

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مبانی فرایندهای صنایع پتروشیمی

دکتر مهدی صدیقی

عضو هیئت علمی مهندسی شیمی دانشگاه قم

مهندس محمد امین نظری

سرشناسه	: صدیقی، مهدی، ۱۳۶۳ -
عنوان و نام پدیدآور	: مبانی فرایندهای صنایع پتروشیمی/مهدی صدیقی، محمدامین نظری.
مشخصات نشر	: قم: دانشگاه قم، انتشارات، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۳۹۲ص.
شابک	: 978-600-843649-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: پتروشیمی، صنایع
موضوع	: Petroleum chemicals industry
شناسه افزوده	: نظری، محمدامین، ۱۳۷۶ -
شناسه افزوده	: دانشگاه قم، انتشارات
رده بندی کنگره	: TP۶۹۲/۳
رده بندی دیویی	: ۶۶۱/۸۰۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۰۲۲۵۰۰



انتشارات دانشگاه قم با همکاری پژوهشکده محیط زیست دانشگاه قم

عنوان: مبانی فرایندهای صنایع پتروشیمی

مؤلف: مهدی صدیقی، محمد امین نظری

چاپ و صحافی: هوشنگی

ناظر فنی: علیرضا معظمی

صفحه آرا: حسین معظمی

نوبت و سال چاپ: اول، زمستان ۱۳۹۸

شمارگان: ۵۰۰

بهاء: ۵۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶-۴۹-۲

آدرس الکترونیکی: Publication@ Qom. ac.ir

کلیه حقوق مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است.

قم، بلوار الغدیر، دانشگاه قم، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۲۵-۳۳۴۴۰۳۳۱-۲۵-۳۳۴۵

پیشگفتار

صنعت پتروشیمی طی سال‌های اخیر در دنیا رشد فراوانی داشته است و روز به روز بر اهمیت آن افزوده می‌شود. بر اساس آمارها در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸ صنعت پتروشیمی در جهان رشدی معادل ۶/۷ درصد در سال داشته است. تنها ۶ درصد از انرژی مورد استفاده در دنیا به عنوان خوراک وارد صنعت پتروشیمی شده است که با این سهم حداقلی در مصرف در بین سایر حوزه‌های مصرف انرژی، سهم حداکثری را در تولید ارزش افزوده ایجاد کرده است. ارزش کل محصول محصولات تولید در صنعت پتروشیمی دنیا در سال ۲۰۱۸ چیزی در حدود ۴۰۰۰ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. وابستگی تمامی صنایع به محصولات پتروشیمیایی و همچنین تنوع بالای محصولات در این صنعت باعث شده است که کشورهای دنیا تمرکز ویژه‌ای به این بخش داشته باشند.

در کشور عزیزمان ایران، پتروشیمی به عنوان یکی از بخش‌های اصلی صنعتی کشور و طلایه دار ایجاد ارزش افزوده در منابع نفت و گاز است. این صنعت به عنوان دارنده مقام اول صادرات غیر نفتی در جهت شکوفایی اقتصادی کشور، توسعه پایدار، بومی کردن فناوری، توسعه صنایع پایین دستی، ایجاد اشتغال و ... نقش اساسی بر عهده دارد. عمده‌ترین مزایای این صنعت در ایران، تنوع خوراک، دسترسی به آب‌های آزاد و نیروی انسانی متخصص است. ایران هم از نظر منابع نفتی (حدود ۹/۳ درصد ذخایر اثبات شده نفت) و هم از نظر منابع گازی (حدود ۱۸/۲ درصد ذخایر گاز جهان) غنی است و این اجازه را می‌دهد تا صنعت پتروشیمی این کشور بتواند به فراخور وضعیت بازار هم از خوراک نفت و هم از خوراک گاز استفاده نماید. این در حالی است که در بسیاری از کشورها این گونه تنوع خوراک وجود ندارد، بنابراین صنایع پتروشیمی در کشور مستعد رشد و توسعه فوق العاده می‌باشد.

به دلیل اهمیت و ضرورت صنایع پتروشیمی، کتابی که موضوعات و مباحث مهم این صنعت را همراه با فرایندها و واکنش‌ها به زبان ساده بیان کند، احساس می‌شد. کتاب حاضر با بررسی نظرات کارشناسی اساتید و صاحب‌نظران متخصص در صنایع پتروشیمی به زبانی ساده نوشته شده است تا مورد استفاده موثر و مفید دانشجویان، فارغ‌التحصیلان، مهندسان طراح، محققین، کارشناسان واحدهای تولیدی، مجریان پروژه‌های صنعتی و مدیران کارخانجات قرار گیرد.

