



کتاب برتر:

"هفته پژوهش و فناوری دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)"

در سال ۱۴۰۰



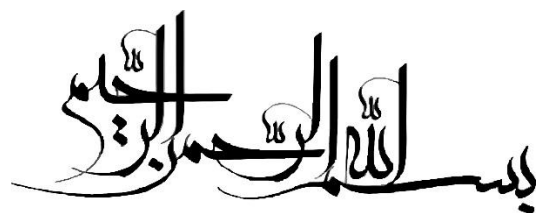
انجمن فنی ناشران کتاب انگلیسی

اثر برگزیده:

"چهارمین دوره انتخاب کتاب برگزیده دانشگاهی"

در زمینه:

فنی و مهندسی در سال ۱۴۰۲



مبانی مهندسی پلیمریزاسیون
(جلد پنجم)

نانوپلیمرها و نانوکامپوزیت‌های پلیمری

(بخش اول)

پلیمریزاسیون نانوذرات پلیمری
(ویرایش سوم)

تألیف:

پروفسور وحید حدادی اصل

استاد دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
استاد نمونه کشوری

تابستان ۱۴۰۵

سرشناسه	حدادی اصل، وحید، ۱۳۴۳-
عنوان و نام پدیدآور	مبانی مهندسی پلیمریزاسیون / تألیف وحید حدادی اصل.
وضعیت ویراست	ویراست ۳.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۵-
مشخصات ظاهری	ج: مصور، جدول.
شابک	۰-۶۶۶-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸: ج. ۱، چاپ هفتم؛ ۲۰۰۰۰۰۰ ریال: ج. ۳: ۸-۸۲۶-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸: ج. ۵: (بخش دوم) ۲-۹۶۹-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸: ج. ۵: (بخش اول): ۵-۹۶۸-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	فاپا
یادداشت	ص.ع به انگلیسی: Vahid Haddadi-asl. Principles of polymerization engineering.
یادداشت	جلد سوم تألیف وحید حدادی اصل، با همکاری حسین یوهندی.
یادداشت	چاپ هفتم.
یادداشت	ج. ۵: (بخش اول و دوم) (چاپ اول: ۱۴۰۵) (فیپا).
یادداشت	واژه نامه ها.
یادداشت	کتابخانه ها.
مندرجات	ج. ۱: تکنولوژی پلیمرها. - ج. ۳: روشهای پلیمریزاسیون. - ج. ۵: نانوپلیمرها و نانوکامپوزیت های پلیمری
موضوع	پلیمریزاسیون.
موضوع	Polymerization :
موضوع	پلیمرها.
موضوع	Polymers :
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing : Center.
رده بندی کنگره	۱۳۹۵: ج ۴ / پ ۱۵۶ / TP
رده بندی دیویی	۶۶۸/۹:
شماره کتابشناسی ملی	۴۵۶۴۳۵۵:

این کتاب در جلسه مورخ ۱۴۰۰/۱۲/۱۵ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	مبانی مهندسی پلیمریزاسیون جلد پنجم: نانوپلیمرها و نانوکامپوزیت های پلیمری: بخش اول: پلیمریزاسیون نانوذرات پلیمری، ویرایش سوم
تألیف	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 ۱۴۰۵
قیمت	۱,۱۰۰,۰۰۰ تومان
تیراژ	۵۰
شابک دوره	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۵۴-۱
شابک جلد پنجم (بخش ۱)	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۹۶۸-۵
	ISBN : 978-964-463-854-1
	ISBN : 978-964-463-968-5

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

XIII.....	پیشگفتار
۱.....	بخش اول: پلیمریزاسیون نانوذرات پلیمری
۳.....	فصل اول: نانو، پیکو و فمتو فناوری
۳.....	۱-۱ مقدمه
۴.....	۲-۱ نانوفناوری
۷.....	۳-۱ اهمیت نسبت سطح به حجم در دنیای نانو
۱۰.....	۴-۱ دلایل اهمیت مقیاس نانو
۱۱.....	۵-۱ دلایل تغییر خواص در ابعاد نانو
۱۳.....	۶-۱ سلسله نسل‌های نانوفناوری
۱۴.....	۷-۱ نانوذرات
۱۵.....	۸-۱ کاربردهای نانوفناوری
۴۱.....	۹-۱ پلیمریزاسیون سامانه‌های نانوپلیمری
۴۳.....	۱۰-۱ ساختمان و روش تشکیل نانوامولسیون‌ها
۴۴.....	۱-۱۰-۱ دستگاه‌های تهیه نانوامولسیون‌ها
۴۴.....	۲-۱۰-۱ مزایای نانوامولسیون‌ها بر امولسیون‌ها
۴۶.....	۱۱-۱ روش‌های آنالیز نانوذرات
۴۷.....	۱-۱۱-۱ آنالیزهای میکروسکوپی
۶۱.....	۲-۱۱-۱ آنالیز ساختاری
۶۵.....	۳-۱۱-۱ روش‌های تعیین اندازه و سطح ویژه ذرات
۶۸.....	۴-۱۱-۱ آنالیز پیوندی
۷۳.....	۵-۱۱-۱ آنالیز عنصری
۷۹.....	۶-۱۱-۱ روش‌های کلاسیک
۸۲.....	۱۲-۱ پیکوفناوری
۸۳.....	۱۳-۱ فمتوفناوری
۸۵.....	۱۴-۱ مراجع
۸۷.....	فصل دوم: پلیمریزاسیون‌های مینی‌امولسیون
۸۷.....	۱-۲ مقدمه
۸۹.....	۲-۲ ویژگی پلیمریزاسیون‌های مینی‌امولسیون
۹۲.....	۳-۲ نقش عوامل سطحی در پلیمریزاسیون‌های مینی‌امولسیون
۹۴.....	۴-۲ ایجاد مینی‌امولسیون‌های پایدار
۹۷.....	۵-۲ قطرات مینی‌امولسیون به‌عنوان نانوراکتور
۹۸.....	۶-۲ فرآیندهای پیوسته پلیمریزاسیون‌های مینی‌امولسیون
۹۹.....	۷-۲ کاربردها
۱۰۰.....	۸-۲ مراجع
۱۰۱.....	فصل سوم: پلیمریزاسیون‌های میکروامولسیون

