دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

بررسی عملکرد سیستمهای کنترل نیمه فعال در حفاظت لرزه ای تجهیزات حساس با استفاده از الگوریتم سختی منفی

توسط:

آرش امان‌پور

استاد راهنما:

دکتر تهرانی زاده

دکتر تقی خانی

بهار 1387

دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

بررسی عملکرد سیستمهای کنترل نیمه فعال در حفاظت لرزه ای تجهیزات حساس با استفاده از الگوریتم سختی منفی

توسط:

آرش امان‌پور

استاد راهنما:

دکتر تهرانی زاده

دکتر تقی خانی

بهار 1387

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تاریخ:.....
پیوست:.....

نام و نام‌خانوادگی: **آرش امان‌پور** **دانشجوی:** **آزاد** (√) **بورسیه** (...) **معادل** (...)

شماره دانشجویی: 84124013 **دانشکده:** **مهندسی عمران و محیط زیست** **رشته تحصیلی:** **مهندسی زلزله**

نام و نام‌خانوادگی استاد راهنما: دکتر محسن تهرانی‌زاده – دکتر تورج تقی‌خانی

عنوان پایان‌نامه به فارسی:
بررسی عملکرد سیستمهای کنترل نیمه فعال در حفاظت لرزه ای تجهیزات حساس با استفاده از الگوریتم سختی منفی

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:
Seismic Protection of Vulnerable Equipment by Semi Active Control Systems, Using Pseudo Negative Stiffness Algorithm

نوع پروژه: **کارشناسی ارشد** (√) / **دکتـــــــرا** (...) **کاربردی** (√) **بنیادی** (...) **توسعه‌ای** (...) **نظری** (...)

تاریخ شروع: ۸۵/۳/۲۹ **تاریخ خاتمه:** ۸۷/۳/۶ **تعداد واحد:** ۶

سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه‌های کلیدی به فارسی:
کنترل نیمه فعال - الگوریتم بهینه – جداسازی لرزه ای – میراگر ویسکوز- سختی منفی

واژه‌های کلیده به انگلیسی:
Semi Active Control – Optimal Algorithm – Base Isolation –Viscous Damper
Pseudo Negative Stiffness

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

نسخه ۱: معاونت پژوهشی
نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان‌نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

این پایان نامه با راهنمایی‌های بدریغ دکتر تقی‌خانی و دکتر تهرانی‌زاده بعنوان اساتید راهنما صورت گرفته که از ایشان کمال تقدیر و تشکر را دارم.

این پایان نامه را به پدر و مادر و تنها خواهرم تقدیم می‌کنم.

چکیده

خدمات رسانی مراکز درمانی مثل بیمارستانها، مراکز امدادرسانی و مراکز اطلاعاتی در حین و بعد از زلزله نه تنها به عملکرد سیستم سازه‌ای ساختمانهای آنها، بلکه به عملکرد محتویات داخل این ساختمانها نیز بستگی دارد. اکثر اعضای غیر سازه‌ای متصل به کف طبقات ساختمان در معرض حرکت زمین قرار نمی‌گیرد، بلکه ارتعاشات افزایش یافته کف طبقات در نتیجه پاسخ دینامیکی ساختمان به آنها وارد می‌شود.

روشهای سنتی کاهش خسارت به تجهیزات از قبیل پیچ کردن آنها به کف و مهاربندی به منظور افزایش مقاومت تجهیزات باعث انتقال ارتعاشات و بروز خسارت در تجهیزات می‌شود. جداسازی لرزه‌ای یکی از مؤثرترین روشهای کاهش خطر در برابر زلزله‌های قوی است. از طرف دیگر، کاهش ارتعاشات برای طیف وسیعی از حرکات زمین حالت بهینه ندارد. لذا جستجو برای پیدا کردن سیستم جداسازی که بتواند برای طیف وسیعی از حرکات زمین مؤثر باشد، منجر به تحقیقات دانشمندان روی استراتژی‌های کنترل مرکب شامل سیستم جداسازی لرزه‌ای همراه با میراگر فعال شده است. مزایای سیستم جداسازی مرکب، عملکرد خوب آن در کاهش ارتعاشات و توانایی آن در تطبیق با شرایط بارگذاری مختلف و کنترل چندین مود ارتعاشی سازه و ... است.

