

طراحی مفهومی فرآیندهای شیمیایی

تألیف:

دکتر محمود کرچی

سرشناسه: گرجی، محمود، ۱۳۵۵-

عنوان و نام پدیدآور: طراحی مفهومی فرایندهای شیمیایی/تالیف محمود گرجی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۲.

مشخصات ظاهری: ص، ۵۰۵ ص.

یادداشت: کتابنامه.

یادداشت: واژه نامه.

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

موضوع: شیمی - فرایندها - کنترل

موضوع: شیمی - فرایندها - کنترل - راهنمای آموزشی

کتابشناسی ملی: ۳۴۲۳۹۳۵

رده بندی دیویی: ۶۶۰/۳۸۱۵

رده بندی کنگر: ۱۳۹۲ ط ۴۴/۷۵/۱۵۵ TP



انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر



دانشگاه صنعتی مالک اشتر

عنوان کتاب: طراحی مفهومی فرایندهای شیمیایی

مؤلف: محمود گرجی

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر

طرح روی جلد: فریناز عسگری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر

صفحه‌آرایی رایانه‌ای: مهدی ملایی

ویراستار ادبی: فرزنام حقیقی

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: ۹۲، زمستان

قیمت: ۲۳۷۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-5665-86-4

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۶۶۵-۸۶-۴

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.

آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز فناوری اطلاعات و مدیریت دانش،

مدیریت انتشارات. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

فهرست مطالب

درباره مولف..... ا

سخن مولف..... ب

پیشگفتار..... ت

فهرست نمادها..... ج

فصل اول: آشنایی با ماهیت طراحی فرآیند..... ۳

۱-۱- مقدمه..... ۳

۱-۲- ملاحظات و ملاحظات طراحی..... ۳

۱-۲-۱- مخاطرات ایمنی بهداشت..... ۵

۱-۲-۲- محافظت از محیط زیست..... ۷

۱-۲-۳- موقعیت واحد..... ۱۰

۱-۲-۴- چیدمان واحد..... ۱۱

۱-۲-۵- کنترل و عملیات واحد..... ۱۲

۱-۳- مراحل طراحی..... ۱۲

۱-۳-۱- نیاز مشتری و بازار محصول..... ۱۶

۱-۳-۲- تعیین مبانی و معیارهای طراحی..... ۱۷

۱-۳-۳- طراحی و سنتز فرآیند..... ۱۸

۱-۳-۴- آزمون کارایی طرح توسط مدل..... ۲۰

۱-۳-۵- ارزیابی، بهینه‌سازی و انتخاب طراحی..... ۲۳

۱-۳-۶- طراحی تفصیلی و انتخاب تجهیزات..... ۲۵

۱-۳-۷- تدارک، ساخت و عملیات..... ۲۶

۱-۴- ساختار فعالیت‌ها و سازماندهی پروژه..... ۲۷

۳۰	۱-۵- نقش ارزیابی اقتصادی در طراحی فرآیند
۳۳	۱-۶- مستندسازی پروژه و مدارک تولیدی
۳۵	۱-۷- کدها و استانداردها
۳۵	مراجع

۴۱	فصل دوم: آشنایی با انواع نقشه‌های جریان
۴۱	۲-۱- مقدمه
۴۲	۲-۲- نقشه ورودی-خروجی جریان
۴۲	۲-۳- نقشه کارکردی بلوکی جریان
۴۶	۲-۴- نقشه باسی جریان
۴۷	۲-۵- نقشه فرآیندی جریان
۴۹	۲-۵-۱- فهرست، عناوین و اختصارات
۵۱	۲-۶- نقشه لوله‌کشی و اندازه‌گیری
۵۲	۲-۶-۱- فهرست علائم و اختصارات

۶۳	فصل سوم: سنتز و تکوین طراحی مفهومی فرآیند
۶۳	۳-۱- مقدمه
۶۳	۳-۲- انتخاب فرآیند پیوسته یا ناپیوسته
۶۵	۳-۳- سلسله مراتب طراحی و سنتز فرآیند
۷۲	۳-۴- سنتز ساختار واکنشی، جداسازی و برگشتی فرایندهای پیوسته
۷۲	۳-۴-۱- آماده‌سازی خوراک راکتور (یا سیستم جداسازی)
۷۳	۳-۴-۲- عوامل اصلی ایجاد ساختار برگشتی فرآیند
۸۳	۳-۵- جمع‌بندی سلسله مراتب سنتز فرآیند و مقدمه‌ای بر بخش‌های بعد
۸۴	مراجع

