



تأثیرات شرایط مختلف خشک شدن بر ضریب نفوذ موثر، میزان انرژی فعال سازی و میزان انرژی مصرفی در خشک کردن لایه نازک گیاه دارویی عناب

علی متولی^۱ - احمد عباس زاده^۱ - سعید مینایی^۲ - محمد هادی خوش تقاضا^۲ - برات قبادیان^۲

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه

تربیت مدرس

ali.motevali62@yahoo.com

چکیده

عناب به عنوان یک گیاه دارویی با خواص بالا به صورت تازه و خشک مصرف می شود. خشک کردن میوه عناب باعث نگهداری طولانی مدت آن و در نتیجه استفاده طولانی تر آن در صنعت داروسازی و پزشکی می شود. در این مطالعه تأثیرات شرایط مختلف خشک کردن بر روی ضریب نفوذ موثر، انرژی فعال سازی، میزان انرژی مصرفی و انرژی مخصوص مورد نیاز برای خشک کردن گیاه دارویی عناب با استفاده از خشک کن آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در سه سطح دمایی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سه سطح سرعت هوای داغ ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه انجام شد. ضریب نفوذ موثر میوه عناب در طی خشک کردن بین $5/766 \times 10^{-10}$ تا $37/48 \times 10^{-10}$ متر مربع بر ثانیه بدست آمد. همچنین انرژی فعال سازی ۱۷/۲۲ تا ۲۳/۸۳ کیلوژول بر مول محاسبه شد. میزان انرژی مصرفی برای ۷۹/۱ تا ۹۲/۴۶ کیلووات بر ساعت و میزان انرژی مخصوص مورد نیاز برای خشک کردن عناب بین ۲۰۳/۵۹ تا ۹۰۰/۰۸ کیلووات بر کیلوگرم محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: عناب، خشک کردن لایه نازک، انرژی مصرفی، انرژی فعال سازی، ضریب نفوذ موثر رطوبت

مقدمه

میوه عناب با نام علمی *zizyphus jujube mill* متعلق به خانواده *rhamnaceae* است. عناب به عنوان یک گیاه دارویی با خواص بالا به صورت تازه و خشک مصرف می شود. *shi jegen* دانشمند چینی در قرن ۱۶ میلادی در کتاب گیاهان دارویی ذکر کرد که عناب در ۲۰۰۰ سال قبل مصرف دارویی داشته و در کشورهای شرق آسیا از میوه، بذر، برگ، شاخه، پوست و ریشه آن برای معالجه بیماری‌ها از جمله کاهش تب استفاده می شود (امید بیگی ۱۳۷۶).

خشک کردن یکی از قدیمی ترین روشها برای حفظ محصولات کشاورزی و غذایی می باشد. خشک کردن مواد غذایی به دلیل کاهش حجم و وزن بعد از پروسه خشک شدن قابل حمل و نقل می سازد (Koyuncu et al., 2007).

در زمانهای قدیم، انرژی خورشید جهت خشک کردن استفاده می شد. اما مشکلات زیادی در استفاده از این روش وجود دارد از جمله: تغییرات نامناسب در کیفیت غذا، عدم کنترل کافی در پروسه خشک کردن، طولانی بودن زمان خشک شدن و غیر بهداشتی بودن محصول. در مقابل، خشک کنهای صنعتی مزایایی نسبت روش سنتی دارند از جمله: برداشت به موقع محصول، کاهش تلفات در مزرعه، برنامه ریزی برای برداشت در شرایط نامطلوب آب و هوایی، افزایش مدت انبارداری مواد

غذایی، استفاده مجدد از تلفات مواد غذایی، بدست آوردن محصول مطلوب، کاهش هزینه ها و کاهش مدت زمان فرآوری. مصرف مقدار زیادی از انرژی در صنعت خشک کردن، خشک کردن را یک عملیات با مصرف انرژی زیاد ولی با اهمیت زیاد صنعتی مطرح می سازد (Sahin and Dincer, 2002). به خشک شدن دانه ها تحت شرایط ثابت دمایی و رطوبتی به صورت تک لایه گسترده خشک کردن به روش لایه نازک گویند (Chakraverty and Singh, 1988)

خشک کردن لایه نازک به فرآیند خشک کردن دانه ها بر می گردد که بایستی تمام دانه ها در شرایط یکسان هوای داغ (در یک دما و رطوبت ثابت) قرار گیرند. تمام خشک کنهای هوای داغ بر اساس خشک شدن لایه نازک مدل سازی می شوند (Ozdemir and Onur Devres, 1999).

