بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
ایاک نعبد و ایاک نستعین اهدنا الصراط المستقیم
صراط الذین انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم
ولا الضالین

دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

عنوان:

بررسی اثر نوع ضربه و پارامترهای عملیاتی بر طغیان در ستون ضربه‌ای پرشده

نگارنده:

مهدی اسداله زاده

اساتید راهنما:

دکتر علی حقیقی اصل

دکتر سید جابر صفدری

استاد مشاور:

دکتر میثم تراب مستعدی

مهرماه ۱۳۸۹

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ و راهنماییهای پدرانـه و دلـسوزانه اسـاتید محتـرم جنـاب آقای دکتر علی حقیقی اصل ، جناب آقای دکتر سـید جـابر صـفدری و جنـاب دکتـر میـثم تـراب مستعدی در انجام پایـان نامـه خـویش، صـمیمانه سپاسـگزاری نمـایم و بـرای ایـن عزیـزان آرزوی سلامتی و موفقیت در تمام مراحل زندگی از خداوند منان مسئلت دارم.

همچنین در پایان، از دوست عزیزم جنـاب آقـای مهنـدس جـواد کـی پـور کـه در دوران تحـصیل زحمات زیادی را برای اینجانب متقبل شدند صمیمانه سپاسگزارم.

او کسی است که مرا آفرید و سپس هدایتم کرد.

و کسی است که به من غذا می دهد و مرا سیراب می کند.

و زمانی که مریض می شوم اوست که مرا شفا می دهد.

و کسی که می میراند مرا و سپس زنده می کند.

و او کسی است که امید آن دارم تا در روز قیامت گناهانم را ببخشد.

شعرا،آیات ۷۸ الی ۸۲

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنان که ذره ذره ی وجودم در آنها خلاصه می شود.

آنان که فروغ نگاهشان،گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودانی زندگی من است.

و تمام موفقیت هایم را مدیون دعای خیرشان که همواره بدرقه راهم بوده است می دانم.

در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می زنم و با دلی مملو از عشق،محبت و خضوع بر دستشان بوسه می زنم.

چکیده

ستون‌های ضربه‌ای پرشده یکی از دستگاه‌های مهم مورد استفاده در استخراج مایع- مایع می‌باشند که به خاطر راندمان بالا و فضای کم مورد نیاز، در صنایع هسته‌ای،دارویی،پتروشیمی و غذایی کاربرد فراوان یافته‌اند.

در این پروژه با استفاده از یک ستون ضربه‌ای پرشده با مقیاس نیمه صنعتی، مطالعاتی در زمینه اثر پارامترهای عملیاتی بر روی طغیان در چهار سیستم تولوئن-آب، کروزن-آب، بوتیل استات-آب و نرمال بوتانول-آب صورت گرفت. پارامترهای بررسی شده در آزمایش‌ها عبارتند از: نوع ضربه، نسبت فاز پراکنده به پیوسته، کشش بین سطحی، شدت ضربه و همچنین اثر جنس پرکن که اثر آنها بر سرعت‌های طغیان و همچنین میزان موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج نشان داد که حداکثر ظرفیت ستون با افزایش نسبت فازها و هنگام استفاده از پرکن سرامیکی و همچنین با افزایش شدت ضربه کاهش می‌یابد. با افزایش کشش بین سطحی سرعت رسیدن به نقطه طغیان افزایش و میزان موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان کاهش می یابد.

همچنین هنگام تغییر نوع ضربه و اعمال شدت ضربه‌های متفاوت هنگام رفت و برگشت مایع به ستون، با افزایش ظرفیت در ستون همراه هستیم.

