



۳۸۸

اصول صنایع شیمیایی

تهیه و گرد آوری
دکتر رضوانه ملکی مقدم



اصول صنایع شیمیایی

تهیه و گردآوری
دکتر رضوانه ملکی مقدم

۱۳۸۶

به مادر و پدر بزرگوارم

فهرست

سیزده	پیشگفتار
۱	فصل ۱: فرایند شیمی صنعتی
۱	۱.۱ نقش و اهمیت صنایع شیمیایی در اقتصاد جامعه
۳	۲.۱ دسته بندی محصولات صنایع شیمیایی
۹	۳.۱ فرایند شیمی صنعتی
۱۰	۴.۱ تاریخچه صنایع شیمیایی
۱۰	۱.۴.۱ صنایع شیمیایی در دوره قبل علم
۱۷	۲.۴.۱ صنایع شیمیایی دوره علم
۱۸	۳.۴.۱ صنایع شیمیایی امروز
۲۱	منابع
۲۱	مسائل
۲۳	فصل ۲: تجزیه و تحلیل سیستماتیک صنایع شیمیایی
۲۴	۱.۲ بیلان جرم
۲۴	۱.۱.۲ بیلان کلی جرم
۲۸	۲.۱.۲ واحدها
۳۱	۳.۱.۲ سازمان دهی بیلان جرم
۳۴	۴.۱.۲ بیلان جرم جزئی
۳۴	۱.۴.۱.۲ بیلان جرم جزئی بدون انجام واکنش شیمیایی
۳۹	۲.۴.۱.۲ بیلان جرم جزئی با انجام واکنش شیمیایی

۴۳	۲.۲	بیان انرژی
۴۳	۱.۲.۲	قانون اول ترمودینامیک
۴۳	۱.۱.۲.۲	سیستم های بسته
۴۶	۲.۱.۲.۲	سیستم های باز
۴۸	۲.۲.۲	اثرات حرارتی
۴۸	۱.۲.۲.۲	اثرات حرارت محسوس
۵۲	۲.۲.۲.۲	حرارت نهان تبخیر
۵۴	۳.۲.۲.۲	حرارت واکنش
۵۷	۳.۲	ترمودینامیک و سینتیک
۵۸	۱.۳.۲	ترمودینامیک
۵۹	۲.۳.۲	سینتیک
۶۰	۱.۲.۳.۲	دسته بندی واکنش های شیمیایی
۶۰	۲.۲.۳.۲	متغیرهای مؤثر در سرعت واکنش های شیمیایی
۶۱	۳.۲.۳.۲	تعریف سرعت واکنش های شیمیایی
۶۳	۱.۳.۲.۳.۲	روش انتگرال تجزیه و تحلیل داده ها
۷۰	۲.۳.۲.۳.۲	روش دیفرانسیل تجزیه و تحلیل داده ها
۷۸	۴.۲	عملیات واحدی و رآکتورهای شیمیایی
۷۸	۱.۴.۲	عملیات واحدی
۷۸	۱.۱.۴.۲	مکانیک سیالات
۷۹	۲.۱.۴.۲	انتقال حرارت
۸۱	۳.۱.۴.۲	انتقال جرم
۸۱	۱.۳.۱.۴.۲	تقطیر
۸۷	۲.۳.۱.۴.۲	جذب گاز- مایع
۹۱	۳.۳.۱.۴.۲	جذب سطحی
۹۶	۴.۳.۱.۴.۲	استخراج مایع- مایع
۹۹	۵.۳.۱.۴.۲	استخراج مایع- جامد
۱۰۰	۶.۳.۱.۴.۲	تبخیر

۱۰۳	۲.۴.۲ راکتورهای شیمیایی
۱۰۵	۲.۴.۲.۱ راکتورهای ناپیوسته
۱۰۶	۲.۴.۲.۲ راکتورهای پیوسته
۱۰۶	۲.۴.۲.۲.۱ زمان پرشدن و سرعت پرشدن
۱۰۸	۲.۴.۲.۲.۲ راکتورهای مخلوط کننده پیوسته و یکنواخت
۱۱۵	۲.۴.۲.۳ راکتور پیوسته لوله‌ای یکنواخت
۱۲۱	۵.۲ تجهیزات و کنترل
۱۲۴	۶.۲ اقتصاد
۱۲۵	۷.۲ نمودارهای جریان سیال برای معرفی فرایندهای شیمی صنعتی
۱۳۳	منابع
۱۳۳	مسئله

