

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

عنوان:

بررسی پارامتریک سازه‌های فضاکار گنبدی تاشو در

حین باز و بسته شدن

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا قاسمی

(دانشیار دانشگاه سیستان و بلوچستان)

تحقیق و نگارش:

میلاد صحرايي

۸۸۰۵۰۶۴

بهمن ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان
قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد توسط دانشجو تحت
راهنمایی استاد پایان نامه تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی
با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)

این پایان نامه واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ توسط هیئت داوران بررسی و درجه
..... به آن تعلق گرفت.

تاریخ

امضاء

نام و نام خانوادگی

استاد راهنما:

استاد راهنما:

استاد مشاور:

داور ۱:

داور ۲:

نماینده تحصیلات تکمیلی:



دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب میلاد صحرائی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

میلاد صحرائی

چکیده

سازه‌های بازشوی قیچی‌سان یا تاشو دسته‌ای از سازه‌های فضاکار هستند که قابلیت باز و بسته شدن را دارند. به این صورت که از یک تاشه‌ی باز و از پیش تعیین شده به تاشه‌ی بسته و فشرده که به صورت مجموعه‌ای از میله‌های موازی می‌باشند تبدیل می‌شوند. کاربرد این سازه‌ها از سازه‌های موقت گرفته تا کاربرد در صنایع فضانوردی گسترده است. اساسی‌ترین واحد تشکیل‌دهنده سازه‌های بازشوی قیچی‌سان، المان قیچی‌سان می‌باشد. این سازه‌ها در هر دو تاشه‌ی باز و بسته عاری از تنش می‌باشد، اما در حین باز شدن، رفتار غیرخطی هندسی بالایی را از خود نشان می‌دهند. این نوع سازه خودایستا بوده؛ به این معنی که در دو تاشه‌ی باز و بسته پایدار می‌باشد. با توجه به هزینه‌ی طراحی این سازه‌ها، بررسی پارامتری رفتار سازه در حین باز شدن برای رسیدن به قابلیت باز و بسته شدن سازه و حداقل کردن نیروهای داخلی سازه در حین باز و بسته شدن بسیار ضروری می‌باشد.

آقای گانتس، اثر پارامترهای متعددی چون اندازه پیونده و اصطکاک را بر روی پاسخ واحد سازه‌ای کمانی مورد بررسی قرار داده است. در این تحقیق علاوه بر پارامترهای مورد بررسی توسط آقای گانتس، تأثیر پارامترهای مختلف هندسی از قبیل شکل هندسی سازه در تاشه‌ی باز، سطح مقطع اعضای سازه و پارامترهای سازه‌ای از قبیل جنس اعضا و همچنین تأثیر اندازه پیونده بر روی پاسخ واحد سازه‌ای کمانی بررسی شده است.

در این تحقیق مشاهده شد که، فرمول‌های مربوط به طراحی سازه‌های تاشو کمانی ارائه شده توسط آقای گانتس برای برخی از حالت‌ها دارای نقص می‌باشد. در رفع این مشکل راه‌حلی برای جلوگیری از به وجود آمدن این نقص ارائه شده است.

