به نام خداوند بخشنده و مهربان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

بررسی الگوی اولیه شبکه در مسائل با تغییر شکلهای بزرگ با استفاده از روش اجزاء محدود ALE

توسط:

علی اصغر عسگری

استاد راهنما:

آقای دکتر علی نایبی

بهمن ماه 1391

اظهارنامه

اینجانب **علی اصغر عسگری (880816)** دانشجوی رشته‌ی **مهندسی مکانیک** دانشکده‌ی **مهندسی مکانیک**، اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به محقق و دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: علی اصغر عسگری

تاریخ و امضا:

به نام خدا

بررسی الگوی اولیه شبکه در مسائل با تغییر شکلهای بزرگ با استفاده از روش اجزاء محدود ALE

به وسیله‌ی:

علی اصغر عسگری

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: عالی

دکتر علی نایبی، دانشیار مهندسی مکانیک (رئیس کمیته) .....

دکتر مجتبی محزون، دانشیار مهندسی مکانیک.....

دکتر سید احمد فاضل زاده حقیقی، استاد مهندسی مکانیک.....

بهمن ماه 1391

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

از زحمات اساتید راهنما و مشاور خود آقایان دکتر علی نایبی، دکتر مجتبی محزون، دکتر سید احمد فاضل زاده حقیقی که در تمام مراحل انجام این پایان نامه، حقیر را یاری نمودند کمال امتنان را دارم.

چکیده

بررسی الگوی اولیه شبکه در مسائل با تغییر شکلهای بزرگ با استفاده از روش اجزاء محدود ALE

به وسیله‌ی:

علی اصغر عسگری

یکی از مهمترین ملاحظات لازم در شبیه سازی المان محدود مسائل مکانیک جامدات غیر خطی مدیریت شبکه محاسباتی و استفاده از دیدگاه‌های سینماتیکی مناسب برای فرمولبندی مسئله است. در این تحقیق فرایندهای اکستروژن معکوس و اکستروژن مستقیم- معکوس- شعاعی آلومینیوم توسط روش المان محدود شبیه‌سازی شده‌اند. با توجه به تغییر شکلهای بزرگ قطعه در این فرآیندها و ناکارآمدی دیدگاه لاگرانژی در شبیه‌سازی اینگونه مسائل، دیدگاه لاگرانژ-اویلر دلخواه برای فرآیند اکستروژن معکوس و دیدگاه اویلری برای فرایند اکستروژن مستقیم-معکوس-شعاعی به کار گرفته شده است. نرم افزار آباکوس برای شبیه‌سازی المان محدود استفاده شد. برای حل معادلات حاکم کوپله بر این مسائل در دو دیدگاه لاگرانژ-اویلر دلخواه و اویلری، روش جداسازی عملگرها اتخاذ شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های المان محدود بر حسب نیروی شکل دهی و هندسه محصول نهایی جهت اعتبار سنجی با نتایج تجربی مقایسه شده اند. با مقایسه انجام شده انطباق مناسبی بین این نتایج دیده می‌شود که این قابلیت دیدگاه‌های لاگرانژ-اویلر دلخواه و اویلری را در شبیه سازی المان محدود فرآیند اکستروژن نمایان می‌سازد.

فهرست مطالب

فصل اول 1

1-1 پیشگفتار 2

1-2 هدف از انجام پایان نامه 6

1-3 ساختار پایان نامه 6

فصل دوم 7

2-1 روش لاگرانژ-اویلر دلخواه 8

فصل سوم 17

3-1 سیستمهای مختصات 18

3-2 مشتق زمانی یک تابع 20

3-3 تعریف های کرنش 22

3-4 تعاریف تنش 26

3-5 معادلات اجزاء محدود 27

3-6 معادله متشکله برای هایپوالاستوپلاستیک ALE 30

3-7 روش Operator-Split 33

3-7-1 مرحله لاگرانژی به هنگام رسانی شده 33

2-7-3 مرحله اویلری 34
8-3 روشهای حرکت شبکه 34
1-8-3 روش میانگین 35
2-8-3 روش گرادیان 38
3-8-3 روش مرکب 40
9-3 ارزیابی اعوجاج 40
10-3 انتقال متغیرهای حالت 41
فصل چهارم 44
1-4 مقدمه 45
2-4 مدل سازی فرآیند اکستروژن معکوس توسط روش اجزاء محدود ALE 46
3-4 مطالعه شبکه 62
4-4 مدل سازی فرآیند اکستروژن مستقیم- معکوس-شعاعی توسط روش اجزاء محدود اویلری 64
فصل پنجم 75
1-5 جمع بندی 76
2-5 پیشنهادات 77
فهرست منابع 79

