

مدل سازی سینتیک انتقال جرم طی فرآیند آبیگری اسمزی بادمجان (*Solanum Melongena L.*)

علی اصغر بهمنی^{a*}، سید مهدی جعفری^b، سید احمد شهیدی^c

^a دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی،

مازندران، ایران

^b دانشیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

^c استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۵/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۴/۳

چکیده

مقدمه: در این پژوهش فرآیند آبیگری اسمزی برش‌های حلقوی بادمجان تحت تأثیر پارامترهای عملیاتی مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه بررسی اثر دما، غلظت محلول اسمزی و نسبت نمونه به محلول اسمزی در زمان‌های تماس مختلف نمونه و محلول اسمزی بر محتوای رطوبتی طی سینتیک فرآیند آبیگری اسمزی و مقایسه دو مدل ریاضی و انتخاب بهترین مدل جهت توصیف سینتیک انتقال جرم می‌باشد.

مواد و روش‌ها: فرآیند آبیگری اسمزی برش‌های حلقوی بادمجان در محلول اسمزی شامل کلرور سدیم با غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (وزنی-وزنی)، دمای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۰، ۱:۱۵ و ۱:۲۰ صورت گرفت. مقادیر خروج آب و نفوذ ماده جامد در غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (وزنی-وزنی) کلرور سدیم، دمای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۰، ۱:۱۵ و ۱:۲۰ و در فواصل زمانی ۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۵۰، ۲۱۰، ۲۷۰ دقیقه محاسبه گردید. با استفاده از مدل پیشنهادی Magee و همکاران، (۱۹۸۳) و Azuara و همکاران (۱۹۹۲) مقادیر تعادلی خروج آب و نفوذ ماده جامد، همچنین شدت انتقال جرم محاسبه شد.

یافته‌ها: سینتیک انتقال جرم و محتوای رطوبتی تابع تغییرات غلظت کلرور سدیم و دما در طی زمان می‌باشند. مدل پیشنهادی Azuara و همکاران با حداکثر همبستگی و با حداقل ریشه میانگین مربع خطا و مجموع مربعات خطا نسبت به مدل Magee بهتر می‌تواند سینتیک انتقال جرم را توصیف کند و همچنین مدل Azuara در شرایط نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ با ضرایب همبستگی خروج آب ۰/۹۷۹۲ و جذب ماده جامد ۰/۹۳۸۶ در مقایسه با نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۰ و ۱:۲۰ بیشترین تطابق را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: مدل پیشنهادی Azuara و همکاران (۱۹۹۲) با توجه به حداکثر ضریب همبستگی و با حداقل ریشه میانگین مربع خطا و حداقل مجموع مربعات خطا، جهت مدل‌سازی سینتیک انتقال جرم به‌منظور به‌کارگیری در طراحی خشک‌کن‌های فرآیند اسمزی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انتقال جرم، خروج آب، فرآیند آبیگری اسمزی، مدل‌سازی، نفوذ ماده جامد.

مقدمه

ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها و به‌طور کلی محصولات فصلی، نسبتاً کوتاه است و با در نظر گرفتن اینکه آن‌ها مواد خام با ارزشی برای صنایع غذایی هستند، بنابراین افزایش پایداری انباری محصولات امری بسیار مهم می‌باشد (Misljenovic *et al.*, 2011). پس از برداشت محصولات کشاورزی تلاش می‌شود تا کیفیت و ماندگاری محصول افزایش یابد، بنابراین فرآوری محصول جهت تحقق این امر ضروری می‌باشد (Misljenovic *et al.*, 2012). مشکل اصلی خشک کردن با هوای داغ، مصرف بالای انرژی و ناپایداری ترکیبات غذا در برابر حرارت است (Misljenovic *et al.*, 2011). با کاهش زمان فرآیند و همچنین تسهیل و تسریع فرآیند خشک کردن می‌توان بر این مشکل غلبه کرد (Sunjka & Raghavan, 2004). در میان شیوه‌های نگهداری مواد غذایی، فرآیند آبیگری اسمزی به دلیل دمای پایین، انرژی کمتر، کاهش ضایعات مواد غذایی و کیفیت خوب محصول اثبات کرده است که یکی از مفیدترین تکنیک‌های پیش‌تیمار در خشک کردن مواد غذایی می‌باشد (Nicetin *et al.*, 2013). فرآیند آبیگری اسمزی یک فرآیند مناسب برای حذف بخشی از رطوبت بافت سلولی مواد غذایی مانند میوه‌ها و سبزی‌ها، بدون تغییر فاز است و اغلب به‌عنوان فرآیند پیش‌تیمار بکار می‌رود. این پیش‌تیمار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی در طول خشک کردن در دمای بالا را کاهش می‌دهد (Mouraa *et al.*, 2005). مدل‌های ریاضی فرآیندهای خشک کردن جهت کنترل فرآیندهای خشک کردن به کار می‌روند. تعداد کثیری مدل ریاضی جهت توصیف فرآیند خشک کردن پیشنهاد شده است. مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان مدل نظری، نیمه نظری و آزمایشی طبقه‌بندی شوند. به‌تازگی تحقیقات زیادی بر مدل‌سازی ریاضی و مطالعات آزمایشگاهی در مورد خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها متعدد صورت گرفته است (Wankhadea *et al.*, 2013). مدل‌های ریاضی ثابت کرده‌اند که ابزاری مفید در طراحی و آنالیز فرآیندهای انتقال حرارت و جرم می‌باشند. همه پارامترهای به‌کاررفته در شبیه‌سازی به‌طور مستقیم با شرایط خشک کردن ارتباط دارند؛ بنابراین شرایط

مدل‌سازی سینتیک انتقال جرم طی فرآیند آبیگری اسمزی بادمجان

خشک کردن به‌طور مستقیم به زمان خشک کردن و انرژی موردنیاز مرتبط است (EL-Mesery *et al.*, 2012). Tortoe و همکاران (۲۰۰۹) اثر ساکارز و کلرور سدیم بر سینتیک انتقال جرم طی آبیگری اسمزی در چند محصول کشاورزی را بررسی کردند. آبیگری اسمزی بر روی دو وارپته سیب (گلدن دلشز و کوکس)، سیب‌زمینی و موز با میزان کلرور سدیم ۰/۵ درصد ثابت در چهار سطح غلظت ساکارز (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد) در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳-۰ ساعت که هر ۳۰ دقیقه نرخ انتقال جرم ثبت می‌شد صورت گرفت. آن‌ها دریافتند که مقادیر خروج آب به این صورت اتفاق می‌افتد: گلدن دلشز < کوکس < سیب زمینی < موز. مقادیر خروج آب و نفوذ ماده جامد گلدن دلشز، کوکس، سیب زمینی و موز در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه اول زمان تماس نمونه با محلول اسمزی بیشترین نرخ مشاهده شد. غلظت محلول اسمزی و مدت‌زمان تماس نمونه با محلول اسمزی اثر معنی‌داری بر نرخ خروج آب در همه نمونه‌ها داشت. Tortoe و Akonor (۲۰۱۴) اثر پیش‌تیمار اسمزی و آنزیم بری بر روی سینتیک خشک کردن، چروکیدگی و قابلیت جذب مجدد آب برش‌های کایوت^۱ (نوعی کدوخلوایی) خشک‌شده با آن را بررسی کردند. کایوت به ضخامت ۴ میلی‌متر برش داده شد. در آب داغ با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۳ دقیقه آنزیم بری شد. در آب و نمک کلرور سدیم ۱۰ درصد پیش‌تیمار اسمزی بر روی برش‌های کایوت صورت گرفت. و نمونه‌ای بدون پیش‌تیمار به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و در نهایت تمام نمونه‌ها در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آن خشک شدند. چروکیدگی نمونه‌های خشک‌شده، نرخ باز جذب و ضریب نفوذ مؤثر رطوبت نمونه‌ها تعیین شد. داده‌های به‌دست‌آمده با ۱۰ مدل غیرخطی (مدل‌های خشک کردن لایه‌نازک) منطبق شدند. مدل Henderson & Pabis بهترین انطباق بر روی برش‌های بدون تیمار با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۳ و پیش‌تیمار اسمزی با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۱ را داشت درحالی‌که مدل Midilli و همکاران بهترین انطباق را بر روی برش‌های کایوت آنزیم بری شده با ضریب همبستگی ۰/۹۹۷۰ را داشت. Oladejo و همکاران (۲۰۱۱) مکانیسم انتقال جرم،