ملاحظه شد که رفتار سازه به کوچکترین تغییر در پارامترهای سازه‌ای و هندسی بسیار حساس می‌باشد و این تغییرات باعث سخت‌شوندگی پاسخ سازه و کاهش در ظرفیت سازه در تاشه باز تحت بارگذاری بهره‌برداری می‌شود. بررسی جنس اعضا نشان می‌دهد که، تنها راهکار عملی برای دستیابی به نیروی فרוجهشی کمتر در حین باز و بسته شدن و همچنین پایداری بیشتر در تاشه باز، استفاده از دو جنس مختلف در المان‌های قیچی-سان داخلی و خارجی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که تحلیل رفتار سازه‌ی بازشوی قیچی‌سان حین باز و بسته شدن برای تکمیل روند طراحی این گونه سازه‌ها بسیار ضروریست و بایستی مورد توجه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: سازه‌های بازشوی قیچی‌سان کمانی، تحلیل غیرخطی هندسی، بررسی پارامتری، قابلیت باز و بسته شدن.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه‌ای بر تحقیق حاضر.....
۲	۱-۱- معرفی سازه‌های تاشو.....
۳	۲-۱- مزیت‌ها.....
۴	۳-۱- کاربردها.....
۸	۴-۱- انگیزه تحقیق.....
۹	۵-۱- شرحی بر فصول پایان‌نامه.....
۱۰	فصل دوم: انواع سازه‌های بازشو.....
۱۱	۱-۲- مقدمه.....
۱۴	۲-۲- سازه‌های بازشو بر اساس روش پانتوگراف.....
۱۶	۳-۲- سازه‌های بازشو بر اساس پانل‌های دوبعدی.....
۱۷	۴-۲- سیستم‌های غشایی کششی.....
۱۸	۵-۲- سیستم‌های پاشامی متکی بر کابل‌ها و خرپاهای فضایی.....
۱۸	۶-۲- سازه‌های بازشوی بادی.....
۱۹	۷-۲- سازه‌های کش‌بستی.....
۲۱	۸-۲- سقف‌های جمع‌شدنی.....
۲۲	۹-۲- سازه‌های بازشوی قیچی‌سان.....
۲۳	۱-۹-۲- پیشینه‌ی تحقیق سازه‌های بازشو قیچی‌سان.....
۲۸	۲-۹-۲- پدیده‌ی فروجهش.....
۳۰	فصل سوم: طراحی سازه‌های بازشو.....
۳۱	۱-۳- مقدمه.....
۳۱	۲-۳- طراحی هندسی سازه‌ی بازشوی قیچی‌سان کمانی بدون احتساب اندازه‌ی پیونده.....
۳۴	۱-۲-۳- قیود هندسی.....
۳۷	۲-۲-۳- طراحی هندسی.....
۳۹	۳-۳- طراحی هندسی سازه‌ی بازشوی قیچی‌سان کمانی با احتساب اندازه‌ی پیونده.....

۴۲	۴-۳- نقص در معادلات طراحی هندسی سازه‌ی بازشوی قیچی‌سان کمانی.....
۴۴	۳-۴-۱- راه‌حل جلوگیری از بوجود آمدن این نقص.....
۴۵	۳-۵- قیود هندسی در اسمبل کردن واحدهای کمانی.....
۵۰	۳-۵-۱- چند وجهی با چند ضلعی‌هایی از یک درجه i_1
۵۰	۳-۵-۲- چند وجهی با چند ضلعی‌هایی از دو درجه i_1 و i_2
۵۱	۳-۵-۳- چند وجهی با چند ضلعی‌هایی از سه درجه i_1 و i_2 و i_3
۵۳	۳-۶- سازه‌هایی با هندسه اختیاری.....
۵۴	۳-۶-۱- واحدهای هرمی.....
۵۵	۳-۷- اعمال اثر اصطکاک.....
۶۱	۳-۸- روش طراحی.....
۶۲	۳-۸-۱- روش طراحی عمومی.....
۶۴	فصل چهارم: تحلیل سازه‌های بازشو.....
۶۵	۴-۱- مقدمه.....
۶۶	۴-۲- تحلیل سازه در تاشه‌ی باز.....
۶۹	۴-۳- تحلیل سازه در حین بازشدن.....
۷۰	۴-۴- روش‌های حل غیرخطی هندسی توسط ABAQUS
۷۰	۴-۴-۱- روش پایدار کردن اتوماتیک.....
۷۱	۴-۴-۲- روش Riks اصلاح شده.....
۷۶	فصل پنجم: روند آماده‌سازی تاشه‌های مورد بررسی.....
۷۷	۵-۱- مقدمه.....
۷۷	۵-۲- تاشه‌پردازی با برنامه فرمین.....
۷۸	۵-۲-۱- جبر فرمکس‌ها.....
۷۹	۵-۲-۲- قالب‌های فایل‌های خروجی در نرم‌افزار فرمین.....
۸۰	۵-۳- آماده‌سازی تاشه‌ها در نرم‌افزار AutoCAD Mechanical
۸۱	۵-۳-۱- نحوه تنظیم اتصالات.....
۸۳	۵-۳-۲- ایجاد فایل خروجی.....
۸۳	۵-۴- مدل‌سازی در ABAQUS
۸۳	۵-۴-۱- آشنایی با نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس.....
۸۴	۵-۴-۲- معرفی محصولات ABAQUS

