مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

نقش دمای انتقال شیشه‌ای در کنترل تغییرات رنگ و بافت انجیر خشک

فوژان بدیعی[1*]

۱- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

کلمات کلیدی:

انجیر خشک،

دمای انتقال شیشه‌ای،

انتالپی ذوب،

سفتی بافت،

تغییر رنگ.

DOI: 10.52547/fsct.18.116.221

* مسئول مکاتبات:

f.badii@areeo.ac.ir

چکیده

انجیر تازه میوه‌ای فسادپذیر است که عمر انباری کوتاهی دارد. از اینرو، خشک‌کردن روشی مناسب برای افزایش ماندگاری انجیر است. تغییر رطوبت انجیر خشک در مدت نگهداری می‌تواند تاثیر نامطلوبی بر بافت و رنگ آن بگذارد. هدف از این تحقیق ارزیابی اثر رطوبت بر ویژگی‌های انجیر خشک با استفاده از دمای انتقال شیشه‌ای(T_g) است. T_g، دمای ذوب بخش بلوری (T_m) و انتالپی ذوب (ΔH) انجیر خشک در رطوبت‌های مختلف با دستگاه گرماسنج پویشی تفاضلی (DSC) اندازه‌گیری شد. دمانگاشت DSC نشان داد که انجیر خشک ساختاری نیمه بلوری دارد. با افزایش رطوبت نمونه‌ها، T_g و T_m کاهش یافت و انتالپی ذوب (ΔH)، با افزایش رطوبت افزایش یافت. نتایج نشان داد که آب پلاستی‌سایزری قوی و مهم برای انجیر خشک است و سفتی بافت را به‌طور معنی‌داری کاهش‌داد. اندازه‌گیری تغییر رنگ بافت انجیر خشک در رطوبت‌های مختلف نشان داد که با افزایش رطوبت، بافت انجیر به‌طور معنی‌داری تیره‌شد. برای بررسی تغییر بافت، رنگ و تبلور انجیر خشک در رطوبت‌های مختلف، فاکتور اختلاف دما (ΔT) بین دمای محیط و T_g تعیین شد. با افزایش مقدار ΔT روند کاهش سفتی بافت بیشترشد و مقدار ΔE و میزان تبلور افزایش یافت.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

۱- مقدمه

میوه انجیر در بسیاری از کشورهای دنیا به‌ویژه با آب و هوای نیمه‌گرمسیری تولید می‌شود. طبق آمار سازمان خواربار جهانی (FAO)، تولید انجیر در دنیا در سال ۲۰۱۹ میلادی ۱۳۱۵۵۸۸ تن بوده‌است که در این میان ایران با ۱۸٦۵۵ هکتار سطح زیر کشت، حدود ۱۳۰۳۲۸ تن، تولید سالیانه داشته‌است [۱]. میوه انجیر به‌صورت خشک و یا نیمه‌مرطوب از اقلام صادراتی کشور است و در این میان انجیر منطقه استهبان استان فارس اهمیت ویژه‌ای از نظر صادرات دارد. انجیر میوه‌ای مغذی و سالم با محتوای کربوهیدراتی بالا (۷۰-٦۵ درصد) است و بنابراین به‌عنوان یک منبع انرژی و تأمین فیبر خوراکی محسوب می‌شود [۲]. گرچه خشک‌کردن روشی مناسب برای افزایش ماندگاری انجیر است، تغییراتی ساختاری و فیزیکی در این حالت روی می‌دهد که تاثیر نامطلوبی بر بافت و خواص حسی آن می‌گذارد و از نظر مصرف‌کننده این میوه را نامطلوب می‌سازد. علت عمده پایداری کم و بروز تغییرات نامطلوب ساختاری در انجیر خشک، حضور کربوهیدرات‌ها با وزن مولکولی کم نظیر گلوکز، فروکتوز و ساکارز است. در اثر فرآیند خشک‌کردن بخش عمده‌ای از این قندها به‌شکل آمورف[1] (بی‌شکل) تبدیل می‌شوند. این حالت از نظر ترمودینامیکی ناپایدار است و با تغییر شرایط محیطی و افزایش رطوبت به‌دلیل شرایط بد نگهداری و یا بسته‌بندی نامناسب، قندهای آمورف در طول زمان به شکل پایدار خود یعنی به‌شکل بلور تبدیل می‌شوند. از طرفی با افزایش رطوبت، واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی آنزیمی و غیرآنزیمی تسریع می‌شوند [۳]. این واکنش‌های بیوشیمیایی بر ساختار و ظاهر میوه انجیر تاثیر نامطلوبی گذاشته و باعث کاهش کیفیت آن در مدت نگهداری می‌شوند.

