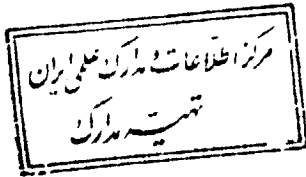


بسم... الرحمن الرحيم

آنالیز فرآیند فورج اکستروژن معکوس برای تولید
قطعات توخالی

۱۳۷۶ / ۷ / ۲۲



بوسیله
رامین ابراهیمی

پایان نامه

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

در رشته

مهندسی مواد (شناسائی، انتخاب و روش ساخت مواد فلزی)

از

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی
امضاء اعضاء کمیته پایان نامه:

دکتر محمد محسن مشکسار ، دانشیار بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته).....

دکتر کمال جانقربان ، دانشیار بخش مهندسی مواد

دکتر محمدجعفر هادیانفرد، استادیار بخش مهندسی مواد

خرداد ۱۳۷۶

02353

۱۲۴۲۹

تقديم:

به پدر و مادر عزیزم

۱۲۴۲۹

سپاسگزاری

با سپاس به درگاه ایزد متان، اولین معلم بشریت، که انسان را به سلاح دانش مسلح کرد و با عنایات غیبی خود، وی را از تنگناهای تاریکی و گمراهی به سوی نور و هدایت رهنمون شد و ندای «رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا» را بر لب بندگان طالب کمالش جاری ساخت.

با تشکر و قدردانی از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدمحسن مشکسار که با زحمات بی دریغ و راهنماییهای دقیق و ارزشمندشان، در رفع مشکلات پایان نامه این جانب کوشش کردند و همچنین از راهنماییهای آقایان دکتر کمال جانقربان و دکتر هادیانفرد، اعضای محترم کمیته پایان نامه، کمال تشکر را دارم.

از کادر محترم آزمایشگاههای بخش مهندسی مواد بخصوص سرکارخانم مهندس مریم پایدار و آقای مهندس سعید کیانی و آقای منتصری که در کارهای عملی پروژه با اینجانب همکاری نمودند، تشکر می کنم.

از دوستان گرامی آقایان مهندس مهدی افتخاری، مهندس حمید حسینی، مهندس فرزاد حیدری مهندس سیروس زمانی، مهندس امیر حسینی کلورزی، مهندس مهدی هاشمی که در کارهای کامپیوتری پایان نامه، مرا یاری نمودند سپاسگزاری می کنم.

چکیده

آنالیز فرآیند فورج اکستروژن معکوس برای تولید قطعات توخالی

توسط

رامین ابراهیمی

در این تحقیق فرآیند فورج اکستروژن معکوس قطعات توخالی با مقطع چندضلعی و دایره‌ای با استفاده از نظریه حدبالایی مورد بررسی قرار گرفته است. با بکارگیری این تئوری توان تغییرشکل داخلی، توان ناشی از اصطکاک و کار زاید و در صورت ضربه‌ای انجام شدن فرآیند، توان لازم برای غلبه بر اینرسی نیز قابل محاسبه می‌باشد.

برای آنالیز این فرآیند دو مدل هندسی مختلف برای ناحیه تغییرشکل پیشنهاد شده است. در مدل اول برای آنالیز مرحله اول این فرآیند از یک میدان سرعت کروی با سطوح ناپیوستگی استوانه‌ای استفاده شده است. برای آنالیز مرحله نهایی فرآیند از یک میدان سرعت استوانه‌ای با سطوح ناپیوستگی منحنی استفاده شده است. در مدل هندسی دوم یک میدان سرعت استوانه‌ای با سطوح ناپیوستگی منشوری بکار گرفته شده است.

با توجه به مدل‌های هندسی پیشنهاد شده میدان سرعت در هر ناحیه تغییرشکل تعیین شده و با رسم خطوط میدان سرعت در نواحی مختلف، چگونگی سیلان فلز نمایش داده شده است.

