

بسم الله الرحمن الرحيم

مبانی مهندسی پلیمریزاسیون

(جلد چهارم)

طراحی راکتورهای پلیمری

تألیف

دکتر وحید حدادی اصل

دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

تابستان ۱۳۸۶

سرشناسه : حدادی اصل، وحید، ۱۳۴۳ -
 عنوان و نام پدیدآور: مبانی مهندسی پلیمریزاسیون / تالیف وحید حدادی اصل.
 مشخصات نشر : تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۸۶.
 مشخصات ظاهری: ج: مصور، جدول، نمودار.
 شابک : (۴) ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۳۱۷-۱
 وضعیت فهرست نویسی: فیبا.
 یادداشت : پشت جلد به انگلیسی: Principles of polymerization engineering
 یادداشت : فهرست نویسی بر اساس جلد دوم، ۱۳۸۵.
 یادداشت : ج. ۲ (چاپ دوم: ۱۳۸۵)
 یادداشت : ج. ۴ (چاپ اول: ۱۳۸۶) (فیبا)
 یادداشت : کتابنامه.
 مندرجات : ج. ۲. واکنش های پلیمریزاسیون. -- ج. ۴. طراحی راکتورهای پلیمری. --
 موضوع : پلیمریزاسیون.
 موضوع : پلیمرها.
 شناسه افزوده : دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر.
 رده بندی کنگره : ۸/TP۱۵۶/۱۳۸۰ ق ۴
 رده بندی دیویی : ۶۶۸/۹.
 شماره کتابخانه ملی : ۳۲۸۰۲ - ۸۵.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
 (پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلسه مورخ ۸۵/۷/۲۵ شورای چاپ و
 نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسید.

عنوان کتاب : مبانی مهندسی پلیمریزاسیون (جلد چهارم): طراحی راکتورهای پلیمری
 مؤلف : دکتر وحید حدادی اصل
 ناشر : انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
 لیتوگرافی، چاپ و صحافی : انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
 چاپ اول : تابستان ۱۳۸۶
 تیراژ : ۵۰۰ نسخه
 قیمت : ۳۴۵۰ تومان
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۳۱۷-۱
 تلفن مرکز پخش: ۶۶۳۹۸۸۶۸
 ISBN: 978-964-463-317-1

آدرس: خیابان ولی عصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
 حق چاپ برای ناشر محفوظ است

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	
مقدمه	
۱ مفاهیم اولیه در طراحی فرآیندهای پلیمریزاسیون.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۱
۲-۱ سطوح مختلف طراحی راکتورها.....	۴
۱-۲-۱ میکروسکوپی یا مولکولی.....	۲
۲-۲-۱ ماکروسکوپی موضعی.....	۴
۳-۲-۱ ماکروسکوپی کلی.....	۴
۳-۱ دسته‌بندی راکتورها از نظر عملکرد.....	۵
۴-۱ دسته‌بندی راکتورها براساس تبادل انرژی و جرم.....	۷
۵-۱ فرآیندهای شکل‌دهی واکنشی پلیمریزاسیون.....	۸
۶-۱ اختلاط در راکتورها.....	۸
۷-۱ انتخاب نوع راکتور.....	۹
۱-۷-۱ عوامل مهم در انتخاب راکتورها.....	۹
۸-۱ راکتورهای آزمایشگاهی، نیمه‌صنعتی و صنعتی.....	۱۰
۱-۸-۱ راکتورهای آزمایشگاهی.....	۱۰
۲-۸-۱ واحد نیمه‌صنعتی.....	۱۱
۳-۸-۱ راکتورهای صنعتی.....	۱۲
۹-۱ نکات اساسی در طراحی فرآیندهای پلیمریزاسیون.....	۱۲
۱-۹-۱ جداسازی و سیستمهای بازیافت.....	۱۲
۲-۹-۱ حذف ذرات.....	۱۳
۳-۹-۱ انعقاد.....	۱۴
۴-۹-۱ پراندن.....	۱۴
۵-۹-۱ ایمنی.....	۱۴
۶-۹-۱ دمای واکنش.....	۱۵
۷-۹-۱ فشار.....	۱۶

