





دانشگاه آزاد اسلامی  
واحدشاهرود  
دانشکده علوم پایه ، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc"  
گرایش : پلیمر

عنوان:  
مدلسازی مورفولوژی فازی طی حرکت سیال در قالب اکسترودر

استاد راهنما:  
دکتر محمود نیکخوامیری

نگارش:  
علی ملکی

تابستان ۱۳۹۳



ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Shahrood Branch

Faculty of science, Department of Chemical Engineering

((M.Sc))Thesis

On: polemer

Subject:

Fuzzy Modeling Morphology During the Fluid

Motion in the Form of Extruder

Thesis Advisor:

M.Nick khou Amiri, Ph.D

By:

Ali Malki

Summer 2014



## تعهد نامه اصالت رساله پایان نامه تحصیلی

اینجانب علی ملکی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مهندسی شیمی که در تاریخ ۱۳۹۳/۰۳/۱۰ از پایان نامه خود تحت عنوان: مدلسازی مورفولوژی فازی طی حرکت سیال در قالب اکسترودر با کسب نمره ۱۶/۵ و درجه متوسط دفاع نموده ام، بدینوسیله متعهد می شوم: (۱) این پایان نامه/رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج نموده ام.

(۲) این پایان نامه/رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و... از این پایان نامه/رساله داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می پذیرم و دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

علی ملکی  
تاریخ و امضاء

## سپاسگذاري

با سپاس فراوان از استاد راهنمای محترم و هیات داوران گرامی با صرف وقت و تلاش فراوان،  
موجبات بهبود کیفیت کار تحقیقاتی اینجانب را فراهم نمودند.

## تقدیم به :

این اثر را اگر قدر و منزلتی باشد تقدیم میکنم به خانواده عزیزم که در تمامی لحظات دوره ارشد و تدوین این پایان‌نامه سختیهای فراوان را به جان خرید و همواره مشوق من در ادامه تحصیل بود.

به پدر و مادر عزیزم که وجودم همه برایشان رنج بود و وجودشان برایم همه مهر.

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	<b>فصل اول آشنایی با آلیاژهای پلیمری</b> .....
۲	۱-۱- مقدمه .....
۷	۲-۱- کاربردهای آمیزه‌ها و آلیاژهای پلیمری .....
۱۰	۳-۱- آلیاژ کردن پلیمرها و اهداف آن .....
۱۹	۴-۱- تجهیزات آلیاژ سازی پلیمرها .....
۱۹	۱-۴-۱- اکسترودر تک‌ماردون (تکیچه) .....
۲۱	۲-۴-۱- اکسترودر دوماردون (دوپیچه) .....
۲۲	۳-۴-۱- بنبوری .....
۲۳	۴-۴-۱- عملیات روی میل دوغلتکی .....
۲۴	۵-۴-۱- اختلاط در مسیر حرکت سیال .....
۲۶	<b>فصل دوم: روند مطالعات گذشته</b> .....
۲۷	۱-۲- مقدمه .....
۲۸	۲-۲- انواع الگوهای جریان در لوله های افقی .....
۲۸	۱-۲-۲- جریان حبایی: .....
۲۸	۲-۲-۲- جریان توپی یا قالبی .....
۲۹	۳-۲-۲- جریان لایه ای .....
۲۹	۴-۲-۲- جریان موجی .....
۲۹	۵-۲-۲- جریان لخته ای .....
۲۹	۶-۲-۲- جریان حلقوی .....
۳۰	۷-۲-۲- جریان قطره ای .....
۳۱	۳-۲- انواع الگوهای جریان در لوله های قائم .....
۳۱	۱-۳-۲- جریان حبایی .....
۳۱	۲-۳-۲- جریان لخته ای .....
۳۲	۳-۳-۲- جریان کف آلود .....
۳۲	۴-۳-۲- جریان قطره ای .....
۳۴	۴-۲- مدل‌های ریاضی جریان های دوفازی .....
۳۴	۱-۴-۲- روش های تحلیلی بررسی جریان دو فازی .....
۴۰	۵-۲- روش های عددی بررسی جریان دو فازی .....
۴۱	۱-۵-۲- بررسی تغییر فرم در میدان های کششی .....
۴۲	۲-۵-۲- بررسی تغییر فرم در میدان های برشی .....