فهرست جداول

جدول 4- 1: مشخصات هندسی قطعه کار، قالب و پانچ در اکستروژن معکوس [30] ... 47

جدول 4- 2: پارامترهای مربوط به فرآیند اکستروژن معکوس با پانچ های با قطر مختلف 53

جدول 4- 3: حداکثر اختلاف بین نیروی اکستروژن حاصل از نتایج آزمایشگاهی و ALE 59

جدول 4- 4: حداکثر اختلاف بین پروفیل های آزمایشگاهی و ALE 61

جدول 4- 5: مشخصات هندسی قالب در فرآیند اکستروژن مستقیم- معکوس- شعاعی[33] 67

جدول 4- 6: مشخصات هندسی قطعه کار و پانچ در فرآیند مستقیم- معکوس- شعاعی[33] 67

فهرست شکل ها

شکل 1- 1: شبیه سازی لاگرانژی فرایند اکستروژن [2] 3

شکل 1- 2: شبیه سازی اویلری پر شدن ماده درون قالب [2].....4

شکل 1- 3: شبیه سازی فرایند پانچ [2] 5

شکل 2- 1: پیش بینی الگوی خطوط تسلیم در ورق ها (الف) شبکه درشت با حل لاگرنژی (ب) شبکه ریز با حل لاگرانژی (ج) شبکه درشت با حل ALE [20].....10

شکل 2- 2: مدلسازی فرایند فشردن ورق فولادی (الف) وضعیت اولیه،(ب) حل لاگرانژی (ج) حل ALE[24].....11

شکل 2- 3: شبیه سازی فرایند تراشکاری توسط روش کوپل کامل ALE [24].....12

شکل 2- 4: تغییر شکل قطعه در مراحل مختلف فرآیند اکستروژن مستقیم-معکوس [6].....13

شکل 2- 5: مدل متقارن محوری و توزیع کرنش پلاستیک معادل در قطعه اکسترود شده به روش اویلری[2].....14

شکل 2- 6: شبیه سازی فرآیند فورج با روش ALE: (الف) وضعیت اولیه شبیه سازی (ب) جابجایی پانچ به میزان 11 میلی متر [2].....15

شکل 2- 7: تغییر شکل شبکه و توزیع کرنش با جابجایی پانچ به میزان نصف شعاع پانچ در حل: (a) لاگرانژی به هنگام رسانی شده و (b) ALE [25].....16

شکل 2- 8: تغییر شکل شبکه و توزیع کرنش با جابجایی پانچ به میزان شعاع پانچ در حل ALE [25].....16

شکل 3- 1: حرکت مستقل شبکه ALE از ماده[26] 20

شکل 3- 2: گرادیان تغییر فرم F[2] 23

شکل 3- 3: تنش روی چهار وجهی[2] 26

شکل 3- 4: سطح تسلیم فون میسز[27] 32

شکل 3- 5: نوع گره ها از نظر موقعیت قرارگیری در المانها[28] 35

شکل 3- 6: گره واقع بر لبه المان[28] 36

شکل 3- 7: تعریف منحنی درجه دو توسط گره ها[28] 37

شکل 3- 8: نگاشت مجدد یک توزیع خطی تکه ای در یک بعد. (الف) توزیع خطی تکه ای با مقدار میانگین و میانگین گرادیان برای المان $\boldsymbol{i}$ (ب) توزیع ناپیوسته در المان با مرکز $\boldsymbol{xi}$ (ج) توزیع خطی تکه ای جدید تشکیل شده توسط تقریب حداقل مربعات [29] 42

