



تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت کشمش بی‌دانه قرمز و برازش مدل‌های مختلف

محمد غلامی پرشکوهی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان- تاکستان، سه راهی شامی شاپ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان.

علیمحمد برقی

استاد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

علیرضا بصیری

استادیار گروه کشاورزی، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی

سعید مینایی

استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

منحنی‌های هم‌دما در دفع رطوبت، ذخیره و بسته‌بندی مواد غذایی مفید هستند. با توجه به ترکیبات پیچیده مواد غذایی، به منظور برآورد تئوری منحنی‌های هم‌دمای رطوبت، اندازه‌گیری تجربی مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت کشمش بیدانه قرمز 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 مورد بررسی قرار گرفت که از آن میان مدل گاب در دماهای ۴۰، ۵۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد، مدل هالسی در دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد بهترین برازش را نشان داد. همچنین انرژی پیوندی دفع در محتوای رطوبتی مختلف تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: کشمش، دفع، هم‌دما، رطوبت، انرژی پیوندی.

مقدمه

درخت انگور که در ایران به نام‌های مو یا تاک شناخته می‌شود بیش از ده گونه مختلف دارد که از آن میان سه واریته 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).

1. Thompson seedless
2. Black currant
3. Muscat of Alexandariun

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، درآمد ایران از فروش این محصول به مراتب افزایش خواهد یافت. تا کنون تحقیقی در مورد تعیین همدمای دفع رطوبت برای رقم بی‌دانه قرمز گزارش نشده است. ولی برای انگور بی‌دانه سفید در دماهای پایین تحقیقاتی توسط ضرابی و همکاران انجام شده است (۱). در آن 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. 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 (۳). طی تحقیقی در ترکیه منحنی‌های همدمای جذب رطوبت بر گره زرد آلو، انجیر و کشمش در دماهای ۲۰ الی ۳۶ درجه سانتی‌گراد تعیین شد و مدل گاب به عنوان مناسب‌ترین مدل برای تعیین رطوبت تعادلی ارائه گردید (۲) ساراواکوس^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 (۹). تسامی^۳ و همکاران منحنی‌های همدمای جذب و دفع رطوبت میوه‌های خشک شده انجیر، آلو، زردآلو و کشمش را در دمای ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ به دست آورده و مدل گاب را به عنوان بهترین مدل تعیین نمودند (۱۱). منحنی‌های همدمای در دفع رطوبت، ذخیره و بسته‌بندی مواد غذایی مفید هستند. با توجه به متفاوت بودن ارقام انگور مناطق مختلف از نظر ترکیب شیمیایی و اثر این ترکیبات بر منحنی‌های همدمای انجام این تحقیق برای رقم کشمش بی‌دانه قرمز ایران اطلاعات جدیدی را ارائه می‌کند. در این پژوهش با استفاده از روش وزن سنجی ایستا، منحنی‌های همدمای دفعی این رقم کشمش تعیین شده و مدل ریاضی مناسب ارائه می‌گردد

مواد و روش‌ها:

مواد

آزمایش‌ها بر روی کشمش حاصل از انگور بی‌دانه قرمز آفتابی بدون هیچ گونه آماده سازی، انجام شد. کشمش مورد نیاز از منطقه تاکستان قزوین تهیه شد. رطوبت کشمش در حدود ۱۵ درصد بر مبنای خشک بود. محلول‌های اشباع نمک مورد استفاده در این تحقیق برای تامین رطوبت‌های نسبی مورد نیاز عبارت بودند از: 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) که همگی دارای درجه خلوص بالا بوده و از شرکت مرک^۴ آلمان 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.

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 دستورالعمل COST 90 استفاده گردید (۱۰).

1. Gabbas
2. Saravacos
3. Tsami
4. Merck

آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش

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 آب مقطر پر شده بود منتقل گردیدند. پتری‌دیش‌ها در داخل ظروف به صورت معلق قرار گرفتند. ظروف در دمای اتاق قرار داده شدند. به دلیل رطوبت نسبی بالا در ظروف آماده‌سازی و احتمال کپک زدگی از لوله‌های موئین حاوی تولوئن که بر روی جدار داخلی ظروف نصب شده بود، استفاده گردید. پس از ۱۵ روز در فواصل زمانی یک روز در میان، پتری‌دیش‌ها توزین شده و چنانچه اختلاف دو توزین متوالی کمتر از ۰/۰۰۱ گرم بود به تعادل رسیده بودند (۸ و ۱۱).

