

## کاربرد روش ترکیبی اولتراسوند-اسمز جهت افزایش فرآیند انتقال جرم در بافت ترب

محسن مختاریان<sup>1\*</sup>، مسعود شفافی زنونزبان<sup>2</sup>، محمد آرمین<sup>3</sup>، فاطمه کوشکی<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup> استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، گروه کشاورزی، سبزوار، ایران

<sup>4</sup> دانش آموخته ی کارشناسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: 90/6/30 تاریخ پذیرش: 90/9/21

### چکیده

در این پژوهش، پروفایل انتقال جرم ترب با کمک روش غیر حرارتی اولتراسوند-اسمز مورد بررسی قرار گرفت. برش های ترب در محلول اسمزی در سه غلظت مختلف مانیتول (5، 10 و 15 درصد) و غلظت ثابت ساکارز (35 درصد) در دمای ثابت 25 درجه ی سانتیگراد غوطه ور شدند. نتایج، نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی سبب افزایش میزان کاهش آب نمونه گردید. همچنین میزان کاهش آب نمونه ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و نمونه ی بدون پیش تیمار اولتراسوند به ترتیب در غلظت 5٪ مانیتول (42/75 گرم/100 گرم ماده ی جامد) و 36/75 (گرم/100 گرم ماده ی جامد) بود. همچنین نتایج نشان داد اثر زمان غوطه وری و امواج فراصوت روی میزان عدد فوریه و نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد نمونه ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم در سطح 1 درصد کاملاً معنی دار می باشد.

واژه های کلیدی: امواج صوتی، آبیگری اسمزی، عدد فوریه.

\* مسوول مکاتبه : [mokhtarian.mo@gmail.com](mailto:mokhtarian.mo@gmail.com)

## 1- مقدمه

فرکانس پایین به دلیل ایجاد پدیده ی حفره زایی<sup>1</sup> یا تشکیل حباب‌های بسیار ریزی است که تحت اثر انقباض و انبساط به صورت لحظه ای و نقطه ای حرارت و فشار فوق العاده 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 کوتاه تر و دمای کم تر عمل آبیگری را به انجام می‌رساند. حفره زایی 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 40000 کلوین و 1000 اتمسفر می‌رسد. همچنین در این فرآیند، اولتراسوند سبب ایجاد منافذ میکروسکوپی بر سطح ماده‌ی غذایی شده که میزان تبادل 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 پیش تیمار می‌تواند نقش بسزایی در بهبود زمان خشک کردن کاهش مصرف انرژی و محصولات بهتر شود (4، 15). اخیراً پژوهش‌های زیادی در رابطه با تاثیر امواج اولتراسوند در فرآیند آبیگری و فرآوری محصولات غذایی مختلف صورت گرفته است که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

فرناندز<sup>2</sup> و همکاران (2009) تاثیر 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 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<sup>3</sup> (5). فرناندز<sup>3</sup> و همکاران (2009) تاثیر اسمز و اولتراسوند را روی ساختار بافت سلولی آناناس در طی آبیگری 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 (6). اورتونو<sup>4</sup> و

آبیگری اسمزی عبارت است از خارج کردن بخشی از آب بافت گیاهی به وسیله‌ی تماس مستقیم آن‌ها با یک محلول غلیظ مناسب (مانند محلول‌های غلیظی از قندها، نمک‌ها یا مخلوط‌هایی از نمک و قند) (13). در این فرآیند با قرار دادن مواد غذایی مانند میوه یا سبزی به صورت قطعه قطعه شده یا کامل در یک محلول اسمزی، دیواره‌ی طبیعی سلول‌های ماده‌ی غذایی به عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل می‌کند و به علت وجود گرادیان غلظت بین محلول اسمزی (که دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کم تری است) و مایعات داخل سلولی نیروی محرک لازم برای خروج آب از ماده‌ی غذایی به داخل محلول اسمزی ایجاد می‌شوند (7 و 13). انتقال جرم در حین فرآیند اسمز، از بین غشاهای سلولی نیمه تراوای موجود در مواد بیولوژیکی که باعث ایجاد مقاومت بالایی می‌گردند به وقوع می‌پیوندد. حالت غشای سلولی می‌تواند از حالت تراوایی کلی تا تراوایی جزئی، تغییر نماید. این مساله، باعث ایجاد تغییرات موثری در ساختار بافت می‌گردد (11). از آبیگری اسمزی برای تولید محصولاتی با رطوبت حد واسط استفاده می‌شود یا از این فرآیند می‌توان به عنوان یک پیش فرآیند برای فرآیندهای بعدی مانند خشک کردن یا انجماد استفاده کرد (3).