۸-۹-۱ جریان و وزن	۱۶
۹-۹-۱ ترکیب و تبدیل	۱۷
۱۰-۹-۱ وزن مولکولی و توزیع وزن مولکولی	۱۸
۱۱-۹-۱ عملکرد راکتور	۱۹
۱۲-۹-۱ معادلات حالت	۲۰
۱۳-۹-۱ شرایط غبرایده‌آل در راکتورهای پلیمریزاسیون	۲۰
مسائل	۲۱
۲ طراحی آزمایش	۲۳
۱-۲ مقدمه	۲۳
۲-۲ جریان و روش کلی طراحی آزمایش	۲۳
مسائل	۲۶
۳ مبانی سینتیک واکنشهای شیمیایی پلیمرها	۲۷
۱-۳ مقدمه	۲۷
۲-۳ مبانی طراحی راکتورهای پلیمری	۲۷
۱-۲-۳ ترمودینامیک واکنش	۲۸
۲-۲-۳ سینتیک واکنش	۲۸
مسائل	۶۰
۴ راکتورهای ناپیوسته پلیمریزاسیون	۶۵
۱-۴ مقدمه	۶۵
۲-۴ کاربرد راکتورهای ناپیوسته	۶۶
۳-۴ راکتورهای ناپیوسته ساکن	۶۷
۴-۴ راکتورهای ناپیوسته با اختلاط کامل (همزن‌دار)	۶۸
۱-۴-۴ اختلاط در راکتورهای همزن‌دار	۶۹
۵-۴ راکتورهای ناپیوسته با اختلاط کامل صنعتی	۸۳
۶-۴ راکتورهای ناپیوسته پلیمریزاسیون لنگ چرخشی	۸۶
۷-۴ محاسبات سینتیکی در راکتورهای ناپیوسته	۸۷
۸-۴ محاسبه زمان واکنش در راکتورهای ناپیوسته با اختلاط کامل همزن‌دار	۹۰
۹-۴ محاسبات انتقال حرارت در طراحی راکتورهای ناپیوسته	۹۳

۱-۹-۴ روش اول	۹۳
۲-۹-۴ روش دوم	۹۴
۱۰-۴ انتخاب دمای واکنش در پلیمریزاسیون‌های رادیکالی	۹۵
۱-۱۰-۴ کنترل وزن مولکولی پلیمر با واکنشهای اختتام	۹۵
۲-۱۰-۴ کنترل وزن مولکولی پلیمر با واکنشهای انتقال	۹۶
مسائل	۹۸
۵ راکتورهای نیمه پیوسته پلیمریزاسیون	۱۰۱
۱-۵ مقدمه	۱۰۱
۲-۵ واکنشهای هموپلیمریزاسیون	۱۰۲
۳-۵ واکنشهای کوپلیمریزاسیون	۱۰۲
مسائل	۱۰۵
۶ راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل پلیمریزاسیون	۱۰۷
۱-۶ مقدمه	۱۰۷
۲-۶ مزایای راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل	۱۱۱
۳-۶ معایب راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل	۱۱۱
۴-۶ پدیده جدایش در راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل	۱۱۲
۵-۶ راکتورهای همزن دار جدایش یافته	۱۱۲
۶-۶ راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل در حالت پایا	۱۱۳
۷-۶ مراحل پایدار در تانک‌های همزن دار	۱۱۶
۸-۶ شیوه‌های مرسوم سرمایش در راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل	۱۱۸
۹-۶ پلیمریزاسیون‌های آتیونی	۱۱۹
۱۰-۶ پلیمریزاسیون‌های رادیکال آزاد	۱۱۹
۱۱-۶ واکنشهای هموپلیمریزاسیون	۱۲۰
۱-۱۱-۶ موازنه جرمی رادیکالها	۱۲۰
۲-۱۱-۶ فرضیه حالت پایدار راکتور	۱۲۱
۳-۱۱-۶ موازنه جرمی شروع کننده	۱۲۲
۴-۱۱-۶ موازنه جرمی مونومر	۱۲۲
۱۲-۶ واکنشهای کوپلیمریزاسیون	۱۲۳

