

## سینتیک نفوذ ترکیبات فنولی پسماند انگور در ژل آلوه‌ورا حین آبگیری اسمزی

الهام آذرپژوه<sup>1\*</sup> - پروین شرایعی<sup>2</sup> - فرزاد غیبی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1396/06/28

تاریخ پذیرش: 1396/11/04

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی سینتیک نفوذ ترکیبات عملگرایی فنولی موجود در پسماند انگور (آرگول) در ژل آلوه‌ورا انجام شد. برش‌های استوانه‌ای از آلوه‌ورا در محلول اسمزی با غلظت‌های مختلف ساکارز (40، 50 و 60 درصد) و آرگول (10، 20 و 30 درصد) در دمای ثابت 50 درجه سلسیوس به مدت 30، 60، 90 و 120 دقیقه غوطه‌ور شدند. نسبت میوه به محلول اسمزی 1 به 4 (وزنی/حجمی) در نظر گرفته شد. سینتیک انتقال جرم و پیش‌بینی مقادیر تعادلی از دست دادن آب و جذب مواد جامد با استفاده از مدل دو پارامتری آروارا تعیین گردیدند. ضرایب نفوذ موثر از دست دادن رطوبت و جذب مواد با استفاده از مدل اصلاح شده قانون دوم فیک پیش‌بینی گردید. بررسی‌ها نشان دادند که مقادیر از دست دادن آب و جذب مواد جامد به صورت غیرخطی در برابر مدت زمان غوطه‌وری افزایش یافت و میزان جذب مواد جامد در ابتدای فرآیند سریع و در ادامه کندتر شد. مدل آروارا با قابلیت پیش‌بینی مطلوب نقاط تعادلی، مدلی مناسب برای برازش داده‌های تجربی بود. ضرایب نفوذ موثر با افزایش غلظت ساکارز و ترکیبات فنولی به ترتیب از 40 به 50 درصد و از 10 تا 20 درصد، برای هر دو پارامتر از دست دادن آب و جذب مواد جامد افزایش یافتند. ضریب نفوذ موثر مواد جامد بین  $10^{-9} \times 0/61$  تا  $10^{-9} \times 4/23$  متر مربع بر ثانیه و ضریب نفوذ آب بین  $10^{-9} \times 2/13$  تا  $10^{-9} \times 2/77$  مترمربع بر ثانیه متغیر بود.<sup>9-</sup>

**واژه‌های کلیدی:** آلوه‌ورا، اسمز، پسماند انگور، انتقال جرم، ترکیبات فنولی.

### مقدمه

می‌توان تخمین زد که سالیانه حدود 90 هزار تن پسماند انگور به‌عنوان ضایعات تولید و دور ریخته می‌شود (13/5 تا 14/5 درصد میزان تولید آب‌میوه، پسماند انگور تولید می‌شود (Galanakis, 2013)). پسماند انگور حاوی آب، پروتئین، چربی، کربوهیدرات ویتامین و مواد آلی معدنی و ترکیبات فنولی شامل (تانن، اسید فنولیک و آنتوسیانین‌ها) می‌باشد (Rozek et al., 2010). ترکیبات فنولی استخراج‌شده از پسماند انگور با فعالیت ضد اکسایشی خود شناخته می‌شوند که باعث کند شدن سرعت پیری شده و خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن شایع همچون سرطان و بیماری‌های قلبی عروقی را کاهش می‌دهند (Karacabey et al., 2010). با توجه به افزایش مصرف میان وعده‌ها در بین کودکان و دانش‌آموزان، انتخاب میان وعده‌های غذایی مناسب باعث افزایش ارزش تغذیه‌ای و سلامت بخشی آن‌ها می‌گردد. ژل آلوه‌ورا حاوی ترکیباتی از قبیل ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و مواد معدنی نظیر آلومین فامودین، آنتراکینون، ایزوبارالوئین، و صمغ می‌باشد. بنابراین، ژل آلوه‌ورا به‌عنوان یک بسته مناسب به منظور انتقال ترکیبات ضروری برای بدن (مانند انواع ترکیبات

امروزه محدوده وسیعی از افزودنی‌ها با اهداف گوناگون در تهیه فرآورده‌های غذایی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. اهمیت این افزودنی‌ها به‌حدی است که بدون بهره‌گیری از آنها، تولید و مصرف بسیاری از فرآورده‌های غذایی تقریباً غیرممکن می‌شود. یکی از مهم‌ترین افزودنی‌های غذایی، ترکیبات ضد اکسایشی سنتزی می‌باشند که کاربرد آنها در مواد غذایی بدلیل ایمن نبودن محدود می‌باشد (Teixeira et al., 2004). یکی از منابع با ارزش برای تولید افزودنی‌های طبیعی (ترکیبات ضد اکسایشی)، ضایعات محصولات کشاورزی همانند پسماند انگور حاصل از کارخانه‌های صنایع تبدیلی می‌باشند (Galanakis, 2013; Louli et al., 2004; Paramás et al., 2004). میزان تولید انگور در سال زراعی 93-94 حدود 3/2 میلیون تن برآورد شده است (آمارنامه وزرات کشاورزی سال 1395) و طبق نظر کارشناسان، 20 درصد از انگور در تولید آب میوه استفاده می‌گردد که معادل تقریباً 6/5 میلیون تن در سال می‌باشد. بنابراین،

\* - نویسنده مسئول: (Email: azarpazhooh@gmail.com)  
DOI: 10.22067/ifstrj.v14i5.67502

۳ و ۲: به ترتیب استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر غلظت ساکارز و آرگول بر سینتیک انتقال جرم حین آبیگری اسمزی ژل آلوه‌ورا و تعیین ضریب نفوذ مؤثر ترکیبات فنولی و کاهش رطوبت سطحی با استفاده از معادله دو پارامتری آژوارا انجام شد.