نگهداری 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 گرفته اند همواره در حال تغییر، اصلاح و تکامل هستند. این امر جزئی از تلاش پایان ناپذیر محققان و متخصصان در راه افزایش زمان ماندگاری و در عین حال ایجاد کم ترین تغییر در بافت و مزه مواد غذایی می‌باشد. ظهور روش‌های نوین نظیر استفاده از پرتوها، فشار بالا، اولتراسوند، میدان‌های الکتریکی پالسی، مقاومت الکتریکی و غیره در واقع پاسخی به دل نگرانی‌های مصرف کنندگان 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 آبیگری ترب پرداخته شد. مکانیسم اثر امواج فراصوت با

1 - Cavitation  
2 - Fernandes  
3 - Fernandes  
4 - Ortuno

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- آماده سازی ماده‌ی اولیه

برای انجام این آزمایش، نمونه‌ی ترب از بازار محلی خریداری و در طول مدت انجام آزمایش در سردخانه نگه داری گردید. ترب‌های مورد استفاده دارای رطوبت اولیه‌ی  $92 \pm 1$  درصد در مبنای تر بود. رطوبت اولیه‌ی نمونه‌ها از طریق قرار دادن نمونه‌ها در آون اتمسفریک و در دمای  $102 \pm 0/2$  درجه‌ی سانتیگراد تا دستیابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شدند (1). در ابتدای هر آزمایش ترب‌های شست و شو و به اندازه‌هایی به قطر 2 سانتی متر برش داده شد و توسط یک کولیس (مدل ورتکس<sup>6</sup>، M502، با دقت 0/01) 0/01 میلی متر) ابعاد کنترل گردید.

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

در این پژوهش از محلول‌های اسمزی شامل (35٪ ساکارز + 5٪ مانتیول)، (35٪ ساکارز + 10٪ مانتیول) و (35٪ ساکارز + 15٪ مانتیول) در دمای ثابت 25 درجه‌ی سانتیگراد در حالت استاتیک استفاده گردید. نسبت محلول اسمزی به میوه 20 به 1 انتخاب گردید. قطعات ترب در محلول اسمزی غوطه‌ور و در فواصل زمانی 0، 30، 60، 90 و 120 دقیقه دو 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. دمای فرآیند آبنگیری اسمزی توسط یک بن ماری ((Windaus (Lauda) مدل E200 ساخت کشور آلمان) تنظیم و ثابت گردید. دستگاه اولتراسوند مورد استفاده در این تحقیق نوع پروب<sup>7</sup> اولتراسوند با نام تجاری دکتر هشلر<sup>8</sup> مدل UP 200H ساخت آلمان بود. ابعاد دستگاه 280 × 195 × 135 میلی متر 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/سانتی متر 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 به طوری که تزریق امواج صوتی به داخل

همکاران (2010) تاثیر به کارگیری اولتراسوند را روی انتقال جرم و ویژگی‌های ریز ساختاری<sup>1</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>2</sup> زیادی ایجاد شده بود که از طریق خراش ترکیبات مومی به وجود آمده بود. این حالت، نشانه‌ی<sup>3</sup> تاثیر اولتراسوند روی لایه مرزی آن‌ها بود (10). رودریگز<sup>4</sup> و همکاران (2009) تاثیر زمان غوطه‌وری در اسمز و اولتراسوند را روی ویژگی‌های ساختار سلولی خربزه‌ی درختی (پاپایا) در طی آبنگیری 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 (12). سینگ<sup>5</sup> و همکاران (2007) مطالعه‌ی سینتیک انتقال جرم و انتشار مؤثر را در طی آبنگیری اسمزی قطعات هویچ مورد بررسی قرار دادند. محلول‌های اسمزی به کار رفته در این فرآیند غلظت 50 درجه‌ی 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 (13). هدف از این پژوهش، بررسی فرآیند ترکیبی غیر حرارتی اولتراسوند-اسمز ترب و تاثیر امواج صوتی اولتراسوند روی پارامترهای انتقال جرم اسمزی ترب می‌باشد. با توجه به این که در خصوص آبنگیری اسمزی ترب توسط گلوکز، نمک، ساکارز و سوریتول و تیمار اولتراسوند تاکنون فعالیت تحقیقاتی صورت نگرفته است، لذا این پژوهش به منظور بررسی این فرآیند انجام گرفت.

