

مطالعه خواص جذب بخار آب در گزانگبین به روش دینامیکی

فوژان بدیعی، عسگر فرحناکی و هما بهمدی*

* استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشانی: کرج، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ص.پ. ۳۱۵۸۵-۸۴۵، تلفن: ۲۷۰۵۳۲۰ (۰۲۶۱)، پیام‌نگار: fjbadii@gmail.com؛ استادیار بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی- کرج؛ آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، مقابل بانک کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۲/۴

چکیده

گزانگبین ماده‌ای است شیرین که به‌طور طبیعی از تراکم مواد قندی و توسط حشره سیاموفیلا آسترگالیکولا به دست می‌آید که از شیره گیاه گون گزانگبین تغذیه می‌کند. منحنی‌های جذب و دفع رطوبت در گزانگبین به روش دینامیکی برای یک نمونه گزانگبین در رطوبت‌های نسبی ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درصد و در دو دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد با تکنیک جذب دینامیکی بخار اندازه‌گیری شد. در رطوبت‌های نسبی متفاوت، تغییرات وزن نمونه در برابر زمان به‌طور مداوم اندازه‌گیری و با استفاده از یک مدل نمایی برازش داده شد. منحنی جذب رطوبت در گزانگبین از نوع سوم بود و ظرفیت جذب آب با افزایش دما کاهش یافت. پدیده پسماند در منحنی‌های جذب رطوبت مشاهده شد به این ترتیب که در هر رطوبت نسبی معین، مقدار رطوبت تعادلی در مرحله دفع بیش از مرحله جذب بود. داده‌های آزمایشی با مدل GAB برازش داده شدند و مشخص شد که این مدل به‌خوبی قادر به برازش داده‌های آزمایشی در فعالیت آبی کمتر از ۰/۷۵ است. همچنین، مشخص شد که ویژگی نفوذ آب در گزانگبین در زمان‌های کوتاه از نوع فیک است و از قوانین فیک تبعیت می‌کند.

واژه‌های کلیدی

آب تک‌لایه، پسماند، گزانگبین، مدل GAB، همدماهای جذب و دفع

مقدمه

این حشره از شیره گیاه گون گزانگبین^۱ تغذیه می‌کند. گون گزانگبین گیاهی دائمی و بومی قسمت مرکزی ایران است و به خانواده لگومینوزه^۲ تعلق دارد (Ainehchi et al., 1976; Grami, 1998). به‌طور کلی گزانگبین به روشی مشابه با عسل تهیه می‌شود یعنی همانند عسل، حشره از مواد گیاهی ماده‌ای شیرین تولید می‌کند (Ainehchi et al., 1976). گزانگبین عاری از نیتروژن، سولفور، تین،

گزانگبین از نظر شیمیایی نوعی مان^۱ است. این ماده را از زمان‌های بسیار قدیم در ایران می‌شناختند. قسمت اعظم تولیدات گزانگبین در صنعت گرسازی استفاده می‌شود (Anon, 1988). گزانگبین ماده‌ای است شیرین و به‌طور طبیعی توسط حشره سیاموفیلا آسترگالیکولا^۲ از خانواده پسلییده^۳ و زیر خانواده آرتینینه^۴ به‌دست می‌آید.

1- Mann
4- Arytaininae

2- *Cyamophila astragalicola*
5- *Astragalus adscendens*

3- Psayllidae
6- Leguminosae

منحنی همدمای بسیار اهمیت دارد زیرا مواد غذایی طی نگهداری و فرایند در معرض دماهای مختلفی قرار می‌گیرند. از طرفی، فعالیت آبی با دما تغییر می‌کند. دما بر جنبش مولکول‌های آب و تعادل دینامیکی بین بخار و فازهای جذب‌شده اثر می‌گذارد. همچنین آب در پایداری کربوهیدرات‌ها با وزن مولکولی کم، نقشی مهم دارد. حالت فیزیکی و بنابراین مقدار تبلور کربوهیدرات‌ها با زمان تغییر می‌کند و به‌شدت وابسته به مقدار آب و سایر پلاستی‌سایزرهاست. با مطالعه ویژگی‌های جذب آب قندهای بی‌شکل (آمورف)، اغلب پدیده تبلور مشاهده می‌شود که وابسته به زمان است (Zamora & Chirife, 2006). با افزایش حرارت و آب به محیط، جنبش مولکولی افزایش می‌یابد که منجر به تبلور می‌شود. بنابراین تغییری اندک در مقدار آب یا فعالیت آبی، حالت فیزیکی و پایداری این مواد را به‌طور چشمگیری تغییر می‌دهد. همچنین، تبلور قندهای بی‌شکل باعث تسریع تغییرات شیمیایی نظیر اکسیدشدن چربی، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، و فعالیت‌های آنزیمی می‌شود (Roos, 1995). در زمینه خواص جذب آب مواد قندی، مطالعاتی متعدد وجود دارد. بولین (Bolin, 1980) همدماهای جذب و دفع^۲ را برای کشمش کالیفرنایی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آورد. همدماهای جذب رطوبت برای زردآلو، انجیر، و کشمش خشک در دماهای ۲۰ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (Ayranci *et al.*, 1990). مازا (Mazza, 1984) همدماهای جذب آب را برای قندهایی نظیر گلوکز، فروکتوز، و ساکارز به دست آورد. در منحنی‌های همدمای جذب و دفع رطوبت برای میوه‌های خشک شامل کشمش بی‌دانه، انجیر، آلو خشک، و زردآلو که حاوی قند زیادی هستند پدیده پسماند^۳ مشاهده شد (Tsami *et al.*, 1990). مطالعه همدمای دفع لاکتوز

آلکالوئیدها، و هالوژن‌ها (کلر، برم و ید) است. محلول ۱ درصد گزانگبین نور پلاریزه را به راست می‌چرخاند و pH آن برابر ۵/۵ است. رنگ گزانگبین زرد مایل به سبز یا قهوه‌ای است که پس از حذف مواد خارجی از آن، پودری سفید یا کرم رنگ به‌دست می‌آید. گزانگبین ماده‌ای آب‌دوست و بسیار چسبناک است. شیرینی زیاد آن به‌دلیل وجود مقدار زیاد فروکتوز در آن است. میزان قند کل گزانگبین حدود ۴۵ درصد است (Maboodi, 2000) و از نظر ترکیب شیمیایی بسیار شبیه به عسل است (Ainehchi *et al.*, 1976; Grami, 1998).

