کد رهگیری ثبت پروپوزال: ۱۰۶۷۸۴۲

کد رهگیری ثبت پایان نامه: ۲۰۹۶۷۴۶

بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا و استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات داخلی

……، گروه ……، دانشکده ……، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

دانشکده مهندسی
گروه آموزشی مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان:

تعیین ثابت‌های مدل مواد با استفاده از تست تیلور، میله‌ی هاپکینسون و شبکه عصبی

استاد راهنما:
دکتر غلامحسین مجذوبی

استاد مشاور:
دکتر سهیل گنجه‌فر

نگارش:
سعید لحمی

۲۹ شهریور ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به خاطر همه‌ی زحمات بی‌دریغشان

تقدیر و تشکر

با تقدیر و تشکر فراوان و تقدیم بهترین سپاس‌ها

به استاد فرهیخته و فرزانه دکتر غلامحسین مجذوبی

که همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام و اکمال این پایان نامه بوده است.

سپاس می‌گویم خداوند بلند مرتبه را که بدون لطف و عنایتش هیچ نبودیم. خدا را شکر می‌کنم که با همه سختی‌ها و مشکلات بالاخره این پایان نامه به سرانجام رسید. در ابتدا از استاد عزیز، گرامی و بزرگوارم جناب دکتر غلامحیسن مجذوبی به خاطر همه زحمات مدبرانه و دلسوزانه‌ای که در طول این سه سال در حق من روا داشتند کمال تشکر و سپاسگزاری خود را ابراز می‌نمایم. بر خود می‌بالم که سعادت این را داشتم که بتوانم لقب شاگردی این استاد فرهیخته را داشته باشم و بدون شک یکی از بزرگترین افتخارات من، شاگردی در خدمت ایشان بوده است. به خاطر همه پی‌گیری‌ها و حمایت‌ها، همه‌ی دلسوزی‌ها و صبوری‌ها و همه‌ی در کنار من بودن‌ها در تمامی لحظات، بی‌نهایت از ایشان سپاسگزارم و امیدوارم که در امر شاگردی خود به بهترین نحوه انجام وظیفه کرده باشم که بی-گمان رضایت استاد بهترین هدیه‌ی من است.

همچنین از دوستان خوبم مهندسان عزیز سعید امیرچخماقی، سروش حیدریان ،کوروش بهنام به خاطر همه‌ی زحماتشان، علی آریانفر، سعید سپاهی بروجنی عزیز، محمد کشفی، محمد علی کاظمی، علی شیرازی، مسعود پارساپور، میلاد سعادتمند و مهندس امید باوی، که با کمک‌های بی دریغشان یاری‌گر من بوده‌اند، تشکر می‌نمایم.

در پایان از دیگر عزیزانی که نهایت همکاری را با بنده انجام دادند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

سعید لحمی

شهریور ۱۳۹۱

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

تعیین ثابت‌های مدل مواد با استفاده از تست تیلور، میله‌ی هاپکینسون و شبکه عصبی

نام نویسنده: سعید لحمی

نام استاد راهنما: دکتر غلامحسین مجذوبی

نام استاد مشاور: دکتر سهیل گنجه‌فر

دانشکده: مهندسی	**گروه آموزشی: مکانیک**	
رشته تحصیلی: مکانیک	**گرایش تحصیلی: طراحی کاربردی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۸۹/۰۸/۰۳	**تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۰۶/۲۹**	**تعداد صفحات: ۱۷۶**

چکیده:

رفتار دینامیکی مواد عموماً وابسته به نرخ کرنش می‌باشد. نرخ کرنش در اکثر مدل‌های ماده در تغییر شکل‌های دینامیکی به صورت یک پارامتر مهم وجود دارد و برخی از این مدل‌ها نظیر جانسون ـ کوک و زریلی ـ آرمسترانگ در بسیاری از نرم افزارهای اجزای محدود در شبیه سازی رفتارهای ماده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها دارای ثابت هایی هستند که عمدتاً از طریق آزمایش تعیین می‌شوند. در این پایان نامه، ثابت‌های مدل جانسون ـ کوک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مدل جانسون ـ کوک دارای ۵ ثابت می‌باشد که با استفاده از آزمایش کشش شبه استاتیکی، میلهٔ هاپکینسون فشاری و آزمایش تیلور به دست می‌آیند. ضرایب A ، B و n از طریق آزمایش شبه استاتیکی، محاسبه می‌گردند. ضرایب C و m با استفاده از میلهٔ هاپکینسون اندازه گیری می‌شوند. همهٔ این پنج ضریب مجدداً با استفاده از آزمایش تیلور به دست آمده و با مقادیر تعیین شده از آزمایش شبه استاتیکی و میلهٔ هاپکینسون مقایسه می‌شوند. آزمایش تیلور به صورت آزمایشی و عددی مورد تحقیق قرار می‌گیرد. در شبیه سازی آزمایش تیلور یک تابع هدف تعریف می‌شود. این تابع هدف عبارت است از تفاوت پروفیل هندسی نمونهٔ آزمایش شدهٔ تیلور که از آزمایش و شبیه سازی به دست می‌آیند. این تابع هدف دارای ۲۱ ثابت است. به همین جهت با ۲۱ مجموعهٔ دلخواه از ثابت‌های A ، B ، n، C و m ، ۲۱ شبیه سازی انجام شده و تابع هدف با استفاده از نتایج آن‌ها، به دست آمده و سپس با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک بهینه سازی گردیده است. مقادیر A ، B ، n، C و m بهینه همان ثابت‌های مدل جانسون ـ کوک هستند. نتایج به دست آمده، توافق خوبی بین نتایج بهینه سازی از یک سو و نتایج به دست آمده از آزمایش‌های شبه استاتیکی و هاپکینسون فشاری نشان می‌دهد. با استفاده از این روند، می‌توان مطمئن بود که ثابت‌های به دست آمده از دقت کافی برخوردارند. همچنین، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که ثابت‌های C و m خود وابسته به نرخ کرنش هستند. از آنجا که برای اندازه گیری ثابت‌های مدل ماده، تعداد محدودی آزمایش در نرخ‌های کرنش معینی صورت می‌گیرد، با استفاده از شبکه عصبی، می‌توان این ثابت‌ها را برای نرخ‌های کرنشی که در آزمایش مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، تعیین نمود.