نتایج آنالیز ریاضی بصورت معادلات و نمودارهای مختلف ارائه شده‌اند. در معادلات ارائه شده، علاوه بر فاکتورهای هندسی، دو فاکتور تنش سیلان و فاکتور ثابت اصطکاک نیز ظاهر شده‌اند. تنش سیلان با استفاده از آزمایش فشار تک‌محوری تعیین شده و فاکتور ثابت اصطکاک با بکارگیری آزمایشهای حلقه و اکستروژن دوطرفه اندازه‌گیری شده است.

در بخش آزمایشگاهی پروژه، قالب و سمبه‌های فرآیند فورج اکستروژن معکوس طراحی و ساخته شدند. عملیات حرارتی مناسب نیز بر روی قطعات قالب و سمبه انجام

چهار

گرفته است. آزمایشها برای قطعات توخالی با مقطع شش ضلعی و دایره‌ای، با کاهش مقاطع مختلف، بر روی آلومینیم تجارتي انجام شده‌اند.

از مقایسه نتایج تنوری و تجربی محدوده استفاده از هر مدل هندسی تعیین شده است. نیروی پیش‌بینی شده توسط حل حد بالایی تقریباً ده درصد بیشتر از نیروی واقعی برای تغییر شکل در این فرآیند میباشد.

برای بررسی تجربی سیلان تعدادی از نمونه‌های اولیه در جهت محورشان نصف و مقطع آنها شبکه‌بندی شده است. با انجام فرآیند فورج اکستروژن معکوس روی این نمونه‌ها، نحوه سیلان فلز بطور واضح نمایش داده شده است. این آزمایشها نیز هماهنگی مدل‌های پیشنهادی با شکل واقعی ناحیه تغییر شکل را نشان میدهند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ده	فهرست جداول
یازده	فهرست اشکال
هفده	فهرست علائم اختصاری
۱	فصل اول - مقدمه
۷	فصل دوم - تاریخچه و تئوری
۷	۱-۲-۱ تاریخچه
۱۴	۲-۲-۱ فاکتورهای مهم در فرآیند فورج اکستروژن معکوس
۱۵	۲-۲-۳ قابلیت شکل پذیری فلزات
۱۶	۲-۲-۴ سرعت تغییر شکل
۱۶	۲-۲-۵ محاسبه تنش سیلان
۱۷	۲-۲-۶ اصطکاک در فرآیند فورج اکستروژن معکوس
۱۹	۲-۲-۶-۱ آزمایش استاندارد حلقه برای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک
۲۲	۲-۲-۶-۲ تعیین فاکتور ثابت اصطکاک با استفاده از اکستروژن دوطرفه
۲۴	۲-۲-۷ روانسازها
۲۵	۲-۲-۸ مؤلفه‌های نرخ کرنش
۲۶	۲-۲-۹ تئوری حدبالایی
۲۷	۲-۲-۹-۱ توان لازم برای تغییر شکل داخلی
۲۸	۲-۲-۹-۲ توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی سرعت
۲۹	۲-۲-۹-۳ توان مصرفی روی سطوح اصطکاکی

فصل سوم - روش تحقیق	۳۰
۳-۱- مقدمه	۳۰
۳-۲- طراحی قالب	۳۰
۳-۲-۱- سمبه	۴۱
۳-۲-۲- لقمه شکل دهنده مرکزی قالب	۴۳
۳-۲-۳- سیستم بیرون انداز	۴۶
۳-۲-۴- سیستم جداکننده قطعه از سمبه	۴۶
۳-۲-۵- میل راهنما	۴۶
۳-۳- انتخاب مواد قالب	۴۸
۳-۴- عملیات حرارتی	۴۹
۳-۵- انجام آزمایش حلقه برای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک	۵۰
۳-۶- انجام آزمایش اکستروژن دوطرفه برای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک	۵۲
۳-۷- انجام آزمایش فشار تک محوری	۵۳
۳-۸- تهیه نمونه	۵۷
۳-۹- تهیه نمونه برای بررسی سیلان	۵۸
۳-۱۰- انجام آزمایش فورج اکستروژن معکوس	۵۹
۳-۱۱- بررسی تجربی سیلان	۶۶
فصل چهارم - ارائه مدل ریاضی برای آنالیز فرایند فورج اکستروژن معکوس	
قطعات توخالی با مقطع چندضلعی و مقایسه آنالیز ریاضی با نتایج تجربی	۶۷
۴-۱- مقدمه	۶۷
۴-۲- آنالیز مرحله اول اکستروژن با انتخاب سطوح ناپیوستگی استوانه‌ای در یک سیستم کروی	۶۷
۴-۲-۱- میدان سرعت	۶۹