خشک کردن میوه ها به مشخصات مربوط به انتقال جرم و حرارت در محصولی که خشک می شود، بستگی دارد. دانستن پخش رطوبت و دمای محصولات، برای طراحی پروسه، کنترل کیفی، انتخاب نوع انبار کردن مناسب و چگونگی جا به جایی مناسب محصولات، لازم می باشد. ضریب پخش یکی از مشخصات محصولات کشاورزی است و مقدار آن بستگی به شرایط داخل ماده، دارد. دانستن درباره پخش رطوبت موثر برای طراحی و مدل سازی فرآیند انتقال جرم، مثل آب زدایی، جذب سطحی و دفع رطوبت در طول انبارداری، لازم می باشد.

تحقیقات زیادی در مورد ضریب نفوذ موثر، انرژی فعال سازی و انرژی مصرفی بر روی لایه نازک محصولات از جمله سبزی جات و میوه های مختلف مانند انجیر (Babalıs and Belessiotis, 2004)، ذرت (Doymaz and Pala, 2003)، گلابی (Goyal et al., 2007)، انگور (Ozdemir and Devres, 1999) و زرشک (Aghbashlo et al., 2008) انجام شده است. اما در مورد خشک کردن گیاه دارویی عناب اطلاعات بسیار کمی در دست است که ضرورت تحقیق حاضر را ایجاب می کند. بنابراین هدف از تحقیق حاضر تعیین ضریب نفوذ موثر، انرژی فعال سازی و انرژی مصرفی در طی خشک شدن گیاه دارویی عناب می باشد.

مواد و روش ها

عناب تازه از شهرستان فاروج، استان خراسان شمالی (شمال شرقی ایران) تهیه شد و برای انجام آزمایش ها در یخچال در دمای +5 درجه سلسیوس نگهداری شد. محتوای رطوبت اولیه عناب، به روش خشک کردن در آون بدست آمد. نمونه های 30 گرمی در آون در دمای 1 ± 105 درجه سلسیوس قرار گرفتند. بطوریکه تغییر وزنی بین دو توزین متوالی مشاهده نشد. این روند در 5 مرتبه تکرار شد و محتوای رطوبتی عناب تازه در حدود (62/5٪) بدست آمد. (Doymaz, 2005)

برای انجام آزمایش ها از یک خشک کن هوای داغ آزمایشگاهی برای آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت. بخشهای اصلی سیستم خشک کن عبارتند از یک دمنده گریز از مرکز، محفظه گرم کننده هوا، محفظه خشک کن، سیستم کنترل دما، اینورتور و سبد خشک کردن.

آزمایشات در سه سطح دمایی 50، 60، 70 درجه سلسیوس و در سه سرعت هوای داغ 0/5 و 1 و 1/5 متر بر ثانیه انجام شد. مقدار رطوبت نسبی محیط در طی آزمایش ها 30-37٪ و دمای محیط بین 23-28 درجه سلسیوس بود. میایگین قطر هندسی عناب می تواند از معادله زیر محاسبه شود (Mohsenin, 1996):

$$D_g = (L \times W \times T)^{\frac{1}{3}} \quad ()$$

که در آن L قطر بزرگ و W قطر متوسط و T قطر کوچک دانه های عناب است که با استفاده از فرمول بالا می توان میانگین قطر هندسی عناب را بدست آورد. قطر هندسی بدست آمده برای بدست آوردن ضریب نفوذ موثر به کار می رود. به طور معمول خشک شدن محصولات در دو مرحله رخ می دهد مرحله اول با سرعت ثابت و مرحله دوم نرخ کاهنده، که اکثر زمان خشک شدن در مرحله دوم صورت می گیرد.

قانون دوم فیک که توسط کرنک برای شرایط ناپایدار نفوذ در اشکال کروی ارائه شد با نادیده گرفتن تاثیرات دما و مجموع گرادیان فشار می تواند انتقال رطوبت در مرحله نزولی پروسه خشک کردن را توصیف کند (Crank, 1975) با فرض اینکه در پروسه خشک کردن پخش رطوبتی موثر، ثابت و شعاعی است می توان مقدار آن را با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

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

که در آن n تعداد ترمهای خشک شدن (۱ و ۲ و ۳...) در نظر گرفته شده از معادله، t زمان خشک شدن، ضریب پخش موثر، r_o شعاع کره که در پروسه خشک شدن ثابت فرض شده است.