واژه‌های کلیدی: ثابت‌های مواد، تست تیلور، شبکه عصبی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه‌ای بر رفتار دینامیکی مواد در نرخ کرنش بالا ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تأثیر نرخ کرنش ۲

۱-۲-۱ فلزات bcc و fcc ۴

۱-۳ تأثیر دما ۶

۱-۴ تأثیر اندازه‌ی دانه ۶

۱-۵ منحنی‌های تنش-کرنش واقعی و مهندسی ۸

۱-۶ منحنی تنش-کرنش تصحیح شده ۱۰

۱-۶-۱ روش ضریب تصحیح در فشار ۱۰

۱-۷ معادلات تجربی و تغییر شکل پلاستیک مواد در نرخ کرنش‌های بالا ۱۲

۱-۷-۱ مدل جانسون-کوک ۱۴

۱-۷-۲ مدل ووجانگ کانگ و هون‌ها ۱۶

۱-۷-۳ مدل مایر و کلاپ ۱۶

۱-۷-۴ مدل زریلی و آرمسترانگ ۱۷

۱-۷-۵ مدل واگنر- لین ۱۷

۱-۷-۶ مدل توانی ۱۸

۱-۸ ضریب تصحیح در آزمایش تنش ۱۸

۱-۹ مدل‌های خرابی در شکست نرم ۲۰

۱-۹-۱ مدل جانسون-کوک ۲۰

۱-۹-۲ مدل تی ورگارد- نیدلمن- گرسن ۲۰

۱-۹-۳ مدل رایس و تریسی ۲۱

۱-۹-۴ مدل گلدتروپ ۲۲

۱-۱۰ بررسی خواص دینامیکی آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ ۲۳

۱-۱۰-۱ رفتار تنش-کرنش ۲۴

۱-۱۰-۲ اثر نرخ کرنش ۲۶

۱-۱۰-۳ اثر دما ۲۷

۱-۱۰-۴ مشاهدات ویژگی‌های شکست ۲۷

فصل دوم: دستگاه‌های آزمایش دینامیکی ۲۹

۲-۱ مقدمه ۳۰

۲-۲ دسته‌بندی آزمایش‌ها بر اساس تغییرات نرخ کرنش ۳۰
۲-۳ دستگاه اینسترون ۳۱
۲-۴ دستگاه سنتام ۳۳
۲-۵ دستگاه فلاییینگ‌وج ۳۴
۲-۶ دستگاه آزمایش ضربه ۳۶
۲-۷ دستگاه میله‌ی هاپکینسون ۳۹
۲-۷-۲ هاپکینسون فشاری ۴۱
۲-۷-۳ هاپکینسون کششی ۴۲
۲-۷-۴ هاپکینسون پیچشی ۴۵
۲-۷-۵ هاپکینسون برشی ۴۷
۲-۸ دستگاه تفنگ گازی ۴۷
۲-۹ آزمایش تیلور ۵۲
۲-۱۰ دستگاه سیلان‌سنج بادامکی ۵۳
۲-۱۱ دستگاه چرخ طیار ۵۴

فصل سوم: تئوری میله‌ی هاپکینسون فشاری و آزمایش تیلور ۵۶

۳-۱ مقدمه‌ای بر امواج تنش ۵۷
۳-۲ اساس آزمایش میله‌ی هاپکینسون فشاری ۵۸
۳-۳ مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه‌ی آزمایش میله‌ی هاپکینسون ۶۰
۳-۳-۱ محدوده‌های رایج پژوهش‌ها در زمینه‌ی آزمایش میله‌ی هاپکینسون ۶۱
۳-۳-۲ پژوهش‌های دیگر در زمینه‌ی میله‌ی هاپکینسون ۶۲
۳-۴ تئوری آزمایش میله‌ی هاپکینسون ۶۲
۳-۴-۱ ارتعاش محوری میله‌ها ۶۳
۳-۴-۲ محاسبه‌ی تنش، نرخ کرنش و کرنش نمونه ۶۷
۳-۵ برخورد دو میله در یک خط مستقیم ۷۲
۳-۶ انتشار موج فشاری ۷۲
۳-۷ آزمایش تیلور ۷۴
۳-۸ مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه‌ی آزمایش تیلور ۷۵
۳-۹ برخورد یک میله استوانه‌ای با سرعت زیاد به یک مانع صلب ۷۷
۳-۹-۱ روش اندازه حرکت تیلور ۷۷
۳-۹-۲ روابط پایه ۷۸
۳-۹-۳ طول قسمت‌های تغییر شکل یافته و بدون تغییر شکل ۸۰
۳-۹-۴ نمایه نهایی قسمت تغییر شکل یافته به روش تیلور ۸۲