۸۷	فصل چهارم: انتخاب راکتور
----	--------------------------

۱-۴- مقدمه	۸۷
۲-۴- مسیر واکنش و تولید محصول مطلوب	۹۱
۳-۴- ترموسینتیک واکنش و انتخاب شرایط عملیاتی راکتور	۹۴
۳-۴-۱- ترموسینتیک و سرعت واکنش‌های غیر تعادلی	۹۴
۳-۴-۲- ترمودینامیک واکنش‌های تعادلی و محدودیت درصد ...	۱۰۰
۳-۴-۱-۲- اثر دما بر درصد تبدیل تعادلی واکنش	۱۰۳
۳-۴-۲-۲- اثر فشار بر درصد تبدیل تعادلی واکنش	۱۰۶
۳-۴-۲-۳- اثر غلظت بر درصد تبدیل تعادلی واکنش	۱۰۸
۳-۴-۱-۴- جمع‌بندی تأثیر پارامترهای موثر بر درصد تبدیل ...	۱۱۴
۳-۴- انتخاب شرایط عملیاتی راکتور برای دستیابی به ...	۱۱۶
۳-۴-۳- دما - راکتور	۱۱۶
۳-۴-۳-۲- فشار راکتور	۱۲۱
۳-۴-۳-۳- غلظت واکنش‌ها	۱۲۱
۳-۴-۳-۴- فاز واکنش	۱۲۴
۳-۴-۵- کاتالیست	۱۲۵
۴-۴- انتقال حرارت و روش‌های کنترل دما راکتورهای آدیاباتیک	۱۲۹
۵-۴- انتخاب راکتور شیمیایی	۱۴۶
۴-۵-۱- روش‌های مدلسازی جریان‌های واکنشی	۱۴۶
۴-۵-۱-۱- اهمیت استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی	۱۴۷
۴-۵-۲- مدل‌های راکتور ایده‌ال و انتخاب آنها	۱۴۹
۴-۵-۱-۲- مدل‌های راکتور ایده‌ال	۱۴۹
۴-۵-۲-۲- مقایسه زمان ماند و حجم راکتورهای ایده‌ال	۱۵۱
۴-۵-۲-۳- انتخاب مدل راکتور ایده‌ال	۱۵۷
۴-۵-۳- انتخاب نوع راکتور صنعتی	۱۶۲
۴-۵-۳-۱- راکتورهای گاز-جامد کاتالیستی و غیرکاتالیستی	۱۶۲
۴-۵-۳-۲- راکتورهای گاز-مایع کاتالیستی و غیرکاتالیستی	۱۷۳

۱۷۹.....	۴-۳-۳- مثالهای کاربردی از راکتورهای صنعتی.....
۱۹۸.....	مراجع.....
۲۰۵.....	فصل پنجم: انتخاب سیستم جداسازی.....
۲۰۵.....	۵-۱- مقدمه.....
۲۰۶.....	۵-۲- ساختار عمومی سیستم جداسازی جریان خروجی از راکتور.....
۲۰۷.....	۵-۲-۱- جداسازی یا بازیافت ترکیبات گازی در بخارخروجی از جداکننده فازي.....
۲۱۰.....	۵-۲-۲- جداسازی ترکیبات سبک (فرار) در مایع خروجی از جداکننده فازي.....
۲۱۱.....	۵-۳- رایند جداسازی.....
۲۱۹.....	۵-۴- فرآیندهای جداسازی همگن مایع-مایع و گاز-گاز.....
۲۲۰.....	۵-۴-۱- تقطیر.....
۲۲۰.....	۵-۴-۱-۱- تعادل بخار-مایع و نمودار تعادلی.....
۲۲۶.....	۵-۴-۱-۲- مزایا، معایب، تقطیر، و روش‌های جایگزین.....
۲۳۱.....	۵-۴-۱-۳- روابط میانبر محاسبه حداقل تعداد مراحل تعادلی و رفلاکس.....
۲۳۴.....	۵-۴-۱-۴- انتخاب برج تقطیر و پیر شده.....
۲۳۹.....	۵-۴-۱-۵- انتخاب شرایط عملیاتی.....
۲۴۲.....	۵-۴-۲- جذب و دفع.....
۲۴۳.....	۵-۴-۲-۱- محاسبه حداقل مقدار حلال و تعداد مراحل تعادلی.....
۲۴۷.....	۵-۴-۲-۲- انتخاب شرایط عملیاتی.....
۲۴۷.....	۵-۴-۳- استخراج مایع-مایع.....
۲۴۹.....	۵-۴-۳-۱- تعادل فازها و نقشه تعادل در مختصات مثلثی.....
۲۵۳.....	۵-۴-۳-۲- محاسبه حداقل مقدار حلال و تعداد مراحل تعادلی.....
۲۵۹.....	۵-۴-۳-۴- انتخاب شرایط عملیاتی.....
۲۶۰.....	۵-۴-۴- جذب سطحی.....
۲۶۱.....	۵-۴-۴-۱- جاذب‌های سطحی.....
۲۶۲.....	۵-۴-۴-۲- تاثیر شرایط عملیاتی بر ظرفیت جذب.....

۲۶۴	۵-۴-۳- روش جذب و احیای برج جذب سطحی
۲۶۶	۵-۴-۵- غشا
۲۶۷	۵-۴-۱- جنس، ساختار و مکانیسم جداسازی غشایی
۲۶۹	۵-۴-۲- مدل‌های ایده‌آل جریان و چیدمان صنعتی جداسازی غشایی
۲۷۲	۵-۴-۳- مزایا و معایب فرآیند غشایی
۲۷۳	۵-۴-۴- فرآیندهای جداسازی غشایی
۲۸۶	۵-۴-۵- تأثیر پارامترهای عملیاتی بر کارایی و هزینه فرآیند تراوش گاز
۲۸۸	۵-۴-۶- تبلور
۲۹۰	۵-۴-۱- خواص بلورهای ذره‌ای
۲۹۵	۵-۴-۲- تعادل فاز
۳۰۷	۵-۴-۶- مراحل تبلور
۳۱۱	۵-۴-۶- طراحی سیستم‌های فرآیند تبلور
۳۱۲	۵-۴-۵- روش‌های جداسازی صنعتی تبلور
۳۱۷	۵-۵- فرآیندهای جداسازی جامد-اب
۳۲۴	۵-۲- ته‌نشینی ثقلی
۳۲۷	۵-۳- ته‌نشینی سانتریفیوژی
۳۴۰	۵-۴- فیلتراسیون کیک
۳۵۷	۵-۵- فیلتراسیون بستر عمیق
۳۵۷	۵-۶- غربال
۳۵۹	۵-۷- خشک کردن
۳۶۸	۵-۶- فرآیندهای جداسازی گاز-جامد
۳۷۰	۵-۶-۱- ته‌نشینی ثقلی
۳۷۰	۵-۶-۲- جداسازی برخوردی
۳۷۰	۵-۶-۳- شستشو با مایع
۳۷۳	۵-۶-۴- سیکلون
۳۷۴	۵-۶-۵- فیلتراسیون

