بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقسیم مدارک

۱۳۷۸ /۷/ ۱۲

دانشکده مهندسی عمران

تحلیل و طراحی بهینه سازه‌های فضاکار تاشو

علی جعفروند

پایان‌نامه برای دریافت درجه

دکترا در رشته مهندسی سازه

۱۲۰/۲ ۱۷

استاد راهنما:

دکتر محمدعلی برخورداری

استاد مشاور:

پروفسور علی کاوه

فروردین ماه ۱۳۷۷

بِسْمِ اللهِ الرَّحمٰنِ الرَّحِيم

تقدیم به:

روان پاک پدر و مادرم

چکیده

سازه‌های تاشو، سازه‌هایی هستند که توان باز و بسته شدن را دارند و در حالت بسته به صورت مجموعه‌ای فشرده از میله‌های تقریباً موازی در می‌آیند. چتر نمونه متداولی از آنها است. کاربرد این سازه‌ها از سازه‌های موقت گرفته تا فضاپیماها گسترده شده است. این پایان‌نامه به بررسی رفتار کلی سازه‌های تاشو با اتصالات قیچی‌گونه و تحلیل و طراحی بهینه آنها اختصاص دارد.

ابتدا مفاهیم پایه‌ای سازه‌های تاشو و طبقه‌بندی آنها بیان شده است و سپس ماتریس سختی یونیپلت‌ها و دوپلت‌ها ارائه گردیده است. بکارگیری کابل‌ها در این نوع سازه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

برای داده‌آمایی و تاشه‌پردازی، برنامه‌ای تهیه شده است که سازه‌های تاشو تخت و چلیک را با بازشوهای مورد نیاز ایجاد می‌کند و بارگذاری‌ها و تکیه‌گاهها را در لایه و گره‌های مورد نظر انجام می‌دهد.

تعدادی سازه تاشو عملی برای بررسی رفتار سازه‌های تاشو مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی نتایج تحلیل نشان می‌دهد که اعضای سازه تاشو به طور کلی زیر لنگر خمشی است، در صورتی که نیروی محوری آن کم و نیروی برشی آن قابل اغماض است. افزودن کابل، توان باربری سازه را بالا می‌برد و کاهش قابل توجهی در وزن بهینه سازه بوجود می‌آورد. کارآیی کابل به توپولوژی و هندسه سازه تاشو بستگی دارد.

سازه‌های تاشو در دو حالت خطی و غیرخطی تحلیل شده‌اند. برای بررسی مقاومت و سختی سازه تاشو از تحلیل خطی و برای تعیین بار بحرانی کمانشی آن از تحلیل غیرخطی استفاده بعمل آمده است. برای ساختن واحدهای سازه‌های تاشو معمولاً یونیپلت‌ها را در محل لولا سوراخ می‌کنند. سوراخ محل لولا در یونیپلت‌ها، مقاومت آنها را به شدت کاهش می‌دهد. افزودن عضو توپر کوچکی در محل لولا، مقاومت یونیپلت‌ها را بالا می‌برد ولی در محل اتصال، تمرکز تنش بوجود می‌آورد.

تشکر و قدردانی

در هر راهی راهنمایان آگاه و دلسوز لازم هستند تا ما را به سلامت به سرمنزل مقصود برسانند. در این اثر هم استادان دانش‌پژوه و دلسوز نورپردازان این طریق بوده‌اند.

این پایان‌نامه زیر نظر استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر محمدعلی برخورداری و استاد مشاور گرامی جناب آقای پروفسور علی کاوه به انجام رسیده است. از راهنمایی‌های ارزنده استادان محترم بهره‌ها گرفته شده است. صرفنظر از رهنمودهای علمی و هدایت عملی پروژه حاضر، درس‌های بسیار ارزشمندی از انسان‌دوستی و فداکاری به نگارنده آموخته شد. بدین وسیله مراتب کمال قدردانی و سپاسگزاری خود را نسبت به ایشان ابراز می‌نمایم.

اعضاء محترم هیئت داوران پایان‌نامه حاضر، طی جلسات متعدد بحث و بررسی با راهنمایی‌های ارزنده و حمایت‌های بی‌دریغ خود موجب رفع مشکلات گردیده و نقشی اساسی در به ثمر رسیدن این فعالیت پژوهشی داشته‌اند. بدین وسیله از راهنمایی‌های ارزشمند و زحمات بی‌شائبه استادان گرامی جناب آقای دکتر محسن تهرانی‌زاده، جناب آقای دکتر رضا عباس‌نیا و جناب آقای دکتر کامبیز بایار تشکر و قدردانی می‌نمایم.

