

بسم الله الرحمن الرحيم

# اصول اولیه فرایندهای شیمیایی موازنه مواد و انرژی

ترجمه:

دکتر گیتی میرمحمدصادقی

دانشیار دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

پاییز ۱۳۹۳

سرشناسه : میر محمد صادقی، گیتی، ۱۳۴۰ -  
 عنوان و نام پنداور : اصول اولیه فرایند شیمیایی موازنه و مواد انرژی / تالیف گیتی  
 میر محمدصادقی.  
 مشخصات نشر : تهران : دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز نشر، ۱۳۹۳.  
 مشخصات ظاهری : ۴۲۲ ص.  
 شابک : 978-964-463-569-4  
 وضعیت فهرست : فیزی  
 نویسی :  
 موضوع : صنایع شیمیایی  
 موضوع : صنایع شیمیایی -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)  
 موضوع : دانشگاه‌ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون‌ها  
 شناسه افزود : دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر  
 رده بندی کنفره : ۶۱۳۹۳-۶۱۴۵/۹  
 رده بندی دیویی : ۶۶۰  
 شماره کتایشناسی ملی : ۳۵۸۵۶۵۸



انتشارات : دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
 ایلی تکنیک تهران

|                          |                                                   |
|--------------------------|---------------------------------------------------|
| عنوان کتاب :             | اصول اولیه فرایندهای شیمیایی موازنه مواد و انرژی  |
| ترجمه :                  | دکتر گیتی میر محمد صادقی                          |
| ناشر :                   | انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) |
| لیسوگرافی، چاپ و صحافی : | انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) |
| چاپ اول :                | پاییز ۱۳۹۳                                        |
| تیراژ :                  | ۱۰۰۰ نسخه                                         |
| قیمت :                   | ۱۹۵۰۰ تومان                                       |
| شابک :                   | ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۶۹-۴                                 |
|                          | تلفن مرکز پخش : ۶۶۴۹۸۸۶۸                          |
|                          | SBN : 978-964-463-569-4                           |

آدرس : خیابان ولیعصر روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است

# فهرست مطالب

عنوان

صفحه

|    |                                                  |       |
|----|--------------------------------------------------|-------|
| I  | جدول ثابت گازها                                  | ..... |
| II | مقدمه                                            | ..... |
| ۱  | فصل اول: مهندس شیمی در زندگی شغلی خود چه می کند؟ | ..... |
| ۵  | فصل دوم: مقدمه ای بر محاسبات مهندسی              | ..... |
| ۵  | ۱-۲ اهداف آموزشی                                 | ..... |
| ۷  | ۲-۲ واحدها و ابعاد                               | ..... |
| ۸  | ۳-۲ تبدیل واحدها                                 | ..... |
| ۱۰ | ۴-۲ سیستم های اندازه گیری                        | ..... |
| ۱۲ | ۵-۲ نیرو و وزن                                   | ..... |
| ۱۴ | ۶-۲ محاسبات عددی و تخمین                         | ..... |
| ۱۴ | ۶-۲ الف نماد علمی، محاسبات عددی و تخمین          | ..... |
| ۱۷ | ۶-۲ ب تایید اعتبار نتایج                         | ..... |
| ۱۸ | ۶-۲ ج تخمین زدن مقادیر اندازه گیری شده           | ..... |
| ۲۰ | ۶-۲ پ انحراف نمونه داده های پراکنده              | ..... |
| ۲۴ | ۷-۲ همگنی ابعادی و کمیت های بدون بعد             | ..... |
| ۲۶ | ۸-۲ ارائه داده های فرایند و تجزیه تحلیل آنها     | ..... |
| ۲۸ | ۸-۲ الف درون یابی دو نقطه ای                     | ..... |
| ۲۹ | ۸-۲ ب گذراندن یک خط مستقیم                       | ..... |
| ۳۰ | ۸-۲ ج انطباق داده های غیر خطی                    | ..... |
| ۳۴ | ۸-۲ د دستگاه مختصات لگاریتمی                     | ..... |

|    |                                            |
|----|--------------------------------------------|
| ۳۷ | ۲-۸- پ نسبت دادن یک خط به داده های پراکنده |
| ۳۸ | ۲-۹ خلاصه                                  |
| ۳۹ | ۲-۱۰ مسائل                                 |

