

## پایش سینتیک آبیگیری اولتراسوند- اسمز کدوی سبز در شرایط مختلف فرآوری

محسن مختاریان<sup>1\*</sup>، مسعود شفافی زنونیان<sup>1</sup>، محمد آرمن<sup>2</sup>، فاطمه کوشکی<sup>1</sup>

<sup>1</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، گروه علوم و صنایع غذایی، سبزوار، ایران

<sup>2</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، گروه کشاورزی، سبزوار، ایران

تاریخ پذیرش: 1391/5/17

تاریخ دریافت: 1391/2/17

### چکیده

در این پژوهش، نمونه‌های کدو در غلظت‌های مختلف محلول اسمزی (ساکارز 35٪ و سوربیتول 5، ساکارز 35٪ سوربیتول 10 و ساکارز 35٪ سوربیتول 15٪) و در دماهای (5، 25 و 50 درجه‌ی سانتیگراد) با پیش تیمار اولتراسوند و بدون اولتراسوند تهیه شدند. در طی آبیگیری اسمزی در تمام نمونه‌ها میزان کاهش آب و جذب مواد جامد افزایش در حالی که محتوی رطوبت کاهش یافت نتایج، نشان داد که در غلظت‌های مختلف محلول اسمزی و دمای ثابت در طول زمان در هر دو نمونه‌ی با پیش تیمار اولتراسوند و بدون پیش تیمار اولتراسوند میزان کاهش آب و همچنین جذب مواد جامد نمونه‌ها افزایش می‌یابد در صورتی که میزان رطوبت نمونه‌ها روندی نزولی دارد. میزان کاهش آب در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و بدون پیش تیمار اولتراسوند به ترتیب در غلظت 5٪ سوربیتول 35/75 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) و 31/00 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) و در غلظت 15٪ سوربیتول 40/00 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) و 35/42 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) مشاهده گردید که از لحاظ آماری اختلاف آماری معناداری را در سطح ( $\alpha = 1\%$ ) مشاهده گردید. به علاوه، میزان تغییرات جذب مواد جامد در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و بدون پیش تیمار اولتراسوند به ترتیب در غلظت 5٪ سوربیتول 9/33 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) و 5/08 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) و در غلظت 15٪ سوربیتول 12/58 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) و 6/17 (گرم/گرم ماده‌ی جامد) مشاهده گردید که از لحاظ آماری، اختلاف آماری معناداری را در سطح ( $\alpha = 1\%$ ) نشان داد.

واژه‌های کلیدی: انتقال جرم، کدوی سبز، جذب مواد جامد، شبکه‌ی عصبی مصنوعی.

## 1- مقدمه

نگه داری مواد غذایی یکی از قدیمی‌ترین تکنولوژی‌های مورد استفاده انسان می‌باشد. خشک کردن، نمک سود کردن و انجماد قدمتی هزاران ساله دارند. اما این روش‌های سنتی و بسیاری روش‌های دیگر که طی قرون اخیر ابداع شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند همواره در حال تغییر، اصلاح و تکامل هستند. این امر جزئی از تلاش پایان‌ناپذیر محققان و متخصصان در راه افزایش زمان ماندگاری و در عین حال ایجاد کم‌ترین تغییر در بافت و مزه‌ی مواد غذایی می‌باشد. ظهور روش‌های نوین نظیر استفاده از پرتوها، فشار بالا، اولتراسوند، میدان‌های الکتریکی پالسی، مقاومت الکتریکی و غیره در واقع پاسخی به دل‌نگرانی‌های مصرف‌کنندگان در جهت حذف و یا کاهش استفاده از مواد شیمیایی و نیز حفظ ترکیبات طبیعی و با ارزش در مواد غذایی نظیر ویتامین‌ها در مقایسه با روش‌های حرارتی بوده است. در این مقاله به بررسی روش ترکیبی اولتراسوند-اسمز به عنوان یک روش غیر مخرب در فرآیند آبگیری کدوی سبز پرداخته شد. مکانیسم اثر امواج فراصوت با فرکانس پایین به دلیل ایجاد پدیده‌ی حفره‌زایی<sup>1</sup> یا تشکیل حباب‌های بسیار ریزی است که تحت اثر انقباض و انبساط به صورت لحظه‌ای و نقطه‌ای حرارت و فشار فوق‌العاده ایجاد می‌کند. این وضعیت باعث اثرات فیزیکی شیمیایی بر مولکول‌های مجاور شده قابلیت نفوذ سلول‌ها را افزایش می‌دهد. به همین دلیل این فرآیند در مدت زمان کوتاه‌تر و دمای کم‌تر عمل آبگیری را به انجام می‌رساند. حفره‌زایی شامل ظاهر شدن، رشد و متلاشی شدن حباب در مایع می‌باشد. به عنوان مثال در این حالت در مایع دما و فشار به ترتیب حدود 4000 کلوین و 1000 اتمسفر می‌رسد. همچنین در این فرآیند، اولتراسوند سبب ایجاد منافذ میکروسکوپی بر سطح ماده‌ی غذایی شده که میزان تبادلات انرژی و حرارت را افزایش می‌دهد. فرآیند اولتراسوند، باعث افزایش میزان انتقال جرم و سرعت خشک کردن مواد غذایی می‌شود به طوری که تلفیق اسمز- اولتراسوند به عنوان پیش‌تیمار می‌تواند نقش بسزایی در بهبود زمان خشک کردن کاهش مصرف انرژی و محصولات بهتر شود (8، 16). اخیراً پژوهش‌های زیادی در رابطه با تاثیر امواج اولتراسوند در فرآیند آبگیری و فرآوری محصولات غذایی مختلف صورت گرفته است که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