1 - Microstructure

2 - Pore

3 - Evidence

4 - Rodrigues

5 - Singh

6 - Vertex

7 - Probe

8 - Dr. hielscher model 'UP 200H'

در این معادلات،  $m_0$  جرم اولیه نمونه،  $m_t$  جرم نمونه بعد از زمان  $t$ ،  $S_0$  و  $S_t$  به ترتیب مقدار ماده جامد نمونه قبل از فرآیند آبیگری اسمزی و مقدار ماده جامد نمونه بعد از فرآیند آبیگری اسمزی می باشد (2).

### 3-2- 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 فرآیند تا زمانهای نسبتاً طولانی است که به دلیل شرایط حساس بیولوژیکی مواد غذایی ادامه یفرآیند 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>2</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 اولتراسوند- اسمزی تراب 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 (معادلات 5 و 6):

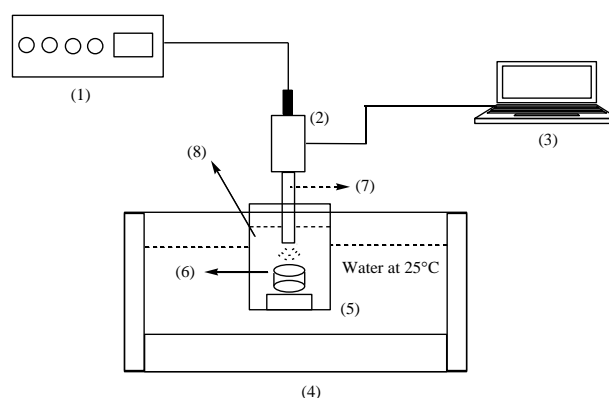
$$\frac{WL_j}{WL_\infty} = \frac{S_1 t_j}{1 + S_1 t_j} \quad (5)$$

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

در این معادلات،  $WL_j$  و  $SG_j$  به ترتیب میانگین درصد مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد در زمان  $t$  و  $WL_\infty$  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):

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

محلول اسمزی 5 ثانیه روشن و 5 ثانیه خاموش 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 می دهد. پروب به کار رفته برای فرآیند آبیگری، پروب نوع S7/Micro Tip7 با مشخصات عمق نفوذ 90 میلی متر، قطر 7 میلی متر، ماکزیمم بزرگی دامنه ی 175 میکرون و ماکزیمم چگالی توان صوتی 300 وات بر سانتی متر مربع بود. شکل 1 ساختار شماتیک نحوه ی اجرای پیش تیمار اولتراسوند- اسمز را نشان می دهد.



شکل 1- ساختار شماتیک نحوه ی اجرای پیش تیمار اولتراسوند: (1) مولد امواج صوتی، (2) میدل امواج صوتی، (3) مانیتور، (4) بن ماری، (5) ظرف نمونه، (6) نمونه ی تراب، (7) پروب دستگاه و (8) محلول اسمزی.

برای تعیین محتوای رطوبتی نمونه ها، قطعات در داخل آون تحت فشار اتمسفر در دمای  $102 \pm 0/2$  درجه ی سانتیگراد 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 آبیگری اسمزی، بعد از آبیگری اسمزی و بعد از خشک کردن در آون) و استفاده از فرمول های زیر به دست آمد (معادلات 1 تا 4):

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

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

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

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

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 (14).

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

آنالیز آماری ویژگی های نمونه ترب با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه ی میانگین داده با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت. متغیرها مستقل شامل نوع محلول های اسمزی شامل (ساکارز 35٪ + مانیتول 5٪)، (ساکارز 35٪ + مانیتول 10٪) و (ساکارز 35٪ + مانیتول 15٪)، زمان فرآیند آبیگری و نمونه ی پیش تیمار شده و بدون پیش تیمار با اولتراسوند 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 9/1 آنالیز آماری صورت می گیرد. جهت آنالیز آماری اثرات متقابل بین متغیرها از نرم افزار Statistix نسخه 8 استفاده می گردد.

