بِسْمِ اللهِ الرَّحمٰنِ الرَّحِيم

٢٧٦٣٧

۱۳۷۸ /۱۱/ ۵

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم مدارک

دانشگاه علوم و فنون مازندران
گروه عمران

پایان‌نامه :

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی سازه

موضوع:

پایداری دینامیکی قاب‌ها

استاد راهنما:

دکتر جواد مجتهدی

نگارش :

محمد ایزدی فر

تابستان ۱۳۷۸

۲۷۶۳۷

سپاسگزاری

با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر جواد مجتهدی که راهنمایی این پایان‌نامه را به عهده گرفتند و اینجانب را در انتخاب موضوع و مراحل انجام تحقیق یاری نمودند.

تقدیم به:

مادر عزیزم، پدر مهربانم

و

مبین و مژگان

چکیده

اگر بر گره‌های قابی بارگذاری دینامیکی گرهی به صورت $P_0+P_t\cos\theta t$ اثر نماید، به ازای مقادیر خاصی از سه پارامتر بارگذاری P_0، P_t و θ این قاب ناپایدار می‌گردد. با در نظرگرفتن حالت‌های ممکنه از مقادیر پارامترهای بارگذاری مذکور نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب را بدست آوردیم.

برای انجام تحقیقات ابتدا پایداری دینامیکی ستونهای دو سرمفصل را تحت اثر بارگذاری محوری $P_0+P_t\cos\theta t$ بدست آوردیم. برای این کار معادله دیفرانسیل تعادل لنگر را در مقطع دلخواهی از ستونی که تحت اثر بارگذاری دینامیکی محوری بود نوشتیم. با استفاده از چند تعریف، این معادله را به صورت معادله دیفرانسیل Mathieu تبدیل کردیم. برای حل معادله دیفرانسیل Mathieu از روش سری فوریه استفاده نمودیم. با حل این معادله دیفرانسیل، معادله مرزهای پریودیک متمایزکنندهٔ نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی ستون را بدست آوردیم.

این مرزها را به دو صورت تقسیم‌بندی کردیم. مرزهای با پریود $2T$ و مرزهای با پریود T. نشان دادیم نواحی بین مرزهای هم پریود نواحی ناپایداری دینامیکی است. و ناحیه‌هایی که دو مرز بالایی و پایینی آن هم‌پریود نباشند ناحیه‌های پایداری دینامیکی است.

برای بررسی پایداری دینامیکی قابها، روابط ماتریسی حاکم بر قاب را تحت اثر بارگذاری دینامیکی گرهی بدست آوردیم. سپس معادله مرزهای پریودیک متمایزکننده نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب را ارائه دادیم.

همچنین تأثیر بادبندهای کششی و فشاری در تحمل نیروهای گرهی جانبی پریودیک و پایدارترکردن قاب مورد بررسی قرارگرفت.

کلمات کلیدی: پایداری - دینامیک - قاب - فولاد

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول

پایداری دینامیکی ستونها

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ - تعیین معادله دیفرانسیل حاکم بر ستون تحت اثر بارگذاری محوری ۳

۱-۲-۱ - معادله دیفرانسیل ستون تحت اثر نیروی P_0 ..... ۳

۱-۲-۲ - معادله دیفرانسیل ستون تحت اثر نیروی محوری $P(t)$ ۴

۱-۳ - معرفی معادله Mathieu-Hill ۶

۱-۴ - خواص معادله Mathieu-Hill ۶

۱-۴-۱ - دترمینان معادله مشخصه ۶

۱-۴-۲ - معادله مشخصه مقادیر ویژه ۷

۱-۴-۳ - حالت‌های خاص ۹

۱-۵ - استفاده از برهان خلف برای تعیین نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی ۱۱