## مواد و روش‌ها

برگ‌های آلوه‌ورا رقم *Aloe barbandensis* Miller از گلخانه آلوه پردیس واقع در مشهد، پسماند انگور قرمز (آرگول) از شرکت فرآورده‌های غذایی آستان قدس رضوی، آگار و شکر از بازار تهیه گردیدند. ژل آلوه‌ورا و پسماند انگور تا زمان استفاده در فریزر در دمای منفی 18 درجه سلسیوس نگهداری شدند. سایر مواد شیمیایی مورد نیاز با درجه تجزیه‌ای از شرکت‌های سیگما و مرک خریداری شدند.

### تهیه ژل آلوه‌ورا با آگار

ابتدا ژل‌های آلوه‌ورا توسط دستگاه خردکن کاملا خرد و یکنواخت شدند. سپس، محلول پودر آگار از مخلوط کردن 4 گرم آگار با 60 میلی‌لیتر آب مقطر در دمای 85 درجه سلسیوس تهیه شد. محلول آگار تهیه شده با ژل آلوه‌ورا خرد شده مخلوط و به مدت 2 ساعت جهت بستن ژل در داخل یخچال با دمای 4 درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس توسط قالب استوانه‌ای با ابعاد 20×20 میلی‌متر برش داده شدند و رطوبت سطحی برش‌های تهیه شده با کاغذ جاذب رطوبت گرفته و وزن آن‌ها مشخص گردید.

### روش تهیه ترکیبات فنولی از پسماند انگور (آرگول)

ابتدا 100 گرم پسماند انگور به دقت وزن شده و در یک بشر حاوی 400 میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد. استخراج عصاره از نمونه‌ها با استفاده از حلال آب انجام شد. سپس محلول در شرایط تحت خلاء صاف گردید و با تبخیرکننده دوار تحت خلاء (Laborota 4000 efficient، آلمان) در دمای 45 درجه سلسیوس تا حد امکان آبیگری و تغلیظ گردید (Sotillo, Hadley, & Holm, 1994).

### آبیگری اسمزی

به منظور بررسی نفوذ ترکیبات فنولی در بافت میوه آلوه‌ورا، محلول‌های حاوی عصاره پسماند انگور با غلظت‌های 10، 20 و 30 درصد (وزنی/وزنی) تهیه شد و سپس غلظت مواد جامد محلول در آن تا رسیدن به درجه بریکس نهایی 40، 50 و 60 درصد با اضافه کردن ساکارز تنظیم شد. برش‌های استوانه‌ای ژل آلوه‌ورا توزین و در محلول‌های اسمزی غوطه‌ور گردید. نسبت نمونه‌های به محلول اسمزی 1 به 4 در نظر گرفته شد. فرآیند اسمز در حمام بخار با دمای ثابت 50 درجه سلسیوس (براساس مطالعات تجزیه حرارتی ترکیبات

صداکسایشی) مطرح می‌باشد. به منظور غنی‌سازی میان وعده‌های غذایی از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد که یکی از روش‌های نوین استفاده از نفوذ ترکیبات عملگرا با استفاده از فرآیند اسمزی می‌باشد. فرآیند اسمز یک فناوری قابل دسترس برای غنی‌سازی برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها با ترکیبات فراسودمند است، که می‌تواند منجر به تولید غذاهای فراسودمند نوین و ایجاد فرصت‌های تجاری جدید شود. ترکیباتی که بیشتر در ماده غذایی نفوذ می‌کنند شامل ترکیبات فنولی، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها، آنزیم پکتین متیل استراز (Kirtil et al., 2014)، پروبیوتیک‌ها و فلاونوئیدها هستند (Bellary et al., 2014). انتقال جرم از نوع نفوذ ترکیبات عملگرا طی آبیگری مواد غذایی فرآیندی بسیار پیچیده و شامل سازوکارهای مختلفی نظیر نفوذ مولکولی، حرکت در لوله‌های موئین، نفوذ مایع در خلل و فرج ماده جامد، جریان هیدرودینامیکی و یا نفوذ سطحی می‌باشد (Rózek et al., 2010). خروج رطوبت مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده فرآیند آبیگری محسوب می‌شود در ضمن فرآیند، با توجه به اینکه سازوکارهای مختلفی در انتقال جرم مؤثر می‌باشند، بررسی هر سازوکار و اندازه‌گیری میزان انتقال جرم در هر یک دشوار به نظر می‌رسد. از این رو در چنین فرآیندهایی از توصیف نفوذ یا نفوذ مؤثر و برای بیان مفهوم آن از قانون فیک استفاده می‌شود. در این راستا توسعه مدل مناسب برای مطالعه رفتار فرآیندهای آبیگری و پدیده‌های نفوذ مواد جامد و خروج آب از اهمیت بالایی برخوردار است (Azarpazhooh et al., 2010). هدف از فرآیند مدل‌سازی، برازش داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌های تجربی پیشنهادی و انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت بررسی روند تغییرات ماده غذایی طی فرآیند آبیگری اسمزی، خشک کردن، طراحی خشک‌کن‌های صنعتی مناسب و یا بهبود سامانه‌های مورد استفاده است (Bergman et al., 2011). قانون دوم فیک به‌طور گسترده‌ای به‌منظور مدل‌سازی انتقال جرم آب و مواد جامد طی آبیگری اسمزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که تغییر در ساختار منافذ مواد غذایی ضریب نفوذ را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در فرآورده‌های متخلخل‌تر، ضریب نفوذ رطوبت به‌خاطر امکان تحرک بیشتر، بالاتر است (Fito et al., 2001). اگرچه Crank (1949)، قانون فیک را برای اشکال تیغه، استوانه و کره در شرایط مرزی مختلف گسترش داد، اما لازم است که مقادیر تجربی کاهش رطوبت تعادلی ( $M_L$ ) و مقادیر ضریب نفوذ مؤثر (D) مشخص شود. به همین منظور معادله دو پارامتری که قادر به پیش‌بینی مقادیر  $M_L$  است، توسط Azuara و همکاران (1992) ارائه شد. این مدل توسط Azarpazhooh و Ramaswamy (2009 a) به‌منظور تعیین مقادیر تعادلی رطوبت و جذب مواد به‌کار گرفته شد.

