بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه هرمزگان

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجۀکارشناسی ارشددر رشتۀ مهندسی مکانیک(تبدیل انرژی)

عنوان:

بررسی آزمایشگاهی فرآیند خشک کردن در یک بستر سیالیده

استاد راهنما :

دکتر جمشید خورشیدی مال احمدی

استاد مشاور :

دکتر علی کارگری

نگارش:

حسن داوری

شهریور ۱۳۹۰

چکیده:

برای مدلسازی آزمایشگاهی فرآیند خشک کردن و بررسی انتقال حرارت در خشک کن بستر سیال یک دستگاه آزمایشگاهی راه اندازی گردید که در آن ذرات جامد با هوا به صورت سیالیده در می آیند.ذره جامد مورد استفاده در این پژوهش دانه روغنی کلزابوده که با قطر میانگین حدود ۲ میلیمتر متعلق به گروهD طبقه بندی گلدارت می باشد.کلیه دستگاهها و ابزار اندازه گیری توسط دستگاههای پیشرفته ابزار دقیق در شرکت ملی پالایش گاز هرمزگان کالیبره شده و تست DSC برای اندازه گیری ظرفیت حرارتی ویژه بذر در آزمایشگاه آنالیز حرارتی پژوهشکده پتروشیمی ایران انجام گرفت.در هر آزمایش با ثابت نگه داشتن دما در مقطع ورودی به بستر، دمای فاز جامد و دمای گاز خروجی در طول زمان به دقت اندازه گیری و ثبت شد.با توجه به معادلات مدلسازی سه فازیو با بکارگیری داده های آزمایشگاهی رابطه ای برای پیش بینی ضریب انتقال حرارت بین فاز جامد و فاز گاز درون شبکه ای ارائه شده است. در نهایت داده های آزمایشگاهی برداشت شده مربوط به دمای فاز جامد و دمای گاز خروجی از بستر با نتایج حاصل از مدلسازی عددی که همان حل دستگاه معادلات دیفرانسیل مدلسازی سه فازی است مقایسه گردیده که انطباق بسیار خوبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی وجود دارد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد سرعت انتقال حرارت در شروع سیالیت بسیار بالا می باشد.لازم به ذکر است در پژوهش های دیگران مقدار ظرفیت حرارتی ویژه بذر ثابت فرض شده اما در این پژوهش این پارامتر به عنوان تابعی از دمای ذرات جامد می باشد. همچنین دیگر محققان برای محاسبه تخلخل و سرعت فاز حباب از معادلات مربوط به مدلسازی دو فازی استفاده کرده اند که در این پژوهش این پارامترها با روابط جدیدتری اصلاح گردیده اند.

پیش گفتار:

سیالیت پدیده ای است که در آن ذرات جامد در یک گاز یا مایع به حالت شناور در آمده و به صورت مخلوط در می آیند.این پدیده دارای کاربردهای متعدد و فراوانی در اغلب صنایع پتروشیمی، شیمیایی ، دارویی، کشاورزی و .... می باشد عمده ترین مزیت بسترهای سیال که باعث کاربرد فراوان آن در صنایع مختلف شده بالا بودن ضرایب انتقال حرارت و انتقال جرم به دلیل نحوه ارتباط میان ذرات جامد و گاز می باشد.علم مهندسی سیال سازی یک علم نوپا و جوانی بوده که در طول ۸۰ سال گذشته رفته رفته کامل شده و پژوهش های فراوانی توسط محقیقن زیادی از علوم مهندسی در این زمینه صورت گرفته است.نکته قابل توجه در تمام این پژوهش ها اتکای بسیار زیاد این علم بر روابط تجربی و آزمایشگاهی است و اغلب روابطی که امروزه برای مدلسازی و محاسبه خصوصیات بسترهای سیال بکار می رود بر مبنای آزمایشات متعدد تجربی استوار است.

یکی از عمده ترین کاربردهای این پدیده در خشک کردن موادی است که شکل دانه ای دارند. این مواد ممکن است در ابعاد متفاوتی از اندازه و شکل هندسی باشند و یقیناً شکل هندسی و ابعاد ذرات تاثیر مستقیم بر این پدیده دارد. کاربرد خشک کن های بستر سیال در عملیات شیمیایی و دارویی به حدود ۵ دهه گذشته بر می گردد اما حدود ۲ دهه است که این خشک کنها در صنایع کشاورزی و تبدیلی نیز رواج یافته اند.

هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی مکانیزم انتقال حرارت و نحوه تغییرات دما در خشک کن های بستر سیال می باشد و در ۵ فصل به بررسی این موضوع پرداخته شده است.

در فصل اول که مقدمه ای بر پدیده سیالیت و معرفی این پدیده می باشد به شرح و بررسی روابط تئوری و تجربی مربوط به این پدیده پرداخته شده است.

نکته قابل توجه در این است که روابط بسیار متعدد و متنوعی برای محاسبه خصوصیات بسترهای سیال عنوان شده است که هر رابطه در شرایط خاصی مورد استفاده قرار می گیرد که بایستی در طراحی و مدلسازی بسترهای سیال با توجه به شرایط رابطه مناسب انتخاب گردد.

در فصل دوم قسمتی از پژوهشها و مطالعات انجام گرفته توسط دیگر محققین آمده است و در انتهای فصل نیز به طور جامع و کامل به بررسی اهداف این پژوهش پرداخته شده است.

در فصل سوم که با عنوان مواد و روشها نامگذاری شده است در خصوص دستگاه آزمایشگاهی استفاده شده و قسمتهای مختلف آن ، شرایط انجام آزمایشات ، معادلات مدلسازی عددی و نحوه محاسبه ضرایب مربوط به این معادلات بحث شده است .

و در فصل چهارم نیز نتایج مربوط به این پژوهش که همان داده های برداشت شده آزمایشگاهی برای دماها ، روابط مربوط به ضریب انتقال حرارت و خروجی های مدلسازی عددی است آمده است و در فصل انتهایی نیز مقایسه ای میان روشهای عددی و آزمایشگاهی برای بررسی صحت مدلسازی انجام گرفته است. در بخش پایانی نیز پیشنهاداتی برای افرادی که علاقمند به انجام پژوهشهای مرتبط با بحث سیالیت هستند آمده است.

تقدیر و تشکر

اکنون که این کار به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم که با نهایت خضوع از افراد و سازمانهای ذیل که اینجانب را در انجام این پایان نامه یاری رساندند تقدیر و تشکر نمایم:

۱- از جناب آقای دکتر خورشیدی که به عنوان استاد راهنما در تمامی مراحل این پایان نامه، نهایت همکاری را با اینجانب داشته اند

۲- از سایر اساتید محترم گروه مکانیک دانشگاه هرمزگان آقایان دکتر بخشان، دکتر نیازی و دکتر میرزائی که از راهنمایی ها و مشاوره های ایشان در طول انجام این پایان نامه استفاده کرده ام .

۳- از جناب دکتر صمصام پور رییس بنیاد نخبگان استان که با اینجانب همکاریهای خوبی داشته اند.

۳- از خانواده عزیزم که با حمایت همه جانبه خود پیمودن این راه دشوار را بر من آسان نمودند.

۴- از جناب آقای مهندس پروین مسئول واحد تعمیرات و آقای مهندس جعفری مسئول بخش ابزار دقیق شرکت ملی گاز قشم و سرخون که در زمینه راه اندازی دستگاه و انجام آزمایشات این پژوهش همکاری صمیمانه ای با اینجانب داشته اند.

۵- از موسسه تحقیقات نهال وبذر وزارت جهاد کشاورزی و همچنین مرکز تحقیقات کشاورزی هرمزگان که همکاری بسیار خوبی با اینجانب داشته اند

۶- از آزمایشگاه آنالیز حرارتی پژوهشکده پتروشیمی ایران که در انجام پاره ای از آزمایشات با اینجانب همکاری داشته اند.

۷- از شرکتهای البرز شیمی و آزمون متمم که در تهیه وسایل مورد نیاز اینجانب را یاری نمودند.

