

الله أكبر

۸۷/۱/۱۰۸۶۵۴
۸۸/۱/۳۱



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

خشک کردن پودر شوینده صنعتی به روش پنوماتیک به منظور کاهش زمان خشک کردن

علیرضا جلیل آذری بناب

استاد راهنما:

دکتر حسن پهلوانزاده

استاد مشاور:

دکتر مهرداد منطقیان

کتابخانه تخصصی مهندسی
تربیت مدرس

۱۳۸۸ / ۱۱ / ۱۸

زمستان ۱۳۸۶

۱۱۳۳۵۴

۴۳۴۱۵



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای علیرضا جلیل آذری بناب پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان خشك کردن پودر شوینده صنعتی به روش پنوماتیک به منظور کاهش زمان خشك کردن در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۲۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر حسن پهلوانزاده	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر مهرداد منطقیان	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید محمد مصلحی میلانی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر اصغر مولائی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سید محمد مصلحی میلانی	دانشیار	

این نسخه به عنوان سند معتبر پذیرش پایان نامه / رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

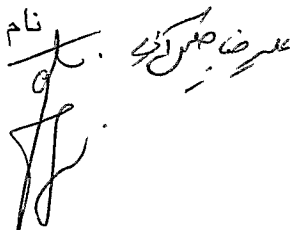
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

عزیز صحرایی


آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته است
که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به
راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر مشاور سرکار خانم / جناب آقای دکتر
و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر از آن دفاع
شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالعه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهند به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل و جه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش و تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب علیرضا جلیلی آری دانشجوی رشته مهندسی شیمی مقطع ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی
تاریخ و امضاء:
۸۷/۲/۲۳

تقدیم بہ

پدر مہربانہ

و

مادر فداکارہ

تقدیر و تشکر

اکنون که به فضل خداوند این پایان نامه به سرانجام رسیده است لازم و بجاست که از راهنمائیهای استاد راهنمای اینجانب آقای دکتر حسن پهلوانزاده که عهده دار هدایت این پایان نامه بوده اند تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از آقای دکتر مهرداد منطقیان بعنوان مشاور این پایان نامه سپاسگزاری می کنم. از کمکهای آقای ابراهیمی از واحد اتوماسیون صنعتی در مراحل ساخت دستگاه نیز تشکر می کنم.

چکیده

در بین کلیه واحدهای صنعتی، شاید بتوان گفت که عملیات مربوط به خشک کردن مواد بیشترین کاربرد را داشته باشد. به همین جهت مکانیزم خشک کردن مواد و طراحی دستگاههایی که در مقیاس صنعتی مورد بهره برداری قرار می گیرند، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این میان، خشک کنهای سیالی حامل (بادی) جایگاه خاصی دارند. در این تحقیق، ابتدا نمونه ای از دستگاه خشک کن سیالی حامل (بادی) جهت خشک کردن پودر شوینده صنعتی طراحی و ساخته شد و بوسیله آن آزمایشهای لازم انجام گرفت. آزمایشها در سه سطح سرعت ۸، ۸/۵ و ۹ متر بر ثانیه و در سه سطح دمای ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درجه سانتیگراد انجام شدند و با تثبیت دما و سرعت هوای ورودی در هر یک از آزمایشها، مقدار رطوبت و دمای هوا و همچنین وزن ماده خشک شونده خروجی از خشک کن اندازه گرفته شد که در روند این کار تاثیر پارامترهای عملیاتی بر میزان خشک شدن بررسی شد. با اتکا بر این نتایج، ابتدا پروفایل سرعت ذرات ماده خشک شونده برای هر یک از آزمایشها بدست آمد. همچنین مقادیر میانگین ضریب انتقال جرم و حرارت و نیز تابعیت ضریب انتقال حرارت و جرم بر حسب عدد رینولدز و دمای هوا بصورت عدد ناسلت و عدد شروود ارائه گردیدند. در ادامه مدلسازی سیستم انجام شد و نتایج حاصله از این مدلسازی، ارائه پروفایلهای رطوبت و دمای ماده خشک شونده و عامل خشک کننده در طول بستر خشک کن بودند. نتایج مدلسازی جهت محاسبه زمان خشک شدن استفاده شد و تاثیر پارامترهای ورودی یعنی سرعت و دمای هوای ورودی به این صورت بود که با افزایش دما یا سرعت، زمان خشک شدن کاهش پیدا می کرد.