|    |                                                |
|----|------------------------------------------------|
| ۵۳ | فصل سوم: فرایندها و متغیرهای موجود در آنها     |
| ۵۴ | ۳-۱ اهداف آموزشی                               |
| ۵۴ | ۳-۲ جرم و حجم                                  |
| ۵۷ | ۳-۳ دبی جریان                                  |
| ۵۷ | ۳-۳- الف دبی جرمی و حجمی جریان                 |
| ۵۸ | ۳-۳- ب اندازه گیری دبی جریان                   |
| ۶۰ | ۳-۴ ترکیب شیمیایی                              |
| ۶۰ | ۳-۴- الف وزن مولکولی و مول                     |
| ۶۲ | ۳-۴- ب جزء جرمی و جزء مولی و وزن مولکولی متوسط |
| ۶۵ | ۳-۴- ج غلظت                                    |
| ۶۸ | ۳-۵ فشار                                       |
| ۶۸ | ۳-۵- الف فشار سیال و ارتفاع هیدرواستاتیک       |
| ۷۱ | ۳-۵- ب فشار اتمسفر - فشار مطلق و فشار گیج      |
| ۷۲ | ۳-۵- ج اندازه گیری فشار سیال                   |
| ۷۶ | ۳-۶ دما                                        |
| ۸۰ | ۳-۷ خلاصه                                      |
| ۸۲ | ۳-۸ مسائل                                      |

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| ۱۰۱ | فصل چهارم: مبانی موازنه مواد |
| ۱۰۱ | ۴-۱- اهداف آموزشی فصل        |
| ۱۰۲ | ۴-۱- دسته بندی فرایندها      |
| ۱۰۴ | ۴-۲ موازنه ها                |

- ۲-۴- الف معادله موازنه کلی ..... ۱۰۴
- ۲-۴- ب موازنه فرایند پیوسته حالت پایا ..... ۱۰۵
- ۲-۴- پ موازنه روی فرایندهای بیج ..... ۱۰۷
- ۲-۴- ت موازنه روی فرایندهای نیمه بیج و پیوسته ..... ۱۰۸
- ۳-۴- محاسبات موازنه مواد ..... ۱۱۰
- ۳-۴- الف نمودار جریان ..... ۱۱۰
- ۳-۴- ب رسم نمودار و پایه محاسبات ..... ۱۱۵
- ۳-۴- پ موازنه یک فرایند ..... ۱۱۸
- ۳-۴- ت آنالیز درجه آزادی ..... ۱۲۲
- ۳-۴- ج روش کلی برای محاسبات موازنه فرایندهای تک واحدی ..... ۱۲۵
- ۴-۴- موازنه در فرایندهای چند واحدی ..... ۱۳۰
- ۵-۴- جریان های برگشتی و کنارگذر ..... ۱۳۷
- ۶-۴- استوکیومتری واکنش شیمیایی ..... ۱۴۶
- ۶-۴- الف استوکیومتری ..... ۱۴۶
- ۶-۴- ب واکنش دهنده های محدود کننده و اضافی، کسر تبدیل و پیشرفت واکنش ..... ۱۴۸
- ۶-۴- پ تعادل شیمیایی ..... ۱۵۴
- ۶-۴- ت چند واکنشی ها، بازده و گزینش پذیری ..... ۱۵۶
- ۷-۴- موازنه فرایندهای واکنشی ..... ۱۵۹
- ۷-۴- الف موازنه روی گونه های مولکولی و اتمی ..... ۱۵۹
- ۷-۴- ب معادلات مستقل مولکول های مستقل و واکنش های مستقل ..... ۱۶۱
- ۷-۴- پ موازنه مولکولی ..... ۱۶۳
- ۷-۴- ت موازنه گونه های (اتمی) ..... ۱۶۴
- ۷-۴- ج پیشرفت واکنش ..... ۱۶۵
- ۷-۴- د جریان پرژ ..... ۱۷۵
- ۸-۴- واکنش های احتراق ..... ۱۸۱
- ۸-۴- الف شیمی احتراق ..... ۱۸۱

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| ۱۸۴ | ۸-۴- ب هوای تنوری و اضافی                |
| ۱۸۶ | ۸-۴- پ موازنه مواد در راکتورهای احتراق   |
| ۱۹۱ | ۹-۴- موارد مهم دیگر در فرایندهای شیمیایی |
| ۱۹۵ | ۱۰-۴ خلاصه                               |
| ۱۹۹ | مسائل                                    |

