بسم الله

الرحمن

الرحيم

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی سازه

ارزیابی دقت روش‌های تحلیل غیرخطی برای اعضای بتن آرمه

استاد راهنما

دکتر برقی

استاد مشاور

دکتر صدرنژاد

نگارش

سینا رستمی

8602424

تابستان 89

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه : ارزیابی دقت روش‌های تحلیل غیرخطی برای اعضا بتن آرمه
استاد راهنما: دکتر برقی
استاد مشاور: دکتر صدرنژاد
نام دانشجو: سینا رستمی
شماره دانشجوئي: 8602424

اینجانب سینا رستمی، دانشجوي دورهٔ کارشناسي ارشد مهندسي عمران، گرایش سازه دانشکدهٔ مهندسی عمران دانشگاه صنعتي خواجه نصیرالدین طوسي گواهي مي‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید مي‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهي مي‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون براي دریافت هیچ نوع مدرك یا امتیازي توسط اینجانب یا فرد دیگري درهیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب(فرمت) مصوب دانشگاه رارعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپي برداري بصورت کل پایان نامه یا بخشي از آن تنها باموافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکدهٔ مهندسی عمران دانشگاه صنعتي خواجه نصیرالدین طوسي مجاز می‌باشد. ضمنا متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوي این اثر متعلق به دانشگاه صنعتي خواجه نصیرالدین طوسي می‌باشد و بدون اجازه کتبي دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاري نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمي باشد.

چکیده

در سال‌هاي اخير محققان گام‌هاي مؤثري در طراحي سازه‌هاي مقاوم در برابر زلزله برداشته‌اند. به عبارت ديگر ديدگاه آنان در فراهم آوردن طرحي ايمن و مطمئن براي سازه در مقابل بارهاي ويرانگر زلزله بهبود چشمگيري يافته است. اين پيشرفت شامل تغيير نگرش دانشمندان از طراحي بر اساس نيرو به سمت طراحي بر مبناي رفتار بوده است. اين روش اصطلاحاً طراحي بر اساس عملكرد سازه (PERFORMANCE BASED DESIGN) ناميده مي‌شود. در تحليل بار افزون با مقايسه مقاومت و تغيير مكان تقاضا بر اساس زلزله‌هاي طرح با ظرفيت‌هاي موجود در سطوح عملكردي (PERFORMANCE LEVEL) مورد نظر، رفتار مورد انتظار سازه تخمين زده مي‌شود. از اين روي تحليل بارافزون نقش مهم كليدي خواهد داشت چرا كه بدون نياز به انجام تحليل‌هاي وقتگير، پرهزينه و پيچيده ديناميكي غيرخطي، رفتار نهايي سازه از نظر نحوه توزيع مفاصل پلاستيك، نوع و نحوه توزيع مفاصل پلاستيك، نوع و نحوه تشكيل حالت مكانيزم خرابي، تغيير مكان‌هاي كلي و نسبي تقاضا، نيروهاي نهايي اعضا و .... با دقت مناسب برآورد مي‌گردد. در اين تحقيق انواع فراسنج‌های موثر در تحليل استاتيكی غيرخطی سازه‌ها بررسی گرديده‌اند و دقت آن‌ها ارزيابی گرديده است. دو سری نتايج آزمايشگاهی بررسی شده است. در ابتدا با نرم افزار Ansys الگو سازی عددی انجام شده و چگونگی الگو سازی اجزاء محدودی، مورد بررسی قرار گرفته و نتايج عددی با نتايج آزمايشگاهی مقايسه شده است، سپس در محيط نرم‌افزار SAP2000 الگو سازی عددی به انواع روش‌ها (بررسی رفتار غير خطی مصالح و بررسی اثرات ثانويه تحليل غير خطی هندسی و الگوهای بارگذاری مختلف) انجام شده و تحليل‌های لازم انجام گرديده است. با

مقایسه نتایج حاصل از تحلیل الگوی عددی با نتایج آزمایشگاهی، دقت هر روش بررسی و ارزیابی گردیده است. نتایج بررسی‌ها در این تحقیق نشان داده است، گزینه‌های متفاوت تحلیل غیر خطی سازه‌ها در نرم افزارهای Ansys و SAP2000 هر کدام در محدوده و تحت شرایط خاص خروجی‌های دقیق‌تری را به همراه داشته است.