¹ Chayote (*Sechium edule*)

نگرفته است. هدف از این مطالعه بررسی اثرات دما و غلظت محلول اسمزی و زمان تماس نمونه با محلول اسمزی بر سینتیک انتقال جرم و محتوی رطوبتی طی سینتیک خشک کردن اسمزی بادمجان و مقایسه دو مدل ریاضی انتقال جرم، مدل پیشنهادی Magee و همکاران، (۱۹۸۳) و Azuara و همکاران (۱۹۹۲) و انتخاب بهترین مدل جهت توصیف سینتیک انتقال جرم می‌باشد. یکی از روش‌های مصرف بادمجان سرخ کردن آن است. در راستای کاهش جذب روغن پیش تیمارهای مختلفی بر روی فرآورده‌ها اعمال می‌شوند که آبیگری اسمزی یکی از آنها است. بنابراین این فرآورده مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

- مواد مصرفی

جهت انجام آزمایش در این پژوهش از بادمجان رقم سرخگون هرمزگان (یکی از ارقام مورد مصرف در ایران) استفاده شد. متوسط ارتفاع بادمجان ۲۳/۴ سانتیمتر و محتوی رطوبتی اولیه بادمجان ۹۳ درصد بود.

- آماده‌سازی نمونه

جهت آماده‌سازی، نمونه‌ها ابتدا به‌طور کامل شسته و با استفاده از دستگاه برش‌های حلقوی به ضخامت ۱ سانتی‌متر داده شدند و در ادامه با قالب دایره‌ای گوشت بادمجان با قطر ۲/۶ سانتی‌متر جدا شد. متوسط وزن هر برش حلقوی ۳ گرم بود.

- تیمار اسمزی

محلول نمکی (نمک کلرور سدیم و میزان خلوص ۹۹/۸۵ درصد) در غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (وزنی-وزنی) آماده شد. نمونه‌ها با نسبت وزنی نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۰، ۱:۱۵ و ۱:۲۰ در محلول هیپرتنیک قرار گرفتند. جهت ثابت نگه‌داشتن محلول‌های اسمزی در دماهای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد از بن ماری جوش BM402(Y9) (ساخت کشور بلژیک) استفاده شد. به‌منظور بررسی سینتیک فرآیند آبیگری اسمزی و ترسیم منحنی‌های مربوطه، در طی زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰،

مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی فرآیند آبیگری اسمزی میوه انبه را بررسی کردند؛ و همچنین فاکتورهای تأثیرگذار بر انتقال جرم شامل عامل اسمزی، دمای محلول اسمزی و زمان تماس نمونه با محلول اسمزی را بررسی کردند. اثرات ترکیبی دما، غلظت ساکارز و زمان تماس نمونه با محلول اسمزی مدل‌سازی شد و خروج آب و جذب ماده جامد به‌عنوان پاسخ با استفاده از روش سطح پاسخ با طرح CCRD^۱ بهینه‌سازی شد. شرایط بهینه با غلظت ساکارز ۵۳/۵ درجه بریکس دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و زمان غوطه‌وری ۱۶۰ دقیقه در نتیجه بالاترین میزان خروج آب ۴۲/۶٪ و کمترین میزان جذب ماده جامد ۶/۳٪ به دست آمد. Silva و همکاران (۲۰۱۲) انتقال جرم طی آبیگری اسمزی گیلاس هندی غربی را بررسی کردند. هدف اصلی کار آن‌ها بررسی خروج آب، جذب ماده جامد و کاهش وزن و محتوی رطوبتی طی فرآیند آبیگری اسمزی گیلاس هندی^۲ بود. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت گیلاس هندی با استفاده از قانون دوم فیک محاسبه گردید. آبیگری اسمزی به مدت ۱۲ ساعت در محلول اسمزی با عامل اسمزی ساکارز با غلظت ۶۵ درصد در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد بدون هم زدن و نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۴، ۱:۱۰ و ۱:۱۵ صورت گرفت. سینتیک و تغییرات درونی رخ داده طی آبیگری اسمزی گیلاس هندی ثبت شد. سینتیک خشک کردن با استفاده از مدل نفوذ شبیه‌سازی شد و دو روش بهینه‌سازی لونبرگ مارکورات^۳ و الگوریتم تکامل افتراقی^۴ جهت پیش‌بینی ضریب نفوذ استفاده شد. نتایج نشان داد که دو روش بهینه‌سازی در تخمین نفوذ به‌طور یکسان عمل کرده‌اند.

سینتیک خشک کردن برای شرح مکانیسم مایکروسکوپی و میکروسکوپی انتقال جرم و حرارت طی خشک کردن به کار می‌رود. اندازه‌گیری آنالین طی فرآیند خشک کردن زمان‌بر و مشکل است و به دست آوردن مدل‌های سینتیکی خشک کردن برای طراحی تجهیزات، بهینه‌سازی فرآیند و بهبود کیفیت محصول ضروری است مطالعه و تحقیق در راستای مدل‌سازی و سینتیک انتقال جرم در فرآیند خشک کردن اسمزی بادمجان با به‌کارگیری مدل‌های ریاضی سینتیک انتقال جرم، تاکنون صورت

¹ Central Composite Rotable Design

³ Levenberge Marquardt

² *Malpighia puniceifolia*

⁴ Differential Evolution Algorithm

۱۵۰، ۲۱۰، ۲۷۰ دقیقه برای هر دوره زمانی مشخص ۷ عدد برش حلقوی بادمجان با ابعاد یکسان (ضخامت ۱ سانتی متر و قطر ۲/۶ سانتی متر) و همچنین متوسط وزن هر برش حلقوی (۳ گرم) آماده شد و به طور مجزا در شرایط مختلف آبیگری اسمزی (محلول اسمزی شامل کلرور سدیم با غلظت های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (وزنی-وزنی)، دمای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی گراد و نسبت برش دایره ای بادمجان به محلول اسمزی ۱:۱۰، ۱:۱۵ و ۱:۲۰) قرار گرفتند. با توجه به پارامترهای مستقل آبیگری اسمزی تعداد برش های حلقوی بادمجان ۱۸۹ عدد بود. برش های حلقوی بادمجان پس از توزین و ثبت وزن با استفاده از ترازوی دیجیتال TE612 با دقت ± 0.001 گرم (ساخت کشور ژاپن)، در محلول های کلرور سدیمی قرار داده شدند. در زمان های متوالی ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۵۰، ۲۱۰، ۲۷۰ دقیقه نمونه ها از محلول خارج شده و پس از آبکشی جهت حذف محلول باقی مانده روی نمونه و خشک کردن سطح آن توسط کاغذ جاذبه الرطوبه، توزین و رطوبت نمونه های اسمز شده نیز در این زمان ها اندازه گیری و ثبت شدند.