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۲۰۹ | فصل پنجم: سیستم های تک فازي                       |
| ۲۱۲ | ۱-۵ چگالی جامدات و مایعات                         |
| ۲۱۵ | ۲-۵ گازهای ایده آل                                |
| ۲۱۵ | ۲-۵- الف معادله حالت گاز ایده آل                  |
| ۲۱۸ | ۲-۵- ب دما و فشار استاندارد                       |
| ۲۲۱ | ۲-۵- پ مخلوط گازهای ایده آل                       |
| ۲۲۵ | ۳-۵- معادلات حالت برای گازهای غیر ایده آل         |
| ۲۲۵ | ۳-۵- الف دما و فشار بحرانی                        |
| ۲۲۷ | ۳-۵- ب معادله های حالت ویریال                     |
| ۲۳۰ | ۵- پ معادله حالت درجه سوم                         |
| ۲۳۴ | ۴-۵ فاکتور تراکم پذیری معادله حالت                |
| ۲۳۵ | ۴-۵- الف جداول فاکتورهای تراکم پذیری              |
| ۲۳۶ | ۴-۵- ب قانون معادلات حالت و نمودارهای تراکم پذیری |
| ۲۴۱ | ۴-۵- پ مخلوط گازهای غیر ایده آل                   |
| ۲۴۳ | خلاصه                                             |
| ۲۴۵ | مسائل                                             |

|     |                                     |
|-----|-------------------------------------|
| ۲۷۱ | فصل ششم: سیستم های چند فازي         |
| ۲۷۴ | ۱-۶ اهداف آموزشی فصل                |
| ۲۷۶ | ۲-۶ تعادل فازي ترکیب، ترکیب تک جزئی |

|     |                                                      |
|-----|------------------------------------------------------|
| ۲۷۶ | ۲-۶ الف دیاگرام فازي                                 |
| ۲۸۰ | ۲-۶ ب تخمین فشار بخار                                |
| ۲۸۶ | ۳-۶ قانون فازي گیبس                                  |
| ۲۸۸ | ۴-۶ سیستم های گاز-مایع: یک جزء قابل تراکم (کندانس)   |
| ۲۹۷ | ۵-۶ سیستم های گاز مایع چند جزئی                      |
| ۲۹۷ | ۵-۶ الف داده های تعادل بخار مایع                     |
| ۲۹۹ | ۵-۶ ب قانون رانول و هنری                             |
| ۳۰۲ | ۵-۶ ب محاسبات تعادل بخار مایع برای محلول های ایده آل |
| ۳۰۶ | ۵ ۶ ت نمایش گرافیکی تعادل بخار مایع                  |
| ۳۰۹ | ۶-۶ محلول های جامد در مایع                           |
| ۳۰۹ | ۶-۶ الف قابلیت و اشباع                               |
| ۳۱۲ | ۶-۶ ب قابلیت انحلال جامدات و نمکهای هیدراته          |
| ۳۱۵ | ۶-۶ ب خواص کالیگاتیو محلول                           |
| ۳۱۹ | ۷-۶ تعادل بین دو فاز مایع                            |
| ۳۱۹ | ۷-۶ الف مخلوط ها و توزیع ضرایب                       |
| ۳۲۱ | ۷-۶ ب دیاگرام های فازي برای سیستم های سه سازنده ای   |
| ۳۲۳ | ۸ ۶ جذب سطحی بر روی جامدات                           |
| ۳۲۷ | ۸-۶ خلاصه                                            |
| ۳۳۱ | مسائل                                                |
| ۳۷۳ | مراجع                                                |
| ۳۷۵ | نمایه                                                |
| ۳۸۱ | پیوست                                                |

## مقدمه نویسنده

از دیرباز، همواره یک درس مقدماتی در مورد استوکیومتری چندین نقش مهم در سیلابس مهندسی شیمی داشته است که دانشجویان آماده می کنند تا بتواند موازنه های ماده و انرژی را در فرایندهای شیمیایی فرموله کند و آنها را حل کند و در واقع پایه ای برای دروس دیگر مانند ترمودینامیک ، عملیات واحد ، پدیده های انتقال ، سینتیک و طراحی راکتور و همچنین کنترل و دینامیک فرایند می باشد.