کلمات کلیدي: تحلیل استاتیکی غیرخطی، الگوهای بارگذاری، رفتار غیر خطی مصالح

فهرست مطالب

1- فصل اول – مقدمه 1
1-1- طرح مسئله 1
1-1-1- مقدمه 1
1-1-2- شیوه انجام تحقیق 3
1-1-3- معرفی ساختار پایان نامه 4
1-2- مروری بر منابع تحقیقاتی موجود 5
1-2-1- آئین‌نامه ها 5
1-2-2- مقالات و تحقیقات 6
2- فصل دوم – رفتار غیرخطی سازه ها 18
2-1- تئوری تحلیل غیرخطی هندسی سازه ها 18
2-1-1- اثرات $P-\Delta$ در قابها 18
2-2- تئوری تحلیل غیرخطی مصالح سازه ها 29
2-2-1- کلیات رفتار غیرخطی مصالح 29
2-2-2- معیار تسلیم 32
2-3- روش تحلیل مسائل غیرخطی 34
2-3-1- روشهای غیرخطی حل مسائل 34
2-3-2- معیار همگرائی 38
3- فصل سوم– بررسی دقت روشهای مختلف تحلیل غیرخطی قابها 41
3-1- کلیات 41
3-2- تحلیل‌هاي خطي 41
3-2-1- تحلیل استاتیکي خطي 42
3-2-2- تحلیل دینامیکي خطی 42
3-3- تحلیل‌هاي غیرخطي 43

3-4- تحلیل استاتیکی غیرخطی (Push Over) 45
3-5- توزیع بار جانبی 46
3-6- محاسبه دقت تکنیک‌های پوش‌آور با تکنیک‌های دینامیکی غیرخطی 48
3-7- انتخاب نرم افزار 49
3-7-1- مقایسه جزئیات ساخت الگوی عددی و تحلیل 49
3-7-2- مقایسه موردی نرم افزارهای موجود 50
3-8- تحلیل بار افزون (Push Over) با نرم افزار SAP2000 51
3-8-1- روش معرفی مفاصل پلاستیک در نرم افزار SAP 2000 53
3-8-2- روش معرفی تحلیل بار افزون به نرم افزار SAP2000 53
4- فصل چهارم - الگو سازی عددی و تحلیل الگو 57
4-1- صحت سنجی الگوهای عددی ایجاد شده در نرم افزار SAP2000 57
4-1-1- کلیات الگوی سازی 57
4-1-2- نمونه آزمایشگاهی مورد مطالعه 58
4-1-3- الگوسازی عددی اجزاء محدود 60
4-1-5- مقایسه نتایج و صحت سنجی عملکرد الگوی عددی 63
4-2- نمونه‌های آزمایشگاهی ماهری و همکاران 66
4-2-1- شرح الگوسازی در برنامه 70
4-2-3- اعمال بار 73
4-2-4- مفاصل خمیری 73
4-2-5- ترکیب بارها 77
4-3-آزمایش‌های Calvi و همکاران (قاب سه دهنه و سه طبقه بتنی) 79
4-3-1- شرح الگوسازی در برنامه 81
4-3-2- اعمال بار 81
4-3-3- مفاصل خمیری 81
4-3-4- ترکیب بارها 81
5- فصل پنجم - بررسی نتایج آزمایشگاهی با نتایج عددی حاصل از نرم افزار Ansys 84
5-1- چگونگی نمونه سازی در نرم افزار Ansys 85
5-2- جزء Solid-65 85
5-2-1- فرضیات و محدودیت‌های جزء Solid-65 87
5-2-2- مشخصات ماده بتن 88
5-3- جزء Shell-63 90
5-4- جزء Link-8 91
5-5- جزء Beam-23 91