زمانی که t افزایش می یابد، تمام ترمهای به غیر از ترم اول، صفر می شوند. با صرف نظر کردن از ترمهای بالا داریم (Babalıs and Belesiotis, 2004)

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp(-\pi^2 \frac{D_{eff} t}{r_o^2}) \quad (3)$$

بعد از ساده شدن، معادله بالا را می توان به صورت خطی نوشت. با (LN) گیری از طرفین معادله بالا می توان آن را به صورت خطی در آورد.

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

با رسم لگاریتم طبیعی داده های بدست آمده در طول آزمایش نسبت به زمان، خطی با شیب k_1 بدست می آید که از مساوی قرار دادن این شیب با ضریب t در رابطه (۸)، ضریب نفوذ موثر را می توان از رابطه (۹) محاسبه کرد.

$$k_1 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r_g^2} \quad (5)$$

انرژی فعال سازی و انرژی مصرفی:

با استفاده از معادله آرنیوس رابطه بین دما و ضریب پخش موثر در معادله زیر نشان داده شده است که می توان انرژی فعال سازی بدست آورد.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R_g \cdot T_{abs}}\right) \quad (6)$$

که E_a انرژی فعال سازی و R_g ثابت جهانی گازها که برابر با T_{abs} (8.3143 kJ/mol) دمای هوای داخل محفظه خشک کن (کلوین) و D_0 عرض از مبدا که مقدار آن ثابت می باشد.

دمای استفاده شده در معادله فوق دمای محصور شده در محیط خشک کردن می باشد بنابراین می باید فرض هم دما بودن هم در پخش موثر و هم در انرژی فعال سازی مد نظر قرار گیرد. معادله بالا می تواند با لگاریتم گیری از طرفین معادله به صورت خطی در آید.

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 - \frac{E_a}{R_g} \cdot \frac{1}{T_{abs}} \quad (7)$$

با رسم نمودار ($\ln D_{eff}$) در مقابل ($1/T_{abs}$) خطی با شیب (k_2) بدست می آید.

در طی آزمایش میزان انرژی مصرفی توسط گرمکن های خشک کن و همچنین میزان انرژی مصرفی برای خشک کردن یک کیلوگرم از عناب تازه از رابطه زیر استفاده شد. میزان انرژی مصرفی در هر دوره توسط رابطه زیر اندازه گیری گردید (Koyuncu et al., 2007; Aghbashlo et al., 2008)

$$E_t = A \cdot v \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot \Delta t \cdot D_t \quad (8)$$

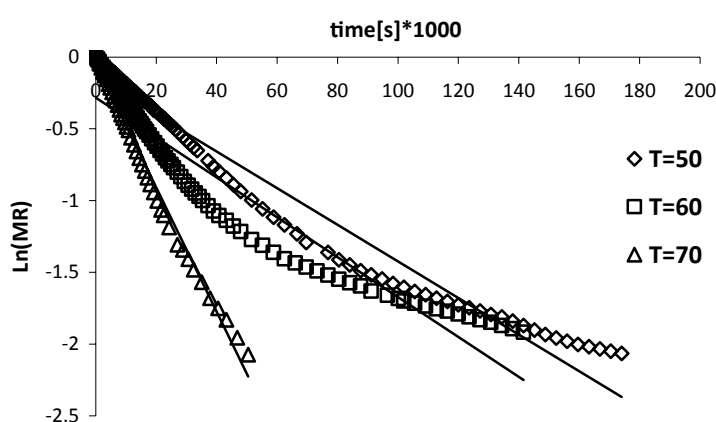
E_t کل انرژی مصرفی در هر دوره خشک شدن (kWh)، A ، مساحت ظرف که نمونه آزمایش در آن قرار می گیرد (m^2)، v سرعت باد (m/s)، ρ_a چگالی هوا (kg/m^3)، Δt کل زمان خشک شدن هر نمونه (h)، D_t دماهای مختلف ($^{\circ}C$)، C_a گرمای ویژه ($kJ/kg \cdot ^{\circ}C$) می باشد. میزان انرژی مصرفی برای خشک کردن یک کیلوگرم از عناب تازه با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$E_{kg} = \frac{E_t}{W_0} \quad (9)$$