در مطالعه رفتار مواد غذایی و محصولات کشاورزی، آگاهی از اثر شرایط محیطی بر خواص این مواد اهمیت بسزایی دارد. از مهم‌ترین عوامل مؤثر، مقدار رطوبت متعادل^۱ است که به مقدار رطوبت ماده‌ای نگیر در شرایط تعادل با محیط اطراف در دما و رطوبت نسبی مشخص اطلاق می‌شود. مقدار رطوبت متعادل برای تعیین قابلیت نگهداری مواد غذایی در شرایط مختلف، پیش‌بینی زمان خشک‌کردن، طراحی سیستم‌های خشک‌کن، و تعیین کارایی آنها استفاده می‌شود (Kaleemullah & Kailappan, 2004; Labuza, 1968).

فعالیت آبی به‌صورت نسبت فشار بخار آب در ماده به فشار بخار آب خالص در همان دما تعریف می‌شود و بیانگر حالت آب در مواد غذایی و در دسترس بودن آن برای واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی، و میکروبی است (Bell & Labuza, 2000). همدماهای جذب آب، رابطه بین فعالیت آبی و مقدار آب مواد را در دمای ثابت و در شرایط تعادل نشان می‌دهند (Roos, 1995). بنابراین، با مطالعه همدماهای جذب اطلاعات تکمیلی به‌دست می‌آید که با کمک آنها می‌توان تغییرات بالقوه در پایداری محصولات مختلف غذایی را پیش‌بینی کرد. اثر دما بر

نشان می‌دهد که در فعالیت آبی بالا، مقدار آب متعادل به شدت افزایش می‌یابد و این روند در سایر مواد حاوی ترکیبات قندی نیز مشاهده شده است (Lin et al., 2005). در مواد پودری حاوی ترکیبات قندی، طی جذب رطوبت تغییری در درصد تبلور مواد قندی مشاهده می‌شود (Mathlouthi & Roge, 2003).

در زمینه خواص جذب آب در گزانگبین و منحنی‌های همدمای آن، تاکنون مطالعه‌ای نشده است. هدف از این تحقیق بررسی اثر آب بر پایداری و حالت فیزیکی گزانگبین بود، که در آن جذب آب تعادلی گزانگبین در دو دمای متفاوت به دست آمد. داده‌های جذب آب با مدل GAB¹ برازش داده شدند و پدیده پسماند و سپس ویژگی نفوذ آب در گزانگبین بررسی شد.

نمونه‌ای از گزانگبین تولیدشده در منطقه رحیم‌آباد خوانسار در مرکز ایران خریداری شد. با آون خلأ در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد میزان رطوبت اولیه نمونه‌ها ۱۲-۱۰ درصد بر اساس وزن مرطوب اندازه‌گیری شد. دویست گرم نمونه گزانگبین در یک لیتر آب حل و به مدت ۲ ساعت هم زده شد. مخلوط، با استفاده از پارچه کتانی صاف شد تا ذرات بزرگ خارجی جدا شوند. مخلوط صاف‌شده به سرعت با نیتروژن مایع منجمد و به مدت ۷ روز در خشک‌کن انجمادی^۲ در فشار کمتر از ۰/۴ میلی‌بار خشک شد. پس از خردکردن نمونه خشک‌شده، پودری سفید تا شیری رنگ به دست آمد که تا زمان آزمایش در ظرف پلاستیکی دردار نگهداری شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه خواص جذب بخار آب در گزانگبین...
 ۱۵ ± ۰/۱ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت‌های نسبی (RH) مختلف ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، و ۹۰ درصد با استفاده از دستگاه جذب دینامیک بخار^۳ (DVS-10VD) ساخت انگلستان اندازه‌گیری شد. این دستگاه مجهز به ترازویی دقیق (با دقت کمتر از ۰/۱ میکروگرم) است (Cahn D200 Microbalance). رطوبت‌های مورد نیاز با ترکیب جریان گاز نیتروژن خشک و اشباع‌شده با بخار آب با نسبت دقیق به دست آمد. حسگرهای دما و رطوبت در زیر محفظه حاوی نمونه و شاهد (خالی) قرار داشتند. قبل از آنالیز، حدود ۲ میلی‌گرم از نمونه داخل DVS و در رطوبت نسبی صفر درصد خشک شد تا تغییر وزن آن به کمتر از ۰/۰۰۱ درصد در دقیقه برسد. نمونه در هر سطح RH حداکثر به مدت ۷ ساعت نگه داشته شد مگر اینکه قبل از این زمان، حداقل به مدت ۱۰ دقیقه تغییرات وزنی آن به کمتر از ۰/۰۰۱ درصد در دقیقه رسیده باشد. در هر سطح، تغییرات وزنی نمونه در اثر جذب یا دفع رطوبت به‌طور مداوم اندازه‌گیری و ثبت شد. برای برازش داده‌های آزمایشی تغییر وزن نمونه با زمان در هر سطح RH از رابطه زیر استفاده شد (Roman-Gutierrez et al., 2002):

$$m(t) = m_{\infty}[1 - \exp(-Bt)] \quad (1)$$

که در آن، $m(t)$ میزان آب جذب‌شده در زمان آزمایش (بر حسب وزن مرطوب یا درصد wb)؛ m_{∞} ظرفیت آب جذب شده تعادلی (بر حسب درصد wb)؛ B = سرعت جذب آب (بر حسب دقیقه/۱)؛ و t = زمان (بر حسب دقیقه) است.

