



انجمن فنی نشران کتاب دانشگاهی

اثر برگزیده

"چهارمین دوره انتخاب کتاب برگزیده دانشگاهی"

در زمینه

فنی و مهندسی در سال ۱۴۰۲



مبانی مهندسی پلیمریزاسیون

(جلد سوم)

روش‌های پلیمریزاسیون

(ویرایش چهارم)

تألیف:

پروفسور وحید حدادی اصل

استاد دانشکده مهندسی پلیمر و علوم رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

استاد نمونه کشوری

با همکاری:

دکتر حسین بوهندی

عضو هیأت علمی پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

تابستان ۱۴۰۱

فهرست مطالب

XIX	پیشگفتار
۱	بخش اول: کلیات
۳	فصل اول: محیط‌های واکنش پلیمریزاسیون
۳	۱-۱ مقدمه
۴	۲-۱ تقسیم‌بندی فازهای محیط‌های پلیمریزاسیون
۶	۳-۱ روش‌های پلیمریزاسیون محیط‌های چندفازی
۷	۴-۱ عوامل مختلف به وجود آمدن روش‌های متفاوت پلیمریزاسیون
۸	۵-۱ مهم‌ترین ویژگی‌های واکنش‌های پلیمریزاسیون
۸	۶-۱ مقایسه ویسکوزیته در سامانه‌های تک‌فازی و چندفازی در واکنش‌های پلیمریزاسیون
۱۰	۷-۱ مسائل
۱۱	فصل دوم: نقش هم زدن و اختلاط در واکنش‌های پلیمریزاسیون
۱۱	۱-۲ مقدمه
۱۳	۲-۲ اختلاط در واکنش‌های پلیمریزاسیون
۱۶	۳-۲ انواع اختلاط
۱۹	۴-۲ رئولوژی مواد قابل‌تشنش شدن و دوغابی
۲۰	۵-۲ سامانه‌های تعلیقی رقیق
۲۱	۶-۲ سامانه‌های تعلیقی غلیظ
۲۲	۷-۲ سامانه‌های تعلیقی نیوتنی
۲۳	۸-۲ افزایش مقیاس
۲۴	۹-۲ تعیین حالت و وضعیت مخلوط
۲۴	۱۰-۲ نقش همزن‌ها در طراحی راکتورهای پلیمریزاسیون
۲۹	۱-۱۰-۲ پدیده گرداب
۲۹	۲-۱۰-۲ الگوی جریان در مخازن همزن‌دار
۳۲	۱۱-۲ مسائل
۳۳	۱۲-۲ مراجع
۳۵	بخش دوم: پلیمریزاسیون‌هایی که منجر به تولید ذرات نمی‌شوند
۳۷	فصل سوم: پلیمریزاسیون‌های توده‌ای
۳۷	۱-۳ مقدمه
۳۸	۲-۳ پلیمریزاسیون‌های توده‌ای تک‌فازی

فهرست مطالب

۳۸	۱-۲-۳ واکنش‌های پلیمریزاسیون زنجیره‌ای توده‌ای
۴۱	۲-۲-۳ مورفولوژی پلیمریزاسیون‌های توده‌ای
۴۲	۳-۲-۳ واکنش‌های پلیمریزاسیون مرحله‌ای در محیط‌های توده‌ای
۴۲	۳-۳ پدیده‌های ناشی از ازدیاد ویسکوزیته در پلیمریزاسیون‌های توده‌ای
۴۳	۴-۳ نمونه‌های صنعتی از پلیمریزاسیون‌های توده‌ای
۴۳	۱-۴-۳ فرآیند پلیمریزاسیون توده‌ای تولید پلی‌استایرن
۴۴	۲-۴-۳ فرآیند پلیمریزاسیون توده‌ای تولید کوپلیمر (آکریلونیتریل - بوتادی‌ان - استایرن)
۴۷	۳-۴-۳ فرآیند پلیمریزاسیون توده‌ای تولید کوپلیمر (استایرن - آکریلونیتریل)
۴۸	۴-۴-۳ فرآیند پلیمریزاسیون توده‌ای تولید پلی‌آکریل‌آمید
۵۰	۵-۳ مسائل
۵۱	۶-۳ مراجع
۵۳	فصل چهارم: پلیمریزاسیون‌های محلولی
۵۳	۱-۴ مقدمه
۵۵	۲-۴ پلیمریزاسیون‌های محلولی تک‌فازی
۵۶	۱-۲-۴ مزایای پلیمریزاسیون‌های محلولی
۵۷	۲-۲-۴ معایب پلیمریزاسیون‌های محلولی
۵۸	۳-۴ ویژگی حلال‌های مورد استفاده در پلیمریزاسیون‌های محلولی
۵۹	۴-۴ طراحی فرآیند پلیمریزاسیون‌های محلولی
۶۰	۱-۴-۴ فشار راکتور
۶۱	۲-۴-۴ ویسکوزیته
۶۲	۳-۴-۴ اختلاط
۶۳	۴-۴-۴ خالص سازی محصول
۶۵	۵-۴-۴ گرمای حاصل از واکنش
۶۵	۶-۴-۴ انتقال حرارت
۶۶	۵-۴ شروع کننده‌های مورد استفاده در پلیمریزاسیون‌های محلولی
۶۷	۶-۴ پلیمریزاسیون‌های محلولی پلیمرهای محلول در آب
۷۱	۷-۴ ترمودینامیک پلیمریزاسیون‌های محلولی
۷۳	۱-۷-۴ تئوری محلول‌های منظم
۷۹	۱-۱-۷-۴ آنتروپی اختلاط محلول‌های پلیمری

فهرست مطالب

۸۱	۴-۷-۲ آنتالپی اختلاط مخلوط‌های پلیمری
۸۲	۴-۷-۳ انرژی آزاد اختلاط
۸۶	۴-۷-۲ رفتار فازی سامانه‌های پلیمری
۸۸	۴-۷-۲-۱ نواحی مختلف دیاگرام فازی پلیمر- حلال
۸۹	۴-۸ نمونه‌های صنعتی از پلیمریزاسیون‌های محلولی
۹۰	۴-۸-۱ فرآیند پلیمریزاسیون محلولی تولید پلی‌استایرن
۹۰	۴-۸-۲ فرآیند پلیمریزاسیون محلولی تولید پلی‌اتیلن‌سنگین
۹۳	۴-۸-۳ فرآیند پلیمریزاسیون محلولی تولید پلی‌وینیل کلراید
۹۳	۴-۸-۴ فرآیند پلیمریزاسیون محلولی تولید پلی‌پروپیلن
۹۴	۴-۸-۵ فرآیند پلیمریزاسیون محلولی تولید پلی(ان-وینیل‌پیرولیدون)
۹۵	۴-۸-۶ فرآیند پلیمریزاسیون محلولی تولید کوپلیمر استایرن- بوتادی‌ان
۱۰۱	۴-۸-۷ فرآیند پلیمریزاسیون محلولی تولید پلی‌آکریل‌آمید
۱۰۲	۴-۸-۸ کاربرد پلیمریزاسیون‌های محلولی در ساخت رزین‌ها
۱۰۲	۴-۸-۹ کاربرد پلیمریزاسیون‌های محلولی در ساخت رنگ‌های ترافیکی
۱۰۴	۴-۸-۱۰ برخی دیگر از کاربردهای پلیمریزاسیون‌های محلولی
۱۰۵	۴-۹ مقایسه روش‌های مطرح مدل‌سازی در پلیمریزاسیون‌های تک‌فازی
۱۰۷	۴-۱۰ مسائل
۱۰۸	۴-۱۱ مراجع
۱۰۹	فصل پنجم: پلیمریزاسیون‌های بین‌سطحی
۱۰۹	۵-۱ مقدمه
۱۱۰	۵-۲ انواع پلیمریزاسیون‌های بین‌سطحی
۱۱۰	۵-۲-۱ پلیمریزاسیون‌های بین‌سطحی توده‌ای
۱۱۰	۵-۲-۲ پلیمریزاسیون‌های بین‌سطحی محلولی
۱۱۰	۵-۲-۳ تولید پیوسته
۱۱۱	۵-۳ کاربرد واکنش‌های شاتن- بومان در پلیمریزاسیون‌های بین‌سطحی
۱۱۲	۵-۴ مزایای پلیمریزاسیون‌های بین‌سطحی
۱۱۳	۵-۵ معایب پلیمریزاسیون‌های بین‌سطحی
۱۱۳	۵-۶ نقش حلال‌ها
۱۱۵	۵-۷ مسائل

