بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

دانشگاه سیستان و بلوچستان

**پایان نامه کارشناسی ارشد سازه**

**عنوان:**

# بررسی پارامتری سازه‌های بازشوی قیچی‌سان به منظور ارائه طرح بهینه

استاد راهنما:

**دکتر محمدرضا قاسمی**


تحقیق و نگارش:

**حمید عباسی**

**۸۷۰۳۹۷۴**



**(این پایان نامه از حمایت مالی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)**


**اردیبهشت ۱۳۹۰**

# بسمه تعالی

این پایـان نامـه بـا عنـوان ..... قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشـد ..... توسـط دانشـجو ..... تحـت راهنمایی استاد پایان نامه ..... تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشـی 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 بررسـی و درجـه ..... به آن تعلق گرفت.

**نام و نام خانوادگی** **امضاء** **تاریخ**

استاد راهنما:

استاد راهنما:

استاد مشاور:

داور ۱:

داور ۲:

نماینده تحصیلات تکمیلی:

دانشگاه سیستان و بلوچستان

## تعهدنامه اصالت اثر

**اینجانب حمید عباسی تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه 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 پایان نامه 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 می باشد.**

**حمید عباسی**

تقدیم به:

پیشگاه مقدس حضرت بقیة الله العظم ارواحنا له الفداء،

پدر و مادرم

بخاطر زخم هایی که روزگار از برای من بر رخ آنها نقش زده،

برادرانم رضا، مجید

که همچون مشعلی فروزان روشن کننده راهم هستند،

خواهرانم

که نگاه های منتظرشان آرامبخش خاطرم بوده است و

خاله عزیزم

که همچون مادری یار و غمخوارم است.

# سپاسگزاری

سپاس و حمد بی حد، رحیمی را که آغاز و انجام امور به نام و یاد اوست و شکر او که سایه لطف و عنایت بی دریغ خود در تمامی مراحل سلوک زندگی، به ویژه در تدوین این پایان نامه بر سرم گستراند و آسایش سایه سار سروستان الطاف خویش را بذل وجودم گرداند.

پیش از هر چیز، بر خود لازم می دانم که از حمایت های مالی و معنوی بی دریغ پدر و مادرم که در طول تمام زندگیم اعم از زمان طفولیت، نوجوانی و جوانی مانند دوستی صمیمی مشوق و حامی، همیشگی ایشان بوده اند از صمیم قلب تشکر و قدردانی نمود، خصوصاً از مادرم که چون فرشته ای مهربان و دلسوز از هیچگونه کوششی برای رشد و تکامل جسمی و روحی ایشان دریغ ننموده تشکر ویژه داشته و همچنین از برادران و خواهر مهربانم که همواره مراد چتر حمایت خویش قرار داده اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

این پایان نامه جدا از تلاش علمی-پژوهشی نگارنده، برآیند تلاش عزیزان دیگری نیز بوده که از هر گونه کمک و پشتیبانی دریغ ننموده اند؛ از اینرو از همه اساتید گرامی به ویژه جناب آقای دکتر محمدرضا قاسمی به عنوان استاد راهنما، با صرف زمان ارزشمند و راهنمایی های بی دریغشان همواره مشوق بنده بوده و با دقت و حساسیت فوق العاده در تصحیح و رفع نواقص این رساله مستقبل زحمات فراوان شده اند، بی اندازه سپاسگزارم. از راهنمایی ها و زحمات دلسوزانه دوستان گرامی، آقایان مهندس حسین ذبیحی، مهندس حمید قربانی، مهندس احمد عسکری، مهندس مجید هادی زاده، مهندس احسان جعفری، مهندس ایمان کاملی، مهندس مرتضی هنرور، دکتر محمد حسین طالب پور، مهندس یوسف رحمانی، مهندس جواد مالکی فرد، مهندس علی آهنی، مهندس سید میثم حسینی، مهندس سعید ناهیدی، مهندس سالار اسحاقی ، مهندس بابک عباسپور، مهندس آرمین دالوندی بخاطر مهربانی هایشان تشکر و قدردانی دارم. در پایان از تمامی عزیزانی که بی شک اگر یاری دستان گرمشان نبود، سنگ بر سنگ بنای این تحقیق چیده نمی شد کمال تشکر را دارم.

برای تمام این عزیزان آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون در تمام مراحل زندگی شان داشته و از درگاه خداوند متعال بهترین ها را برایشان خواستارم.

