



## بررسی تغییرات آهنگ تبخیر، ضریب موثر انتشار رطوبت و انرژی فعال‌سازی برای خشک‌کردن میوه آلبالو در

### خشک‌کن مایکروویو - خلا

سعید مینایی<sup>۱</sup> - علی متولی<sup>۲</sup> - سلیمان عباسی<sup>۱</sup> - عبدالرحمن قادری<sup>۲</sup>

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

Sminae@gmail.com

### چکیده

در این پژوهش، رفتار خشک شدن و تاثیر شرایط مختلف خشک کردن (۴ سطح توان مایکروویو ۳۶۰، ۶۰۰، ۸۴۰ و ۱۲۰۰ وات و ۴ سطح فشار مطلق ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی بار) توسط خشک‌کن مایکروویو - خلا بر تمایل به از دست دادن رطوبت، ضریب انتشار رطوبت موثر و مقادیر انرژی فعال‌سازی در میوه آلبالو مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های این بررسی، ضریب موثر انتشار رطوبت برای میوه آلبالو بین  $3/21 \times 10^{-9}$  تا  $20/005 \times 10^{-9}$  متر مربع بر ثانیه بدست آمد. انرژی فعال‌سازی با استفاده از یک رابطه نمایی بر مبنای رابطه آرنیوس محاسبه شد. مقادیر انرژی فعال‌سازی بدست آمده در خشک‌کن مایکروویو - خلا برای میوه آلبالو در سطوح مختلف توان و خلا در سه روش متفاوت بسیار به یکدیگر نزدیک بود.

واژه‌های کلیدی: آهنگ تبخیر، ضریب انتشار، انرژی فعال‌سازی، مایکروویو-خلا، آلبالو

### مقدمه

آلبالو به طور عمده در لهستان، روسیه، صربستان، مجارستان، ایران، اتریش، آذربایجان و آلمان تولید می‌شود. براساس آمار فائو، ایران در حدود ۴۸/۶۷ هزار تن میزان تولید که معادل ۵٪ تولید جهانی است (FAO, 2006). آلبالو برای تهیه محصولات مختلفی مانند مربا، سس، ژله، آب نبات و نکتار بکار برده می‌شود و خشک کردن به طور گسترده ای برای نگهداری طولانی مدت آلبالو استفاده می‌شود (Doymaz, 2006). خشک کردن یکی از قدیمی ترین روشها برای حفظ محصولات کشاورزی و غذایی می باشد که بدلیل کاهش حجم و وزن، محصول را به راحتی قابل حمل و نقل می سازد (Koyuncu et al., 2007)

خشک کردن محصولات غذایی با استفاده از مایکروویو می‌تواند جانسین مناسبی برای خشک‌کن های هوای گرم محسوب شود. فرایند خشک کردن با مایکروویو روشی نسبتا ارزان بوده که امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. چرخش دوقطبی مکانیسم مهمی است که تولید گرما را در ماده‌ای که در میدان مایکروویو قرار می‌گیرد توضیح می‌دهد (Schiffman, 1992).

استفاده از خلا در خشک‌کن می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش کیفیت محصول خشک‌شده قلمداد شود. اعمال خلا یا کاهش فشار می‌تواند دمای خشک کردن را کاهش داده و در نتیجه سبب بهبود ویژگی های کیفی ماده غذایی گردد (Jaya & Das 2003; Kompany, 1993).

خشک‌کردن به روش ترکیبی مایکروویو-خلا مزایای هر دو روش خشک‌کردن مایکروویو و خلا را دارد و می‌تواند نسبت انرژی مصرفی را کاهش و کیفیت خشک‌شدن محصول را افزایش دهد (Zheng-Wei et al, 2004). به علت استفاده از خلا