- تعیین سینتیک انتقال جرم

سینتیک فرآیند آبیگری اسمزی به وسیله ی تخمین میزان خروج آب^۱ (WL) و میزان نفوذ ماده جامد^۲ (SG) تعیین شد (Chavan and Amarowicz, 2012). به منظور محاسبه خروج آب (WL) و نفوذ ماده جامد (SG) به ترتیب معادلات (۱) و (۲) استفاده شدند:

$$WL(\%) = \frac{(W_i X_i - W_f X_f)}{W_i} \quad (1)$$

$$SG(\%) = \frac{\left(W_f \left(1 - \frac{W_f}{100} \right) - W_i \left(1 - \frac{W_i}{100} \right) \right)}{W_i} \quad (2)$$

در معادلات فوق W_i و W_f به ترتیب وزن اولیه قبل از اسمز و وزن نهایی نمونه بعد از اسمز می باشد. X_i و X_f به ترتیب محتوی رطوبت اولیه و نهایی نمونه می باشند (El-Aouar et al., 2006).

- تعیین محتوی رطوبتی بر پایه خشک

محتوی رطوبتی بر پایه خشک بعد از آبیگری اسمزی در آون طبق استاندارد AOAC و مطابق با روش Mišljenović و همکاران (۲۰۰۹) تعیین شد و به وسیله معادله (۳) محاسبه گردید.

$$M_d = \frac{(W_i - W_d)}{W_d} \quad (3)$$

که در آن M_d محتوی رطوبتی برش های دایره ای بادمجان بر پایه خشک، W_i وزن نمونه طی آبیگری و W_d وزن نمونه خشک می باشند (Mišljenović et al., 2009).

- مدل سازی ریاضی سینتیک انتقال جرم

مطالعات زیادی درک بهتر مکانیسم انتقال جرم در طی فرآیند آبیگری اسمزی انجام شده و نتایج آن ارائه مدل های تجربی بوده است. در این پژوهش سینتیک انتقال جرم در طی فرآیند آبیگری اسمزی با دو مدل Magee (Magee و همکاران، ۱۹۸۳) و Azura (Azura و همکاران، ۱۹۹۲) که در جدول ۱ ارائه گردید، مدل سازی و مقایسه شده است. با استفاده از نرم افزار Matlab نسخه ۲/۱۷/۰۹، مدل های فوق با داده های حاصل از آزمایش ها تطبیق داده شد و ثابت های معادله به دست آمد. برای ارزیابی مدل از معیارهای ضریب همبستگی^۳ (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا^۴ (RMSE) و مجموع مربعات خطا^۵ (SSE) به ترتیب در رابطه های ۴، ۵ و ۶ استفاده گردید. میزان تطابق داده های پیش بینی شده توسط مدل با داده های آزمایشگاهی با محاسبه معیارهای ارزیابی سنجیده شد. در نهایت مدلی با حداکثر همبستگی، و با حداقل ریشه میانگین مربع خطا و حداقل مجموع مربعات خطا به عنوان مناسب ترین مدل برای توصیف سینتیک انتقال جرم طی فرآیند آبیگری اسمزی برش های حلقوی بادمجان انتخاب شد (Singh & Kaur, 2013).

¹ Water Loss ² Solid Gain ³ Regression Coefficient

⁴ Root Mean Square Error ⁵ Square Sum of Errors

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Predicted value}_i - \text{Experimental value}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\text{Predicted value}_i - \text{Average Experimental value}_i)^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Predicted value}_i - \text{Experimental value}_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$SSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Predicted value}_i - \text{Experimental value}_i)^2}{N-n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

تغییرات غلظت کلرور سدیم می‌باشند. با افزایش میزان غلظت محلول اسمزی در سه غلظت متفاوت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی / وزنی، میزان محتوی رطوبتی در طی زمان کاهش می‌یابد.

در این معادلات N تعداد مشاهدات (داده‌ها) و n تعداد ضرایب ثابت به کاررفته در هر مدل می‌باشد.

یافته‌ها

پس از آبیگری اسمزی در سه غلظت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (وزنی - وزنی)، سه دمای تحت بررسی ۳۰، ۴۵، و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت برش دایره‌ای بادمجان به محلول اسمزی ۱:۱۰، ۱:۱۵ و ۱:۲۰ و در طی زمان‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۵۰، ۲۱۰، ۲۷۰ جهت محاسبه محتوی رطوبتی، نمونه‌ها به وزن ثابت رسیده و پس از توزین، ثبت گردیدند. کاهش محتوی رطوبتی بر مبنای خشک در طی زمان در غلظت‌ها و دماهای مختلف در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

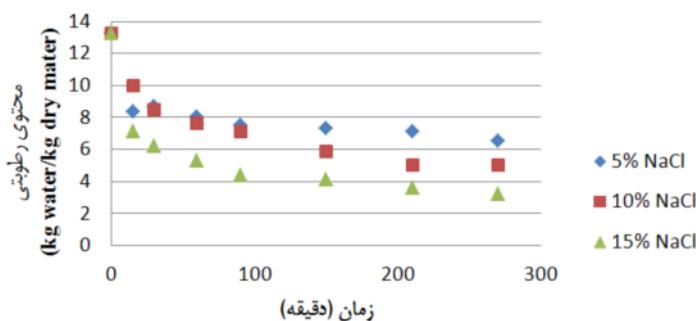
تأثیر دمای محلول اسمزی بر محتوی رطوبتی -
با توجه به شکل‌های ۱، ۲ و ۳ محتوی رطوبتی تابع تغییرات دما می‌باشند. با افزایش دما محتوی رطوبتی در طی زمان کاهش می‌یابد. البته اثر دما به نسبت اثر غلظت محلول اسمزی کمتر می‌باشد.

تأثیر غلظت محلول اسمزی بر محتوی رطوبتی -
با توجه به شکل‌های ۱، ۲ و ۳ محتوی رطوبتی تابع

تأثیر زمان محلول اسمزی بر محتوی رطوبتی -
زمان آبیگری اسمزی اثر قابل توجهی بر روی محتوی رطوبتی دارد. توجه به شکل‌های ۱، ۲ و ۳ محتوی رطوبتی در طی زمان کاهش می‌یابد.

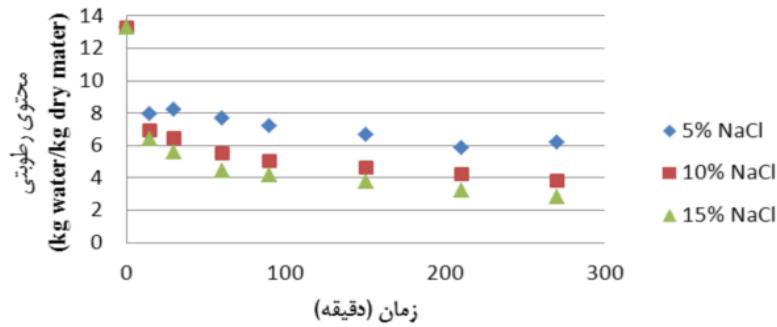
جدول ۱- مدل ریاضی مورد استفاده در تعیین سینتیک انتقال جرم

ردیف	نام مدل	معادله	منبع
۱	Magee (water loss)	$WL_t = A + k\sqrt{t}$	(Magee <i>et al.</i> , 1983)
۲	Magee (solid gain)	$SG_t = A + k\sqrt{t}$	(Magee <i>et al.</i> , 1983)
۳	Azuara (water loss)	$WL_t = \frac{S_1 t (WL_{\infty})}{1 + S_1 t}$	(Azuaa <i>et al.</i> , 1992)
۴	Azuara (solid gain)	$SG_t = \frac{S_2 t (SG_{\infty})}{1 + S_2 t}$	(Azuaa <i>et al.</i> , 1992)

