

## پایش فرآیند اسمزی کدو حلوائی در شرایط مختلف

محسن مختاریان<sup>1\*</sup>، مسعود شفافی زنونیان<sup>2</sup>، فاطمه کوشکی<sup>3</sup>، محمد سلامی نیا<sup>4</sup>

<sup>1</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، باشگاه پژوهشگران جوان، سبزوار، ایران

<sup>2</sup> استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

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

<sup>4</sup> 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

می یابد (3). فرناندز و همکاران (2009) تأثیر آبیگری اسمزی و پیش تیمار اولتراسوند را روی ساختار سلولی خربزه مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان داد که فرآیند آبیگری اسمزی سبب کاهش تدریجی حالت دیواره سلولی می شود و ارتباط بین دیواره سلولی و بافت ها را می شکند. همچنین نتایج، نشان داد که اولتراسوند موجب تغییر حالت کانال های میکروسکوپی در ساختار میوه و شکستن بافت می گردد. تغییرات مشاهده شده در ساختار میوه از طریق تأثیر دو پیش تیمار روی انتشار آب در مرحله ی بعد از خشک کردن با هوا رخ می دهد (6). نایسکا و همکاران (2009) سینتیک خشک کردن و پارامترهای کیفی برش های کدو حلوائی در روش های مختلف آبیگری بررسی نمودند. نتایج، نشان داد که روش خشک کردن در خشک کن ترکیبی خلاء-مایکروویو نسبت به خشک کن جابه جایی هوا، خلأیی و انجمادی سرعت خشک کردن بیش تر بود (14). کووالسکا و همکاران (2008) تأثیر بلانچ کردن و انجماد را روی آبیگری اسمزی کدو حلوائی مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان داد که هر دو روش پیش تیمار، قبل از آبیگری اسمزی کدو حلوائی موجب بالاتر شدن میزان دفع آب و به خصوص افزایش جذب مواد جامد در مقایسه با روش نمونه ی غیر پیش تیمار شده می شود (11).

هدف از این پژوهش، ایجاد ارتباط بین متغیرهای مستقل موثر در فرآیند آبیگری اسمزی کدو حلوائی 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 ماده ی غذایی می باشد. همچنین، این روش به دلیل کوتاه کردن فرآیند خشک کردن می تواند به صورت ترکیبی با سایر روش های خشک کردن نظیر خشک کردن تحت خلأ 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 روش ها

## 2-1- آماده سازی ماده ی اولیه

برای انجام این آزمایش، کدوی حلوائی از بازار محلی خریداری و در طول مدت انجام آزمایش در سردخانه نگه داری گردید. کدوهای حلوائی مورد استفاده دارای رطوبت اولیه ی  $95 \pm 1$  درصد در مبنای تر بود. رطوبت اولیه ی نمونه ها از طریق قرار دادن

فرآیند آبیگری اسمزی عبارت است از، حذف نسبی آب موجود در بافت های گیاهی توسط غوطه ور نمودن محصول در محلول با فشار اسمزی بالا<sup>1</sup> می باشد. حذف آب بر اساس ماهیت ماده و پدیده ی غیر تخریبی اسمز در مجاورت غشاء سلولی انجام می گیرد. نیروی محرکه<sup>2</sup> لازم جهت انتشار آب از بافت ماده ی غذایی به محلول اسمزی از طریق فشار اسمزی بالای محلول هیپرتونیک تامین می گردد (14). از آبیگری اسمزی برای تولید محصولاتی با رطوبت حد واسط استفاده می شود. همچنین از این فرآیند می توان به عنوان یک پیش فرآیند 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 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 1992<sup>3</sup>، 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 آبیگری اسمزی کدوی حلوائی و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده های تجربی در یک دوره ی کوتاه مدت فرآیند آبیگری 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 (16). فرآیند اسمزی کدو حلوائی به عنوان یک تکنیک نوین برای حفاظت و تولید محصول جدید برای مصرف کننده می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در یک تحقیق، محلول ساکارز برای آبیگری اسمزی هویج، سیب و کدو حلوائی استفاده گردید. در میان این میوه ها کدو حلوائی بیش ترین مقدار کاهش آب و کم ترین جذب مواد جامد را نشان داد (10). در بررسی دیگر، محلول شکر و نمک طعام به صورت مخلوط در آبیگری اسمزی کدو حلوائی سبز<sup>4</sup> مورد استفاده قرار گرفت. نتایج، نشان داد که سرعت آبیگری اسمزی با افزایش دما و غلظت محلول اسمزی افزایش