فهرست مطالب

۱-۳	مقدمه	۱۰۱
۲-۳	پلیمریزاسیون‌های میکروامولسیون	۱۰۲
۱-۲-۳	غلظت مایسل بحرانی و غلظت امولسیفایر بحرانی	۱۰۳
۲-۲-۳	ویژگی‌های میکروامولسیون‌ها	۱۰۵
۳-۲-۳	معایب پلیمریزاسیون‌های میکروامولسیونی	۱۰۷
۴-۲-۳	اختلافات پلیمریزاسیون‌های امولسیونی و میکروامولسیونی	۱۰۷
۵-۲-۳	عوامل فعال سطحی مورداستفاده در پلیمریزاسیون‌های میکروامولسیونی	۱۰۹
۳-۳	پلیمریزاسیون‌های میکروامولسیون وارون	۱۱۱
۴-۳	پلیمریزاسیون‌های میکروامولسیونی نفوذ کنترل	۱۱۱
۵-۳	سینتیک و ترمودینامیک پلیمریزاسیون‌های میکروامولسیونی	۱۱۳
۶-۳	کاربردهای میکروامولسیون‌ها	۱۱۷
۷-۳	مراجع	۱۲۰
۱۲۳	فصل چهارم: نانوکپسوله‌کردن مواد توسط پلیمرها با روش هسته-پوسته	
۱-۴	مقدمه	۱۲۳
۲-۴	مشخصات هسته	۱۲۷
۳-۴	مشخصات پوسته	۱۲۷
۱-۳-۴	پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر	۱۲۷
۲-۳-۴	پلیمرهای زیست‌سازگار	۱۲۷
۳-۳-۴	عوامل مهم در انتخاب پلیمر	۱۲۷
۴-۴	معیارهای انتخاب فرآیند	۱۲۸
۵-۴	فرآیندهای کپسوله‌کردن	۱۲۸
۱-۵-۴	فرآیندهای فیزیکی کپسوله‌کردن	۱۲۸
۲-۵-۴	فرآیندهای شیمیایی کپسوله‌کردن	۱۳۲
۳-۵-۴	روش‌های جدید	۱۳۲
۶-۴	تأثیر روش ساخت بر ساختار محصول تولیدی	۱۳۳
۷-۴	کاربردهای زیستی	۱۳۳
۱-۷-۴	رهایش کنترل‌شده	۱۳۳
۲-۷-۴	نمونه‌ای از کاربردهای درمانی نانوکپسوله‌کردن مواد توسط پلیمرها با روش هسته-پوسته	۱۵۹
۸-۴	مراجع	۱۶۵
۱۶۹	فصل پنجم: نانوذرات پلیمری توخالی با هسته متحرک	
۱-۵	مقدمه	۱۶۹
۲-۵	دسته‌بندی انواع ذرات توخالی با هسته متحرک	۱۷۱
۳-۵	روش‌های سنتز ذرات توخالی با هسته متحرک	۱۷۲
۱-۳-۵	سنتز با کمک الگوی فدا شونده	۱۷۳
۲-۳-۵	جایگزینی گالوانیک	۱۷۵

فهرست مطالب

۱۷۵	۳-۳-۵ واکنش کرکندال
۱۷۵	۴-۳-۵ سنتز بدون استفاده از الگو (تکامل اسوالد)
۱۷۶	۵-۳-۵ سنتز به روش پیرولیز اسپری فراصوت
۱۷۶	۶-۳-۵ سنتز به روش کشتی در بطری
۱۷۷	۴-۵ کاربردهای ذرات توخالی با هسته متحرک
۱۷۷	۱-۴-۵ کاربردهای زیست پزشکی
۱۷۷	۲-۴-۵ کاربردهای ضد میکروبی
۱۷۸	۳-۴-۵ کاربردهای کاتالیستی
۱۷۹	۴-۴-۵ تفرق رامان افزایش یافته سطح
۱۷۹	۵-۴-۵ باتری های لیتیم
۱۷۹	۶-۴-۵ جذب کننده های میکروویو
۱۸۰	۷-۴-۵ فرآیند جداسازی
۱۸۰	۸-۴-۵ حسگرهای گاز
۱۸۰	۹-۴-۵ سلول های خورشیدی حساس شده به رنگ
۱۸۰	۵-۵ نانوذرات پلیمری توخالی با هسته متحرک باقابلیت کاتالیستی
۱۸۳	۶-۵ نانوذرات توخالی با هسته متحرک پلیمری رسانا
۱۸۶	۷-۵ نانوذرات پلیمری توخالی با هسته متحرک باقابلیت پاسخ گویی به محرک
۱۸۹	۸-۵ نانوذرات پلیمری توخالی با هسته متحرک مغناطیسی
۱۹۴	۹-۵ نانوذرات توخالی با هسته متحرک تهیه شده به روش الگوی فدا شونده نرم یا بدون الگو
۱۹۶	۱۰-۵ تشکیل و حذف الگوی سیلیکا
۲۰۱	۱۱-۵ مراجع
۲۰۷	فصل ششم: پلیمرهای قالب مولکولی
۲۰۷	۱-۶ مقدمه
۲۰۸	۲-۶ نحوه سنتز پلیمرهای قالب مولکولی
۲۰۸	۳-۶ نکات مهم در پلیمرهای قالب مولکولی
۲۰۹	۴-۶ اصول قالب گیری مولکولی
۲۱۰	۵-۶ اجزای سازنده پلیمرهای قالب مولکولی
۲۱۴	۱-۵-۶ اثر دما
۲۱۵	۶-۶ روش های قالب گیری مولکولی بر اساس انواع برهم کنش ها
۲۱۸	۷-۶ مطالعه مقایسه ای ذرات پلیمری قالب مولکولی آماده شده به وسیله روش های مختلف پلیمریزاسیون
۲۲۳	۸-۶ ارزیابی الگوی تهیه شده
۲۲۴	۱-۸-۶ ظرفیت جذب پلیمر
۲۲۴	۲-۸-۶ گزینش پذیری
۲۲۴	۳-۸-۶ مقایسه با پلیمر شاهد
۲۲۶	۹-۶ مراجع