# چکیده

عموماً سازه‌های بازشو به آن دسته‌ای از سازه‌های فضاکاری اطلاق می‌شود که قادرند از یک تاشه‌ی بسته و فشرده به تاشه‌ی باز و از پیش تعیین شده تبدیل شوند. این سازه‌ها قادر به تحمل بار در تاشه‌ی باز خود می‌باشند. 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 می‌دهد. سازه‌ی بازشوی قیچی‌سان، سازه‌ای خودایستا می‌باشد؛ به این معنی که در دو تاشه‌ی باز و بسته پایدار می‌باشد. برآورده ساختن شرایط قابلیت بازشدن باعث پرداخت هزینه‌ی مضاعف طراحی نسبت به سازه‌های معمولی غیر بازشو می‌شود. این هزینه‌ی اضافی می‌تواند ناشی از طراحی پیچیده‌ی اتصالات سینماتیکی که تضمین کننده‌ی قابلیت بازشدن سازه است، باشد. در نتیجه بررسی پارامتری رفتار سازه در حین باز شدن برای رسیدن به قابلیت بازشدن سازه و کمینه کردن نیروهای داخلی سازه در حین بازشدن 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 گانتس، پارامترهای چون ناکاملی هندسی طول اعضا، صلبیت اتصالات و هندسه‌ی سازه در تاشه‌ی باز نیز بررسی شده است. در ابتدا به بررسی پارامتری مدل صحت‌سنجی که یک واحد سازه‌ای کمانی می‌باشد، پرداخته شده است و سپس تأثیر پارامترهای مختلف هندسی از قبیل شکل هندسی سازه در تاشه‌ی باز سازه، سطح مقطع اعضای سازه و پارامترهای سازه‌ای از قبیل ناکاملی هندسی اعضا، صلبیت خمشی اعضا، تأثیر اندازه‌ی پیونده و اثر اصطکاک و غیره بر روی پاسخ واحد سازه‌ای مربعی مسطح بررسی شده است. همچنین به بررسی اثر پارامتر هندسه‌ی سازه در تاشه‌ی باز، برای واحدهای مثلثی و شش ضلعی پرداخته شده است و در نهایت اثر تغییر شرایط مرزی بر رفتار سازه‌ی چندین واحدی مربعی بررسی شده است.

ملاحضه 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 تاشه‌باز تحت بارگذاری بهره‌برداری می‌شود. بررسی پارامتری انجام شده در این تحقیق نشان داد 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، سازه‌ی خودایستا، تحلیل غیرخطی هندسی، بررسی پارامتری، قابلیت بازشدن

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: مقدمه‌ای بر تحقیق حاضر حاضر ..... ۱**