5-6- چگونگی نمونه سازی عددی در نرم افزار Ansys 92
5-6-1- چگونگی روند تعریف مصالح در تحلیل عددی . 99
5-6-1-1- مصالح بتن..... 99
5-6-1-2- مصالح فولاد..... 101
5-7- چگونگی تحلیل عددی 102
5-7-1- مصالح بتن بر اساس الگوی رفتاری کشسان-شکست Wiliam-Warnke 102
5-7-2- مصالح بتن بر اساس الگوی رفتاری کشسان – خمیری – شکست متشکل از معیار شکست Wiliam-Warnke و معیار خمیری وون- میسز 103
5-8- پاسخ‌های تحلیل عددی 103
5-8-1- تحلیل عددی قاب با استفاده از مصالح بتن بر اساس الگوی رفتاری کشسان- شکست Wiliam-Warnke 104
5-8-2- تحلیل عددی قاب با استفاده از مصالح بتن بر اساس الگوی رفتاری کشسان – خمیری – شکست متشکل از معیار شکست Wiliam-Warnke و معیار خمیری وون- میسز . 109
5-8-2- تحلیل عددی قاب با مهاربند با استفاده از مصالح بتن بر اساس الگوی رفتاری کشسان – خمیری – شکست متشکل از معیار شکست Wiliam-Warnke و معیار خمیری وون- میسز 120
5-7- نتایج حاصل از تحلیل نمونه آزمایشگاهی با نرم افزار Ansys 129
6- فصل ششم – ارزیابی نتایج تحلیل‌های عددی..... 134
6-1- الگوی قاب بتنی با و بدون مهاربند 134
6-2- بررسی خواص رفتاری مصالح 135
6-2-1- الگوی رفتاری مصالح استاندارد SAP2000 .. 135
6-2-2- الگوی رفتاری مصالح با حالت سخت شونده (Mander) 138
6-2-3- الگوی رفتاری مصالح با حالت منحنی تنش-کرنش کامل بتن 141
6-3- بررسی دقت رفتار غیر خطی مصالح (قاب بتنی بدون مهاربند)..... 142
6-4- بررسی تعداد مراحل تحلیل در نمودار پوش‌آور 148
6-5- بررسی دقت رفتار غیر خطی مصالح (قاب بتنی با مهاربند)..... 149
6-5-1- قاب بتنی ساده 152
6-5-2- قاب بتنی با مهار بند FX1 154
6-5-3- خلاصه نتایج بررسی قاب خمشی بتنی با و بدون مهاربند فولادی 156

6-6- تحلیل قاب سه دهانه و سه طبقه بتنی 158
6-7- چگونگی تحلیل عددی قاب سه طبقه و سه دهانه 159
6-7-1-چگونگی الگوسازی نمونه عددی 159
6-7-2- انواع الگوهای بارگذاری 161
6-7-3- سازه با تغییر مکان جانبی1/0% 162
6-7-4- سازه با تغییر مکان جانبی 0/2% 163
6-7-5- سازه با تغییر مکان جانبی 0/6% 165
6-7-6- سازه با تغییر مکان جانبی 1/2% 167
6-7-7- سازه با تغییر مکان جانبی 1/6% 169
6-8- بررسی دقت رفتار غیر خطی مصالح 170
6-8-1- الگوی رفتاری مصالح استاندارد SAP2000 .. 170
6-8-2- الگوی رفتاری مصالح با حالت سخت شونده (Mander) 171
6-8-3- الگوی رفتاری مصالح با حالت منحنی تنش-کرنش کامل بتن 172
6-9- بررسی رفتار مصالح در پاسخ سازه 174
6-10- خلاصه نتایج تحلیل قاب سه طبقه و سه دهانه 178
6-11- جمع بندی 179
7- فصل هفتم - نتایج و تحقیقات آتی..... 182
7-1- نتیجه گیری 182
7-2 تحقیقات آینده 188
8- مراجع..... 189

فهرست اشکال

شکل 2-1- اثرات $P-\Delta$ در قابها..... 15
شکل 2-2- تغییر شکل تیر ستون با اثرات ثانویه 17
شکل 2-3- درجات آزادی و نیروهای گره ای تیر ستون 19
شکل 2-4- نمودار تنش کرنش فولاد نرمه 25
شکل 2-5-یلفتن پاسخ سازه 29
شکل 3-1- اختلاف دو روش خطي و غيرخطي 37
شکل 3-2- فلوچارت انتخاب روش تحلیل مطابق با ضوابط نشریه 360 بهسازی لرزه ای..... 37

