

پایش فرآیند اسمزی کدو حلوائی در شرایط مختلف

محسن مختاریان^{1*}، مسعود شفافی زنونیان²، فاطمه کوشکی³، محمد سلامی نیا⁴

¹ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، باشگاه پژوهشگران جوان، سبزوار، ایران

² استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

³ دانش آموخته ی کارشناسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

⁴ کارشناس گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: 90/5/10 تاریخ پذیرش: 90/7/19

چکیده

آبگیری اسمزی، فرآیندی است که در آن، آب به طور جزئی از مواد سلولی، زمانی که در محلول غلیظ هیپرتونیک از مواد حل شدنی قرار می گیرد خارج می شود. فرآیند آبگیری اسمزی کدوی حلوائی در سه سطح دمای (5، 25 و 50 درجه ی سانتی گراد) و در غلظت های مختلف نمک طعام (5، 10 و 15 % وزنی/وزنی) و غلظت ثابت ساکارز (50 % وزنی/وزنی) انجام گرفت. نسبت وزنی میوه به محلول اسمزی 1 به 20 (وزنی/وزنی) انتخاب گردید. مقادیر حذف آب و جذب مواد جامد برای هر غلظت و دما در فواصل زمانی مختلف محاسبه گردید. با استفاده از مدل پیشنهادی آزارا و همکاران، مقادیر تعادلی حذف آب و جذب مواد جامد و همچنین شدت انتقال جرم، محاسبه گردید. نتایج، نشان داد میزان حذف آب و جذب مواد جامد با افزایش غلظت و دمای محلول اسمزی ارتباط مستقیم داشت به طوری که در دمای 5 درجه ی سانتی گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام ماکزیمم کاهش آب و میزان جذب مواد جامد مشاهده گردید در حالی که اختلاف آماری معنی داری با 50 درجه ی سانتی گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام مشاهده نشد.

واژه های کلیدی: آبگیری اسمزی، کدوی حلوائی، ضرایب انتشار آب و مواد جامد.

1- مقدمه

فرآیند آبیگری اسمزی عبارت است از، حذف نسبی آب موجود در بافت‌های گیاهی توسط غوطه‌ور نمودن محصول در محلول با فشار اسمزی بالا¹ می‌باشد. حذف آب بر اساس ماهیت ماده و پدیده‌ی غیر تخریبی اسمز در مجاورت غشاء سلولی انجام می‌گیرد. نیروی محرکه² لازم جهت انتشار آب از بافت ماده‌ی غذایی به محلول اسمزی از طریق فشار اسمزی بالای محلول هیپرتونیک تامین می‌گردد (14). از آبیگری اسمزی برای تولید محصولات با رطوبت حد واسط استفاده می‌شود. همچنین از این فرآیند می‌توان به عنوان یک پیش‌فرآیند برای فرآیندهای بعدی مانند خشک کردن یا انجماد استفاده کرد (5). به دست آوردن مقادیر تعادلی حذف آب و جذب مواد جامد در فرآیند خشک کردن اسمزی، مستلزم ادامه‌ی فرآیند تا زمان‌های نسبتاً طولانی است که به دلیل شرایط حساس بیولوژیکی مواد غذایی ادامه‌ی فرآیند برای دستیابی به این اطلاعات امکان‌پذیر نیست. در حالتی که فرآیند اسمز در دما و غلظت ثابت انجام شود شدت حذف آب و جذب مواد جامد تنها تابعی از زمان است. آزورا و همکاران در سال 1992³، معادلات دو پارامتری را برای پیش‌بینی دو پارامتر دفع آب و جذب مواد جامد در شرایط تعادلی به کار گرفتند. این مدل، قادر به پیش‌گویی سینتیک فرآیند آبیگری اسمزی کدوی حلوایی و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده‌های تجربی در یک دوره‌ی کوتاه مدت فرآیند آبیگری می‌باشد. این مدل‌ها یک تعادل جرم را بین مواد جامد و آب برقرار می‌کنند. معادلات زیر، سرعت دفع آب و جذب مواد جامد را بر حسب تابعی از زمان بیان می‌کنند (16). فرآیند اسمزی کدو حلوایی به عنوان یک تکنیک نوین برای حفاظت و تولید محصول جدید برای مصرف‌کننده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در یک تحقیق، محلول ساکارز برای آبیگری اسمزی هویج، سبب و کدو حلوایی استفاده گردید. در میان این میوه‌ها کدو حلوایی بیش‌ترین مقدار کاهش آب و کم‌ترین جذب مواد جامد را نشان داد (10). در بررسی دیگر، محلول شکر و نمک طعام به صورت مخلوط در آبیگری اسمزی کدو حلوایی سبز⁴ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج، نشان داد که سرعت آبیگری اسمزی با افزایش دما و غلظت محلول اسمزی افزایش

می‌یابد (3). فرناندز و همکاران (2009) تأثیر آبیگری اسمزی و پیش‌تیمار اولتراسوند را روی ساختار سلولی خربزه مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان داد که فرآیند آبیگری اسمزی سبب کاهش تدریجی حالت دیواره‌ی سلولی می‌شود و ارتباط بین دیواره‌ی سلولی و بافت‌ها را می‌شکند. همچنین نتایج، نشان داد که اولتراسوند موجب تغییر حالت کانال‌های میکروسکوپی در ساختار میوه و شکستن بافت می‌گردد. تغییرات مشاهده شده در ساختار میوه از طریق تأثیر دو پیش‌تیمار روی انتشار آب در مرحله‌ی بعد از خشک کردن با هوا رخ می‌دهد (6). ناویسکا و همکاران (2009) سینتیک خشک کردن و پارامترهای کیفی برش‌های کدو حلوایی در روش‌های مختلف آبیگری بررسی نمودند. نتایج، نشان داد که روش خشک کردن در خشک کن ترکیبی خلا - مایکروویو نسبت به خشک کن جابه‌جایی هوا، خلالتی و انجمادی سرعت خشک کردن بیش‌تر بود (14). کووالسکا و همکاران (2008) تأثیر بلانچ کردن و انجماد را روی آبیگری اسمزی کدو حلوایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان داد که هر دو روش پیش‌تیمار، قبل از آبیگری اسمزی کدو حلوایی موجب بالاتر شدن میزان دفع آب و به خصوص افزایش جذب مواد جامد در مقایسه با روش نمونه‌ی غیر پیش‌تیمار شده می‌شود (11).