۱-۶ - حل معادله دیفرانسیل (Mathieu) برای بدست آوردن معادلات فرکانس مرزی ۱۱

۱-۶-۱ - بررسی جوابهای با پریود 2T معادله Mathieu ۱۱

۱-۶-۲ - بررسی جوابهای با پریود T معادله Mathieu ۱۳

۱-۷ - تعیین مرزهای نواحی ناپایداری دینامیکی با استفاده از روش تقریبی کسرهای پیوسته ۱۵

۱-۷-۱ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود 2T ۱۵

۱-۷-۲ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود T ۱۷

۱-۸ - تقسیم‌بندی نواحی ناپایداری دینامیکی ۱۸

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

۱-۹ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی ستون با رسم منحنی‌های مرزهای متمایزکنندهٔ نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی ۲۰

۱-۹-۱ - رسم نواحی ناپایداری دینامیکی در فضای $(\mu - \frac{\theta}{2\Omega})$ ۲۰

۱-۹-۲ - رسم نواحی ناپایداری دینامیکی در فضای $(\frac{P_0}{P_*} - \frac{\theta}{2\omega})$ با فرض $\frac{P_1}{P_0} = 0.3$ .. ۳۰

۱-۱۰ - رسم نواحی ناپایداری دینامیکی در فضای $(\frac{P_0}{P_*} - \frac{\theta}{2\omega})$ با فرض $\frac{P_1}{P_*} = 0.3$ ۴۰

فصل دوم

قراردادهای تحلیل ماتریسی قاب

۲-۱ مقدمه ۴۸

۲-۲ - قراردادهای روش ماتریسی ۴۸

۲-۲-۱ - جهت‌های مثبت نیروهای انتهایی در دستگاه مختصات محلی ۴۹

۲-۲-۲ - جهت‌های مثبت نیروهای انتهایی در دستگاه مختصات کلی ۴۹

۲-۲-۳ - رابطهٔ بین نیروهای انتهایی در دستگاه مختصات محلی و کلی ۵۰

۲-۲-۴ - جهت‌های مثبت تغییرمکان‌های انتهایی در دستگاه مختصات محلی ۵۰

۲-۲-۵ - جهت‌های مثبت تغییرمکانهای انتهایی در دستگاه مختصات کلی ۵۱

۲-۲-۶ - رابطه بین تغییرمکان‌های انتهایی در دستگاه مختصات محلی و کلی ۵۱

۲-۳ - محاسبه ماتریس سختی الاستیک و ماتریس سختی هندسی در دستگاه مختصات محلی و کلی ۵۲

۲-۳-۱ - ماتریس سختی الاستیک هر عضو در دستگاه مختصات محلی ۵۲

۲-۳-۲ - ماتریس سختی هندسی هر عضو در دستگاه مختصات محلی ۵۲

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

۲-۳-۳ - ماتریس سختی الاستیک هر عضو در دستگاه مختصات کلی ۵۳

۲-۳-۴ - ماتریس سختی هندسی هر عضو در دستگاه مختصات کلی ۵۳

۲-۳-۵ - ماتریس جرم هر عضو در دستگاه مختصات کلی ۵۴

فصل سوم

تعیین مرزهای متمایزکننده نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب تحت اثر نیروهای متمرکز گرهی $(P_0 + P_t \cos\theta t)$

۳-۱ - مقدمه ۵۶

۳-۲ - معادله دیفرانسیل حاکم بر قاب تحت اثر نیروهای متمرکز گرهی ۵۶

۳-۳ - روش کلی تعیین مرزهای بین نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب ۵۸

۳-۳-۱ - تعیین مرز بالایی با پریود 2T، متمایزکنندهٔ ناحیه پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب [برای یافتن ناحیه اول ناپایداری در تقریب اول] ۵۹

۳-۳-۲ - تعیین مرز پایینی با پریود 2T، متمایزکنندهٔ ناحیهٔ پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب [برای یافتن ناحیه اول ناپایداری در تقریب اول] ۵۹

