

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

طراحی راکتورهای شیمیایی

مؤلف:

نوید دانشفر

مسیر نوین

|                     |                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | دانشگر، نوید، ۱۳۶۱ -                                       |
| عنوان و نام پدیدآور | طراحی راکتورهای شیمیایی / مؤلف نوید دانشگر                 |
| مشخصات نشر          | تهران: مسیر نوین، ۱۳۹۵.                                    |
| مشخصات ظاهری        | ۴۷۵ ص: مصور.                                               |
| شابک                | 978-600-96908-0-0                                          |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیبا.                                                      |
| یادداشت             | کتابنامه.                                                  |
| موضوع               | دانشگاه ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون ها               |
| موضوع               | Universities and colleges-- Iran-- Examinations            |
| موضوع               | راکتورهای شیمیایی -- آزمون ها و تمرین ها (عالی)            |
| موضوع               | Chemical reactors-- Examinations, Questions, etc. (Higher) |
| موضوع               | راکتورهای شیمیایی -- راهنمای آموزشی (عالی)                 |
| موضوع               | Chemical reactors-- Study and teaching (Higher)            |
| موضوع               | آزمون دوره های تحصیلات تکمیلی -- ایران                     |
| موضوع               | Iran-- Graduate Record Examination                         |
| رده بندی کنگره      | LB۲۳۵۳                                                     |
| رده بندی دیویی      | ۱۶۶۴                                                       |
| شماره کتابشناسی ملی | ۴۴۶۱                                                       |

نام کتاب: طراحی راکتورهای شیمیایی

مؤلف: نوید دانشگر

ویراستار: نوید دانشگر

ناشر: مسیر نوین

ناظر چاپ: آقای ثوری

گرافیکست: فهیمه سماوربان خراسانی - رسول الماسیان

طراح جلد: فهیمه سماوربان خراسانی

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۵

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۴۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۹۰۸-۰۰۰

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، تهیه فایل های pdf، لوح فشرده و نیز کپی برداری از مطالب و حل مسائل این کتاب، بدون اجازه کتبی مؤلف پیکرد قانونی دارد.

مرکز بخش: ۰۹۱۲۴۳۵۷۲۵۲

پست الکترونیک: masirenovin@gmail.com

## فهرست مطالب

|    |                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۶  | مقدمه مؤلف                                                                        |
| ۱۱ | فصل اول: سینتیک شیمیایی و معادلات سرعت واکنش                                      |
| ۱۳ | ۱-۱- واکنش شیمیایی                                                                |
| ۱۳ | ۲-۱- سینتیک شیمیایی                                                               |
| ۱۵ | ۳-۱- عوامل مؤثر بر سرعت واکنش                                                     |
| ۱۶ | ۴-۱- تقسیم بندی واکنشهای شیمیایی                                                  |
| ۱۶ | ۱-۴-۱- تقسیم بندی واکنشهای شیمیایی با توجه به فازهای موجود در واکنش               |
| ۱۸ | ۲-۴-۱- تقسیم بندی واکنش از نظر استوکیومتری واکنش                                  |
| ۲۱ | ۳-۴-۱- تقسیم بندی واکنش از نظر نوع مکانیسم واکنش                                  |
| ۲۳ | ۵-۱- مولکولاریته (Molecularity)                                                   |
| ۲۳ | ۶-۱- درجهی واکنش                                                                  |
| ۲۵ | ۷-۱- ثابت سرعت واکنش (k)                                                          |
| ۲۸ | ۸-۱- واکنشهای غیرابتدایی                                                          |
| ۳۱ | ۹-۱- وابستگی سرعت واکنش به دما                                                    |
| ۳۱ | ۱۰-۱- تئوریهای وابستگی ثابت سرعت به دما                                           |
| ۳۱ | ۱-۱۰-۱- قانون آرنیوس                                                              |
| ۳۲ | ۲-۱۰-۱- نظریه ی برخوردی                                                           |
| ۳۳ | ۳-۱۰-۱- تئوری حالت واسطه (گذرا)                                                   |
| ۳۶ | ۱۱-۱- انرژی فعالیت                                                                |
| ۳۸ | ۱۲-۱- تعادل واکنشهای شیمیایی                                                      |
| ۳۹ | ۱-۱۲-۱- مدل‌های مختلف روابط ثابت تعادل برای واکنشهای ابتدایی در فازهای مایع و گاز |
| ۴۶ | سؤالات آزمون سراسری                                                               |
| ۵۴ | سؤالات آزمون دانشگاه آزاد                                                         |
| ۵۶ | جواب سؤالات سراسری و آزاد                                                         |
| ۶۹ | فصل دوم: تفسیر نتایج حاصل از راکتورهای ناپیوسته                                   |
| ۷۱ | ۱-۲- مقدمه                                                                        |

