و شتاب بصورت تغییرات برش پایه در مراحل مختلف بهسازی سازه های مورد مطالعه تحت شتاب نگاشت های انتخابی در جداول (5-13) تا (5-18) آمده است. این مقادیر نیز بصورت تغییرات مقادیر ماکزیموم و متوسط (RMS) برش پایه در هر یک از مراحل بهسازی نسبت به سازه اولیه در نظر گرفته شده است.

جدول (5-13) و (5-14) تغییرات ماکزیموم و متوسط برش پایه سازه 2 طبقه را در مراحل مختلف بهسازی تحت شتاب نگاشت های انتخابی نشان می دهد.

جدول (5-13): تغییرات ماکزیموم برش پایه در سازه 2 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 24/5			٪ 3/4	لوماپریتا
٪ 56		٪ 6/7		منجیل
٪ 43/75		٪ 8/24		ناقان
٪ 39		بدون تغییر		نورتریچ
٪ 44		بدون تغییر		سن فرناندو
٪ 40/1		٪ 4/5		طبس

جدول (5-14): تغییرات متوسط برش پایه در سازه 2 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 29		٪ 1/86		لوماپریتا
٪ 59/08		٪ 10/5		منجیل
٪ 56/82		٪ 4/36		ناقان
٪ 34/7		٪ 1/17		نورتریچ
٪ 55/77		٪ 0/74		سن فرناندو
٪ 50/55		٪ 7/82		طبس

مطابق جدول (5-13) و (5-14) مقادیر متوسط و ماکزیموم برش پایه سازه 2 طبقه با کاهش سختی، در اکثر موارد نسبت به سازه اولیه کاهش یافته و در برخی از موارد بدون تغییر باقی مانده است. تنها در مورد شتاب نگاشت لوماپریتا، با کاهش سختی سازه، افزایش برش پایه مشاهده می گردد که در مرحله دوم بهسازی با افزودن میراگر به سازه برش پایه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد، این کاهش بدلیل رفتار خطی سازه می باشد. افزودن میراگر باعث می شود سازه بصورت خطی عمل کرده و در ناحیه خطی میراگر باعث کاهش برش پایه در سازه می گردد. جداول (5-15) و (5-16) به ترتیب تغییرات ماکزیموم و متوسط برش پایه سازه 4 طبقه را در مراحل مختلف بهسازی تحت شتاب نگاشت های انتخابی نشان می دهد.

جدول (5-15): تغییرات ماکزیموم برش پایه در سازه 4 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 59/74		٪ 12/7		لوماپریتا
٪ 31/2		٪ 1/5		منجیل
٪ 39/4		٪ 4/4		ناقان
٪ 40/4		٪ 22/5		نورتریچ
	٪ 15/67	٪ 20		سن فرناندو
٪ 40/09		٪ 14/9		طبس

جدول (5-16): تغییرات متوسط برش پایه در سازه 4 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 58/7		٪ 2/8		لوماپریتا
٪ 35/9			٪ 9/9	منجیل
٪ 24		٪ 1/7		ناقان
٪ 66/5		٪ 38/09		نورتریچ
٪ 35/1		٪ 28/05		سن فرناندو
٪ 39/5		٪ 5/21		طبس

طبق جداول (5-15) و (5-16)، در سازه 4 طبقه نیز مانند سازه 2 طبقه در اکثر موارد کاهش سختی، باعث کاهش برش پایه می گردد به جز شتاب نگاشت منجیل که با کاهش سختی، برش پایه متوسط سازه افزایش یافته است. همچنین در مرحله دوم بهسازی، افزایش میرایی سازه به مقدار قابل توجهی باعث کاهش برش پایه می گردد. به جز در یک مورد، که تحت شتاب نگاشت سن فرناندو با افزایش میرایی، برش پایه ماکزیموم در سازه 4 طبقه مانند شتاب ماکزیموم افزایش می یابد. جداول (5-17) و (5-18) تغییرات ماکزیموم و متوسط برش پایه سازه 7 طبقه را در مراحل مختلف بهسازی تحت شتاب نگاشت های انتخابی نشان می دهد.

جدول (5-17): تغییرات ماکزیموم برش پایه در سازه 7 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 26/7		٪ 9/3		لوماپریتا
٪ 18/59		٪ 18/5		منجیل
	٪ 1/7	٪ 11/5		ناقان
٪ 46/6		٪ 17/1		نورتریج
٪ 8/68		٪ 36/1		سن فرناندو
٪ 26/2		٪ 17/6		طبس

جدول (5-18): تغییرات متوسط برش پایه در سازه 7 طبقه

(Damping) مرحله دوم		(Weakening) مرحله اول		
کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	
				السنتر
٪ 56/29		٪ 37/01		لوماپریتا
٪ 41/7		٪ 15/8		منجیل
٪ 41/06			٪ 22/1	ناقان
٪ 54/7		٪ 12/03		نورتریج
٪ 4/1		٪ 14/17		سن فرناندو
٪ 41/43		٪ 16/62		طبس