در خشک‌کن مایکروویو، عملیات خشک‌کردن با سرعت بیشتری انجام می‌شود و مدت زمان خشک‌شدن و انرژی مصرفی به نسبت کاهش می‌یابد. خشک‌کردن به روش مایکروویو - خلا دارای پتانسیل بسیار خوبی برای بالا بردن کیفیت محصول است که در خشک‌کردن میوه‌ها، سبزی‌جات و دانه‌ها توسط پژوهشگران مختلف مانند (Zheng-Wei et al., 2004; Drouzas & Schubert, 1996; Kaensup et al., 2002; Wadsworth et al., 1990) گزارش شده است. کاراصلاح و تونسر برگ‌های اسفناج را در خشک‌کن مایکروویو، همرفتی و ترکیب مایکروویو- همرفتی خشک کرده و اثرات آن را بر زمان خشک‌کردن، نسبت خشک‌کردن و تغییرات رنگ مورد بررسی و مقایسه قرار دادند (Karaaslan & Tuncer, 2008) آیلکنور و همکاران برش‌های کدو تنبل را با سه روش خشک‌کن مایکروویو، همرفتی و ترکیب مایکروویو-همرفتی خشک کرده و بهترین دوره خشک‌کردن، رنگ و مصرف انرژی را بدست آوردند (Ilknur, 2007). در پژوهش حاضر به دلیل نبود اطلاعات کافی و مستند، تاثیر شرایط خشک‌کردن بر آهنگ از دست دادن رطوبت، ضریب انتشار رطوبت موثر، انرژی فعال‌سازی و میزان انرژی مصرفی در طی خشک‌کردن میوه آلبالو توسط مایکروویو- خلا مورد بررسی قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

آلبالوهای مورد آزمایش در تیر ماه ۸۸ از یکی از باغ‌های محمد شهر در حومه کرج تهیه شده و برای انجام آزمایشات در یخچال در دمای +۵ سلسیوس نگهداری شد. آلبالوهای نارس و فاسد بطور دستی جدا شده و نمونه‌های یکنواخت برای انجام آزمایش انتخاب گردید. میزان رطوبت اولیه آلبالوها، به روش خشک‌کردن در آون بدست آمد (Doymaz, 2005) طی ۵ تکرار بدست آمد. نتایج نشان داد که میزان رطوبت اولیه آلبالوها در حدود ۷۳ درصد بر پایه تر می باشد. فرآیند خشک‌کردن دانه‌های آلبالو در ۴ سطح توانی (۳۶۰، ۶۰۰، ۸۴۰ و ۱۲۰۰ وات) و ۴ سطح فشار مطلق (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی بار) انجام شد. برای ایجاد خلا از پمپ ( Kawake airvac مدل Jp-120h ساخت تایوان)، برای عملیات خشک‌کردن از مایکروویو (AEG، مدل Micromat 725 آلمان) و برای توزین نمونه‌ها از ترازوی ( Tecator، مدل ۶۱۰، ساخت فرانسه با دقت ۰/۰۰۰۱) استفاده شد. همچنین برای تنظیمات میزان فشار اعمال شده در هنگام خشک‌شدن، خلاسنج (PVR 0606A81 ساخت کشور ایتالیا) بکار برده شد.

میانگین قطر هندسی دانه‌های میوه آلبالو به طور جداگانه حساب شد. برای این منظور حجم ۱۰ عدد آلبالو با استفاده از جابه‌جایی تولوئن بدست آمد (این عمل در ۳ تکرار انجام شد). سپس با استفاده از حجم جابه‌جایی تولوئن، حجم یک دانه آلبالو محاسبه گردید. حجم آلبالو تقریباً برابر با حجم کره در نظر گرفته شده و در نهایت شعاع معادل دانه به کمک رابطه (۱) محاسبه شد (Mohsenin, 1996). از این طریق شعاع معادل برای دانه آلبالو ۸/۹ میلی متر بدست آمد.

$$v = \frac{4}{3} \pi r_e^3 \quad (1)$$

آهنگ تبخیر برای آلبالو با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Wong, 2001):

$$DR = \frac{MC_{t+dt} - MC_t}{dt} \quad (2)$$

که در آن DR آهنگ تبخیر (گرم بر دقیقه)، MCt+dt میزان رطوبت در زمان t+dt (گرم)، MCt میزان رطوبت در زمان t (گرم) و dt فاصله زمانی بین توزین نمونه‌ها (دقیقه) است. آهنگ تبخیر در لحظات اولیه با گذشت زمان به سرعت

افزایش می یابد و به نقطه اوجی که بیشترین مقدار آهنگ تبخیر است می رسد. پس از آن با گذشت زمان، آهنگ تبخیر بطور مداوم کاهش می یابد. این ویژگی آهنگ تبخیر می تواند توسط رابطه (۲) بیان شود (Wong, 2001). در شرایط ناپایدار اشکال کروی می توان مطابق قانون دوم فیک انتقال رطوبت در مرحله نزولی فرآیند خشک کردن را با استفاده از معادله (۳) توصیف نمود (Crank, 2001).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-n^2 \pi^2 \frac{D_{eff} t}{r_o^2}) \quad (3)$$

