

تاثیر نوع پیش عمل آوری انگور بر روی همدمای رطوبت

فروغ محترمی^۱ و محسن اسمعیلی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۲۰

^۱ دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبه: E-mail: m.esmaili@urmia.ac.ir

چکیده

همدمای جذب و دفع آب در تخمین عمر ماندگاری و در محاسبه مقدار تغییرات رطوبت طی خشک کردن، نگهداری و بسته بندی کاربرد دارند. در این تحقیق همدمای رطوبت انگور بیدانه آماده سازی شده در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ °C به روش وزن سنجی ایستا تعیین شدند و تاثیر محلول‌های پیش‌عمل‌آوری (آماده سازی) روی این منحنی‌ها مطالعه گردید. به منظور ارائه مدل ریاضی مناسب برای توضیح رفتار ایزوترم‌های دفع رطوبتی انگور، مدل‌های بت، گب و هالسی توسط آنالیز رگرسیون غیر خطی مورد بررسی قرار گرفتند که در میان آنها مدل هالسی و گب بهترین برازش را با داده‌های آزمایشی نشان دادند. گرمای ایزوستریک خالص دفع با توجه به ایزوترم‌های به دست آمده در مقدار رطوبت‌های مختلف تعیین گردید.

واژگان کلیدی: انگور، پیش‌عمل‌آوری، گرمای ایزوستریک، همدمای جذب و دفع

مقدمه

خشک‌کردن، طراحی و بهینه‌سازی تجهیزات خشک کردن، پیش بینی مدت زمان ماندگاری، محاسبه تغییرات رطوبتی در طی مدت نگهداری و در انتخاب مواد بسته بندی مناسب مهم هستند. ساختار و ترکیب مواد غذایی و همچنین دما نقش مهمی در شکل منحنی‌های ایزوترمی دارند (تسامی و همکاران ۱۹۹۰ و وانگ و برنان ۱۹۹۱ و کایماک-ارتکین و سلطان اوگلی ۲۰۰۱ و اسمعیلی و همکاران ۲۰۰۷). مدل‌های ریاضی زیادی برای توصیف رفتار جذب و دفع رطوبتی مواد غذایی در منابع علمی موجود است

حالت آب در مواد غذایی نقش مهمی در نگهداری آنها دارد. کیفیت مواد غذایی نگهداری شده به مقدار نقل و انتقال یا جذب و دفع رطوبت توسط ماده غذایی وابسته است (لویکی ۲۰۰۴). میزان جذب یا دفع آب از محصول غذایی نیز به فشار بخار آب موجود در نمونه غذایی و محیط اطراف آن بستگی دارد. ایزوترم‌های جذب و دفع رطوبتی ارتباط بین مقدار رطوبت تعادلی و فعالیت آبی را در دما و فشار ثابت توصیف نموده و در پیش بینی پایداری شیمیایی، آنزیمی و میکروبی، مدل‌سازی فرآیند

هیدروکسید سدیم و کربنات پتاسیم بر تعدادی از میوه‌های دیگر توسط برخی از محققین گزارش شده است (دویماز ۲۰۰۴ و تارهان و همکاران ۲۰۰۶ و کینگسلی ۲۰۰۷).

گرمای ایزوستریک خالص جذبی و دفعی هم می‌تواند برای تخمین انرژی مورد نیاز خشک‌کردن مورد استفاده قرار گیرد و اطلاعات مهمی در مورد حالت آب در فرآورده غذایی ارائه کند (چانگ و پفست ۱۹۶۷ و وانگ و برنان ۱۹۹۱ و کایماک- ارتکین و جدیک ۲۰۰۴). بطور قراردادی وقتی طی فرآیند جذب و دفع گرما آزاد شود، گرمای ایزوستریک خالص یک کمیت منفی و وقتی گرما جذب شود، یک کمیت مثبت خواهد بود (تسامی و همکاران ۱۹۹۰). جذب یک فرآیند گرمازا و دفع گرماگیر است (کایماک- ارتکین و سلطان اوگلی ۲۰۰۱).

با در نظر گرفتن ضرورت آماده‌سازی انگور در خشک‌کردن و با توجه به اهمیت رطوبت تعادلی در اغلب فرآیندها و نگهداری محصول، هدف مطالعه حاضر تعیین اثر آماده‌سازی‌های مختلف روی ایزوترم جذبی و دفعی انگور سفید بیدانه در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C است ضمن آنکه مناسب‌ترین مدل ریاضی برای پیش‌بینی رفتار دفعی آنها به عنوان تابعی از دما و نوع پیش‌عمل آوری تعیین و با استفاده از داده‌های آزمایشی، گرمای ایزوستریک خالص دفعی محاسبه می‌شود.