- ۲-۲- روشهای بررسی سرعت واکنش ..... ۷۱
- ۲-۲-۱- روش انتگرال ..... ۷۱
- ۲-۲-۲- روش دیفرانسیل ..... ۷۱
- ۲-۳- مزایا و معایب روشهای انتگرال و دیفرانسیل ..... ۷۲
- ۲-۴- بررسی نتایج اندازه‌گیری فشار کلی در یک سیستم حجم ثابت ..... ۷۲
- ۲-۵- روش انتگرال برای تجزیه و تحلیل واکنشها برای راکتورهای ناپیوسته ..... ۷۶
- ۲-۵-۱- واکنشهای درجه اول ..... ۷۶
- ۲-۵-۲- واکنشهای دو مولکولی درجه دوم و برگشت‌پذیر ..... ۷۷
- ۲-۵-۳- واکنشهای درجه صفر ..... ۸۳
- ۲-۶- معادلات تجربی سرعت واکنشهای درجه  $n$  ام ..... ۸۴
- ۲-۷- زمان نیمه عمر ..... ۸۴
- ۲-۸- واکنشهای برگشت‌ناپذیر موازی (رقابتی) ..... ۸۶
- ۲-۹- واکنشهای کاتالیزوری هم‌جنس ..... ۸۹
- ۲-۱۰- واکنشهای اتوکاتالیزوری ..... ۹۱
- ۲-۱۱- واکنشهای پشت سر هم برگشت‌ناپذیر (واکنشهای سری) ..... ۹۴
- ۲-۱۲- واکنشهای درجه اول برگشت‌پذیر ..... ۹۶
- ۲-۱۳- واکنشهای با درجات انتقالی ..... ۹۹
- ۲-۱۴- واکنشهای تخمیری ..... ۱۰۱
- ۲-۱۴-۱- مشخصات واکنشهای آنزیمی ..... ۱۰۲
- ۲-۱۵- راکتورهای ناپیوسته با حجم متغیر ..... ۱۰۳
- ۲-۱۵-۱- محاسبه‌ی غلظت ماده‌ی واکنشگر بر حسب ..... ۱۰۵
- ۲-۱۵-۲- واکنشهای درجه صفر با حجم متغیر ..... ۱۰۵
- ۲-۱۵-۳- واکنشهای درجه یک با حجم متغیر ..... ۱۰۶
- ۲-۱۵-۴- واکنشهای درجه ۲ با حجم متغیر ..... ۱۰۷
- نمونه سؤالات دانشگاه سراسری ..... ۱۰۹
- نمونه سؤالات دانشگاه آزاد ..... ۱۲۷
- پاسخ نمونه سؤالات سراسری ..... ۱۳۴
- پاسخ نمونه سؤالات دانشگاه آزاد ..... ۱۶۳
- فصل سوم: راکتورهای منفرد کامل و مقدمات طراحی راکتور ..... ۱۷۷
- ۳-۱- مقدمه ..... ۱۷۹
- ۳-۲- برقراری موازنه‌ی جرمی حول راکتورها ..... ۱۸۳
- ۳-۳- معادله‌ی عملکرد راکتورهای ناپیوسته - راکتور کامل Batch (ناپیوسته) ..... ۱۸۳
- ۳-۳-۱- حالات خاص واکنش برای راکتورهای ناپیوسته ..... ۱۸۶