فرناندز<sup>2</sup> و همکاران (2008) تاثیر آبگیری اسمزی و پیش تیمار اولتراسوند را روی ساختار سلولی خربزه مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان داد که فرآیند آبگیری 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 در ساختار میوه از طریق تاثیر دو پیش تیمار روی انتشار آب در مرحله‌ی بعد از خشک کردن با هوا رخ می‌دهد (6). فرناندز<sup>3</sup> و همکاران (2009) تاثیر اسمز و اولتراسوند را روی ساختار بافت سلولی آناناس در طی آبگیری بررسی کرد. نتایج، نشان داد که به کارگیری اولتراسوند و اسمز به دلیل تغییر در روزه‌های ساختار سلولی سبب افزایش میزان دفع شکر و انتشار آب می‌گردد. همچنین این تغییرات سبب افزایش دفع آب و جذب مواد جامد می‌گردد (7). اورتونو<sup>4</sup> و همکاران (2010) تاثیر به کارگیری اولتراسوند را روی انتقال جرم و ویژگی‌های ریز ساختاری<sup>5</sup> پوست پرتقال در طی خشک کردن با هوای داغ بررسی نمودند. نتایج، نشان داد که به کارگیری اولتراسوند سینتیک خشک کردن پوست پرتقال را بهبود بخشید. همچنین، نتایج مدل سازی، نشان داد که ضرایب انتقال جرم و انتشار مؤثر رطوبت نیز افزایش می‌یابد. تاثیر اولتراسوند بر روی ویژگی‌های انتقال جرم از طریق مشاهدات ریز ساختاری پوست پرتقال قابل تایید بود به طوری که در سطح کوتیکول سوراخ‌های<sup>6</sup> زیادی ایجاد شده بود که از طریق خراش ترکیبات مومی به وجود آمده بود. این حالت، نشانه<sup>7</sup> تاثیر اولتراسوند روی لایه مرزی آن‌ها بود (13). رودریگز<sup>8</sup> و همکاران (2009) تاثیر زمان غوطه‌وری در اسمز و اولتراسوند را روی ویژگی‌های ساختار سلولی خربزه درختی (پاپایا) در طی آبگیری مورد بررسی قرار دادند. نتایج، حاکی از آن بود که تخریب بافت سلولی توسط اولتراسوند سبب افزایش جذب مواد جامد و دفع آب و ضریب نفوذ آب می‌گردد (14). سینگ<sup>9</sup> و همکاران (2007) مطالعه سینتیک انتقال جرم و انتشار مؤثر را در طی آبگیری اسمزی قطعات هویچ مورد بررسی

2 - Fernandes

3 - Fernandes

4 - Ortuno

5 - Microstructure

6 - Pore

7 - Evidence

8 - Rodrigues

9 - Singh

1 - Cavitation

در این پژوهش از محلول‌های ساکارز و سوربیتول با غلظت‌های متفاوت به عنوان محلول اسمزی استفاده گردید. غلظت محلول ساکارز در کلیه آزمایش‌ها ثابت و از لحاظ مقداری برابر با 35٪ (وزنی/حجمی) بود که به صورت ترکیبی با غلظت‌های مختلف محلول سوربیتول یعنی 5٪، 10٪ و 15٪ جهت فرآیند آبیگری کدوی سبز مورد استفاده قرار گرفت (به ترتیب این محلول‌ها با علائم S<sub>5</sub>، S<sub>10</sub> و S<sub>15</sub> نشان داده شد). از سه دمای 5، 25 و 50 درجه‌ی سانتیگراد جهت آبیگری مورد استفاده قرار گرفت. نسبت محلول اسمزی به میوه 20 به 1 انتخاب گردید. قطعات کدوی سبز در محلول اسمزی غوطه‌ور و در فواصل زمانی 0، 30، 60، 90 و 120 دقیقه یک قطعه از محلول اسمزی خارج و سطح آن با آب مقطر دیونیزه شسته و بر روی یک کاغذ صافی (واتمن) جهت جذب شدن آب سطحی قرار گرفت. بعد از جذب سطحی آب، نمونه‌ها توزین گردید. دما فرآیند آبیگری اسمزی توسط یک بن ماری با نام تجاری Windaus (Lauda) مدل E200 ساخت کشور آلمان مجهز به یک پمپ جهت جا به جا کردن آب و سنسور برای کنترل دمای آب و یک صفحه‌ی دیجیتال تنظیم و کنترل گردید. دستگاه اولتراسوند مورد استفاده در این تحقیق، نوع پروب<sup>1</sup> اولتراسوند با نام تجاری دکتر هشر<sup>2</sup> مدل UP 200H ساخت آلمان بود. ابعاد دستگاه 280 × 195 × 135 میلی‌متر به ترتیب طول، عرض و ارتفاع بود. عملیات پیش تیمار اولتراسوند در فرکانس 24 کیلوهرتز صورت گرفت. ماکزیمم دانسیته‌ی توان صوتی دستگاه 12 تا 600 وات/سانتی‌متر مربع و ماکزیمم دامنه‌ی نوسان دستگاه 12 تا 260 میکرومتر روی پروب انتقال دهنده‌ی امواج صوتی (سونوتروود) قابل تنظیم بود. شدت صوت ورودی دستگاه در حین انجام عمل اولتراسوند ثابت و در دامنه‌ی 100 درصد به صورت متناوب تنظیم گردید. روش کار بدین صورت بود که پروب این دستگاه در حین آبیگری اسمزی در داخل ظرف حاوی نمونه قرار گرفته و امواج صوتی را به داخل ظرف محتوی محلول اسمزی و نمونه انتقال<sup>3</sup> می‌دهد. پروب به کار رفته برای فرآیند آبیگری، پروب نوع S7/Micro Tip با مشخصات عمق نفوذ 90 میلی‌متر، قطر 7 میلی‌متر، ماکزیمم بزرگی دامنه 175 میکرون و ماکزیمم چگالی توان صوتی 300 وات بر سانتیمتر