فهرست مطالب

فصل هفتم: کپسوله کردن نانوذرات در دندرمها.....	۲۲۷
۱-۷ مقدمه.....	۲۲۷
۲-۷ سنتز دندرمها.....	۲۳۱
۱-۲-۷ روش واگرا.....	۲۳۱
۲-۲-۷ روش همگرا.....	۲۳۲
۳-۷ کاربردها.....	۲۳۳
۴-۷ روش های تشکیل نانوکپسول های دندرمی.....	۲۳۹
۵-۷ انواع دندرمها.....	۲۴۰
۱-۵-۷ تکتودندرمها.....	۲۴۰
۲-۵-۷ دندرمهای بلورمیع.....	۲۴۲
۳-۵-۷ دندرمهای کایرال.....	۲۴۲
۴-۵-۷ دندرمهای هیبریدی.....	۲۴۲
۵-۵-۷ دندرمهای پلی آمیدوآمین ها.....	۲۴۲
۶-۵-۷ دندرمهای پلی (آمیدوآمین -اورگانوسیلیکون).....	۲۴۳
۷-۵-۷ دندرمهای پپتیدی.....	۲۴۳
۸-۵-۷ گلیکودندرمها.....	۲۴۳
۹-۵-۷ دندرمهای ژانوس.....	۲۴۳
۶-۷ مشکلات موجود در سنتز دندرمها.....	۲۴۴
۶-۷ مراجع.....	۲۴۶
فصل هشتم: کاربرد پلیمریزاسیون های کنترل شده/زنده در سنتز نانوپلیمرها و نانوکامپوزیت های پلیمری.....	۲۴۷
۱-۸ مقدمه.....	۲۴۷
۲-۸ پلیمریزاسیون های رادیکال آزاد.....	۲۴۸
۳-۸ پلیمریزاسیون های آنیونی زنده.....	۲۵۰
۴-۸ پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده/زنده.....	۲۵۳
۵-۸ انواع پلیمریزاسیون های رادیکالی کنترل شده/ زنده.....	۲۵۴
۶-۸ مزایای پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده/زنده.....	۲۵۵
۷-۸ تاریخچه.....	۲۵۷
۸-۸ عوامل پوشاننده در پلیمریزاسیون های زنجیره های رادیکال آزاد کنترل شده/زنده.....	۲۵۹
۹-۸ پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده/ زنده با استفاده از اینیفرترها.....	۲۶۰
۱۰-۸ پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده/ زنده با استفاده از نیتروکسایدها.....	۲۶۱
۱۱-۸ پلیمریزاسیون به روش انتقال برگشت پذیر افزایشی - جدایشی.....	۲۶۵
۱-۱۱-۸ ساختار عامل پلیمریزاسیون به روش انتقال برگشت پذیر افزایشی - جدایشی.....	۲۶۵
۲-۱۱-۸ مشخصات پلیمریزاسیون به روش انتقال برگشت پذیر افزایشی - جدایشی.....	۲۶۶
۱۲-۸ پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم.....	۲۷۰

فهرست مطالب

۲۷۶	۸-۱۲-۱ ارتباط ساختار و واکنش پذیری
۲۷۸	۸-۱۲-۲ سامانه‌های شروع
۲۸۱	۸-۱۲-۳ اجزای مختلف درگیر در فرآیند پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم
۲۸۵	۸-۱۲-۴ انواع فرآیند پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم
۲۸۶	۸-۱۲-۵ نکات فرآیند پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم
	۸-۱۳ مقایسه روش‌های پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم، پلیمریزاسیون به روش انتقال برگشت پذیر
۲۸۶	افزایشی-جدایشی و پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده با واسطه نیتروکسایدی
۲۸۷	۸-۱۴ پلیمریزاسیون انتقال ید
۲۸۸	۸-۱۵ پلیمریزاسیون انتقال ید برگشت پذیر
۲۹۰	۸-۱۶ پلیمریزاسیون کاتالستی با انتقال زنجیر برگشت پذیر
۲۹۱	۸-۱۶-۱ واکنش‌های رادیکالی ترکیبات ژرمانیم، قلع، فسفر و نیتروژن در شیمی آلی
۲۹۱	۸-۱۶-۲ کارایی پلیمریزاسیون کاتالستی با انتقال زنجیر برگشت پذیر
۲۹۴	۸-۱۷ پلیمریزاسیون رادیکالی با واسطه ارگانوتلوریم
۲۹۶	۸-۱۸ پلیمریزاسیون انتقال زنجیره کئوردیناسیونی زنده
۲۹۶	۸-۱۸-۱ ویژگی‌های پلیمریزاسیون انتقال زنجیره کئوردیناسیونی زنده
۲۹۷	۸-۱۸-۲ عامل‌دار کردن زنجیره‌ها در پلیمریزاسیون انتقال زنجیره کئوردیناسیونی زنده
۲۹۸	۸-۱۹ پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده/زنده در محیط‌های آبی
۳۰۰	۸-۱۹-۱ پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم در سامانه امولسیون
۳۰۴	۸-۲۰ مراجع
	فصل نهم: کاربرد روش‌های پیوندزنی شانه‌ای در سنتز نانوپلیمرها و نانوکامپوزیت‌های پلیمری. ۳۰۹
۳۰۹	۹-۱ مقدمه
۳۱۰	۹-۲ روش "پیوند به"
۳۱۱	۹-۳ روش "پیوند از"
۳۱۲	۹-۴ روش "پیوند به واسطه"
۳۱۴	۹-۵ مراجع
	فصل دهم: سنتز نانو و میکروکره‌های پلیمری با استفاده از روش‌های پیوندزنی شانه‌ای. ۳۱۵
۳۱۵	۱۰-۱ مقدمه
۳۱۶	۱۰-۲ پلیمرهای هوشمند
۳۱۸	۱۰-۲-۱ پلیمرهای پاسخ‌گو به محرک‌های فیزیکی
۳۱۹	۱۰-۲-۲ پلیمرهای پاسخ‌گو به محرک‌های زیستی
۳۲۰	۱۰-۲-۳ پلیمرهای پاسخ‌گو به محرک‌های شیمیایی
۳۲۲	۱۰-۳ ساخت میکروکره‌های پلیمری با پلیمریزاسیون رسوبی-محلولی
۳۲۳	۱۰-۳-۱ پلیمریزاسیون رسوبی-محلولی-تقطیری
۳۲۷	۱۰-۳-۲ روش‌های اصلی در تولید میکروکره‌ها
۳۲۹	۱۰-۴ استفاده از پیوندزنی شانه‌ای