۱-۱- مفهوم سازه‌های بازشو ..... ۲

۱-۲- ویژگی‌ها ..... ۴

۱-۳- کاربردها ..... ۴

۱-۴- انگیزه‌ی تحقیق ..... ۶

۱-۵- هدف تحقیق و شرحی بر فصول پایان‌نامه ..... ۷

**فصل دوم: مروری بر انواع سازه‌های بازشو؛ سازه بازشوی قیچی‌سان ..... ۹**

۲-۱- مراکز تحقیق برای سازه‌های بازشو ..... ۱۰

۲-۲- انواع سازه‌های بازشو ..... ۱۱

۲-۲-۱- مقدمه ..... ۱۱

۲-۲-۲- سازه‌های بازشو بر اساس روش پانتوگراف ..... ۱۵

۲-۲-۳- سازه‌های بازشو بر اساس پانل‌های دوبعدی ..... ۱۶

۲-۲-۴- سیستم‌های غشایی کششی ..... ۱۸

۲-۲-۵- سیستم‌های پاشامی متکی بر کابل‌ها و خرپاهای فضایی ..... ۱۹

۲-۲-۶- سازه‌های بازشوی بادی ..... ۱۹

۲-۲-۷- سازه‌های کش‌بستی ..... ۲۰

۲-۲-۸- سقف‌های جمع شدنی ..... ۲۲

۲-۳- سازه‌های بازشوی قیچی‌سان ..... ۲۳

۲-۳-۱- مقدمه ..... ۲۳

۲-۳-۲- پیشینه‌ی تحقیق سازه‌های بازشو قیچی‌سان ..... ۲۴

۲-۳-۳- پدیده‌ی فروجهش ..... ۲۹

۲-۳-۴- طراحی هندسی ..... ۳۰

۲-۳-۵- تحلیل سازه ..... ۳۷

۲-۳-۶- روش طراحی ..... ۵۲

**فصل ۳:تحلیل غیرخطی سازه ..... ۵۹**

۳-۱- مقدمه ۶۰
۳-۲- منشأ رفتار غیرخطی هندسی و ضرورت تحلیل کامل سازه ۶۰
۳-۳- مبانی تئوریک تحلیل غیرخطی هندسی ۶۴
۳-۴- روند افزایشی- تکراری ۶۶
۳-۵- روش‌های تحلیل غیرخطی ۶۷
۳-۵-۱- مقدمه ۶۷
۳-۵-۲- روش‌های طول-کمان ۶۹
۳-۵-۳- روش Riks ۷۲
۳-۵-۴- روش Ramm ۷۶
۳-۵-۵- روش Crisfield ۷۷
۳-۶- روش‌های حل غیرخطی هندسی توسط آباکوس ۷۸
۳-۶-۱- مقدمه ۷۸
۳-۶-۲- آشنایی با نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس ۷۸
۳-۶-۳- معرفی محصولات آباکوس ۷۹
۳-۶-۴- روش پایدارکردن اتوماتیک ۷۹
۳-۶-۵- روش پایدار کردن اتوماتیک سازگار ۸۲
۳-۶-۶- روش Riks اصلاح شده ۸۳
**فصل ۴: روند آماده‌سازی تاشه‌های مورد بررسی‌های مورد بررسی ۹۲**
۴-۱- مقدمه ۹۳
۴-۲- تاشه‌پردازی با برنامه فرمین ۹۳
۴-۲-۱- مقدمه ۹۳
۴-۲-۲- جبر فرمکسها ۹۴
۴-۲-۳- قالب‌های فایل‌های خروجی در نرم‌افزار فرمین ۹۵
۴-۲-۴- انتقال اطلاعات فرمکسی از فرمین به آباکوس ۹۶
۴-۳- آماده‌سازی تاشه‌ها در نرم‌افزار **AM** ۹۷
۴-۴- مدل‌سازی اتصالات ۹۷
**فصل ۵: بررسی پارامتری مدل‌های انتخابی ۹۹**
۵-۱- مقدمه ۱۰۰
۵-۲- فرضیات مدل‌سازی ۱۰۱

۵-۳- بررسی پارامتری مدل صحت‌سنجی ۱۰۲
۵-۳-۱- مقدمه ۱۰۲
۵-۳-۲- مشخصات هندسی تاشه ۱۰۳
۵-۳-۳- صحت‌سنجی نرم‌افزار ۱۰۳
۵-۳-۴- اثر اندازه پیونده ۱۰۸
۵-۳-۵- اثر اصطکاک ۱۱۱
۵-۳-۶- اثر ناکاملی هندسی بر پاسخ واحد کمانی ۱۱۲
۵-۴- بررسی پارامتری واحد سازه‌ای مربعی ۱۲۶
۵-۴-۱- مقدمه ۱۲۶
۵-۴-۲- مشخصات هندسی تاشه ۱۲۷
۵-۴-۳- بررسی اثر پارامترهای هندسی بر پاسخ واحد سازه‌ای ۱۲۷
۵-۴-۴- اثر هندسه‌ی سازه در تاشه‌ی باز بر پاسخ واحد ۱۳۰
۵-۴-۵- بررسی اثر پارامترهای سازه‌ای بر پاسخ واحد ۱۳۵
۵-۴-۶- اثر ناکاملی هندسی ۱۴۴
۵-۵- بررسی اثر هندسه‌ی سازه در تاشه‌ی باز بر روی پاسخ واحدهای سازه‌ای مثلثی و شش ضلعی ۱۵۷
۵-۵-۱- واحد سازه‌ای مثلثی ۱۵۷
۵-۵-۲- واحد سازه‌ای شش وجهی ۱۶۰
۵-۶- بررسی اثر تعداد واحد سازه‌ای بر روی پاسخ سازه‌ی قیچی‌سان مسطح چندواحدی مربعی ۱۶۳
۵-۶-۱- مقدمه ۱۶۳
۵-۶-۲- نتایج تحلیل ۱۶۴
۵-۷- اثر شرایط مرزی بر روی پاسخ سازه‌ی بازشوی چندواحدی با واحد سازه‌ی مربعی ۱۶۸
۵-۷-۱- طراحی هندسی سازه ۱۶۸
۵-۷-۲- نتایج تحلیل ۱۶۹
**فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۷۲**
۶-۱- مقدمه ۱۷۳
۶-۲- نتایج ۱۷۳
۶-۳- پیشنهادات ۱۷۶
**۷ مراجع ۱۷۷**

# فهرست جدول‌ها

**عنوان جدول** **صفحه**


جدول ۲-۱ مقادیر p و q برای انواع واحدها..... ۳۷

جدول ۵-۱ مشخصات مصالح به کاررفته..... ۱۰۱

جدول ۵-۲ سطح مقاطع مورد بررسی ..... ۱۲۷

جدول ۵-۳ مشخصات هندسی تاشه‌های مورد بررسی واحد مربعی برحسب تغییرات $h_1$ ..... ۱۳۱

جدول ۵-۴. مشخصات هندسی تاشه‌های مورد بررسی واحد مربعی برحسب تغییرات $h_2$..... ۱۳۱

جدول ۵-۵. مشخصات هندسی انواع تاشه‌های مورد بررسی واحد مثلثی برحسب تغییرات $h_2$..... ۱۵۸