قرار دادند. محلول‌های اسمزی به کار رفته در این فرآیند غلظت 50 درجه بریکس ساکارز و 5، 10 و 15٪ نمک طعام بود. نسبت‌های به کار رفته در این پژوهش، نسبت‌های 1:4، 1:5 و 1:6 بود. در میان مدل‌های به کار رفته مدل آزووارا برای داده‌های تجربی دفع آب و مدل مک برای جذب مواد جامد، نتایج مناسبی را از خود نشان داد. انتشار مؤثر مواد جامد و آب نیز توسط قانون دوم فیک تخمین زده شد (15).

هدف از این پژوهش، بررسی فرآیند ترکیبی غیر حرارتی اولتراسوند-اسمز کدوی سبز و تاثیر امواج صوتی اولتراسوند روی پارامترهای انتقال جرم اسمزی کدوی سبز می‌باشد. با توجه به این که در خصوص آبیگری اسمزی کدوی سبز توسط گلوکز، نمک، ساکارز و سوربیتول و تیمار اولتراسوند تاکنون فعالیت تحقیقاتی صورت نگرفته است، لذا این پژوهش به منظور بررسی این فرآیند ضروری به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به این که سوربیتول یک قند رژیمی می‌باشد، بنابراین می‌توان با جایگزینی بخشی از ساکارز مورد استفاده با سوربیتول میزان جذب قند ساکارز را در محصول نهایی کاهش داده و این فرآورده به عنوان یک محصول رژیمی برای بیماران دیابتی و بیمارانی که دچار چربی بالای هستند مورد استفاده قرار گرفته و از بروز بیماری‌های دیابتی و چاقی موضعی جلوگیری به عمل آید.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- آماده‌سازی ماده‌ی اولیه

برای انجام این آزمایش، نمونه کدوی سبز از بازار محلی خریداری و در طول مدت انجام آزمایش در سردخانه نگه داری گردید. کدوهای سبز مورد استفاده دارای رطوبت اولیه 94/87 درصد در مبنای تر بود. رطوبت اولیه‌ی نمونه‌ها از طریق قرار دادن نمونه‌ها در آون اتمسفریک و در دمای 102±0/5 درجه‌ی سانتی‌گراد تا دست‌یابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شدند (1). در ابتدای هر آزمایش کدوها شست و شو و به برش‌هایی به ضخامت 5 میلی‌متر و قطر 20 میلی‌متر برش داده شد و توسط یک کولیس (مدل ورتکس، M502، با دقت 0/01 میلی‌متر) ابعاد کنترل گردید.

### 2-2- پیش تیمار اولتراسوند و آماده‌سازی محلول اسمزی

1 - Probe  
2 - Dr. hielscher  
3- Deliver

می‌باشد. این مدل‌ها یک تعادل جرم را بین مواد جامد و آب بر قرار می‌کنند. شکل خطی این معادلات در محاسبات، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این معادلات به صورت زیر آرایش می‌یابد (معادلات 4 و 5):

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

$$\frac{t}{SG_j} = \frac{1}{S_2 SG_\infty} + \frac{t}{SG_\infty} \quad (5)$$

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 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). مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی از طریق رسم نمودار  $t/WL_\infty$  و  $t/SG_\infty$  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).

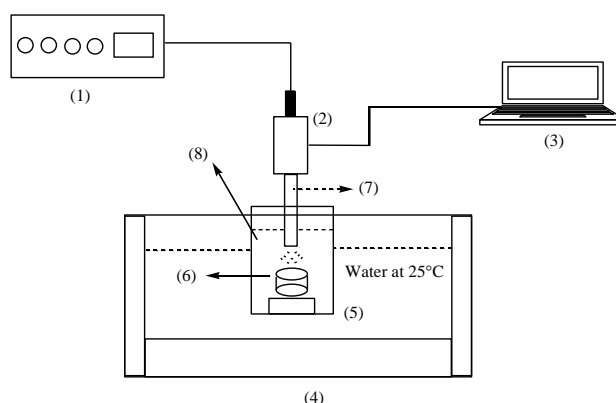
### 2-3- تجزیه و تحلیل آماری فرآیند آبیگری اسمزی

آنالیز آماری ویژگی‌های نمونه کدوی سبز با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. مقایسه‌ی میانگین داده با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت. متغیرها مستقل شامل نوع محلول‌های اسمزی ( $S_5$ ،  $S_{10}$  و  $S_{15}$ )، زمان فرآیند آبیگری (30، 60، 90 و 120 دقیقه) و نوع روش آبیگری (نمونه‌ی پیش تیمار شده و بدون پیش تیمار با اولتراسوند) بود. متغیرهای وابسته فرآیند اسمزی شامل دفع رطوبت، جذب مواد جامد، افت وزن و محتوی رطوبت نمونه‌ها می‌باشد. جهت آنالیز آماری اثرات متقابل بین متغیرها از نرم افزار Statistix نسخه 8 استفاده می‌گردد.