میزان آب تک‌لایه با استفاده از مدل GAB مطابق رابطه زیر به دست آمد (Bell & Labuza, 2000):

تجزیه و تحلیل همدمای جذب و دفع

خصوصیات جذب آب در نمونه گزانگبین در دماهای

1- Guggenheim-Anderson-deBoer
 3- Dynamic Vapor Sorption

2- Freeze Drier
 4- Wet Basis

آب جذب شده در زمان ∞ (تعدادل)؛ r شعاع متوسط ذرات (بر حسب متر)؛ و t زمان (بر حسب ثانیه) است.

در این تحقیق، ∞ مدت زمانی است بر حسب دقیقه که طی آن تغییرات وزنی نمونه در یک سطح معین RH به کمتر از ۰/۰۰۱ درصد در دقیقه برسد.

برای زمان کوتاه می‌توان رابطه ۴ را به صورت زیر خلاصه کرد:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 6\left(\frac{Dt}{\pi r^2}\right)^{1/2} \quad (۶)$$

رابطه ۶ را فقط می‌توان برای ۶۰ درصد اولیه آب برداشت شده ($M_t/M_\infty \leq 0.6$) به کار برد. یعنی نمودار M_t/M_∞ در برابر $t^{1/2}$ در زمان‌های کوتاه باید خطی باشد (Peppas & Brannon-Peppas, 1994). این حالت در نمونه‌های گرانگین در تمامی رطوبت‌های نسبی مشاهده شد. داده‌های آزمایشی همدمای جذب و دفع رطوبت به صورت میانگین سه تکرار و با محاسبه انحراف معیار گزارش و سپس با نرم‌افزار Excel و برنامه Solver برازش داده شدند. برای ارزیابی برازش داده‌ها با مدل‌های ذکرشده از ضریب همبستگی R^2 و روش غیرخطی (RMSD) استفاده شد.

نتایج و بحث

ظرفیت جذب بخار آب

با استفاده از رابطه تجربی ۱ ظرفیت جذب بخار آب در نقطه تعادل به دست آمد. این معادله نمایی بر اساس توصیف فیزیکی انتقال بخار آب در مواد غیرمتخلخل انتخاب و از آن برای برازش داده‌های تجربی تغییر وزن نمونه با زمان در هر یک از مقادیر RH استفاده شد

$$m = \frac{m_0 c_G k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + c_G k a_w)} \quad (۲)$$

که در آن، m = میزان آب محاسبه شده (بر حسب درصد)؛ a_w = فعالیت آبی؛ c_G = مقدار ثابت؛ k = مقدار ثابت؛ و m_0 = مقدار آب تک‌لایه (بر حسب درصد) است.

سپس کیفیت مدل با استفاده از روش غیرخطی (RMSD) (رابطه ۳) بررسی شد:

$$RMSDev = \frac{\sum (m_{measured} - m_{calculated})^2}{n} \quad (۳)$$

که در آن، n = تعداد نقاط اندازه‌گیری شده است.

برای بررسی پدیده نفوذ آب از قانون قانون دوم فیک^۲ استفاده شد که تغییرات غلظت با زمان را نشان می‌دهد (Crank, 1975).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) \quad (۴)$$

که در آن، c = غلظت ماده حل شده (بر حسب مول بر متر مکعب)؛ t = زمان (بر حسب ثانیه)؛ D = ضریب نفوذ (بر حسب متر مربع بر ثانیه)؛ و x = ضخامت مسیری است که ذرات نفوذ می‌کنند (بر حسب متر).

اگر نمونه گرانگین به صورت ذرات کروی با شعاع معین r در نظر گرفته شود، نفوذ ذرات در یک جهت و در دمای ثابت از رابطه زیر به دست می‌آید:

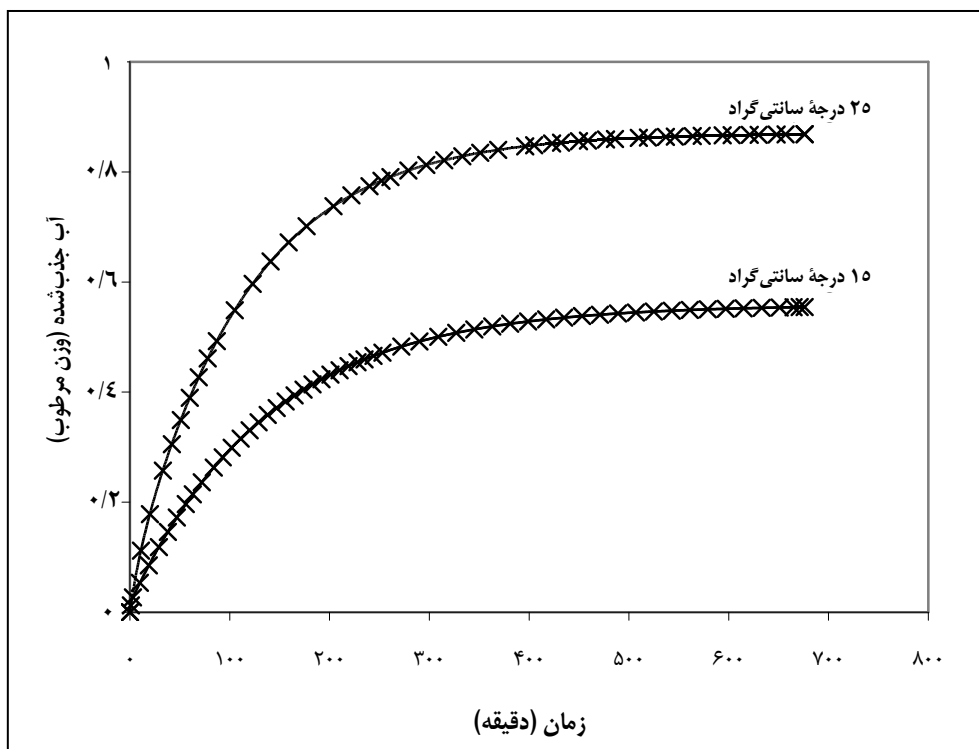
$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left[\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4r^2} \right] \quad (۵)$$

که در آن، M_t = وزن آب جذب شده در زمان t ؛ M_∞ = وزن

مطالعه خواص جذب بخار آب در گزانگبین...