شکل4- 1: نمودار تنش-کرنش ماده استفاده شده برای آنالیز المان محدود [30] 47

شکل4- 2: مدل 2 بعدی متقارن محوری مونتاژ شده اکستروژن معکوس 48

شکل4- 3: شبکه بندی قطعه 49

شکل4- 4: تغییر شکل قطعه با جابجایی پانچ به میزان 3 میلی متر 50

شکل4- 5: تغییر شکل قطعه با جابجایی پانچ به میزان 10 میلی متر 51

شکل4- 6: تغییر شکل قطعه با جابجایی پانچ به میزان 15 میلی متر 52

شکل4- 7: مقایسه نیروی پانچ حاصل از شبیه سازی ALE و نتایج آزمایشگاهی 53

شکل4- 8: مقایسه کانتور کرنش پلاستیک معادل حاصل از روش ALE با مرجع [32] 54

شکل4- 9: کانتور کرنش پلاستیک معادل حاصل از روش ALE برای پانچ با قطر: (الف) 12میلی متر (ب) 14میلی متر (ج) 16میلی متر 56

شکل4- 10: مقایسه نیروی شکل دهی حاصل از روش ALE با مرجع[32] برای پانچ با قطر 10 میلیمتر 57

شکل4- 11: مقایسه نیروی شکل دهی حاصل از روش ALE با مرجع[32] برای پانچ با قطر 12 میلیمتر 57

شکل4- 12: مقایسه نیروی شکل دهی حاصل از روش ALE با مرجع[32] برای پانچ با قطر 14 میلیمتر 58

شکل4- 13: مقایسه نیروی شکل دهی حاصل از روش ALE با مرجع[32] برای پانچ با قطر 16 میلیمتر..... 58

شکل4- 14: پروفیل سطح آزاد محصول در انتهای آنالیز 59

شکل4- 15: مقایسه پروفیل سطح آزاد قطعه برای پانچ با قطر 10 میلیمتر..... 60

شکل4- 16: مقایسه پروفیل سطح آزاد قطعه برای پانچ با قطر 12 میلیمتر..... 60

شکل4- 17: مقایسه پروفیل سطح آزاد قطعه برای پانچ با قطر 14 میلیمتر..... 61

شکل4- 18: مقایسه پروفیل سطح آزاد قطعه برای پانچ با قطر 16 میلیمتر..... 61

شکل4- 19: مقایسه نیروی اکستروژن حاصل از دو شبکه بندی متفاوت برای پانچ با قطر 10 میلیمتر 62

شکل4- 20: مقایسه نیروی اکستروژن حاصل از دو شبکه بندی متفاوت برای پانچ با قطر 12 میلیمتر 63

شکل4- 21: مقایسه نیروی اکستروژن حاصل از دو شبکه بندی متفاوت برای پانچ با قطر 14 میلیمتر 63

شکل4- 22: مقایسه نیروی اکستروژن حاصل از دو شبکه بندی متفاوت برای پانچ با قطر 16 میلیمتر 64

شکل4- 23: نمای شماتیک اکستروژن مستقیم-معکوس-شعاعی 65

شکل4- 24: نمودار تنش-کرنش ماده استفاده شده برای آنالیز المان محدود[33] 66

شکل4- 25: مقطع عرضی قالب در فرآیند اکستروژن مستقیم- معکوس-شعاعی 67

شکل4- 26: مدل مونتاژ شده شامل قطعه، قالب و پانچ 68

شکل4- 27: شبکه بندی فضای اطراف مجموعه در شبیه سازی اویلری 69

شکل4- 28: نمای برش خورده از شبکه بندی فضای اطراف مجموعه در شبیه سازی اویلری 69

شکل4- 29: تغییر شکل قطعه با درز قالب 2 میلی متری با جابجایی پانچ به میزان 7.5 میلی متر 70

شکل4- 30: تغییر شکل قطعه با درز قالب 2 میلی متری با جابجایی پانچ به میزان 15 میلی متر 70

شکل4- 31: تغییر شکل قطعه با درز قالب 4 میلی متری با جابجایی پانچ به میزان 7.5 میلی متر 71