|     |                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۱۸۶ | ۴-۳- زمان پرشدن و سرعت پرشدن.....                                           |
| ۱۸۷ | ۴-۳-۱- زمان اقامت متوسط ( $\bar{t}$ ).....                                  |
| ۱۸۷ | ۳-۵- معادله‌ی عملکرد راکتورهای مخلوط‌کننده با حالت پایدار.....              |
| ۱۹۱ | ۳-۵-۱- حالات خاص واکنش برای راکتورهای مخلوط‌کننده.....                      |
| ۱۹۴ | ۳-۶- معادله‌ی عملکرد راکتورهای لوله‌ای (پلاگ) در حالت پایدار.....           |
| ۱۹۶ | ۳-۶-۱- حالات برای راکتورهای لوله‌ای.....                                    |
| ۱۹۸ | ۳-۷- راکتور دوره‌ای (Recycle).....                                          |
| ۲۰۲ | ۳-۷-۱- نسبت جریان برگشتی بهینه.....                                         |
| ۲۰۴ | نمونه سؤالاد دانشگاه سراسری.....                                            |
| ۲۲۴ | نمونه سؤالاد دانشگاه آزاد.....                                              |
| ۲۳۲ | پاسخ نمونه سؤالات دانشگاه سراسری.....                                       |
| ۲۶۱ | پاسخ نمونه سؤالات دانشگاه آزاد.....                                         |
| ۲۷۱ | فصل چهارم: طراحی راکتور برای واکنشهای منفرد.....                            |
| ۲۷۳ | ۴-۱- مقدمه.....                                                             |
| ۲۷۵ | ۴-۲- سیستمهای متشکل از چند راکتور.....                                      |
| ۲۷۵ | ۴-۲-۱- اتصال راکتورهای لوله‌ای.....                                         |
| ۲۷۶ | ۴-۲-۲- اتصال راکتورهای Mix.....                                             |
| ۲۸۰ | ۴-۳-۲- راکتورهای Mix با حجمهای متفاوت در اتصال سری.....                     |
| ۲۸۲ | ۴-۳- انواع متفاوت راکتورها با اتصال پشت سرهم.....                           |
| ۲۸۴ | نمونه سؤالات دانشگاه سراسری و آزاد.....                                     |
| ۲۹۶ | نمونه سؤالات دانشگاه آزاد.....                                              |
| ۳۰۰ | پاسخ نمونه سؤالات سراسری.....                                               |
| ۳۱۷ | نمونه سؤالات دانشگاه آزاد.....                                              |
| ۳۲۳ | فصل پنجم: طراحی راکتور برای واکنشهای چندگانه.....                           |
| ۳۲۵ | ۵-۱- مقدمه.....                                                             |
| ۳۲۵ | ۵-۲- واکنشهای موازی.....                                                    |
| ۳۲۷ | ۵-۳- مطالعه‌ی کمی توزیع محصولات و اندازه‌ی راکتور.....                      |
| ۳۳۱ | ۵-۴- واکنشهای سری.....                                                      |
| ۳۳۱ | ۵-۴-۱- واکنشهای پشت سر هم درجه اول.....                                     |
| ۳۳۳ | ۵-۵- معادله‌ی عملکرد راکتورهای پلاگ در واکنشهای چندگانه.....                |
| ۳۳۴ | ۵-۶- معادلات عملکرد راکتور mixed (مخلوط‌کننده) برای واکنشهای چندگانه.....   |
| ۳۳۹ | ۵-۷- واکنشهای سری- موازی.....                                               |
| ۳۴۰ | ۵-۸- معادلات عملکرد راکتورهای ناپیوسته و پلاگ برای واکنشهای سری- موازی..... |

|     |                                                                    |
|-----|--------------------------------------------------------------------|
| ۳۴۱ | ۹-۵- معادلات عملکرد راکتورهای مخلوط‌کننده برای واکنشهای سری- موازی |
| ۳۴۳ | ۵-۱۰- واکنشهای تخمیری- میکروبی                                     |
| ۳۴۴ | ۵-۱۱- واکنشهای برگشت‌پذیر موازی و یا سری                           |
| ۳۴۶ | نمونه سؤالات دانشگاه سراسری و آزاد                                 |
| ۳۷۰ | نمونه سؤالات دانشگاه آزاد                                          |
| ۳۸۴ | پاسخ نمونه سؤالات سراسری                                           |
| ۴۱۱ | نمونه سؤالات دانشگاه آزاد                                          |

|     |                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------|
| ۴۲۵ | فصل ششم: رات دما و فشار                                |
| ۴۲۷ | ۶-۱- مقدمه                                             |
| ۴۲۷ | ۶-۲- واکنشهای منفرد                                    |
| ۴۲۷ | ۶-۲-۱- گرمای کنش در دیدگاه ترمودینامیکی                |
| ۴۲۸ | ۶-۲-۲- ثابت تعادل در دینامیکی                          |
| ۴۲۹ | ۶-۳- واکنشهای چندگانه                                  |
| ۴۲۹ | ۶-۳-۱- اثر دما در واکنشهای موازی و متوالی سری          |
| ۴۳۱ | ۶-۴- دما و اندازه‌ی راکتور (یا $T$ ) برای حداکثر تولید |
| ۴۳۵ | نمونه سؤالات دانشگاه سراسری و آزاد                     |
| ۴۳۹ | نمونه سؤالات دانشگاه آزاد                              |
| ۴۴۰ | پاسخ نمونه سؤالات دانشگاه سراسری و آزاد                |
| ۴۴۲ | نمونه سؤالات دانشگاه آزاد                              |

