

بررسی سینتیک افت رطوبت و مدلسازی ریاضی سیب زمینی با استفاده از آنالیز رگرسیون

مرجان یعقوبی¹، حمید توکلی پور^{2*}، امیرحسین الهامی راد²، سید حمید رضا ضیاء الحق³، محسن مختاریان¹، بیژن عسکری²

¹ دانش آموزتهی کارشناسی ارشد علوم و صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

² گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

³ عضو هیات علمی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: 90/6/2 تاریخ پذیرش: 90/9/5

چکیده

در این تحقیق با استفاده از خشک کن آزمایشگاهی جابه جایی هوای داغ، خشک کردن ورقه ای نازک برش های سیب زمینی، مدل سازی گردید. هدف از این پژوهش، بررسی سینتیک خشک کردن و ارائه ی مدل ریاضی مطلوب سیب زمینی با استفاده از آنالیز معادله ی رگرسیون بود. آزمایش ها در دو سطح دمایی 65 و 70 درجه ی سانتیگراد در سه تکرار، انجام گردید. سه مدل ریاضی سینتیکی استاندارد بر داده های تجربی برازش داده شد و ارزیابی مدل ها از طریق چهار معیار ضریب همبستگی¹، ریشه ی میانگین مربعات خطا²، کاهش کای اسکور³ و خطای انحراف میانگین⁴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج، نشان داد که مدل پیچ نسبت به سایر مدل ها، مراحل خشک شدن برش سیب زمینی را بهتر ارزیابی می کند.

واژه های کلیدی: مدلسازی دینامیکی، لایه ای نازک، خشک کردن.

*مسئول مکاتبه: h.tavakolipour@gmail.com

¹-Determination of Correlation Coefficient (R2)

²-Root Mean Square Error (RMSE)

³-Chi-square (χ^2)

⁴-Mean Bias Error (MBE)

1- مقدمه

خشک کردن گلابی تحت شرایط مختلف توسط گینه (2008) انجام شد. هدف اصلی، ارائه‌ی یک مدل انتشاری از پیش توسعه یافته جهت ارائه‌ی رفتار خشک کردن گلابی در یک خشک کن جابه جایی مداوم، شامل تغییر زمان با ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و حرارتی بود. رویز کلما و همکاران (2009) یک مدل ریاضی برای خشک کردن لایه ای نازک مادون قرمز انگور با استفاده از آنالیز رگرسیون غیر خطی (روش مارگارت) و یک آنالیز رگرسیون چند دامنه ای را به کار بردند. سواسداسیو و همکاران (2009)، یک مدل ریاضی جهت پیش بینی میزان رطوبت و دمای برش موز با روش ترکیبی خلاء و تابش مادون قرمز دور را ارائه نمودند. هدف از این تحقیق، ارائه‌ی مناسب ترین مدل برای توصیف رفتار خشک کردن ورقه‌های نازک سیب زمینی بود. بدین منظور، مدل‌های دینامیکی خشک کردن لایه‌ی نازک محصولات کشاورزی جهت سیب‌زمینی شبیه‌سازی گردید و در نهایت، بهترین مدل بر اساس پارامترهای مورد بررسی تعیین شد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده سازی نمونه

در این تحقیق، نمونه‌های سیب زمینی تازه از بازار محلی تهیه گردید. سپس از لحاظ رنگ، قطر و وزن، درجه بندی شد. کلیه‌ی نمونه‌ها جهت کاهش میزان شدت تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی در یخچال با دمای 5 °C تا 6 °C نگه داری شدند. نمونه های سیب زمینی با کمک برش زن دستی در ضخامت 10 میلی متر برش داده شد. میزان رطوبت اولیه‌ی نمونه‌های سیب زمینی با روش آون گذاری در دمای 105 °C به مدت 8 ساعت تعیین گردید (1).