مواد و روش‌ها

مواد

آزمایش‌ها بر روی انگور سفید بیدانه آماده‌سازی نشده و آماده‌سازی شده با اتیل اولئات و آب داغ انجام یافت. انگورها از منطقه ارومیه تهیه شدند. رطوبت انگورها حدود ۷۴٪ بود. در این مطالعه از هفت محلول نمکی اشباع برای تامین رطوبت‌های نسبی مورد نیاز استفاده گردید که عبارتند از: کلرید لیتیم، استات پتاسیم، کلرید منیزیم، کربنات پتاسیم، نترات منیزیم، کلرید سدیم و

که تعدادی از این مدل‌ها بر اساس تئوری مکانیسم جذب و دفعی استوارند و بقیه تجربی و نیمه تجربی هستند. ایزوترم‌های جذب و دفع رطوبتی می‌توانند با بیش از یک مدل جذب و دفع توضیح داده شوند. معیار ارزیابی مناسب‌ترین مدل جذب و دفع، میزان انطباق معادله با داده‌های آزمایشی و سادگی مدل است. در بین مدل‌های دو پارامتری، مدل هالسی و اسوین (بکوات و همکاران ۱۹۷۸) و در بین مدل‌های سه پارامتری مدل گب برای توصیف منحنی‌های ایزوترمی اکثر مواد غذایی در گستره وسیع فعالیت آبی تطبیق پذیری بالایی دارد (بیزت ۱۹۸۳). از آنجایی که اکثر مدل‌های موجود فقط برای دامنه محدودی از فعالیت آبی یا مواد غذایی ویژه، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهند، محدودیت‌هایی برای کاربردشان وجود دارد. در بین مدل‌های موجود مناسب‌ترین مدل‌ها برای موادی با محتوای قند بالا مانند انگور، مدل‌های بت، گب، هندرسون و هالسی معرفی شده‌اند (آیرانچی و همکاران ۱۹۹۰ و تسامی و همکاران ۱۹۹۰ و وانگ و همکاران ۱۹۹۱ و کیرانودیس و همکاران ۱۹۹۳ و کایماک- ارتکین و جدیک ۲۰۰۴).

پیش‌عمل آوری (آماده‌سازی) میوه‌ها از جمله انگور قبل از خشک‌کردن توسط محلول‌های شیمیایی مثل اتیل اولئات، امولسیون‌های استری اتیل یا متیل، محلول قلیایی هیدروکسید سدیم و کربنات پتاسیم، آب داغ و ... می‌تواند بواسطه تغییراتی که در پوست حبه به وجود می‌آورد، باعث تغییر در سرعت خشک‌کردن آنها شود (اسمعیلی و همکاران ۲۰۰۷). این مواد با حل کردن لایه مومی سطح پوست انگور منافذی در آن به وجود آورده و باعث تسهیل تبادل رطوبتی بین میوه و محیط می‌شوند و ممکن است باعث تغییر در مقدار رطوبت تعادلی این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های آماده‌سازی نشده شوند (وازکواز و همکاران ۱۹۹۷، پهلوان زاده و همکاران ۲۰۰۱، دویماز ۲۰۰۶، اسمعیلی و همکاران ۲۰۰۷، سراتوسا و همکاران ۲۰۰۸). تاثیر محلول‌های پیش‌عمل آوری مانند امولسیون‌های استری متیل و اتیل یا محلول‌های قلیایی

تهیه محلول‌های اشباع نمکی

برای ایجاد رطوبت نسبی ثابت در دامنه فعالیت آبی ۰/۰۹-۰/۸۵ از هفت محلول نمکی کلرید لیتیم، استات پتاسیم، کلرید منیزیم، کربنات پتاسیم، نیترات منیزیم، کلرید سدیم و کلرید پتاسیم در حالت اشباع استفاده شد. برای اطمینان از درجه اشباعیت، محلول‌ها در دمای 80°C تهیه شدند. حدود ۲۵۰ میلی لیتر از هر محلول در ظروف شیشه ای دارای درب غیر قابل نفوذ به هوا ریخته شد. معادلات رگرسیونی این محلول‌های نمکی برای تعیین فعالیت آبی در دماهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل و مدل‌سازی ویژگی‌های ایزوترمی بعنوان تابعی از دما و مقدار رطوبت محصول

با در دست داشتن فعالیت آبی و رطوبت تعادلی مربوط به هر نمونه در هر دمایی، منحنی‌های ایزوترمی در دمای معلوم بدست آمدند. به منظور ارائه مدل مناسب برای توصیف رفتار تعادلی کشمش، از بین مدل‌های ریاضی مختلف موجود در منابع، مدل‌های بت (معادله ۱)، گب (معادله ۲) و هالسی (معادله ۳) که برای کشمش مناسب گزارش شده‌اند (اسمعیلی و همکاران، ۲۰۰۷)، انتخاب گردیدند و معادلات مربوطه با استفاده از روش رگرسیون غیر خطی و بر اساس R^2 (ضریب تبیین (معادله ۴))، $P\%$ (میانگین درصد انحراف نسبی (معادله ۵))، $RMS\%$ (درصد ریشه میانگین مربعات (معادله ۶)) تست شدند و مناسب‌ترین مدل برای توصیف رفتار ایزوترمی نمونه‌ها با $P\%$ کمتر از ۱۰ (ایرانچی و همکاران ۱۹۹۰ و کایماک-ارتکین و گدیک ۲۰۰۴) و کمترین $RMS\%$ و بالاترین R^2 مشخص گردید.

در این معادلات M_e محتوای رطوبت تعادلی، M_0 محتوای رطوبت تک لایه، c و k ثابت معادلات، n تعداد داده‌های آزمایشی و M_{exp} و M_{cal} به ترتیب محتوای رطوبتی داده‌های آزمایشی و پیش بینی‌شده توسط مدل‌های ریاضی می باشند.