۶- از کلیه دانشجویانی که در پیشبرد این پایان نامه با اینجانب همکاری داشته اند بالاخص خانم مهندس ده بزرگی و آقای مهندس محملی و مهندس نادری پور تقدیر و تشکر می نمایم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ای بر پدیده سیالیت

۱-۱: تاریخچه خشک کردن و انواع خشک کن ۲

۱-۱-۱: خشک کن افشانه ای ۳

۱-۱-۲: خشک کن تصعیدی ۴

۱-۱-۳:خشک کن های جابجایی ۴

۱-۱-۴: خشک کردن با میکروویو ۴

۱-۱-۵:خشک کردن صوتی ۵

۱-۱-۶: بخار داغ ۵

۱-۲:معرفی پدیده سیالیت ۷

۱-۲-۱: تعریف سیالیت ۷

۱-۲-۱-۱بستر رقیق و متراکم ۹

۱-۲-۲ انواع رژیم های سیالیت ۱۰

۱-۲-۳خصوصیات مایع مانند بسترهای سیال گاز- جامد ۱۲

۱-۲-۴: مزایا و معایب بسترهای سیال برای عملیات صنعتی: ۱۳
۱-۲-۴-۱: مزایا ۱۳
۱-۲-۴-۲: معایب ۱۴
۱-۲-۵: کاربردهای بستر سیال ۱۵
۱-۲-۵-۱: کاربردهای بستر سیال مرتبط با این پژوهش ۱۵
۱-۲-۵-۱-۱ خشک کردن جامد: ۱۶
۱-۲-۵-۱-۲ :مبادله حرارت ۱۷
۱-۲-۵-۲ :سایر کاربردهای بستر سیال ۱۸
۱-۲-۵-۲ -۱ : تولید گاز از ذغالسنگ ۱۸
۱-۲-۵-۲ -۲ : تولید بنزین از مشتقات دیگر نفت خام ۱۹
۱-۲-۵-۲ -۳ : تولید بنزین از گازهای طبیعی و مصنوعی ۲۰
۱-۲-۵-۲ -۴ : روکش کردن اشیای فلزی با پلاستیک ۲۰
۱-۲-۵-۲ -۵ : واکنش های شیمیایی ۲۱
۱-۲-۵-۲ -۶ : شکستن هیدروکربن ها ۲۱
۱-۲-۵-۲ -۷ : بیوسیالیت ۲۲
۱-۳:خصوصیات ذرات ۲۳
۱-۳-۱: قطر موثر و ضریب کرویت ۲۴
۱-۳-۱-۱: محاسبه مستقیم با استفاده از روابط هندسی: ۲۳
۱-۳-۱-۲: برآورد اندازه ذرات با استفاده از تجزیه غربالی ۲۶

۱-۳-۱-۳: روش آزمایشگاهی ۲۷
۱-۳-۲: دانسیته ۲۸
۱-۳-۲-۱ : دانسیته حقیقی ۲۸
۱-۳-۲-۲ : دانسیته ظاهری ۲۸
۱-۳-۲-۳ : دانسیته حجمی (bulk) یا دانسیته توده ۲۹
۱-۳-۳ : زبری ۳۰
۱-۴: محاسبه خصوصیات بسترهای سیال ۳۲
۱-۴-۱: تخلخل ۳۲
۱-۴-۱-۱: تخلل بستر در حداقل سیالیت ۳۲
۱-۴-۲:حداقل سرعت سیالیت ۳۴
۱-۴-۳ : نمودار افت فشار در مقابل سرعت ۳۷
۱-۴-۴: طبقه بندی رژیم های سیالیت گازی ۳۸
۱-۴-۴-۱: طبقه بندی گلدارت ۳۹
۱-۵: خصوصیات بسترهای سیال حبابی ۴۴
۱-۵-۱:مقایسه بسترهای سیال حبابی گاز- جامد با یک مایع حبابی ۴۴
۱-۵-۲: مدلسازی بسترهای سیال حبابی ۴۵
۱-۵-۳: تاثیر فشار روی خواص بستر ۴۶
۱-۵-۴: تاثیر دما بر خصوصیات بسترهای سیال حبابی ۴۷
۱-۵-۵: جریان گاز حباب: ۴۹

۱-۵-۶:اندازه حباب ۴۹
۱-۵-۶-۱:اندازه حبابها بالای پخش کن ۵۰
۱-۵-۶-۲:اندازه حبابها در طول ارتفاع بستر ۵۰
۱-۵-۷: سرعت صعود حبابها ۵۴
۱-۵-۷-۱: سرعت صعود حباب منفرد ۵۴
۱-۵-۷-۲:سرعت صعود حبابها ۵۵
۱-۵-۸:کسر حجمی حباب ۵۶
۱-۵-۹: روابط عمومی بین خواص بستر ۵۷
فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین و اهداف این پژوهش
۲-۱: مروری بر پژوهش های پیشین ۵۹
۲-۲: اهداف این پژوهش ۶۷
۲-۲-۱ :مدلسازی آزمایشگاهی و هدف از آن در این پژوهش ۶۸
فصل سوم: مواد و روشها
۳-۱:بذر مورد استفاده (دانه روغنی کلزا) ۷۱
۳-۲: دستگاه مورد استفاده ۷۵
۳-۲-۱: قسمتهای بکار رفته در دستگاه آزمایشگاهی ۷۸
۳-۳ : آزمایشات انجام شده ۸۹
۳-۴ :معادلات مدلسازی عددی ۸۹
۳-۴-۱:معادلات اصلی ۸۹