شکل4- 32: تغییر شکل قطعه با درز قالب 4 میلی متری با جابجایی پانچ به میزان 15 میلی متر 71

شکل4- 33: مقایسه نیروی پانچ حاصل از شبیه سازی اویلری و لاگرانژی با نتایج تجربی 72

شکل4- 34: اعوجاج المانها در حل لاگرانژی[33] 73

شکل4- 35: تاثیر درز قالب بر نیروی اکستروژن 74

شکل4- 36: تاثیر درز قالب بر جریان ماده 74

فصل اول

مقدمه

1-1 پیشگفتار

شبیه سازی اجزای محدود[1] مسائل چند بعدی در مکانیک سیالات و مکانیک جامدات غیر خطی اغلب نیازمند بررسی اعوجاج شدید مسئله مورد نظر است. یکی از مهمترین ملاحظات لازم برای بررسی چنین مسائلی به کارگیری دیدگاه سینماتیکی مناسب نسبت به مسئله است.

الگوریتم های اجزاء محدود در مورد توصیف حرکت ماده از دو دیدگاه لاگرانژی[2] و اویلری[3] قابل بررسی است. الگوریتم لاگرانژ که در آن هر گره از شبکه همراه با ذره مادی حرکت می کند، اغلب در مکانیک جامدات استفاده می شود. دیدگاه لاگرانژی مناسب برای توصیف حرکت ماده با سطح آزاد و برهم کنش سطوح مواد می باشد. همچنین این دیدگاه برای موادی با معادله متشکله وابسته به تاریخچه مناسب می باشد. ضعف این دیدگاه زمانی پدیدار می شود که ماده دچار تغییر شکل بزرگ می شود که این باعث اعوجاج المان ها و در نتیجه منجر به ایجاد خطا در جواب ها یا توقف حل مسئله به دلیل منفی شدن دترمینان ماتریس ژاکوبین می شود. یک راه حل موجود برای حل این مشکل بازسازی شبکه توسط شبکه بندی مجدد محدوده محاسباتی و انتقال متغیرهای حالت از شبکه بندی قدیم به شبکه بندی جدید با یک

