



تعیین پارامترهای ضریب \log factor و ثابت خشک شدن از روی منحنی خشک شدن

هادی باقری^۱، اکبر عرب حسینی^۲، محمد حسین کیان مهر^۲

۱ و ۲ - بترتیب دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه

تهران (پردیس ابوریحان)

h_b13179@yahoo.com

چکیده

هدف از انجام این تحقیق تعیین پارامترهای ضریب \log factor و ثابت خشک شدن از روی منحنی خشک شدن می باشد. بدین منظور از یک خشک‌کن خورشیدی ساخته شده و از محصول گوجه فرنگی با ضخامت ۳، ۵ و ۷ میلیمتر، با قطر ۵ سانتیمتر استفاده شد. محصول از طریق لایه نازک خشک گردید. آنالیز داده ها نشان داد که مقدار پارامترهای ثابت خشک شدن و ضریب \log factor با افزایش دمای نمونه افزایش می یابند. نتایج خطاهای استاتیکی نشان می دهد که برآزش تابع نمایی بهتر از تابع خطی منحنی خشک شدن را تشریح می کند. مقایسه محتوی رطوبت بدست آمده با مقدار پیشگویی شده در شرایط آزمایش نشان میدهد که مقدار نتایج پیشگویی شده بر اساس درجه حرارت نتایج را واقعتر پیشگویی می کند.

کلید واژه: خشک‌کن خورشیدی، ضریب \log factor، ثابت خشک شدن، برآزش توابع خطی و نمایی

در تحقیقات انجام شده در ایران میزان تلفات سبزیجات و میوه جات به دلیل عواملی از جمله انبارداری بد، تلفات حمل و نقل و . . . حدود ۱۵ تا ۲۰٪ میزان محصول برداشت شده در سال می باشد (بی نام، ۲۰۰۸). یکی از راهکارهای کاهش تلفات، خشک کردن محصولات کشاورزی می باشد (خوشخوی و همکاران، ۱۳۷۹). معمولاً جهت خشک نمودن محصولات کشاورزی از دو نوع خشک کن صنعتی و خورشیدی استفاده می گردد. امروزه از خشک کن های خورشیدی معمولاً بدلیل بازده بالا، همچنین کاهش استفاده از سوخت های فسیلی و ذخیره آن ها و کاهش اثرات مخرب بر محیط زیست استفاده می گردد. امروزه مقدار قابل توجه ای از تحقیقات بر این امر متمرکز شده از جمله گسترش و توسعه انواع خشک کن مستقیم (Sodha و همکاران، ۱۹۸۵)، گلخانه ای (Farhat و همکاران، ۲۰۰۴؛ Jain و همکاران، ۲۰۰۵)، غیر مستقیم (El-Sebaii و همکاران، ۲۰۰۲) و ترکیبی (Ekechukwu و همکاران، ۱۹۹۹؛ Basunia و همکاران، ۱۹۹۳) در آزمایشهای اخیر ثابت شده که استفاده از انرژی خورشیدی ۲۷ تا ۸۰٪ سبب کاهش مصرف انرژی می گردد (Arata و همکاران، ۱۹۹۳) معادلات لایه نازک رفتار خشک شدن انواع سبزیجات و میوه جات از جمله پسته (Midilli، ۲۰۰۱)، شوید (Hossain و همکاران، ۲۰۰۲)، سیب زمینی (Akpınar و همکاران، ۲۰۰۳)، فلفل قرمز (Simal و همکاران، ۲۰۰۵) و گوجه فرنگی (Sacilic و همکاران، ۲۰۰۶) را بخوبی بیان می کند. صحت درستی پیش بینی معادله لایه نازک جهت رفتار خشک شدن نمونه ها بستگی به درستی و صحت پارامترهای استفاده شده جهت تعیین رفتار خشک شدن محصول دارد. در آزمایشی که Dincer و Dost در شرایط غیر پایدار انتشار انجام دادند دریافتند که ثابت خشک شدن و ضریب \log factor از پارامترهای مهم و اصلی انتقال جرم در طول خشک شدن نمونه های جامد با شکل غیر متعارف می باشد (Dincer و همکاران، ۱۹۹۶). این پارامترها را به راحتی و آسانی می توان از روی منحنی محصول خشک شده بدست آورد. البته پارامترهای بیان شده در حالات مختلف خشک شدن و اندازه گیری می توانند متفاوت باشد. بنابراین دانستن پارامترهای خشک شدن تابع ساختار تغییر نوع فرآیند خشک شدن می باشد. اخیراً محققان تلاش نموده اند که تناسب بین ثابت خشک کردن و درجه حرارت برای پسته (Midilli و همکاران، ۲۰۰۳)، ثابت خشک کردن و درجه حرارت و سرعت برای سیب زمینی (McMinn و همکاران، ۱۹۹۶)، ثابت خشک کردن و سرعت و درجه حرارت و رطوبت برای زرد آلو را بدست آورند (Togrul و همکاران، ۲۰۰۲). Kiranoudis و همکاران یافتند که تغییر اندازه نمونه در فرآیند های متفاوت بر روی ثابت خشک شدن تاثیر بیشتری دارد (Kiranoudis و همکاران، ۱۹۹۷). El-Sebaii ارتباط بین حرارت و ثابت خشک شدن را در انگور بی دانه، انجیر، پیاز و گوجه فرنگی را بررسی نمود (El-Sebaii و همکاران، ۲۰۰۲). Diamante و همکاران طبق تحقیقات خود دریافتند که ثابت خشک شدن تابع درجه حرارت و ضخامت ماده است که وی آزمایشات خود را بر روی اسلایس های سیب زمینی انجام داد (Diamante و همکاران، ۱۹۹۳). بنابراین محققان امروزه تلاش در تعیین ثابت خشک شدن در شرایط مختلف خشک کن خورشیدی را دارند. از مطالب بیان شده می توان دریافت که ارتباط مهمی بین ثابت خشک شدن و حالات و شرایط مختلف خشک شدن وجود دارد. البته برای تعیین شرایط خشک شدن این امر کافی نیست و نیاز به تعیین پارامتر \log factor نیز داریم. بنابراین در این تحقیق به تعیین پارامتر \log factor و ثابت خشک شدن در محصول اسلایس شده گوجه فرنگی (در خشک کن خورشیدی) می پردازیم.

