

اصول بنیانی و محاسباتی در

مهندسی شیمی

تألیف

دیوید هیمل بلاو - جیمز ریگز

ترجمه

دکتر محمد مهدی منتظر رحمتی

استاد و عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تهران



شماره مسلسل ۹۵۱۱

شماره انتشار ۳۹۴۴

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: هیمبل بلاو، دیوید ماتنر، ۱۹۲۳-م. Himmelblau, David Mautner
عنوان و نام پدیدآور	: اصول بنیانی و محاسباتی در مهندسی شیمی / تألیف دیوید هیمبل بلاو، جیمز ریگز؛ ترجمه محمدمهدی منتظر رحمتی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۱۰۹۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۹۴۴.
شابک	: 978-964-03-7192-3
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering, 8th ed 2012.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: مهندسی شیمی -- جدول‌ها و نمودارها
شناسه افزوده	: ریگز، جیمز B Riggs, James B
شناسه افزوده	: منتظر رحمتی، محمدمهدی، ۱۳۴۰-۱۳۹۵، مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۷ الف۹ه/۱۵۱ TP
رده‌بندی دیویی	: ۶۶۰/۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۱۸۷۲۰۶

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

عنوان: اصول بنیانی و محاسباتی در مهندسی شیمی

تألیف: دیوید هیمبل بلاو- جیمز ریگز

ترجمه: دکتر محمدمهدی منتظر رحمتی

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

ISBN:978-964-03-7192-3



«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجم است»

بها: ۱۰۰۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

فهرست

۱	بخش اول مقدمه
۳	۱ مهندسی شیمی و زیست‌مهندسی چیست؟
۴	۱.۱ مقدمه
۴	۲.۱ تاریخچه‌ای کوتاه از مهندسی شیمی
۸	۳.۱ مهندسان شیمی و زیست‌مهندسان کجا کار می‌کنند؟
۱۰	۴.۱ دست‌آوردهای آتی مهندسان شیمی و زیست‌مهندسان
۱۳	۵.۱ نتیجه‌گیری
۱۷	۲ مفاهیم مقدماتی
۱۹	۱.۲ سامانه‌های واحدها (یکها)
۲۶	۲.۲ تبدیل واحدها
۳۶	۳.۲ سازگاری بُعدی
۴۲	۴.۲ رقم‌های معنادار
۵۰	۵.۲ راستی‌آزمایی نتایج
۵۲	۶.۲ مول و وزن (جرم) مولکولی
۶۰	۷.۲ انتخاب مبنا

۶۶	چگالی و چگالی ویژه	۸.۲
۷۵	غلظت	۹.۲
۸۰	دما	۱۰.۲
۸۷	فشار و ارتفاع مایع ساکن	۱۱.۲
۱۰۳	سرعت جریان	۱۲.۲

بخش دوم موازنه‌های ماده ۱۳۳

۱۳۵	موازنه‌های ماده	۳
۱۳۷	مقدمه‌ای بر موازنه‌های ماده	۱.۳
۱۳۷	مفهوم موازنه ماده	۱.۱.۳
۱۴۱	موازنه‌های ماده برای یک جزء تک	۲.۱.۳
۱۴۵	مشخصات سامانه‌ها	۳.۱.۳
۱۵۰	موازنه‌های ماده برای سامانه‌ای با بیش از یک جزء	۴.۱.۳
۱۶۵	راهبرد کلی برای حل مسائل موازنه ماده	۲.۳
۲۱۵	موازنه‌های ماده بی واکنش	۴
۲۵۷	موازنه‌های ماده با واکنش	۵
۲۵۹	استوکیومتری	۱.۵
۲۷۰	واژگان برای سامانه‌های واکنشی	۲.۵
۲۷۰	پیشرفت واکنش، ξ	۱.۲.۵

۲۷۴	واکنش‌گرهای محدود کننده و اضافی	۲.۲.۵
۲۷۶	تبدیل و درجه تکمیل	۳.۲.۵
۲۷۸	گزینش پذیری	۴.۲.۵
۲۷۹	بازدهی	۵.۲.۵
۲۸۶	موازنه‌های مولی جزئی	۳.۵
۲۸۶	فرایندهای دربرگیرنده یک واکنش تنها	۱.۳.۵
۲۹۵	فرایندهای در برگیرنده چند واکنش	۲.۳.۵
۳۰۷	موازنه‌های ماده اتمی	۴.۵
۳۱۶	موازنه‌های ماده برای سامانه‌های احتراق	۵.۵
۳۶۷	موازنه‌های ماده برای سامانه‌های چند واحدی	۶
۳۶۸	مفاهیم پایه	۱.۶
۳۷۲	سامانه‌های چند واحدی پشت سر هم (متوالی)	۲.۶
۳۹۶	سامانه‌های دارای جریان برگشتی	۳.۶
۴۰۰	جریان برگشتی بی واکنش	۱.۳.۶
۴۰۷	جریان برگشتی با واکنش شیمیایی	۲.۳.۶
۴۱۹	جریان‌های کنارگذر و پاک‌ساز (زداینده)	۴.۶
۴۳۰	کاربرد صنعتی موازنه‌های ماده	۵.۶