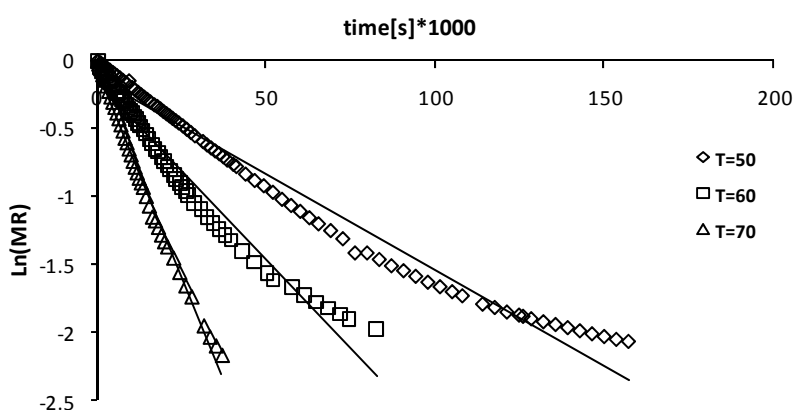
که E_{kg} انرژی مخصوص مورد نیاز و W_0 وزن اولیه نمونه آزمایشی است

نتایج و بحث

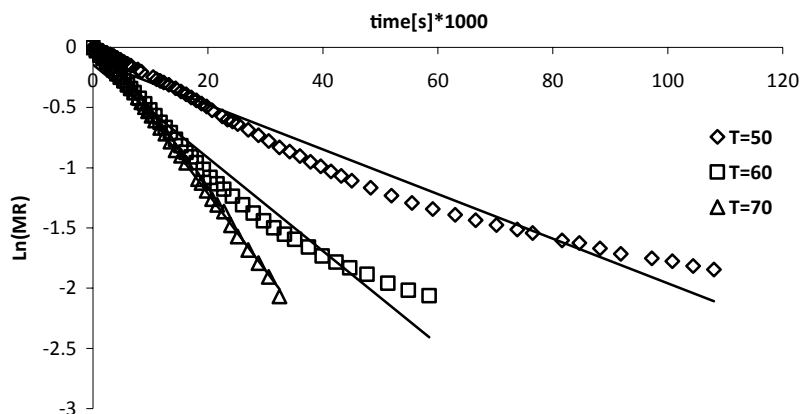
شکل های (۱ و ۲ و ۳) $\ln(mr)$ را در مقابل زمان (t) در سرعت ثابت و دماهای مختلف نشان میدهد. با افزایش دما و سرعت هوای داغ عبوری از محفظه خشک کن، رطوبت نسبی محصول بیشتر کاهش می یابد، افزایش دمای هوای داغ در محفظه خشک کن باعث انتقال جرم و حرارت بالاتری شده و کاهش رطوبت شدیدتر است. محاسبات نشان می دهد که رابطه مستقیمی بین ضریب پخش موثر با درجه حرارت و سرعت هوای داغ داخل محفظه خشک کن وجود دارد. با توجه به شکل های (۱ و ۲ و ۳) در سرعت ثابت هوای خروجی در محفظه خشک کن میزان ضریب نفوذ موثر با افزایش دمای هوای داغ افزایش می یابد. به طوری که پایین ترین دما و سرعت هوای داغ سبب کمترین ضریب نفوذ موثر شده و بیشترین مقدار ضریب نفوذ موثر در بالاترین دما و سرعت هوای داغ اتفاق افتاد.



شکل ۱. $\ln(mr)$ در مقابل زمان (s) در سرعت هوای خروجی ۰/۵ متر برثانیه



شکل ۲. $\ln(mr)$ در مقابل زمان (s) در سرعت هوای خروجی ۱ متر برثانیه



شکل ۳. $\ln(mr)$ در مقابل زمان (s) در سرعت هوای خروجی ۱/۵ متر برثانیه

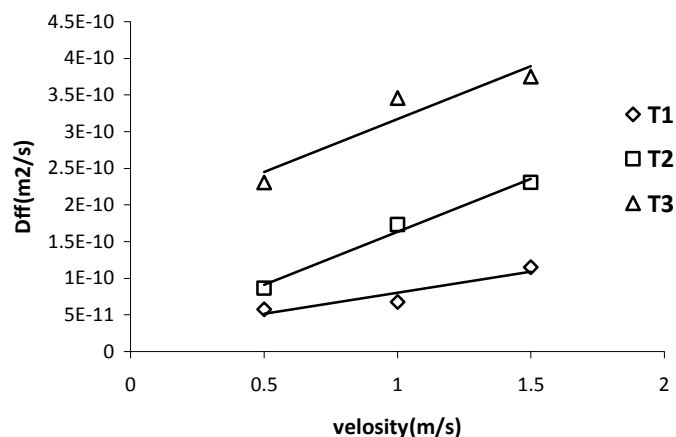
جدول ۱. مقادیر مختلف ضریب نفوذ و R^2 در دما و سرعت هوای داغ مختلف