آماده‌سازی 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 ایجادشده توسط نمک‌های مذکور در منابع گزارش شده است (۴ و ۶). مقادیر آن در دماهای آزمایش در جدول (۱) آمده است. برای اطمینان از باقی ماندن محلول‌های نمک در حالت اشباع در حین دوره آزمایش، آماده‌سازی این محلول‌ها در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. پس از اطمینان از اشباع بودن محلول‌ها که با تجمع بلورهای نمک در ته ظروف مشخص می‌شود، جهت کنترل آن، درب ظروف را کامل بسته و در داخل آن با بالاترین درجه آزمایش یعنی ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت قرار داده شد (۱۱). پس از گذشت زمان مذکور در صورت وجود بلورهای نمک در ته ظروف، محلول اشباع می‌باشد و در غیر اینصورت به محلول‌ها مجدداً نمک اضافه کرده و مراحل بالا تکرار شد. پس از آماده‌سازی محلول‌های اشباع نمک، به مقدار ۱۵۰ میلی لیتر از هر محلول در ظروف آزمایش ریخته شد (شکل ۱). ظروف دارای قطر میانی ۱۴ و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر بود.

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

رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	دما (°C)
۴/۱۲	۰/۱۰۹۵	۸/۷۸	۰/۱۱۲۸	۳۰
۵/۴۱	۰/۱۷۴۷	۹/۰۸	۰/۲۲۵۶	
۸/۱۶	۰/۲۹۲۶	۱۰/۸۵	۰/۳۲۴۴	
۱۱/۷۳	۰/۴۲۱۱	۱۴/۷۲	۰/۴۳۹۶	
۱۲/۵۱	۰/۴۷۲۵	۱۸/۲۲	۰/۵۲۵۳	
۲۷/۵۵	۰/۶۷۳۵	۳۷/۰۴	۰/۷۳۱۴	
۳۹/۶۹	۰/۷۴۷۳	۴۲/۲۳	۰/۷۵۲۴	
۴۲/۵۲	۰/۸۰۲۵	۵۵/۵۱	۰/۸۳۶۲	
۱/۰۵	۰/۱۰۷۵	۴/۳۶	۰/۱۱۲۱	۴۰
۲/۵۸	۰/۱۶۲	۶/۱	۰/۲۰۶	
۴/۳۱	۰/۲۷۷۷	۹/۸۶	۰/۳۱۶	
۷/۳۹	۰/۴۱۵۸	۱۲/۷۸	۰/۴۳۳	
۹/۸	۰/۴۵۸	۱۵/۲۱	۰/۵۰۵۹	
۲۱/۹۷	۰/۶۶۰۴	۳۲/۶۲	۰/۷۱	
۳۲/۹۵	۰/۷۴۵۷	۴۰/۱۸	۰/۷۵۰۶	
۳۷/۰۱	۰/۷۹۴۹	۴۶/۸۵	۰/۸۲۳۳	
۱/۰۴	۰/۱۰۵۱	۴/۲۹	۰/۱۱۱	۵۰
۲/۵۸	۰/۱۵۰۹	۵/۵۲	۰/۱۸۹۲	
۴/۲۶	۰/۲۶۰۵	۹/۵۴	۰/۳۰۵۴	

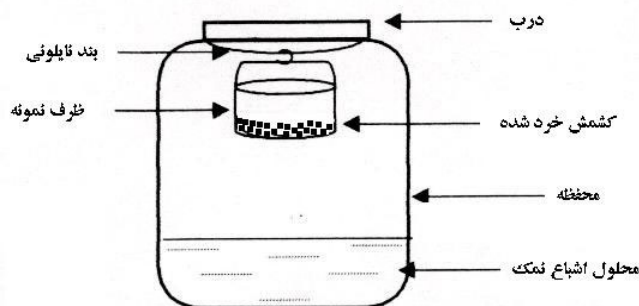
رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	دما (°C)	رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	دما (°C)
۵/۴۶	۰/۴۱۰۹	۸۰	۱۲/۵۲	۰/۴۲۶۸	۵۰
۷/۳۴	۰/۴۴۴۷		۱۴/۱۲	۰/۴۸۸۴	
۱۸/۷۳	۰/۶۵۲۲		۳۰/۶۹	۰/۶۹۰۴	
۲۷/۹۱	۰/۷۴۴۳		۳۹/۷۰	۰/۷۴۸۹	
۳۰/۹۴	۰/۷۸۹		۴۳/۴۲	۰/۸۱۲	