براساس اطلاعات موجود، تاکنون مطالعه‌ای در رابطه با نفوذ ترکیبات فنولی در طی فرآیند اسمز در ژل آلوه‌ورا در دسترس نیست.

و  $1/S_2$  بسیار بیشتر شود (یعنی  $t$  به  $e$  میل کند)، مقادیر کاهش رطوبت  $ML_t$  و جذب مواد جامد  $SG_t$  به مقادیر تعادلی یعنی  $ML_e$  و  $SG_e$  نزدیک می‌شود.

رابطه 3 می‌تواند به حالت خطی زیر بیان شود:

$$\frac{t}{ML_t} = \frac{1}{S_1(ML_e)} + \frac{t}{ML_e} \quad (5)$$

به‌طور مشابه برای جذب مواد جامد (رابطه 6) بیان می‌شود:

$$\frac{t}{SG_t} = \frac{1}{S_2(SG_e)} + \frac{t}{SG_e} \quad (6)$$

کاهش رطوبت تعادلی و جذب مواد جامد در حالت تعادل به ترتیب

از شیب نمودارهای  $t/ML_t$  و  $t/SG_t$  در برابر زمان  $t$  محاسبه می‌شود (Sutar et al., 2007; Azarpazhooh et al., 2009 b).

### تعیین ضریب نفوذ موثر

با استفاده از قانون دوم فیک، ضریب نفوذ موثر در انتقال رطوبت و جذب مواد جامد محاسبه شد. ضریب نفوذ مؤثر در یک استوانه محدود با داشتن مقادیر کاهش رطوبت و جذب مواد جامد تعیین می‌شود (رابطه 7):

$$k_{mfc} = 056e^{-8.25/a^2} Dt \quad (7)$$

که در رابطه 7،  $K_{mfc}$  غلظت جرمی ناپایا در یک استوانه محدود و  $a$  قطر استوانه می‌باشد.

برای کاهش رطوبت:

$$K_{mfcw} = \frac{M_e x_e - M_t x_t}{M_e x_e - M_0 x_0} = \frac{ML_e - ML_t}{ML_e - ML_0} \quad (8)$$

که  $ML_t, ML_e$  در رابطه 8 و  $ML_e$  به ترتیب کاهش رطوبت نمونه‌ها در ابتدای فرآیند، در زمان  $t$  و در حالت تعادل هستند.

به‌طور مشابه برای جذب مواد جامد داریم:

$$K_{mfes} = \frac{M_e s_e - M_t s_t}{M_e s_e - M_0 s_0} = \frac{SG_e - SG_t}{SG_e - SG_0} \quad (9)$$

که در رابطه 9،  $G_t, SG_e$  و  $SG_e$  به ترتیب مقادیر جذب مواد جامد در ابتدای فرآیند، در زمان  $t$  و در حالت تعادل می‌باشند. ضریب نفوذ مؤثر آب ( $D_{ew}$ ) و مواد جامد ( $D_{es}$ ) در نمونه‌های تحت فرآیند اسمز از

رسم نمودارهای  $\ln \frac{SG_e - SG_t}{SG_e - SG_0}$  و  $\ln \frac{ML_e - ML_t}{ML_e - ML_0}$  در برابر زمان  $t$  تعیین می‌شوند. برازش نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شد. ضریب تبیین ( $R^2$ ) به منظور تعیین مناسب بودن مدل برازش شده مورد استفاده قرار گرفت.

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری طرح با استفاده از آزمایش فاکتوریل (شامل

فنولی انگور) انجام شد. بعد از طی شدن زمان فرآیند (30، 60، 90 و 120 دقیقه) نمونه‌ها از محلول اسمزی خارج شده و پس از شستشو با آب مقطر بلافاصله با کاغذ صافی خشک و مجدداً توزین شدند (Azarpazhooh et al., 2009 a).

### تعیین میزان رطوبت

درصد رطوبت آن‌ها براساس استاندارد AOAC, 2005 با استفاده از آون در دمای 105 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت تعیین گردید.

### اندازه‌گیری میزان آب‌زدایی، افزایش ماده جامد جذب شده

میزان آب‌زدایی ( $ML$ )، میزان جذب ماده جامد ( $SG$ ) در حین فرآیند اسمزی با استفاده از روابط (1 و 2) محاسبه گردید (Lerici et al., 1985)

$$\% ML = 100 \frac{(M_0 x_0 - M_t x_t)}{M_0} \quad (1)$$

$$\% SG = 100 \frac{(M_0 s_0 - M_t s_t)}{M_0} \quad (2)$$

$S_0$  = وزن ماده خشک نمونه تازه (گرم)

$S$  = وزن ماده خشک نمونه اسمزی شده (گرم)

$M_0$  = وزن نمونه تازه (گرم)

$M_t$  = وزن نمونه اسمزی شده (گرم)

مقادیر تعادلی از دست دادن آب و جذب مواد با استفاده از مدل دو پارامتری آروآرا براساس روابط 3 و 4 محاسبه گردید. علت استفاده از مدل فوق توانایی پیش‌بینی رطوبت تعادلی و جذب مواد تعادلی می‌باشد. با دانستن مقدار  $ML_e$  تغییرات که در مقادیر کاهش رطوبت اتفاق می‌افتد با استفاده از رابطه 3 محاسبه می‌شود:

$$ML_t = \frac{S_1 t (ML_e)}{1 + S_1 t} = \frac{t (ML_e)}{\frac{1}{S_1} + t} \quad (3)$$