### 3- نتایج و بحث

تأثیر تغییرات غلظت محلول اسمزی و فرآیند پیش تیمار 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. نتایج آنالیز واریانس اثر متقابل تأثیر غلظت محلول اسمزی و فرآیند پیش تیمار بر درصد کاهش آب نمونه های ترب آبیگری شده به روش فرآیند اسمزی در مدت 120 دقیقه معنی دار می باشد ( $\alpha = 1\%$ ) به طوری که با افزایش غلظت محلول اسمزی مانیتول از 5 تا 15 درصد همراه با پیش تیمار اولتراسوند، درصد کاهش آب نمونه های ترب آبیگری شده، روند صعودی را به ترتیب از 34/2 درصد به 39/01 درصد داشت. همچنین نتایج، نشان داد که پیش تیمار نمونه با اولتراسوند در مقایسه با نمونه ی بدون پیش تیمار، کاهش آب بیش تری را در نمونه داشته است. به عنوان مثال، در غلظت ثابت 5 درصد مانیتول و 35 درصد ساکارز در صورت اعمال فرآیند پیش تیمار اولتراسوند، میزان کاهش آب 34/2 درصد و بدون پیش تیمار، میزان کاهش آب 29/4 درصد می باشد.

شکل 2 تأثیر پیش تیمار امواج صوتی اولتراسوند بر روند تغییرات درصد کاهش آب برش های ترب در طول زمان را نشان

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

مقادیر دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی از طریق رسم نمودار  $t/SG_\infty$  و  $t/WL_\infty$  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 (14).

### 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<sup>1</sup> معادله ی قانون دوم فیک در حالت ناپایا می تواند جهت توصیف انتشار مؤثر آب و مواد جامد برای یک استوانه ی نامحدود به کار برده شود. این معادلات در زیر نشان داده شده است (معادلات 9 و 12):

$$WL = \frac{WL_\infty - WL_j}{WL_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\mu_n^2} \exp\left(-\frac{\mu_n^2 D_{ew} t}{R^2}\right) \quad (9)$$

$$SG = \frac{SG_\infty - SG_j}{SG_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\mu_n^2} \exp\left(-\frac{\mu_n^2 D_{est} t}{R^2}\right) \quad (10)$$

$$F_{ow} = \frac{D_{ew} t}{R^2} \quad (11)$$

$$F_{os} = \frac{D_{est} t}{R^2} \quad (12)$$

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  $\infty$  به ترتیب مقدار انتشار مؤثر آب و مقدار انتشار مؤثر جذب مواد جامد بر حسب واحد  $(m^2/s)$ ،  $F_{ow}$  و  $F_{os}$  به ترتیب عدد فوریه دفع آب و جذب مواد جامد و  $R$  به عنوان شعاع بیرونی نمونه بر حسب متر ( $m$ ) و  $\mu_n$  ریشه ی تابع بسل نوع اول و مرتبه ی صفرم می باشد. با ساده کردن معادلات (9) و (10) و نوشتن جملات بر حسب لگاریتمی داریم:

$$\ln(WL) = \ln\left(\frac{WL_\infty - WL_j}{WL_\infty}\right) = \frac{4}{\mu_1^2} - \left(\frac{\mu_1^2 D_{ew}}{R^2}\right) t \quad (13)$$

$$\ln(SG) = \ln\left(\frac{SG_\infty - SG_j}{SG_\infty}\right) = \frac{4}{\mu_1^2} - \left(\frac{\mu_1^2 D_{es}}{R^2}\right) t \quad (14)$$