شکل 3-3- نمایش تبدیل سیستم چند درجه آزادی به یک درجه آزادی 39
شکل 3-4- نحوه معرفی تحلیل بار افزون استاتیکی در نرم افزار SAP2000 45
شکل 3-5- اختصاص بار در تحلیل بار افزون استاتیکی .. 46
شکل 3-6- تعیین نحوه ذخیره سازی نتایج در تحلیل غیرخطی استاتیکی 46
شکل 3-7- تعیین پارامترهای تحلیل غیرخطی در نرم افزار SAP2000 47
شکل 4-1- نحوه بر پایی آزمایش آلتن و همکاران 50
شکل 4-2- نمای نمونه آزمایشگاهی 51
شکل 4-3- نمای الگوی عددی 53
شکل 4-4- نمودار تنش کرنش استاندارد SAP2000 54
شکل 4-5- نمودار تنش کرنش کامل 55
شکل 4-6- نتایج حاصل از نمونه های آزمایشگاهی 56
شکل 4-7- منحنی بار جابه‌جایی در حالت تنش کرنش استاندارد SAP2000 56
شکل 4-8- منحنی بار جابه‌جایی در حالت تعریف منحنی کامل تنش کرنش 57
شکل 4-9- سیستم مقاوم در برابر بار جانبی 58
شکل 4-10- بارهای مربوط به دو سیستم الگوسازی شده .. 59
شکل 4-11-جزئیات اعضای قاب خمشی..... 59
شکل 4-12- جزئیات اعضای قاب خمشی با بادبند..... 59
شکل 4-13- مشخصات بادبندها..... 60
شکل 4-14- الگوی ساخته شده و دستگاههای اندازه گیری 61
شکل 4-15-مقطع نمونه های ساخته شده..... 61
شکل 4-16- نمای لگوی عددی قاب خمشی..... 62
شکل 4-17- نحوه شماره گذاری اعضاء و گره های اصلی قاب. 63

شکل 4-18- منحنی نیرو تغییر شکل اعضاء..... 65
شکل 4-19- هندسه الگو..... 70
شکل 4-20- مشخصات مقاطع..... 70
شکل 4-21- نحوه بر پایی نمونه آزمایشگاهی..... 71
شکل 4-22- نمودار هیسترتیک و پوش هیسترتیک در یک سازه. 72
شکل 5-1- نمایی از اجزای 8 گره ای Solid-65..... 75
شکل 5-2- نمایی از زوایای اجزاء Solid-65..... 75
شکل 5-3- رویه پوش گسیختگی 78
شکل 5-4- نمایی از اجزای Shell-63..... 79
شکل 5-5- نمایی از اجزای Link-8..... 79
شکل 5-6- نمایی از اجزای Beam-23 80
شکل 5-7- ابعاد اولیه در نرم افزار Ansys..... 80
شکل 5-8- اجزاء مش‌ها 81
شکل 5-9- اجزاء میلگردها در نرم افزار Ansys در قاب خمشی 82
شکل 5-10- اجزاء میلگردها در نرم افزار Ansys در قاب خمشی با مهاربند 82
شکل 5-11- اجزاء میلگردها در نرم افزار Ansys در قاب خمشی با مهاربند 83
شکل 5-12- اجزاء مبتن‌ها و مهاربندها و صفحات اتصال در نرم افزار Ansys در قاب خمشی با مهاربند..... 83
شکل 5-13- شرایط مرزی برای ایجاد تکیه گاه ساده.... 84
شکل 5-14- شرایط مرزی برای ایجاد تکیه گاه ساده و بارهای قایم و تغییر مکان جانبی 84
شکل 5-15- چگونگی تغییر شکل قاب..... 85
شکل 5-16- چگونگی توزیع خمش در قاب..... 85

شکل 5-17- چگونگی تعریف صفحات کشسان برای اعمال شرایط مرزی 87
شکل 5-18- چگونگی ایجاد نمودار تنش-کرنش چند خطی.... 89
شکل 5-19- قاب تغییر مکان یافته..... 92
شکل 5-20- توزیع تنش اصلی S_1 93
شکل 5-21- توزیع تنش اصلی S_2 93
شکل 5-22- توزیع تنش اصلی S_3 94
شکل 5-23- توزیع تمرکز تنش..... 94
شکل 5-24- توزیع تمرکز کرنش..... 95
شکل 5-25- نمودار ترک در کشش و فشار..... 95
شکل 5-26- نمودار برش پایه- تغییر مکان..... 96
شکل 5-27- تغییر مکان جانبی قاب 98
شکل 5-28- توزیع تنش اصلی S_1 99
شکل 5-29- توزیع تنش اصلی S_2 99
شکل 5-30- توزیع تنش اصلی S_3 100
شکل 5-31- توزیع تمرکز تنش..... 100
شکل 5-32- توزیع تنش معادل خمیری..... 101
شکل 5-33- بردار تنش‌های اصلی..... 102
شکل 5-34- نمودار ترک کششی..... 103
شکل 5-35- توزیع کرنش در جهت اصلی S_1 104
شکل 5-36- توزیع کرنش در جهت اصلی S_2 104
شکل 5-37- توزیع کرنش در جهت اصلی S_3 105
شکل 5-38- نمودار برش پایه- تغییر مکان در نرم افزار ANSYS..... 106
شکل 5-39- مقایسه نمودار برش پایه_تغییر مکان نسبی در نرم افزار ANSYS با نمونه آزمایشگاهی..... 106
شکل 5-40- تغییر مکان جانبی قاب با مهاربند 107