همچنین برای جذب مواد جامد از رابطه 4 استفاده می‌شود.

$$SG_t = \frac{S_2 t (SG_e)}{1 + S_2 t} = \frac{t (SG_e)}{\frac{1}{S_2} + t} \quad (4)$$

در این روابط  $ML_t$  و  $SG_t$  به ترتیب نسبت‌های کاهش رطوبت و جذب مواد جامد در زمان  $t$  می‌باشند و همچنین  $S_1$  و  $S_2$  دو مقدار ثابتی هستند که به سرعت جریان آب خارج شده از نمونه و مواد جامد وارد شده به نمونه ژل مرتبط هستند.  $1/S_1$  و  $1/S_2$  به ترتیب بیانگر زمان مورد نیاز برای تراوش نیمی از مواد نفوذ یافته (یعنی رطوبت و مواد جامد) به خارج از ماتریکس نمونه و یا نفوذ به داخل ماتریکس نمونه هستند.  $ML_e$  نسبت کاهش رطوبت تعادلی و  $SG_e$  نسبت جذب مواد جامد در حالت تعادل می‌باشد. هنگامی که زمان  $t$  از مقادیر  $1/S_1$

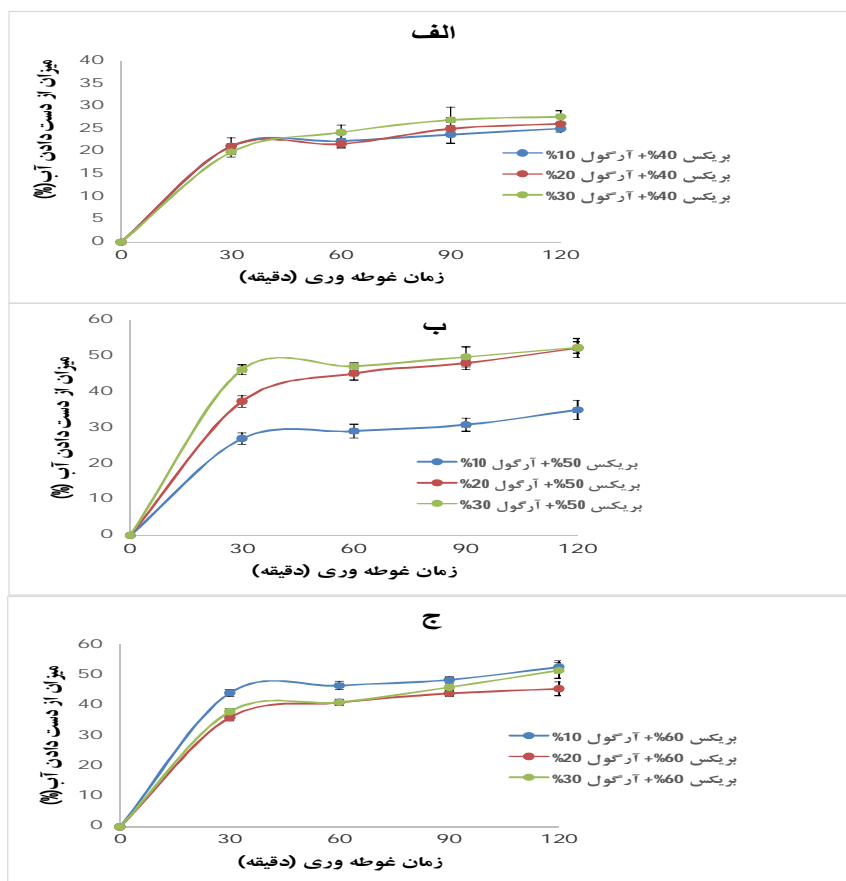
تعادل بین خروج آب از محصول و نفوذ عامل اسمزی به درون آن ایجاد شود. اما تا برقراری این تعادل، امکان انتقال جرم وجود دارد. نتایج مشابه توسط آذرپژوه و همکاران (2012) به دست آمد. همچنین، با افزایش غلظت ساکارز در محلول اسمزی گرادیان غلظت بین مواد جامد محلول در ژل و محلول اسمزی افزایش یافت. این پدیده، باعث می‌شود که مقادیر بیشتری از رطوبت در نقطه تعادل از نمونه خارج شود که به معنای افزایش مقادیر از دست دادن آب در حالت تعادلی و افزایش آگیری اسمزی است. این یافته‌ها مشابه با یافته‌های Fernandes و همکاران (2008) در فرآیند خشک کردن آناناس، Rodrigues و Fernandes (2007) در فرآیند آگیری موز می‌باشند. در غلظت‌های بالا ساکارز (60 درصد)، از نیروی محرکه آب کاسته شد و آهنگ افزایش مقادیر از دست دادن آب کاهش پیدا کرد. دلیل این امر، کاهش یا مسدود شدن منافذ موجود در بافت نمونه برای خروج بیشتر رطوبت می‌باشد (Sabetghadam et al., 2015).