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 ماده‌ی 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

مشخصه‌ی 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 ادامه‌ی فرآیند تا زمان های نسبتاً طولانی است که به دلیل شرایط حساس بیولوژیکی مواد غذایی، ادامه‌ی فرآیند برای دستیابی به این اطلاعات امکان پذیر نیست. در حالی که فرآیند اسمز در دما و غلظت ثابت انجام شود، شدت حذف آب و جذب مواد جامد تنها تابعی از زمان است. آزرورا و همکاران در سال 1992، 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 حلوائی و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده‌های تجربی در یک دوره‌ی کوتاه مدت فرآیند آبگیری می باشد. این مدل ها یک تعادل جرم را بین مواد جامد و آب بر قرار می کنند. معادلات زیر سرعت دفع آب و جذب مواد جامد را بر حسب تابعی از زمان بیان می کنند (معادلات 5 و 6):

نمونه‌ها در آون اتمسفریک و در دمای  $102 \pm 0/2$  درجه‌ی سانتی گراد تا دستیابی به وزن ثابت اندازه گیری شدند (2). در ابتدای هر آزمایش، کدوی حلوائی 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 ورتکس<sup>1</sup>، 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 درجه‌ی سانتیگراد در حالت استاتیک، استفاده گردید. قطعات کدوی حلوائی 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 نمونه‌ها، قطعات در داخل آون تحت فشار اتمسفر در دمای  $102 \pm 0/2$  درجه‌ی 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 محتوی رطوبت نمونه، WL کاهش آب، SG جذب مواد جامد، WR افت وزن،  $m_0$  جرم اولیه‌ی نمونه،  $m_t$

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

(10)

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

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

در این معادله،  $WL_j$  و  $WL_\infty$  به ترتیب مقادیر دفع آب در زمان  $t$  و  $\infty$  و  $SG_j$  و  $SG_\infty$  به ترتیب، مقادیر جذب مواد جامد در زمان  $t$  و  $\infty$ ،  $D_{ew}$  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 ( $m$ ) می باشد (معادلات 11 و 12).

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

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

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 می گردند (7).

در این معادلات  $WL_j$  و  $SG_j$  به ترتیب میانگین درصد مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد در زمان  $t$  و  $WL_\infty$  و  $SG_\infty$  به ترتیب مقادیر تعادلی دفع آب و جذب مواد جامد می باشند. مقادیر  $S_1$  و  $S_2$  به ترتیب ثابت وابسته به شدت نفوذ آب به بیرون از بافت ماده غذایی و ثابت وابسته به شدت نفوذ مواد جامد محلول اسمزی به درون بافت ماده غذایی می باشند (واحد این ثابت ها بر حسب  $1/\text{time}$  یا  $S^{-1}$  می باشد که در اکثر مواقع زمان بر حسب دقیقه و ساعت عنوان می گردد). شکل خطی این معادلات در محاسبات بیش تر مورد استفاده قرار می گیرد. این معادلات به صورت زیر آرایش می یابد (معادلات 7 و 8):

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

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

## 2-5- تجزیه و تحلیل آماری فرآیند آبیگری اسمزی

آنالیز آماری ویژگی های نمونه ی کدوی حلوائی با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه ی میانگین داده با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت. متغیرهای مستقل شامل دمای فرآیند اسمزی در سه دمای 5، 25 و 50 درجه ی سانتی گراد، نوع محلول های 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 می باشد. کلیه ی آزمایش ها در سه تکرار انجام می شود و با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ی 9/1 آنالیز آماری صورت می گیرد. جهت آنالیز آماری اثرات متقابل بین متغیرها از نرم افزار Statistix نسخه ی 8 استفاده می گردد.