کلمات کلیدی: خشک کن بادی، ضریب انتقال جرم و حرارت، مدلسازی، رطوبت

فهرست مطالب

د	فهرست جداول
ه	فهرست اشکال
ح	علائم و نشانه ها
۱	فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ روشهای خشک کردن
۴	۱-۲-۱ خشک کردن از طریق جابجائی
۴	۲-۲-۱ خشک کردن تماسی
۵	۳-۲-۱ خشک کردن تشعشعی
۵	۴-۲-۱ خشک کردن دی الکتریک
۶	۵-۲-۱ خشک کردن از طریق انجماد
۸	۶-۲-۱ خشک کردن با استفاده از حلال (خشک کردن تبخیری)
۸	۷-۲-۱ خشک کردن با بخار داغ
۹	۸-۲-۱ خشک کردن از طریق جانشین سازی
۹	۹-۲-۱ خشک کردن از طریق فشار تراوایی
۹	۳-۱ پارامترهای موثر در خشک کردن
۱۰	۱-۳-۱ انتقال حرارت
۱۱	۲-۳-۱ محیط خشک کن
۱۱	۳-۳-۱ خواص فیزیکی سیستمهای جامد-مایع
۱۲	۴-۳-۱ خواص جامد

۱۳	۴-۱ انواع خشک کنها.....
۱۸	۵-۱ خشک کنهای انتشاری.....
۱۹	۱-۵-۱ خشک کنهای با بستر فواره ای.....
۱۹	۲-۵-۱ خشک کنهای با بستر ارتعاشی.....
۱۹	۳-۵-۱ خشک کنهای پاششی.....
۲۱	۴-۵-۱ خشک کنهای جریانی.....
۲۲	۶-۱ خشک کنهای بستر سیالی حامل (بادی).....
۲۴	۷-۱ مروری بر تحقیقات گذشته.....
۲۴	۱-۷-۱ هیدرودینامیک بسترهای سیالی حامل.....
۲۸	۲-۷-۱ طراحی خشک کنهای با بستر سیالی حامل.....
۳۳	فصل دوم: هیدرودینامیک بسترهای سیالی حامل.....
۳۴	۱-۲ مقدمه.....
۳۴	۲-۲ سیالیت ذرات جامد در بسترهای سیالی حامل.....
۳۸	۳-۲ محاسبه سرعت ضریب حد ذرات و ضریب رانش.....
۴۰	۴-۲ محاسبه سرعت حد ذره.....
۴۵	۵-۲ محاسبه افت فشار در بسترهای سیالی حامل.....
۴۷	۶-۲ محاسبه ضریب اصطکاک گاز با دیواره.....
۴۸	۷-۲ محاسبه ضریب اصطکاک ذره- دیواره.....
۵۰	۸-۲ محاسبه ضریب تخلخل.....
۵۱	فصل سوم: ساخت خشک کن سیالی حامل و روش انجام آزمایشها.....
۵۲	۱-۳ مقدمه.....
۵۳	۲-۳ مواد و تجهیزات استفاده شده.....
۵۳	۱-۲-۳ مواد استفاده شده.....
۵۵	۲-۲-۳ تجهیزات استفاده شده.....

۵۵	..... ۱-۲-۳-۳ تجهیزات بکار رفته برای خشک کردن ماده
۵۷	..... ۲-۲-۳-۳ تجهیزات بکار رفته برای اندازه گیری دما و رطوبت
۵۸	..... ۳-۳ طراحی آزمایشها
۶۱	..... فصل چهارم: نتایج و بحث
۶۲	..... ۱-۴ مقدمه
۶۳	..... ۲-۴ نتایج آزمایشها
۶۳	..... ۳-۴ تاثیر پارامترهای عملیاتی بر رطوبت ماده خشک شونده و هوای خروجی
۶۷	..... ۴-۴ مدلسازی خشک کن
۷۳	..... ۵-۴ الگوریتم حل معادلات مدلسازی
۷۵	..... ۶-۴ نتایج حاصل از مدلسازی
۷۶	..... ۱-۶-۴ تعیین سرعت ذرات
۷۹	..... ۲-۶-۴ محاسبه ضریب انتقال جرم
۸۲	..... ۳-۶-۴ محاسبه ضریب انتقال حرارت
۸۴	..... ۴-۶-۴ پروفایلهای رطوبت و دما
۹۴	..... ۵-۶-۴ زمان خشک شدن
۹۸	..... فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۹	..... ۱-۵ نتیجه گیری
۱۰۰	..... ۲-۵ پیشنهادات
۱۰۱	..... مراجع