- ۳۷۶..... ۵-۶-۶- رسوب دادن الکترواستاتیکی
- ۳۷۶..... ۵-۷-۷- فرایندهای جداسازی جامد- جامد (طبقه بندی جامدات)
- ۳۷۷..... ۵-۷-۱- غربال (سرنده کردن)
- ۳۷۸..... ۵-۷-۲- شناورسازی
- ۳۷۹..... ۵-۷-۳- جداسازی مغناطیسی
- ۳۸۰..... ۵-۷-۴- جداسازی الکترواستاتیکی
- ۳۸۱..... ۵-۷-۵- سانتریفیوژ
- ۳۸۱..... ۵-۷-۶- طبقه بندی جرمی (اینرسی)
- ۳۸۲..... ۵-۷-۷- طبقه بندی آبی
- ۳۸۳..... ۵-۷-۸- جداسازی در محیط چگال
- ۳۸۳..... ۵-۷-۹- سانتریفیوژ
- ۳۸۳..... ۵-۷-۱۰- جداسازی بخارات
- ۳۸۴..... ۵-۷-۱۱- غوطه‌ور کردن
- ۳۸۵..... ۵-۸-۸- فرایندهای جداسازی مایع- مایع امتزاج ناپذیر
- ۳۸۵..... ۵-۸-۱- ته نشینی ثقیلی
- ۳۸۷..... ۵-۸-۲- ته نشینی ثقیلی انعقادی
- ۳۸۸..... ۵-۸-۳- ته نشینی ثقیلی صفحه‌ای
- ۳۸۸..... ۵-۸-۴- سانتریفیوژ
- ۳۸۸..... ۵-۹-۹- فرایند جداسازی گاز- مایع
- ۳۸۹..... مراجع

- ۳۹۹..... فصل ششم: آرایش برج‌های تقطیر
- ۳۹۹..... ۶-۱- مقدمه
- ۳۹۹..... ۶-۲- آرایش برج‌های تقطیر ساده
- ۴۰۱..... ۶-۲-۱- نکات ابتکاری در انتخاب آرایش برج‌های تقطیر ساده
- ۴۰۳..... ۶-۲-۲- معیار کمی انتخاب آرایش برج‌های تقطیر ساده

۴۰۴	۳-۶- آرایش برج‌های تقطیر پیچیده (با بیش از دو محصول).....
۴۰۴	۱-۳-۶- آرایش برج‌های تقطیر پیچیده بدون تزویج حرارتی.....
۴۰۶	۲-۳-۶- آرایش برج‌های تقطیر پیچیده مزدوج حرارتی.....
۴۰۹	۳-۳-۶- برج‌های مزدوج حرارتی تیغه‌دار (با تیغه جداکننده).....
۴۱۶	۴-۶- آرایش برج‌های تقطیر آزنوتروپی.....
۴۱۷	۱-۴-۶- مرز تقطیر، منحنی تقطیر، و منحنی باقیمانده.....
۴۲۰	۲-۴-۶- آرایش برج‌های تقطیر آزنوتروپی با آزنوتروپ دوگانه و سه‌گانه.....
۴۲۸	۳-۴-۶- شکستن آزنوتروپ و تغییر آرایش برج‌های تقطیر آزنوتروپی.....
۴۳۳	مراجع

فصل هفتم: بازیافت و نگرانیون حرارتی..... ۴۳۷

۴۳۷	۱-۷- مقدمه
۴۳۷	۲-۷- طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی با بازیافت انرژی
۴۳۹	۱-۲-۷- انتخاب حداقل دمای نزدیک جریان سرد و گرم.....
۴۴۲	۲-۲-۷- محاسبه حداقل بار حرارتی تأسیسات سرد و گرم.....
۴۴۲	۱-۲-۲-۷- محاسبه حداقل بار حرارتی توسط منحنی مرکب.....
۴۴۵	۲-۲-۲-۷- محاسبه حداقل بار حرارتی و ددهای پینچ توسط
۴۵۲	۳-۲-۷- طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی با حداقل بار حرارتی
۴۵۴	۱-۳-۲-۷- طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی بالای تیغه پینچ.....
۴۵۶	۲-۳-۲-۷- طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی پایین نقطه پینچ.....
۴۵۷	۳-۳-۲-۷- رویه کلی طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی.....
۴۶۰	۴-۲-۷- طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی با حداقل هزینه کل.....
۴۶۱	۱-۴-۲-۷- تخمین حداقل تعداد مبدل‌های حرارتی
۴۶۲	۲-۴-۲-۷- شکستن حلقه
۴۸۰	۳-۷- بازیافت انرژی در برج‌های تقطیر
۴۸۰	۱-۳-۷- برج‌های تقطیر با پمپ حرارتی.....