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 جیوه‌ای با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد به صورت جداگانه اندازه‌گیری گردید. پس از رسیدن دمای محلول درون ظروف به دمای انکوباتور، میزان ۱/۵ گرم از نمونه‌های کشمش آماده شده درون ظروف کوچک شیشه‌ای که دارای قطر میانی ۴ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر بودند ریخته شده، و سپس به طور معلق در داخل ظروف محتوی محلول‌های اشباع نمک قرار داده شد (شکل ۱). در تمام مدت آزمایش، هوای درون دستگاه توسط دماسنج کنترل می‌گردید. پس از سپری شدن ۱۵ روز، اولین توزین نمونه‌ها 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 (۱۱). برای به تعادل رسیدن نمونه‌ها حدود ۳ الی ۴ هفته زمان لازم بود که هرچه رطوبت نسبی پایین‌تر و یا دمای آزمایش بالاتر بود، این زمان کاهش پیدا می‌کرد. نمونه‌های به تعادل رسیده، برای تعیین رطوبت نهایی در آن خلاء با دمای ۷۰ درجه و فشار ۱۵۰ میلی بار به مدت ۶ ساعت قرار داده شدند (۱۱). سپس توزین نمونه‌ها با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام گردید. پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، با استفاده از رابطه (۱) رطوبت تعادلی نمونه بر مبنای خشک تعیین گردید. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت.

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

M_w = وزن نمونه تر M_d = وزن نمونه خشک



شکل (۱) - ظرف محلول نمک اشباع به همراه نمونه آزمایش.

تعیین انرژی پیوندی

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

$$\frac{d(\ln aw)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = -\frac{E_b}{R} \quad (2)$$

E_b = انرژی پیوندی

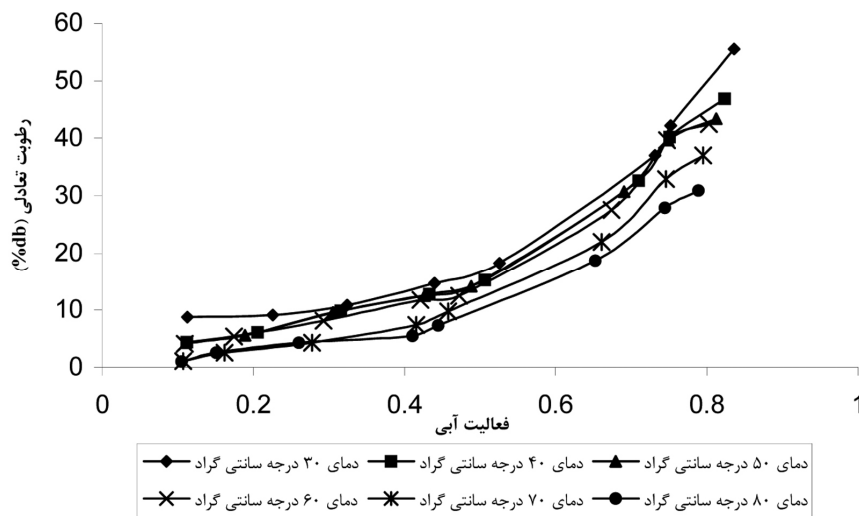
R = ثابت عمومی گازها

از اندازه‌گیری تجربی همدمای دفع 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 (۱، ۲ و ۳).

نتایج و بحث

بررسی اثرات دما بر روی منحنی‌های دفع

میانگین رطوبت تعادلی نمونه‌های آزمایش حاصل از سه تکرار آزمایش و فعالیت آبی محلول‌های اشباع نمک در جدول (۱) ارائه شده است. منحنی‌های همدمای دفعی نیز در شکل (۲) 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 کשמش 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 (۲) می‌توان آن را مشاهده نمود.



شکل (۲) - تاثیر دما بر رطوبت تعادلی

کشمش مانند تمام مواد غذایی که قند بالایی دارند در فعالیت آبی پایین مقدار رطوبت بیشتری می‌تواند دفع کند و در فعالیت آبی بالا دفع رطوبت کمتر می‌شود. بخش اول منحنی‌های همدمای دفعی که در شکل (۲) دیده می‌شود در تمام مواد غذایی دیده می‌شود و دلیل آن دفع بیشتر رطوبت موجود در قندهای کشمش است و تیزی منحنی به خاطر دفع کمتر رطوبت موجود در کشمش می‌باشد (۹).