2-2- مدل سازی ریاضی منحنی‌های خشک کردن

در این تحقیق، نسبت رطوبت نمونه‌ها (MR) و آهنگ سرعت خشک کردن سیب زمینی (R) توسط معادلات زیر محاسبه گردید:

$$MR = \frac{m_t - m_e}{m_0 - m_e}$$

$$R = \frac{(M_{t+dt} - m_t)}{dt}$$

در این معادله، m_t مقدار رطوبت در زمان t ، m_0 مقدار رطوبت اولیه، m_e ، مقدار رطوبت تعادلی، M_{t+dt} ، مقدار رطوبت در زمان

خشک کردن سبزیجات به عنوان روشی جهت افزایش ماندگاری آن‌ها می‌باشد. برخلاف سبزیجات تر که فقط برای مدت کوتاهی و در شرایط خاصی نگهداری شوند، فرآورده‌های خشک شده را می‌توان در مدت‌های طولانی، بدون کاهش ارزش غذایی نگه داری نمود. همچنین، سبزیجات خشک شده به دلیل وزن توده‌ی پایین به آسانی حمل و نقل می‌شوند. در برخی موارد، خشک کردن، سبب کاهش قابل توجه حجم شده و در نتیجه، باعث کاهش فضای مورد نیاز جهت نگه داری می‌گردد (17). برای رسیدن به این اهداف باید فرآیند خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی را مدل سازی نمود تا بتوان بر اساس الگوی به دست آمده از مدل، روند خشک کردن محصول را پیش بینی نمود. هدف از ارائه‌ی مدل خشک کردن محصولات کشاورزی، پیش بینی نحوه‌ی خشک کردن محصولات می‌باشد (3). مدل‌های شبیه سازی، نقش مهمی در خشک کردن و بهبود آن ایفا می‌نمایند (5). برای هر محقق به دست آوردن بهترین مدل برازش شده، مورد هدف می‌باشد. دویماز (2004) لایه‌های نازک هویج به ضخامت 0/5 سانتی متر را در چهار دمای 50، 60، 65 و 70 درجه‌ی سانتی گراد با سرعت 0/5 تا 1 متر بر ثانیه به وسیله‌ی خشک کن آزمایشگاهی خشک کرد. مدل پیچ نسبت به مدل هندرسون و پاییس نتیجه‌ی بهتری را نشان داد (7). کاراتانوس و بلزیوتیس (1999) از مدل خشک کردن لایه‌ای نازک، جهت خشک کردن محصولات کشاورزی دارای قند بالا مانند انگور فرنگی، انگور بی دانه، انجیر و آلوچه استفاده نمودند. مدل پیچ، بهترین مدل جهت خشک کردن میوه‌های تازه‌ی مورد استفاده گزارش گردید. میدلی و کوچاک (2003) از دو روش خشک کردن لایه ای نازک و خشک کردن آفتابی جهت تشریح رفتار خشک کردن و بسط مدل‌سازی ریاضی پسته‌ی پوست گیری شده و پوست گیری نشده استفاده نمودند. لهسانی و همکاران (2004) روش خشک کردن آفتابی جابه جایی لایه ای نازک و مدل ریاضی پوست گلابی خادار را ارائه نمودند. مدل خشک کردن میدلی - کوچاک بهترین نتایج را ارائه نمود و تطابق مطلوبی با داده های آزمایشی به دست آمده توسط دویماز (2006) داشت که رفتار خشک کردن لایه ای نازک انگور سیاه را در یک خشک کن آزمایشگاهی بررسی نمود و مشخص گردید که مدل پیچ، مناسب ترین مدل جهت خشک کردن انگور سیاه می‌باشد.

جدول 1- مدل های دینامیکی مختلف ارائه شده توسط نویسندگان برای منحنی های خشک کردن

| مدل | معادله ی مدل |
|-----------------|--------------------|
| نیوتن (لویس) | $MR = \exp(-kt)$ |
| پیچ | $MR = \exp(-kt^n)$ |
| هندرسون و پابیس | $MR = a \exp(-kt)$ |

2-3- آنالیز داده های خشک کردن

مدل های رگرسیونی تغییرات رطوبت در طی خشک کردن جهت به دست آوردن مقادیر ضرایب ثابت این مدل های توصیفی (a, b, c, n) با استفاده از داده های آزمایشگاهی مربوط به سینتیک خشک کردن ورقه ای نازک برش های سیب زمینی به کمک ابزار برازش منحنی در نرم افزار Sigma Plot نسخه 11 برآورد گردید. در این تحقیق برای انتخاب مناسب ترین مدل توصیف کننده ی سینتیک خشک کردن ورقه ای نازک برش های سیب زمینی، ضریب همبستگی (R^2)، ریشه ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، کای اسکور (χ^2) و خطای انحراف میانگین (MBE) ما بین داده های تجربی و نتایج پیش بینی شده توسط هر مدل، محاسبه و با مدل های دیگر، مورد مقایسه قرار گرفت. این معیارها توسط معادلات زیر محاسبه شدند.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - Z}$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})$$