خشک‌کردن از متداول‌ترین روش‌های به‌کار رفته در فرآوری مواد غذایی است که باعث ایجاد حالت شیشه‌ای[2] در مواد غذایی می‌شود. در اثر خروج آب در دمایی موسوم به دمای انتقال شیشه‌ای[3] ماده غذایی از حالت ویسکوز به جامد آمورف تبدیل می‌شود. انتقال شیشه‌ای از نظر ترمودینامیکی، انتقال درجه دوم است که با تغییر ناگهانی در ظرفیت گرمایی و ویسکوزیته شناخته می‌شود [٤]. دمای انتقال شیشه‌ای سیستم‌های غذایی آمورف، از نظر علمی و تجاری بسیار حائز اهمیت است و به‌عنوان دمای مرجع در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری‌که در دماهای پایین‌تر از T_g سرعت واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی بسیار کند شده و ماندگاری ماده غذایی بیشتر می‌شود ولی با قرارگرفتن در دماهایی بالاتر از T_g، سرعت واکنش‌ها به‌دلیل افزایش جنبش مولکولی بیشتر شده و ماندگاری محصول کاهش می‌یابد. بنابراین با تعیین و اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای می‌توان بسیاری از تغییرات ساختاری مواد غذایی را کنترل کرد [٦-۵]. حالت شیشه‌ای به دمای خشک‌شدن و مقدار رطوبت ماده غذایی بسیار وابسته است [۷].

آب مهم‌ترین پلاستی‌سایزر برای سیستم‌های غذایی است و با افزایش آن، دمای انتقال شیشه‌ای مواد غذایی خشک کاهش می‌یابد. با افزایش آب سرعت واکنش‌های نامطلوب بیوشیمیایی نظیر چسبندگی پودرمیوه‌ها، تبلور قندهای آمورف، از هم-پاشیدگی مواد خشک، و تاحدودی واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی میلارد و واکنش‌های آنزیمی تسریع می‌شود. سرعت این واکنش‌ها در شرایط نگهداری کمتر از دمای انتقال شیشه‌ای بسیار کند و ناچیز است ولی با کاهش دمای انتقال شیشه‌ای به‌دلیل جذب رطوبت، سرعت این واکنش‌ها به‌شدت افزایش یافته و پایداری فیزیکی و ساختاری مواد غذایی کاهش می‌یابد [۸-۹].

رنگ و بافت انجیر مهم‌ترین خواص کیفی تاثیرگذار بر قابلیت پذیرش انجیر خشک و نیمه‌مرطوب هستند [۱۰]. قهوه‌ای‌شدن انجیر از جمله تغییرات بیوشیمیایی است که در دماهای بالاتر از T_g رخ می‌دهد. افزایش آب و سایر پلاستی‌سایزرها به انجیر خشک باعث کاهش T_g انجیر و تغییر آن از حالت شیشه‌ای به ویسکوز (لاستیکی) می‌شود. در این شرایط و با افزایش رطوبت انجیر، شدت و میزان تغییر رنگ و قهوه‌ای‌شدگی انجیر افزایش می‌یابد. به‌طورکلی در محصولاتی با رطوبت بینابینی در دمای نگهداری بیش از T_g شدت واکنش قهوه‌ای‌شدگی افزایش می‌یابد [۳]. در تحقیقی کینتیک رنگ و تغییرات بافت انجیر نیمه‌مرطوب به‌صورت تابعی از زمان و دما (۲۵-۹۰°C) بررسی شد و مدل آرنیوس برای توصیف وابستگی ثابت سرعت واکنش تغییرات رنگ و بافت پیشنهاد شد. در طی فرآیند آبگیری سفتی انجیر خشک کاهش یافت و تصویر میکروسکوپی انجیر مرطوب‌شده نشان داد که در حضور آب

1. Amorphous
2. Glassy
3. Glass transition temperature

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

آزاد بافت انجیر بسیار متخلخل است [۱۱]. در مورد برگه خرمالوی خشک‌شده به روش انجمادی نشان داده‌شد که با نگهداری برگه در شرایط شیشه‌ای و پایین‌تر از دماهای بحرانی، تردی محصول حفظ می‌شود و از افت ترکیبات زیست فعال، تغییرات نامطلوب رنگ و بافت محصول جلوگیری می‌شود، زیرا در شرایط شیشه‌ای سرعت واکنش‌های تخریبی بیوشیمیایی و فیزیکی بسیار کند می‌شود [۱۲]. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی و مطالعه انتالپی ذوب قندهای انجیر، میزان تغییر رنگ و کاهش سفتی بافت انجیر خشک در رطوبت‌های مختلف است. در این بررسی از پارامترهایی نظیر دمای انتقال شیشه‌ای و اختلاف دما (ΔT) برای بررسی و توصیف تغییرات انجیر خشک استفاده می‌شود.

۲-مواد و روش‌ها

انجیر خشک رقم سبز از منطقه استهبان فارس تهیه‌شد. نمونه‌های انجیر خشک در محفظه‌های حاوی محلول اشباع نمک‌ها با رطوبت نسبی‌های (RH) مختلف (کلرید لیتیم RH ۱۱٪، استات پتاسیم RH ۲۲٪، کلرید منیزیم RH ۳۳٪، نیترات منیزیم RH ۵۸٪، کلرید مس (I) RH ۶۸٪، کلرید پتاسیم RH ۸۴٪) در دمای ۲۵ °C به تعادل رسیدند [۱۳]. رطوبت اولیه انجیر خشک و نمونه‌های به‌تعادل رسیده در محلول‌های اشباع نمک‌های مختلف به‌روش خشک‌کردن در آون خلأ در دمای ۷۰°C تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد [۱۴].