۴۲	۳-۵-۲- بررسی تغییر فرم در میدان های پیچیده
۴۳	۴-۵-۲- روش های مش متحرک
۴۸	۵-۵-۲- روش های مش ثابت
۴۹	۱-۵-۵-۲- روش VOF
۵۱	۲-۵-۵-۲- روش LSM
۵۳	۶-۲- روش بدون مش
۵۳	۷-۲- روش تحلیل در این تحقیق
۵۸	<b>فصل سوم: روابط حاکمه</b>
۵۹	۱-۳- مقدمه
۶۰	۲-۳- قوانین بقا
۶۰	۱-۲-۳- قانون بقای انرژی
۶۱	۲-۲-۳- قانون بقای اندازه حرکت
۶۸	۳-۲-۳- قانون بقای جرم
۷۳	۳-۳- روابط در حالت ساده شده
۷۴	۱-۳-۳- رابطه بقای ممتنم (روابط حرکت)
۷۶	۳-۳-۳- رابطه بقای جرم
۷۷	۴-۳- روابط سازنده سیال
۹۰	<b>فصل چهارم: تحلیل مساله با استفاده از روش المان محدود</b>
۹۱	۱-۴- مقدمه
۹۸	۲-۴- مراحل حل مسایل به روش عددی
۹۸	۱-۲-۴- پیش پردازش
۱۰۴	۲-۲-۴- پردازش
۱۲۱	۳-۲-۴- نمایش نتایج
۱۲۳	<b>فصل پنجم: بررسی نتایج و بحث</b>
۱۲۴	۱-۵- مقدمه
۱۲۴	۲-۵- بررسی صحت کد
۱۳۳	۳-۵- مطالعه تاثیر پارامترهای مهم
۱۳۵	۱-۳-۵- تاثیر طول دای
۱۳۷	۲-۳-۵- تاثیر میزان همگرایی لوله
۱۴۰	۳-۳-۵- بهبود درک از تغییر فرم
۱۴۵	متن و توضیحات برنامه ها
۱۴۶	منابع غیر فارسی
۱۵۱	چکیده انگلیسی



## فهرست جدول ها

### عنوان

### صفحه

- جدول ۱-۱: آمیزه و آلیاژهای پلیمری برای صنایع الکتریکی..... ۹
- جدول ۲-۱: آلیاژهای معمول برای مصارف پزشکی..... ۹
- جدول ۱-۴: مقادیر  $\xi_i$  و ثوابت وزنی  $w_i$  برای بازه انتگرال گیری  $-1 + 1$ ..... ۱۱۸
- جدول ۱-۵: میزان متغیرهای دخیل در تغییر فرم قطره..... ۱۳۴
- جدول ۲-۵: وابستگی مقدار  $\alpha$  به مقدار نسبت ویسکوزیته‌ها..... ۱۴۲