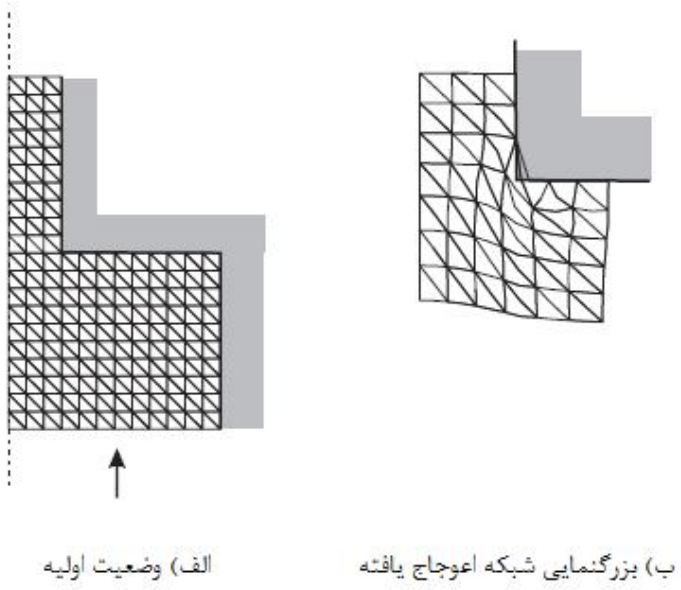
---

[1] Finite elements

[2] Lagrangian description

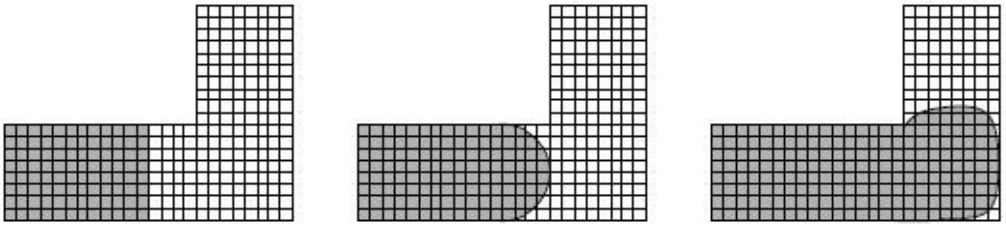
[3] Eulerian description

توپولوژی متفاوت است که در بسیاری از مسائل با تغییر شکلهای بزرگ، این کار فرایند وقت گیر و پر هزینه ای است [1]. برای مثال، در شکل 1-1 در شبیه سازی فرایند اکستروژن با زاویه قالب تیز المانها در خروجی قالب اعوجاج پیدا کرده اند. بنابرین برای ادامه محاسبات نیاز به یک شبکه بندی مجدد مسئله وجود خواهد داشت.



شکل 1- 1: شبیه سازی لاگرانژی فرایند اکستروژن [2]

الگوریتم اویلر بیشتر در مسائل مکانیک سیالات استفاده می شود. در این الگوریتم المان ها ثابت هستند و ماده از درون آنها حرکت می کند (شکل 1-2 را ببینید). بنابراین المان های اویلری در تغییر شکل های بزرگ دچار اعوجاج نمی شوند. اما مهمترین اشکال روش اویلری این است که رفتار موادی که پاسخ آنها وابسته به تاریخچه بارگذاری هستند در این روش به نحو مناسب مدل نمی شوند[1]. از طرفی مدلسازی حرکت مرزهای جسم توسط المان اویلری مشکل است.



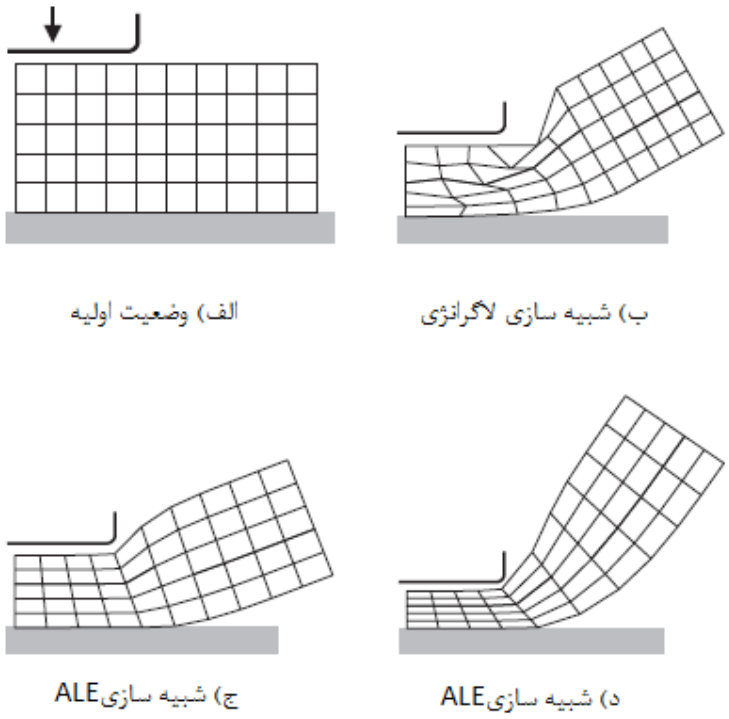
شکل 1- 2: شبیه سازی اویلری پر شدن ماده درون قالب [2]

در مسایلی که هم تغییر شکلهای بزرگ و هم حرکت آزاد مرزهای جسم وجود دارد روشهای لاگرانژی و اویلری ممکن است به تنهایی قادر به حل مناسب مسئله نباشند. به خاطر محدودیت ها و معایب روشهای لاگرانژی محض و اویلری محض، روشی که از جنبه های مثبت این روش ها استفاده می کند معرفی شده است. این روش به نام روش لاگرانژ- اویلر دلخواه[1] شناخته می شود(ALE) . در بیان ALE ، شبکه ها می توانند به صورت لاگرانژی حرکت داده شوند یا مطابق با دیدگاه اویلری ثابت نگه داشته شوند و یا به صورت دلخواه حرکت داده شوند [1].