مدل کردن معادله لایه نازک خشک کردن

معادله حاکم بر انتقال جرم سریع برای اجسام جامد به صورت ورقه نازک بصورت رابطه ۱ می باشد:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (1)$$

که در این رابطه M مقدار رطوبت آزاد، t زمان، x بعد و D_{eff} ضریب انتشار موثر رطوبت می باشد. محتوی رطوبت اولیه به صورت یکنواخت در جسم توزیع شده و گرادیان رطوبتی بصورت متقارن در اطراف قسمت مرکزی می باشد. در حالت مرزی در سطح جسم داریم:

$$M(t=0, 0 \leq x \leq L) = M_o \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial M}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$$

$$-D_{eff} \left. \frac{\partial M(L,t)}{\partial x} \right|_{x=L} = h_m [M(L,t) - M_e]$$

که $M(t)$ و M_o و M_e بترتیب محتوی رطوبت بر پایه خشک در زمان t و $t=0$ و لحظه تعادل می باشد. میزان جرم انتقال یافته h_m ، D_{eff} ضریب دیفیوژن رطوبت محصول، R شعاع و L نصف ضخامت نمونه می باشد. از حل عددی رابطه ۱ محتوی رطوبت برابر است با:

$$\phi = \frac{\overline{M(t)} - M_e}{M_o - M_e} = \frac{2 \sin^2 \mu_1}{\mu_1 (\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1)} \exp(-\mu_1^2 \frac{D_{eff}}{L^2} t) \quad (3)$$

در رابطه ۳ میزان عددی پارامتر M_e خیلی کوچک می باشد بنابراین می توان از آن صرف نظر کرد. پس معادله مربوطه به معادله $\phi = \frac{\overline{M(t)}}{M_o}$ ساده می گردد. همچنین میزان μ_1 از رابطه ۴ بدست می آید:

$$Bi_m = \mu_1 \tan \mu_1 \quad (4)$$

Bi_m به عدد بایوت برای انتقال جرم معروف می باشد. J_0 و J_1 بترتیب صفرمین و اولین جمله بسط تیلور می باشند. جهت تعیین ϕ از طریق رابطه ۳ نیاز به تعیین μ_1 ، J_0 ، J_1 و D_{eff} می باشد. که این خود عمل مشکلی می باشد. بنابراین معادلات بیان گردیده بصورت زیر ساده می گردند.