فاکتورهای غلظت آرگول، غلظت ساکارز و زمان غوطه‌وری در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه 18 و بر اساس آزمون دانکن در سطح 5 درصد ( $p < 0/05$ ) مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

### تأثیر تیمار اسمزی بر میزان از دست دادن آب در ژل آلونئورا

تأثیر مدت‌زمان تیمار اسمز بر مقادیر از دست دادن آب در شکل 1 (الف، ب، ج) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمامی غلظت‌های ساکارز، با گذشت زمان میزان از دست دادن آب افزایش یافت. این روند را می‌توان به اختلاف غلظت بین مواد محلول در بافت نمونه و محلول اسمزی که سبب ایجاد فشار اسمزی می‌شود، نسبت داد. با افزایش زمان تماس محلول اسمزی با ژل، آب بیشتری از میوه خارج می‌شود. البته این مسئله تا زمانی صورت می‌گیرد که



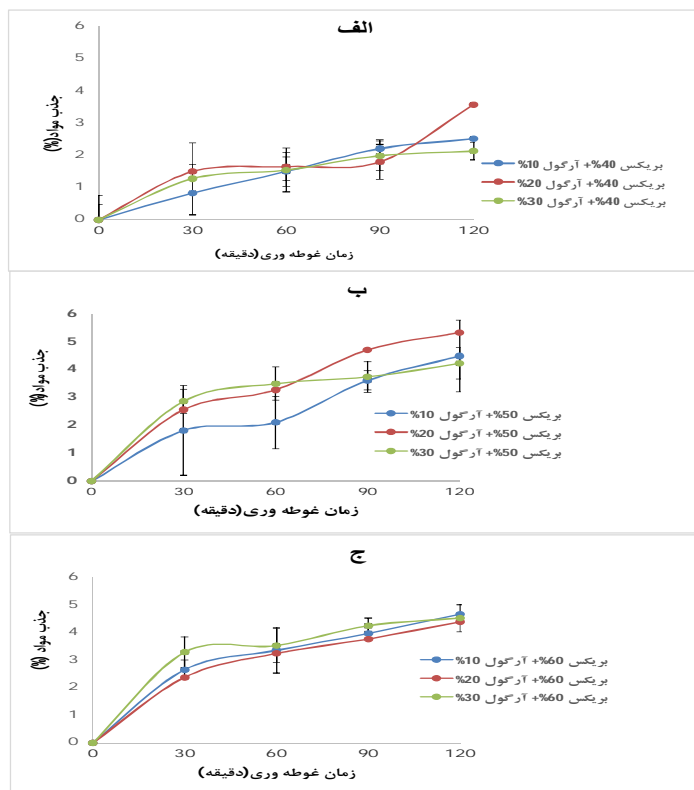
شکل 1- تأثیر غلظت ساکارز و آرگول بر میزان از دست دادن آب (ML) در زمان‌های مختلف غوطه‌وری. الف: بریکس 40 درصد + آرگول (10، 20 و 30 درصد)؛ ب: بریکس 50 درصد + آرگول (10، 20 و 30 درصد)؛ ج: بریکس 60 درصد + آرگول (10، 20 و 30 درصد).

مشاهده می‌شود. با گذشت زمان غلظت محلول اسمزی رقیق‌تر شده و نیروی محرکه کاهش می‌یابد در نتیجه نرخ انتقال جرم به حالت تعادلی می‌رسد. نتایج مشابه توسط Sunjka و همکاران (2004) برای میوه کرانبری به دست آمده است.

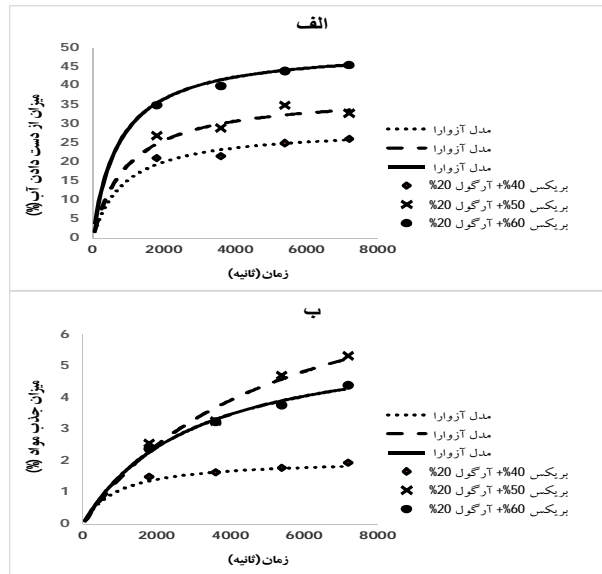
**برازش داده‌های پیش تیمار اسمزی با استفاده از مدل آزوارا**  
معادله‌ای دو پارامتری در رابطه با تعادل جرم که توسط Azuara و همکاران (1998) پیشنهاد شد، به منظور محاسبه نقطه تعادل و پیش‌بینی سینتیک آبیگری اسمزی مورد استفاده قرار گرفت. این مدل برازش خوبی با داده‌های مربوط به مطالعه بر روی سیب (Azarpazhooh *et al.*, 2009)، پیاز (Sutar *et al.*, 2007)، هویج (Singh *et al.*, 2007) نشان داده است. مقادیر تجربی و پیش‌بینی شده از دست دادن آب و جذب مواد جامد در زمان‌های مختلف زمان بر اساس مدل آزوارا در غلظت‌های مختلف ساکارز در شکل‌های 3 (الف و ب) نشان داده شده‌اند. در این پژوهش مقادیر از دست دادن آب و جذب مواد جامد در زمان‌های مختلف با داده‌های تجربی این مدل برازش داده شد. (جدول 2)

### تأثیر تیمار اسمزی بر میزان جذب مواد در ژل آلونه ورا

مقادیر جذب مواد جامد در برابر زمان‌های مختلف در غلظت‌های مختلف ساکارز و آرگول در شکل 2، نشان داده شده است. نتایج نشان داد، در تمام شرایط مورد مطالعه مقادیر جذب مواد جامد به صورت غیرخطی در برابر مدت زمان غوطه‌وری افزایش یافت. همچنین از شکل 2 (الف، ب، ج) مشخص است که میزان جذب مواد جامد در ابتدای فرآیند سریع‌تر و در ادامه کندتر می‌شود. دلیل آن این است که با افزایش مدت زمان غوطه‌وری نیروی محرکه آب و مواد جامد برای ادامه فرآیند اسمز کاهش می‌یابد. همچنین، اثر غلظت ساکارز بر میزان جذب مواد جامد در حالت تعادلی مشابه با اثر مشاهده شده بر از دست دادن آب در حالت تعادلی می‌باشد. با افزایش غلظت ساکارز محلول از 40 تا 50 درصد، مقادیر جذب مواد در حالت تعادلی افزایش یافت، هرچند این اختلاف معنی‌دار نبود ( $P < 0/05$ ). رفتار انقباضی که در نتیجه اثر اسفنجی اتفاق می‌افتد ممکن است از طرفی باعث خروج مواد جامد ماده غذایی به درون محلول اسمزی و از طرف دیگر منجر به جذب مواد محلول شود. در زمان شروع فرآیند به دلیل افزایش نیروی محرکه بین نمونه هیپرتونیک، بیشترین نرخ انتقال جرم