در این معادلات، $MR_{exp,i}$ رطوبت ورقه های سیب زمینی مشاهده شده در i امین اندازه گیری، $MR_{pre,i}$ رطوبت ورقه های سیب زمینی پیش بینی شده از مدل در i امین اندازه گیری، N تعداد مشاهدات (داده ها) و Z تعداد ضرایب ثابت به کار رفته در هر مدل

می باشد. مقدار رطوبت m_e در مقایسه با رطوبت های m_i یا m_0 بسیار ناچیز بوده و این مساله، سبب تشخیص راحت این دو از یکدیگر می گردد. نمونه ها در دو دمای 65 و 70 °C و ضخامت 10 میلی متر در خشک کن جابه جایی هوای داغ خشک گردید. در این تحقیق، رفتار کاهش رطوبت با گذشت زمان مورد مطالعه قرار گرفت. مدل های منحنی خشک کردن ورقه ای نازک سیب زمینی بر اساس مدل های توصیه شده توسط محققانی که در این زمینه کار نموده اند طبق جدول 1، انتخاب گردید. در این مطالعه، عملکردها و مدل های ریاضی توسط نرم افزار کامپیوتر Sigma Plot نسخه 11 شبیه سازی گردید. منحنی های خشک کردن توسط 3 مدل رطوبت نسبی مختلف که به طور وسیعی برای مواد بیولوژیکی و اکثر مواد غذایی به کار برده می شود مورد برازش قرار گرفت. این مدل ها از طریق ساده کردن قانون دوم فیک مشتق شده است. در ذیل به بررسی چند مدل سینتیک خشک کردن می پردازیم.

مدل هندرسون¹ و پابیس، اولین مدلی بود که از طریق معادله ی فیک مشتق گردید. این مدل برای پیش بینی خصوصیات خشک کردن گوجه فرنگی، استفاده گردید (6)، همچنین این مدل برای ویژگی های خشک کردن لایه ای نازک محصولات کشاورزی متنوع، مورد استفاده قرار گرفت (7).

$$MR = a \exp(-kt)$$

مدل لویس² شکل ویژه ای از مدل هندرسون می باشد. لویس (1921) رفتار انتقال رطوبت از مواد غذایی و مواد کشاورزی را مشابه جریان انتقال حرارت از بدن به صورت جریان سرد عرق توصیف نمود. بر اساس فرضیات این مدل، مقاومت داخلی اندکی در حرکت رطوبت از داخل مواد به سطح مواد وجود ندارد.

$$MR = \exp(-kt)$$

مدل پیچ³ (1949) حالت اصلاح شده ی مدل لویس می باشد با این تفاوت که معایب آن را رفع نموده است. این مدل، دو ثابت تجربی (k, n) را برای اصلاح مدل لویس پیشنهاد نمود تا معایب آن رفع گردد. این مدل به طور موفقیت آمیزی برای توصیف خصوصیات خشک کردن برخی از فرآورده های کشاورزی و مواد غذایی استفاده شد (3).

$$MR = \exp(-kt^n)$$

¹-Henderson & Pabis model

²-Lewis Models

³-Page model

3- نتایج و بحث

مدت زمان لازم برای خشک کردن سیب زمینی از مقدار رطوبت اولیه‌ی 80/5٪ در مبنای خشک تا مقدار رطوبت نهایی 0/11٪ در مبنای خشک برای دماهای 65 و 70 درجه‌ی سانتیگراد در شکل 1 به وضوح مشاهده می‌گردد.

همچنین نتایج، نشان داد که دمای هوای خشک کردن تاثیر معنی داری روی زمان خشک کردن داشت به طوری که از نمودار خشک کردن می‌توان دریافت که زمان لازم جهت خشک کردن سیب زمینی در دمای 65 °C نسبت به دمای 70 °C طولانی تر می‌باشد. نتایج مشابه توسط سایر محققان بر روی سبزیجات مختلف مشاهده گردید (1، 2).