در انتها رابطه‌ای تجربی برای پیش‌بینی سرعت طغیان و موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان درون ستون بر اساس خصوصیات فیزیکی سیستم و متغیرهای عملیاتی ارائه گردید. مقایسه داده‌های تجربی و مقادیر محاسبه شده برای سرعت طغیان و موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان نشان می‌دهد که این رابطه قادر به پیش‌بینی خوب داده‌های تجربی (با خطای کمتر از ۱۰٪) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: طغیان، کشش بین سطحی، نوع ضربه، پرکن، ستون ضربه‌ای پرشده

فهرست مطالب

فصل اول: استخراج مایع- مایع ۱

۱-۱- استخراج مایع- مایع ۲

۱-۲- تجهیزات استخراج ۳

۱-۳- استخراج کننده‌های ستونی ۵

۱-۳-۱- ستون‌های بدون همزن ۵

۱-۳-۱-۱- ستون‌های پاششی ۵

۱-۳-۱-۲- ستون‌های پر شده ۵

۱-۳-۱-۳- ستون‌های سینی‌دار ۶

۱-۳-۲- ستون‌های ضربه‌ای ۷

۱-۳-۳- ستون‌های با همزن مکانیکی ۸

۱-۳-۳-۱- تماس دهنده‌های با دیسک چرخان ۹

۱-۳-۳-۲- تماس دهنده‌های ORC ۹

۱-۳-۳-۳- تماس دهنده‌های ARD ۱۰

۱-۳-۳-۴- تماس دهنده‌های باران زا ۱۱

۱-۴- تماس دهنده‌های سانتریفیوژی ۱۲

۱-۴-۱- استخراج کننده پادبیلنیاک ۱۳

۱-۴-۲- استخراج کننده دلاوال ۱۳

۱-۴-۳- استخراج کننده وستفالیا ۱۴

۱-۵- میکسر- ستلر ۱۴
۱-۵-۱- میکسر- ستلر عمودی ۱۵
۱-۵-۲- میکسر- ستلر افقی ۱۶
۱-۶- انتخاب دستگاه استخراج ۱۷
۱-۷- انتخاب سیستم شیمیایی جهت تحقیقات استخراج مایع – مایع ۲۰
۱-۸- استفاده از ضرایب انتقال جرم در طراحی ستون استخراج مایع ۲۱
۱-۹- جایگاه استخراج مایع– مایع در صنعت هسته‌ای ۲۲
۱-۱۰- چرخه‌های سوخت هسته‌ای ۲۴
۱-۱۰-۱- چرخه سوخت رآکتورهای با سوخت اورانیوم ۲۳۵ ..... ۲۴
۱-۱۰-۲- چرخه سوخت راکتورهای با سوخت اکسید ایزوتوپ پلوتونیوم ۲۳۹ ..... ۲۵
فصل دوم: ستون‌های ضربه‌ای ۲۸
۲-۱- ستون‌های ضربه‌ای ۲۹
۲-۲- اجزاء برج استخراج ضربه‌ای پرشده ۳۰
۲-۲-۱- پوسته ۳۱
۲-۲-۲- آکنه ۳۱
۲-۲-۲-۱- آکنه‌های نامنظم ۳۲
۲-۲-۲-۲- آکنه‌های ساختار یافته ۳۴
۲-۲-۲-۳- مزایای استفاده از آکنه ۳۵
۲-۲-۳- محافظ آکنه‌ها ۳۶

۲-۲-۴- توزیع کننده ۳۶
۲-۲-۵- ضربان ساز ۳۷
۲-۳- شرح فرایند برج ضربه‌ای پرشده ۴۰
فصل سوم: هیدرودینامیک و انتقال جرم در ستون‌های پرشده ضربه‌ای ۴۴
۳-۱- هیدرودینامیک ستون‌های پرشده ضربه‌ای ۴۵
۳-۱-۱- اندازه قطرات ۴۵
۳-۱-۱-۱- اندازه قطره ۴۵
۳-۱-۲- اندازه قطره در ستون‌های ضربه‌ای ۴۶
۳-۱-۳- اندازه قطره در ستون پرشده ۵۰
۳-۱-۴- موجودی(انباشت) فاز پراکنده ۵۸
۳-۱-۴-۱- سرعت لغزش ۶۱
۳-۱-۴-۲- سرعت مشخصه ۶۲
۳-۱-۴-۳- طغیان ۶۵
۳-۱-۵- رژیم‌های عملیاتی ۶۹
۳-۲- انتقال جرم در ستون‌های ضربه‌ای پرشده ۷۰
۳-۲-۱- تاثیر شدت‌های جریان بر عملکرد انتقال جرم ۷۲
۳-۲-۲- تاثیر فرکانس و دامنه ضربه بر عملکرد انتقال جرم ۷۲
۳-۲-۳- مکانیزم تأثیر انتقال جرم برروی عملکرد ستون استخراج ۷۴
۳-۲-۳-۱- تاثیر انتقال جرم بر روی موجودی فاز پراکنده ۷۴