کلرید پتاسیم. از آن تحت خلا هم برای اندازه گیری مقدار رطوبت نمونه‌ها استفاده شد.

روش‌ها

متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری رطوبت تعادلی، روش‌های وزن‌سنجی، رطوبت‌سنجی و فشارسنجی می-باشند که در بین روش‌های نام برده، روش وزن‌سنجی علی‌رغم زمان‌بر بودن، به دلیل سادگی، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و دقت بالا کاربرد گسترده‌تری دارد. در این مطالعه از روش وزن‌سنجی ایستا مطابق با دستورالعمل COST90 استفاده گردید (ولف و همکاران ۱۹۸۵).

آماده سازی نمونه

حبه‌های انگور پس از جدا کردن دم از نزدیک‌ترین نقطه به محل اتصالشان، به سه گروه تقسیم شدند: نمونه‌های آماده‌سازی نشده (شاهد)، نمونه‌های آماده‌سازی شده با آب داغ 95°C به مدت ۱۵ ثانیه و نمونه‌های آماده‌سازی شده با محلول قلیایی اتیل اولئات (۲٪ اتیل اولئات + ۵٪ کربنات پتاسیم) ضمن هم‌زدن به مدت یک دقیقه.

تعیین ویژگی‌های ایزوترمی محصول

برای بررسی اثر روش آماده‌سازی روی ویژگی‌های ایزوترمی جذب و دفع نمونه‌های انگور، آزمایشات در ۴ دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و 70°C انجام گرفت. برای این کار نمونه‌های آماده‌سازی نشده و آماده‌سازی شده پس از توزین در پلیت گذاشته شدند. سپس پلیت‌ها به ظروف شیشه‌ای دارای درب غیرقابل نفوذ به هوا که حاوی محلول‌های نمکی اشباع بودند، منتقل شدند. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای بر روی یک سه پایه شیشه‌ای قرار گرفتند. پس از بستن درب ظروف، در داخل آن در دمای معین قرار داده شدند. توزین نمونه‌ها با توجه به رطوبت نسبی نمک‌های اشباع و دما بعد از دو الی سه هفته آغاز شد. زمانی که اختلاف وزن دو توزین متوالی کمتر از دقت ترازو شد، آزمایش خاتمه یافت.

نتایج و بحث

بررسی اثر پیش‌عمل‌آوری‌های مختلف بر روی منحنی‌های دفعی انگور

اشکال ۱ و ۲ اثر پیش‌عمل‌آوری را بر روی مقدار رطوبت تعادلی انگور بیدانه سفید در دماهای ۵۰ و ۶۰°C نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌شود محتوای رطوبتی نمونه‌های پیش‌عمل‌آوری شده با آب داغ در مقایسه با نمونه‌های شاهد و تیمار شده با اتیل اولئات بیشتر است. به نظر می‌رسد در پیش‌عمل‌آوری با آب داغ دلیل ایجاد ترک‌های نازک پوستی، رطوبت میوه در رطوبت‌های نسبی محیط سریع حرکت نموده و مواد محلول و معدنی همراه آب مسیر خروج آب را می‌بندند. در نتیجه مقدار رطوبت باقی مانده در شرایط تعادلی در مقایسه با سایر نمونه‌ها می‌تواند درصد بالایی داشته باشد. اتیل اولئات با حل کردن لایه مومی پوشش دانه باعث افزایش میزان تبخیر آب و کاهش مقدار رطوبت تعادلی می‌شود (ساراواکوس و همکاران ۱۹۸۸). در فعالیت آبی حدود ۰/۴۵ رطوبت تعادلی هر سه نمونه یکسان بود. لذا میتوان دریافت که در رطوبت نسبی حدود ۴۵ درصد، برای خشک‌کردن و تعیین نسبت متوسط رطوبت، امکان استفاده از داده‌های ایزوترم دفعی انگور یا مقدار رطوبت تعادلی آن بدون در نظر گرفتن روش پیش‌عمل‌آوری امکان پذیر است. از آنجایی که فرآیند خشک‌کردن در دمای ۴۰ تا ۵۰°C و رطوبت‌های نسبی کمتر از ۳۰ درصد انجام می‌گیرد، بر اساس نتایج حاصله و ارایه شده در شکل ۱ لازم است در محاسبات و مدل‌سازی فرآیند، مقادیر رطوبت تعادلی با توجه به نوع پیش‌عمل‌آوری اندازه‌گیری شود.

$$M_e = \frac{M_0 C a_w}{[(1 - a_w)(1 - a_w + C a_w)]} \quad (۱)$$

$$M_e = \frac{M_0 C K a_w}{[(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)]} \quad (۲)$$

$$M_e = \left[\frac{-K}{\log a_w} \right]^{\frac{1}{C}} \quad (۳)$$

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|M_{\text{expi}} - M_{\text{cali}}|}{M_{\text{expi}}} \quad (۴)$$

$$RMS \% = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(M_{\text{expi}} - M_{\text{cali}}) / M_{\text{expi}}]^2}{n}} \quad (۵)$$