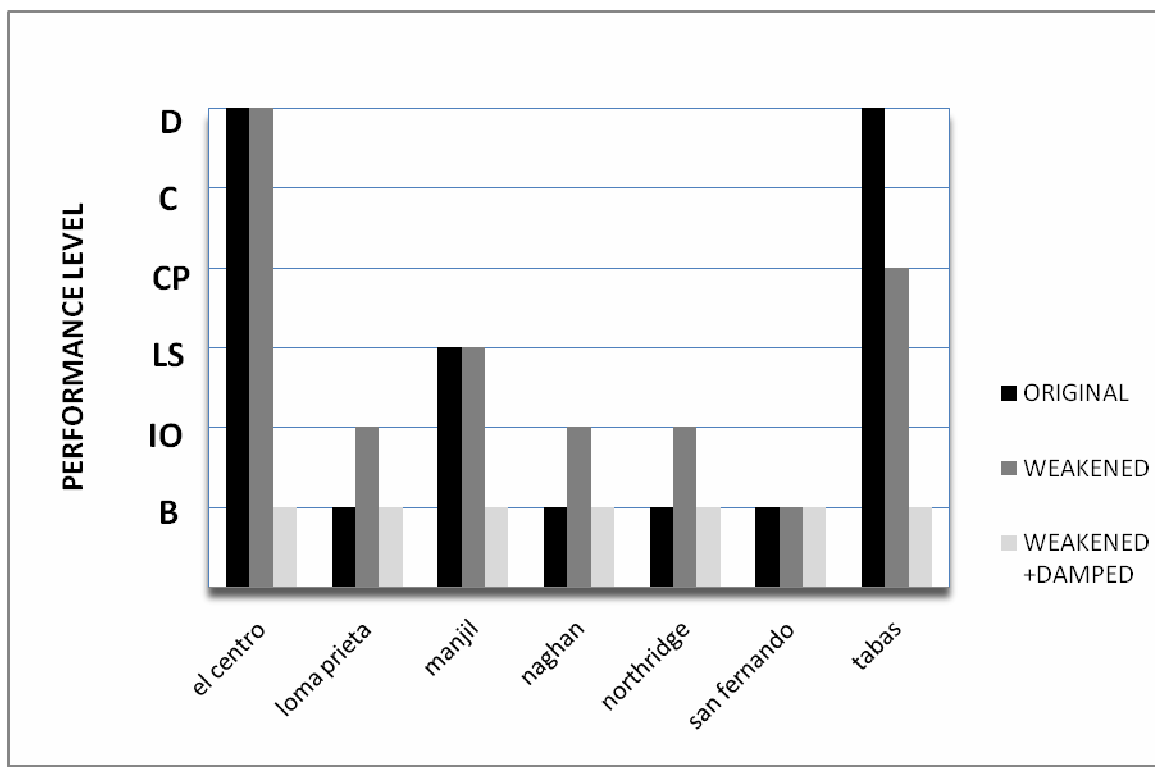
مطابق جداول (5-17) و (5-18) مشاهده می گردد، سازه 7 طبقه نیز در مراحل مختلف بهسازی اعم از کاهش سختی و افزایش میراگر در اکثر موارد با کاهش برش پایه همراه است، به جز دو مورد که یکی تحت شتاب نگاشت السنتر، با اعمال کاهش سختی سازه ناپایدار گشته و برش پایه ماکزیموم نیز مانند شتاب ماکزیموم نسبت به سازه اولیه افزایش می یابد. همچنین تحت شتاب نگاشت ناقان با اعمال کاهش سختی در سازه مقدار متوسط برش پایه در سازه افزایش می یابد و همچنین با افزودن میراگر به سازه مقدار ماکزیموم برش پایه در سازه افزایش پیدا می کند که این افزایش مقداری ناچیز بوده و می توان از آن صرف نظر نمود.

با بررسی های فوق مشاهده می گردد کاهش سختی در سازه در اکثر موارد با افزایش جابجایی همراه است ولی در برخی موارد خاص نیز کاهش جابجایی را به همراه دارد، نتیجه گرفته می شود در سازه های مختلف، تحت شتاب نگاشت های مختلف رفتار سازه ممکن است متفاوت باشد باید برای در نظر گرفتن شتاب نگاشت مناسب و منطبق با شرایط خاک منطقه، و همچنین انتخاب زلزله طرح دقت نمود.

همچنین افزایش میرایی در سازه در بیش از 90٪ موارد نتیجه مثبتی می دهد و باعث کاهش جابجایی، شتاب و برش پایه ماکزیموم و نسبی سازه های مختلف به میزان قابل توجهی می گردد و نیز شتاب و برش پایه رابطه ای مستقیم با یکدیگر دارند یعنی اگر در یک مورد شتاب کاهش یابد، برش پایه نیز کاهش می یابد و بالعکس، اگر شتاب افزایش یابد، برش پایه نیز افزایش می یابد.

همان طور که پیشتر گفته شد نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در اعضا، الگویی را برای شناخت رفتار سازه در اختیار قرار می دهد. بنابراین در ادامه با ارائه نمودارهایی سطوح عملکرد قابها با ارتفاع متفاوت در سه حالت اولیه، با کاهش سختی و کاهش سختی به همراه میراگر تحت شتاب نگاشتهای مختلف نشان داده شده است.

برای تعیین سطح عملکرد قابها، فرض براین است با تشکیل اولین مفصل در یکی از اعضا نوع آن مفصل بعنوان سطح عملکرد قاب در نظر گرفته میشود یعنی اگر در یک قاب در یکی از اعضا یک مفصل در سطح ایمنی جانبی تشکیل شد سطح عملکرد آن قاب ایمنی جانی میباشد هر چند در بقیه اعضا مفصل تشکیل نشود یا مفاصل با حد پایین تر تشکیل گردد. شکلهای (5-37) الی (5-39) سطوح عملکرد قابهای 4، 2 و 7 طبقه را نشان میدهند.