عنوان	صفحه
۱۳-۶ پلیمریزاسیون‌های مرحله‌ای.....	۱۲۴
۱۴-۶ توزیع وزن مولکولی پلیمریزاسیون‌های رادیکالی در راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل.....	۱۲۸
۱۵-۶ توزیع وزن مولکولی پلیمریزاسیون‌های مرحله‌ای در راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل.....	۱۲۹
۱۶-۶ دینامیک راکتورهای پیوسته با اختلاط کامل.....	۱۲۹
۱۷-۶ دینامیک پیکربندیهای راکتورهای دیگر.....	۱۳۰
۱۸-۶ اتصال راکتورهای با اختلاط کامل هم حجم.....	۱۳۱
۱-۱۸-۶ نحوه قرارگیری راکتورهای با اختلاط کامل با اندازه‌های متفاوت با اتصال سری.....	۱۳۱
مسائل.....	۱۳۳
۷ راکتورهای پیوسته لوله‌ای پلیمریزاسیون.....	۱۳۷
۱-۷ مقدمه.....	۱۳۷
۲-۷ تاریخچه.....	۱۴۱
۳-۷ عوامل مهم در تجزیه و تحلیل رفتار یک راکتور لوله‌ای.....	۱۴۳
۱-۳-۷ طولیل شدن نمودار سرعت.....	۱۴۳
۲-۳-۷ گریز دمایی (خروج از حد مجاز درجه حرارت).....	۱۴۳
۳-۳-۷ تأثیر برآیند لوله‌های مختلف بر واکنش (برهم‌کنش لوله به لوله).....	۱۴۴
۴-۷ راکتورهای پیوسته لوله‌ای در حالت پایا.....	۱۴۵
۱-۴-۷ حالت عمومی.....	۱۴۶
۲-۴-۷ زمان باقی ماندن و زمان پرشدن در راکتورهای پیوسته.....	۱۴۹
۳-۴-۷ معادلات انتقال مومنتوم، حرارت و جرم.....	۱۵۳
۵-۷ اتصال راکتورهای با جریان قالبی.....	۱۵۴
۶-۷ راکتورهای پیوسته حلقه‌ای پلیمریزاسیون.....	۱۵۵
۷-۷ راکتورهای پیوسته با اختلاط ساکن پلیمریزاسیون.....	۱۵۶
۸-۷ مقایسه راکتورهای لوله‌ای با راکتورهای با اختلاط کامل.....	۱۵۶
۹-۷ راکتورهای لوله‌ای اصلاح‌شده.....	۱۵۷
۱۰-۷ معادلات راکتور لوله‌ای.....	۱۶۱

۱-۱۰-۷	شرایط غیرهمدم	۱۶۵
۲-۱۰-۷	مدل سازی متوسط های عددی و وزنی وزن مولکولی در راکتورهای لوله ای	۱۶۹
۳-۱۰-۷	بهینه سازی فرآیند عملیات در دمای بالا	۱۷۵
۴-۱۰-۷	مدل سازی عملیات دما بالا	۱۷۷
۵-۱۰-۷	طراحی راکتورهای میانی	۱۸۶
۱۸۸	مسائل	
۸	دسته بندی راکتورها براساس محیط واکنش های پلیمریزاسیون	۱۹۱
۱-۸	مقدمه	۱۹۱
۲-۸	راکتورهای مایع-مایع	۱۹۱
۳-۸	راکتورهای گاز-مایع-جامد	۱۹۲
۴-۸	سیستم های دو فاز در راکتورهای پلیمریزاسیون	۱۹۲
۱-۴-۸	واکنش های سیال-جامد	۱۹۳
۲-۴-۸	نحوه تماس گاز-جامد	۱۹۴
۳-۴-۸	واکنش های سیال-سیال	۱۹۴
۵-۸	راکتورهای دوغابی	۱۹۵
۱-۵-۸	مزایای راکتورهای دوغابی	۱۹۶
۲-۵-۸	معایب راکتورهای دوغابی	۱۹۶
۶-۸	راکتورهای پلیمریزاسیون محلولی	۱۹۶
۷-۸	راکتورهای فاز گازی	۱۹۷
۱-۷-۸	مزایای راکتورهای فاز گازی	۱۹۸
۲-۷-۸	معایب روش فاز گازی	۱۹۹
۸-۸	راکتورهای واکنش های کاتالیزوری جامد	۱۹۹
۱-۸-۸	خواص کاتالیزورها	۲۰۰
۲-۸-۸	سرعت در واکنش های کاتالیزوری جامد	۲۰۰
۳-۸-۸	مقایسه راکتورهای بستر سیال و بستر ثابت	۲۰۱
۴-۸-۸	راکتورهای با ذرات جامد متحرک	۲۰۲
۵-۸-۸	هیدرودینامیک راکتورهای بستر سیال	۲۰۳
۶-۸-۸	سیالیت حبابی	۲۰۷