فهرست مطالب

۵-۱۰ کاربرد پلیمریزاسیون های کنترل شده/ زنده رسوبی- محلولی در سنتز میکروکره های پلیمری.....	۳۳۰
۱-۵-۱۰ پلیمریزاسیون رسوبی- محلولی رادیکالی کنترل شده/ زنده با استفاده از اینیفرترها.....	۳۳۰
۱۰-۵-۲ پلیمریزاسیون رسوبی- محلولی رادیکالی کنترل شده/ زنده با استفاده از روش انتقال برگشت پذیر	۳۳۱
افزایشی- جدایشی.....	۳۳۱
۱۰-۵-۳ پلیمریزاسیون رسوبی- محلولی رادیکالی انتقال اتم.....	۳۳۲
۱۰-۶-۶ کاربرد پلیمریزاسیون های کنترل شده/ زنده رسوبی- محلولی در تهیه پلیمرهای عامل دار پیشرفته ..	۳۳۴
۱۰-۶-۱ کاربرد پلیمریزاسیون رسوبی- محلولی رادیکالی انتقال اتم در تهیه پلیمرهای عامل دار پیشرفته ۳۳۴	۳۳۴
۱۰-۶-۲ کاربرد پلیمریزاسیون رسوبی- محلولی رادیکالی کنترل شده/ زنده با استفاده از اینیفرترها در	۳۳۷
تهیه پلیمرهای عامل دار پیشرفته	۳۳۷
۱۰-۶-۳ کاربرد روش پلیمریزاسیون رسوبی- محلولی رادیکالی کنترل شده/ زنده با استفاده از روش انتقال	۳۳۸
برگشت پذیر افزایشی- جدایشی در تهیه پلیمرهای عامل دار پیشرفته	۳۳۸
۱۰-۷ مراجع	۳۴۰
بخش دوم: پلیمریزاسیون نانوکامپوزیت های پلیمری	۳۴۱
فصل یازدهم: آشنایی با نانوفیلرهای پرمصرف در ساخت نانوکامپوزیت های پلیمری	۳۴۳
۱-۱۱ مقدمه	۳۴۳
۲-۱۱ اندازه ذره	۳۴۶
۳-۱۱ هندسه ذره	۳۴۶
۴-۱۱ روش های تولید نانوذرات	۳۴۶
۵-۱۱ طبقه بندی نانومواد از نظر ابعاد	۳۴۷
۵-۱۱-۱ نانومواد صفر بعدی	۳۴۸
۵-۱۱-۲ نانومواد یک بعدی	۳۴۸
۵-۱۱-۳ نانومواد دوبعدی	۳۴۸
۵-۱۱-۴ نانومواد سه بعدی	۳۴۹
۶-۱۱ نانوفیلرهای کربنی	۳۵۰
۶-۱۱-۱ کربن بلک (دوده)	۳۵۰
۶-۱۱-۲ گرافیت	۳۵۱
۶-۱۱-۳ نانودیواره های کربنی	۳۵۳
۶-۱۱-۴ گرافن	۳۵۴
۶-۱۱-۵ فولرین	۳۶۸
۶-۱۱-۶ نانولوله های کربنی	۳۷۱
۷-۱۱ پلی هدرال الیگومریک سیل سسکویی اکسان	۳۸۶
۸-۱۱ هیدروکسیدهای دوگانه لایه ای	۳۸۷
۸-۱۱-۱ مولکول های بین لایه ای در هیدروکسیدهای دوگانه لایه ای	۳۹۳
۸-۱۱-۲ استحکام لایه ها	۳۹۳
۸-۱۱-۳ شیمی جای گیری آنیون ها	۳۹۴

فهرست مطالب

۳۹۸	۹-۱۱ نانوذرات اکسیدروی
۳۹۹	۱۰-۱۱ نانوذرات کربنات کلسیم
۴۰۰	۱۱-۱۱ آلومینیم هیدروکساید و منیزیم هیدروکساید
۴۰۱	۱۲-۱۱ سولفات باریم رسوبی
۴۰۲	۱۳-۱۱ تیتانیم دی اکساید
۴۰۳	۱۴-۱۱ نانوذرات نقره
۴۰۴	۱۵-۱۱ نیتريدبور
۴۰۷	۱۶-۱۱ سیلیکا
۴۰۷	۱-۱۶-۱۱ سیلیکای بخار
۴۰۸	۲-۱۶-۱۱ سیلیکای رسوبی
۴۰۸	۱۷-۱۱ سیلیکات ها
۴۰۹	۱-۱۷-۱۱ انواع دسته بندی سیلیکات ها
۴۱۰	۲-۱۷-۱۱ سیلیکات های لایه ای (نانوذرات خاک رس)
۴۱۹	۳-۱۷-۱۱ اسمکتیت ها
۴۲۰	۴-۱۷-۱۱ مونت موریلونیت
۴۲۴	۵-۱۷-۱۱ میکا
۴۲۴	۶-۱۷-۱۱ کلریت
۴۲۵	۷-۱۷-۱۱ تالک
۴۲۶	۸-۱۷-۱۱ پالیکورسکیت - سپیولیت
۴۲۷	۹-۱۷-۱۱ کائولین
۴۲۸	۱۰-۱۷-۱۱ ایلیت
۴۲۸	۱۱-۱۷-۱۱ هالوزیت
۴۳۲	۱۲-۱۷-۱۱ لاپونیت
۴۳۲	۱۳-۱۷-۱۱ روش های اصلاح سطحی خاک رس
۴۴۰	۱۴-۱۷-۱۱ سازوکار اصلاح رس
۴۴۸	۱۸-۱۱ ذرات فوق متخلخل
۴۵۰	۱-۱۸-۱۱ مواد نانومتخلخل سیلیکا آبروژل
۴۵۱	۲-۱۸-۱۱ شیمی فرآیند سل - ژل
۴۵۷	۳-۱۸-۱۱ فیلم، الیاف و مونولیت
۴۵۹	۴-۱۸-۱۱ آبروژل پایه سیلیکا
۴۶۱	۵-۱۸-۱۱ شناسایی و مشخصات آبروژل
۴۶۱	۶-۱۸-۱۱ کاربردهای سیلیکا آبروژل
۴۶۳	۷-۱۸-۱۱ محدودیت های سیلیکا آبروژل
۴۶۴	۸-۱۸-۱۱ خواص مکانیکی سیلیکا آبروژل
۴۶۴	۹-۱۸-۱۱ توسعه در سیلیکا آبروژل های مستحکم

فهرست مطالب

۴۶۸	 ۱۹-۱۱ مراجع
۴۷۵	 فصل دوازدهم: نانوکامپوزیت‌های پلیمری
۴۷۵	 ۱-۱۲ مقدمه
۴۷۶	 ۲-۱۲ تعریف نانوکامپوزیت
۴۷۸	 ۳-۱۲ انواع نانوکامپوزیت‌ها
۴۷۹	 ۴-۱۲ روش‌های تقسیم‌بندی نانوکامپوزیت‌های پلیمری
۴۷۹	 ۱-۴-۱۲ تقسیم‌بندی بر اساس مورفولوژی
۴۸۱	 ۲-۴-۱۲ تقسیم‌بندی بر اساس روش تهیه
۴۹۱	 ۵-۱۲ خواص نانوکامپوزیت‌های پلیمری
۴۹۱	 ۱-۵-۱۲ خواص سدگری گاز
۴۹۳	 ۲-۵-۱۲ خواص حرارتی
۴۹۵	 ۳-۵-۱۲ خواص دینامیکی - مکانیکی
۴۹۶	 ۴-۵-۱۲ خواص کششی
۴۹۷	 ۵-۵-۱۲ خواص خمشی
۴۹۷	 ۶-۵-۱۲ دمای واپیچش گرمایی
۴۹۸	 ۷-۵-۱۲ خاصیت تاخیراندازی شعله
۴۹۹	 ۸-۵-۱۲ هدایت یونی
۴۹۹	 ۹-۵-۱۲ شفافیت نوری
۴۹۹	 ۱۰-۵-۱۲ تخریب پذیری نانوکامپوزیت‌های پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر
۵۰۰	 ۱۱-۵-۱۲ سایر خواص
۵۰۱	 ۶-۱۲ مراجع
۵۰۳	 فصل سیزدهم: نانوکامپوزیت‌های پلیمری رسانا
۵۰۳	 ۱-۱۳ مقدمه
۵۰۵	 ۲-۱۳ پلیمرهای ذات‌آرسانا
۵۰۷	 ۱-۲-۱۳ کاربردهای پلیمرهای ذات‌آرسانا
۵۰۸	 ۲-۲-۱۳ تفاوت پلیمرهای ذات‌آرسانا با پلیمرهای معمولی
۵۰۹	 ۳-۲-۱۳ ساختار زنجیره
۵۰۹	 ۴-۲-۱۳ تولید سولیتون
۵۰۹	 ۵-۲-۱۳ تولید پلارون و بای پلارون
۵۱۰	 ۶-۲-۱۳ مقایسه سولیتون، پلارون و بای پلارون
۵۱۱	 ۷-۲-۱۳ دلایل برتری پلیمرها بر نیمه‌رساناهای دیگر
۵۱۱	 ۸-۲-۱۳ ابزارهای شناسایی سولیتون، پلارون و بای پلارون
۵۱۱	 ۹-۲-۱۳ خلاصه سازوکار رسانایی
۵۱۲	 ۳-۱۳ کامپوزیت‌های پلیمری رسانا
۵۱۴	 ۱-۳-۱۳ سازوکارهای رسانایی الکتریکی کامپوزیت‌های پلیمری حاوی فیلر رسانا