۴۷۵	بخش سوم گازها، بخارها و مایعات
۴۷۷	۷ گازهای ایده‌آل و واقعی
۴۷۹	۱.۷ گازهای ایده‌آل
۴۸۰	۱.۱.۷ گاز ایده‌آل
۴۸۸	۲.۱.۷ مخلوط‌های گاز ایده‌آل
۴۹۲	۳.۱.۷ موازنه‌های ماده دربرگیرنده گازهای ایده‌آل
۵۰۱	۲.۷ گازهای واقعی: معادلات حالت
۵۰۱	۱.۲.۷ معادلات حالت
۵۰۸	۲.۲.۷ حالت بحرانی و تراکم‌پذیری
۵۱۵	۳.۷ گازهای واقعی: نمودارهای تراکم‌پذیری
۵۲۴	۴.۷ مخلوط‌های گاز واقعی
۵۶۹	۸ تعادلات چندفازی
۵۷۰	۱.۸ مقدمه
۵۷۲	۲.۸ نمودارهای فازی و قانون فازی
۵۸۸	۳.۸ سامانه‌های تک جزئی دو فازی (فشار بخار)
۵۸۸	۱.۳.۸ پیش‌بینی از راه معادلات
۵۹۱	۲.۳.۸ بازیابی فشار بخار از جداول
۵۹۷	۳.۳.۸ پیش‌بینی فشار بخار از نمودارهای ماده مرجع
۶۰۳	۴.۸ سامانه‌های گاز دو جزئی / مایع تک جزئی

۶۰۴	سیرشدگی	۱.۴.۸
۶۰۹	چگالش	۲.۴.۸
۶۲۲	تبخیر	۳.۴.۸
۶۲۸	سامانه‌های دو جزء گاز/دو جزء مایع	۵.۸
۶۲۹	روابط محلول ایده‌آل	۱.۵.۸
۶۳۱	نمودارهای تعادل‌های فازي بخار-مایع	۲.۵.۸
۶۳۴	مقادیر K (نسبت تعادلی بخار-مایع)	۳.۵.۸
۶۳۷	محاسبات نقطهٔ حباب و نقطهٔ شبنم	۴.۵.۸
۶۴۳	تعادل بخار-مایع چند جزئی	۶.۸

بخش چهارم انرژی

۶۷۵

۹ موازنه‌های انرژی

۶۸۰	واژگان مرتبط با موازنه‌های انرژی	۱.۹
۶۸۸	انواع انرژی که باید در موازنه‌های انرژی گنجانند	۲.۹
۶۸۸	گرما (Q)	۱.۲.۹
۶۹۵	کار (W)	۲.۲.۹
۷۰۳	انرژی جنبشی (KE)	۳.۲.۹
۷۰۵	انرژی پتانسیل (PE)	۴.۲.۹
۷۰۸	انرژی داخلی	۵.۲.۹

۶.۲.۹	آنتالپی	۷۱۳
۷.۲.۹	ظرفیت گرما	۷۲۰
۸.۲.۹	آنتالپی گذارهای فازی	۷۲۵
۹.۲.۹	جداول و نمودارها برای بدست آوردن مقادیر آنتالپی	۷۲۹
۱۰.۲.۹	پایگاه‌های داده رایانه‌ای	۷۳۴
۳.۹	موازنه‌های انرژی بی واکنش	۷۳۷
۱.۳.۹	سامانه‌های بسته حالت ناپایا	۷۴۰
۲.۳.۹	سامانه‌های بسته حالت پایا	۷۵۱
۳.۳.۹	موازنه عمومی انرژی برای سامانه‌های باز	۷۵۳
۴.۳.۹	سامانه‌های باز حالت پایا	۷۶۰
۵.۳.۹	سامانه‌های باز حالت ناپایا	۷۷۳
۱۰	موازنه‌های انرژی: چگونه واکنش‌های شیمیایی را به حساب آوریم	۸۳۷
۱.۱۰	گرمای (آنتالپی) استاندارد تشکیل	۸۳۸
۲.۱۰	گرمای (آنتالپی) واکنش	۸۴۵
۳.۱۰	انتگرال‌گیری از گرمای تشکیل و گرمای محسوس	۸۶۰
۴.۱۰	گرمای (آنتالپی) احتراق	۸۸۹
۱۱	نمودارهای رطوبت (رطوبت‌سنجی) و استفاده از آنها	۹۱۷
۱.۱۱	واژگان	۹۱۸
۲.۱۱	نمودار رطوبت (رطوبت‌سنجی)	۹۲۲