بر خود لازم می‌دانم از حمایت‌های بی‌دریغ و همکاری‌های صمیمانه رییس پژوهشکده محیط زیست دانشگاه قم جناب آقای دکتر خوشگفتار منش کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین

از تلاش‌های بسیار و پشتکار مستمر آقای مهندس محمد امین نظری در تالیف این کتاب قدردانی می‌نمایم.

از کلیه اساتید محترم، متخصصین گرامی و دانشجویان عزیز تقاضا دارم که اینجانب را مورد لطف خود قرار داده و از هر گونه راهنمایی و ارائه نقطه نظرات دریغ نورزند که سبب تشکر و امتنان بسیار و ارتقاء کیفیت مطالب در چاپ‌های بعدی کتاب خواهد بود.

خدایا چنان کن سرانجام کار توخشنود باشی ما رستگار

مهدی صدیقی - زمستان ۹۸

sedighi@qom.ac.ir
sedighi.ac@gmail.com

دیباچه ریاست پژوهشکده محیط زیست دانشگاه قم

برگ درختان سبز پیش خداوند هوش
هر ورقش دفترست معرفت کردگار
سعدی

در دنیای امروز فرآورده‌های نفتی نقش حیاتی را در اقتصاد کشور ایفا می‌کنند که بخش مهمی از این فرآورده‌ها مرتبط با صنایع پتروشیمی است. محصولات عمده‌ای که توسط واحدهای صنایع پتروشیمی ایران تولید می‌شوند عمدتاً شامل کودهای شیمیایی، اوره و مواد شیمیایی نظیر آمونیاک و گوگرد است که این محصولات در مقایسه با ده‌ها هزار مشتقی که از نفت و گازهای طبیعی به کمک تکنولوژی پیشرفته پتروشیمیایی بدست می‌آید، بسیار اندک بوده و این امر نشان می‌دهد که بایستی همت و تلاش بیشتری در زمینه توسعه این بخش در کشور ایران انجام شود. یکی از راه کارهای مناسبی که در این راستا می‌تواند مفید به فایده واقع شود دست یابی واحدهای پتروشیمی به خوراک کافی و با قیمت مناسب است تا بتواند همچنان به عنوان صنعتی که نقش مهمی را در اشتغال کشور به خود اختصاص می‌دهد، مورد توجه قرار گیرد.

مسئله حیاتی دیگر در توسعه صنایع پتروشیمی در کشور مصرف انرژی و آب در این واحدها است که باید بصورت جدی مورد توجه قرار گیرد. اهمیت بحث بهینه سازی و یکپارچه سازی مصرف آب و انرژی در واحدهای پتروشیمی علاوه بر کاهش قیمت محصول تمام شده، تا حد بسیار زیادی در کاهش تولید آلاینده‌ها و اثرات زیست محیطی موثر است.

کتاب پیش روی حاصل تلاش متعهدانه دکتر مهدی صدیقی معاونت محترم پژوهشکده محیط زیست و عضو محترم هیئت علمی گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم و به سفارش پژوهشکده محیط زیست دانشگاه قم است.

با اغتنام فرصت، از زحمات جناب آقای دکتر مهدی صدیقی معاونت محترم پژوهشکده محیط زیست در خلق این اثر علمی وزین صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم و کامیابی و توفیق روزافزون برای ایشان آرزومندم.

پژوهشکده محیط زیست دانشگاه قم بنا به رسالتی که در گسترش دانش و بسط فعالیت‌های پژوهشی و آموزشی در راستای حفظ محیط زیست کشور دارد اثر حاضر را به جامعه علمی کشور تقدیم می‌کند.