عنوان	صفحه
مسائل	۲۱۰
۹ فرآیندهای شکل دهی واکنشی پلیمریزاسیون	۲۱۱
۱-۹ مقدمه	۲۱۱
۲-۹ قالبگیری تزریقی واکنشی	۲۱۲
۱-۲-۹ انواع اختلاط در قالبگیری تزریقی واکنشی	۲۱۴
۲-۲-۹ مراحل فرآیند قالبگیری تزریقی واکنشی	۲۱۴
۳-۲-۹ فرآیند قالبگیری تزریقی واکنشی پلی یورتان‌ها	۲۱۶
۴-۲-۹ معادلات بقای جرم و انرژی	۲۱۷
۵-۲-۹ جدایی میکروفاز	۲۲۰
۳-۹ فرآیند اکستروژن واکنشی	۲۲۰
۱-۳-۹ ویژگیهای اکسترودرهای واکنشی	۲۲۳
۲-۳-۹ مزایای انجام فرآیند در اکسترودرها	۲۲۴
۳-۳-۹ میزان زمان اقامت و چگونگی توزیع آن	۲۲۵
۴-۳-۹ میزان انرژی لازم و عوامل مؤثر بر آن	۲۲۵
۵-۳-۹ روش تغذیه به سیستم و نوع واکنش دهنده‌ها	۲۲۷
۶-۳-۹ توزیع درجه تبدیل در فرآیندهای اکستروژنی واکنشی	۲۲۹
۷-۳-۹ پلیمریزاسیون‌های مرحله‌ای	۲۳۲
۸-۳-۹ مهندسی واکنش	۲۳۴
۹-۳-۹ راکتورهای دارای جریان کششی پیوسته	۲۳۹
۱۰-۳-۹ مکانیسم اختلاط	۲۴۲
۱۱-۳-۹ اختلاط و واکنش	۲۴۷
۱۲-۳-۹ اکسترودر به عنوان یک راکتور	۲۵۰
۱۳-۳-۹ واکنشهای پلیمریزاسیون در اکسترودرهای پراکنشی	۲۵۲
۱۴-۳-۹ کاربردهای اکسترودرهای واکنشی	۲۵۶
۱۵-۳-۹ مزایای استفاده از اکسترودر	۲۵۷
۱۶-۳-۹ معایب استفاده از اکسترودر	۲۶۳
۱۷-۳-۹ موضوعات مهم در انتخاب فرآیند اکستروژن واکنشی	۲۶۵
مسائل	۲۶۸

۲۷۱	۱۰ کنترل فرآیند در راکتورهای پلیمریزاسیون
۲۷۱	۱۰-۱ مقدمه
۲۷۱	۱۰-۲ ابزار اندازه‌گیری
۲۷۴	۱۰-۳ تخمین
۲۷۵	۱۰-۴ کنترل خطی و غیرخطی
۲۷۷	۱۰-۵ عوامل مهم در کنترل فرآیندها
۲۷۷	۱۰-۶ عناصر کنترل فرآیند
۲۷۷	۱۰-۶-۱ فرآیند
۲۷۸	۱۰-۶-۲ اندازه‌گیری
۲۷۸	۱۰-۶-۳ ارزیابی
۲۷۸	۱۰-۶-۴ کنترل
۲۷۹	۱۰-۷ کنترلرهای فرآیند
۲۷۹	۱۰-۸ انتخاب روشهای اندازه‌گیری
۲۷۹	۱۰-۹ اتوماسیون فرآیند
۲۷۹	۱۰-۱۰ وابستگی زمانی
۲۸۰	۱۰-۱۱ کنترل راکتورهای ناپیوسته
۲۸۲	۱۰-۱۲ راه‌حل‌های ارائه‌شده
۲۸۲	۱۰-۱۲-۱ روش کنترل بهینه
۲۸۲	۱۰-۱۲-۲ روشهای خطی‌سازی دقیق
۲۸۲	۱۰-۱۲-۳ پیاده‌سازی صنعتی
۲۸۴	مسائل
۲۸۵	۱۱ مدل‌سازی طرح راکتور
۲۸۵	۱۱-۱ مقدمه
۲۸۶	۱۱-۲ مراحل ساخت مدل
۲۸۶	۱۱-۲-۱ تعریف نوع واکنش
۲۸۶	۱۱-۲-۲ طراحی، ساخت و راه‌اندازی یک واحد آزمایش
۲۸۸	۱۱-۲-۳ جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل داده‌ها
۲۸۸	۱۱-۲-۴ به‌دست آوردن مکانیسم و سینتیک اولیه واکنش

