

پایش فرآیند آَبگیری میوهی به در محلول‌های اسمزی نمک، ساکارز و گلوکز

وهاب عباسی سیدآباد¹، مسعود شفافی زنونزبان^{2*}، مهدی ایرانی¹

¹ دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران
² استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ پذیرش: 90/7/15

تاریخ دریافت: 90/6/2

چکیده

در این پژوهش، خشک کردن اسمزی میوهی به در محلول‌های اسمزی C1 (10٪ نمک، 30٪ ساکارز و 30٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C2 (10٪ نمک، 10٪ ساکارز و 50٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C3 (10٪ نمک، 50٪ ساکارز و 10٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C4 (20٪ نمک و 50٪ ساکارز وزنی/وزنی)، C5 (20٪ نمک و 50٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C6 (50٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C7 (60٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C8 (70٪ ط گلوکز وزنی/وزنی)، محلول C9 (50٪ ساکارز وزنی/وزنی)، C10 (60٪ ساکارز وزنی/وزنی)، C11 (70٪ ساکارز وزنی/وزنی) و دماهای 25 و 75 درجه‌ی سانتی‌گراد و در نسبت‌های وزنی 1:5 و 1:10 (میوه به به محلول اسمزی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، نشان داد که محلول C11 دارای بیشترین میانگین دفع آب شده است (WL = 0/369). همچنین محلول C5 دارای بیشترین میانگین جذب مواد جامد (SG = 0/196).

واژه‌های کلیدی: میوهی به، خشک کردن اسمزی، دفع آب تعادلی، جذب قند تعادلی.

1- مقدمه

میوهی به *(Cydonia oblonga)* دارای گوشت خشک و تردی است که طعمی ترش و تقریباً گس دارد. سرشار از ویتامین‌های A و B و املاح آهکی و تانن است. استفاده از روش خشک کردن اسمزی گامی موثر جهت جلوگیری از ضایعات و بررسی زمینه‌ی احداث واحدهای جنبی فرآوری می‌باشد. در طی خشک کردن ویژگی‌های مواد غذایی به دلیل انتقال و حرکت آب از بخش‌های داخلی به سطح ماده‌ی غذایی و به هوای اطراف دستخوش تغییراتی می‌شود. در عین حال تغییرات خارجی مواد غذایی به دلیل تغییرات درونی محصول است که مستقیماً به ساختار مواد غذایی خشک شده مربوط می‌باشد (3) و به طور کلی سینتیک خشک کردن برای شرح مکانیسم ماکروسکوپی و میکروسکوپی انتقال جرم و حرارت طی خشک کردن به کار می‌رود. اندازه‌گیری‌های 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 (10). ماورودیس و همکارانش (2006) اساس خشک کردن اسمزی کدو با استفاده از محلول کلرید سدیم و رابطه‌ی بین خصوصیات مکانیکی و تغییرات ساختاری کدو را مورد ارزیابی قرار دادند (11). سگویی و همکارانش (2010) خشک کردن اسمزی آلوورا را در محلول‌های مختلف اسمزی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که بهترین شرایط برای خشک کردن اسمزی آلوورا استفاده از دمای 40 درجه‌ی سانتی‌گراد برای نمونه‌های پوست‌گیری شده بود که بالاترین تاثیر را روی دیفوزیون داشته است (9). بیچر و همکارانش (2009) بر روی خشک کردن اسمزی دانه‌ی انار مطالعه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که دفع آب در محلول 55 ساکارز با بریکس 55 نسبت به محلول گلوکز - ساکارز (w/w 50:50) و محلول گلوکز به ترتیب بیش تر بود. افزایش دما منجر به افزایش دفع آب، کاهش وزن، جذب قند و ضریب دیفوزیون گردید (5). ایرانی و همکاران (1389) پروفایل انتقال جرم در فرآیند خشک کردن اسمزی میوه‌ی به‌را به وسیله‌ی محلول‌های اسمزی ساکارز مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان دادند که جذب قند، دفع آب و محتوای رطوبتی به‌طور کاملاً معنی‌داری با افزایش غلظت و دمای اسمزی افزایش پیدا کردند و تأثیر دما از بقیه‌ی موارد بیش تر بود. با افزایش غلظت محلول اسمزی مقادیر جذب قند و دفع آب در

طول زمان افزایش پیدا کرد و مقادیر محتوای رطوبتی در طول زمان کاهش پیدا کرد. (1) هدف از این پژوهش، مدل‌سازی سینتیک حذف آب و جذب مواد جامد میوه‌ی به و به دست آوردن مقادیر تعادلی حذف آب و جذب مواد جامد در غلظت‌ها و دماهای مختلف و محلول‌های اسمزی گوناگون است.

2- مواد و روش‌ها

1-2 آماده‌سازی نمونه

میوه‌ی به از فروشگاه محلی خریداری شد و در دمای 10 درجه‌ی سانتی‌گراد تا لحظه‌ی آزمایش نگه‌داری گردید. مقدار رطوبت اولیه‌ی میوه‌ی به تازه با استفاده از آن در دمای 105 درجه‌ی سانتی‌گراد تعیین گردید که برابر 88٪ (بر مبنای وزن مرطوب) بود. در ابتدای هر آزمایش، میوه‌ی به شسته شده و با ابعاد 17×17×5 میلی‌متر مکعب برش زده شد.

