

# شناسایی و آنالیز دستگاهی پلیمرها

تالیف:

دکتر گیتی میرمحمدصادقی

دانشیار، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

مهندس مبینا خاک‌آز

دانشجو دکتری دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

پاییز ۱۳۹۸

سرشناسه: میر محمد صادقی، گیتی، ۱۳۴۰ -  
عنوان و نام پدیدآور: شناسایی و آنالیز دستگاهی پلیمر ها/ تألیف گیتی میر محمدصادقی، مبینا خاکباز؛  
مشخصات نشر: تهران : سازمان اوقاف و امور خیریه، انتشارات اسوه، ۱۳۹۸.  
مشخصات ظاهری: ۲۰۰ ص.

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۴۲-۵۹۹-۷

وضعیت فهرست نویسی: فیا

موضوع: پلیمر ها

Polymers: موضوع

موضوع: پلیمر یزاسیون

Polymerization: موضوع

موضوع: مهندسی پلیمر

Polymer engineering: موضوع

موضوع: پلیمر ها -- تجزیه و آزمایش

Polymers -- Analysis: موضوع

شناسه افزوده: خاکباز، مبینا، ۱۳۴۷ -

شناسه افزوده: سازمان اوقاف و امور خیریه، انتشارات اسوه

رده بندی کنگره: TA۴۵۵:

رده بندی دیویی: ۶۶۸/۹

شماره کتابشناسی: ۵۹۲۳۰۸۰۰: ۱



شرکت چاپ و انتشارات اسوه

## شناسایی و آنالیز دستگاهی پلیمر ها

تألیف: دکتر گیتی میر محمدصادقی، مهندس مبینا خاکباز

ناشر: انتشارات اسوه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: چاپخانه بزرگ قرآن کریم (۰۲۵-۳۶۶۶۲۲۱۱-۰۲)

نوبت چاپ: اول

سال نشر: ۱۳۹۸

شمارگان: نسخه

بهاء: ۴۷۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۴۲-۵۹۹-۷

فروشگاه و نمایشگاه دائمی تهران: خیابان انقلاب، ابتدای پل کالج، روبروی خیابان خارک، پلاک ۷۸۷

تلفن: ۶۶۴۱۸۰۹۹ و ۶۶۴۰۱۷۴۷ فاکس: ۶۶۴۱۸۰۲۲

فروشگاه شماره (۲) قم: خیابان ارم، مقابل پاساژ قدس تلفن: ۳۷۷۴۱۲۸۲ فاکس: ۳۷۷۳۷۶۶۰

فروشگاه شماره (۳) قم: بلوار معلم - مجتمع ناشران - پلاک ۳۰ تلفن: ۳۷۸۴۱۷۲۱-۲۳

www.Osvehpublishing.com    www.Osveh.ir

|                 |    |
|-----------------|----|
| سخن آغازین..... | ۱۱ |
|-----------------|----|

## فصل اول:

### معرفی روشهای تعیین ساختار شیمیایی و خواص پلیمرها

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| انگیزه‌های بررسی مشخصات یک ماده در مهندسی پلیمر.....            | ۱۵ |
| ۱-۱-۱- شناسایی نوع پلیمر و افزودنی‌های موجود در پلیمر.....      | ۱۵ |
| ۱-۲-۱- طراحی ماده در سطح مولکولی.....                           | ۱۵ |
| ۱-۳-۱- طراحی ریزساختار و کنترل فرآیند.....                      | ۱۶ |
| ۱-۴-۱- روشهای بررسی نقص و آنالیز شکست در قطعات پلیمری.....      | ۱۶ |
| ۲-۱- انواع طیفسنجی، تکنیک آنالیز.....                           | ۱۷ |
| ۱-۲-۱- طبقه‌بندی اساسی اساسی اعداد مورد بررسی.....              | ۱۷ |
| ۲-۲-۱- طبقه‌بندی بر اساس تئوری و مبانی فیزیکی مورد استفاده..... | ۱۷ |
| ۳-۱- شناسایی یک قطعه پلیمری مجهول.....                          | ۱۸ |
| ۴-۱- روش‌های مقدماتی آنالیز و شناسایی کیفی پلیمرها.....         | ۱۹ |
| ۵-۱- تکنیک‌های اثر انگشت.....                                   | ۲۰ |
| ۱-۵-۱- گاز کروماتوگرافی / پیرولیز (Py/GC).....                  | ۲۰ |
| ۲-۵-۱- گاز کروماتوگرافی / طیفسنجی جرمی (GC/MS).....             | ۲۰ |
| ۳-۵-۱- کروماتوگرافی مایع / پیرولیز (Py/LC).....                 | ۲۱ |
| ۴-۵-۱- کروماتوگرافی گازی.....                                   | ۲۱ |
| ۵-۵-۱- کاربردهای کروماتوگرافی گازی.....                         | ۲۴ |