دکتر محمد حسن خوشگفتارمنش
رئیس پژوهشکده محیط زیست دانشگاه قم

فهرست مطالب

فصل ۱: پیش درآمدی بر ترکیبات شیمی آلی..... ۱

۱-۱- شیمی آلی.....	۲
۱-۱-۱- مواد آلی.....	۲
۱-۱-۲- پارافین‌ها.....	۴
۱-۱-۳- الفین‌ها.....	۵
۱-۱-۴- ترکیبات حلقوی.....	۸
۱-۱-۵- ترکیبات هترو (ناجور).....	۱۱
۱-۱-۶- پلیمرها و اولیگومرها.....	۱۴
۱-۲- فرایندها و تجهیزات.....	۱۵
۱-۲-۱- تقطیر.....	۱۶
۱-۲-۲- فرایندهای اندازه‌گیری.....	۲۲
۱-۲-۳- کاتالیست‌ها.....	۲۴
۱-۲-۴- جداسازی و تبدیل.....	۲۵
چکیده فصل.....	۲۶

فصل ۲: الفین‌ها و آلفا الفین‌ها..... ۲۷

۱-۲- الفین‌ها.....	۲۸
۱-۲-۱- واحدهای الفین.....	۲۸
۱-۲-۲- تکنولوژی‌های دیگر.....	۳۹
۱-۲-۳- اتیلن.....	۴۲
۱-۲-۴- پروپیلن.....	۴۵
۲-۲- آلفا الفین‌ها.....	۴۷
۲-۲-۱- تولید آلفا الفین‌ها.....	۵۰
۲-۲-۲- جنبه‌های تجاری.....	۵۸
چکیده فصل.....	۵۹

فصل ۳: کاربردهای الفین‌ها ۶۱

۶۲	۱-۳- اتیلن دیکلرید، وینیلکلرید و اپیکلروهیدرین
۶۲	۱-۱-۳- اتیلن دیکلرید و وینیلکلرید
۶۸	۲-۱-۳- اپیکلروهیدرین
۷۰	۲-۳- اتیلن اکسید، اتیلن گلیکول و اتانول آمین
۷۱	۱-۲-۳- اتیلن اکسید
۷۵	۲-۲-۳- اتیلن گلیکول
۷۸	۳-۲-۳- اتانول آمین‌ها
۸۱	۳-۳- پروپیلن اکسید، پروپیلن گلیکول و پلیال‌ها
۸۱	۱-۳-۳- پروپیلن اکسید
۹۰	۲-۳-۳- پروپیلن گلیکول
۹۲	۳-۳-۳- پلی ال‌ها
۹۷	چکیده فصل

فصل ۴: آروماتیک‌ها ۹۹

۱۰۰	۱-۴- بنزن
۱۰۲	۱-۱-۴- تولید بنزن از ذغال سنگ
۱۰۳	۲-۱-۴- بنزن در پالایش نفت
۱۱۱	۳-۱-۴- بنزن حاصل از واحدهای الفین
۱۱۱	۴-۱-۴- بنزن حاصل از هیدرو دی آلکیلاسیون تولوئن
۱۱۳	۵-۱-۴- بنزن حاصل از تسهیم نامتناسب تولوئن
۱۱۴	۶-۱-۴- جنبه‌های تجاری
۱۱۵	۲-۴- تولوئن و زایلن‌ها
۱۱۵	۱-۲-۴- تولوئن
۱۲۰	۲-۲-۴- زایلن
۱۲۷	چکیده فصل

فصل ۵: کاربردهای بنزن..... ۱۲۹

- ۱-۵-سیکلو هگزان..... ۱۳۰
- ۱-۱-۵-فرایند سنتی..... ۱۳۰
- ۲-۱-۵-فرایند فاز مایع..... ۱۳۳
- ۳-۱-۵-جنبه‌های تجاری..... ۱۳۵
- ۲-۵-کیومن..... ۱۳۶
- ۱-۲-۵-فرایند فسفریک اسید..... ۱۳۶
- ۲-۲-۵-استفاده از رئولیت در فرایند تقطیر کاتالیستی..... ۱۳۸
- ۳-۲-۵-جنبه‌های تجاری..... ۱۴۰
- ۳-۵-فنول..... ۱۴۱
- ۱-۳-۵-فرایند اکسیداسیون کیومن..... ۱۴۱
- ۲-۳-۵-جنبه‌های تجاری..... ۱۴۵
- ۴-۵-اتیل بنزن و استایرن..... ۱۴۶
- ۱-۴-۵-تکنولوژی اتیل بنزن..... ۱۴۷
- ۲-۴-۵-فرایندها..... ۱۴۸
- ۳-۴-۵-تکنولوژی‌های جایگزین اتیل بنزن..... ۱۵۰
- ۴-۴-۵-نگهداری اتیل بنزن..... ۱۵۱
- ۵-۵-استایرن..... ۱۵۲
- ۱-۵-۵-هیدروژن زدایی اتیل بنزن..... ۱۵۲
- ۲-۵-۵-مسیرهای جایگزین برای تولید استایرن..... ۱۵۶
- ۳-۵-۵-جنبه‌های تجاری..... ۱۵۸
- چکیده فصل..... ۱۵۹