سه مدل دینامیکی خشک کردن لایه ای نازک برای ورقه‌های سیب زمینی در دمای 65 و 70 °C مورد برازش قرار گرفت. پارامترهای آماری مورد آزمون شامل R^2 ، χ^2 ، RMSE و MBE بود. مقادیر آنالیز آماری برای هر یک از این پارامترها در جداول 2 و 3 نمایش داده شده است. در همه‌ی حالت‌ها مقدار R^2 برای مدل‌های آماری مورد آزمون از 0/9802 بیش تر بود. نتایج آنالیز آماری نشان داد که مدل پیچ⁴ دارای بالاترین R^2 و کم ترین χ^2 و RMSE می‌باشد. بنابراین، بالا بودن مقدار ضریب تبیین و کم بودن مقدار کای اسکور و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا مهم ترین دلیل در انتخاب بهترین مدل مورد برازش می‌باشد. نتایج مشابه توسط سایر محققان بر روی سبزیجات مختلف مشاهده گردید (1، 2).

مقادیر انتشار رطوبت مؤثر تعیین شده برای ورقه‌های سیب زمینی خشک شده در جدول 4، نمایش داده شده است. مقادیر D_{eff} برای ورقه‌های سیب زمینی در دمای 65 تا 70 °C در دامنه‌ی $(m^2/s) \times 10^{-8}$ 4/81 تا 2/53 قرار دارد. نتایج، نشان داد که با افزایش دمای خشک کردن مقدار انتشار رطوبت مؤثر افزایش می‌یابد که این مطلب از طریق حرکت یا انتقال جرم از منافذ مؤینه ماده‌ی غذایی توصیف می‌گردد. مقادیر D_{eff} به طور مشابه توسط سایر نویسندگان در جدول 5 گزارش گردید.

می‌باشد. برای سنجش بهترین مدل جهت پیش بینی نحوه‌ی خشک شدن ورقه‌های سیب زمینی چهار معیار χ^2 ، R^2 ، RMSE و MBE مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، مدل مناسب خشک کردن با حداکثر همبستگی R^2 و حداقل RMSE، χ^2 و MBE به عنوان مدل مناسب برای توصیف سینتیک خشک کردن ورقه‌های سیب زمینی انتخاب شد (1، 2).

4-2- تعیین ضریب انتشار رطوبت

قانون فیک¹ اغلب برای توصیف پدیده‌ی نفوذ رطوبت به کار می‌رود (11، 19).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

که در آن X مقدار رطوبت موضعی در مبنای خشک، t زمان و x مختصه‌ی فضایی² می‌باشد. معادله‌ی انتشاری قانون دوم فیک بر انتشار جرم در طی دوره‌ی سرعت نزولی خشک کردن محصولات کشاورزی دلالت دارد (19). برای به کار بردن قانون فیک فرض می‌گردد که فرآورده‌ی غذایی تک بعدی است، رطوبت اولیه‌ی یکنواختی دارد و دارای حرکت درونی رطوبت به مثابه‌ی مقاومت اصلی در برابر انتقال رطوبت است. متاسفانه در نظریه‌ی انتشار، چروکیدگی، سخت شدن سطحی یا ایزوترم‌های جذب در نظر گرفته نمی‌شود (4). حال معادله‌ی فیک برای یک تیغه³ به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{m_t - m_e}{m_0 - m_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right]$$