جدول ۵-۶. مشخصات هندسی انواع تاشه‌های مورد بررسی واحد شش ضلعی برحسب تغییرات $h_2$..... ۱۶۱

جدول ۵-۷. بار موردنیاز برای جمع شدن هم بصورت دقیق و تقریبی..... ۱۶۶

# فهرست شکل‌ها

**عنوان شکل** **صفحه**


شکل ۱-۱. برخی از انواع سازه‌های بازشو[۲] ۲

شکل ۱-۲. نمایش روند بازشدن سازه‌ی بازشو ۳

شکل ۱-۳. الف: چادر نمدی ایرانی ب: خیمه قرقیزها ج: چادر سرخ‌پوست‌ها[۲] ۶

شکل ۱-۴. نمونه‌ای از سازه‌ی مورد بررسی در رساله ۸

شکل ۲-۱. نمونه‌ای از اوریگامی ۱۰

شکل ۲-۲. مکانیزم چتری[۲۳] ۱۲

شکل ۲-۳. مکانیزم میله‌های مفصل شده[۲۳] ۱۳

شکل ۲-۴. مکانیزم X یا پانتوگراف[۲] ۱۳

شکل ۲-۵. سازه‌ی تقویت شده با هوا[۲۴] ۱۳

شکل ۲-۶. سازه‌ی المان بادی[۲۴] ۱۴

شکل ۲-۷. طرح زیگلر[۲۶] ۱۶

شکل ۲-۸. واحد سازه‌ی تاشوی صفحه‌ای[۳۰] ۱۷

شکل ۲-۹. سازه‌ی تاشوی چند واحدی[۳۰] ۱۷

شکل ۲-۱۰. فرم زین اسبی[۳۱] ۱۸

شکل ۲-۱۱. فرم پروانه‌ای[۳۱] ۱۹

شکل ۲-۱۲. نمونه‌ای از سازه‌ی پاشامی[۲] ۱۹

شکل ۲-۱۳. (الف): اصول حاکم بر سازه‌ی تقویت شده با هوا (ب): اصول حاکم بر سازه المان بادی[۲] ۲۰

شکل ۲-۱۴. سازه‌ی کش‌بستی[۳۲] ۲۱

شکل ۲-۱۵. روند تاشدن سازه‌ی کش‌بستی[۲] ۲۱

شکل ۲-۱۶. سقف جمع‌شدنی ۲۲

شکل ۲-۱۷. انواع حرکت افقی سقف جمع‌شدنی[۳۴] ۲۳

شکل ۲-۱۸.تئاتر سیار طراحی شده توسط پینرو[۲] ۲۵

شکل ۲-۱۹. اشکال هندسی طراحی شده توسط اسکریج [۲۷] ..... ۲۷
شکل ۲-۲۰. پدیده‌ی کلیگینگ[۱۸] ..... ۲۸
شکل ۲-۲۱. سازه‌های بازشوی مسطح و قوسی کریشناپیلای [۱۹] ..... ۲۸
شکل ۲-۲۲. مسیر تعادل یک قوس کم عمق[۲] ..... ۳۰
شکل ۲-۲۳. نمایش ویژگی اساسی قابلیت بازشدن ..... ۳۱
شکل ۲-۲۴. مشخصات هندسی واحد شش ضلعی مسطح[۲۹] ..... ۳۲
شکل ۲-۲۵. در نظر گرفتن اندازه‌ی پیونده در مدل‌سازی[۲۹] ..... ۳۴
شکل ۲-۲۶. مشخصات هندسی المان‌های قیچی‌سان داخلی و خارجی با در نظر گرفتن اندازه‌ی پیونده[۲۹] ۳۵
شکل ۲-۲۷. نحوه‌ی پرکردن صفحه توسط واحدهای مسطح[۲۹] ..... ۳۷
شکل ۲-۲۸. تاشه‌ی تغییرشکل یافته‌ی سازه‌ی بازشوی قیچی‌سان مسطح[۲] ..... ۳۹
شکل ۲-۲۹. سازه‌ی بازشوی قوسی با واحدهای مربعی[۲] ..... ۴۰
شکل ۲-۳۰. . الف: مد اصلی کمانشی سازه‌ی ۱۶ واحدی ب: مد اصلی کمانشی سازه‌ی ۲۰ واحدی[۲] ..... ۴۰
شکل ۲-۳۱. مدهای شکست برای سازه‌ی قیچی‌سان مسطح با واحدهای مربعی در تاشه‌ی باز[۲] ..... ۴۱
شکل ۲-۳۲. واحد مربعی مسطح مورد بررسی[۲] ..... ۴۳
شکل ۲-۳۳. استفاده از تقارن برای ساده‌سازی برای مدل مورد بررسی[۲] ..... ۴۴
شکل ۲-۳۴. مقایسه‌ای بین منحنی بار-جابجایی بین سازه‌ی کامل و یک چهارم سازه[۲] ..... ۴۴
شکل ۲-۳۵. تأثیر اندازه‌ی پیونده بر منحنی بار-جابجایی[۲] ..... ۴۶
شکل ۲-۳۶. مدل اصطکاکی پیشنهادی برای المان‌های قیچی‌سان[۴۰] ..... ۴۶
شکل ۲-۳۷. المان قیچی‌سان تغییرشکل یافته[۴۰] ..... ۴۷
شکل ۲-۳۸. تغییرشکل فرضی برای میله[۴۰] ..... ۴۸
شکل ۲-۳۹. جزئیات بیشتری از میله‌ی تغییرشکل یافته[۴۰] ..... ۴۸
شکل ۲-۴۰. جزئیات پیونده برای اتصال مفصلی[۴۰] ..... ۴۹
شکل ۲-۴۱. تغییرشکل، نمودارهای لنگر، نیروی برشی و نیروهای عرضی در طول میله‌ی تغییرشکل یافته[۴۰] ..... ۵۰
شکل ۲-۴۲. تعریف مشخصات ابعادی میله[۴۰] ..... ۵۱