۱۳۵	فصل ۳: بررسی مراحل ایجاد یک واحد شیمی صنعتی
۱۳۵	۱.۳ پیشینه مهندسی شیمی
۱۳۷	۲.۳ مهندسی شیمی
۱۳۷	۳.۳ مراحل گوناگون ایجاد یک واحد شیمی صنعتی
۱۳۸	۱.۳.۳ تحقیق
۱۳۸	۱.۳.۳.۱ تحقیق بنیادی
۱۳۹	۲.۳.۳.۱ تحقیق اکتشافی
۱۴۰	۳.۳.۳.۱ تحقیق فرایندی
۱۴۲	۲.۳.۳ توسعه فرایندی
۱۴۶	۳.۳.۳ طراحی فرایند و تخمین
۱۴۸	۴.۳.۳ طراحی کارخانه
۱۴۸	۵.۳.۳ ساخت کارخانه
۱۴۹	۶.۳.۳ مشاورت تولید
۱۵۱	۷.۳.۳ خدمات فنی کارخانه
۱۵۱	۸.۳.۳ فروش محصول

۱۵۳	منبع
۱۵۳	مسائل

۱۵۵ فصل ۴ : مواد خام در صنایع شیمیایی

۱۵۵	۱.۴ دسته بندی مواد خام
۱۶۰	۲.۴ روش های تغلیظ مواد خام
۱۶۱	۱.۲.۴ تغلیظ جامدات
۱۶۱	۱.۱.۲.۴ روش های فیزیکی
۱۶۲	۱.۱.۱.۲.۴ سرند کردن
۱۶۴	۲.۱.۱.۲.۴ تغلیظ بر مبنای نیروی جاذبه
۱۶۸	۳.۱.۱.۲.۴ تغلیظ الکترومغناطیسی
۱۶۹	۴.۱.۱.۲.۴ تغلیظ الکترواستاتیکی
۱۷۰	۵.۱.۱.۲.۴ شناور سازی
۱۷۵	۲.۱.۲.۴ روش تغلیظ حرارتی
۱۷۵	۳.۱.۲.۴ روش های تغلیظ شیمیایی
۱۷۶	۲.۲.۴ تغلیظ مایعات
۱۷۷	۳.۲.۴ تغلیظ گازها
۱۷۸	۳.۴ استفاده کامل از تمام اجزای مواد خام
۱۸۱	۴.۴ جایگزینی مواد خام خوراکی با مواد خام غیر خوراکی
۱۸۲	منابع
۱۸۲	مسائل

۱۸۳ فصل ۵ : آب در صنایع شیمیایی

۱۸۴	۱.۵ دسته بندی منابع آب های طبیعی
۱۸۴	۱.۱.۵ آب های اتمسفری
۱۸۵	۲.۱.۵ آب های سطحی
۱۸۵	۳.۱.۵ آب های زیر زمینی

۱۸۶	۲.۵ آلودگی‌های منابع آبی
۱۸۷	۳.۵ تصفیه آب
۱۸۸	۱.۳.۵ نرم کردن آب
۱۸۸	۱.۱.۳.۵ تبادل یونی
۱۸۹	۱.۱.۱.۳.۵ فرایندهای تبادل کاتیونی
۱۸۹	۱.۱.۱.۳.۵ فرایند تبادل کاتیونی سدیم
۱۹۲	۲.۱.۱.۳.۵ فرایند تبادل کاتیونی هیدروژن
۱۹۳	۲.۱.۳.۵ فرایند تبادل آنیونی
۱۹۴	۲.۳.۵ فرایند آهک-کربنات سدیم
۱۹۷	۳.۳.۵ هواگیری
۱۹۸	۴.۳.۵ حذف املاح معدنی
۱۹۹	۵.۳.۵ حذف نمک طعام
۲۰۰	۱.۵.۳.۵ الکترودیالیز
۲۰۰	۲.۵.۳.۵ اسمز معکوس
۲۰۱	۳.۵.۳.۵ تبخیر
۲۰۲	۶.۳.۵ خالص سازی
۲۰۲	۴.۵ تصفیه پساب
۲۰۳	۱.۴.۵ تصفیه پساب‌های شهری
۲۰۴	۱.۱.۴.۵ تصفیه اولیه یا فیزیکی
۲۰۴	۲.۱.۴.۵ تصفیه ثانویه یا بیوشیمیایی
۲۰۵	۱.۲.۱.۴.۵ فرایند لجن فعال
۲۰۵	۲.۲.۱.۴.۵ صافی های چکنده
۲۰۶	۳.۲.۱.۴.۵ بسترهای شناور
۲۰۶	۳.۱.۴.۵ مرحله تصفیه نهایی
۲۰۷	۲.۴.۵ تصفیه پساب‌های صنعتی
۲۰۸	منابع