2-2 خشک کردن اسمزی

به منظور انجام فرآیند خشک کردن اسمزی یازده محلول متفاوت اسمزی انتخاب شدند: محلول‌های C1 (10٪ نمک، 30٪ ساکارز و 30٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C2 (10٪ نمک، 10٪ ساکارز و 50٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C3 (10٪ نمک، 50٪ ساکارز و 10٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C4 (20٪ نمک و 50٪ ساکارز وزنی/وزنی)، C5 (20٪ نمک و 50٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C6 (50٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C7 (60٪ گلوکز وزنی/وزنی)، C8 (70٪ گلوکز وزنی/وزنی)، محلول C9 (50٪ ساکارز وزنی/وزنی)، C10 (60٪ ساکارز وزنی/وزنی)، C11 (70٪ ساکارز وزنی/وزنی). 25 قطعه نمونه میوه‌ی به توزین گردید و به بشر 1000 میلی‌لیتری منتقل گردید. درجه حرارت‌های 25 درجه‌ی سانتی‌گراد و 75 درجه‌ی سانتی‌گراد برای انجام فرآیند اسمزی در نظر گرفته شد. به منظور کاهش اثر رقیق شدن محلول اسمزی توسط آب دفع شده از میوه‌ی به، طی فرآیند اسمزی نسبت وزنی میوه‌ی به به محلول اسمزی در دو مقدار 1:5 و 1:10 تعیین گردید. این نسبت‌ها می‌توانستند نیروی رانش اسمزی حین فرآیند را به صورت موضعی کاهش دهند. زمان فرآیند اسمزی، 8 ساعت در نظر گرفته شد. دمای فرآیند اسمزی با استفاده از بن ماری (Memert، آلمان) و ترمومتر (Testo، آلمان با دقت 0/1) کنترل گردید. بعد از اتمام فرآیند اسمزی آب اضافی سطح نمونه‌ها توسط کاغذ صافی گرفته شد. مقدار رطوبت و مواد جامد محلول

$$\frac{t}{SG_t} = \frac{1}{S_2(SG_{\infty})} + \frac{t}{SG_{\infty}} \quad (7)$$

با ترسیم مقادیر نسبت زمان به دفع آب در برابر زمان و همچنین نسبت زمان به جذب قند در برابر زمان خطوطی به دست می‌آید که از طریق محاسبه‌ی شیب و عرض از مبدا خطوط می‌توان مقادیر ثابت‌ها و جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی را محاسبه نمود.

5-2- ارزیابی آماری داده‌ها

آنالیز آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نمونه‌های به با استفاده از طرح بلوک و در قالب فاکتوریل انجام شد. متغیرها شامل دما در دو سطح (25 و 75 درجه‌ی سانتی‌گراد) محلول‌های اسمزی در یازده سطح (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11) و نسبت مواد جامد به مایع در دو سطح (R1):1:5 و (R2):1:10 بود. میانگین‌ها با استفاده از روش میانگین چند دامنه‌ی ای دانکن مقایسه گردید. برای آنالیز اطلاعات از نرم افزار 16 SPSS استفاده شد.

3- نتایج و بحث

3-1- دفع آب

همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود میزان دفع آب برای و دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد و 75 درجه‌ی سانتی‌گراد قابل مشاهده است. میزان دفع آب در دمای 75 درجه‌ی سانتی‌گراد در طول زمان 8 ساعت نسبت به میزان دفع آب در دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد بیش‌تر است به طوری که میزان دفع آب در ساعت 1 برای دمای 75 درجه‌ی سانتی‌گراد حدود 2 برابر بیش‌تر است. و به‌طور کلی میزان دفع آب با افزایش طول زمان برای هر دو دما افزایش پیدا کرده است. از طرف دیگر میزان دفع آب در دمای 75 درجه‌ی سانتی‌گراد تا ساعت 7 به صورت خطی رو به افزایش است و از ساعت 7 تا 8 کاهش پیدا کرده که این مورد می‌تواند به دلیل جذب رطوبت توسط نمونه به برای تعادل حالت اسمزی بین نمونه و محلول ساکارز باشد. با توجه به نتایج آماری به دست آمده از نرم افزار 16 SPSS میزان دفع آب با افزایش دما افزایش پیدا کرده است و اختلاف کاملاً معنی‌داری بین دو دمای 25 و 75 در سطح آماری 0/05 وجود دارد. لومبارد و همکارانش (2007) نیز گزارش کردند که در فرآیند اسمزی با افزایش دما میزان دفع آب افزایش پیدا کرد (8). افزایش دفع آب با افزایش دما باعث تاثیر روی نفوذپذیری غشا در جهت نفوذپذیرتر شدن نسبت به خروج آب می‌شود (6).

در دمای 105°C به مدت 24 ساعت آون‌گذاری (به‌داد، ایران) تعیین گردید. نمونه‌ها قبل و بعد از آون‌گذاری به وسیله‌ی ترازو (AND با دقت 0/001 ساخت ژاپن) توزین گردید.

3-2 تعیین جذب قند و دفع آب و کاهش وزن در فرآیند خشک کردن اسمزی

$$WR = \frac{(w_i - w_f)}{w_i} \quad (1)$$

$$WL = \frac{(w_i X_i - w_f X_f)}{w_i} \quad (2)$$

$$SG = \frac{(w_f(1 - \frac{X_f}{100}) - w_i(1 - \frac{X_i}{100}))}{w_i} \quad (3)$$

در این جا w_i و w_f به ترتیب وزن اولیه و وزن نهایی (g) در زمان t هستند. X_i و X_f به ترتیب محتوای رطوبتی اولیه و نهایی (در زمان t) می‌باشند. از طرفی WR: مقدار کاهش وزن، WL: مقدار دفع آب و SG: مقدار جذب قند می‌باشند (8).

4-2 تعیین میزان جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی

آزوارا و همکارانش (1992) معادلاتی دو پارامتری برای دفع آب و جذب قند پیشنهاد دادند که توسط آن الگوی انتقال جرم را بر اساس فرآیند کوتاه مدت اسمز به دست آورد. این مدل، قادر به پیش‌بینی مقادیر تعادلی دفع آب و جذب قند نیز هستند (13). این معادله برای دفع آب به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$WL_t = \frac{S_1(WL_{\infty})}{1 + S_1 t} \quad (4)$$

WL_t = میانگین درصد حذف آب در زمان t، WL_{∞} = مقدار تعادلی درصد حذف آب، S_1 = ثابت وابسته به شدت نفوذ آب به بیرون از بافت به (Hour⁻¹).

معادله‌ی فوق را می‌توان به صورت زیر به فرم خطی نوشت:

$$\frac{t}{WL_t} = \frac{1}{S_1(WL_{\infty})} + \frac{t}{WL_{\infty}} \quad (5)$$

به‌طور مشابه معادله‌ی 3 و 4 را می‌توان برای توصیف رفتار جذب مواد جامد به کار برد.