این مدل نمایی به خوبی قادر به برازش داده‌های تجربی در دو دمای فوق بود ($R^2 > 0.996$). همچنین، این مدل برازش خوبی را نیز با داده‌های تجربی به دست آمده در رطوبت‌های نسبی دیگر نشان داد.

(Roman-Gutierrez *et al.*, 2002). شکل ۱ روند جذب آب در گزانگبین و خصوصیات وابسته به زمان آن را در دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به هنگامی نشان می‌دهد که RH از ۸۰ درصد تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۱- جذب آب در گزانگبین در دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد هنگامی که RH از ۸۰ درصد تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد.
(×): نقاط تجربی، (-): منحنی محاسبه شده از مدل نمایی

همان طوری که در شکل ۱ نشان داده شده است، ویژگی جذب آب در گزانگبین وابسته به زمان و دماست. جذب آب با افزایش دمای محیط افزایش می‌یابد. نمونه گزانگبین آب را به کندی جذب می‌کند و حدود ۱۱ ساعت طول می‌کشد تا به تعادل برسد. لازم است یادآوری شود که تعادل ترمودینامیکی واقعی هنگامی به دست می‌آید که سرعت آبدارشدن^۱ بسیار آهسته باشد تا مولکول‌های آب زمان کافی برای رسیدن به تمام نقاط آب‌دوست^۲ درون ماده را داشته

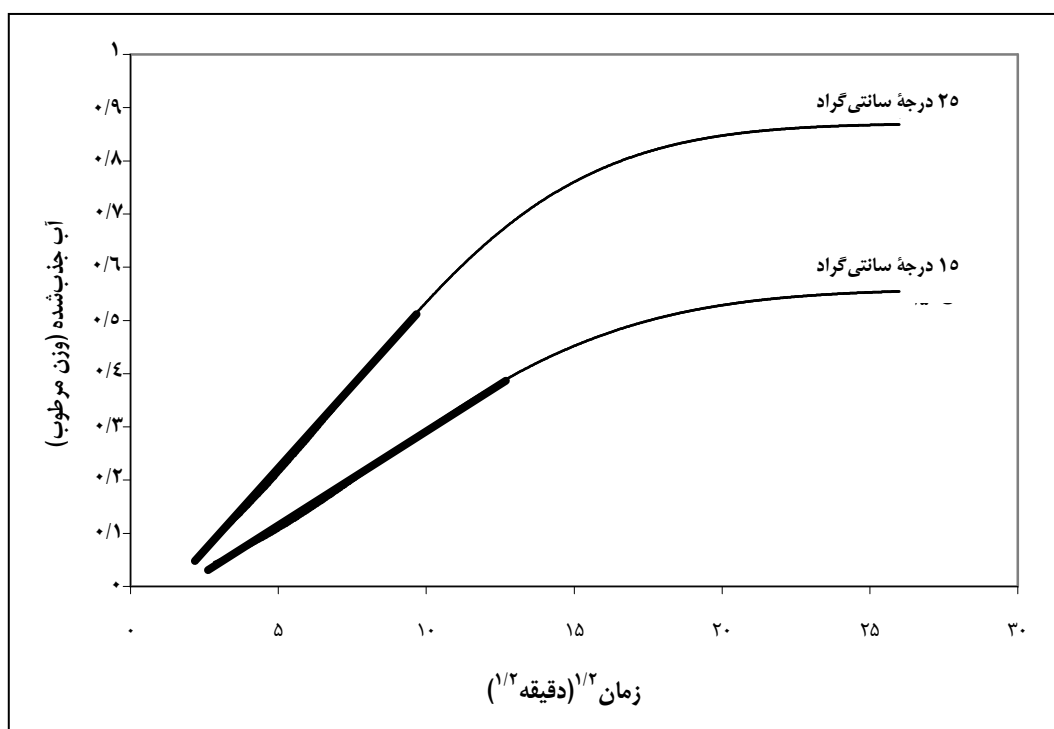
جذب آب با افزایش سریع وزن نمونه بلافاصله پس از تغییر RH مشخص می‌شود و سپس در زمانی طولانی به سمت مقداری ثابت می‌رود. با استفاده از ترازوی دقیق (میکروبالانس) با دقت کمتر از ۰/۱ میکروگرم، که در محفظه‌ای با اتمسفر کنترل شده از نظر دما و رطوبت نسبی قرار دارد، شرایط تعادل ظاهری هنگامی به دست آمد که تغییرات دینامیکی وزن نمونه به کمتر از ۰/۰۰۱ درصد در دقیقه رسیده بود. این شرایط در دستگاه جذب دینامیکی رطوبت فراهم شد.

1- Hydration Rate

2- Hydrophilic Sites

باشند. $(t^{1/2})$ در ابتدا خطی است و ویژگی جذب آب در گزانگبین به طور کلی، انتقال رطوبت به پدیده نفوذ^۱ وابسته است و می توان آن را با استفاده از قوانین فیک مدل سازی کرد. در این مطالعه، از این قوانین برای محاسبه ظرفیت جذب بخار آب در نقطه تعادل استفاده شد (رابطه های ۴ تا ۶). با در نظر گرفتن نمونه گزانگبین به صورت ذرات کروی، برای مشخص کردن وضعیت جذب آب در گزانگبین از رابطه ۵ استفاده شد. شکل ۲ نشان می دهد که در نمونه گزانگبین میزان آب جذب شده در برابر جذر زمان

از مدل فیک تبعیت می کند. لذا برای محاسبه ظرفیت جذب بخار آب در زمان های کوتاه اولیه از رابطه ۶ استفاده شد (Peppas & Brannon-Peppas, 1994) و این حالت در نمونه های گزانگبین در تمامی رطوبت های نسبی مشاهده شد. همچنین، شکل ۲ نشان می دهد که با افزایش دمای محیط، میزان آب جذب شده و سرعت جذب آب نمونه افزایش و زمان رسیدن به تعادل کاهش می یابد.