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

رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	دما (°C)	رطوبت تعادلی (%)	فعالیت آبی	دما (°C)
۴/۱۲	۰/۱۰۹۵		۸/۷۸	۰/۱۱۲۸	
۵/۴۱	۰/۱۱۷۴۷		۹/۰۸	۰/۲۲۵۶	
۸/۱۶	۰/۲۹۲۶		۱۰/۸۵	۰/۳۲۴۴	
۱۱/۷۳	۰/۴۲۱۱	۶۰	۱۴/۷۲	۰/۴۳۹۶	۳۰
۱۲/۵۱	۰/۴۷۲۵		۱۸/۲۲	۰/۵۲۵۳	
۲۷/۵۵	۰/۶۷۳۵		۳۷/۰۴	۰/۷۳۱۴	
۳۹/۶۹	۰/۷۴۷۳		۴۲/۲۳	۰/۷۵۲۴	
۴۲/۵۲	۰/۸۰۲۵		۵۵/۵۱	۰/۸۳۶۲	
۱/۰۵	۰/۱۰۷۵		۴/۳۶	۰/۱۱۲۱	
۲/۵۸	۰/۱۶۲		۶/۱	۰/۲۰۶	
۴/۳۱	۰/۲۷۷۷		۹/۸۶	۰/۳۱۶	
۷/۳۹	۰/۴۱۵۸	۷۰	۱۲/۷۸	۰/۴۳۳	۴۰
۹/۸	۰/۴۵۸		۱۵/۲۱	۰/۵۰۵۹	
۲۱/۹۷	۰/۶۶۰۴		۳۲/۶۲	۰/۷۱	
۳۲/۹۵	۰/۷۴۵۷		۴۰/۱۸	۰/۷۵۰۶	
۳۷/۰۱	۰/۷۹۴۹		۴۶/۸۵	۰/۸۲۳۳	
۱/۰۴	۰/۱۰۵۱		۴/۲۹	۰/۱۱۱	
۲/۵۸	۰/۱۵۰۹		۵/۵۲	۰/۱۸۹۲	
۴/۲۶	۰/۲۶۰۵		۹/۵۴	۰/۳۰۵۴	
۵/۴۶	۰/۴۱۰۹	۸۰	۱۲/۵۲	۰/۴۲۶۸	۵۰
۷/۳۴	۰/۴۴۴۷		۱۴/۱۲	۰/۴۸۸۴	
۱۸/۷۳	۰/۶۵۲۲		۳۰/۶۹	۰/۶۹۰۴	
۲۷/۹۱	۰/۷۴۴۳		۳۹/۷۰	۰/۷۴۸۹	
۳۰/۹۴	۰/۷۸۹		۴۳/۴۲	۰/۸۱۲	

برازش داده‌ها

به منظور ارائه مدل مناسب برای رفتار تعادلی کشمش، 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 نرم‌افزارهای آماری استاتیسیتکا^۱ و اکسل^۲ مدل‌های مذکور با داده‌ها برازش داده شدند. برای تعیین مناسب بودن برازش علاوه بر ضریب تعیین (R^2) از سه شاخص دیگر، به شرح جدول (۳) استفاده گردید.

1. Statistica
2. Excel

جدول ۲- مدل‌های مورد استفاده در تحقیق برای برازش داده‌ها

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

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مدل‌های بکار برده شده در تحقیق

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

نتایج به دست آمده از برازش مدل‌های مورد آزمون در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه 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.