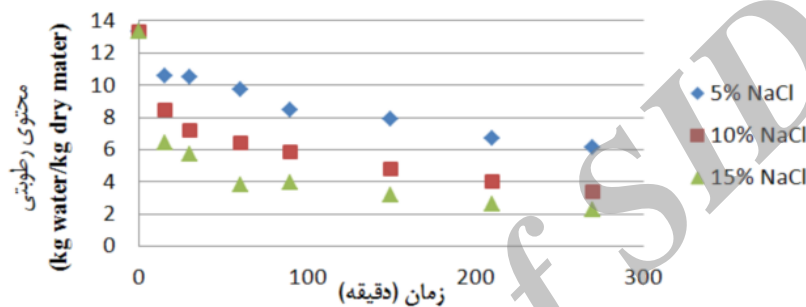


شکل ۱ - تأثیر غلظت‌های مختلف کلرور سدیم بر میزان محتوی رطوبتی طی فرآیند آبیگری اسمزی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵

مدل سازی سینتیک انتقال جرم طی فرآیند آبیگری اسمزی بادمجان



شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف کلرور سدیم بر میزان محتوی رطوبتی طی فرآیند آبیگری اسمزی در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵



شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف کلرور سدیم بر میزان محتوی رطوبتی طی فرآیند آبیگری اسمزی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵

بحث

افزایش غلظت کلرور سدیم از ۵٪ به ۱۰٪ و ۱۵٪ سبب افزایش مقادیر درصد خروج آب و جذب ماده جامد شده است. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که افزایش غلظت محلول اسمزی سبب افزایش فشار اسمزی می‌شود در نتیجه افزایش فشار اسمزی سبب افزایش نیروی محرکه جهت انتقال جرم می‌شود. به این ترتیب با افزایش غلظت محلول اسمزی، همزمان با حذف رطوبت از قارچ، مقدار کلرور سدیم بیشتری به درون بافت بادمجان نفوذ می‌کند و درصد نفوذ ماده جامد افزایش می‌یابد. همچنین هرچه غلظت محلول اسمزی بیشتر باشد، رطوبت موجود در بافت با سهولت بیشتری از بافت خارج می‌شود. بنابراین هرچه غلظت محلول اسمزی به کاررفته بیشتر باشد. نتایج مشابه توسط Cruz و Menegalli (۲۰۰۴) و Misljenovic و همکاران (۲۰۱۱) برای میوه‌ها و سبزی‌های مختلف به دست آمد.

میزان تطابق داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌های ارائه شده با داده‌های آزمایشگاهی با محاسبه معیارهای ارزیابی سنجیده شد دقت برازش مدل‌ها بر اساس متوسط شاخص‌های آماری در غلظت، دما و نسبت نمونه به محلول اسمزی با مقادیر مختلف در جدول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود. معیارهای ارزیابی مدلی با حداکثر همبستگی، و با حداقل ریشه میانگین مربع خطا و حداقل مجموع مربعات خطا می‌باشد تا به عنوان مناسب‌ترین مدل برای توصیف سینتیک انتقال جرم طی فرآیند آبیگری اسمزی انتخاب شود. در جداول ۴ میانگین معیارهای ارزیابی مقادیر خروج آب و جذب ماده جامد دو مدل Magee و Azuara با میزان تطابق داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها با داده‌های آزمایشگاهی با محاسبه معیارهای ارزیابی سنجیده شد. شکل‌های ۴ الی ۹ مقادیر خروج آب داده و جذب ماده جامد تجربی به دست آمده و داده پیش‌بینی شده توسط مدل Azuara و همکاران در دماهای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت‌های کلرور سدیم ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد در نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ را نشان می‌دهند.

جدول ۲- ضرایب مدل آوارا و مدل مگی در خروج آب و معیارهای ارزیابی مدل در شرایط مختلف فرایند آبیگری اسمزی