۷۱	۲-۲-۴- تعیین سرعت در سطوح ناپیوستگی سرعت
۷۲	۳-۲-۴- میدان نرخ کرنش
۷۲	۴-۲-۴- توان تغییر شکل داخلی
۷۴	۵-۲-۴- توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی سرعت
۷۸	۶-۲-۴- توان مصرفی ناشی از اصطکاک
۷۸	۷-۲-۴- توان مصرفی ناشی از فشار خارجی
۷۹	۸-۲-۴- محاسبه فشار نسبی فورج اکستروژن معکوس
۷۹	۹-۲-۴- زاویه بهینه هرم ناحیه مرده یا ناحیه تغییر شکل پلاستیک
۸۱	۱۰-۲-۴- نتایج حاصل از بررسی‌های تئوری
	۳-۴- آنالیز مرحله نهایی اکستروژن با بکارگیری سطوح ناپیوستگی منحنی در یک سیستم استوانه‌ای
۹۱	۱-۳-۴- میدان سرعت
۹۲	۲-۳-۴- تعیین شکل سطح ناپیوستگی S_6
۹۳	۳-۳-۴- میدان نرخ کرنش
۹۳	۴-۳-۴- توان داخلی تغییر شکل
۹۴	۵-۳-۴- توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_6
۹۵	۶-۳-۴- توان مصرفی ناشی از اصطکاک
۹۶	۷-۳-۴- محاسبه فشار نسبی اکستروژن در مرحله نهایی
	۴-۴- آنالیز مرحله اول اکستروژن با بکارگیری سطوح ناپیوستگی منشوری در یک سیستم استوانه‌ای
۱۰۰	۱-۴-۴- میدان سرعت
۱۰۲	۲-۴-۴- محاسبه توان داخلی تغییر شکل در ناحیه I
۱۰۳	۳-۴-۴- محاسبه توان داخلی تغییر شکل در ناحیه II

عنوان

صفحه

۴-۴-۴- توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_1 و سطح ناپیوستگی S_2	۱۰۴
۴-۴-۵- توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_3	۱۰۵
۴-۴-۶- توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی S_4 و S_6	۱۰۵
۴-۴-۷- توان اصطکاکی روی سطح S_5	۱۰۶
۴-۴-۸- توان اصطکاکی روی سطح S_8	۱۰۶
۴-۴-۹- توان اصطکاکی روی سطح S_7	۱۰۷
۴-۴-۱۰- محاسبه فشار نسبی فورج اکستروژن معکوس در مرحله اول	۱۰۸
۴-۴-۱۱- تعیین عمق ناحیه تغییرشکل در مرحله اول فرآیند فورج اکستروژن معکوس.....	۱۰۸
۴-۵- آنالیز مرحله نهایی اکستروژن با بکارگیری سطوح ناپیوستگی منشوری در یک سیستم استوانه‌ای	۱۱۱
۴-۶- منحنی‌های نیرو برحسب جابه‌جایی سیمه در طول فرآیند فورج اکستروژن معکوس.....	۱۱۳
۴-۷- بررسی سیلان فلز.....	۱۲۵
۴-۸- بررسی عیوب در فرآیند فورج اکستروژن معکوس	۱۳۴
۱۳۸..... فصل پنجم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
۱-۵- خلاصه نتایج	۱۳۸
۲-۵- پیشنهادات	۱۴۲
پیوست	۱۴۳
مراجع	۱۶۱