۲-۱-تعیین ترکیب شیمیایی انجیر خشک

میزان چربی به روش سوکسله با حلال n-هگزان (AOAC, 948.22)، پروتئین به روش کلدال (AOAC, 920.152)، میزان قندکل و قند احیاءکننده به روش فهلینگ (AOAC, 952.13) و میزان فیبر کل به روش هضم اسید-قلیا (AOAC, 992.16) تعیین شد [۱۴].

۲-۲-تعیین خواص حرارتی انجیر خشک با روش گرماسنج پویشی تفاضلی (DSC)

حدود ۳۰ میلی گرم نمونه در ظروف کوچک DSC از جنس فولاد ضد زنگ و با فشار بالا پر و کاملا دربندی شد. دماهای انتقال شیشه‌ای (T_g) و ذوب (T_m) با حرارت دادن نمونه در DSC مدل Perkin Elmer Pyris Diamond اندازه گیری شد. ابتدا DSC از نظردما و انتالپی با ایندیوم ($T_{m,onset}$=156.6ºC, ΔH=28.45J/g) و سیکلوهگزان ($T_{m,onset}$=6.5ºC) کالیبره شد. ظرف کوچک خالی DSC از جنس فولاد ضد زنگ به‌عنوان معرف در نظرگرفته شد. بعد از اولین حرارت‌دهی تا ۱۱۰°C، نمونه بی‌درنگ با سرعتی برابر با سرعت گرم کردن (10°C/min) تا ۳۰°C- سرد شد. سپس، نمونه دوباره حرارت داده شد. T_g با محاسبه نقطه میانی($T_{g\ midpoint}$) تغییر پله‌ای گرمای ویژه نمونه در دور دوم حرارت‌دهی تعیین و گزارش شد. در حالی‌که T_m به‌صورت دمای حداکثر ($T_{m\ peak}$) منحنی گرماگیر در دور اول حرارت‌دهی گزارش شد. پس از هر آنالیز در DSC ظروف حاوی نمونه دوباره وزن و از نظر افت وزن بررسی شدند [۱۵].

۲-۳-اندازه‌گیری سفتی بافت:

سفتی بافت میوه با رطوبت‌های مختلف (نمونه‌ها قبل از آزمایش در رطوبت نسبی‌های اشاره شده در بالا به تعادل رسیدند) با دستگاه بافت‌سنج مدل Hounsefield H5KS ساخت انگلستان و با روش نفوذسنجی اندازه‌گیری شد. میله‌ای به‌قطر ۳/۲ میلی‌متر با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه درون بافت میوه نفوذ کرد. سفتی بافت میوه برحسب نیوتن گزارش شد [۱۰].

۲-٤-اندازه‌گیری رنگ بافت:

برای اندازه‌گیری رنگ بافت انجیر از دستگاه رنگ‌سنج هانترلب مدل DP9000 ساخت آمریکا استفاده شد و شاخص‌های L^*، a^* و b^* سنجش شدند. با استفاده از رابطهٔ ۱ وجود اختلاف رنگی بین نمونه‌های انجیر با رطوبت‌های مختلف در مقایسه با نمونه خشک اولیه تعیین شد:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2} \qquad (۱)$$

که در آن L^*، a^* و b^* مربوط به انجیر با رطوبت‌های مختلف و L^*_0، a^*_0 و b^*_0 مربوط به انجیر خشک است [۳].

۲-۵-روش تجزیه و تحلیل آماری

اثر تغییرات رطوبت بر ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی انجیر خشک در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار بررسی‌شد و تجزیه واریانس یک‌طرفه داده‌های آزمایشی با استفاده نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS به‌دست‌آمد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

چند دامنه‌ای دانکن با حداکثر خطای قابل‌قبول ۵ درصد ($P<0.05$) استفاده شد.

۳-نتایج و بحث

کربوهیدرات‌ها ترکیب اصلی ماده خشک انجیر را تشکیل می‌دهند (جدول ۱).

Table 1 Chemical composition and thermal properties of dried fig. Reported values are the means ± standard deviation of three replicates.

Composition	
Fat (%)	0.15 ± 0.02
Moisture content (%)	6±0.12
Protein (%)	4.5±0.12
Total sugar (%)	80.2±2.08
Fiber (%)	12.1±0.4
T_g (°C)	4.56±0.4
ΔC_p (J/g°C)	0.48±0.01
T_m (°C)	56±0.6
ΔH_m (J/g)	2.7±1.7

با اینکه خشک‌کردن مهم‌ترین و اصلی‌ترین روش نگهداری انجیر محسوب می‌شود ولی حضور قندها با وزن مولکولی پایین در انجیر خشک بر پایداری این میوه در مدت نگهداری اثر می‌گذارد [۳ و ۱۰]. حذف سریع آب از انجیر منجر به تشکیل ساختارهای آمورف می‌شود و در اثر خشک‌کردن، ماده غذایی ابتدا به حالت ویسکوز و لاستیکی و در ادامه به حالت جامد شیشه‌ای تبدیل می‌شود [٤ و ۹].