فهرست مطالب

۱۱۶.....	۸-۵ مراجع.....
۱۱۷.....	بخش سوم: پلیمریزاسیون‌هایی که منجر به تولید ذرات می‌شوند.....
۱۱۹.....	فصل ششم: عوامل فعال سطحی.....
۱۱۹.....	۱-۶ مقدمه.....
۱۲۱.....	۲-۶- کشش سطحی و بین سطحی.....
۱۲۲.....	۳-۶- تعریف عامل فعال سطحی.....
۱۲۳.....	۴-۶- ساختار عوامل فعال سطحی.....
۱۲۶.....	۵-۶- روش‌های مختلف بیان کمی خواص عوامل فعال سطحی و اندازه‌گیری برهم‌کنش مولکول‌های عوامل فعال سطحی با آب و روغن.....
۱۳۳.....	۶-۶- مسائل.....
۱۳۴.....	۷-۶- مراجع.....
۱۳۵.....	فصل هفتم: پلیمریزاسیون‌های تعلیقی.....
۱۳۵.....	۱-۷- مقدمه.....
۱۴۰.....	۲-۷- مزایا و معایب پلیمریزاسیون‌های تعلیقی.....
۱۴۱.....	۳-۷- دوره‌ها و مراحل پلیمریزاسیون‌های تعلیقی از دیدگاه فرآیندی.....
۱۴۱.....	۱-۳-۷- دوره مکانیک سیالاتی.....
۱۴۲.....	۲-۳-۷- دوره پلیمریزاسیونی.....
۱۴۲.....	۴-۷- مراحل پلیمریزاسیون‌های تعلیقی از دیدگاه واکنش.....
۱۴۳.....	۱-۴-۷- مرحله گذرا.....
۱۴۳.....	۲-۴-۷- مرحله شبه‌پایدار.....
۱۴۳.....	۳-۴-۷- مرحله رشد ذرات.....
۱۴۴.....	۴-۴-۷- مرحله ثابت شدن اندازه ذرات.....
۱۴۵.....	۵-۷- انواع پلیمریزاسیون‌های تعلیقی.....
۱۴۶.....	۱-۵-۷- طبقه‌بندی پلیمریزاسیون‌های تعلیقی بر اساس نوع فاز پراکنده و پیوسته.....
۱۴۶.....	۱-۱-۵-۷- پلیمریزاسیون‌های تعلیقی در سامانه‌های روغن در آب.....
۱۴۶.....	۲-۱-۵-۷- پلیمریزاسیون‌های تعلیقی در سامانه‌های آب در روغن.....
۱۴۸.....	۲-۵-۷- طبقه‌بندی پلیمریزاسیون‌های تعلیقی بر اساس فرآیند.....
۱۴۸.....	۳-۵-۷- طبقه‌بندی پلیمریزاسیون‌های تعلیقی بر اساس محصول.....
۱۴۹.....	۱-۳-۵-۷- پلیمریزاسیون‌های مرواریدی.....

فهرست مطالب

۱۴۹	۲-۳-۵-۷ پلیمریزاسیون های پودری (رسوبی-تعلیقی).....
۱۵۰	۶-۷ نقش عوامل فعال سطحی در پلیمریزاسیون های تعلیقی.....
۱۵۰	۱-۶-۷ عوامل فعال سطحی معدنی.....
۱۵۱	۲-۶-۷ عوامل فعال سطحی پلیمری.....
۱۵۵	۷-۷ توالی در مراحل پلیمریزاسیون های تعلیقی.....
۱۵۵	۸-۷ مرحله نهایی فرآیند پلیمریزاسیون های تعلیقی.....
۱۵۶	۹-۷ نقش هم زدن و اختلاط در پلیمریزاسیون های تعلیقی.....
۱۶۲	۱-۹-۷ فرآیند چسبندگی و ادغام ذرات.....
۱۶۲	۲-۹-۷ فرآیند شکست ذرات.....
۱۶۴	۱۰-۷ تعیین اندازه و توزیع اندازه ذرات.....
۱۶۵	۱-۱۰-۷ تعیین اندازه قطرات و ذرات نهایی.....
۱۷۴	۲-۱۰-۷ متوسط اندازه ذرات.....
۱۷۴	۳-۱۰-۷ توزیع اندازه ذرات.....
۱۷۶	۴-۱۰-۷ مدل سازی معماری ذرات.....
۱۷۶	۱-۴-۱۰-۷ مدل سازی توزیع اندازه ذرات.....
۱۸۳	۲-۴-۱۰-۷ مدل سازی فرآیند شکست قطرات.....
۱۸۴	۳-۴-۱۰-۷ مدل سازی فرآیند ادغام قطرات.....
۱۸۵	۱۱-۷ محاسبات خواص فیزیکی و تعادل فازي.....
۱۸۵	۱-۱۱-۷ خواص فیزیکی و انتقال.....
۱۸۶	۲-۱۱-۷ محاسبات تعادل فاز.....
۱۸۷	۱۲-۷ فرآیندهای نیمه پیوسته.....
۱۸۹	۱۳-۷ مورفولوژی.....
۱۹۰	۱۴-۷ پلیمریزاسیون های تعلیقی ذرات هسته- پوسته.....
۱۹۲	۱۵-۷ سینتیک پلیمریزاسیون های تعلیقی.....
۲۰۰	۱۶-۷ افزایش مقیاس فرآیند.....
۲۰۷	۱۷-۷ فرآیند پلیمریزاسیون تعلیقی استایرن در صنعت.....
۲۱۰	۱-۱۷-۷ نقش مونومر در واکنش.....
۲۱۰	۲-۱۷-۷ نقش آب در واکنش.....
۲۱۱	۳-۱۷-۷ نقش شروع کننده در واکنش.....

فهرست مطالب

۲۱۱	 شروع کننده با دمای تخریب پایین	۱-۳-۱۷-۷
۲۱۱	 شروع کننده با دمای تخریب بالا	۲-۳-۱۷-۷
۲۱۲	 انواع شروع کننده های پراکسایدی	۳-۳-۱۷-۷
۲۲۰	 نقش عوامل فعال سطحی مصرفی	۴-۱۷-۷
۲۲۷	 نقش اختلاط در واکنش	۵-۱۷-۷
۲۲۸	 سرعت واکنش	۶-۱۷-۷
۲۲۹	 نقش مقدار مونومر در اندازه ذرات	۷-۱۷-۷
۲۲۹	 مدل سازی پلیمریزاسیون تعلیقی استایرن	۸-۱۷-۷
۲۳۰	 مدل سازی سینتیک	۱-۸-۱۷-۷
۲۴۲	 مدل سازی توزیع اندازه ذرات	۲-۸-۱۷-۷
۲۴۳	 فرآیند پلیمریزاسیون تعلیقی کوپلیمر (استایرن-آکریلونیتریل)	۱۸-۷
۲۴۵	 مسائل	۱۹-۷
۲۴۷	 مراجع	۲۰-۷
۲۵۱	 فصل هشتم: پلیمریزاسیون های رسوبی	
۲۵۱	 مقدمه	۱-۸
۲۵۴	 انواع پلیمریزاسیون های زنجیره ای رسوبی	۲-۸
۲۵۷	 پلیمریزاسیون های رسوبی - توده ای	۱-۲-۸
۲۵۷	 پلیمریزاسیون های رسوبی - محلولی	۲-۲-۸
۲۶۰	 پلیمریزاسیون های رسوبی - محلولی - تقطیری	۱-۲-۲-۸
۲۶۹	 پلیمریزاسیون های رسوبی - تعلیقی	۳-۲-۸
۲۶۹	 مراحل پلیمریزاسیون های رسوبی	۳-۸
۲۷۰	 اختلاف مکانیسم پلیمریزاسیون های رسوبی با مکانیسم دیگر انواع پلیمریزاسیون ها	۴-۸
۲۷۲	 انسداد	۵-۸
۲۷۳	 پلیمریزاسیون های مرحله ای رسوبی	۶-۸
۲۷۴	 مکانیسم و سینتیک پلیمریزاسیون های رسوبی - محلولی	۷-۸
۲۷۴	 واکنش	۱-۷-۸
۲۷۶	 واکنش در فاز پیوسته (مونومر، حلال و شروع کننده)	۱-۱-۷-۸
۲۷۷	 انتقال جرم بین فاز پیوسته و پراکنده	۲-۱-۷-۸
۲۷۸	 واکنش در فاز پراکنده (پلیمر، حلال، مونومر و شروع کننده)	۳-۱-۷-۸

