

تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب رطوبت کشمش بیدانه سفید

محمد غلامی پرشکوهی^{*}، مجید رشیدی^{**} و بابک بهشتی^{***}

تاریخ وصول مقاله: ۸۶/۸/۲۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۷/۲۴

چکیده

از منحنی‌های هم‌دما در دفع رطوبت، ذخیره و بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. با توجه به ویژگی ترکیب مواد غذایی، اندازه‌گیری تجربی منحنی‌های هم‌دمای رطوبت، مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق، منحنی‌های هم‌دمای جذب رطوبت کشمش بیدانه سفید در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به روش ایستا (وزن سنجی) مطابق با دستورالعمل COST 90 تعیین شد. برای ارائه مدل ریاضی مناسب به منظور توضیح رفتار تعادلی رطوبت کشمش، مدل‌های گاب، اسمیت، ازوین، هالسی، هندرسون و آرسی وات بررسی شد. برازش مدل آرسی وات در دماهای ۳۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدل گاب در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد بهترین مقدار بود. همچنین انرژی پیوندی جذب در کشمش دارای رطوبت ۱۶ درصد، ۴/۷۹ کیلو ژول بر مول (kJ/mol) تعیین شد.

کلمات کلیدی: انرژی پیوندی، کشمش، منحنی هم‌دما، مدل آرسی‌وات، مدل گاب

* - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، دانشیار، گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان - ایران

(E-mail: gholamihassan@yahoo.com)

** - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی، تاکستان - ایران

*** - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی، تهران - ایران

مقدمه

در دمای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد برآورد و مدل گاب به عنوان بهترین مدل پیشنهاد شده است (۱۰).

باتوجه به متفاوت بودن ارقام انگور مناطق مختلف از نظر ترکیب شیمیایی و اثر این ترکیبات بر منحنی‌های هم‌دما، این تحقیق برای رقم کشمش بیدانه سفید^۱ ایران انجام شد. در این پژوهش، با استفاده از روش وزن‌سنجی ایستا، منحنی‌های هم‌دمای جذب این رقم کشمش تعیین شده و مدل ریاضی مناسب ارائه می‌شود.

مواد و روشها

برای انجام آزمایش‌ها کشمش حاصل از انگور بیدانه سفید آفتابی و بدون هیچ‌گونه آماده‌سازی از منطقه تاکستان قزوین تهیه شد. رطوبت کشمش مورد مطالعه در حدود ۱۵ درصد بر مبنای ماده خشک بود. برای تأمین رطوبت‌های نسبی ثابت در دامنه فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۴ از محلول‌های نمک اشباع کلرید لیتیم (LiCl)، استات پتاسیم (CH₃COOK)، کلرید منیزیم (MgCl₂)، کربنات پتاسیم (K₂CO₃)، نیترات منیزیم (Mg(NO₃)₂)، نیترات سدیم (NaNO₃)، کلرید سدیم (NaCl) و کلرید پتاسیم (KCl) استفاده شد. درجه خلوص کلیه مواد شیمیایی مزبور زیاد بوده و از شرکت مرک^۲ آلمان تهیه

کشمش یکی از فرآورده‌های صادراتی کشور است. اگر فرایندهای پس از برداشت (مانند خشک کردن، بسته‌بندی و انبارداری) بهبود یابد و کیفیت موردنظر مصرف‌کنندگان و بازارهای فروش تأمین شود، درآمد ایران از فروش این محصول به مراتب افزایش می‌یابد. از منحنی‌های هم‌دما در کاهش رطوبت، ذخیره و بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. در یک تحقیق، منحنی‌های هم‌دمای جذبی در دمای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید و مدل هالسی به عنوان مناسب‌ترین مدل برای تعیین رطوبت تعادلی ارائه شد (۱۱).

منحنی‌های هم‌دمای جذبی برای کشمش بیدانه قرمز با استفاده از روش وزن‌سنجی مطابق با دستورالعمل COST 90 در دماهای ۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شده است. داده‌های آزمایش با مدل‌های مختلف برازش شده که مدل گاب و هالسی بهترین برازش را داشتند (۲).

منحنی‌های هم‌دمای جذبی، برای جذب آب در انگور رقم ایتالیا در دماهای ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد مطالعه و مدل گاب به عنوان بهترین مدل برای برازش داده‌های آزمایش معرفی شده است (۱). همچنین منحنی‌های هم‌دمای جذبی کشمش در دماهای ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد تعیین و مدل آرسی وات به عنوان بهترین مدل پیشنهاد شده است (۸).