$$k_o = \frac{2 \sin^2 \mu_1}{\mu_1 (\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1)} \quad (5)$$

$$k = \mu_1^2 \frac{D_{eff}}{L^2} \quad (6)$$

که k_o و k بترتیب ضریب log factor و ثابت خشک کردن محصول می باشند. در رابطه ۵ و ۶ بدیهی است که k_o تابعی از μ_1 و k تابعی از پارامترهای D_{eff} و μ_1 می باشد. بنابراین رابطه ۳ به رابطه ۷ تبدیل میگردد:

$$\overline{\phi} = k_o \exp(-k) \quad (7)$$

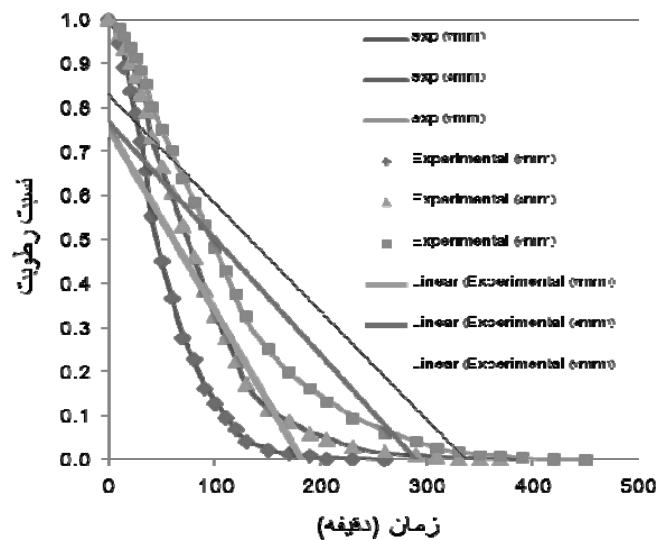
که ضرایب k_o و k بترتیب از آنالیز رگرسیون داده های آزمایش بدست می آید. بنابراین در رابطه ۳ دیگر نیاز به محاسبه μ_1 و تابع بسل، برای تعیین رفتار خشک شدن نیست.

مواد و روش ها

برای انجام آزمایش، خشک کن خورشیدی ساخته شده در محوطه باز دانشگاه تهران (پردیس ابوریحان) زیر نور مستقیم خورشید قرار داده شد. گوجه فرنگی ها در آزمایشگاه ابتدا کاملاً شسته شده و سپس در ضخامت های مورد نیاز (۳، ۵ و ۷ میلیمتر) بریده شدند. زاویه جمع کننده با افق برابر ۴۵ درجه انتخاب گردید. میزان دما و رطوبت هوای محیط، دمای خروجی جمع کننده خورشیدی، دمای خروجی محفظه خشک کن و دمای صفحه جاذب در فواصل زمانی ۵ دقیقه، بطور جداگانه توسط رطوبت سنج و ترموکوپل های نصب شده در سیستم قرائت شد. برای قرائت میزان دمای صفحه جاذب از دو ترموکوپل نوع k، یکی در فاصله ۵۰ سانتیمتری از قسمت بالا و دیگری در فاصله ۵۰ سانتیمتری از پایین جمع کننده نصب شده، استفاده گردید و مقدار متوسط داده های برداشت شده مورد استفاده قرار گرفت. برای قرائت میزان دمای ورودی و خروجی در محفظه اصلی خشک کن از ترموکوپل هایی که دقیقاً یکی در قسمت ورودی محفظه خشک کن بعد از کانال انتقال هوا از جمع کننده به خشک کن و دیگری در قسمت خروجی محفظه خشک کن قبل از فن قرار گرفته اند، استفاده شد. برای قرائت میزان تابش خورشیدی در هر ساعت، از دستگاه شیدسنج استفاده شد. همچنین برای ثبت میزان دمای هوای محیط از دماسنج جیوه ای و برای ثبت سرعت هوای محیط نیز از بادسنج استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده ها