ضمائم

چکیده انگلیسی

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) درصد وزنی مواد تشکیل دهنده پودر شوینده ۵۳
- جدول (۲-۳) مشخصات خشک کن بستر سیال ساخته شده ۵۷
- جدول (۱-۴) نامگذاری آزمایشها براساس شرایط عملیاتی مختلف ۶۲
- جدول (۲-۴) نتایج بدست آمده از آزمایشات ۶۳
- جدول (۳-۴) رطوبت ماده خشک شونده و هوای خروجی ۶۴
- جدول (۴-۴) مقایسه نتایج رطوبت مواد خروجی از خشک کن برای آزمایشات و مدلسازی در $Z=50\text{ cm}$ ۷۵
- جدول (۵-۴) مقایسه نتایج دمای هوای خروجی از خشک کن برای آزمایشات و مدلسازی در $Z=50\text{ cm}$ ۷۵
- جدول (۶-۴) سرعت ذرات در مکانهای مختلف بستر به ازای سرعتهای متفاوت هوای ورودی و دمای 60°C ۷۶
- جدول (۷-۴) سرعت ذرات در مکانهای مختلف بستر به ازای سرعتهای متفاوت هوای ورودی و دمای 65°C ۷۷
- جدول (۸-۴) سرعت ذرات در مکانهای مختلف بستر به ازای سرعتهای متفاوت هوای ورودی و دمای 70°C ۷۸
- جدول (۹-۴) ضریب انتقال جرم بدست آمده برای آزمایشات ۸۰
- جدول (۱۰-۴) محاسبات اولیه جهت برازش مقادیر برای پیدا کردن ثوابت رابطه (۴-۴۴) ۸۲
- جدول (۱۱-۴) ضریب انتقال حرارت بدست آمده برای آزمایشات ۸۲
- جدول (۱۲-۴) محاسبات اولیه جهت برازش مقادیر برای پیدا کردن ثوابت رابطه (۴-۴۵) ۸۴
- جدول (۱۳-۴) مقایسه زمان خشک شدن مواد تا رطوبت $X=0.12024$ در دمای ثابت و $Y=0.06101$ ۹۵
- جدول (۱۴-۴) مقایسه زمان خشک شدن مواد تا رطوبت $X=0.12024$ در سرعت ثابت و $Y=0.06101$ ۹۶
- جدول (۱۵-۴) مقایسه زمان خشک شدن مواد تا رطوبت $X=0.12024$ در سرعت ثابت و $Y=0.06406$ ۹۷
- جدول (۱۶-۴) درصد افزایش زمان خشک شدن به ازای افزایش 5% رطوبت مطلق هوای ورودی ۹۷