منحنی‌های هم‌دمای جذب و کاهش رطوبت میوه‌های خشک شده انجیر، آلو، زردآلو و کشمش

1 - Thompson seedless

2 - Merck

کامل، پتری دیش‌ها در آون خلاء با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵۰ میلی‌بار به مدت ۲۰ ساعت قرار داده شدند تا رطوبت باقیمانده در نمونه‌های کشمش به حداقل کاهش یابد (۱، ۲ و ۳).

برای اطمینان از حفظ محلول‌های نمک در حالت اشباع در دوره آزمایش، این محلول‌ها در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد آماده شدند. پس از اطمینان از اشباع بودن محلول‌ها که با تجمع بلورهای نمک در ته ظروف مشخص می‌شود، درب ظروف به طور کامل بسته شده و در داخل آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت شش ساعت قرار داده شد (۱۱). سپس در صورتی که بلورهای نمک در ته ظروف وجود نداشت به محلول‌ها مجدداً نمک اضافه و مراحل فوق مجدداً تکرار شد. پس از آماده کردن محلول‌های اشباع نمک، به مقدار ۱۵۰ میلی‌لیتر از هر محلول در ظروف آزمایش ریخته شد (شکل ۱). قطر میانی و ارتفاع ظروف به ترتیب ۱۴ و ۱۳ سانتی‌متر بود.

برای تسریع در انجام آزمایش‌ها، از دو انکوباتور به‌طور هم‌زمان استفاده شد. ابتدا دمای موردنظر در انکوباتورها تنظیم شده و سپس ظروف حاوی محلول‌های اشباع نمک، درون انکوباتورها قرار داده شد. دمای هوای داخل یکی از ظروف به عنوان شاهد توسط یک دماسنج جیوه‌ای با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن دمای محلول درون ظروف به دمای انکوباتور، میزان ۱/۳ گرم از نمونه‌های کشمش آماده شده درون

شدند. درصد رطوبت نسبی ایجاد شده توسط نمک‌های مذکور در منابع گزارش شده است (۳، ۵ و ۷). برای جلوگیری از کپک زدن نمونه‌ها در رطوبت‌های نسبی بیش از ۵۰ درصد و در دمای کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد، از تولوئن استفاده گردید. وسایل آزمایشگاهی موردنیاز علاوه بر وسایل معمول شامل انکوباتور با حجم ۲۰۰ لیتر و دقت ۰/۳ درجه سانتی‌گراد، آون خلاء با قابلیت ایجاد فشار مطلق تا ۱۵۰ میلی‌بار، دسیکاتور، ظروف شیشه‌ای کوچک و ظروف شیشه‌ای حاوی محلول نمک‌های اشباع بودند.

متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری رطوبت تعادلی، شامل وزن‌سنجی، رطوبت‌سنجی و فشارسنجی می‌باشند که روش وزن‌سنجی علی‌رغم نیاز به زمان زیاد به دلیل سادگی، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و دقت زیاد، بیشتر استفاده می‌شود. در این پژوهش، از روش وزن‌سنجی ایستا مطابق با دستورالعمل COST 90 استفاده شد (۹).

کشمش‌ها پس از جدا کردن دم به قطعات یک تا دو میلی‌متری برش داده شده و حدود ۵۰ گرم از آن‌ها روی دو عدد پتری دیش ریخته شد. پتری دیش‌ها به ظروف پلاستیکی که درون آنها تا نیمه از سیلیکاژل پر شده بود به صورت معلق قرار داده شد. ظروف در دمای اتاق نگهداری شده و پس از ۱۵ روز در فواصل زمانی یک روز در میان، توزین شد. در صورتی که تفاوت دو توزین متوالی کمتر از ۰/۰۰۱ گرم بود، تعادل حاصل شده بود (۷ و ۱۰). برای اطمینان از خشک بودن

رگرسیون غیرخطی نرم افزارهای آماری استاتستیکا^۱ و اکسل^۲ استفاده شد. برای تعیین مناسب بودن برازش علاوه بر ضریب تعیین (R^2) از سه شاخص دیگر، به شرح جدول (۲) استفاده شد.

طبق تعریف انرژی پیوندی جذب عبارت از مقدار انرژی لازم برای جدا کردن آب از ماده غذایی مازاد بر میزان انرژی لازم برای تبخیر آب آزاد می‌باشد. این پارامتر برای درک مکانیزم کاهش رطوبت بوده و برای موازنه جرم و انرژی خشک‌کن‌ها و انبارها استفاده می‌شود. رابطه ترمودینامیکی کلازیوس - کلاپیرون^۳ برای تعیین ارتباط بین فعالیت آب، انرژی پیوندی و دما استفاده می‌شود.

$$\frac{d(\ln a_w)}{d(1/T)} = -\frac{E_b}{R} \quad (2)$$

از اندازه‌گیری تجربی هم‌دمای جذب در دماهای گوناگون، انرژی پیوندی متوسط از رسم $\ln(a_w)$ بر حسب $1/T$ در رطوبت‌های مختلف، در یک دامنه دمایی تعیین می‌شود. معمولاً برای دامنه‌های کوچک دما، این منحنی برای هر مقدار رطوبت یک خط راست و شیب این خط $-E_b/R$ می‌باشد (۱، ۲ و ۱۱).