## فهرست شکل ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷	شکل ۱-۱: حجم بازار جهانی برای آمیزه‌ها و آلیاژهای پلیمری .....
۱۲	شکل ۲-۱: (a) تغییر شکل برشی قطره در جریان برشی یکنواخت، (b) تغییر شکل قطره در جریان هذلولی، .....
۱۴	شکل ۳-۱: تغییر فرم سینوسی در یک باریکه .....
۱۵	شکل ۴-۱: مراحل تعادل بین شکست تدریجی و ائتلاف در آلیاژهای پلیمر .....
۱۸	شکل ۵-۱: وابستگی عدد موپینگی بحرانی به نسبت ویسکوزیته‌ها در دو جریان برشی و کششی ...
۲۰	شکل ۶-۱: شماتیک ماردون اکسترودر .....
۲۱	شکل ۷-۱: انتهای ماردون اکسترودر .....
۲۲	شکل ۸-۱: شمای شماتیک بنیوری .....
۲۴	شکل ۹-۱: شماتیک غلتک اختلاط .....
۳۱	شکل ۱-۲: شماتیک جریان دوفازی در لوله های افقی .....
۳۳	شکل ۲-۲: شماتیک جریان دوفازی در لوله های عمودی .....
۳۵	شکل ۳-۲: جریان دوفازی در کانال افقی .....
۳۶	شکل ۴-۲: پروفایل سرعت برای مقادیر مختلف نسب ویسکوزیته در جریان برشی ساده .....
۳۷	شکل ۵-۲: تغییر شکل قطره فرضی در جریان برشی ساده .....
۳۸	شکل ۶-۲: تغییر متغیر بازای مقادیر مختلف نسبت ویسکوزیته‌ها .....
۳۹	شکل ۷-۲: پروفایل سرعت برای مقادیر مختلف نسب ویسکوزیته در جریان فشاری .....
۴۴	شکل ۸-۲: تغییر متغیر بازای مقادیر مختلف نسبت ویسکوزیته‌ها .....
۴۵	شکل ۹-۲-الف: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه لاگرانژین .....
۴۶	شکل ۹-۲-ب: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه لاگرانژین .....
۴۵	شکل ۹-۲-ج: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه لاگرانژین .....
۴۷	شکل ۹-۲-د: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه لاگرانژین .....
۴۸	شکل ۹-۲-ه: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه لاگرانژین (تغییر فرم بزرگ) .....
۴۹	شکل ۱۰-۲-الف: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه اولرین و روش VOF .....
۵۰	شکل ۱۰-۲-ب: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه اولرین و روش VOF ...
۵۰	شکل ۱۰-۲-ج: مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازی از دیدگاه اولرین و روش VOF ...

- شکل ۲-۱۰-د : مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازي از دیدگاه اولرین و روش VOF .... ۵۰
- شکل ۲-۱۱-الف : مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازي از دیدگاه اولرین و روش LSM. ۵۱
- شکل ۲-۱۱-ب : مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازي از دیدگاه اولرین و روش LSM... ۵۲
- شکل ۲-۱۱-ج : مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازي از دیدگاه اولرین و روش LSM... ۵۲
- شکل ۲-۱۱-د : مشبندی انجام شده برای تحلیل جریان دو فازي از دیدگاه اولرین و روش LSM .... ۵۲
- شکل ۲-۱۲ : قطره قرار گرفته در یک کانال ..... ۵۴
- شکل ۲-۱۳ : محاسبه مقداری از المان که با فاز اصلی و یا فرعی پر شده است ..... ۵۵
- شکل ۳-۱ : انتقال اندازه حرکت در برخورد توپها (حرکت در توپ اول) ..... ۶۱
- شکل ۳-۲ : انتقال اندازه حرکت در برخورد توپها (حرکت در توپ آخر) ..... ۶۲
- شکل ۳-۳ : بررسی قانون اندازه حرکت در يك المان فرضي در يك سيال ..... ۶۴
- شکل ۳-۴ : حبه قند در حال حل شدن در آب ..... ۷۰
- شکل ۳-۵ : شکل هندسه مورد نظر ..... ۷۳
- شکل ۳-۶ : برش هندسی استوانه همگرا ..... ۷۴
- شکل ۳-۷ : تبدیل مختصات کارتیزین به استوانه‌ای ..... ۷۵
- شکل ۳-۸-الف : جریان برشی ساده ..... ۷۸
- شکل ۳-۸-ب : کشش تخته شناور بر روی آب ..... ۷۹
- شکل ۳-۹-الف : حرکت لایه های سیال بر روی هم ..... ۸۰
- شکل ۳-۹-ب : نحوه اعمال نیرو بین لایه های سیال ..... ۸۱
- شکل ۳-۹-ج : ورود سیال به درون لوله ..... ۸۲
- شکل ۳-۱۰ : تعریف تنشهای مختلف ..... ۸۴
- شکل ۳-۱۱ : تاثیر تنشهای مختلف بر روی تغییر فرم ..... ۸۵
- شکل ۳-۱۲ : چرخش و تغییر فرم المان ..... ۸۶
- شکل ۳-۱۳ : رفتار سیال نیوتنی ..... ۸۹
- شکل ۴-۱ : حرکت سیال در يك لوله مستطیلی ..... ۹۲
- شکل ۴-۲ : پروفایل سرعت در يك لوله مستطیلی ..... ۹۳
- شکل ۴-۳ : حرکت سیال دوفازي در يك لوله مستطیلی ..... ۹۴
- شکل ۴-۴ : پروفایل سرعت در سیال دوفازي ..... ۹۴
- شکل ۴-۵ : پروفایل سرعت در يك لوله تنگ و گشاد شونده ..... ۹۵
- شکل ۴-۶ : مراحل حل مسائل فیزیکی را با استفاده از روش مجزا سازی ..... ۹۷
- شکل ۴-۷-الف : شماتیم لوله همگرا ..... ۹۹
- شکل ۴-۷-ب : شکل لوله ساده شده ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۸-الف-سرعت برش در عرض کانال ..... ۱۰۱