فصل ۶: خانواده هیدروکربن‌های C₄..... ۱۶۱

- ۱-۶-بوتادیان..... ۱۶۵
- ۱-۱-۶-هیدروژن زدایی..... ۱۶۶
- ۲-۱-۶-بازیابی توسط تقطیر استخراجی..... ۱۶۶
- ۳-۱-۶-بازار مصرف نهایی..... ۱۶۸
- ۲-۶-ایزوبوتیلن..... ۱۶۸
- ۱-۲-۶-پلیمریزاسیون..... ۱۶۹
- ۲-۲-۶-استخراج توسط حلال..... ۱۷۰

۱۷۰	۳-۶- جزء شیمیایی ۱- بوتن
۱۷۰	۳-۶- ۱- جداسازی
۱۷۱	۴-۶- جزء شیمیایی ۲- بوتن
۱۷۲	۵-۶- آلکیلایسیون
۱۷۳	۵-۶- ۱- فرایند
۱۷۳	چکیده فصل

فصل ۷: گازستز و کاربردهای آن ۱۷۵

۱۷۶	۱-۷- گاز سنتز
۱۷۷	۱-۱-۷- فرایندهای تولید گاز سنتز
۱۷۹	۱-۱-۷- ۲- جنبه‌های تجاری گاز سنتز
۱۸۰	۲-۷- متانول
۱۸۱	۱-۲-۷- واحد تولید متانول
۱۸۳	۲-۲-۷- جنبه‌های تجاری متانول
۱۸۴	۳-۷- متیل ترشیاری بوتیل اتر
۱۸۵	۱-۳-۷- فرایند
۱۸۷	۲-۳-۷- جنبه‌های تجاری
۱۸۸	۴-۷- فرایند فیشر - تروپش
۱۸۹	۱-۴-۷- فرایند
۱۹۱	چکیده فصل

فصل ۸: الکل‌های صنعتی آلی ۱۹۳

۱۹۶	۱-۸- اتیل الکل
۱۹۷	۱-۱-۸- فرایند
۱۹۹	۲-۱-۸- جنبه‌های تجاری
۲۰۰	۲-۸- ایزوپروپیل الکل
۲۰۰	۱-۲-۸- هیدراسیون (آبدهی) غیرمستقیم
۲۰۲	۲-۲-۸- هیدراسیون مستقیم
۲۰۳	۳-۲-۸- جنبه‌های تجاری
۲۰۴	۳-۸- نرمال بوتیل الکل و ۲- اتیل هگزانول
۲۰۷	۱-۳-۸- فرایند تولید نرمال بوتیل الکل

۲۰۸.....	۸-۳-۲-فرایند تولید ۲-اتیل هگزانول
۲۰۸.....	۸-۳-۳-جنبه‌های تجاری
۲۱۰.....	۸-۴-۴-بوتیل الکل‌های نوع دوم و سوم
۲۱۰.....	۸-۴-۱-الکل ۱-۴-بوتانندیال
۲۱۳.....	۸-۵-الکل‌های سنگین
۲۱۳.....	۸-۵-۱-چربی‌ها و روغن‌ها
۲۱۶.....	۸-۵-۲-فرایند زیگلر
۲۱۹.....	۸-۵-۳-فرایند اکسو
۲۲۱.....	۸-۵-۴-جنبه‌های تجاری
۲۲۴.....	چکیده فصل

فصل ۹: آلدهیدها و کتون‌ها..... ۲۲۵

۲۲۶.....	۹-۱-آلدهیدها
۲۲۷.....	۹-۱-۱-فرمالدهید
۲۳۱.....	۹-۱-۲-استالدهید
۲۳۵.....	۹-۲-کتون‌ها
۲۳۶.....	۹-۲-۱-استون
۲۴۱.....	۹-۲-۲-متیل اتیل کتون
۲۴۳.....	۹-۲-۳-متیل ایزوبوتیل کتون
۲۴۷.....	چکیده فصل