فهرست مطالب

۱۳-۲-۳	نانوکامپوزیت‌های پلیمری رسانا به عنوان جاذب امواج الکترومغناطیس.....	۵۱۹
۱۳-۴	تداخل امواج الکترومغناطیس.....	۵۲۰
۱۳-۴-۱	سازوکارهای محافظت از تداخل امواج الکترومغناطیس.....	۵۲۳
۱۳-۴-۲	بازده پوشش دهی امواج الکترومغناطیس.....	۵۲۴
۱۳-۴-۳	سازوکارهای اتلاف در نانوکامپوزیت‌های پلیمری.....	۵۲۸
۱۳-۴-۴	عوامل مؤثر در جذب امواج الکترومغناطیس.....	۵۳۲
۱۳-۴-۵	عوامل مؤثر بر اثربخشی محافظت از تداخل امواج الکترومغناطیس.....	۵۳۷
۱۳-۵	مراجع.....	۵۳۸
فصل چهاردهم: سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون مینی‌امولسیون پیکرینگ ۵۴۱		
۱۴-۱	مقدمه.....	۵۴۱
۱۴-۲	ویژگی‌های ذرات پایدارکننده امولسیون پیکرینگ.....	۵۴۸
۱۴-۲-۱	تر شونده‌گی سطح.....	۵۴۸
۱۴-۲-۲	بار سطحی.....	۵۴۹
۱۴-۲-۳	فاز پیوسته و پراکنده.....	۵۵۰
۱۴-۳	انواع ذرات پایدارکننده در پلیمریزاسیون مینی‌امولسیون پیکرینگ.....	۵۵۰
۱۴-۳-۱	نانوذرات سیلیکاتی.....	۵۵۱
۱۴-۳-۲	نانوذرات گرافن اکساید.....	۵۵۴
۱۴-۳-۳	نانوذرات سلولزی.....	۵۵۶
۱۴-۴	مونومرهای مورد استفاده در مینی‌امولسیون پیکرینگ.....	۵۶۰
۱۴-۵	انتخاب نوع شروع کننده و آثار آن.....	۵۶۲
۱۴-۶	سایر اجزا.....	۵۶۳
۱۴-۷	متوسط اندازه ذرات لاتکس و توزیع آن.....	۵۶۳
۱۴-۸	رفتار سیلیکاهای لایه‌ای در محیط آبی.....	۵۶۴
۱۴-۹	پلیمریزاسیون مینی‌امولسیون پیکرینگ وارون.....	۵۷۰
۱۴-۱۰	مراجع.....	۵۷۱
فصل پانزدهم: سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون کنترل شده/ زنده درجا ۵۷۳		
۱۵-۱	مقدمه.....	۵۷۳
۱۵-۲	سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون کنترل شده/ زنده درجا با استفاده از روش "پیوند به".....	۵۷۴
۱۵-۲-۱	سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده/ زنده با واسطه نیتروکسایدی درجا با استفاده از روش "پیوند به".....	۵۷۵
۱۵-۲-۲	سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون به روش انتقال برگشت پذیر افزایشی-جدایشی درجا با استفاده از روش "پیوند به".....	۵۷۶
۱۵-۳-۲	سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم درجا با استفاده از روش "پیوند به".....	۵۷۸

فهرست مطالب

۳-۱۵ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون زنده درجا با استفاده از روش "پیوند از".....	۵۷۹
۱-۳-۱۵ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم درجا با استفاده از روش "پیوند از".....	۵۷۹
۲-۳-۱۵ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل‌شده/ زنده با واسطه نیتروکسایدی درجا با استفاده از روش "پیوند از".....	۵۸۲
۳-۳-۱۵ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون به روش انتقال برگشت‌پذیر افزایشی-جدایشی درجا با استفاده از روش "پیوند از".....	۵۸۳
۴-۱۵ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری به روش پلیمریزاسیون کنترل‌شده/زنده درجا با استفاده از روش "پیوند به واسطه".....	۵۹۵
۵-۱۵ مراجع.....	۵۹۹
فصل شانزدهم: سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمر- نانوذرات گرافنی به روش پلیمریزاسیون درجا. ۶۰۳	
۱-۱۶ مقدمه.....	۶۰۳
۲-۱۶ روش‌های سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمر- گرافن.....	۶۰۴
۱-۲-۱۶ روش محلولی.....	۶۰۵
۲-۲-۱۶ روش اختلاط مذاب.....	۶۰۶
۳-۲-۱۶ روش پلیمریزاسیون درجا.....	۶۰۶
۳-۱۶ خواص نانوکامپوزیت‌های بر پایه گرافن.....	۶۱۲
۴-۱۶ مراجع.....	۶۱۴
فصل هفدهم: سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمر- نانولوله‌های کربنی به روش پلیمریزاسیون درجا. ۶۱۷	
۱-۱۷ مقدمه.....	۶۱۷
۲-۱۷ خواص کامپوزیت‌های پلیمر/نانولوله‌های کربنی.....	۶۲۰
۳-۱۷ مزایای افزودن نانولوله‌های کربنی.....	۶۲۰
۴-۱۷ مشکلات استفاده از نانولوله‌های کربنی.....	۶۲۱
۵-۱۷ اصلاح سطحی نانولوله‌های کربنی به وسیله پلیمرها.....	۶۲۲
۱-۵-۱۷ اتصال غیر کووالانسی.....	۶۲۳
۲-۵-۱۷ اتصال کووالانسی.....	۶۲۵
۶-۱۷ روش‌های تهیه نانوکامپوزیت‌های پلیمر/نانولوله کربنی.....	۶۳۱
۷-۱۷ روش‌های آرایش دادن نانولوله‌های کربنی در بستر کامپوزیتی.....	۶۳۶
۸-۱۷ انواع روش‌های پیوند زدن پلیمرها به نانولوله‌های کربنی.....	۶۳۷
۱-۸-۱۷ استفاده از روش "پیوند به".....	۶۳۹
۲-۸-۱۷ استفاده از روش "پیوند از".....	۶۴۸
۹-۱۷ مراجع.....	۶۶۶
فصل هجدهم: سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمر- نانولوله‌های هالوژیت به روش پلیمریزاسیون درجا. ۶۸۳	
۱-۱۸ مقدمه.....	۶۸۳
۲-۱۸ روش‌های تهیه نانوکامپوزیت‌های هالوژیت.....	۶۸۴