گرمای ایزوستریک

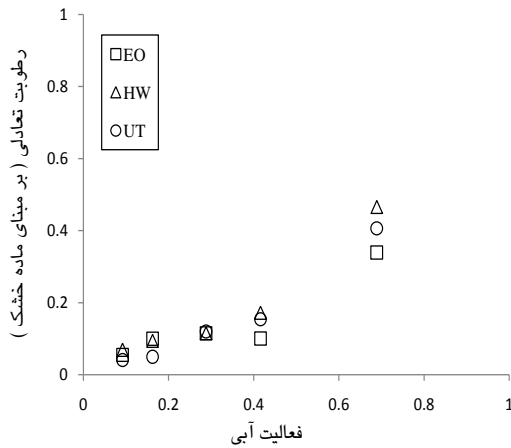
گرمای ایزوستریک خالص جذبی و دفعی بصورت مقدار انرژی لازم برای جداسازی آب از ماده غذایی مازاد بر میزان انرژی لازم برای تبخیر آب آزاد تعریف می‌شود. رابطه ترمودینامیکی کلایوس-کلاپیرن (معادله ۶) ارتباط بین فعالیت آبی، گرمای ایزوستریک خالص و دما را نشان می‌دهد. گرمای ایزوستریک خالص از رسم $\ln a_w$ بر حسب $1/T$ در رطوبت‌های مختلف در یک دامنه دمایی تعیین می‌شود (کایماک-ارتکین و گدیک ۲۰۰۴). در این معادله، R ثابت جهانی گازها و T دمای مطلق می‌باشد.

$$q_{st} = -R \frac{\partial(\ln a_w)}{\partial\left(\frac{1}{T}\right)} \quad (۶)$$

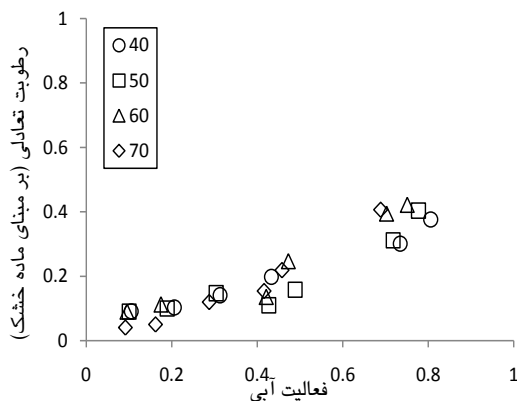
جدول ۱- معادلات رگرسیون فعالیت آبی محلول‌های نمکی در دماهای مختلف (لابوزا و همکاران ۱۹۸۵)

نمک	معادله رگرسیون
کلرید لیتیم	$\ln a_w = 500.95 / T - 3.85$
استات پتاسیم	$\ln a_w = 861.39 / T - 4.33$
کلرید منیزیم	$\ln a_w = 303.35 / T - 2.13$
کربنات پتاسیم	$\ln a_w = 145.00 / T - 1.30$
نیتрат منیزیم	$\ln a_w = 356.60 / T - 1.82$
کلرید سدیم	$\ln a_w = 228.92 / T - 1.04$
کلرید پتاسیم	$\ln a_w = 367.58 / T - 1.39$

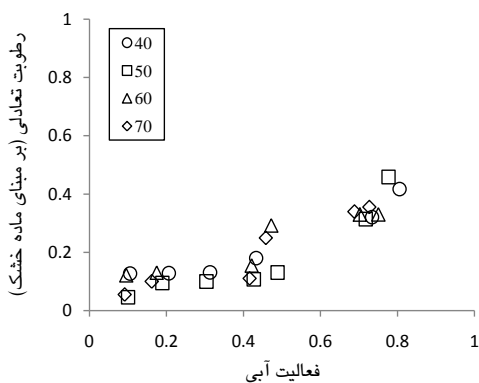
و همکاران (۱۹۹۰) در مورد انگور سلطانی همخوانی دارد.



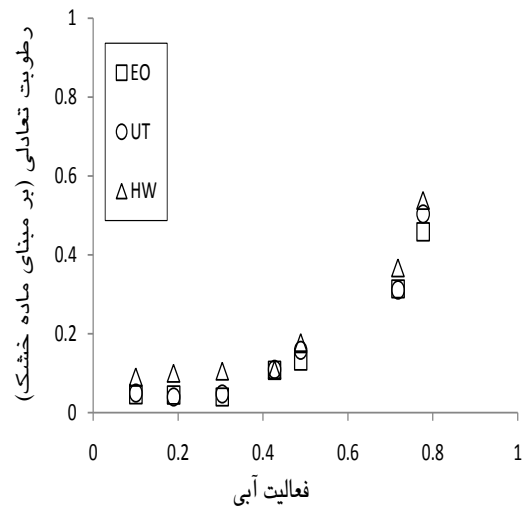
شکل ۲- تأثیر پیش عمل آوری آب داغ (HW)، اتیل اولئات (EO) و نمونه شاهد (UT) در مقدار رطوبت تعادلی انگور در دمای 60°C