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- جذب مواد جامد

شکل 1 ساختار شماتیک نحوه‌ی اجرای پیش تیمار اولتراسوند- اسمز را نشان می‌دهد.



شکل 1- ساختار شماتیک نحوه‌ی اجرای پیش تیمار اولتراسوند: (1) مولد امواج صوتی، (2) مبدل امواج صوتی، (3) مانیتور، (4) بن ماری، (5) ظرف نمونه، (6) نمونه‌ی کدوی سبز، (7) پروب دستگاه و (8) محلول اسمزی.

برای تعیین محتوی رطوبتی نمونه‌ها، قطعات در داخل آون تحت فشار اتمسفری در دمای  $102 \pm 0/5$  درجه‌ی سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. میزان کاهش آب، جذب مواد جامد، افت وزن و رطوبت نهایی قطعات بر اساس توزین آن‌ها در مراحل مختلف (قبل از آبیگری اسمزی، بعد از آبیگری اسمزی و بعد از خشک کردن در آون) و استفاده از روابط زیر به دست آمد (معادلات 1 تا 3):

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

$$SG = \frac{S_t \cdot m_t - S_0 \cdot m_0}{S_0 \cdot m_0} \quad (2)$$

$$WR = WL - SG \quad (3)$$

در این معادلات  $m_0$  جرم اولیه‌ی نمونه،  $m_t$  جرم نمونه‌ی بعد از زمان  $t$ ،  $S_0$  و  $S_t$  به ترتیب مقدار ماده‌ی جامد نمونه قبل از فرآیند آبیگری اسمزی و مقدار مواد جامد نمونه بعد از فرآیند آبیگری اسمزی می‌باشد (3).

آزورا 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 آبیگری اولتراسوند- اسمزی ترب و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده‌های تجربی در یک دوره‌ی کوتاه مدت فرآیند آبیگری

اولتراسوند به دلیل تغییرات ریزساختاری که بر بافت نمونه ایجاد می‌نماید نیز توانست میزان جذب مواد جامد را افزایش دهد (4) و (6).

### 3-2- کاهش آب

نتایج آنالیز واریانس تاثیر غلظت محلول اسمزی و پیش تیمار بر کاهش آب کدوی سبز طی دوره‌ی آبیگری در جدول 1 نشان داده شده است. نتایج، نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی همراه با پیش تیمار اولتراسوند، سبب افزایش کاهش آب نمونه کدوی سبز گردید. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که در غلظت 35٪ ساکارز/10٪ سوربیتول بین نمونه‌ی پیش تیمار شده و غیر پیش تیمار شده با اولتراسوند، هیچ گونه اختلاف آماری معناداری دارای امتیاز آماری بالاتر نسبت به نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده بود. نتایج مشابه توسط گارسیا نوگورا و همکاران (2010) در خصوص استفاده از پیش تیمار اولتراسوند در آبیگری اسمزی توت فرنگی در محلول اسمزی ساکارز مشاهده گردید. نتایج، نشان داد که به کارگیری اولتراسوند با فرکانس 25 کیلوهرتز (غلظت 50٪ ساکارز و زمان آبیگری 30 دقیقه) توانست میزان کاهش آب را از 3/80 درصد به 6/10 درصد افزایش دهد (9). افزایش غلظت محلول اسمزی سبب کاهش فعالیت آبی و افزایش نیروی محرکه‌ی لازم برای خروج آب از نمونه می‌گردد که این امر منجر به افزایش کاهش آب نمونه گردید (5). از طرف دیگر، با افزایش غلظت محلول اسمزی، اختلاف فشار اسمزی در مدت زمان بیش تری حفظ شده و در نتیجه انتقال جرم بهتر و کاهش آب افزایش می‌یابد (18). نتایج اثر متقابل تاثیر دمای محلول اسمزی و پیش تیمار بر درصد کاهش آب نمونه‌ی کدوی سبز نشان داد که افزایش دمای محلول اسمزی سبب افزایش میزان کاهش آب نمونه‌ی کدوی سبز گردید به طوری که نمونه‌ی آبیگری شده در دمای 50 درجه‌ی سانتیگراد دارای بالاترین میزان کاهش آب و نمونه‌ی آبیگری شده در دمای 5 درجه‌ی سانتیگراد دارای کم‌ترین میزان کاهش آب می‌باشد. همچنین، نتایج، نشان داد که پیش تیمار اولتراسوند سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان کاهش آب نسبت به نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند داشت. افزایش دما سبب کاهش ویسکوزیته‌ی محلول اسمزی شده و مقاومت خارجی انتقال جرم را کاهش می‌دهد و نقل و انتقال (ترابری) آب

