



دانشگاه شاهرود
دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه و ساختمان (د.ا.ا)

بهینه یابی قاب های خمشی سه بعدی با قید کمانش
برای بهبود مقاومت و پایداری سازه

بوسیله:

رضا رجب پور



استاد راهنما:

دکتر عبدالرسول رنجبران

۱۳۸۷ / ۱۹ / ۲۳

بهمن ماه ۱۳۸۶

۱۰۲۱۴۰

به نام خدا

بهینه‌یابی قاب‌های خمشی سه‌بعدی با قید کمانش
برای بهبود مقاومت و پایداری سازه

به وسیله:

رضاء رجب پور

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ
درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

عمران گرایش سازه

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته^۱ پایان نامه با درجه^۲: عالی

دکتر عبدالرسول رنجبران، دانشیار بخش عمران (رئیس کمیته)

دکتر محمود رضا ماهری، استاد بخش عمران (استاد مشاور)

دکتر فرهنگ دانشمند، استادیار بخش مکانیک (استاد مشاور)

بهمن ماه ۱۳۸۶

تقدیم به

پدر و مادر دلسوز و فداکار و برادر عزیزم

و همه کسانی که از خود گذشتگی و جه همت آنهاست

سپاسگزاری

اکنون که با مساعدت و الطاف بی‌کران حضرت حق امور این پایان نامه به فرجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم که از همه اساتید محترم، دوستان ارجمند و خانواده عزیز و گرامی‌ام که در این راه یاریم نمودند، مراتب تشکر و قدردانی خویش را ابراز نمایم. خصوصاً از استاد ارجمند دکتر عبدالرسول رنجبران که با راهنمایی‌ها و مشورتهای ارزشمند خویش نقش عمده‌ای در این زمینه ایفا نمودند. از آقایان دکتر محمود رضا ماهری و دکتر فرهنگ دانشمند اعضاء محترم کمیته که از راهنمایی‌های ایشان در طول تحقیق بهره‌ها بردم و همچنین از دوستان ارجمند آقای مهندس محمد علی قاسمی، آقای محسن رضائیان، مهندس دانیال اسماعیلی، مهندس اکبر جوان هوشیار، مهندس امیر شرفیان، مهندس حسین احمدی، آقای محمد رسولی، که هر کدام به نوعی در این امر یاورم بودند نیز قدردانی می‌نمایم.

چکیده

بهینه‌یابی قاب‌های خمشی سه‌بعدی با قید کمانش برای بهبود مقاومت و پایداری سازه

به وسیله

رضا رجب‌پور

برای اولین بار، بهینه‌یابی فرم‌های سازه‌ای توسط اولر در قرن ۱۸ صورت پذیرفت. ایشان توانست به صورت اتفاقی روابطی برای پایداری ستون‌ها ارائه دهد. بیش از یک قرن بعد، بهینه‌یابی سازه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای گسترش یافت و کاربرد زیادی در صنعت ساختمان پیدا کرد ولی بهینه‌یابی بمنظور افزایش مقاومت و پایداری سازه‌ها، پیشرفتی نکرد و بیشتر جنبه آکادمیک به خود گرفته بود. از دلایل عمده آن می‌توان استفاده از روش‌های بهینه‌یابی پیچیده (مبتنی بر مشتقات مرتبه دوم آرایه‌ای) و استفاده از آنالیزهای مرتبه دوم در طول روند بهینه‌یابی بیان کرد. سرانجام در سال‌های اخیر روش جدیدی برای این موضوع پیشنهاد گردید. در این روش با استفاده از ضرایبی تحت عنوان ضریب ناپایداری که رفتار مشابه نیروی کمانش تک تک ستون‌های سازه‌ای را نشان می‌داد می‌توان وزن ستون‌های سازه‌ای را ثابت و نیروی کمانش را افزایش داد. این کار با استفاده از تکرارهای متوالی و افزایش سطح مقطع مینیمم و کاهش سطح مقطع ماکزیمم صورت پذیرفت. هدف از این تحقیق بررسی سه مورد با استفاده از روش ذکر شده می‌باشد اولاً عملکرد روش مورد نظر بر روی سازه‌های سه‌بعدی مورد بررسی قرار داده شده است. ثانیاً مقاومت و پایداری سازه اولیه و بهینه مورد مقایسه قرار می‌گیرد ثالثاً اثر پارامترهایی نظیر تعداد دهانه و تعداد طبقات بر روی نیروی کمانش مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از روش مذکور حجم و زمان محاسبات کاهش یافته و طبقه و المان ضعیف سازه مشخص می‌گردد. همچنین نشان داده شد که با افزایش تعداد طبقات و دهانه‌های سازه مقادیر نیروی کمانش نسبتاً افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| فصل اول: مقدمه | ۰ |
| ۱- مقدمه | ۱ |
| ۱-۱- کلیات | ۱ |
| ۲-۱- انواع ناپایداری | ۲ |
| ۱-۲-۱- ناپایداری دوشاخگی | ۲ |
| ۲-۲-۱- ناپایداری بار حدی | ۲ |
| ۳-۱- روشهای آنالیز پایداری | ۳ |
| ۱-۳-۱- روش دوشاخگی | ۳ |
| ۲-۳-۱- روش انرژی در آنالیز پایداری سازه ها | ۴ |
| ۳-۳-۱- روش دینامیکی | ۴ |
| ۴-۱- روشهای معروف عددی استفاده شده در محاسبه بار کمانشی | ۵ |
| ۱-۴-۱- روش ریلی ریتز | ۵ |
| ۲-۴-۱- روش گالرکین | ۶ |
| ۳-۴-۱- روش نیومارک | ۷ |
| ۴-۴-۱- روش آرایه‌ای سختی (روش‌های عناصر محدود و تحلیل آرایه‌ای) | ۷ |
| ۵-۱- هدف | ۸ |
| ۶-۱- چهارچوب کلی پایان‌نامه | ۸ |
| ۷-۱- ساختار پایان‌نامه | ۹ |
| فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته | ۰ |
| ۲- مروری بر تحقیقات گذشته | ۱۰ |
| ۱-۲- مقدمه | ۱۰ |
| ۲-۲- روشهای بهینه‌یابی | ۱۱ |
| ۱-۲-۲- روش برنامه‌ریزی ریاضی (Mathematical Programming / MP) | ۱۱ |
| ۲-۲-۲- روش معیار بهینگی | ۱۴ |
| ۳-۲-۲- روش تکرار نقطه ثابت | ۱۵ |
| ۳-۲- مقالات ارائه شده برای مسائل کمانش | ۱۶ |
| فصل سوم: مفاهیم و روش‌های بهینه‌یابی | ۰ |
| ۳- مفاهیم و روش‌های بهینه‌یابی | ۱۸ |
| ۱-۳- مفاهیم اولیه بهینه‌یابی | ۱۸ |