هدف از این پژوهش، ایجاد ارتباط بین متغیرهای مستقل موثر در فرآیند آبیگری اسمزی کدو حلوایی در شرایط آزمایشگاهی و تخمین ضرایب توزیع تعادلی آب و مواد جامد و ثابت وابسته به شدت نفوذ آب و جذب مواد جامد به درون بافت ماده‌ی غذایی می‌باشد. همچنین، این روش به دلیل کوتاه کردن فرآیند خشک کردن می‌تواند به صورت ترکیبی با سایر روش‌های خشک کردن نظیر خشک کردن تحت خلا و خشک کردن کابینتی، زمان خشک کردن را کوتاه و از افت کیفیت محصول کاسته و مصرف انرژی را به حداقل ممکن برساند.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده سازی ماده‌ی اولیه

برای انجام این آزمایش، کدوی حلوایی از بازار محلی خریداری و در طول مدت انجام آزمایش در سردخانه نگه‌داری گردید. کدوهای حلوایی مورد استفاده دارای رطوبت اولیه‌ی 95 ± 1 درصد در مبنای تر بود. رطوبت اولیه‌ی نمونه‌ها از طریق قرار دادن

1 - Hypertonic

2 - Driving force

3 - Azuara et al. (1992)

4 - Cucurbita Spp. L.

جرم نمونه بعد از زمان t ، S_0 و S_t به ترتیب مقدار ماده ی جامد نمونه قبل از فرآیند آبگیری اسمزی و مقدار مواد جامد نمونه بعد از فرآیند آبگیری اسمزی می باشد (4). مشخصات محلول های اسمزی به کار رفته در جدول 1 نشان داده شده است.

جدول 1- مشخصات محلول های اسمزی مورد استفاده

مشخصه ی محلول	دمای محلول اسمزی (°C)	غلظت محلول اسمزی (% وزنی/وزنی)
S1	5	(50% ساکارز + 5% نمک طعام)
S2	5	(50% ساکارز + 10% نمک طعام)
S3	5	(50% ساکارز + 15% نمک طعام)
S4	25	(50% ساکارز + 5% نمک طعام)
S5	25	(50% ساکارز + 10% نمک طعام)
S6	25	(50% ساکارز + 15% نمک طعام)
S7	50	(50% ساکارز + 5% نمک طعام)
S8	50	(50% ساکارز + 10% نمک طعام)
S9	50	(50% ساکارز + 15% نمک طعام)

2-3- تخمین دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی

به دست آوردن مقادیر تعادلی حذف آب و جذب مواد جامد در فرآیند خشک کردن اسمزی، مستلزم ادامه ی فرآیند تا زمان های نسبتاً طولانی است که به دلیل شرایط حساس بیولوژیکی مواد غذایی، ادامه ی فرآیند برای دستیابی به این اطلاعات امکان پذیر نیست. در حالتی که فرآیند اسمز در دما و غلظت ثابت انجام شود، شدت حذف آب و جذب مواد جامد تنها تابعی از زمان است. آزورا و همکاران در سال 1992²، معادلات دو پارامتری را برای پیش بینی دو پارامتر دفع آب و جذب مواد جامد در شرایط تعادلی به کار گرفتند. این مدل، قادر به پیش گویی سینتیک فرآیند آبگیری اسمزی کدوی حلوایی و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده های تجربی در یک دوره ی کوتاه مدت فرآیند آبگیری می باشد. این مدل ها یک تعادل جرم را بین مواد جامد و آب برقرار می کنند. معادلات زیر سرعت دفع آب و جذب مواد جامد را بر حسب تابعی از زمان بیان می کنند (معادلات 5 و 6):

نمونه ها در آون اتمسفریک و در دمای $102 \pm 0/2$ درجه ی سانتی گراد تا دستیابی به وزن ثابت اندازه گیری شدند (2). در ابتدای هر آزمایش، کدوی حلوایی شست و شو و در ابعاد $20 \times 20 \times 5$ میلی متر (ارتفاع \times عرض \times طول) برش داده شد و توسط یک کولیس (مدل ورتکس¹، M502، با دقت 0/01 میلی متر) ابعاد کنترل گردید.