فصل ۱۰: اسیدهای آلی صنعتی..... ۲۴۹

۲۵۱.....	۱۰-۱-استیک اسید
۲۵۲.....	۱۰-۱-۱-تولید استیک اسید
۲۵۳.....	۱۰-۱-۲-واحدهای تولید استیک اسید
۲۵۴.....	۱۰-۱-۳-جنبه‌های تجاری
۲۵۵.....	۱۰-۲-آدیپیک اسید
۲۵۵.....	۱۰-۲-۱-تولید
۲۵۷.....	۱۰-۲-۲-جنبه‌های تجاری
۲۵۷.....	۱۰-۳-فتالیک اسید
۲۵۸.....	۱۰-۳-۱-فتالیک اسید و فتالیک آنیدرید

۲۶۰.....	۱۰-۳-۲-ترفتالیک اسید
۲۶۳.....	۱۰-۳-۳-ایزوفتالیک اسید
۲۶۳.....	چکیده فصل

فصل ۱۱: مشتقات مهم ترکیبات آلی..... ۲۶۵

۲۶۶.....	۱۱-۱-مالئیک آنیدرید
۲۶۷.....	۱۱-۱-۱-فرایند
۲۷۰.....	۱۱-۲-۱-جنبه‌های تجاری
۲۷۱.....	۱۱-۲-۲-آکریلونیتریل، اسید آکریلیک و آکریلات
۲۷۳.....	۱۱-۲-۱-آکریلونیتریل
۲۷۷.....	۱۱-۲-۲-آکریلیک اسید
۲۷۹.....	۱۱-۲-۳-آکریلات‌ها
۲۸۵.....	۱۱-۲-۴-متاکریلات
۲۸۸.....	۱۱-۳-۱-آنیلین و فسژن
۲۸۸.....	۱۱-۳-۱-آنیلین
۲۹۱.....	۱۱-۳-۲-فسژن
۲۹۴.....	۱۱-۴-بیسفنول A
۲۹۷.....	چکیده فصل

فصل ۱۲: پلیمردار شدن..... ۲۹۹

۳۰۰.....	۱۲-۱-۱-ساخت پلیمرها
۳۰۰.....	۱۲-۱-۱-تاریخچه
۳۰۱.....	۱۲-۱-۲-طبقه بندی پلیمرها
۳۰۴.....	۱۲-۱-۳-ساخت پلیمرها
۳۱۰.....	۱۲-۱-۴-روش‌های پلیمریزاسیون
۳۱۲.....	۱۲-۱-۵-خصوصیات پلیمرها
۳۱۴.....	۱۲-۲-۱-گرمانرم‌ها
۳۱۵.....	۱۲-۲-۱-پلی اتیلن
۳۲۴.....	۱۲-۲-۲-پلی پروپیلن
۳۲۸.....	۱۲-۲-۳-پلی وینیل کلرید
۳۳۱.....	۱۲-۲-۴-پلی استایرن

۳۳۴.....	۱۲-۲-۵-فوم
۳۳۶.....	۱۲-۲-۶-انتخاب پلاستیک‌ها
۳۳۷.....	چکیده فصل

فصل ۱۳: پلیمرهای صنعتی ۳۳۹

۳۴۰.....	۱۳-۱-۱- TDI و MDI
۳۴۰.....	۱۳-۱-۱- متیلن دیفنیل دیایزوسیانات - Methylene Diphenyl Diisocyanate
۳۴۳.....	۱۳-۱-۲- تولوئن دیایزوسیانات - Toluene Diisocyanate
۳۴۷.....	۱۳-۲-۱- پلی اورتان
۳۴۷.....	۱۳-۲-۱- شیمی پلی اورتان
۳۵۰.....	۱۳-۲-۲- فرایند
۳۵۲.....	۱۳-۲-۳- جنبه‌های تجاری
۳۵۴.....	۱۳-۳-۱- اپوکسی رزین‌ها و پلی کربنات‌ها
۳۵۴.....	۱۳-۳-۱- اپوکسی رزین‌ها
۳۵۸.....	۱۳-۳-۲- پلی کربنات‌ها
۳۶۱.....	۱۳-۴-۱- فیبرها و سایر رزین‌ها
۳۶۱.....	۱۳-۴-۱- رزین‌ها
۳۶۷.....	۱۳-۴-۲- فیبر
۳۷۱.....	چکیده فصل

پیوست: محاسبه نرخ تبدیل و بازده ۳۷۳

۳۷۴.....	اندازه‌گیری
----------	-------------