فهرست مطالب

۶۸۴	۱-۲-۱۸ روش امتزاج.....
۶۸۷	۲-۲-۱۸ روش پلیمریزاسیون درجا.....
۶۸۸	۳-۱۸ خواص نانوکامپوزیت‌های پلیمر-هالوژیت.....
۶۸۸	۱-۳-۱۸ تقویت‌کنندگی مکانیکی.....
۶۹۲	۲-۳-۱۸ پایداری حرارتی.....
۶۹۳	۳-۳-۱۸ رفتار بلورینگی.....
۶۹۳	۴-۳-۱۸ تأخیراندازی شعله.....
۶۹۴	۵-۳-۱۸ ضریب انبساط حرارتی.....
۶۹۵	۶-۳-۱۸ خواص خودترمیمی.....
۶۹۵	۴-۱۸ کاربردهای زیست پزشکی نانوکامپوزیت‌های هالوژیت-پلیمر.....
۶۹۵	۱-۴-۱۸ داربست‌های زیستی.....
۶۹۶	۲-۴-۱۸ حمل‌کننده دارو.....
۶۹۷	۳-۴-۱۸ ایمپلنت‌های استخوانی.....
۶۹۸	۴-۴-۱۸ کاربردهای آرایشی.....
۶۹۹	۵-۱۸ اصلاح سطوح نانولوله‌های هالوژیت.....
۶۹۹	۱-۵-۱۸ عامل‌نشانی با پیوند کووالانسی.....
۷۰۴	۲-۵-۱۸ عامل‌نشانی غیر کووالانسی.....
۷۰۵	۶-۱۸ روش‌های پیوندزنی پلیمر به نانولوله‌های هالوژیت.....
۷۰۶	۷-۱۸ مراجع.....
۷۱۳	فصل نوزدهم: سنتز کاتالیستی نانوکامپوزیت‌های پلی‌اولفین/نانوذره به روش پلیمریزاسیون درجا
۷۱۳	۱-۱۹ مقدمه.....
۷۱۴	۲-۱۹ سنتز کاتالیستی پلی‌اولفین‌ها.....
۷۲۰	۳-۱۹ مراحل پلیمریزاسیون.....
۷۲۱	۱-۳-۱۹ عوامل انتقال زنجیره.....
۷۲۱	۲-۳-۱۹ عوامل عملیاتی مؤثر بر سینتیک پلیمریزاسیون.....
۷۲۲	۴-۱۹ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن/خاک‌رس به روش پلیمریزاسیون درجا.....
۷۲۳	۱-۴-۱۹ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن/خاک‌رس به روش پلیمریزاسیون درجا با کاتالیست‌های زیگلر - ناتا.....
۷۲۴	۲-۴-۱۹ سنتز نانوکامپوزیت‌های پلی‌اتیلن/خاک‌رس به روش پلیمریزاسیون درجا با کاتالیست‌های متالوسن.....
۷۲۷	۳-۴-۱۹ سنتز کاتالیستی نانوکامپوزیت‌های پلی‌اولفین/نانولوله به روش پلیمریزاسیون درجا.....
۷۳۴	۵-۱۹ مراجع.....
۷۳۵	فصل بیستم: نانوالیاف.....
۷۳۵	۱-۲۰ مقدمه.....
۷۳۶	۲-۲۰ خواص و کاربردهای نانوالیاف.....

فهرست مطالب

۷۳۷	۳-۲۰ روش‌های تولید نانوالیاف.....
۷۳۷	۳-۲۰-۱ روش پایین به بالا.....
۷۳۸	۳-۲۰-۲ روش بالا به پایین.....
۷۴۲	۴-۲۰ کلیات فرآیند الکتروریسی.....
۷۴۵	۴-۲۰-۱ شاخص‌های کنترل‌کننده فرآیند الکتروریسی.....
۷۵۶	۵-۲۰ بررسی اثر ولتاژ بر قطر الیاف حاصل از الکتروریسی.....
۷۵۶	۶-۲۰ ناپایداری خمشی جت الکتروریسی شده.....
۷۵۶	۷-۲۰ مناطق ناپایداری.....
۷۵۷	۸-۲۰ مرحله جمع‌آوری الیاف.....
۷۵۷	۹-۲۰ تعیین مشخصات.....
۷۵۸	۹-۲۰-۱ فیزیکی.....
۷۵۹	۹-۲۰-۲ مکانیکی.....
۷۵۹	۹-۲۰-۳ شیمیایی.....
۷۵۹	۱۰-۲۰ نانوالیاف هسته-پوسته.....
۷۵۹	۱۰-۲۰-۱ الیاف هسته-پوسته تولیدشده در الکتروریسی هم‌محور.....
۷۶۶	۱۰-۲۰-۲ الیاف هسته-پوسته تولیدشده در الکتروریسی امولسیونی.....
۷۶۸	۱۱-۲۰ کاربردهای ویژه نانوالیاف.....
۷۶۸	۱۱-۲۰-۱ نانوالیاف تبادل‌گر یون.....
۷۶۹	۱۱-۲۰-۲ کاربردهای پزشکی.....
۷۸۶	۱۲-۲۰ مراجع.....
۷۸۹	نمایه.....
۷۹۱	واژه‌نامه‌ها.....
۷۹۳	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....
۸۰۵	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 و خواص فیزیکی - مکانیکی مناسب باعث شده‌اند که پلیمرها جایگزینی بسیار مناسب برای فلزات و غیرفلزات باشند.

علم پلیمرها در سه شاخه قابل بررسی است:

- ✓ آشنایی با مواد پلیمری و خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها؛
- ✓ ساخت و سنتز پلیمرها (پلیمرشدن یا پلیمریزاسیون)؛
- ✓ فرآیندهای شکل‌دهی پلیمرها.