۳-۲-۳-۲- بررسی اثر انتقال جرم برروی شکست قطرات ۷۵

۳-۲-۳-۳- بررسی اثر انتقال جرم روی بهم پیوستن قطرات ۷۶

۳-۲-۳-۴- تعریف پدیده مارانگونی ۷۷

فصل چهارم: شرح دستگاه و نحوه انجام آزمایش‌ها ۸۰

۴-۱- شرح دستگاه..... ۸۱

۴-۲- روش پیش ر اه‌اندازی سیستم و انجام آزمایشات ۹۰

۴-۲-۱- کالیبراسیون دستگاه ۹۰

۴-۲-۲- پر کردن برج از آکنه و اندازه‌گیری فضای تهی برج ۹۰

۴-۲-۳- مراحل لازم برای انجام هر آزمایش ۹۱

۴-۳- روش‌های اندازه‌گیری نقطه طغیان ۹۲

۴-۳-۱- روش دیداری در نقطه خروجی:..... ۹۲

۴-۳-۲- روش اندازه‌گیری اختلاف فشار: ۹۲

۴-۴- روش‌های اندازه‌گیری موجودی فاز پراکنده..... ۹۲

۴-۴-۱- انواع روش‌های اندازه‌گیری موجودی فاز پراکنده..... ۹۳

۴-۵- تعیین حالت طغیان در آزمایش‌ها ۹۴

۴-۶- مواد مصرفی ۹۴

فصل پنجم: نتایج و بحث..... ۹۵

۵-۱- نتایج ۹۶

۵-۱-۱- اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر سرعت طغیان و موجودی فا ز پراکنده در نقطه طغیان ۹۶

۵-۱-۲- اثر کشش بین سطحی بر سرعت طغیان و موجودی پراکنده در نقطه طغیان..... ۱۰۱

۵-۱-۳- اثر تغییرجنس پرکن بر سرعت طغیان و موجودی پراکنده در نقطه طغیان ۱۰۲

۵-۱-۴- اثر نوع ضربه بر سرعت طغیان و موجودی پراکنده در نقطه طغیان..... ۱۰۶

۵-۱-۵- بررسی و مقایسه داده‌های تجربی با روابط ارائه شده در ستون‌های ضربه‌ای پر شده ۱۱۰