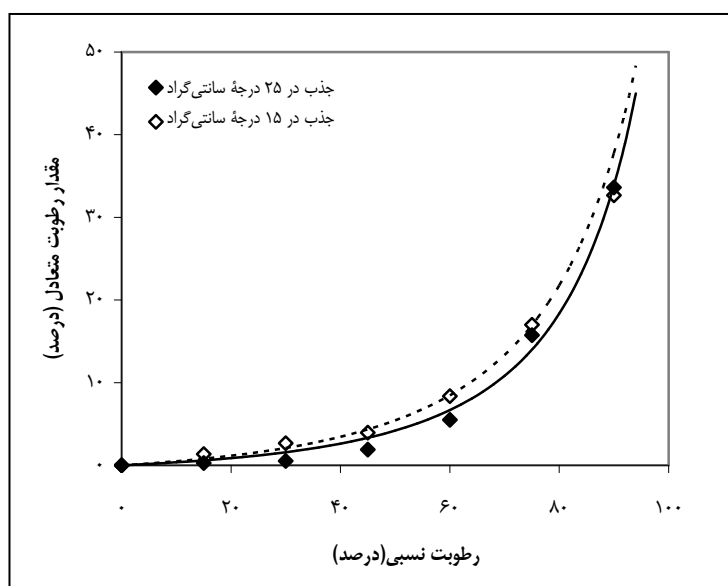


شکل ۲- جذب آب نمونه گزانگبین به صورت تابعی از جذر زمان $(t^{1/2})$

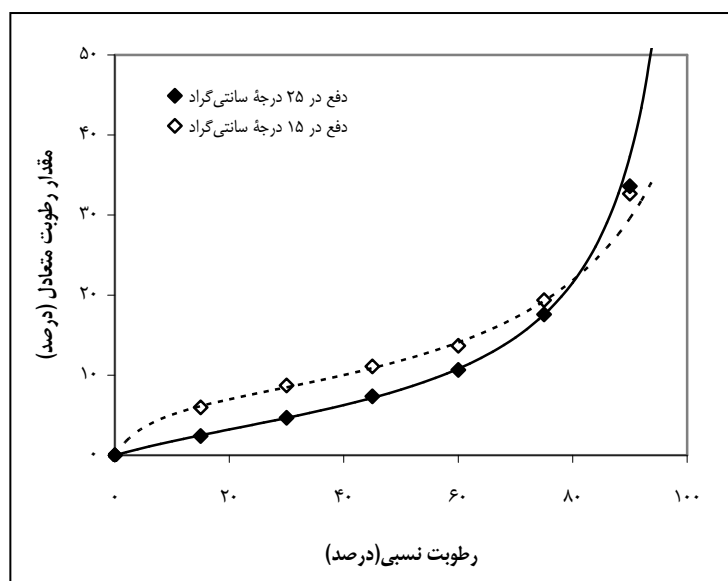
همدماهای جذب و دفع بخار آب

انجیر، و زردآلوی خشک (Ayranci *et al.*, 1990)، مواد پودری حاوی ترکیبات قندی زیاد (Mathlouthi & Roge, 2003)، و پودر شیرخشک بدون چربی با لاکتوز بالا (Lin *et al.*, 2005) مشاهده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که در فشار بخار نسبی معین، میزان آب تعادلی در مرحله جذب با افزایش دما کاهش می‌یابد زیرا با افزایش دمای محیط، فشار بخار آب در میان ماده افزایش می‌یابد و باعث تسریع انتقال رطوبت از ماده به محیط اطراف می‌شود. این پدیده در سایر مواد غذایی نیز مشاهده شده است (Gupta *et al.*, 1999; Pandey & Aich, 1989; Perez-Alosa *et al.*, 2006). ولی اثر دما در رطوبت‌های نسبی بالا و به‌ویژه در مرحله دفع رطوبت تغییر می‌کند زیرا در رطوبت‌های بالا قندها در آب حل می‌شوند و چون این فرایند گرماگیر است، با افزایش دما قند بیشتری در آب حل و آب بیشتری جذب می‌شود (Ayranci *et al.*, 1990, Mathlouthi & Roge, 2003, Lin *et al.*, 2005).

شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب همدماهای جذب آب در گزانگبین و دفع آب را از آن در دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند. بر اساس طبقه‌بندی بروئر (Roos, 1995)، همدمای جذب آب در گزانگبین و سایر مواد غذایی که مقدار زیادی قند و یا مولکول‌های کوچک حل‌شدنی در آب دارند، از نوع سوم است. این مواد در رطوبت‌های نسبی پایین، جذب آب کمی دارند و هنگامی که فعالیت آبی برای محلول‌شدن مواد قندی به حد کافی افزایش یابد، جذب آب نیز زیاد می‌شود. در فعالیت آبی کم، اثر متقابل آب و مولکول‌های قند به حد کافی قوی نیست تا پیوند بین مولکول‌های قند را بشکنند ولی با افزایش فعالیت آبی، مولکول‌های آب به درون بلورهای قند نفوذ می‌کنند و این مولکول‌ها در آب حل می‌شوند. در این شرایط، مقدار رطوبت به‌شدت افزایش می‌یابد و سیستم به حالت محلول در می‌آید. نتایج مشابهی نیز برای سایر محصولات غذایی حاوی قند زیاد نظیر کشمش،