در این درس به مهندس آینده آموخته می شود که برای حل مسایل مربوط به فرایند ، ابتدا فرایند را به اجزایش تقسیم بندی کند و براساس روابط بین متغیرهای معلوم و مجهول و بااستفاده از اطلاعات لازم برای حل با استفاده از ترکیب آزمایشها ، ... و به کارگیری قوانین طبیعی ، و در کنار هم گذاشتن اجزاء در کنار هم ، مسئله را حل کند.

در این کتاب سعی شده است تمامی عوامل مذکور برآورده شوند. با توجه به اینکه این درس اولین درس تخصصی دانشجویان مهندسی شیمی و رشته های وابسته است ، تلاش کرده ایم که یک معرفی آگاهانه و واقعی برای آنها ترسیم نماییم. در فصل اول زمینه های مختلفی که فارغ التحصیلان مهندسی شیمی در آنها مشغول به کارند، ارائه شده است. از شیمی صنعتی و مهندسی نفت قدیمی گرفته تا مهندسی مواد ، علوم و تکنولوژی محیط زیست ، مهندسی بیوشیمی ، پزشکی و ژنتیک ، همچنین افرادی که در زمینه های داروسازی، حقوق و فناوری اطلاعات شاغل هستند، تنوع مشاغل در رشته های مهندسی شیمی است.

در این کتاب آنالیز ابتدایی فرایند ، تعاریف ، اندازه گیری و محاسبات مربوط به متغیرهای فرایند، قوانین بقا و روابط ترمودینامیکی که در فرایندها نقش اساسی دارند، به طور سازمان یافته ای طرح شده است.

همچنین خواص فیزیکی مواد فرایند که به منظور طراحی یک فرایند جدید بایستی تعیین و ماده موجود بهینه شود. در این کتاب سعی شده است راجع به هر یک از مباحث که در فرایند شیمیایی طرح می شوند، توضیحی ارائه گردد.



برای مثال اگر در متن مفاهیم شیمی فیزیک به فشار بخار ، حلالیت ، ظرفیت گرمایی اشاره شود ، آنها معرفی می شوند. چرا که مقادیر آنها برای محاسبه متغیرهای فرایندی یا برای محاسبات موازنه جرم و انرژی روی فرایند لازم است. وقتی راجع به تکنیکهای کامپیوتری مثل انطباق منحنی ، روشهای ریشه یابی و انتگرال عددی صحبت می شود ، هنگام آنالیز فرایند ، هرآنچه لازم است در متن ارائه شده است.

از مزایای این کتاب ، ارائه مجموعه ای از مطالعات موردی در فرایندهای صنعتی است که نقش محاسبات یک فرایند تک واحدی در آنالیز فرایندهای چند واحدی را نشان می دهد.

www.ketab.ir

## مقدمه مترجم

مطالب این کتاب برای دانشجویان و پژوهشگران در رشته های مهندسی شیمی، مهندسی پلیمر و رنگ، مهندسی معدن و متالورژی و مهندسی پزشکی قابل استفاده است. در این کتاب مبانی و اصول محاسبات پایه ای مورد نیاز در موازنه مواد و انرژی در فرایندهای شیمیایی طرح شده است و مشتمل بر مطالب یکی از مهمترین دروس مهندسی شیمی و پایه دروس دیگر مانند ترمودینامیک، عملیات واحد، پدیده های انتقال و سینتیک و طراحی راکتور است.

بررسی های انجام شده نشان می دهد در حال حاضر این کتاب در اغلب دانشگاه های معتبر دنیا، در رشته های مهندسی شیمی و زیرمجموعه های آن تدریس می شود. در این کتاب مفاهیم پایه ای مهندسی شیمی از طریق روشی منحصر به فرد و با طرح سؤالات ویژه ای که قوه خلاقیت را پیرامون موضوع تقویت می نماید، به دانشجویان آموخته می شود. نسخه حاضر براساس چاپ سوم کتاب پرمخاطب Elementary Principles of Chemical Processes تألیف پروفیسور ریچارد ام. فلدر و دکتر رونالد روسو مدرسین دانشگاههای کارولینای شمالی و مؤسسه تکنولوژی جورجیا، ترجمه و تدوین شده است.

مترجم کتاب در حین ترجمه و ویراستاری کتاب، از تجارب خود طی تدریس واحد موازنه مواد و انرژی در خلال سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ استفاده نموده است.

گیتی میرمحمدصادقی - دانشیار

دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اسفند ۱۳۹۲