۴۸۴	۲-۳-۷- برج‌های تقطیر آبشاری
۴۸۸	۴-۷- استفاده از انرژی جریان‌های فشار بالا در ریویلر
۴۹۲	مراجع
۴۹۷	واژه‌نامه

www.ketab.ir

درباره مولف

محمود گرجی

در سال ۱۳۷۷، درجه کارشناسی با گرایش پتروشیمی را از دانشگاه صنعتی اصفهان، در سال ۱۳۷۹ کارشناس ارشد مهندسی شیمی با گرایش طراحی فرآیند را از دانشگاه صنعتی شریف، و در سال ۱۳۸۵ دکترای مهندسی شیمی در زمینه بهینه‌سازی و تعیین سینتیک واکنش ناهمگر کاتالیز به کمک آنالیز دینامیک سیالات محاسباتی را از همان دانشگاه اخذ کرد.

علاوه بر تألیف این کتاب، در ترجمه کتاب آشنایی با سیستم‌های فرآیندی مهندسی شیمی نیز همکاری داشته است. او سال‌ها در زمینه طراحی فرآیند، دروس طراحی مفهومی و طرح و اقتصاد مهندسی، و مدیریت ضایعات، جامد را تدریس کرده است.

محمود گرجی بیش از یک دهه در بخش تحقیقات و طراحی با مؤسسه‌های تحقیقاتی و تولیدی شیمیایی به عنوان کارشناس، کارشناس ارشد، و مدیر پروژه در زمینه تحقیقات، مدل‌سازی، طراحی، و راه‌اندازی واحدهای آزمایشگاهی، نیمه صنعتی و طراحی همکاری داشته است. در کارنامه وی همچنین سابقه مشاوره و مدیریت پروژه‌های تحقیقاتی، طراحی و بازسازی، و تهیه نرم افزارهای آموزشی برای شرکت ملی گاز و پتروشیمی نیز دیده می‌شود. در کارنامه او علاوه بر آموزش، همکاری، مشاوره و مدیریت پروژه‌های تحقیقاتی و طراحی، تجربه پانزده سال فعالیت در بخش فرآیند شرکت‌های بزرگ مهندسان مشاور به عنوان کارشناس، کارشناس ارشد، و مدیر بخش فرآیند در زمینه طراحی پایه، طراحی تفصیلی، و بازسازی و راه‌اندازی پروژه‌های ملی واحدهای فرآیندی نفت، گاز، و پتروشیمی نیز دیده می‌شود.

سخن مولف

این کتاب، مرجع علمی نسبتاً جامع و کاملی از طراحی مفهومی است که علاوه بر مباحث تئوریک، به دیدگاه‌ها و جنبه‌های صنعتی و کاربردی‌ای توجه می‌کند که برای دانشجویان، دانشجویان تحصیلات تکمیلی و مهندسان مشاور، طراح، و مهندسان فرآیند شاغل در صنایع و فرآیندهای شیمیایی، موزنده و قابل استفاده است. سعی شده از تجربه‌های تحقیقاتی، طراحی و آموزشی مولف در نگارش این کتاب استفاده شود تا افق روشن‌تری از طراحی مفهومی پیش روی دانشجویان و مهندسان باز شود. در این تألیف تا حد امکان جایگزین‌هایی مناسب که تمامی آنها در واژه‌نامه قید شده‌اند، برای لغات و اصطلاحات تخصصی انتخاب شده‌اند. از همه عزیزانی که به‌طور مستمر در تألیف کتاب همکاری داشته‌اند از جمله جناب آقای مهرداد مرزایی، تشکر و قدردانی می‌کنم. خواهشمند است صاحب‌نظران، لغزش‌ها و نارسایی‌های کتاب را به ایمیل نویسنده به نشانی conceptual.design@yahoo.com ارسال فرمایند تا با توجه به بهبود کیفی این کتاب و به تبع آن دیگر نوشته‌ها و حتی دانش نویسنده در تدریس شود.

پیشگفتار

رشد روزافزون فرآورده‌ها و صنایع شیمیایی و نیاز بشر به این صنایع، و رشد فناوری‌ها و تجهیزات وابسته به آن، اهمیت طراحی فرآیند را بیش از پیش مطرح می‌کند. اهمیت موضوع، تجربه کارشناسان و نویسندگان در زمینه طراحی فرآیند و در عین حال عدم وجود کتاب فارسی در این زمینه، از انگیزه‌های اصلی تألیف این کتاب بوده است.

هدف این کتاب، ارائه مطالب به صورت ساده و قابل فهم برای دانشجویان و مهندسان است، و بالطبع مطالبی که بدین شکل بیان شده‌اند، نباید ساده انگاشته شوند. این کتاب به عنوان مرجعی جامع برای تدریس در سطوح مختلف دانشگاه و همچنین برای فعالیت‌های حرفه‌ای طراحی و مشاوره نوشته شده است و در آن نکته‌های راهنما، ابتکارات، و قوانین سرانگشتی سلسله مراتب سنتز و تکوین طراحی مفهومی فرآیند ذکر شده است. با توجه به تعدد فرآورده‌های شیمیایی و تجهیزات مرتبط با آن، سعی شده است مثال‌ها و مطالب ذکر شده محدوده وسیعی از صنایع را پوشش دهند تا نیاز همه خوانندگان را برطرف سازد. البته برای پرهیز از حجیم شدن کتاب و پراکنده شدن مطالب برخی از موارد با گزینش و شمول کمتری ارائه شده و مطالبی دیگر بنا بر اهمیت‌شان با تفصیل بیشتری بررسی شده‌اند. مباحث تعادل فازي و آرایش برج‌های تقطیر از جمله این موضوع‌ها هستند. برای بحث بیشتر درباره موضوعاتی که به آنها کمتر پرداخته شده، باید به مراجع تکمیلی مراجعه شود که در متن به آنها اشاره شده است.