با به پایان رسیدن پروژه حاضر، دوران تحصیلی طولانی اینجانب از سال ۱۳۵۲ در دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، دانشکده فنی دانشگاه تبریز و دانشگاه علم و صنعت ایران نیز به پایان می‌رسد. بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی‌شائبه اساتید ارجمند خود آقایان دکتر محمدرضا عسگری، دکتر منوچهر پویا، دکتر محمد ایزدی، مهندس آرک مگردیچیان، دکتر سرابی، دکتر یعقوب فرزان، دکتر علاءالدین بهروش، دکتر واهاک سیمونیان، دکتر ارسطو ارمغانی، دکتر جمشیدی، دکتر حمید بهبهانی، دکتر فریدون امینی، دکتر محمدحسن بازیار، دکتر علی کاوه، دکتر محمدعلی برخورداری، دکتر رضا عباس‌نیا، دکتر بهروز فرشی، دکتر کامبیز بایار، دکتر یحیی همتی و دکتر عباسعلی فرداد و سایر اساتید گرانقدری که از قلم افتاده‌اند تشکر و سپاسگزاری نمایم.

در طول دوران تحصیلی، همسر فداکارم و فرزندان عزیزم، ساناز، بابک و آیناز، همه کاستی‌ها

را تحمل کرده و مشوقم بودند، از زحمات ایشان قدردانی می‌نمایم. همچنین به خاطر کمک‌های فکری و تشویق‌های مداوم آقای دکتر یدا... جعفروند، سرکار خانم دکتر مینا قنبرزاده و آقای دکتر صمد صادقیلر سپاسگذاری می‌نمایم.

محاسبات رایانه‌ای این پروژه با استفاده از امکانات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انجام گردیده است که بدین وسیله از مسئولین و کارکنان این مرکز، در بخش کامپیوتر و کتابخانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

در خاتمه بر خود وظیفه می‌دانم از همه عزیزانی که به هر نحوی در به ثمر رسیدن این پروژه پژوهشی نقشی داشته‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

فهرست مطالب

فصل اول

کلیات

۱-۱ - تاریخچهٔ توسعه سازه‌های فضاکار..... ۱

۱-۲ - مقدمه..... ۲

۱-۳ - تحلیل غیرخطی سازه تاشو..... ۴

۱-۴ - تاریخچهٔ بهینه‌یابی سازه‌ای..... ۶

۱-۴-۱ - بهینه‌یابی - مفاهیم پایه..... ۶

۱-۴-۲ - بهینه‌یابی سازه‌ها ۷

۱-۴-۳ - کاربردهای مهندسی بهینه‌یابی..... ۹

فصل دوم

سیستم‌های تاشو

۲-۱ - مقدمه ۱۱

۲-۱-۱ - طبقه بندی سازه تاشو بر اساس نحوه تاشدن آن ۱۲

۲-۱-۲ - کنترل باز شدن سازه‌های تاشو مرحله‌ای..... ۱۳

۲-۲-۱ - طبقه‌بندی سازه های اتصال قیچی گونه بر اساس مدول‌های تشکیل دهنده آن ۱۴

۲-۲-۲ - شرایط قابلیت تاشویی ۲۲
۲-۲-۳ - الگوهای بسته بندی ۲۵
۲-۲-۴ - طراحی پیونده ۲۵

فصل سوم

تحلیل خطی سازه‌های تاشو

۳-۱ - مقدمه ۳۲
۳-۲- فرمول بندی ۳۳
۳-۳- ماتریس سختی عضو تیری ۳۸
۳-۴ - تحلیل سازه فضاکار تاشو ۴۰
۳-۴-۱ - ماتریس سختی یونیپلت‌ها ۴۲
۳-۴-۲ - تحلیل بهینه سازه‌های تاشو ۵۲
۳-۴-۳ - تشکیل ماتریس سختی دوپلت ۵۳