- شکل ۴-۸-ب- ویسکوزیته سیال غیر نیوتنی در عرض کانال ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۸-ج- ویسکوزیته سیال غیر نیوتنی در عرض کانال با فرض برابر بودن ویسکوزیته در هر  
المان (۱۰ المان) ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۸-د- ویسکوزیته سیال غیر نیوتنی در عرض کانال با فرض برابر بودن ویسکوزیته در هر  
المان (۵۰ المان) ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۹: تقسیم فضای کانال به فضاهای کوچکتر یا المان ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۰: عدم پوشش سطح با المان ها ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۱: هم پوشانی سطح المان ها ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۲: مجزا سازی یک نمونه مساله ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۳: شماتیک مقادیر **F** و **G** ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۴: المان خطی و تابع درونیابی آن ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۵: المان انتخاب شده برای حل مساله ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۱۶: شکل یک تابع درونیابی در المان انتخاب شده ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۱۷: المان و نودهای حل مساله ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۱۸: المان انتخاب شده برای حل مساله ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۱۹: جهت شماره گذاری نودها در هر المان ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۲۰: شرایط مرزی ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۱: ژئومتری تغییر فرم قطره در هندسه ساده قابل بررسی به صورت تحلیلی ..... ۱۲۵
- شکل ۵-۲: تغییر فرم قطره در نسبت ویسکوزیته‌های مختلف ..... ۱۲۶
- شکل ۵-۳: شکل تغییر فرم قطره ..... ۱۲۷
- شکل ۵-۴: میزان تغییر فرم قطره ..... ۱۲۸
- شکل ۵-۵-الف: میزان سرعت در جهت  $z$ ، وقتی که قطره يك دهم مسیر را طی نموده است ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۵-ب: میزان سرعت در جهت  $r$ ، وقتی که قطره يك دهم مسیر را طی نموده است ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۵-ج: میزان فشار، وقتی که قطره يك دهم مسیر را طی نموده است ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۶-الف: میزان سرعت در جهت  $z$ ، وقتی که قطره نیمی از مسیر را طی نموده است ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۶-ب: میزان سرعت در جهت  $r$ ، وقتی که قطره نیمی از مسیر را طی نموده است ..... ۱۳۱
- شکل ۵-۶-ج: میزان فشار، وقتی که قطره نیمی از مسیر را طی نموده است ..... ۱۳۱
- شکل ۵-۷-الف: میزان سرعت در جهت  $z$ ، وقتی که قطره نه دهم مسیر را طی نموده است ..... ۱۳۲
- شکل ۵-۷-ب: میزان سرعت در جهت  $r$ ، وقتی که قطره نه دهم مسیر را طی نموده است ..... ۱۳۲
- شکل ۵-۷-ج: میزان فشار، وقتی که قطره نه دهم مسیر را طی نموده است ..... ۱۳۳
- شکل ۵-۸: بررسی تاثیر طول دای بر روی میزان تغییر فرم نهایی قطره بازي نسبت ویسکوزیته‌های  
برابر با يك ..... ۱۳۵

