

تعیین منحنی‌های همدمای جذب رطوبت کشمش بیدانه قرمز و برآزش

مدلهای مختلف برای آن

محمد غلامی پرشکوهی^۱، سعید مینایی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

۲- استادیار، گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

چکیده

منحنیهای همدمای در دفع آب، ذخیره و بسته‌بندی مواد غذایی مفید هستند. بخاطر ترکیبات پیچیده مواد غذایی، برآورد تئوری منحنی‌های همدمای غیر ممکن بوده و اندازه‌گیری تجربی مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق منحنیهای همدمای جذبی کشمش بیدانه قرمز در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به روش ایستا (وزن سنجی) مطابق با دستور العمل 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 مورد بررسی قرار گرفت که از آن میان مدل گاب در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد، مدل‌های آرسی و دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و مدل آرسی وات در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بهترین برآزش را نشان داد. همچنین انرژی پیوندی جذب در محتوای رطوبتی مختلف تعیین شد.

کلید واژگان: کشمش، جذب، هم‌دما، رطوبت، انرژی پیوندی.

۱- مقدمه

درخت انگور که در ایران به نام‌های مو یا تاک شناخته می‌شود بیش از ده گونه مختلف دارد که از آن میان سه وارته مهم که بیشتر از بقیه هستند عبارتند از انگور بیدانه سفید^۱، انگور بیدانه قرمز^۲ و موسکای اسکندریه^۳. یکی از فراورده‌های مهمی که از انگور تهیه می‌شود کشمش است. کشمش سهم مهمی را در صادرات خشکبار کشور دارا می‌باشد. از کل سهم بازار جهانی کشمش، ایران پس از ترکیه، ایالات متحده آمریکا و آمریکای جنوبی در مقام چهارم

کشورهای صادر کننده این محصول در دنیا قرار دارد [۱]. در رقابت میان این کشورها چنانچه فرایندهای تعیین کننده پس از برداشت مانند خشک کردن، بسته‌بندی و انبارداری بهبود یافته و بتوانند کیفیت مورد نظر مصرف کنندگان و بازارهای فروش را بر آورده سازند، در آمد ایران از فروش این محصول به مراتب افزایش خواهد یافت. تا کنون تحقیقی در مورد تعیین همدمای جذب رطوبت برای رقم بی دانه قرمز گزارش نشده است. ولی برای انگور بی دانه سفید در دماهای پایین تحقیقاتی توسط ضرابی و همکاران انجام شده است [۱]. در آن تحقیق منحنی‌های هم دمای جذبی در دمای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه

E-mail: Gholamihassan@yahoo.com

* مسؤول مکاتبات:

1- Thompson seedless

2 - Black currant

3 - Muscat of Alexandariun

مورد نیاز از منطقه تاکستان قزوین تهیه شد. رطوبت کشمش در حدود ۱۵ درصد بود. محلول‌های اشباع نمک مورد استفاده در این تحقیق برای تامین رطوبتهای نسبی مورد نیاز عبارت بودند از: کلرید لیتیم، استات پتاسیم، کلرید منیزیم، کربنات پتاسیم، نیترات منیزیم، نیترات سدیم، کلرید سدیم و کلرید پتاسیم که همگی دارای درجه خلوص بالا بوده و از شرکت مرک^۴ تهیه شدند. برای جلوگیری از کپک زدگی نمونه‌ها در رطوبتهای نسبی بالای ۵۰ درصد و در دمای پایین ۵۰ درجه سانتی‌گراد، از تولوئن استفاده گردید. وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز علاوه بر وسایل معمول عبارت بودند از: انکوباتور با حجم ۲۰۰ لیتر و دقت ۰/۳ درجه سانتی‌گراد، آون خلاء با قابلیت ایجاد فشار مطلق تا ۱۵۰ میلی بار، دسیکاتور، ظروف شیشه‌ای کوچک و ظروف شیشه‌ای که حاوی محلول نمک‌های اشباع بودند.

۲-۲ روشها

متداول‌ترین روشهای اندازه‌گیری رطوبت تعادلی، روشهای وزن‌سنجی، رطوبت سنجی و فشار سنجی می‌باشند که در میان روشهای نامبرده، روش وزن سنجی علی‌رغم زمان بر بودن آن به دلیل سادگی، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و دقت بالا کار برد گسترده‌تری دارد. در این پژوهش از روش وزن سنجی ایستا مطابق با دستور العمل COST90 استفاده گردید [۶].

۲-۲-۱- آماده‌سازی مرحله جذب

پس از جدا کردن دم، کشمشها به قطعات ۱ تا ۲ میلیمتری برش داده شده و حدود ۵۰ گرم توزین و روی ۲ عدد پتری‌دیش ریخته شد. پتری‌دیشها به ظروف درب پلاستیکی که درون آنها تا نیمه از سیلیکاژل پر شده بود منتقل گردیدند. پتری‌دیشها در داخل ظروف به صورت معلق قرار گرفتند. ظروف در دمای اتاق و در جای تاریک قرار داده شدند و پس از ۱۵ روز در فواصل زمانی یک

سانتی‌گراد تعیین گردید و مدلهالسی به عنوان مناسبترین مدل برای تعیین رطوبت تعادلی ارائه شد.

گاباس^۱ و همکاران مدلی برای جذب آب در انگور رقم ایتالیا تعیین نمودند. آنها منحنی‌های همدمای جذبی را در دماهای ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد تعیین کرده و مدل گاب را به عنوان بهترین مدل برای برازش داده‌های آزمایش معرفی کردند [۲].