شکل 2 - تأثیر غلظت ساکارز و آرگول بر درصد جذب مواد (SG) در زمان‌های مختلف غوطه‌وری. الف: بریکس 40 درصد+آرگول (10، 20 و 30 درصد)؛ ب: بریکس 50 درصد+آرگول (10، 20 و 30 درصد)؛ ج: بریکس 60 درصد+آرگول (10، 20 و 30 درصد).



شکل 3- برازش الف، مقادیر از دست دادن آب (ML)، میزان جذب مواد (SG) با مدل آزرارا در غلظت‌های مختلف ساکارز و آرگول. داده‌های تجربی (نقاط مشخص شده در نمودار) با مدل آزرارا (خطوط مشخص در نمودار) برازش داده شده‌اند.

جدول 2- نتایج برازش داده‌های فرآیند اسمز با مدل دو پارامتری آزرارا

ML <sub>e</sub>	S <sub>1</sub> × 10 <sup>-4</sup>	R <sup>2</sup>	SG <sub>e</sub>	S <sub>2</sub> × 10 <sup>-4</sup>	R <sup>2</sup>	غلظت آرگول (درصد)	غلظت ساکارز (درصد)
26/80	1/6	0/99	1/23	0/69	0/98	10	
29/07	1/2	0/92	2/07	1	0/95	20	40
59/52	8/7	0/98	9/06	1/92	0/97	30	
38/31	10	0/98	8/81	1/3	0/95	10	
59/52	8/7	0/98	9/06	1/92	0/97	20	50
54/94	2/2	0/99	4/95	6/1	0/99	30	
59/17	1/6	0/99	6/28	3/1	0/97	10	
50/25	1/3	0/99	6/08	3/3	0/98	20	60
58/82	7/9	0/98	5/34	7/1	0/98	30	

R<sup>2</sup>، ضریب تبیین؛ S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub>، ثابت‌های مدل آزرارا؛ ML<sub>e</sub> و SG<sub>e</sub>، به ترتیب مقادیر از دست دادن آب و جذب مواد در حالت تعادل.

0/94 و 0/99 بود. این نتایج نشان داد که مدل آزرارا برای مدل‌سازی داده‌های این پژوهش کاملاً مناسب است.

#### ضریب نفوذ مؤثر

ضریب نفوذ مؤثر (D<sub>m</sub> و D<sub>s</sub>) به‌عنوان یکی از پارامترهای سینتیک آبیگری اسمزی است که به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (Azarpazhooh & Ramaswamy, 2009b). مقادیر ضریب نفوذ مؤثر آب و مواد جامد طی فرآیند اسمز در جدول 3 گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج بیانگر اثر مثبت افزایش غلظت ساکارز بر مقادیر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و مواد جامد می‌باشند، به‌طوری که با افزایش غلظت مواد تا از 40 تا 50 درصد شیب گرادیان غلظت این ضرایب افزایش می‌یابند درحالی‌که

نمودارهای فرم خطی شده مدل برای غلظت‌های مختلف ساکارز و آرگول رسم شده‌اند. تعیین مقادیر پارامترهای مختلف مدل آزرارا شامل S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub> و ML<sub>e</sub> و SG<sub>e</sub> از رسم نمودارهای t / ML<sub>e</sub> و t / SG<sub>e</sub> در برابر زمان امکانپذیر است. برای هر یک از تیمارهای آبیگری اسمزی مقادیر تعادلی از دست‌دادن آب از شیب نمودارهای t / ML<sub>e</sub> در مقابل زمان و جذب مواد جامد در حالت تعادلی از شیب نمودارهای t / SG<sub>e</sub> در برابر زمان محاسبه شدند. افزایش جذب مواد جامد در حالت تعادلی به علت افزایش گرادیان فشار جزئی بین نمونه و محیط اسمزی در غلظت‌های بالای ساکارز مشاهده شد. پارامترهای مدل آزرارا (یعنی S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub>) از طریق نقاط تقاطع با نمودار تعیین شدند. به‌منظور اثبات مناسب بودن مدل آزرارا نمودارهای t / ML<sub>e</sub> و t / SG<sub>e</sub> در برابر t رسم گردید. مقادیر ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) به‌دست آمده از این نمودارها بین

هسته انگور تجاری موجود در محلول اسمزی با غلظت 2/92 مول بر کیلوگرم ساکارز، ضریب نفوذ آب در بافت ژل آگار را  $16/8 \times 11^{-10}$  متر مربع بر ثانیه و ضریب نفوذ ساکارز را  $16/8 \times 11^{-10}$  متر مربع بر ثانیه اظهار کردند. Khoyi و همکاران (2007) ضریب نفوذ آب را برای میوه زردآلو بین  $1/066 \times 10^{-9}$  تا  $4/061 \times 10^{-9}$  متر مربع بر ثانیه و ضریب مواد جامد را بین  $7/69 \times 10^{-9}$  تا  $3/127 \times 10^{-9}$  مترمربع بر ثانیه بیان کرد.

