

توسعه یک مدل ریاضی برای خشک کن انجمادی

محمد رضا شهادت^۱، علیرضا فضلعلی^{۲*}، مرتضی خان احمدی^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه اراک

۲. استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه اراک، (A-Fazlali@araku.ac.ir)*

۳. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

چکیده

فرایند خشک کردن انجمادی یک روش موثر جهت خشک کردن مواد حساس به حرارت می باشد. در این مقاله یک مدل ریاضی مبسوط برای مراحل دوگانه این فرایند ارائه شده است. به علت بزرگتر بودن ضریب هدایت لایه منجمد نسبت به لایه خشک شده در اینجا تامین حرارت لازم برای خشک شدن تحت مکانیزم هدایت از زیر نمونه فرض شده است. علاوه بر فرایند خشک شدن، فرایند انجماد بخار آب در کندانسور نیز در مدل وارد شده که امکان بررسی تاثیر مشخصات کندانسور بر عملکرد فرایند را فراهم می سازد. به علاوه یک رابطه تجربی برای رطوبت تعادلی جهت استفاده در مدل مرحله ثانویه بدست آمد. کارائی مدل در مقایسه با داده‌های تجربی خشک کردن سوسپانسیون ۲۰ درصد جامدات شیر بدست آمده از یک خشک کن انجمادی آزمایشگاهی با موفقیت تست گردید.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله :

دریافت ۱۵ دی ۱۳۸۸

دریافت پس از اصلاحات ۲۲ خرداد ۱۳۸۹

پذیرش نهایی ۴ مهر ۱۳۸۹

کلمات کلیدی :

خشک کردن انجمادی

مدلسازی

شیر

کندانسور

شبیه سازی

۱- مقدمه

بسیاری از مواد دارویی و بیولوژیکی، همچنین مواد غذایی و شیمیایی حساس به دما نمی توانند در خشک کن های معمولی خشک شوند که در این صورت تنها گزینه‌ی خشک کردن انجمادی باقی می ماند. خشک کردن انجمادی نسبت به سایر روشهای متعارف خشک کردن چندین مزیت دارد. محصول خشک شده در این روش متخلخل و بدون انقباض می باشد، در نتیجه وقتی به آن حلال اضافه شود سریع و تقریباً به طور کامل به حالت اولیه بر می گردد. به علاوه محصولات خشک کردن انجمادی مزیت کمتر از دست دادن مزه و ترکیبات مفید مثل ویتامین ها را نیز دارند.

خشک کردن انجمادی فرایندی است که در آن حلال همراه نمونه که در اکثر موارد آب است در دماهای پایین به کریستال تبدیل شده و سپس تحت خلاء تصعید می شود. به همین دلیل به این روش، خشک کردن تصعیدی نیز گفته می شود. همواره قسمتی از حلال نیز با مواد جامد پیوند یافته و غیر قابل انجماد است که در مرحله دوم خشک کردن در دمای بالاتر و تحت خلاء شدیدتر از جامد دفع می شود.

ماده خشک شونده می تواند در خشک کن منجمد شود و یا پس از انجماد به داخل خشک کن بار گردد. بخار تصعید یا دفع شده از ماده خشک شونده بر سطح کندانسور منجمد شده و در نتیجه خلاء ایجاد می شود. پمپ خلاء متصل به محفظه کندانسور گازهای غیرقابل انجماد را تخلیه کرده و خلاء تکمیل می گردد. حرارت لازم برای تصعید یا دفع به روش تشعشع یا هدایت تامین می شود [۱-۵].

مدل پایداری که توسط Marsoll و Zamzowj ارائه شد جز اولین مدلها در زمینه فرایند خشک کردن انجمادی است. Sandal و همکارانش در سال ۱۹۶۷ مدل دیگری ارائه کردند [۶]. نقص مدل آنها این است که در مدل خود هیچگونه رطوبت پیوندی در نظر نگرفته اند. Sheng و همکارانش در ۱۹۷۵ مدل دیگری ارائه کردند که عیب مدل قبلی برطرف شده بود ولی ثابت گرفتن

دمای سطح مشترک تصعید و در نظر گرفتن اینکه انتقال حرارت محدود کننده است از عیوب این مدل می باشد چرا که با گذشت زمان و به خصوص در مرحله ثانویه به خاطر کوچک بودن ضریب دفع، انتقال جرم محدود کننده است [۷]. در ۱۹۷۹ مدلی توسط Litchfield و Liapis ارائه شد [۸] که در آن عیوب مدل های قبلی برطرف شده بود. آنها در مدل خود هم تصعید رطوبت منجمد شده و هم دفع رطوبت پیوندی را در نظر گرفتند از این رو مدل خود را مدل دفع-تصعید نامیدند. آنها در این مدل از مکانیزم نادنسی جهت نفوذ بخار در لایه خشک و از معادله داری جهت جریان هیدرودینامیکی استفاده کردند. مدل آنها به صورت یک بعدی می باشد و به عنوان یک مدل پایه برای مدلسازی در شرایط دیگر مورد استفاده قرار گرفته است.