طی تحقیقی در ترکیه منحنی‌های هم دمای جذب برگه زرد آلو، انجیر و کشمش در دماهای ۲۰ الی ۳۶ درجه سانتی‌گراد تعیین شد و مدل گاب به عنوان مناسب ترین مدل برای تعیین رطوبت تعادلی ارائه گردید [۳].

ساراکوس^۲ و همکاران منحنی‌های همدمای جذبی کشمش را در دماهای ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ تعیین نمودند و مدل آرسی وات را به عنوان بهترین مدل پیشنهاد کردند [۴].

تسامی^۳ و همکاران منحنی‌های همدمای جذب و دفع میوه‌های خشک شده انجیر، آلو، زردآلو و کشمش را در دمای ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ درجه سانتی‌گراد بدست آورده و مدل گاب را به عنوان بهترین مدل تعیین نمودند [۵].

منحنیهای همدمای در دفع آب، ذخیره و بسته‌بندی مواد غذایی مفید هستند. متفاوت بودن ارقام انگور مناطق مختلف از نظر ترکیب شیمیایی و اثر این ترکیبات بر منحنی‌های هم دما انجام این تحقیق را برای ارقام کشمش ایران ضروری می‌سازد. در این پژوهش با استفاده از روش وزن سنجی ایستا، منحنی‌های همدمای جذبی کشمش بیدانه قرمز تعیین شده و مدل ریاضی مناسب ارائه می‌گردد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

آزمایشها بر روی کشمش حاصل از انگور بیدانه قرمز آفتابی بدون هیچ گونه آماده سازی، انجام شد. کشمش

1- Gabbas

2- Saravacos

3- Tsami

4- Merck

روز در میان پتری دیشها توزین شده و چنانچه اختلاف دو توزین متوالی کمتر از ۰/۰۰۱ گرم بود به تعادل رسیده بودند. برای اطمینان از خشک بودن کامل، پتری دیشها در آون خلاء با دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱۵۰ میلی بار و مدت ۲۰ ساعت قرار داده شدند تا رطوبت باقیمانده در نمونه های کشمش به حداقل کاهش یابد [۲، ۳ و ۴].

۲-۲-۲- آماده سازی محلولهای اشباع نمک

برای ایجاد رطوبتهای نسبی ثابت در دامنه فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۴ از هشت محلول اشباع نمک استفاده شد. درصد رطوبت نسبی ایجاد شده توسط نمک های مذکور در منابع گزارش شده است [۷]. مقادیر آن در دماهای آزمایش در جدول [۱] آمده است. برای اطمینان از باقی ماندن محلولهای نمک در حالت اشباع در حین دوره آزمایش، آماده سازی این محلولها در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد انجام گرفت. پس از اطمینان از اشباع بودن محلولها که با تجمع بلورهای نمک در ته ظروف مشخص می شود، جهت کنترل آن، درب ظروف را کامل بسته و در داخل آون با بالاترین درجه آزمایش یعنی ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۶ ساعت قرار داده شد. پس از گذشت زمان مذکور در صورت وجود بلورهای نمک در ته ظروف، محلول اشباع می باشد در غیر اینصورت به محلولها مجدداً نمک اضافه کرده و مراحل بالا تکرار شد. پس از آماده سازی محلولهای اشباع نمک، مقدار ۱۵۰ میلی لیتر از هر محلول در ظروف آزمایش ریخته شد. ظروف دارای قطر میانی ۱۴ و ارتفاع ۱۳ سانتی متر بود.

۲-۲-۳- تعیین رطوبت تعادلی

برای تسریع در انجام آزمایشها، از دو انکوباتور به طور همزمان استفاده گردید. ابتدا دمای مورد نظر 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 به صورت جداگانه اندازه گیری گردید. پس از رسیدن دمای محلول درون ظروف به دمای انکوباتور، میزان ۱/۳ گرم از نمونه های کشمش آماده شده درون ظروف کوچک شیشه ای که دارای قطر میانی ۴ و ارتفاع ۵ سانتی متر بودند ریخته شده، و سپس بطور معلق در داخل ظروف محتوی محلولهای اشباع نمک قرار داده شد. در تمام مدت آزمایش، هوای درون دستگاه توسط دماسنج کنترل می گردید. پس از سپری شدن ۱۵ روز، اولین توزین نمونه ها انجام شده و توزینهای بعدی در فواصل زمانی ۳ روز انجام گرفت. هنگامی که اختلاف دو توزین متوالی کمتر از ۰/۰۰۱ گرم بود، آن نمونه به تعادل رسیده بود. برای به تعادل رسیدن نمونه ها حدود ۳ الی ۴ هفته زمان لازم بود که هرچه رطوبت نسبی پایین تر و یا دمای آزمایش بالاتر بود، این زمان کاهش پیدا می کرد. نمونه های به تعادل رسیده، برای تعیین رطوبت نهایی در آون خلاء با دمای ۷۰ درجه و فشار ۱۵۰ میلی بار به مدت ۶ ساعت قرار داده شدند [۶]. سپس توزین نمونه ها با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام گردید. پس از تعیین وزن خشک نمونه ها، با استفاده از رابطه [۱] رطوبت تعادلی نمونه بر مبنای خشک تعیین گردید. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت.