جهت تعیین پارامتر ϕ بر حسب زمان نیاز به تعیین پارامتر k و k_o می باشد که جهت تعیین این پارامترها نیاز به آنالیز رگرسیون داده های آزمایش می باشد. بدین ترتیب مقدار عددی پارامترهای k و k_o به ترتیب برای ضخامت ۳ میلیمتر عبارت است از ۰/۰۱۷۸۷ و ۱/۰۵، برای ضخامت ۵ میلیمتر عبارت است از ۰/۰۱۰۷۷ و ۰/۰۵۴ و برای ضخامت ۷ میلیمتر عبارت است از ۰/۰۰۸۱۷ و ۰/۰۶. برای تعیین پارامترهای خشک شدن وابسته به حرارت فرض گردیده است که انتشار رطوبت در نمونه در دماهای مختلف متفاوت است. در هر بخش فرض گردیده است که نرخ خشک شدن تابعی نمایی بوده که از رگرسیون داده های آزمایش مقدار پارامتر k و k_o بدست می آید.



شکل ۱- مقایسه بین داده های آزمایش شده، مقادیر پیشگویی شده و توابع خطی و نمایی برآزش شده

محاسبه خطای برآزش توابع خطی و نمایی

سه معیار برای ارزیابی بهترین نوع تابع برازش شده استفاده شد: ضریب همبستگی R^2 ، مربع کای χ^2 و ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE).

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{pre} - MR_{exp,i})^2} \right] \quad (8)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - m} \quad (9)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

که در آن N تعداد مشاهدات، $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت پیشگوئی شده، $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت بدست آمده از آزمایشات، \overline{MR}_{pre} میانگین نسبت رطوبت پیشگوئی شده و m تعداد ثابتهای توابع می باشد.

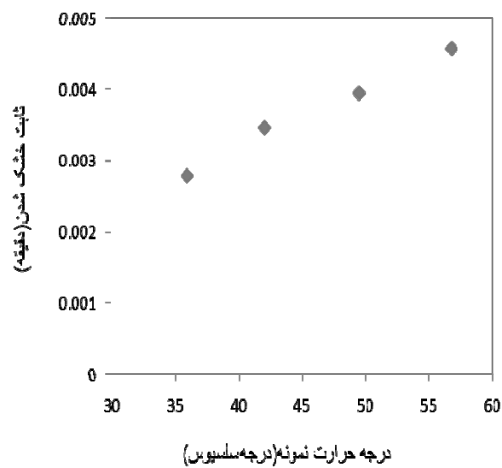
نتایج و بحث

داده های اقتباس گردیده در شرایط آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

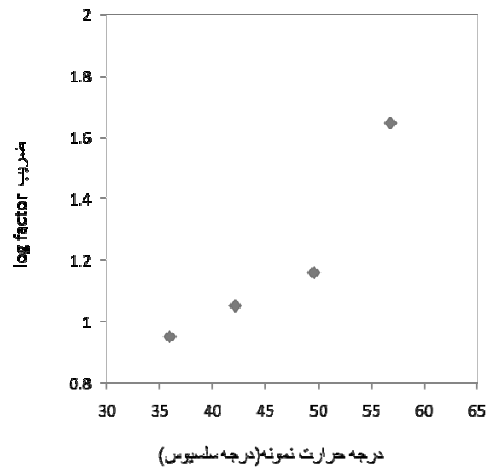
جدول ۱- مقادیر دمای نمونه، دمای محصول، نسبت رطوبت، زمان و شدت تابش اندازه گیری شده در شرایط آزمایش