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) شمائی از یک خشک کن دی الکتریک ۵
- شکل (۲-۱) شمائی از یک دستگاه خشک کن انجمادی ۶
- شکل (۳-۱) نمودار فاز برای آب ۷
- شکل (۴-۱) دسته بندی خشک کنها بر اساس عملیات و روشهای حرارت دهی ۱۴
- شکل (۵-۱) دسته بندی خشک کنها بر اساس شکل فیزیکی خوراک ۱۵
- شکل (۶-۱) دسته بندی خشک کنها بر اساس مقیاس محصول ۱۶
- شکل (۷-۱) دسته بندی خشک کنها بر اساس روش هیدرودینامیکی ۱۷
- شکل (۸-۱) نمائی از یک خشک کن بادی ۲۳
- شکل (۹-۱) ناحیه جریان حلقوی و یکنواخت ۲۵
- شکل (۱۰-۱) قسمت n ام از یک خشک کن با بستر سیالی حامل ۲۹
- شکل (۱-۲) موازنه نیرو بر لایه ای از بستر ۳۵
- شکل (۲-۲) بستر سیالی در حالت متجانس ۳۵
- شکل (۳-۲) تغییرات افت فشار در بستر ۳۶
- شکل (۴-۲) بستر سیالی در حالت نامتجانس ۳۶
- شکل (۵-۲) بستر سیالی حامل ۳۷
- شکل (۱-۳) تصاویر گرفته شده بوسیله میکروسکوپ الکترونی از ذرات پودر ۵۴
- شکل (۲-۳) شمای کلی از خشک کن بستر سیال ساخته شده ۵۸
- شکل (۱-۴) تغییرات رطوبت ماده خشک شونده بر حسب سرعت هوای ورودی در دماهای متفاوت ۶۵
- شکل (۲-۴) تغییرات رطوبت ماده خشک شونده بر حسب دمای هوای ورودی در سرعتهای متفاوت ۶۶
- شکل (۳-۴) تغییرات رطوبت هوای خروجی بر حسب سرعت هوای ورودی در دماهای متفاوت ۶۶
- شکل (۴-۴) تغییرات رطوبت هوای خروجی بر حسب دمای هوای ورودی در سرعتهای متفاوت ۶۶

- شکل (۴-۵) المان حجم جزئی در خشک کن بستر سیالی حامل ۶۷
- شکل (۴-۶) تغییرات سرعت ذرات بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 60°C ۷۷
- شکل (۴-۷) تغییرات سرعت ذرات بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 65°C ۷۸
- شکل (۴-۸) تغییرات سرعت ذرات بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 70°C ۷۹
- شکل (۴-۹) تغییرات ضریب انتقال جرم بر حسب سرعت هوای ورودی برای دماهای متفاوت هوای ورودی ۸۰
- شکل (۴-۱۰) تغییرات ضریب انتقال جرم بر حسب دمای هوای ورودی برای سرعت‌های متفاوت هوای ورودی ۸۱
- شکل (۴-۱۱) تغییرات ضریب انتقال حرارت بر حسب دمای هوای ورودی در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی ۸۳
- شکل (۴-۱۲) تغییرات ضریب انتقال حرارت بر حسب سرعت هوای ورودی در دماهای متفاوت هوای ورودی ۸۳
- شکل (۴-۱۳) تغییرات رطوبت ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 60°C ۸۵
- شکل (۴-۱۴) تغییرات رطوبت ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 65°C ۸۵
- شکل (۴-۱۵) تغییرات رطوبت ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 70°C ۸۵
- شکل (۴-۱۶) تغییرات رطوبت ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی سرعت 8 m/s ۸۶
- شکل (۴-۱۷) تغییرات رطوبت ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی سرعت $8/5\text{ m/s}$ ۸۶
- شکل (۴-۱۸) تغییرات رطوبت ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی سرعت 9 m/s ۸۷
- شکل (۴-۱۹) تغییرات رطوبت هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 60°C ۸۷
- شکل (۴-۲۰) تغییرات رطوبت هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 65°C ۸۸
- شکل (۴-۲۱) تغییرات رطوبت هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 70°C ۸۸
- شکل (۴-۲۲) تغییرات رطوبت هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت 8 m/s ۸۸
- شکل (۴-۲۳) تغییرات رطوبت هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت $8/5\text{ m/s}$ ۸۹
- شکل (۴-۲۴) تغییرات رطوبت هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت 9 m/s ۸۹
- شکل (۴-۲۵) تغییرات دمای ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 60°C ۹۰
- شکل (۴-۲۶) تغییرات دمای ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 65°C ۹۰
- شکل (۴-۲۷) تغییرات دمای ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 70°C ۹۰
- شکل (۴-۲۸) تغییرات دمای ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت 8 m/s ۹۱