سرعت باد (m/s)	دما (۵۰)	R^2	دما (۶۰)	R^2	دما (۷۰)	R^2
۰.۵	۵.۷۶۶	۰.۹۹	۸.۶۴۹	۰.۹۱	۲۳.۰۶	۰.۹۲
۱	۶.۷۷	۰.۹۹	۱۷.۳۰	۰.۹۶	۳۴.۶۰	۰.۹۷
۱.۵	۱۱.۵۳	۰.۹۹	۲۳.۰۶	۰.۹۶	۳۷.۴۸	۰.۹۷

مقادیر ضریب نفوذ موثر برای محصولات کشاورزی و مواد غذایی بین 10^{-9} تا 10^{-11} متر مربع بر ثانیه می باشد که مقادیر بدست آمده از آزمایشات در این بازه قرار می گیرد. نتایج بدست آمده با نتایج آزمایشات محققان دیگر مانند خشک کردن چای سیاه (Panchariya, 2002)، سیر (Madamba, 1996) و زردآلو (Abdelhag and Labuza, 1987) مشابهت دارد.

تأثیرات شرایط مختلف هوا بر روی ضریب نفوذ

در شکل (۴) نمودار ضریب نفوذ موثر در مقابل سرعت هوای داغ رسم شده است. بهترین معادله برازش داده شده در این نمودار معادله خطی می باشد. معادلات مربوطه و همچنین ضریب R^2 مربوط به معادلات برازش داده شده در جدول (۲) آمده است. با توجه به نمودار زیر در سرعت بادهای مختلف کمترین ضریب نفوذ به پایین ترین دما و بیشترین ضریب نفوذ به بالاترین دما مربوط می باشد. همچنین در دمای ثابت با افزایش سرعت هوای داغ روند ضریب نفوذ موثر نیز افزایشی می باشد.

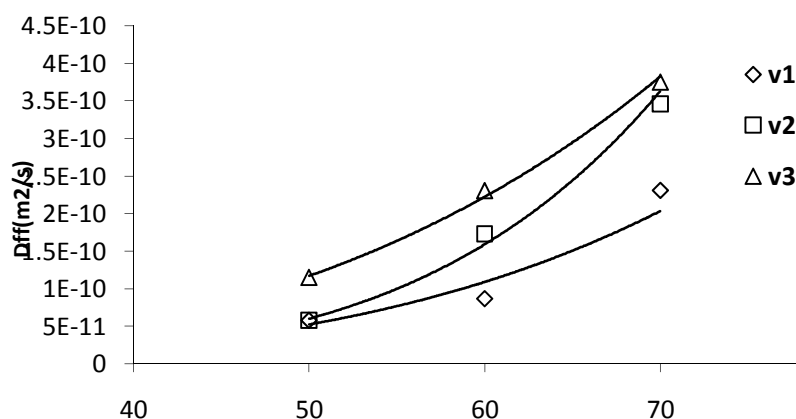


شکل ۴. نمودار ضریب نفوذ موثر در مقابل سرعت هوای داغ برای خشک شدن لایه نازک عناب

جدول ۲. معادله های برازش داده شده و ضریب همبستگی (R²) بر ضریب نفوذ موثر در دمای هوای ثابت

Temperature	معادله برازش داده شده	R ²
۵۰	$6E^{-11v} + 2E^{-11}$	۰.۸۸
۶۰	$1E^{-10v} + 2E^{-11}$	۰.۹۹
۷۰	$1 E^{-10v} + 2E^{-10}$	۰.۹۰

در شکل (۵) نمودار ضریب نفوذ موثر در مقابل دماهای مختلف رسم شده است. بهترین معادله برازش داده شده در نمودار بالا معادله (power) می باشد. معادلات مربوطه و همچنین ضریب R² مربوط به معادلات برازش داده شده در جدول (۳) آمده است. شکل (۵) نیز بیانگر این است که با افزایش دما در سرعت ثابت مقدار ضریب نفوذ موثر افزایش می یابد. همچنین در دمای ثابت با افزایش سرعت هوای داغ میزان ضریب نفوذ افزایش می یابد.