## 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

مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی از طریق رسم نمودار  $t/WL_\infty$  و  $t/SG_\infty$  در مقابل زمان محاسبه می گردند. همچنین مقادیر  $WL_j$  و  $SG_j$  از طریق داده های تجربی در زمان های مختلف تخمین زده می شوند. همان طور که گفته شد مقادیر  $S_1$  و  $S_2$  مربوط به ثابت های انتقال جرم می باشند. مقادیر بالاتر این ثابت ها نمایان گر سرعت انتقال جرم بیش تر آب و مواد جامد می باشد (16).

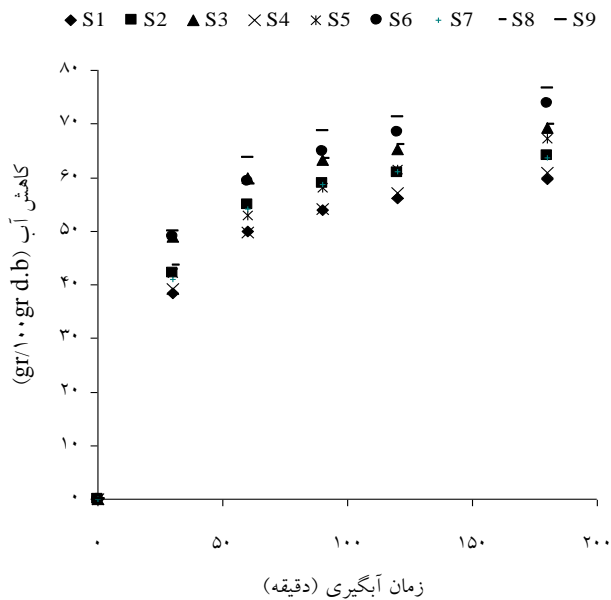
## 2-4- محاسبه ی انتشار مؤثر آب و مواد جامد

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

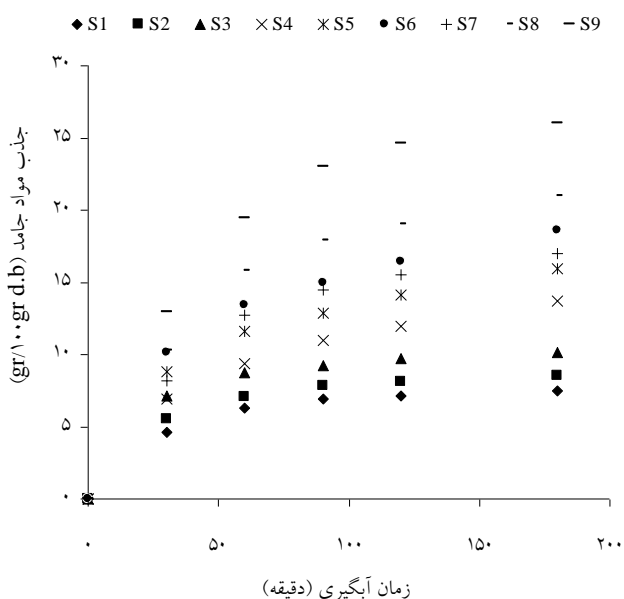
(9)

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

روی آبدگیری اسمزی سایر میوه جات و سبزیجات گزارش گردید (16).



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



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

جامد و محتوی رطوبت نهایی در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر غلظت محلول اسمزی بر درصد کاهش آب نمونه‌های کدوی حلوائی آبدگیری شده به روش فرآیند اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی دار می‌باشد ( $\alpha = 0.1$ ) به طوری که با افزایش غلظت محلول اسمزی نمک طعام از 5 تا 15 درصد، درصد کاهش آب نمونه‌های کدوی حلوائی آبدگیری 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 نمونه‌های کدوی حلوائی آبدگیری شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه، معنی دار بود ( $\alpha = 0.1$ ). نتایج، حاکی از آن است نمونه‌ی آبدگیری شده در دمای 5 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان کاهش آب بوده اگرچه اختلاف آماری معنی داری با دمای 50 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام مشاهده نگردید. از طرف دیگر نمونه‌ی آبدگیری شده در دمای 50 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام کم‌ترین میزان کاهش آب می‌باشد که اختلاف آماری معنی داری با دمای 5 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام نداشت (جدول 2). همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد، با گذشت زمان، درصد کاهش آب در کلیه‌ی غلظت‌ها روند صعودی را دارد به طوری که درصد کاهش آب در دمای 50 درصد درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام 58/77 درصد و در همان دما و غلظت 15 درصد نمک طعام 72/68 درصد می‌باشد. همچنین، لازم به ذکر می‌باشد روند تغییرات فوق در سایر دماها نیز صادق می‌باشد.