- شکل (۴-۲۹) تغییرات دمای ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت $8/5 \text{ m/s}$ ۹۱
- شکل (۴-۳۰) تغییرات دمای ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت 9 m/s ۹۱
- شکل (۴-۳۱) تغییرات دمای هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 60°C ۹۲
- شکل (۴-۳۲) تغییرات دمای هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 65°C ۹۲
- شکل (۴-۳۳) تغییرات دمای هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در سرعت‌های متفاوت هوای ورودی و دمای 70°C ۹۳
- شکل (۴-۳۴) تغییرات دمای هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت 8 m/s ۹۳
- شکل (۴-۳۵) تغییرات دمای هوا بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت $8/5 \text{ m/s}$ ۹۳
- شکل (۴-۳۶) تغییرات دمای ماده بر حسب ارتفاع بستر خشک کن در دماهای متفاوت هوای ورودی و سرعت 9 m/s ۹۴

علائم و نشانه ها

علامت	واحد	توضیح
A	m^2	سطح انتقال
A_P	m^2	سطح یک ذره
A_S	m^2	سطح جانبی جزء مورد مطالعه
C_{Ph}	$J/kg^{\circ}K$	ظرفیت گرمایی ویژه
C_{Pg}	$J/kg^{\circ}K$	ظرفیت گرمایی گاز
C_{Pv}	$J/kg^{\circ}K$	ظرفیت گرمایی بخار آب
C_{Pl}	$J/kg^{\circ}K$	ظرفیت گرمایی آب
C_{Ps}	$J/kg^{\circ}K$	ظرفیت گرمایی ذرات جامد
C_H	$J/kg^{\circ}K$	ظرفیت گرمایی ویژه گاز مرطوب
C_D	بدون بعد	ضریب نیروی رانش
C_{Ds}	بدون بعد	ضریب نیروی رانش برای یک ذره منفرد
d_p	m	قطر ذرات جامد
dq_l	W/m^2	میزان حرارت تلف شده
dA	m^2	سطح جانبی قسمت مورد مطالعه
D	m	قطر ستون خشک کن
D_{AB}	m^2/s	ضریب نفوذ
f_P	بدون بعد	ضریب اصطکاک ذره با دیواره
f_g	بدون بعد	ضریب اصطکاک گاز با دیواره
f_s	بدون بعد	ضریب اصطکاک گاز با ذره
F_D	N	نیروی رانش
F_G	N	نیروی ناشی از شتاب ثقل
F_f	N	نیروی ناشی از اصطکاک
F_P	N	نیروی ناشی از افت فشار
g	m/s	شتاب ثقل
H_w	J/kg	آنتالپی رطوبت
H_{vap}	J/kg	آنتالپی تبخیر
h	$W/m^2^{\circ}K$	ضریب انتقال حرارت همرفتی
H	J/kg	آنتالپی
ΔH_0	J/kg	گرمای تبخیر در صفر درجه سانتیگراد

ΔH_s	J/kg	حرارت دفع یا جذب رطوبت از ماده
I_g	J/kg	آنتالپی گاز همراه با رطوبت
I_s	J/kg	آنتالپی ذرات جامد و رطوبت موجود در آنها
I_{Av}	J/kg	آنتالپی بخار آب
K	W/m.K	هدایت حرارتی
K_y	kg/m ² sec	ضریب انتقال جرم
K_f	sec/m	فاکتور اصطکاک دیواره
$Nu = \frac{hd_p}{\lambda_g}$	بدون بعد	عدد ناسلت
P	Pa	فشار
$Pr = \frac{\mu_g C_{Pg}}{\lambda_g}$	بدون بعد	عدد پراتل
ΔP	Pa	اختلاف فشار
q	W/m ²	میزان انتقال حرارت
$Re_g = \frac{\rho_g d_p u_g}{\mu_g}$	بدون بعد	عدد رینولدز برای گاز
$Re_p = \frac{\rho_g d_p u_p}{\mu_g}$	بدون بعد	عدد رینولدز برای ذرات جامد
$(Re)_{RH} = \frac{\rho_g d_p U_R}{\mu_g}$	بدون بعد	عدد رینولدز برای سرعت لغزشی گاز- جامد
$Sc = \frac{\nu_g}{D_{AB}}$	بدون بعد	عدد اشمیت
$Sh = \frac{K_y d_p}{D_{AB}}$	بدون بعد	عدد شروود
$T_{g,in}$	°K	دمای گاز ورودی
$T_{g,out}$	°K	دمای گاز خروجی
T_p	°K	دمای ذرات
T_a	°K	دمای محیط
t	sec	زمان
u_p	m/sec	سرعت ذره
u_{pz}	m/sec	سرعت ذره در هر قسمت
u_g	m/sec	سرعت گاز
U_{mf}	m/sec	سرعت حداقل سیالیت
U_t	m/sec	سرعت حد
U_R	m/sec	سرعت لغزشی گاز و ذرات جامد