2-2- آماده سازی محلول اسمزی و فرآیند آبگیری اسمزی

در این پژوهش از محلول اسمزی شامل (50% ساکارز + 5% نمک طعام)، (50% ساکارز + 10% نمک طعام) و (50% ساکارز + 15% نمک طعام) در سه سطح دمایی 5، 25 و 50 درجه ی سانتیگراد در حالت استاتیک، استفاده گردید. قطعات کدوی حلوایی در محلول های اسمزی فوق، غوطه ور و در فواصل زمانی 0، 30، 60، 90، 120 و 180 دقیقه دو قطعه از محلول اسمزی خارج و سطح آن با آب مقطر دیونیزه شسته و بر روی یک کاغذ صافی جهت جذب شدن آب سطحی قرار گرفت. بعد از جذب سطحی آب، نمونه ها توزین گردید. دمای فرآیند آبگیری اسمزی توسط یک ترموکوپل کنترل گردید (RS-1315, Radionics, Dublin, Ireland). برای تعیین محتوای رطوبتی نمونه ها، قطعات در داخل آون تحت فشار اتمسفر در دمای $102 \pm 0/2$ درجه ی سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. میزان کاهش آب، جذب مواد جامد، افت وزن، نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد و رطوبت نهایی قطعات بر اساس توزین آن ها در مراحل مختلف (قبل از آبگیری اسمزی، بعد از آبگیری اسمزی و بعد از خشک کردن در آون) با استفاده از فرمول های زیر به دست آمد (معادلات 1 تا 4):

$$MC = \frac{1-S_t}{S_0} \quad (1)$$

$$WL = \frac{(1-S_0).m_0 - (1-S_t).m_t}{S_0.m_0} \quad (2)$$

$$SG = \frac{S_t.m_t - S_0.m_0}{S_0.m_0} \quad (3)$$

$$WR = WL - SG \quad (4)$$

در این معادلات MC محتوای رطوبت نمونه، WL کاهش آب، SG جذب مواد جامد، WR افت وزن، m_0 جرم اولیه ی نمونه،

(10)

$$SG(D_{es}) = \sum_{j=1}^7 \left| \frac{SG_{\infty} - SG_j}{SG_{\infty}} - \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left(- (2i+1)^2 \left(\frac{\pi^2 D_{es} t}{4l^2} \right) \right) \right) \right|$$

در این معادله، WL_j و WL_{∞} به ترتیب مقادیر دفع آب در زمان t و ∞ و SG_j و SG_{∞} به ترتیب، مقادیر جذب مواد جامد در زمان t و ∞ ، D_{ew} و D_{es} به ترتیب، مقدار انتشار مؤثر آب و مقدار انتشار مؤثر جذب مواد جامد بر حسب واحد (m^2/s) و l به عنوان نیم ضخامت نمونه بر حسب متر (m) می‌باشد (معادلات 11 و 12).

(11)

$$WL(D_{ew}) = \frac{WL_{\infty} - WL_j}{WL_{\infty}} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{8}{\pi^2} \exp \left(- \frac{\pi^2 D_{ew} t}{4l^2} \right) \quad (12)$$

$$SG(D_{es}) = \frac{SG_{\infty} - SG_j}{SG_{\infty}} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{8}{\pi^2} \exp \left(- \frac{\pi^2 D_{es} t}{4l^2} \right)$$

مقادیر انتشار مؤثر آب و جذب مواد جامد (D_{es} و D_{ew}) از طریق شیب نمودار $\ln(WL_{Dew})$ و $\ln(WL_{Des})$ بر حسب زمان محاسبه می‌گردند (7).

2-5- تجزیه و تحلیل آماری فرآیند آبیگری اسمزی

آنالیز آماری ویژگی‌های نمونه‌ی کدوی حلویبی با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه‌ی میانگین داده با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت. متغیرهای مستقل شامل دمای فرآیند اسمزی در سه دمای 5، 25 و 50 درجه‌ی سانتی‌گراد، نوع محلول‌های اسمزی شامل (ساکارز 50% + نمک طعام 5%)، (ساکارز 50% + نمک طعام 10%) و (ساکارز 50% + نمک طعام 15%) و زمان فرآیند اسمزی بود. متغیرهای وابسته فرآیند اسمزی شامل دفع رطوبت، جذب مواد جامد، افت وزن، نسبت دفع رطوبت به جذب مواد جامد و محتوی رطوبت نهایی می‌باشد. کلیه‌ی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام می‌شود و با استفاده از نرم افزار SAS نسخه‌ی 9/1 آنالیز آماری صورت می‌گیرد. جهت آنالیز آماری اثرات متقابل بین متغیرها از نرم افزار Statistix نسخه‌ی 8 استفاده می‌گردد.

3- نتایج و بحث

تأثیر تغییرات غلظت و دمای محلول اسمزی روی افت رطوبت، جذب مواد جامد، افت وزن، نسبت افت رطوبت به جذب مواد جامد و محتوی رطوبت نهایی در جدول 2 نشان داده شده است.

$$\frac{WL_j}{WL_{\infty}} = \frac{S_1 t_j}{1 + S_1 t_j} \quad (5)$$

(5)

$$\frac{SG_j}{SG_{\infty}} = \frac{S_2 t_j}{1 + S_2 t_j} \quad (6)$$

(6)

در این معادلات WL_j و SG_j به ترتیب میانگین درصد مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد در زمان t و WL_{∞} و SG_{∞} به ترتیب مقادیر تعادلی دفع آب و جذب مواد جامد می‌باشند. مقادیر S_1 و S_2 به ترتیب ثابت وابسته به شدت نفوذ آب به بیرون از بافت ماده‌ی غذایی و ثابت وابسته به شدت نفوذ مواد جامد محلول اسمزی به درون بافت ماده‌ی غذایی می‌باشند (واحد این ثابت‌ها بر حسب $1/\text{time}$ یا S^{-1} می‌باشد که در اکثر مواقع زمان بر حسب دقیقه و ساعت عنوان می‌گردد). شکل خطی این معادلات در محاسبات بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این معادلات به صورت زیر آرایش می‌یابد (معادلات 7 و 8):