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 پیوسته، 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 (روش‌های پلیمریزاسیون) تأثیر محیط‌ها و روش‌های پلیمریزاسیون مانند محیط‌های تک‌فازی و چندفازی، در جلد چهارم (طراحی راکتورهای پلیمری) تأثیر فرایندهای پلیمریزاسیون بر معماری مولکولی برای

دست‌یابی به خواص فیزیکی- مکانیکی محصولات پلیمری مطلوب، در جلد پنجم (کتاب حاضر) سنتز نانوپلیمرها و نانوکامپوزیت‌های پلیمری، در جلد ششم کاتالیزورهای پلیمریزاسیون، در جلد هفتم عوامل فعال سطحی و در جلد هشتم خواص فیزیکی- مکانیکی پلیمرها بررسی شده‌اند. در این میان قابل ذکر است که از آنجایی که امروزه پلیمریزاسیون‌هایی که منجر به تولید پلیمرهای ذره‌ای به‌خصوص ذراتی با اندازه نانو و میکرون می‌شوند کاربردهای بسیاری در صنعت پیدا کرده‌اند و در نتیجه با توجه به نفوذ بسیار مؤثر علم نانو در دنیای پلیمرها، همان‌گونه که گفته شد کتاب حاضر در دو بخش جداگانه به بررسی سنتز نانوپلیمرها و ذرات نانوپلیمری و نانوکامپوزیت‌های پلیمری پرداخته است؛ زیرا نانوفناوری در دهه‌های اخیر به‌عنوان یکی از موضوعات مطرح در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی سهم قابل توجهی در رشد بسیاری از علوم داشته؛ از این رو پژوهشگران علوم و مهندسی پلیمر نیز به این حیطه از علم توجه بسیاری نشان داده‌اند. مطالعات و پژوهش‌ها گسترده‌ای توسط پژوهشگران متعدد به‌منظور دست یافتن و ارائه روش‌های مؤثر در جهت بهبود خواص پلیمرها صورت گرفته است که در این بین افزودن مقادیر کمی از نانوذرات به پلیمر زمینه روش مؤثری در جهت دست‌یابی به هدف موردنظر به شمار می‌آید. با افزایش نانوذرات به پلیمر زمینه و تغییر مقدار ترکیب درصد اجزاء، بهبود قابل توجهی در بسیاری از خواص پلیمر زمینه مانند خواص مکانیکی، مقاومت گرمایی، مقاومت در برابر اشتعال، خواص مغناطیسی، خواص الکتریکی، عبور پذیری، افزایش مدول و بهبود خواصی نظیر پایداری ابعادی و سختی سطح مشاهده شده است.

در میان حوزه‌های مطرح در علم نانوفناوری، نانومواد بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند و به همین علت کشورهای مختلف بر اساس نیاز، هریک به‌گونه‌ای به آن توجه کرده‌اند. مواد، حدود ۷۰٪ از رشد ناخالص جوامع صنعتی را در یک یا چند زمینه تشکیل می‌دهند. از این رو، رویکرد به مواد جدید برای اقتصاد کشورها ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا نانوفناوری فرآیند تولید انواع نامحدودی از مواد جدید را به شیوه‌های گوناگون فراهم می‌کند و بدین ترتیب در علم نانوفناوری به موادی که اندازه ساختار بنیادی آن‌ها در مقیاس نانومتری طراحی شده است، نانومواد گفته می‌شود.

اصولاً مواد نانومتری با کاهش اندازه، در هر مقیاسی رفتار جدیدی را بروز می‌دهند. لذا به‌طور کلی می‌توان گفت نانومواد عبارت‌اند از: خوشه‌هایی از اتم‌ها (نقاط کوانتومی، نانو نقاط، ماکرومولکول‌های معدنی)، دانه‌هایی با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر (مواد نانوبلوری، نانوفاز و نانو ساختاری)، الیافی با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر (نانو میله‌ها، نانو صفحات، نانولوله‌ها، نانوالیاف)، سیم‌های کوانتومی، فیلم‌های با ضخامت کمتر از ۱۰۰ نانومتر، نانوحفره‌ها و مواد

کامپوزیتی که ترکیبی از این مواد هستند. این ترکیبات می‌توانند با هر ترکیب طبیعی از عناصر ایجاد شوند. خصوصاً ترکیباتی از سیلیکات‌ها، کاربیدها، نیتريد‌ها، اکساید‌ها، بروماید‌ها، سولنیدها، تلوریدها، سولفیدها، هالیدها، آلیاژها، فلزات واسطه، فلزات، پلیمرهای آلی و کامپوزیت‌ها.

نانوساختارها می‌توانند در یک، دو و یا سه بعد به وجود آیند؛ برای مثال، می‌توان یک فیلم نازک با ضخامت 10 nm را دارای ساختار یک‌بعدی، الیاف با قطر 25 nm و طول 1000 nm را دارای ساختار دوبعدی و یک بلور کروی یا ذره‌ای با قطر 30 nm را دارای ساختار سه‌بعدی در نظر گرفت. در این میان می‌توان اذعان داشت که پلیمرها نیز از این قانون مستثنی نیستند و در برخی موارد به‌عنوان خانواده‌ای از نانومواد از قوانین موجود در دنیای نانوفناوری تبعیت می‌کنند.

بر اساس موارد فوق این کتاب به دو بخش تقسیم شده است که در بخش اول سنتز نانوذرات پلیمری یا نانوپلیمرها مورد بررسی قرار گرفته است درحالی‌که بخش دوم به سنتز درجای نانوکامپوزیت‌های پلیمری معطوف شده است؛ به عبارت دیگر در بخش اول این کتاب پلیمریزاسیون‌هایی مورد بررسی قرار می‌گیرند که در آن‌ها از نانوذرات معدنی به‌منظور تولید نانوکامپوزیت استفاده نمی‌شود و مستقیماً ذرات پلیمری خالص ولی در اندازه نانو سنتز می‌شوند، این در حالی است که در بخش دوم ممکن است ذرات پلیمری بزرگ‌تر از اندازه‌های نانو به‌دست آیند ولیکن به‌منظور بالا بردن خواص فیزیکی- مکانیکی محصول نهایی در آن‌ها از نانوذرات معدنی استفاده شده باشند تا منجر به سنتز درجای نانوکامپوزیت‌های پلیمری شوند.

مجموعه حاضر نتیجه تجربه بیش از سی سال فعالیت نویسنده در صنعت پلیمر و پتروشیمی و نیز تدریس علوم پلیمری در دانشگاه‌های تهران و صنعتی امیرکبیر است و هدف، تدوین مجموعه کتابی درسی برای دانشجویان مقاطع مختلف علوم، فناوری و مهندسی پلیمر، مهندسی شیمی، مهندسی پزشکی، مهندسی نساجی، مهندسی مواد و شیمی کاربردی بوده است.