۹۲۳	۱.۲.۱۱ خط (معادله) ترمخزن
۹۲۵	۲.۲.۱۱ خط (معادله) خنک کردن آدیاباتیک
۹۳۵	۳.۱۱ کاربردهای نمودار رطوبت

بخش پنجم: مطالب تکمیلی (در *CD*)

۹۵۵	پیوست‌ها
۱۰۷۵	غلط‌نامه

مقدمه ناشر

کتاب «اصول بنیانی و محاسباتی در مهندسی شیمی» از آثار ارزشمندی است که در زمینه مهندسی شیمی به رشته تألیف درآمده و به همت استاد فقید، جناب آقای دکتر محمدمهدی منتظر رحمتی، به فارسی برگردانده شده است. با توجه به پیشرفت روزافزون دانش و فناوری به‌ویژه در شاخه‌های گوناگون علوم تجربی، فنی و مهندسی، بی‌شک اثر حاضر که از زوایای گوناگون و با دقت نظر خاص وارد بحث درباره این حوزه تخصصی شده، برای کارشناسان و متخصصان این رشته علمی بسیار راهگشا و سودمند خواهد بود، زیرا در آن، موضوع از تعاریف و مفاهیم مقدماتی این رشته آغاز شده و در بخش‌های مجزا، مسائلی همچون «موازنه‌های ماده»، «گازها، بخارها و مایعات»، «تعدادات چند فازی»، «انرژی» و ... به تفصیل به بحث نهاده شده است. چنانکه می‌توان ادعا کرد کمتر نکته‌ای در حوزه مباحث مربوط، از دید نویسندگان اثر پنهان مانده و مترجم توانمند کتاب، جناب آقای دکتر منتظر رحمتی نیز با قلم توانای خویش، به شایستگی از عهده برگردان متن به فارسی برآمده است. صد دریغ و افسوس که دست اجل امان نداد که آن استاد بزرگوار، دستاورد ارزشمند تلاش خویش را ببیند. هرچند آنچه از ایشان برای جامعه علمی به یادگار مانده شامل شش کتاب و بیش از یکصد مقاله، به‌خوبی بیانگر جایگاه والا و شایسته آن استاد بزرگوار است که مصداق بارز این بیت بودند:

از شمار دو چشم یک تن کم وز شمار خرد هزاران بیش

همت والا و تلاش مجدانه همکاران فرزانه ایشان، استادان بزرگوار دکتر نسیم طاهونی که به بررسی مسائل کتاب پرداخته و غلطنامه آن را تنظیم نموده‌اند و دکتر شهره فاطمی که مسئولیت ویرایش نهایی و پیگیری و کنترل امور اداری چاپ را بر عهده داشتند و نیز مهندس سید عماد موسوی که در ویرایش نهایی کمک شایانی داشتند و صفحه‌آرایی کتاب را عهده‌دار بودند، در به سرانجام رسیدن این اثر، شایسته بسی تقدیر و سپاسداشت است که بی‌گمان اگر به پاس قدردانی از آن فرزانه فقید، سعی نمی‌داشتند و پای نمی‌فشردند، شاید این کتاب نیز اکنون به زیور طبع آراسته نمی‌شد. انتشارات دانشگاه تهران، در مقام ناشر اثر، بر خود واجب می‌داند که همت و تلاش یکایک این بزرگواران را ارج بنهد و قدر بدانند.

مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

تبدیل واحدها

راهنما: برای تبدیل یک واحد به واحدی دیگر، مانند $in.^3$ به m^3 به صورت زیر عمل کنید. واحدی که می‌خواهید آن را تبدیل کنید ($in.^3$) در سمت چپ جدول مشخص کنید. واحدی که می‌خواهید به آن تبدیل شود (m^3) را در بالای جدول انتخاب کنید. از تقاطع سطر و ستون مشخص شده ضریب تبدیل به دست می‌آید. برای این‌که محاسبات را انجام دهید واحدی که می‌خواهید تبدیل کنید ($in.^3$) را در ضریب تبدیل ضرب کنید. برای مثال:

$$(14.3 \text{ in.}^3)(1.639 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{in.}^3) = 2.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

حجم

	$in.^3$	ft^3	<i>U.S. gal</i>	<i>liters</i>	m^3
$in.^3$	1	5.787×10^{-4}	4.329×10^{-3}	1.639×10^{-2}	1.639×10^{-5}
ft^3	1.728×10^3	1	7.481	28.32	2.832×10^{-2}
<i>U.S. gal</i>	2.31×10^2	0.1337	1	3.785	3.785×10^{-3}
<i>liters</i>	61.03	3.531×10^{-2}	0.2642	1	1.000×10^{-3}
m^3	6.102×10^4	35.31	264.2	1000	1