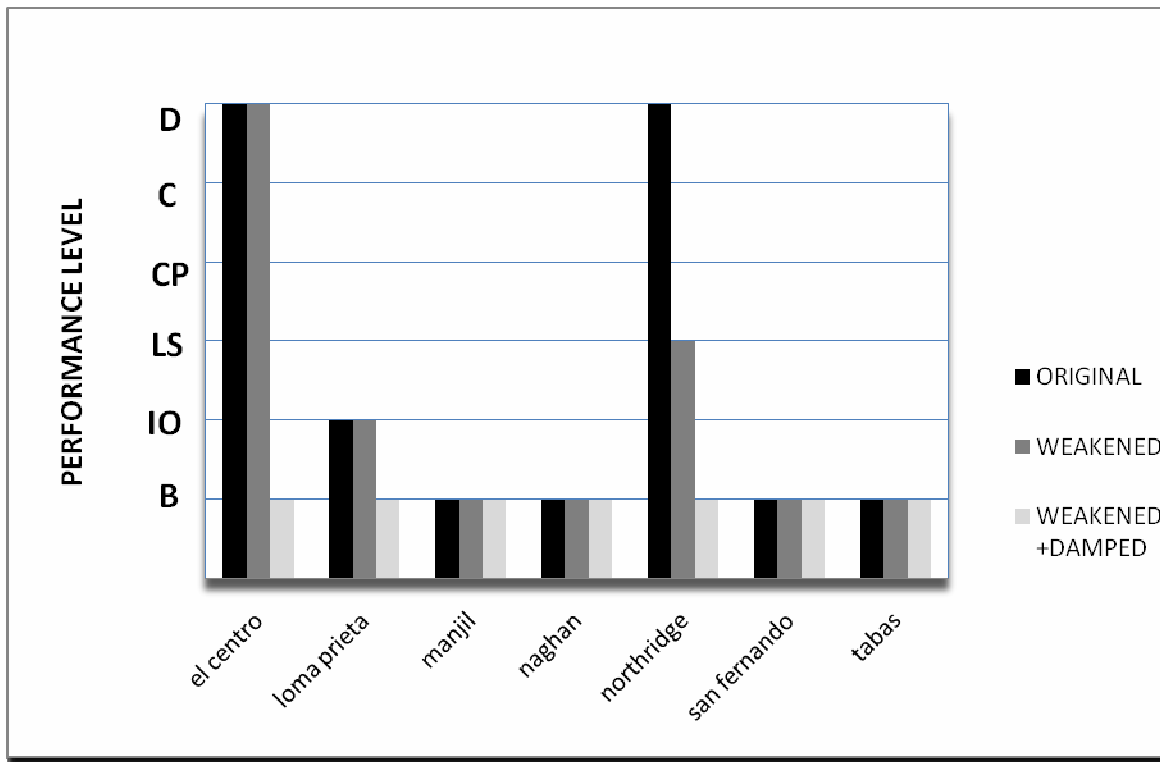


شکل (5-37): سطح عملکرد قاب 2 طبقه تحت تحلیل دینامیکی

چنانچه در شکل (5-34) مشاهده میگردد سطوح عملکرد قاب 2 طبقه در مرحله اولیه تحت زلزله های السنترو و طبس D میباشد که با کاهش فزایش میراگر به سطح عملکرد B رسیده است که نشانگر خطی شدن عملکرد سازه میباشد. همچنین تحت زلزله های لوماپریتا، نا قان، نورتریج و سن فرنا ندو، سازه خطی عمل کرده و با کاهش سختی جانبی به حد استفاده بی وقفه میرسد ولی با افزایش میراگر دوباره به مرحله عملکرد خطی باز میگردد. البته همانطور که در بررسی تغییر مکانها در بخشهای قبل ملاحظه شد با افزایش میراگر مقادیر تغییر مکان به میزان کمی کاهش می یابند. تحت زلزله منجیل، با کاهش سختی هیچ تاثیر منفی روی سطح عملکرد سازه (ایمنی جانی) نداشته و با افزودن میراگر سازه به سطح عملکرد خطی میرسد.

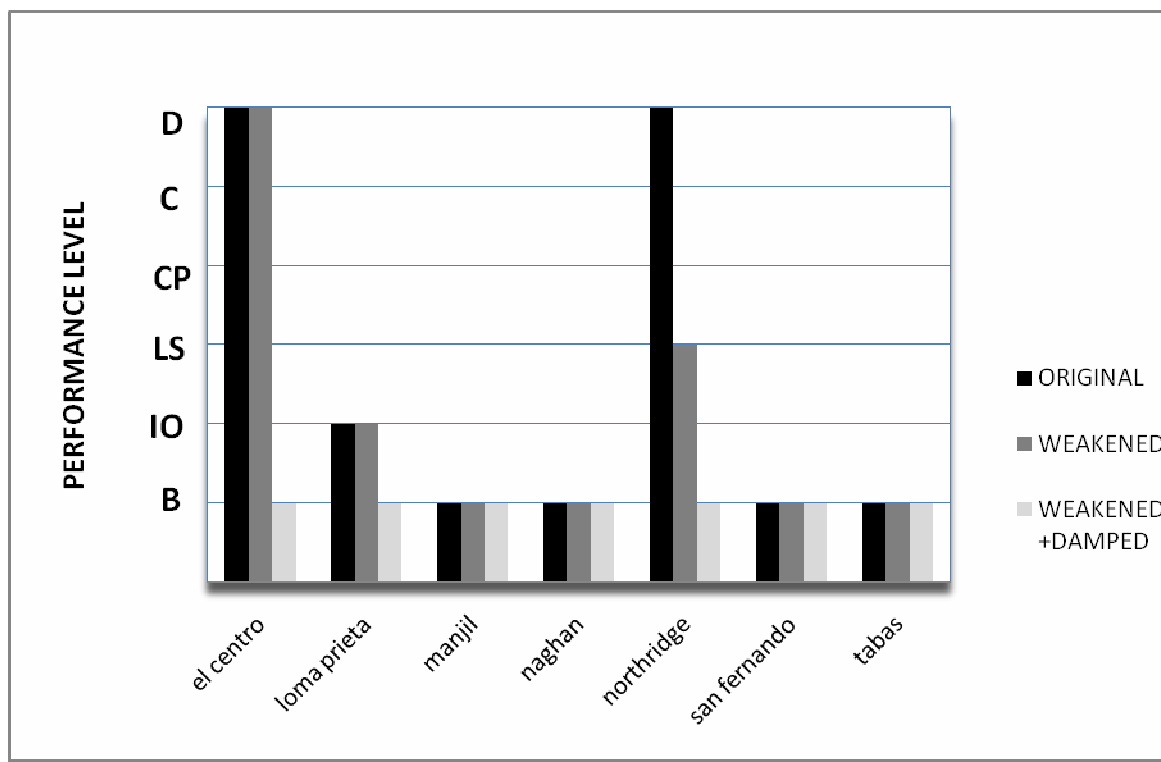
چنانچه مشاهده میگردد کاهش سختی در بعضی موارد سبب بهبود عملکرد و در بعضی از موارد سبب کاهش سطح عملکرد سازه میگردد، همچنین در برخی از موارد بی تاثیر میباشد. افزودن میراگر ویسکوز به سازه همواره سبب بهبود عملکرد سازه به میزان بسیار زیادی میشود. در همه موارد سازه با