فهرست مطالب

۲۷۸	۲-۷-۸ تعریف مشخصه‌های مدل سینتیکی.....
۲۷۸	۱-۲-۷-۸ ضریب جزء حجمی و مولی.....
۲۷۹	۲-۲-۷-۸ ضریب جداسازی.....
۲۸۱	۳-۷-۸ توسعه مدل سینتیکی.....
۲۸۱	۱-۳-۷-۸ موازنه مولکول‌های شروع‌کننده.....
۲۸۱	۲-۳-۷-۸ موازنه رادیکال‌های اولیه.....
۲۸۲	۳-۳-۷-۸ سرعت شروع.....
۲۸۲	۴-۳-۷-۸ سرعت پلیمریزاسیون.....
۲۸۴	۵-۳-۷-۸ سرعت اختتام.....
۲۸۷	۶-۳-۷-۸ وزن مولکولی و توزیع وزن مولکولی.....
۲۸۸	۸-۸ پلیمریزاسیون‌های رسوبی - توده‌ای و رسوبی - تعلیقی پلی‌وینیل کلراید.....
۲۹۱	۱-۸-۸ مرحله هسته‌گذاری.....
۲۹۲	۲-۸-۸ مرحله پایا.....
۲۹۳	۳-۸-۸ مرحله نیمه‌اشباع.....
۲۹۴	۴-۸-۸ مکانیسم تشکیل ذرات.....
۲۹۸	۵-۸-۸ بررسی مورفولوژی ذرات پلی‌وینیل کلراید در پلیمریزاسیون رسوبی - تعلیقی.....
۲۹۹	۶-۸-۸ انواع عوامل فعال سطحی.....
۳۰۰	۱-۶-۸-۸ پایدارکننده‌های اولیه.....
۳۰۰	۲-۶-۸-۸ پایدارکننده‌های ثانویه.....
۳۰۱	۳-۶-۸-۸ ترکیب اثر مواد تعلیق اولیه و ثانویه.....
۳۰۳	۷-۸-۸ پوسته ذرات.....
۳۰۳	۸-۸-۸ تأثیر همزن بر مورفولوژی ذرات.....
۳۰۳	۹-۸-۸ تأثیر دور همزن بر تخلخل ذرات.....
۳۰۴	۱۰-۸-۸ ترکیب تأثیر دور همزن و عوامل تعلیق.....
۳۰۵	۱۱-۸-۸ تأثیر دما بر ثوابت سرعت.....
۳۰۷	۱۲-۸-۸ تأثیر عامل خنثی‌ساز بر مورفولوژی ذرات.....
۳۰۷	۱۳-۸-۸ مدل‌سازی سینتیک پلیمریزاسیون رسوبی - تعلیقی وینیل کلراید.....
۳۰۷	۱-۱۳-۸-۸ بررسی انواع واکنش‌های شیمیایی.....
۳۱۰	۲-۱۳-۸-۸ مرحله شروع.....

فهرست مطالب

۳۱۰	 ۳-۱۳-۸-۸ مرحله انتشار و انتقال زنجیر
۳۱۱	 ۴-۱۳-۸-۸ مرحله اختتام
۳۱۲	 ۵-۱۳-۸-۸ دیگر واکنش ها
۳۱۲	 ۱۴-۸-۸ دینامیک و مدل سازی پلیمریزاسیون وینیل کلراید
۳۱۵	 ۱۵-۸-۸ توسعه مدل سینتیکی
۳۱۷	 ۱-۱۵-۸-۸ غلظت های رادیکال ها
۳۲۴	 ۲-۱۵-۸-۸ غلظت های مونومر
۳۲۵	 ۳-۱۵-۸-۸ تقسیم شروع کننده، کارایی و ثابت سرعت تجزیه
۳۲۸	 ۴-۱۵-۸-۸ درجه تبدیل محدود کننده
۳۲۹	 ۵-۱۵-۸-۸ واکنش های کنترل شده نفوذی در فاز پلیمر
۳۳۴	 ۱۶-۸-۸ محاسبات خواص فیزیکی و تعادل فازی
۳۳۴	 ۱-۱۶-۸-۸ خواص فیزیکی و انتقال
۳۳۶	 ۲-۱۶-۸-۸ محاسبات تعادل فاز
۳۳۷	 ۱۷-۸-۸ تأثیر عوامل فرآیندی در توزیع اندازه ذرات
۳۳۹	 ۱۸-۸-۸ نمونه صنعتی پلیمریزاسیون های رسوبی - توده ای پلی وینیل کلراید
۳۴۱	 ۱۰-۸-۸ نمونه صنعتی پلیمریزاسیون های رسوبی - توده ای پلی پروپیلن
۳۴۱	 ۱۱-۸-۸ پلیمریزاسیون رسوبی - تعلیقی ذرات هسته - پوسته
۳۴۳	 ۱۲-۸-۸ مسائل
۳۴۴	 ۱۳-۸-۸ مراجع
۳۴۷	 فصل نهم: پلیمریزاسیون های پراکنشی
۳۴۷	 ۱-۹ مقدمه
۳۵۵	 ۲-۹ ذرات پلیمری به شکل میکروکرات
۳۵۶	 ۳-۹ نوع عوامل فعال سطحی در پلیمریزاسیون های پراکنشی
۳۵۷	 ۴-۹ کنترل اندازه ذرات
۳۵۸	 ۵-۹ پایداری سازی ذرات پلیمری در سامانه های غیر آبی
۳۵۸	 ۱-۵-۹ شرایط پایداری سازی
۳۶۵	 ۲-۵-۹ پایداری پراکنش در مذاب پلیمری
۳۶۶	 ۳-۵-۹ ابعاد لایه پایداری کننده
۳۶۷	 ۴-۵-۹ اثر زنجیره پلیمری آزاد بر حلالیت و رسوب ذرات

فهرست مطالب

۳۶۸	۶-۹ طراحی و سنتز پایدارکننده‌های فضایی پلیمری
۳۷۱	۷-۹ مکانیسم پلیمریزاسیون پراکنشی غیرآبی
۳۷۱	۱-۷-۹ هسته‌گذاری و رشد
۳۷۲	۸-۹ پلیمریزاسیون‌های پراکنشی حلقه‌گشا
۳۷۳	۹-۹ سینتیک واکنش
۳۷۹	۱۰-۹ روش‌های تهیه پراکنش‌های پلیمری غیرآبی
۳۸۶	۱-۱۰-۹ محاسبه تغییرات غلظت مونومر در سامانه
۳۸۶	۲-۱۰-۹ محاسبه تغییرات غلظت پلیمر در سامانه
۳۸۷	۱۱-۹ پلیمریزاسیون‌های پراکنشی بذری
۳۸۸	۱۲-۹ پلیمریزاسیون پراکنشی پلی‌وینیل کلراید
۳۹۰	۱۳-۹ مسائل
۳۹۲	۱۴-۹ مراجع
۳۹۵	فصل دهم: پلیمریزاسیون‌های امولسیون
۳۹۵	۱-۱۰ مقدمه
۳۹۷	۲-۱۰ امولسیون
۴۰۰	۱-۲-۱۰ نحوه تشکیل امولسیون
۴۰۱	۲-۲-۱۰ انواع امولسیون
۴۰۱	۳-۲-۱۰ خواص مهم امولسیون‌ها
۴۰۲	۴-۲-۱۰ پایداری امولسیون‌ها
۴۰۲	۱-۴-۲-۱۰ پایداری حرارتی
۴۰۳	۲-۴-۲-۱۰ پایداری برودتی
۴۰۳	۳-۴-۲-۱۰ پایداری دوره‌ای
۴۰۳	۴-۴-۲-۱۰ پایداری مکانیکی
۴۰۴	۵-۴-۲-۱۰ پایداری نوری
۴۰۴	۶-۴-۲-۱۰ پایداری بسته‌بندی
۴۰۴	۵-۲-۱۰ عوامل مؤثر بر رئولوژی امولسیون
۴۰۵	۳-۱۰ فرآیند پلیمریزاسیون امولسیون
۴۰۸	۱-۳-۱۰ تاریخچه
۴۱۲	۴-۱۰ مراحل واکنش

