

بررسی تجربی خشک شدن توده ای ذرات در یک خشک کن بستر سیال با منبع حرارتی مادون قرمز

رقیه کشاورز^۱، علیرضا فضلعلی^{۱*}، محمد علی هنرور^۲، بیژن هنرور^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه اراک

۲. استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه اراک

۳. دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد مرودشت

۴. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات فارس

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله : دریافت ۲۹ آذر ۱۳۸۸ دریافت پس از اصلاحات ۲۶ تیر ۱۳۸۹ پذیرش نهایی ۱ آبان ۱۳۸۹	در طی فرآیند خشک شدن، ذرات دچار تغییرات فیزیکی و ساختمانی می گردند که از نقطه نظر محصول نهایی نامطلوب می باشد. در این تحقیق خشک شدن توده کدو در یک خشک کن بستر سیال حاوی ذرات خنثی با منبع حرارتی مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین ضریب نفوذ رطوبت به صورت تابعی از میزان رطوبت نمونه و دما بیان و روابطی جهت پیش بینی خواصی مانند چروکیدگی و دانسیته ارائه گردیده است. تأثیر پارامترهایی مانند دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی به سیستم، میزان جرم ذرات خنثی و میزان توان مادون قرمز اعمال شده بر شدت خشک شدن مورد بررسی قرار گرفت.
کلمات کلیدی : خشک کن بستر سیالی خشک شدن انرژی مادون قرمز چروکیدگی اجسام مکعبی شکل	

۱- مقدمه

کلیه مواد غذایی شامل آب بوده و همانطور که واضح است تغییرات فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی در نتیجه مقادیر بالای آب در آنها می باشد. در هنگام نگهداری طولانی مدت مواد غذایی تغییرات فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی متعددی اتفاق افتاده که بر ارزش غذایی ماده مورد نظر موثر می باشد. در بسیاری از موارد این تغییرات در نتیجه وجود آب در مواد غذایی می باشد [۱]. خشک کردن یکی از فرآیندهای مهم جهت حذف آب موجود در مواد غذایی می باشد. با توجه به وجود انواع مختلفی از خشک کن ها در این زمینه، توجه محققین همواره بر افزایش میزان بازدهی خشک کن های استفاده شده معطوف گردیده است که از آن جمله میتوان به فعالیتهای انجام شده توسط محققین زیر اشاره نمود. (۱۹۶۸) Chancellor بیان کرد که مخلوط حبوبات و ماسه باعث کاهش گرم شدن نقطه‌ای حبوبات می شود. ماسه به عنوان ذرات بی اثر عمل کرده و گرما را از جای گرم به جای سرد به صورت یکنواخت جابجا می کند [۲]. Abid و همکاران (۱۹۹۰) سنتیک خشک شدن دانه های ذرت در یک بستر سیالی با ذرات خنثی را بررسی نموده و دریافتند که مکانیزم محدود کننده در انتقال جرم و حرارت مکانیزم داخلی بوده و شرایط خارجی مانند رطوبت و سرعت گاز اثر بسیار کمی بر خشک شدن دارند [۳]. Chen و همکاران (۱۹۹۶) آزمایشاتی را در یک خشک کن بستر سیال با ذرات خنثی بر روی ۵ نمونه از مخلوط بتن انجام داده و روابطی را جهت محاسبه ضریب انتقال حرارت حجمی ارائه نمودند. آزمایشات آنها نشان داد که حضور ذرات خنثی سبب افزایش ضرایب انتقال جرم و حرارت شده اما در عین حال سبب افزایش افت فشار در مقایسه با حالتی که از ذرات خنثی استفاده نشده است می شود [۴]. Zhou و همکاران (۱۹۹۸) به مطالعه اثر ذرات خنثی یا حاملان انرژی بر سرعت خشک شدن ذرات استوانه ای شکل هویج پرداختند. در