این کتاب در هفت فصل، تالیف شده است. فصل اول به ماهیت طراحی فرآیند شامل ملاحظات، محدودیت‌ها و مراحل طراحی می‌پردازد. با توجه به نیاز مبرم مهندسان طراح و فرآیند به نقشه‌های فرآیندی، در فصل دوم نقشه‌های جریان بررسی می‌شوند. فصل سوم به بحث درباره سلسله مراتب ستر و تکوین طراحی مفهومی فرآیند می‌پردازد و به عبارتی دیگر، حرکت گام به گام در مسیر طراحی و تکمیل آن را که در واقع انتخاب و طراحی راکتور، سیستم جداسازی و جریان برگشتی است، نشان می‌دهد. جزئیات گام‌ها، طراحی این فصل در فصل‌های بعد تبیین می‌شوند. فصل چهارم درباره اصول، قوانین رانگشتی، و ملاحظات انتخاب و طراحی سیستم راکتور بحث می‌کند. فصل پنجم به اصول و ملاحظات انتخاب و طراحی سیستم جداسازی می‌پردازد و در فصل ششم نیز به طراحی تقطیر ساده، پیچیده و آزنوتروپ (به دلیل انتخاب تقطیر به عنوان گزینه اول جداسازی، پرداخته می‌شود. در فصل هفتم نیز بازیافت انرژی و انتگراسیون حرارتی جریان‌های فرآیندی بررسی می‌شوند.

فهرست نمادها

A	ضریب جذب
A	خوراک استخراج
A_{int}	سطح تماس مشترک ده فاز مایع (پیوسته و پراکنده) در جداسازی مایع-مایع (m^2)
A_M	سطح غشا (m^2)
a_i	فعالیت جزء i
B_i, b_i	محصول پایین برج تقطیر i
C	غلظت واکنشگر در فاز مایع (mol/lit)
C	کولر
C_i	غلظت جزء i (mol/lit)
C_i	غلظت کلرید سدیم در جریان i (جریان خوراک، باقیمانده، رداوش یافته) (ppm)
$C_{i,in}$	غلظت جزء i ورودی به راکتور (mol/lit)
$C_{i,out}$	غلظت جزء i خروجی از راکتور (mol/lit)
C_{io}	غلظت جزء i در راکتور در زمان ۰ (mol/lit)
C_{it}	غلظت جزء i در راکتور در زمان t (mol/lit)
C_b	غلظت در توده محلول (تبلور) (mol/lit)
C^*	غلظت تعادلی در سطح بلور (mol/lit)
C_{eq}	غلظت تعادلی در بلور (mol/lit)
C_i	غلظت در سطح مشترک محلول و بلور (تبلور) (mol/lit)
C_p	ظرفیت حرارتی هر یک از جریان‌های سرد و گرم در دمای میانگین T_t و T_s ($\frac{J}{mol K}$)

Δc_i	اختلاف غلظت جزء i در دو طرف غشا (mol/lit)
CP	حاصلضرب شدت جریان گرمی در ظرفیت حرارتی هر یک از جریان‌های سرد و گرم ($\text{Kw}/^\circ\text{C}$)
CP_h	حاصلضرب شدت جریان گرمی در ظرفیت حرارتی جریان گرم ($\text{Kw}/^\circ\text{C}$)
$\sum CP_{h,i}$	مجموع حاصلضرب شدت جریان گرمی در ظرفیت حرارتی جریان‌های گرم بازه i ($\text{Kw}/^\circ\text{C}$)
CP_c	حاصلضرب شدت جریان گرمی در ظرفیت حرارتی جریان سرد ($\text{Kw}/^\circ\text{C}$)
$\sum CP_{c,i}$	مجموع حاصلضرب شدت جریان گرمی در ظرفیت حرارتی جریان‌های سرد بازه i ($\text{Kw}/^\circ\text{C}$)
CP_{in}	حاصلضرب شدت جریان گرمی در ظرفیت حرارتی جریان ورودی به نقطه پینچ ($\text{Kw}/^\circ\text{C}$)
CP_{out}	حاصلضرب شدت جریان گرمی در ظرفیت حرارتی جریان خروجی به نقطه پینچ ($\text{Kw}/^\circ\text{C}$)
D	قطر برج (m)
D	ضرب نفوذ ($\frac{m^2}{s}$)
D	شدت جریان محصول بالای برج تقطیر (kmol/h)
D_{eff}	ضرب نفوذ موثر واکنشگر گازی در حفرات کاتالیست ($\frac{m^2}{s}$)
D_i, d_i	محصول بالای برج تقطیر i
d	قطر ذرات جامد (m)
d_p	قطر متوسط ذرات کاتالیست (nm)
d_p	قطر ذرات جامد (m)
d_p	قطر ذرات جامد (m)
E_i	شدت جریان گرمی فاز استخراج شده خروجی از مرحله i استخراج (Kg/s)
E_a	انرژی فعال‌سازی واکنش (J/mol)
F	شدت جریان گرمی خوراک استخراج (Kg/s)
F	شدت جریان حجمی خوراک (در غشا) ($\frac{m^3}{s}$)
$\hat{F}$	شدت جریان گرمی خوراک عاری از جزء حل‌شونده (Kg/s)