فهرست مطالب

۴۱۲	 ۱۰-۴-۱ بخش اول
۴۱۵	 ۱۰-۴-۲ بخش دوم
۴۱۶	 ۱۰-۵ معایب پلیمریزاسیون امولسیون
۴۲۱	 ۱۰-۶ تغییر خواص در غلظت مایسل بحرانی
۴۲۲	 ۱۰-۶-۱ تغییر رفتار محلول‌ها در غلظت مایسل بحرانی
۴۲۴	 ۱۰-۶-۲ روش‌های اندازه‌گیری غلظت مایسل بحرانی
۴۲۴	 ۱۰-۶-۳ اثر دما بر غلظت مایسل بحرانی
۴۲۷	 ۱۰-۶-۴ تأثیر الکترولیت بر غلظت مایسل بحرانی
۴۲۷	 ۱۰-۷ مایسل‌ها
۴۲۹	 ۱۰-۷-۱ شکل فضایی مایسل‌ها
۴۳۰	 ۱۰-۷-۲ مایسل‌های وارون
۴۳۱	 ۱۰-۷-۳ پارامتر (مشخصه) تراکم بحرانی
۴۳۳	 ۱۰-۷-۴ تأثیر هندسه عوامل فعال سطحی بر شکل مایسل
۴۳۶	 ۱۰-۷-۵ حل شدن مواد غیر قطبی در مایسل‌ها
۴۳۷	 ۱۰-۷-۶ خواص مایسل‌ها
۴۳۸	 ۱۰-۷-۷ عوامل مؤثر بر تشکیل مایسل و غلظت مایسل بحرانی
۴۳۹	 ۱۰-۷-۸ امولسیفایرهای دو زنجیره‌ای
۴۴۰	 ۱۰-۷-۸-۱ ترمودینامیک تشکیل مایسل‌ها
۴۴۳	 ۱۰-۷-۹ سینتیک تشکیل مایسل‌ها
۴۴۴	 ۱۰-۷-۱۰ نیروی محرک تشکیل مایسل
۴۴۵	 ۱۰-۸ اندازه ذرات در پلیمریزاسیون‌های امولسیونی
۴۴۵	 ۱۰-۹ اختلافات اساسی پلیمریزاسیون‌های تعلیقی و امولسیونی
۴۴۶	 ۱۰-۱۰ مونومر
۴۴۹	 ۱۰-۱۱ امولسیفایر‌ها
۴۵۲	 ۱۰-۱۱-۱ انواع امولسیفایر‌ها
۴۵۴	 ۱۰-۱۱-۱-۱ امولسیفایرهای آنیونی
۴۵۴	 ۱۰-۱۱-۱-۲ امولسیفایرهای کاتیونی
۴۵۵	 ۱۰-۱۱-۱-۳ امولسیفایرهای غیر یونی
۴۵۶	 ۱۰-۱۱-۱-۴ امولسیفایرهای آمفوتری

فهرست مطالب

۴۵۸	 ۵-۱۱-۱۰ صابون‌های اسیدچرب
۴۶۰	 ۶-۱۱-۱۰ مخلوط امولسیفایرهای مختلف
۴۶۰	 ۲-۱۱-۱۰ مکانیسم پایداری توسط امولسیفایرها
۴۶۱	 ۳-۱۱-۱۰ روش‌های معرفی امولسیفایرها
۴۶۲	 ۴-۱۱-۱۰ رابطه حلالیت و دما در امولسیفایرها
۴۶۲	 ۵-۱۱-۱۰ پلی‌الکترولیت‌ها به‌عنوان امولسیفایر
۴۶۳	 ۱-۵-۱۱-۱۰ طبقه‌بندی پلی‌الکترولیت‌ها
۴۶۵	 ۲-۵-۱۱-۱۰ محلول‌های آبی پلی‌الکترولیت‌ها
۴۶۵	 ۱۲-۱۰ شروع‌کننده‌ها
۴۶۶	 ۱-۱۲-۱۰ شروع‌کننده‌های تفکیکی
۴۶۶	 ۲-۱۲-۱۰ شروع‌کننده‌های اکسایش-کاهش
۴۷۲	 ۳-۱۲-۱۰ پلیمریزاسیون با شروع‌کننده‌های آب‌گریز
۴۷۴	 ۱۳-۱۰ فاز پیوسته
۴۷۶	 ۱۴-۱۰ عوامل انتقال زنجیره
۴۷۸	 ۱۵-۱۰ افزودنی‌های دیگر
۴۸۰	 ۱۶-۱۰ لاتکس‌های پلیمری
۴۸۱	 ۱-۱۶-۱۰ رئولوژی
۴۸۳	 ۲-۱۶-۱۰ تشکیل فیلم
۴۸۵	 ۱-۲-۱۶-۱۰ عوامل مؤثر بر تشکیل فیلم
۴۸۸	 ۳-۱۶-۱۰ مواد افزودنی و تأثیر آن‌ها بر خواص لاتکس‌های پلیمری
۴۹۲	 ۴-۱۶-۱۰ کلویدهای پلیمری
۴۹۵	 ۱-۴-۱۶-۱۰ مهم‌ترین عوامل در تعیین خواص کلویدها
۴۹۶	 ۲-۴-۱۶-۱۰ طبقه‌بندی سامانه‌های کلویدها
۴۹۶	 ۳-۴-۱۶-۱۰ کلویدهای لیوفیلیک و لیوفوبیک
۴۹۷	 ۴-۴-۱۶-۱۰ شکل ذرات در کلویدها
۵۰۰	 ۵-۴-۱۶-۱۰ پایداری کلویدها
۵۰۷	 ۶-۴-۱۶-۱۰ دانسیته الکتریکی سطح کلویدها
۵۱۰	 ۷-۴-۱۶-۱۰ پتانسیل الکتریکی سطحی
۵۱۳	 ۵-۱۶-۱۰ مخلوط لاتکس‌ها

فهرست مطالب

۵۱۳	۱۰-۱۶-۶ لاتکس‌های هسته- پوسته.....
۵۱۴	۱۰-۱۶-۷ لاتکس شبکه‌های پلیمری درهم‌نفوذ کرده.....
۵۱۴	۱۰-۱۶-۸ مخلوط لاتکس‌های پیش‌شبکه‌ای شده.....
۵۱۵	۱۰-۱۶-۹ تعیین درصد جامد، ویسکوزیته، مونومر آزاد، پایداری و خواص لاتکس‌ها.....
۵۱۶	۱۰-۱۶-۱۰ کاربرد پیگمنت‌ها و فیلرها در لاتکس‌ها.....
۵۱۷	۱۰-۱۷-۱۷ انواع پلیمریزاسیون به روش امولسیون.....
۵۱۷	۱۰-۱۷-۱ پلیمریزاسیون‌های مینی‌امولسیونی.....
۵۱۸	۱۰-۱۷-۲ پلیمریزاسیون میکروامولسیونی.....
۵۱۹	۱۰-۱۷-۳ پلیمریزاسیون‌های مینی‌امولسیونی پیکرینگ.....
۵۲۰	۱۰-۱۷-۴ پلیمریزاسیون امولسیونی تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون درجا.....
۵۲۰	۱۰-۱۷-۵ پلیمریزاسیون امولسیونی وارون.....
۵۲۰	۱۰-۱۷-۶ پلیمریزاسیون امولسیونی بذری.....
۵۲۱	۱۰-۱۷-۷ پلیمریزاسیون‌های امولسیونی بدون استفاده از عوامل فعال سطحی.....
۵۲۲	۱۰-۱۸-۱۸ مکانیسم‌های تشکیل ذره در پلیمریزاسیون‌های امولسیونی.....
۵۲۲	۱۰-۱۸-۱ هسته‌گذاری مایسلی.....
۵۲۳	۱۰-۱۸-۲ هسته‌گذاری همگن.....
۵۲۳	۱۰-۱۸-۳ هسته‌گذاری در قطرات مونومری.....
۵۲۴	۱۰-۱۹-۱۹ عوامل مختلف مؤثر بر کنترل اندازه ذرات در پلیمریزاسیون‌های امولسیونی.....
۵۲۴	۱۰-۱۹-۱ اثر دما.....
۵۲۶	۱۰-۱۹-۲ تأثیر عوامل مؤثر بر اختلاط.....
۵۲۷	۱۰-۱۹-۲-۱ بررسی هندسه و مشخصه‌های هیدرودینامیکی همزن.....
۵۲۹	۱۰-۱۹-۲-۲ عوامل و مواد مؤثر بر بهبود عملیات همزن.....
۵۲۹	۱۰-۱۹-۳ تأثیر نوع امولسیفایر.....
۵۳۰	۱۰-۱۹-۴ اثر غلظت الکترولیت.....
۵۳۲	۱۰-۱۹-۵ نقش اضافه نمودن حلال‌های آلی.....
۵۳۲	۱۰-۱۹-۶ اثر ساختار عامل فعال سطحی.....
۵۳۲	۱۰-۱۹-۷ اثر امولسیفایر در غیاب مایسل‌ها.....
۵۳۳	۱۰-۱۹-۸ اثر نسبت فازها.....
۵۳۳	۱۰-۲۰ تئوری‌های موجود مرتبط با مکانیسم پلیمریزاسیون امولسیونی.....