۱۱-۲-۵ مطالعه نکات ایمنی.....	۲۹۰
۱۱-۲-۶ تعیین نوع راکتور و هیدرودینامیک آن.....	۲۹۱
۱۱-۲-۷ تعیین جزئیات برای تکمیل مدل.....	۲۹۴
۱۱-۲-۸ انتخاب معادلات موازنه صحیح.....	۲۹۵
۱۱-۲-۹ انتخاب روشهای ارزیابی.....	۲۹۸
۱۱-۲-۱۰ تعیین ساختار مدل و روشهای حل آن.....	۲۹۹
۱۱-۲-۱۱ توسعه مدل اولیه.....	۳۰۰
۱۱-۲-۱۲ در نظر گرفتن جزئیات بیشتر برای مدل نهایی.....	۳۰۰
۱۱-۲-۱۳ توسعه مدل نهایی با پارامترهای تنظیم کننده.....	۳۰۰
۱۱-۲-۱۴ انجام عملیات بزرگسازي و برقراري طراحي بهينه.....	۳۰۱
مسائل.....	۳۰۳
مراجع و منابع.....	۳۰۵
فهرست راهنما.....	۳۰۹

امروزه باید به این نکته اذعان کرد که دانش پلیمری یکی از شاخه‌های علمی است که نسبت به رشته‌های علمی دیگر پیشرفت قابل ملاحظه‌ای کرده است. رشد سریع این علم به دلیل کاربردهای فراوان مواد پلیمری در بسیاری از ابعاد زندگانی بشر بوده است. شاید بتوان دنیای آینده را همچون مجسمه‌ای با مغزی از دانش کامپیوتری و بدنی از مواد پلیمری تجسم کرد. سبکی، ارزانی، مقاومت شیمیایی بالا و خواص فیزیکی- مکانیکی مناسب باعث شده است که پلیمرها جایگزین بسیار مناسبی برای فلزات و غیرفلزات باشند.

پلیمرها از زمان استخراج مواد اولیه تا زمان مصرف، مراحل طولانی را پشت سر می‌گذارند و اگرچه کلیه خواص محصول نهایی به چگونگی هر یک از مراحل تولید اولیه (صنایع بالادستی) وابسته است، سهم عمده‌ای از چگونگی رفتار پلیمرها مربوط به مراحل فرآیندهای شکل‌دهی و یا صنایع پایین‌دستی است.

بر این اساس، تولید مواد اولیه پلیمری محتاج دست‌یابی به دو علم پیوسته شیمی واکنش‌های پلیمری و مهندسی واکنش‌های پلیمری است. اطلاع از شیمی واکنش‌های پلیمری اگرچه مبنای آگاهی و تسلط بر علم ساختار پلیمرهاست، منحصر به آزمایشگاه است و در بسیاری مواقع، به دلیل پیچیدگی رفتار پلیمرها، مواد تولیدی در آزمایشگاه در مقیاس صنعتی قابل تولید نیستند. برای تولید مواد پلیمری در مقیاس‌های مختلف صنعتی علاوه بر اطلاع از شیمی پلیمرها، تسلط بر علوم مختلفی منجمله سینتیک واکنش‌های شیمیایی، ترمودینامیک، پدیده‌های انتقال و بالاخره طراحی راکتورهای شیمیایی ضروری می‌نماید که مجموعه دانش‌های مذکور در قالب علم مهندسی واکنش‌های پلیمری عنوان می‌گردد.