جدول ۴- ضرایب مدل‌های برازش شده بر داده‌های آزمایش

مدل	دما	A	B	C	KorD	M _m orE	R ²	P	R _{MSE}	χ ²
گاب	۳۰	-	-	۶/۲۷۶	۰/۹۶۳	۱۱/۴۸۰	۰/۹۸۶۹	۱۰/۶۷	۱/۹۲	۵/۸۸
	۴۰	-	-	۱/۰۳۶	۰/۷۸۶	۲۵/۷۷۸	۰/۹۹۰۲	۱۲/۳۶	۱/۵۲	۳/۶۹
	۵۰	-	-	۰/۴۵۷	۰/۶۳۱	۶۷/۱۸۰	۰/۹۸۷۵	۱۳/۸۵	۱/۶۴	۴/۲۸
	۶۰	-	-	۰/۹۳۷	۰/۸۰۱	۲۵/۱۰۵	۰/۹۸۴۸	۱۵/۱۱	۱/۷۸	۵/۰۹
	۷۰	-	-	۰/۰۱۷	۰/۶۷۹	۸۷/۳۲	۰/۹۹۶۰	۸/۲۰	۰/۸۴	۱/۱۲
	۸۰	-	-	۰/۰۱۶	۰/۶۸۳	۷۹/۴۰	۰/۹۹۲۷	۱۳/۲۱	۰/۹۵	۱/۴۴
اسمیت	۳۰	۰/۶۶۰	۲۸/۹۱۳	-	-	-	۰/۹۷۴۲	۱۵/۸۶	۲/۶۹	۹/۶۲
	۴۰	-۱/۰۲۳	۲۷/۶۹۱	-	-	-	۰/۹۸۵۵	۱۳/۶۶	۱/۸۵	۴/۵۸
	۵۰	-۰/۷۳۹	۲۶/۹۷۰	-	-	-	۰/۹۸۳۴	۱۳/۳۰	۱/۸۸	۴/۷۲
	۶۰	-۱/۲۵۱	۲۷/۱۴۲	-	-	-	۰/۹۷۶۷	۱۷/۶۲	۲/۲۱	۶/۵۰

مدل	دما	A	B	C	KorD	M _m orE	R ²	P	RMSE	χ^2
هندرسون	۷۰	-۳/۶۷۲	۲۵/۲۵۱	-	-	-	۰/۹۸۲۷	۴۰/۰۹	۱/۷۴	۴/۰۴
	۸۰	-۲/۷۸۵	۲۱/۲۶۱	-	-	-	۰/۹۷۴۷	۴۱/۱۷	۱/۷۷	۴/۱۷
	۳۰	-۰/۰۴۴	۰/۹۳۱	-	-	-	۰/۹۷۵۸	۱۶/۰۹	۲/۶۰	۹/۰۲
	۴۰	-۰/۰۵۳	۰/۸۹۹	-	-	-	۰/۹۸۸۷	۱۳/۱۲	۱/۶۳	۳/۵۶
	۵۰	-۰/۰۵۱	۰/۹۱۸	-	-	-	۰/۹۸۵۶	۱۳/۱۲	۱/۷۵	۴/۰۸
	۶۰	-۰/۰۶۲	۰/۸۶۱	-	-	-	۰/۹۸۲۸	۱۶/۶۵	۱/۹۰	۴/۸۱
	۷۰	-۰/۱۱۹	۰/۷۱۲	-	-	-	۰/۹۹۵۳	۹/۰۲	۰/۹۱	۱/۱۰
	۸۰	-۰/۱۳۴	۰/۷۰۷	-	-	-	۰/۹۹۱۲	۱۸/۵۵	۱/۰۴	۱/۴۵
ازوین	۳۰	۲۶/۷۵	۰/۵۰۳	-	-	-	۰/۹۷۹۷	۱۴/۴۹	۲/۳۸	۷/۵۶
	۴۰	۲۴/۱۴	۰/۵۱۴	-	-	-	۰/۹۸۸۲	۱۰/۶۲	۱/۶۷	۳/۷۳
	۵۰	۲۴/۳۹	۰/۴۹۷	-	-	-	۰/۹۸۴۶	۱۱/۱۳	۱/۸۱	۴/۳۷
	۶۰	۲۱/۶۷	۰/۵۸۰	-	-	-	۰/۹۸۳۱	۱۳/۲۷	۱/۸۸	۴/۷۲
	۷۰	۱۳/۶۵	۰/۸۰۲	-	-	-	۰/۹۹۱۷	۱۳/۱۵	۱/۲۰	۱/۹۳
	۸۰	۱۱/۴۷	۰/۸۱۹	-	-	-	۰/۹۸۸۸	۱۵/۳۰	۱/۱۷	۱/۸۴
هالی	۳۰	۲۲/۳۶	۰/۸۳۹	-	-	-	۰/۹۸۸۹	۸/۷۷	۱/۷۵	۴/۰۹
	۴۰	۱۵/۹۲	۰/۸۸۹	-	-	-	۰/۹۷۵۹	۱۳/۰۵	۲/۳۹	۷/۵۹
	۵۰	۱۵/۲۶	۰/۸۹۷	-	-	-	۰/۹۷۱۰	۱۴/۲۱	۲/۴۹	۸/۲۴
	۶۰	۱۱/۶۸	۰/۹۶۳	-	-	-	۰/۹۷۶۲	۱۰/۷۱	۲/۲۳	۶/۶۳
	۷۰	۵/۶۹	۱/۱۴۶	-	-	-	۰/۹۸۰۷	۳۶/۳۰	۱/۸۴	۴/۵۲
	۸۰	۴/۸۴	۱/۱۶۰	-	-	-	۰/۹۸۰۶	۲۷/۱۲	۱/۵۵	۳/۲۰
دارسی وات	۳۰	-۰/۹۵۹	-۹/۵۹۶	۲۰/۳۹	۰	۲/۸۴۹	۰/۹۸۱۰	۱۳/۶۵	۲/۳۱	۱۴/۲
	۴۰	-۰/۷۶۳	-۰/۴۰۰	۰/۶۹۷	۰/۷۸۷	۲۵/۳۷	۰/۹۹۰۲	۱۲/۳۷	۱/۵۲	۶/۱۶
	۵۰	-۰/۷۲۳	-۲۰/۹۷	-۴/۲۷	۰/۷۲۳	۱۳/۰۰	۰/۹۸۷۴	۱۳/۲۳	۱/۶۴	۷/۱۸
	۶۰	-۰/۸۰۷	-۱۲/۰۴	-۰/۵۳	۰/۸۰۷	۱۲/۱۵	۰/۹۸۴۸	۱۵/۰۰	۱/۷۸	۸/۴۸
	۷۰	۰/۷۳۲	-۲۹/۲۰	-۲۲/۶	۰/۷۳۲	۱۰/۹۲	۰/۹۹۶۴	۸/۴۴	۰/۸۰	۱/۶۹
	۸۰	-۰/۷۶۷	-۱۸/۵۹	-۱۵/۵	۰/۷۶۸	۱۰/۰۸	۰/۹۹۲۷	۱۶/۰۲	۰/۹۵	۲/۴۱