شکل 2، تغییرات درصد جذب مواد جامد برش‌های کدوی حلوائی را بر حسب زمان آبدگیری اسمزی، نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد که میزان جذب مواد جامد در طول زمان در کلیه‌ی تیمارها روند صعودی را داشته به طوری که میزان جذب مواد جامد در دمای ثابت 25 درجه‌ی سانتی‌گراد در غلظت 5 درصد نمک طعام 8/17 درصد و در غلظت 15 درصد نمک طعام 11/17 درصد می‌باشد. روند تغییرات فوق در سایر دماها نیز صادق بود. این پدیده به دلیل تأثیر دما روی کاهش ویسکوزیته‌ی محلول اسمزی و تخریب غشاء سلولی نمونه می‌باشد. نتایج مشابه توسط سایر محققین در رابطه با تأثیر غلظت و دما محلول اسمزی

دار بود ( $\alpha = 1\%$ ). نتایج، حاکی از آن است نمونه‌ی آزدایی شده در دمای 5 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان افت وزن و نمونه‌ی آزدایی 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 حلوائی آبدگی‌ی شده به روش فرآیند اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی دار 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 حلوائی آبدگی‌ی 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 حلوائی آبدگی‌ی شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی دار بود ( $\alpha = 1\%$ ). نتایج، حاکی از آن بود که نمونه‌ی آبدگی‌ی شده در دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 5 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان رطوبت و نمونه‌ی آبدگی‌ی شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی

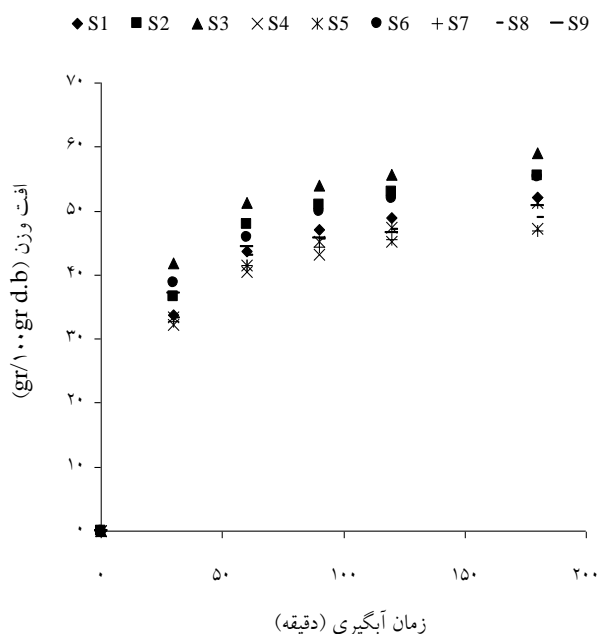
همچنین با افزایش درجه‌ی حرارت از 5 درجه‌ی سانتی‌گراد به 50 درجه‌ی سانتی‌گراد، درصد جذب مواد جامد نمونه‌های کدوی حلوائی آبدگی‌ی شده به روش اسمزی افزایش یافت. علت این پدیده، این است که انتشار یک پدیده، وابسته به دما است و رابطه‌ی ضریب انتشار با دما رابطه‌ای از نوع آرنیوس می‌باشد و دمای بالاتر باعث انتشار 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 حلوائی آبدگی‌ی شده در مدت 180 دقیقه معنی دار 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 حلوائی آبدگی‌ی 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 حلوائی آبدگی‌ی شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی دار بود ( $\alpha = 1\%$ ). نتایج، حاکی از آن است که نمونه‌ی آزدایی شده در دمای 50 درجه‌ی سانتی‌گراد و غلظت 15 درصد نمک طعام دارای بالاترین میزان جذب مواد جامد و نمونه‌ی آزدایی 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 حلوائی را در طی آبدگی‌ی 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 حلوائی آبدگی‌ی 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 حلوائی آبدگی‌ی شده به روش اسمزی در مدت 180 دقیقه معنی