۸۴	۳-۴-۵- وارد کردن مدل در ABAQUS
۸۵	۴-۴-۵- مدل سازی اتصالات
۸۷	فصل ششم: بررسی پارامتری مدل های انتخابی
۸۸	۱-۶- مقدمه
۸۸	۲-۶- فرضیات مدل سازی
۸۹	۳-۶- بررسی پارامتری مدل صحت سنجی
۸۹	۱-۳-۶- مشخصات هندسی تاشه
۹۰	۲-۳-۶- صحت سنجی نرم افزار
۹۴	۳-۳-۶- اثر اندازه پیونده
۹۶	۴-۳-۶- اثر اصطکاک
۹۷	۴-۶- بررسی اثر تغییر سطح مقطع
۹۸	۱-۴-۶- مشخصات هندسی تاشه های مورد بررسی
۹۸	۲-۴-۶- بررسی اثر تغییرات ارتفاع در مقاطع مستطیلی بر پاسخ واحد سازه ای کمانی
۱۰۳	۳-۴-۶- بررسی اثر تغییرات عرض در مقاطع مستطیلی بر پاسخ واحد سازه ای کمانی
۱۰۷	۴-۴-۶- بررسی اثر تغییرات شعاع در مقاطع دایره ای بر پاسخ واحد سازه ای کمانی
۱۱۳	۵-۶- بررسی اثر تغییر طول سازه
۱۱۳	۱-۵-۶- مشخصات هندسی تاشه مبنا
۱۱۳	۲-۵-۶- واحد سازه ای کمانی پنج وجهی
۱۱۶	۳-۵-۶- واحد سازه ای کمانی شش وجهی
۱۱۹	۶-۶- اثر هندسه ی سازه در تاشه ی باز
۱۱۹	۱-۶-۶- واحد سازه ای کمانی پنج وجهی
۱۲۳	۲-۶-۶- واحد سازه ای کمانی شش وجهی
۱۲۷	۷-۶- اثر تغییر اندازه پیونده
۱۲۸	۱-۷-۶- واحد سازه ای کمانی پنج وجهی
۱۲۹	۲-۷-۶- واحد سازه ای کمانی شش وجهی
۱۳۱	۸-۶- بررسی اثر جنس مصالح اعضا
۱۳۲	۱-۸-۶- واحد سازه ای کمانی پنج وجهی
۱۳۹	۲-۸-۶- واحد سازه ای کمانی شش وجهی
۱۴۶	فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۴۷	.....	۱-۷- مقدمه
۱۴۷	.....	۲-۷- نتایج
۱۴۹	.....	۳-۷- پیشنهادات
۱۵۱	.....	مراجع
۱۵۶	.....	پیوست ۱
۱۶۱	.....	پیوست ۲

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۳. زاویه‌های خاص (رادیان) برای طراحی هندسی سازه‌های گنبدی تاشو برای چند وجهی‌های منظم و غیر منظم: چند وجهی با چند ضلعی‌هایی از یک درجه [۳].....	۵۰
جدول ۲-۳. زاویه‌های خاص (رادیان) برای طراحی هندسی سازه‌های گنبدی تاشو در چند وجهی‌های منظم و غیر منظم: چند وجهی با چند ضلعی‌هایی از دو درجه [۳].....	۵۱
جدول ۳-۳. زاویه‌های خاص (رادیان) برای طراحی هندسی سازه‌های گنبدی تاشو برای چند وجهی‌های منظم و غیر منظم: چند وجهی با چند ضلعی‌هایی از سه درجه [۳].....	۵۲
جدول ۱-۶. سطح مقطع‌های مورد بررسی برای اثر تغییرات ارتفاع مقطع در واحد سازه‌ای پنج وجهی کمائی	۹۹
جدول ۲-۶. سطح مقطع‌های مورد بررسی برای اثر تغییرات ارتفاع مقطع در واحد سازه‌ای شش وجهی کمائی	۱۰۱
جدول ۳-۶. سطح مقطع‌های مورد بررسی برای اثر تغییرات عرض مقطع در واحد سازه‌ای پنج وجهی کمائی	۱۰۳
جدول ۴-۶. سطح مقطع‌های مورد بررسی برای اثر تغییرات عرض مقطع در واحد سازه‌ای شش وجهی کمائی	۱۰۵
جدول ۵-۶. سطح مقطع‌های مورد بررسی برای تغییرات شعاع در واحد سازه‌ای پنج وجهی کمائی.....	۱۰۸
جدول ۶-۶. سطح مقطع‌های مورد بررسی برای تغییرات شعاع در واحد سازه‌ای شش وجهی کمائی.....	۱۱۰
جدول ۷-۶. طول‌های مورد بررسی برای واحد سازه‌ای پنج وجهی.....	۱۱۴
جدول ۸-۶. طول‌های مورد بررسی برای واحد سازه‌ای شش وجهی.....	۱۱۶
جدول ۹-۶. مشخصات هندسی مدل‌های واحد سازه‌ای پنج وجهی کمائی.....	۱۲۰
جدول ۱۰-۶. مشخصات هندسی مدل‌های واحد سازه‌ای شش وجهی کمائی.....	۱۲۴
جدول ۱۱-۶. خصوصیات مقاومتی مصالح مورد بررسی.....	۱۳۲