۳-۹-۵ یک روش ساده برای محاسبه H ۸۳
۳-۱۰ تحلیل برخورد با سرعت زیاد به کمک روش انرژی هوکیارد ۸۳
۳-۱۰-۱ رابطه تعادل انرژی ۸۴
۳-۱۰-۲ رابطه کرنش-سرعت ۸۵
۳-۱۰-۳ رابطه بین طول بدون تغییر شکل و کرنش ۸۵
۳-۱۰-۴ رابطه بین طول تغییر شکل یافته و کرنش ۸۵
۳-۱۰-۵ نمایه نهایی قسمت تغییر شکل یافته به روش انرژی هوکیارد ۸۶
۳-۱۱ بررسی پارامترهای هندسی نمونه‌ی تغییر شکل یافته در آزمایش تیلور ۸۶

فصل چهارم: آزمایش‌های تجربی و نتایج حاصل از آن‌ها ۹۱

۴-۱ مقدمه‌ای بر آزمایش‌ها ۹۲
۴-۲ ماده و نمونه‌های آزمایشی ۹۳
۴-۲-۱ نمونه‌ی آزمایش کشش شبه‌استاتیکی ۹۳
۴-۲-۲ نمونه‌ی آزمایش فشار شبه‌استاتیکی و دینامیکی با نرخ کرنش بالا ۹۴
۴-۲-۳ نمونه‌ی آزمایش تیلور ۹۴
۴-۳ آزمایش سختی سنجی ۹۵
۴-۳-۱ سختی سنجی ویکرز ۹۵
۴-۴ آزمایش‌های شبه‌استاتیکی ۹۶
۴-۴-۱ آزمایش کشش شبه‌استاتیکی ۹۶
۴-۴-۲ آزمایش فشار شبه‌استاتیکی ۹۸
۴-۴-۳ محاسبه‌ی ضرایب A، B و n مدل ماده‌ی جانسون-کوک از آزمایش‌های شبه استاتیکی ۹۹
۴-۵ آزمایش‌های فشار دینامیکی با دستگاه میله‌ی هاپکینسون فشاری ۱۰۱
۴-۵-۱ نحوه محاسبه کرنش از خروجی کرنش سنج‌ها ۱۰۱
۴-۵-۲ روش آزمایش ۱۰۵
۴-۵-۳ اعتبارسنجی و کالیبراسیون دستگاه هاپکینسون ۱۰۹
۴-۵-۴ تبدیل پالس‌های ولتاژ-زمان به منحنی تنش-کرنش ۱۱۱
۴-۵-۵ محاسبه‌ی ضریب C در مدل ماده‌ی جانسون-کوک ۱۱۳
۴-۵-۶ محاسبه‌ی ضریب m در مدل ماده‌ی جانسون-کوک ۱۱۶
۴-۶ آزمایش‌های ضربه‌ی تیلور ۱۱۸
۴-۶-۱ روش انجام آزمایش و شرح دستگاه ۱۱۸
۴-۶-۲ کالیبراسیون دستگاه آزمایش تیلور ۱۲۰
۴-۶-۳ نتایج آزمایش تیلور ۱۲۳