مهندسی واکنش‌های پلیمریزاسیون یک شاخه تخصصی و مهم از مهندسی واکنش‌های شیمیایی است با این تفاوت که علم شیمی و ریاضیات پلیمرها بسیار پیچیده‌تر است. تعداد واکنش‌های شیمیایی که در واکنش پلیمریزاسیون شرکت دارند بالقوه بی‌شمار است و برای بیان ریاضی یک فرآیند پلیمریزاسیون ناپیوسته به معادلات دیفرانسیل بسیار زیادی نیاز است. حل تحلیلی و عددی این معادلات بسیار دشوارتر از مجموعه معادلات نسبتاً ساده‌تری است که در معادلات شیمیایی معمولی از آنها استفاده می‌شود.

در طراحی راکتور برای فرآیندهای پلیمریزاسیون مسائل مکانیکی خاصی بروز می‌کند. ویسکوزیته با وزن مولکولی شدیداً افزایش می‌یابد و یک محلول پلیمری نوعاً 10^4 تا 10^7 بار ویسکوزتر از یک مایع معمولی است و در نتیجه عمل اختلاط به دشواری صورت می‌گیرد و محدودیت‌های انتقال حرارت و مواد می‌توانند بسیار شدید باشند.

با توجه به موضوعات ذکر شده، می‌توان دریافت که علم مهندسی واکنش‌های پلیمری پیچیدگی و وسعت بسیار زیادی دارد و کتاب حاضر نیز سرآغازی بر دست‌یابی به دانش مذکور است و به همین جهت برای ساده‌سازی متن کوشش بسیار شده است. این کتاب در پنج جلد، جهت تدریس در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا، تهیه شده است. کتب مذکور با شناخت اولیه نسبت به روشهای عمومی تولید پلیمرها و مبانی سینتیک این مواد آغاز و تا مدل‌سازی واکنش‌ها، مباحث انتقال حرارت، طراحی راکتورهای پلیمری و سرانجام طراحی فرآیندهای تولیدی پلیمرها ادامه یافته است. در این میان باید متذکر شد که اگرچه

برای آشنایی مطالعه‌کنندگان به توضیحاتی در موضوعات متنوع و زمینه‌های مختلفی مانند آمار، ریاضیات، مهندسی و مبانی سیتیک و طراحی راکتورهای شیمیایی نیاز است، به علت وسعت زمینه‌های مذکور، سعی شده تا حد امکان به این موضوعات به صورت خلاصه، و تا حد نیاز این مبحث، پرداخته شود. همچنین اگرچه هدف تدوین کتابی درسی برای دانشجویان مقاطع مختلف علوم، تکنولوژی و مهندسی شیمی، پلیمر، نساجی و شیمی کاربردی بوده، سعی فراوان شده است که مطالب به صورت روان نوشته شوند و، جهت استفاده مهندسان صنایع مختلف پلیمری، به یکدیگر وابسته نباشند. به هر حال امکان وجود غلطها و اشکالات در کلیه زمینه‌ها وجود دارد که امید است خوانندگان محترم در این زمینه همیاری نمایند تا در چاپهای بعدی اشکالات مذکور رفع گردند.

در ادامه از خداوند بزرگ، سپاسگزار بذل عنایتش در طول نه سال پرداختن به این نوشتار هستم و مراتب تشکر و قدردانی خود را نسبت به استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، آقای دکتر مرتضی سهرابی، که مبانی این علم را در محضر ایشان فراگرفته‌ام، تقدیم می‌دارم. همچنین از زحمات آقایان مهندس امید معینی‌جزینی، مهندس مهدی سلامی کله‌جاهی، مهندس حسین افشاریان مقدم و مهندس محمد نجفی که در تنظیم مطالب این کتاب زمان زیادی را صرف و کمکهای شایانی کرده‌اند سپاسگزارم. از مسئولان محترم و کارکنان زحمتکش انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر نیز به دلیل راهنماییهای ارزشمندشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان، این کتابها را مدیون نه سال صبر و بردباری و راهنماییهای بیدریغ همسرم هستم که کمال تشکر و سپاسگزاری را از ایشان دارم.

وحید حدادی اصل

دانشکده مهندسی پلیمر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک، تهران)

۱۳۸۶

مقدمه

در راکتورهای پلیمریزاسیون مولکول‌های کوچک مونومری به مولکول‌های بزرگ پلیمری تبدیل می‌شوند. بنابراین در این راکتورها، یک گاز و یا یک مایع فرار به یک مایع غیرفرار و یا یک جامد تبدیل می‌شود که این عملیات باید در مقیاس بزرگ، با هزینه پایین و قابلیت اطمینان بالا صورت پذیرد. همچنین بسیاری از این فرآیندها شامل کاتالیزورهایی برای بهبود درصد تبدیل و افزایش انتخاب‌پذیری^۱ واکنش هستند.