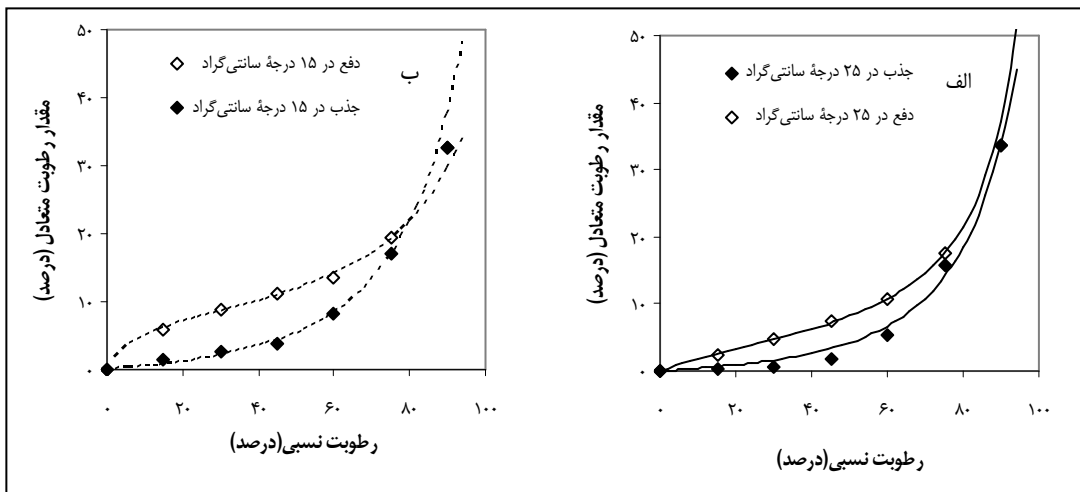
شکل ۳- منحنی‌های همدمای جذب آب در ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای نمونه گزانگبین



شکل ۴- منحنی‌های همدمای دفع آب در ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای نمونه گزانگبین

خشک‌کردن (دفع آب)، بعضی از مواد محلول در نقاطی کمتر از فعالیت آبی تبلورشان به حالت فوق اشباع می‌رسند (وضعیت غیر متعادل) و در نتیجه با کاهش فعالیت آبی، آب بیشتری در خود نگه می‌دارند. در مواد غذایی حاوی مقادیر زیاد قند، معمولاً این پدیده مشاهده می‌شود (Crank, 1975). همواره توجه به این مسئله مهم است که پسماند از نظر ترمودینامیکی وضعیتی نامتعادل است، بنابراین، ماده غذایی همواره تمایل دارد که با گذشت زمان تغییر کند و به وضعیت تعادل برسد. با افزایش دما، مقدار پسماند نیز کاهش می‌یابد.

منحنی‌های جذب آب در گزانگبین و دفع آب از آن شکل یکسان ندارند و لذا پدیده پسماند را می‌توان مشاهده کرد (شکل ۵). دلیل اصلی بروز پسماند هنوز کاملاً مشخص نشده است ولی فرضیه‌های مختلفی برای این پدیده ارائه شده است که همه آنها نشان‌دهنده عدم تعادل در سیستم هستند (Bell & Labuza, 2000). پیشنهاد شده است که مقدار پسماند به طبیعت و حالت اجزای تشکیل‌دهنده مواد غذایی وابسته است. بازآرایی ساختاری^۱ این اجزا باعث می‌شود که قابلیت دسترسی گروه‌های قطبی تغییر کند و مانع از حرکت رطوبت شود (Al-Muhtaseb *et al.*, 2004). طی مرحله



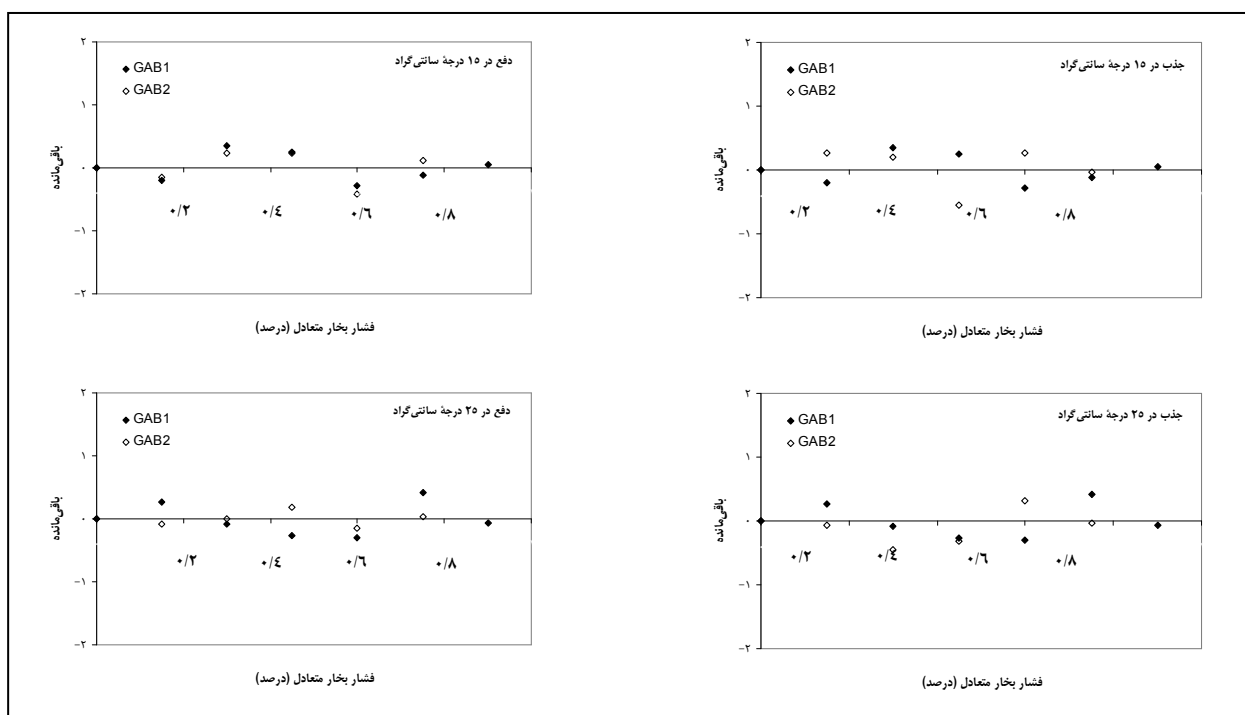
شکل ۵- پدیده پسماند در همدمای جذب و دفع آب در دماهای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (الف) و ۱۵ درجه سانتی‌گراد (ب) برای نمونه گزانگبین