۳-۳-۳ - تعیین مرزهای بالایی با پریود 2T متمایزکننده نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب [برای یافتن ناحیه‌های اول و سوم ناپایداری] ۶۰

۳-۳-۴ - تعیین مرزهای پایینی با پریود 2T، متمایزکننده نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب [برای یافتن ناحیه‌های اول و سوم ناپایداری] ۶۱

۳-۳-۵ - تعیین مرزهای بالایی با پریود T، متمایزکننده نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب [برای یافتن ناحیه دوم ناپایداری] ۶۱

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

۳-۳-۶ - تعیین مرزهای پایینی متمایزکننده نواحی پایداری و ناپایداری دینامیکی قاب برای جوابهای با پریود T [برای یافتن ناحیه‌های دوم ناپایداری] ۶۲

فصل چهارم

تعریف مشخصات قابهای مدل

۴-۱ - مقدمه ۶۴

۴-۲ - مدل کلی قاب یک طبقه - یک دهانه ۶۶

۴-۲-۱ - ماتریس سختی الاستیک عضو (۱) و (۳) در دستگاه مختصات کلی ۶۷

۴-۲-۲ - ماتریس سختی الاستیک عضو (۲) در دستگاه مختصات کلی ۶۷

۴-۲-۳ - ماتریس سختی الاستیک قاب شکل (۴-۸) در دستگاه مختصات سیستم ... ۶۸

۴-۲-۴ - ماتریس سختی هندسی عضو (۱) در دستگاه مختصات کلی ۶۸

۴-۲-۵ - ماتریس سختی هندسی عضو (۲) در دستگاه مختصات کلی ۶۹

۴-۲-۶ - ماتریس سختی هندسی قاب شکل (۴-۸) در دستگاه مختصات سیستم ۶۹

۴-۲-۷ - ماتریس جرم عضو (۱) و (۳) در دستگاه مختصات کلی ۷۰

۴-۲-۸ - ماتریس جرم عضو (۲) در دستگاه مختصات کلی ۷۰

۴-۲-۹ - ماتریس جرم قاب شکل (۴-۸) در دستگاه مختصات سیستم ۷۱

۴-۳ - روابط ماتریسی قاب مدل (۱) ۷۱

۴-۳-۱ - ماتریس سختی الاستیک قاب مدل (۱) در دستگاه مختصات سیستم ۷۲

۴-۳-۲ - ماتریس سختی هندسی قاب مدل (۱) در دستگاه مختصات سیستم ۷۲

۴-۳-۳ - ماتریس جرم قاب مدل (۱) در دستگاه مختصات سیستم ۷۳

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

۴-۴ - روابط ماتریسی قاب مدل (۲) ۷۳

۴-۴-۱ - ماتریس سختی الاستیک قاب مدل (۲) در دستگاه مختصات سیستم ۷۴

۴-۴-۲ - ماتریس جرم قاب مدل (۲) در دستگاه مختصات سیستم ۷۴

۴-۵ - روابط ماتریسی قاب مدل (۳) ۷۵

۴-۵-۱ - ماتریس سختی الاستیک قاب مدل (۳) در دستگاه مختصات سیستم ۷۵

۴-۵-۲ - ماتریس جرم قاب مدل (۳) در دستگاه مختصات سیستم ۷۶

فصل پنجم

تعیین نواحی ناپایداری قابهای مدل

۵-۱ مقدمه ۷۸

۵-۲ - محاسبه نیروی بحرانی قاب مدل (۱) تحت اثر بارگذاری شکل (۵-۱) ۷۹

۵-۳ - محاسبه مرزهای نواحی ناپایداری دینامیکی قاب مدل (۱) تحت اثر بارگذاری شکل (۵-۲) ۸۰

۵-۳-۱ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای $(\frac{A}{A^*} - \frac{P_0}{P_{cs}})$ با فرض $P_t=0.3P_{cs}$ ۸۱

۵-۳-۲ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای $(\frac{A}{A^*} - \frac{P_0}{P_{cs}})$ با فرض $P_t=0.2P_{cs}$ ۸۵