فصل پنجم: شبیه‌سازی آزمایش تیلور و بهینه‌سازی ۱۲۷

۵-۱ مقدمه ۱۲۸
۵-۲ مختصری پیرامون نرم‌افزار LS-DYNA ۱۲۹
۵-۳ مدل‌سازی اجزای محدود آزمایش تیلور ۱۳۰
۵-۳-۱ مدل ماده ۱۳۱
۵-۳-۲ المان‌ها ۱۳۲
۵-۳-۳ تماس‌ها ۱۳۴
۵-۳-۴ قیدها و شرایط اولیه ۱۳۴
۵-۳-۵ زمان حل ۱۳۴
۵-۳-۶ نوع حل ۱۳۴
۵-۳-۷ معادله‌ی حالت ۱۳۴
۵-۴ تعیین تابع هدف با استفاده از نتایج شبیه‌سازی آزمایش تیلور ۱۳۵
۵-۴-۱ مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی ۱۳۸
۵-۴-۲ الگوریتم ژنتیک ۱۳۹
۵-۴-۳ بهینه‌سازی ضرایب جانسون-کوک با الگوریتم ژنتیک ۱۴۱
۵-۵ اعتبارسنجی ضرایب به دست آمده از دو روش آزمایش تیلور و میله‌ی هاپکینسون ۱۴۳
۵-۶ بهینه‌سازی ضرایب C و M با تغییرات نرخ کرنش و دما ۱۴۶
۵-۷ پیش‌بینی روند تغییرات ضرایب C و M با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۵۰
۵-۷-۱ شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۵۱
۵-۷-۲ پیش‌بینی ضرایب C و m در نرخ کرنش‌ها و دماهای مختلف ۱۵۴
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۶۲
۶-۱ نتایج ۱۶۳
۶-۲ پیشنهادها برای آینده ۱۶۴
فهرست مراجع ۱۶۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱ سطح شکست نمونه فولاد زنگ نزن ۳۰۴L در نرخ‌های کرنش مختلف، (A): $۰/۰۰۰۱\ s^{-۱}$ و (B): $۱\ s^{-۱}$ ... ۴
شکل۱-۲ تغییر نمودار تنش-کرنش برای فلز bcc تنگستن در نرخ کرنش‌های مختلف ۵
شکل۱-۳ تغییر نمودار تنش-کرنش برای فلز fcc آلومینیوم در نرخ کرنش‌های مختلف ۵
شکل۱-۴ تغییرات نمودار تنش-کرنش با تغییر دما ۷
شکل۱-۵ نمودار تنش-کرنش با تغییر اندازه‌ی دانه برای آلومینیوم در نرخ کرنش ثابت $۱/s$ $۱۰^{-۴}$ ۸
شکل۱-۶ نمایی شماتیک از نمونه‌ی تحت فشار با شرایط اصطکاک غیرصفر به همراه پارامترهای هندسی نمونه ۱۱
شکل۱-۷ تغییرات تنش تسلیم نسبت به دما و نرخ کرنش برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴L ۱۳
شکل۱-۸ تغییرات تنش تسلیم نسبت به دما و نرخ کرنش برای نوعی فلز آلیاژی ۱۴
شکل۱-۹ منحنی تنش-کرنش آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ در نرخ کرنش ۱۳۰۰ برای دماهای مختلف آزمایش ۲۴
شکل۱-۱۰ منحنی تنش-کرنش آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ در نرخ کرنش ۲۴۰۰ برای دماهای مختلف آزمایش ۲۵
شکل۱-۱۱ منحنی تنش-کرنش آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ در نرخ کرنش ۳۱۰۰ برای دماهای مختلف آزمایش ۲۵
شکل۱-۱۲ منحنی تغییرات تنش بر حسب نرخ کرنش آلیاژ ۷۰۷۵ در کرنش ثابت ۰/۱ برای دماهای مختلف آزمایش ۲۶
شکل۱-۱۳ منحنی تغییرات تنش بر حسب دما آلیاژ ۷۰۷۵ در نرخ کرنش ثابت ۱۳۰۰ برای کرنش‌های مختلف آزمایش ۲۷
شکل۱-۱۴ منحنی تغییرات تنش بر حسب دما آلیاژ ۷۰۷۵ در نرخ کرنش ثابت ۲۴۰۰ برای کرنش‌های مختلف آزمایش ۲۸
شکل۱-۱۵ تصویری از شکست نمونه آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ در دمای $۲۰۰\ ^{o}C$ و نرخ کرنش $۳۱۰۰\ ۱/s$ ۲۸
شکل۲-۱ نمایی از دستگاه اینسترون 8503 ..... ۳۳
شکل۲-۲ دستگاه پرس STM-150 KN ۳۴
شکل۲-۳ تصویری از دستگاه فلاییینگ‌وج ۳۵
شکل۲-۴ نمایی از لغزنده‌ها و نمونه بسته شده به دستگاه ۳۶
شکل۲-۵ نمایی از دستگاه آزمایش ضربه و نمونه آزمایش ۳۸
شکل۲-۶ شکل تاثیر درجه حرارت بر روی انرژی شکست در فولاد کم‌کربن ۳۹
شکل۲-۷ نمایی از دستگاه آزمایش میله‌ی هاپکینسون فشاری ۴۰
شکل۲-۸ شکل نمایی شماتیک از دستگاه میله‌ی هاپکینسون فشاری ۴۱
شکل۲-۹ نمایی شماتیک از دستگاه آزمایش میله‌ی هاپکینسون کششی ۴۲
شکل۲-۱۰ اتصال نمونه به میله‌ها توسط رابط کششی نگه‌دارنده ۴۳
شکل۲-۱۱ نمونهٔ تخت و گیره‌های مربوط به آن ۴۴
شکل۲-۱۲ نمونهٔ دو سر رزوه همراه با رابط کششی نگه‌دارنده ۴۴