(۱)

$$X_e = \frac{M_w - M_d}{M_d}$$

M_w = وزن نمونه تر

M_d = وزن نمونه خشک

۳- نتایج و بحث

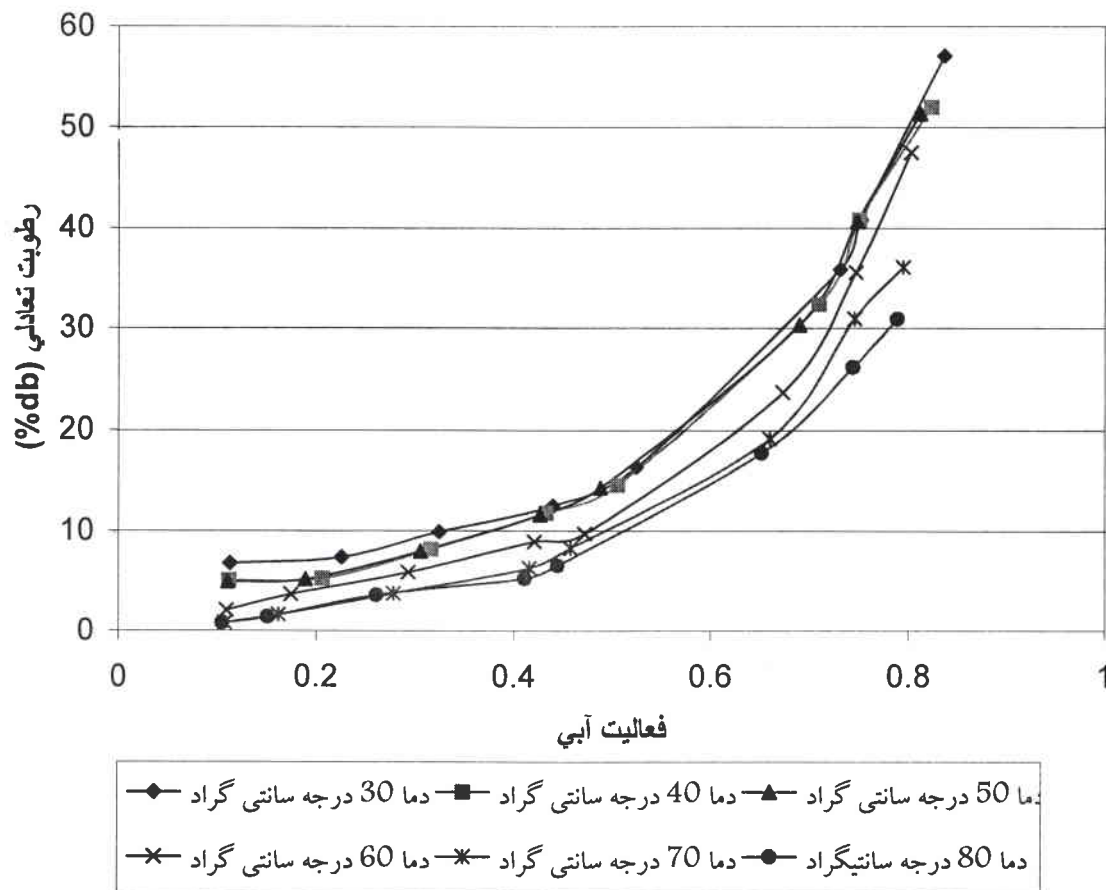
۳-۱- بررسی اثرات دما بر روی منحنی‌های جذب

میانگین رطوبت تعادلی حاصل از سه تکرار آزمایش و فعالیت آبی محلول‌های اشباع نمک در جدول (۱) ارائه شده است. منحنی‌های همدمای جذبی نیز در شکل (۱) ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزایش دما در یک فعالیت آبی معین، مقدار رطوبت تعادلی را

کاهش می‌دهد. در تمامی دماها افزایش فعالیت آبی موجب افزایش رطوبت تعادلی کشمش می‌گردد و این تغییرات در فعالیت آب بالای ۵۰ درصد بیشتر مشهود می‌باشد. همچنین در دماهای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در فعالیت آبی پایین مقدار رطوبت تعادلی تغییر چندانی نداشته که در شکل (۱) می‌توان آن را مشاهده نمود.

جدول ۱ رطوبت تعادلی و فعالیت آبی نمکهای اشباع در دماهای مختلف

دما (°C)	فعالیت آبی	رطوبت تعادلی (%)	دما (°C)	فعالیت آبی
۰/۱۱۲۸	۶/۷۷	۰/۱۰۹۵	۲/۰۵	
۰/۲۲۵۶	۷/۳۵	۰/۱۷۴۷	۳/۶۴	
۰/۳۲۴۴	۹/۹۱	۰/۲۹۲۶	۵/۸۷	
۰/۴۳۹۶	۱۲/۴۷	۰/۴۲۱۱	۸/۹۱	
۰/۵۲۵۳	۱۶/۳۴	۰/۴۷۲۵	۹/۷	
۰/۷۳۱۴	۳۵/۸۶	۰/۶۷۳۵	۲۳/۶۹	۶۰
۰/۷۵۲۴	۴۰/۸۰	۰/۷۴۷۳	۳۵/۵۴	
۰/۸۳۶۲	۵۷/۰۸	۰/۸۰۲۵	۴۷/۴۷	
۰/۱۱۲۱	۵/۰۳	۰/۱۰۷۵	۰/۸۳	
۰/۲۰۶	۵/۲۴	۰/۱۶۲	۱/۶۳	
۰/۳۱۶	۸/۱۶	۰/۲۷۷۷	۳/۷۵	
۰/۴۳۳	۱۱/۷۵	۰/۴۱۵۸	۶/۲۸	
۰/۵۰۵۹	۱۴/۵۴	۰/۴۵۸	۸/۲۳	
۰/۷۱	۳۲/۳۵	۰/۶۶۰۴	۱۹/۱۴	۷۰
۰/۷۵۰۶	۴۰/۸	۰/۷۴۵۷	۳۰/۹۲	
۰/۸۲۳۳	۵۱/۹۴	۰/۷۹۴۹	۳۶/۰۶	
۰/۱۱۱	۴/۹۱	۰/۱۰۵۱	۰/۷۸	
۰/۱۸۹۲	۵/۱۸	۰/۱۵۰۹	۱/۳۸	
۰/۳۰۵۴	۷/۹۶	۰/۲۶۰۵	۳/۵۹	
۰/۴۲۶۸	۱۱/۶۱	۰/۴۱۰۹	۵/۲۳	
۰/۴۸۸۴	۱۴/۲۷	۰/۴۴۴۷	۶/۵۳	
۰/۶۹۰۴	۳۰/۳۲	۰/۶۵۲۲	۱۷/۷۱	۸۰
۰/۷۴۸۹	۴۰/۷	۰/۷۴۴۳	۲۶/۱۷	
۰/۸۱۲	۵۱/۳۱	۰/۷۸۹	۳۰/۸۹	