شکل 5-41- توزیع تنش اصلی S_1 قاب با مهاربند 108
شکل 5-42- توزیع تنش اصلی S_2 قاب با مهاربند 108
شکل 5-43- توزیع تنش اصلی S_3 قاب با مهاربند 109
شکل 5-44- توزیع تمرکز تنش در قاب با مهاربند 109
شکل 5-45- توزیع تنش معادل خمیری در قاب با مهاربند 110
شکل 5-46- بردار تنش‌های اصلی در قاب با مهاربند ... 111
شکل 5-47- نمودار ترک کششی در قاب با مهاربند 112
شکل 5-48- توزیع کرنش در جهت اصلی S_1 در قاب با مهاربند 113
شکل 5-49- توزیع کرنش در جهت اصلی S_2 در قاب با مهاربند 113
شکل 5-50- توزیع کرنش در جهت اصلی S_3 در قاب با مهاربند 114
شکل 5-51- نمودار برش پایه- تغییر مکان در نرم افزار ANSYS در قاب با مهاربند 115
شکل 5-52- مقایسه نمودار برش پایه_تغییر مکان نسبی در نرم افزار ANSYS با نمونه آزمایشگاهی در قاب با مهاربند 115
شکل 6-1- نمودار پوش حاصل از نتایج آزمایشگاهی 121
شکل 6-2- نمودار تنش کرنش استاندارد SAP2000 123
شکل 6-3- فضای نرم افزار در هنگام تعریف الگوی رفتاری استاندارد 123
شکل 6-4- نمودار تنش کرنش سخت شونده 125
شکل 6-5- فضای نرم افزار در هنگام تعریف الگوی رفتاری سخت شونده 126
شکل 6-6- فضای نرم افزار در هنگام تعریف الگوی رفتاری با منحنی تنش کرنش کامل 127

شکل 6-7- منحنی تنش کرنش در 5 حالت الگوی رفتاری مصالح 128
شکل 6-8- منحنی پوش آور حاصل از تحلیل غیر خطی قاب خمشی در 5 حالت الکوی رفتاری مصالح 129
شکل 6-9- منحنی تغییرات لنگر خمشی در جهت قود تیر در وسط دهانه 131
شکل 6-10- محل مورد بررسی جهت مقایسه وضعیت لنگر خمشی در سه حالت رفتار مصالح 131
شکل 6-11- منحنی تغییرات لنگر خمشی قوی تیر در محل اتصال تیر به ستون 131
شکل 6-12- منحنی تغییرات لنگر خمشی قوی در ستون ... 132
شکل 6-13- منحنی تغییرات پیچش در ستون..... 132
شکل 6-14- منحنی تغییرات نیروی محوری در ستون..... 133
شکل 6-15- منحنی تغییرات نمودار پوش آور در تعداد متفاوت مراحل تحلیل 134
شکل 6-16- منحنی پوش آور حاصل از تحلیل غیر خطی قاب خمش 135
شکل 6-17- مقایسه نمودار پوش یکنواخت با و بدون اثرات ثانویه 138
شکل 6-18- مقایسه نمودار پوش یکنواخت با و بدون اثرات ثانویه 140
شکل 6-19- نمودار هیسترتیک سازه سه طبقه بتنی..... 143
شکل 6-20- تغییر مکان جانبی هر طبقه تحت بار گذاری‌های مختلف 143
شکل 6-21- نمونه عددی قاب سه طبقه الگوسازی شده در نرم افزار SAP2000..... 144
شکل 6-22- نمونه عددی قاب سه طبقه الگوسازی شده پس از تغییر مکان جانبی در نرم افزار SAP2000..... 144