جرم

	<i>avoir oz</i>	<i>pounds</i>	<i>grains</i>	<i>grams</i>
<i>avoir oz</i>	1	6.25×10^{-2}	4.375×10^2	28.35
<i>pounds</i>	16	1	7×10^3	4.536×10^2
<i>grains</i>	2.286×10^{-3}	1.429×10^{-4}	1	6.48×10^{-2}
<i>grams</i>	3.527×10^{-2}	2.20×10^{-3}	15.432	1

طول

	<i>meter</i>	<i>inch</i>	<i>foot</i>	<i>mile</i>
<i>meter</i>	1	39.37	3.2808	6.214×10^{-4}
<i>inch</i>	2.54×10^{-2}	1	8.333×10^{-2}	1.58×10^{-5}
<i>foot</i>	0.3048	12	1	1.8939×10^{-4}
<i>mile</i>	1.61×10^3	6.336×10^4	5280	1

توان

	<i>hp</i>	<i>kW</i>	$(ft)(lb_f)/s$	<i>Btu/s</i>	<i>J/s</i>
<i>hp</i>	1	0.7457	550	0.7068	7.457×10^2
<i>kW</i>	1.341	1	737.56	0.9478	1.000×10^3
$(ft)(lb_f)/s$	1.818×10^{-3}	1.356×10^{-3}	1	1.285×10^{-3}	1.356
<i>Btu/s</i>	1.415	1.055	778.16	1	1.055×10^3
<i>J/s</i>	1.341×10^{-3}	1.000×10^{-3}	0.7376	9.478×10^{-4}	1

گرما، انرژی و کار

	$(ft)(lb_f)$	<i>kWh</i>	$(hp)(hr)$	<i>Btu</i>	<i>calorie*</i>	<i>joule</i>
$(ft)(lb_f)$	1	3.766×10^{-7}	5.0505×10^{-7}	1.285×10^{-3}	0.3241	1.356
<i>kWh</i>	2.655×10^6	1	1.341	3.4128×10^3	8.6057×10^5	3.6×10^6
$(hp)(hr)$	1.98×10^6	0.7455	1	2.545×10^3	6.4162×10^5	2.6845×10^6
<i>Btu</i>	7.7816×10^2	2.930×10^{-4}	3.930×10^{-4}	1	2.52×10^2	1.055×10^3
<i>calorie</i>	3.086	1.162×10^{-6}	1.558×10^{-6}	3.97×10^{-3}	1	4.184
<i>joule</i>	0.7376	2.733×10^{-7}	3.725×10^{-7}	9.484×10^{-4}	0.2390	1

*The thermochemical calorie = 4.184 J.

فشار

	<i>mm Hg</i>	<i>in. Hg</i>	<i>bar</i>	<i>atm</i>	<i>kPa</i>	<i>psia</i>
<i>mm Hg</i>	1	3.937×10^{-2}	1.333×10^{-3}	1.316×10^{-3}	0.1333	1.934×10^{-2}
<i>in. Hg</i>	25.40	1	3.386×10^1	3.342×10^{-2}	3.386	0.4912
<i>bar</i>	750.06	29.53	1	0.9869	100.0	14.51
<i>atm</i>	760	29.92	1.013	1	101.3	14.696
<i>kPa</i>	7.502	0.2954	1.000×10^{-2}	9.872×10^{-3}	1	0.1451
<i>psia</i>	51.71	2.036	6.893×10^{-2}	6.805×10^{-2}	6.893	1

تبدیل واحدهای متفرقه

<i>To convert from</i>	<i>To</i>	<i>Multiply by</i>
<i>angstrom</i>	<i>meter</i>	1.000×10^{-10}
<i>barrel(petroleum)</i>	<i>gal</i>	42
<i>centipoise</i>	<i>(newton)(s)/m²</i>	1.000×10^{-3}
<i>torr (mm Hg, 0° C)</i>	<i>newton/meter²</i>	1.333×10^2
<i>fluid oz</i>	<i>cm³</i>	29.57

ثابت گازهای ایده آل

1.987 <i>cal/(g mol)(K)</i>
1.987 <i>Btu/(lb mol)(° R)</i>
10.73 <i>(psia)(ft³)/(lb mol)(° R)</i>
8.314 <i>(kPa)(m³)/(kg mol)(K) = 8.314 J/(g mol)(K)</i>
82.06 <i>(cm³)(atm)/(g mol)(K)</i>
0.08206 <i>(L)(atm)/(g mol)(K)</i>
21.9 <i>(in. Hg)(ft³)/(lb mol)(° R)</i>
0.7302 <i>(ft³)(atm)/(lb mol)(° R)</i>