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

SG_t = میانگین درصد جذب قند در زمان t، SG_{∞} = مقدار تعادلی درصد جذب مواد جامد و S_2 = ثابت وابسته به شدت نفوذ مواد جامد محلول اسمزی به درون بافت به (Hour⁻¹).

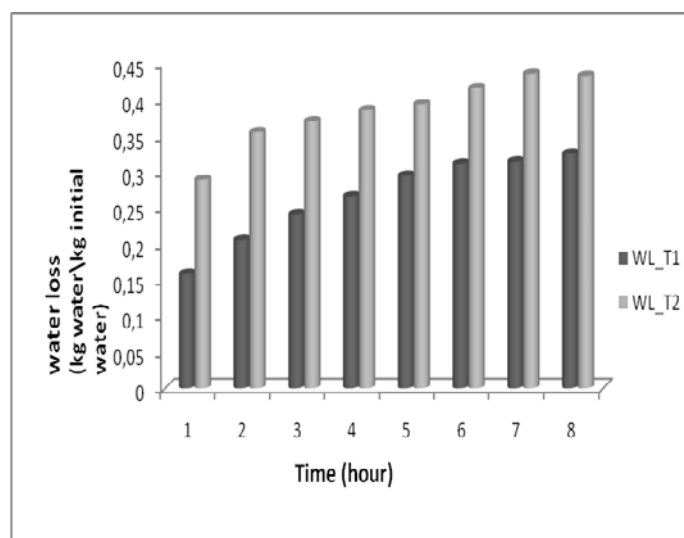
دست آوردند متفاوت بود به طوری که در آنجا نسبت نسبت وزنی میوه‌ی به به محلول اسمزی ساکارز در سطح آماری 0/05 معنی دار نشده بود که این اختلاف را می‌توان به دلیل وجود نمک و همچنین وجود قند گلوکز در ترکیب با ساکارز و اثرات متقابل آن‌ها دانست.

جدول 1- جدول معادلات خط تاثیر غلظت محلول‌های اسمزی (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11) بر تغییرات دفع آب (WL) در طی زمان 8 ساعت

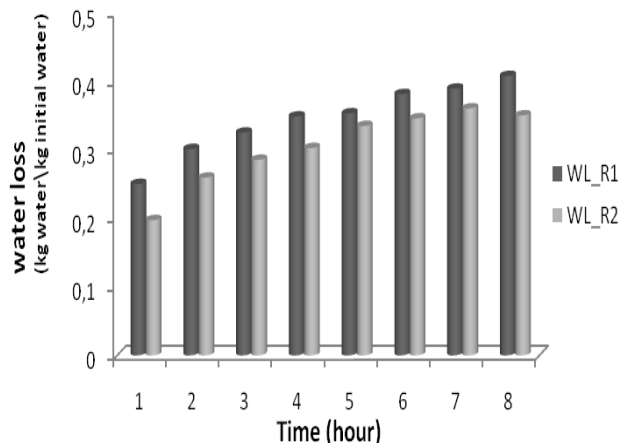
نوع محلول اسمزی	معادله خط
C1	$y = 0.0236x + 0.2592$
C2	$y = 0.0182x + 0.2347$
C3	$y = 0.0216x + 0.2319$
C4	$y = 0.0206x + 0.241$
C5	$y = 0.0134x + 0.2328$
C6	$y = 0.0162x + 0.2136$
C7	$y = 0.0218x + 0.2214$
C8	$y = 0.0197x + 0.2721$
C9	$y = 0.0198x + 0.1926$
C10	$y = 0.0209x + 0.2223$
C11	$y = 0.0339x + 0.2173$

(C1: 10٪ نمک + 30٪ ساکارز + 30٪ گلوکز. C2: 10٪ نمک + 10٪ ساکارز + 50٪ گلوکز. C3: 10٪ نمک + 50٪ ساکارز + 10٪ گلوکز. C4: 20٪ نمک + 50٪ ساکارز. C5: 20٪ نمک + 50٪ گلوکز. C6: 50٪ گلوکز. C7: 60٪ گلوکز. C8: 70٪ گلوکز. C9: 50٪ ساکارز. C10: 60٪ ساکارز. C11: 70٪ ساکارز (وزنی/وزنی))

بر اساس معادلات خط به دست آمده و برآزش آن‌ها از جدول 1-3 و نتایج آماری که با توجه به مقایسه‌ی میانگین دانکن گرفته شد مشخص شد که بیشترین میانگین دفع آب به صورت مقابل بود $C1, C8, C11 > C2, C3, C4, C7, C10 > C5, C6$ ، از طرفی میانگین مقادیر دفع آب در محلول‌های اسمزی C1, C8 و C11 با یکدیگر تفاوت معنی داری در سطح آماری 0/05 نداشتند و همچنین در مورد محلول‌های C2, C3, C4, C7, C10 و محلول‌های C5, C6, C9 نیز به همین ترتیب بود و تفاوت معنی داری در سطح آماری 0/05 برای میانگین مقادیر دفع آب وجود نداشت. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت محلول اسمزی تا 70٪ وزنی / وزنی برای محلول‌های گلوکز و ساکارز باعث افزایش دفع آب شده است و از طرفی ترکیب 10٪ نمک با



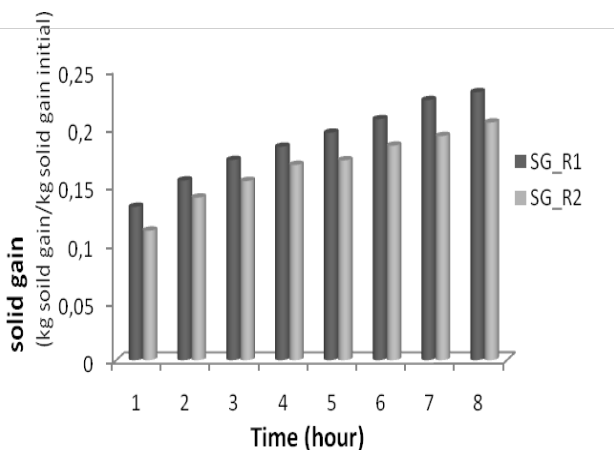
شکل 1- تغییرات دفع آب در دو دمای $T1=25$ و $T2=75$ درجه سانتی‌گراد