شکل ۳- تأثیر دما در ایزوترم دفعی انگور آماده سازی نشده



شکل ۴- تأثیر دما در رطوبت تعادلی انگور آماده سازی شده با اتیل اولئات



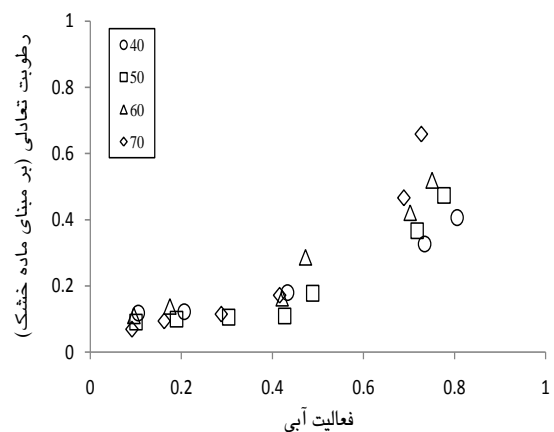
شکل ۱- تأثیر پیش عمل آوری آب داغ (HW)، اتیل اولئات (EO) و نمونه شاهد (UT) در مقدار رطوبت تعادلی انگور در دمای 50°C

بررسی اثر دما بر روی منحنی های دفعی انگور

علی رغم نتایج وازکواز و همکاران (۱۹۹۹) که پدیده وارونگی در منحنی های ایزوترمی انگور ماسکاتل در دمای 50°C - 25°C مشاهده نشده بود، این پدیده در انگور پیش عمل آوری نشده و پیش عمل آوری شده با اتیل اولئات و آب داغ در حدود فعالیت آبی $0/45$ مشاهده شد (اشکال ۳، ۴ و ۵). علت پدیده وارونگی به حضور قندها نسبت داده شده است. بطوریکه در فعالیت های آبی پایین قندها به شکل کریستالی اند و جذب آب فقط در نقاط هیدروکسیلی آنها اتفاق می افتد ولی در فعالیت های آبی بالا قندها به شکل آمورف تبدیل می شوند که قابلیت جذب رطوبت بیشتر با افزایش دما را دارند که این مساله منجر به پدیده وارونگی می شود (سارواکوس و همکاران ۱۹۸۶). بطوریکه تا فعالیت آبی $0/45$ در نتیجه اثر معکوس دمایی (یعنی رابطه عکس بین دما و محتوای رطوبتی)، رطوبت تعادلی نمونه ها در دمای 40°C بیشترین و در دمای 70°C کمترین بود. بعد از این محدوده فعالیت آبی، اثر معکوس دمایی حذف و پدیده وارونگی مشاهده گردید. این مشاهده با نتیجه بدست آمده توسط سارواکوس و همکاران (۱۹۸۶) و آیرانچی

جدول ۳- نتایج آنالیز آماره‌های مورد استفاده برای برازش

مدل‌های مورد آزمون			R ²	RMS%	P%
پیش عمل	مدل	آوری			
دما					
۴۰	UT	BET	۰/۹۷۸	۲۲/۴۶۷	۱۰/۷۲۰
۴۰	UT	GAB	۰/۹۹۰	۱۹/۳۲۰	۷/۶۶۸
۴۰	UT	Halsey	۰/۹۹۶	۵/۸۸۰	۰/۸۷۲
۴۰	EO	BET	۰/۹۸۷	۳۰/۴۰۱	۵/۲۶۲
۴۰	EO	GAB	۰/۹۸۲	۳۰/۷۳۸	۳/۸۰۲
۴۰	EO	Halsey	۰/۹۸۱	۳۱/۱۴۹	۴/۹۳۱
۴۰	HW	BET	۰/۹۶۲	۲۷/۰۷۹	۷/۳۳۳
۴۰	HW	GAB	۰/۹۵۶	۲۹/۵۰۶	۱۷/۵۳۵
۴۰	HW	Halsey	۰/۹۹۴	۷/۸۷۵	۱/۳۳۵
۵۰	UT	BET	۰/۹۵۱	۳۴/۹۱۰	۶/۹۵۸
۵۰	UT	GAB	۰/۹۶۷	۳۸/۳۲۳	۱/۳۸۴
۵۰	UT	Halsey	۰/۹۶۴	۳۳/۵۲۸	۱/۱۷۴
۵۰	EO	BET	۰/۹۸۸	۳۳/۰۳۴	۷/۰۲۷
۵۰	EO	GAB	۰/۹۹۱	۳۳/۲۲۹	۲/۶۰۵
۵۰	EO	Halsey	۰/۹۹۳	۲۷/۹۴۲	۱/۰۷۸
۵۰	HW	BET	۰/۹۴۸	۳۳/۳۹۴	۱۱/۲۰۱
۵۰	HW	GAB	۰/۹۵۲	۳۱/۹۵۲	۹/۶۶۹
۵۰	HW	Halsey	۰/۹۷۸	۲۰/۸۸۴	۲/۶۴۱
۶۰	UT	BET	۰/۹۱۱	۳۵/۶۸۱	۱۱/۴۳۶
۶۰	UT	GAB	۰/۹۲۸	۳۳/۵۱۲	۹/۸۸۱
۶۰	UT	Halsey	۰/۹۵۶	۲۱/۳۷۸	۰/۳۷۳
۶۰	EO	BET	۰/۷۸۳	۳۶/۲۴۸	۱۰/۳۷۸
۶۰	EO	GAB	۰/۷۸۲	۳۶/۳۸۴	۹/۹۴۴
۶۰	EO	Halsey	۰/۹۰۳	۲۰/۳۱۶	۲/۴۴۰
۶۰	HW	BET	۰/۹۰۶	۳۱/۷۴۹	۹/۸۲۹
۶۰	HW	GAB	۰/۹۲۲	۳۰/۹۹۳	۱۱/۰۳۵
۶۰	HW	Halsey	۰/۹۶۲	۱۵/۷۷۳	۰/۷۱۰
۷۰	UT	BET	۰/۹۸۹	۱۳/۳۱۱	۰/۳۷۶
۷۰	UT	GAB	۰/۹۸۹	۱۳/۴۵۴	۱/۲۵۶
۷۰	UT	Halsey	۰/۹۷۷	۲۵/۳۶۸	۱۱/۵۲۴
۷۰	EO	BET	۰/۸۸۶	۳۵/۶۳۳	۱/۴۴۶
۷۰	EO	GAB	۰/۸۸۶	۳۵/۵۴۴	۱/۸۹۲
۷۰	EO	Halsey	۰/۸۹۳	۳۰/۳۳۰	۸/۹۳۸
۷۰	HW	BET	۰/۹۷۳	۲۹/۵۸۷	۱۴/۹۷۵
۷۰	HW	GAB	۰/۹۹۳	۲۲/۰۹۹	۹/۶۳۵
۷۰	HW	Halsey	۰/۹۸۵	۱۵/۱۷۸	۷/۱۰۰