شکل ۱ دمانگاشت DSC را برای انجیر خشک با رطوبت ٦ درصد نشان می‌دهد. دو رویداد گرماگیر روی دمانگاشت به‌وضوح مشاهده می‌شود. ابتدا تغییر پله‌ای درظرفیت گرمایی نمونه ظاهر شده‌است.

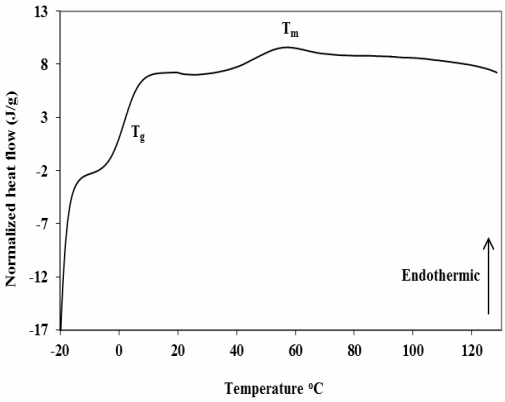

Fig 1 DSC thermogram of dried fig with 6% moisture content.

این تغییر مربوط است به پدیده انتقال شیشه‌ای در نمونه و نشان‌دهنده آن است که بخش آمورف از حالت شیشه‌ای به ویسکوز و لاستیکی تبدیل شده‌است. دمای انتقال شیشه‌ای انجیر خشک در حدود ٤/٥ درجه سلسیوس است. بنابراین باوجود حذف آب، انجیر خشک در دمای اتاق حالت ویسکوز دارد. با ادامه حرارت‌دهی پیک گرماگیر مربوط به ذوب بخش‌های منظم در ساختار انجیر در دمای حدود ٥٦ درجه سلسیوس رویت شد که همراه با تغییر انتالپی حدود ۲/۷ (ژول بر گرم) است (جدول۱).

در شکل ۲ تغییر دمای انتقال شیشه‌ای انجیر در رطوبت‌های مختلف نشان داده شده‌است. مقدار T_g انجیر خشک با افزایش رطوبت، کاهش یافت. از آنجاکه T_g بسیار وابسته به مقدار آب است، موقعیت نسبی پدیده انتقال شیشه‌ای با تغییر میزان آب انجیر جابه‌جا می‌شود. همانطوری‌که انتظار می‌رود با افزایش میزان آب در انجیر دمای انتقال شیشه‌ای کاهش می‌یابد و این نشان می‌دهد که آب نقش پلاستی‌سایزری (نرم‌کنندگی) برای ساختار انجیر دارد، به‌طوری‌که با افزایش رطوبت از ٦ درصد به ١٦ درصد، دمای انتقال شیشه‌ای کاهش معنی‌دار و شدیدی نشان می‌دهد و از °C ٤/٥ به حدود °C ٣٦/٥- می‌رسد.

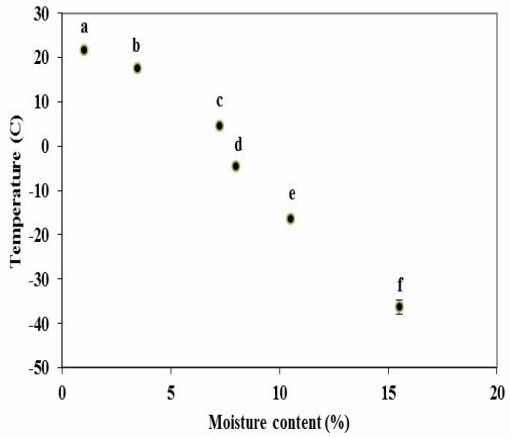

Fig 2 Glass transition temperature of fig at different moisture contents. Different letters represent significant differences in means ($P<0.05$).

آب برای سایر محصولات غذایی نیز اثر پلاستی‌سایزری دارد که عمدتا به‌دلیل تشکیل پیوند هیدروژنی بین آب و اجزاء غذایی و تغییر حجم آزاد ماتریس غذایی است [۱۰ و ١٦]. دمای انتقال شیشه‌ای اساسا وابسته به رطوبت است، اما در سیستم‌های غذایی حاوی ترکیبات مختلف، تغییر ترکیبات و برهم‌کنش آن‌ها نیز بر دمای انتقال شیشه‌ای تاثیر می‌گذارند

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

[۱۶]. بخش عمده ترکیبات انجیر از کربوهیدرات‌ها تشکیل شده‌است (جدول۱). برهم‌کنش این کربوهیدرات‌ها با مولکول‌های آب از طریق پیوند هیدروژنی باعث می‌شود که آب اثر پلاستی‌سایزری داشته باشد و دمای انتقال شیشه‌ای را کاهش دهد.