شکل 2- تغییرات دفع آب (WL) در دو نسبت مواد جامد به مایع $R1 = 1:5$ (%w/w) و $R2 = 1:10$ (%w/w)

همان گونه که در شکل 2 قابل مشاهده است میزان دفع آب در دو نسبت وزنی میوه‌ی به به محلول اسمزی (R1 و R2) با توجه به نتایج آماری به دست آمده در سطح آماری 0/05 با یکدیگر تفاوت معنی داری دارند. میزان دفع آب در هر دو نسبت R1 و R2 با افزایش زمان افزایش پیدا کرده است و فقط در نسبت R2 در زمان ساعت 8 میزان دفع آب کاهش داشته است. مطابق شکل 2 میزان دفع آب در نسبت R1 یعنی 1:5 (وزنی/وزنی) از مقادیر دفع آب در نسبت R2 یعنی 1:10 (وزنی/وزنی) بیش‌تر است. نتایج به دست آمده در این جا با نتایجی که ایرانی و همکاران (1389) به

جذب مواد جامد در هر دو نسبت در طول زمان 8 ساعت با شیب نسبتاً ثابتی افزایش پیدا کرده است.



شکل 4- تغییرات مقدار جذب مواد جامد (SG) در دو نسبت مواد جامد به مایع 1:5 وزنی / وزنی (R1) و 1:10 وزنی / وزنی (R2)

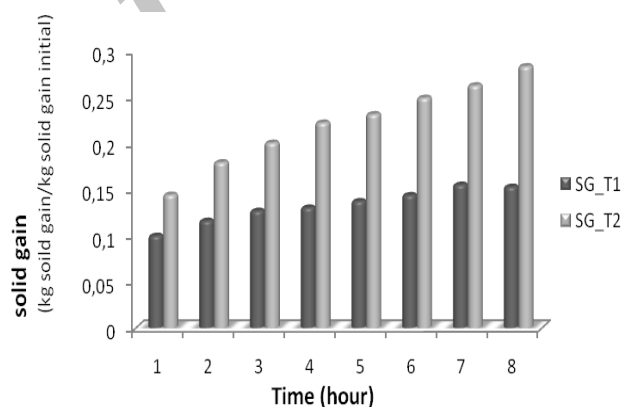
مقادیر جذب مواد جامد در نسبت R1 از جذب مواد جامد در نسبت R2 بیش تر است. نتایج به دست آمده در این جا با نتایجی که ایرانی و همکاران (1389) به دست آوردند متفاوت بود به طوری که در آن جا نسبت نسبت وزنی میوه‌ی به به محلول اسمزی ساکارز در سطح آماری 0/05 معنی دار نشده بود که این اختلاف را می توان به دلیل وجود نمک و همچنین وجود قند گلوکز در ترکیب با ساکارز دانست (1).

با توجه به نتایج به دست آمده از برآزش معادلات خط جدول 3-2 باید به این نکته اشاره نمود که در طول زمان در تمامی محلول‌های اسمزی مقادیر جذب مواد جامد افزایش پیدا کرده است. نتایج آماری به دست آمده با استفاده از مقایسات میانگین دانکن نشان دادند که محلول اسمزی C5 یعنی محلول اسمزی محتوی 20٪ نمک و 50٪ گلوکز (وزنی / وزنی) دارای بیش ترین میانگین جذب مواد جامد بوده که این پدیده را می توان به دلیل کوچک تر بودن مولکول گلوکز و نمک نسبت به ساکارز دانست که با سرعت بیش تری می توانند به درون بافت میوه نفوذ کنند. از طرفی محلول اسمزی C9 یعنی محلول اسمزی 50٪ ساکارز دارای کم ترین میانگین جذب مواد جامد بوده اند که می تواند به دلیل مولکول‌های نسبتاً بزرگ تر ساکارز نسبت به گلوکز و نمک و همچنین به دلیل بریکس پایین تر نسبت به بقیه‌ی محلول‌های اسمزی ساکارز باشد.

محلول ترکیب گلوکز و ساکارز دارای بیش ترین میانگین دفع آب شده است. به نظر می رسد ترکیب محلول‌ها اثر مضاعفی بر فرایند انتقال جرم داشته است.

3-2- جذب قند

در شکل 3 تغییرات جذب قند در دو دمای 25 و 75 درجه‌ی سانتی‌گراد قابل مشاهده است به طوری که با افزایش دما از درجه‌ی سانتی‌گراد 25 به 75 درجه‌ی سانتی‌گراد مقدار جذب قند افزایش پیدا می کند. همچنین با افزایش طول زمان تا ساعت 8 مقدار جذب قند برای هر دو دما افزایش پیدا کرده با این تفاوت که این افزایش برای 75 درجه‌ی سانتی‌گراد با شیب تند تری نسبت به 25 درجه‌ی سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. با توجه به نتایج آماری به دست آمده اختلاف آماری معنی داری بین دو دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد و 75 درجه‌ی سانتی‌گراد روی تغییرات جذب قند در سطح آماری 0/05 مشاهده می شود به طوری که با افزایش دما مقدار جذب قند افزایش پیدا می کند.



شکل 3- تغییرات مقدار جذب قند (SG) در دو دمای 25 T1 و 75 = T2 درجه‌ی سانتی‌گراد

بیچر و همکارانش (2009) گزارش کردند که با افزایش دما میزان جذب قند در فرآیند اسمزی افزایش پیدا می کند که این موضوع مرتبط است با این مورد که افزایش دما باعث آسیب جبران ناپذیر و کاهش گزینش پذیری غشای سلولی می شود و در نتیجه، جذب قند با افزایش دما افزایش پیدا کند (5).