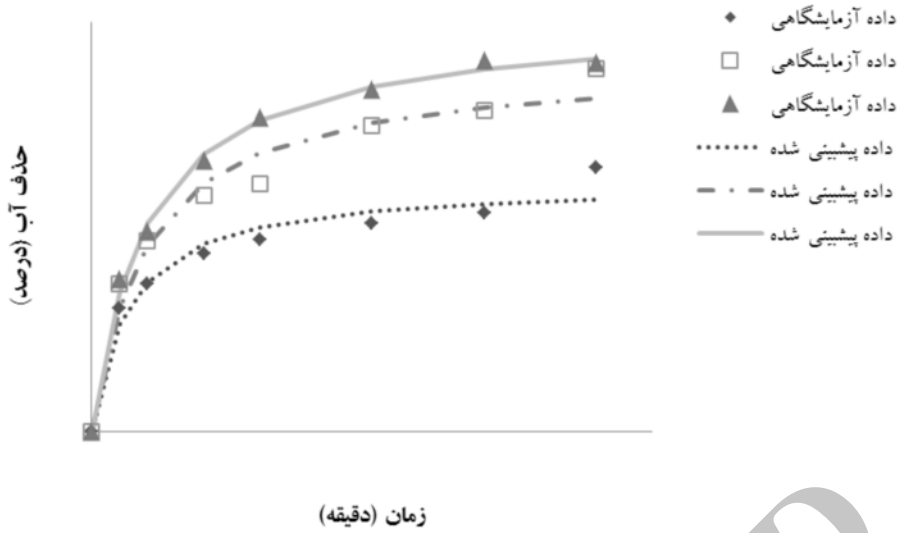
Azuara Model					Magee model					نسبت نمونه به محلول	غلظت محلول اسمزی (%)	دمای محلول اسمزی (°C)
A	K	R ²	RMSE	SSE	A	K	R ²	RMSE	SSE			
-/۰.۴۶	۲۲/۲۹	-/۰.۹۶۸۵	۱/۳۶۲	۱۱/۱۳	۴/۲۹۹	۱/۱۸۹	-/۰.۸۶۷۹	۲/۷۸۹	۴۶/۶۶	۱:۱۰		
-/۰.۵۰۲	۲۴,۳۸	-/۰.۹۶۱۲	۱/۶۶۳	۱۶/۶	۴/۷۴۴	۱/۳۲۳	-/۰.۸۸۷	۲/۸۴	۴۸/۳۸	۱:۱۵	۵	۳۰
-/۰.۴۷۰۱	۲۴/۹۶	-/۰.۹۷۲۵	۱/۴۲۵	۱۲/۱۸	۴/۸۴۹	۱/۳۳	-/۰.۸۶۶	۳/۱۴۵	۵۹/۳۴	۱:۲۰		
-/۰.۲۷۵۱	۳۷/۰۶	-/۰.۹۸۹۷	۱/۳۴۶	۱۰/۸۶	۴/۱۷۶	۱/۹۸۵	-/۰.۹۴۷۴	۲/۸۱	۴۷/۳۷	۱:۱۰		
-/۰.۳۳۷	۳۶/۱۷	-/۰.۹۷۳۳	۱/۹۸۹	۲۳/۷۳	۵/۰۳۷	۱/۹۶	-/۰.۹۳۹	۳/۰۰۲	۵۴/۰۹	۱:۱۵	۱۰	۳۰
-/۰.۲۲۴۸	۳۷/۴۳	-/۰.۹۹۳۶	-/۰.۹۷۶	۵/۷۲۱	۳/۱۱۶	۱/۹۸۴	-/۰.۹۴۹۸	۲/۷۴۱	۴۵/۰۷	۱:۲۰		
-/۰.۳۶۷۱	۳۸/۲۶	-/۰.۹۹۱۱	۱/۲۳۴	۹/۱۳۳	۶/۱۱۴	۲/۰۲۸	-/۰.۸۷۱۱	۴/۶۹	۱۳۲	۱:۱۰		
-/۰.۳۴۲۴	۴۰/۲۹	-/۰.۹۹۶۹	-/۰.۷۷۸	۳/۶۳۵	۵/۸۷۴	۲/۱۵۶	-/۰.۹۰۷۶	۴/۱۳۴	۱۰۲/۶	۱:۱۵	۱۵	۳۰
-/۰.۴۱۰۸	۳۸/۶۲	-/۰.۹۷۹۴	۱/۸۸۹	۲۱/۴۱	۶/۸۱۷	۲/۰۵۳	-/۰.۸۷۷۳	۴/۶۱۵	۱۲۷/۸	۱:۲۰		
-/۰.۴۵۱۴	۲۶/۹۲	-/۰.۹۶۸۱	۱/۶۵۹	۱۶/۵۱	۵/۰۰۸	۱/۴۴۲	-/۰.۸۷۳	۳/۳۰۷	۶۵/۶۲	۱:۱۰		
-/۰.۳۳۷۹	۳۱/۴۲	-/۰.۹۷۹۵	۱/۵۳۱	۱۴/۰۶	۴/۵۱۹	۱/۶۸۱	-/۰.۸۹۳۷	۳/۴۸۴	۷۲/۸۳	۱:۱۵	۵	۴۵
-/۰.۳۹۴۳	۲۶/۶۶	-/۰.۹۵۶۶	۱/۹۱۸	۲۲/۰۷	۴/۶۳	۱/۴۰۷	-/۰.۸۴۵۲	۳/۶۲	۷۸/۶۴	۱:۲۰		
-/۰.۳۵۴۴	۳۷/۴۵	-/۰.۹۸۶۸	۱/۴۵۳	۱۲/۶۶	۵/۶۵۱	۲/۰۰۷	-/۰.۹۰۸۷	۳/۸۲۳	۸۷/۶۹	۱:۱۰		
-/۰.۳۷۶	۳۳/۰۹	-/۰.۹۷۶۶	۱/۷۱۵	۱۷/۶۵	۵/۱۶۷	۱/۷۸۹	-/۰.۹۲۰۸	۳/۱۵۵	۵۹/۷۲	۱:۱۵	۱۰	۴۵
-/۰.۳۷۸۱	۳۳/۹۷	-/۰.۹۸۶۲	۱/۵۲	۱۳/۸۶	۵/۴۵۷	۱/۸۲۱	-/۰.۹۰۴۴	۳/۵۶	۷۶/۰۴	۱:۲۰		
-/۰.۳۵۱۸	۴۳/۵۳	-/۰.۹۸۸۸	۱/۵۵۶	۱۴/۵۳	۶/۴۹۸	۲/۳۳۶	-/۰.۹۱۴۹	۴/۲۸۲	۱۱۰	۱:۱۰		
-/۰.۴۲۳۶	۴۰/۶۹	-/۰.۹۸۶۳	۱/۶۳۳	۱۵/۹۹	۷/۱۳۹	۲/۱۸۵	-/۰.۸۸۹۴	۴/۶۳۲	۱۲۸/۷	۱:۱۵	۱۵	۴۵
-/۰.۵۴۳۷	۳۷/۵۲	-/۰.۹۹۰۸	۱/۲۴۲	۹/۲۵۳	۸/۱۸۳	۱/۹۷۴	-/۰.۸۳۷۳	۵/۲۳۲	۱۶۴/۲	۱:۲۰		
-/۰.۲۴۸۴	۲۸/۰۳	-/۰.۹۰۱۵	۲/۹۶۷	۵۲/۸۳	۲/۶۶۴	۱/۵۱۳	-/۰.۹۲۵۶	۲/۵۷۸	۳۹/۸۸	۱:۱۰		
-/۰.۷۳۱۱	۲۱/۴۹	-/۰.۹۶۱۷	۱/۴۸۵	۱۳/۲۲	۵/۶۹۶	۱/۱۰۵	-/۰.۷۶۷۳	۳/۶۵۷	۸۰/۲۶	۱:۱۵	۵	۶۰
-/۰.۴۲۷۹	۲۴/۸۶	-/۰.۹۵۳۴	۱/۹۰۷	۲۱/۸۲	۴/۶۲۷	۱/۳۰۱	-/۰.۷۸۳۶	۴/۱۰۹	۱۰۱/۳	۱:۲۰		
-/۰.۲۶۹۳	۴۳/۷۸	-/۰.۹۴۶۱	۳/۳۷۹	۶۸/۵۲	۴/۹۳۳	۲/۳۳۸	-/۰.۹۲۱۵	۳/۷۷۵	۸۵/۴۹	۱:۱۰		
-/۰.۳۳۸۹	۳۸/۹۲	-/۰.۹۸۳۲	۱/۶۹۳	۱۷/۲	۵/۵۹۲	۲/۰۹۲	-/۰.۹۲۸۲	۳/۴۹۸	۷۳/۴۲	۱:۱۵	۱۰	۶۰
-/۰.۳۷۸۶	۳۶/۶۷	-/۰.۸۶۷۹	۴/۸۲۴	۱۳۹/۶	۶/۳۷۵	۱/۹۱	-/۰.۷۴۸۳	۶/۶۵۸	۲۶۶	۱:۲۰		
-/۰.۲۷۵۸	۴۸/۸۷	-/۰.۹۹۷۶	-/۰.۷۹۴	۳/۷۸۵	۵/۴۴۳	۲/۶۲	-/۰.۹۴۰۲	۳/۹۷	۹۴/۵۵	۱:۱۰		
-/۰.۲۹۱۸	۴۹/۳۴	-/۰.۹۹۴۶	۱/۲۰۹	۸/۷۶۳	۵/۹۸۵	۲/۶۴۳	-/۰.۹۳۶۵	۴/۱۳۷	۱۰۲/۷	۱:۱۵	۱۵	۶۰
-/۰.۴۶۱۷	۳۹/۷۸	-/۰.۹۵۵۳	۲/۹۲۲	۵۱/۲۳	۷/۳۶۷	۲/۱۴۹	-/۰.۸۷۴۲	۴/۹۰۱	۱۴۴/۱	۱:۲۰		

جدول ۳- ضرایب مدل آزوارا و مدل مگی در نفوذ ماده جامد و معیارهای ارزیابی مدل در شرایط مختلف فرایند آبیگری اسمزی