در مدلسازی های گذشته عموماً فرایند خشک شدن مستقل از شرایط کندانسور مدل سازی شده و بدین منظور فشار محفظه خشک کن ثابت در نظر گرفته شده است. این در حالی است که فشار محفظه خشک کن تابعی از شرایط کندانسور است. به این صورت که فشار درون کندانسور در واقع همان فشار بخار یخ در دمای سطح خارجی یخ می باشد و با افزایش ضخامت یخ روی سطوح کندانسور دمای لایه سطحی آن زیاد شده و در نتیجه فشار کندانسور و به دنبال آن فشار محفظه افزایش می یابد. بدین ترتیب مشخصات کندانسور شامل دمای سیال مبرد و سطح انتقال حرارت بر عملکرد خشک کن تاثیر می گذارند. در پژوهش حاضر تاثیر این عوامل در مدلسازی خشک کردن انجمادی وارد شده است.

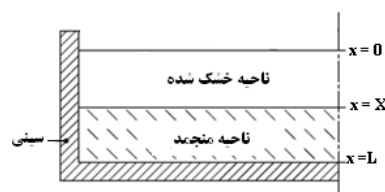
از طرفی در مدلسازی های گذشته مکانیزم تامین حرارت تشعشع با شار ثابت و بیشتر از بالای نمونه در نظر گرفته شده است در صورتیکه در تعداد زیادی از خشک کن ها به خصوص موارد پایلوت و آزمایشگاهی منبع تامین حرارت سیال چرخش کننده در زیر سینی های حاوی مواد است که در این صورت مکانیزم اصلی هدایت خواهد بود. و شرط مرزی در انتقال حرارت یک

شرط دما ثابت است نه شار ثابت. تامین و کنترل فلاکس ثابت حرارتی نسبت به کنترل دمای ثابت سینی ها دشوارتر است. از طرف دیگر مزیتی که گرما رسانی از پایین نمونه نسبت به بالای آن دارد این است که به علت بیشتر بودن ضریب هدایت حرارتی بخش منجمد، مقاومت در برابر انتقال حرارت کاهش می یابد. به علاوه در حرارت دهی توسط فلاکس ثابت حرارتی محدودیت‌های دمایی به واسطه افزایش دمای نمونه بیشتر از حالت دمای ثابت مطرح می باشد. با توجه به دلایل فوق در مدلسازی حاضر شرط مرزی دمای ثابت منبع حرارتی قرار مد نظر گرفته در زیر سینی جایگزین

۲- مدلسازی

۱-۲ مرحله اول خشک کردن

شکل (۱) نمایی از قرار گرفتن نمونه روی سینی را نشان می دهد. ضخامت نمونه L است. پس از شروع عملیات و با تصعید رطوبت از لایه سطحی نمونه، سطح مشترک تصعید تشکیل و نمونه به دو لایه خشک شده و منجمد تقسیم می شود. تصعید به واسطه هدایت حرارت به سطح مشترک انجام شده و بخار حاصله از طریق نفوذ و جابجایی در خلال ناحیه متخلخل خشک شده به محفظه خشک کن و از آنجا به کندانسور می رود و روی سطوح کندانسور به یخ تبدیل میشود. با گذشت زمان سطح مشترک تصعید به سمت عمق نمونه حرکت می کند [۱].



شکل (۱): نمایی از قرار گرفتن نمونه روی سینی

مدل توسعه یافته در این پژوهش بر فرضهای زیر مبتنی است:

- تغییرات یک بعدی و درجهت عمود بر سطح مشترک تصعید است. این فرض با توجه به ضخامت اندک لایه

شرط مرزی فلاکس حرارتی ثابت از بالا شده است. به علت درگیر بودن مرحله ثانویه با دفع رطوبت پیوندی (رطوبت منجمد نشده)، کمتر به شبیه سازی این مرحله پرداخته شده است چرا که جهت شبیه سازی این مرحله لازم است فشار بخار آب در هوای در تعادل با ماده خشک شونده بصورت تابعی از رطوبت و دمای ماده خشک شونده در دسترس باشد.

در پژوهش حاضر مرحله خشک کردن ثانویه نیز در مدل سازی وارد شده و با انجام اندازه گیری های لازم، یک رابطه تجربی برای فشار بخار مزبور بر حسب دما و رطوبت برای شیر کم چرب بدست آمده است. ماده خشک شونده در سینی ها که در حد سانتیمتر است در مقایسه با سایر ابعاد سینی که در حد متر است مقبول می باشد.

- در مرحله اول، تصعید تنها در سطح مشترک فاز خشک شده و فاز منجمد اتفاق می افتد.

- در سطح مشترک تصعید فشار بخار آب، معادل فشار بخار در تعادل با یخ می باشد.

- در هر یک از دو ناحیه خشک و منجمد ضریب هدایت حرارت، دانسیته و حرارت ویژه همگن و یکنواخت هستند.

- در ناحیه متخلخل خشک شده ماتریس جامد و گاز درون آن در تعادل حرارتی می باشند.

- در فاز گاز در ناحیه خشک تنها نفوذ بخار آب وجود دارد و گاز بی اثر ساکن است.

- از انقباض و چروک خوردن جسم صرف نظر شده است.

- در مرحله اول خشک شدن، رطوبت دفع شده در مقایسه با رطوبت تصعید شده ناچیز است.

- منبع تامین حرارت لازم برای تصعید در فاز اول و دفع در فاز دوم در زیر سینی حاوی نمونه قرار گرفته و دمای آن ثابت است.

- فشار محفظه خشک کن نزدیک به صفر است بنابراین از انتقال حرارت تحت مکانیزم همرفت و هدایت در مرز بالا صرف نظر می شود. همچنین انتقال حرارت تابشی نیز ناچیز قلمداد می شود.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.