ظروف کوچک شیشه‌ای (دارای قطر میانی چهار و ارتفاع پنج سانتی‌متر) ریخته شد. سپس به‌طور معلق در داخل ظروف محتوی محلول‌های اشباع نمک قرار داده شد (شکل ۱). در تمام مدت آزمایش، هوای درون دستگاه توسط دماسنج کنترل شد. پس از ۱۵ روز، اولین توزین نمونه‌ها انجام شده و توزین‌های بعدی در فواصل زمانی سه روز انجام گرفت. درحالی‌که تفاوت دو توزین متوالی کمتر از ۰/۰۰۱ گرم بود، آن نمونه به تعادل رسیده بود (۱۰). برای به تعادل رسیدن نمونه‌ها حدود سه الی چهار هفته زمان لازم بود. هر قدر رطوبت نسبی کمتر و دمای آزمایش بیشتر بود، زمان مزبور کمتر بود. برای تعیین رطوبت نهایی نمونه‌های به تعادل رسیده، آن‌ها در آن خلاء با دمای ۷۰ درجه و فشار ۱۵۰ میلی‌بار به مدت شش ساعت قرار داده شدند (۱۰). سپس توزین نمونه‌ها با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد. پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، با استفاده از رابطه (۱) رطوبت تعادلی نمونه بر مبنای ماده خشک تعیین شد. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شد:

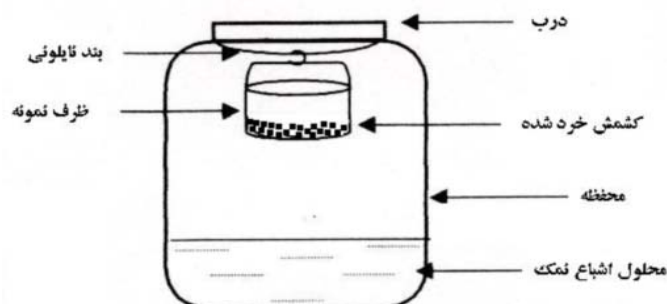
$$X_e = \frac{M_w - M_d}{M_d} \quad (1)$$

برای ارائه مدل مناسب برای رفتار تعادلی کاشمش از مدل‌های ریاضی گاب، اسمیت، هندرسون، ازوین، هالسی و دارسی وات به شرح جدول (۱)، در برازش داده‌های تجربی رطوبت تعادلی استفاده شد. برای برازش داده‌ها از روش

1 - Statistica

2 - Excel

3 - Clausius - Clapeyron Equation



شکل ۱ - ظرف محلول نمک اشباع به همراه نمونه آزمایش
 Fig. 1. Contains of sample inside of saturated salt solution

جدول ۱ - مدل‌های مورد استفاده

Table 1 - The mathematical models used

مرجع	معادله	نام مدل
4	$X_e = \frac{CKM}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$	گاب (GAB)
4	$X_e = A - B \ln(1 - a_w)$	اسمیت (SMITH)
8	$a_w = 1 - \exp(-AX_e^B)$	هندرسون (HENDERSON)
4	$X_e = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B$	ازوین (OSWIN)
4	$X_e = \left(\frac{-A}{\ln a_w} \right)^B$	هالسی (HALSEY)
8	$X_e = \frac{ABa_w}{1 + Aa_w} + CA_w + \frac{DEa_w}{1 - Da_w}$	آرسی وات (D'ARCY-WATT)

جدول ۲ - شاخص‌های ارزیابی مدل‌های مورد استفاده

Table 2 - The evaluation indexes of the models used in research

مرجع	رابطه	نام شاخص
7	$P = \frac{100}{N} \sum \left \frac{X_p - X_o}{X_o} \right $	مقدار P (P value)
7	$\chi^2 = \frac{1}{N - n} \sum (X_e - X_o)^2$	مربع کای (Chi square)
7	$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_e - X_o)^2}$	ریشه میانگین مربعات خطا (Root mean square error)

نتایج و بحث

کلیه دماها افزایش فعالیت آبی موجب افزایش رطوبت تعادلی کשמش می‌گردد و این تغییرات در فعالیت آب بیش از ۵۰ درصد بیشتر مشهود می‌باشد. همچنین در دمای بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در فعالیت آبی کم (کمتر از ۰/۳) تغییر مقدار رطوبت تعادلی زیاد نیست (شکل ۲).