شکل ۳ اثر آب را بر دمای ذوب بخش‌های منظم انجیر خشک نشان می‌دهد. همانطور که در شکل۳ نشان داده شده‌است با افزایش رطوبت دمای ذوب نیز مانند T_g در انجیر کاهش می‌یابد و افزایش آب علاوه بر کاهش دمای انتقال شیشه‌ای به‌طور معنی‌داری باعث کاهش دمای ذوب نیز می‌شود ولی در مقایسه با T_g اثر کاهنده آن بر T_m بسیار کمتر است، به‌طوری‌که با افزایش رطوبت انجیر از ٦ تا ١٦ درصد دمای انتقال شیشه‌ای حدود ٤١°C کاهش می‌یابد در حالی‌که تغییر دمای ذوب در این دامنه رطوبتی حدود ١٠ °C است. قبلا نیز نتایج مشابهی برای سایر محصولات غذایی و پلیمرهای طبیعی مشاهده شده‌است [١٩-١٧]. اثر پلاستی‌سایزری شدید آب بر انجیر خشک باعث افزایش حجم آزاد و تحرک مولکولی کربوهیدرات‌ها و سایر ترکیبات آبدوست تشکیل‌دهنده انجیر می‌شود و این به‌نوبه خود باعث کاهش شدید T_g و T_m می‌شود.

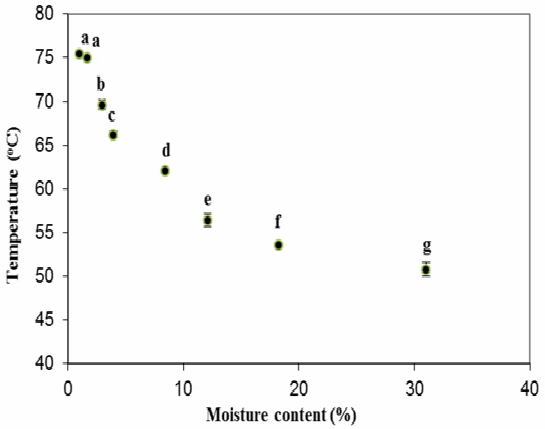

Fig 3 Melting temperature of fig at different moisture content. Different letters represent significant differences in means (P<0.05).

با اندازه‌گیری سطح زیر منحنی گرماگیر ذوب روی دماگاشت DSC (شکل ١) می‌توان تغییرات انتالپی ذوب (ΔH) بخش‌های منظم با ساختار بلوری را در انجیر خشک محاسبه کرد. همانطورکه در شکل ٤ نشان داده شده‌است، مقادیر ΔH نیز تابعی است از میزان رطوبت انجیر خشک و با افزایش رطوبت بیشتر می‌شود. در اثر خشک‌کردن سریع انجیر و تغییر حالت سیستم به شیشه‌ای، قندها با وزن مولکولی کم به حالت آمورف تبدیل می‌شوند. قندها در حالت آمورف از نظر ترمودینامیکی ناپایدارند و همواره تمایل دارند که با جذب رطوبت و افزایش تحرک مولکولی به شکل بلور پایدار تبدیل شوند. باحرارت‌دهی نمونه‌ها در DSC، قندهایی که در اثر جذب رطوبت به شکل بلور تبدیل شده‌اند، در دمای ذوب، تغییر فاز می‌دهند، بنابراین انتالپی ذوب (ΔH) انجیر می‌تواند نشان‌دهنده میزان تبلور قندهای آمورف باشد. تبلور انتقال فاز از نوع اول است که باعث افت کیفیت مواد غذایی خشک و نیمه‌خشک در مدت نگهداری می‌شود. تغییر حالت فیزیکی قندها از آمورف به ساختار بلوری بر بافت میوه خشک اثر نامطلوبی می‌گذارد و باعث تشکیل بافت شنی و ناهمگن می‌شود. در پلیمرها و قندهای با وزن مولکولی پایین که نسبت دمای ذوب به دمای انتقال شیشه‌ای T_m/T_g بزرگی دارند، سرعت تبلور زیاد است. این قندها در دماهایی بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای و پایین‌تر از دمای ذوب (بین T_m و T_g) به ساختار بلوری تبدیل می‌شوند. شکل ٤ نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت و کاهش دمای انتقال شیشه‌ای، مقدار انتالپی ذوب انجیر افزایش می‌یابد زیرا در اثر جذب رطوبت، قندهای آمورف نیروی محرکه لازم برای تشکیل بلور را یافته و به شکل بلورهای پایدار از نظر ترمودینامیکی تبدیل می‌شوند. قبلا نیز نشان داده‌شد که دما و رطوبت محیط، پدیده تبلور مجدد قندهای آمورف در انجیر را طی نگهداری کنترل می‌کنند [١٥].

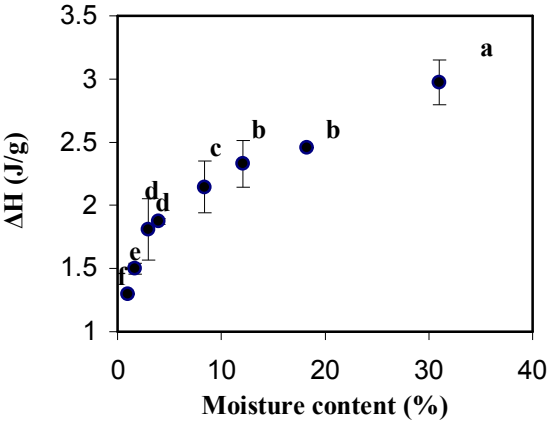

Fig 4 Melting enthalpy (ΔH) of fig at different moisture content. Different letters represent significant differences in means (P<0.05).