نتایج اثر متقابل تاثیر غلظت محلول اسمزی و پیش تیمار بر جذب مواد جامد در جدول 1 نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد که اثر متقابل تاثیر غلظت محلول اسمزی و پیش تیمار بر جذب مواد جامد کاملاً معنادار می‌باشد ( $\alpha=1\%$ ). بررسی نتایج آنالیز آماری نشان داد که به کارگیری پیش تیمار اولتراسوند با غلظت 35٪ ساکارز/15٪ سوربیتول ( $S_{15}$ ) دارای بالاترین امتیاز آماری می‌باشد (12/58 گرم/100 گرم ماده اولیه). همچنین در نمونه‌ی آبیگری شده بدون پیش تیمار اولتراسوند بین غلظت‌های 35٪ ساکارز/10٪ سوربیتول و 35٪ ساکارز/5٪ سوربیتول ( $S_5$ ) و غلظت‌های 35٪ ساکارز/15٪ سوربیتول و 35٪ ساکارز/10٪ سوربیتول ( $S_{10}$ ) هیچ گونه اختلاف آماری معناداری در سطح احتمال 99٪ مشاهده نگردید. نتایج مشابه توسط گارسیا نوگورا و همکاران (2010) در خصوص استفاده از پیش تیمار اولتراسوند در آبیگری اسمزی توت فرنگی در محلول اسمزی ساکارز مشاهده گردید. نتایج، نشان داد که به کارگیری اولتراسوند با فرکانس 40 کیلوهرتز (غلظت 50٪ ساکارز و زمان آبیگری 45 دقیقه) توانست میزان جذب مواد جامد را از 29 درصد به 33/3 درصد افزایش دهد (9). افزایش غلظت محلول اسمزی منجر به افزایش فشار اسمزی شده که این امر منجر به افزایش میزان جذب مواد جامد می‌گردد (6). همچنین، تغییرات ریزساختاری ایجاد شده در بافت نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند منجر به افزایش میزان جذب مواد جامد در نمونه‌ی پیش تیمار شده در مقایسه با نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده گردید (6). نتایج آنالیز آماری تاثیر دما و پیش تیمار بر جذب مواد جامد، کاملاً معنادار می‌باشد. نتایج، نشان داد که افزایش دمای محلول اسمزی، سبب افزایش جذب مواد جامد گردید. همچنین، نتایج، نشان داد که در دمای ثابت 50 درجه‌ی سانتیگراد بین نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار اولتراسوند اختلاف آماری معناداری مشاهده گردید. به طوری که نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند دارای بیش‌ترین جذب مواد جامد می‌باشد. همچنین، نتایج، نشان داد که در نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند بین دمای 25 و 50 درجه‌ی سانتیگراد هیچ گونه اختلاف آماری معناداری مشاهده نگردید در حالی که بین نمونه 5 درجه‌ی سانتیگراد با نمونه‌های 25 و 50 درجه‌ی سانتیگراد اختلاف آماری معناداری مشاهده گردید. افزایش دما منجر به کاهش ویسکوزیته‌ی نمونه شده که این وضعیت منجر به افزایش سرعت انتشار جذب مواد جامد نمونه شده، اگرچه پیش تیمار

هیچ گونه اختلاف آماری معناداری مشاهده نگردید اگر چه نمونه‌ی آبیگری شده در غلظت غلظت 35/ ساکارز/15٪ سوربیتول دارای امتیاز آماری بالاتری نسبت به نمونه‌ی آبیگری شده در غلظت غلظت 35/ ساکارز/10٪ سوربیتول می‌باشد. نتایج آنالیز آماری تاثیر دما و پیش تیمار بر افت وزن در جدول 1 نشان داد شده است. نتایج، نشان داد که افزایش دمای محلول اسمزی سبب افزایش افت وزن نمونه‌ی کدوی سبز در طی فرآیند آبیگری می‌گردد. همچنین، نتایج نشان داد که استفاده از پیش تیمار اولتراسوند افت وزن کم تری را در کلیه‌ی دماها در طی آبیگری نشان می‌دهد. همچنین، نتایج، نشان داد که در دمای 50 درجه‌ی سانتیگراد بین نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار اولتراسوند هیچ اختلاف آماری معناداری مشاهده نگردید اگر چه نمونه‌ی بدون پیش تیمار اولتراسوند دارای امتیاز آماری بالاتری نسبت به نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند دارا می‌باشد. همان طور که گفته شده در نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند افت وزن کم تری مشاهده گردید. با توجه به مباحث اشاره شده در بالا، افزایش دما و غلظت منجر به افزایش نفوذ مواد جامد نمونه گردید که این حالت در نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند بیش تر بود. از طرف دیگر، افت وزن از تفاضل کاهش آب و جذب مواد جامد محاسبه می‌گردد (معادله‌ی 3) با توجه به این معادله در اندازه گیری افت وزن دو عامل کاهش آب و جذب مواد جامد نقش داشته که در مورد کدوی سبز میزان تغییرات جذب مواد جامد در مقایسه با کاهش آب بیش تر بوده و این امر منجر به افت وزن کم تر نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند گردیده است. افزایش جذب مواد جامد بیش تر نمونه در این پژوهش به دلیل نقش سینرژیستی محلول اسمزی دو گانه می‌باشد که با توجه به وزن مولکولی کم سوربیتول (وزن مولکولی 182) در مقایسه با ساکارز (وزن مولکولی 342) این حالت منجر به نفوذ بیشتر محلول اسمزی (بخصوص سوربیتول) به داخل بافت نمونه شده، منجر به افزایش میزان تغییرات جذب مواد جامد در مقایسه با کاهش آب شده است (5 و 11).

و مواد جامد را آسان می‌سازد (10). همچنین، گفته شده است که افزایش دما سبب افزایش قابلیت نفوذپذیری غشا شده و موجب متورم و پلاسیدگی غشاء سلولی می‌گردد (5).