میانگین رطوبت تعادلی نمونه‌ها در سه تکرار آزمایش و فعالیت آبی محلول‌های نمک اشباع در جدول (۳) و منحنی‌های هم‌دمای جذبی در شکل ۲ ارائه شده است. افزایش دما در یک فعالیت آبی معین، مقدار رطوبت تعادلی را کاهش می‌دهد. در

جدول ۳ - رطوبت تعادلی و فعالیت آبی نمک‌های اشباع در دماهای مختلف

Table 3 - Equilibrium moisture content and water activity of saturated salt solution in different temperatures

رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	دما (°C)	رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	دما (°C)
4.11	0.1095	60	6.51	0.1128	30
5.75	0.1747		6.92	0.2256	
8.06	0.2926		10.51	0.3244	
12.11	0.4211		13.21	0.4396	
12.13	0.4725		17.40	0.5253	
27.23	0.6735		36.29	0.7314	
38.45	0.7473		46.26	0.7524	
41.72	0.8025		55.02	0.8362	
1.11	0.1075		70	4.81	
4.47	0.1620	6.65		0.2060	
5.75	0.2777	9.47		0.3160	
8.61	0.4158	13.14		0.4330	
9.61	0.4580	15.31		0.5059	
22.91	0.6604	34.47		0.7100	
34.29	0.7457	42.74		0.7506	
37.67	0.7949	47.55		0.8233	
0.97	0.1051	80	4.56	0.1110	50
3.94	0.1509		6.30	0.1892	
5.04	0.2605		8.88	0.3054	
8.09	0.4109		13.00	0.4268	
8.71	0.4447		14.52	0.4884	
91.22	0.6522		32.15	0.6904	
31.49	0.7443		41.57	0.7489	
36.62	0.7890		44.72	0.8120	

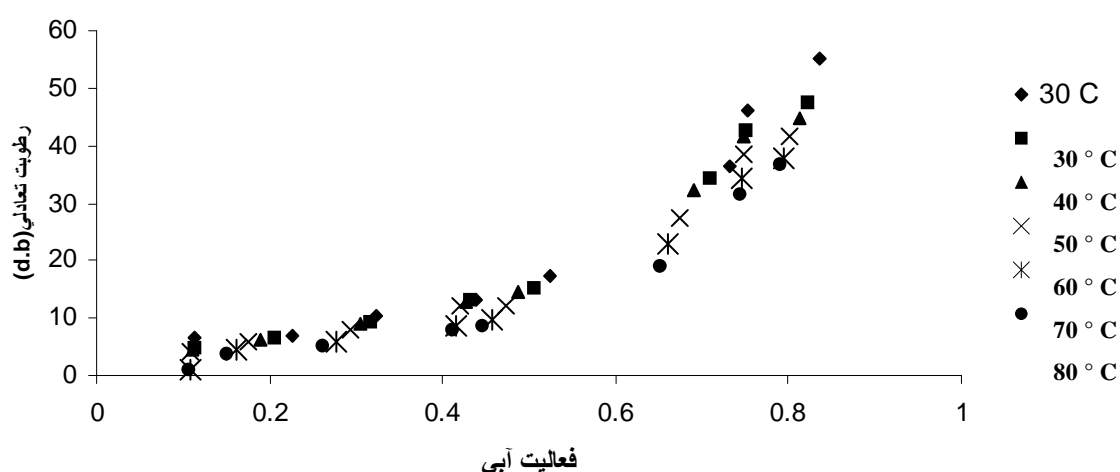
قبولی با داده‌های آزمایش داشته و می‌توان از آنها برای برآورد رطوبت تعادلی در دماها و رطوبت‌های نسبی مختلف استفاده نمود. همچنین مدل اسمیت و هندرسون دارای ضعیف‌ترین برازش در دماهای مختلف بود.

در دماهای ۳۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد مدل آرسی وات و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد مدل گاب دارای بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار P ، R_{MSE} و χ^2 بوده و لذا مناسب‌ترین مدل‌ها می‌باشند. در شکل‌های (۳) تا (۸) برازش این مدل‌ها با داده‌های آزمایش در دماهای مختلف ارائه شده است.

نتایج حاصل از تعیین انرژی پیوندی نشان می‌دهد که وقتی رطوبت کشمش افزایش می‌یابد، انرژی پیوندی کاهش می‌یابد. علت آن نزدیک شدن خصوصیات آب موجود در مواد غذایی به آب آزاد می‌باشد.