$$\frac{t}{WL_j} = \frac{1}{S_1 WL_{\infty}} + \frac{t}{WL_{\infty}} \quad (7)$$

$$\frac{t}{SG_j} = \frac{1}{S_2 SG_{\infty}} + \frac{t}{SG_{\infty}} \quad (8)$$

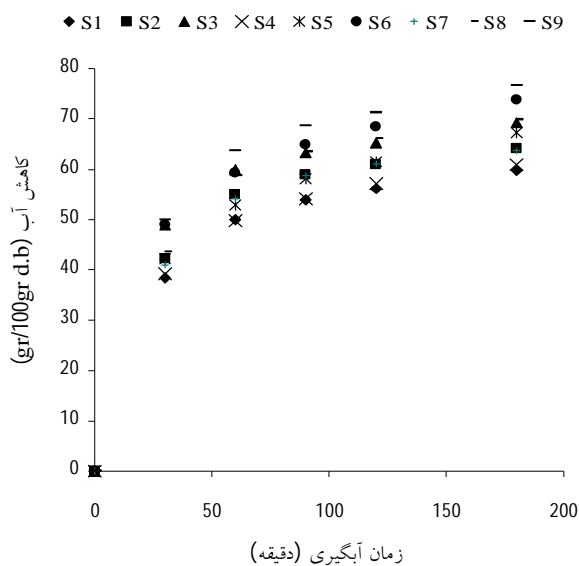
مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی از طریق رسم نمودار t/WL_{∞} و t/SG_{∞} در مقابل زمان محاسبه می‌گردند. همچنین مقادیر WL_j و SG_j از طریق داده‌های تجربی در زمان‌های مختلف تخمین زده می‌شوند. همان‌طور که گفته شد مقادیر S_1 و S_2 مربوط به ثابت‌های انتقال جرم می‌باشند. مقادیر بالاتر این ثابت‌ها نمایان‌گر سرعت انتقال جرم بیش‌تر آب و مواد جامد می‌باشد (16).

2-4- محاسبه‌ی انتشار مؤثر آب و مواد جامد

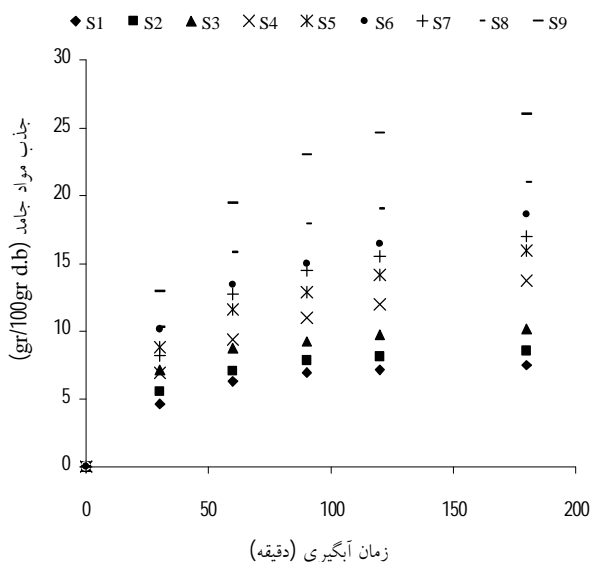
ضرایب انتشار آب و مواد جامد از طریق قانون دوم فیک محاسبه می‌گردد. حل تحلیلی معادله‌ی قانون دوم فیک در حالت ناپایا می‌تواند جهت توصیف انتشار مؤثر آب و مواد جامد برای یک تیغه‌ی نامحدود به کار برده شود. این معادلات در زیر نشان داده شده است (معادلات 9 و 10):

(9)

$$WL(D_{ew}) = \sum_{j=1}^7 \left| \frac{WL_{\infty} - WL_j}{WL_{\infty}} - \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left(- (2i+1)^2 \left(\frac{\pi^2 D_{ew} t}{4l^2} \right) \right) \right) \right|$$



شکل 1- تغییرات درصد کاهش آب برش‌های کدوی حلوایی در طول زمان در دما و غلظت متفاوت محلول اسمزی



شکل 2- تغییرات درصد جذب مواد جامد برش‌های کدوی حلوایی در طول زمان در دما و غلظت متفاوت محلول اسمزی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر غلظت محلول اسمزی بر درصد کاهش آب نمونه های کدوی حلوایی آبدار بوده به روش فرآیند اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی دار می باشد (1% = α) به طوری که با افزایش غلظت محلول اسمزی نمک طعام از 5 تا 15 درصد، درصد کاهش آب نمونه های کدوی حلوایی آبدار شده به ترتیب از 44/72 درصد به 50/83 درصد روند صعودی را طی نمود. نتایج مشابه توسط جلایی و همکاران (2010) مشاهده گردید (7). همچنین، نتایج تجزیه ی واریانس اثر متقابل دما و غلظت محلول اسمزی بر درصد کاهش آب نمونه های کدوی حلوایی آبدار شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه، معنی دار بود (1% = α). نتایج، حاکی از آن است نمونه ی آبدار شده در دمای 5 درجه ی سانتی گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان کاهش آب بوده اگرچه اختلاف آماری معنی داری با دمای 50 درجه ی سانتی گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام مشاهده نگردید. از طرف دیگر نمونه ی آبدار شده در دمای 50 درجه ی سانتی گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام کم ترین میزان کاهش آب می باشد که اختلاف آماری معنی داری با دمای 5 درجه ی سانتی گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام نداشت (جدول 2). همان طور که در شکل 1 مشاهده می گردد، با گذشت زمان، درصد کاهش آب در کلیه ی غلظت ها روند صعودی را دارد به طوری که درصد کاهش آب در دمای 50 درجه ی سانتی گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام 58/77 درصد و در همان دما و غلظت 15 درصد نمک طعام 72/68 درصد می باشد. همچنین، لازم به ذکر می باشد روند تغییرات فوق در سایر دماها نیز صادق می باشد.