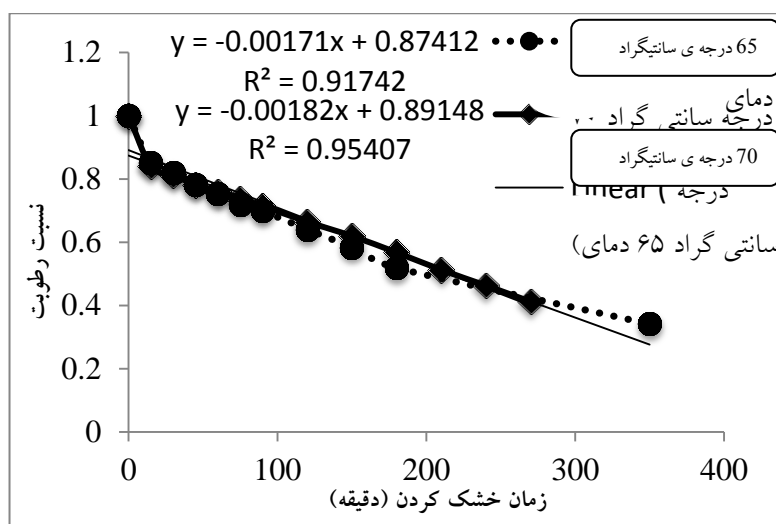
که در آن m_t میزان رطوبت در زمان t، m_0 رطوبت اولیه، m_e مقدار رطوبت تعادلی، L نیم ضخامت تیغه‌ی (m)، D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر (m^2/s)، t زمان (s)، MR نسبت رطوبت (بدون بُعد) و k_0 شیب خط می‌باشد. ضریب نفوذ معمولاً با رسم داده‌های تجربی خشک کردن بر حسب Ln MR نسبت به زمان تعیین می‌گردد. ضریب نفوذ مؤثر، همان شیب زاویه‌ی بخش خطی است.

¹ -Fick's Law

² -Spatial Coordinate

³ -Slab

⁴ - Midli Models



شکل 1- نمودار تغییرات نسبت رطوبت با زمان در دماهای مختلف خشک کردن سیب زمینی

جدول 2 - نتایج آماری مدل‌های خشک کردن ورقه ای نازک سیب زمینی در دمای 65 °C

| مدل | R ² | χ ² | RMSE | MBE |
|-----------------|----------------|----------------|--------|---------|
| نیوتن | 0/9890 | 0/00048 | 0/0214 | 0/00504 |
| پیچ | 0/9899 | 0/00021 | 0/0136 | 0/00374 |
| هندرسون و پابیس | 0/9892 | 0/00043 | 0/0195 | 0/00683 |

جدول 3 - نتایج آماری مدل‌های خشک کردن ورقه ای نازک سیب زمینی در دمای 75 درجه‌ی سانتی گراد

| مدل | R ² | χ ² | RMSE | MBE |
|-----------------|----------------|----------------|--------|---------|
| نیوتن | 0/9802 | 0/00181 | 0/0416 | 0/00557 |
| پیچ | 0/9902 | 0/00074 | 0/0261 | 0/00781 |
| هندرسون و پابیس | 0/9825 | 0/00166 | 0/0391 | 0/00928 |

جدول 4- مقادیر انتشار رطوبت مؤثر به دست آمده برای سیب زمینی در دمای متفاوت

| D _{eff} (m ² /s) | R ² | معادله‌ی رگرسیونی | دمای هوای خشک کردن (°C) |
|--------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|
| 2.53×10 ⁻⁰⁸ | 0.971 | y = -0.003x - 0.077 | 65 |
| 4.81×10 ⁻⁰⁸ | 0.941 | y = -0.002x - 0.097 | 70 |

جدول 5- مقایسه‌ی ضریب انتشار مؤثر محصولات مختلف

| مرجع | D _{eff} (m ² /s) | دامته‌ی دمای خشک کردن (°C) | محصول |
|------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------|
| دویمز 2004 | 12/6-6/76 × 10 ⁻¹⁰ | 55 | زرد آلو |
| دویمز 2007 | 9/38-3/88 × 10 ⁻¹⁰ | 60-50 | کدوی حلوایی |
| دویمز 2011 | 5/68-1/54 × 10 ⁻¹⁰ | 75-60 | گیلاس |
| دویمز 2007 | 6/65-3/91 × 10 ⁻¹⁰ | 70-55 | گوجه فرنگی |
| دویمز 2004 | 9/33-0/77 × 10 ⁻⁹ | 70-50 | هویچ |
| مقاله اخیر | 2/53 تا 4/81 × 10 ⁻⁸ | 70-65 | سیب زمینی |