۲۰۹	فصل ۶: انرژی در صنایع شیمیایی
۲۱۱	۱.۶ انواع انرژی
۲۱۱	۱.۱.۶ انرژی الکتریکی
۲۱۱	۲.۱.۶ انرژی گرمایی
۲۱۲	۳.۱.۶ انرژی تشعشعی
۲۱۲	۴.۱.۶ انرژی نور
۲۱۲	۵.۱.۶ انرژی گرمای درون زمین
۲۱۲	۶.۱.۶ انرژی باد و خورشید
۲۱۲	۷.۱.۶ انرژی مواد خوراکی
۲۱۳	۸.۱.۶ انرژی گرمای اقیانوس‌ها
۲۱۳	۹.۱.۶ انرژی حاصل از تجزیه مواد (بیومس)
۲۱۳	۲.۶ منابع عمده تأمین کننده انرژی در جهان
۲۱۹	۳.۶ اهمیت انرژی در انتخاب محل کارخانه
۲۱۹	۴.۶ استفاده تکنولوژیکی انرژی
۲۲۰	۵.۶ صرفه جویی انرژی در صنایع شیمیایی
۲۲۰	۱.۵.۶ مبادله کننده های حرارتی
۲۲۱	۲.۵.۶ ریژنراتورها
۲۲۱	۳.۵.۶ سیستم موتور- پمپ - توربین
۲۲۳	منابع
۲۲۳	مسائل

۲۲۵	فصل ۷: دسته بندی فرایندهای شیمیایی
۲۲۵	۱.۷ فرایندهای همگن
۲۳۰	۱.۱.۷ فرایندهای همگن فاز گازی
۲۳۱	۲.۱.۷ فرایندهای همگن فاز مایع
۲۳۲	۳.۱.۷ رآکتورهای فرایندهای همگن
۲۳۶	۲.۷ فرایندهای ناهمگن غیر کاتالیستی

۲۳۹	۱.۲.۷ فرایندهای ناهمگن گاز- مایع
۲۳۹	۲.۲.۷ فرایندهای ناهمگن گاز- جامد
۲۴۲	۳.۲.۷ فرایندهای ناهمگن مایع- جامد
۲۴۲	۳.۷ فرایندهای کاتالیستی
۲۴۶	۴.۷ فرایندهای فتوشیمیایی، رادیوشیمیایی، بیوشیمیایی، پلاسما و اولتراسونیک
۲۵۱	منبع

۲۵۳	فصل ۸: معرفی چند واحد صنعتی پیوسته و ناپیوسته
۲۵۳	۱.۸ تولید متانل
۲۵۸	۲.۸ تولید پنی سیلین
۲۶۴	۳.۸ تولید تترا متیل سرب
۲۶۷	۴.۸ تولید سولفوریک اسید
۲۷۱	۵.۸ الکیلاسیون
۲۷۴	منبع
۲۷۴	مسئله

۲۷۵	فصل ۹: اصول بنیادی محاسباتی در فرایندهای شیمی صنعتی
۲۷۶	۱.۹ صنعت ذوب آهن
۲۸۱	۲.۹ فرایند تولید فنل
۲۸۸	۳.۹ سولفور
۲۹۵	۴.۹ تولید کلروبنزن
۲۹۹	۵.۹ تولید اتیلن اکسید
۳۰۴	منابع

۳۰۵	فصل ۱۰: شیمی سبز و مهندسی آن
۳۰۶	۱.۱۰ مقدمه ای بر مباحث زیست محیطی
۳۰۶	۲.۱۰ نقش فرایندها و محصولات شیمیایی

۳۰۹	۳.۱۰ مروری بر اهم مباحث زیست محیطی
۳۱۰	۴.۱۰ مسائل جهانی زیست محیطی
۳۱۰	۱.۴.۱۰ انرژی جهانی
۳۱۲	۲.۴.۱۰ پدیده گرم شدن زمین
۳۱۵	۳.۴.۱۰ تخلیه اوزن در استراتسفر
۳۱۷	۵.۱۰ شیمی سبز
۳۱۹	۱.۵.۱۰ روش یابی شیمی سبز
۳۱۹	۱.۱.۵.۱۰ خوراک فرایند
۳۲۲	۲.۱.۵.۱۰ حلال‌های سبز
۳۲۳	۳.۱.۵.۱۰ مسیر سنتز
۳۲۶	منبع