انجام بهسازی به سطح عملکرد خطی رسیده است که این نشان می‌دهد میرایی در نظر گرفته شده، برای عملکرد خطی سازه مناسب می‌باشد. البته بنا به نظر طراح و سطح عملکرد مورد نظر میتوان میراگرهای مناسب را انتخاب کرد.



شکل (5-38): سطوح عملکرد قاب 4 طبقه تحت تحلیل دینامیکی

مطابق شکل (5-35) در قاب 4 طبقه نیز کاهش سختی در اکثر موارد در سازه های خطی روی سطح عملکرد سازه تاثیری ندارد، همچنین تحت زلزله های نورتریج باعث بهبود عملکرد سازه اولیه شده است و با افزودن میراگر به سازه تحت همه زلزله ها سازه به سطح عملکرد خطی رسیده است.



شکل (5-39): سطوح عملکرد قاب 7 طبقه تحت تحلیل دینامیکی

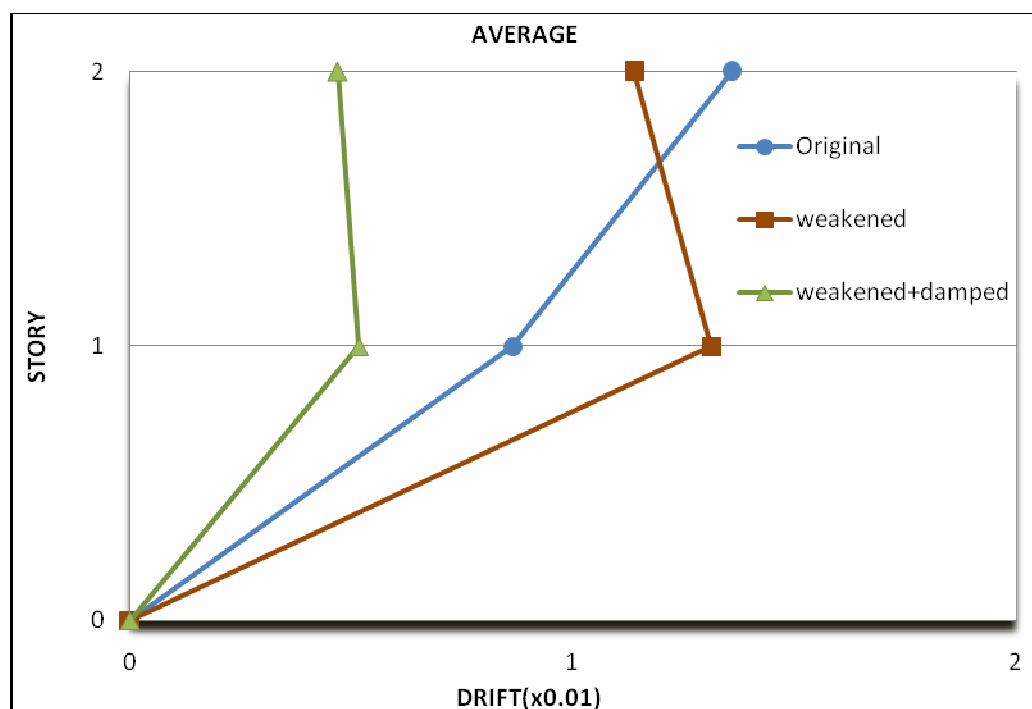
مطابق شکل (5-39)، در قاب 7 طبقه نیز مانند قابهای 2 و 4 طبقه عملکرد سازه اولیه تحت اکثر شتاب نگاشتها خطی بوده و با کاهش سختی تغییری در سطح عملکرد بوجود نمی آید همچنین تحت زلزله نورتریج کاهش سختی سبب بهبود عملکرد سازه شده است و با افزودن میراگر سازه به سطح عملکرد خطی میرسد.

با توجه به نمودارهای (5-37) الی (5-39)، میتوان نتیجه گرفت کاهش سختی تحت اکثر زلزله هایی که سازه تحت آنها از حد واژگونی می گذرد باعث بهبود عملکرد سازه شده است به جز زلزله السنترو که با کاهش سختی نیز سازه در مرحله واژگونی قرار دارد. همچنین در بعضی از موارد کاهش سختی باعث بحرانی تر شدن سطح عملکرد سازه میگردد که این مساله در قاب 2 طبقه مشاهده می شود.

افزایش میرایی سازه توسط میراگر ویسکوز خطی در این تحقیق، باعث بهبود سطح عملکرد سازه به میزان قابل توجهی شده است که این مطلب بیانگر تاثیر مثبت تکنیک بهسازی پیشنهادی می باشد.