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۱۶

۶-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۱۷

۶-۲- پیشنهادات ۱۱۹

مراجع و منابع ۱۲۰

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) ستون استخراجی پاششی ۶

شکل (۱-۲) ستون استخراجی پرشده ۶

شکل (۱-۳) ستون سینی‌دار ۷

شکل (۱- ۴) ستون ضربه‌ای ۸

شکل (۱ -۵) ستون تماس دهنده RDC ۱۰

شکل (۱- ۶) ستون تماس دهنده ORC ۱۰

شکل (۱ -۷) ستون تماس دهنده ARD ۱۱

شکل (۱-۸) ستون تماس دهنده سطحی باران‌زا ۱۲

شکل (۱ -۹) استخراج کننده پادبیلنیاک ۱۳

شکل (۱ -۱۰) استخراج کننده دلاوال ۱۴

شکل (۱ -۱۱) نمونه‌ای از یک میکسر-ستلر افقی ۱۵

شکل (۱ -۱۲) مقایسه هزینه تماس دهنده‌ها بر حسب ظرفیت‌های عملیاتی مختلف ۱۸

شکل (۱-۱۳) تعداد واحدها در هر متر بر حسب ظرفیت کل ۱۹

شکل (۱-۱۴) مراحل عملیاتی تهیهٔ اکسیداورانیوم ۲۶

شکل (۱-۱۵) مراحل عملیاتی باز فراوری پلوتونیوم در روش Purex ۲۷

شکل (۲-۱) قسمت‌های مختلف یک ستون ضربه‌ای پرشده ۳۱

شکل(۲-۲) حلقه راشیگ ۳۳

شکل(۲-۳) آکنه زین اسبی ۳۳

شکل(۲-۴) حلقه های پال ۳۴

شکل(۲-۵) چند نمونه آکنه ساختار یافته ۳۴

شکل (۲-۶) روش‌های مختلف تولید ضربه ۳۹

شکل(۳-۱) منحنی طغیان ستون ضربه‌ای ۷۰

شکل(۳-۲) تاثیر غلظت جزء منتقل شونده بر روی کشش بین فازی دو فاز آب و تولوئن ۷۵

شکل(۳-۳) نیروی وارده بر قطره هنگام انتقال جرم از فاز پیوسته به پراکنده..... ۷۵

شکل(۳-۴) نیروی وارده بر قطره هنگام انتقال جرم از فاز پراکنده به فاز پیوسته ۷۶

شکل(۳-۵) توضیح انتقال جرم از فاز پیوسته به پراکنده با استفاده از پدیده مارانگونی ۷۸

شکل(۳-۶) توضیح انتقال جرم از فاز پراکنده به پیوسته با استفاده از پدیده مارانگونی ۷۹

شکل(۴-۱) نمایی از دستگاه مورد استفاده در آزمایشات ۸۲

شکل(۴-۲) نمایی از قسمت فعال دستگاه و شیرهای نمونه‌گیری قرار گرفته بر روی آن ۸۳

شکل(۴-۳) نمایی از قسمت ته‌نشین پایین دستگاه و آبنمای قرار گرفته بر روی آن ۸۴

شکل(۴-۴) نمایی از شیر برقی که در مسیر خروجی فاز پیوسته قرار گرفته است ۸۵

شکل(۴-۵) نمایی از ته‌نشین‌کننده بالای برج، سنسورهای نوری و خط پالس بالای برج ۸۷

شکل(۴-۶) نمایی از کمپرسور مورد استفاده ۸۸

شکل(۴-۷) نمایی از آکنه ای از جنس فولاد ضد زنگ در قسمت فعال ستون ۸۹

شکل(۴-۸) نمایی از آکنه ای از جنس سرامیکی در قسمت فعال ستون..... ۸۹

شکل(۵-۱) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر سرعت طغیان در سیستم تولوئن- آب... ۹۷

شکل(۵-۲) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر موجودی فاز پراکنده در نقطه ظغیان در سیستم تولوئن- آب ۹۷

شکل(۵-۳) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر سرعت طغیان در سیستم کروزن- آب ..۹۸

شکل(۵-۴) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر موجودی فاز پراکنده در نقطه ظغیان در سیستم کروزن- آب ۹۸

شکل(۵-۵) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر سرعت طغیان در سیستم بوتیل استات- آب ۹۹

شکل(۵-۶) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر موجودی فاز پراکنده در نقطه ظغیان در سیستم بوتیل استات- آب ۹۹

شکل(۵-۷) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر سرعت طغیان در سیستم نرمال بوتانول- آب..... ۱۰۰

شکل(۵-۸) اثر شدت ضربه و نسبت دبی فاز پراکنده به فاز پیوسته بر موجودی فاز پراکنده در نقطه ظغیان در سیستم نرمال بوتانول– آب ۱۰۰

شکل(۵-۹) اثر کشش بین سطحی بر سرعت طغیان ۱۰۲

شکل(۵-۱۰) اثر کشش بین سطحی بر موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان ۱۰۲