شکل ۲-۴۳. الگوریتم روش طراحی پیشنهادی[۴۳] ..... ۵۴
شکل ۲-۴۴. الگوریتم روش طراحی پیشنهادی برای سازه‌های مسطح [۴۳] ..... ۵۶
شکل ۲-۴۵. ادامه‌ی الگوریتم روش طراحی پیشنهادی برای سازه‌های مسطح [۴۳] ..... ۵۷
شکل ۲-۴۶. ادامه‌ی الگوریتم روش طراحی پیشنهادی برای سازه‌های مسطح[۴۳] ..... ۵۸
شکل ۳-۱. رفتار غیرخطی پانل کم عمق تحت فشار[۴۶] ..... ۶۱
شکل ۳-۲. پاسخ فروجهشی یک مدل سازه‌ای[۳۶] ..... ۶۲
شکل ۳-۳. خرابی در نقطه‌ی حدی؛ الف: خرابی ترد، ب: خرابی شکل‌پذیر[۳۶] ..... ۶۳
شکل ۳-۴. الف: نمایش حل تکراریFNR ب: نمایش حل تکراری MNR[۳۶] ..... ۶۷
شکل ۳-۵. نمایش شماتیک الگوریتم اساسی طول کمان (Crisfield)[۳۶] ..... ۷۱
شکل ۳-۶. (الف): کاربرد روش Riks به همراه FNR (ب): کاربرد روش Riks به همراه MNR[۳۶] ..... ۷۲
شکل ۳-۷. روش Riks[۳۶] ..... ۷۳
شکل ۳-۸. روش Riks و مرحله‌ی اول تحلیل[۳۶] ..... ۷۴
شکل ۳-۹. روش Riks و مرحله‌ی دوم تحلیل[۳۶] ..... ۷۵
شکل ۳-۱۰. (الف): روش Ramm به همراه FNR (ب): روش Ramm به همراه MNR[۳۶] ..... ۷۷
شکل ۳-۱۱. (الف): روش Crisfield به همراه FNR (ب): روش Crisfield به همراه MNR[۳۶] ..... ۷۷
شکل ۳-۱۲. مسیر بار-جابجایی به همراه ناپایداری شدید[۴۶] ..... ۸۳
شکل ۳-۱۳. الگوریتم روش Riks[۴۶] ..... ۸۵
شکل ۳-۱۴. حالتی که معیار منجر به اشتباه می‌شود[۴۶] ..... ۸۷
شکل ۳-۱۵. مشخصات هندسی و مصالح مدل[۴۶] ..... ۸۹
شکل ۳-۱۶. نمودار بار-جابجایی نقطه میانی در محل بار وارده و نقطه میانی در لبه‌های آزاد سازه[۴۶] ..... ۹۰
شکل ۳-۱۷. مقایسه‌ی بین پاسخ سازه با استفاده از روش‌های مختلف برای نقطه میانی[۴۶] ..... ۹۰
شکل ۳-۱۸. مقایسه‌ی نمودارهای بار-جابجایی دو روش بکار رفته توسط نرم‌افزار آباکوس[۴۶] ..... ۹۱
شکل ۴-۱. محیط نرم‌افزار فرمین ..... ۹۵
شکل ۴-۲. روند ایجاد فایل خروجی در فرمین ..... ۹۶
شکل ۴-۳. جزئیات اتصال لولا ..... ۹۸