F_F	شدت جریان حجمی جریان خوراک غشا ($\frac{m^3}{s}$)
F_P	شدت جریان حجمی جریان تراوش یافته در غشا ($\frac{m^3}{s}$)
F_R	شدت جریان حجمی جریان باقیمانده خروجی از غشا ($\frac{m^3}{s}$)
$F_{l,in}$	شدت جریان مولی جزء l ورودی به راکتور (mol/s)
f_i	فیوگاسیته جزء i
f_i	خوراک برج تقطیر i
g	شتاب ثقل (m/s^2)
H	آنتالپی هر یک از جریان‌های سرد و یا گرم (Kw)
H	هیتز
H_i	ثابت هنری جزء i
ΔH	تغییر آنتالپی هر یک از جریان‌های سرد و یا گرم (Kw)
ΔH^0	اختلاف آنتالپی استاندارد واکنش در دمای استاندارد T^0 (Kw)
ΔH_{298}^0	اختلاف آنتالپی استاندارد واکنش در دمای $298 K$ (Kw)
ΔH_{cold}	مابقی سرمایش لازم برای جریان گرم، سطح تاسیسات سرد (Kw)
ΔH_{ex}	تبادل حرارتی جریان‌های سرد و گرم (Kw)
ΔH_{hot}	مابقی گرمایش لازم برای جریان سرد توسط تاسیسات گرم (Kw)
ΔH_i	حرارت خالص بازه دمایی i (Kw)
h	ارتفاع فاز پراکنده (مایع) در جدا کننده افقی (m)
i	تعداد یون‌های تشکیل شده در اثر تجزیه یونی جزء حل شونده
K	ثابت تعادل بخار-مایع در جذب و دفع، و یا فاز استخراج شده-پسماند
K	ثابت عددی محاسبه سرعت حد سقوط قطرات مایع در بخار (m/s)
K_i	ثابت تعادل جذب
K_a	ثابت تعادل واکنش
K_{a0}	ثابت تعادل واکنش در دمای T^0
k_t	ثابت سرعت واکنش i (واحد ثابت سرعت بستگی به مرتبه واکنش دارد)

k_0	ثابت عددی رابطه آرنیوس (واحد آن با واحد ثابت سرعت واکنش یکسان است)
L	شدت جریان مولی مایع در برج جذب، دفع، و یا تقطیر ($Kmol/s$)
L	ارتفاع یا طول ظرف جداکننده قطرات مایع (m)
m	جرم ذره (Kg)
m	شدت جریان جرمی هر یک از جریان‌های سرد و گرم (Kg/s)
N	تعداد مراحل (با سینی‌های) جداسازی در جذب، دفع، استخراج، و تقطیر
N	تعداد مول‌ها (در واکنش)
N	تعداد مراحل تعادلی تقطیر، جذب، دفع، و یا استخراج
N	تعداد اجزای (ترکیبات) یک مخلوط چند جزئی
N	تعداد ارایش‌های ممکن برای برج‌های تقطیر ساده
ΔN	اختلاف مول‌های واکنش مجموع مول‌های محصولات واکنش منهای مجموع مول‌های واکنشگرها
NC	تعداد اجزا
N_i	تعداد مول‌های جزء i
N_i	شار مولی جزء i در غشا ($\frac{Kmol}{m^2 s}$)
N_{min}	حداقل تعداد مراحل (با سینی‌های) تعادلی سطی
N_s	تعداد مول‌های جزء حل شونده
N_T	تعداد کل مول‌ها
N_h	تعداد جریان گرم
N_c	تعداد جریان سرد
P	فشار کل (bar)
ΔP	اختلاف فشار بین خوراک و جریان تراوش یافته غشا (bar)
P_F	فشار جریان خوراک غشا (bar)
P_P	فشار جریان تراوش یافته از غشا (bar)
P_t	فشار کل مخلوط گازی (bar)

$P_{M,i}$	تراوش پذیری جزء i در غشا ($\frac{Kmol}{m^2 bar s}$)
$\overline{P_{M,i}}$	تراوش جزء i در غشا ($\frac{Kmol}{m^2 bar s}$)
$p_{F,i}$	فشار جزیی جزء i در خوراک غشا (bar)
p_i	فشار جزیی جزء i (bar)
p_i^*	فشار بخار جزء i در دمای سیستم (bar)
$p_{P,i}$	فشار جزیی جزء i در جریان تراوش یافته غشا (bar)
Δp_i	اختلاف فشار جزء i در دو طرف غشاء (bar)
Q	شدت جریان حجمی (مایع) فاز پراکنده ($\frac{m^3}{s}$)
Q_C	شدت جریان حجمی (مایع) فاز پیوسته در استخراج ($\frac{m^3}{s}$)
Q_D	شدت جریان حجمی (مایع) فاز پراکنده در استخراج ($\frac{m^3}{s}$)
Q_E	حرارت جابجا شده در مارل شبکه مبدل‌های حرارتی برای ترمیم حداقل دمای نزدیک‌ترین جریانی سرد و گرم ($^{\circ}W$)
Q_i	بار حرارتی خالص بازه دمایی i ($^{\circ}W$)
q	گرمای نهان تبخیر مولی خوراک تقطیر (J/mol)
R	نسبت رفلاکس
R	ثابت جهانی گازها ($\frac{8.314 J}{mol K}$)
R_i	شدت جریان جرمی فاز پسماند خروجی از مرحله i استخراج (Kg/s)
R_{min}	حداقل رفلاکس
R	میزان بازیابی جزء A در غشا
r	شعاع ذره (m)
r	نسبت مولی خوراک راکتور
r	سرعت واکنش ($\frac{mol}{lit s}$)
r_i	سرعت واکنش i ($\frac{mol}{lit s}$)
S	ضریب دفع
S	سطح مقطع برج (m^2)