| | |
|----|---|
| ۱۸ | ۱-۱-۳ مقدمه |
| ۱۹ | ۲-۱-۳ تاریخچه بهینه‌یابی |
| ۲۰ | ۳-۱-۳ متغیرهای طراحی |
| ۲۱ | ۴-۱-۳ تابع هدف |
| ۲۳ | ۵-۱-۳ قیود |
| ۲۴ | ۶-۱-۳ رابطه سازی استاندارد |
| ۲۵ | ۷-۱-۳ مسئله نمونه |
| ۲۹ | ۸-۱-۳ فرآیند حل |
| ۳۱ | ۲-۳ انواع مسائل بهینه‌یابی سازه‌ها |
| ۳۴ | ۳-۳ روشهای متداول بهینه‌یابی |
| ۳۶ | ۴-۳ ابزارهای کلاسیک در بهینه سازی سازه ها |
| ۳۷ | ۱-۴-۳ بهینه سازی با استفاده از حساب دیفرانسیل |
| ۳۸ | ۲-۴-۳ بهینه سازی با استفاده از حساب تغییرات |
| ۳۸ | ۳-۴-۳ روشهای کلاسیک برای مسائل مقید |
| ۳۹ | ۱-۳-۴-۳ روش ضربگرهای لاگرانژ |
| ۴۰ | ۲-۳-۴-۳ تابع مشروط به یک قید انتگرال |
| ۴۱ | ۳-۳-۴-۳ شرایط اضافی دیگر |
| ۴۱ | ۵-۳ روشهای بهینه‌یابی منتخب |
| ۴۲ | ۶-۳ روشهای مبتنی بر گرادیان |
| ۴۳ | ۱-۶-۳ روش نیوتن برای بهینه‌یابی نامقید توابع چند متغیره |
| ۴۴ | ۲-۶-۳ الگوریتم BFGS برای بهینه‌یابی نامقید توابع چند متغیره |
| ۴۵ | ۳-۶-۳ الگوریتم‌های کمینه سازی توابع یک متغیره |
| ۴۵ | ۱-۳-۶-۳ روش نیوتن برای بهینه‌یابی توابع یک متغیره |
| ۴۶ | ۲-۳-۶-۳ روشهای مبتنی بر اصل کمینه-بیشینه(ک-ب) برای بهینه یابی توابع یک متغیره |
| ۴۶ | ۴-۶-۳ بهینه‌یابی در توابع مقید |
| ۴۷ | ۵-۶-۳ مفاهیم الگوریتم ژنتیک |
| ۴۷ | ۱-۵-۶-۳ مقدمه |
| ۴۸ | ۲-۵-۶-۳ معرفی ژنتیک الگوریتم |
| ۰ | فصل چهارم: مبانی تئوری و رابطه‌سازی مساله |
| ۵۱ | ۴- مبانی تئوری و رابطه‌سازی مساله |
| ۵۱ | ۱-۴ مقدمه |
| ۵۴ | ۲-۴ روابط کلی در مورد ضرایب تشدید لنگر و اثرات مرتبه اول و دوم در ستونها |
| ۵۴ | ۱-۲-۴ تیر ستون |
| ۵۶ | ۲-۲-۴ رفتار تیر ستون‌ها |
| ۵۷ | ۳-۲-۴ فرمولهای آئین‌نامه LRFD-AISC برای تیر ستون |
| ۶۰ | ۴-۲-۴ تحلیل مرتبه اول و دوم قاب |
| ۶۱ | ۳-۴ ارزیابی تحلیل استاتیکی غیر خطی |

