



Investigation and Analysis of Drying Kinetics of Carrot Layers with Microwave Oven

Mani Ghanbari^{1*} , Seyed Mehdi Sahraeian²

¹Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Shahriar, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

²Lecturer, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Shahriar, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 04.27.2020

Revised: 09.13.2020

Accepted: 09.19.2020

Keyword:

Microwave

Carrot

Activation Energy

Effective Moisture Permeability

Coefficient

Drying

ABSTRACT

Microwaves are one of the fastest methods of drying food whose energy is comparable to that of hot air drying. In this paper, the kinetics of drying film-thin carrot layers was investigated and analyzed. First, the carrots were cut into 2.5 mm and 5 mm thicknesses and then the experiments were carried out using Samsung M945 Microwave. Microwave power and shape of the carrot layers affected the drying time and effective moisture penetration to the extend that the drying time was reduced by 57.5%. The moisture penetration for the samples with 2.5 and 5 mm thickness changed from 1.35×10^{-7} to 3.6×10^{-7} m² /s and 5.37×10^{-7} to 1.06×10^{-6} , respectively.

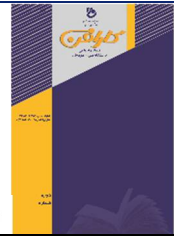
*Corresponding Author: Mani

Ghanbari

Email:

Manighanbari@tvu.ac.ir





شاپای الکترونیکی: 2538-4430

شاپای چاپی: 2382-9796



بررسی و تحلیل سینتیک خشک کردن لایه‌های هویج با اُن میکروویو

مانی قنبری^{1*}، سید مهدی صحرانیان²

- ۱- دپارتمان مهندسی ماشین‌های کشاورزی، آموزشکده فنی کشاورزی شهریار، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان تهران، ایران.
 ۲- مربی، دپارتمان مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی شهریار، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان تهران، ایران.

چکیده

یکی از روش‌های سریع خشک کردن مواد غذایی که انرژی آن، قابل مقایسه با روش خشک کردن با هوای گرم است، استفاده از میکروویو می‌باشد. سیستم‌های خشک کردن میکروویو، زمان خشک کردن محصول با حداقل تأثیر منفی بر کیفیت محصول به طور قابل توجهی کاهش داده‌اند. در این مقاله، سینتیک خشک کردن لایه نازک هویج، بررسی و تحلیل شد. ابتدا هویج‌ها به ضخامت‌های 2/5 و 5 میلی‌متر، برش داده شدند و سپس آزمایش‌ها با دستگاه ماکروویو M945-Samsung انجام گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که توان ماکروویو و شکل لایه‌های هویج، بر مدت زمان خشک شدن و نفوذ رطوبت مؤثر، تأثیر داشت؛ به طوری که زمان خشک شدن 57/5 درصد کاهش یافت. مقدار نفوذ رطوبتی برای نمونه‌های با ضخامت 2/5 و 5 میلی‌متر به ترتیب از $1/35 \times 10^{-7}$ تا $3/6 \times 10^{-7}$ m²/s و $5/37 \times 10^{-7}$ تا 6×10^{-7} m²/s تغییر یافت.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: 1399/02/08

بازنگری مقاله: 1399/06/23

پذیرش مقاله: 1399/06/29

کلید واژگان:

میکروویو

هویج

انرژی فعال‌سازی

ضریب نفوذ رطوبتی مؤثر

خشک کردن

*نویسنده مسئول: مانی قنبری

پست الکترونیکی:

Manighanbari@tvu.ac.ir



مقدمه

خشک کردن، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است [۱]. در خشک کردن، علاوه بر جلوگیری از فساد ماده غذایی ناشی از میکروارگانیسم‌ها یا واکنش‌های شیمیایی، وزن ماده غذایی کاهش می‌یابد و در هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری، صرفه‌جویی می‌شود [۲]. در خشک‌کن‌های با هوای گرم، به دلیل این که هدایت حرارتی، پایین است و انتقال حرارت به قسمت‌های داخلی ماده غذایی، محدود شده است؛ راندمان انرژی، پایین می‌آید و مدت زمان طولانی‌تری برای خشک کردن لازم است [۳]. امروزه، استفاده از خشک‌کن‌های ریزموج یا ماکروویو، مرسوم شده است؛ زیرا ماکروویو، علاوه بر این که باعث افزایش سرعت خشک شدن محصول و کاهش مصرف انرژی می‌گردد به علت انتشار یکنواخت گرما در محصول، آسیب کمتری به آن وارد می‌کند و در پایان کار، محصول خشک شده، با رنگ، بو و طعم واقعی، به دست می‌آید [۴]. برای رفع این مشکل و جلوگیری از کاهش کیفیت و دست‌یابی به یک فرایند حرارتی مؤثر، از مایکروویو برای خشک کردن مواد غذایی استفاده شده است. مثال‌های متعددی از کاربردهای خشک کردن به وسیله مایکروویو وجود دارد. کاربرد مایکروویو در خشک کردن، گستره وسیعی از صنایع؛ شامل صنایع غذایی، صنایع شیمیایی، خودروسازی و غیره را دربرمی‌گیرد. در هر مورد سیستم‌های خشک کردن مایکروویو، زمان خشک کردن را به طور قابل توجهی کاهش داده‌اند بدون این که تأثیر منفی بر کیفیت محصول داشته باشند. برای نمونه، بررسی خشک کردن برگ‌های شوید [۵] تأثیر توان ماکروویو بر سینتیک خشک کردن و تغییر رنگ موز [۶]، خشک کردن گیاه جعفری به روش ماکروویو و تعیین بهترین تشعشعی برای خشک کردن آن [۷] و بررسی سینتیک خشک کردن کرفس با امواج ماکروویو [۸] را می‌توان نام برد.

در خشک کردن با مایکروویو، گرما، حاصل از تبدیل انرژی مایکروویو به انرژی حرارتی در درون مواد مرطوب است، فشار و دمای مطلوب را برای خشک کردن سریع مواد، فراهم می‌کند. گرمایش حجمی ناشی از نفوذ مایکروویو و کاهش هزینه‌های فرایند، مایکروویو را به منبع جذاب انرژی حرارتی، تبدیل کرده است. زمان‌های کوتاه‌تر فرآوری، به میزان قابل توجهی هزینه‌های تولید برخی از محصولات را کاهش می‌دهد [۹].

مایکروویو، یک روش سریع خشک کردن مواد غذایی است که انرژی آن، قابل مقایسه با روش خشک کردن با هوای گرم است. در خشک کردن با مایکروویو، خروج رطوبت، سریع‌تر است و همچنین به دلیل تمرکز انرژی سیستم مایکروویو فقط ۲۰ تا ۳۵ درصد نسبت به سایر روش‌های خشک کردن، نیاز به فضا دارد [۱۰]. در یک پژوهش، میزان انرژی فعال‌سازی برای محصولات مختلف کشاورزی بین $110 - 127$ kJ/mol گزارش شده است [۱۱]. در تحقیقی، تأثیر ضخامت فوم روی پارامترهای خشک کردن فوم پالپ چغندر قند در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد با غلظت آلومین ۲ درصد، بررسی شد و نشان داد که با افزایش ضخامت فوم، نرخ خشک کردن، دانسیته توده‌ای، دانسیته ضربه‌ای و میزان گرمزی پودرها کاهش و در مقابل ضریب انتشار رطوبت افزایش یافت [۱۲].

با توجه به موارد بیان شده، هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر ضخامت و شکل لایه‌های هویج، بر مدت زمان خشک شدن و نفوذ رطوبتی مؤثر در یک خشک‌کن مایکروویو در سطوح مختلف از توان می‌باشد.

روش‌شناسی

به منظور انجام آزمایش‌ها، هویج‌هایی خریداری و در یخچال با دمای 4°C تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند تا شرایط رطوبتی آنها حفظ شود. نمونه‌های هویج پس از شستشو با آب، توسط کولیس ضخامت‌های $2/5$ و 5 میلی‌متر از سطح آن، علامت‌گذاری شدند. سپس با چاقو برش زده شدند. میزان رطوبت اولیه، نمونه‌های هویج به روش استاندارد (دمای $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ به مدت ۴ ساعت) آون 88 w.b درصد اندازه‌گیری شد [۱۳].