فهرست مطالب

۵۳۵	۱۰-۲۰-۱ مکانیسم هارکینز و تئوری اسمیت-اوارت
۵۴۲	۱۰-۲۰-۱ انحرفات از مکانیسم هارکینز
۵۴۳	۱۰-۲۱ مدل سازی پلیمریزاسیون های امولسیون
۵۴۴	۱۰-۲۲ سینتیک واکنش
۵۴۶	۱۰-۲۲-۱ تعیین غلظت مونومر در ذرات
۵۴۸	۱۰-۲۲-۱ افزایش انرژی آزاد بین سطحی کسب شده با افزایش سطح
۵۴۸	۱۰-۲۲-۱ کاهش انرژی آزاد گیس به دلیل اختلاط مونومر با پلیمر
۵۵۰	۱۰-۲۲-۲ تعیین تعداد متوسط رادیکال های آزاد در ذرات پلیمری
۵۵۹	۱۰-۲۲-۲ معادلات واکنش های پلیمریزاسیون امولسیونی پس از نقطه ژل
۵۶۰	۱۰-۲۲-۳ تعیین تعداد و توزیع ذرات
۵۶۳	۱۰-۲۲-۳ اثر شرایط محیط بر سطح مؤثر مولکول امولسیفایر
۵۶۹	۱۰-۲۲-۳ تأثیر محلول سازی و سرعت در مرحله ۱ بر اندازه ذرات
۵۶۹	۱۰-۲۲-۳ توزیع اندازه ذرات و سرعت در مرحله ۱
۵۷۰	۱۰-۲۳ درصد تبدیل
۵۷۴	۱۰-۲۴ توزیع وزن مولکولی
۵۷۴	۱۰-۲۴ کنترل وزن مولکولی با واکنش های انتقال
۵۷۵	۱۰-۲۴ کنترل وزن مولکولی با واکنش های اختتام
۵۹۴	۱۰-۲۵ مبانی مدل سازی سرعت واکنش، توزیع اندازه ذرات و توزیع وزن مولکولی در پلیمریزاسیون های امولسیونی
۶۰۶	۱۰-۲۶ سنتز نانوذرات با پلیمریزاسیون امولسیونی نفوذ-کنترل
۶۰۸	۱۰-۲۷ کوپلیمریزاسیون های امولسیونی
۶۱۱	۱۰-۲۸ انواع فرآیندهای پلیمریزاسیون امولسیونی
۶۱۲	۱۰-۲۸-۱ فرآیند ناپیوسته
۶۱۳	۱۰-۲۸-۲ فرآیند نیمه پیوسته
۶۱۴	۱۰-۲۸-۳ فرآیند پیوسته
۶۱۵	۱۰-۲۸-۴ مقایسه رفتار فرآیندهای مختلف پلیمریزاسیون های امولسیونی
۶۱۶	۱۰-۲۸-۵ اجزای راکتورهای پلیمریزاسیون های امولسیونی
۶۱۷	۱۰-۲۸-۶ پیشبینی عملکرد راکتورهای پلیمریزاسیون امولسیونی
۶۱۷	۱۰-۲۸-۶ موازنه جرم

فهرست مطالب

۶۱۸	۱۰-۲۸-۶-۲ موازنه انرژی.....
۶۱۹	۱۰-۲۸-۶-۳ موازنه جمعیت.....
۶۲۰	۱۰-۲۸-۷ نحوه پردازش داده‌های راکتور پلیمریزاسیون امولسیونی.....
۶۲۱	۱۰-۲۸-۸ شستشوی راکتورهای پلیمریزاسیون امولسیونی.....
۶۲۲	۱۰-۲۸-۹ جداسازی مونومر باقیمانده و مواد آلی فرار.....
۶۲۲	۱۰-۲۸-۹-۱ پس‌پلیمریزاسیون.....
۶۲۳	۱۰-۲۸-۹-۲ فرار زدایی ماده فرار.....
۶۲۴	۱۰-۲۸-۱۰ افزایش مقیاس.....
۶۲۵	۱۰-۲۸-۱۱ نکات قابل ملاحظه در طراحی فرایندهای پلیمریزاسیون‌های امولسیونی.....
۶۲۷	۱۰-۲۹ کنترل کیفیت پلیمر تولیدی.....
۶۳۱	۱۰-۳۰ نمونه‌های صنعتی پلیمریزاسیون‌های امولسیونی.....
۶۳۱	۱۰-۳۰-۱ فرآیند پلیمریزاسیون امولسیونی لاستیک استایرن- بوتادی‌ان.....
۶۳۴	۱۰-۳۰-۱-۱ مروری بر فرآیند صنعتی تولید لاستیک استایرن- بوتادی‌ان سرد.....
۶۳۷	۱۰-۳۰-۲ فرآیند پلیمریزاسیون امولسیونی تولید کوپلیمر استایرن- آکریلونیتریل.....
۶۳۸	۱۰-۳۰-۳ فرآیند پلیمریزاسیون امولسیونی ترپلیمر آکریلونیتریل- بوتادی‌ان- استایرن.....
۶۳۹	۱۰-۳۰-۳-۱ تولید پایه رابری.....
۶۴۰	۱۰-۳۰-۳-۲ تولید ترپلیمر آکریلونیتریل- بوتادی‌ان- استایرن پیوندی.....
۶۴۲	۱۰-۳۰-۳-۳ پایداری و استحصال نهایی رابر پیوندی.....
۶۴۳	۱۰-۳۰-۴ پلیمریزاسیون امولسیونی پلی‌وینیل کلراید.....
۶۴۶	۱۰-۳۰-۵ پلیمریزاسیون امولسیونی لاستیک نیتریل.....
۶۵۴	۱۰-۳۰-۶ پوشش‌های پایه آبی امولسیونی.....
۶۵۵	۱۰-۳۰-۶-۱ پلیمریزاسیون امولسیونی آکریلیک‌ها.....
۶۶۲	۱۰-۳۰-۶-۲ پلیمریزاسیون امولسیونی پلی‌وینیل استات.....
۶۶۸	۱۰-۳۱ مسائل.....
۶۷۲	۱۰-۳۲ مراجع.....
۶۷۷	فصل یازدهم: کوپلیمریزاسیون‌های امولسیونی هسته- پوسته.....
۶۷۷	۱۱-۱ مقدمه.....
۶۸۲	۱۱-۲ بررسی مباحث ترمودینامیکی در پلیمریزاسیون‌های امولسیونی هسته- پوسته.....
۶۸۸	۱۱-۳ بررسی مباحث سینتیکی در پلیمریزاسیون‌های امولسیونی هسته- پوسته.....