آب برای سایر ویژگی‌های انجیر خشک نیز اثر پلاستی‌سایزری دارد. در شکل ٥ اثر آب بر سفتی بافت انجیر خشک نشان داده

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

شده‌است. با افزایش میزان رطوبت انجیر، سفتی بافت میوه نیز کاهش می‌یابد. در رطوبت‌های کم و در دمای محیط، بافت انجیر سخت و شکننده بوده و نیروی بزرگی برای نفوذ در بافت انجیر لازم است. بدین ترتیب با افزایش رطوبت دمای انتقال شیشه‌ای در انجیر کاهش می‌یابد و بافت آن نرمتر و انعطاف‌پذیرتر می‌شود. با افزایش رطوبت انجیر به بیش از ۲۰ درصد نرم‌شدگی بافت انجیر به حداکثر رسیده ولی سرعت کاهش سفتی بافت آهسته‌تر می‌شود.

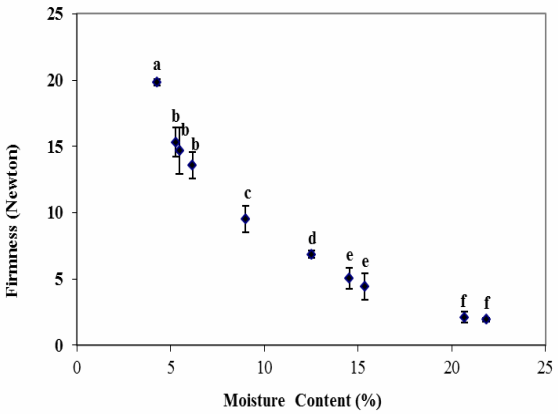

Fig 5 Firmness of fig texture at different moisture contents. Different letters represent significant differences in means (P<0.05).

شکل ٦ تاثیر رطوبت را بر تغییرات رنگ بافت انجیر (ΔE) نشان می‌دهد. با افزایش رطوبت، رنگ نمونه‌ها تیره‌تر شده و تفاوت رنگ آن‌ها با نمونه اولیه خشک بیشتر می‌شود. افزایش رطوبت منجر به کاهش دمای انتقال شیشه‌ای نمونه انجیر می‌شود و سرعت واکنش‌های قهوه‌ای‌شدگی را افزایش داده، پایداری محصول را کاهش می‌دهد. مکانیسم قهوه‌ای‌شدن انجیر به‌دوصورت آنزیمی (اکسایش ترکیبات فنلی) و غیرآنزیمی(مانند واکنش میلارد) است. معمولا تشخیص قهوه‌ای‌شدن آنزیمی و غیرآنزیمی از یکدیگر مشکل است مگر آن‌که آنزیم عامل قهوه‌ای‌شدن غیرفعال شود. واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن میوه‌های خشک و نیمه‌خشک معمولا نظیر سایر واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی در شرایط نگهداری در محدوده بین دو دمای T_g و T_m و در محصول با رطوبت بینابینی رخ می‌دهد و باعث افت خواص حسی به‌دلیل تغییر رنگ، طعم و نرم‌شدگی می‌شود. شکل ٦ نشان می‌دهد که افزایش رطوبت انجیر خشک باعث افزایش میزان قهوه‌ای‌شدگی میوه می‌شود و در محصول با ۱۵ درصد رطوبت به‌حداکثر خود می‌رسد و پس از آن افزایش رطوبت تاثیر معنی‌داری بر آن ندارد. در حقیقت واکنش قهوه‌ای‌شدگی در انجیر در رطوبت‌های بینابینی به‌حداکثر خود می‌رسد در این شرایط باتوجه به شکل ۲ مقدار T_g انجیر به حدود ۳۵°C- می‌رسد.

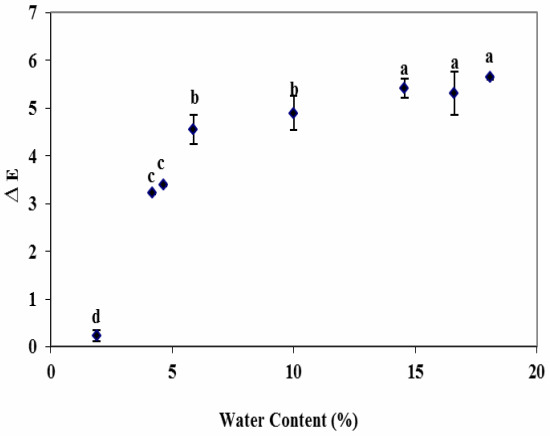

Fig 6 Color differences of fig at different moisture contents. Different letters represent significant differences in means (P<0.05).