زمان (min)	نسبت رطوبت در ضخامت (3mm)	نسبت رطوبت در ضخامت (5mm)	نسبت رطوبت در ضخامت (7mm)	دمای نمونه (C^0)	دمای محیط (C^0)	شدت تابش
0	1.000	1.000	1.000	30.72	20.6	402
5	0.945	0.966	0.979	35.02	25.0	420
10	0.900	0.932	0.959	35.50	26.8	433
20	0.857	0.900	0.935	37.77	27.2	443
30	0.804	0.869	0.911	38.18	28.3	457
40	0.742	0.829	0.882	38.85	28.8	467
50	0.656	0.790	0.853	39.50	29.1	495
80	0.584	0.732	0.801	39.80	29.8	500
110	0.500	0.665	0.750	40.37	30.3	513
140	0.417	0.607	0.701	42.31	32.4	549
170	0.302	0.531	0.637	43.12	33.0	583
200	0.224	0.458	0.584	44.12	33.8	600
230	0.019	0.387	0.532	45.68	34.1	621
260	0.014	0.328	0.480	47.50	36.2	631
290	0.012	0.276	0.429	49.94	37.0	650
310	0.009	0.223	0.377	50.00	37.8	680
340	0.005	0.171	0.326	51.02	38.0	698
370	0.003	0.095	0.248	53.10	38.2	700
400	0.002	0.087	0.210	54.90	38.9	763
430	0.001	0.059	0.171	56.00	40.0	780
460	0.000	0.009	0.132	56.20	41.0	790
480	0.000	0.002	0.094	57.30	42.0	812
510	0.000	0.000	0.071	59.00	43.0	820

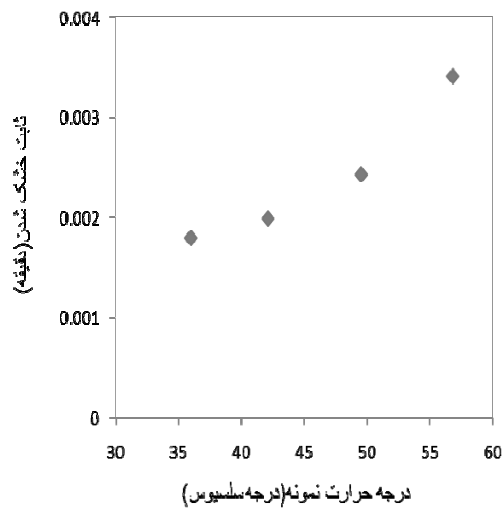
نمودار ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ تغییرات log factor و ثابت خشک شدن در ضخامت ۳، ۵ و ۷ میلیمتر را نسبت به درجه حرارت نشان می دهد. همچنین آنالیز داده ها بیان نمود که میزان افزایش log factor خیلی کم تر از محتوی رطوبت در یک دمای یکسان می باشد، که این امر نشان دهنده ی تاثیر بیشتر محتوی رطوبتی از تغییرات دمایی می باشد. افزایش log factor در اثر درجه حرارت می تواند بدلیل افزایش در مقدار Biot number برای جرم انتقالی، که خود اشاره بر افزایش مقاومت خروجی جرم انتقالی در فرآیند نرخ نزولی خشک شدن ماده را دارد، باشد (Dincer و همکاران، ۲۰۰۴).



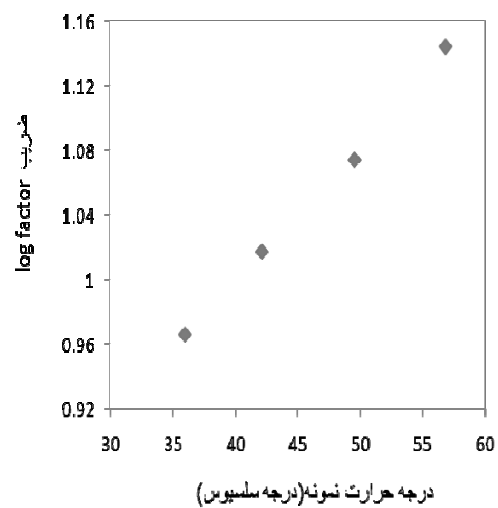
شکل ۳- تغییرات ضریب ثابت خشک شدن نسبت به درجه حرارت در نمونه با ضخامت ۳ میلیمتر