برای آزمایش‌ها از دستگاه آون مایکروویو (M945-Sumsung) استفاده شد. نمونه‌ها با دو ضخامت $2/5$ و 5 میلی‌متر در آون مایکروویو (M945-Sumsung) در چهار سطح توانی ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وات خشک شدند. وزن نمونه‌ها

هر ۳۰ ثانیه تا رسیدن به رطوبت نهایی توسط ترازوی دیجیتال (GF600-Japan) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. نحوه قرار گرفتن نمونه‌ها در داخل آن مایکروویو بسیار مهم است؛ چون حداکثر انرژی مایکروویو در مرکز آن جذب می‌شود. به همین دلیل، نمونه‌ها نسبت به مرکز آن به صورت متقارن چیده شده و بعد از هر بار وزن کردن، نمونه‌ها مجدداً در مکان قبلی خود قرار داده می‌شدند تا زاویه تابش ثابت بماند.

نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده در هر لحظه طی خشک شدن به وسیله رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، MR: نسبت رطوبت، M_t : رطوبت توده در لحظه جاری بر پایه خشک، M_e : رطوبت تعادلی، و M_0 : رطوبت اولیه توده محصول است. طرف چپ معادله، نسبت رطوبت که مشخص‌کننده فرایند خشک کردن است را نشان می‌دهد. براساس پژوهش‌های انجام شده، در محصولاتی که دارای رطوبت زیاد هستند معادله (۱) به صورت معادله (۲) ساده می‌گردد [۱۴].

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2)$$

در نتیجه، برای محاسبه نسبت رطوبت، نیازی به اندازه‌گیری رطوبت تعادلی نیست. مدل انتشار، برای تجزیه و تحلیل فرایند خشک شدن با نرخ نزولی، استفاده می‌شود؛ بنابراین با استفاده از قانون دوم فیک خواهیم داشت [۱۵]:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 (D_{eff} M) \quad (3)$$

که در آن ∇^2 مشتق دوم و D_{eff} نفوذ رطوبت مؤثر بر حسب (m^2/s) می‌باشد.

برای حل معادله (۳) فرض‌های ساده‌کننده زیر در نظر گرفته شد:

الف: در شرایط مورد مطالعه برای خشک کردن لایه‌ها ضریب نفوذ مؤثر، مستقل از رطوبت محصول است و تابعیت دمایی آن از طریق رابطه آرنیوس بیان گردید.

ب: رطوبت و فشار هوا در طول فرایند خشک شدن برای همه لایه‌های محصول، یکنواخت فرض شد.

پ: انتقال رطوبت از مرکز به سطح لایه‌های محصول در فاز نزولی آهنگ خشک کردن بود و به طور عمده از طریق انتشار مولکولی صورت گرفت.

با توجه به فرض‌ها، حل معادله (۳) به صورت معادله (۴) ارائه شد:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (4)$$

که در آن، D_{eff} نفوذ رطوبت مؤثر (m^2/s) و t زمان خشک شدن بر حسب ثانیه و L نصف ضخامت لایه هویج بر حسب متر می‌باشد.

برای زمان طولانی جمله اول معادله (۴) در نظر گرفته شده است. شکل لگاریتمی این معادله را می‌توان به فرم معادله (۵) نوشت.

$$\ln MR = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5)$$

نمودار $\ln MR$ بر حسب زمان خشک شدن یک خط راست با شیب (K) است که بر اساس آن، مقدار نفوذ رطوبتی مؤثر، محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (۶)$$

از آنجایی که اندازه‌گیری دما به طور دقیق در داخل یک خشک‌کن مایکروویو امکان‌پذیر نمی‌باشد، معادله آرنیوس برای اندازه‌گیری انرژی فعال‌سازی، به صورت معادله (۷) اصلاح گردید [۱۶]:

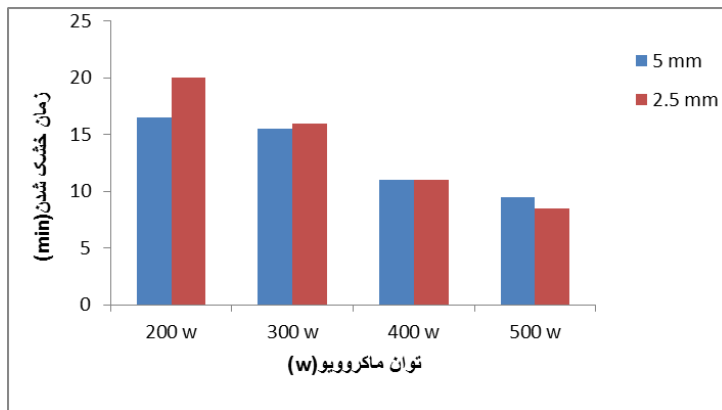
$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a m}{P}\right) \quad (۷)$$