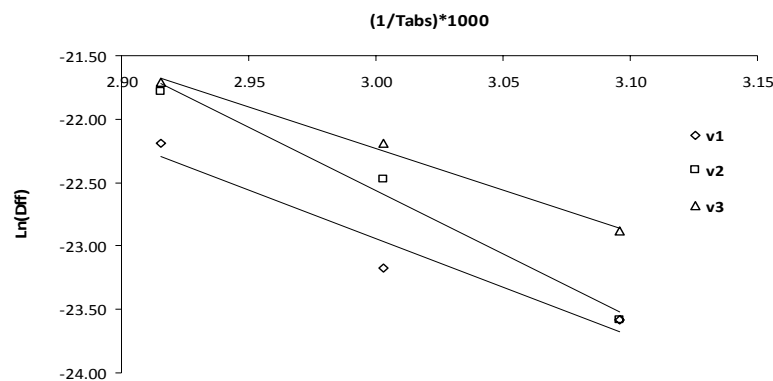
شکل ۵. نمودار ضریب نفوذ موثر در مقابل دمای هوای داغ مختلف برای خشک شدن لایه نازک عناب

جدول ۳. معادله های برازش داده شده و ضریب همبستگی بر ضریب نفوذ موثر در سرعت هوای ثابت

سرعت هوای داغ	معادله برازش داده شده	R ²
۰.۵	6 E-18T ^{4.0629}	۰.۹۲
۱	5 E-20T ^{5.3463}	۰.۹۹
۱.۵	E-16T ^{3.512}	۰.۹۹

انرژی فعال سازی:

شکل (۶) نمودار $\ln(\text{Deff})$ را در مقابل $(1/T)$ نشان می دهد. انرژی فعال سازی برای گیاه دارویی عناب با استفاده از رگرسیون خطی محاسبه شده و مقادیر آن همراه با ضریب همبستگی آنها در جدول (۴) آمده است. حداکثر میزان انرژی فعال سازی در طی خشک شدن گیاه عناب (۵۷/۳۴) کیلوژول بر مول در سرعت باد (۱ متر بر ثانیه) و حداقل میزان انرژی (۳۷/۷۰) کیلوژول بر مول در سرعت باد (۰/۵) متر بر ثانیه می باشد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر برای محصولات مختلف سیب زمینی (Bon, 1997)، ذرت (Tolaba and Suarez, 1988)، هویج (Doymaz, 2004) و نعنای (Park et al., 2002) گزارش شده است.

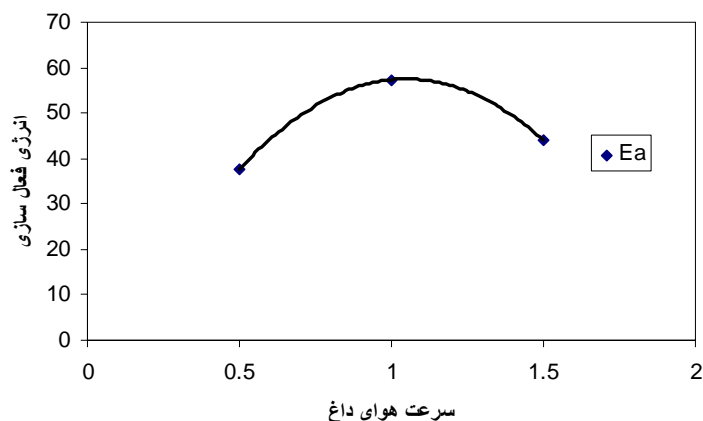


شکل ۶. $\ln(\text{Deff})$ در مقابل $(1/T)$ در سرعت های مختلف هوای داغ

جدول ۴. مقادیر انرژی فعال سازی و ضریب همبستگی در سرعت هوای داغ مختلف در خشک کردن لایه نازک عناب

سرعت باد (m/s)	۰.۵	۱	۱.۵
انرژی فعال سازی (کیلوژول بر مول)	۳۷.۷۰	۵۷.۳۴	۴۴.۰۸
ضریب همبستگی (R ²)	۰.۹۹	۰.۹۹	۰.۹۴

در شکل (۷) رابطه انرژی فعال سازی و سرعت هوای داغ نشان داده شده است. معادله برازش داده شده و همچنین ضریب همبستگی مربوط به معادله در زیر آمده است.



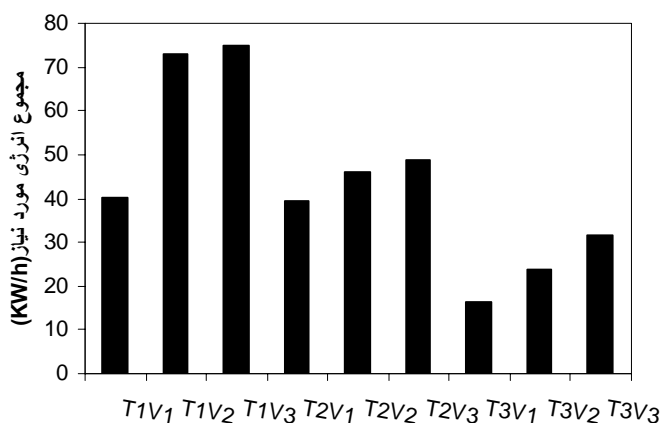
شکل ۷. تاثیر سرعت هوا بر میزان انرژی فعال سازی در خشک کردن لایه نازک عنب