راکتورهای پلیمریزاسیون چندین مشخصه خاص دارند که آن‌ها را از سایر راکتورهای شیمیایی متمایز می‌سازند:

- ۱- وابستگی شدید ویسکوزیته سیال به درصد تبدیل؛
- ۲- گرمایی^۲ شدید واکنشهای پلیمریزاسیون؛
- ۳- تأثیرپذیری شدید اغلب واکنشهای پلیمریزاسیون در حضور مقادیر بسیار کم ناخالصی. این امر بر خواص محصول نیز تأثیرگذار خواهد بود.
- ۴- چندانازی بودن اغلب این واکنشها؛
- ۵- استفاده از کاتالیزور در اغلب آن‌ها؛
- ۶- تولید محصولات جانبی مانند آب و اسیدکلریدریک در پلیمریزاسیون‌های مرحله‌ای (تراکمی) که می‌توانند باعث پیچیدگی در واکنش شده و آن را تعادلی کنند؛ بنابراین باید از محیط واکنش جدا شوند؛
- ۷- در مواقعی که تولید آلیاژهای چند جزئی لازم است، راکتورها باید پاسخگو باشند؛
- ۸- استفاده از حلال‌ها در اغلب مواقع برای کنترل سرعت واکنش و مشخصه‌های جریان. یکی از ملاحظات اصلی در راکتورهای پلیمریزاسیون تغییرات ویسکوزیته محلول واکنش با درجه پلیمریزاسیون است، که از مقادیر بسیار پایین در ابتدای واکنش به سمت یک ماده جامد در

^۱ Selectivity

^۲ Exothermic

انتهای پلیمریزاسیون افزایش می‌یابد. بنابراین در این گونه واکنش‌ها، راکتورهای لوله‌ای باید با دقت فراوانی به کار گرفته شوند، زیرا ویسکوزیته، مخصوصاً در نواحی نزدیک به دیواره که زمان اقامت¹ اجزا بیشتر است، افزایش می‌یابد. همچنین باید در نظر داشت ویسکوزیته بسیاری از این سیالات به سرعت برش² وابسته است.

مشخصه دیگر این است که اغلب واکنشهای پلیمریزاسیون چندفازی هستند. پلیمر شکل گرفته در انتهای واکنش یک جامد یا یک مایع ویسکوز است، در حالی که مونومرها در حالت گازی یا مایع هستند. همانگونه که ذکر شد در پلیمریزاسیون‌های مرحله‌ای، اغلب آب یکی از محصولات جانبی واکنش است؛ بنابراین یک فاز آبی در کنار فاز آلی وجود خواهد داشت.

تقریباً تمام فرآیندهای پلیمریزاسیون به شدت گرمازا هستند و این گرما باید از راکتور خارج شود. باید در نظر داشت که در واکنشهای پلیمریزاسیون، دما به دقت و با محدوده خطای بسیار کم کنترل شود زیرا ثوابت سرعت در هر مرحله به دما بسیار وابسته‌اند. بنابراین خواص پلیمر نهایی تا حد زیادی به دما و تغییرات آن در راکتور وابسته خواهد بود. باید خاطر نشان کرد که حلال‌ها نیز می‌توانند در کنترل سرعت واکنش و دمای آن بسیار مهم باشند. با توجه به نکات فوق می‌توان دریافت که طراحی راکتورهای پلیمری، علاوه بر مشکلات معمول راکتورهای شیمیایی، پیچیدگیهای خاص خود را دارد. بر این اساس در این کتاب طراحی راکتور، علاوه بر در نظر گرفتن مباحث معمول راکتورهای شیمیایی، با در نظر گرفتن مباحث ویژه پلیمرها در درون راکتور مطالعه شده است. بر این اساس نه تنها سینتیک واکنشهای پلیمریزاسیون، مباحث مربوط به طراحی راکتور، منجمله اختلاط، انتقال حرارت و مدل‌سازی، نیز بررسی شده‌اند.

¹ Residence Time

² Shear Rate