## فصل دوم

### روش‌های طیفسنجی آنالیز پلیمرها

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| ۱-۲- آنالیز کمی و کیفی پلیمرها با استفاده از طیفسنجی FTIR..... | ۲۵ |
| ۱-۱-۲- اشعه مادون قرمز: IR یا Infra red.....                   | ۲۶ |
| ۲-۱-۲- اصول طیفسنجی IR.....                                    | ۲۸ |
| ۳-۱-۲- نظریه اسپکتروسکوپی جذبی IR.....                         | ۳۰ |

- ۳۴-۱-۲- کاربرد طیف سنجی فروسرخ.....
- ۳۶-۱-۲- اجزای دستگاه‌های طیف سنجی IR.....
- ۳۷- آشکارساز یا ترانس دیوسر:.....
- ۳۸-۱-۲- فرایند آنالیز نمونه.....
- ۴۰-۱-۲- جانمایی ساده طیف سنج.....
- ۴۰-۱-۲- آنالیز کیفی.....
- ۴۲-۱-۲- ناحیه اثر انگشت.....
- ۴۳-۱-۲- قوانین و روابط مورد استفاده در طیف سنجی.....
- ۴۵-۱-۲- طیف مادون قرمز چند نمونه از ترکیبات مختلف.....
- ۴۹-۱-۲- مزایای FTIR نسبت به IR.....
- ۵۲-۱-۲- مثال‌های کاربردی طیف سنجی FTIR.....
- ۵۶-۱-۲- تشخیص حضور افزودنی.....
- ۵۶-۱-۲- مطالعه اکسیداسیون و تنش‌های تخریب در پلیمرها.....
- ۵۷-۱-۲- بررسی سازگاری در نیازهای پلیمری.....
- ۵۸-۱-۲- آنالیز گروه‌های انتهایی.....
- ۶۰-۱-۲- بررسی تأثیرات متقابل مولکول.....
- ۶۱-۱-۲- مطالعه سینتیک.....
- ۶۲-۱-۲- تعیین میزان شاخه‌ها در ساختار پلیمرها.....
- ۶۳-۱-۲- تعیین ترکیب درصد کوپلیمرها.....
- ۶۵-۱-۲- تعیین ریزساختار.....
- ۷۰-۱-۲- تعیین گروه‌های عاملی.....
- ۷۲-۱-۲- تعیین درصد منومر در کوپلیمرها.....
- ۷۶-۲- اسپکتروسکوپی NMR و آنالیز کمی و کیفی پلیمرها با استفاده از آن.....
- ۷۹-۱-۲- آنالیز کیفی با استفاده از طیف سنجی NMR.....
- ۸۱-۲-۲- تعیین ریزساختار زنجیر پلیمر.....
- ۸۲-۲-۲- نظم موجود در زنجیر پلیمری توسط اسپکتروسکوپی NMR.....
- ۸۴-۲-۲- شناسایی ساختار شیمیایی زنجیرهای پلیمری توسط اسپکتروسکوپی 2D-NMR.....
- ۸۵-۲-۲- آنالیز کمی با استفاده از طیف سنجی NMR.....
- ۸۵- نظم موجود در زنجیر پلیمری.....
- ۸۶-۲-۲- آنالیز گروه‌های انتهایی و تعیین وزن مولکولی پلیمر.....

|         |                                           |
|---------|-------------------------------------------|
| ۸۸..... | ۷-۲-۲- بررسی شاخه‌ای بودن.....            |
| ۸۹..... | ۸-۲-۲- ترکیب درصد کوپلیمر.....            |
| ۹۱..... | ۹-۲-۲- اسپکتروسکوپی NMR حالت جامد.....    |
| ۹۱..... | ۱۰-۲-۲- شاخه‌ای شدن زنجیر پلیمر.....      |
| ۹۱..... | ۱۱-۲-۲- تعیین درجه بلورینگی.....          |
| ۹۲..... | ۱۲-۲-۲- حرکات‌های مولکولی در پلیمرها..... |