شکل۲-۱۳ نمایی از دستگاه آزمایش میله‌ی هاپکینسون کششی ۴۵
شکل۲-۱۴ نمایی شماتیک از دستگاه آزمایش میله‌ی هاپکینسون پیچشی ۴۶
شکل۲-۱۵ هندسه نمونه‌ی آزمایش میله‌ی هاپکینسون پیچشی ۴۶
شکل۲-۱۶ نمایی از دستگاه آزمایش میله‌ی هاپکینسون پیچشی ۴۶
شکل۲-۱۷ نمایی شماتیک از دستگاه آزمایش میله‌ی هاپکینسون برشی ۴۷
شکل۲-۱۸ نمای کلی از یک تفنگ گازی یک مرحله‌ای ۴۸
شکل۲-۱۹ نمایی از تفنگ گازی ساخته شده با ابعاد متوسط ۴۹
شکل۲-۲۰ مخزن تفنگ گازی ساخته شده ۵۰
شکل۲-۲۱ آبند جلویی مخزن به همراه پکینگ آن که کمی خورده شده است ۵۰
شکل۲-۲۲ اجزای مجموعه‌ی سابوت‌گیر تفنگ گازی ۵۰
شکل۲-۲۳ نمایی از صداخفه‌کن و نگه‌دارنده ضربه سابوت گیر ۵۱
شکل۲-۲۴ دستگاه ورقه انحراف برای اندازه‌گیری انحراف پرتابه ۵۱
شکل۲-۲۵ دستگاه سرعت‌سنج نوری ۵۱
شکل۲-۲۶ چگونگی بازشدن دیافراگم در تفنگ گازی با ابعاد بزرگ ۵۲
شکل۲-۲۷ ابعاد نمونه پیش و پس از آزمایش تیلور ۵۳
شکل۲-۲۸ دستگاه سیلان‌سنج بادامکی به همراه نمایش اجزای آن ۵۴
شکل۲-۲۹ نمایی شماتیک ا ز دستگاه چرخ طیار به همراه اجزای آن ۵۵
شکل۳-۱ نمایی شماتیک از دستگاه میله‌ی هاپکینسون فشاری ۵۹
شکل۳-۲ شکل موجهای ثبتشده از آزمایش میلهی فشاری هاپکینسون ۵۹
شکل۳-۳ میله‌ی فشار با المان جزئی dy پیش از تغییر شکل ۶۳
شکل۳-۴ المان دیفرانسیلی در فشار ۶۳
شکل۳-۵ نیروهای مقاوم در برابر فشار در المان دیفرانسیلی ۶۴
شکل۳-۶ شماتیک تغییر پله در مساحت و خواص ماده ۶۶
شکل۳-۷ شماتیکی از نمونه‌ی استوانه‌ای ۶۸
شکل۳-۸ پالس‌های ثبت‌شده در اثر اعمال پالس ورودی مستطیلی ۷۳
شکل۳-۹ پالس‌های ثبت‌شده در اثر اعمال پالس ورودی ذوزنقه‌ای ۷۴
شکل۳-۱۰ برخورد میله‌ی تیلور به مانع صلب ۷۷
شکل۳-۱۱ عبور موج الاستیک و بازگشت آن در مانع صلب ۷۸
شکل۳-۱۲ حرکت موج پلاستیک در مانع صلب ۷۹
شکل۳-۱۳ نمودار رابطه (۳-۴۹) ۸۰
شکل۳-۱۴ نمودار مربوط به محاسبه‌ی پارامتر هندسی H به صورت ترسیمی ۸۲
شکل۳-۱۵ شماتیکی از شکل نهایی تغییر شکل پلاستیک نمونه‌ها پس از برخورد به روش تیلور ۸۲
شکل۳-۱۶ حجم قسمت تغییر شکل یافته موردنظر ۸۳

شکل۳-۱۷ روند تغییر شکل، در مرحله تغییر شکل میانی برای زمان dt ۸۴
شکل۳-۱۸ شماتیکی از شکل نهایی تغییر شکل پلاستیک نمونه‌ها پس از برخورد به روش انرژی هوکیارد ۸۷
شکل۳-۱۹ مقایسه‌ی بین شکل پروفیل‌های به دست آمده از آزمایش(نقاط) و شبیه‌سازی(خطوط) برای استوانه‌های مس ETP، با استفاده از مدل‌های پلاستیسته مختلف و بدون اثر اصطکاک بین استوانه و هدف ۸۷
شکل۳-۲۰ مقایسه‌ی بین شکل پروفیل‌های به دست آمده از آزمایش(نقاط) و شبیه‌سازی(خطوط) برای استوانه‌های مس ETP، با استفاده از مدل‌های پلاستیسته مختلف، همراه با اثر اصطکاک بین استوانه و هدف ۸۸
شکل۳-۲۱ ابعاد هندسی استفاده شده برای مقایسه‌ی پروفیل نمونه‌های به دست آمده از آزمایش تیلور ۸۹
شکل۴-۱ نمونه‌ی آلومینیومی ساخته شده، برای آزمایش کشش شبه‌استاتیکی. ۹۴
شکل۴-۲ نمونه‌ی آلومینیومی ساخته شده، برای آزمایش‌های فشار به همراه رابط فشاری فولادی برای آزمایش‌های دینامیکی ۹۴
شکل۴-۳ پرتابه‌ی آلومینیومی ساخته شده، برای آزمایش تیلور ۹۵
شکل۴-۴ نمونه‌های کشش استاتیکی با طول مقیاس ۵۰mm و نرخ کرنش تقریبی ۰/۰۰۱، الف) قبل از آزمایش. ب) بعد از آزمایش ۹۷
شکل۴-۵ نمودارهای تنش-کرنش حقیقی برای سه نمونه کشش استاتیکی آلومینیومی با نرخ کرنش تقریبی ۰/۰۰۱، با کاربرد ازدیادطول‌سنج ۹۸
شکل۴-۶ نمونه‌های تغییرشکل یافته به دست آمده از آزمایش فشار استاتیکی. ۹۹
شکل۴-۷ نمودار تنش-کرنش حقیقی برای نمونه آزمایش فشار استاتیکی. ۹۹
شکل۴-۸ سرعت‌سنج نوری دستگاه هاپکینسون ۱۰۱
شکل۴-۹ نمونه‌ی آزمایش فشاری، قرار گرفته بین میله‌های دستگاه هاپکینسون ۱۰۲
شکل۴-۱۰ الف) نمایی از کرنش‌سنج نصب شده روی میله‌ی هاپکینسون. ب) آمپلی‌فایر مورد استفاده در دستگاه هاپکینسون ۱۰۲
شکل۴-۱۱ اسیلوسکوپ استفاده شده در تحلیل پالس‌های ولتاژ ۱۰۳
شکل۴-۱۲ نمای شماتیک مدار پل ویتستون ۱۰۳
شکل۴-۱۳ نمونه‌های آزمایش فشار دینامیکی در دمای اتاق و سرعت‌های مختلف ۱۰۶
شکل۴-۱۴ نمونه‌های آزمایش فشار دینامیکی در سرعت ثابت و دماهای متفاوت ۱۰۶
شکل۴-۱۵ شکست دینامیکی نمونه در صفحه‌ی برش ماکزیمم ۱۰۶
شکل۴-۱۶ پالس‌های ایجاد شده در میله‌های ورودی و خروجی در فشار ۱۰bar و نرخ کرنش $۴۸۳/۴۴\ s^{-1}$ ۱۰۸
شکل۴-۱۷ پالس های ایجاد شده در میله‌های ورودی و خروجی در فشار ۲۵bar و نرخ کرنش $۸۰۲/۷۲\ s^{-1}$ ۱۰۸
شکل۴-۱۸ پالس های ایجاد شده در میله‌های ورودی و خروجی در فشار ۵۰bar و نرخ کرنش $۱۱۷۲/۱۸\ s^{-1}$ ۱۰۹
شکل۴-۱۹ پالس‌های ولتاژ-زمان میله‌ها در حالت بدون نمونه. ۱۱۰
شکل۴-۲۰ پالس‌های تنش-زمان میله‌ها در حالت بدون نمونه. ۱۱۱
شکل۴-۲۱ نمودار تنش کرنش دینامیکی برای شرایط آزمایشی P= ۱۰bar و نرخ کرنش $۴۸۳/۴۴\ s^{-1}$ ۱۱۲
شکل۴-۲۲ نمودار تنش کرنش دینامیکی برای شرایط آزمایشی P=۲۵bar و نرخ کرنش $۸۰۲/۷۲\ s^{-1}$ ۱۱۲