که در آن MR نسبت رطوبت (بی بعد)، Mt میزان رطوبت در هر لحظه (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد)، Me محتوای رطوبت تعادلی (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد)، Mo میزان رطوبت اولیه (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد)، n تعداد عبارات در نظر گرفته شده از رابطه، t زمان خشک شدن، D<sub>eff</sub> ضریب موثر انتشار رطوبت و r<sub>o</sub> شعاع کره است که در طول روند خشک شدن ثابت فرض شده است. رابطه (۳) در مدت زمان های طولانی خشک شدن به صورت رابطه (۴) خلاصه می شود:

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp(-\pi^2 \frac{D_{eff} t}{r_o^2}) \quad (4)$$

رابطه (۴) برای بدست آوردن ضریب موثر انتشار رطوبت استفاده شده است. در این مرحله شعاع r<sub>o</sub> (دانه آلبالو) ثابت در نظر گرفته می شود. با لگاریتم گیری از طرفین رابطه (۴) می توان رابطه را به صورت خطی نوشت، برای این کار داریم:

$$\ln(MR) = \ln(\frac{6}{\pi^2}) - (\pi^2 \frac{D_{eff} t}{r_o^2}) \quad (5)$$

با رسم لگاریتم طبیعی داده های بدست آمده در طول آزمایش نسبت به زمان، خطی با شیب k<sub>1</sub> بدست می آید که از مساوی قرار دادن این شیب با ضریب t در رابطه (۵)، ضریب انتشار رطوبت موثر را می توان به کمک رابطه (۶) محاسبه کرد.

$$k_1 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r_o^2} \quad (6)$$

از آنجایی که دما در خشک کن میکروویو در هنگام کار به طور دقیق قابل اندازه گیری نیست، برای به دست آوردن انرژی فعال سازی باید از شکل اصلاح شده رابطه آرنیوس استفاده کرد. در روش نخست می توان از ارتباط بین آهنگ ثابت سینتیک خشک شدن (K) و نسبت توان خروجی میکروویو به وزن نمونه (m/p) به جای دمای هوا استفاده کرد. در این حالت پس از ارزیابی داده ها، با به کار بردن رابطه (۷) و رسم مقادیر آهنگ ثابت خشک شدن (K) در مقابل وزن نمونه به توان میکروویو (m/p) در نرم افزار MATLAB می توان مقدار انرژی فعال سازی را بدست آورد.

$$K = K_0 \exp(\frac{-E_a \cdot m}{p}) \quad (7)$$

که در آن (K) آهنگ ثابت خشک شدن (min<sup>-1</sup>) است و از رابطه میدیلی بدست می آید. (K<sub>0</sub>) عرض از مبدا رابطه (min<sup>-1</sup>) ، E<sub>a</sub> انرژی فعال سازی (W g<sup>-1</sup>)، (p) توان خروجی میکروویو (W) و (m) وزن نمونه ها (g) می باشد. در روش دوم، برای بدست آوردن انرژی فعال سازی در میکروویو وابستگی بین ضریب انتشار رطوبت موثر و نسبت توان خروجی میکروویو در برابر مقدار (وزن) نمونه بر اساس مدل آرنیوس می تواند بدست آید (Dadali, 2007a)

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a \cdot m}{p}\right) \quad (8)$$

با رسم نمودار در دو حالت بالا و با استفاده از مدل دادالی و همکاران و تحلیل رگرسیونی چند متغیره در محیط نرم افزار MATLAB می توان انرژی فعال سازی و ضریب ( $D_0$  و  $K_0$ ) را بدست آورد.

با استفاده از رابطه های (۷) و (۸) می توان رابطه بین آهنگ ثابت خشک شدن و ضریب موثر انتشار رطوبت را بدست آورد. مقادیر تئوریک آهنگ ثابت خشک شدن ( $K$ ) از رابطه (۷) و مقادیر ضریب موثر انتشار رطوبت از رابطه (۸) بدست می آید که رابطه بین آن ها عبارت است از (رابطه ۹):

$$K_{th} = A \cdot (D_{eff})_{th} \quad (9)$$

در روش سوم نیز می توان با لگاریتم گیری از طرفین رابطه (۸) آن را به صورت خطی در آورد (رابطه ۱۰):

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_0) - \frac{E_a}{p} \cdot \frac{m}{1} \quad (10)$$