در پایان از مسئولین محترم و کارکنان زحمت‌کش انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر به دلیل راهنمایی‌های ارزشمندشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

وحید حدادی اصل

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

زمستان ۱۴۰۴

بخش اول:

پلیمریزاسیون نانوذرات پلیمری

نانو، پیکو و فمتو فناوری

۱-۱ مقدمه

هنگامی که برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ میلادی پروفسور "ریچارد فاینمن"^۱ که فیزیک‌دانی برجسته و برنده جایزه نوبل سخنرانی‌ای را در جامعه فیزیک آمریکا ارائه داد انقلابی در علم و فناوری ایجاد شد. او در سخنرانی خود به این نکته اشاره کرد که "فضاهای بسیاری در پایین دست وجود دارد". براین اساس او ادعا نمود می‌توان دایرةالمعارف بریتانیکا را روی یک سنجاق، ارائه کرد و ابعاد آن را به میزان ۲۵۰۰۰ برابر کوچک نمود. پیشنهاد فاینمن این بود که می‌توان اتم‌های مجزا را دست‌کاری کرده و ساختارهای جدید ایجاد کرد که خواص متفاوتی دارند [۱].

با پیشرفت‌های بسیار زیاد در این زمینه امروزه می‌توان بیان نمود که اگر دنیای دیروز دنیای میکروفناوری بود و دنیای امروز به لطف دانش و تهییج افرادی مانند پروفسور فاینمن

¹ Richard Phillips Feynman

نانوفناوری است، دنیای علم فردا ورود به مرز دانش پیکوفناوری و فمتوفناوری خواهد بود، لذا می‌توان دریافت میکروفناوری، نانوفناوری، پیکوفناوری و فمتوفناوری علم جدید نیست بلکه عمق علم است که بشر با ورود به این مقیاس‌های توانایی به‌کارگیری هرچه بهتر خواص گوناگون مواد و حتی تغییر مواد به یکدیگر را خواهد داشت [۲].

جدول ۱-۱: پیشوندها و اندازه‌ها [۲]

نام	نماد	اندازه	نام	نماد	اندازه
کوئتا	Q	$۱۰^{۳۰}$	دسی	d	$۱۰^{-۱}$
رونا	R	$۱۰^{۲۷}$	سانتی	c	$۱۰^{-۲}$
یوتا	Y	$۱۰^{۲۴}$	میلی	m	$۱۰^{-۳}$
زتا	Z	$۱۰^{۲۱}$	میکرو	μ	$۱۰^{-۶}$
اگزا	E	$۱۰^{۱۸}$	نانو	n	$۱۰^{-۹}$
پتا	P	$۱۰^{۱۵}$	پیکو	p	$۱۰^{-۱۲}$
ترا	T	$۱۰^{۱۲}$	فمتو	f	$۱۰^{-۱۵}$
گیگا	G	$۱۰^۹$	آتو	a	$۱۰^{-۱۸}$
مگا	M	$۱۰^۶$	زپتو	z	$۱۰^{-۲۱}$
کیلو	k	$۱۰^۳$	یوکتو	y	$۱۰^{-۲۴}$
هکتو	h	$۱۰^۲$	رونتو	z	$۱۰^{-۲۷}$
دکا	da	$۱۰^۱$	کوئکتو	Y	$۱۰^{-۳۰}$
یونی			uni		$۱۰^۰$

۲-۱ نانوفناوری

نانومتر واحد طولی برابر با یک میلیارد متر ($۱۰^{-۹}$) است. این اندازه تقریباً چهار برابر قطر یک اتم منفرد است. یک مکعب با طول وجه $۲/۵$ نانومتر در حدود ۱۰۰۰ اتم را در خود جای می‌دهد. پروتئین‌ها ۱ تا ۲۰ نانومتر اندازه دارند. برای مقایسه؛ یک جسم با اندازه تقریبی ۱۰ نانومتر هزار برابر کوچک‌تر از قطر تار موی انسان است [۲].

فناوری نانو درباره ساختارها یا موادی با اندازه بسیار کوچک در حد چند نانومتر بحث می‌کند. یک نانومتر، تقریباً معادل طول ده اتم هیدروژن یا پنج اتم سیلیکون ردیف شده در یک خط است. اهمیت مقیاس نانو را می‌توان در تغییر خواص و ویژگی‌های مواد در این ابعاد دانست. خواصی که مواد در ابعاد معمولی دارند و مشخصه یک ماده هستند مانند استحکام، انعطاف‌پذیری، رسانایی الکتریکی، خواص مغناطیسی، رنگ، واکنش‌پذیری و غیره، در ابعاد نانو تغییر می‌کنند و ویژگی‌های جدیدی به وجود می‌آید. در نتیجه در مقیاس نانومواد جدیدی ظهور می‌یابند که خواص قبلی خود را نداشته و دارای خواص جدیدی هستند که باید این خواص مشخص شوند. ابعاد کوچک، اجازه کارآمدی بیشتر در یک فضای معین را می‌دهند. مواد در مقیاس میکرومتر، معمولاً خواص فیزیکی مشابه با حالت میکروسکوپی (ابعاد معمولی که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده هستند) را نشان می‌دهند اما مواد در مقیاس نانو (به‌خصوص در مقیاس زیر ۱۰۰ نانومتر) خواص متفاوتی را در مقایسه با ابعاد میکروسکوپی و معمولی نشان می‌دهند.

پیشینه فناوری نانو به پیش از قرون وسطی بازمی‌گردد. "جام لیکرگوس" که در قرن چهارم پس از میلاد ساخته شده، نمونه‌ای از استفاده از نانوفناوری است. این جام در نور روز، رنگ سبز و در هنگام تابش نور مستقیم، رنگ قرمز و صورتی دارد. در قرون وسطی نیز برای تهیه شیشه‌های رنگی کلیسا، از ذرات نانومتری طلا استفاده شده است.

واژه "نانوفناوری" اولین بار توسط "نوریو تانیگوچی"^۱ استاد "دانشگاه علوم توکیو" در سال ۱۹۷۴ میلادی بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که تحمل (تلورانس) ابعادی آن‌ها در حد نانومتر است، به کار برد. اگرچه در دهه‌های ۵۰ و ۶۰ میلادی پژوهش‌ها گسترده‌ای روی ذرات فلزی کوچک و سیال مغناطیسی در حال انجام بود، ولی این پژوهش‌ها در حیطه فناوری نانو قرار نمی‌گرفت.

بر اساس نظریه تانیگوچی توسعه پژوهش‌ها و فناوری در سطوح اتمی، مولکولی و ماکرومولکولی با طول تقریبی ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، برای فراهم آوردن شناخت اصولی از پدیده‌ها و مواد در مقیاس نانو و باهدف ایجاد و استفاده از ساختارها، قطعات و سامانه‌هایی که به خاطر اندازه کوچک و یا متوسط خود خواص کاربردی جدیدی دارند را "نانوفناوری" گویند. در سال ۱۹۸۶ میلادی واژه نانوفناوری توسط "کیم اریک درکسلر"^۲ محقق آمریکایی مؤسسه فناوری

^۱ Norio Taniguchi

^۲ Kim Eric Drexler