همان گونه که در شکل 3 و 4 مشاهده می شود و طبق نتایج آماری به دست آمده تفاوت آماری معنی داری بین دو نسبت R1 و R2 در سطح آماری 0/05 وجود دارد به این ترتیب که میزان

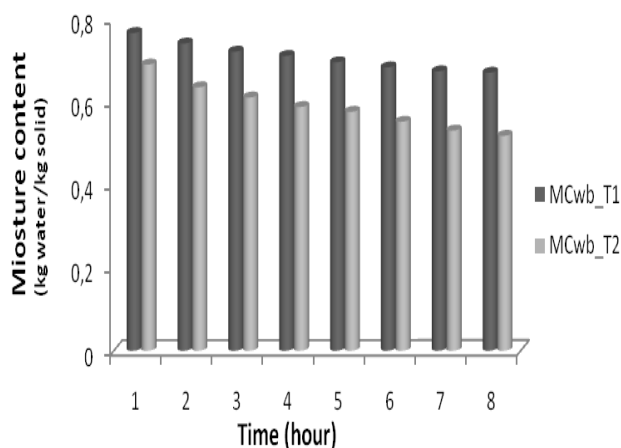
جا با نتایجی که ایرانی و همکاران (1389) به دست آوردند متفاوت بود به طوری که در آنجا نسبت وزنی میوه به محلول اسمزی ساکارز در سطح آماری 0/05 معنی دار نشده بود که این اختلاف را می توان به دلیل وجود نمک و همچنین وجود قند گلوکز در ترکیب با ساکارز دانست (1).

همان طور که از برازش معادلات خط در جدول 2-3 مشاهده می شود مقدار محتوای رطوبتی در طول زمان با افزایش غلظت محلول اسمزی کاهش پیدا می کند. میزان رطوبت در محلول اسمزی C9 بیش تر از بقیه محلول ها کاهش پیدا کرده و میزان رطوبت در محلول اسمزی C1 کم تر از بقیه محلول ها کاهش پیدا کرده. با توجه به شکل مذکور و نتایج آماری به دست آمده توسط آزمون مقایسه‌ی میانگین دانکن محلول هایی که در کاهش میزان محتوای رطوبتی با یکدیگر تفاوت معنی داری ندارند به ترتیب مقابل بود: $C9, C6 > C7, C10 > C5, C8, C3, C2, C4 > C11, C1$ پس می توان نتیجه گرفت که محلول قندی ساکارز 50٪ میزان محتوای رطوبتی را بیش تر از بقیه غلظت ها و حتی بیش تر از محلول های مختلف گلوکز کاهش داده و همچنین نتیجه گیری شد که محلول دارای 10٪ نمک، 30٪ گلوکز و 30٪ ساکارز کم ترین کاهش محتوای رطوبتی را نشان داد.

جدول 2- جدول معادلات خط تاثیر غلظت محلول های اسمزی (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10 و C11) بر

تغییرات جذب مواد جامد (SG) در طی زمان 8 ساعت

نوع محلول اسمزی	معادله خط
C1	$y = 0.0135x + 0.1278$
C2	$y = 0.0156x + 0.1209$
C3	$y = 0.0141x + 0.1149$
C4	$y = 0.0123x + 0.1327$
C5	$y = 0.0139x + 0.1343$
C6	$y = 0.012x + 0.1047$
C7	$y = 0.0132x + 0.1113$
C8	$y = 0.0156x + 0.1122$
C9	$y = 0.0121x + 0.1116$
C10	$y = 0.0087x + 0.1082$
C11	$y = 0.011x + 0.1305$



شکل 6- تغییرات مقدار محتوای رطوبتی بر مبنای تر (MCwb)

در دو دمای $T1 = 25$ و $T2 = 75$ درجه سانتی گراد

همان طور که در شکل 3 و 6 مشاهده می شود مقدار رطوبت در دمای 75 درجه سانتی گراد نسبت به دمای 25 بیش تر کاهش پیدا کرده به این دلیل که در دمای بالاتر رطوبت با سرعت بیش تری از میوه به خارج می شود. به طور کلی در هر دو دما در طی گذشت زمان مقدار رطوبت کاهش پیدا کرده است ولی شیب کاهش رطوبت برای 75 درجه سانتی گراد بسیار بیش تر بوده نسبت به دمای 25 درجه سانتی گراد که با شیب بسیار کمی رطوبت در آن کاهش یافته است. در مورد 25 درجه سانتی گراد مشاهده می شود که مقدار رطوبت در طی زمان 8 ساعت با شیب کمی کاهش پیدا کرده. با توجه به نتایج آماری به دست آمده اختلاف معنی داری بین دو دمای 25 و 75 درجه سانتی گراد بر روی تغییرات محتوای رطوبتی در سطح آماری 0/05 مشاهده می شود. دلیل آن، افزایش ضریب انتشار با افزایش دما و در نهایت افزایش انتقال جرم که منجر به کاهش بیش تر محتوای رطوبتی می شود (5).

همان طور که در شکل های 3 و 7 مشاهده می شود در هر دو نسبت مواد جامد به مایع 1:5 و مواد جامد به مایع 1:10 مقدار رطوبت در طول زمان 8 ساعت کاهش پیدا کرده است. مطابق نتایج آماری به دست آمده تفاوت آماری معنی داری در سطح 0/05 در میزان محتوای رطوبتی در دو نسبت مواد جامد به مایع 1:5 و مواد جامد به مایع 1:10 وجود دارد به این ترتیب که مقادیر محتوای رطوبتی در نسبت مواد جامد به مایع 1:5 نسبت به 1:10 بیش تر کاهش پیدا کرده است. نتایج به دست آمده در این

3-3- کاهش وزن

مقادیر کاهش وزن پس از 8 ساعت خشک شدن در محلول‌های اسمزی مختلف در جدول 4 ارائه شده است.

جدول 4- مقادیر کاهش وزن در محلول‌های C1, C2, C3, C4, C5

در زمان 8 ساعت

مقدار کاهش وزن در انتهای زمان 8	محلول اسمزی	نسبت میوه‌ی به محلول اسمزی (R)	درجه حرارت (T) °C
0.195	C1	1:5	25
0.107	C2	1:5	25
0.207	C3	1:5	25
0.267	C4	1:5	25
0.101	C5	1:5	25
0.185	C1	1:10	25
0.142	C2	1:10	25
0.132	C3	1:10	25
0.105	C4	1:10	25
0.07	C5	1:10	25
0.292	C1	1:5	75
0.153	C2	1:5	75
0.195	C3	1:5	75
0.189	C4	1:5	75
0.084	C5	1:5	75
0.0853	C1	1:10	75
0.042	C2	1:10	75
0.116	C3	1:10	75
0.175	C4	1:10	75
0.075	C5	1:10	75

(C1): 10٪ نمک + 30٪ ساکارز + 30٪ گلوکز. C2: 10٪ نمک +

10٪ ساکارز + 50٪ گلوکز. C3: 10٪ نمک + 50٪ ساکارز + 10٪ گلوکز.