## فصل سوم:

### روش‌های حرارتی آنالیز پلیمرها

|          |                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------|
| ۹۳.....  | ۱-۳- دماسنجی روبشی تفاضلی (DSC).....                          |
| ۹۸.....  | ۱-۳- انواع محفظه‌ها (Pan).....                                |
| ۱۰۰..... | ۲-۳- مثال‌های کاربردی در بهره‌گیری از تکنیک DSC.....          |
| ۱۰۱..... | ۱-۲-۳- بررسی تأثیر وزن مولکولی بر دماهای انتقال.....          |
| ۱۰۳..... | ۲-۲-۳- تعیین دمای ذوب و دماهای انتقال.....                    |
| ۱۰۴..... | ۳-۲-۳- تعیین اثر بار خنک‌کننده بر دماهای انتقال.....          |
| ۱۰۶..... | ۴-۲-۳- ارزیابی پخت ترموست.....                                |
| ۱۰۷..... | ۵-۲-۳- بررسی سینتیک واکنش‌ها.....                             |
| ۱۰۹..... | ۶-۲-۳- ارزیابی آلیاژهای فلزی.....                             |
| ۱۰۹..... | ۷-۲-۳- بررسی امولسیون‌های آب در روغن.....                     |
| ۱۱۰..... | ۸-۲-۳- تعیین مشخصات گریس‌ها و روان‌کننده‌ها.....              |
| ۱۱۱..... | ۹-۲-۳- تعیین دمای بهینه خشک کردن در مواد lyophilized شده..... |
| ۱۱۲..... | ۱۰-۲-۳- بررسی اثرات فرآیندی بر نمونه.....                     |
| ۱۱۳..... | ۱۱-۲-۳- شناسایی انتقال‌های حساس به فشار.....                  |
| ۱۱۴..... | ۱۲-۲-۳- ارزیابی کاتالیزورهای فلزی.....                        |
| ۱۱۵..... | ۱۳-۲-۳- DTA در دمای بالا.....                                 |
| ۱۱۶..... | ۱۴-۲-۳- اندازه‌گیری حرارت‌های انتقال.....                     |
| ۱۱۶..... | ۱۵-۲-۳- ارزیابی حساسیت نوری.....                              |
| ۱۱۷..... | ۱۶-۲-۳- ارزیابی کنترل کیفی.....                               |
| ۱۱۹..... | ۱۷-۲-۳- DSC مدوله.....                                        |
| ۱۲۰..... | ۱۸-۲-۳- انتقال‌های پیچیده.....                                |

- ۱۲۱..... ۳-۲-۱۹- تعیین ترکیب درصد در آلیاژهای پلیمری
- ۱۲۳..... ۳-۳- آنالیز حرارتی دینامیکی مکانیکی (DMTA)
- ۱۲۳..... ۳-۳-۱- اصول پایه
- ۱۲۵..... ۳-۳-۲- کاربردهای DMA
- ۱۲۵..... انتخاب ماده برای کاربردهای خاص
- ۱۲۶..... پیش بینی رفتار ماده با استفاده از اصل انطباق دما- زمان
- ۱۲۶..... بررسی برش در ژل ویسکوالاستیک
- ۱۲۷..... تعیین رفتار پخت
- ۱۲۷..... اندازه گیری های تنش/ کرنش فیلم و لیف
- ۱۲۷..... آنالیز مواد غذایی
- ۱۲۸..... ۳-۴- آنالیز گرما و وزن حساسی (TGA)
- ۱۲۸..... ۳-۴-۱- معرفی TGA و کاربردهای آن
- ۱۳۲..... ۳-۴-۲- کاربردهای آزمون TGA
- ۱۳۲..... ۳-۴-۳- کالیراسیون دما چند ناله ای
- ۱۳۲..... ۳-۴-۳- شناسایی اجزای یک ترکیب با استفاده از TGA با دقت بالا
- ۱۳۳..... ۳-۴-۴- تشخیص درصد منومر در کوپلیمر
- ۱۳۳..... ۳-۴-۵- پایداری اکسیداسیونی روغن های خوراکی
- ۱۳۳..... ۳-۴-۶- تخمین طول عمر پلیمر
- ۱۳۴..... ۳-۴-۷- ارزیابی ابررساناها