| | |
|----|---|
| ۶۱ | ۱-۳-۴- مقدمه |
| ۶۲ | ۲-۳-۴- کلیاتی در مورد مبانی تئوری روش تحلیل پوش‌آور (بار افزون) |
| ۶۳ | ۱-۲-۳-۴- تحلیل بار افزون |
| ۶۳ | ۲-۲-۳-۴- مقاوم سازی سازه‌های موجود |
| ۶۷ | ۳-۲-۳-۴- تعیین نقطه عملکرد |
| ۷۱ | ۳-۳-۴- روش مدلسازی و تحلیل استاتیکی غیر خطی |
| ۷۱ | ۱-۳-۳-۴- مدلسازی |
| ۷۳ | ۲-۳-۳-۴- تحلیل |
| ۷۶ | ۴-۴- تحلیل‌های غیر خطی |
| ۷۶ | ۱-۴-۴- تعریف رفتار غیر خطی در سازه‌ها |
| ۷۶ | ۲-۴-۴- منشا رفتار غیر خطی |
| ۷۸ | ۳-۴-۴- روشهای حل مسائل غیر خطی |
| ۷۸ | ۱-۳-۴-۴- روش کنترل نیرو |
| ۷۹ | ۲-۳-۴-۴- روش طول قوس |
| ۸۰ | ۴-۴-۴- تحلیل ناپایداری غیر خطی |
| ۸۳ | ۵-۴-۴- نحوه تحلیل غیر خطی مدل‌ها در ANSYS |
| ۸۴ | ۶-۴-۴- رفتار پایستار و ناپایستار در سیستم‌ها |
| ۸۵ | ۷-۴-۴- گام‌های کوچک |
| ۸۵ | ۸-۴-۴- رفتار غیر خطی با منشاء هندسی |
| ۸۶ | ۹-۴-۴- افزایش غیر خطی سختی در اثر اعمال تنش‌های کششی |
| ۸۶ | ۱۰-۴-۴- کاهش غیر خطی آرایه سختی در اثر حرکت دورانی |
| ۸۷ | ۵-۴- متغیرهای بهینه‌سازی |
| ۸۷ | ۱-۵-۴- تابع هدف |
| ۸۹ | ۲-۵-۴- تابع قیود |
| ۸۹ | ۳-۵-۴- متغیرهای طراحی |
| ۹۱ | ۴-۵-۴- شکل مسئله بهینه‌یابی |
| ۹۲ | ۵-۵-۴- توانایی و محدودیت‌های برنامه |
| ۹۵ | ۶-۵-۴- روند بهینه‌یابی برنامه |
| ۹۵ | ۱-۶-۵-۴- ورودی برنامه |
| ۹۵ | ۲-۶-۵-۴- الگوریتم برنامه |
| ۹۶ | ۱-۲-۶-۵-۴- زیر برنامه Pro-1-B |
| ۹۶ | ۲-۲-۶-۵-۴- زیر برنامه Pro-1o5-B |
| ۹۶ | ۳-۲-۶-۵-۴- زیر برنامه Pro-2-B |
| ۹۷ | ۴-۲-۶-۵-۴- زیر برنامه Pro-2o5-B |
| ۹۷ | ۵-۲-۶-۵-۴- زیر برنامه Pro-3-B |
| ۹۷ | ۶-۲-۶-۵-۴- زیر برنامه Pro-3o5-B |
| ۹۸ | ۷-۲-۶-۵-۴- زیر برنامه Pro-3o6-B |