### 3-3- محتوای رطوبت

نتایج آنالیز آماری نشان داد که تاثیر غلظت محلول اسمزی و پیش تیمار بر محتوای رطوبت کاملاً معنادار می‌باشد ( $\alpha=1\%$ ). نتایج، نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده و غیر پیش تیمار شده با اولتراسوند سبب کاهش محتوای رطوبت می‌گردد. همچنین، نتایج، نشان داد که در نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند بین غلظت‌های 35/ ساکارز/15٪ سوربیتول و 35/ ساکارز/10٪ سوربیتول و همچنین بین غلظت‌های 35/ ساکارز/10٪ سوربیتول و 35/ ساکارز/5٪ سوربیتول هیچ اختلاف آماری معناداری مشاهده نگردید (جدول 1). نتایج تاثیر دمای محلول اسمزی و پیش تیمار بر محتوای رطوبت نشان داد که افزایش دمای محلول اسمزی سبب کاهش محتوای رطوبت نمونه گردید. همچنین، نتایج، نشان داد که پیش تیمار اولتراسوند سبب شد که میزان محتوای رطوبت نمونه را نسبت به حالت بدون پیش تیمار، بیش تر کاهش دهد. این حالت به علت شکاف‌های میکروسکوپی ایجاد شده در بافت نمونه به دلیل پدیده‌ی حفره زایی بوده که سبب افزایش انتقال جرم نمونه و کاهش هر چه بیش تر آب از محصول گردید. از طرف دیگر، افزایش دمای محلول اسمزی موجب متورم شدن نمونه شده که این امر نیز منجر به انتشار هر چه بیش تر آب به بیرون از نمونه می‌گردد (5 و 6).

### 3-4- افت وزن

نتایج، نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی در نمونه‌ی بدون پیش تیمار اولتراسوند، افزایش افت وزن را به همراه دارد. همچنین، نتایج، نشان داد که بین نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار اولتراسوند اختلاف آماری معناداری در کلیه‌ی غلظت‌ها مشاهده گردید. به طوری که نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند افت وزن کم تری نسبت به نمونه‌ی بدون پیش تیمار اولتراسوند داشت. همچنین، نتایج، نشان داد که در نمونه‌ی بدون پیش تیمار اولتراسوند بین غلظت 35/ ساکارز/15٪ سوربیتول و غلظت 35/ ساکارز/10٪ سوربیتول

جدول 1- مقایسه میانگین پارامترهای مؤثر در فرآیند خشک کردن اولتراسوند-اسمز کدوی سبز

میانگین‌ها				پیش تیمارهای به کار رفته		
محتوای رطوبت نهایی	اُفت وزن	جذب مواد جامد	کاهش آب			
<sup>c</sup> 5/21	<sup>d</sup> 15/83	<sup>b</sup> 9/5	<sup>e</sup> 25/33	5	دما (درجه‌ی سانتیگراد)	
<sup>d</sup> 3/85	<sup>c</sup> 21/75	<sup>a</sup> 11/67	<sup>c</sup> 33/58	25		
<sup>e</sup> 2/85	<sup>a</sup> 40/75	<sup>a</sup> 11/25	<sup>a</sup> 51/83	50		
<sup>c</sup> 4/47	<sup>bcd</sup> 26/33	<sup>c</sup> 9/33	<sup>b</sup> 35/75	S <sub>5</sub>	با اولتراسوند	
<sup>d</sup> 3/98	<sup>d</sup> 24/42	<sup>b</sup> 10/5	<sup>b</sup> 35	S <sub>10</sub>		غلظت (% وزنی/حجمی)
<sup>e</sup> 3/45	<sup>abc</sup> 27/58	<sup>a</sup> 12/58	<sup>a</sup> 40	S <sub>15</sub>		
<sup>a</sup> 7/53	<sup>d</sup> 17/42	<sup>d</sup> 4/17	<sup>f</sup> 21/83	5	دما (درجه سانتی‌گراد)	
<sup>b</sup> 6/68	<sup>b</sup> 24/58	<sup>d</sup> 4/67	<sup>d</sup> 29/42	25		
<sup>d</sup> 3/58	<sup>a</sup> 41/25	<sup>c</sup> 7/83	<sup>b</sup> 49/25	50		
<sup>a</sup> 6/38	<sup>cd</sup> 25/67	<sup>e</sup> 5/08	<sup>c</sup> 31	S <sub>5</sub>	بدون اولتراسوند	
<sup>ab</sup> 5/93	<sup>ab</sup> 28/5	<sup>de</sup> 5/42	<sup>b</sup> 34/08	S <sub>10</sub>		غلظت (% وزنی/حجمی)
<sup>b</sup> 5/48	<sup>a</sup> 29/08	<sup>d</sup> 6/17	<sup>b</sup> 35/42	S <sub>15</sub>		

\* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال 99٪ با استفاده از آزمون LSD تفاوت معناداری ندارند.