|     |                                               |
|-----|-----------------------------------------------|
| ۴۴۳ | پیوست: سؤالات سال‌های اخیر                    |
| ۴۴۵ | سؤالات مهندسی شیمی سال ۹۴                     |
| ۴۴۷ | پاسخ سؤالات مهندسی شیمی سال ۹۴                |
| ۴۵۱ | سؤالات بیوتکنولوژی - ۹۴                       |
| ۴۵۴ | جواب بیوتکنولوژی - ۹۴                         |
| ۴۵۸ | سؤالات آزمون دکتری - سال ۹۴                   |
| ۴۵۹ | پاسخ سؤالات آزمون دکتری - سال ۹۴              |
| ۴۶۱ | سؤالات راکتور مهندسی شیمی سال ۹۵              |
| ۴۶۴ | پاسخ طرح راکتورهای شیمیایی                    |
| ۴۶۸ | سؤالات سینتیک و طراحی راکتور - بیوتکنولوژی ۹۵ |
| ۴۷۱ | پاسخ‌ها                                       |

## فصل دوم

نظر به فراگیر شدن علوم در حوزه‌های مختلف و افزایش شمار شرکت‌کنندگان در سطوح تحصیلات تکمیلی به خصوص در رشته‌های مهندسی شیمی و بیوتکنولوژی و با توجه به اینکه درس طراحی راکتور بعنوان یکی از دروس اصلی مهندسی شیمی و بیوتکنولوژی بحساب می‌آید لذا بر آن شدم که در عرصه‌ی آزمون تحصیلات تکمیلی وارد شده و خلاءهایی که در زمینه‌ی تالیف این کتاب بوده را پر کنم. بنابراین تا حد امکان سعی شده است مفاهیم اولیه به طور مفصل به صورت قابل فهم توضیح داده شده و روابط مربوط به طراحی راکتور با بررسیهای بسیار زیاد مدل شده و این توانایی را به خوانندگان عزیز القاء کرده که به کمک روابط ریاضی بکار رفته، قادر به تحلیل مسائل و سئوالات مطرح شده در آزمون باشند. همانطور که از نام انتشارات پیداست، این مجموعه تلاش کرده است که در این کتاب، مسیری نوین را در جهت تربیت کامل این درس باز کند و با رویکرد آموزش محوری و تحلیل کامل مسائل، در این مسیر گام نهد. هماگونه که در فصول کتاب مشاهده خواهید کرد، مضامین و محتوای کتاب شامل تشریح کامل درس بوده به گونه‌ای که از ابتدا به توضیح مفاهیم اولیه پرداخته و آموختن مفاهیم در هر فصل، پیش زمینه‌ای است جهت یادگیری مطالب آتی. همچنین در این مجموعه سعی بر آن بوده که پاسخهای سئوالات و روشهای حل مسائل مطرح شده و این موضوع، وجه تمایزی را در مقایسه با کتب دیگر ایجاد کرده و دانشجو را توانمندسازی سازد که با روشهای توضیح داده شده، از سد مشکلات حین تحلیل مسائل عبور کند. از دیگر مزایای این کتاب، می‌توان به تشریحی بودن پاسخ‌ها تستها با متدهای ساده و قابل درک اشاره نمود. امید است که با ارائه‌ی این مجموعه، دریچه‌ی جدیدی در حوزه‌ی کارشناسی ارشد باز شده و داوطلبین از آن بهره‌ی لازم را بگیرند. همچنین از خوانندگان عزیز درخواست می‌شود که با ارائه‌ی نظرات و پیشنهادات خود، جهت ارتقاء کیفیت آموزشی با آدرس ایمیل: [Masirenovin@gmail.com](mailto:Masirenovin@gmail.com) یا [Daneshfar.n@gmail.com](mailto:Daneshfar.n@gmail.com) ما را یاری فرمایند.

نویسنده: دانش‌فر

پاییز ۱۳۹۵