عنوان و چکیده به زبان انگلیسی

فهرست جداول

صفحه	جدول
۴۹	جدول ۳-۱- ترکیب فولادهای استفاده شده
۵۱	جدول ۳-۲- نتایج آزمایش حلقه
۵۳	جدول ۳-۳- نتایج آزمایش اکستروژن دوطرفه
۵۴	جدول ۳-۴- نتایج آزمایش فشار

فهرست اشکال

شکل	صفحه
۱-۱- روش‌های اصلی اکستروژن: a- اکستروژن مستقیم b- اکستروژن غیرمستقیم ...	۱
۲-۱- نمودار نیرو در طول انجام فرآیندهای اکستروژن مستقیم و غیرمستقیم ...	۲
۳-۱- فرآیند فورج اکستروژن معکوس ...	۳
۴-۱- نمودار نیرو برحسب جابه‌جایی سمبه در طول فرآیند فورج اکستروژن معکوس ...	۴
۱-۲- هندسه نواحی تغییرشکل در فرآیند مرکب اکستروژن مستقیم - معکوس ...	۹
۲-۲- هندسه نمونه اولیه و نمونه اکستروود شده دولایه‌ای ...	۱۰
۳-۲- نیروی پیش‌بینی شده توسط شبیه‌سازی اجزاء محدود ...	۱۱
۴-۲- پیش‌بینی نحوه سیلان فلز توسط شبیه‌سازی اجزاء محدود ...	۱۲
۵-۲- هندسه دو مد تغییرشکل در حلقه ...	۲۰
۶-۲- اکستروژن دو طرفه ...	۲۲
۷-۲- پیش‌بینی نسبت $\frac{h_1}{h_2}$ برحسب جابه‌جایی سمبه برای کاهش مقاطع مختلف ...	۲۳
۸-۲- پیش‌بینی نسبت ارتفاع فلز اکستروود شده به سمت بالا و به سمت پایین برحسب جابه‌جایی سمبه برای نسبت‌های مختلف ابعادی نمونه اولیه ...	۲۴
۹-۲- پیش‌بینی نسبت ارتفاع فلز اکستروود شده به سمت بالا و به سمت پایین برحسب جابه‌جایی سمبه برای مقادیر مختلف III ...	۲۴
۱۰-۲- نمایش مؤلفه‌های سرعت در دو طرف سطح ناپیوستگی سرعت ...	۲۹
۳-۱- نقشه کامل قسمتهای مختلف قالب ...	۳۲
۲-۳- نقشه بلوک پایینی قالب ...	۳۳
۳-۳- نقشه بلوک پشت‌بند لقمه مرکزی مشکل‌دهنده قالب ...	۳۴
۴-۳- نقشه بلوک بالایی قالب ...	۳۵

شکل

صفحه

- ۳-۵- نقشه حلقه حکم‌کننده میل راهنما و لقمه مرکزی شکل‌دهنده قالب ۳۶
- ۳-۶- نقشه لقمه گرد مرکزی شکل‌دهنده قالب ۳۷
- ۳-۷- نقشه لقمه شش ضلعی مرکزی شکل‌دهنده قالب ۳۸
- ۳-۸- نقشه نمونه‌ای از سمبه گرد و شش ضلعی ۳۹
- ۳-۹- قطعات قالب ۴۰
- ۳-۱۰- قالب مونتاژ شده ۴۰
- ۳-۱۱- سمبه سرگرد ۴۲
- ۳-۱۲- بلوک بالایی قالب همراه با سمبه نصب شده در آن ۴۲
- ۳-۱۳- دو لقمه با شکل داخلی دایره‌ای با قطرهای ۲۰ و ۲۴ میلیمتر و یک لقمه با شکل داخلی شش ضلعی که قطر دایره محاطی آن ۱۹ میلیمتر ۴۵
- ۳-۱۴- سیستم جداکننده ۴۷
- ۳-۱۵- میل راهنما ۴۷
- ۳-۱۶- نمونه‌های آزمایش حلقه قبل و بعد از آزمایش ۵۱
- ۳-۱۷- سیستم اندازه‌گیری اصطکاک در آزمایش اکستروژن دوطرفه ۵۳
- ۳-۱۸- نمونه‌های آزمایش فشار قبل از انجام آزمایش ۵۵
- ۳-۱۹- نمونه‌های آزمایش فشار بعد از انجام آزمایش ۵۶
- ۳-۲۰- روش کوک و لارک ۵۶
- ۳-۲۱- منحنی تنش و کرنش آلومینیم تجارتمی ۵۷
- ۳-۲۲- مراحل تهیه نمونه بررسی سیلان ۵۸
- ۳-۲۳- مقطع یک نمونه شبکه‌بندی شده ۵۹
- ۳-۲۴- پرس همراه با قالب فورج اکستروژن معکوس و سیستم کامپیوتری ۶۱
- ۳-۲۵- نحوه نصب قالب به پرس ۶۱
- ۳-۲۶- منحنی نیرو بر حسب جابه‌جایی سمبه ۶۲