با رسم نمودار ( $\ln D_{eff}$ ) در مقابل ( $1/p$ ) می توان شیب خط ( $K_2$ ) را برای میکروویو به دست آورد (رابطه ۱۱):

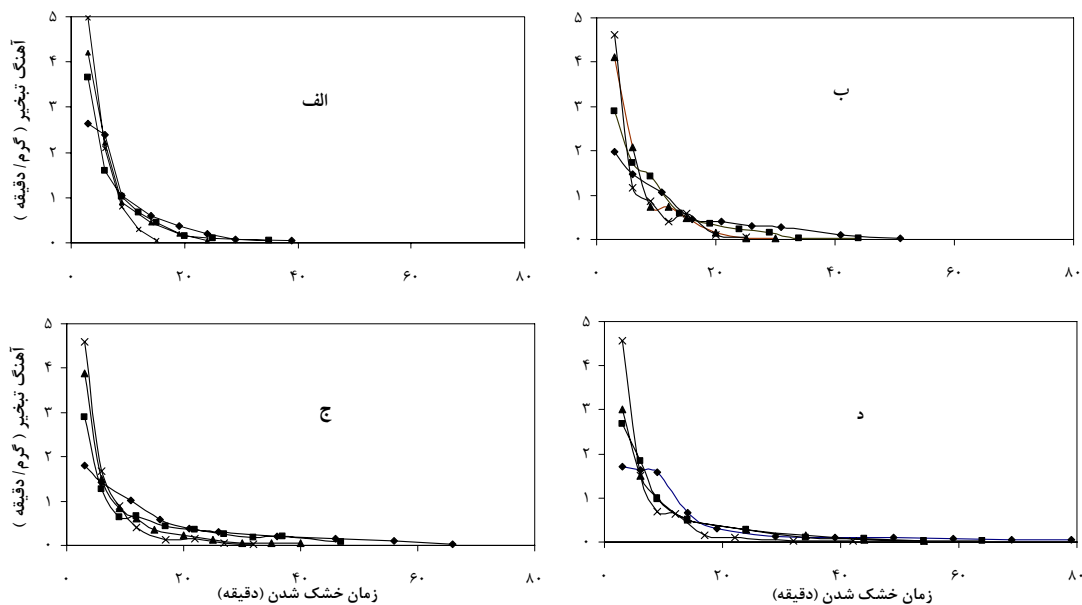
$$K_2 = \frac{E_a}{p} \quad (11)$$

## نتایج و بحث

### آهنگ تبخیر

معمولاً در شروع فرآیند خشک کردن، رطوبت اولیه محصول زیاد است و در نتیجه آهنگ از دست دادن رطوبت نیز زیاد است، ولی بتدریج با پیشرفت زمان، میزان رطوبت محصول به طور طبیعی کاهش پیدا کرده و آهنگ کاهش رطوبت نیز کاهش می یابد. به عبارتی گرچه محصول بخش عمده رطوبت خود را در لحظات اولیه مرحله خشک کردن از دست می دهد ولی هنوز زمان زیادی برای از دست دادن رطوبت باقیمانده لازم دارد. در همین راستا، یافته های بررسی حاضر نیز نشان می دهند (شکل ۱) که آهنگ تبخیر در لحظات اولیه با گذشت زمان به سرعت افزایش می یابد و به نقطه اوجی که بیشترین مقدار آهنگ تبخیر است می رسد و پس از آن با گذشت زمان، آهنگ تبخیر بطور مداوم کاهش می یابد. همانطور که مشاهده می شود توان میکروویو تاثیر مهمی بر آهنگ تبخیر دارد به طوری که با افزایش توان میکروویو آهنگ تبخیر نیز افزایش می یابد. همچنین با کاهش میزان فشار مطلق هوا، دمای نقطه جوش آب کاهش یافته و گرمای بخار آب نیز با کاهش فشار هوا کاهش می یابد، در نتیجه کاهش فشار هوا نیز آهنگ تبخیر را افزایش می دهد. نتایج بدست آمده برای آلبالو در این تحقیق مشابه یافته های سایر پژوهشگران برای خشک کردن محصولات مختلف است

(Funebo & Ohlsson, 1998 ; Soysal, 2004; Giese, 1992; Maskan, 2000; Sharma & Prasad, 2001)