فهرست مطالب

۴-۱۱	تأثیر عوامل فرآیند پلیمریزاسیون در کنترل مورفولوژی ذره.....	۶۹۰
۱-۴-۱۱	اثرات سازگاری و آب دوستی پلیمر و مونومر و تنش بین سطحی پلیمر- مونومر.....	۶۹۰
۲-۴-۱۱	تغییر آب دوستی سطح ذره.....	۶۹۱
۳-۴-۱۱	تأثیر کومونومر یونی یا قطبی بر مشخصات سطح ذره.....	۶۹۱
۴-۴-۱۱	تأثیر امولسیفایر بر مشخصات سطحی ذره.....	۶۹۲
۵-۴-۱۱	تأثیر شروع کننده بر مشخصات سطحی ذره.....	۶۹۳
۶-۴-۱۱	تأثیر نحوه افزودن مونومرها.....	۶۹۵
۵-۱۱	استفاده از عامل شبکه‌ای کننده.....	۶۹۶
۶-۱۱	اثرات نسبت مراحل.....	۷۰۰
۷-۱۱	واکنش کوپلیمریزاسیون با افزایش تحرک پلیمر.....	۷۰۰
۸-۱۱	واکنش کوپلیمریزاسیون در دمای پایین.....	۷۰۱
۹-۱۱	هسته- پوسته‌های نیمکره دوچهره.....	۷۰۱
۱-۹-۱۱	بهره‌گیری از امتزاج‌ناپذیری مخلوط‌های پلیمری.....	۷۰۴
۲-۹-۱۱	استفاده از روش پلیمریزاسیون امولسیون بذر.....	۷۰۴
۳-۹-۱۱	کوپلیمرهای سه‌قطعه‌ای.....	۷۰۵
۴-۹-۱۱	فرآیند شبکه‌ای‌سازی انتخابی (نامتقارن سازی) در ناحیه سطح مشترک.....	۷۰۵
۵-۹-۱۱	فرآیند جت‌کردن.....	۷۰۸
۱۰-۱۱	ذرات چندلایه.....	۷۰۸
۱۱-۱۱	نمونه‌های صنعتی از کوپلیمریزاسیون‌های هسته- پوسته.....	۷۰۹
۱۲-۱۱	مسائل.....	۷۱۱
۱۳-۱۱	مراجع.....	۷۱۲
فصل دوازدهم: کوپلیمریزاسیون‌های امولسیونی هسته- پوسته با شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری.....		
۷۱۳		۷۱۳
۱-۱۲	مقدمه.....	۷۱۳
۲-۱۲	شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری کامل و شبکه‌های نیمه‌درهم‌نفوذ کرده پلیمری.....	۷۱۶
۳-۱۲	مورفولوژی شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری.....	۷۱۶
۴-۱۲	دسته‌بندی شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری بر حسب سنتز آن‌ها.....	۷۱۷
۱-۴-۱۲	شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری ترتیبی.....	۷۱۸
۲-۴-۱۲	شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری درجا.....	۷۱۹

فهرست مطالب

۷۲۰	۱۲-۴-۳ شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری ترموپلاستیک.....
۷۲۰	۱۲-۴-۴ شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری لاتکسی.....
۷۲۲	۱۲-۵ راه‌های شناخت خصوصیات شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری.....
۷۲۴	۱۲-۶ کاربرد شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری.....
۷۲۵	۱۲-۷ توصیف تئوری شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری.....
۷۲۵	۱۲-۸ بررسی کارهای عملی.....
۷۲۶	۱۲-۹ لاتکس شبکه‌های درهم‌نفوذ کرده پلیمری هسته- پوسته.....
۷۲۹	۱۲-۱۰ مسائل.....
۷۳۰	۱۲-۱۱ مراجع.....
۷۳۱	فصل سیزدهم: خواص فازی امولسیون‌ها.....
۷۳۱	۱۳-۱ مقدمه.....
۷۳۱	۱۳-۲ خواص فازی سامانه‌های سه‌گانه.....
۷۳۱	۱۳-۲-۱ انرژی‌های بین‌مولکولی.....
۷۳۳	۱۳-۲-۲ خواص فازی سامانه‌های آب/ روغن/ عوامل فعال سطحی.....
۷۳۶	۱۳-۲-۳ فرمولاسیون بهینه.....
۷۳۹	۱۳-۲-۴ اختلاف تمایل عوامل فعال سطحی (SAD).....
۷۴۰	۱۳-۳ سامانه‌های امولسیون‌ی واریون.....
۷۴۰	۱۳-۳-۱ نوع امولسیون و نمودار SOW.....
۷۴۳	۱۳-۳-۲ فرمولاسیون دوبعدی بر حسب نمودار WOR.....
۷۴۷	۱۳-۳-۳ زمان تعادل ظاهری و وارونگی دینامیکی.....
۷۵۰	۱۳-۴ عوامل مؤثر بر خواص فازی امولسیون‌ها.....
۷۵۰	۱۳-۴-۱ اثر دما بر نمودار فازی و نوع پراکنش سامانه سه فازی آبی/ آلی/ عوامل فعال سطحی غیر یونی.....
۷۵۳	۱۳-۴-۱-۱ دمای ویژه برای حلالیت متقابل فازهای آبی و آلی.....
۷۵۴	۱۳-۴-۲ تأثیر طول ناحیه اکسی‌اتیلن عوامل فعال سطحی غیر یونی.....
۷۵۵	۱۳-۴-۳ تأثیر دما بر نوع پراکنش.....
۷۵۷	۱۳-۴-۴ موازنه آب‌دوست- روغن‌دوست (HLB) برای امولسیفایرهای غیر یونی.....
۷۵۸	۱۳-۴-۴-۱ دمای HLB (PIT).....
۷۶۰	۱۳-۴-۴-۲ مقایسه دمای HLB و عدد HLB.....

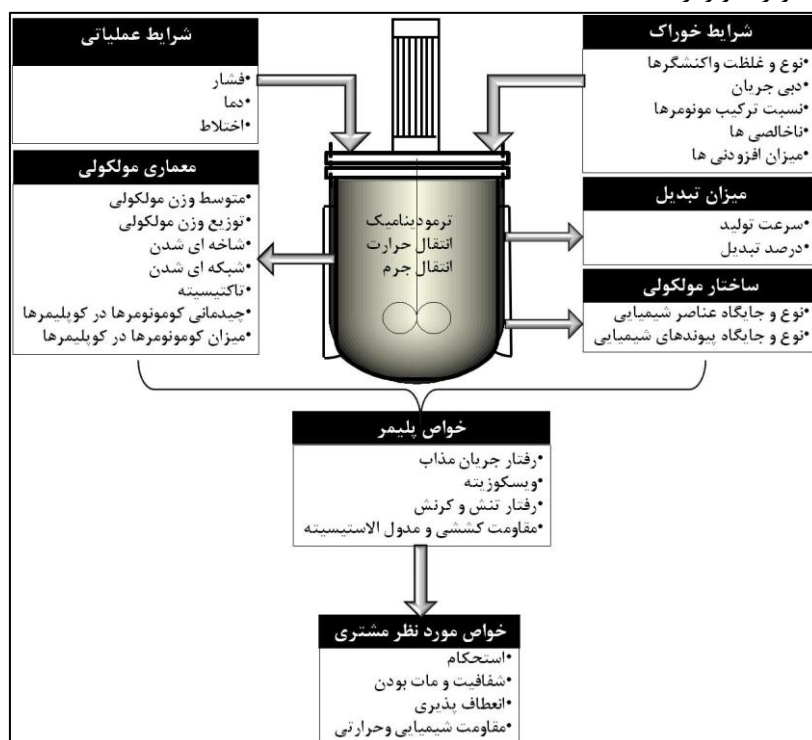
فهرست مطالب

۷۶۱	 HLB عدد ۳-۴-۴-۱۳
۷۶۲	 HLB ۵-۴-۴-۱۳ عوامل فعال سطحی یونی
۷۶۹	 ۵-۱۳ مسائل
۷۷۰	 ۶-۱۳ مراجع
۷۷۱	 فصل چهاردهم: پلیمریزاسیون در سامانه‌های ناهمگن وارون
۷۷۱	 ۱-۱۴ مقدمه
۷۷۴	 ۲-۱۴ مونومرهای آب‌دوست
۷۷۵	 ۳-۱۴ واکنش پلیمریزاسیون در سامانه‌های ناهمگن وارون
۷۷۶	 ۱-۳-۱۴ طبقه‌بندی و مقایسه پلیمریزاسیون آبی در آلی
۷۷۸	 ۲-۳-۱۴ مکانیسم
۷۸۱	 ۳-۳-۱۴ مدل سینتیکی
۷۸۱	 ۱-۳-۳-۱۴ مرحله شروع
۷۸۳	 ۲-۳-۳-۱۴ سرعت پلیمریزاسیون
۷۸۶	 ۳-۳-۳-۱۴ وزن مولکولی
۷۸۸	 ۴-۳-۳-۱۴ اندازه ذرات
۷۹۲	 ۴-۱۴ مسائل
۷۹۳	 ۵-۱۴ مراجع
۷۹۵	 پیوست‌ها
۷۹۶	 پیوست الف: عدد HLB عوامل فعال سطحی و روغن‌ها
	 پیوست ب: ساختار عوامل فعال سطحی متداول و غلظت مایسل بحرانی (CMC برحسب mmol در آب در
۸۰۴	 دمای ۲۵°C (بدون افزودن نمک)
۸۰۷	 پیوست ج: مثال‌های کلی
۸۵۱	 نمایه
۸۵۷	 واژه‌نامه‌ها
۸۵۹	 واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۸۷۱	 واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