- 8- Doymaz, I. 2004b. Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl-oleate on the drying kinetics of apricots. *Journal of Biosystems Engineering*, 89, 281-287.
- 9- Doymaz, I., 2006. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *J. Food Eng.*, 76: 212-217.
- 10- Doymaz, I. 2007a. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79, 243-248.
- 11- Doymaz, I. 2007b. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*. 78, 1291-1297.
- 12- Doymaz, I., & Ismail, O. 2011. Drying characteristics of sweet cherry. *Journal of Food and Bioproducts Processing*, 89, 31-38.
- 13- Guine, R.P.F., 2008, Pear drying: experimental validation of a mathematical prediction model. *Food Bioprod. Process.*, 86: 248-253.
- 14- Karathanos, V.T. and Belessiotis, V.G., 1999, Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *J. Agric. Eng. Res.*, 74: 355-361.
- 15- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A. and Jamali, A., 2004, Thin layer convective solar drying and mathematical modelling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). *Energy*, 29: 211-224.
- 16- Midilli, A. and Kucuk, H., 2003, Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Converse. Manage.*, 44: 1111-1122.
- 17- Mwithiga, G., and Olwal. J.O. 2005. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering*, 71, 373-378.
- 18- Ruiz Celma, A., Lopez-Rodriguez, F. and Cuadros Blazquez, F., 2009, Experimental modeling of infrared drying of industrial grape by-products. *Food Bioprod. Process.*, 87: 247-253.
- 19- Sacilik, K., Keskin, R. & A.K. Elicin. 2006. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73, 231-238.
- 20- Swasdisevi, T., Devahastin, S., Sa-Adchom, P. and Soponronnarit, S., 2009, Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice. *J. Food Eng.*, 92: 100-106.

4- نتیجه گیری

در این تحقیق، تاثیر دما روی ویژگی‌های خشک کردن ورقه‌ای نازک سیب زمینی، مورد بررسی قرار گرفت. افزایش دمای خشک کردن، سبب کاهش زمان خشک کردن و بالا رفتن آهنگ خشک کردن و انتشار موثر گردید به گونه‌ای که سیب زمینی خشک شده در دمای 70°C دارای کم‌ترین زمان خشک کردن بود. بعد از آنالیز آماری مدل، نتایج، نشان داد که در بین مدل‌های دینامیکی مورد برآزش، مدل پیچ به دلیل داشتن حداکثر R^2 و حداقل χ^2 و RMSE به عنوان بهترین مدل برای خشک کردن ورقه‌ای نازک سیب زمینی انتخاب گردید. انتشار رطوبت مؤثر در دمای $65-70^{\circ}\text{C}$ برای ورقه‌های سیب زمینی در دامنه‌ی $4/81 \times 10^{-8}$ تا $2/53 \text{ m}^2/\text{s}$ ارزیابی گردید.

5- منابع

- 1- کوشکی، ف. مختاریان، م. و همکاران. 1390. خشک کردن ورقه‌ای نازک کیوی توسط فرآیند جابه‌جایی هوای داغ. نخستین همایش فراملی بهینه‌سازی زنجیره تولید، توزیع و مصرف در صنایع غذایی، (گرگان، 20-21 اردیبهشت 1390).
- 2- مختاریان، م. کوشکی، ف. و همکاران. 1390. بررسی مدل‌های ریاضی خشک کردن لایه‌ای نازک رقم ریوگرند Y گوجه‌فرنگی با فرآیند جابه‌جایی هوای داغ. نخستین همایش فراملی بهینه‌سازی زنجیره‌ی تولید، توزیع و مصرف در صنایع غذایی، (گرگان، 20-21 اردیبهشت 1390).
- 3- Akanbi, C. T., & Oludemi, F. O. 2003. Effect of processing and packaging on the lycopene content of tomato products. *International Journal of Food Properties*, 7(1), 139-152.
- 4- Akgun, N.A., Doymaz, I. 2005. Modelling of olive cake thin-layer drying process. *Journal of Food Engineering*, 68, 455-461.
- 5- Bruin, S. and Luyben, K. 1980. Drying of food materials, Ch. 6 in *Advances in Drying*, A. S. Mujumdar, (ed.) Hemisphere Publishing Co., New York, NY pp155-215. (McGraw-Hill Co, US).
- 6- Dermesonlouoglou, E.K., Giannakourou, M.C., Taoukis, P.S. 2007. Kinetic modeling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. *Journal of Food Chemistry*. 103, 985-993.
- 7- Doymaz, I. 2004a. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.