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۲.....	شکل ۱-۱. نحوه بسته شدن سازه‌های تاشو [۲].....
۲.....	شکل ۲-۱. برخی از انواع سازه‌های تاشو [۳].....
۳.....	شکل ۳-۱. نمایش روند بازشدن سازه‌ی بازشو.....
۵.....	شکل ۴-۱. کاربرد متداول سازه تاشو [۲].....
۱۱.....	شکل ۱-۲. مکانیزم چتری [۱۱].....
۱۲.....	شکل ۲-۲. مکانیزم میله‌های مفصل شده [۱۱].....
۱۲.....	شکل ۳-۲. مکانیزم X یا پانتوگراف [۳].....
۱۳.....	شکل ۴-۲. سازه‌ی تقویت شده با هوا [۱۲].....
۱۳.....	شکل ۵-۲. سازه‌ی المان بادی [۱۲].....
۱۵.....	شکل ۶-۲. طرح زیگلر [۱۴].....
۱۶.....	شکل ۷-۲. واحد سازه‌ی تاشوی صفحه‌ای [۲۰].....
۱۶.....	شکل ۸-۲. سازه‌ی تاشوی چند واحدی [۲۰].....
۱۷.....	شکل ۹-۲. فرم زین اسبی [۲۱].....
۱۸.....	شکل ۱۰-۲. فرم پروانه‌ای [۲۱].....
۱۸.....	شکل ۱۱-۲. نمونه‌ای از سازه‌ی پاشامی [۳].....
۱۹.....	شکل ۱۲-۲. (الف): اصول حاکم بر سازه‌ی تقویت شده با هوا (ب): اصول حاکم بر سازه المان بادی [۳].....
۲۰.....	شکل ۱۳-۲. سازه‌ی کش‌بستی [۲۲].....
۲۰.....	شکل ۱۴-۲. روند تاشدن سازه‌ی کش‌بستی [۳].....
۲۱.....	شکل ۱۵-۲. نمونه‌هایی از سقف جمع‌شدنی.....
۲۲.....	شکل ۱۶-۲. انواع حرکت افقی سقف جمع‌شدنی [۲۴].....
۲۴.....	شکل ۱۷-۲. تاثیر سیار طراحی شده توسط پینرو [۲۶،۳].....
۲۶.....	شکل ۱۸-۲. اشکال هندسی طراحی شده توسط اسکریچ [۱۵].....