پیشگفتار

امروزه باید به این نکته اذعان کرد که دانش پلیمری یکی از شاخه‌های علمی است که در مقایسه با رشته‌های علمی دیگر پیشرفتی قابل ملاحظه داشته 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 تجسم کرد که مغزی از دانش کامپیوتری و بدنی از مواد پلیمری دارد. سبکی، ارزانی، مقاومت شیمیایی بالا، شکل‌پذیری آسان و خواص فیزیکی- مکانیکی مناسب باعث شده‌اند که پلیمرها جایگزینی بسیار مناسب برای فلزات و غیرفلزات باشند.

همانند بقیه مواد تولیدی در صنایع مختلف، از دیدگاه یک مهندس هدف اصلی تولید پلیمرها نیز مباحث اقتصادی (مانند سودآوری) است. اقتصاد این صنعت نیز تابع سه عامل بسیار مهم؛ "سرعت تولید"، "خواص فیزیکی- مکانیکی" محصول نهایی و "میزان تبدیل" مواد اولیه (به‌ویژه مونومرها) است.



شکل ۱: طرحی کلی از ارتباط ساختار - خواص در تولید پلیمرها

مهم‌ترین عامل در سرعت تولید، "علم سینتیک واکنش پلیمریزاسیون" است که به بررسی عوامل مؤثر بر سرعت واکنش می‌پردازد. در نقطه مقابل خواص فیزیکی- مکانیکی یک محصول پلیمری اگرچه در حین فرآیندهای شکل‌دهی نیز دستخوش تغییراتی می‌شوند ولیکن بسیاری از این خواص در حین واکنش پلیمریزاسیون تعیین می‌گردند. همچنین اگرچه برخی خواص نهایی محصولات پلیمری به خواص واکنشگرهای اولیه وابسته‌اند، ولی بسیاری از این خواص به فرآیند تولید و پلیمریزاسیون اولیه آن‌ها و نیز فرآیندهای شکل‌دهی نهایی آن‌ها بستگی دارند؛ بنابراین مهم‌ترین وظیفه برای افرادی که در صنعت تولید مواد پلیمری فعال هستند ابتدا پیدا کردن ارتباطی بین ساختار و خواص نهایی پلیمرها و در مرحله بعد یافتن راهی برای تولید پلیمر موردنظر با معماری و ساختار مولکولی مذکور است.

در مراحل پلیمریزاسیون عواملی مهم در شکل‌گیری معماری مولکولی پلیمرها نقش دارند که بسیاری از آن‌ها در اختیار مهندسان فرآیند پلیمریزاسیون نیستند، ولی این عوامل از برخی عناصر بیرون از واکنش (مانند غلظت واکنش‌گرها، فشار و دما) تبعیت می‌کنند که کنترل آن‌ها به‌دست این مهندسان است؛ بنابراین مهم‌ترین وظیفه مهندسان فرآیندهای پلیمریزاسیون پیدا کردن ارتباطی بین شرایط و عوامل فرآیندی در دسترس و معماری مولکولی پلیمر مطلوب درون راکتور در حین واکنش است.

معماری مولکولی پلیمرها در سه مقیاس میکرو یا ریز (واکنش‌های پلیمریزاسیون مانند واکنش‌های مرحله‌ای و زنجیره‌ای)، مزو یا متوسط (محیط‌ها و روش‌های پلیمریزاسیون مانند محیط‌های تک‌فازی و چندفازی) و ماکرو یا بزرگ (فرآیندهای پلیمریزاسیون مانند سامانه‌های ناپیوسته، نیمه‌پیوسته و پیوسته) انجام می‌شود. برای طراحی و معماری صحیح مولکول‌های پلیمری به تسلط بر هر سه مقیاس طراحی نیاز است.

به این منظور در مجموعه کتاب‌های مبانی مهندسی پلیمریزاسیون، پس از آشنایی با کلیاتی در زمینه پلیمرها در جلد اول (تکنولوژی پلیمرها)، در جلد دوم (واکنش‌های پلیمریزاسیون) واکنش‌ها و محاسبات پلیمریزاسیون‌های مرحله‌ای، زنجیره‌ای و کوپلیمریزاسیون‌ها مطالعه شدند. در ادامه در جلد سوم (کتاب حاضر، روش‌های پلیمریزاسیون) تأثیر محیط‌ها و روش‌های پلیمریزاسیون مانند محیط‌های تک‌فازی و چندفازی، در جلد چهارم (طراحی راکتورهای پلیمری) تأثیر فرآیندهای پلیمریزاسیون بر معماری مولکولی برای دستیابی به خواص فیزیکی- مکانیکی محصولات پلیمری مطلوب و سرانجام در جلد پنجم سنتز نانوپلیمرها (ذرات نانوپلیمری) و نانوکامپوزیت‌های پلیمری مورد مطالعه قرار گرفته‌شده است.

بر اساس تقسیم‌بندی ارائه‌شده در ابتدای این جلد پلیمریزاسیون‌های بدون ذره یعنی توده‌ای، محلولی و بین‌سطحی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. با توجه به این نکته که در این نوع پلیمریزاسیون‌ها بحث کاربرد ذره تولیدی مطرح نیست لذا در فصل‌های مربوط به پلیمریزاسیون‌های ذکرشده فقط تأثیر محیط پلیمریزاسیون بر معماری مولکولی برای دستیابی به خواص فیزیکی- مکانیکی محصولات پلیمری مطلوب مطالعه خواهند شد و مباحث مربوط به معماری ذرات پلیمری تولیدی مورد بررسی قرار نخواهند گرفت.

در نقطه مقابل امروزه پلیمریزاسیون‌هایی که منجر به تولید پلیمرهای ذره‌ای به‌ویژه ذراتی با اندازه میکرون و کمتر از میکرون می‌شوند کاربردهای بسیاری در صنعت پیدا کرده‌اند. پلیمریزاسیون‌هایی که منجر به تولید ذرات پلیمری می‌شوند به چهار خانواده اصلی؛ تعلیقی، رسوبی، پراکنشی و امولسیون طبقه‌بندی می‌شوند. اگرچه در برخی موارد ذرات تولیدی از این نوع پلیمریزاسیون‌ها پس از جداسازی آب (یا حلال)، مونومر و شروع‌کننده عمل‌نکرده از محیط واکنش در فرآیندهای شکل‌دهی ذوب و به‌صورت نسبتاً خالص یا با آلیاژ کردن با دیگر پلیمرها، مواد یا افزودنی‌های دیگر مصرف می‌شوند ولیکن در بسیاری موارد ذرات تولیدی پس از تخلیص و شستشو به شکل ذره مصرف می‌شوند که در این زمینه می‌توان به کاربرد این ذرات در رزین‌های مبدل یون یا ذرات پرکننده ستون‌های کروماتوگرافی و حتی پایه کاتالیست‌ها اشاره نمود. در رزین‌های مبدل یون، قطر ذرات در انتقال یون در ستون‌های تصفیه از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین در فرآیندهای شکل‌دهی نیز به دلیل وابستگی نرخ انتقال حرارت و سرعت نفوذ نرم‌کننده به ذره، قطر مناسب ذرات می‌تواند مؤثر واقع شود.