فصل چهارم

تحلیل غیرخطی هندسی سازه‌های تاشو

۴-۱- مقدمه ۵۹
۴-۲ - روشهای نموی ۶۱
۴-۲-۱ - روش مستقیم ۶۲
۴-۳ - روش‌های تکراری ۶۳
۴-۳-۱ - روش نیوتن - رافسون ۶۵
۴-۴ - ماتریس سختی در تحلیل غیرخطی ۶۷
۴-۴-۱ - ماتریس سختی میله ۶۹

۴-۵ - ماتریس سختی یونیپلت ۷۱
۴-۶ - حل معادلات غیرخطی ۷۴
۴-۷ - رفتار عضو در تغییر شکل‌های بزرگ ۷۶
۱ - دستگاه مختصات سراسری ۷۹
۲ - دستگاه مختصات محلی ۷۹
۳ - دستگاه مختصات عضوی پایه ۸۰
۴-۷-۱ - فرآیند لاگرانژ کلی ۸۱
۴-۷-۲ - فرآیند لاگرانژ بهنگام ۸۱
۴-۸ - تحلیل ایستایی غیرخطی هندسی سازه تاشو ۸۲
۴-۹ - رویه حل مسئله ۸۳
۴-۹-۱ - روش نیوتن - رافسون معمولی و بهبود یافته ۸۳
۴-۹-۲ - معیار همگرایی ۸۵
۴-۱۰ - مطالعه موردی ۸۵
مقدمه ۸۵
مطالعه موردی اول ۸۶
مطالعه موردی دوم ۸۷
مطالعه موردی سوم ۸۹
مطالعه موردی چهارم ۹۱

فصل پنجم

پایه‌های تئوریک بهینه‌یابی

۵-۱- مقدمه ۹۴
۵-۲ - تاریخچه ۹۵

۵-۳ - بهینه‌یابی - مفاهیم پایه ۹۶
۵-۴ - بیان ریاضی مسئله بهینه‌یابی ۹۶
۵-۴-۱ - بردار متغرهای طراحی ۹۷
۵-۴-۲- قیدهای طراحی ۹۷
۵-۴-۳- سطح قیدها ۹۸
۵-۴-۴ - تابع هدف ۹۹
۵-۴-۵ - سطوح تابع هدف ۱۰۰
۵-۵ - خصوصیات شکل ناحیه قابل قبول ۱۰۱
۵-۵-۱ - ناحیه قابل قبول محدود شده با خطوط مستقیم ۱۰۱
۵-۵-۲ - مسائل ناحیه قابل قبول غیرخطی ۱۰۳
۵-۶ - روش‌های عددی برای بدست آوردن کمینهٔ محلی ۱۰۴
۵-۶-۱ - روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی ۱۰۵
۵-۶-۲- روش برنامه ریزی خطی ۱۰۵
۵-۷- مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی ۱۰۹
۵-۷-۱ - مسائل غیرخطی نامقید ۱۰۹
۵-۸ - مسائل غیرخطی مقید ۱۱۳
۵-۹ - شرایط کان - تاکر ۱۱۶
۵-۱۰ - روش‌های تقریبی ۱۱۸
۵-۱۱ - روش نیوتن ۱۱۸
۵-۱۲ - روش شبه‌نیوتن ۱۲۰
۵-۱۳ - روش نیوتن - رافسون ۱۲۱
۵-۱۴ - روش عمومی گرادیان کاهش یافته (GRG) ۱۲۳
۵-۱۵ - برنامه‌ریزی درجه دوم پی در پی (RQP) ۱۲۵

۵-۱۶ الگوریتم برنامه‌ریزی خطی پی در پی ۱۳۰

فصل ششم

بهینه‌یابی وزن سازه‌های تاشو

۶-۱- مقدمه ۱۳۵
۶-۲ - فرآیند طراحی ۱۳۶
۶-۳ - رابطه سازی عمومی طراحی ۱۴۱
۶-۴ - رابطه‌سازی سازه فضاکار تاشو ۱۴۵
۶-۴-۱ - متغیرهای از پیش تعیین شده ۱۴۶
۶-۴-۲ - متغیرهای طراحی ۱۴۶
۶-۴-۳ - قیدهای طراحی ۱۴۷
۶-۵ - چکیده شرح نرم‌افزار NISA II ۱۴۹
۶-۵-۱ - تابع هدف ۱۵۲
۶-۵-۲ - توابع قید ۱۵۲
۶-۵-۲-۱ - قیدهای تغییرمکان ۱۵۲
۶-۵-۲-۲ - قیدهای تنش ۱۵۲
۶-۶ - مطالعه موردی ۱۵۳
مقدمه ۱۵۳
مطالعه موردی اول ۱۵۴
مطالعه موردی دوم ۱۵۶
مطالعه موردی سوم ۱۵۹
مطالعه موردی چهارم ۱۷۵
مقایسه وزن سازه چلیک تاشو و خرپای فضایی ۱۸۶