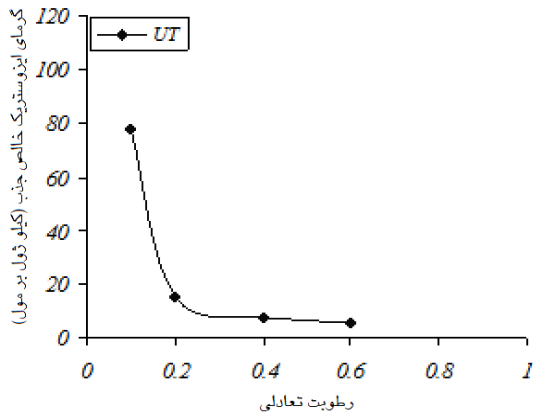
شکل ۵- تاثیر دما روی منحنی‌های ایزوترم دفعی انگور آماده‌سازی شده با آب داغ

برازش داده‌ها

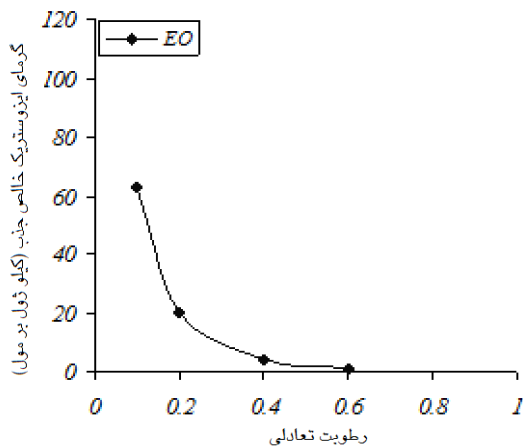
با توجه به نتایج حاصله (جدول ۳)، بهترین مدل جهت توصیف رفتار ایزوترم دفع رطوبتی انگورهای آماده‌سازی نشده و آماده‌سازی شده در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C، مدل هالسی و مدل گب با شاخص $P\%$ کمتر از ۱۰ و $RMS\%$ پایین می‌باشند که برای ۹۱/۶٪ داده‌های آزمایشی پیش‌بینی رضایت بخشی از مقدار رطوبت تعادلی در گسترده وسیع فعالیت آبی دارند. بطوریکه مدل هالسی برای تمام نمونه‌ها به غیر از نمونه‌های آماده‌سازی نشده در دمای ۷۰°C و مدل گب هم برای تمام نمونه‌ها به جز نمونه‌های آماده‌سازی شده با آب داغ در دمای ۶۰°C مدل مناسبی می‌باشند.

مدل بت هم با ۵۸/۳٪ داده‌های آزمایشی تناسب خوبی داشت. کایماک-ارتکین و گدیک (۲۰۰۴) نیز مشابه با نتایج حاصله در تعیین مناسب‌ترین مدل ریاضی برای همدمای دفعی انگور، مدل های هالسی و گب را بعنوان مناسب‌ترین مدل در گسترده وسیع a_w (۰/۹-۰/۱) معرفی کردند. گاباس و همکاران (۱۹۹۹) منحنی‌های همدمای جذبی و دفعی را برای انگور رقم ایتالیا در دماهای ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۷۵°C تعیین نمودند و مدل گب را بعنوان بهترین مدل برای توصیف رفتار ایزوترمی داده‌های آزمایشی انگور معرفی کردند. نتایج مشابهی نیز توسط کیرانودیس و همکاران (۱۹۹۳) بدست آمد.

قرمز با افزایش مقدار رطوبت را گزارش کردند که علت آن نزدیک شدن خصوصیات آب موجود در مواد غذایی به آب آزاد می باشد.