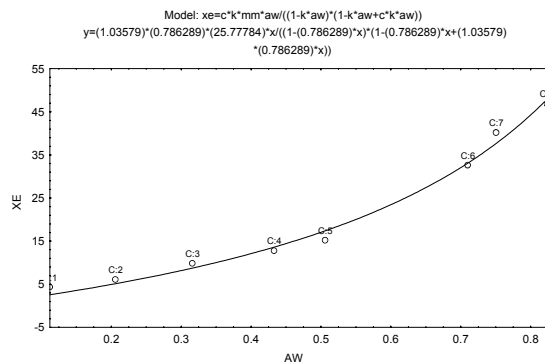
در مجموع در دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد مدل هالسی و در دماهای ۴۰، ۵۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد مدل گاب دارای بیشترین مقدار R² و کمترین مقدار P، RMSE و χ^2 بوده و لذا مناسب‌ترین مدل‌ها می‌باشند. شکل‌های ۲ تا ۸ برازش این مدل‌ها را با داده‌های آزمایش در دماهای مختلف نشان می‌دهد.

انرژی پیوندی

نتایج حاصل از تعیین انرژی نشان می‌دهد که وقتی رطوبت کُشمش افزایش می‌یابد، انرژی پیوندی کاهش می‌یابد. علت آن نزدیک شدن خصوصیات آب موجود در مواد غذایی به آب آزاد می‌باشد. در رطوبت‌های پایین مقدار انرژی پیوندی افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان به پیوند قوی بین مولکول‌های آب با کُشمش بیان نمود. منحنی انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی ۸ درصد تا ۲۲ درصد در شکل (۹) ترسیم شده است. با توجه به این که بهترین رطوبت کُشمش برای نگهداری ۱۶ درصد می‌باشد، مقدار انرژی پیوندی برای رسیدن به رطوبت مناسب با توجه به منحنی شکل (۹)، ۵/۴۵ kJ/mol به دست آمد.