کشمش نیز مانند سایر مواد غذایی که قند آنها زیاد است در فعالیت آبی کمتر مقدار رطوبت کمتری را می‌تواند جذب کند ولی در فعالیت آبی بیشتر جذب رطوبت نیز بیشتر می‌شود. بخش اول منحنی‌های هم‌دما (فعالیت آبی کمتر از ۰/۶۵) قابل مشاهده در شکل (۲) در کلیه مواد غذایی دیده می‌شود و دلیل آن جذب رطوبت توسط بیوپلیمرها است. شیب زیاد منحنی به خاطر زیاد جذب شدن رطوبت قندهای موجود در کشمش می‌باشد. در فعالیت آبی کم، تأثیر حالت فیزیکی قندها بر جذب رطوبت زیاد است. قندهای بدون شکل نسبت به قندهای کریستالی شکل رطوبت بیشتری جذب می‌کنند (۸).

نتایج حاصل از برازش مدل‌های مورد آزمون در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه در جدول (۴) ارائه شده است. در بیشتر موارد مدل‌های گاب، هالسی و آرسی وات، برازش قابل



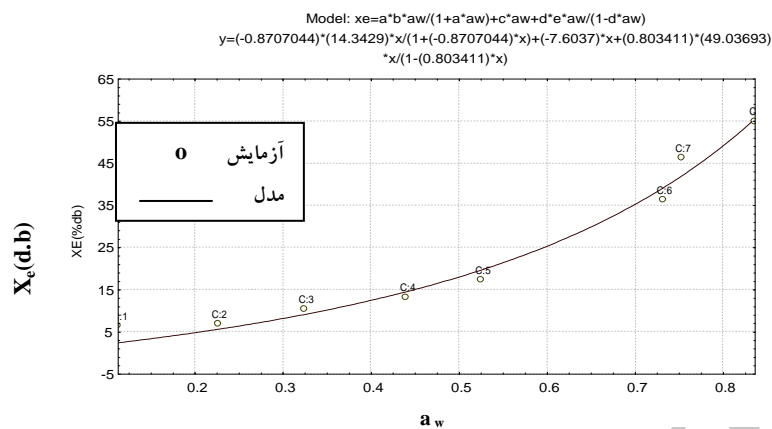
شکل ۲ - تأثیر دما بر رطوبت تعادلی کشمش بیدانه سفید در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد

Fig. 2. Effect of temperature on equilibrium moisture for Thompson seedless raisins from 30 to 80 °C

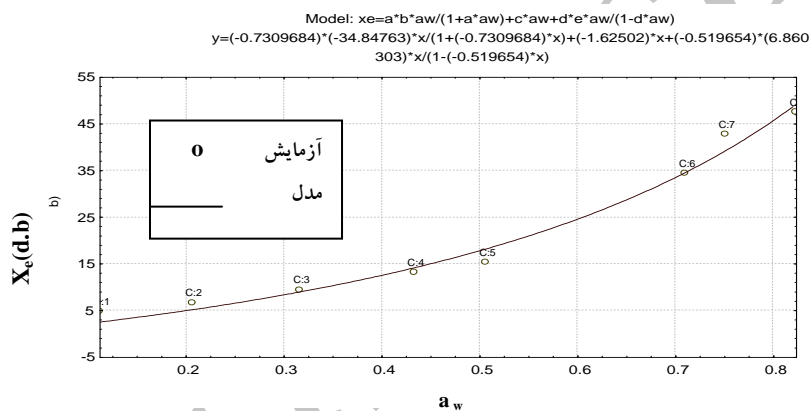
جدول ۴ - ضرایب مدل‌های برازش شده بر داده‌های آزمایش