- شکل ۵-۹: بررسی تاثیر طول دای بر روی میزان تغییر فرم نهایی قطره بازای نسبت ویسکوزیته‌های برابر با سه ..... ۱۳۶
- شکل ۵-۱۰: بررسی تاثیر میزان همگرایی دای بر روی میزان تغییر فرم نهایی قطره بازای طول دای برابر با ۱۰ ..... ۱۳۷
- شکل ۵-۱۱: بررسی تاثیر میزان همگرایی دای بر روی میزان تغییر فرم نهایی قطره بازای طول دای برابر با ۳۰ ..... ۱۳۹
- شکل ۵-۱۲: تاثیر مقدار  $Y$  بر حسب  $X$  بازای نسبت ویسکوزیته برابر با یک سوم ..... ۱۴۲
- شکل ۵-۱۳: تاثیر مقدار  $Y$  بر حسب  $X$  بازای نسبت ویسکوزیته برابر با یک ..... ۱۴۳
- شکل ۵-۱۴: تاثیر مقدار  $Y$  بر حسب  $X$  بازای نسبت ویسکوزیته برابر با سه ..... ۱۴۴

### چکیده

در این تحقیق، میزان تغییر فرم یک قطره در حین حرکت با جریان اصلی مورد مطالعه قرار گرفته است؛ تا از این طریق رابطه ای بین شرایط فرآیند و نحوه توسعه، تغییر و گسترش مورفولوژی فازی به دست آید. در این کار به منظور ساده سازی و بنیان راه حلی پایه ای برای تحلیل جریان دوفازی، از مدل پایه نیوتنی برای تعیین رفتار رئولوژیکی سیالات فاز اصلی و فاز دوم استفاده شده است. همچنین، تغییر فرم در یک هندسه محدود (لوله همگرا) مورد مطالعه قرار گرفته است، که کاربرد بسیار زیادی در ساخت الیاف (دای اسپینرت) و گرانول سازی دارد. شکل فاز دوم در فاز اول نیز به صورت قطره در نظر گرفته شده است که علت این امر پایداری بالای حالت قطره نسبت به سایر حجوم هندسی از نقطه نظر پایداری ترمودینامیکی (پایین ترین میزان حجم به سطح) می باشد. چنین فرضی در تمامی تحقیقاتی که در آنها تغییر فرم قطره بررسی شده است نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق نشان داده شده که میزان و نوع تغییر فرم قطره تابعی بسیار پیچیده از شرایط هندسی دای و رئولوژیکی سیالات می باشد، و برای ساده شدن پیشبینی تغییر فرم پارامترهای بدون بعدی ارائه گردیده است که میزان وابستگی تغییر فرم قطره را به شرایط هندسی دای و رئولوژیکی سیالات به شکل ساده تری بیان می کند.

## مقدمه

مسلم است که ریزساختار نهایی یک آلیاژ پلیمری اثری کنترل‌کننده بر خواص آن دارد. دانش سازوکار توسعه ریزساختار فازی نه تنها در خواص آلیاژ بلکه در طراحی مخلوط‌کننده‌های شدتی با قابلیت اختلاط پراکنشی نیز حائز اهمیت است. بعلاوه، اطلاعات مربوط به توسعه ریزساختار فازی برای فهم بسیاری از جنبه‌های فرآیند اختلاط و بخصوص سینتیک تشکیل سطح مشترک در حین آلیاژسازی واکنشی ضروری است. تشکیل ریزساختار در حین اختلاط مذاب پلیمرهای امتزاج‌ناپذیر شامل فرآیندهایی از جمله کشیدگی قطرات مذاب بصورت باریکه، شکست باریکه‌ها به قطرات کوچکتر و بهم پیوستگی قطرات و تشکیل قطرات بزرگتر است. تعادل بین این فرآیندهای رقابتی، اندازه قطره نهایی را تعیین می‌کند. پارامترهای کنترل‌کننده این فرآیندها گرانیروی فاز پیوسته و متفوق، نسبت الاستیسیته‌ها، کشش بین سطحی اجزاء، تغییرپذیری فصل مشترک و شرایط تنش برشی و سرعت برش می‌باشد. در این تحقیق بر اساس نقش بسزای مورفولوژی فازی در تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه پلیمری، به بررسی نقش هوامی فرآیندی بر روی نوع گسترش و تشکیل مورفولوژی پرداخته شده است.