در غلظت 60 درصد این میزان کاهش یافته است. تغییر در ساختار منافذ مواد غذایی ضریب نفوذ را تحت تاثیر قرار می دهد. در فرآورده های متخلخل تر، ضریب نفوذ مؤثر به دلیل امکان تحرک بیشتر رطوبت، بالاتر است. Bellary و همکاران (2014) در بررسی نفوذ ترکیبات کوکومینویدی به قطعات نارگیل در غلظت 50 درصد ساکارز در محلول اسمزی ضریب نفوذ آب را  $0/34 \times 10^{-10}$  متر مربع بر ثانیه و ضریب نفوذ مواد جامد را  $1/46 \times 10^{-10}$  متر مربع بر ثانیه گزارش کردند. Rozek و همکاران (2009) در مطالعه نفوذ ترکیبات فنولی

جدول 3- مقادیر ضرایب نفوذ آب و مواد جامد در در غلظت های 40، 50، و 60 درصد ساکارز و ۱۰، ۲۰ و 30 درصد آرگول.

$Dm \times 10^{-9}$ (m <sup>2</sup> /s)	$Ds \times 10^{-9}$ (m <sup>2</sup> /s)	غلظت آرگول (%)	غلظت ساکارز (%)
2/42	0/61	10	
2/43	1/21	20	40
2/77	3/84	30	
2/55	0/75	10	
2/65	2/63	20	50
2/42	4/23	30	
2/32	0/56	10	
2/25	1/69	20	60
2/13	2/23	30	

آب و جذب مواد مناسب می باشد. قانون دوم فیک برای انتقال جرم در سیستم های ناپایدار برای محاسبه ضریب نفوذ مؤثر قابل استفاده می باشد. ضرایب نفوذ مؤثر با افزایش غلظت ساکارز و ترکیبات فنولی به ترتیب از 40 به 50 درصد و از 10 تا 20 درصد، برای هر دو پارامتر از دست دادن آب و جذب مواد جامد افزایش یافتند.

## نتیجه گیری

هدف از این پژوهش بررسی سینتیک انتقال جرم در طی نفوذ ترکیبات فنولی پسماند انگور در ژل آلونه ورا با کمک فرآیند اسمز و مدلسازی فرآیند ضرایب توزیع آب و مواد جامد بود. نتایج نشان داد که معادله دو پارامتری آزارا برای پیش بینی نقاط تعادلی از دست دادن

## منابع

- Anonymous. 1394. Annual Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. <www.maj.ir>
- Azarpazhooh, E., & Ramaswamy, H. S. 2009a. Evaluation of diffusion and Azuara models for mass transfer kinetics during microwave-osmotic dehydration of apples under continuous flow medium-spray conditions. *Drying Technology*, 28(1), 57-67.
- Azarpazhooh, E., & Ramaswamy, H. S. 2009b. Microwave-osmotic dehydration of apples under continuous flow medium spray conditions: comparison with other methods. *Drying Technology*, 28(1), 49-56.
- Azarpazhooh, E., & Ramaswamy, H.S. 2012. Modeling and optimization of microwave osmotic dehydration of apple cylinders under continuous- flow spray mode processing conditions. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1486-1501.
- Azuara, E., Cortés, R., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International journal of food science & technology*, 27(4), 409-418.
- Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. 2014. Ways and Means for the Infusion of Bioactive Constituents in Solid Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (just- accepted), 0.
- Bergman, T. L., Incropera, F. P., & Lavine, A. S. 2011. Fundamentals of heat and mass transfer. *John Wiley & Sons*.
- Crank, J. and G. Park. 1949. An evaluation of the diffusion coefficient for chloroform in polystyrene from simple absorption experiments. *Transactions of the Faraday Society* 45: 240-249.
- Femandes, F. A. N., Gallao, M. I., & Rodrigues, S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre- treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT- Food Science and Technology*, 41(4), 604- 610.
- Fernandes, F. A.N., & Rodrigues, S. 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana.

*Journal of Food Engineering*, 82(2), 261- 267.

Fernandes, F. A.N., Oliveira, F. I. P., & Rodrigues, S. (2008). Use of ultrasound for dehydration of papayas. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4), 339-345.

Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M., Andrés, A., Martínez- Monzó, J., & Martínez- Navarrete, N. 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 297- 302.

Galanakis, C. M. 2013. Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: a viewpoint of opportunities and challenges. *Food and Bioprocess Technology* 91(4): 575-579.

González-Paramás, A.M., Esteban-Ruano, S., Santos-Buelga, C., Pascual-Teresa, S., & Rivas-Gonzalo, J.C. 2004. Flavonol content and antioxidant activity in winery byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 234–238.

Karacabey, E., & Mazza, G. 2010. Optimisation of antioxidant activity of grape cane extracts using response surface methodology. *Food Chemistry*, 119(1), 343-348.

Khoyi, M. R., & Hesari, J. 2007. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering*. 78(4). 1355-1360.

Kirtil, E., Oztop, M. H. Sirijariyawat, A. Ngamchuachit, P. Barrett D. M., & McCarthy, M. J. 2014. Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl<sub>2</sub> infusion on the cell integrity of fresh-cut and frozen-thawed mangoes: An NMR relaxometry study. *Food research international* 66: 409-416.

Lerici, C., G. Pinnavaia, M. D. Rosa, MD., & Bartolucci, L. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food science* 50(5): 1217-1219.

Louli, V., Ragoussis, N., Magoulas, K .2004. Recovery of phenolics antioxidants from wine industry by-products. *Bioresource Technology* 92, 201–208.

Rózek, A., García- Pérez, J. V, López, F., Güell, C., & Ferrando, M. 2010. Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*, 99(2), 142-150.

Sabetghadam, M., & Tavakolipour, H. 2015. Osmo- coating and ultrasonic dehydration as pre- treatment for hot air-drying of flavored apple. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*.