سرعت واکنش‌های شیمیایی و افت کیفیت بسیار ناچیز است. گرچه برازش داده‌های تجربی با مدل GAB قابل قبول بود، در رطوبت‌های نسبی بالاتر از ۸۰ درصد مدل از داده‌های تجربی انحراف نشان داد. این وضعیت به‌ویژه در مرحله جذب مشخص‌تر بود. لذا داده‌های تجربی تا رطوبت نسبی ۷۵ درصد با مدل GAB برازش داده شدند و کیفیت برازش بسیار مطلوب‌تر بود به‌طوری‌که مقدار باقی‌مانده^۱ (تفاوت بین داده‌های تجربی و داده‌های به‌دست آمده از مدل) کمتر شد (شکل ۶). مقادیر آب تک‌لایه محاسبه‌شده برای نمونه گزانگبین در مرحله جذب و دفع رطوبت و در دو دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به همراه مقادیر RMSD و ضریب همبستگی (R^2) بین داده‌های آزمایشی و محاسبه‌شده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. مقدار آب تک‌لایه نمونه گزانگبین در مرحله دفع بیشتر از مقدار آن در مرحله جذب رطوبت است. نتایج مشابهی نیز گزارش شده است (Al-Muhtaseb *et al.*, 2004). به نظر

خصوصیات جذب آب در مواد غذایی از عوامل مهم و مؤثر بر حالت فیزیکی و پایداری آنهاست. بنابراین، تعیین و پیش‌بینی رابطه بین فعالیت آبی و مقدار آب مواد غذایی با استفاده از مدل‌های ریاضی بسیار اهمیت دارد. برای محاسبه مقدار آب تک‌لایه از مدل‌های ریاضی متعددی استفاده می‌شود که یکی از رایج‌ترین آنها مدل گب (GAB) است. این مدل در دامنه وسیعی از فعالیت آبی کاربرد دارد، به خوبی قادر به برازش داده‌های آزمایشی در دماهای مختلف است، و برای مواد غذایی مختلف قابل استفاده است (Bell & Labuza, 2000; Roos, 1995). همدمای جذب آب در گزانگبین و دفع آب از آن در دو دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از مدل GAB (شکل‌های ۳ و ۴) و کیفیت مدل با استفاده از روش غیرخطی (RMSD) (رابطه ۲) بررسی شد. آب تک‌لایه دربرگیرنده مقدار آبی است که به‌صورت اتصال یافته وجود دارد. در رطوبت‌های کمتر از این مقدار

مقدار آب تک‌لایه را می‌توان به تغییر ساختمانی مواد قندی (با وزن مولکولی کم) با افزایش دما مربوط کرد (Ayranci *et al.*, 1990). مقدار پیوندهای هیدروژنی و میزان نقاط فعال برای اتصال با آب با افزایش دما کاهش می‌یابند و در نتیجه مقدار آب تک‌لایه کمتر می‌شود.

می‌رسد که در مرحله جذب، نقاط کمتری برای جذب رطوبت در ساختار مولکول‌ها وجود دارد. بررسی بیشتر پارامترهای GAB (جدول ۱) نشان می‌دهد که با افزایش دما مقدار آب تک‌لایه در هر دو مرحله جذب و دفع کاهش می‌یابد ولی این کاهش در مرحله دفع بیشتر است.



شکل ۶- مقایسه باقی مانده دو مدل GAB1 و GAB2. در مدل داده‌های تجربی همدمای جذب و دفع رطوبت تا رطوبت نسبی ۹۰ درصد و در مدل GAB2 تا رطوبت نسبی ۷۵ درصد برازش داده شده‌اند.

جدول ۱- پارامترهای مدل GAB محاسبه شده برای همدمای جذب آب در گزائینگین و دفع آب از آن در ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد

R^2	RMSD	c_G	k	$m_o(wb)$ درصد	گزائینگین
۰/۹۶	$۶/۷۲ \times ۱۰^{-۲}$	۰/۴۲	۱/۱۲	۳/۶۸c	جذب در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
۰/۹۹	$۸/۱۸ \times ۱۰^{-۲}$	۱/۵۵	۱/۰۶	۳/۹۹ c	جذب در ۱۵ درجه سانتی‌گراد
۰/۹۹	$۱/۰۷ \times ۱۰^{-۲}$	۳/۷۵	۰/۹۵	۵/۵۵ b	دفع در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
۰/۹۹	$۵/۲۲ \times ۱۰^{-۲}$	۱۸/۵۵	۰/۸۴	۷/۳۶ a	دفع در ۱۵ درجه سانتی‌گراد

نتیجه‌گیری

ویژگی جذب آب در گزانگبین مشخص شد که این ماده نیز مانند سایر سیستم‌های حاوی قند، سیستمی نامتعادل با احتمال بروز تبلور است. منحنی‌های همدمای جذب آب در گزانگبین از نوع سوم و مدل GAB به خوبی قادر به برازش داده‌های آزمایشی است. پدیده نفوذ بخار آب در گزانگبین حتی در رطوبت‌های نسبی بالا از نوع فیکتی است و این نشان می‌دهد که تغییر ساختاری نمونه گزانگبین در اثر افزودن رطوبت، تاثیری بر پدیده نفوذ ندارد.