- شکل ۲-۱۹. پدیده‌ی کلیگینگ [۱۹]..... ۲۷
- شکل ۲-۲۰. سازه‌های بازشوی مسطح و قوسی کریشناپیلای [۱۸]..... ۲۷
- شکل ۲-۲۱. مسیر تعادل یک قوس کم عمق [۳]..... ۲۹
- شکل ۳-۱. نمایش ویژگی اساسی قابلیت بازشدن..... ۳۱
- شکل ۳-۲. یک پوسته استوانه‌ای نیم دایره‌ای..... ۳۲
- شکل ۳-۳. تقسیم کردن پوسته استوانه‌ای نیم دایره‌ای به قطعات مساوی..... ۳۲
- شکل ۳-۴. جزئیات یک قطعه..... ۳۲
- شکل ۳-۵. تقریب زدن یک قطعه توسط یک سری از مستطیل‌ها..... ۳۲
- شکل ۳-۶. یک از واحدهای تشکیل دهنده پوسته [۳]..... ۳۲
- شکل ۳-۷. یک واحد مدل‌سازی شده توسط میله‌های مستقیم [۳]..... ۳۳
- شکل ۳-۸. سازه نهایی برای یک واحد کمانی [۳]..... ۳۴
- شکل ۳-۹. سازه شبه گنبد ساخته شده از دو قوس عمود بر هم [۳]..... ۳۴
- شکل ۳-۱۰. یک تاشه داخلی و یک تاشه بیرونی مجاور هم از یک واحد کمانی [۳]..... ۳۵
- شکل ۳-۱۱. در نظر گرفتن اندازه‌ی پیونده در مدل‌سازی [۲۹]..... ۳۹
- شکل ۳-۱۲. هندسه یک واحد کمانی با در نظر گرفتن طول پیوند [۳]..... ۴۰
- شکل ۳-۱۳. واحد پنج وجهی کمانی بی‌عیب..... ۴۳
- شکل ۳-۱۴. واحد پنج وجهی کمانی معیوب..... ۴۳
- شکل ۳-۱۵. واحد پنج وجهی کمانی طراحی شده توسط معادلات گانتس در حالت معیوب..... ۴۴
- شکل ۳-۱۶. اشکال افلاطونی..... ۴۶
- شکل ۳-۱۷. چند وجهی ارشمیدوسی..... ۴۷
- شکل ۳-۱۸. زاویه‌های ξ و ξ' ۴۹
- شکل ۳-۱۹. یک واحد بازشو مسطح با هندسه اختیاری [۱۶]..... ۵۴
- شکل ۳-۲۰. یک واحد بازشو کمانی با هندسه اختیاری [۱۶]..... ۵۴
- شکل ۳-۲۱. نمای سه بعدی از یک واحد هرمی [۱۶]..... ۵۴
- شکل ۳-۲۲. المان‌های قیچی سان یک واحد هرمی به صورت باز شده [۱۶]..... ۵۵

- شکل ۳-۲۳. مدل اصطکاکی پیشنهادی برای المان‌های قیچی‌سان [۳۱] ۵۶
- شکل ۳-۲۴. المان قیچی‌سان تغییرشکل یافته [۳۱] ۵۶
- شکل ۳-۲۵. تغییرشکل فرضی برای میله [۳۱] ۵۷
- شکل ۳-۲۶. جزئیات بیشتری از میله‌ی تغییر شکل یافته [۳۱] ۵۸
- شکل ۳-۲۷. جزئیات پیونده برای اتصال مفصلی [۳۱] ۵۸
- شکل ۳-۲۸. تغییرشکل، نمودارهای لنگر، نیروی برشی و نیروهای عرضی در طول میله‌ی تغییرشکل یافته [۳۱] ۵۹
- شکل ۳-۲۹. تعریف مشخصات ابعادی میله [۳۱] ۶۰
- شکل ۳-۳۰. الگوریتم روش طراحی پیشنهادی [۳۵] ۶۳
- شکل ۵-۱. محیط نرم‌افزار فرمین ۷۹
- شکل ۵-۲. روند ایجاد فایل خروجی در فرمین ۸۰
- شکل ۵-۳. نحوه ایجاد Hinge ۸۲
- شکل ۵-۴. نحوه ایجاد Beam ۸۲
- شکل ۵-۵. نحوه ایجاد Join ۸۲
- شکل ۵-۶. روند ایجاد فایل خروجی در اتوکد مکانیکال ۸۳
- شکل ۵-۷. روند وارد کردن فایل IGES در ABAQUS ۸۵
- شکل ۵-۸. جزئیات اتصال لولا ۸۶
- شکل ۵-۹. جزئیات اتصال مفصلی ۸۶
- شکل ۶-۱. پیونده‌ی مورد استفاده [۱۶] ۸۹
- شکل ۶-۲. واحد سازه‌ای پنج‌ضلعی مورد بررسی ۹۰
- شکل ۶-۳. مقایسه‌ی بین پاسخ غیر خطی واحد پنج‌ضلعی، بدست آمده از ABAQUS و ADINA ۹۰
- شکل ۶-۴. روند موفقیت‌آمیز جمع شدن واحد مورد بررسی ۹۱
- شکل ۶-۵. شماره‌گذاری اعضای المان‌های قیچی‌سان داخلی ۹۱
- شکل ۶-۶. تغییرات لنگر خمشی اعضای SLE داخلی ۹۲
- شکل ۶-۷. تغییرات نیروی محوری اعضای SLE داخلی ۹۲