Table 4 - Coefficients of modified models in experimental data

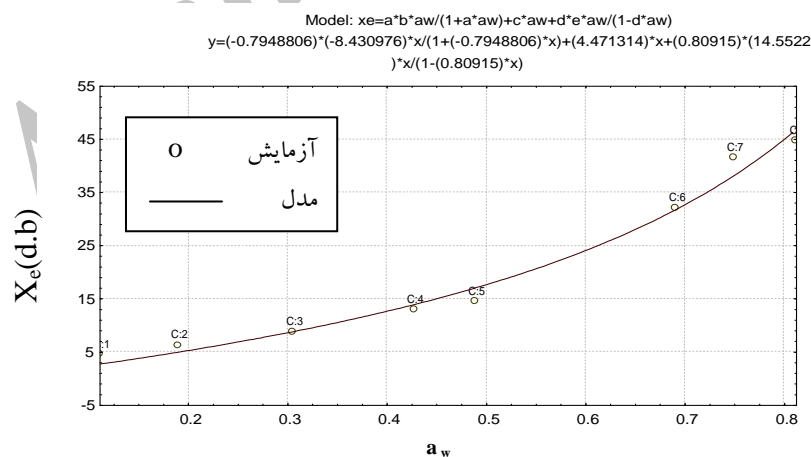
X^2	R _{MSE}	P	R ²	M _m or E	K or D	C	B	A	دما (°C)	مدل
10.91	2.61	13.18	0.9750	17.651	0.884	1.727	-	-	30	گاب
8.52	2.31	10.81	0.9721	14.331	0.910	2.408	-	-	40	
7.33	2.14	10.69	0.9802	13.880	0.915	2.514	-	-	50	
4.90	1.75	10.61	0.9844	12.617	0.931	2.337	-	-	60	
3.37	1.45	19.16	0.9880	11.935	0.941	1.569	-	-	70	
1.56	0.99	14.37	0.9940	9.786	0.988	1.491	-	-	80	
12.62	3.08	17.5	0.9703	-	-	-	30.780	-1.422	30	اسمیت
7.24	2.33	15.5	0.9788	-	-	-	28.697	-1.050	40	
6.04	2.13	15.0	0.9804	-	-	-	28.021	-0.809	50	
5.75	2.07	16.7	0.9781	-	-	-	26.340	-0.919	60	
5.34	2.00	28.3	0.9772	-	-	-	25.209	-2.721	70	
6.23	2.16	33.1	0.9703	-	-	-	23.920	-2.692	80	
9.78	2.71	16.96	0.9770	-	-	-	0.863	-0.056	30	هندرسون
6.21	2.16	14.12	0.9818	-	-	-	0.902	-0.051	40	
5.28	1.99	13.50	0.9829	-	-	-	0.914	-0.050	50	
4.44	1.82	16.12	0.9832	-	-	-	0.880	-0.059	60	
2.61	1.40	14.12	0.9888	-	-	-	0.759	-0.098	70	
2.21	1.29	14.69	0.9895	-	-	-	0.712	-0.210	80	
9.79	2.71	13.95	0.9769	-	-	-	0.549	25.174	30	ازوین
6.87	2.27	12.56	0.9799	-	-	-	0.502	25.451	40	
5.75	2.08	12.55	0.9813	-	-	-	0.498	25.275	50	
4.20	1.77	13.29	0.9840	-	-	-	0.562	21.773	60	
2.81	1.45	18.23	0.9880	-	-	-	0.728	15.637	70	
1.35	1.00	16.44	0.9935	-	-	-	0.839	12.810	80	
13.18	3.14	11.10	0.9689	-	-	-	0.885	17.830	30	هالسی
12.20	3.02	14.55	0.9643	-	-	-	0.883	17.011	40	
10.24	2.77	14.09	0.9668	-	-	-	0.899	15.807	50	
5.65	2.06	10.06	0.9784	-	-	-	0.948	12.125	60	
4.81	1.90	33.38	0.9794	-	-	-	1.084	6.945	70	
1.64	1.11	27.22	0.9921	-	-	-	1.160	5.449	80	
17.95	2.59	14.45	0.9798	49.037	0.802	-7.603	14.343	-0.870	30	آرسی وات
10.75	2.00	14.14	0.9843	6.860	-0.519	-1.625	-34.847	-0.732	40	
9.60	1.90	12.49	0.9844	14.553	-0.808	-4.472	-8.831	-0.794	50	
7.74	1.70	14.42	0.9852	10.250	-0.829	-3.024	-10.176	-0.829	60	
4.79	1.34	16.84	0.9899	9.753	0.890	0.630	-6.660	-0.888	70	
2.70	1.00	17.19	0.9936	6.191	1.016	4.691	-3.127	-0.927	80	



الف - ۳۰ درجه سانتی گراد



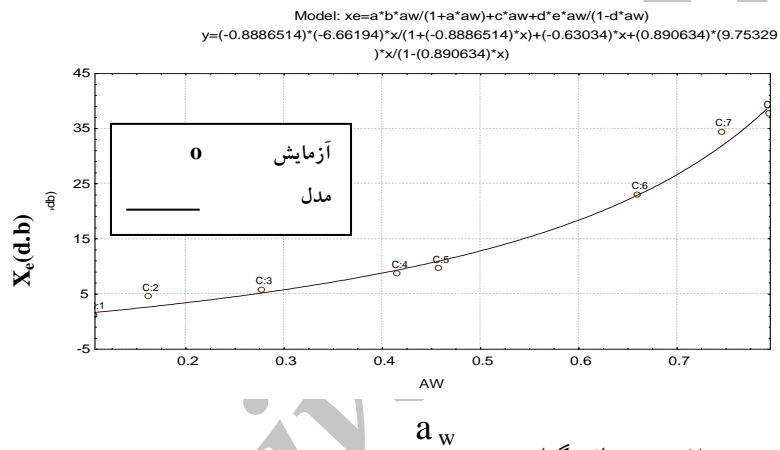
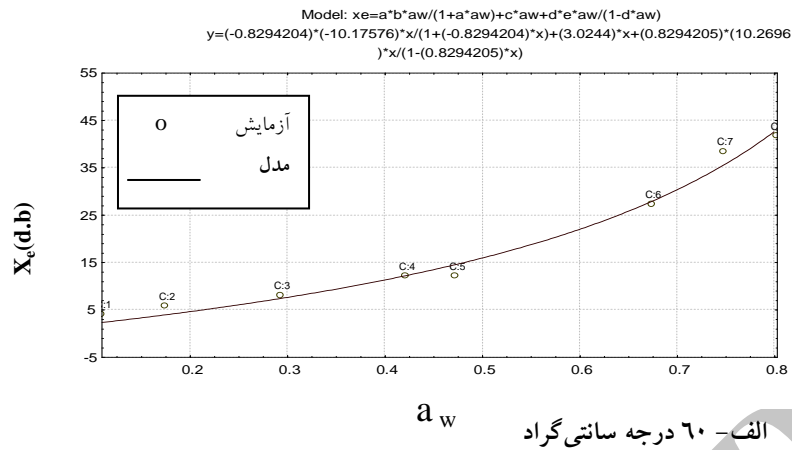
ب - ۴۰ درجه سانتی گراد