این مطالعه مقایسه ای میان سرعت خشک شدن با و بدون حضور ذرات خنثی در یک خشک کن بستر سیالی انجام گرفت [۵]. با در نظر گرفتن میزان بازده گرمایی خشک کن ها، خشک کن های بستر سیالی دارای بالاترین بازده می باشند. در این نوع خشک کن ها اختلاط و میزان انتقال حرارت بسیار سریع می باشد. اخیراً روشی ابداع گردیده است که در آن خشک کردن در بستر های سیالی در حضور ذراتی خنثی بررسی گردیده است. در این روش ذرات خنثی به عنوان حاملان انرژی عمل نموده و سبب تسریع سیالیت مواد خشک شونده شده و ضرایب انتقال جرم و حرارت جابجایی را افزایش می دهند [۶]. یکی از روشهای انتقال گرما به اجسام خشک شونده استفاده از منابع حرارتی مادون قرمز می باشد. (۱۹۹۷) Abe & Afzal ترکیب تشعشع مادون قرمز و خشک کنهای جابجایی سنتی را به عنوان تکنیکی موفق جهت خشک کردن محصولات غذایی معرفی نمودند [۷]. استفاده از انرژی مادون قرمز برای مواد غذایی دارای مزایای زیرمی باشد: کاهش زمان خشک شدن، بازدهی بالای انرژی، کیفیت بالای محصولات غذایی، دمای یکنواخت در محصولات خشک شده و نیاز کم به عبور جریان هوا از میان محصول. انرژی ممکن است از منابع مختلف تشعشع الکترومغناطیسی تامین شود که طول موج آن از تشعشعات خورشید تا تشعشعات میکروویو متفاوت می باشد ($0.2 \mu\text{m} - 0.2 \text{ m}$). از آنجائیکه بسیاری از مواد در محدوده طول موج $4 - 8 \mu\text{m}$ به خوبی انرژی را جذب می نمایند تشعشع مادون قرمز جهت در خشک کردن مواد فیلمی - پوششی و کاغذی استفاده می گردد. از تشعشع مادون قرمز در موارد زیر نیز می توان استفاده نمود:

- خشک کردن بسیاری از مواد شیمیایی، مواد دارویی و مواد غذایی در صنعت.
- خشک کردن سطوح آماده مانند سطوح رنگ شده و لعاب داده شده.

مواد از گلوله های شیشه ای با قطر $2/7 \text{ mm}$ به عنوان مواد خنثی (Inert Particles) استفاده شد. جهت دستیابی به حالت پایدار در سیستم، خشک کن به همراه ذرات خنثی قبل از ریختن مواد به درون ستون به مدت ۲ ساعت شروع به کار نمود. در هر مرحله ۱۰۰ گرم از نمونه مورد نظر، به درون ستون ریخته شده و هر شش عدد لامپ مادون قرمز با توان مشخص روشن شد. نمایی از پایلوت آزمایشگاهی استفاده شده و منبع مادون قرمز در شکل های (۱) و (۲) آورده شده است.



شکل (۱): دستگاه آزمایشگاهی استفاده شده جهت انجام آزمایشات



شکل (۲): نمایی از محفظه خشک کن و لامپهای مادون قرمز دستگاه

جهت انجام آزمایشات کدو به صورت مکعبهای هم اندازه بریده شد. میزان رطوبت توده کدو به کمک توزین توسط ترازوی الکترونیکی با دقت $\pm 0/0001$ گرم که در

خشک کردن سطوح توده ای مواد غیر متخلخل.
خشک کردن مواد ورقه ای شکل مانند پارچه، کاغذ و فیلمها.
خشک کردن مواد در مقیاس کوچک وقتی که استفاده از روشهای دیگر امکان پذیر نباشد و انجام تستهای آزمایشگاهی به منظور تعیین مشخصات خشک شدن مواد مختلف [۸].
هدف از این تحقیق بررسی میزان تغییرات دانسیته، چروکیدگی و میزان ضریب نفوذ رطوبت توده کدو در خشک کن بستر سیالی حاوی ذرات خنثی با منابع حرارتی مادون قرمز و استخراج روابط فیزیکی مربوط جهت مقاصد مدلسازی می باشد.