Azuara Model					Magee model					نسبت نمونه به محلول	غلظت محلول اسمزی (%)	دمای محلول اسمزی (°C)
A	K	R ²	RMSE	SSE	A	K	R ²	RMSE	SSE			
۰/۰۶۱۲۵	۳/۶۳۲	۰/۹۴۵۶	۰/۲۹۸	۰/۵۳۴	۰/۸۱۲۴	۰/۱۹۵۵	۰/۸۴۳۲	۰/۵۰۶۸	۱/۵۴۱	۱:۱۰		
۰/۰۵۹۲	۳/۳۳۴	۰/۹۸۵۵	۰/۱۳۸	۰/۱۱۵	۰/۷۵۹۲	۰/۱۷۶۲	۰/۸۴۲۲	۰/۴۵۸۴	۱/۲۶۱	۱:۱۵	۵	۳۰
۰/۳۶۲۴	۳/۰۸۹	۰/۹۴۸۵	۰/۲۴۵	۰/۳۶۲	۰/۶۹۱	۰/۱۶۴۶	۰/۸۳۵۶	۰/۴۳۹	۱/۱۵۶	۱:۲۰		
۰/۰۱۸۲	۶/۱۳۸	۰/۹۳۹۸	۰/۴۸۲	۱/۳۹۸	۰/۳۷۶	۰/۳۱۷	۰/۹۴۳	۰/۴۶۹۷	۱/۳۲۳	۱:۱۰		
۰/۰۰۷۹۶	۷/۲۲۵	۰/۹۵۶۶	۰/۴۰۶	۰/۹۹۱	-۰/۱۳۱	۰/۳۱۷	۰/۹۵۲۷	۰/۴۲۴۵	۱/۰۸۱	۱:۱۵	۱۰	۳۰
۰/۰۱۳۷۶	۷/۰۰۲	۰/۹۴۴۷	۰/۴۹۶	۱/۴۸۱	۰/۲۳۱۸	۰/۳۴۷۵	۰/۹۷۸	۰/۳۱۳۳	۰/۵۸۸۸	۱:۲۰		
۰/۰۲۹۳۹	۱۱/۵۹	۰/۸۷۲۷	۱/۴۷۷	۱۳/۰۹	۱/۳۹۸	۰/۶۲۱۹	۰/۸۱۵۵	۱/۷۷۸	۱۸/۹۷	۱:۱۰		
۰/۰۲۴۶۷	۱۰/۸۳	۰/۹۳۳۷	۰/۹۱۹	۵/۰۶۹	۱/۰۶۶	۰/۵۸	۰/۹۵۳۷	۰/۷۶۷۸	۳/۵۳۷	۱:۱۵	۱۵	۳۰
۰/۰۲۸۹۷	۹/۴۶۶	۰/۹۲۳	۰/۸۷۳	۴/۵۷۵	۱/۱۶۲	۰/۵۰۹۷	۰/۹۴۷۳	۰/۷۲۲۶	۳/۱۳۳	۱:۲۰		
۰/۴۲۱۶	۲/۶۸	۰/۹۰۴۵	۰/۳۲۰	۰/۶۱۵	۱/۱۵۳	۰/۱۲۴۸	۰/۵۲۴۳	۰/۷۱۴۵	۳/۰۶۳	۱:۱۰		
۰/۲۱۰۳	۳/۲۷۲	۰/۸۴۹۷	۰/۴۹۳	۱/۴۶	۱/۱۰۷	۰/۱۷۴۹	۰/۶۸۲۵	۰/۷۱۶۹	۳/۰۸۴	۱:۱۵	۵	۴۵
۰/۴۲۳۹	۴/۸۳۵	۰/۹۵۹۲	۰/۳۶۶	۰/۸۰۵	۰/۰۶۲	۰/۲۲۷۴	۰/۵۶۷۲	۱/۱۹۴	۸/۵۵۷	۱:۲۰		
۰/۰۱۴۰۷	۹/۰۱۴	۰/۸۸۳۷	۰/۹۲۲	۵/۱۰۲	۰/۴۵۷۱	۰/۴۳۹۱	۰/۹۵۳۴	۰/۵۸۳۴	۲/۰۴۲	۱:۱۰		
۰/۰۴۷۶۲	۸/۶۲۱	۰/۹۶۶۲	۰/۵۴۳	۱/۷۷۲	۱/۶۳	۰/۴۶۷۱	۰/۹۰۲۳	۰/۹۳۴۱	۵/۱۲۴	۱:۱۵	۱۰	۴۵
۰/۰۴۹۳۸	۸/۶۱۸	۰/۹۲۸۳	۰/۸۰۳	۳/۸۷۳	۱/۶۳۶	۰/۴۷۱۸	۰/۸۹۳۲	۰/۹۸۰۹	۵/۷۷۳	۱:۲۰		
۰/۰۳۱۵۴	۱۱/۸۷	۰/۹۵۶۱	۰/۸۳۱	۴/۱۴۵	۱/۵۷۱	۰/۶۴۱۴	۰/۹۴۳۹	۰/۹۴	۵/۳۰۱	۱:۱۰		
۰/۰۲۷۶۱	۱۲/۲۹	۰/۹۴۲۵	۰/۹۷۷	۵/۷۳۶	۱/۳۸۱	۰/۶۶۳۵	۰/۹۵۷۴	۰/۸۴۱۴	۴/۲۴۸	۱:۱۵	۱۵	۴۵
۰/۰۳۷۱۶	۱۱/۳۷	۰/۹۴۹۶	۰/۸۶۳	۴/۴۷۵	۱/۷۴۸	۰/۶۱۸۲	۰/۹۳۳۴	۰/۹۹۲۳	۵/۹۰۸	۱:۲۰		
۰/۰۰۰۱۳	۱۹۷/۲	۰/۸۲۹۹	۱/۱۵۸	۸/۰۴۷	۰/۷۴۹	۰/۳۹۶۳	۰/۶۷۲۹	۱/۴۸۷	۱۳/۲۷	۱:۱۰		
۰/۰۰۹۳۷	۱۹۱/۲	۰/۹۸۴۲	۰/۲۳۳	۰/۳۲۵	-۰/۷۰۳	۰/۲۹۰۴	۰/۸۸۸۷	۰/۶۱۷۶	۲/۲۸۹	۱:۱۵	۵	۶۰
۰/۰۰۵۳۱	۱۸۷/۱	۰/۶۷۲	۰/۵۵۸	۱/۸۷۳	-۰/۰۰۴	۰/۱۳۴۲	۰/۶۸۳۵	۰/۵۴۸۸	۱/۸۰۷	۱:۲۰		
۰/۰۰۸۵۳	۱۶/۲۵	۰/۸۴۳۵	۱/۸۶۳	۲۰/۸۳	-۰/۱۱۳	۰/۷۱۸۲	۰/۸۴۰۴	۱/۸۸۱	۲۱/۲۳	۱:۱۰		
۰/۰۰۴۷۳	۱۵/۷۴	۰/۹۱۳	۰/۹۷۷	۵/۷۲۸	-۰/۱۸۸	۰/۵۳۶۶	۰/۹۴۷۹	۰/۷۵۶۲	۳/۴۳۱	۱:۱۵	۱۰	۶۰
۰/۰۰۷۴۹	۱۱/۲۶	۰/۶۶۶۷	۱/۸۵۴	۲۰/۶۲	۰/۱۵۲۰	۰/۴۵۷۱	۰/۷۳۲۱	۱/۶۶۲	۱۶/۵۷	۱:۲۰		
۰/۰۱۲۱۳	۱۸/۳۹	۰/۹۲۱۷	۱/۵۰۲	۱۳/۵۴	۰/۵۳۸۹	۰/۸۷۹۵	۰/۹۷	۰/۹۲۹۹	۵/۱۸۸	۱:۱۰		
۰/۰۱۹۶۴	۱۴/۹۸	۰/۹۱۶۷	۱/۴۰۵	۱۱/۸۴	۱/۰۳۷	۰/۷۸۶۹	۰/۹۴۵۳	۱/۱۳۸	۷/۷۷۴	۱:۱۵	۱۵	۶۰
۰/۰۱۸۱۱	۱۲/۰۷	۰/۹۲۵۲	۱/۰۸۴	۷/۰۵۲	۰/۶۵۷۷	۰/۶۲۹۴	۰/۹۱۱	۱/۱۸۳	۸/۳۹۳	۱:۲۰		

جدول ۴- میانگین معیارهای ارزیابی مقادیر خروج آب و جذب ماده جامد دو مدل آزوارا و مگی