| | |
|-----|--|
| ۹۸ | Pro-4-B-۴-۵-۶-۲-۸- زیر برنامه |
| ۹۸ | Pro-exe-B-۴-۵-۶-۲-۹- زیر برنامه |
| ۰ | فصل پنجم: روش تحقیق و مراحل انجام کار |
| ۹۹ | ۵- روش تحقیق و مراحل انجام کار |
| ۹۹ | ۵-۱- مقدمه |
| ۱۰۰ | ۵-۲- کنترل روش و ابزار |
| ۱۰۵ | ۵-۳- بررسی اثر تعداد دهانه طبقات: |
| ۱۰۶ | ۵-۳-۱- بهینه‌یابی سازه نمونه ۲: |
| ۱۱۲ | ۵-۳-۲- بهینه‌یابی سازه نمونه ۳: |
| ۱۱۸ | ۵-۳-۳- بهینه‌یابی سازه نمونه ۴: |
| ۱۲۵ | ۵-۳-۴- بررسی اثر تعداد دهانه بر روی نیروی کمانش سازه |
| ۱۲۷ | ۵-۴- بررسی اثر تعداد طبقات: |
| ۱۲۷ | ۵-۴-۱- بهینه‌یابی سازه نمونه ۵: |
| ۱۳۳ | ۵-۴-۲- بهینه‌یابی سازه نمونه ۶: |
| ۱۳۹ | ۵-۴-۳- بهینه‌یابی سازه نمونه ۷: |
| ۱۴۵ | ۵-۴-۴- بررسی اثر تعداد طبقات بر روی نیروی کمانش سازه |
| ۰ | فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات |
| ۱۴۷ | ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات |
| ۱۴۷ | ۶-۱- نتیجه‌گیری |
| ۱۴۷ | ۶-۲- پیشنهادات |
| ۰ | فصل هفتم: فهرست منابع |
| ۱۴۹ | ۷- فهرست منابع |

فهرست جداول

| جدول | صفحه |
|--|------|
| جدول ۳-۴: مقادیر زمان تناوب موثر..... | ۷۵ |
| جدول ۴-۴: مقادیر تغییر مکان هدف..... | ۷۵ |
| جدول ۵-۴: روش گام به گام..... | ۸۲ |
| جدول ۶-۴: مشخصات مقاطع IPB..... | ۹۰ |
| جدول ۷-۴: مشخصات مقاطع IPE..... | ۹۱ |
| جدول ۱-۵: مقایسه نتایج روش جلمستاد و پزشک با نتایج برنامه..... | ۱۰۱ |
| جدول ۲-۵: نیرو جانبی و جابجایی مجاز طبقه برای قاب مورد نظر..... | ۱۰۷ |
| جدول ۳-۵: مشخصات مکانیکی مصالح..... | ۱۰۷ |
| جدول ۴-۵: مشخصات هندسی سازه نمونه ۲ الف : ستون‌ها..... | ۱۰۷ |
| جدول ۴-۵-ب: تیرهای جهت X..... | ۱۰۸ |
| جدول ۴-۵-ج: تیر جهت Y..... | ۱۰۸ |
| جدول ۵-۵: نتایج خروجی برنامه..... | ۱۰۹ |
| جدول ۶-۵: نیرو جانبی و جابجایی مجاز طبقه برای قاب مورد نظر..... | ۱۱۳ |
| جدول ۷-۵: مشخصات مکانیکی مصالح..... | ۱۱۳ |
| جدول ۸-۵: مشخصات هندسی سازه نمونه ۳ الف : ستون‌ها..... | ۱۱۳ |
| جدول ۸-۵-ب: تیرهای جهت X..... | ۱۱۴ |
| جدول ۸-۵-ج: تیر جهت Y..... | ۱۱۴ |
| جدول ۹-۵: نتایج خروجی برنامه..... | ۱۱۶ |
| جدول ۱۰-۵: نیرو جانبی و جابجایی مجاز طبقه برای قاب مورد نظر..... | ۱۱۹ |
| جدول ۱۱-۵: مشخصات مکانیکی مصالح..... | ۱۱۹ |
| جدول ۱۲-۵: مشخصات هندسی سازه نمونه ۴ الف : ستون‌ها..... | ۱۲۰ |
| جدول ۱۲-۵-ب: تیر جهت X..... | ۱۲۰ |
| جدول ۱۲-۵-ج: تیر جهت Y..... | ۱۲۱ |
| جدول ۱۳-۵: نتایج خروجی برنامه..... | ۱۲۳ |
| جدول ۱۴-۵: نیرو جانبی و جابجایی مجاز طبقه برای قاب مورد نظر..... | ۱۲۸ |
| جدول ۱۵-۵: مشخصات مکانیکی مصالح..... | ۱۲۸ |
| جدول ۱۶-۵: مشخصات هندسی سازه نمونه ۵ الف : ستون‌ها..... | ۱۲۹ |
| جدول ۱۶-۵-ب: تیر جهت X..... | ۱۲۹ |
| جدول ۱۶-۵-ج: تیر جهت Y..... | ۱۲۹ |