شکل۴-۲۳ نمودار تنش کرنش دینامیکی برای شرایط آزمایشی P=۵۰bar و نرخ کرنش $۱۱۷۲/۱۸\ s^{-۱}$.....۱۱۳
شکل۴-۲۴ نمودارهای برازش شده به قسمت پلاستیک نمودار تنش کرنش در نرخ کرنش‌های مختلف.....۱۱۴
شکل۴-۲۵ ضرایب C به دست آمده از روش اول.....۱۱۵
شکل۴-۲۶ ضرایب C به دست آمده از روش دوم و با لحاظ کردن میانگین تنش.....۱۱۶
شکل۴-۲۷ ضرایب m به دست آمده از روش اول ۱۱۷
شکل۴-۲۸ ضرایب m به دست آمده از روش دوم و با لحاظ کردن میانگین تنش ۱۱۷
شکل۴-۲۹ صفحه‌ی فولادی هدف استفاده شده در آزمایش تیلور با سختی ۶۳ راکول C.....۱۱۸
شکل۴-۳۰ قاب نگه‌دارنده‌ی صفحه‌ی هدف ۱۱۹
شکل۴-۳۱ مجموعه‌ی هدف، قاب و پایه‌ی نگه دارنده.....۱۱۹
شکل۴-۳۲ نمونه‌های آزمایش کالیبراسیون با جرم‌های مختلف الف) AL-2.13gr ب) AL-3.17gr پ) AL-4.57gr ت) AL-5.87gr ث) AL-7.45gr ج) Teflon-1.4gr، چ) FE-9.61gr ح) FE-11.1gr خ) FE-13.24gr د) FE-14.76gr ذ) FE-16.22gr ۱۲۱
شکل۴-۳۳ منحنی تغییرات سرعت - فشار گلوله ها برای جرم های مختلف به کمک برازش داده ها در متلب ۱۲۲
شکل۴-۳۴ منحنی تغییرات سرعت - جرم گلوله ها برای فشار های مختلف به کمک برازش نهایی در متلب.....۱۲۲
شکل۴-۳۵ نتایج به دست آمده برای سرعت‌های مختلف در دمای اتاق.....۱۲۳
شکل۴-۳۶ نتایج به دست آمده برای سرعت‌های مختلف در دمای ۱۲۴°C.....۱۲۴
شکل۴-۳۷ نتایج به دست آمده برای سرعت‌های مختلف در دمای ۲۱۶°C.....۱۲۴
شکل۴-۳۸ نتایج به دست آمده برای مدل خرابی با سرعت‌های مختلف در دمای اتاق.....۱۲۴
شکل۴-۳۹ نتایج به دست آمده برای مدل خرابی با سرعت‌های مختلف در دمای ۱۲۴°C ازدو نمای متفاوت.....۱۲۵
شکل۴-۴۰ نتایج به دست آمده برای مدل خرابی با سرعت‌های مختلف در دمای ۲۱۶°C.....۱۲۵
شکل۴-۴۱ مقایسه دسته جمعی نمونه های آزمایش تیلور در دما و نرخ های کرنش متفاوت.....۱۲۶
شکل۴-۴۲ نمای دیگری از نمونه های آزمایش تیلور در دما و نرخ های کرنش متفاوت.....۱۲۶
شکل۵-۱ پرتابه‌ی تیلور مدل شده به‌صورت متقارن‌محوری با اندازه المان ۰/۱mm الف) قبل از تغییرشکل. ب) بعد از تغییرشکل.....۱۳۱
شکل۵-۲ نمایی از مدل سه‌بعدی پرتابه‌ی تیلور بعد از برخورد به هدف با اندازه‌ی المان ۰/۵mm.....۱۳۱
شکل۵-۳ روند همگرایی پاسخ‌های شبیه‌سازی براساس تعداد المان‌های شبیه‌سازی برای نسبت قطرها.....۱۳۳
شکل۵-۴ روند همگرایی پاسخ‌های شبیه‌سازی براساس تعداد المان‌های شبیه‌سازی برای نسبت طول‌ها.....۱۳۳
شکل۵-۵ تقاطع تک نقطه‌ای.....۱۴۰
شکل۵-۶ تقاطع دو نقطه‌ای ۱۴۰
شکل۵-۷ تقاطع دو نقطه‌ای.....۱۴۱
شکل۵-۸ روند همگرایی الگوریتم ژنتیک برای ۲۵۰۰۰ نسل.....۱۴۲
شکل۵-۹ روند همگرایی الگوریتم ژنتیک برای ۵۰۰۰۰ نسل.....۱۴۲