۳۲۷	پیوست‌ها
۳۴۳	واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
۳۵۵	واژه‌نامه انگلیسی - فارسی
۳۶۷	منابع
۳۶۹	نمایه

پیشگفتار

کتاب حاضر مجموعه‌ای است از مطالبی که می‌تواند در آموزش اصول صنایع شیمیایی، به ویژه برای دانشجویان شیمی محض و شیمی کاربردی، مفید باشد. در واقع، مطالب ارائه شده در این کتاب مقدمه‌ایجاد پلی است بین نتایجی که دانشجویان شیمی با استفاده از مطالب نظری در آزمایشگاه به آن می‌رسند و آنچه مهندسان شیمی و صنعتگران در بخش صنعت برای تولید کالاهای مصرفی انجام می‌دهند.

نویسنده با توجه به پیشینه تحصیلی خود در رشته مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه تهران (۱۳۴۹-۱۳۵۴) و نیز آگاهی از نیاز دانشجویان شیمی محض و کمبود منابع مفید در این زمینه، با دیدگاهی متفاوت مطالب را بررسی، گردآوری، ترجمه و تألیف کرده است. امید است این کتاب بتواند نگرش دانشجویان عزیز را نسبت به نقش اساسی شیمی محض در تولید انواع محصولات صنایع شیمیایی عمیق‌تر کند.

در جهان امروز به مجموعه بزرگی از سیستم‌های تأمین‌کننده مایحتاج روزانه از جمله غذا، پوشاک، مسکن و بهداشت نیاز داریم. با افزایش جمعیت و پراکندگی آن در سراسر کره زمین، برنامه‌ریزی برای برآورده ساختن هر یک از این نیازها پیچیده‌تر می‌شود. نگاهی به سیستم‌های تأمین آب در رم قدیم، شانگهای و کوزکو، با جمعیت کمتر از یک میلیون نفر، که هر یک به نوبه خود از بزرگ‌ترین شهرهای آن زمان بوده‌اند، حیرت بشر را برمی‌انگیزد.

حفظ ساختار اجتماعی زندگی انسان‌ها در ارتباط با دسترسی به محصولات مورد نیاز زندگی روزمره، مستلزم وجود قابلیت‌های علمی و فنی بسیار است. دسترسی به دانش مواد و تغییرات شیمیایی مرتبط با آنها به منظور تولید این محصولات، از عوامل اساسی نیل به این هدف است.

کتاب حاضر، بر لزوم وجود متخصصان شیمی و مهندسی شیمی، به عنوان شرط لازم، در کنار سایر متخصصان به عنوان شرط کافی برای ایجاد واحدهای شیمی صنعتی تأکید دارد.

این کتاب در ده فصل و یک پیوست تدوین شده است و علاوه بر هدف اصلی خود به عنوان منبع درس «اصول صنایع شیمیایی» در دوره کارشناسی شیمی محض، می‌تواند برای صنعتگران و

علاقه‌مندان به مباحث شیمی صنعتی نیز مفید باشد.