که در آن، P توان مایکروویو (W)، m جرم نمونه (g)، E_a انرژی فعال‌سازی (W/g) و D_0 ضریب نفوذ رطوبتی مؤثر (m^2/s) می‌باشد.

داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایش‌ها به نرم‌افزار SPSS منتقل شدند و تحلیل آماری آنها با روش آزمایش فاکتوریل در قالب طرح به طور کامل تصادفی انجام گردید. تحلیل آماری آزمایش‌ها نشان داد که تغییر توان مایکروویو و ضخامت لایه‌های هویج، بر زمان خشک شدن و نفوذ رطوبت مؤثر، تأثیر معناداری دارد.

یافته‌ها

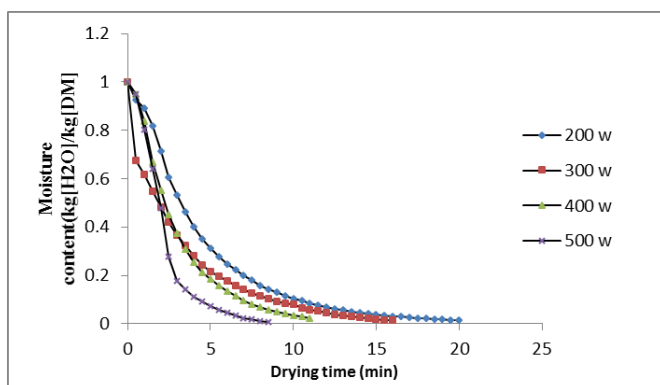
تحلیل داده‌های آزمایش در نمودارهای مربوطه، استخراج و نشان داده شده است. شکل (۱) زمان کلی خشک شدن در مقابل توان خروجی مایکروویو برای نمونه‌ها با ضخامت ۲/۵ و ۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد. کمترین زمان خشک کردن در نمونه‌ها با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر در توان ۵۰۰ وات حدود ۷ دقیقه و کمترین زمان خشک کردن برای نمونه‌ها با ضخامت ۵ میلی‌متر در توان ۵۰۰ حدود ۸ دقیقه محاسبه گردید. همچنین بیشترین زمان مورد نیاز برای خشک کردن نمونه‌ها با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر در توان ۲۰۰ وات حدود ۲۰ دقیقه و بیشترین زمان مورد نیاز برای خشک کردن نمونه‌ها با ضخامت ۵ میلی‌متر در توان ۲۰۰ وات حدود ۱۷ دقیقه است. در توان پایین‌تر مدت زمان خشک شدن بیشتر می‌باشد. با افزایش توان از ۲۰۰ به ۵۰۰ وات، زمان خشک شدن برای نمونه با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر ۵۷/۵٪ و برای نمونه با ضخامت ۵ میلی‌متر ۴۲/۴ درصد کاهش یافت. نتایج این بخش از تحقیق، در توافقی با نتایج تحقیق وانگ و شنگ می‌باشد [۴]. همچنین نتایج تحقیقات در منبع دیگری نشان داد که استفاده از مایکروویو سبب افزایش سرعت خشک شدن مواد غذایی در حجم کمتر خواهد شد [۱۰].



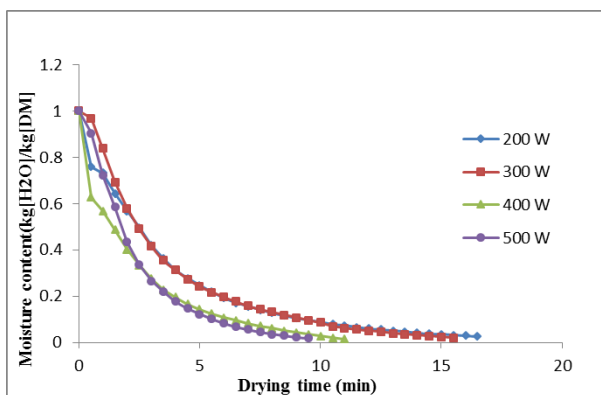
شکل ۱. تغییرات زمان خشک شدن در سطوح مختلف از توان مایکروویو