همچنین می توان نتیجه گرفت تاثیر یک شتاب نگاشت مشخص روی سازه بستگی به زمان تناوب سازه دارد ممکن است یک شتاب نگاشت روی یک سازه با زمان تناوب مشخص تاثیر زیادی داشته باشد و روی یک سازه دیگر با زمان تناوب متفاوت تاثیر زیادی نگذارد.

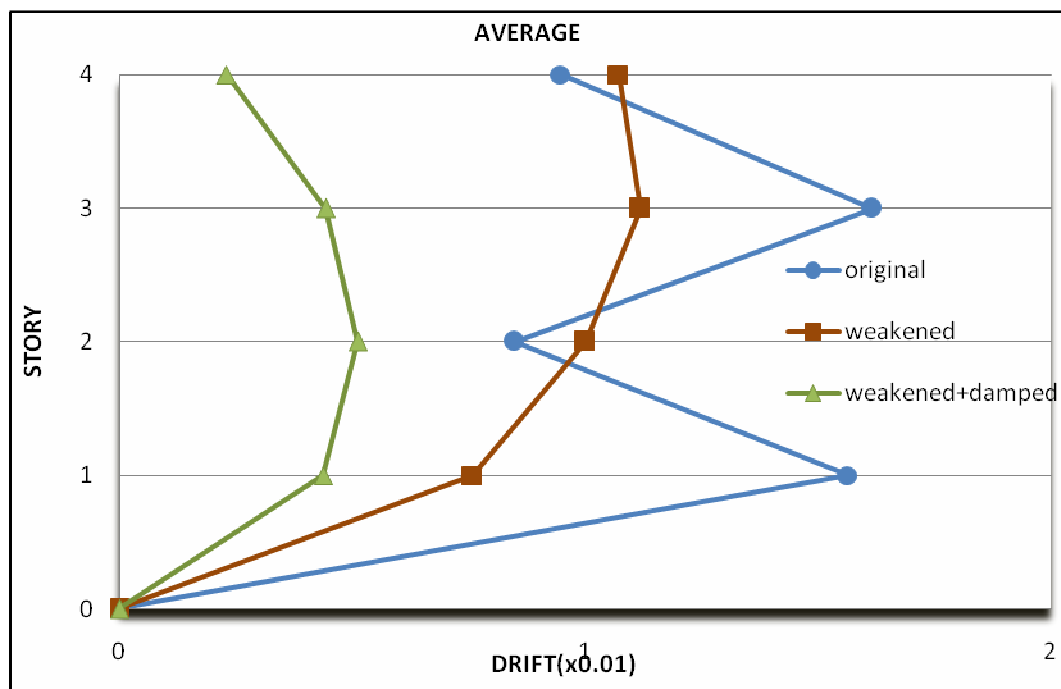
یکی دیگر از پارامترهای قابل بررسی در تحلیل های غیرخطی تغییر مکان جانبی نسبی طبقه (Drift) می باشد که با در دست داشتن تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی طبقات برای قابهای مورد مطالعه حاصل شده از تحلیل دینامیکی غیر خطی، مقادیر حداکثر Drift طبقات تحت شتاب نگاشت زلزله های مذکور تعیین شده و در اشکال (40-5) الی (42-5) مقادیر میانگین حداکثر Drift طبقات قابها در سه حالت اولیه، با سختی کاهش یافته و سختی کاهش یافته به همراه میراگر آورده شده است.



شکل (40-5): نمودار میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات قاب 2 طبقه تحت تحلیل دینامیکی

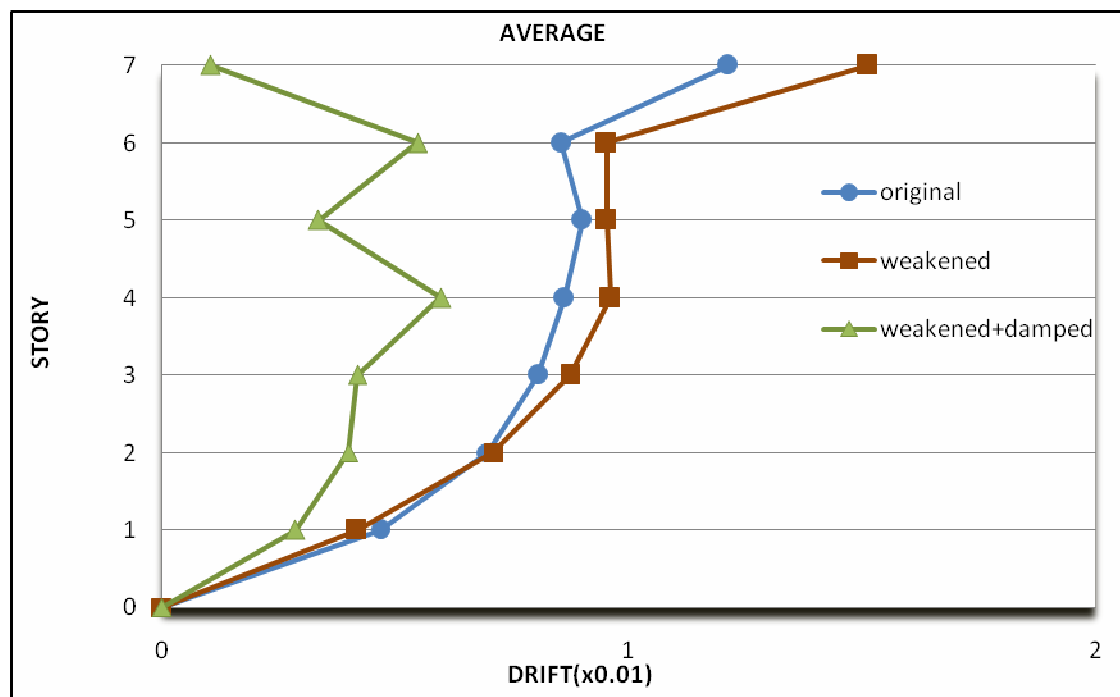
چنانچه در شکل (40-5) دیده میشود در قاب 2 طبقه در مرحله اول بهسازی کاهش سختی جانبی سازه، تغییر مکان جانبی نسبی (DRIFT) طبقه اول 52/5٪ افزایش و در طبقه دوم 16/3٪ کاهش

یافته است و در مرحله دوم افزودن میراگر به سازه مقادیر (DRIFT) سازه بهسازی شده نسبت به سازه اولیه در طبقه اول 45/6٪ و در طبقه دوم 66٪ کاهش پیدا کرده است. نتیجه گرفته میشود کاهش سختی در بعضی طبقات باعث افزایش جابجایی و در بعضی طبقات باعث کاهش جابجایی میشود و افزودن میراگر همواره تاثیر مثبتی در کاهش جابجایی سازه دارد.