شکل ۴-۴. جزئیات اتصال مفصلی ۹۸
شکل ۵-۱. پیونده‌ی مورد استفاده[۲۹] ۱۰۲
شکل ۵-۲. واحد سازه‌ای پنج‌ضلعی مورد بررسی ۱۰۳
شکل ۵-۳. مقایسه‌ی بین پاسخ غیر خطی واحد پنج‌ضلعی، بدست آمده از آباکوس و ADINA ۱۰۴
شکل ۵-۴. روند موفقیت‌آمیز جمع شدن واحد مورد بررسی ۱۰۴
شکل ۵-۵. شماره‌گذاری اعضای المان‌های قیچی‌سان داخلی ۱۰۵
شکل ۵-۶. تغییرات لنگر خمشی اعضای SLE داخلی ۱۰۵
شکل ۵-۷. تغییرات نیروی محوری اعضای SLE داخلی ۱۰۶
شکل ۵-۸. شماره‌گذاری اعضایSLE خارجی ۱۰۶
شکل ۵-۹. تغییرات لنگر خمشی اعضای SLE خارجی ۱۰۷
شکل ۵-۱۰. تغییرات نیروی داخلی اعضای SLE خارجی ۱۰۷
شکل ۵-۱۱.مقایسه‌ی پاسخ واحد سازه‌ای بین روش RIKS و پایدار کردن خودکار ۱۰۸
شکل ۵-۱۲. هندسه‌ی سازه با احتساب اندازه‌ی پیونده ۱۰۹
شکل ۵-۱۳.مقایسه‌ی منحنی پاسخ مدل ایده‌آل و مدل با احتساب اندازه پیونده ۱۱۰
شکل ۵-۱۴. مقایسه‌ی منحنی پاسخ مدل تجربی و مدل با احتساب اندازه پیونده ۱۱۰
شکل ۵-۱۵. مقایسه‌ی منحنی پاسخ مدل تجربی و مدل با اثر توآم اندازه پیونده و اصطکاک ۱۱۱
شکل ۵-۱۶. اثر صلبیت اتصال لولا ۱۱۲
شکل ۵-۱۷. نحوه‌ی مدل‌سازی عضو دارای ناکاملی ۱۱۳
شکل ۵-۱۸. اعضای تحت اثر ناکاملی هندسی ۱۱۴
شکل ۵-۱۹. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه‌ی پیونده برای حالت بلندشدگی ۱۱۵
شکل ۵-۲۰. لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه‌ی پیونده برای حالت بلندشدگی ۱۱۶
شکل ۵-۲۱. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه‌ی پیونده برای حالت کوتاه‌شدگی ۱۱۷

شکل ۵-۲۲. لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه‌ی پیونده برای حالت کوتاه‌شدگی ..... ۱۱۸
شکل ۵-۲۳. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل برای حالت بلندشدگی ..... ۱۱۹
شکل ۵-۲۴. لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل برای حالت بلندشدگی ..... ۱۲۰
شکل ۵-۲۵. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل برای حالت کوتاه‌شدگی ..... ۱۲۱
شکل ۵-۲۶. لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل برای حالت کوتاه‌شدگی ..... ۱۲۲
شکل ۵-۲۷. مقایسه‌ی پاسخ مدل ایده‌آل و مدل با احتساب اندازه پیونده تحت اثر ناکاملی مجاز در حالت بلندشدگی ..... ۱۲۳
شکل ۵-۲۸. مقایسه‌ی پاسخ مدل ایده‌آل و مدل با احتساب اندازه پیونده تحت اثر ناکاملی مجاز در حالت کوتاه‌شدگی ..... ۱۲۴
شکل ۵-۲۹. مقایسه‌ی پاسخ واحد با اعمال ناکاملی مجاز در اعضای المان‌های قیچی‌سان داخلی و خارجی در حالت بلند شدگی اعضا ..... ۱۲۵
شکل ۵-۳۰. مقایسه‌ی پاسخ واحد با اعمال ناکاملی مجاز در اعضای المان‌های قیچی‌سان داخلی و خارجی در حالت کوتاه‌شدگی اعضا ..... ۱۲۶
شکل ۵-۳۱. مشخصات هندسی تاشه‌ی واحد سازه‌ای مربعی مسطح ..... ۱۲۷
شکل ۵-۳۲. تغییرات بیشینه نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد سازه‌ای ..... ۱۲۸
شکل ۵-۳۳. تغییرات نیروی محوری و لنگر خمشی بترتیب برای عضو شماره ۲ SLE داخلی ..... ۱۲۹
شکل ۵-۳۴. تغییرات نیروی محوری و لنگر خمشی بترتیب برای عضو شماره ۲ SLE خارجی ..... ۱۲۹
شکل ۵-۳۵. پارامترهای هندسی تاشه‌ی باز واحد مربعی ..... ۱۳۰
شکل ۵-۳۶. تغییرات نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد برحسب تغییرات $h_1$ برای Xهای مختلف ..... ۱۳۲
شکل ۵-۳۷. . تغییرات نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد برحسب تغییرات $h_2$ برای Xهای مختلف .. ۱۳۳
شکل ۵-۳۸. بیشینه‌ی نیروی محوری عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_1$ ..... ۱۳۳
شکل ۵-۳۹. بیشینه‌ی لنگر خمشی عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_1$ ..... ۱۳۴