فاکتور اختلاف دما ($\Delta T = T-T_g$) که نشان‌دهنده اختلاف بین دمای ماده (T) و T_g است، شاخصی مهم برای توصیف تغییرات کیفی مواد غذایی به‌هنگام فرآوری و نگهداری محسوب می‌شود. سرعت تحرک ماتریس جامد رابطه مستقیم دارد با ΔT. با بزرگ‌شدن مقدار ΔT، سیستم غذایی از حالت شیشه‌ای دورتر می‌شود و در محدوده شرایط ویسکوز (لاستیکی) قرار می‌گیرد و به‌دلیل افزایش تحرک مولکولی سیستم، شدت واکنش‌های بیوشیمیایی افزایش می‌یابد [۲۰]. در شکل ۷ تغییر فاکتور ΔT انجیر خشک در رطوبت‌های مختلف انجیر نشان داده‌شده‌است.

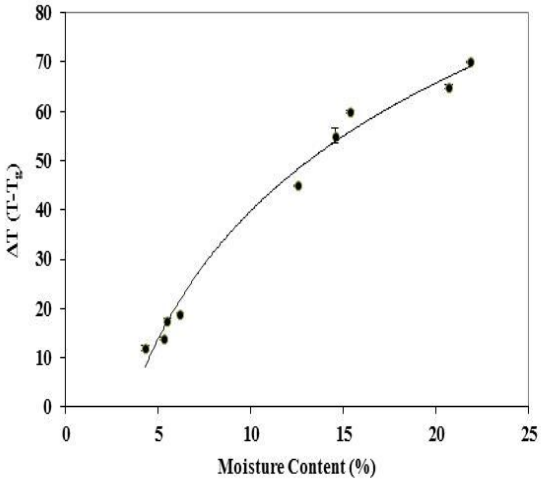

Fig 7 Temperature difference (ΔT) at different moisture contents

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

ΔT با افزایش رطوبت انجیر به‌طور معنی‌داری بیشتر می‌شود ولی در رطوبت‌های کمتراز ۱۲ درصد با سرعت بیشتری نسبت به رطوبت‌های بالاتر تغییر می‌کند. تغییرات ΔH، رنگ و بافت انجیر با مقدار ΔT یا $(T- T_g)$ رابطه مستقیم دارد و بدین‌ترتیب که با کمترشدن اختلاف دما بین دمای انجیر و دمای انتقال شیشه‌ای و به‌عبارتی با نزدیک شدن به T_g شدت این واکنش‌ها کمتر می‌شود [۲۱]. نتایج مشابهی نیز در مورد برگه عناب به‌دست آمده‌است، میزان چروکیدگی و تغییر رنگ (ΔE) برگه عناب به‌طور معنی‌داری با افزایش ΔT بیشتر شد [۲۱].

اختلاف دما $(T-T_g)$ برای توصیف رفتارها و ویژگی‌های مواد در حالت ویسکوز و با استفاده از رابطه سینتیکی ویلیام-لندل-فری (William- Landel-Ferry) به‌کار می‌رود [۲۲]. براساس این فاکتور، افزایش رطوبت یا دما هر دو اثر یکسانی دارند و باعث افزایش تحرک مولکولی و تسریع واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شوند ولی با نزدیک شدن به T_m، از شدت واکنش‌ها کاسته می‌شود تا مرحله‌ای که از نظر ترمودینامیکی ادامه واکنش متوقف می‌شود. از طرفی کاهش زیاد دما و رطوبت باعث می‌شود که ماده غذایی وارد حالت شیشه‌ای و فوق سرد شود و از نظر سینتیکی ادامه واکنش‌ها امکان‌پذیر نباشد. لذا در رطوبت‌های بینابینی شدت و سرعت این واکنشها به‌حداکثر می‌رسد.

٤-نتیجه‌گیری

مطالعه و بررسی تغییرات ساختاری انجیر خشک نظیر تبلور مجدد قندهای آمورف، سفتی و رنگ بافت این میوه نشان‌داد که سرعت و مقدار این تغییرات توسط رطوبت نمونه و در نتیجه دمای انتقال شیشه‌ای کنترل می‌شود. نتایج نشان‌داد که آب پلاستی‌سایزری مهم برای انجیر است و باعث کاهش دمای انتقال شیشه‌ای، افزایش نرمی بافت، افزایش تیرگی و افزایش تحرک مولکولی می‌شود. انجیر خشک همانند اکثر محصولات غذایی در محدوده دمایی بالاتر از T_g و کمتر از دمای ذوب قرار دارد، در این شرایط سرعت و مقدار واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیکی با استفاده از پارامتر اختلاف دما (ΔT) بررسی شد. با افزایش مقدار ΔT روند کاهش سفتی بافت بیشترشد و مقدار ΔE و میزان تبلور افزایش یافت. بنابراین صرفه‌نظر از تغییر T_g (رطوبت نمونه) یا دمای ماده غذایی (T)، با توجه به مقدار این پارامتر سرعت و شدت واکنش‌های بیوشیمیایی نظیر تبلور مجدد قندها، سفتی بافت و رنگ انجیر قابل پیش‌بینی و تعیین است.