شکل ۱ تاثیر دما بر رطوبت تعادلی

مدلهای ریاضی گاب، اسمیت، هندرسون، ازوین، هالسی و دارسی وات به شرح جدول (۲) در برازش داده‌های تجربی رطوبت تعادلی مورد بررسی قرار گرفتند. برای برازش داده‌ها از روش رگرسیون غیر خطی استفاده شد و به کمک نرم افزارهای آماری استاتیسیتکا^۱ و اکسل^۲ مدل‌های مذکور با داده‌ها برازش داده شدند. برای تعیین مناسب بودن برازش علاوه بر ضریب همبستگی (R^2) از سه شاخص دیگر، به شرح جدول ۳ استفاده گردید.

کشمش مانند تمام مواد غذایی که قند بالایی دارند در فعالیت آبی پایین رطوبت کمتری جذب می‌کند و در فعالیت آبی بالا رطوبت بیشتری جذب می‌کند. بخش اول منحنی‌های همدما که در شکل (۱) دیده می‌شود در تمام مواد غذایی دیده می‌شود و دلیل آن جذب رطوبت توسط بیوپلیمرها است و تیزی منحنی بخاطر جذب بالای رطوبت قندهای موجود در کشمش می‌باشد. در فعالیت آبی پایین حالت فیزیکی قندها اثر مهمی روی جذب رطوبت دارد. قندهای بدون شکل نسبت به قندهای کریستالی شکل رطوبت بیشتری جذب می‌کنند [۴].

۳-۲- برازش داده‌ها

به منظور ارائه مدل مناسب برای رفتار تعادلی کشمش،

1 - Statistica

2 - Excel

جدول ۲ مدل‌های مورد استفاده در تحقیق برای برازش داده‌ها

نام مدل	معادله	مرجع
گاب (GAB)	$X_e = \frac{CKM_m A_w}{(1 - KA_w)(1 - KA_w + CKA_w)}$	Guzey et al., 2001
اسمیت (SMITH)	$X_e = A - B \ln(1 - A_w)$	Guzey et al., 2001
هندرسون (HENDERSON)	$A_w = 1 - \exp(-AX_e^B)$	Saravacos et al., 1986
ازوین (OSWIN)	$X_e = A \left(\frac{A_w}{1 - A_w} \right)^B$	Guzey et al., 2001
هالسی (HALSEY)	$X_e = \left(\frac{-A}{\ln A_w} \right)^B$	Guzey et al., 2001
آرسی وات (D'ARCY-WATT)	$X_e = \frac{ABA_w}{1 + AA_w} + CA_w + \frac{DEA_w}{1 - DA_w}$	Saravacos et al., 1986

ارزشمندی برای درک مکانیزم جذب بوده و در محل مربوط به موازنه جرم و انرژی خشک‌کنها کاربرد دارد. رابطه ترمودینامیکی کلازیوس - کلاپیرون^۱، ارتباط بین فعالیت آب، انرژی پیوندی و دما را بیان می‌کند.

(۲)

$$\frac{d(\ln a_w)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = -\frac{E_b}{R}$$

Eb = انرژی پیوندی

R = ثابت گازها

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. برای دامنه دمایی این منحنی برای هر مقدار رطوبت معمولاً خط راست می‌باشد. شیب این خط E_b/R - می‌باشد.

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 [۲، ۳]. در

نتایج بدست آمده از برازش مدل‌های مورد آزمون در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد در جدول (۴) آمده است. نتایج حاصله نشان داد که در بیشتر موارد مدل‌های گاب، هالسی و آرسی وات، برازش قابل قبولی با داده‌های آزمایش داشته و می‌توان از آنها برای تخمین رطوبت تعادلی در دماها و رطوبتهای نسبی مختلف استفاده نمود. همچنین در بین مدل‌ها، مدل اسمیت و هندرسون دارای ضعیف‌ترین برازش در دماهای مختلف بودند. در مجموع در دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد مدل‌های هالسی، در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد مدل گاب و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد مدل آرسی وات دارای بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار $RMSE$ ، P و χ^2 بوده و لذا مناسبترین مدل‌ها می‌باشند. شکل‌های ۲ تا ۷ برازش این مدل‌ها را با داده‌های آزمایش در دماهای مختلف نشان می‌دهد.

۳-۳- تعیین انرژی پیوندی

انرژی پیوندی جذب به صورت مقدار انرژی لازم برای جدا سازی آب از ماده غذایی مازاد بر میزان انرژی لازم برای تبخیر آب آزاد تعریف می‌شود. این پارامتر یک ابزار

1- Clausius - Clapeyron equation

رطوبتهای پایین مقدار انرژی پیوندی افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان به پیوند قوی بین مولکولهای آب با کشمش بیان نمود. منحنی انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی ۸ درصد تا ۲۲ درصد در شکل (۸) ترسیم شده است. با توجه به این که بهترین رطوبت کشمش ۱۶ درصد می‌باشد، مقدار انرژی پیوندی برای رسیدن به رطوبت مناسب با توجه به منحنی شکل (۸)، ۸۰ KJ/mol می‌باشد.