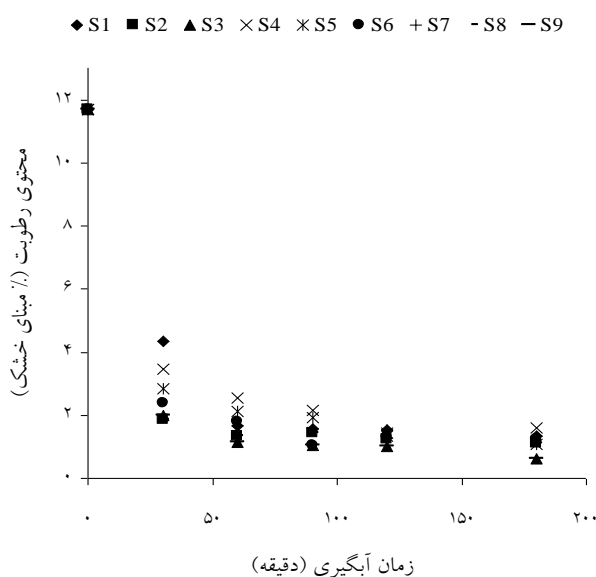
غلظت 15 درصد نمک طعام قرار داشت دارای کم ترین میزان رطوبت می باشد.

آزورا و همکاران در سال 1992<sup>1</sup>، معادلات دو پارامتری را برای پیش بینی سینتیک فرآیند آبگیری اسمزی کدوی حلوایی و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده های تجربی در یک دوره ی کوتاه مدت فرآیند آبگیری، ارائه داده اند. مقادیر شیب و عرض از مبدا از طریق رگرسیون خطی  $t/WL$  و  $t/SG$  در مقابل زمان تعیین گردید. جداول 3 و 4 مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی را به همراه ضریب رگرسیونی و معادله ی رگرسیون خطی در نه حالت مختلف دما و غلظت محلول اسمزی نشان می دهد.

در بیش تر حالات، ضریب رگرسیون بیش تر از 0/9955 محاسبه گردید که این نشان دهنده ی رضایت بخش بودن مدل آزورا و همکاران در پیش بینی دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی برش های کدوی حلوایی در طی فرآیند آبگیری می باشد. مقادیر انتشار مؤثر آب و مواد جامد در جدول 5 و 6 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد مقدار ضریب تبیین در حالت های 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 می گردد. برای شرایط مختلف آبگیری اسمزی انتشار مؤثر آب در دامنه ی  $10^{-10}$  تا  $1/112 \times 10^{-10}$  و انتشار مواد جامد از  $10^{-10}$  تا  $0/473 \times 10^{-10}$  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 می گردد. نتایج مشابه توسط کین و همکاران 2007 گزارش گردید (9).