شکل‌های ۲ و ۳، منحنی‌های روند خشک شدن هویج را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود افزایش توان خروجی مایکروویو، رطوبت نسبی محصول را سریع‌تر کاهش می‌دهد؛ زیرا این گونه به نظر می‌رسد که با افزایش توان خروجی از مایکروویو دمای درون محفظه و شدت پرتوهای مایکروویو با نرخ بیشتری افزایش می‌یابد و باعث کاهش میزان رطوبت نمونه در زمان کمتر می‌گردد. به عبارت دیگر، توان بالاتر باعث انتقال بیشتر جرم و حرارت می‌شود و کاهش رطوبت شدیدتر می‌گردد. کاربرد مایکروویو سرعت جذب آب را افزایش می‌دهد که علت آن، افزایش خلل و خرج در طول مرحله انرژی مایکروویو در خشک کردن است. بخش‌های میانی نمونه‌ها به سرعت به حرارت تبدیل می‌شود و این مسئله، ایجاد یک فشار درونی را در پی دارد که به طور عمده‌ای بر نمونه‌ها تأثیر می‌گذارد و در نهایت، منجر به ایجاد بافت پف کرده سلولی در طول تیمار مایکروویو می‌شود. اما دیواره سلولی نمی‌تواند تغییر حجم ایجاد شده را نگه دارد و در نهایت، ساختار سلولی به حالت ابتدایی نزدیک می‌شود ولی به هر حال در مقایسه با خشک کردن با هوای داغ ساختار نمونه‌های خشک شده توسط مایکروویو دارای خلل و فرج بیشتری است.

در شروع روند خشک شدن، رطوبت اولیه نمونه‌های هویج زیاد و آهنگ از دست دادن رطوبت زیاد است، به تدریج و با گذشت زمان، میزان رطوبت محصول کمتر شده و آهنگ کاهش رطوبت، به طور طبیعی کاهش می‌یابد. محصول، بیشتر، رطوبت خود را در لحظات اولیه خشک شدن از دست می‌دهد و در نتیجه، زمان زیادی برای از دست دادن رطوبت باقی مانده، لازم است.



شکل ۲. تغییرات نسبت رطوبت در زمان خشک شدن برای نمونه‌های هویج با ضخامت ۲/۵ میلی متر



شکل ۳. تغییرات نسبت رطوبت در زمان خشک شدن برای نمونه‌های هویج با ضخامت ۵ میلی متر

جدول ۱. تغییرات نفوذ رطوبت مؤثر در سطوح مختلف توانی برای نمونه‌های هویج

مقدار نفوذ رطوبتی مؤثر (m ² /s)		سطح توان (W)
ضخامت ۵ (mm)	ضخامت ۲/۵ (mm)	
5.37E-07	1.35E-07	۲۰۰
6.16E-07	1.36E-07	۳۰۰
8.57E-07	2.19E-07	۴۰۰
1.06E-06	3.16E-07	۵۰۰

مقدار نفوذ رطوبتی مؤثر در جدول ۱ برای هر دو نمونه ارائه شده است. مطابق با این جدول نفوذ رطوبتی برای نمونه‌های با ضخامت‌های ۲/۵ و ۵ میلی‌متر به ترتیب از $1/35 \times 10^{-7}$ تا $3/16 \times 10^{-7}$ m²/s و $5/37 \times 10^{-7}$ تا $6/16 \times 10^{-7}$ m²/s تغییر می‌کند. مقدار نفوذ رطوبتی مؤثر برای نمونه با ضخامت ۵ میلی‌متر در توان‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ وات بیشتر از نمونه با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر است. با افزایش توان ورودی مایکروویو، مقدار نفوذ رطوبتی مؤثر نمونه با ضخامت ۵ میلی‌متر، بیشتر از نمونه با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر می‌باشد. علت این امر ممکن است به دلیل اختلاف در ضخامت نمونه‌ها باشد. مطابق با جدول ۱ برای خشک‌کن مایکروویو می‌توان دریافت که با افزایش توان خشک‌کن مایکروویو، ضریب نفوذ رطوبتی مؤثر نیز افزایش می‌یابد. به طور کلی، نتایج این تحقیق، با تحقیقی که به منظور خشک کردن برگ کرفس انجام شد نیز یکسان بوده است [۱۸].