- جدول ۵-۱۷: نتایج خروجی برنامه ۱۳۰
- جدول ۵-۱۸: نیرو جانبی و جابجایی مجاز طبقه برای قاب مورد نظر ۱۳۴
- جدول ۵-۱۹: مشخصات مکانیکی مصالح ۱۳۴
- جدول ۵-۲۰: مشخصات هندسی سازه نمونه ۶ الف : ستون ها ۱۳۵
- جدول ۵-۲۰-ب: تیر جهت X ۱۳۵
- جدول ۵-۲۰-ج: تیر جهت Y ۱۳۵
- جدول ۵-۲۱: نتایج خروجی برنامه ۱۳۶
- جدول ۵-۲۲: نیرو جانبی و جابجایی مجاز طبقه برای قاب مورد نظر ۱۴۰
- جدول ۵-۲۳: مشخصات مکانیکی مصالح ۱۴۱
- جدول ۵-۲۴: مشخصات هندسی سازه نمونه ۷ الف : ستون ها ۱۴۱
- جدول ۵-۲۴-ب: تیر جهت X ۱۴۱
- جدول ۵-۲۴-ج: تیر جهت Y ۱۴۲
- جدول ۵-۲۵: نتایج خروجی برنامه ۱۴۳

فهرست اشکال

| شکل | | صفحه |
|-----------|--|------|
| شکل ۱-۱: | کمانش در بار حدی | ۳ |
| شکل ۱-۲: | حالت اولیه مسئله که بصورت غیر خطی است. | ۱۳ |
| شکل ۲-۲: | مسئله مورد بررسی بعد از تبدیل شدن به حالت خطی. | ۱۳ |
| شکل ۱-۳: | مثال خرابی سه میله‌ای. | ۲۲ |
| شکل ۲-۳: | عنصر مورد بررسی. | ۲۶ |
| شکل ۳-۳: | جابجایی در دستگاه محلی و کلی. | ۲۷ |
| شکل ۴-۳: | نحوه محاسبه $\cos\alpha$ و $\sin\alpha$ برای هر عنصر. | ۲۷ |
| شکل ۵-۳: | الف) آچار تحت بارهای وارده (ب) اعمال شرایط مرزی (ج) طرح‌های اولیه و نهایی. | ۳۲ |
| شکل ۶-۳: | بهینه‌یابی خرابی (a) قبل از بهینه‌یابی (b) بعد از بهینه‌یابی. | ۳۳ |
| شکل ۷-۳: | (a) تیر و شکل بهینه مقطع آن برای مصالح (b) پلاستیک (c) آلومینیوم (d) فلز. | ۳۳ |
| شکل ۱-۴: | رابطه بین متغیرهای طراحی، ۴.الف) رابطه بین I_x و سطح مقطع. | ۵۲ |
| شکل ۲-۴: | برای پروفیل‌های تیپ IPE، ۴.ب) رابطه بین I_x و I_y برای پروفیل‌های تیپ IPE. | ۵۲ |
| شکل ۳-۴: | رفتار سازه‌های مختلف. | ۶۵ |
| شکل ۴-۴: | طیف طرح. | ۶۶ |
| شکل ۵-۴: | طیف نیاز الاستیک. | ۶۷ |
| شکل ۶-۴: | طیف‌های ظرفیت و نیاز. | ۶۸ |
| شکل ۷-۴: | روش تعیین نقطه عملکرد بر اساس روش FEMA-273. | ۶۸ |
| شکل ۸-۴: | قسمت‌های مختلف منحنی نیرو-تغییر شکل. | ۷۰ |
| شکل ۹-۴: | روش ATC-40. | ۷۰ |
| شکل ۱۰-۴: | منحنی رفتاری برای تیرهای فولادی. | ۷۲ |
| شکل ۱۱-۴: | منحنی رفتاری برای تیرهای بتنی. | ۷۲ |
| شکل ۱۲-۴: | منحنی رفتاری مفصل خمشی تیر. | ۷۳ |
| شکل ۱۳-۴: | منحنی رفتاری ستون. | ۷۳ |
| شکل ۱۴-۴: | منحنی تحلیل رانشی ساختمان سه طبقه با توزیع بار طیفی (واحد به صورت Kg و m). | ۷۴ |
| شکل ۱۵-۴: | رفتار غیر خطی ناشی از تغییر وضعیت در سیستم. | ۷۷ |
| شکل ۱۶-۴: | رفتار غیر خطی هندسی سیستم. | ۷۷ |
| شکل ۱۷-۴: | روش طول قوس. | ۸۱ |
| شکل ۱۸-۴: | نمایش مدل‌های غیر خطی با استفاده از روش نیوتن-رافسون در نرم‌افزار ANSYS. | ۸۳ |