شکل۵-۱۰ مقایسه‌ی پروفیل نهایی نمونه‌ی تیلور در شبیه‌سازی‌ها و آزمایش تجربی برای سرعت ۳۲۸/۶ m/s در دمای اتاق..... ۱۴۵
شکل۵-۱۱ مقایسه‌ی پروفیل نهایی نمونه‌ی تیلور در شبیه‌سازی‌ها و آزمایش تجربی برای سرعت ۳۲۵/۸ m/s در دمای ۱۲۴°C ۱۴۶
شکل۵-۱۲ مقایسه‌ی پروفیل نهایی نمونه‌ی تیلور در شبیه‌سازی‌ها و آزمایش تجربی برای سرعت ۳۱۸/۹ m/s در دمای ۲۱۶°C ۱۴۶
شکل۵-۱۳ رسم تابع هدف به دست آمده از نمونه‌ی ۵ در جدول۵-۱۲، با یک نقطه‌ی کمینه‌ی مطلق. الف) رویه‌ی سه‌بعدی. ب) کانتور دو بعدی به مختصات C و m..... ۱۴۸
شکل۵-۱۴ رسم تابع هدف به دست آمده از نمونه‌ی ۳ در جدول۵-۱۲، با یک مرز کمینه. الف) رویه‌ی سه‌بعدی. ب) کانتور دو بعدی به مختصات C و m..... ۱۴۸
شکل۵-۱۵ رسم تابع هدف به دست آمده از نمونه‌ی ۱ در جدول۵-۱۲، با دو مرز کمینه. الف) رویه‌ی سه‌بعدی. ب) کانتور دو بعدی به مختصات C و m..... ۱۴۸
شکل۵-۱۶ تغییرات ضریب C بهینه شده برحسب نرخ کرنش در دماهای مختلف آزمایش ۱۵۰
شکل۵-۱۷ تغییرات ضریب m بهینه شده برحسب دما در نرخ کرنش‌های مختلف آزمایش ۱۵۰
شکل۵-۱۸ روند آموزش شبکه‌ی عصبی بوسیله الگوریتم لیونبرگ- مارکوارت تا هشتمین تکرار برای تخمین ضریب C ۱۵۶
شکل۵-۱۹ روند آموزش شبکه‌ی عصبی بوسیله الگوریتم لیونبرگ- مارکوارت تا دهمین تکرار برای تخمین ضریب m ۱۵۶
شکل۵-۲۰ مقایسه‌ی تغییرات ضریب C برحسب نرخ کرنش، به دست آمده از شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک در دمای اتاق..... ۱۵۹
شکل۵-۲۱ مقایسه‌ی تغییرات ضریب C برحسب نرخ کرنش، به دست آمده از شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک در دمای ۱۲۴ °C..... ۱۵۹
شکل۵-۲۲ مقایسه‌ی تغییرات ضریب C برحسب نرخ کرنش، به دست آمده از شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک در دمای ۲۱۶ °C..... ۱۶۰
شکل۵-۲۳ مقایسه‌ی تغییرات ضریب m برحسب دما، به دست آمده از شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک در نرخ کرنش ۱۰۶۸۱/۸۲ ..... ۱۶۰
شکل۵-۲۴ مقایسه‌ی تغییرات ضریب m برحسب دما، به دست آمده از شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک در نرخ کرنش ۱۱۸۱۸/۱۸..... ۱۶۱
شکل۵-۲۵ مقایسه‌ی تغییرات ضریب m برحسب دما، به دست آمده از شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک در نرخ کرنش ۱۳۶۳۶/۳۶..... ۱۶۱
شکل۵-۲۶ مقایسه‌ی تغییرات ضریب m برحسب دما، به دست آمده از شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک در نرخ کرنش ۱۴۷۷۲/۷۳ ..... ۱۶۱
شکل۶-۱ نمایی از آزمایش تیلور که قطعه دچار خرابی شده است ۱۶۴