$$Ea = -65.804V^2 + 137.99V - 14.841$$

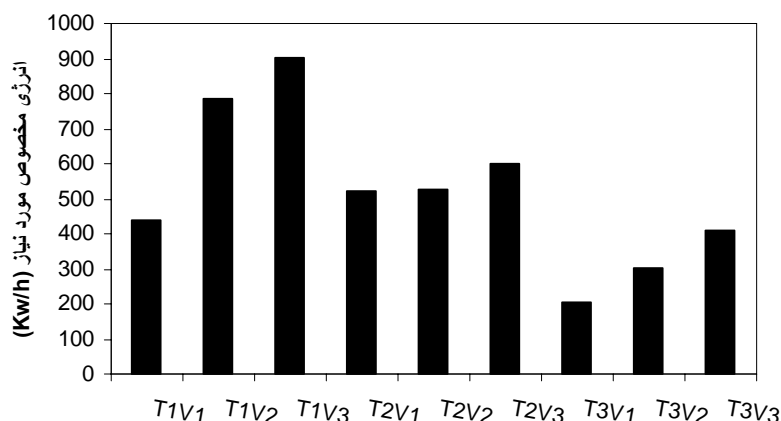
$$R^2=0.999$$

میزان انرژی مصرفی

در طی مرحله خشک شدن، میزان انرژی مورد نیاز برای خشک کردن لایه نازک عنب دارویی که توسط گرمکن‌های خشک کن مصرف می شود را می توان از رابطه (۸) بدست آورد. همچنین میزان انرژی مورد نیاز برای خشک کردن یک کیلوگرم عنب می تواند از رابطه (۹) محاسبه گردد. مقادیر انرژی مصرفی و همچنین میزان انرژی مخصوص مورد نیاز به ترتیب عنب در نمودارهای (۸ و ۹) آمده است. جدول (۵) مقادیر انرژی مصرفی و انرژی مخصوص مورد نیاز محاسبه شده از معادله های (۸ و ۹) را نشان می دهد. از نمودارهای انرژی مصرفی می توان نتیجه گرفت که با افزایش سرعت باد در دمای ثابت میزان انرژی مصرفی افزایش می یابد. همچنین در سرعت ثابت هوا با افزایش دما میزان انرژی مصرفی کاهش می یابد. کمترین و بیشترین مقادیر انرژی مصرفی به ترتیب در تیمارهای (T3V1) و (T1V3) بوده است.



شکل ۸. مجموع انرژی مورد نیاز برای خشک کردن لایه نازک عنب در تیمارهای مختلف



شکل ۹. انرژی مخصوص مورد نیاز برای خشک کردن لایه نازک عناب در ترکیبات مختلف دما و سرعت هوا

نتیجه گیری

رفتار خشک شدن گیاه دارویی عناب به صورت لایه نازک در خشک کن آزمایشگاهی در دماهای (۶۰، ۵۰، ۷۰) درجه سلیسیوس) و در سرعت های ۰/۵ و ۱/۵ متر بر ثانیه بررسی شد. دمای هوای داغ و سرعت هوای خشک کن فاکتورهای مهمی در زمان خشک شدن، میزان ضریب نفوذ، انرژی فعال سازی و انرژی مصرفی در خشک شدن گیاه دارویی عناب بودند. مقادیر ضریب نفوذ با افزایش دما در سرعت ثابت هوای داغ و با افزایش سرعت هوای داغ در دمای ثابت افزایش می یافت. میزان انرژی فعال سازی در خشک کردن عناب ۱۷/۲۲ تا ۲۳/۸۳ کیلوژول بر مول بدست آمد. همچنین مشاهده شد که با افزایش دما در سرعت ثابت هوا میزان انرژی مصرفی کاهش یافت در حالی که با افزایش سرعت هوای داغ میزان انرژی مصرفی افزایش یافت. برای کاهش مصرف انرژی در طی خشک کردن گیاه عناب دمای (۷۰) درجه سانتی گراد با سرعت هوای داغ (۰/۵ متر بر ثانیه) مناسب تر است. البته این پیشنهاد فقط از جهت میزان انرژی مصرفی می باشد و احتمال دارد در این دما به ماده موثره گیاه دارویی آسیب برسد.