| | |
|---|-----|
| شکل ۵-۱: قاب سه طبقه با جرم متمرکز و توزیع نیروی جانبی | ۱۰۱ |
| شکل ۵-۳: نمودار جابجایی نسبی طبقات سازه نمونه ۱ | ۱۰۳ |
| شکل ۵-۴: نمودار بررسی عملکرد سازه نمونه ۱ تحت اثر نیروی زلزله | ۱۰۴ |
| شکل ۵-۵: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۱ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۰۵ |
| شکل ۵-۶: نمونه ۲ الف: پلان، ب: نما | ۱۰۶ |
| شکل ۵-۷: نمودار ضرایب ناپایداری ستونهای طبقات سازه نمونه ۲ | ۱۱۰ |
| شکل ۵-۸: نمودار جابجایی نسبی طبقات سازه نمونه ۲ | ۱۱۰ |
| شکل ۵-۹: نمودار بررسی عملکرد سازه نمونه ۲ تحت اثر نیروی زلزله | ۱۱۱ |
| شکل ۵-۱۰: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۲ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۱۱ |
| شکل ۵-۱۱: نمونه ۳ الف: پلان، ب: نما | ۱۱۲ |
| شکل ۵-۱۲: نمودار ضرایب ناپایداری ستونهای طبقات سازه نمونه ۳ | ۱۱۶ |
| شکل ۵-۱۳: نمودار جابجایی نسبی طبقات سازه نمونه ۳ | ۱۱۷ |
| شکل ۵-۱۴: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۳ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۱۷ |
| شکل ۵-۱۵: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۳ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۱۸ |
| شکل ۵-۱۶: نمونه ۴ الف: پلان، ب: نما | ۱۱۹ |
| شکل ۵-۱۷: نمودار ضرایب ناپایداری ستونهای طبقات سازه نمونه ۴ | ۱۲۳ |
| شکل ۵-۱۸: نمودار جابجایی نسبی طبقات سازه نمونه ۴ | ۱۲۴ |
| شکل ۵-۱۹: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۴ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۲۴ |
| شکل ۵-۲۰: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۴ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۲۵ |
| شکل ۵-۲۱: اثر تعداد دهانه بر روی نیروی کمانش سازه | ۱۲۶ |
| شکل ۵-۲۲: اثر وزن سازه بر روی نیروی کمانش سازه بهینه | ۱۲۶ |
| شکل ۵-۲۳: نمونه ۵ الف: پلان، ب: نما | ۱۲۸ |
| شکل ۵-۲۴: نمودار ضرایب ناپایداری ستونهای طبقات سازه نمونه ۵ | ۱۳۱ |
| شکل ۵-۲۵: نمودار جابجایی نسبی طبقات سازه نمونه ۵ | ۱۳۲ |
| شکل ۵-۲۶: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۵ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۳۲ |
| شکل ۵-۲۷: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۵ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۳۳ |
| شکل ۵-۲۸: نمونه ۶ الف: پلان، ب: نما | ۱۳۴ |
| شکل ۵-۲۹: نمودار ضرایب ناپایداری ستونهای طبقات سازه نمونه ۶ | ۱۳۷ |
| شکل ۵-۳۰: نمودار جابجایی نسبی طبقات سازه نمونه ۶ | ۱۳۸ |
| شکل ۵-۳۱: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۶ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۳۸ |
| شکل ۵-۳۲: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۶ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۳۹ |
| شکل ۵-۳۳: نمونه ۷ الف: پلان، ب: نما | ۱۴۰ |
| شکل ۵-۳۴: نمودار ضرایب ناپایداری ستونهای طبقات سازه نمونه ۷ | ۱۴۳ |
| شکل ۵-۳۵: نمودار جابجایی نسبی طبقات سازه نمونه ۷ | ۱۴۴ |
| شکل ۵-۳۶: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۷ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۴۴ |
| شکل ۵-۳۷: نمودار بررسی مقاومت سازه نمونه ۷ با استفاده از تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ | ۱۴۵ |

جدول ----- صفحه

شکل ۵-۳۸: اثر تعداد طبقات بر روی نیروی کمانش سازه ۱۴۶

شکل ۵-۳۹: اثر وزن سازه بر روی نیروی کمانش سازه بهینه ۱۴۶

فصل اول: مقدمه

۱- مقدمه

۱-۱- کلیات

هر گاه یک تغییر شکل کوچک در هندسه سازه یا عناصر سازه‌ای تحت فشار باعث می‌شود که تحمل سازه در مقابل بار کاهش یابد گفته می‌شود سازه تحت شرایط موجود ناپایدار شده است [۱].

استفاده‌های اخیر از فولاد های معمولی مخصوص با مقاومت بالا در سازه های مهندسی و به ویژه در پلها، کشتی ها و هواپیما باعث شده که مساله ناپایداری سازه ها از اهمیت خاصی برخوردار شود. نیازهای کاربردی فوری ایجاد شده در سال های اخیر باعث شد که بررسی های آزمایشی و تئوری گرایانه روی این موضوع انجام شود.