## فصل اول

### آشنایی با آلیاژهای پلیمری



## ۱-۱- مقدمه

آلیاژهای پلیمری در تولید بسیاری از محصولات پلاستیکی به کار می روند و کاربرد آنها روز به روز در حال گسترش می باشد. دلایل این روند را می توان به صورت ذیل خلاصه نمود [۱]:

- قابلیت پذیرش خواص گوناگون با تغییر شرایط و مواد فرآیند آلیاژسازی
- اثر برهم افزایی در راستای بهبود خواص (مانند مدول بالا، چقرمگی، خواص عبورناپذیری و خواص جذب شوک و ضربه)

در تکنولوژی پلیمرها، دو مسیر اصلی برای به دست آوردن مواد با خواص ویژه وجود دارد. این دو روش عبارتند از:

- آلیاژ سازی و بهینه سازی در حین واکنش در راکتور. مانند پلیمرهای بلوک (استایرین-بوتادی ان-استایرین و پلی استایرین فوق چقرمه) و جایگزین کردن برخی از مونومرها در حین پلیمریزاسیون (مانند پلیمریزاسیون اتیلن-آلفا اتیلن ها)

- آلیاژسازی پلیمرها در حین فرآیند شکل دهی (مانند اکسترودر دو ماردون، تک ماردون و ...) قابلیت تولید مواد با بازه خواص گسترده که در روش دوم وجود دارد، استفاده از آن را روز به روز گسترش بیشتری می دهد.

آلیاژهای دوفازی برتری هایی دارند، که موجب گسترش کاربرد آنها در صنایع مختلف شده است و این امر به دلیل بهبود موازی و یا همزمان خواص فیزیکی و مکانیکی آنها می باشد. مانند مدول، مقاومت حرارتی، استحکام، انعطاف پذیری و غیره [۴ و ۳]. مثلاً آلیاژ PBT/PC ماده ای است که نه تنها استحکام بالا، چقرمگی بالا و مقاومت شیمیایی بالای پلی کربنات را داراست بلکه دارای مقاومت شیمیایی بالای پلی بوتیلن ترفتالات نیز می باشد [۵]، و یا آلیاژ PP/PET نه تنها مقاومت مکانیکی و استحکام بالای پلی اتیلن ترفتالات را داراست بلکه به دلیل وجود پلی پروپیلن قیمت مناسبی هم دارد [۶].

با توجه به اینکه بسیاری از پلیمرها از نقطه نظر ترمودینامیکی غیر قابل امتزاج هستند، نحوه قرار گرفتن فازهای مختلف در کنار هم موجب به دست آوردن خواص مختلفی خواهد شد که به این نحوه قرار گرفتن فازها مورفولوژی فازی می گویند [۲].

با توجه به این سیستم پیچیده، بسیاری از تحقیقات در توسعه مورفولوژی در یک سیستم ایده آل انجام شده است که در آن یک قطره به عنوان فاز فرعی تحت تنش ناشی از فاز اصلی و یا ماتریس قرار می گیرد و دچار تغییر شکل می شود [۲].

بدیهی است، تغییر شکل یک قطره (به عنوان فاز دوم) در طول مراحل مختلف تأثیری به سزا در تغییر شکل نهایی یا مورفولوژی فازی و در نتیجه بر خواص قطعات پلیمری تولید دارد. بنابراین، درک ارتباط بین تغییر شکل فاز دوم و متغیرهای مربوطه از جمله پارامترهای رئولوژیکی، فیزیکی و استرس های ناشی از میدان جریان تأثیر بسیار مهم در تعیین شکل نهایی یا مورفولوژی فازی دارد [۲ و ۷-۱۷].

برای بررسی بیشتر اهمیت پلاستیک ها و آلیاژهای آنها، تاریخچه تولید پلاستیک ها را به صورت مختصر مورد بررسی قرار می دهیم. تولید جهانی پلاستیک ها در سال ۱۹۰۰ میلادی در حدود ۳۰۰۰ تن بود که این مقدار در سال ۲۰۰۰ به رقم قابل ملاحظه ۱۵۱ میلیون تن رسید که انتظار می رود تا اواسط قرن ۲۱ به نیم میلیارد تن نیز برسد. سرعت افزایش تولید محصولات پلاستیکی را می توان این گونه بیان کرد که در سال ۱۹۹۲ تولید جهانی پلاستیک ها در مقایسه با تولید استیل از نظر حجمی ۲ برابر و از نظر وزنی ۳ برابر بوده است. پلیمرها بالاترین رشد را در تولید جهانی داشته اند و بیان این نکته مهم است که بخش آلیاژها در صنعت پلیمر با سرعتی در حدود سه برابر در حال رشد بوده است [۱۸].