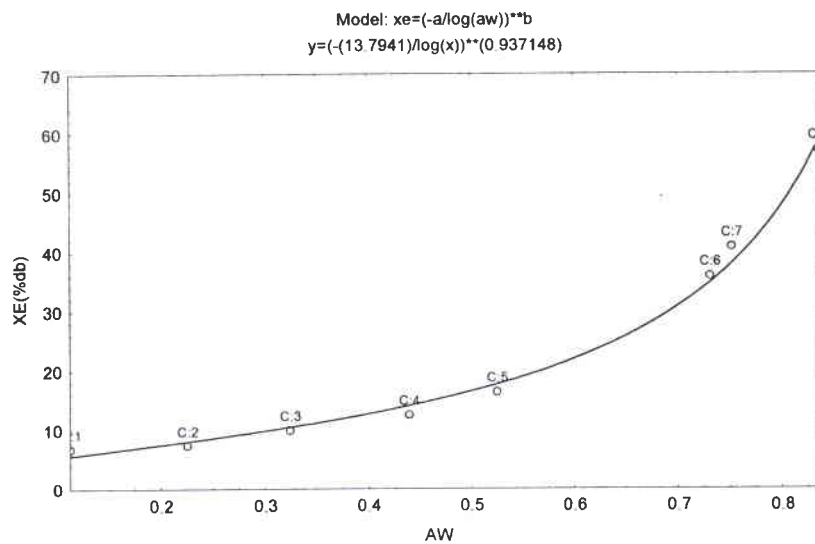
جدول ۳ شاخص‌های ارزیابی مدل‌های بکار برده شده در تحقیق

نام شاخص	رابطه	مرجع
مقدار P (P value)	$P = \frac{100}{N} \sum \left \frac{X_p - X_o}{X_o} \right $	San Martin et al., 2001
مربع کای (Chi square)	$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum (X_e - X_o)^2$	San Martin et al., 2001
ریشه میانگین مربعات خطا (Root mean square error)	$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_e - X_o)^2}$	San Martin et al., 2001

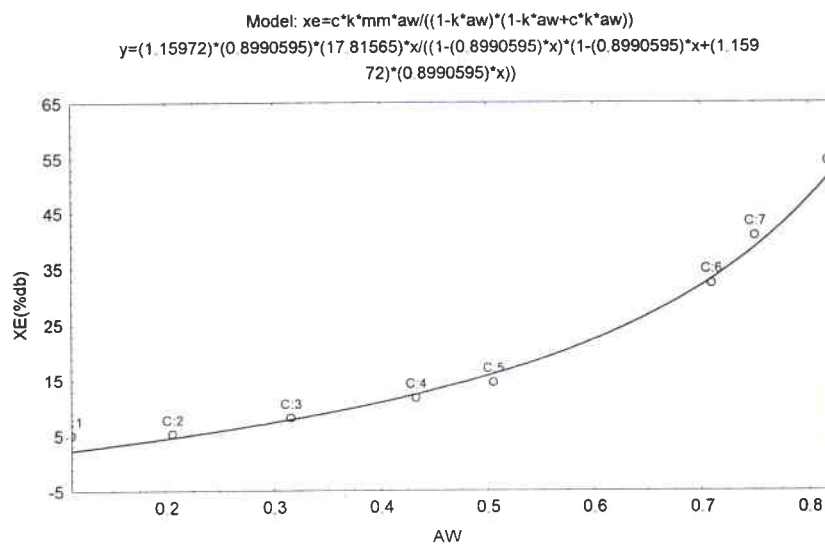
جدول ۴ ضرایب مدل‌های برازش شده بر داده‌های آزمایش