در سیستم نیمه‌فعال انرژی خارجی تنها برای اصلاح مشخصات دینامیکی دستگاه نیمه‌فعال در طول زلزله استفاده می‌شود. لذا این سیستم‌ها نمی‌توانند انرژی مکانیکی سیستم را افزایش دهند. مطالعات انجام شده بیانگر این نکته است که کنترل نیمه‌فعال اغلب عملکرد کنترل فعال را می‌تواند تأمین کند. لذا تکنولوژی کنترل نیمه‌فعال اخیراً بطور گسترده‌ای برای کاهش پاسخ دینامیکی سازه‌های در معرض زلزله و باد مورد مطالعه قرار گرفته است.

Iemura و Pradono در سال 2003 الگوریتم کنترل سختی شبه منفی را بعنوان یک الگوریتم ساده کنترل نیمه-فعال ارائه دادند که ترکیب نیروی حاصل ازسختی منفی و میرایی است. حلقه هیسترزیس میراگر حاصل از این روش باعث می‌شود مجموع نیروی میراگر و نیروی الاستیک تا حد امکان پائین نگه داشته شود و از طرف دیگر حلقه هیسترزیس پهن باشد.

در این مطالعه سختی شبه منفی بعنوان الگوریتم کنترل نیمه‌فعال برای کاهش ارتعاشات تجهیزاتی که روی سیستم جداسازی لرزه‌ای LRB قرار گرفته، بررسی شده است. مطالعه روی طبقات مختلف سازه مورد مطالعه نشان داد که آخرین طبقه این سازه بحرانی‌ترین اثر را روی تجهیزات دارد. لذا اثر پاسخ آخرین طبقه ساختمان روی تجهیزات و با استفاده از الگوریتم ذکر شده بررسی شد. نتایج نشان داد که که با انتخاب ضرایب سختی و میرایی مناسب برای الگوریتم سختی شبه منفی، ارتعاشات تجهیزات به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. مقایسه این الگوریتم با الگوریتم LQR حکایت از کارایی خوب این الگوریتم ساده دارد.

فهرست

1- فصل اول: مقدمه 1

1-1- مقدمه 1

1-2- عملکرد تجهیزات در زلزله های گذشته 2

1-3- افزایش امنیت لرزه ای با استفاده از تکنولوژی کنترل سازه 3

1-4- اهداف مطالعه 4

1-5- فصل بندی پایان نامه 4

2- فصل دوم: تجهیزات و حفاظت لرزه‌ای آنها 6

2-1- مقدمه 6

2-2- روشهای محافظت از تجهیزات 9

2-2-1- جداسازی کل ساختمان 10

2-2-2- جداسازی اعضا بطور جداگانه 10

2-2-3- جداسازی بصورت کف کاذب 11

2-3- مدلسازی تجهیزات 11

2-4- معیارهای حفاظت لرزه ای تجهیزات 12

3- فصل سوم: مبانی کنترل سازه 16

3-1- مقدمه 16

3-2- تاریخچه کنترل سازه 17

3-3- روش های طراحی 20
3-3-1- روش طراحی براساس تأمین شکل پذیری 20
3-3-2- روش جداسازی لرزه ای 21
3-3-3- روش کنترل پاسخ دینامیکی 21
3-4- مفاهیم کنترل سازه 22
3-4-1- کنترل غیر فعال 23
3-4-2- کنترل فعال 23
3-4-3- کنترل نیمه فعال 24
3-5- انواع کنترل 25
3-6- الگوریتمهای کنترل سازه 26
3-6-1- کنترل بهینه 27
الگوریتم کنترل بهینه LQR 27
3-6-2- کنترل روباست 28
کنترل H_∞ 29
3-6-3- کنترل پیش‌بینی کننده 29
3-7- ارزیابی و مقایسه سیستم کنترل فعال و نیمه فعال در سیستم جداسازی لرزه ای 30