۵-۳-۳ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای $(\frac{A}{A^*} - \frac{P_0}{P_{cs}})$ با فرض $P_t=0.15P_{cs}$ ۸۹

۵-۳-۴ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای $(\frac{A}{A^*} - \frac{P_0}{P_{cs}})$ با فرض $P_t=0.1P_{cs}$

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

..... ۹۳

۵-۳-۵ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای ($\frac{A}{A^*}$ - $\frac{P_0}{P_{cs}}$) با فرض $P_t=0.05P_{cs}$ ۹۷

۵-۳-۶ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای ($\frac{A}{A^*}$ - $\frac{P_0}{P_{cs}}$) با فرض $P_t=0.025P_{cs}$ ۱۰۱

۵-۳-۷ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای ($\frac{A}{A^*}$ - $\frac{P_0}{P_{cs}}$) با فرض $P_t=0.01P_{cs}$ ۱۰۵

۵-۴ - نتیجهٔ قسمت (۵-۳) ۱۱۱

۵-۵ - تعیین مرزهای نواحی ناپایداری قاب مدل (۱) تحت اثر بارگذاری شکل (۵-۳) .. ۱۱۱

۵-۵-۱ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قاب در فضای ($\frac{P_t}{P_{cs}}$ - A) با فرض $P_s=0.1P_{cs}$ و $P_s=0.4P_{cs}$ ۱۱۲

۵-۵-۲ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی در فضای ($\frac{P_t}{P_{cs}}$ - A) با فرض $P_s=0.1P_{cs}$ و $P_s=0.5P_{cs}$ ۱۱۵

۵-۵-۳ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی در فضای ($\frac{P_t}{P_{cs}}$ - A) با فرض $P_s=0.2P_{cs}$ و $P_s=0.4P_{cs}$ ۱۱۸

۵-۶ - نتیجه قسمت (۵-۵) ۱۲۱

۵-۷ - تعیین نواحی ناپایداری دینامیکی قابهای دارای بادبند ۱۲۱

۵-۷-۱ - تعیین مرزهای نواحی ناپایداری دینامیکی قاب مدل (۲) تحت اثر بارگذاری شکل (۵-۴) ۱۲۱

۵-۷-۲ - تعیین مرزهای ناحیهٔ اصلی ناپایداری دینامیکی قاب مدل (۲) تحت اثر بارگذاری

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

شکل (۵-۵) ۱۲۴

۵-۷-۳ - تعیین مرزهای ناحیهٔ اصلی ناپایداری دینامیکی قاب مدل (۳) تحت اثر بارگذاری

شکل (۵-۶) ۱۲۶

۵-۷-۴ - تعیین مرزهای ناحیهٔ اصلی ناپایداری دینامیکی قاب مدل (۴) تحت اثر بارگذاری

شکل (۵-۷) ۱۲۸

۵-۸ - نتیجه قسمت (۵-۷) ۱۳۰

فصل ششم

نتیجه گیری

۶-۱ - تفاوت بین پایداری استاتیکی و پایداری دینامیکی ۱۳۲

۶-۲ - طراحی بهینهٔ سازه‌ها به کمک روش پایداری دینامیکی ۱۳۳

۶-۳ - اهمیت نیروی عمودی ناشی از زلزله ۱۳۳

۶-۴ - نقاط ضعف تحلیل‌های استاتیکی ۱۳۳

۶-۵ - پیشنهاد عنوانهای جدید جهت تحقیقات بیشتر در آینده ۱۳۴

پیوست الف

نمودار Mathieu **۱۳۵**

پیوست ب

رابطهٔ $\frac{\theta}{2\omega}$, $\frac{P_0}{P_*}$ **در تقریبهای متوالی** **۱۳۸**