کنترل تبلور مواد قندی طی نگهداری اغلب بسیار مشکل است. این پدیده در رطوبت‌های پایین اثری بسیار نامطلوب و مخرب بر کیفیت آن دسته از مواد غذایی می‌گذارد که مقادیر زیادی ترکیبات قندی دارند و عمر انباری و کیفیت آنها را به شدت کاهش می‌دهد. بنابراین، حالت فیزیکی این مواد (بی‌شکل، بلوری، و حل‌شده) به‌طور چشمگیر به مقدار آب مواد غذایی و تغییر دما و رطوبت انبار وابسته است. با مطالعه

مراجع

- Aeinehchi, Y., Niknejad, A. and Sanei, M. 1976. Gaz of Khunsar: A rich source of fructose. University of Tehran. J. College of Pharmacology. 8, 3-8. (in Farsi)
- Al-Muhtaseb, H., Mc Minn, W. A. M. and Magee, T. R. A. 2004. Water sorption isotherms of starch powders. Part1: Mathematical description of experimental data. J. Food Eng. 61, 297-307.
- Anon. 1988. Specification and test methods for the tamarisk (Gazangabin) manna. Institute of Standard and Industrial Research of Iran. 1st Ed. ISIRI NO. 2619.
- Ayranci, E., Ayranci, G. and Dogantan, Z. 1990. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at 20°C and 36°C. J. Food Sci. 55(6): 1591-1593.
- Bell, L. N. and Labuza, T. P. 2000. Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. American Association of Cereal Chemists, Inc. USA.
- Bolin, H. R. 1980. Relation of moisture to water activity in prunes and raisins. J. Food Sci. 45, 1190.
- Crank, J. 1975. Diffusion in a Plane Sheet. In: Crank, J. (Ed.). The Mathematics of Diffusion. Clarendon Press. UK.

- Grami, B. 1998. Gaz of Khunsar: The Manna of Persia, Economic. Botony. 52(2): 183-191.
- Gupta, A., Shivhare, U. S., Bawa, A. and Singh, S. 1999. Equilibrium moisture content of okra. J. Instituton Engineers (India). 80, 9-11.
- Kaleemullah, S. and Kailappan, R. 2004. Moisture sorption isotherms of red chillies. Biosys. Eng. 88(1): 95-104.
- Labuza, T. P. 1968. Sorption phenomena in foods. Food Technol. 22(2): 263-268.
- Lin, S. X. Q., Chen, X. D. and Pearce, D. L. 2005. Desorption isotherm of milk powders at elevated temperatures and over a wide range of relative humidity. J. Food Eng. 68, 257-264.
- Maboodi, N. 2000. Determination of the amount of sugar compounds in Gaz-Angubin manna. Ph.D. Thesis. Faculty of Pharmacology. University of Tehran. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Mathlouthi, M. and Roge, B. 2003. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. Food Chemistry. 82, 61-71.
- Mazza, G. 1984. Sorption isotherms and drying rates of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*). J. Food Sci. 49, 384-388.
- Pandey, M. C. and Aich, J. C. 1989. Equilibrium moisture content of dehydrated mushroom. J. Food Sci. Technol. 26(2): 108-109.
- Peppas, N. A. and Brannon-Peppas, L. 1994. Water Diffusion and Sorption in Amorphous Macromolecular Systems and Foods. In: Fito, P., Mulet, A. and Mc Kenna, G. B. (Eds.). Water in Foods. Elsevier Applied Sci.
- Perez-Aloso, C., Beristain, C. I., Lobato-Calleros, C., Rodriguez-Huezo, M. E. and Vernon-Carter, E. J. 2006. Thermdynamic analysis of the sorption isotherms of pre and blended carbohydrate Polymers. J. Food Eng. 77, 753-760.
- Roman-Gutierrez, A. D., Guilbert, S. and Cuq, B. 2002. Distribution of water between wheat flour components: A dynamic water vapour adsorption study. J. Cereal Sci. 36, 347-355.
- Roos, Y. H. 1995. Phase Transitions in Foods. Academic Press. USA.

مطالعه خواص جذب بخار آب در گزانه‌گین...

Tsami, E., Marinos-Kouris, D. and Maroulis, Z. B. 1990. Water sorption isotherms of raisin, currants, figs, prunes and apricots. J. Food Sci. 55(6): 1594-1597.

Zamora, M. C. and Chirife, J. 2006. Determination of water activity change due to crystallization in honeys from Argentina. Food Control. 17, 59-64.



Dynamic Vapor Sorption Properties of Gaz-angubin

F. Badii*, A. Farahnaky and H. Behmadi

*Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, P. O. Box: 31585-845, Karaj, Iran,
E-mail: fjbadii@gmail.com

Gaz-angubin is a sweet exudate naturally produced by an insect from the Gavan-e-Gaz-angubin plant. Adsorption and desorption isotherms for a Gaz-angubin sample were determined at 15° and 25°C over a range of relative humidity from 0 to 90% using a dynamic vapor sorption system. At different levels of relative humidity, changes in sample mass were continuously measured versus time and described using an exponential model. Gaz-angubin exhibited type III sorption behavior. The sorption capacity decreased with increasing temperature. The sorption-desorption isotherms revealed the phenomenon of hysteresis, in which the equilibrium moisture content was higher at a particular equilibrium relative humidity for the desorption curve than for the adsorption curve. Water sorption/desorption isotherms were modelled using the Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) model. The GAB model showed a good fit to experimental data for water activities of up to about 0.75. It was observed that, for short intervals, the diffusion of water can be described by Fickian laws and Gaz-angubin showed essentially a Fickian diffusion.

Key Words: GAB Model, Gaz-angubin, Hysteresis, Monolayer Water, Sorption/Desorption Isotherms