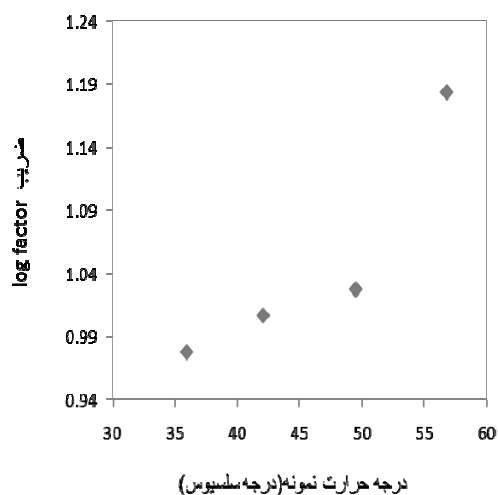
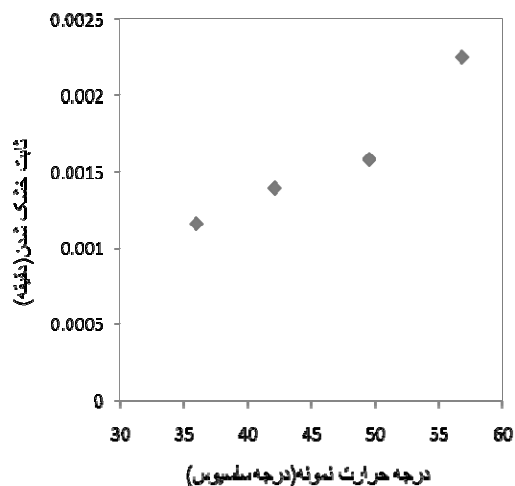
شکل ۲- تغییرات ضریب log factor نسبت به درجه حرارت در نمونه با ضخامت ۳ میلیمتر



شکل ۵- تغییرات ضریب ثابت خشک شدن نسبت به درجه حرارت در نمونه با ضخامت ۵ میلیمتر



شکل ۴- تغییرات ضریب log factor نسبت به درجه حرارت در نمونه با ضخامت ۵ میلیمتر



شکل ۶- تغییرات ضریب log factor نسبت به درجه حرارت در نمونه با ضخامت ۷ میلیمتر
 شکل ۷- تغییرات ضریب ثابت خشک شدن نسبت به درجه حرارت در نمونه با ضخامت ۷ میلیمتر

در این دوره اثر انتقال جرم درونی غالب است و افزایش در محتوی رطوبت بدلیل انتقال رطوبت بالا در درجه حرارت بالا می باشد. دیگر محققان نیز نتایج مشابهی را بدست آورده اند (Maroulis و همکاران، ۱۹۹۵؛ Simal و همکاران، ۱۹۹۴). از طریق رگرسیون داده های آزمایش مقدار k و k_o می تواند به صورت تابعی از T_s از طریق رابطه های ۱۱ و ۱۲ بدست آید.

$$k \text{ and } k_o = a + bT_s \quad (11)$$

$$k \text{ and } k_o = a \exp(bT_s) \quad (12)$$

که a و b اعداد ثابت هستند. مقادیر مربوطه در جدول ۲ نشان داده شده است. بیشترین مقدار R^2 برای برآزش خطی و نمایی، بیان کننده کمترین تفاوت در مقادیر پیشگویی شده با مقادیر واقعی را نشان می دهد.

جدول ۲- مقادیر ثابتهای محاسبه شده k و k_o در ضخامت های ۳، ۵ و ۷ میلیمتر در برآزهای صورت گرفته

ضخامت (mm)	نوع تابع	ضرائب پارامتر ثابت خشک شدن (min)			log factor پارامتر		
		a	b	R^2	a	b	R^2
3	خطی	-0.0002	8×10^5	0.99	-0.2620	0.0317	0.89
	نمایی	0.0013	0.023	0.97	0.3680	0.0252	0.91
5	خطی	-0.0011	8×10^5	0.91	0.6607	0.0085	0.99
	نمایی	0.0006	0.0308	0.96	0.7240	0.0080	0.99
7	خطی	-0.0007	5×10^5	0.91	0.6227	0.0092	0.82
	نمایی	0.0004	0.0304	0.96	0.7039	0.0086	0.83

مقادیر بدست آمده را در رابطه ۷ جایگزین می کنیم و داریم:

$$\bar{\phi}_{linear} = (0.0317 T_s - 0.0262) \exp[-(8 \times 10^{-5} T_s - 0.0002)t] \quad (13)$$

$$\bar{\phi}_{exponential} = [0.368 \times \exp(0.0252 \times T_s)] \exp[0.0013 \times [\exp(0.023 \times T_s) t]] \quad (14)$$