مطالعه موردی پنجم..... ۱۸۸

فصل هفتم

طراحی سازه تاشو

۷-۱ - مقدمه..... ۱۹۷
۷-۲ - بارگذاری..... ۱۹۹
۷-۳ - طراحی سازه چلیک تاشو..... ۲۰۱
۷-۴ - جزئیات سازه چلیک تاشو..... ۲۰۲
۷-۵ - بررسی تمرکز تنش در محل لولا..... ۲۰۷
۷-۶ - بهینه‌یابی وزن سازه چلیک تاشو..... ۲۱۱
۷-۷ - توصیه‌های اجرایی..... ۲۱۲

فصل هشتم

نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی

۸-۱ - مقدمه..... ۲۱۴
۸-۲ - نتیجه‌گیری..... ۲۱۴
۸-۳ - کارهای آتی..... ۲۱۶
فهرست مراجع..... ۲۱۸

فهرست اشکال

فصل اول

شکل ۱-۲-۱ - پیونده، یونیپلت و دوپلت..... ۴

فصل دوم

شکل ۲-۱-۱ - پیونده سازه باز شو مرحله‌ای، الف) تا شده ب) باز شده..... ۱۴
شکل ۲-۲-۱ - انواع دوپلت..... ۱۵
شکل ۲-۲-۲ - سرهم‌بندی پنج تا دوپلت مستطیلی..... ۱۶
شکل ۲-۲-۳ - سازه تاشو سه بعدی با دوپلت‌های مستطیلی یکسان..... ۱۷
شکل ۲-۲-۴ - سرهم‌بندی دوپلت‌های ذوزنقه‌ای ۱۸
شکل ۲-۲-۵ - چلیک تاشو شامل دوپلت‌های مستطیلی و ذوزنقه‌ای..... ۱۹
شکل ۲-۲-۶ - گنبد تاشو، شامل دوپلت‌های ذوزنقه‌ای یکسان ۲۰
شکل ۲-۲-۷ - سرهم‌بندی دوپلت‌های متوازی‌الاضلاع ۲۱
شکل ۲-۲-۸ - سرهم‌بندی سازه تاشو شیبدار شامل دوپلت‌های مستطیلی و متوازی الاضلاع ۲۲
شکل ۲-۲-۹ - تاشه دو تا "دوپلت "..... ۲۲
شکل ۲-۲-۱۰ - نشان دادن شرایط قابلیت تاشویی به صورت تصویری ۲۳

شکل ۲-۲-۱۱ ..... ۲۵
شکل ۲-۲-۱۲ ..... ۲۵
شکل ۲-۲-۱۳ ..... ۲۶
شکل ۲-۲-۱۴ ..... ۲۶
شکل ۲-۲-۱۵ ..... ۲۶
شکل ۲-۲-۱۶ ..... ۲۶
شکل ۲-۲-۱۷ ..... ۲۷
شکل ۲-۲-۱۸ ..... ۲۷
شکل ۲-۲-۱۹ ..... ۲۸
شکل ۲-۲-۲۰ ..... ۲۸
شکل ۲-۲-۲۱ ..... ۲۸
شکل ۲-۲-۲۲ ..... ۲۸
شکل ۲-۲-۲۳ ..... ۲۸
شکل ۲-۲-۲۴ ..... ۲۸
شکل ۲-۲-۲۵ ..... ۲۸
شکل ۲-۲-۲۶ ..... ۲۹
شکل ۲-۲-۲۷ ..... ۲۹
شکل ۲-۲-۲۸ ..... ۲۹
شکل ۲-۲-۲۹ ..... ۲۹
شکل ۲-۲-۳۰ ..... ۲۹
شکل ۲-۲-۳۱ ..... ۲۹
شکل ۲-۲-۳۲ ..... ۲۹
شکل ۲-۲-۳۳ ..... ۳۰