$(U_R)_{SS}$	m/sec	سرعت لغزشی در حالت پایدار
$(U_P)_{SS}$	m/sec	سرعت ذرات جامد در حالت پایدار
U	J/kg	انرژی داخلی
V_g	m/s	سرعت فرضی گاز
V_{tot}	m^3	حجم کل بستر
V	m^3	حجم
V_P	m^3	حجم ذره جامد
W	kg	وزن مواد خشک
W_S	kg/sec	دبی ذرات جامد
W_B	kg/sec	دبی جرمی گاز
X	kg/kg	میزان رطوبت ذرات جامد
Y	kg/kg	میزان رطوبت گاز
$Y_{g,out}$	kg/kg	میزان رطوبت گاز خروجی
Y_{eq}	kg/kg	میزان رطوبت تعادلی گاز
Z	m	طول بستر

علائم یونانی

ε	بدون بعد	ضریب تخلخل
ε_{Al}	بدون بعد	ضریب تخلخل بین فاز گاز-مایع
ε_{mf}	بدون بعد	ضریب تخلخل در حالت حداقل سیالیت
φ	بدون بعد	نسبت تغییرات غلظت جامد
μ_g	$kg/m \cdot sec$	گرانروی گاز
ρ_g	kg/m^3	دانسیته گاز
ρ_m	kg/m^3	دانسیته مواد مرطوب
ρ_P	kg/m^3	دانسیته ذرات جامد
ρ_w	kg/m^3	دانسیته آب
ρ_{agg}	kg/m^3	دانسیته ذرات به هم آمیخته
λ	$W/(m^\circ K)$	ضریب هدایت گرمایی

فصل اول

مقدمه

و

مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۱ مقدمه

خشک کردن یکی از مهمترین فرایندهای موجود در صنعت می‌باشد که در بیشتر صنایع مانند صنایع شیمیایی، غذایی، دارویی، کشاورزی، سرامیک و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی خشک کردن به معنای خارج کردن آب یا یک مایع دیگر (رطوبت) از ماده جامد می‌باشد.

کاهش رطوبت مواد با استفاده از روشهای مختلفی صورت می‌گیرد؛ از مهمترین آنها می‌توان به روشهای تبخیری، مکانیکی و شیمیایی اشاره کرد. از آنجا که عموماً جداسازی مکانیکی ارزانتر از جداسازی تبخیری است، توصیه شده است که محتوای رطوبت ماده پیش از ورود به خشک کن تبخیری، تا حد امکان با استفاده از روشهای مکانیکی کاهش یابد. در روش تبخیری، ابتدا رطوبت ماده به بخار تبدیل شده و سپس از ماده جامد جدا می‌شود. در شرایط عادی از حرارت به عنوان منبع انرژی برای تبخیر مایع استفاده می‌شود.

محتوای رطوبت یک ماده خشک شده از محصولی به محصول دیگر متفاوت است. و به ندرت محصول، فاقد هرگونه رطوبت است. برای نمونه، نمک خشک شده حاوی ۰/۵٪ و زغال سنگ حاوی حدود ۴٪ رطوبت هستند. خشک کردن عبارتی نسبی و صرفاً به معنی کاهش محتوی مایع از یک مقدار اولیه به یک مقدار نهایی قابل قبول است [۱].

عوامل متعددی سبب پیچیدگی تجزیه و تحلیل نظری و همچنین طراحی سیستمهای خشک کننده می‌شوند. انتقال همزمان جرم از سطح ماده و حرارت به سطح و به داخل ماده، هیدرودینامیک حرکت ذرات در خشک کن، مکانیسمهای مختلف انتقال رطوبت در بدنه جسم جامد، و مشخصه‌های سیستم