فرمولبندی ALE قادر به کاهش اعوجاج شبکه در حین بیان دقیق مرزها می باشد (شکل 1-3). از آنجاییکه حرکتهای ماده و شبکه در این فرمولبندی مستقل از یکدیگر می باشند، یک جمله انتقالی در معادلات مومنتوم ظاهر می شود که در معادلات تعادل تعداد مجهولات دو برابر تعداد معادلات خواهد بود. برای حل این مسئله روش Operator-Split برای ALE معرفی شده است که در آن هر گام زمانی به دو مرحله تقسیم می شود: (الف) مرحله لاگرانژی به هنگام رسانی شده (Updated Lagrangian(UL) Step) و (ب) مرحله اویلری(Eulerian Step). ابتدا، در مرحله UL، شبکه همراه با ماده حرکت می کند (هیچ جمله انتقالی در معادلات وجود ندارد) و معادله تعادل حل می شود. پس از آن، مرحله اویلری

[1] Arbitrary Lagrangian - Eulerian

انجام می شود که در آن شبکه جابجا شده و متغیرهای حالت از شبکه UL به شبکه جابجا شده منتقل می شوند. آنالیز در گام زمانی بعدی در جاییکه عملگر ALE دوباره به دو مرحله تقسیم شده ادامه می یابد.



شکل 1- 3: شبیه سازی فرایند پانچ [2]

با وجود قدرت روش ALE در شبیه‌سازی المان محدود مسائل با تغییرشکلهای بزرگ، مواردی، به خصوص در شکل‌دهی فلزات، وجود دارند که به دلیل وجود گرادیانهای شدید تغییرشکل و شدت اعوجاج المانها این روش قادر به بهبود شبکه محاسباتی و تکمیل شبیه سازی مسئله نمی‌باشد. از اینرو، در اینگونه مسائل از روش لاگرانژی با شبکه‌بندی‌های مجدد و یا روش اویلری که در آن اعوجاج شبکه مطرح نمی‌باشد استفاده می‌شود.

2-1 هدف از انجام پایان نامه

همانطور که بیان شد، بررسی دقیق و صحیح مسائل با تغییر شکلهای بزرگ با روش المانهای محدود وابستگی شدید به اتخاذ دیدگاه سینماتیکی مناسب نسبت به مسئله مورد نظر دارد و استفاده از روشهای نامناسب منجر به بروز خطاهای محاسباتی و یا متوقف شدن حل مسئله شده و یا در صورت به جواب رسیدن هزینه های محاسباتی زیادی را تحمیل می کنند. از این رو در این پایان نامه سعی شده است به بررسی مسائلی پرداخته شود که شبیه سازی آنها توسط روش المانهای محدود اهمیت انتخاب دیدگاههای سینماتیکی مناسب، اعم از لاگرانژی، اویلری و یا لاگرانژ-اویلر دلخواه (ALE)، را مشخص نماید. از جمله این مسائل، اکستروژن مستقیم-معکوس-شعاعی[1] آلومینیوم و اکستروژن معکوس[2] آلومینیوم می‌باشند که به ترتیب توسط روشهای اویلری و لاگرانژ-اویلر دلخواه حل شده اند و نتایج حاصل با کارهای صورت گرفته پیشین و یا مطالعات آزمایشگاهی موجود مقایسه شده است.

3-1 ساختار پایان نامه

در این فصل مقدمه‌ای از الگوریتم های مورد استفاده در روش المانهای محدود و مزایا و معایب آنها و همچنین هدف از انجام پایان نامه گفته شده است. در فصل بعد، تاریخچه ای از کارهای انجام شده آورده خواهد شد. در ادامه، به تئوری مربوط به دیدگاه لاگرانژ-اویلر دلخواه در شبیه سازی المانهای محدود، روشهای به هنگام رسانی شبکه و انتقال متغیرهای حالت پرداخته شده است. در فصل چهارم، نتایج حاصل از مدلسازی فرایندهای ذکر شده در بالا ارائه شده اند. و در پایان، به نتیجه گیری کلی و پیشنهاداتی در مورد موضوع بحث این پایان نامه ارائه شده است.

---

[1] Forward-backward-radial extrusion

[2] Backward extrusion