Singh, B., Kumar, A., & Gupta, A. K. 2007. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *Journal of Engineering* 79(2), 471- 480.

Singh, S., Shivhare, U. S., Ahmed, J., & Raghavan, G. S. V. 1999. Osmotic concentration Kinetics and quality of carrot preserve. *Food Research International*, 32(7), 509- 514.

Sotillo, D.R, Hadley, M. & Holm, ET. 1994. Phenolics in aqueous potato peel extract: extraction, identification and degradation. *Journal of Food Science*, 59(3), 649-651.

Sunjka, P., & Raghavan, G. 2004. Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries. *Canadian Biosystems Engineering*, 46(1), 45-48.

Sutar, P. P., & Gupta, D. K. 2007. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. *Journal of Engineering*, 78(1), 90- 97.



## Mass transfer kinetics in infusion of phenolic compounds extracted from grape pomace into Aloe vera gel by osmotic dehydration

E. Azarpazhooh<sup>1\*</sup>, P. Sharayei<sup>1</sup>, F. Gheibi<sup>1</sup>

Received: 2017.09.19

Accepted: 2018.01.24

**Introduction:** The current study was carried out to investigate the kinetics of infusion of phenolic compounds extracted from grape pomace (Argol) into Aloe vera gel cylinders. Aloe vera gel was treated at 50 °C in different osmotic solution with (40, 50 and 60) % sucrose plus (10, 20 and 30) % Argol, for 0–120 min. The fruit to solution ratio was kept 1:4 (w/w) during all experiments. A two parameters model was used for prediction of kinetics of mass transfer and values of equilibrium moisture loss and solid gain. Moisture and solid effective diffusivities were estimated using Fick's second law of diffusion. Results showed that Azuara model has the potential for estimating the equilibrium points. In addition, a good correlation between predicted and experimental values were obtained by this model. Besides, moisture and solid effective diffusivities increased by increasing sucrose solution and Argol from 40 to 50 percentage and 10 to 20 percentages, respectively. Moisture and solid diffusivities were found in the range of  $0.61-4.23 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s and  $2.13-2.77 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, respectively. Functional food is an emerging field in food science due to its increasing popularity with health-conscious consumers and the ability of marketers to create new interest in existing products. New by-product application should be investigated to have a positive environmental impact or to turn them into useful products. The use of by-product such as the grape juice pomace (Argol), results in the return of these valuable sources into the food cycle as well as an improvement in nutritional value and functional products in the food industry. Red grape (*Vitis vinifera L.*) pomace contains a large amount of polyphenolic compounds, therefore extraction of bioactive compounds promote human health. It is not as easy to mix the functional ingredient in the solid system as it is, in the case of the powder and liquid products. With the help of osmotic dehydration, many researchers have demonstrated the infusion of active compounds such as mineral, phenolic compounds, curcuminoids, probiotics and vitamins into solid food tissue. Fruits such as aloe vera, which have a short shelf life and are suitable system models for infusion of phenolic compounds during osmotic dehydration. Osmotic dehydration can prove useful in drying aloe vera (Aloe Barbadensis Miller) which contains several nutritional compounds, including polysaccharides, phenolics, antioxidants, vitamins, enzymes, minerals, and so forth. The phenomenon of osmotic dehydration can be modeled by the fundamentals of mass transfer that describe the origin of the diffusive forces that are involved in and control these processes. A two-parameter equation of Azuara was used to predict the kinetics of osmotic dehydration and the final equilibrium point. The internal mass transfer occurring during osmotic dehydration of food is usually represented by Fick's second law which is the best known phenomenological model to represent the diffusional mechanism is the model of Crank, consisting of a set of solutions of Fick's law of diffusion for different geometries, boundary conditions and initial conditions. To date, there is no research on mass transfer during osmotic dehydration of aloe vera. Therefore, the objective of the present work was the infusion of Argol phenolic compounds in aloe vera gel through osmotic dehydration treatment to investigate mass transfer during osmotic treatment.

**Material and methods:** The Aloe Vera was added to agar and shaped into cylindrical pieces (20×20 mm). Afterwards the pieces were floated in a solution of sugar (40, 50 and 60) percentage and Argol (10, 20 and 30) percentage. The weight ratio of osmotic medium to fruit sample was 4:1 to avoid significant dilution of the medium and subsequent decrease of the driving force during the process. The experiment was performed with constant temperature of 50 °C. Samples were removed from the solution at 30, 60, 90, 180, and 120 min of immersion, drained and the excess of solution at the surface was removed with absorbent paper. Afterward, the dehydrated samples from each group were drained and blotted with absorbent paper to remove excess solution. Each assay was made in triplicate. Weight and moisture content of the samples, and moisture loss (ML) and solid gain (SG) were calculated. The curves of moisture loss and salt gain as a function of time were constructed using experimental data. A two parameters model was used for prediction of kinetics of mass transfer and values of equilibrium moisture loss and solid gain. Moisture and solid effective diffusivities were estimated by using Fick's

1. Assistant Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, P.O.Box: 91735-488, Mashhad, Iran

(\*Corresponding Author Email: azarpazhooh@gmail.com)

second law of diffusion.

**Results and discussion:** Results showed that in all of the studied conditions, the levels of moisture loss and solid gain had a non-linear increase with more floatation time in the solution. Moreover, the absorption rate of solid gain was faster in the beginning but eventually slowed down. Azuara model has the potential in estimating the equilibrium points. In addition, a good correlation between predicted and experimental values was obtained by this model. Besides, increasing the concentration of sucrose and Argol from 40% to 50% and 10% to 20% respectively, the coefficient of effective penetration for both parameters (water loss and solid substance absorption) improved. In addition, the coefficient of effective penetration displayed that different levels of sucrose and Argol had a notable effect on this coefficient.

**Key Words;** Aloe vera, Osmosis, Grape pomace, Mass transfer, Phenolic compounds.