شکل(۵-۱۱) نتایج حاصل از به کارگیری پرکن سرامیکی بر سرعت طغیان..... ۱۰۴

شکل(۵-۱۲) مقایسه بین اثر پرکن از جنس فولاد ضد زنگ با پرکن سرامیکی بر سرعت طغیان ۱۰۴

شکل(۵-۱۳) نتایج حاصل از به کارگیری پرکن سرامیکی بر موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان..... ۱۰۵

شکل(۵-۱۴) مقایسه بین اثر پرکن از جنس فولاد ضد زنگ با پرکن سرامیکی بر موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان ۱۰۵

شکل(۵-۱۵) اثر نوع ضربه بر سرعت طغیان در سیستم تولوئن- آب ۱۰۷

شکل(۵-۱۶) اثر نوع ضربه بر موجودی فاز پراکنده در سیستم تولوئن- آب ۱۰۸

شکل(۵-۱۷) بررسی تغییر نوع ضربه در حالت $af_{برگشت} > af_{رفت}$ بر سرعت طغیان در سیستم تولوئن- آب ... ۱۰۸

شکل (۵-۱۸) بررسی تغییر نوع ضربه در حالت $af_{برگشت} > af_{رفت}$ بر موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان در سیستم تولوئن-آب ۱۰۸

شکل(۵-۱۹) بررسی تغییر نوع ضربه در حالت $af_{برگشت} < af_{رفت}$ بر سرعت طغیان در سیستم تولوئن- آب ... ۱۰۹

شکل(۵-۲۰) بررسی تغییرنوع ضربه در حالت $af_{برگشت} < af_{رفت}$ بر موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان در سیستم تولوئن-آب ۱۰۹

شکل(۵-۲۱) مقایسه داده‌های تجربی با مقادیر محاسبه شده سرعت در نقطه طغیان در کلیه سیستم‌ها ۱۱۳

شکل(۵-۲۲) مقایسه داده‌های تجربی با مقادیر محاسبه شده موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان در کلیه سیستم‌ها ۱۱۳

شکل(۵-۲۳) مقایسه سرعت در نقطه طغیان پیش‌بینی شده با داده‌های تجربی ۱۱۵

شکل(۵-۲۴) مقایسه موجودی فاز پراکنده در نقطه طغیان پیش‌بینی شده با داده‌های تجربی ۱۱۵

فهرست جداول

جدول (۱-۱) تجهیزات استخراج مایع – مایع، ویژگی اصلی و کاربردهای صنعتی آنها ۲۰

جدول (۳-۱) معادلات پیشنهاد شده برای تعیین قطر متوسط قطرات در ستون‌های پرشده و ستون‌های ضربه‌ای ۵۲

جدول (۳-۲) معادلات مختلف جهت پیش‌بینی هلداپ ۶۰

جدول(۳-۳) ثوابت معادلات (۳-۲۴) و (۳-۲۵) ۶۴

جدول (۳-۴) انواع رژیم‌های عملیاتی..... ۶۹

جدول (۳-۵) اثر انتقال جرم بر ائتلاف قطرات ۷۷

جدول (۴-۱) خواص فیزیکی سیستم‌های مورد استفاده در دمای محیط ۹۴

جدول (۵-۱) مقایسه بین داده‌های تجربی و مقادیر پیش بینی شده از معادله ریچاردسون زکی ۱۱۱

فهرست علائم ونشانه‌ها

نشانه	توضیحات	واحد
A_0	مساحت سطح یک کره هم حجم با قطره	m^2
A_p ،a	دامنه ضربه	m
a	سطح ویژه بین فازی	m^2 / m^3
a_p	سطح ویژه انتقال جرم	m^2 / m^3
Bo	عدد بیوت	Dimensionless
C، C_0 ، C_1 ، C_2 ، C_3 ، C_4 ، C_ψ	ثوابت تجربی معادلات	Dimensionless
C_4	مقادیر ثابت پرکن	Dimensionless
c_0	ضریب اریفیس	Dimensionless
c_D	ضریب درگ	Dimensionless
c_x	ثابت هلدآپ	Dimensionless
D	ضریب نفوذ	m^2 / s
D_0	قطر سوراخهای سینی	cm
D_c	ضریب نفوذ فاز پیوسته	m^2 / s
D_d	ضریب نفوذ فاز پراکنده	m^2 / s
d	قطر قطره	m
d_0	قطر قطره در غیاب ضربه	m
d_{stable}	قطر پایدار قطره	m