شکل 2، تغییرات درصد جذب مواد جامد برش های کدوی حلوایی را بر حسب زمان آبدار سازی، نشان می دهد. نتایج نشان داد که میزان جذب مواد جامد در طول زمان در کلیه ی تیمارها روند صعودی را داشته به طوری که میزان جذب مواد جامد در دمای ثابت 25 درجه ی سانتی گراد در غلظت 5 درصد نمک طعام 8/17 درصد و در غلظت 15 درصد نمک طعام 11/17 درصد می باشد. روند تغییرات فوق در سایر دماها نیز صادق بود. این پدیده به دلیل تأثیر دما روی کاهش ویسکوزیته ی محلول اسمزی و تخریب غشاء سلولی نمونه می باشد. نتایج مشابه توسط سایر محققین در رابطه با تأثیر غلظت و دما محلول اسمزی روی آبدار سازی سایر میوه جات و سبزیجات گزارش گردید (16).

آبزدایی شده در دمای 50 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام دارای کم‌ترین میزان افت وزن می‌باشد (جدول 2).

نتایج این مطالعه، نشان داد که محتوی رطوبتی نمونه‌ها در طول زمان در کلیه‌ی تیمارها روند نزولی را داشته به طوری که میزان رطوبت در دمای ثابت 5 درجه‌ی سانتی‌گراد در غلظت 5 درصد نمک طعام 3/69 درصد در مبنای خشک و در غلظت 15 درصد نمک طعام 2/92 درصد در مبنای خشک می‌باشد. روند تغییرات در سایر دماهای فرآیند به صورت فوق انجام گرفت. این حالت در شکل 4 به وضوح، نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر دما و غلظت محلول اسمزی بر میزان رطوبت نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده به روش فرآیند اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی‌دار می‌باشد ($\alpha = 1\%$). نتایج مشاهدات، حاکی از آن است که با افزایش دما از 5 درجه‌ی سانتی‌گراد به 50 درجه‌ی سانتی‌گراد محتوی رطوبت نمونه‌ها روند نزولی را طی نموده است که علت این پدیده، این است که بخش قابل ملاحظه‌ای از خروج رطوبت از ماده‌ی غذایی در اثر انتشار مایع یا بخار آب در داخل ساختمان محصول صورت می‌گیرد. این مرحله از جابه‌جایی رطوبت به دنبال تبخیر آب در برخی از نقاط داخل محصول روی می‌دهد و هر چه دما بالاتر رود تبخیر آب نیز در داخل محصول بالاتر می‌رود. نتایج این تحقیق با نتایج زهرا امام جمعه و بهزاد علاء‌الدینی 1384 مطابقت داشته است (1). همچنین نتایج آنالیز واریانس تأثیر غلظت محلول اسمزی روی میزان رطوبت نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی از 5 تا 15 درصد نمک طعام، میزان رطوبت نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده به روش اسمزی را از 3/72 درصد به 3/03 درصد تنزل نمود (جدول 2).

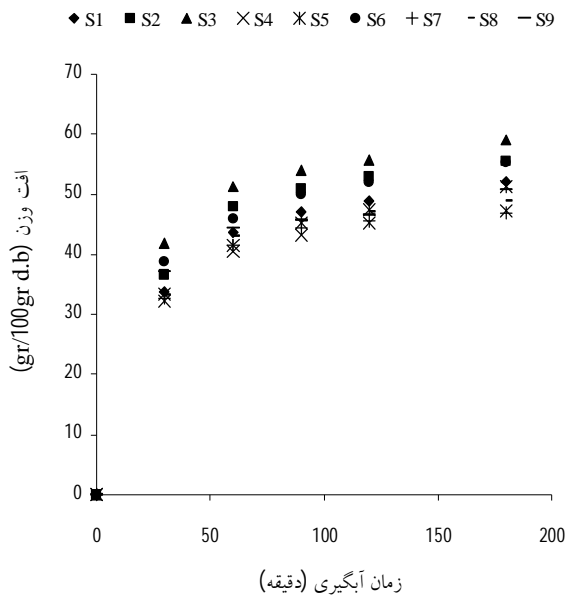
نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل دما و غلظت محلول اسمزی بر میزان رطوبت نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی‌دار بود ($\alpha = 1\%$). نتایج، حاکی از آن بود که نمونه‌ی آبدگیری شده در دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان رطوبت و نمونه‌ی آبدگیری شده در دمای 50 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام قرار داشت دارای کم‌ترین میزان رطوبت می‌باشد.

همچنین با افزایش درجه‌ی حرارت از 5 درجه‌ی سانتی‌گراد به 50 درجه‌ی سانتی‌گراد، درصد جذب مواد جامد نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده به روش اسمزی افزایش یافت. علت این پدیده، این است که انتشار یک پدیده، وابسته به دما است و رابطه‌ی ضریب انتشار با دما رابطه‌ای از نوع آرنیوس می‌باشد و دمای بالاتر باعث انتشار سریع‌تر آب در ماده‌ی غذایی می‌شود و همچنین به علت کم‌تر شدن ویسکوزیته‌ی محلول اسمزی در دمای بالاتر، انتقال جرم در سطح ماده‌ی غذایی بهتر صورت می‌گیرد (12).