شکل ۵-۴۰. بیشینه‌ی نیروی محوری عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_2$ ..... ۱۳۴
شکل ۵-۴۱. بیشینه‌ی لنگر خمشی عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_2$ ..... ۱۳۵
شکل ۵-۴۲. مقایسه‌ی پاسخ مدل ایده‌آل و مدل با احتساب اندازه پیونده با شعاع ۴cm ..... ۱۳۶
شکل ۵-۴۳. نمودار تغییرات نیروی محوری عضو شماره ۲ از SLE داخلی ..... ۱۳۶
شکل ۵-۴۴. نمودار تغییرات لنگر خمشی عضو شماره ۲ از SLE داخلی ..... ۱۳۷
شکل ۵-۴۵. نمودار تغییرات نیروی محوری عضو شماره ۱ از SLE خارجی ..... ۱۳۷
شکل ۵-۴۶. نمودار تغییرات لنگر خمشی عضو شماره ۱ از SLE خارجی ..... ۱۳۸
شکل ۵-۴۷. اثر نسبت اندازه‌ی پیونده بر روی پاسخ واحد سازه‌ای مربعی ..... ۱۳۹
شکل ۵-۴۸. بیشینه‌ی نیروی محوری اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای γهای مختلف ..... ۱۳۹
شکل ۵-۴۹. بیشینه‌ی لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای γهای مختلف ..... ۱۴۰
شکل ۵-۵۰. اثر صلبیت خمشی اعضای المان‌های قیچی‌سان داخلی را بر پاسخ واحد سازه‌ای مربعی ..... ۱۴۱
شکل ۵-۵۱. بیشینه‌ی نیروی محوری اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای بر αهای مختلف ۱۴۱
شکل ۵-۵۲. بیشینه‌ی لنگر خمشی اعضای شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای بر αهای مختلف ..... ۱۴۲
شکل ۵-۵۳. دو روش برای جمع کردن واحد مربعی ..... ۱۴۲
شکل ۵-۵۴. مقایسه‌ی بین پاسخ واحد مربعی برای دو روش جمع کردن ..... ۱۴۳
شکل ۵-۵۵. مقایسه‌ی نیروی محوری عضو شماره ۲ از المان‌های قیچی‌سان داخلی واحد مربعی ..... ۱۴۴
شکل ۵-۵۶. مقایسه‌ی لنگر خمشی عضو شماره ۲ از المان‌های قیچی‌سان داخلی واحد مربعی ..... ۱۴۴
شکل ۵-۵۷. اعضای تحت اثر ناکاملی هندسی ..... ۱۴۵
شکل ۵-۵۸. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل در حالت بلندشدگی عضو ..... ۱۴۶
شکل ۵-۵۹. . لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل در حالت بلندشدگی عضو ..... ۱۴۷
شکل ۵-۶۰. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل در حالت کوتاه‌شدگی عضو ..... ۱۴۸
شکل ۵-۶۱. لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل ایده‌آل در حالت کوتاه‌شدگی عضو ..... ۱۴۹

شکل ۵-۶۲. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه پیونده در حالت بلندشدگی عضو ..... ۱۵۰
شکل ۵-۶۳. لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه پیونده در حالت بلندشدگی عضو ..... ۱۵۱
شکل ۵-۶۴. نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه پیونده در حالت کوتاه‌شدگی عضو ..... ۱۵۲
شکل ۵-۶۵. لنگر خمشی عضو شماره ۲ SLE داخلی مدل با احتساب اندازه پیونده در حالت کوتاه‌شدگی عضو ..... ۱۵۳
شکل ۵-۶۶.مقایسه‌ی پاسخ مدل ایده‌آل و مدل با احتساب اندازه پیونده تحت اثر ناکاملی مجاز در حالت بلندشدگی ..... ۱۵۴
شکل ۵-۶۷. مقایسه‌ی پاسخ مدل ایده‌آل و مدل با احتساب اندازه پیونده تحت اثر ناکاملی مجاز در حالت کوتاه‌شدگی ..... ۱۵۵
شکل ۵-۶۸. مقایسه‌ی پاسخ واحد با اعمال ناکاملی مجاز در اعضای المان‌های قیچی‌سان داخلی و خارجی در حالت بلند شدگی اعضا ..... ۱۵۶
شکل ۵-۶۹. مقایسه‌ی پاسخ واحد با اعمال ناکاملی مجاز در اعضای المان‌های قیچی‌سان داخلی و خارجی در حالت کوتاه‌شدگی اعضا ..... ۱۵۷
شکل ۵-۷۰. پارامترهای هندسی تاشه‌ی باز واحد مثلثی ..... ۱۵۸
شکل ۵-۷۱. . تغییرات نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد برحسب تغییرات h2 برای Xهای مختلف. ۱۵۹
شکل ۵-۷۲. بیشینه‌ی نیروی محوری عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_2$ ..... ۱۶۰
شکل ۵-۷۳. بیشینه‌ی لنگر خمشی عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_2$ ..... ۱۶۰
شکل ۵-۷۴. پارامترهای هندسی تاشه‌ی باز واحد شش ضلعی ..... ۱۶۱
شکل ۵-۷۵. . تغییرات نیروی مورد نیاز برای جمع کردن واحد برحسب تغییرات $h_2$ برای Xهای مختلف. ۱۶۲