ج - ۵۰ درجه سانتی گراد

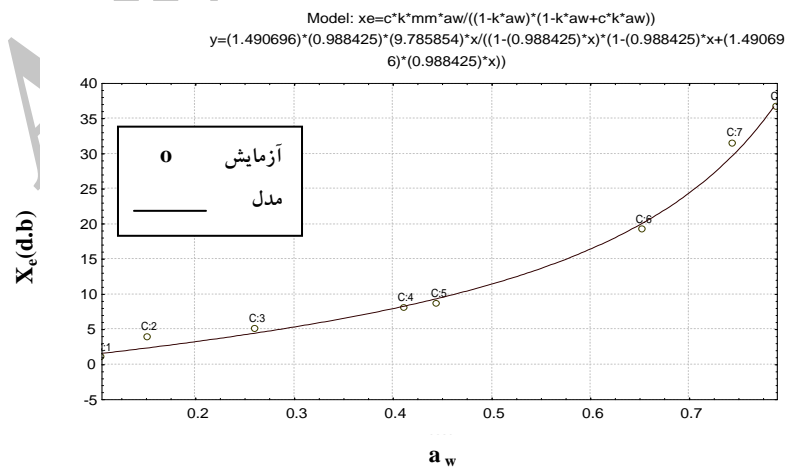
شکل ۳ - برازش مدل آرسی وات با داده‌های آزمایش در دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد

Fig. 3. The Arcy-Watt equations fitted to the experimental data in 30, 40 and 50 °C



شکل ۴- برازش مدل آرسی وات با داده‌های آزمایش در دمای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد

Fig. 4. The Arcy-Watt equations fitted to the experimental data in 60 and 70 °C



شکل ۵ - برازش مدل گاب با داده‌های آزمایش در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد

Fig. 5. The Gab equations fitted to the experimental data in 80 °C

انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی ۱۶ درصد که برای نگهداری کشمش مناسب است، ۴/۷۹ کیلوژول بر مول (kJ/mol) برآورد شد.

نمادها

$$A_w = \text{فعالیت آبی}$$

$$X_E = \text{مقدار رطوبت تعادلی (d.b)}$$

$$M_w = \text{وزن نمونه تر (گرم)}$$

$$M_d = \text{وزن نمونه خشک (گرم)}$$

$$A, B, C, D, E = \text{ثابت های مدل ها}$$

$$M_m = \text{رطوبت تک لایه (d.b)}$$

$$X_p = \text{رطوبت تعادلی به دست آمده از مدل}$$

(d.b)

$$X_o = \text{رطوبت تعادلی به دست آمده از آزمایش}$$

(db)

$$N = \text{تعداد نقاط تجربی}$$

$$n = \text{تعداد ثابت های مدل}$$

$$E_b = \text{انرژی پیوندی (kJ/mol)}$$

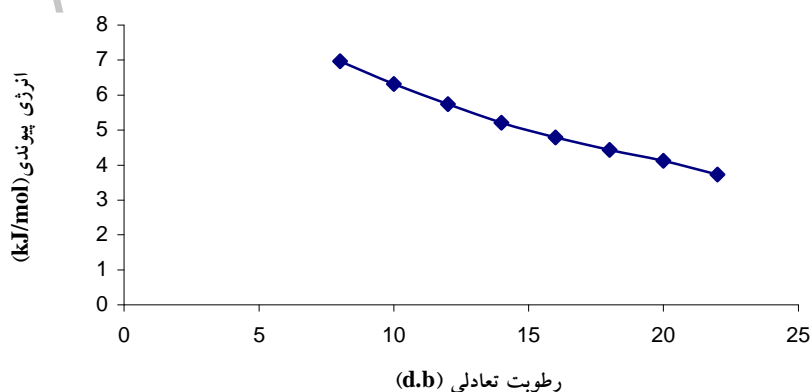
$$R = \text{ثابت عمومی گازها (1/987 cal/mol.k)}$$