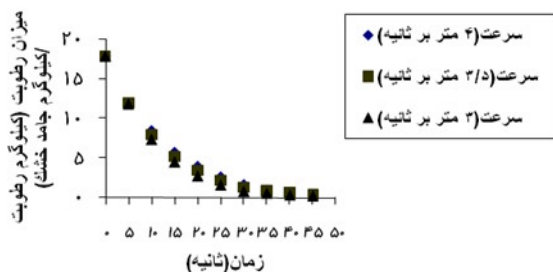
۲- آزمایشها

۲-۱- آماده سازی نمونه

در این تحقیق از کدو به عنوان ماده خشک شونده استفاده شده است. کدو به صورت مکعبهایی با ابعاد $1/2, 5/5, 0/5$ سانتی متر بریده شد. ابعاد مکعبهای کدو حاصل سه مرتبه اندازه گیری شد و مقادیر متوسط آن اندازه گیری شد. جهت افزایش تکرار پذیری آزمایشات کدو از یک محل در شیراز خریداری شد.

۲-۲- روش انجام آزمایشات

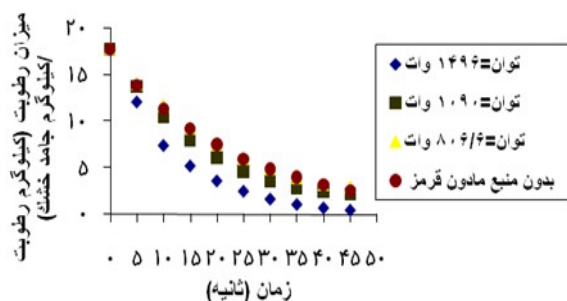
دستگاه خشک کن شامل یک ستون استوانه ای پیرکس با طول 60 cm و قطر $76/95 \text{ mm}$ ، یک صفحه مشبک به عنوان توزیع کننده هوا به درون ستون و شش لامپ مادون قرمز می باشد. هوای فشرده جهت انجام آزمایشات به وسیله یک کمپرسور هوا مدل HERTZ 20 HGS تامین شده و سپس از میان روتامتر عبور داده شده و در نهایت توسط هیتر الکتریکی گرم می گردد. هوای ورودی به محفظه خشک کن از میان یک تنظیم کننده دما با تلرانس $\pm 0/1^\circ \text{C}$ عبور داده شده و پس از عبور از میان توزیع کننده وارد ستون می شود. در هر آزمایش جهت اندازه گیری میزان رطوبت هوا از یک رطوبت سنج مدل HT-3015 و جهت بهبود سیالیت



شکل ۴- بررسی اثر سرعت هوا بر شدت خشک شدن

۳-۳- بررسی اثر توان مادون قرمز اعمال شده

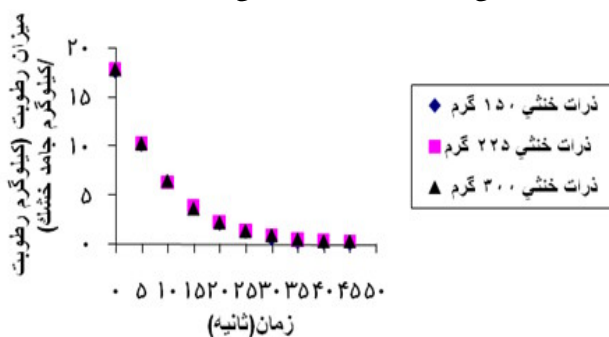
Ratti و همکاران (۱۹۸۹) بیان نمودند که فشار بخار تابعی از دما و رطوبت می باشد [۱۰]. Datta & Ni (۲۰۰۲) بیان نمودند که افزایش میزان توان اعمال شده مادون قرمز، سبب افزایش سریع دما در سطح ماده و لذا افزایش فشار بخار درون ماده و در نتیجه شدت بالای خشک شدن می شود [۱۱]. همانگونه که از شکل (۵) مشخص است افزایش میزان توان اعمال شده مادون قرمز سبب افزایش شدت خشک شدن می گردد.