شکل ۵-۷۶. بیشینه‌ی نیروی محوری عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_2$ ۱۶۳
شکل ۵-۷۷. بیشینه‌ی لنگر خمشی عضو شماره ۲ المان‌های قیچی‌سان داخلی برای Xهای مختلف بر حسب $h_2$ ۱۶۳
شکل ۵-۷۸. تاشه‌ی واحد سازه‌ای مربعی سازه چندواحدی در حالت باز ۱۶۴
شکل ۵-۷۹. مقایسه‌ی پاسخ سازه‌ی ۹ واحدی و تک واحدی ۱۶۵
شکل ۵-۸۰. سازه‌های مورد بررسی ۱۶۶
شکل ۵-۸۱. پاسخ سازه‌های مورد بررسی ۱۶۷
شکل ۵-۸۲. مقایسه پاسخ تخمینی یک واحد از سازه‌های بازشوی چندواحدی با پاسخ دقیق واحد در حالت $m=n$ ۱۶۷
شکل ۵-۸۳. مقایسه پاسخ تخمینی یک واحد از سازه‌های بازشوی چندواحدی با پاسخ دقیق واحد در حالت $m\neq n$ ۱۶۸
شکل ۵-۸۴. شرایط مرزی اول سازه ۹ واحدی مربع ۱۶۸
شکل ۵-۸۵. شرایط مرزی دوم سازه ۹ واحدی مربع ۱۶۹
شکل ۵-۸۶. مقایسه‌ی پاسخ سازه تحت شرایط مرزی اول و دوم ۱۶۹
شکل ۵-۸۷. روند جمع شدن سازه در شرایط مرزی اول ۱۷۰
شکل ۵-۸۸. روند جمع شدن سازه در شرایط مرزی دوم ۱۷۰
شکل ۵-۸۹. مقایسه‌ی نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی سازه در شرایط مرزی اول و دوم ۱۷۱
شکل ۵-۹۰. مقایسه‌ی نیروی محوری عضو شماره ۲ SLE داخلی سازه در شرایط مرزی اول و دوم ۱۷۱

# فهرست علائم

| علامت | نشانه |
|---|---|
| $\beta(Dg)$ | زاویه‌ی بین المان‌های قیچی‌سان داخلی واحد سازه‌ای |
| $h_1(cm)$ | فاصله‌ی دو گره میانی مرکزی |
| $h_2(cm)$ | فاصله‌ی دو گره‌ی انتهایی المان‌های قیچی‌سان خارجی |
| $X$ | نسبت طول‌های اعضای المان‌های قیچی‌سان |
| $L(cm)$ | طول نیم‌قطرهای داخلی واحد سازه‌ای |
| $D(cm)$ | طول ضلع واحدهای سازه‌ای |
| $R(cm)$ | شعاع دایره‌ی پیونده |
| $p$ | تعداد وجه‌های واحد |
| $q$ | تعداد واحدهای پرکننده |
| $b$ | عرض اعضای المان‌های قیچی‌سان |
| $b_h(cm)$ | عرض شیار پیونده |
| $v(x_i)$ | تغییر شکل اعضای المان قیچی‌سان برحسب فاصله از انتهای عضو |
| $V(x_i)$ | برش اعضای المان قیچی‌سان |
| $M(x_i)$ | لنگر اعضای المان قیچی‌سان |
| $F_i$ | نیروهای عرضی در طول اعضای المان‌های قیچی‌سان |
| $K$ | ضریب انبساط |
| $\varphi(Dg)$ | زاویه‌ی بین دو عضو المان قیچی‌سان |
| $\varphi_0(Dg)$ | زاویه‌ی بین دو عضو المان قیچی‌سان در تاشه‌ی باز واحد سازه‌ای |
| $T_3(N)$ | نیروی اصطکاک در اتصال لولا |
| $\mu$ | ضریب اصطکاک بین اعضای المان قیچی‌سان |
| $M_3^{app}(N.cm)$ | لنگر اصطکاکی تقریبی در اتصال لولا |