S	شدت جریان جرمی حلال استخراج (Kg/s)
$\dot{S}$	شدت جریان جرمی حلال عاری از جزء حل شونده در استخراج (Kg/s)
SR	پس زدن جزء حل شونده در غشا
T	دمای مطلق (K)
T_c	دمای جریان سرد ($^{\circ}C$)
$T_{c,pinch}$	دمای پینچ جریان سرد ($^{\circ}C$)
T_h	دمای جریان گرم ($^{\circ}C$)
$T_{h,pinch}$	دمای پینچ جریان گرم ($^{\circ}C$)
T_s	دمای اولیه هریک از جریانهای سرد و یا گرم ($^{\circ}C$)
T_t	دمای هدف هریک از جریانهای سرد و یا گرم ($^{\circ}C$)
T^0	دمای استاندارد ($^{\circ}C$)
ΔT_i	اختلاف دمایی (ابتدا و انتها) بار i ($^{\circ}C$)
ΔT_{min}	حداقل دمای نزدیکی جریان سرد و گرم در مبدل حرارتی ($^{\circ}C$)
t	زمان واکنش یا زمان ماند در رآکتور (s)
t	زمان شتابدار شدن ذره (s)
t_{set}	زمان ته نشینی قطرات (مایع) فاز پراکنده در جدا کننده افقی (s)
U_{trans}	سرعت ظاهری گاز در نقطه گذاری رژیم جریان در برج ستون جبابی (m/s)
u	سرعت جریان گاز (m/s)
u_{mb}	حداقل سرعت جبابی شدن بستر (m/s)
u_{mf}	حداقل سرعت سیالی شدن بستر (m/s)
u_{set}	سرعت ته نشینی یا سقوط قطرات (مایع) فاز پراکنده (m/s)
u_t	سرعت حد ته نشینی یا سقوط ذرات جامد در مایع (m/s)
u_t	سرعت حد ته نشینی یا سقوط فاز پراکنده (مایع) در فاز (مایع) پیوسته (m/s)
u_t	سرعت حد سقوط قطرات مایع در بخار (m/s)
u_t	سرعت آشفته (m/s)

V	حجم راکتور (m^3)
V	حجم گاز جذب شده در شرایط استاندارد (Kg/m^3)
V	شدت جریان مولی فاز بخار در برج جذب، دفع، و یا تقطیر ($Kmol/h$)
V	حجم حلال خالص (m^3)
V	شدت جریان مولی جریان گاز در برج جذب، دفع، و یا تقطیر ($Kmol/h$)
V	سرعت افقی فاز پراکنده (مایع) (m/s)
V_C	سرعت ظاهری فاز (مایع) پیوسته (m/s)
V_{CF}	سرعت ظاهری فاز (مایع) پیوسته در شرایط طغیان (m/s)
V_D	سرعت ظاهری فاز پراکنده (m/s)
V_{DF}	سرعت ظاهری فاز پراکنده در شرایط طغیان (m/s)
V_K	سرعت مشخصه در استخراج (m/s)
V_s	سرعت لغزش (m/s)
V_{small}	سرعت بالا رفتن حباب‌های کوچک در راکتور ستون حبابی (m/s)
W	وزن مایع جذب شده در واحد جرم جذب (m^3/Kg)
W_C	شدت جریان جرمی فاز پیوسته در استخراج (Kg/s)
W_D	شدت جریان جرمی فاز پراکنده در استخراج (Kg/s)
X	درصد تبدیل واکنش
X_i	درصد تبدیل جزء i در واکنش
X_E	درصد تبدیل تعادلی واکنش
$X_{E,i}$	درصد تبدیل تعادلی واکنش i
$\bar{X}_i$	جزء وزنی جزء حل شونده در جریان پسماند خروجی از مرحله i استخراج بر مبنای جریان عاری از جزء حل شونده
$\bar{X}_F$	جزء وزنی جزء حل شونده در خوراک استخراج بر مبنای خوراک عاری از جزء حل شونده
x	جزء مولی فاز مایع