۳-۴-۲:شرایط اولیه وشرایط مرزی ۹۳
۳-۵ نحوه محاسبه ضرایب معادله ۹۵
۳-۵-۱: خصوصیات فیزیکی و ترمودینامیکی بذر ۹۵
۳-۵-۲: خصوصیات حرارتی بذر ۹۷
۳-۵-۲-۱: محاسبه ظرفیت گرمایی فشار ثابت (C_p) ۹۷
۳-۵-۲-۲: محاسبه ضریب هدایت گرمایی ۹۹
۳-۵-۳: خصوصیات ترمودینامیکی هوا ۱۰۰
۳-۵-۴: خصوصیات بسترهای سیال ۱۰۰
۳-۵-۵: ضرایب انتقال حرارت ۱۰۱
۳-۵-۵-۱: محاسبه ضریب انتقال حرارت فاز حباب و فاز گاز درون بستری ۱۰۲
۳-۵-۵-۲: محاسبه ضریب انتقال حرارت فاز جامد و فاز گاز درون بستری ۱۰۳

فصل چهارم: ارائه نتایج

۴-۱: نمودار cp بذر کلزا بر حسب دما ۱۰۸
۴-۲: روند تغییرات دمایی در آزمایشات انجام شده ۱۰۹
۴-۳: رابطه ضریب انتقال بین فاز جامد و فاز گاز درون بستری ۱۱۰
۴-۴: بررسی صحت نتایج از طریق مقایسه نتایج عددی و تجربی ۱۱۰
۴-۵:مقایسه داده های تجربی دمای با مدلسازی ریزی و همکاران ۱۱۵
۴-۶ : تاثیر نوسانات دمایی در مقطع ورودی به بستر بر تغییرات دمایی ذرات جامد ۱۱۸

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۵-۱: تجزیه و تحلیل نتایج و نتیجه گیری ۱۲۰

۵-۱-۱: نحوه تغییرات دما درون بستر و نحوه تغییرات ظرفیت گرمایی با دما ۱۲۰

۵-۱-۲: انطباق نتایج تجربی با نتایج مدلسازی سه فازی ۱۲۱

۵-۱-۳: مقایسه نتایج تجربی با روابط مختلف ضریب انتقال حرارت ۱۲۱

۵-۲پیشنهادات ۱۲۳

منابع ۱۲۵

فهرست جداول

شماره جدول	عنوان	صفحه
۱-۲-۱	تفکیک انواع رژیم های سیالیت با توجه به سرعت گاز	۱۱
۱-۳-۱	غربالهای استاندارد تیلر	۲۶
۱-۵-۱	محاسبه پارامتر αدر معادله ورتر	۵۶
۱-۳-۳	شرایط مربوط به آزمایشات انجام شده	۸۸
۱-۴-۳	مقدار β_T بر حسب نوع جریان گاز	۹۱
۱-۵-۳	میانگین ابعاد دانه های کلزا	۹۶
۲-۵-۳	ویژگیهای ثقلی دانه های کلزا	۹۶
۳-۵-۳	ویژگیهای فیزیکی دانه های کلزا	۹۷
۴-۵-۳	شرایط انجام تست DSC	۹۸