٥-سپاسگزاری

از مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی برای حمایت مالی در راستای اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

٦- منابع

[1] FAO Statistical Database, 2019, Available from: http://faostat.fao.org.
[2] Doymaz I, 2005, Sun drying of figs: an experimental study, Journal of Food Engineering, 71, 403-407.
[3] Badii F, Maftoonazad N, Maadani S, Shahamirian M, 2019, Effect of different plasticizers on microscopic structure and browning in Estahban intermediate moisture fig cv. *Sabz*, Journal of Food Research, 29(2), 97-108 (in Farsi).
[4] Slade L, Levine H, 1991, Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety, Critical Review on Food Science and Nutrition, 30 (2-3), 115-360.
[5] Kasapis S, 2005, Glass transition phenomena in dehydrated model systems and foods: A Review, Drying Technology, 23(4), 731-757.
[6] Zhou M, Li C, Bi J, Jin X, Lyu J, Li X, 2019, Towards understanding the enhancement of moisture diffusion during intermediate-infrared drying of peach pomace based on the glass transition theory, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 54, 143-151.
[7] Katekawa M E, Silva M A, 2007, On the influence of glass transition on shrinkage in convective drying of fruits: A case study of banana drying, Drying Technology, 25(10), 1659–1666.
[8] Roos Y H, 2003, Thermal analysis, state transitions and food quality, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 71, 197-203.
[9] Roos Y H, Karel M, 1991, Plasticizing effect of water on thermal behavior and

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

[17] Moraga G, Talens P, Moraga M J, Martinez-Navarrete N, 2011, Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices, Journal of Food Engineering, 106, 212-219.
[18] Harnkarnsujarit N, Charoenrein S, 2011, Effect of water activity on sugar crystallization and β-carotene stability of freeze-dried mango powder, Journal of Food Engineering, 105, 592-598.
[19] Rahman M S, 2006, State diagram of foods: Its potential use in food processing and product stability, Trends in Food Science and Technology, 17(3), 129-141.
[20] Levi G, Karel M, 1995, Volumetric shrinkage (collapse) in freeze-dried carbohydrates above their glass transition temperature, Food Research International, 28, 145–151.
[21] Haonan Hou H, Chen Q, Bi J, Wu X, Jin X, Li X, Qiao Y, Lyu Y, 2020, Understanding appearance quality improvement of jujube slices during heat pump drying via water state and glass transition, Journal of Food Engineering, 272, 109874.
[22] Williams L M, Landel R F, Ferry J D, 1955, The temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymer and other glass forming liquids, Journal of American Chemist Society, 77, 3701.
crystallization of amorphous food models, Journal of Food Science, 26, 553-566.
[10] Ansari S, Maftoonazad N, Farahnaky A, Hosseini E, Badii F, 2014, Effect of moisture content on textural attributes of dried figs, International Agrophysics, 28, 403-412.
[11] Ansari S, Maftoon-Azad N, Hosseini E, Farahnaky A, Asadi G H, 2015, Modeling rehydration behavior of dried fig, Journal of Agricultural Science and Technology, 17, 133-144.
[12] González C M, Llorca E, Quiles A, Hernando I, Moraga G, 2020, Water sorption and glass transition in freeze-dried persimmon slices. Effect on physical properties and bioactive compounds, LWT-Food Science and Technology, 130, 109633.
[13] Nyquist H, 1983, Saturated solutions for maintaining specified relative humidities, International Journal of Pharmaceutical Technology and Production, 4(2), 47-48.
[14] AOAC, 1990, Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC, USA.
[15] Badii F, Farahnaky A, Behmadi H, 2014, Effect of storage relative humidity on physical stability of dried fig, Journal of Food Processing and Preservation, 38(1), 477-483.
[16] Sappati P K, Nayak B, Vanwalsum P, 2017, Effect of glass transition on the shrinkage of sugar kelp (Saccharina latissima) during hot air convective drying, Journal of Food Engineering, 210, 50-61.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Role of glass transition temperature in color and textural changes of dried fig

Badii, F. [1]

1. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/ 01/ 17
Accepted 2021/ 05/ 15

Keywords:

Color,
Dried fig,
Flesh firmness,
Glass transition temperature,
Melting enthalpy.

DOI: **10.52547/fsct.18.116.221**

*Corresponding Author E-Mail:
f.badii@areeo.ac.ir

ABSTRACT

Fresh fig is a highly perishable fruit with a very short storage life. Therefore, drying is the most common method for fig preservation. Changes in water content during storage may lead to undesired physical changes in dried fig which is of great importance in its structure and quality. The objective of this study was to assess the effect of water on the physical properties of dried fig, using glass transition temperature (T_g). T_g, melting temperature (T_m) and the melting enthalpy (ΔH) of dried figs at different moisture contents were measured using differential scanning calorimetry (DSC). DSC thermogram showed that dried fig has a semi-crystalline structure. T_g and T_m decreased while ΔH associated with the melting of the ordered structure increased with increasing moisture content of fig. The results showed that water is a strong plasticizer for dried fig and reduced flesh firmness of fig significantly. Measuring color differences of dried fig at different moisture contents showed that by increasing water, fig flesh became darker significantly. Changes in texture, color, and crystallinity of the dried fig as a function of moisture were assessed using temperature difference (ΔT) between the fig temperature (T) and T_g. By increasing ΔT, the rate of firmness reduction, ΔE value, and the extent of crystallinity increased.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.116.221]