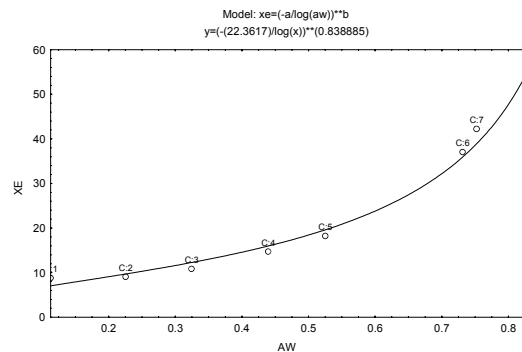
نتیجه گیری

در این تحقیق رطوبت تعادلی دفعی کشمش بیدانه قرمز در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ با استفاده از وزن سنجی ایستا تعیین و منحنی‌های هم‌دما ترسیم شد.



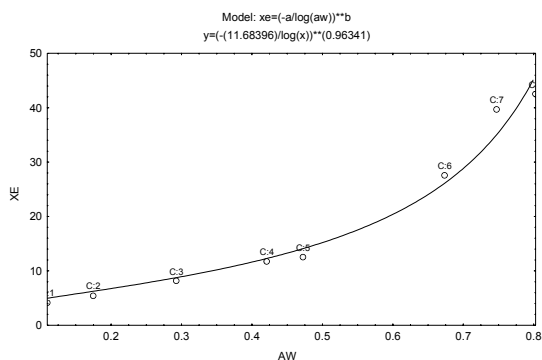
شکل ۴- برازش مدل گجاب با داده‌های آزمایش در دمای ۴۰ درجه

سانتی گراد



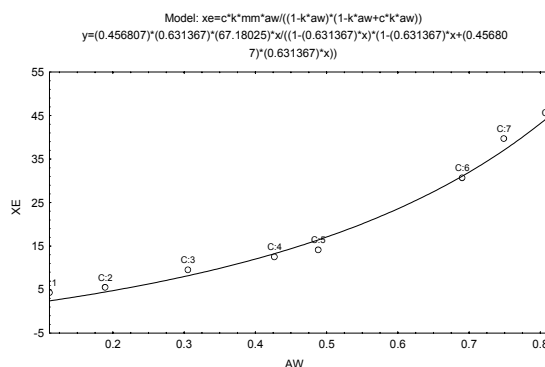
شکل ۳- برازش مدل هالسی با داده‌های آزمایش در دمای ۳۰ درجه

سانتی گراد



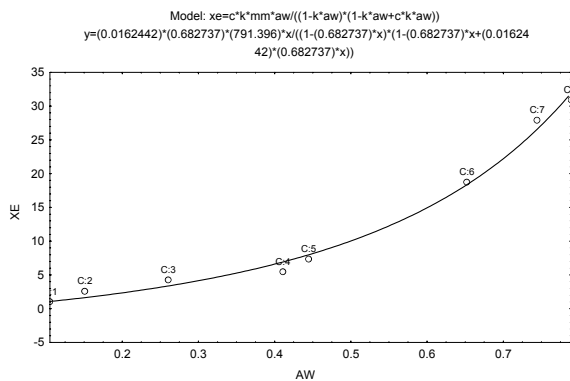
شکل ۶- برازش مدل هالسی با داده‌های آزمایش در دمای ۶۰ درجه

سانتی گراد



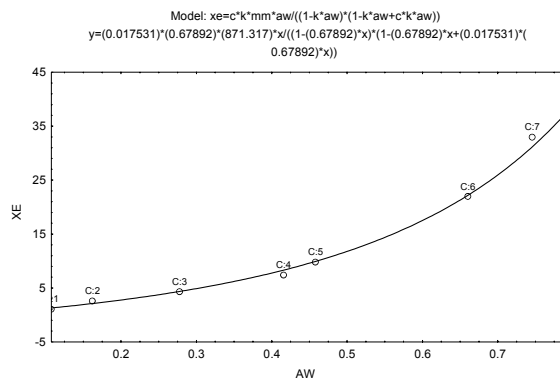
شکل ۵- برازش مدل گجاب با داده‌های آزمایش در دمای ۵۰ درجه