اولین مساله ناپایداری الاستیک که کمانش جانبی اعضای تحت فشار را شامل می‌شد حدود ۲۵۰ سال پیش توسط آقای اویلر حل شد. در آن زمان مواد اصلی استفاده شده در سازه ها اغلب سنگ و چوب بودند که مقاومت کمی داشته و به صورت تنومند طراحی می شدند. بنابراین مساله پایداری الاستیک اینگونه سازه ها اهمیت چندانی نداشت. با شروع ساخت وسیع پلهای راه آهن در نیمه دوم قرن ۱۹ مساله کمانش اعضای فشاری اهمیت کاربردی پیدا کرد. آزمایشها نشان داد که اینچنین سازه ها در بعضی موارد، نه در تنش های بالا و با عبور از مقاومت حدی ماده، بلکه به خاطر نداشتن پایداری الاستیک کافی، ناشی از لاغری یا دیوارهای نازک خراب می شوند. به خاطر نیازهای کاربردی، مساله کمانش جانبی ستون ها هم به صورت تئوری و هم آزمایشگاهی بررسی شد و فرمولهایی برای آن ارائه گردید [۲].

نخستین تلاش ها برای بهینه یابی فرم های سازه ای توسط لاگرانژ در قرن ۱۹ صورت پذیرفت او به طور اتفاقی توانست روابطی برای پایداری ستون ها ارائه دهد. بیش از یک قرن بعد، بهینه یابی سازه به طور قابل ملاحظه ای گسترش یافت. ولی بهینه یابی به منظور افزایش پایداری سازه های الاستیک، برای قاب های ساختمانی هنوز جنبه آکادمیک داشت. زیرا عمدتاً ظرفیت این سازه ها محدود به رفتار پلاستیک سازه می گردید [۳].

در دهه ۱۹۵۰ با پیشرفت در تئوری پلاستیک سازه ها، روش طراحی برای کمینه کردن وزن سازه گسترش زیادی یافت. که بسیاری از این مطالعات توسط Heyman و Foulkes [۴] انجام شد. آن ها با ایده آل سازی مساله توانستند روند مساله را به سادگی فرموله کرده و تحت روش های سامان یافته حل قرار دهند (از مزایای روش آن ها قابل استفاده بودن برای حجم محاسبات بالا است) [۴].

۱-۲- انواع ناپایداری

ناپایداری سازه ها تحت نیروی فشاری دو دسته‌اند.

۱-۲-۱- ناپایداری دوشاخگی^۱

تشخیص این نوع ناپایداری به این ترتیب است که هنگامی که نیروی فشاری افزایش می یابد عضو یا سیستم که در حالت اولیه در جهت بار وارده تغییر شکل پیدا می کرد ناگهان در جهت دیگری تغییر شکل پیدا می کند. نقطه تبدیل از مد تغییر شکل معمولی به مد تغییر شکل دوم تحت بار وارده نقطه دوشاخگی نامیده می شود. بار در نقطه دو شاخگی بار بحرانی^۲ نامیده می شود [۱].

۱-۲-۲- ناپایداری بار حدی^۳

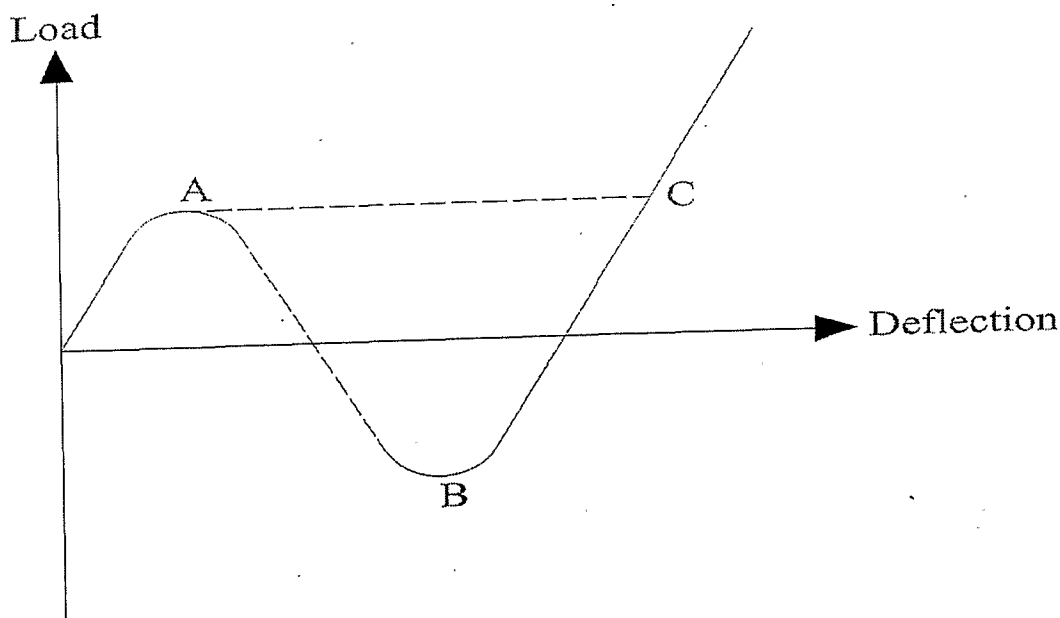
این نوع ناپایداری با توجه به این حقیقت تشخیص داده می شود که فقط یک مد واحد از شروع بارگذاری تا بار بیشینه وجود دارد (شکل ۱-۱). مثال هایی از این قبیل ناپایداری ها عبارتند از : کمانش طاقهای کم عمق و کمانش کلاک‌های در معرض فشار های خارجی پیوسته.