شکل 6-23- تغییر مکان جانبی هر طبقه با تحلیل مرتبه دوم 146
شکل 6-24- تغییر مکان جانبی هر طبقه بدون تحلیل مرتبه دوم 146
شکل 6-25- تغییر مکان جانبی هر طبقه با تحلیل مرتبه دوم 147
شکل 6-26- تغییر مکان جانبی هر طبقه بدون تحلیل مرتبه دوم 148
شکل 6-27- تغییر مکان جانبی هر طبقه با تحلیل مرتبه دوم 149
شکل 6-28- تغییر مکان جانبی هر طبقه بدون تحلیل مرتبه دوم 150
شکل 6-29- تغییر مکان جانبی هر طبقه با تحلیل مرتبه دوم 151
شکل 6-30- تغییر مکان جانبی هر طبقه بدون تحلیل مرتبه دوم 151
شکل 6-31- تغییر مکان جانبی هر طبقه با تحلیل مرتبه دوم 152
شکل 6-32- تغییر مکان جانبی هر طبقه بدون تحلیل مرتبه دوم 153
شکل 6-33- فضای نرم افزار در هنگام تعریف الگوی رفتاری استاندارد 154
شکل 6-34- فضای نرم افزار در هنگام تعریف الگوی رفتاری سخت شونده 155
شکل 6-35- فضای نرم افزار در هنگام تعریف الگوی رفتاری با منحنی تنش کرنش کامل 156

شکل 6-36- منحنی تنش کرنش در 3 حالت الگوی رفتاری مصالح 156
شکل 6-37- تغییر مکان جانبی طبقات برای 3 حالت الگوی رفتاری مصالح 157
شکل 6-38- تغییر مکان جانبی طبقات برای 3 حالت الگوی رفتاری مصالح 158
شکل 6-39- تغییر مکان جانبی طبقات برای 3 حالت الگوی رفتاری مصالح 158
شکل 6-40- تغییر مکان جانبی طبقات برای 3 حالت الگوی رفتاری مصالح 159
شکل 6-41- تغییر مکان جانبی طبقات برای 3 حالت الگوی رفتاری مصالح 160

فهرست جداول

جدول 2-1- محاسبه مقادیر Φ_i 23
جدول 4-1- هندسه تیر مورد بررسی 51
جدول 4-2- خواص مکانیکی مصالح فولادی و بتنی 51
جدول 4-3- مختصات گره های اصلی قاب 63
جدول 4-4- ماتریس اعضای قاب مورد مطالعه 63
جدول 4-5- شرایط مرزی گره های قاب 63
جدول 6-1- نتایج شکل پذیری سازه در نتایج آزمایشگاهی 121

فصل اول

مقدمه و طرح مسئله

فصل اول – مقدمه

1-1- طرح مسئله

1-1-1- مقدمه

رابطه تنش و تغييرشكل نسبي يک رابطه خطي است تا جائي كه ديگر كشساني در ماده ازبين رود و حالت خميری جايگزين آن شود. آيين‌نامه‌هاي قديمي روشهاي تنشهاي مجاز را تا قبل از رسيدن به تنش تسليم مطرح كرده و فرض خرابي را تسليم حتي يكي از اعضاي سازه در نظر می‌گيرد.

از لحاظ مسائل اقتصادي اين فرضيه و روش طراحي منطقی نيست. روشهاي اجزاي محدود نيز برپايه كشسانی و نظريه كشساني بنا نهاده شده‌اند و ماتريسهاي سختي بدست آمده نيز روابط تنش كرنش را خطي فرض كرده؛ به كمک توابع شكل تغيير مكان تمام ذرات ماده را به تعدادي اجزاء محدود می‌كنند و با استفاده از روابط ساختاري تنش كرنش و معادلات تعادل، ماتريس سختي انواع سازه‌ها در ابعاد مختلف را بدست می‌آورند. ولي همانطور كه ذكر شد فرض خطي بودن مسائل نه تنها غير اقتصادي می‌باشد، بلكه، از واقعيت به دور بوده و برای تحليل دقيق بايد روابط تنش كرنش به صورت دقيق‌تر در نظر گرفته شود.