فصل اول این کتاب به اهمیت محصولات صنایع شیمیایی در زندگی روزمره بشر و نهایتاً اقتصاد هر جامعه می‌پردازد. سپس تعاریف و مفاهیم بنیادی مربوط به صنایع شیمیایی ارائه می‌شود. دسته‌بندی محصولات صنایع شیمیایی و نیز صنایع شیمیایی به همراه مثال‌ها و جداول مربوط در این فصل مطرح می‌شود. در نهایت، جداولی از رده‌بندی مهم‌ترین کمپانی‌های صنایع شیمیایی از نظر میزان تولید و غیره ارائه می‌شود. مسائلی در انتهای هر فصل آورده شده است. فصل دوم این کتاب به مطالعه سیستماتیک صنایع شیمیایی می‌پردازد. در این ارتباط مباحثی مثل بیان جرم و انرژی، ترمودینامیک و سینتیک، عملیات واحدی و واحدهای فرایندی، تجهیزات و کنترل و اقتصاد، به همراه مسائل مربوط مطرح می‌شود. انتهای این فصل انواع نمودارهای گرافیکی معرف جریان سیال در صنایع شیمیایی معرفی می‌شود. فصل سوم به مطالعه مراحل مختلف ایجاد یک واحد شیمی صنعتی نمونه، با استفاده از نمودارهای گرافیکی جریان سیال همان واحد، اختصاص دارد. در فصل چهارم مواد خام و اهمیت آنها در صنایع شیمیایی مطرح می‌شود. در این ارتباط، مباحثی مانند دسته‌بندی مواد خام، استراتژی صنایع شیمیایی در مورد مواد خام، از نظر زیست محیطی، اقتصادی و غیره و نیز سیستم‌های صنعتی مورد استفاده برای تغلیظ مواد خام در صنایع شیمیایی، مطالعه می‌شود. فصل پنجم به آب و اهمیت آن در صنایع شیمیایی اختصاص دارد. در این قسمت آب‌های ورودی به صنایع شیمیایی و راه‌های تخلیص آنها بررسی می‌شود. علاوه بر آن، به دلیل اهمیت نقش آب‌های خروجی از صنایع شیمیایی یا پساب‌ها، راه‌های تصفیه آنها، از نظر بهداشتی و زیست‌محیطی و اقتصادی مطالعه می‌شود. در فصل ششم انرژی، اهمیت آن و منابع مختلف انرژی‌های مورد استفاده در صنایع شیمیایی و راه‌های صرفه‌جویی انرژی در صنایع شیمیایی به همراه دستگاه‌های مورد استفاده بررسی می‌شود. فصل هفتم به دسته‌بندی فرایندهای شیمیایی از نظر صنعتی می‌پردازد، و در این ارتباط فرایندهای همگن و ناهمگن غیر کاتالیستی و نیز فرایندهای کاتالیستی و فرایندهای خاص، به همراه جداول و شکل‌های مربوط معرفی می‌شوند. در فصل هشتم چند واحد نمونه صنعتی، مثل واحد تولید متانل، پنی‌سیلین و غیره تشریح می‌شود. فصل نهم به محاسبات بنیادی صنایع شیمیایی برای چند واحد صنعتی معدنی و آلی، مثل صنعت ذوب آهن، صنعت تولید فنل، صنعت تولید کلروبنزن و غیره، به همراه مطالعه مواد اولیه، روش تولید امروزی آنها، معرفی نمودارهای گرافیکی جریان سیال، و نیز استفاده نهایی محصولات آنها اختصاص دارد. و بالاخره فصل دهم چالش امروز صنایع شیمیایی را در ارتباط با محیط زیست بررسی می‌کند. در این مبحث پس از پرداختن به مقدمه‌ای درباره مسائل زیست‌محیطی و

مباحث جهانی زیست‌محیطی، به نقش فرایندهای شیمی صنعتی و محصولات آنها می‌پردازیم. سپس درباره «شیمی سبز» و مهندسی آن مطالبی ارائه می‌شود.

وظیفه خود می‌دانم برای تهیه این کتاب، که در واقع حاصل سال‌ها تجربه در تحصیل و تدریس است، از همسر محمد مسعود رستگار و فرزندانم مریم و حنا تشکر کنم. همچنین از جناب آقای دکتر خسرو جدیدی، همکار محترم گروه شیمی، که با نگرش ژرف مدیریتی خود در ایجاد انگیزه و خلاقیت برای همکاران از جمله، تشویق اینجانب برای نگارش این اثر بسیار مؤثر بوده‌اند، سپاسگزارم. از جناب آقای مهندس امیر کرباسی نیز برای همکاری ایشان در استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری متشکرم.

این کتاب به یاری و همت همکاران مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی در کار ویرایش، حروف‌چینی، نمونه‌خوانی و کلیه مراحل چاپ آماده شده است. از همه آنان که در جهت اعتبار این کتاب بی‌دریغ تلاش کرده‌اند و همکاری داشته‌اند صمیمانه سپاسگزارم.

امیدوارم این کتاب مقدمه‌ای برای آغاز بررسی اصول صنایع شیمیایی باشد؛ اما خودآگاهم که این اثر هنوز کاستی‌هایی دارد. از خوانندگان محترم کتاب خواهشمندم اینجانب را در رفع کاستی‌ها، برای اصلاح چاپ‌های بعدی، راهنمایی فرمایند.

رضوانه ملکی مقدم

۱۳۸۶