جدول 2- مقادیر دفع آب در زمان  $\infty$  و ثابت‌های سینتیکی  $S_1$  برای پرش‌های کدوی سبز در شرایط مختلف آبیگری

$R^2$	معادله‌ی رگرسیونی	$S_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	کاهش آب تعادلی <sup>1</sup>	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )	محلول اسمزی (w/v %)	پیش تیمار
0/999	$t/WL_j = 0.029t + 1.060$	0/0273	34/48	5		
0/986	$t/WL_j = 0.017t + 0.756$	0/0225	58/82	25	35% ساکارز + 5% سوربیتول	
0/990	$t/WL_j = 0.011t + 0.578$	0/0190	90/90	50		
0/917	$t/WL_j = 0.020t + 1.583$	0/0126	50	5		
0/968	$t/WL_j = 0.017t + 0.907$	0/0187	58/82	25	35% ساکارز + 10% سوربیتول	اولتراسوند
0/978	$t/WL_j = 0.012t + 0.518$	0/0232	83/33	50		
0/933	$t/WL_j = 0.016t + 1.054$	0/0152	62/50	5		
0/989	$t/WL_j = 0.020t + 0.583$	0/0343	50	25	35% ساکارز + 15% سوربیتول	
0/992	$t/WL_j = 0.013t + 0.314$	0/0414	76/92	50		
0/984	$t/WL_j = 0.037t + 1.305$	0/0283	27/027	5		
0/986	$t/WL_j = 0.020t + 0.957$	0/0209	50	25	35% ساکارز + 5% سوربیتول	
0/998	$t/WL_j = 0.015t + 0.383$	0/0391	66/67	50		
0/992	$t/WL_j = 0.026t + 1.263$	0/0206	38/46	5		
0/983	$t/WL_j = 0.021t + 0.828$	0/0253	47/62	25	35% ساکارز + 10% سوربیتول	بدون اولتراسوند
0/995	$t/WL_j = 0.012t + 0.419$	0/0286	83/33	50		
0/858	$t/WL_j = 0.020t + 1.216$	0/0164	50	5		
0/993	$t/WL_j = 0.020t + 0.816$	0/0245	50	25	35% ساکارز + 15% سوربیتول	
0/993	$t/WL_j = 0.011t + 0.567$	0/0194	90/90	50		



جدول 3- مقادیر جذب مواد جامد در زمان  $\infty$  و ثابت‌های سینتیکی  $S_2$  برای برش‌های کدوی سبز تحت شرایط مختلف آبیگری

$R^2$	معادله‌ی رگرسیونی	$S_2$ ( $\text{min}^{-1}$ )	جذب مواد جامد تعادلی <sup>1</sup>	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )	محلول اسمزی (w/v %)	پیش تیمار
0/964	$t/\text{SG}_j = 0.067t + 3.188$	0/021	14/92	5		
0/973	$t/\text{SG}_j = 0.105t + 1.115$	0/094	9/52	25	35٪ ساکارز + 5٪ سوربیتول	
0/959	$t/\text{SG}_j = 0.055t + 2.240$	0/0245	18/18	50		
0/979	$t/\text{SG}_j = 0.071t + 1.682$	0/0422	14/084	5		
0/941	$t/\text{SG}_j = 0.050t + 1.881$	0/0266	20	25	35٪ ساکارز + 10٪ سوربیتول	اولتراسوند
0/996	$t/\text{SG}_j = 0.060t + 3.412$	0/0176	16/67	50		
0/906	$t/\text{SG}_j = 0.050t + 3.983$	0/01255	20	5		
0/974	$t/\text{SG}_j = 0.050t + 1.146$	0/0436	20	25	35٪ ساکارز + 15٪ سوربیتول	
0/977	$t/\text{SG}_j = 0.054t + 1.082$	0/0499	18/52	50		
0/982	$t/\text{SG}_j = 0.137t + 8.124$	0/01688	7/29	5		
1	$t/\text{SG}_j = 0.174t + 2.678$	0/06505	5/74	25	35٪ ساکارز + 5٪ سوربیتول	
0/861	$t/\text{SG}_j = 0.074t + 5.209$	0/01420	13/51	50		
0/985	$t/\text{SG}_j = 0.164t + 3.264$	0/05025	6/09	5		
0/988	$t/\text{SG}_j = 0.150t + 4.382$	0/03421	6/67	25	35٪ ساکارز + 10٪ سوربیتول	بدون اولتراسوند
0/989	$t/\text{SG}_j = 0.081t + 3.252$	0/02491	12/34	50		
0/994	$t/\text{SG}_j = 0.159t + 4.340$	0/03663	6/29	5		
0/925	$t/\text{SG}_j = 0.119t + 5.671$	0/02099	8/40	25	35٪ ساکارز + 15٪ سوربیتول	
0/996	$t/\text{SG}_j = 0.094t + 0.746$	0/12598	10/64	50		

**3-5- تخمین دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی**

آزورا و همکاران در سال 1992، معادلات دو پارامتری را برای پیش بینی سینتیک فرآیند آبیگری اسمزی کدوی سبز و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده‌های تجربی در یک دوره‌ی کوتاه مدت فرآیند آبیگری به کار گرفتند. مقادیر شیب و عرض از مبدا از طریق رگرسیون خطی  $t/WL$  و  $t/SG$  در مقابل زمان تعیین گردید (2). جداول 2 و 3 مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی را به همراه ضریب رگرسیونی و معادله‌ی رگرسیون خطی در 18 حالت مختلف دما، پیش تیمار و غلظت محلول اسمزی نشان می‌دهد. در بیش تر حالات، ضریب رگرسیون بیش تر از 0/858 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 سبز در طی فرآیند آبیگری اولتراسوند-اسمز می‌باشد.