شکل ۱- تاثیر توان مایکروویو (♦ ۳۶۰، ■ ۶۰۰، ▲ ۸۶۰ و × ۱۲۰۰ وات) بر آهنگ تبخیر آب از میوه آلبالو در خشک کردن به روش مایکروویو- خلا در فشارهای مطلق الف) ۲۰۰ (ب) ۴۰۰ (ج) ۶۰۰ (د) ۸۰۰ میلی بار

#### ضریب انتشار رطوبت

با افزایش توان مایکروویو و کاهش میزان فشار مطلق، آهنگ تبخیر افزایش یافته و به دنبال آن، میزان ضریب نفوذ نیز افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار ضریب موثر انتشار رطوبت برای میوه آلبالو به میزان  $2.0 \times 10^{-9}$  در بالاترین توان مایکروویو و پایین‌ترین فشار مطلق بدست آمد. کمترین مقدار ضریب انتشار رطوبت موثر به میزان  $3.21 \times 10^{-9}$  متر مربع بر ثانیه نیز در پایین‌ترین توان مایکروویو و بالاترین فشار مطلق حاصل گردید.

با توجه به اینکه ضریب موثر انتشار رطوبت به دما و ترکیب مواد بستگی دارد (Rizvi, 1996) و نظر به اینکه در پژوهش حاضر ترکیب آلبالو در آزمایش‌ها ثابت بود، لذا احتمالاً دلیل اصلی تغییر میزان ضریب نفوذ موثر در شرایط مختلف خشک کردن مربوط به دماهای مختلف اعمال شده باشد. زیرا دما وابسته به شدت توان مایکروویو و فشار مطلق بوده و در نتیجه در نسبت‌های مختلف ترکیب این دو عامل (توان مایکروویو و فشار مطلق) ضرایب پخش متفاوتی بدست آمد. در ضمن، همان‌گونه که دیده می‌شود در شرایط ثابت توان مایکروویو، با افزایش فشار مطلق، میزان ضریب پخش کاهش و در فشار مطلق ثابت با افزایش توان مایکروویو میزان این ضریب افزایش می‌یابد. به همین دلیل بیشترین میزان ضریب موثر مربوط به فشار مطلق ۲۰۰ میلی بار و توان ۱۲۰۰ وات و کمترین مقدار آن مربوط به توان ۳۶۰ وات و فشار مطلق ۸۰۰ میلی بار می‌باشد. مقادیر مختلف میزان ضریب موثر پخش رطوبت در جدول ۱ آمده است. نتایج بدست آمده مشابه نتایج گزارش شده توسط پژوهشگران برای محصولات دیگر است (Shin Kim & Bhowmik, 1995; Sharma & Prasad, 2004)

جدول ۱- مقادیر ضریب موثر انتشار رطوبت و ضریب تعیین مدل خطی خشک شدن میوه آلبالو در خشک کن مایکروویو- خلا

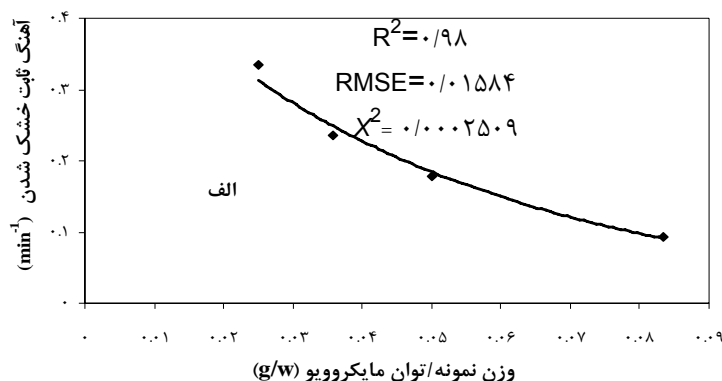
مایکروویوتوان		۳۶۰ وات		۶۰۰ وات		۸۴۰ وات		۱۲۰۰ وات	
میزان فشار مطلق (میلی بار)	$R^2$	$D_{eff} \times 10^{-9}$	$R^2$	$D_{eff} \times 10^{-9}$	$R^2$	$D_{eff} \times 10^{-9}$	$R^2$	$D_{eff} \times 10^{-9}$	$R^2$
۲۰۰	۰/۸۹	۸/۰۳۳۷۹۴	۰/۸۶	۸/۸۳۷۱۷۴	۰/۹۱	۱۱/۱۲۴۷۳	۰/۹۱	۲۰/۰۰۸۴۵	۰/۹۱
۴۰۰	۰/۹۵	۶/۴۲۷۰۳۵۶	۰/۸۸	۷/۲۳۰۴۱۵	۰/۸۵	۹/۶۴۰۵۵۳۴	۰/۸۵	۱۰/۰۰۵۵	۰/۹۰
۶۰۰	۰/۹۶	۴/۸۲۰۲۷	۰/۹۷	۵/۶۲۳۶۵۶	۰/۸۶	۶/۴۲۷۰۳۶	۰/۸۶	۸/۸۳۷۱۷۴	۰/۸۱
۸۰۰	۰/۹۰	۳/۲۱۳۵۱	۰/۸۷	۵/۶۲۳۶۵۶	۰/۹۰	۵/۶۲۳۶۵۶	۰/۹۰	۶/۴۲۷۰۳	۰/۷۲