- شکل ۶-۸. شماره‌گذاری اعضای SLE خارجی ۹۲
- شکل ۶-۹. تغییرات لنگر خمشی اعضای SLE خارجی ۹۳
- شکل ۶-۱۰. تغییرات نیروی داخلی اعضای SLE خارجی ۹۳
- شکل ۶-۱۱. مقایسه‌ی پاسخ واحد سازه‌ای بین روش RIKS و پایدار کردن خودکار ۹۴
- شکل ۶-۱۲. هندسه‌ی سازه با احتساب اندازه‌ی پیونده ۹۵
- شکل ۶-۱۳. مقایسه‌ی منحنی پاسخ مدل ایده‌آل و مدل با احتساب اندازه پیونده ۹۶
- شکل ۶-۱۴. مقایسه‌ی منحنی پاسخ مدل تجربی و مدل با احتساب اندازه پیونده ۹۶
- شکل ۶-۱۵. مقایسه‌ی منحنی پاسخ مدل تجربی و مدل با اثر توأم اندازه پیونده و اصطکاک ۹۷
- شکل ۶-۱۶. واحد سازه‌ای شش ضلعی مورد بررسی ۹۸
- شکل ۶-۱۷. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای پنج وجهی ۹۹
- شکل ۶-۱۸. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای hهای مختلف ۹۹
- شکل ۶-۱۹. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای hهای مختلف واحد پنج وجهی ۱۰۰
- شکل ۶-۲۰. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای hهای مختلف واحد پنج وجهی ۱۰۰
- شکل ۶-۲۱. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای شش وجهی ۱۰۱
- شکل ۶-۲۲. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای hهای مختلف ۱۰۱
- شکل ۶-۲۳. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای hهای مختلف واحد شش وجهی ۱۰۲
- شکل ۶-۲۴. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای hهای مختلف واحد شش وجهی ۱۰۳
- شکل ۶-۲۵. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای پنج وجهی ۱۰۴
- شکل ۶-۲۶. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای bهای مختلف ۱۰۴
- شکل ۶-۲۷. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای bهای مختلف واحد پنج وجهی ۱۰۴

- شکل ۶-۲۸. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
- b)های مختلف واحد پنج وجهی..... ۱۰۵
- شکل ۶-۲۹. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای شش وجهی..... ۱۰۶
- شکل ۶-۳۰. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای b)های مختلف..... ۱۰۶
- شکل ۶-۳۱. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای b)های مختلف واحد شش وجهی..... ۱۰۶
- شکل ۶-۳۲. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
- b)های مختلف واحد شش وجهی..... ۱۰۷
- شکل ۶-۳۳. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای پنج وجهی..... ۱۰۸
- شکل ۶-۳۴. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای I)های مختلف..... ۱۰۸
- شکل ۶-۳۵. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای I)های مختلف واحد پنج وجهی..... ۱۰۹
- شکل ۶-۳۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
- I)های مختلف واحد پنج وجهی..... ۱۱۰
- شکل ۶-۳۷. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای شش وجهی..... ۱۱۱
- شکل ۶-۳۸. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای I)های مختلف..... ۱۱۱
- شکل ۶-۳۹. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای I)های مختلف واحد شش وجهی..... ۱۱۲
- شکل ۶-۴۰. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
- I)های مختلف واحد شش وجهی..... ۱۱۲
- شکل ۶-۴۱. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای پنج وجهی..... ۱۱۴
- شکل ۶-۴۲. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای O)های مختلف..... ۱۱۴
- شکل ۶-۴۳. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای
- O)های مختلف واحد پنج وجهی..... ۱۱۵