شکل (5-41): نمودار میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات قاب 4 طبقه تحت تحلیل دینامیکی

مطابق نمودار شکل (5-41) در قاب 4 طبقه با کاهش سختی جانبی، در طبقات اول و سوم مقدار تغییر مکان به ترتیب به میزان 52٪ و 30٪ نسبت به حالت اولیه افزایش یافته است. مطابق این نمودار افزودن میراگر در اکثر موارد باعث کاهش جابجایی سازه به میزان بالاتر از 70٪ میشود. مشاهده می شود با تغییر شتاب نگاشتها، مقادیر تغییر مکان نسبی طبقات به میزان زیادی تغییر می کند. بنابراین توصیه می شود در انتخاب شتاب نگاشتها دقت بیشتری به عمل آید تا شتاب نگاشتهایی متناسب با منطقه مورد نظر انتخاب گردد.



شکل (5-42): نمودار میانگین ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات قاب 7 طبقه تحت تحلیل دینامیکی

مطابق شکل (5-42) در قاب 7 طبقه نیز با کاهش سختی جانبی سازه، در اکثر طبقات افزایش جابجایی نسبی مشاهده میگردد تنها در طبقه اول این جابجایی به میزان 10٪ کاهش یافته است. همچنین افزودن میراگر در همه موارد باعث کاهش چشمگیر مقادیر تغییر مکان نسبی در طبقات مختلف میشود.

با توجه به نمودارهای فوق میتوان نتیجه گرفت با افزایش طبقات، کاهش سختی جانبی باعث افزایش تغییر مکان جانبی به میزان بیشتری شده و با افزودن میراگر تاثیر مثبت این تکنیک بیشتر مشهود می باشد.

فصل 6- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، بهسازی لرزه ای سازه های موجود مورد بررسی قرار گرفته است و یک روش دو مرحله ای جدید برای بهسازی سازه های فولادی از طریق کاهش سختی و افزودن میراگر ویسکوز ارائه شده و امکان کاهش نیازهای لرزه ای اعم از شتاب، تغییر مکان و برش پایه با استفاده از این روش مورد بررسی قرار گرفت.

در فصل اول مقدمه ای بر بهسازی لرزه ای ارائه شد و در فصل دوم مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه تئوری بهسازی، کنترل ارتعاشات و انواع آن عنوان گردید. در فصل سوم، مراحل انجام پژوهش و فرضیات و روشهای اتخاذ شده به طور مفصل شرح داده شد، همچنین روش آنالیز دینامیکی و استاتیکی غیرخطی در فصل چهارم به طور مشروح آمده است.

در فصل پنجم از این تحقیق، شبیه سازی عددی بر روی سه قاب فولادی خمشی صورت پذیرفت و پس از انجام آنالیز دینامیکی و استاتیکی غیرخطی نتایج و نمودارهای حاصل از مراحل مختلف بهسازی (مرحله اول کاهش سختی و مرحله دوم افزایش میراگر) به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. در اینجا خلاصه ای از نتایج کلی به دست آمده از این روش پیشنهادی ارائه می گردد که به شرح زیر میباشند:

- انجام بهسازی از طریق کاهش سختی و افزودن میراگر ویسکوز در اکثر موارد باعث کاهش نیازهای لرزه ای سازه اعم از شتاب، تغییر مکان و برش پایه میگردد. در نتیجه میتواند روش موثری برای بهسازی بسیاری از سازه ها به حساب آید.
- بهسازی سازه از طریق روش مذکور (weakening + damping) باعث بهبود نقطه عملکرد میشود.

- همانطور که انتظار می‌رود کاهش سختی سازه در مرحله بهسازی (weakening)، باعث افزایش دوره تناوب سازه شده و افزودن میراگر ویسکوز (damping) تاثیری در دوره تناوب ندارد.
- با کاهش سختی سازه در مرحله اول بهسازی (weakening)، شتاب و برش پایه کاهش می‌یابد ولی از طرفی تغییر مکانها افزایش می‌یابند
- با افزودن میراگر در مرحله دوم (damping)، همواره تغییر مکانها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابند، میزان جابجایی کاهش یافته بستگی به مقدار میرایی اضافه شده به سازه دارد یعنی اگر میرایی اضافه شده بیشتر باشد مقادیر تغییر مکانها نیز بیشتر کاهش می‌یابند.
- کاهش سختی سازه در مرحله اول بهسازی در برخی از موارد باعث کاهش تغییر مکانها نیز میشود که این میتواند یک عملکرد مثبت در سازه باشد، به خصوص اینکه با توجه به تحلیل دینامیکی انجام گرفته مشاهده میگردد در اکثر مواردی که سازه اولیه تحت یک شتاب نگاشت فرو می‌ریزد، با کاهش سختی سازه (weakening)، سازه پایدار شده و وضعیت بهتری نسبت به سازه اولیه (original) پیدا میکند.
- تحلیلهای دینامیکی غیر خطی نشان میدهد که در برخی موارد و تحت بعضی از شتاب نگاشتها کاهش سختی باعث افزایش شتاب و برش پایه می‌گردد و این موضوع نشان میدهد باید در انتخاب نوع شتاب نگاشت و تناسب آن با خاک ساختگاه دقت لازم به عمل آید.
- باافزایش ارتفاع و طبقات سازه، تاثیر مرحله اول این روش روی بهبود عملکرد سازه و کاهش برش پایه و شتاب بیشتر میشود، چنانچه نتایج مرحله اول بهسازی روی سازه های 4 و 7 طبقه محسوس تر می باشد. دلیل این امر می تواند بیشتر شدن مقدار کاهش سختی در مرحله اول بهسازی در سازه های با طبقات بیشتر باشد.