شکل (۵): بررسی اثر میزان توان مادون قرمز اعمال شده بر شدت خشک شدن

۳-۴- بررسی اثر میزان جرم ذرات خنثی

با توجه به شکل (۶) افزایش میزان ذرات خنثی سبب افزایش جزئی شدت خشک شدن می گردد.



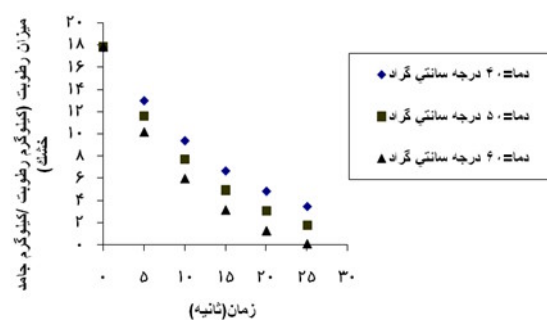
شکل (۶): اثر میزان ذرات خنثی بر شدت خشک شدن

فاصله نزدیک به خشک کن قرار داشت اندازه گیری شد، به نحوی که فرآیند توزین در مدت زمانی کمتر از ۱۰ ثانیه پس از خروج نمونه از ستون انجام پذیرد. در هر مرحله میزان حجم ماده نهایی به کمک اندازه گیری میزان تغییر حجم آن در تولوئن اندازه گیری شد [۹]. در هر آزمایش جهت دستیابی به شرایط پایدار، خشک کن به مدت ۲ ساعت با ذرات خنثی راه اندازی شد و سپس مواد خشک شونده به درون ستون ریخته شد. اثر پارامترهای مختلف عملیاتی مانند دمای هوای ورودی - سرعت هوای ورودی - میزان توان منبع مادون قرمز اعمالی و میزان جرم مواد خنثی بر شدت خشک شدن بررسی گردید.

۳- نتایج

۳-۱- بررسی اثر دمای هوا بر شدت خشک شدن

در شکل (۳) اثر دمای هوا بر شدت خشک شدن توده کدو آورده شده است. همانگونه که مشخص است افزایش دمای هوای خشک کننده میزان از دست رفتن رطوبت در ماده خشک شونده افزایش یافته و سبب کاهش زمان خشک شدن می گردد.



شکل (۳): بررسی اثر دمای هوا بر شدت خشک شدن

۳-۲- بررسی اثر سرعت هوای ورودی

همانگونه که از شکل (۴) مشخص است افزایش سرعت هوای خشک کننده سبب افزایش میزان خنک سازی سطح، کاهش دما در سطح جامد و در نتیجه کاهش فشار بخار (نیروی محرکه رطوبت) و در نهایت کاهش میزان از دست رفتن رطوبت می شود.

۳-۵- بررسی میزان ضریب نفوذ ماده خشک

شونده

ضریب نفوذ یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز جهت مدلسازی ریاضی و سایر محاسبات می باشد. میزان ضریب نفوذ نمونه های مکعبی شکل به وسیله رابطه ارائه شده توسط Crank در سال ۱۹۷۵ با استفاده از فرضیات زیر قابل محاسبه می باشد [۱۲]:

۱- رطوبت در تمام ماده به صورت یکنواخت توزیع شده است.

۲- انتقال جرم نسبت به مرکز جسم متقارن است.

۳- رطوبت سطحی جامد با هوای اطراف سریعاً به تعادل می رسد.

۴- میزان مقاومت انتقال جرم در سطح در مقایسه با مقاومت داخلی جسم قابل صرف نظر کردن است.

۵- انتقال جرم تنها به وسیله نفوذ انجام می پذیرد.