4- فصل چهارم: الگوریتم نیمه فعال سختی شبه منفی (PNS) 37
4-1- مقدمه 37
4-2- الگوریتم کنترل بهینه LQR 38
4-3- کنترل سختی شبه منفی 40
4-3-1- مفهوم کنترل سختی شبه منفی (PNS) 40
4-3-2- الگوریتم کنترل PNS 42

4-3-3- تأثیر سختی منفی بر سازه یک درجه آزادی 43
4-3-4- مروری بر تحلیل 45
4-4- مقایسه الگوریتم PNS و LQR 49

5- فصل پنجم: مدلسازی و بیان مسأله 51
5-1- مقدمه 51
5-2- مدل مطالعاتی 52
5-3- مدل ریاضی برای تحلیل 54
5-4- ورودی های زلزله 55
5-5- مدل کامپیوتری 67
5-6- ارزیابی صحت مدل عددی 69

6- فصل ششم: بررسی نتایج 72
6-1- مقدمه 72
6-2- پاسخ سیستم "تجهیزات+کف کاذب" به ارتعاشات طبقه 73
6-2-1- زلزله السنترو(Elcentro, 1940) 73
6-2-2- زلزله کوبه(Kobe, 1995) 76
6-2-3- زلزله نورث ریج(Northridge, 1994) 79
6-2-4- زلزله طبس(Tabas, 1978) 81
6-3- نتایج پاسخ سیستم بازای ضرایب سختی و میرایی مختلف میراگر 83
6-3-1- زلزله السنترو(Elcentro, 1940) 85
6-3-2- زلزله کوبه(Kobe, 1995) 90
6-3-3- زلزله نورث ریج(Northridge, 1994) 94

6-3-4- زلزله طبس(Tabas, 1978) 98
6-4- نتایج کنترل PNS با ضرایب سختی و میرایی بهینه 103
6-4-1- زلزله السنترو(Elcentro, 1940) 103
6-4-2- زلزله کوبه(Kobe, 1995) 105
6-4-3- زلزله نورث ریج(Northridge, 1994) 108
6-4-4- زلزله طبس(Tabas, 1978) 110
6-5- مقایسه نتایج حاصل از کنترل PNS با کنترل LQR 112
6-5-1- زلزله السنترو(Elcentro, 1940) 112
6-5-2- زلزله کوبه(Kobe, 1995) 113
6-5-3- زلزله نورث ریج(Northridge, 1994) 113
6-5-4- زلزله طبس(Tabas, 1978) 114
6-6- مقایسه نتایج 115

7- فصل هفتم: نتیجه گیری 118

مراجع 120

فهرست جدولها

جدول 5-1- مشخصات مدل تجهیزات+کف کاذب مورد مطالعه.....53
جدول 5-2- نسبت تشابهی در مدل آزمایشگاهی Yoshoika و همکاران.....70
جدول 6-1- مقادیر پاسخ طبقه 7 سازه بازای زلزله های مختلف.....83

فهرست شکلها و نمودارها

شکل 2-1- خسارت به ترانسفورماتور 6

شکل 2-2- واژگونی قفسه های مهار نشده 7

شکل 2-3 - نمونه ای از تجهیزات داخل ساختمان 8

شکل 2-4- لوله کشی تانکر که در اثر حرکت مخزن ممکن است دچار خسارت شود 12

شکل 2-5- تجهیزات روی کف کاذب که در طبقات قرار دارد 14

شکل 3-1- بتکده Gujonoto 19

شکل 3-2- طراحی بر اساس تأمین شکل پذیری 20

شکل 3-3- جداسازی لرزه ای 21

شکل 3-4- کنترل سازه 22

شکل 3-5- سازه متداول (بدون کنترل) 22

شکل 3-6- سازه با کنترل غیر فعال 23

شکل 3-7- سازه با کنترل فعال 24

شکل 3-8- سازه با کنترل نیمه فعال 25

شکل 3-9- کنترل فیدبک و فیدفوروارد فعال 26

شکل 3-10- دیاگرام بلوکی کنترل پیش بینی کننده 30

شکل 4-1- مقایسه حلقه هیسترزیس کنترل LQR و PNS با کنترل غیرفعال 41

شکل 4-2- محدوده ممکن برای تولید نیروی کنترل نیمه فعال 43

شکل 4-3- حلقه هیسترزیس برای الف) میراگر ویسکوز خطی ب) فنر و میراگر ویسکوز 46

شکل 4-4- حلقه هیسترزیس برای الف) میراگر سختی شبه منفی ب) فنر و میراگر با سختی شبه منفی 48