$$T = \text{دما (K)}$$

در رطوبت های کم (کمتر از ۱۵ درصد) مقدار انرژی پیوندی افزایش می یابد که علت آن را می توان به پیوند قوی بین مولکول های آب با کشمش بیان نمود. منحنی انرژی پیوندی در کشمش دارای رطوبت هشت تا ۲۲ درصد در شکل (۶) ترسیم شده است. باتوجه به این که بهترین رطوبت برای نگهداری کشمش ۱۶ درصد می باشد، مقدار انرژی پیوندی برای رسیدن به رطوبت مناسب باتوجه به منحنی شکل (۶)، معادل ۴/۷۹ کیلوژول بر مول (kJ/mol) برآورد شد.

پیشنهادات

در این تحقیق، رطوبت تعادلی جذبی کشمش بیدانه سفید در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد با استفاده از وزن سنجی ایستا تعیین و منحنی های هم دما ترسیم شد. همچنین برازش داده ها با برخی از مدل ها نشان داد که از مدل گاب، هالسی و آرسی وات می توان برای برآورد رطوبت تعادلی در دامنه فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۴ استفاده نمود. مقدار



شکل ۶ - مقادیر انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی مختلف کشمش بیدانه سفید

Fig. 6 . Quantities of binding energy in different moisture content for Thompson seedless raisins

References

- 1 . Gabas AL, Telis-Romero J and Menegalli FC (1999) Thermodynamic models for water sorption by grape skin and pulp. *Drying technology* 17(4/5): 961-974.
- 2 . Gholami M and Minaie S (2005) Estimation of moisture sorption isotherms for Black currant raisins and determining the best appropriate model. *Iranian Journals of Food Science and Technology* 2(2).
- 3 . Greenspan L (1977) Humidity fixed points of binary saturated aqueous solution. *J. Res. Nat' I. Bureau of Standard - Section A. Physics and Chemistry* 81 (1): 89-96.
- 4 . Guzey D, Ozdemir M, Seyhan FG and Devres YO (2001) Adsorption isotherms of raw and roasted hazelnuts. *Drying technology* 19 (3&4): 691-699.
- 5 . Labuza T, Kaanane P and Chen Y (1985) Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydration foods. *Journal of Food Science* 50: 385-391.
- 6 . Rahman S (1995) *Food Properties Handbook*. CRC press. PP: 1-45.
- 7 . San Martin MB, Mate JI, Fernandez T and Virseda P (2001) Modeling adsorption equilibrium moisture characteristics of rough rice. *Drying technology* 19(3&4): 681-690.
- 8 . Saravacos GD, Tsiourvas DA and Tsami E (1986) Effect of temperature on the water adsorption isotherms of Sultana Raisins. *Journal of food science* 51(2): 381-385.
- 9 . Spiess WE and Wolf WR (1983) The result of cost 90 projects on water activity. In r. Jowitt *et al.* (Ed). *Applied Science pub.* PP: 67-87.
- 10 . Tsami E Marinos-Kouris D and Maroulis ZB (1990) Water sorption isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots. *Journal of food science* 55(6): 1594-1597.
- 11 . Zarrabi M (1998) Determination of the design parameters in drying grape. M.Sc. Thesis. Tarbiat modarres University. Tehran.

Estimation of Moisture Sorption Isotherms for Thompson Seedless Raisins

M. Gholami ^{*}, M. Rashidi ^{**} and B. Beheshti ^{***}

Abstract

Moisture sorption isotherms are useful in food dehydration, storage and packaging. Because of the complex food composition, experimental measurements are necessary for prediction of the isotherms. Moisture sorption isotherms of Thompson seedless raisins were determined at 30, 40, 50, 60, 70 and 80 °C, using the standard static gravimetric method developed by the European cooperation project COST 90. GAB, Smith, Oswin, Halsey, Henderson and Arcy-Watt equations were fitted to the experimental data. The experimental data were fitted well with D'Arcy-Watt equation at 30 to 70 and with GAB equation at 80 °C. The Isosteric heat of sorption was determined (4.79) kJ/mol.

Key words: Isosteric, Isotherm, Moisture content, Raisin, Sorption

* - Department of Agricultural Machinery Engineering, Takestan branch, Islamic Azad University, Takestan – Iran
(Email: Gholamihassan@yahoo.com)

** - Department of Agricultural Machinery Engineering, Takestan branch, Islamic Azad University, Takestan - Iran

*** - Department of Agricultural Machinery Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran - Iran