شکل ۶- مقادیر انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی مختلف انگور آماده سازی نشده (UT)



شکل ۷- مقادیر انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی مختلف انگور آماده سازی شده با اتیل اولئات (EO)

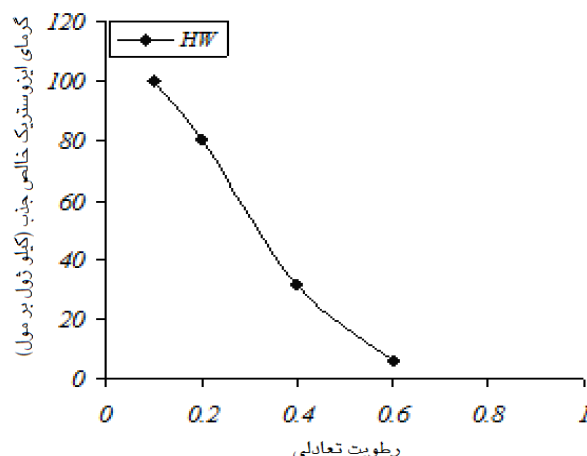
انحراف معیار (SE) حاصل از برازش مدل های بت ، گب و هالسی با داده های آزمایشی انگور بیدانه سفید در محدوده $0.1 < SE < 0.4$ به دست آمد.

تعیین گرمای ایزوستریک خالص

منحنی مقدار گرمای ایزوستریک خالص در مقابل مقدار رطوبت تعادلی در شکل های ۶، ۷ و ۸ ترسیم شده است. نتایج حاصل از تعیین گرمای ایزوستریک خالص نشان می دهد که وقتی رطوبت انگور افزایش می یابد، گرمای ایزوستریک کاهش می یابد که می تواند باعث نزدیک شدن خصوصیات آب موجود در مواد غذایی به آب آزاد باشد. در رطوبت های پایین به علت قوی شدن پیوند بین مولکول های آب با انگور، مقدار گرمای ایزوستریک افزایش می یابد.

با مقایسه اشکال ۶، ۷ و ۸ معلوم می شود که پیش عمل آوری انگور با اتیل اولئات در تمام گستره رطوبتی آن موجب کاهش مقدار انرژی پیوندی برای دفع آب میوه می شود. سرعت بالای خشک شدن انگور پیش عمل آوری شده با اتیل اولئات (اسمعیلی و همکاران ۲۰۰۷b) در طول مرحله خشک کردن، تغییرات مقدار انرژی پیوندی در این شرایط را تأیید می کند. کایماک-ارتکین و گدیک (۲۰۰۴) گرمای ایزوستریک خالص را برای انگور و زردآلو در مقادیر رطوبت مختلف به دست آوردند. بطوریکه q_{st} در مقادیر رطوبت بالاتر از ۳۵٪ (بر مبنای ماده خشک) منفی بود و کاهش یکنواخت q_{st} با افزایش مقدار رطوبت وجود داشت ولی در مورد سیب q_{st} منفی نبود که با مشابه نتایج به دست آمده در این تحقیق می باشد. آیرانچی و همکاران (۱۹۹۰) نیز در تعیین گرمای ایزوستریک کشمش و انجیر خشک شده گزارش کردند که q_{st} در مقادیر رطوبت پایین (کمتر از ۱۵٪) زیاد است. سپس ناگهان کاهش می یابد و در بالای رطوبت حدود ۲۵٪ به یک حد ثابت می رسد که با نتایج ساراواکوس و همکاران (۱۹۸۶) در مورد کشمش سلطانی و رمان و همکاران (۲۰۰۴) در مورد سیب مشابه است. پر شکوهی و مینایی (۱۳۸۴) نیز کاهش گرمای ایزوستریک کشمش بیدانه

اطلاعات چندانی در منابع علمی در دسترس نیست. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت تعادلی علاوه بر دما و رطوبت نسبی به روش پیش عمل آوری نیز بستگی دارد. اگرچه در مواردی از یک قاعده خاص تبعیت نمی‌کند. در شرایط یکسان، رطوبت تعادلی نمونه‌های انگور تیمار شده با آب داغ بیشتر از رطوبت تعادلی نمونه‌های آماده‌سازی نشده (شاهد) و پیش‌عمل‌آوری شده با امولسیون قلیایی اتیل اولئات است. در مدل‌سازی همدمای رطوبتی، معادله هالسی و گب در اغلب نمونه‌های انگور بهترین انطباق را با داده‌های آزمایشی نشان دادند. گرمای ایزوستریک خالص جذب با افزایش میزان رطوبت تعادلی کاهش یافته و مقدار آن در نمونه‌های اتیل اولئات در مقایسه با شاهد کمتر بود.



شکل ۸- مقادیر انرژی پیوندی در محتوای رطوبتی مختلف انگور آماده‌سازی شده با آب داغ (HW)

نتیجه گیری کلی

دلیل اهمیت همدمای رطوبتی در محاسبات فرآیند خشک کردن، مطالعه این ویژگی تحت تأثیر پیش‌عمل‌آوری (آماده سازی میوه قبل از فرآیند خشک کردن) ضروری است. اینکه آیا آماده‌سازی میوه می‌تواند در ویژگی‌های همدمای دفع رطوبتی اثر بگذارد یا نه،