شکل 4-5- حلقه هیسترزیس میراگر ویسکوز و کنترل LQR در پل 50

شکل 5-1- مدل تجهیزات+کف کاذب همراه با عملگر نیمه فعال 52
شکل 5-2- نمونه مدل آزمایشی Yoshoika و همکاران 53
شکل 5-3- نمایش فضای حالت مدل 54
شکل 5-4- تجهیزات در ساختمان مورد مطالعه 56
شکل 5-5- طیف پاسخ شتاب طبقات برای زلزله السنترو 56
شکل 5-6- طیف پاسخ تغییرمکان طبقات برای زلزله السنترو 57
شکل 5-7- طیف پاسخ سرعت طبقات برای زلزله السنترو 57
شکل 5-8- طیف پاسخ شتاب طبقات برای زلزله کوبه 57
شکل 5-9- طیف پاسخ تغییرمکان طبقات برای زلزله کوبه 58
شکل 5-10- طیف پاسخ سرعت طبقات برای زلزله کوبه 58
شکل 5-11- طیف پاسخ شتاب طبقات برای زلزله نورث ریج 58
شکل 5-12- طیف پاسخ تغییرمکان طبقات برای زلزله نورث ریج 59
شکل 5-13- طیف پاسخ سرعت طبقات برای زلزله نورث ریج 59
شکل 5-14- طیف پاسخ شتاب طبقات برای زلزله طبس 59
شکل 5-15- پاسخ تغییرمکان طبقات برای زلزله طبس 60
شکل 5-16- طیف پاسخ سرعت طبقات برای زلزله طبس 60
شکل 5-17- شتاب زمین در زلزله السنترو(PGA=0,31g) 61
شکل 5-18- شتاب طبقه 7 سازه در زلزله السنترو(PGA=1,33g) 61
شکل 5-19- مقایسه طیف پاسخ شتاب زمین و طبقه 7 سازه در زلزله السنترو 61
شکل 5-20- مقایسه طیف پاسخ تغییرمکان زمین و طبقه 7 سازه در زلزله السنترو 62
شکل 5-21- مقایسه طیف پاسخ سرعت زمین و طبقه 7 سازه در زلزله السنترو 62
شکل 5-22- شتاب زمین در زلزله کوبه(PGA=0,82g) 62
شکل 5-23- شتاب طبقه 7 سازه در زلزله کوبه(PGA=3,7g) 63

شکل 5-24- مقایسه طیف پاسخ شتاب زمین و طبقه 7 سازه در زلزله کوبه 63
شکل 5-25- مقایسه طیف پاسخ تغییرمکان زمین و طبقه 7 سازه در زلزله کوبه 63
شکل 5-26- مقایسه طیف پاسخ سرعت زمین و طبقه 7 سازه در زلزله کوبه 64
شکل 5-27- شتاب زمین در زلزله نورث ریج(PGA=0,6g) 64
شکل 5-28- شتاب طبقه 7 سازه در زلزله نورث ریج(PGA=1,97g) 64
شکل 5-29- مقایسه طیف پاسخ شتاب زمین و طبقه 7 سازه در زلزله نورث ریج 65
شکل 5-30- مقایسه طیف پاسخ تغییرمکان زمین و طبقه 7 سازه در زلزله نورث ریج 65
شکل 5-31- مقایسه طیف پاسخ سرعت زمین و طبقه 7 سازه در زلزله نورث ریج 65
شکل 5-32- شتاب زمین در زلزله طبس(PGA=0,84g) 66
شکل 5-33- شتاب طبقه 7 سازه در زلزله طبس(PGA=3,76g) 66
شکل 5-34- مقایسه طیف پاسخ شتاب زمین و طبقه 7 سازه در زلزله طبس 66
شکل 5-35- مقایسه طیف پاسخ تغییرمکان زمین و طبقه 7 سازه در زلزله طبس 67
شکل 5-36- مقایسه طیف پاسخ سرعت زمین و طبقه 7 سازه در زلزله طبس 67
شکل 5-37- دیاگرام بلوکی ورودی و خروجی های سیستم 68
شکل 5-38- دیاگرام بلوکی معادله حرکت دو درجه آزادی در سیمولینک 69
شکل 5-39- مقایسه نتایج تغییرمکان کف کاذب به دو روش تحلیلی و آزمایشگاهی 71
شکل 6-1- پاسخ شتاب کف کاذب 74
شکل 6-2- پاسخ شتاب تجهیزات 74
شکل 6-3- پاسخ تغییرمکان کف کاذب 75
شکل 6-4- پاسخ تغییرمکان نسبی تجهیزات 75
شکل 6-5- پاسخ سرعت کف کاذب 75
شکل 6-6- پاسخ سرعت نسبی تجهیزات 76
شکل 6-7- پاسخ شتاب کف کاذب 76