مدل	دما (°C)	A	B	C	K or D	M _m or E	R ²	P	R _{MSE}	χ^2
گاب	۳۰	-	-	۳/۲۱۵	۰/۹۷۳	۰/۵۴۳	۰/۹۹۱۴	۱۰/۵۸	۱/۶۳	۴/۲۸
	۴۰	-	-	۱/۱۶۰	۰/۸۹۹	۱۷/۸۲	۰/۹۹۲۸	۱۲/۰۴	۱/۴۳	۳/۲۶
	۵۰	-	-	۱/۱۶۷	۰/۹۵۳	۱۳/۷۷	۰/۹۹۴۶	۱۰/۲۷	۱/۲۱	۲/۳۳
	۶۰	-	-	۱/۳۶۳	۰/۰۲۰	۱۰/۰۷	۰/۹۹۸۰	۲۹	۱/۲۱	۲/۳۳
	۷۰	-	-	۰/۰۳۷	۰/۷۵۴	۲۸۲/۲	۰/۹۹۶۵	۶/۱۶	۰/۷۵	۰/۹۱
	۸۰	-	-	۰/۰۲۰	۰/۷۲۹	۵۰۹/۶	۰/۹۹۷۵	۸/۶۳	۰/۴۹	۰/۵۵
اسمیت	۳۰	-۱/۷۳۶	۳۰/۳۲۲	-	-	-	۰/۹۶۸۵	۲۰/۱۱	۳/۱۲	۱۳/۰۲
	۴۰	-۲/۷۶۸	۳۰/۱۷۶	-	-	-	۰/۹۷۷۵	۲۱/۹۱	۲/۶۳	۹/۲۱
	۵۰	-۲/۶۵۷	۳۰/۵۱۹	-	-	-	۰/۹۷۴۶	۲۲/۶۴	۳/۰۵	۷
	۶۰	-۴/۵۵۵	۲۹/۰۹۲	-	-	-	۰/۹۵۷۰	۴۲/۰۲	۳/۲۵	۱۴/۰۵
	۷۰	-۴/۳۲۴	۲۴/۳۸۷	-	-	-	۰/۹۷۳۰	۶۰/۷۵	۲/۰۹	۵/۸۵
	۸۰	-۳/۴۲۸	۲۱/۱۱۳	-	-	-	۰/۹۷۷۱	۵۶/۸۷	۱/۶۷	۳/۷۱
هندرسون	۳۰	-۰/۰۷۱	۰/۸۰۴	-	-	-	۰/۹۸۲۸	۱۸/۸۳	۲/۳۱	۷/۰۹
	۴۰	-۰/۰۸۱	۰/۷۷۶	-	-	-	۰/۹۹۰۲	۱۶/۱۲	۱/۶۷	۳/۷۱
	۵۰	-۰/۰۸۲	۰/۷۶۹	-	-	-	۰/۹۹۰۵	۱۶/۹۴	۱/۶۲	۳/۴۹
	۶۰	-۰/۱۴۷	۰/۶۲۶	-	-	-	۰/۹۹۱۷	۲۳/۱۱	۱/۴۲	۲/۷۰
	۷۰	-۰/۱۵۹	۰/۶۳۸	-	-	-	۰/۹۹۶۰	۱۱/۹۲	۰/۸۱	۰/۸۸
	۸۰	-۰/۱۶۲	۰/۶۵۷	-	-	-	۰/۹۹۷۰	۱۴/۱۱	۰/۶۰	۰/۴۷
ازوین	۳۰	۲۱/۴۴۹	۰/۶۴۱	-	-	-	۰/۹۸۸۸	۱۴/۹۲	۱/۸۶	۴/۶۳
	۴۰	۱۹/۹۰۱	۰/۶۷۷	-	-	-	۰/۹۹۱۹	۱۱/۱۷	۱/۵۱	۳/۰۵
	۵۰	۱۹/۴۹۴	۰/۷۱۱	-	-	-	۰/۹۹۴	۱۱/۷۵	۱/۲۷	۲/۱۴
	۶۰	۱۲/۰۸۰	۰/۹۸۱	-	-	-	۰/۹۹۷۷	۱۱/۳۹	۰/۷۴	۰/۷۴
	۷۰	۱۰/۴۵۲	۰/۹۵۰	-	-	-	۰/۹۹۳۵	۱۳/۸	۱/۰۳	۱/۴۳
	۸۰	۹/۶۳۰	۰/۹۲۱	-	-	-	۰/۹۹۴	۱۵/۳۶	۰/۸۳	۰/۹۳

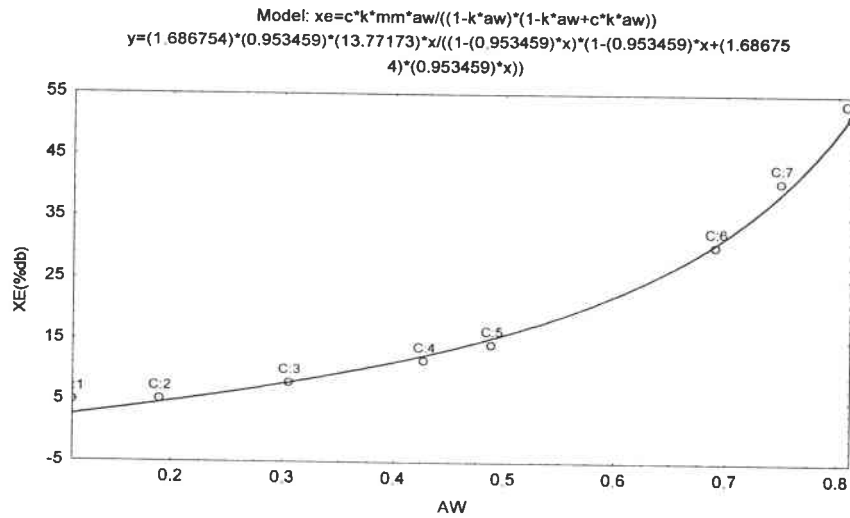
۳/۰۱	۱/۵۰	۸/۲۱	۰/۹۹۲۷	-	-	-	۰/۹۳۷	۱۳/۷۹۴	۳۰	هالسی
۴/۷۳	۱/۸۸	۹/۹۹	۰/۹۸۷۵	-	-	-	۰/۹۹۴	۱۰/۸۱۹	۴۰	
۲/۵۳	۱/۳۸	۷/۶۶	۰/۹۹۳۱	-	-	-	۱/۰۳۱	۹/۸۲۱	۵۰	
۰/۶۸	۰/۷۱۶	۷/۱۴	۰/۹۹۷۹	-	-	-	۱/۲۳۵	۵/۰۷۹	۶۰	
۳/۰۱	۱/۵۰	۳۷/۵۹	۰/۹۸۶۳	-	-	-	۱/۲۴۷	۴/۲۵۹	۷۰	
۲/۱۸	۱/۲۸	۳۶/۹۱	۰/۹۸۶۶	-	-	-	۱/۲۳۶	۳/۹۵۷	۸۰	
۸/۶۶	۱/۸۰	۰/۱۳۹	۰/۹۸۹۵	۴/۵۱۰	۰/۹۶۶	۱۲/۸۹۳	-۶/۵۸۲	-۰/۹۶۶	۳۰	درسی وات
۶/۱۸	۱/۵۲	۱۴/۴۸	۰/۹۹۱۸	۱۱/۶۵۷	۰/۶۸۷	-۱۰/۶۱۸	-۲۱/۱۶۸	-۰/۸۲۹	۴۰	
۴/۰۹	۱/۲۳	۱۱/۵۵	۰/۹۹۴۵	۵/۶۴۲	۰/۹۴۴	-۶/۳۶۰	-۸/۵۹۹	-۰/۹۴۴	۵۰	
۱/۴۴	۰/۷۴	۹/۹۰	۰/۹۹۷۸	۴/۷۶۴	۰/۶۷۰	۰/۸۳۶	-۸/۷۰۲	-۰/۰۳۰	۶۰	
۱/۶۱۱	۰/۷۸	۵/۷۵	۰/۹۹۶۳	۱۶/۹۷۶	۰/۶۲۵	-۱۵/۸۴۲	-۱۱/۸۵۷	-۰/۹۲۴	۷۰	
۰/۹۲۸	۰/۵۹	۸/۳۹	۰/۹۹۷۱	۱۰/۷۵۹	۰/۸۵۸	-۷/۲۴۷	-۵/۲۶۱	-۰/۹۳۰	۸۰	