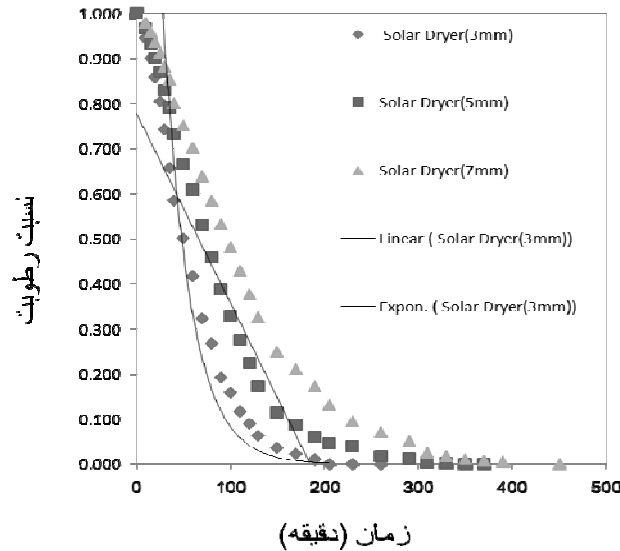
$$\bar{\phi}_{linear} = (0.0085 T_s + 0.6607) \exp[-(8 \times 10^{-5} T_s - 0.0011)t] \quad (15)$$

$$\bar{\phi}_{\text{exponential}} = [0.724 \times \exp(0.008 \times T_s)] \exp[0.0006 \times [\exp[0.0308 \times T_s] t]] \quad (16)$$

$$\bar{\phi}_{\text{linear}} = (0.0092 T_s + 0.6227) \exp[-(5 \times 10^{-5} T_s - 0.0007)t] \quad (17)$$

$$\bar{\phi}_{\text{exponential}} = [0.7039 \times \exp(0.0086 \times T_s)] \exp[0.004 \times [\exp[0.0304 \times T_s] t]] \quad (18)$$

همانطور که مشخص است مقدار $\bar{\phi}$ وابسته به مقدار T_s و t می باشد. بعلاوه شکل ۸ مقایسه بین محتوی رطوبت بدست آمده را نسبت به زمان نشان می دهد. که در شکل مربوطه اختلاف قابل توجهی بین مقدار پیش بینی شده و مقدار اندازه گیری شده وجود دارد. که توسط آنالیز آماری طبق جدول ۳ بدست می آید.



شکل ۸- مقایسه بین مقادیر محاسبه شده نسبت رطوبت و زمان برای ضخامت ۳، ۵ و ۷ میلیمتر و مقادیر پیشگویی شده نتایج حاصل از برآزش داده های آزمایشگاهی با داده های حاصل از دو تابع خطی و نمایی، نشان داد که برآزش تابع نمایی با دقت بیشتری نسبت به برآزش تابع خطی، فرآیند خشک شدن ورقه های نازک گوجه فرنگی را پیش بینی می کند.

جدول ۳- نتایج معیارهای برآزش گردیده برای توابع خطی و نمایی

نوع تابع	R^2	RMSE	χ^2
خطی	0.89	0.0627	0.0216
نمایی	0.99	0.0405	0.0111

نتیجه

معادله ساده شده جهت خشک کردن لایه نازک از مدل Ficks اقتباس گردیده است. در آزمایش انجام گرفته هم مقدار log factor و هم مقدار محتوی رطوبت با افزایش دما حالت صعودی پیدا می کند. استفاده از مقدار ثابت در پارامترهای خشک شدن در آنالیز پیش بینی شده، سبب انحراف معنی دار در داده های آزمایش می شود. بنابراین با در نظر گرفتن پارامتر متغیر (وابسته حرارتی) در خشک شدن نتایج داده های محتوی رطوبت آزمایش شده و داده های پیش بینی شده به هم دیگر نزدیکتر گردید.

۱- خوشخوی، م. شیبانی، ب. روحانی، ا. تفضلی، ع. ۱۳۷۹. اصول باغبانی (مبانی دانش بوستانداری). چاپ مرکز نشر دانشگاه شیراز. ۵۶۶ ص.