x	جزء وزنی خوراک یا فاز پسماند در استخراج
x_i	جزء مولی جزء i
x_i	جزء وزنی جزء استخراج شونده در جریان پسماند خروجی از مرحله i استخراج
x_{Az}	ترکیب درصد (جزء مولی) خوراک آزنوتروپ دو جزئی
x_F	جزء وزنی جزء استخراج شونده در خوراک استخراج
x_L	جزء مولی جزء کلیدی سبک (در برج تقطیر)
x_H	جزء مولی جزء کلیدی سنگین (در برج تقطیر)
$x_{i,D}$	جزء مولی جزء i در محصول بالای برج تقطیر
$x_{i,F}$	جزء مولی جزء i در خوراک تقطیر
$x_{i,R}$	جزء وزنی جزء i در فاز پسماند
x_{in}	جزء مولی جزء سبک (در) شونده در مایع ورودی به برج
x_{out}	جزء مولی جزء جذب (یا غش) شونده در مایع خروجی از برج
$\bar{Y}_i$	جزء وزنی جزء حل شونده در جریان - لال خروجی از مرحله i استخراج بر مبنای جریان حلال عاری از جزء حل شونده
$\bar{Y}_s$	جزء وزنی جزء حل شونده در حلال (ورودی) استخراج بر مبنای حلال عاری از جزء حل شونده
y	جزء مولی فاز بخار
y	جزء وزنی جزء i در فاز استخراج شده
y_i	جزء مولی جزء i در مخلوط گازی
y_i	جزء وزنی جزء استخراج شونده در جریان استخراج شده خروجی از مرحله i استخراج
y_s	جزء وزنی جزء استخراج شونده در جریان حلال (ورودی) به برج یا واحد استخراج
$y_{i,E}$	جزء وزنی جزء i در فاز استخراج شده
$y_{F,i}$	جزء مولی جزء i در جریان خوراک غشا
$y_{P,i}$	جزء مولی جزء i در جریان تراوش یافته خروجی از غشا

$y_{R,i}$	جزء مولی جزء i در جریان باقیمانده خروجی از غشا
y_{in}	جزء مولی جزء جذب (یا دفع) شونده در بخار ورودی به برج
y_{out}	جزء مولی جزء جذب (یا دفع) شونده در بخار خروجی از برج

حروف یونانی

α	کسر حجمی گاز در مایع
$\alpha_{i,j}, \alpha$	فراریت نسبی جزء i و j در تقطیر
$\alpha_{i,j}, \alpha$	نسبت تراوش پذیری جزء i و j در غشا
$(\alpha_{LH})_{avg}$	میانگین فراریت نسبی جزء کلیدی سبک و سنگین
α_{trans}	کسر حجمی گاز در مایع - نقطه گذاری رژیم جریان
β	گزینش پذیری جزء نسبت جزء j
γ_i	ضریب فعالیت جزء i در فاز مایع
γ_{10}	افزایش سرعت واکنش به ازای ۱۰٪ افزایش دما در روش برتلو
δ	ضخامت لایه مرزی در اطراف بلور (n)
δ_M	ضخامت غشا (m)
ε	ضریب استخراج
ε	تخلخل ذرات کاتالیست (بدون بعد)
θ	عدد ثابت در رابطه آندروود
θ	جزء (یا درصد) خوراک تراوش یافته
$\emptyset$	موجودی فاز پراکنده در استخراج (بدون بعد)
$\emptyset$	معیار ویس - پراتر
μ	گرانروی فاز (پیوسته) مایع ($\frac{Kg}{m \cdot s}$)
μ_c	گرانروی فاز (پیوسته) مایع ($\frac{Kg}{m \cdot s}$)
μ_G	گرانروی گاز ($\frac{Kg}{m \cdot s}$)
ν_i	شدت جریان حجمی جزء i (m^3/s)
π	فشار اسمزی (bar)

$\Delta\pi$	اختلاف بین فشار اسمزی خوراک (غلظت) و محلول تراوش یافته (bar)
ρ_C	دانسیته فاز (پیوسته) مایع در استخراج مایع-مایع (Kg/m^3)
ρ_S	دانسیته ذرات جامد (Kg/m^3)
ρ_D	دانسیته فاز (پراکنده) مایع در استخراج مایع-مایع (Kg/m^3)
ρ_L	دانسیته فاز (پراکنده) مایع (Kg/m^3)
ρ_L	دانسیته فاز (پیوسته) مایع (Kg/m^3)
ρ_V	دانسیته فاز (پیوسته) بخار (Kg/m^3)
ρ_G	دانسیته گاز (Kg/m)
$\Delta\rho$	اختلاف دانسیته جامد و مایع (Kg/m^3)
σ	کشش سطح فاز مایع
τ	زمان ماند فاز (پراکنده) مایع در جدا کننده افقی (s)
τ	ضریب پیچش (بدون بعد)
τ	زمان ماند در راکتور (s)
ϕ_F	موجودی فاز پراکنده در شرایط طراحی
ϕ_i	ضریب فیوگاسیته جزء i
ω	سرعت زاویه‌ای چرخش ذره جامد (S^{-1})

زیر نویس

Az	آزنوتروپ
B, b	محصول پایین برج تقطیر
C	فاز پیوسته
D	فاز پراکنده در استخراج
D	محصول بالای برج تقطیر
E	فاز استخراج شده (در استخراج)
eff	موثر
F	شرایط طغیان

F	خوراک جداسازی
G, V	گاز
in	ورودی به راکتور یا برج
$i0$	جزء i در لحظه ۰
it	جزء i در لحظه t
K	(سرعت) مشخصه
L	مایع
N_p	مرحله آخر (برج)
out	خروجی از راکتور یا برج
P	جریان تراوس یافته در t
P, p	ذره جامد/قطره مایع
R	جریان باقیمانده (در غشا)
R	فاز پسماند (در استخراج)
S	حلال استخراج
set	شرایط ته نشینی قطره مایع یا ذره جامد در یک فاز پیوسته گاز یا مایع
t	مجموع (یا کل)
t	شرایط حدی سقوط قطره مایع یا ذره جامد در یک فاز پیوسته فاز نا مایع
1	مرحله اول (برج)

بالا نویس

0	شرایط استاندارد (معمولاً 25°C) برای محاسبه آنتالپی استاندارد
.	شرایط غاری از جزء حل شونده استخراج
*	حالت اشباع
*	بارامتر بدون بعد