به غير از رفتار غيرخطي مصالح، رفتار غيرخطي هندسي آنها نيز، بايد در نظر گرفته شود. اين پديده هنگامي بروز پيدا می‌كند كه ماتريس‌هاي سختي بدست آمده در انواع روشهاي اجزاي محدود و يا تحليل ماتريسي، برپايه يک هندسه اوليه و يک سري درجات آزادي تعريف شده از سازه به وجود می‌آيند و در يک مرحله بارگذاري، با

توجه به ماتريس سختي سازه نيروها اعمال شده و تغيير مكانهاي گرهي بدست مي‌آيند. اما مبحث بارگذاري به دو قسمت بارهاي تدريجي و بارهاي آني تقسيم مي‌شود. اگر توجه خود را معطوف به بارهاي تدريجي وارده بر سازه در طول عمر آن داشته باشيم، آشكار است كه هر نيروي جزئي در يك زمان مشخص با يك تغيير مكان جزئي مشخص همراه است؛ بنابراين در طول بارگذاري هندسه اوليه سازه تغيير كرده و مرتبا نيز تا رسيدن بارگذاري به مقدار نهائي خود تغيير مي‌كند. اما همانطور كه گفته شد ماتريس‌هاي سختي و نرمي بكار رفته شده بر پايه هندسه اوليه سازه بوجود آمده است پس به نظر مي‌رسد كه بايد در هر لحظه يك ماتريس سختي جديد براي سازه تعريف كرد.

اين پديده زماني قابل توجه مي‌باشد كه بارگذاري‌هاي اوليه، بر پايه تغيير مكانهاي تدريجي، اثرات ثانويه (Second order effects) قابل توجهي بر سازه اعمال كنند و نتوان از آنها چشم پوشي كرد. برخي آيين‌نامه‌ها با وارد كردن ضريبي بر بارهاي اوليه از اين اثرات ثانويه چشم پوشي كرده و آنرا به نوعي لحاظ مي‌كنند. اما اين هيچ از ارزش بررسي دقيق اين اثرات نمي كاهد چون، آيين‌نامه‌ها براي تمام تركيبات مختلف بارگذاري در انواع موقعيت‌ها نمي‌توانند تبصره داشته باشند.

اين بحث شاخه اي از علم مهندسي سازه به نام پايداري ارتجاعي را نيز به ميان مي‌كشاند چون اين اثرات غيرخطي هندسي در اكثر موارد ستونها و تيرستونها را تحت تاثير قرار داده و پايداري آنها را دستخوش تغيير مي سازد. پايداري ارتجاعي سازه ها همواره يكي از مباحث مهم در دانش امروز مهندسي سازه بوده و روشهاي در نظر گيری عواملي كه بر پايداري تاثير مي‌گذارند برای محققان مهم بوده است. اين قضيه هنگامي بيش از پيش نمايان می‌شود

که، عموما پایداري سازه ها از نوعي رفتار غیرخطي پیچیده پیروي میکند که مانند روشهاي معمول موجود اعم از تحلیل ماتریسي قدیمي و روشهاي رویهم گذاري خطي به نوعي قادر به جوابگوئي به مسائل پایداري نمي باشد.

بدین منظور روشهاي حل مسائل غیرخطي که انواع مختلف دارد بکار گرفته مي‌شود. این روشها بر اساس ماتریس سختي وابسته به زمان سازه بنا نهاده مي‌شوند و اجراي آنها بدون بکارگیري کامپیوتر امکان پذیر نمي باشد. در این روشها معمولا در هر مرحله بارگذاري انجام شده، پاسخ سازه بدست آمده و ماتریس سختي جدید که متاثر از پاسخ سازه می‌باشد بدست می‌آید و این ماتریس سختي در مرحله بعد بکار گرفته می‌شود تا به نوعي بارگذاري جدیدي اعمال شده باشد که البته در حقیقت هم این روش با واقعیت سازه سازگار مي‌باشد چون با اعمال بارگذاري اولیه سازه تغییر مکان یافته و هندسه آن عوض مي‌شود در نتیجه ماتریس سختي هندسي آن نیز تغییر مي‌پذیرد و بار گذاري جدید باید براساس این هندسه جدید؛ اعمال شود.

1-1-2- شیوه انجام تحقیق

در این تحقیق به بررسی و ارزیابی دقت فراسنج‌های تاثیر گذار در تحلیل غیرخطی استاتیکی برای قاب‌های مختلف پرداخته شده است. بدین منظور تاثیر انواع الگوهای بارگذاری و رفتار غیر خطی مصالح و غیر خطی هندسی در تحلیل استاتیکی غیر خطی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاصله با نمونه‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است و دقت هر کدام مورد بررسی قرار گرفته است. نخست الگوسازی سازه در فضای الگوی اجزاء محدود انجام شده و نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی موجود گردآوری و الگوسازی عددی به انواع روشهای مورد بحث صورت گرفته