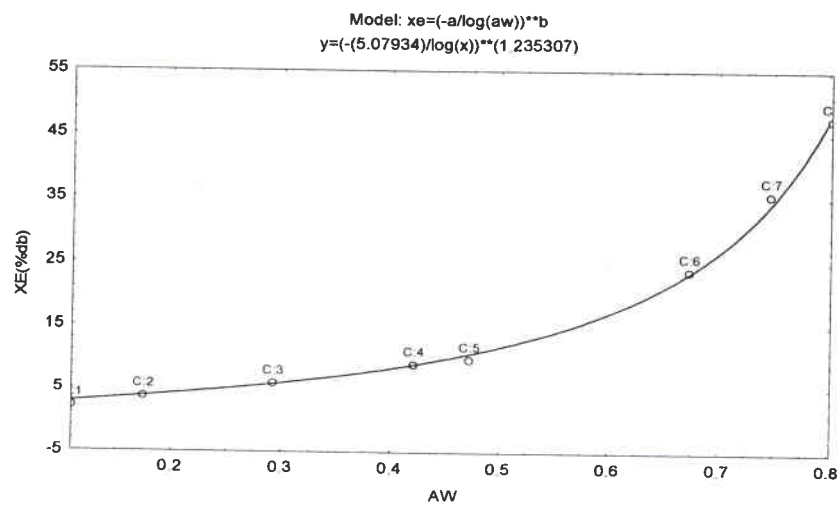
شکل ۲ برازش مدل هالسی با داده‌های آزمایش در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد



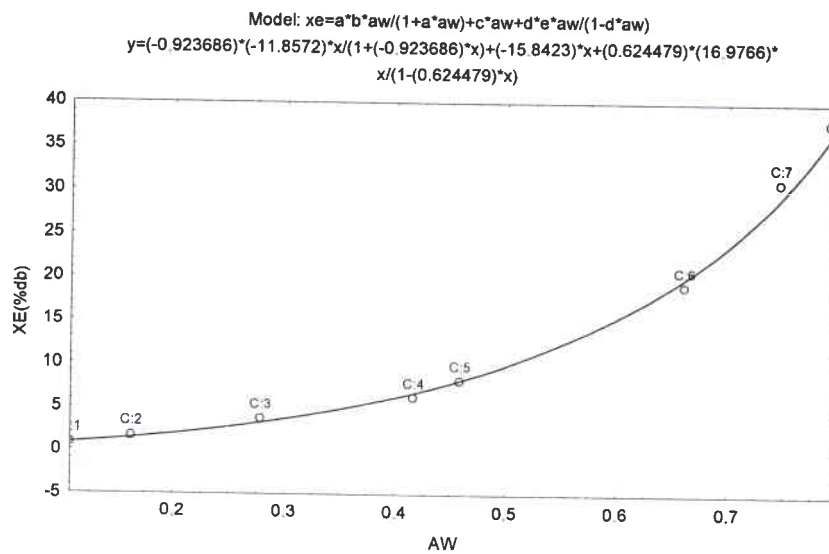
شکل ۳ برازش مدل گاب با داده‌های آزمایش در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد



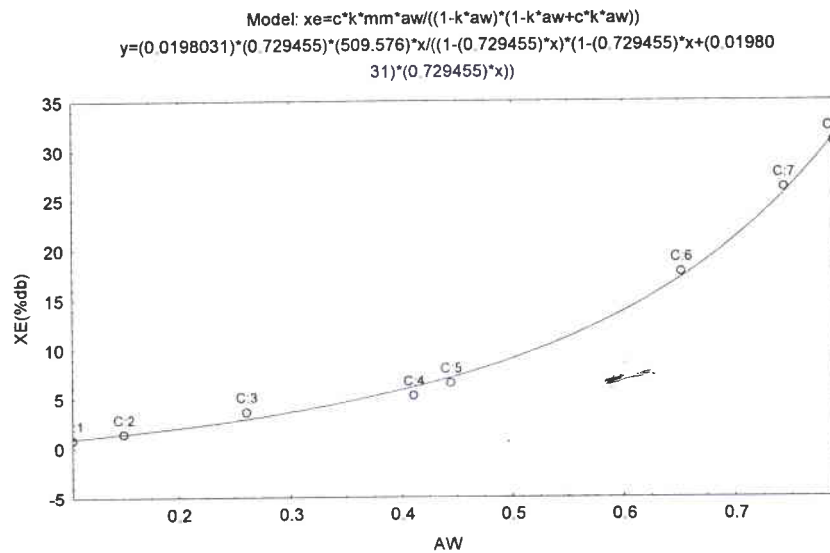
شکل ۴ برازش مدل گاب با داده‌های آزمایش در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد



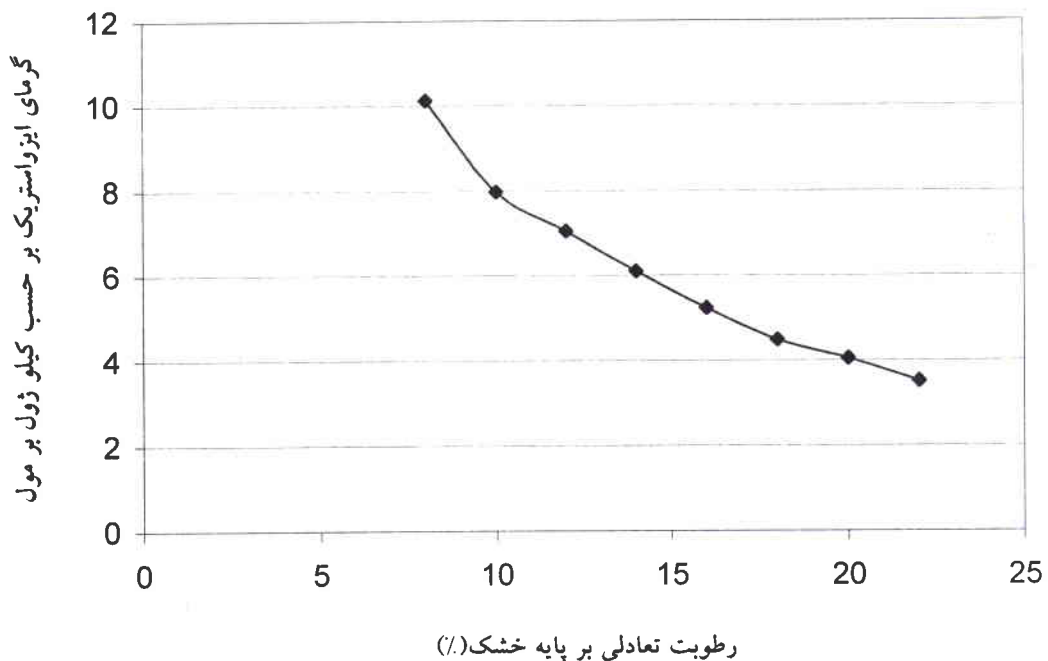
شکل ۵ برازش مدل هالسی با داده‌های آزمایش در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۶ برازش مدل آرسی وات با داده‌های آزمایش در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۷ برآزش مدل گاب با داده‌های آزمایش در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۸ مقادیر انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی مختلف

۴- منابع

- [2] Gabas, A.L., Telis-Romero, J. and Menegalli, F.C. 1999. Thermodynamic models for water sorption by grape skin and pulp. *Drying Technology*. 17(4): 961-974.

- [۱] ضرابی، مهناز. ۱۳۷۷. تعیین پارامترهای طراحی در خشک‌کردن انگور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی، صفحه ۱۰-۱۴۵.

- [8] Guzey, D., Ozdemir, M., Seyhan, F.G. and Devres, Y.O. 2001. Adsorption isotherms of raw and roasted hazelnuts. *Drying Technology*, 19: 691-699.
- [9] San Martin, M. B., Mate, J. I, Fernandez, T. and Virseda, P. 2001. Modeling adsorption equilibrium moisture characteristics of rough rice. *Drying Technology*, 19: 681-690.
- [10] Simal, S., Rosselo, C., Sanches E. And Canellas, J. 1996. Quality of raisin treated and stored under different conditions. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 44:3297-3302.
- [11] Vazquez, G. Chenlo, F., moreira, R. and Carballo, L. 1999. Adsorption isotherms of Muscatels and Aledo grape, and influence of pretreatment on muscatel isotherm. *Journal of Food Engineering*. 39: 409-414.
- [3] Ayranchi, E., Ayranci, G. and Dogantan, Z. 1990. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at 20°C and 36°C. *Journal of Food Science* 55: 1591-1593.
- [4] Saravacos, G.D., Tsiourvas, D.A. and Tsami, E. 1986. Effect of temperature on the water adsorption isotherms of Sultana Raisins. *Journal of Food Science*, 51: 381-385.
- [5] Tsami, E., Marinos-Kouris, D. and Maroulis, Z.B. 1990. Water sorption isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots. *Journal of Food Science*, 55: 1594-1597.
- [6] Spiess, W. E., and Wolf, W.R. 1983. The result of cost 90 projects on water activity. In r. Jowitt et al. (Ed). *Applied Science Pub*: 67-87.
- [7] Rahman, S. 1995. *Food Properties Handbook*. CRC press. Pp 1-45.

Estimation of Moisture Sorption Isotherms for Black Currant Raisins and Determining the Best Appropriate Model

Mohammad Gholami Parshokouhi¹, Saeid Minaei^{2*}

1- Ph.D. Student, Agricultural Machinery Engineering, Islamic Azad Univ. Science and research branch, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Agricultural Machinery Engineering Dept. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

Moisture sorption isotherms are useful in food dehydration, storage and packaging. Due to the complex food composition, theoretical prediction of the isotherms is not possible and experimental measurements are necessary.

Moisture sorption isotherms of black currant 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 D'Arcy-Watt equation were fit the data. The experimental data were fitted well with GAB equation at 40,50 and 80 °C, with Halsey equation at 30 and 60 °C and at 70 °C with D'Arcy-Watt equation. So, Isosteric heat of sorption data obtained at different moisture content.

Keywords: Raisin, Isotherm, Sorption, Moisture, Isosteric.

* Corresponding author E-mail: Gholami Hassan@yahoo.com