۶- ضریب نفوذ ثابت بوده و از چروکیدگی می توان صرف نظر نمود.

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp(-\pi^2 \frac{D_{eff}}{L^2} t) \quad (1)$$

با استفاده از داده های تجربی و ترسیم $\ln(MR)$ بر حسب زمان با توجه به میزان شیب منحنی و رابطه ۱ میزان D_{eff} در دماهای مختلف به دست خواهد آمد که مطابق جدول (۱) می باشد.

جدول (۱): ضریب نفوذ بر حسب دما

ضریب همبستگی R^2	ضریب نفوذ $D_{eff}(m^2/s)$	دما $T(K)$
0/9999	$6/96 \times 10^{-10}$	313
0/9978	$9/5 \times 10^{-10}$	323
0/9515	$2/15 \times 10^{-9}$	333

جهت بررسی اثر میزان رطوبت و دما بر ضریب نفوذ ماده، رابطه ی آرنیوسی جهت پیش بینی ضریب نفوذ توسط Azzouz در سال ۲۰۰۲ ارائه شده است [۱۳]:

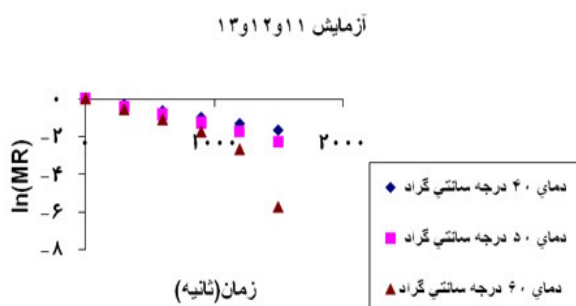
$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT_{abs}}\right) \exp(-[CT_{abs} + D]X) \quad (2)$$

مرحله بعد با استفاده از رابطه ۳ و با ترسیم میزان D_{eff} بر حسب $1/T$ و به کمک نرم افزار Excell میزان شیب منحنی تعیین و مقدار E_a/RT تعیین گردید و پس از معین شدن مقدار E_a/RT و به کمک تعریف مشتق مقادیر ثابت های C و D تعیین شد. داده های حاصل از نتایج آزمایشگاهی در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): داده های مورد نیاز جهت تعیین تابعیت ضریب نفوذ

ضریب نفوذ $D_{eff}(m^2/s)$	زمان $t(s)$	در صد رطوبت (kg/kg d.s.)	دما $T(K)$
---	۰	۱۷/۷۰۹۸۱	
$2/21 \times 10^{-10}$	۳۰۰	۱۲/۹۴۱۵۴	۳۱۳
$4/55 \times 10^{-10}$	۶۰۰	۹/۳۴۰۲۹۲	
$5/45 \times 10^{-10}$	۹۰۰	۶/۶۲۶۳۰۵	
$5/8 \times 10^{-10}$	۱۲۰۰	۴/۷۹۵۴۰۷	
$3/68 \times 10^{-10}$	۲۵۰۰	۳/۴۲۵۸۸۷	
---	۰	۱۷/۸۱۴۲	
$4/6 \times 10^{-10}$	۳۰۰	۱۱/۶۰۰	۳۲۳
$6/7 \times 10^{-10}$	۶۰۰	۷/۷۰۱۵	
$7/6 \times 10^{-10}$	۹۰۰	۴/۹۳۲۱	
$8/2 \times 10^{-10}$	۱۲۰۰	۳/۰۸۱۴	
$5/3 \times 10^{-10}$	۲۵۰۰	۱/۰۸۹	
---	۰	۱۷/۷۸۴۹	
$7/5 \times 10^{-10}$	۳۰۰	۱۰/۱۲۵۳	۳۳۳
$9/4 \times 10^{-10}$	۶۰۰	۵/۹۲۹۰	
$1/1 \times 10^{-9}$	۹۰۰	۳/۱۰۴۴	
$1/3 \times 10^{-9}$	۱۲۰۰	۱/۲۳۳۸	
$1/4 \times 10^{-9}$	۲۵۰۰	۰/۰۵۸۴۵	

شکل (۷) تغییرات میزان نسبت رطوبت (MR) بر حسب زمان را نمایش می دهد.