- شکل ۴۴-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
 ۱۱۵..... α های مختلف واحد پنج وجهی.....
- شکل ۴۵-۶. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای شش وجهی.....
 ۱۱۷.....
- شکل ۴۶-۶. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای α های مختلف.....
 ۱۱۷.....
- شکل ۴۷-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای
 ۱۱۷..... α های مختلف واحد شش وجهی.....
- شکل ۴۸-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
 ۱۱۸..... α های مختلف واحد شش وجهی.....
- شکل ۴۹-۶. هندسه مدل‌های مورد بررسی واحد سازه‌ای پنج وجهی کمانی.....
 ۱۱۹.....
- شکل ۵۰-۶. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای پنج وجهی.....
 ۱۲۱.....
- شکل ۵۱-۶. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای هندسه‌های مختلف.....
 ۱۲۱.....
- شکل ۵۲-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای
 ۱۲۲..... هندسه‌های مختلف واحد پنج وجهی.....
- شکل ۵۳-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
 ۱۲۲..... هندسه‌های مختلف واحد پنج وجهی.....
- شکل ۵۴-۶. هندسه مدل‌های مورد بررسی واحد سازه‌ای شش وجهی کمانی.....
 ۱۲۳.....
- شکل ۵۵-۶. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای شش وجهی.....
 ۱۲۵.....
- شکل ۵۶-۶. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای هندسه‌های مختلف.....
 ۱۲۵.....
- شکل ۵۷-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۱ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای
 ۱۲۵..... هندسه‌های مختلف واحد شش وجهی.....
- شکل ۵۸-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای
 ۱۲۶..... هندسه‌های مختلف واحد شش وجهی.....
- شکل ۵۹-۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای
 ۱۲۶..... هندسه‌های مختلف واحد شش وجهی.....
- شکل ۶۰-۶. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای پنج وجهی.....
 ۱۲۸.....

- شکل ۶-۶۱. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای اندازه پیوندهای مختلف..... ۱۲۸
- شکل ۶-۶۲. نمودارهای نیروی محوری اعضای شماره ۲ داخلی و ۴ خارجی المان‌های قیچی‌سان برای اندازه پیوندهای مختلف واحد پنج وجهی..... ۱۲۸
- شکل ۶-۶۳. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای شش وجهی..... ۱۳۰
- شکل ۶-۶۴. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای اندازه پیوندهای مختلف..... ۱۳۰
- شکل ۶-۶۵. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای اندازه پیوندهای مختلف واحد شش وجهی..... ۱۳۰
- شکل ۶-۶۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای اندازه پیوندهای مختلف واحد شش وجهی..... ۱۳۱
- شکل ۶-۶۷. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی..... ۱۳۲
- شکل ۶-۶۸. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی واحد پنج وجهی..... ۱۳۳
- شکل ۶-۶۹. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی واحد پنج وجهی..... ۱۳۳
- شکل ۶-۷۰. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۱ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی واحد پنج وجهی..... ۱۳۴
- شکل ۶-۷۱. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی..... ۱۳۵
- شکل ۶-۷۲. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی واحد پنج وجهی..... ۱۳۵
- شکل ۶-۷۳. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی‌سان خارجی برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی واحد پنج وجهی..... ۱۳۶
- شکل ۶-۷۴. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی..... ۱۳۷
- شکل ۶-۷۵. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای جنس‌های مختلف در SLE‌های خارجی واحد پنج وجهی..... ۱۳۷

- شکل ۶-۷۶. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی سان خارجی جنس‌های مختلف در SLE های خارجی واحد پنج وجهی..... ۱۳۸
- شکل ۶-۷۷. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی..... ۱۳۹
- شکل ۶-۷۸. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی سان داخلی برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی واحد شش وجهی..... ۱۴۰
- شکل ۶-۷۹. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی سان خارجی برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی واحد شش وجهی..... ۱۴۰
- شکل ۶-۸۰. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی..... ۱۴۱
- شکل ۶-۸۱. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی سان داخلی برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی واحد شش وجهی..... ۱۴۲
- شکل ۶-۸۲. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی سان خارجی برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی واحد شش وجهی..... ۱۴۲
- شکل ۶-۸۳. نمودار مربوط به پاسخ واحد سازه‌ای برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی..... ۱۴۳
- شکل ۶-۸۴. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی سان داخلی برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی واحد شش وجهی..... ۱۴۴
- شکل ۶-۸۵. نمودارهای نیروی محوری و لنگر خمشی اعضای شماره ۴ المان‌های قیچی سان خارجی برای جنس‌های مختلف در SLE های خارجی واحد شش وجهی..... ۱۴۴

فهرست علائم

نشانه	علامت
اندازه شعاع پیونده	R
ارتفاع سطح مقطع اعضای سازه در مقاطع مستطیلی	h
عرض سطح مقطع اعضای سازه در مقاطع مستطیلی	b
شعاع سطح مقطع اعضای سازه در مقاطع دایره‌ای	r
نسبت سائز واحدهای سازه‌ای به سائز واحد سازه‌ای مبنا	α
پلیمر	Poly
آلومینیوم	Al
آهن	St
مس	Cu

فصل اول

مقدمه‌ای بر تحقیق حاضر