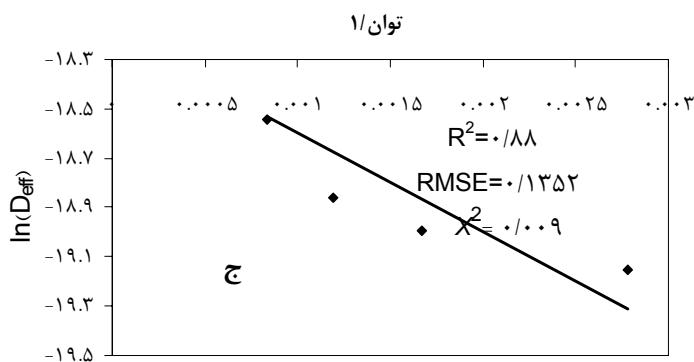
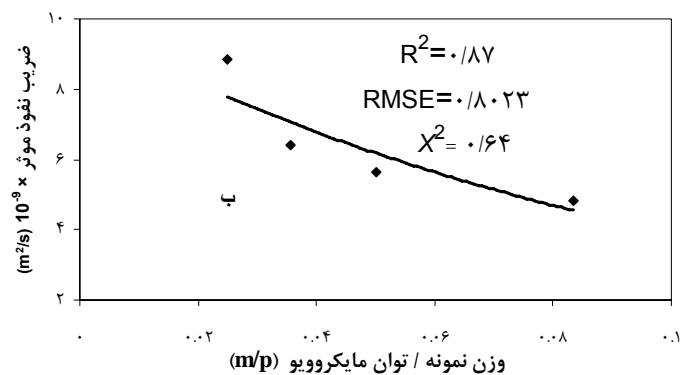
### انرژی فعال سازی

با استفاده از روش اول و با رسم نمودار ( $K$ ) در مقابل ( $m/p$ )، انرژی فعال سازی و ( $K_0$ ) از رابطه (۷) بدست آمد. مدل میدیلی در فشار مطلق ۶۰۰ میلی بار و در توان‌های مختلف مایکروویو بهترین برازش را بر داده‌های آزمایشگاهی داشت. با توجه به ضرایب بدست آمده در مدل میدیلی (جدول ۲) مشاهده شد که با افزایش توان مایکروویو، آهنگ ثابت خشک شدن ( $K$ ) افزایش یافت. با استفاده از آنالیز آماری و با رسم نمودار آهنگ ثابت خشک شدن در برابر وزن نمونه/ توان مایکروویو و با بکارگیری مدل دادالی و همکاران در محیط نرم افزار MATLAB و برازش آن بر داده‌های رسم شده (شکل ۲ الف) مقدار انرژی فعال سازی برای میوه آلبالو حدود ۲۳/۰۴ وات بر گرم بدست آمد.

در روش دوم برای بدست آوردن انرژی فعال سازی مقادیر ضریب انتشار رطوبت موثر در فشار مطلق ۶۰۰ میلی بار و توان‌های مختلف مایکروویو (جدول ۱) در مقابل (وزن نمونه/ توان مایکروویو) رسم گردید. با استفاده از برازش مدل دادالی و همکاران بر داده‌های رسم شده (شکل ۲ ب) مقدار انرژی فعال سازی بدست آمد. مقدار انرژی فعال سازی در روش دوم برای میوه آلبالو ۲۱/۲۳ وات بر گرم تعیین گردید.