شکل (۷): تغییرات نسبت رطوبت با زمان

$$\frac{V}{V_0} = 0.0532X + 0.0555 \quad (5)$$

جدول (۳): مقادیر ثابتهای A و B در شرایط عملیاتی مختلف

شماره آزمایش	$\frac{V}{V_0} = AX + B$		
	R ²	B	A
۴	۰/۹۹۹۴	۰/۰۵۴۲	۰/۰۵۲
۵	۰/۹۹۸۱	۰/۰۵۵۵	۰/۰۵۳
۶	۱/۰۰۰	۰/۰۵۳۲	۰/۰۵۳
۷	۰/۹۹۸۶	۰/۰۵۶۲	۰/۰۵۳
۹	۰/۹۹۹۴	۰/۰۵۵۲	۰/۰۵۳
۱۰	۰/۹۹۹۷	۰/۰۵۴۸	۰/۰۵۳
۱۱	۰/۹۹۸۹	۰/۰۵۶۵	۰/۰۵۳
۱۲	۰/۹۹۷۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۲
۱۳	۱/۰۰۰	۰/۰۵۸۶	۰/۰۵۲
۱	۰/۹۹۵۵	۰/۰۵۵۳	۰/۰۵۵
۱۶	۰/۹۹۴۷	۰/۰۵۶	۰/۰۵۳
۱۹	۰/۹۹۸۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۳
۲۲	۰/۹۹۸۳	۰/۰۵۶۱	۰/۰۵۳

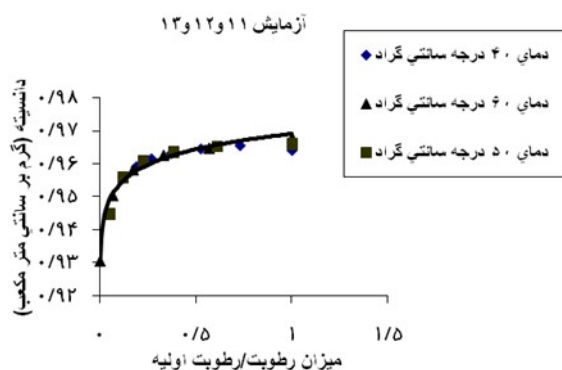
۳-۷- بررسی تغییرات دانسیته ماده خشک

شونده

شکل (۹) تغییرات میزان دانسیته داده های آزمایشگاهی مربوط به مکعبهای کدو را نمایش می دهد. نتایج تجربی حاصل تقسیم جرم اندازه گیری شده بر حجم توده کدو، که به وسیله اندازه گیری تغییر حجم تولوئن در نتیجه وجود توده جامد در آن در هر مرحله اندازه گیری شده است می باشد.

رابطه بیان کننده تغییرات دانسیته با میزان رطوبت ماده در حالت کلی به صورت زیر می باشد [۱۴].

$$\rho_s = a \left(\frac{X}{X_0} \right)^b \quad (6)$$



شکل (۹): تابعیت دانسیته توده کدو با میزان رطوبت نمونه

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات رابطه زیر ضریب نفوذ توده کدو به صورت تابعی از دما و رطوبت پیشنهاد می گردد:

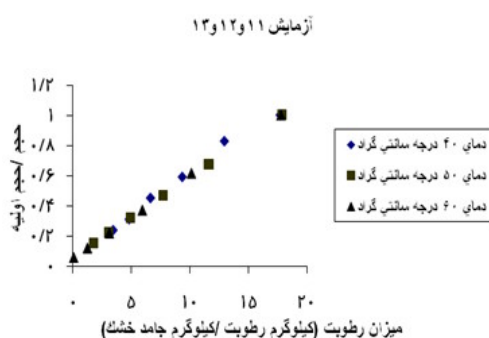
$$D_{eff} = 0.126 \exp\left(\frac{-5969.3}{T_{abs}}\right) \exp\left(-\left(8.108 \times 10^{-3} T_{abs} - 2.55\right) X\right) \quad (3)$$