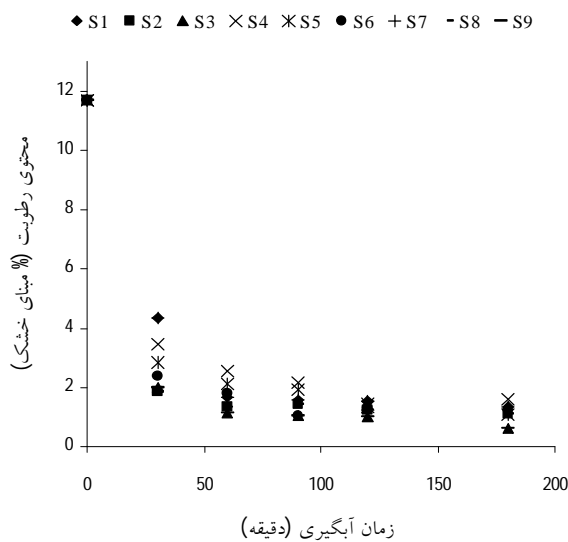
نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر دما و غلظت محلول اسمزی بر درصد جذب مواد جامد نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده در مدت 180 دقیقه معنی‌دار می‌باشد ($\alpha = 1\%$) به طوری که با افزایش دمای محلول اسمزی از 5 درجه‌ی سانتی‌گراد به 50 درجه‌ی سانتی‌گراد و افزایش غلظت محلول اسمزی از 5 تا 15 درصد نمک طعام، درصد جذب مواد جامد نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده را به ترتیب از 6/56 درصد به 13/50 درصد و از 8 درصد به 11/94 درصد افزایش یافت. همچنین آنالیز واریانس اثر متقابل دما و غلظت محلول اسمزی بر درصد جذب مواد جامد نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی‌دار بود ($\alpha = 1\%$). نتایج، حاکی از آن است که نمونه‌ی آبدایی شده در دمای 50 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان جذب مواد جامد و نمونه‌ی آبدایی شده در دمای 5 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام دارای کم‌ترین میزان جذب مواد جامد می‌باشد (جدول 2). شکل 3، تغییرات افت وزن نمونه کدوی حلوایی را در طی آبدگیری نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد که افت وزن نمونه در طول زمان در کلیه‌ی تیمارها روند صعودی داشت. با افزایش غلظت محلول اسمزی از 5 به 15 درصد نمک طعام، درصد افت وزن نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده به روش اسمزی، افزایش یافت. طبق جدول 2، میانگین افت وزن در غلظت 5 درصد = 36/78 و در غلظت 15 درصد = 38/94 است. نتایج آنالیز واریانس اثر متقابل دما و غلظت محلول اسمزی بر درصد افت وزن نمونه‌های کدوی حلوایی آبدگیری شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی‌دار بود ($\alpha = 1\%$). نتایج، حاکی از آن است که نمونه‌ی آبدایی شده در دمای 5 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان افت وزن و نمونه‌ی

آزورا و همکاران در سال 1992¹، معادلات دو پارامتری را برای پیش بینی سینتیک فرآیند آبگیری اسمزی کدوی حلوایی و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده‌های تجربی در یک دوره‌ی کوتاه مدت فرآیند آبگیری، ارائه داده اند. مقادیر شیب و عرض از مبدا از طریق رگرسیون خطی t/SG و t/WI در مقابل زمان تعیین گردید. جداول 3 و 4 مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی را به همراه ضریب رگرسیونی و معادله‌ی رگرسیون خطی در نه حالت مختلف دما و غلظت محلول اسمزی نشان می‌دهد.

در بیش‌تر حالات، ضریب رگرسیون بیش‌تر از 0/9955 محاسبه گردید که این نشان دهنده‌ی رضایت بخش بودن مدل آزورا و همکاران در پیش بینی دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی برش‌های کدوی حلوایی در طی فرآیند آبگیری می‌باشد. مقادیر انتشار مؤثر آب و مواد جامد در جدول 5 و 6 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقدار ضریب تبیین در حالت‌های مختلف فرآیند آبگیری اسمزی بالاتر از 0/8694 تخمین زده شده است. نتایج جدول، نشان داد که مقادیر انتشار آب بالاتر از انتشار مواد جامد، محاسبه گردید. نتایج، حاکی از آن است که افزایش دما و غلظت محلول اسمزی سبب افزایش انتشار مؤثر آب و مواد جامد می‌گردد. برای شرایط مختلف آبگیری اسمزی انتشار مؤثر آب در دامنه‌ی $1/112 \times 10^{-10}$ تا $1/956 \times 10^{-10}$ و انتشار مواد جامد از $0/473 \times 10^{-10}$ تا $1/881 \times 10^{-10}$ محاسبه گردید. افزایش غلظت محلول اسمزی نیروی محرکه لازم برای انتقال جرم بین نمونه و محلول را افزایش داده و در نتیجه، این حالت منجر به افزایش سرعت انتقال جرم می‌گردد. نتایج مشابه توسط کین و همکاران 2007 گزارش گردید (9).