در روش سوم برای بدست آوردن انرژی فعال سازی از شیب خط نمودار  $\ln(D_{eff})$  در مقابل ( $1/P$ ) استفاده شد (شکل ۲ ج) و با تقسیم شیب نمودار بر وزن نمونه ها انرژی فعال سازی تعیین گردید. مقادیر انرژی فعال سازی در حالت سوم برای میوه آلبالو ۲۳/۹۱ وات بر گرم بدست آمد. نتایج بدست آمده در سه روش با نتیجه تحقیق اوزبک و دادالی (۲۰۰۷) مشابهت دارد (Ozbek & Dadali, 2007).



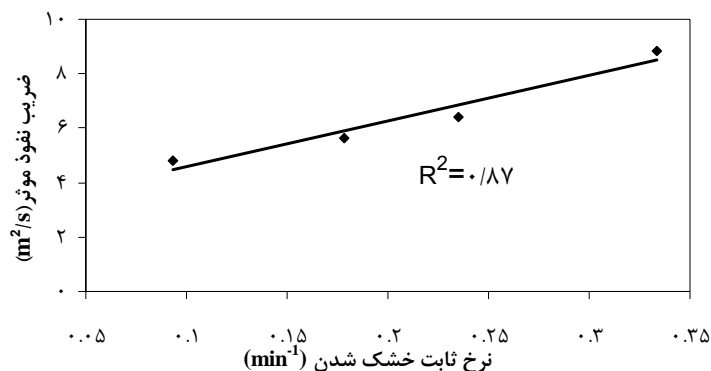


شکل ۲- مقایسه انرژی فعال سازی محاسبه شده توسط سه روش مختلف الف) آهنگ ثابت خشک شدن در مقابل m/p ب) ضریب پخش موثر در مقابل m/p ج) lnD<sub>eff</sub> در مقابل 1/p

جدول ۲- نتایج تحلیل آماری و ضرایب مدل میدیلی در فشار مطلق ۶۰۰ میلی بار

R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE	b (min <sup>-1</sup> )	a	n	K (min <sup>-1</sup> )	توان میکروویو
۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۱۰۰۹	۰/۰۱۳۰	۰/۰۰۱۰۶۲	۱/۰۰۶	۰/۸۴۱۱	۰/۰۹۳۶	۳۶۰
۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۱۱۷۴۸	۰/۰۰۱۵۸۲	۱/۰۰۵	۰/۷۴۹۶	۰/۰۱۷۸۱	۶۰۰
۰/۹۹۶	۰/۰۰۰۰۳۰	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۳۹۷۸	۰/۰۰۱	۰/۸۸۷۴	۰/۲۳۵۳	۸۴۰
۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۰۷۹	۰/۰۰۸۹۰۶	۰/۰۰۲۹۷۷	۰/۰۰۱	۰/۷۱۳۵	۰/۳۳۳۸	۱۲۰۰

رابطه بین آهنگ ثابت خشک شدن و ضریب موثر انتشار رطوبت در شکل ۳ نشان داده شده است. ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) برای ارتباط بین داده‌ها در شکل زیر ۰/۹۵ بدست آمد که نشان می‌دهد مقادیر انرژی فعال سازی بدست آمده از دو روش بسیار نزدیک می‌باشند.



شکل ۳- ارتباط بین مقادیر تئوری آهنگ ثابت خشک شدن و مقادیر تئوری ضریب انتشار رطوبت موثر برای میوه آلبالو

### نتیجه گیری

رفتار خشک شدن میوه آلبالو به صورت لایه نازک در خشک کن میکروویو - خلا در سطوح مختلف توان و خلا بررسی شد و ملاحظه گردید که خشک شدن میوه آلبالو در مرحله نزولی رخ می دهد. آهنگ تبخیر در لحظات اولیه با گذشت زمان به سرعت افزایش یافت و به نقطه اوجی که بیشترین مقدار است رسید. بالاترین آهنگ تبخیر در توان حداکثر و بیشترین میزان خلا ایجاد شده روی داد و سپس با گذشت زمان، آهنگ تبخیر بطور مداوم کاهش یافت. ضریب موثر انتشار رطوبت برای خشک کردن میوه آلبالو در خشک کن میکروویو- خلا با افزایش توان میکروویو و افزایش میزان خلا افزایش یافت. انرژی فعال سازی در خشک کردن میکروویو- خلا با ۳ روش محاسبه شد که مقادیر بدست آمده از سه روش بسیار به یکدیگر نزدیک بودند. برای سطوح ثابت فشار خلا، آهنگ ثابت خشک شدن رابطه مستقیمی با توان خروجی میکروویو و رابطه معکوسی با گرمای بخار آب در همان فشار خلا داشت.