- ۲۷-۳- نمونه اولیه و قطعه گرد تولید شده ۶۲
- ۲۸-۳- نمونه اولیه و قطعه شش ضلعی تولید شده ۶۳
- ۲۹-۳- قطعات گرد با قطر خارجی ۲۴ میلیمتر همراه با سمبه‌های مربوط به آنها ۶۳
- ۳۰-۳- قطعات گرد با قطر خارجی ۲۰ میلیمتر همراه با سمبه‌های مربوط به آنها ۶۴
- ۳۱-۳- قطعات با شکل داخلی شش ضلعی و با قطر خارجی ۲۴ میلیمتر همراه با سمبه‌های مربوط به آنها ۶۴
- ۳۲-۳- قطعات با شکل داخلی شش ضلعی و با قطر خارجی ۲۰ میلیمتر همراه با سمبه‌های مربوط به آنها ۶۵
- ۳۳-۳- قطعات شش ضلعی با شکل داخلی گرد همراه با سمبه‌های مربوط به آنها ۶۵
- ۳۴-۳- قطعات شش ضلعی همراه با سمبه‌های مربوط به آنها ۶۶
- ۱-۴- مرحله اول فورج اکستروژن معکوس همراه با بردارهای سرعت در نواحی مختلف ۶۸
- ۲-۴- مرحله اول فورج اکستروژن معکوس همراه با بردارهای سرعت جدید در نواحی مختلف ۶۹
- ۳-۴- هندسه قطاعی از ناحیه تغییر شکل ۷۰
- ۴-۴- هندسه سطح ناپیوستگی سرعت S_1 ۷۵
- ۵-۴- هندسه سطح ناپیوستگی سرعت S_3 ۷۷
- ۶-۴- مقایسه مقادیر α محاسبه شده از حل عددی معادله (۴-۴) با مقادیر بدست آمده از معادله (۴-۴) ۸۱
- ۷-۴- تأثیر نسبت شعاع خارجی به شعاع داخلی دایره محاطی چندضلعی بر روی زاویه بهینه هرم ۸۲
- ۸-۴- تأثیر تعداد اضلاع قطعه بر روی زاویه بهینه هرم ۸۲
- ۹-۴- تأثیر اصطکاک بر زاویه بهینه هرم و فشار نسبی ۸۳
- ۱۰-۴- تأثیر تعداد اضلاع قطعه بر زاویه بهینه هرم و فشار نسبی ۸۴