شکل 6-8- پاسخ شتاب تجهیزات 77
شکل 6-9- پاسخ تغییرمکان کف کاذب 77
شکل 6-10- پاسخ تغییرمکان نسبی تجهیزات 77
شکل 6-11- پاسخ سرعت کف کاذب 78
شکل 6-12- پاسخ سرعت نسبی تجهیزات 78
شکل 6-13- پاسخ شتاب کف کاذب 79
شکل 6-14- پاسخ شتاب تجهیزات 79
شکل 6-15- پاسخ تغییرمکان کف کاذب 79
شکل 6-16- پاسخ تغییرمکان نسبی تجهیزات 80
شکل 6-17- پاسخ سرعت کف کاذب 80
شکل 6-18- پاسخ سرعت نسبی تجهیزات 80
شکل 6-19- پاسخ شتاب کف کاذب 81
شکل 6-20- پاسخ شتاب تجهیزات 81
شکل 6-21- پاسخ تغییرمکان کف کاذب 81
شکل 6-22- پاسخ تغییرمکان نسبی تجهیزات 82
شکل 6-23- پاسخ سرعت کف کاذب 82
شکل 6-24- پاسخ سرعت نسبی تجهیزات 82
شکل 6-25- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات در زلزله السنترو 84
شکل 6-26- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات در زلزله السنترو 84
شکل 6-27- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 85
شکل 6-28- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 86
شکل 6-29- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 87
شکل 6-30- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 87

شکل 6-31- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 88
شکل 6-32- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 89
شکل 6-33- مساحت حلقه های هیسترزیس 89
شکل 6-34- نیروی حداکثر میراگر 90
شکل 6-35- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 90
شکل 6-36- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 91
شکل 6-37- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 91
شکل 6-38- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 92
شکل 6-39- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 92
شکل 6-40- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 93
شکل 6-41- مساحت حلقه های هیسترزیس 93
شکل 6-42- نیروی میراگر 94
شکل 6-43- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 94
شکل 6-44- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 95
شکل 6-45- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 95
شکل 6-46- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 96
شکل 6-47- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 96
شکل 6-48- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 97
شکل 6-49- مساحت حلقه های هیسترزیس 97
شکل 6-50- نیروی میراگر 98
شکل 6-51- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 98
شکل 6-52- نسبت پاسخ شتاب حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 99
شکل 6-53- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 99