### منابع و مأخذ

- Crank, J. (2001) *Mathematics of diffusion* (2nd ed.) London: Oxford University Press.
- Dadali, G., Apar, D. K. & Ozbek, B. (2007a). Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology*.
- Doymaz, I. (2005). Influence of pretreatment solution on the drying of sour-cherry. *Journal of Food Engineering*; 78: 591-6.
- Doymaz, I. (2006). Influence of pretreatment solution on the drying of sour-cherry. *Journal of Food Engineering*, 78, 591-596.
- Drouzas, A. E. & Schubert, H. (1996). Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering*, 28: 203-209.
- FAO. (2006). Statistical Database. Available from: <http://www.fao.org/>.
- Funebo, T., & Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38: 353-367.
- Giese, J. (1992). Advances in microwave food processing. *Food Technology*, 46: 118-122.
- Ilknur, A. (2007). Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT*, 40: 1445-1451.
- Jaya, S. & Das, H. (2003). A vacuum drying model for mango pulp. *Drying Technology*, 21: 1215-1234.



- Kaensup, W., Chutima, S. & Wongwiset, S. (2002). Experimental study on drying of chilli in a combined microwave–vacuum–rotary drum dryer. *Drying Technology*, 20: 2067–2079.
- Karaaslan, S. N. & Tuncer, I. K. (2008). Development of a drying model for combined microwave–fan-assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering*, 100: 44–52.
- Kompany, E., Benchimol, J., Allaf, K., Ainseba, B. & Bouvier, J. M. (1993). Carrot dehydration for instant rehydration: dehydration kinetics and modeling. *Drying Technology*, 11:451–470.
- Koyuncu, T., Pinar, Y. & Lule, F. (2007). Convective drying characteristics of azarole red (*Crataegus monogyna Jacq.*) and yellow (*Crataegus aronia Bosc.*) fruits. *Journal of Food Engineering*, 78: 1471–1475.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44: 71–78.
- Mohsenin, N. (1996). *Physical Characteristics: Physical Properties of Plant and Animal Materials*. New York, Gordon and Breach Science Publisher.
- Ozbek, B. & Dadali, G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83: 541–549.
- Rizvi, S. S. H. (1996). *Thermodynamic properties of foods in dehydration*. In M. A. Schiffman, R.F. (1992), Microwave processing in the U.S. food industry. *Food Technology*, 58–52: 56.
- Sharma, G. P. & Prasad, S. (2001). Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave -hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 50: 99–105.
- Sharma, G.P. & Prasad, S. (2004) Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave- convective drying. *Journal of Food Engineering*, 65: 609–617.
- Shin Kim, S. & Bhowmik, R.S. (1995). Effective moisture diffusivity of plain yoghurt undergoing microwave vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 24: 137–148.
- Soysal, Y. (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89:167–173.
- Wadsworth, J. I., Velupillai, L. & Verma, L. R. (1990). Microwave–vacuum drying of parboiled rice. *Transactions of the ASAE*, 33:199–210.
- Wong, J. Y. (2001). *Theory of Ground Vehicles*. (3rd ed). John Wiley and Sons, Inc.
- Zheng-Wei, C., Shi-Ying, X. & Da-Wen, S. (2004). Effect of microwave–vacuum drying on the carrot enoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of Chinese chive leaves. *Drying Technology*, 22: 561–574.
- Zheng-Wei, C., Shi-Ying, X. & Da-Wen, S. (2004). Microwave–vacuum drying kinetics of carrot slices, *Journal of Food Engineering*, 65: 157–164.

## Abstract

In this study, the drying behavior and the impact of different drying conditions (4 levels of microwave power 360, 600, 840 and 1200 watts and 4 absolute pressure level 200, 400, 600 and 800 mba modified) by microwave dryers - vacuum the tendency drying rate, Effective diffusion coefficient and activation energy values cherry fruits were analyzed. According to findings published this review factor cherry fruit effective moisture diffusion between  $3.21 \times 10^{-9}$  to  $20.005 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s respectively. Activation energy using a relationship based on View arhineus year was calculated. Activation energy obtained in microwave dryers - vacuum for cherry fruit in the power and vacuum levels in three different methods was very close to each other.

**Keyword:** drying rate, Effective diffusion, energy activation, vacuum-microwave, cherry