آمیزه های پلیمری در امتداد تولید پلیمرهای مختلف گسترش پیدا کرد. در ابتدا که نیتروسولوز<sup>۱</sup> اختراع شد، با رابر طبیعی، مورد اختلاط قرار گرفت و در سال ۱۸۶۵ ثبت شد. اولین سازگار سازی پلی وینیل کلراید<sup>۲</sup> با پلی وینیل استات<sup>۳</sup> بود و کوپلیمر بدست آمده در سال ۱۹۲۸ رو نمایی شد. پلی وینیل کلراید در سال ۱۹۳۱ تجاری سازی شده و آمیزه آن با رابر نیتریل<sup>۴</sup> در سال ۱۹۳۶ ثبت گردید؛ دقیقاً دو سال بعد از اینکه اختراع اکریلونیتریل بوتادیان ثبت گردید [۱، ۲ و ۱۸].

در حال حاضر، آلیاژهای پلیمری، آمیزه ها و کامپوزیت ها بیش از ۸۰ درصد وزنی کل پلاستیک های مصرفی را به خود اختصاص داده است. همچنین قسمت آمیزه های پلیمری در صنعت پلاستیک با رشدی در حدود ۳ برابر صنعت کل پلاستیک ها در حال گسترش است. آمیزه سازی به عنوان تطبیق پذیرترین و اقتصادی ترین روش برای تولید موادی با کاربرد در صنایع مختلف شناخته شده است. در سال ۲۰۰۰ بازار جهانی برای آمیزه های پلیمری به مقداری در حدود ۵۱ میلیون تن در سال رسید که ارزشی معادل ۲۰۰ میلیارد دلار را در بر می گرفت. گرایش مهندسی در تولید آمیزه های است که با هر پلیمر دیگری در بازار قابل بررسی باشد تا بتوان فرآیندپذیری آن را شبیه به پلیمرهای تک فاز کرد، با

<sup>۱</sup>NC

<sup>۲</sup>PVC

<sup>۳</sup>PVAc

<sup>۴</sup>NBR

این تفاوت که از کارایی وسیع‌تری برخوردار می‌باشند [۱۸].

در کشورهای صنعتی، پلاستیک‌ها جایگزین مواد سنتی در اکثر کاربردها شده‌اند. امروزه فشار بازار، کارخانجات پلیمری را مجبور به تولید مواد بهتر و باصرفه اقتصادی بالاتر همراه با ترکیبی از ویژگی‌های برتر می‌کند تا نه تنها به عنوان جانشین چوب یا استیل بکار رود، بلکه جایگزینی مناسب برای پلیمرهای سنتی موجود در بازار باشد. این موضوع منجر به نتایج ذیل شده است:

● افزایش مقیاس تولید

● استفاده از مواد چند جزئی یا چند فازی

● روش‌های جدید فرآوری مواد

برای حمایت از این گرایش، انجمن محققان درخواست تهیه روش‌های پیشگویانه بهتری را برای آمیزه‌های چند جزئی کرد تا بتوان کنترل بر چرخه فرآیند را بهبود داد. علی‌الخصوص بررسی مورفولوژی در حین اختلاط و مراحل فرآوری اهمیت بسیار زیادی دارد. مورفولوژی و بهم آمیختگی از عواملی هستند که سیر تکاملی تهیه آمیزه‌های پلیمری را بررسی می‌کنند.

در دهه ۱۹۹۰، اولین مدل‌های ریاضی که قادر به پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی در حین اختلاط بودند، توسعه پیدا کرد. برخی از این مدل‌ها تطابق مناسبی را با نتایج تجربی حاصل از اکسترودرهای دو مارپیچه داشتند. با این وجود باید به این نکته توجه کرد که توسعه مورفولوژی در دستگاه‌های اختلاط و آمیزه‌سازی کاملاً یک فرآیند دینامیک است؛ بدین معنی که با برداشتن تنش یا حذف اثر سازگارکننده، مورفولوژی با زمان تغییر خواهد کرد.