منابع مورد استفاده

- غلامی پرشکوهی م و مینایی س، ۱۳۸۴. تعیین منحنی های همدمای جذب رطوبت کشمش بیدانه قرمز و برازش مدل‌های مختلف برای آن. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، جلد دوم، شماره ۲. صفحه های ۸۳ تا ۱۱۲.
- Ayranci E, Ayranci G and Dogantan Z, 1990. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at 20 and 36°C. *J Food Science* 55 (6): 1591-1593.
- Bizot H, 1983. Using the GAB model to construct sorption isotherms. Pp. 43-54. In: Jowitt R, Escher F, Hallstrom B, Mefert HF, Spiess WEL and Vos G. (eds). *Physical properties of water*. Applied Science Publishers, London.
- Boquet R, Chirife J and Iglesias HA, 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. III. Evaluation of various three parameter models. *J Food Technology* 14: 527-534.
- Chung D and Pfof H, 1967. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. Part I: Heat and free energy changes of adsorption and desorption. *Transaction of the ASAE* 10: 549-555.
- Doymaz I, 2004. Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots. *J Biosystems Engineering* 89: 281-287.
- Doymaz I, 2006. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *J Food Engineering* 76: 212-217.
- Esmaili M, Sotudeh-Gharebagh R, Cronin K, Mousavi M. A and Rezazadeh Gh, 2007. Grape drying: A review. *J Food Reviews International* 23: 257-280.
- Esmaili M, Rezazadeh Gh, Sotudeh-Gharebagh R and Tahmasebi A, 2007b. Modeling of the Seedless Grape Drying Process using the Generalized Differential Quadrature Method. *J Chemical Engineering and Technology* 30: 168-174.

- Gabas AL, Telis-Romero J and Menegalli FC, 1999. Thermodynamic models for water sorption by grape skin and pulp. *Journal of Drying Technology* 1745: 961-974.
- Kaymak-Ertekin F and Sultanoglu M, 2001. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. *Journal of Food Engineering* 47: 225-231.
- Kaymak-Ertekin F and Gedik A, 2004. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *Lebensm-Wiss-Technology* 37: 429-438.
- Kingsly RP, Goyal RK, Manikantan MR and Ilyas SM, 2007. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International J Food Science and Technology* 42: 65-69.
- Kiranoudis Ct, Maroulis ZB, Tsami E and Marinou-Kouris D, 1993. Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables. *Journal of Food Engineering* 20: 55-74.
- Labuza TP, Kaanane A and Chen Y, 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *Journal of Food Science* 50: 385-391.
- Lewicki PP, 2004. Water as the determinant of food engineering properties. *J Food Engineering* 61: 438-495.
- Pahlavanzadeh H, Basiri A and Zarrabi M, 2001. Determination of parameters and pretreatment solution or grape drying. *Journal of Drying Technology* 19: 217-226.
- Roman AD, Herman-y-Lara E, Salgado-Cervantes MA and Garcia-Alvarado MA, 2004. Food sorption isotherms prediction using the Ross equation. *Journal of Drying Technology* 22: 1829-1843.
- Saravacos GD, Tsiourvas DA and Tsami E, 1986. Effect of temperature on the water adsorption isotherms of Sultana raisins. *Journal of Food science* 51: 381-387.
- Saravacos G. D, Marousis S. N and Raouzeos G. S, 1988. Effect of ethyl oleate on the rate of air-drying of foods. *Journal of Food Engineering* 7: 263-270.
- Serratos MP, Toledano, AL, Medina, M and Merida J, 2008. Drying of Pedro Ximenez grapes in chamber at controlled temperature and with dipping pretreatments. Changes in the color fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 10739-10746.
- Tarhan S, Ergunes G and Taser OF, 2006. Selection of chemical and thermal pretreatment combination to reduce the dehydration time of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *J Food Process Engineering* 29: 651-663.
- Tsami E, Marinou-Kouris D and Maroulis ZB, 1990. Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. *Journal of Food Science* 55: 1594-1597.
- Vazquez G, Chenlo F, Moreira R and Cruz E, 1997. Grape drying in a pilot plant with a heat pump. *Journal of Drying Technology* 15: 899-920.
- Vazquez G, Chenlo F, Moreira R and Carballo L, 1999. Desorption isotherms of Muscatel and Aledo grapes and the influence of pretreatments on Muscatel isotherms. *Journal of Food Engineering* 39: 409-414.
- Wang N and Brennan JG, 1991. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. *Journal of Food Engineering* 14: 269-282.
- Wolf W, Spiess WEL and Jung G, 1985. Standardization of isotherm measurements. Pp. 661-679. In: Simatos D and Multon J.L (eds). *Properties of water in foods*. Martinus Nijhoff, the Netherlands.

Effect of grape pretreatment on moisture isotherms

F Mohtarami¹ and M Esmaili^{2*}

Received: April 23, 2013

Accepted: November 11, 2013

¹PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

²Associate professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

*Corresponding author: E-mail: m.esmaili@urmia.ac.ir

Abstract

Moisture sorption isotherms are useful in predicting shelf-life stability and in calculating the variations of moisture content during drying, storage and packaging. In this study, the moisture sorption isotherms for pretreated seedless grape were determined using a static-gravimetric method at 40, 50, 60 and 70 °C, and the effect of pretreatment solutions on the isotherms was investigated. In order to describe the sorption moisture isotherms, the BET, GAB and Halsey equations were tested to fit the experimental data by using non-linear regression analysis method. According to the modeling results, the GAB and Halsey equations gave the best fit for the samples. The net isosteric heat of desorption was calculated according to the obtained isotherms at different moisture content.

Key words: Grape, Isosteric heat, Moisture sorption isotherms, Pretreatment