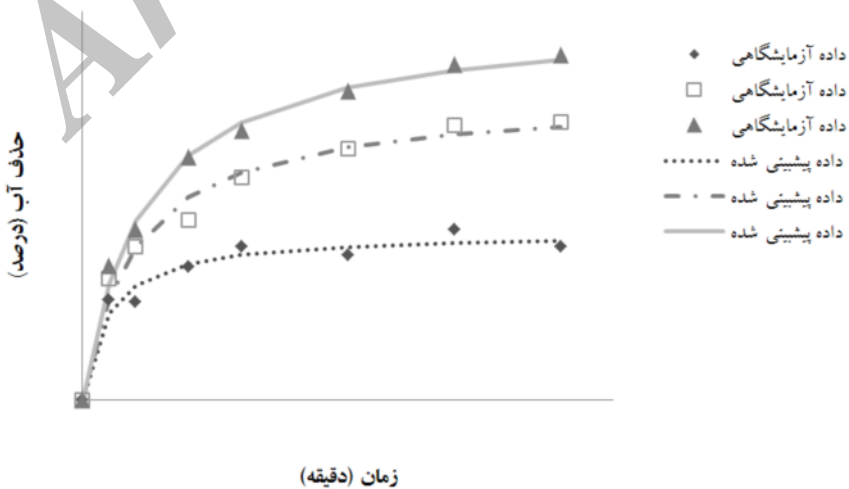
Azuara Model			Magee model			نسبت نمونه به محلول	نوع انتقال جرم
R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE		
۰/۹۷۰۹	۱/۷۵	۲۲/۲۱۷۵	۰/۹۰۷۸	۳/۵۵۸۲	۷۸/۸۰	۱:۱۰	خروج آب
۰/۹۷۹۲	۱/۵۲۱۷	۱۴/۵۳۸۶	۰/۸۹۶۶	۳/۶۱۵۴	۸۰/۳	۱:۱۵	
۰/۹۶۱۷	۲/۰۶۹۲	۳۳/۰۱۶	۰/۸۵۴۰	۴/۲۸۶۷	۱۱۸/۰۵	۱:۲۰	
۰/۸۹۹۷	۱/۱۰۴۱	۷/۴۷۷۷	۰/۸۳۴	۱/۰۳۲۲	۷/۹۹۲	۱:۱۰	جذب ماده جامد
۰/۹۳۸۶	۰/۶۷۶۷	۳/۶۷۰۶۶	۰/۸۹۶۹	۰/۷۳۸۳	۳/۵۳۶۵	۱:۱۵	
۰/۸۷۹۶	۰/۷۹۳۵	۵/۰۱۲۸	۰/۸۳۱۲	۰/۸۹۲۸	۵/۷۶۵۰	۱:۲۰	



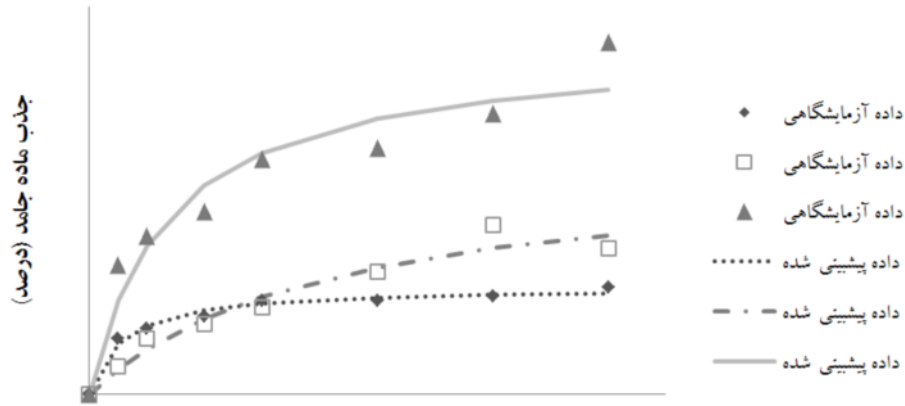
شکل ۴- مقادیر خروج آب داده تجربی به دست آمده و داده پیش‌بینی شده توسط مدل آزارا و همکاران در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ و غلظت محلول اسمزی ۵% (◆)، ۱۰% (□) و ۱۵% (▲)



شکل ۵- مقادیر خروج آب داده تجربی به دست آمده و داده پیش‌بینی شده توسط مدل آزارا و همکاران در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ و غلظت محلول اسمزی ۵% (◆)، ۱۰% (□) و ۱۵% (▲)

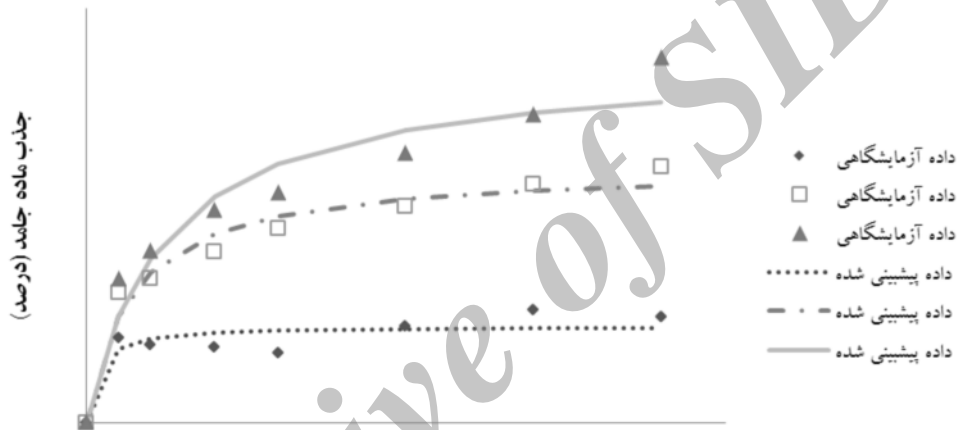


شکل ۶- مقادیر خروج آب داده تجربی به دست آمده و داده پیش‌بینی شده توسط مدل آزارا و همکاران در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ و غلظت محلول اسمزی ۵% (◆)، ۱۰% (□) و ۱۵% (▲)



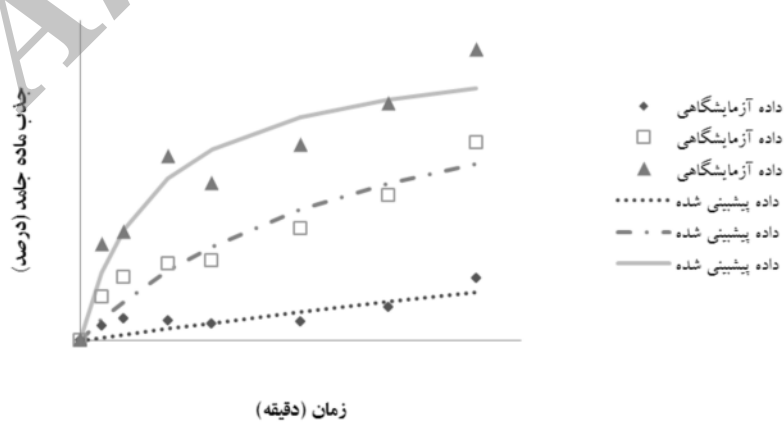
زمان (دقیقه)

شکل ۷- مقادیر جذب ماده جامد داده تجربی به دست آمده و داده پیش بینی شده توسط مدل آزارا و همکاران در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد، نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ و غلظت محلول اسمزی ۵% (◇)، ۱۰% (□) و ۱۵% (△)



زمان (دقیقه)

شکل ۸- مقادیر جذب ماده جامد داده تجربی به دست آمده و داده پیش بینی شده توسط مدل آزارا و همکاران در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد، نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ و غلظت محلول اسمزی ۵% (◇)، ۱۰% (□) و ۱۵% (△)



زمان (دقیقه)

شکل ۹- مقادیر جذب ماده جامد داده تجربی به دست آمده و داده پیش بینی شده توسط مدل آزارا و همکاران در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد، نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ و غلظت محلول اسمزی ۵% (◇)، ۱۰% (□) و ۱۵% (△)

بیشترین تطابق را نشان می‌دهد. نتایج مشابه بر روی چغندر توسط Kaur و Singh (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

مشکل اصلی خشک‌کردن با هوای داغ، مصرف انرژی بالا و ناپایداری ترکیبات غذا در برابر حرارت می‌باشد. با کاهش زمان فرآیند و همچنین تسهیل و تسریع فرآیند خشک‌کردن می‌توان بر این مشکل غلبه کرد. در میان شیوه‌های نگهداری مواد غذایی، فرآیند آبیگری اسمزی به دلیل دمای پایین، انرژی کمتر، کاهش ضایعات مواد غذایی و کیفیت خوب محصول اثبات کرده است که یکی از مفیدترین تکنیک‌های خشک‌کردن مواد غذایی می‌باشد. سینتیک انتقال جرم تابع تغییرات غلظت سدیم کلرید و دما در طی زمان می‌باشد با افزایش میزان غلظت محلول اسمزی در سه غلظت متفاوت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد و افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ میزان محتوی رطوبتی کاهش می‌یابد. مدل پیشنهادی Azuara با حداکثر ضریب همبستگی و با حداقل ریشه میانگین مربع خطا و مجموع مربعات خطا نسبت به مدل Magee بهتر می‌تواند سینتیک انتقال جرم را توصیف کند و همچنین مدل‌ها در شرایط نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ با ضرایب همبستگی خروج آب ۰/۹۷۹۲ و جذب ماده جامد ۰/۹۳۸۶ در مقایسه با نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۰ و ۱:۲۰ بیشترین تطابق را نشان می‌دهد.