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، سینتیک خشک کردن لایه‌های نازک هویج با ضخامت‌های ۲/۵ و ۵ میلی‌متر در آون مایکروویو، بررسی و تحلیل شد. بررسی نتایج این تحقیق نشان داد که در هر مرحله از آزمایش، با افزایش توان مایکروویو، زمان خشک شدن لایه‌های هویج، کاهش یافت. تحلیل آزمایش‌ها حاکی از آن بود که با افزایش توان مایکروویو، میزان نفوذ پرتوهای مایکروویو افزایش یافت و در نتیجه، آهنگ سرعت خشک شدن لایه‌های هویج، افزایش یافت. همچنین در این پژوهش، با افزایش ضخامت نمونه‌ها میزان نفوذ رطوبتی در آنها افزایش یافت. بنابراین از این روش می‌توان به عنوان یکی از روش‌های بهینه خشک کردن مواد غذایی استفاده کرد که سبب کاهش زمان فرایند خشک کردن محصول و افزایش راندمان این فرایند خواهد شد.

References

- [1] Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44(2), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00167-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00167-3)
- [2] Koç, B., Eren, İ., & Kaymak Ertekin, F. (2008). Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.030>
- [3] Zirjani, L., & Tavakoli Pour, H. (2010). Study of the possibility of banana leaf production by combined method of hot air drying and microwave. *Iranian Food Science and Technology Research*, 6(1), 73-86. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=118535>
- [4] Wang, J., & Sheng, K. (2006). Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT - Food Science and Technology*, 39(3), 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.02.001>
- [5] Doymaz, İ., Tugrul, N., & Pala, M. (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.070>

- [6] Pereira, N. R., Marsaioli, A., & Ahrné, L. M. (2007). Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.09.025>
- [7] Soysal, Y., Öztekin, S., & Eren, Ö. (2006). Microwave Drying of Parsley: Modelling, Kinetics, and Energy Aspects. *Biosystems Engineering*, 93(4), 403-413. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.01.017>
- [8] Kouchakzadeh, A & ,Shabani, N. (2014, January 29-31). *Kinetics of drying celery leaves with microwave waves*. 8th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization of Iran, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran. <https://civilica.com/doc/284448>
- [9] Tavakolipour, H. (2018, October). *Principles of drying food and agricultural products*. Abiz Publishing. <https://www.adinehbook.com/gp/product/9649700410>
- [10] Crank, J. (1979). *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press. <https://books.google.com/books?id=eHANhZwVouYC>
- [11] Amiri Chayjan, R., Amiri Parian, J., & Esna-Ashari, M. (2011). Modeling of moisture diffusivity, activation energy and specific energy consumption of high moisture corn in a fixed and fluidized bed convective dryer. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(1), 28-40. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110901-077-10>
- [12] Bahriye, G., Dadashi, S., Dehghannya, J., & Ghaffari, H. (2020). Study of the foam thickness effect on the effective moisture diffusion coefficient and drying kinetics of red beetroot by foam-mat method and evaluation the qualitative and functional characteristics of product. *Journal of food science and technology(Iran)*, 16(96), 53-64. <https://doi.org/10.29252/fsct.16.96.53>
- [13] Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., & Gundoshmian, T. M. (2018). Determination of physical and mechanical properties of carrot in order to reduce waste during harvesting and post-harvesting. *Food Science & Nutrition*, 6(7), 1898-1903. <https://doi.org/10.1002/fsn3.760>
- [14] Diamante, L. M., & Munro, P. A. (1993). Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51(4), 271-276. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(93\)90122-5](https://doi.org/10.1016/0038-092X(93)90122-5)
- [15] Özbek, B., & Dadali, G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83(4), 541-549. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.004>
- [16] Askari, G. R., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2006). Effects of Combined Coating and Microwave Assisted Hot-air Drying on the Texture, Microstructure and Rehydration Characteristics of Apple Slices. *Food Science and Technology International*, 12(1), 39-46. <https://doi.org/10.1177/1082013206062480>