C4: 20٪ نمک + 50٪ ساکارز. C5: 20٪ نمک + 50٪ گلوکز. C6: 50٪

گلوکز. C7: 60٪ گلوکز. C8: 70٪ گلوکز. C9: 50٪ ساکارز. C10: 60٪

ساکارز. C11: 70٪ ساکارز (وزنی/وزنی))

مطابق نتایج آماری به دست آمده از نرم افزار SPSS 16 برای کاهش وزن تیمار زمان، نسبت میوه‌ی به محلول اسمزی و انواع محلول‌های اسمزی کاملاً در سطح آماری 0/05 معنی دار بوده است. از طرفی نتایج، نشان دادند که محلول اسمزی C6 دارای کم‌ترین میانگین کاهش وزن بوده و محلول اسمزی C11 دارای بیش‌ترین میانگین کاهش وزن بوده است (جدول 3-4، 3-5 و 3-6).

جدول 3- جدول معادلات خط تاثیر غلظت محلول‌های اسمزی (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10 و C11) بر تغییرات محتوای رطوبتی (MCwb) در طی زمان 8 ساعت

نوع محلول اسمزی	معادله‌ی خط
C1	$y = -0.0212x + 0.7112$
C2	$y = -0.0186x + 0.723$
C3	$y = -0.0195x + 0.7285$
C4	$y = -0.018x + 0.7129$
C5	$y = -0.015x + 0.7104$
C6	$y = -0.0138x + 0.7522$
C7	$y = -0.0176x + 0.7462$
C8	$y = -0.0192x + 0.7288$
C9	$y = -0.0138x + 0.7537$
C10	$y = -0.0185x + 0.7438$
C11	$y = -0.0247x + 0.7273$

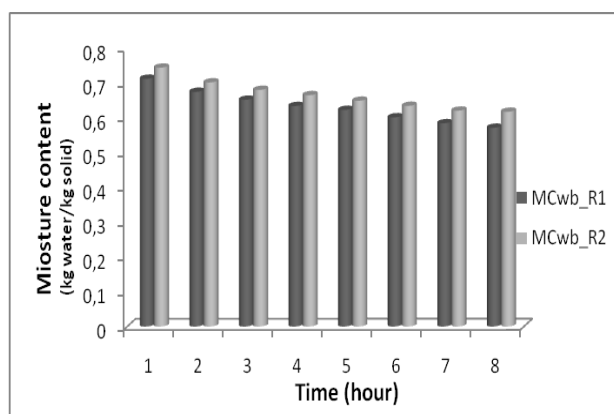
(C1): 10٪ نمک + 30٪ ساکارز + 30٪ گلوکز. C2: 10٪ نمک +

10٪ ساکارز + 50٪ گلوکز. C3: 10٪ نمک + 50٪ ساکارز + 10٪ گلوکز.

C4: 20٪ نمک + 50٪ ساکارز. C5: 20٪ نمک + 50٪ گلوکز. C6: 50٪

گلوکز. C7: 60٪ گلوکز. C8: 70٪ گلوکز. C9: 50٪ ساکارز. C10: 60٪

ساکارز. C11: 70٪ ساکارز (وزنی/وزنی))



شکل 7- تغییرات مقدار محتوای رطوبتی بر مبنای تر (MCwb) در دو نسبت مواد جامد به مایع 1:5 وزنی / وزنی (R1) و 1:10 وزنی / وزنی (R2)

جذب قند، دفع آب و محتوای رطوبتی به طور کاملاً معنی داری با افزایش غلظت و دمای اسمزی افزایش پیدا کردند و تأثیر دما از بقیه موارد بیش تر بود. با افزایش غلظت محلول اسمزی مقادیر جذب قند و دفع آب در طول زمان افزایش پیدا کرد و مقادیر محتوای رطوبتی در طول زمان کاهش پیدا کرد.

جدول 6 - مقادیر کاهش وزن در محلول های C7, C8, C9 در

زمان 8 ساعت			
مقدار کاهش وزن در انتهای زمان 8	محلول اسمزی	نسبت میوه‌ی به محلول اسمزی (R)	درجه حرارت (T) °C
0.0837	C9	1:5	25
0.0918	C10	1:5	25
0.213	C11	1:5	25
0.118	C9	1:10	25
0.096	C10	1:10	25
0.211	C11	1:10	25
0.225	C9	1:5	75
0.263	C10	1:5	75
0.280	C11	1:5	75
0.1812	C9	1:10	75
0.205	C10	1:10	75
0.316	C11	1:10	75

(C1: 10٪ نمک + 30٪ ساکارز + 30٪ گلوکز. C2: 10٪ نمک + 10٪ ساکارز + 50٪ گلوکز. C3: 10٪ نمک + 50٪ ساکارز + 10٪ گلوکز. C4: 20٪ نمک + 50٪ ساکارز. C5: 20٪ نمک + 50٪ گلوکز. C6: 50٪ گلوکز. C7: 60٪ گلوکز. C8: 70٪ گلوکز. C9: 50٪ ساکارز. C10: 60٪ ساکارز. C11: 70٪ ساکارز (اوزنی/اوزنی))

مطابق آزمون مقایسه میانگین دانکن محلول های اسمزی C2, C6, C9, C4, C7, C10, C3 با یکدیگر در سطح آماری 0/05 اختلاف معنی دار نداشتند. همچنین C1, C8, C11 با یکدیگر در سطح آماری 0/05 اختلاف معنی دار نداشتند ولی از طرفی دو گروه مذکور در سطح آماری 0/05 با یکدیگر تفاوت معنی داری داشتند.