- این روش بهسازی به دلیل کاهش قابل توجه شتاب و تغییر مکان به طور همزمان میتواند روش موثری برای بهسازی سازه هایی از قبیل بیمارستان، آزمایشگاهها و مراکز تحقیقاتی پیشرفته باشد که اجزای غیر سازه ای و تجهیزات داخلی ساختمان نظیر وسایل آزمایشگاهی و.... در آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

پیشنهادهات :

- انجام مطالعات روی قابهای سه بعدی با ارتفاعات مختلف و با مقادیر کاهش سختی و افزایش میرایی متفاوت و بررسی میزان کاهش سختی روی نتایج و تعمیم نتایج بدست آمده در این تحقیق به قاب سه بعدی.
- انجام مطالعات روی سازه های نامنظم و بررسی نتایج بهسازی.
- انجام مدلسازی، تحلیلها و مقایسه های انجام شده در این پژوهش برای قابهای بتنی به عنوان یک موضوع پیشنهاد میشود.

فهرست منابع و مراجع

- 1- Soong TT, 1990, "Active structural control, Theory and Practice", JohnWiley and Sons Inc, New York.
- 2- Wilson, 2005, "Fuzzy Control of Magnetorhiological Dampers for Vibration Reductio of Seismically Excited Structures Thesis", the Florida state university.
- 3- جلالی، سید قاسم، تیر 1386، "بررسی پارامتریک اثر میراگرهای اصطکاکی دورانی در قابهای فولادی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه مازندران.
- 4- طاهرینیا، عیسی، آبان 1382، "کنترل نیمه فعال پاسخ لرزه ای سازه چند طبقه همراه با سازه مجاور آن به وسیله میراگرهای نیمه فعال"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- 5- Katsuhiko Ogata, 1990, "Modern Control Engineering", Univ. of Minesita, Prentice - Hall International, pp772-8866.
- 6- اشعثی سرخایی، علی، بهمن 1384، "مقاوم سازی سازه های فولادی با قاب های بادبندی زانوئی به روش کنترل فعال یا نیمه فعال"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- 7- Sarnoand and Elnashai, September 2002, "Seismic Retrofitting of Steel and Composite Building Structures" Report, University of Illinois.
- 8- کافی، "بررسی عملکرد المان شکل پذیر در بادبندهای هم محور قاب های فولادی" کنفرانس بین المللی عمران.
- 9- Simon Foo, Nove Naumoski and Moe Cheung,2005, "Research and application of seismic retrofit technologies in Canada", PRS/AES Technology Directorate Public Works and Government Services, Canada.
- 10- نعیم، فرزاد، 1380، "طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله"، مرکز نشر دانشگاهی.

- 11- نعیم فرزاد ، جیمز، چاپ اول 1381، "طراحی سازه ها با جداسازهای لرزه ای، از تئوری تا عمل" پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- 12- Corner "Introduction to structural motion control" E-BOOK, MIT university, september 2000.
- 13- Carner, Jim, 2000, "Introduction to Structural Motion Control", E-Book MIT University.
- 14- الهی ناطق، اسدی، کاکاوند، چاپ اول 1375، " رفتار و طراحی سازه های ساختمانی بلند" انتشارات پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- 15- Weber, Feltrin and Hath, 2006, "Guidelines for structural control" SAMCO Final Report, Switzerland.
- 16- ناطق الهی، چاپ اول 1378، " میراگرهای انرژی در مقاوم سازی لرزه ای ساختمان ها " انتشارات پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- 17- Vader, 2004, "The Influence of Shgnature Tower Passive Energy Dissipating Devices on Seismic Response of Long Span Cable-Supported Bridges" thesis, Washington State University.
- 18- Mualla "Parameters Influencing the Behavior of a New Friction Damper Device" Technical university of Denmark, 2008 Lyngby, Denmark.
- 19- Taylor Douglas, Philippe Duflot, "Fluid Viscous Damper Used For Seismic Energy Dissipation in Structures", Taylor Devices Inc, 90 Taylor drive, North Tonawanda, NY 14120-0748, USA.
- 20- Jenn-Shin Hwang, 2004, "Seismic Design of Structures whih Viscous Damper", International Training Programs for Seismic Design of Building Structures, Taiwan.
- 21- Saif M. Hussein, S.E, Paul Van Benschoten, S.E, Arvind Nerurkar, P.E, Mohamed Al Satari, Ph.d, Tesfaye Guttema, Ph.d, Silian Lin, Ph.D,

“Viscous Fluid Damper Retrofit of Pre-Northridge Steel Moment Frame Structures”, Coffman Engineers, Inc. Los Angeles, CA.

22- M.Reinhorn Andrei, Cimellaro Gian Paolo , 2006, “Retrofit of a hospital through strength reduction and enhanced damping”, Department of Construction, University of Florence, Italy, Smart Structure and Systems, vol. 2, No. 4.

23- M.Reinhorn Andrei, viti Stefania, Cimellaro Gian Paolo, May 16-21, 2005, “Retrofit of Structure: Strength Reduction with damping enhancement”, 37th Technical Panel Meeting on Wind and Seismic Effects UJNR, Tsukuba, Japan.