تیمار (5/33 گرم/100 گرم مواد جامد) بود. همچنین آنالیز واریانس اثر متقابل تأثیر پیش تیمار و غلظت محلول اسمزی بر درصد جذب مواد جامد نمونه‌های ترب آبیگری شده به روش اسمزی در مدت 120 دقیقه معنی‌دار نبود ( $\alpha = 1\%$ ). اگر چه نمونه‌ی آبدایی شده با پیش تیمار اولتراسوند و غلظت 15 درصد مانتیتول دارای بالاترین میزان جذب مواد جامد و نمونه‌ی آبدایی شده در غلظت 5 درصد مانتیتول دارای کمترین میزان جذب مواد جامد می‌باشد (جدول 2). نتایج مشابه توسط فرناندز و همکاران (2009) در رابطه با تأثیر فرآیند اسمز و اولتراسوند را روی ساختار بافت سلولی آناناس در طی آبیگری مشاهده گردید. نتایج نشان داد که در غلظت 35 درصد محلول اسمزی و 30 دقیقه پیش تیمار اولتراسوند میزان جذب مواد جامد 18/20 درصد و در غلظت 70 درصد محلول اسمزی و 30 دقیقه پیش تیمار اولتراسوند میزان جذب مواد جامد 34/10 درصد مشاهده شد (6).

شکل 4 تغییرات افت وزن نمونه‌ی ترب را در طی آبیگری نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد که افت وزن نمونه در طول زمان در کلیه تیمارها روند صعودی را داشت. با افزایش غلظت محلول اسمزی از 5 به 15 درصد مانتیتول، درصد افت وزن نمونه‌های ترب آبیگری شده به روش اسمزی افزایش یافت. به طوری که در غلظت 5 درصد مانتیتول میزان تغییرات افت وزن 25/90 درصد و در 15 درصد مانتیتول، 30/80 درصد خواهد بود.

نتایج آنالیز واریانس اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و غلظت محلول اسمزی بر درصد افت وزن نمونه‌های ترب آبیگری شده به روش اسمز در مدت 120 دقیقه معنی‌دار بود ( $\alpha = 1\%$ ). نتایج، حاکی از آن است که نمونه‌ی آبدایی شده با پیش تیمار اولتراسوند در غلظت 15 درصد مانتیتول دارای بالاترین میزان افت وزن و نمونه‌ی آبدایی شده در غلظت 5 درصد مانتیتول دارای کمترین میزان افت وزن بوده که به ترتیب دارای افت وزن 34 (گرم/100 گرم مواد جامد) و 28 (گرم/100 گرم مواد جامد) می‌باشد (جدول 2). به علاوه، نتایج آنالیز آماری نشان داد که نمونه‌های بدون پیش تیمار اولتراسوند نیز در غلظت 15 درصد مانتیتول دارای بالاترین میزان افت وزن و نمونه‌ی آبدایی شده در غلظت 5 درصد مانتیتول دارای کمترین میزان افت وزن می‌باشد.

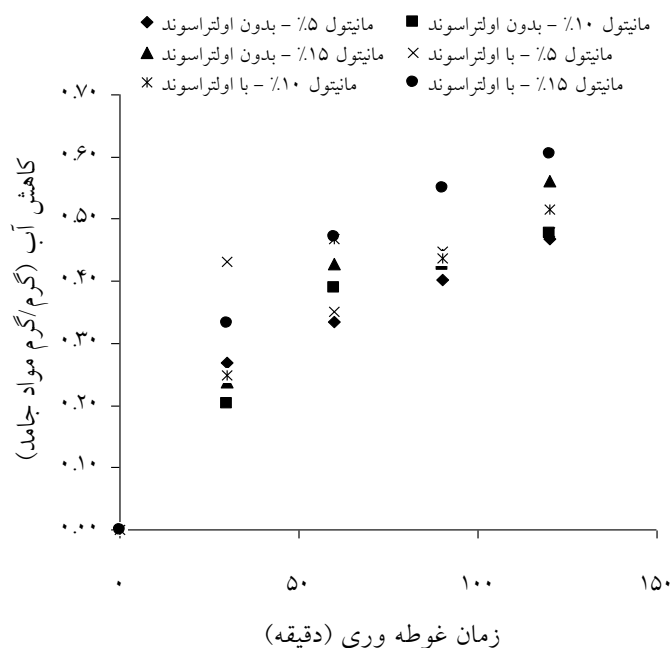
بررسی نتایج آماری نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار، نشان داد که امواج صوتی اولتراسوند