**4- نتیجه گیری**

هدف از این پژوهش، مطالعه‌ی تاثیر دما، غلظت محلول اسمزی و پیش تیمار اولتراسوند روی سینتیک آبیگری اسمزی بافت کدوی سبز و مدل کردن ضرایب توزیع تعادلی آب و مواد جامد می‌باشد. نوع غلظت محلول اسمزی و دما در فرآیند آبیگری اولتراسوند-اسمز کدوی سبز روی کاهش آب، جذب مواد جامد، اُفت وزن و محتوی رطوبت نقش معناداری را ایفا می‌نمایند. نتایج این پژوهش، نشان داد که استفاده از محلول اسمزی سه گانه آب/سوربیتول/ساکارز در فرآیند آبیگری اسمزی قطعات کدوی سبز کارایی مناسبی را از خود نشان داد. افزایش میزان آبیگری اسمزی با افزایش سطح غلظت محلول اسمزی ارتباط مستقیم دارد و همزمان با آن میزان جذب مواد جامد نیز افزایش یافت به طوری که پیش تیمار اولتراسوند تاثیر مضاعف را در فرآیند آبیگری نشان داد. بررسی نتایج حاصله، نشان داد که میزان کاهش آب در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و بدون پیش تیمار اولتراسوند به ترتیب در غلظت 5٪ سوربیتول (35/75 گرم/100 گرم ماده‌ی جامد) و 31/00 (گرم/100 گرم ماده‌ی جامد) و در غلظت 15٪ سوربیتول 40/00 (گرم/100 گرم ماده‌ی جامد) و 35/42 (گرم/100 گرم ماده‌ی جامد) مشاهده گردید که از لحاظ آماری اختلاف آماری معناداری را در سطح  $(\alpha = 1\%)$  نشان داد.

همچنین، نتایج، نشان داد که با افزایش دما و غلظت محلول اسمزی میزان افت وزن نمونه افزایش می‌یابد. بیش ترین میزان افت وزن در غلظت 35٪ ساکارز/10٪ سوربیتول و دمای 50 درجه‌ی سانتیگراد مشاهده گردید که اختلاف آماری معناداری با نمونه‌ی آبیگری شده در غلظت 35٪ ساکارز/15٪ سوربیتول و دمای 50 درجه‌ی سانتیگراد مشاهده نگردید و کم ترین میزان افت وزن در دمای 5 درجه‌ی سانتیگراد و غلظت 35٪ ساکارز/5٪ سوربیتول مشاهده گردید که اختلاف آماری معناداری با نمونه‌ی آبیگری شده در غلظت 35٪ ساکارز/10٪ سوربیتول و دمای 5 درجه‌ی سانتیگراد مشاهده نگردید. به طور کلی با توجه به این که سوربیتول یک قند رژیمی می‌باشد، بنابراین می‌توان با جایگزینی بخشی از ساکارز مورد استفاده با سوربیتول میزان جذب قند ساکارز را در محصول نهایی کاهش داده و از بروز بیماری‌های دیابتی و چاقی موضعی جلوگیری نمود. به طور کلی، چنین نتیجه گیری می‌شود که محصول نهایی حاصله می‌تواند به عنوان یک محصول رژیمی در اقشار مختلف مردم بخصوص بیماران دیابتی و بیمارانی که دچار چربی بالای هستند مورد استفاده قرار گیرد. در پژوهش‌های بعدی توصیه می‌گردد که از ابزار هوشمند شبکه‌ی عصبی مصنوعی با توابع فعال سازی مختلف نظیر سیگموئیدی و هیپربولیکی و غیره استفاده نموده و توانایی این ابزار در پیش بینی پارامترهای جذب مواد جامد، کاهش آب، رطوبت نهایی و اُفت وزن مورد بررسی قرار گیرد.

**5- منابع**

- 1- AOAC, 1990. Official methods of analysis. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- 2- Azuara, E. 1996. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples, *Journal of Food Research international*, 29:195-199.
- 3- 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 Engineering*, 73: 164-173.
- 4- El-Aouar, 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.
- 5- Eren, I. and Kaymak-Ertekin, F. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato

*Energy Conversion and Management*, 48: 2611-2621.

using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 79: 344-352.

6- Fernandes, F. A. N. Gallão, M. I. and Rodrigues, S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *Journal of LWT*, 41: 604-610.

7- Fernandes, F. A. N. Gallão, M. I. and Rodrigues, S. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90: 186-190

8- Feng, H. Barbosa-Cánovas, G. V. and Weiss, J. 2011. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. Springer, New York, pp. 511-534.

9- Garcia-Noguera, J. Oliveira, F. I. P. Gallão, M. I. Weller, C. L. Rodrigues, S. and Fernandes, F. A. N. 2010. Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency. *Journal of Drying Technology*, 28: 294-303.

10- Lertworasirikul, S. and Saetan, S. 2010. Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. *Journal of Food Engineering*, 98: 214-223.

11- Mandala, I. G. Anagnostaras, E. F. and Oikonomou, C. K. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69: 307-316.

12- Manivannan, P. and Rajasimman, M. 2008. Osmotic dehydration of beetroot in salt solution: optimization of parameters through statistical experimental design. *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 1: 4.

13- Ortuño, C. Munuera, P. I. Puig, A. Riera, E. and Perez, J. 2010. Effect Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Journal of Physics Procedia*, 3: 153-159.

14- Rodrigues, S. Oliveira, F. I. P. Gallão, M.I. and Fernandes, F. A. N. 2009. Effect of Immersion Time in Osmosis and Ultrasound on Papaya Cell Structure during Dehydration. *Journal of Drying Technology*, 27: 220-225.

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

16- 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.

17- Sun, D. W. 2005. *Emerging technologies for food processing*. Elsevier, USA, pp, 323-325.

18- Togrul, I. and Ispir, A. 2007. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. *Journal of*