24- Robert D. Hanson , TSU T. Soong ,2001 ,“Seismic Design With Supplemental Energy Dissipation Device” , Earthquake Engineering Research Institute , Buffalo , Newyork.

25- Computer and Structures Ink, Software Verification, Sap2000, “Link-Suny Buffalo Damper with Linear Velocity Exponent ”, Revision No. 0, Example 6-006

26- فهندژ سعدی، جواد، 1385، "معرفی برنامه تعیین نقطه عملکرد سازه به روش طیف ظرفیت"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه مازندران.

27- Moghadam, A. S, TSO, W.K, Summer 2000, “3-D pushover Analysis for Damage Assessment of Building”, JSEE, vol.2, No. 3.

28- سلطانی، مجید، 1381 "بررسی طیف ظرفیت در مقاوم سازی لرزه ای سازه ها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

29- FEMA-273, 1997, “NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings”, Federal Emergency management Agency.

30- Applied Technology Council, November 1996, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, ” Report ATC-40.

چکیده:

شتاب ها و تغییر مکان های زیاد عامل اصلی خرابی در طی زلزله های بزرگ می باشد، از اینرو تامین شکل پذیری و کاهش تغییر مکان ها و به تبع آن کاهش خسارات در سازه ها، به خصوص برای بهسازی ساختمانهایی که طبق آئین نامه های قدیمی طرح شده اند بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در چند دهه اخیر، محققین در صدد یافتن راههای مختلف افزایش مقاومت سازه ها در برابر زلزله، روشهای بهسازی بسیاری را پیشنهاد و ابداع نمودند که اکثر این روشها بر پایه افزایش مقاومت می باشد که معمولاً به همراه افزایش سختی و کاهش دوره تناوب سازه می باشد.

در این تحقیق یک روش جدید بهسازی معرفی شده است که با اکثر روشهای مرسوم متفاوت می باشد. هدف اصلی این روش کاهش نیاز لرزه ای و شتاب ماکزیموم سازه می باشد.

در این روش طی دو مرحله سازه مورد بهسازی قرار می گیرد، در مرحله نخست، به منظور کاهش نیاز لرزه ای سازه سختی جانبی آن کاهش داده می شود. این مرحله (تضعیف سازه)، همانطور که انتظار می رود با تغییر مکانهای زیاد همراه است، بنابراین در مرحله دوم بهسازی با استفاده از میراگرهای اضافی مناسب این تغییر مکانها کنترل می گردد.

در این تحقیق عملکرد روش پیشنهادی روی سازه های فولادی مورد بررسی قرار گرفته است و بدین منظور سه قاب خمشی فولادی با ارتفاع های مختلف در نظر گرفته شده و با انجام آنالیز استاتیکی غیرخطی (push over) و دینامیکی غیرخطی (time history)، رفتار سازه اعم از سطح عملکرد و نقطه عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتیجه شبیه سازی های عددی (با استفاده از 7 شتاب نگاشت) حاکی از آن است که علی رغم افزایش جابه جایی در مرحله اول بهسازی، عملکرد نهایی روش پیشنهادی رضایت بخش بوده و در اکثر موارد کاهش شتاب، برش پایه و جابه جایی را به همراه دارد و همچنین سطح عملکرد سازه ها به میزان قابل توجهی بهبود یافته اند، به طوریکه در برخی موارد سازه از سطح عملکرد واژگونی به سطح عملکرد خطی رسیده است، به همین جهت این روش بهسازی باعث کاهش خسارات اجزای سازه ای و

غیر سازه ای (به دلیل کاهش شتاب) به طور همزمان گشته و می تواند در بهسازی سازه هائی که وسایل ثانویه (اجزای غیر سازه ای) در آنها از اهمیت ویژه برخوردار است (مثل بیمارستانها، آزمایشگاهها و مراکز پیشرفته تحقیقات) بسیار موثر باشد.

واژگان کلیدی: بهسازی، افزایش مقاومت، کاهش سختی، میرایی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، تحلیل استاتیکی غیرخطی

Abstract

Acceleration and large deformation are main reason of damages during the strong earthquakes, hence providing ductility and decreasing displacement results in a decrease in structural damages, specially for deficient structures that were designed with earlier codes.

In recent decades, for improving the structural behavior, researchers have innovated and suggested many retrofit methods. These methods are mainly based on strengthening the structural elements which in turn leads to the increased stiffness and decreased period of the structure.

In this study, a new retrofit procedure, based on a different strategy is introduced. The procedure has two main stages. At the first stage the stiffness of the structure is reduced in order to reduce the seismic demand. This stage, called structural weakening, as expected usually results in large displacements. Hence, in the second stage of the retrofit, additional damping is provided by adding proper dampers for controlling the displacements. The main advantage of this procedure is reducing the seismic demand and reducing the peak building acceleration.

In this thesis the performance of proposed retrofit method for steel structures is investigated. For this purpose three moment frames steel structures with different heights are considered and nonlinear dynamic analysis (time history) and push over analysis were carried out to evaluate the behavior of the structures including performance level and performance point of structures.

Numerical simulations (with seven historical strong motion records) show that despite increasing the displacement in the first stage, the overall performance of the suggested method is desirable and in most cases a reduction in the acceleration, base shear and displacement is achieved. In addition, the performance level of structures was improved and even in

some cases the performance level changed from collapse to a linear limit. Accordingly, the proposed retrofit method causes damage reduction in both structural and nonstructural elements and equipments simultaneously, and can be endorsed specially for situations such as hospital, laboratories and advanced technology centers where the protection of the 'secondary systems' are vital.

Key words: retrofit, strengthening, damping, weakening, dynamic analysis, push over