سانتی گراد



شکل ۸- برازش مدل گجاب با داده‌های آزمایش در دمای ۸۰ درجه

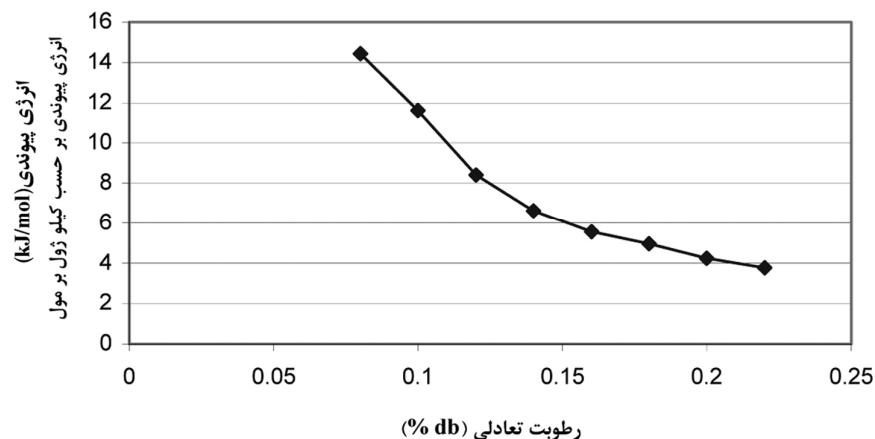
سانتی گراد



شکل ۷- برازش مدل گجاب با داده‌های آزمایش در دمای ۷۰ درجه

سانتی گراد

همچنین برازش داده‌ها با برخی از مدل‌ها نشان داد که مدل گاب، هالسی و آرسی وات می‌تواند برای تخمین رطوبت تعادلی در فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۴ بکار رود. مقدار انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی ۱۶ درصد، $5/45 \text{ kJ/mol}$ محاسبه شد.



شکل (۹) - مقادیر انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی مختلف

نمادها

X_e = مقدار رطوبت تعادلی (%db)	A_w = فعالیت آبی
M_d = وزن نمونه خشک (گرم)	M_w = وزن نمونه تر (گرم)
M_m = رطوبت تک لایه (%db)	A, B, C, D, E = ثابتهای مدل‌ها
X_0 = رطوبت تعادلی بدست آمده از آزمایش (%db)	X_p = رطوبت تعادلی بدست آمده از مدل
n = تعداد ثابتهای مدل	N = تعداد نقاط تجربی
R = ثابت عمومی گازها	E_b = انرژی پیوندی (kJ/mol)
	T = دما ($^{\circ}K$)

منابع و مأخذ:

۱. ضرابی، م. ۱۳۷۷. تعیین پارامترهای طراحی در خشک کردن انگور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
2. Ayranchi, E., Ayranci, G. and Dogantan, Z. 1990. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at $20^{\circ}C$ and $36^{\circ}C$. Journal of food science 55(6): 1591-1593.
3. Gabas, A.L., Telis-Romero, J. and Menegalli, F.C. 1999. Thermodynamic models for water sorption by grape skin and pulp. Drying technology. 17(4/5): 961-974.
4. 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.
5. Guzey, D., Ozdemir, M., Seyhan, F.G. and Devres, Y.O. 2001. Adsorption isotherms of raw and roasted hazelnuts. Drying technology, 19 (3&4): 691-699.

6. 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.
7. Rahman, S. 1995. *Food Properties Handbook*. Pp 1-45. CRC press.
8. San Martin, M. B., Mate, J. I, Fernandez, T. and Virseda, P. 2001. Modeling adsorption equilibrium moisture characteristics of rough rice. *Drying technology*, 19 (3&4): 681-690.
9. 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(2): 381-385.
10. Spiess, W. E., and Wolf, W.R. 1983. The result of cost 90 projects on water activity. In r. Jowitt et al. (Ed). Pp 67-87. Applied Science pub.
11. Tsami, E., Marinos-Kouris, D. and Maroulis, Z.B. 1990. Water sorption isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots. *Journal of food science*-Volume 55(6): 1594-1597.

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

M. Gholami

Agricultural Engineering Dept, Islamic Azad Univ. Takestan Branch.

A. M. Borghaie

Full Professor, Agricultural Machinery Engineering Dept. Tehran University, Tehran, Iran.

A.R. Bassiri

Assistant Professor, Department of Agricultural, Iranian Research Organization of Science and Technology (IROST), Tehran, Iran.

S. Minaie

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

Keywords: Raisin, Isotherm, Desorption, Moisture, Isosteric

Abstract

Moisture desorption 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 desorption 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, 70 and 80 °C and with Halsey equation at 30 and 60 °C. So, Isosteric heat of desorption data obtained at different moisture content