شکل 3- تغییرات افت وزن برش‌های کدوی حلوایی در طول زمان در دما و غلظت متفاوت محلول اسمزی



شکل 4- تغییرات محتوی رطوبت برش‌های کدوی حلوایی در طول زمان در دما و غلظت متفاوت محلول اسمزی

جدول 2- مقایسه‌ی میانگین پارامترهای خشک کردن اسمزی کدوی حلوایی

محتوای رطوبت نهایی	نسبت WL/SG	افت وزن	کاهش آب	جذب مواد جامد	دما (°C)	محلول اسمزی
^a 3/69	^a 7/49	^{ab} 40/6	^{ab} 45/7	^g 5	5	
^a 3/79	^{bc} 4/84	^{ab} 37/3	^{ab} 45/5	^{def} 8	25	50% ساکارز + 5% نمک طعام
^a 3/69	^d 3/31	^b 32/3	^b 43	^{bcd} 10/7	50	
^{bc} 3/11	^{ab} 6/21	^{ab} 41/7	^{ab} 48/3	^{fg} 6	5	
^{ab} 3/51	^{cd} 3/97	^{ab} 36/8	^{ab} 46/7	^{cde} 9	25	50% ساکارز + 10% نمک طعام
^{bc} 3/11	^{cd} 3/54	^{ab} 37/3	^{ab} 50	^b 13	50	
^c 2/91	^b 5/53	^a 44/2	^a 51/8	^{efg} 7	5	
^{bc} 3/24	^{cd} 3/74	^{ab} 38/8	^{ab} 49/8	^{bc} 11/1	25	50% ساکارز + 15% نمک طعام
^c 2/91	^d 2/61	^{ab} 33/8	^{ab} 50/9	^a 16/8	50	

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال 1% با استفاده از آزمون LSD تفاوت معناداری ندارند.

جدول 3- مقادیر دفع آب در زمان ∞ و ثابت‌های سینتیکی S_1 برای برش‌های کدوی حلوایی تحت شرایط مختلف آبگیری

R^2	معادله‌ی رگرسیونی	$S_1 (s^{-1})$	کاهش آب تعادلی ¹	دما (°C)	محلول اسمزی
0/9997	$y = 0.015x + 0.3185$	0/000785	66/67	5	
0/9998	$y = 0.0146x + 0.3345$	0/000727	68/49	25	50% ساکارز + 5% نمک طعام
0/9994	$y = 0.014x + 0.2848$	0/000819	71/43	50	
0/9996	$y = 0.0141x + 0.2687$	0/000875	70/92	5	
0/9987	$y = 0.0131x + 0.3452$	0/000633	76/33	25	50% ساکارز + 10% نمک طعام
0/9993	$y = 0.0127x + 0.2832$	0/000747	78/74	50	
0/9996	$y = 0.0133x + 0.2143$	0/001034	75/18	5	
0/9989	$y = 0.0121x + 0.2763$	0/000730	82/64	25	50% ساکارز + 15% نمک طعام
0/9994	$y = 0.0117x + 0.2497$	0/000781	85/47	50	

جدول 4- مقادیر جذب مواد جامد در زمان ∞ و ثابت‌های سینتیکی S_2 برای برش‌های کدوی حلوایی تحت شرایط مختلف آبیگری

R^2	معادله‌ی رگرسیونی	$S_2 (s^{-1})$	جذب مواد جامد تعادلی ¹	دما ($^{\circ}C$)	محلول اسمزی
0/9987	$y = 0.1178x + 2.6404$	0/000744	8/4889	5	
0/9966	$y = 0.0583x + 2.8181$	0/000345	17/152	25	50% ساکارز + 5% نمک طعام
0/9975	$y = 0.0472x + 2.061$	0/000382	21/186	50	
0/9998	$y = 0.1052x + 2.1867$	0/000802	9/5057	5	
0/9958	$y = 0.0524x + 2.0385$	0/000428	19/084	25	50% ساکارز + 10% نمک طعام
0/9974	$y = 0.0385x + 1.6267$	0/000394	25/974	50	
0/9998	$y = 0.0902x + 1.5178$	0/000991	11/086	5	
0/9955	$y = 0.0447x + 1.7848$	0/000417	22/371	25	50% ساکارز + 15% نمک طعام
0/9957	$y = 0.0309x + 1.2608$	0/000408	32/362	50	

جدول 5- ضریب انتشار آب برای برش‌های کدوی حلوایی تحت شرایط مختلف آبیگری

R^2	معادله‌ی رگرسیونی	$D_{ew} (m^2/s)$	دما ($^{\circ}C$)	محلول اسمزی
0/8872	$y = -0.0117x - 0.4011$	$1/112 \times 10^{-10}$	5	50% ساکارز +
0/9034	$y = -0.0114x - 0.3725$	$1/327 \times 10^{-10}$	25	5% نمک طعام
0/8696	$y = -0.0118x - 0.421$	$1/466 \times 10^{-10}$	50	
0/8722	$y = -0.0121x - 0.4396$	$1/325 \times 10^{-10}$	5	50% ساکارز +
0/9214	$y = -0.0109x - 0.3266$	$1/432 \times 10^{-10}$	25	10% نمک طعام
0/8806	$y = -0.0114x - 0.3912$	$1/662 \times 10^{-10}$	50	
0/8723	$y = -0.0128x - 0.489$	$1/393 \times 10^{-10}$	5	50% ساکارز +
0/9119	$y = -0.0115x - 0.3688$	$1/552 \times 10^{-10}$	25	15% نمک طعام
0/8949	$y = -0.0116x - 0.3953$	$1/956 \times 10^{-10}$	50	

جدول 6- ضریب انتشار جذب مواد جامد برای برش‌های کدوی حلوایی تحت شرایط مختلف آبیگری

R ²	معادله‌ی رگرسیونی	D _{es} (m ² /s)	دما (°C)	محلول اسمزی
0/8694	y = -0.0114x - 0.3946	0/473 × 10 ⁻¹⁰	5	
0/9581	y = -0.0084x - 0.1802	0/593 × 10 ⁻¹⁰	25	50% ساکارز + 5% نمک طعام
0/9231	y = -0.0087x - 0.2181	1/406 × 10 ⁻¹⁰	50	
0/8809	y = -0.0118x - 0.4096	0/618 × 10 ⁻¹⁰	5	
0/9487	y = -0.0093x - 0.2241	0/633 × 10 ⁻¹⁰	25	50% ساکارز + 10% نمک طعام
0/9223	y = -0.0088x - 0.2246	1/511 × 10 ⁻¹⁰	50	
0/8769	y = -0.0127x - 0.4741	0/652 × 10 ⁻¹⁰	5	
0/9506	y = -0.0093x - 0.2178	0/666 × 10 ⁻¹⁰	25	50% ساکارز + 15% نمک طعام
0/9034	y = -0.009x - 0.2369	1/881 × 10 ⁻¹⁰	50	