¹ bifurcation

² critical

³ Limit load instability

برای این وضعیت کمانش، یکبار مطابق شکل ۱-۱ بار نهایی در نقطه A اتفاق می‌افتد. آنگاه به خاطر اینکه مسیر AB یک مسیر ناپایدار است پدیده اسنپ ترو^۱، پرش از نقطه A به نقطه C، اتفاق می‌افتد. این نظریه که یک پرش قابل دید و ناگهانی از یک شکل تعادل به شکل تعادل غیر مجاور در بار حدی اتفاق می‌افتد به پدیده کمانش اسنپ ترو معروف است [۱].



شکل ۱-۱: کمانش در بار حدی

۳-۱- روشهای آنالیز پایداری

۱-۳-۱- روش دوشاخگی^۲

در این روش ابتدا سازه در یک وضعیت تغییر شکل یافته فرض شده، سپس معادلات تعادل برای حالات تعادل مختلف حاکم بر سازه نوشته می‌شوند. در این حالت ما چند معادله و چند مجهول داریم که برای حل این موضوع با استفاده از آنالیز مقادیر ویژه تعداد دو یا بیشتر شکل های مختلف تعادل، که در همسایگی یکدیگرند، جستجو می‌شود. کمترین باری که معادل با این مرحله است بار بحرانی سیستم خواهد بود [۱].

¹ Snap through

² bifurcation

۱-۳-۲- روش انرژی در آنالیز پایداری سازه ها

برای یک سیستم الاستیکدر معرض نیروهای پایستار^۱، انرژی پتانسیل کل سیستم می تواند به عنوان یک تابع از جابجایی های تعمیم یافته و نیروهای خارجی بیان شود. اگر سیستم در تعادل باشد، انرژی پتانسیل کل آن می بایست حداقل باشد. بنابراین، با برابر صفر قرار دادن مشتق اول تابع انرژی پتانسیل کل نسبت به جابجائی ها، می شود شرایط تعادل را تشخیص داد. سپس بار بحرانی با استفاده از معادلات تعادل محاسبه می شود.

البته با معادل صفر قرار دادن مشتق اول انرژی پتانسیل، فقط می شود شرایط تعادل سیستم را تشخیص داد. برای تشخیص پایداری یا ناپایداری باید بررسی کرد که در آن نقطه انرژی کمینه است یا خیر، که این کار با بررسی مشتقات مراتب بالاتر صورت می گیرد [۱]. (در طبیعت یک سیستم الاستیک همواره به سمتی میل می کند که انرژی پتانسیل آن در یک وضعیت کمینه نسبی باشد [۵]).

۱-۳-۳- روش دینامیکی

در این روش ابتدا سیستم معادلات حرکت حاکم بر ارتعاش آزاد سیستم بر حسب جابجایی های تعمیم یافته و نیروهای خارجی وارد شده بر سیستم نوشته می شود. بار بحرانی برابر مقدار بار خارجی در مرحله ای خواهد بود، که سیستم در یک مرز پایداری و ناپایداری قرار می گیرد. در صورتی سیستم پایدار است که یک اغتشاش^۲ اولیه ی کم، انحراف از موقعیت تعادل اولیه ی کمی، در سیستم ایجاد کند و با کاهش اغتشاش، مقدار انحراف کاهش یابد. اگر هنگامی که سیستم در معرض اغتشاش قرار می گیرد مقدار حرکت بدون حد افزایش یابد سیستم ناپایدار است. (در این حالت بسامد طبیعی سیستم برابر صفر می باشد.) [۱]. اگر بسامد ارتعاشی صفر باشد، نیروهای اینرسی از معادله حذف می شوند و معادلات تعادل به صورت زیر در می آیند.

$$kV - k_G V = 0$$

(۱-۱)

شرایطی که تحت آن شرایط دستیابی به یک بردار جابجایی غیر صفر ممکن می شود، وضعیت کمانش استاتیک را بنا می گذارد به عبارت دیگر، تعریف مفیدی از کمانش پیدایش

¹¹ conservative

² disturbance