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

پیوست ج

منحنی‌های ستون فقرات ۱۴۰

مراجع ۱۴۴

فهرست تصاویر و نمودارها

عنوان ..... صفحه

فصل اول

شکل ۱-۱: بارگذاری محوری P(t) بر ستون دو سرمفصل ۳

نمودار ۱-۱: نواحی ناپایداری دینامیکی در فضای $(\mu - \frac{\theta}{2\Omega})$ با استفاده از روش کسرهای پیوسته ۲۰

نمودار ۱-۲: نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود 2T ۲۴

نمودار ۱-۳: نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود T ۲۸

نمودار ۱-۴: نواحی ناپایداری دینامیکی ۲۹

نمودار ۱-۵: نواحی ناپایداری دینامیکی در فضای $(\frac{P_0}{P_*} - \frac{\theta}{2\omega})$ با فرض $\frac{P_t}{P_0}=0.3$ با استفاده از روش تقریبی کسرهای پیوسته ۳۰

نمودار ۱-۶: نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود 2T با فرض $\frac{P_t}{P_0}=0.3$ ۳۳

نمودار ۱-۷: نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود T با فرض $\frac{P_t}{P_0}=0.3$ ۳۷

نمودار ۱-۸: نواحی ناپایداری دینامیکی با فرض $\frac{P_t}{P_0}=0.3$ ۳۹

نمودار ۱-۹: نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود 2T با فرض $\frac{P_t}{P_*}=0.3$ ۴۲

نمودار ۱-۱۰: نواحی ناپایداری دینامیکی بین مرزهای با پریود T با فرض $\frac{P_t}{P_*}=0.3$ ۴۵

نمودار ۱-۱۱: نواحی ناپایداری دینامیکی با فرض $\frac{P_t}{P_*}=0.3$ ۴۶

فصل دوم

شکل ۲-۱: بردار نیروهای انتهایی در دستگاه مختصات محلی ۴۹

شکل ۲-۲: بردار نیروهای انتهایی در دستگاه مختصات کلی ۴۹

شکل ۲-۳: بردار تغییرمکان‌های انتهایی در دستگاه مختصات محلی ۵۰

فهرست تصاویر و نمودارها

عنوان ..... صفحه

شکل ۲-۴: بردار تغییرمکان‌های انتهایی در دستگاه مختصات کلی ۵۱

فصل چهارم

شکل ۴-۱: بارگذاری استاتیکی گرهی بر قاب مدل (۱)..... ۶۵
شکل ۴-۲: بارگذاری دینامیکی گرهی بر قاب مدل (۱)..... ۶۵
شکل ۴-۳: بارگذاری دینامیکی گرهی جانبی بر قاب مدل (۱) ۶۵
شکل ۴-۴: بارگذاری دینامیکی گرهی جانبی بر قاب مدل (۲) ۶۵
شکل ۴-۵: بارگذاری دینامیکی گرهی جانبی بر قاب مدل (۲) ۶۵
شکل ۴-۶: بارگذاری دینامیکی گرهی جانبی بر قاب مدل (۳) ۶۶
شکل ۴-۷: بارگذاری دینامیکی گرهی جانبی بر قاب مدل (۳) ۶۶
شکل ۴-۸: مدل کلی قاب یک طبقه - یک دهانه ۶۶
شکل ۴-۹: قاب مدل (۱)..... ۷۱
شکل ۴-۱۰: قاب مدل (۲) ۷۳
شکل ۴-۱۱: قاب مدل (۳) ۷۵

فصل پنجم

شکل ۵-۱: بارگذاری استاتیکی گرهی بر قاب مدل (۱)..... ۸۰
شکل ۵-۲: بارگذاری دینامیکی گرهی بر قاب مدل (۱)..... ۸۰
شکل ۵-۳: بارگذاری جانبی گرهی به همراه بارگذاری دینامیکی گرهی ۱۱۱
شکل ۵-۴: بارگذاری دینامیکی گرهی جانبی بر قاب مدل (۲) با فرض $P_0=0.8P_{cs}$ ۱۲۱