منابع و مأخذ (فارسی، Lotus 13، انگلیسی، Times New Roman 12)

امیدیگی، ر.، ۱۳۷۶. رهیافت تولید و فرآوری گیاهان دارویی. جلد اول، طراحان نشر، صفحه ۱۱۰-۱۰۹.

Abdelhag, E. H., & Labuza, T. P. 1987. Air drying characteristics of apricots. *Journal of Food Science*, 52, 342-345.

Aghbashlo, M., M. Kianmehr., H. Samimi-Akhijahani. 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae). *Energy Conversion and Management*, 49(10); 2865-2871.

Babalıs SJ, Belesiotıs VG. Influence of drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 65: 449-58.

- Babalís, S. J., and Belessiotis, V. G. 2004. Influence of drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering* 65,449–458.
- Bon, J., Simal, S., Rossell, O. C., & Mulet, A. 1997. Drying characteristics of hemispherical solids. *Journal of Food Engineering*, 34, 109–122.
- Chakraverty, A. and Singh, R.P, 1988. Post harvest Technology of Cereals, Pulses and Oilseeds. OXFORD and IBH PUBLISHING CO. PVT. LTD. New Delhi.
- Crank, J. 1975. *Mathematics of diffusion* (2nd ed.) London: Oxford University Press.
- Doymaz I, Pala M. The thin-layer drying characteristics of corn. *J Food Eng* 2003;60:125–30.
- Doymaz I. 2005. Influence of pretreatment solution on the drying of sour-cherry. *Journal of Food Engineering*, 78:591–6.
- Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359–364.
- Goyal RK, Kingsly ARP, Manikantan MR, Ilyas SM. 2007. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*,79:176–80.
- 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*,78:1471–5.
- 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.
- Lopes EJ, Zepka LQ, Antonio L, Pinto A, Queiroz MI. 2007. Characteristics of thin-layerdrying of the cyanobacterium *Aphanothece microscopica* Nageli. *Chem Eng Process*, 46:63–9.
- Madamba, P. S., Driscoll, R. H., & Buckle, K. A. 1996. The thin layer drying characteristic of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29, 75–97.
- Menges HO, Ertekin C. 2006. Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums. *Energy Convers Manage*,47: 2337–48.
- Mohsenin, N. N. (1996). *Physical characteristics: physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science publisher.
- Ozdemir M, Devres YO. 1999.The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42:225–33.
- Ozdemir, M., and Onur Devres, Y. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering* 42, 225-233.
- Pahlavanzadeh H, Basiri A, Zarrabi M. 2001. Determination of parameters and pretreatment solution for grape drying. *Drying Technol*;19(1):217–26.
- Panchariya, P. C., Popovic, D., & Sharma, A. L. 2002. Thin-layer modeling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 52, 349–357.
- Park, K. J., Vohnikova, Z., & Brod, F. P. R. 2002. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *Journal of Food Engineering*, 51, 193–199.
- Sahin, A. Z, & Dincer, I. 2002. Graphical determination of drying process and moisture transfer parameters for solids drying. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 45 (16), 3267–3273.
- Tarigan E, Prateepchaikul G, Yamseangsung R, Sirichote A, Tekasakul P. 2006. Drying characteristics of unshelled kernels of candle nuts. *Journal of Food Engineering*,79:828–33.
- Tolaba, M., & Suarez, C. 1988. Simulation of the thin-layer drying of corn by means of the diffusional model. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 21, 83–86.

Abstract

Jujube, a valuable medicinal plant, is consumed either as fresh fruit or dried product in Iran as well as having valuable medicinal uses. Drying Jujube guarantees a longer shelf time while preserving its quality to be used in medical and pharmaceutical industries. In this research paper, the influence of several drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation, energy consumption and required specific energy in the drying of Jujube is presented. During the course of investigation, a laboratory dryer was used. Temperature levels of 50, 60 and 70 °C and hot air velocities of 0.5, 1 and 1.5 (m/s) were used as the treatments. Effective moisture diffusivity of Jujube fruit during the drying process was found to be in the range of 5.776×10^{-10} to 37.48×10^{-10} m^2s^{-1} . Also the values of energy of activation were determined to be between 17.22 and 23.83 kJ/mol. The energy consumption and required specific energy for drying were in the 79.1- 92.46 kW.h and 203.59 – 900.08 kW/kg range, respectively.

Keywords: jujube, thin layer drying, energy consumption, activation of energy, effective moisture diffusion