بنابراین در سنتز این‌گونه ذرات پلیمری بایستی دقت نمود که نه‌تنها همانند پلیمریزاسیون‌های بدون ذره، معماری مولکولی (مانند متوسط وزن مولکولی، توزیع وزن مولکولی، تاکتیسیته و...) پلیمر تولیدی بایستی کاملاً کنترل شود (زیرا این مقوله تعیین‌کننده خواص فیزیکی- مکانیکی محصول نهایی است) بلکه به ازای کاربرد نهایی، معماری ذرات (مانند اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات، میزان تخلخل و...) نیز باید توسط مهندسان پلیمریزاسیون دقیقاً طراحی شود.

با توجه به موارد فوق در ادامه، پلیمریزاسیون‌های ذره‌ای تعلیقی، رسوبی، پراکنشی و امولسیونی مورد بررسی قرار می‌گیرند. از آنجایی که پلیمریزاسیون‌های تعلیقی، رسوبی و پراکنشی دارای اصول سینتیکی یکسان با پلیمریزاسیون‌های تک‌فازی توده‌ای و محلولی هستند، در فصل‌های مربوطه به این نوع پلیمریزاسیون‌ها تمرکز بیشتر بر مباحث معماری ذرات تولیدی این نوع پلیمریزاسیون‌ها قرار دارد. در نقطه مقابل سینتیک پلیمریزاسیون‌های

امولسیون کاملاً متفاوت و بسیار پیچیده است. لذا در فصل‌های مربوط به این نوع پلیمریزاسیون هردو مبحث "معماری مولکولی" (مانند متوسط وزن مولکولی، توزیع وزن مولکولی، تاکتیسیته، شاخه‌ای و شبکه‌ای شدن، حالات سربه‌سر و سربه‌دم و همچنین میزان و چیدمانی مونومرها در کوپلیمرها) و "معماری ذرات" (اندازه ذرات و توزیع اندازه ذرات) می‌بایستی همراه با یکدیگر به‌طور مفصل و دقیق مورد مطالعه قرار گیرند.

پلیمریزاسیون امولسیونی یکی از فرآیندهای مهم صنعتی است که به دلیل داشتن ویژگی‌های خاص، از جایگاهی ویژه در صنعت برخوردار است. به خاطر ماهیت چندفازی و همچنین انجام واکنش پلیمریزاسیون در فاز پراکنده، تولید محصولاتی خاص از جمله انواع رنگ، چسب، مواد پوشش‌دهنده، محصولات نساجی و لاستیک‌های مصنوعی، از طریق این فرآیند امکان‌پذیر است. از آنجایی که خواص نهایی محصول به‌دست‌آمده از این فرآیند همچون، خواص فیزیکی، گرمایی، مکانیکی، رئولوژیکی، نوری و شیمیایی به معماری مولکولی و مورفولوژیکی بستگی دارد، بنابراین اهمیت کنترل موارد مذکور کاملاً روشن است.

در پایان از خداوند بزرگ سپاسگزار بذل عنایتش در طول بیش از بیست و پنج سال پرداختن به این مجموعه هستم. از جناب آقای دکتر حسین بوهندی عضو محترم هیئت‌علمی پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی که در دوران دانشجویی‌اش در تکمیل برخی از مباحث این کتاب کمک‌های شایانی داشتند و همچنین از مسئولین محترم و کارکنان زحمتکش انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر به‌ویژه سرکار خانم مهربانو ملکی نیز به دلیل راهنمایی‌های ارزشمندشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

وحید حدادی اصل

دانشکده مهندسی پلیمر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

تابستان ۱۴۰۱

بخش اول:

کلیات

محیط‌های واکنش پلیمریزاسیون

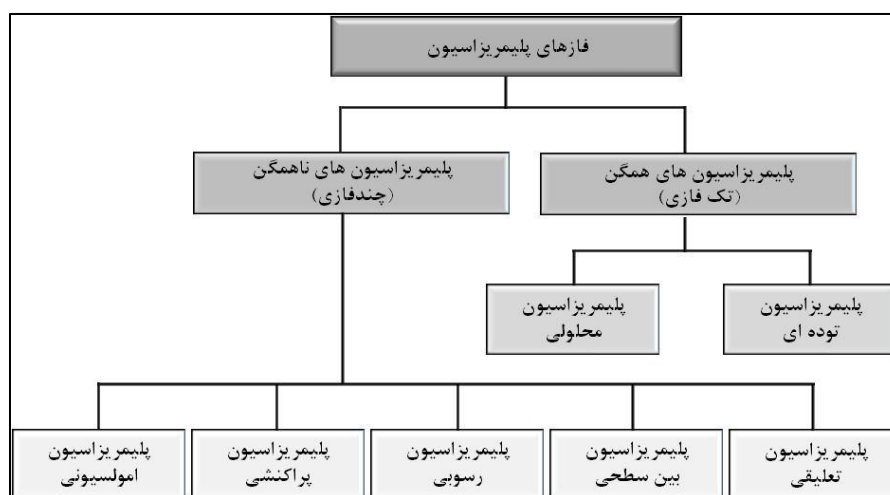
۱-۱ مقدمه

در راکتورهای پلیمریزاسیون با حرارت‌دهی اولیه، واکنش پلیمریزاسیون مونومرهای موجود شروع می‌شود و با پیشرفت واکنش راکتور حاوی مخلوطی از مونومرهای اولیه و پلیمرهای تولیدی خواهد بود. با توجه به نوع واکنش پلیمریزاسیون، محیط می‌تواند علاوه بر مونومر و پلیمر حاوی حلال، شروع‌کننده، کاتالیزور، افزودنی و ... باشد. در این میان شرایط فازی مخلوط در طول پیشرفت واکنش از جمله عوامل بسیار مهم در طراحی راکتورها و همزن‌های پلیمریزاسیون است. بعضی پلیمرها در مونومر خود حل می‌شوند. این مسئله باعث می‌شود زنجیره پلیمری در مجاورت مونومر قرار گیرد و تشکیل زنجیره‌ای بلندتر ممکن شود؛ در این صورت پدیده ژل دیرتر اتفاق افتد. ولی برخی از پلیمرها در مونومر خود حل نمی‌شوند. با تشکیل زنجیره پلیمری، هنگامی که طول زنجیره به مقداری معین می‌رسد، زنجیره پلیمری شروع به ته‌نشین شدن می‌کند؛ این امر باعث می‌شود طول زنجیره‌ها از حدی معین بیش‌تر نشود و پدیده ژل نیز زودتر اتفاق افتد.

با پدیدار شدن این جدایی فازی مقدار غلظت شروع‌کننده (در پلیمریزاسیون‌های زنجیره‌ای) در هرکدام از فازهای پلیمر و مونومر بر سینتیک واکنش و نوع پلیمریزاسیون تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین مشخص می‌شود که محیط واکنش بر معماری مولکولی پلیمر تولیدی تأثیرگذار است. به همین دلیل در ادامه فازهای موجود در محیط‌های واکنش‌های پلیمریزاسیون مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۱ تقسیم‌بندی فازی محیط‌های پلیمریزاسیون

بر اساس رفتار فازی مواد موجود در راکتور، محیط‌های پلیمریزاسیون را نیز می‌توان به دو گروه تک‌فازی و چندفازی تقسیم کرد. در این حالت معمولاً پلیمریزاسیون‌های توده‌ای بدون رسوب و محلولی بدون رسوب در گروه "پلیمریزاسیون‌های همگن (تک‌فازی)" و پلیمریزاسیون‌های امولسیون، تعلیقی، بین‌سطحی، رسوبی (دوغابی) و پراکنشی در گروه "پلیمریزاسیون‌های ناهمگن (چندفازی)" قرار می‌گیرند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: تقسیم‌بندی واکنش‌های پلیمریزاسیون بر اساس فازهای موجود در آن‌ها

همان‌گونه که در جدول ۱-۱ نشان داده شده است در برخی موارد نیز با توجه به این نکته که پلیمریزاسیون‌های رسوبی (دوغابی) و پراکنشی ابتدا تک‌فازی شروع شده و سپس با شروع پدیده رسوب چندفازی می‌شوند این دو روش در خانواده‌ای جداگانه تحت عنوان "پلیمریزاسیون‌های نیمه همگن" تقسیم‌بندی می‌شوند.