- 2- Sodha MS, Dang A, Bansal PK. 1985. Sharma SB .An analytical and experimental study of open sun drying and a cabinet type drier. *Energy Convers Manage.* Vol 25, 263–271.
- 3- Farhat A, Kooli S, Kerkeni C, Maalej M, Fadhel A, Belghith A. 2004. Validation of a pepper drying model in a polyethylene tunnel greenhouse. *Int J Therm Sci.* Vol 43, 53–58.
- 4- Jain D. 2005. Modeling the performance of greenhouse with packed bed thermal storage on crop drying application. *J Food Eng.* Vol 71, 170–178.
- 5- El-Sebaei AA, Aboul-Enein S, Ramadan MRI, El-Gohary HG. 2002. Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer. *Energy Convers Manage.* Vol 43, 2251–2266.
- 6- Ekechukwu OV, Norton B. 1999. Review of solar-energy drying systems II :an overview of solar drying technology. *Energy Convers Manage.* Vol 40, 615–655.
- 7- Basunia MA, Abe T. 2001. Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. *J Food Eng.* Vol 47, 295–301.
- 8- Arata A, Sharma VK, Spagna G .1993. Performance evaluation of solar assisted dryers for low temperature drying application–II .Experimental results. *Energy Convers Manage.* Vol 34, 417–426
- 9- Midilli A. 2001. Determination of pistachio drying behaviour and conditions in a solar drying system. *Int J Energy Res.* Vol 25, 715–725.
- 10- Hossain MA, Bala BK. 2002. Thin layer drying characteristics for green chilli. *Dry Technol.* Vol 20, 489–505.
- 11- Akpinar E, Midilli A, Bicer Y. 2003. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Convers Manage.* Vol 44, 1689–1705.
- 12- Simal S, Garau C, Femenia A, Rossello C. 2005. Drying of red pepper. *Int J Food Eng.* Vol 1, 200–206.
- 13- Sacilic, K and A, Elicin. 2006. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering.* Vol 173(3), 231–238.
- 14- Dincer I, Dost S. 1996. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of solid objects. *Int J Energy Res.* Vol 20, 531–539.
- 15- Midilli A, Kucuk H. 2003. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Convers Manage.* Vol 44, 1111–1122.
- 16- McMinn W, Magee T. 1996. Air drying kinetics of potato cylinders. *Dry Technol.* Vol 14, 2025–2040.
- 17- Togrul IT, Pehlivan D. 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *J Food Eng.* Vol 55, 209–216.
- 18- Kiranoudis CT, Tsami E, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. 1997. Drying kinetics of some fruit. *Dry Technol.* Vol 15, 1399–1418.
- 19- El-Sebaei AA, Aboul-Enein S, Ramadan MRI, El-Gohary HG. 2002. Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables. *Energy.* Vol 27, 845–859.
- 20- Diamante LM, Munro PA. 1993. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Sol Energy.* Vol 51, 271–276.
- 21- Dincer I, Hussain MM. 2004. Development of a new Biot number and lag factor correlation for drying applications .*Int J Heat Mass Transfer .* Vol 47, 653–658.
- 22- Maroulis ZB, Kiranoudis CT, Marinos-Kouris D. 1995. Heat and mass transfer modelling in air drying of foods. *J Food Eng.* Vol 26, 113–130.

- 23- Simal S, Rossello C, Berna A, Mulet A. 1994. Heat and mass transfer model for potato drying. Chem Eng Sci . Vol 49, 3739–3744.
- 24- www.faostat.com(2008)

Abstract

In the present work, a methodology for the determination of temperature dependent drying parameters namely drying constant and lag factor from the experimental drying kinetic curves of food product is proposed. Hence, a solar energy dryer was constructed and Experiments were performed with tomato slices of three thickness 3, 5 and 7 mm and diameter 5 cm. Tomato slice drying thin layer The present analysis reveals that both drying constant and lag factor increase with sample temperature. Linear and exponential correlations for these parameters are proposed to represent their variation as a function of sample temperature. Results of statistical error analysis indicate that the proposed exponential correlation can better represent the experimental drying kinetic curves for tomato slices. Comparison of experimental dimensionless moisture contents with those calculated with variable (temperature dependent) and constant values of drying parameters demonstrates that the predicted results from variable parameters can better simulate the experiments.

Keywords: solar dryer, Lag factor, Drying constant, Linear and exponential correlations