4- نتیجه گیری

هدف از این پژوهش، مطالعه‌ی تأثیر دما و غلظت محلول اسمزی روی سینتیک خشک کردن اسمزی بافت کدوی حلوایی و مدل کردن ضرایب توزیع تعادلی آب و مواد جامد برای آبیگری اسمزی کدوی حلوایی بود. مقادیر کاهش آب و جذب مواد جامد قطعات کدوی حلوایی در دما و غلظت مختلف محلول اسمزی در طی فرآیند آبیگری اسمزی به دست آمد. نوع غلظت محلول اسمزی و دما در فرآیند آبیگری قطعات کدوی حلوایی روی کاهش آب و جذب مواد جامد نقش معنی داری را ایفا می‌نمایند. نتایج این پژوهش، نشان داد که استفاده از محلول اسمزی سه گانه آب، نمک و ساکارز در فرآیند آبیگری اسمزی قطعات کدوی حلوایی، کارایی مناسبی دارد. افزایش میزان آبیگری اسمزی با افزایش سطح غلظت محلول اسمزی ارتباط مستقیم دارد و همزمان با آن، میزان جذب مواد جامد نیز افزایش یافت. بررسی نتایج حاصله از آنالیز داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد در محلول اسمزی دمای 5 و غلظت 5 درصد نمک طعام رخ داد. هدف اصلی فرآیند آبیگری اسمزی، کمینه نمودن جذب مواد جامد و بیشینه نمودن کاهش آب می‌باشد. بنابراین، هر چه نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد عدد بزرگ تری باشد فرآیند کارایی بیش تری داشته و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر می‌باشد. به طور کلی، برای افزایش میزان خروج آب از برش‌ها و کاهش جذب مواد جامد به بافت میوه، راهکارهای زیر توصیه می‌گردد:

- 1- به کارگیری همزمان فرآیند اسمزی و همزدن برای یکنواختی غلظت محلول اسمزی در سراسر محیط.
- 2- استفاده از تکنیک پوشش دادن¹ محصول قبل از فرآیند آبیگری اسمزی به عنوان یک پیش تیمار برای کاهش میزان جذب مواد جامد به داخل محصول به طوری که روی دفع آب از محصول تأثیری نداشته باشد.

فهرست نمادها

WL _∞	کاهش آب تعادلی (gr/100gr, D.M)
WL _j	دفع آب در زمان t
D _{ew}	انتشار مؤثر آب (m ² /s)
D _{es}	انتشار مؤثر جذب مواد جامد (m ² /s)
S ₁	ثابت سینتیکی شدت نفوذ آب (time ⁻¹)
S ₂	ثابت سینتیکی شدت نفوذ مواد جامد (time ⁻¹)
SG	جذب مواد جامد (gr/100gr, D.M)
WL	کاهش آب (gr/100gr, D.M)
WR	افت وزن (gr/100gr, D.M)
SG _∞	جذب تعادلی مواد جامد (gr/100gr, D.M)
SG _j	مقادیر جذب مواد جامد در زمان t
R ²	ضریب تبیین

13- Souraki, B. A. Ghaffari, A. and Bayat, Y. 2011. Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution. *Journal of Food and Bioproducts Processing*. In Press.
 14- Sun, D. 2005. Emerging technologies for food processing. Elsevier. PP 221-224.

5- منابع

1- امام جمعه، زهرا، علاء الدینی، بهزاد، 1384، بهبود شاخص های کیفی کیوی خشک شده و فرمولاسیون آن با استفاده از پایش فرآیند اسمز، مجله ی علوم کشاورزی ایران، جلد 36 شماره ی 6 (1421-1427).

2] AOAC, 1990. Official methods of analysis. Washington: Association of Official Analytical Chemists.

3- Chang, M. J. Han, M. R. and Kim, M. H. 2003. Effects of salt addition in sugar based osmotic dehydration on mass transfer and browning reaction of green pumpkin. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 46(3): 92-96.

4- Chenlo, F. Moreira, R. Fernandez-Herrero, C. and Vazquez, G. 2006. Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. *Journal of Food Eng*, 73: 164-173.

5- Ertekin, F. K. and Cakaloz. T. 1996. Osmotic dehydration of peas: II influence of osmotic on drying behavior and product quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20: 105-119.

6- Fernandes, F. A. N. Gallão, M. I. and Rodrigues, S. 2009. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *Journal of LWT*, 41: 604-610.

7- Jalaei, F. Fazeli. A. Fatemian, H. and Tavakolipour, H. 2010. Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Journal of Food and Bioproducts Processing*, In Press.

8- Khin, M. M. Weibiao, Z. and Perera, C. 2007. Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by using maltodextrin as the coating material and their textural properties. *Journal of food Engineering*, 81: 514-522.

9- Kowalska, H. and Lenart, A. 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*, 49: 137-140.

10- Kowalska, H. Lenart, A. and Leszczyk, D. 2008. The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86: 30-38.

11- Lazarides, H. N. and Mavroudis, N. E. 1996. Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. *Journal of food engineering*, 30: 61-74.

12- Nawirska, A. Figiel, A. Kucharska, A. Z. Sokół-Łętowska, A. and Biesiada, A. 2009. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering*, 94: 14-20.