امروزه تعداد بسیار کمی از پلیمرها بدون اینکه اصلاحاتی بر روی آنها انجام بگیرد، مورد استفاده قرار می‌گیرند، اگرچه برخی از پلیمرها به اصلاحات کمتری نسبت به سایر پلیمرها نیاز دارند. برای مثال، پلیمرهای نیمه کریستالی که شامل ساختمانی دو فازی می‌باشند، اصلاح آنی کمتری را می‌طلبند. در مقابل، پلیمرهای آمورف، مانند پلی‌وینیل کلراید، پلی‌استایرن یا پلی‌کربنات بیس فنل A شکننده و نیاز به اختلاط‌های پی‌درپی می‌باشند [۱ الی ۳ و ۱۸]. مزیت آمیزه‌سازی در دو دسته اصلی طبقه‌بندی می‌گردد:

الف- بهبود کارایی رزین یا محصول توسط:

- تولید موادی که دارای بالاترین خواص مطلوب مهندسی با کمترین هزینه ممکن باشند.
- مقرون به صرفه کردن استفاده از پلیمرهای مهندسی با افزودن پلیمرهای با قیمت پایین‌تر
- چقرمه کردن پلیمرهای شکننده با اختلاط با پلیمرهای دیگر که در این صورت حذف افزودنی-

هاي کوچک مولکول (نظير آنچه در فرمولاسيون پي‌وي‌سي<sup>۱</sup> شاهد هستيم) در ماتريس پليمري را خواهيم داشت.

● اختلاط با پليمر هاي سفت و داراي پايداري حرارتي بالاتر منجر به بهبود مدول و پايداري ابعادي خواهد شد.

● ترکيب پليمر هاي نيمه کريستالي با رزين هاي آمورف موجب بهبود مقاومت حرارتي و شيميائي مي‌شود.

● ترکيب رزين هاي مقاوم در برابر شعله با پليمر هاي مستعد به آتش‌گيري موجب بهبود مقاومت در برابر اشتعال مي‌شود؛ مانند آميزه هاي اکريليك با پي‌وي‌سي.

● آميزه‌هايي که حاوي پليمر هايي با گروه‌هاي عاملی SH يا OH باشند داراي خاصيت ضد استاتيک مي‌باشند.

ب: اختلاط ممکن است در برخي از موارد زير منجر به بهبود فرآيندپذيري شود:

● ترکيب یک رزين با دماي انتقال شيشه‌اي پايين اين امکان را فراهم مي‌کند که رزين‌هايي که داراي دماي انتقال شيشه‌اي بالايي هستند بدون هيچگونه تخریب حرارتي شکل‌دهي و فراورش شوند مانند آميزه PS/PPE.

● افزودن رزين امتزاج‌ناپذير با ويسکوزيته پايين موجب کاهش افت فشار در داي و بهبود فرآيندپذيري مي‌گردد مانند آميزه‌هاي LCP/PEEK.

● افزودن تکه‌هاي الاستومري باعث بهبود هسته‌گذاري حباب گازي و در نتيجه پايداري فرآيند توليد فوم مي‌شود و در نتيجه اندازه ذرات حباب کوچکتر و دانسيته فوم کاهش مي‌يابد.

● اختلاط باعث افزايش تنوع محصولات و کاهش ضايعات مي‌شود.

● اختلاط باعث کاهش تعداد گريدها و نياز کمتر به سنتر و انبارداري مي‌شود.

## ۱-۲- کاربردهاي آميزه‌ها و آلياژهاي پليمري

در اثر تجاري سازي گسترده در صنعت آميزه‌هاي پليمري، اين مواد جايگزيني مناسب براي مواد قديمي مانند فلزات شده‌اند. با وجود اين که مواد پلاستيکي خام در واحد وزن بسيار گران‌تر از فلزات هستند، اما هزينه تمام شده آنها براي کارخانجات مقرون به صرفه‌تر است. دليل هزينه تمام شده کمتر مونتاژ ساده‌تر اين مواد و شکل‌دهي آسان‌تر آنها مي‌باشد. بازار جهاني براي آلياژها و آميزه‌هاي مهندسي به طور يکنواخت و پيوسته در حال گسترش است و توليد اين مواد به بیش از ۱.۰۰۰ تن

<sup>۱</sup>PVC