## فصل چهارم

### روشهای تفرق اشعه

- ۱۳۸..... ۴-۱- روش تفرق اشعه ایکس (XRD)
- ۱۴۰..... ۴-۱-۱- طیف الکترومغناطیسی x-ray
- ۱۴۱..... ۴-۱-۲- خصوصیات x-ray
- ۱۴۳..... تک سلول ها و شبکه کریستال
- ۱۴۳..... پراش از یک شبکه کریستالی
- ۱۴۳..... قانون Bragg
- ۱۴۶..... ۴-۲- روش های بررسی ریز ساختار پلیمرها براساس تفرق اشعه

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۱۴۷ | ۴-۲-۱- پخش اشعه X                          |
| ۱۴۸ | ۴-۲-۲- تکنیک تفرق اشعه X زاویه باز (WAXS)  |
| ۱۵۴ | ۴-۲-۳- تکنیک تفرق اشعه X زاویه بسته (SAXS) |
| ۱۵۴ | ۴-۲-۴- انواع دستگاه‌های SAXS               |
| ۱۵۵ | ۴-۲-۵- انواع سیستم‌های موازی‌ساز           |
| ۱۵۵ | ۴-۲-۶- کاربرد در پلیمر و ژل‌ها             |
| ۱۵۶ | ۴-۲-۷- مثال کاربردی از SAXS و WAXS         |

## فصل پنجم

### روشهای میکروسکوپی

|     |                                        |
|-----|----------------------------------------|
| ۱۶۳ | ۵-۱- مقدمه ای بر میکروسکوپ الکترونی    |
| ۱۶۶ | ۵-۲- مکالیسم ، کرد میکروسکوپ الکترونی  |
| ۱۶۷ | ۵-۳- میکروسکوپ الکترونی پیمایشی (SEM)  |
| ۱۷۱ | ۵-۴- میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)    |
| ۱۷۴ | ۵-۵- ابزارهای جدید برای کاربرای ظریف   |
| ۱۷۵ | ۵-۵-۱- میکروسکوپی نفوذ زنی روبشی (STM) |
| ۱۷۷ | ۵-۵-۲- میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)      |
| ۱۷۸ | کاربرد AFM                             |
| ۱۸۲ | مثال کاربردی از SEM و AFM              |
| ۱۸۷ | مراجع                                  |
| ۱۹۳ | نمایه                                  |

کتاب حاضر نتیجه تجارب و تلاش‌های مؤلف در زمینه آنالیز پلیمرها از سال ۱۳۶۸، هنگامی که در آزمایشگاه شیمی پلیمرها و شیمی فیزیک پلیمرها مشغول به کار بوده است، می‌باشد. مؤلف در نیمه دوم دهه ۶۰ و به ویژه اواخر آن در طول جنگ تحمیلی و پس از آن که کشورمان در راستای خودکفایی نیاز به شناسایی قطعات پلیمری داشت، وظیفه ملی و شرعی خود می‌دست که گدای ولو خیلی کوچک از گره‌های کشور بگشاید. بنابراین علی‌رغم دشوار بودن این امر، به کمک خانواده و دوستان بزرگ و با عزم راسخ توانست بر این مهم چیره شود، چرا که شناسایی هر نمونه مجهول، مانند تیری می‌دانست که به سمت دشمن کشور و دین خود، شلیک می‌کرد (خشتی می‌دانست که به سمت، کشاورزی و ساختن کشور کمک) می‌کرد.

ساختار کتاب، متشکل از پنج اصل است که به معرفی تکنیک‌های شناسایی پلیمرها می‌پردازد. در ابتدای هر فصل تنوری تکنیک توضیح و در ادامه چگونگی آنالیز کمی و کیفی نمونه‌های مجهول بر اساس یک یا چند مثال ارائه می‌شود. در نتیجه این کتاب می‌تواند در مراحل حل مسئله و رسیدن به پاسخ نهایی گاه به گاه همراه و راهنمای خواننده باشد. بهره‌گیری از کتاب، علاوه بر دانشجویان مقاطع مختلف تحصیلی مهندسی پلیمر، مهندسی رنگ و رشته‌های وابسته، برای افراد شاغل در صنایع پلاستیک، لاستیک و کامپوزیت نیز مفید است.

مطالب و مثال‌های طرح شده به دانشجویانی که هنگام انجام پروژه‌های پایانی و مهندسی که در صنعت برای حل مشکل خط تولید یا رفع عیب محصول، با مسئله شناسایی مواد یا ارزیابی خواص آنها مواجه می‌شوند، کمک شایان توجهی خواهد نمود.