جدول 5 - مقادیر کاهش وزن در محلول های C6, C7, C8 در

زمان 8 ساعت			
مقدار کاهش وزن در انتهای زمان 8	محلول اسمزی	نسبت میوه‌ی به محلول اسمزی (R)	درجه حرارت (T) °C
0.231	C6	1:5	25
0.261	C7	1:5	25
0.271	C8	1:5	25
0.222	C6	1:10	25
0.240	C7	1:10	25
0.230	C8	1:10	25
0.027	C6	1:5	75
-0.008	C7	1:5	75
0.154	C8	1:5	75
-0.24	C6	1:10	75
0.042	C7	1:10	75
0.034	C8	1:10	75

(C1: 10٪ نمک + 30٪ ساکارز + 30٪ گلوکز. C2: 10٪ نمک + 10٪ ساکارز + 50٪ گلوکز. C3: 10٪ نمک + 50٪ ساکارز + 10٪ گلوکز. C4: 20٪ نمک + 50٪ ساکارز. C5: 20٪ نمک + 50٪ گلوکز. C6: 50٪ گلوکز. C7: 60٪ گلوکز. C8: 70٪ گلوکز. C9: 50٪ ساکارز. C10: 60٪ ساکارز. C11: 70٪ ساکارز (اوزنی/اوزنی))

3-4 - تعیین میزان جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی

از طریق معادله‌ی آزواریا و همکارانش همان طور که پیش تر بیان شد با ترسیم مقادیر نسبت زمان به دفع آب در برابر زمان و همچنین نسبت زمان به جذب قند در برابر زمان خطوطی به دست می‌آید که از طریق محاسبه‌ی شیب و عرض از مبدا خطوط می‌توان مقادیر ثابت‌ها و جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی را محاسبه نمود (13). این مقادیر در جدول 7 ارائه شده است.

4- نتیجه گیری

جدول 7- مقادیر S_{∞} و wl_{∞} و s و SG_{∞} برای محلولهای اسمزی C1, C2, C3, C4, C5 در شرایط اسمزی مختلف

درجه حرارت (T) °C	نسبت میوه‌ی به محلول اسمزی (R)	محلول اسمزی	ضریب S_{wl} (Hour ⁻¹)	دفع آب تعادلی (wl_{∞}) (آب اولیه /kg آب /kg)	ضریب S_{sg} (Hour-1)	جذب قند تعادلی (SG_{∞}) (kg ماده‌ی جامد / kg ماده‌ی جامد ی اولیه)
25	1:5	C1	1.378	0.319	0.911	0.239
25	1:5	C2	1.216	0.342	1.171	0.205
25	1:5	C3	1.456	0.298	0.903	0.247
25	1:5	C4	1.470	0.344	0.570	0.406
25	1:5	C5	0.656	0.540	1.096	0.226
25	1:10	C1	1.494	0.298	1.350	0.142
25	1:10	C2	1.862	0.217	0.927	0.208
25	1:10	C3	2.353	0.161	1.286	0.134
25	1:10	C4	1.560	0.212	0.870	0.234
25	1:10	C5	1.094	0.258	0.812	0.259
75	1:5	C1	1.229	0.544	1.648	0.212
75	1:5	C2	1.050	0.476	2.055	0.177
75	1:5	C3	1.201	0.490	1.776	0.190
75	1:5	C4	0.948	0.563	1.893	0.178
75	1:5	C5	0.934	0.425	1.878	0.174
75	1:10	C1	1.000	0.631	1.607	0.182
75	1:10	C2	0.964	0.343	2.404	0.136
75	1:10	C3	0.858	0.436	2.065	0.139
75	1:10	C4	0.744	0.522	1.333	0.175
75	1:10	C5	3.280	0.556	1.696	0.183

C1: 10٪ نمک + 30٪ ساکارز + 30٪ گلوکز. C2: 10٪ نمک + 10٪ ساکارز + 50٪ گلوکز. C3: 10٪ نمک + 50٪ ساکارز + 10٪ گلوکز. C4: 20٪ نمک + 50٪ ساکارز. C5: 20٪ نمک + 50٪ گلوکز. C6: 50٪ گلوکز. C7: 60٪ گلوکز. C8: 70٪ گلوکز. C9: 50٪ ساکارز. C10: 60٪ ساکارز. C11: 70٪ ساکارز (اوزنی / اوزنی)

جدول 8- مقادیر S و wl_{∞} و SG_{∞} برای محلول‌های اسمزی C6, C7, C8 در شرایط اسمزی مختلف

درجه حرارت °C (T)	نسبت میوه به محلول اسمزی (R)	محلول اسمزی	ضریب S_{wl} (Hour ⁻¹)	دفع آب تعادلی (wl_{∞}) (آب اولیه /kg آب Kg)	ضریب S_{sg} (Hour ⁻¹)	جذب قند تعادلی (SG_{∞}) (kg / ماده‌ی جامد Kg)	ماده‌ی جامدی اولیه
25	1:5	C6	2.163	0.185	0.947	0.106	
25	1:5	C7	1.23	0.341	2.042	0.077	
25	1:5	C8	2.146	0.233	1.851	0.086	
25	1:10	C6	6.493	0.168	2.189	0.064	
25	1:10	C7	6.231	0.11	1.462	0.104	
25	1:10	C8	1.043	0.414	2.29	0.071	
75	1:5	C6	1.094	0.362	2.309	0.176	
75	1:5	C7	2.227	0.165	1.627	0.226	
75	1:5	C8	1.172	0.424	1.396	0.273	
75	1:10	C6	0.985	0.313	1.126	0.251	
75	1:10	C7	1.161	0.394	1.424	0.214	
75	1:10	C8	0.504	0.818	2.248	0.178	

جدول 9- مقادیر S و wl_{∞} و SG_{∞} برای محلول‌های اسمزی C7, C8, C9 در شرایط اسمزی مختلف