۳-۶- بررسی چروکیدگی ماده خشک شونده

در راستای بررسی پارامترهای مختلف عملیاتی و تاثیر آن بر چروکیدگی ماده خشک شونده آزمایشات متعددی انجام گرفت و در هر آزمایش تغییرات میزان (V/V_0) نسبت به زمان در رطوبتهای متفاوت اندازه گیری شد. با توجه به نتایج آزمایشگاهی مشخص می شود که تغییرات (V/V_0) در هنگام خشک شدن مکعبهای کدو تابعی خطی از میزان رطوبت نمونه به صورت زیر می باشد [۱۴]:

$$\frac{V}{V_0} = AX + B \quad (4)$$

شکل (۸) تغییرات میزان چروکیدگی را به صورت تابعی از رطوبت نشان میدهد.



شکل (۸): تابعیت چروکیدگی توده کدو با میزان رطوبت نمونه

ثابت های معادله ۴ تحت شرایط عملیاتی متفاوت اندازه گیری شده و در جدول (۳) آورده شده است. مقادیر ثابتهای به دست آمده در شرایط عملیاتی متفاوت بسیار به هم نزدیک بوده و لذا می توان از متوسط این مقادیر استفاده نمود و رابطه ای جهت پیش بینی تغییرات چروکیدگی بر حسب میزان رطوبت به دست آورد:

X_e	Equilibrium moisture content (g water / g dry matter)	X_0	Initial moisture content (g water / g dry matter)
D_{eff}	Effective moisture diffusivity (m^2/s)	β	Bulk-shrinkage coefficient
V	Volume of squash cubes at time t (cm^3)	V_0	Initial volume of squash cubes (cm^3)
ρ_s	Density of squash cubes (g/cm^3)	A,B	Parameter in equation 4
T_{abs}	Absolute Temperature(K)	a,b	Parameter in equation 6

مقادیر پارامترهای a و b در هر دما به کمک نرم افزار Excell به دست آمده و در جدول (۴) آورده شده است. هیچ رابطه معقولی میان a و b با دما وجود نداشته و می توان نتیجه گیری نمود که دما اثری بر تغییرات دانسیته توده ندارد. متوسط مقادیر a و b به عنوان مقادیر مطلوب در نظر گرفته شده است. با استفاده از نتایج تجربی رابطه زیر جهت تخمین دانسیته توده کدو با تغییرات میزان رطوبت پیشنهاد می گردد:

$$\rho_s = 967.7 \left(\frac{X}{X_0} \right)^{0.0071} \quad (7)$$

۵- مراجع

- [1] N. Arslan, H. Togrul, (2005), "Moisture sorption isotherm of crushed chilies", *Biosystem Engineering*, 90(1), 47-61.
- [2] W.J. Chancellor, (1968), "A Simple Grain Drier Using Conducted Heat", *Trans. ASAE*, 11, 857-867.
- [3] M. Abid, R. Gilbert, C. Laguerie, (1990), "An experimental and theoretical analysis of mechanisms of heat and mass transfer during the drying of corn grains in a fluidized bed", *Int.Chem.Eng.*, 30, 632-642.
- [4] G. Chen, Yonghui-Zhao, Zhong-Xiang, J. Yukun-Chen, (1996), "Drying of suspending liquor in fluidized bed with inert particle", *J.Chem.Eng.(China)*, 45(4), 474-480.
- [5] S.J. Zhou, D. Mowla, F.Y. Wang, V. Rudolph, (1998), "Experimental investigation of food drying processes in dense phase fluidized bed with energy carrier", *CHEMICA98*, Port Douglas, Nourth Queensland, Astrailia.
- [6] B. Abbasi Souraki, A. Andres, D. Mowla, (2009), "Mathematical modeling of microwave-assisted inert medium fluidized bed drying of cylindrical carrot samples", *Chemical Engineering and Processing*, 48(1) 296-305
- [7] T. Abe, T.M. Afzal, (1997), "Thin layer infrared radiation of rough rice", *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67, 289-297.