شکل 6-54- نسبت پاسخ تغییرمکان حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 100
شکل 6-55- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده کف کاذب 100
شکل 6-56- نسبت پاسخ سرعت حداکثر حالت کنترل شده به کنترل نشده تجهیزات 101
شکل 6-57- مساحت حلقه های هیسترزیس 101
شکل 6-58- نیروی میراگر 102
شکل 6-59- مقایسه پاسخ شتاب تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 103
شکل 6-60- مقایسه پاسخ تغییرمکان تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 103
شکل 6-61- مقایسه پاسخ سرعت تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 104
شکل 6-62- حلقه هیسترزیس میراگر نیمه فعال با کنترل PNS 104
شکل 6-63- حلقه هیسترزیس کف کاذب با کنترل PNS 105
شکل 6-64- مقایسه پاسخ شتاب تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 105
شکل 6-65- مقایسه پاسخ تغییرمکان تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 106
شکل 6-66- مقایسه پاسخ سرعت تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 106
شکل 6-67- حلقه هیسترزیس میراگر نیمه فعال با کنترل PNS 107
شکل 6-68- حلقه هیسترزیس کف کاذب با کنترل PNS 107
شکل 6-69- مقایسه پاسخ شتاب تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 108
شکل 6-70- مقایسه پاسخ تغییرمکان تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 108
شکل 6-71- مقایسه پاسخ سرعت تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 108
شکل 6-72- حلقه هیسترزیس میراگر نیمه فعال با کنترل PNS 109
شکل 6-73- حلقه هیسترزیس کف کاذب با کنترل PNS 109
شکل 6-74- مقایسه پاسخ شتاب تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 110
شکل 6-75- مقایسه پاسخ تغییرمکان تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 110
شکل 6-76- مقایسه پاسخ سرعت تجهیزات در حالت کنترل نشده و کنترل شده 110

شکل 6-77- حلقه هیسترزیس میراگر نیمه فعال با کنترل PNS 111
شکل 6-78- حلقه هیسترزیس کف کاذب با کنترل PNS 111
شکل 6-79- حلقه هیسترزیس میراگر الف)PNS ب)LQR 112
شکل 6-80- حلقه هیسترزیس کف کاذب الف)PNS ب)LQR 112
شکل 6-81- حلقه هیسترزیس میراگر الف)PNS ب)LQR 113
شکل 6-82- حلقه هیسترزیس کف کاذب الف)PNS ب)LQR 113
شکل 6-83- حلقه هیسترزیس میراگر الف)PNS ب)LQR 113
شکل 6-84- حلقه هیسترزیس کف کاذب الف)PNS ب)LQR 114
شکل 6-85- حلقه هیسترزیس میراگر الف)PNS ب)LQR 114
شکل 6-86- حلقه هیسترزیس کف کاذب الف)PNS ب)LQR 114
شکل 6-87- مقایسه پاسخ شتاب حداکثر بازای روشهای مختلف محافظت از تجهیزات 115
شکل 6-88- مقایسه پاسخ تغییرمکان حداکثر بازای روشهای مختلف محافظت از تجهیزات 115
شکل 6-89- مقایسه پاسخ سرعت حداکثر بازای روشهای مختلف محافظت از تجهیزات 116

1

فصل اول

مقدمه

1-1- مقدمه

کاهش اثرات مخرب ناشی از خطرات طبیعی بر زندگی انسان یکی از مهمترین موضوعاتی است که مهندسین عمران امروزه با آن روبرو هستند. در مهندسی سازه و زلزله، یکی از چالشهای اصلی یافتن لوازم و روشهای مدرن برای محافظت سازه‌های موجود و نوساز از خسارات ناشی از نیروهای محیطی از قبیل باد، موج و زلزله است. البته زلزله در مناطقی مانند ایران از اهمیت بیشتری برای مهندسین برخوردار است.

در حالیکه ارتقای ایمنی ساختمانها، پل‌ها، نیروگاهها، سدها ... در برابر زلزله توجه قابل ملاحظه‌ای را در سالهای اخیر معطوف خود ساخته، بطور تاریخی تلاش کمتری در جهت ارتقای عملکرد تجهیزات بحرانی، سیستم‌های تجهیزات حساس و فرآیند آن در طول و بعد از زلزله صورت گرفته است. خسارات مالی در زلزله‌ها بدلیل خسارات غیرسازه‌ای می‌تواند بیشتر از خسارات سازه‌ای باشد. مخصوصاً در موارد کارخانجات صنعتی که هزینه بالقوه محصولات زیان دیده، تجارت زیان دیده و اثر زیست محیطی می‌تواند بیشتر از هزینه خسارت سازه‌ای باشد. ادامه عملکرد کارخانجات صنعتی در صورت وقوع زلزله همان اندازه که به پایداری سازه‌هایشان بستگی دارد به نقش آفرینی سیستم‌های بحرانی نیز نیاز دارد (مثل منبع نیرو و آب)[1].