درجه حرارت °C (T)	نسبت میوه به محلول اسمزی (R)	محلول اسمزی	ضریب S_{wl} (Hour ⁻¹)	دفع آب تعادلی (wl_{∞}) (آب اولیه /kg آب Kg)	ضریب S_{sg} (Hour ⁻¹)	جذب قند تعادلی (SG_{∞}) (kg / ماده‌ی جامد Kg)	ماده‌ی جامد اولیه
25	1:5	C9	3.41	0.084	0.473	0.251	
25	1:5	C10	1.11	0.197	0.660	0.210	
25	1:5	C11	6.16	0.192	2.158	0.192	
25	1:10	C9	3.44	0.105	0.161	0.634	
25	1:10	C10	1.94	0.172	0.830	0.151	
25	1:10	C11	3.69	0.143	0.465	0.266	
75	1:5	C9	0.74	0.713	1.97	0.156	
75	1:5	C10	0.76	0.720	1.740	0.181	
75	1:5	C11	1.83	0.555	1.530	0.226	
75	1:10	C9	0.745	0.566	1.044	0.232	
75	1:10	C10	1.57	0.380	1.951	0.176	
75	1:10	C11	1.81	0.430	1.255	0.257	

(C1): 10٪ نمک + 30٪ ساکارز + 30٪ گلوکز. C2: 10٪ نمک + 10٪ ساکارز + 50٪ گلوکز. C3: 10٪ نمک + 50٪ ساکارز + 10٪ گلوکز. C4: 20٪ نمک + 50٪ ساکارز. C5: 20٪ نمک + 50٪ گلوکز. C6: 50٪ گلوکز. C7: 60٪ گلوکز. C8: 70٪ گلوکز. C9: 50٪ ساکارز. C10: 60٪ ساکارز. C11: 70٪ ساکارز (اوزنی / اوزنی).

Agaricus bisporus and Pleurotus florida mushrooms. *Transactions of the ASAE* 46(3): 721-724.

3- Barat, J. M. and Fito, P. 2001. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, 49, 77-85

4- Barbosa-Canovas, G. V. and Vega-Mercado, H. 1996. *Dehydration of Foods*. Chapman & Hall, New York, N. Y

5- Bchir, B., Besbes, S., Attia, H. and Blecker, C. 2009. Osmotic dehydration of pomegranate seeds: mass transfer kinetics and differential scanning calorimetry characterization. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2208-221

6- Chen, C. R., Ramaswamy, H. S. and Alli, I. 2001. Predicting quality changes during osmoconvective drying of blueberries for process optimization. *Drying Technology*, 19, 507-523

7- Corzo, O. and Gomez, E. R. 2003. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*, 64:213-219

8- El-Aouar, A. A., Azoubel, P.M., Barbosa, J.L. and Murr, F.E.X. 2006. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya L.*). *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.

9- García-Segovia, P., Mognetti, C., Andrés-Bello, A. and Martínez-Monzó, J. 2010. Osmotic dehydration of Aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*). *Journal of Food Engineering*, 97, 154-160

10- Giri, S. K. and Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering* 78: 512-521.

11- Mavroudis, N., Gekas, V. and SjGholm, I. 1998. Osmotic Dehydration of Apples: Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. *Journal of Food Engineering* 35, 191-209.

12- Quevedo, R, Carlos, L., Aguilera, J. and Cadoche, L. 2002. Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 53, 361-371

13- Sutar, P. P. and Gupta, D. K. 2007. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. *Journal of Food Engineering*. 78: 90-97.

در ارتباط با کاهش وزن، تیمار زمان، نسبت میوه‌ی به محلول اسمزی و انواع محلول‌های اسمزی کاملاً در سطح آماری 0/05 معنی دار بوده است به طوری که با افزایش دما مقادیر کاهش وزن افزایش پیدا کرد. در تمامی موارد بالا یعنی جذب قند، دفع آب، محتوای رطوبتی و کاهش وزن فاکتور نسبت مواد جامد به محلول اسمزی در سطح آماری 0/05 معنی دار بوده به طوری که نسبت 1:5 دارای مقادیر بیش تری در مقدار جذب قند، دفع آب کاهش وزن و مقادیر بیش تری در کاهش محتوای رطوبتی بود. همچنین نتایج، نشان دادند که با افزایش غلظت محلول اسمزی تا 70٪ وزنی / وزنی برای محلول‌های گلوکز و ساکارز باعث افزایش دفع آب شده است و از طرفی محلول اسمزی C1 (ترکیب 10٪ نمک با محلول 30٪ گلوکز و 30٪ ساکارز) در بین محلول‌های سه گانه نمک، گلوکز و ساکارز (C1, C2, C3, C4, C5) دارای بیشترین میانگین دفع آب شده است. از طرفی محلول اسمزی C11 (70٪ ساکارز) بیش ترین و محلول اسمزی C9 (50٪ ساکارز) کم ترین دفع آب را در بین تمامی محلول‌ها از خود نشان دادند. به نظر می‌رسد ترکیب محلول‌ها اثر مضاعفی بر فرایند انتقال جرم داشته است و همچنین محلول اسمزی C5 یعنی محلول اسمزی محتوی 20٪ نمک و 50٪ گلوکز (وزنی/وزنی) دارای بیش ترین میانگین جذب مواد جامد بوده و محلول اسمزی C9 یعنی محلول اسمزی 50٪ ساکارز دارای کم ترین میانگین جذب مواد جامد بوده اند که دلیل آن مولکول‌های نسبتاً بزرگ تر ساکارز نسبت به گلوکز و نمک و همچنین به دلیل بریکس پایین تر نسبت به بقیه‌ی محلول‌های اسمزی ساکارز می‌باشد. به عنوان فرآیندی جدیدتر می‌توان به استفاده از محلول‌های اسمزی مختلف گلوکز، ساکارز، مانیتول، سوربیتول و نیز استفاده از ترکیب این قندها برای بررسی تأثیر آن‌ها روی فرآیند خشک کردن اسمزی، همچنین استفاده از پیش تیمار پالس الکتریک فیلد برای کاهش قدرت گزینش پذیری تراوایی غشاء سلولی و سهولت بیش تر در انتقال جرم اشاره کرد.

5-منابع

1- ایرانی، م. شفاف‌ی زنون‌سیان، م. و توکل‌ی‌پور، ح. 1389. بررسی پروفایل انتقال جرم در فرآیند خشک کردن اسمزی میوه‌ی به. *فصلنامه‌ی علوم و فناوری غذایی*. سال 2، شماره‌ی 3، 65-75

2- Arora, S., Shivhar, U. S. e., Ahmed, J. and Raghavan, G. S. V. 2003. Drying kinetics of