شکل۶-۲ نمایی از مدل ایجاد شده در نرم افزار AUTODYN ۱۶۵
شکل۶-۳ نمایی از مدل مش بندی شده نمونه و هدف ۱۶۵
شکل۶-۴ خواص مکانیکی مدل ماده‌ی جانسون-کوک برای نمونه ۱۶۶
شکل۶-۵ جدول مدل خرابی برای نمونه ۱۶۶
شکل۶-۶ دو نما از توزیع میزان خرابی در نمونه ۱۶۷
شکل۶-۷ نمودار توزیع تنش معادل (فون مایزز) در نمونه ۱۶۷
شکل۶-۸ نمودار توزیع کرنش معادل در نمونه ۱۶۸
شکل۶-۹ نمودار توزیع دما در نمونه ۱۶۸
شکل۶-۱۰مقایسه شکل یک نمونه از آزمایش و شبیه سازی ۱۶۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱ نتایج به دست آمده توسط جانسون و کوک ۱۵
جدول۱-۲ ضرایب معادلهٔ ووجانگ کانگ و هون‌ها برای ورق‌های فلزی ۱۶
جدول۲-۱ طبقه‌بندی انواع نرخ کرنش..... ۳۱
جدول۴-۱ ترکیب شیمیایی نمونه‌ی آلومینیومی مورد آزمایش بر حسب درصد وزنی عناصر آن ۹۳
جدول۴-۲ جدول نتایج آزمون سختی سنجی ویکرز برای نمونه آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵..... ۹۵
جدول۴-۳ مقادیر تنش تسلیم، ضریب الاستیسیته، تنش نهایی، کرنش شکست و ضرایب کرنش سختی برای سه نمونه کشش استاتیکی آلومینیومی با نرخ کرنش تقریبی ۰/۰۰۱..... ۹۸
جدول۴-۴ ضرایب به دست آمده از آزمایش کشش و فشار شبه استاتیکی ۱۰۰
جدول۴-۵ تعداد تکرار آزمایش‌های فشار دینامیکی انجام گرفته با هاپکینسون..... ۱۰۵
جدول۴-۶ مقایسه‌ی مقادیر تنش کالیبراسیون به دست آمده از پالس‌های تنش-زمان و رابطه‌ی تئوری ۱۱۱
جدول۴-۷ داده‌های برازش شده‌ی مورد نیاز برای محاسبه‌ی ضریب C..... ۱۱۴
جدول۴-۸ ضرایب نهایی به دست آمده برای مدل ماده جانسون-کوک از راه آزمایش..... ۱۱۸
جدول۴-۹ برخی از تکرارهای آزمایش تیلور در دماهای مختلف..... ۱۲۰
جدول۴-۱۰ نتایج سرعت‌های به دست آمده از شلیک پرتابه ها با وزن‌های مختلف ۱۲۱
جدول۴-۱۱ نتایج بررسی تکرارپذیری برای سه جرم مختلف در فشار ۵۰bar..... ۱۲۳
جدول۵-۱ مشخصات کلی اعمال شده در مرحله پیش پردازش برای مدل‌سازی فرآیند..... ۱۳۰
جدول۵-۲ خواص مورد استفاده برای هدف درکارت مدل ماده شماره ۲۰..... ۱۳۲
جدول۵-۳ ضرایب معادله‌ی حالت گرونیزن برای آلومینیوم ۷۰۷۵-T۶ ..... ۱۳۵
جدول۵-۴ ضرایب مورد استفاده برای مدل جانسون-کوک در ۲۱ شبیه‌سازی ۱۳۷
جدول۵-۵ محدوده‌ی ضرایب جانسون-کوک به کار رفته در ۲۱ شبیه‌سازی..... ۱۳۸
جدول۵-۶ نتایج به دست آمده برای ضرایب بهینه کد الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار فرترن..... ۱۴۳
جدول۵-۷ ضرایب نهایی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک برای معادله‌ی جانسون-کوک..... ۱۴۳
جدول۵-۸ مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از دو روش تجربی و بهینه‌سازی..... ۱۴۴
جدول۵-۹ مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی‌ها بر اساس دو روش هاپکینسون و تیلور با آزمایش تجربی..... ۱۴۵
جدول۵-۱۰ محدوده‌ی ضرایب C و m به کار رفته در ۶ شبیه‌سازی..... ۱۴۷
جدول۵-۱۱ ضرایب مورد استفاده برای مدل جانسون-کوک در ۶ شبیه‌سازی ۱۴۷
جدول۵-۱۲ مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی‌ها بر اساس ضرایب C و m بهینه‌ی جدید، با آزمایش تجربی ۱۴۹
جدول۵-۱۳ تعدادی از الگوریتم‌های آموزشی موجود در ابزار شبکه عصبی نرم افزار MATLAB..... ۱۵۴
جدول۵-۱۴ مقایسه‌ی داده‌های خروجی به دست آمده از شبکه به ازای مقادیر ورودی آموزش و تست، با مقادیر خروجی واقعی به دست آمده از الگوریتم ژنتیک برای ضریب C..... ۱۵۷

جدول۵-۱۵ مقایسه‌ی داده‌های خروجی به دست آمده از شبکه به ازای مقادیر ورودی آموزش و تست، با مقادیر خروجی واقعی به دست آمده از الگوریتم ژنتیک برای ضریب m ۱۵۷
جدول۵-۱۶ وزن‌های نهایی محاسبه شده توسط الگوریتم لیونبرگ-مارکوارت برای تخمین ضریب C و m ۱۵۸

فصل اول:

مقدمه ای بر رفتار دینامیکی مواد در نرخ کرنش بالا