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



شکل 4- تغییرات محتوی رطوبت برش های 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
<sup>a</sup> 3/69	<sup>a</sup> 7/49	<sup>ab</sup> 40/6	<sup>ab</sup> 45/7	<sup>g</sup> 5	5	
<sup>a</sup> 3/79	<sup>bc</sup> 4/84	<sup>ab</sup> 37/3	<sup>ab</sup> 45/5	<sup>def</sup> 8	25	50٪ ساکارز + 5٪ نمک طعام
<sup>a</sup> 3/69	<sup>d</sup> 3/31	<sup>b</sup> 32/3	<sup>b</sup> 43	<sup>bcd</sup> 10/7	50	
<sup>bc</sup> 3/11	<sup>ab</sup> 6/21	<sup>ab</sup> 41/7	<sup>ab</sup> 48/3	<sup>fg</sup> 6	5	
<sup>ab</sup> 3/51	<sup>cd</sup> 3/97	<sup>ab</sup> 36/8	<sup>ab</sup> 46/7	<sup>cde</sup> 9	25	50٪ ساکارز + 10٪ نمک طعام
<sup>bc</sup> 3/11	<sup>cd</sup> 3/54	<sup>ab</sup> 37/3	<sup>ab</sup> 50	<sup>b</sup> 13	50	
<sup>c</sup> 2/91	<sup>b</sup> 5/53	<sup>a</sup> 44/2	<sup>a</sup> 51/8	<sup>efg</sup> 7	5	
<sup>bc</sup> 3/24	<sup>cd</sup> 3/74	<sup>ab</sup> 38/8	<sup>ab</sup> 49/8	<sup>bc</sup> 11/1	25	50٪ ساکارز + 15٪ نمک طعام
<sup>c</sup> 2/91	<sup>d</sup> 2/61	<sup>ab</sup> 33/8	<sup>ab</sup> 50/9	<sup>a</sup> 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  $\infty$  و ثابت‌های سینتیکی  $S_1$  برای برش‌های کدوی حلوایی تحت شرایط مختلف آبیگری

$R^2$	معادله‌ی رگرسیونی	$S_1 (s^{-1})$	کاهش آب تعادلی <sup>1</sup>	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  $\infty$  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 <sup>1</sup>	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 <sup>2</sup>	معادله‌ی رگرسیونی	D <sub>es</sub> (m <sup>2</sup> /s)	دما (°C)	محلول اسمزی
0/8694	y = -0.0114x - 0.3946	0/473 × 10 <sup>-10</sup>	5	
0/9581	y = -0.0084x - 0.1802	0/593 × 10 <sup>-10</sup>	25	50٪ ساکارز + 5٪ نمک طعام
0/9231	y = -0.0087x - 0.2181	1/406 × 10 <sup>-10</sup>	50	
0/8809	y = -0.0118x - 0.4096	0/618 × 10 <sup>-10</sup>	5	
0/9487	y = -0.0093x - 0.2241	0/633 × 10 <sup>-10</sup>	25	50٪ ساکارز + 10٪ نمک طعام
0/9223	y = -0.0088x - 0.2246	1/511 × 10 <sup>-10</sup>	50	
0/8769	y = -0.0127x - 0.4741	0/652 × 10 <sup>-10</sup>	5	
0/9506	y = -0.0093x - 0.2178	0/666 × 10 <sup>-10</sup>	25	50٪ ساکارز + 15٪ نمک طعام
0/9034	y = -0.009x - 0.2369	1/881 × 10 <sup>-10</sup>	50	

#### 4- نتیجه گیری

1- به کارگیری همزمان فرآیند اسمزی و همزدن برای یکنواختی غلظت محلول اسمزی در سراسر محیط.  
 2- استفاده از تکنیک پوشش دادن<sup>1</sup> 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 <sub>∞</sub>	کاهش آب تعادلی (gr/100gr, D.M)
WL <sub>j</sub>	دفع آب در زمان t
D <sub>ew</sub>	انتشار مؤثر آب (m <sup>2</sup> /s)
D <sub>es</sub>	انتشار مؤثر جذب مواد جامد (m <sup>2</sup> /s)
S <sub>1</sub>	ثابت سینتیکی شدت نفوذ آب (time <sup>-1</sup> )
S <sub>2</sub>	ثابت سینتیکی شدت نفوذ مواد جامد (time <sup>-1</sup> )
SG	جذب مواد جامد (gr/100gr, D.M)
WL	کاهش آب (gr/100gr, D.M)
WR	افت وزن (gr/100gr, D.M)
SG <sub>∞</sub>	جذب تعادلی مواد جامد (gr/100gr, D.M)
SG <sub>j</sub>	مقادیر جذب مواد جامد در زمان t
R <sup>2</sup>	ضریب تبیین

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:

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.

1- امام جمعه، زهرا، علاء الدینی، بهزاد، 1384، بهبود شاخص‌های کیفی کیوی خشک شده و فرمولاسیون آن با استفاده از پيش 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.