فهرست تصاویر

شماره تصویر	عنوان	صفحه
۱-۱-۱	نمایی از یک خشک کن افشانه ای	۳
۱-۱-۲	نمایی از یک خشک کن بخار داغ	۶
۱-۲-۱	نمودار افت فشار در مقابل سرعت گاز در بستر ثابت	۸
۱-۲-۲	نمودار افت فشار در مقابل سرعت گاز در بستر سیال	۹
۱-۲-۳	انواع رژیم های سیالیت	۱۲
۱-۲-۴	خصوصیات شبه مایع بسترهای سیال گاز-جامد	۱۳
۱-۲-۵	طرح های مختلف خشک کن های بستر سیال	۱۶
۱-۲-۶	مبدل حرارتی تماس مستقیم	۱۷
۱-۲-۷	مبدل حرارتی غیر تماسی	۱۸
۱-۲-۸	مبدل حرارتی برای تولید بخار از ذرات خاکستر	۱۸
۱-۳-۱	ابعاد اصلی و محورهای اندازه گیری ابعاد بیضیگون	۲۵
۱-۴-۱	نمودار افت فشار در مقابل سرعت	۳۸
۱-۴-۲	نمودار طبقه بندی گلدارت	۴۲
۱-۴-۳	نمودار تغییر رژیم جریان گاز بر حسب نوع گروه گلدارت	۴۳

۱-۶-۱	تاثیر دما بر سرعت آستانه سیالیت	۴۸
۱-۶-۲	تاثیر دما بر تخلخل آستانه سیالیت	۴۸
۳-۱-۱	مزرعه کلزا برای پرورش زنبور عسل	۷۴
۳-۲-۱	شماتیک دستگاه آزمایشگاهی بکار گرفته شده در این پژوهش	۷۶
۳-۲-۲	نمایی از دستگاه آزمایشگاهی خشک کن بستر سیال	۷۷
۳-۲-۳	کمپرسور برقی	۷۸
۳-۲-۴	رگولاتور برای کنترل فشار هوا	۷۹
۳-۲-۵	دبی سنج برای اندازه گیری جریان هوای ورودی به بستر	۷۹
۳-۲-۶	کوره برقی برای بالابردن دمای گاز ورودی به بستر	۸۰
۳-۲-۷	نمایشگرهای دما	۸۲
۳-۲-۸	سنسور دمای گاز ورودی به بستر تایپRTD	۸۲
۳-۲-۹	نمایی از نمایشگر و کنترل کننده دما	۸۳
۳-۲-۱۰	نحوه عملکرد سیستم کنترل دما	۸۵
۳-۲-۱۱	نمایی از دستگاه کنترل دمای گاز	۸۶
۳-۲-۱۲	بستر شیشه ای عایق	۸۷
۳-۲-۱۳	بستر شیشه ای غیر عایق	۸۷

۱-۴-۳	ارتباط میان فازها در مدلسازی سه فازی	۹۴
۱-۵-۳	دستگاه DSC	۹۸
۲-۵-۳	نمودار ضریب هدایت گرمایی بذر کلزا بر حسب دما	۹۹
۳-۵-۳	نحوه انتقال حرارت بین فاز حباب و فا زگاز درون شبکه ای	۱۰۲
۱-۱-۴	مقدار ظرفیت گرمایی بذر به عنوان تابعی از دما	۱۰۸
۱-۲-۴	داده های تجربی برداشت شده برای دماها در آزمایش شماره ۲	۱۰۹
۲-۲-۴	داده های تجربی برداشت شده برای دماها در آزمایش شماره ۵	۱۰۹
۱-۴-۴	مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای دمای فاز جامد با نتایج مدلسازی عددی آزمایش شماره ۷	۱۱۱
۲-۴-۴	مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای دمای فاز جامد با نتایج مدلسازی عددی آزمایش شماره ۸	۱۱۱
۳-۴-۴	مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای دمای فاز جامد با نتایج مدلسازی عددی آزمایش شماره ۹	۱۱۲
۴-۴-۴	مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای دمای گاز خروجی با نتایج مدلسازی عددی آزمایش شماره ۷	۱۱۳
۵-۴-۴	مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای دمای گاز خروجی با نتایج مدلسازی عددی آزمایش شماره ۸	۱۱۴
۶-۴-۴	مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای دمای گاز خروجی با نتایج مدلسازی عددی آزمایش شماره ۹	۱۱۵

۴-۵-۱ مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای ذرات جامد با نتایج مدلسازی عددی با روابط مختلف ضریب انتقال حرارت- آزمایش شماره ۷ ۱۱۶
۴-۵-۲ مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای ذرات جامد با نتایج مدلسازی عددی با روابط مختلف ضریب انتقال حرارت- آزمایش شماره ۸ ۱۱۶
۴-۵-۳ مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای ذرات جامد با نتایج مدلسازی عددی با روابط مختلف ضریب انتقال حرارت- آزمایش شماره ۹ ۱۱۷
۴-۵-۴ مقایسه داده های تجربی برداشت شده برای دمای گاز خروجی با نتایج مدلسازی عددی با روابط ریزی برای ضریب انتقال حرارت- آزمایش شماره ۱ ۱۱۷
۴-۶-۱ بررسی تغییرات دمایی ذرات جامد در حالت ثابت بودن دما در مقطع وردی به بستر آزمایش شماره ۵ ۱۱۸
۴-۶-۲ بررسی تغییرات دمایی ذرات جامد در حالت نوسانات دما در مقطع وردی به بستر ۱۱۸