- ۴-۱۱- اثر کاهش مقطع و اصطکاک بر روی فشار نسبی در شروع فرآیند ۸۵
- ۴-۱۲- اثر کاهش مقطع و اصطکاک بر فشار نسبی در اواسط فرآیند ۸۵
- ۴-۱۳- تأثیر تعداد اضلاع قطعه بر فشار نسبی و ضخامت بهینه دیواره قطعه ۸۶
- ۴-۱۴- تأثیر درصد کاهش مقطع بر فشار نسبی و زاویه بهینه هرم ۸۷
- ۴-۱۵- تأثیر فشار عقبی بر فشار نسبی و زاویه بهینه ۸۸
- ۴-۱۶- تأثیر سببه دماغه‌دار در کاهش فشار نسبی در مرحله اول اکستروژن ۸۹
- ۴-۱۷- تأثیر شکل قطعه (تعداد اضلاع) بر زاویه تشکیل ناحیه مرده ۹۰
- ۴-۱۸- تأثیر درصد کاهش مقطع بر فشار نسبی ۹۰
- ۴-۱۹- نمایش مرحله نهایی فورج اکستروژن معکوس برای آنالیز دو ناحیه‌ای ۹۱
- ۴-۲۰- هندسه سطح ناپیوستگی سرعت S_6 ۹۵
- ۴-۲۱- تأثیر اصطکاک بر فشار نسبی در طول فرآیند فورج اکستروژن معکوس
قطعات گرد ۹۸
- ۴-۲۲- تأثیر اصطکاک بر فشار نسبی در طول فرآیند فورج اکستروژن معکوس
قطعات شش ضلعی ۹۸
- ۴-۲۳- تأثیر تعداد اضلاع بر فشار نسبی در طول فرآیند فورج اکستروژن معکوس .. ۹۹
- ۴-۲۴- مقایسه فشار نسبی محاسبه شده برای فورج اکستروژن یک قطعه صدضلعی
با یک قطعه گرد ۱۰۰
- ۴-۲۵- مرحله اول فورج اکستروژن معکوس همراه با آنالیز سه ناحیه‌ای ۱۰۲
- ۴-۲۶- عمق ناحیه تغییر شکل بر حسب ضخامت دیواره قطعه ۱۰۹
- ۴-۲۷- تأثیر اصطکاک بر عمق ناحیه تغییر شکل ۱۱۰
- ۴-۲۸- مرحله نهایی فورج اکستروژن معکوس همراه با آنالیز سه ناحیه‌ای ۱۱۲
- ۴-۲۹- نمودارهای واقعی نیرو در طول انجام فرآیند فورج اکستروژن معکوس برای
قطعات گرد با قطر خارجی ۲۴ میلیمتر ۱۱۳

- ۳۰-۴- نمودارهای واقعی نیرو در طول انجام فرآیند فورج اکستروژن معکوس برای قطعات گرد با قطر خارجی ۲۰ میلیمتر ۱۱۵
- ۳۱-۴- نمودارهای واقعی نیرو در طول انجام فرآیند فورج اکستروژن معکوس برای قطعات شش ضلعی همراه با قطعات گرد معادل با آنها ۱۱۶
- ۳۲-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۶۹/۴ درصد ۱۱۶
- ۳۳-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۵۶/۲۵ درصد ۱۱۷
- ۳۴-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۴۴/۴ درصد ۱۱۷
- ۳۵-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۳۴ درصد ۱۱۸
- ۳۶-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۲۵ درصد ۱۱۸
- ۳۷-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۱۷/۴ درصد ۱۱۹
- ۳۸-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۱۱/۱ درصد ۱۱۹
- ۳۹-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۸۱ درصد ۱۲۰
- ۴۰-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۶۴ درصد ۱۲۰
- ۴۱-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۴۹ درصد ۱۲۱
- ۴۲-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۳۶ درصد ۱۲۱
- ۴۳-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۲۵ درصد ۱۲۲
- ۴۴-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه گرد با کاهش مقطع ۱۶ درصد ۱۲۲
- ۴۵-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه شش ضلعی با کاهش مقطع ۸۱ درصد ... ۱۲۳
- ۴۶-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه شش ضلعی با کاهش مقطع ۶۴ درصد ... ۱۲۳
- ۴۷-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه شش ضلعی با کاهش مقطع ۴۹ درصد ... ۱۲۴
- ۴۸-۴- نمودار واقعی نیرو برای یک قطعه شش ضلعی با کاهش مقطع ۳۶ درصد ... ۱۲۴
- ۴۹-۴- تأثیر درصد کاهش مقطع بر فشار نسبی ۱۲۵
- ۵۰-۴- نحوه سیلان فلز مطابق آنالیز ۱ و ۲ برای کاهش مقطع ۱۱/۱ درصد ۱۲۶