جدول(۴): مقادیر ثابتهای a و b در دماهای مختلف

ضریب همبستگی R^2	دانسیته (g/cm^3)		$T(^{\circ}C$ دما)
	b	a	
۰/۹۸۵	۰/۰۰۷۱	۰/۹۶۵۶	۴۰
۰/۹۷۷	۰/۰۰۷۳	۰/۹۶۸۷	۵۰
۰/۹۹۶	۰/۰۰۷	۰/۹۶۸۸	۶۰

۴- نتیجه گیری

همانگونه که از نتایج حاصل مشخص است دانسیته و چروکیدگی توده کدو تنها تابعی از میزان رطوبت نمونه باشد اما میزان ضریب نمونه تابعی از میزان رطوبت نمونه و دما می باشد. همچنین با توجه به نتایج ارائه شده مشخص گردد که میزان از دست رفتن رطوبت در خشک کن های بستر سیالی با منبع حرارتی مادون قرمز به مراتب بیشتر از خشک کن های بستر سیالی به تنهایی می باشد و این امر سبب کاهش قابل ملاحظه ای در زمان خشک شدن می گردد. از روابط به دست آمده جهت ضریب نفوذ-چروکیدگی و تغییرات حجم می توان در مدلسازی این نوع خشک کن استفاده نمود.

علائم اختصاری

MR	Moisture Ratio	X	Average moisture content at time t (g water / g dry matter)
----	----------------	---	---

- [12] A.K. Datta, H. Ni, (2002), "Infrared and hot air assisted microwave heating of foods for control of surface moisture", *Journal of Food Engineering*, 51, 355-364.
- [13] J. Crank, (1975), "The mathematics of diffusion" (2nd), London, UK: Oxford University Press, pp.69-88.
- [14] S. Azzouz, A. Guizani, W. Jomaa, (2002), "Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes", *Journal of Food Engineering*, 55, 323-330.
- [8] A.S. Mujumdar, "Hand book of industrial drying ", (1995), Marcell Dekker , INC, page 567.
- [9] S. Sahin, S. Gulum Sumnu, (2006), "Physical properties of foods", Springer publisher, 16-18.
- [10] R.B. Keey,(1972), "Drying principle and practice", Pergamon Press publisher, 39-40.
- [11] C. Ratti, (1994), "Shrinkage during drying of foodstuffs", *Journal of Food Engineering*, 23, 91-105.

Experimental survey on bulk drying in a fluidized bed dryer using infrared heating

Roghaye Keshavarz¹, Alireza Fazlali², Mohammad Ali Honarvar³, Bizhan Honarvar⁴,

1. MSC Student in Chemical Engineering, Arak University.

2. Assistant Professor of Chemical Engineering, Arak University.

3. MSC Student in Chemical Engineering, Marvdasht Islamic Azad University.

4. Assistant Professor in Fars research and science Branch, Islamic Azad University.

ARTICLE INFO

Article history :

Received 20 December 2009

Received in revised form 17 July 2010

Accepted 23 October 2010

Keywords:

Fluidized bed Drying

Infrared

Shrinkage

Cubic shaped material

ABSTRACT

During the drying process of food, systems undergo several simultaneous physical and structural modifications, undesirable from the viewpoint of material end use. Cubic squash samples were utilized as the test media in the fluidized bed dryer assisted infrared heat source. The effective moisture diffusion coefficient was expressed as a function of temperature and average moisture content. Some correlations have been developed for shrinkage and density of the drying materials. The effect of air temperature, inert materials amount, air velocity and IR power on drying rate were investigated.

All rights reserved.

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.