فهرست علائم و نشانه ها

علامت	واحد	شرح	معادله
a	m^{-1}	سطح مخصوص بستر	۳-۱
$\acute{a}$	m^{-1}	سطح مخصوص ذره	۴-۱
a_1	m^{-1}	سطح مخصوص بین فاز حباب و فاز گاز درون شبکه ای	۲۶-۳
a_b	m^{-1}	سطح مخصوص بین حباب و ابر	۲۶-۳
a_e	m^{-1}	سطح مخصوص بین ابر و گاز درون شبکه ای	۲۶-۳
A_L	m^2	سطح جانبی بستر شیشه ای	۱۰-۳
Ar	بدون بعد	عدد ارشمیدس	۲۵-۱
c_{ps}	$j/kg.k$	ظرفیت حرارتی ویژه جامد	۳-۳
c_{pvi}	$j/kg.k$	ظرفیت حرارتی ویژه بخار در فاز گاز درون شبکه ای	۸-۳
c_{pgi}	$j/kg.k$	ظرفیت حرارتی ویژه گاز فاز درون شبکه ای	۸-۳
c_{pvb}	$j/kg.k$	ظرفیت حرارتی ویژه بخاردر فاز حباب	۶-۳

c_{pgb}	$j/kg.k$	ظرفیت حرارتی ویژه گاز در فاز حباب	۳-۶
c_{pw}	$j/kg.k$	ظرفیت حرارتی ویژه آب	۳-۳
D_a	m	قطر میانگین حسابی	۱-۶
d_{b0}	cm	قطر اولیه حباب در پخش کن	۱-۵۱
d_b	cm	قطر معادل حباب	۱-۵۷
D_c	m	قطر بستر شیشه ای	۱-۵۸
d_{be}	m	قطر تعادلی حباب	۱-۵۹
d_{bm}	cm	اندازه حد احتمالی حباب	۱-۵۷
d_{eff}	m	قطر معادل برای ذرات غیر کروی	۱-۳
D_g	m	قطر میانگین هندسی	۱-۷
d_p	m	قطر ذره	۱-۴
E_w	W/m^3	نرخ اتلاف حرارتی از دیواره بستر	۳-۷
f_{E1}	W/m^3	نرخ انتقال حرارت بین فاز جامد و فاز گاز درون شبکه ای	۳-۱
f_{E2}	W/m^3	نرخ انتقال حرارت بین فاز حباب و فاز گاز درون شبکه ای	۳-۴

f^*_s	s^{-1}	فرکانس گسستن یک حباب	۱-۷۰
g	m/s^2	شتاب گرانش	۱-۲۱
G_0	kg/m^2s	شار جرمی ظاهری گاز در ورود به بستر	۱-۴۸
G_{gb}	kg/m^2s	شار جرمی گاز در فاز حباب	۱-۴۹
G_{gi}	kg/m^2s	شار جرمی گاز در فاز گاز درون شبکه ای	۱-۴۸
G_{mf}	kg/m^2s	شار جرمی گاز در آستانه سیالیت	۱-۴۸
h	W/m^2K	ضریب انتقال حرارت بین فاز جامد و فاز گاز درون شبکه ای	۳-۲
h_b	W/m^2K	ضریب انتقال حرارت بین فاز حباب و فاز گاز درون شبکه ای	۳-۵
h_{bc}	W/m^2K	ضریب انتقال حرارت بین حباب و ابر	۳-۲۶
h_{cg}	W/m^2K	ضریب انتقال حرارت بین ابر و فاز گاز درون شبکه ای	۳-۲۶
H_0	j/kg	آنتالپی گاز در ورود به بستر	۳-۷
H_b	j/kg	آنتالپی فاز حباب	۳-۴
H_s	j/kg	آنتالپی جامد خشک	۳-۱
I_{or}	m	فاصله مرکز تا مرکز دو سوراخ مجاور در صفحه پخش کن	۱-۵۳