d_p	قطر آکنه یا فاصله بین سوراخها	m
d_{32}	قطر متوسط ساتر	m
e	تخلخل بستر پرشده یا درصد مساحت آزاد سوراخهای سینی	Dimensionless
ε	انرژی پراکندگی موضعی درواحد جرم	m^2/s^3
ε ، ε_D	موجودی فاز پراکنده	Dimensionless
f	فرکانس ضربه	$1/s$
g	شتاب ثقل	m/s^2
H	طول ستون	(m)
HDU	ارتفاع یک واحد نفوذ	(m)
$HETS$	ارتفاع معادل یک مرحله تئوری	(m)
HTU	ارتفاع یک واحد انتقال	(m)
$(HTU)_p$	ارتفاع واحد انتقال با فرض اینکه دو فاز بصورت جریان پلاگ در طول ستون جریان یابند.	(m)
Δl	افت فشار ژئواستاتیکی ستون زمانی که هر دو فاز جریان دارند	(m)
$\Delta l'$	افت فشار ژئواستاتیکی ستون زمانی که فقط فاز پیوسته جریان دارد	(m)
m	شیب منحنی تعادلی	–
NTU	تعداد واحدهای انتقال	–
N_{Re}	عدد رینولدز	Dimensionless
n	تعداد قطرات یا نما	Dimensionless

n_i	تعداد قطرات دستهi ام	Dimensionless
P	فشار	Pa
Pe	عدد پکلت	Dimensionless
PPC	برج استخراج ضربه ای پرشده	-
Q_c	دبی حجمی فاز پیوسته	m^3/s
Q_d	دبی حجمی فاز پراکنده	m^3/s
r	نسبت دبی حجمی فاز پراکنده به پیوسته	Dimensionless
Re	عدد رینولدز	Dimensionless
Re_d	عدد رینولدز قطره	Dimensionless
t	مدت زمان اقامت فاز پراکنده در ستون	s
u	سرعت	m/s
U_s	سرعت لغزشی	m/s
V_c	سرعت ظاهری فاز پیوسته	m/s
V_d	سرعت ظاهری فاز پراکنده	m/s
V_{cf}	سرعت طغیان فاز پیوسته	m/s
V_{df}	سرعت طغیان فاز پراکنده	m/s
V_k or V_0	سرعت مشخصه قطره	m/s
V_s or V_{slip}	سرعت لغزشی قطرات	m/s
V_T ، V_t	سرعت حدی قطره	m/s
ν	ویسکوزیته سینماتیک	m^2/s

We	عدد بدون بعد وبر $We = \frac{v_d^2 d_k \Delta\rho}{\sigma}$	Dimensionless
λ	نسبت ویسکوزیته فازها	Dimensionless
μ_c	ویسکوزیته فاز پیوسته	kg/m.s
μ_d	ویسکوزیته فاز پراکنده	kg/m.s
ρ_c	جرم حجمی فاز پیوسته	kg/m^3
ρ_d	جرم حجمی فاز پراکنده	kg/m^3
ρ_m	جرم حجمی مخلوط دو فاز	kg/m^3
ρ^* ،ρ_w	جرم حجمی آب	kg/m^3
$\Delta\rho$	اختلاف دانسیته دو فاز	kg/m^3
σ or γ	کشش بین فازی	N/m
γ^* ،γ_w	کشش سطحی آب	N/m
ϕ	موجودی فاز پراکنده	Dimensionless
ϕ_f	موجودی فاز پراکنده درنقطه طغیان	Dimensionless
c→d	انتقال جرم از فاز پیوسته به فاز پراکنده	Dimensionless
d→c	انتقال جرم از فاز پراکنده به فاز پیوسته	Dimensionless