منابع

Akonor1, P. T. & Tortoe1, C. (2014). Effect of Blanching and Osmotic Pre-treatment on Drying Kinetics, Shrinkage and Rehydration of Chayote (*Sechium edule*) during Convective Drying. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(8), 1215-1229.

AOAC, Official Methods of Analysis (2000), Washington, USA.

Chavan, U. D. & Amarowicz, R. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2), 2002-2009.

Cruz, A. G. & Menegalli, F. C. (2004). Osmotic dehydration and drying of aubergine (*Solanum Melongena*). *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, August 22-25, São Paulo, Brazil.

با افزایش میزان دما در سه دمای متفاوت ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، میزان جذب ماده جامد افزایش می‌یابد. همچنین در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بافت سلولی نرم می‌شود. انجام فرآیند اسمزی در دماهای بالاتر موجب تغییر در نفوذپذیری دیواره سلولی می‌شود، در نتیجه نفوذپذیری بافت در برابر خروج رطوبت و ورود کلرورسدیم افزایش می‌یابد. استفاده از دماهای بالاتر منجر به تورم و پلاستیکی شدن غشاء سلولی و در نتیجه انتشار سریع‌تر رطوبت از بافت می‌شود. همچنین در دماهای بالاتر ویسکوزیته محلول اسمزی کمتر است، بنابراین به دلیل کاهش ویسکوزیته محلول اسمزی، انتشار رطوبت در سطح تماس برش‌های حلقوی بادمجان با محلول اسمزی بهتر صورت می‌گیرد. با این حال در این شرایط باید به درصد نفوذ ماده جامد نیز توجه داشت. در عین حال دما ترکیب شیمیایی و خصوصیات محصول را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش دما علاوه بر افزایش سرعت انتقال جرم، منجر به افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی می‌شود. باید این امر در انتخاب دمای بهینه فرآیند مورد توجه قرار گیرد. نتایج مشابه توسط Cruz و Menegalli (۲۰۰۴) و Sereno و همکاران (۲۰۰۱) برای میوه‌ها و سبزی‌های مختلف به دست آمد.

زمان بر روی جذب ماده جامد اثر کمتری دارد و همین‌طور خروج آب بیشترین تغییرات را در طی زمان نشان می‌دهد. در زمان شروع فرآیند به دلیل افزایش نیروی محرکه بین نمونه و محلول هیپرتونیک، بیشترین نرخ انتقال جرم مشاهده می‌شود. با گذشت ۱۲۰ دقیقه از فرآیند غلظت محلول اسمزی رقیق‌تر شده و نیروی محرکه کاهش یافت در نتیجه نرخ انتقال جرم به حالت تعادلی رسید و تقریباً آبیگری اسمزی روندی ثابت دارد. نتایج مشابه توسط Sunjka و Raghavan (۲۰۰۴)، Chavan و Amarowicz (۲۰۱۲) و Rezagah و همکاران (۲۰۱۰) برای میوه‌ها و سبزی‌های مختلف به دست آمد.

با توجه به جدول ۴ مدل پیشنهادی آزورا و همکاران با حداکثر همبستگی، و با حداقل ریشه میانگین مربع خطا و مجموع مربعات خطا نسبت به مدل مگی بهتر می‌تواند سینتیک انتقال جرم را توصیف کند و همچنین مدل‌ها در شرایط نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۵ با ضرایب همبستگی خروج آب ۰/۹۷۹۲ و جذب ماده جامد ۰/۹۳۸۶ در مقایسه با نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱:۱۰ و ۱:۲۰

- El-Aouar, A. A., Azoubel, P. M., Barbosa Jr, J. L. & Xidieh Murr, F. E. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.
- EL-Mesery, H. S. & Mwithiga, G. (2012). The drying of onion slices in two types of hot-air convective dryers. *African Journal of Agricultural Research*, 7(30), 4284-4296.
- Kaur, K. & Singh, A. K. (2013). Mass transfer kinetics and optimization during osmotic dehydration of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(8), 1-8.
- Misljenovic, N. M., Koprivica, G.B., Pezo, L. L., Levi, L. B., Curcic, B. L. J., Filipovic, V. S. & Nicetin, M. R. (2012). Optimization of the osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses. *Thermal science*, 16(1), 43-52.
- Misljenovic, N. M., Koprivica, G. B., Jevric, L. R. & Levic, L. J. B. (2011). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses. *Romanian Biotechnological Letters*, 16(6), 6790-679.
- Mišljenović, N. M., Koprivica, G. B., Lević, Bojana, L. B., Filipčev, V. & Kuljanin, T. A. (2009). Osmotic dehydration of red cabbage in sugar beet molasses – mass transfer kinetics. 2009 . Original Scientific paper. 40: 145-154
- Mouraa, C. P., Massona, M. L. & Yamamotoa, C. I. (2005). Effect of osmotic dehydration in the apple (*Pyrus malus*) varieties gala, gold and fuji. *Engenharia Térmica (Thermal Engineering)*, 4(1), 46-49.
- Ničetin, M., Filipović, V., Knežević, V., Čurčić, B., Šuput, D., Kuljanin, T. & Pezo, L. (2013). Mass transfer kinetics and efficiency of osmotic dehydration of fish. The 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology, May 15-17, Novi Sad, Serbia.
- Rezagah, M. E., Kashaninejad, M., Mirzaei, H. & Khomeiri, M. (2010). Osmotic dehydration of Button mushroom, Fickian diffusion In Slab Configuration. *Latin American Applied Research*, 40, 23-26.
- Silva, M. A., Silva, Z. E., Mariani, V. C. M. & Sébastien Darche, S. (2012). Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *LWT - Food Science and Technology*, 45, 246-252.
- Sereno, A. M., Moreira, R. & Martinez, E. (2001). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 47, 43-49.
- Sunjka, P. S. & Raghavan, G. S. V. (2004). Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries. *Canadian Biosystems Engineering*, 46(3), 35-40.
- Tortoe, C., Orchard, J. & Beezer, A. (2009). Effect of agitation and antagonism between sucrose and sodium chloride on mass transfer during osmo-dehydration in plant materials. *International Food Research Journal*, 16, 521-530.
- Oladejo, D., Ade-Omowaye, B. I. O. & Abioye Adekanmi, O. (2013). Experimental Study on Kinetics, Modeling and Optimisation of Osmotic Dehydration of Mango (*Mangifera Indica* L). *The International Journal Of Engineering And Science*, 2(4), 1-8.
- Wankhadea, P. K., Sapkala, R. S. & Sapkalb, V. S. (2013). Drying Characteristics of Okra slices on drying in Hot Air Dryer. *Procedia Engineering*, 51, 371-374.