می‌دهد. همان طور که از شکل 2 مشاهده می‌گردد با گذشت زمان، میزان کاهش آب نمونه‌ها روند صعودی را طی نموده و افزایش غلظت محلول اسمزی نیز تأثیر مضاعف را بر این تغییرات اعمال نموده است. به طوری که در نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند در غلظت 5 درصد مانتیتول میزان کاهش آب 31/80 (گرم/100 گرم ماده جامد) و در غلظت 15 درصد مانتیتول 36/20 (گرم/100 گرم ماده جامد) مشاهده گردید که از لحاظ آماری اختلاف آماری معنی‌داری را در سطح ( $\alpha = 1\%$ ) نشان داد. فرناندز و همکاران (2009) تأثیر فرآیند اسمز و اولتراسوند را روی ساختار بافت سلولی آناناس در طی آبیگری 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 به طوری که در غلظت 35 درصد محلول اسمزی و 30 دقیقه پیش تیمار اولتراسوند میزان کاهش آب 8/30 درصد و در غلظت 70 درصد محلول اسمزی و 30 دقیقه پیش تیمار اولتراسوند میزان کاهش آب 14/10 درصد مشاهده شد (6). در بررسی دیگر، رودریگز و همکاران (2009) تأثیر زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و اولتراسوند را روی ساختار سلولی پایا در طی آبیگری بررسی نمودند. نتایج، نشان داد که افزایش زمان فرآیند سونیکیشن تأثیر معنی‌داری بر کاهش آب نمونه داشت. به طوری که در زمان 10 دقیقه پیش تیمار اولتراسوند میزان کاهش آب 12/11 درصد و در 30 دقیقه 16/37 درصد کاهش آب مشاهده گردید (12).

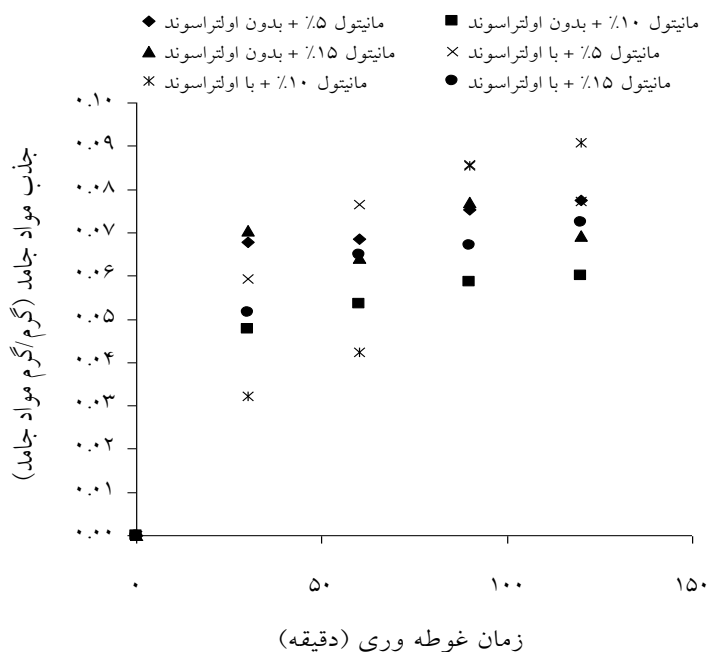
شکل 3 تغییرات درصد جذب مواد جامد برش‌های ترب را بر حسب تابعی از زمان غوطه‌وری نشان می‌دهد. همان طور که در شکل 3 مشاهده می‌گردد، درصد جذب مواد جامد نمونه‌ی ترب در کلیه تیمارها روند صعودی را داشته و به تدریج زیاد می‌گردد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که افزایش غلظت محلول اسمزی و به کارگیری پیش تیمار اولتراسوند سبب افزایش جذب مواد جامد گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که غلظت محلول اسمزی روی میزان جذب مواد جامد تأثیر معنی‌داری را نشان نداد ( $\alpha = 1\%$ ). همچنین پیش تیمار اولتراسوند نیز تأثیر معناداری را روی میزان جذب مواد جامد نداشت. اگر چه نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند دارای جذب مواد جامد بالاتری (5/40 گرم/100 گرم مواد جامد) نسبت به نمونه‌ی بدون پیش

جامد) به دست آمد که نتایج فوق دلیلی بر عملکرد مثبت امواج صوتی در

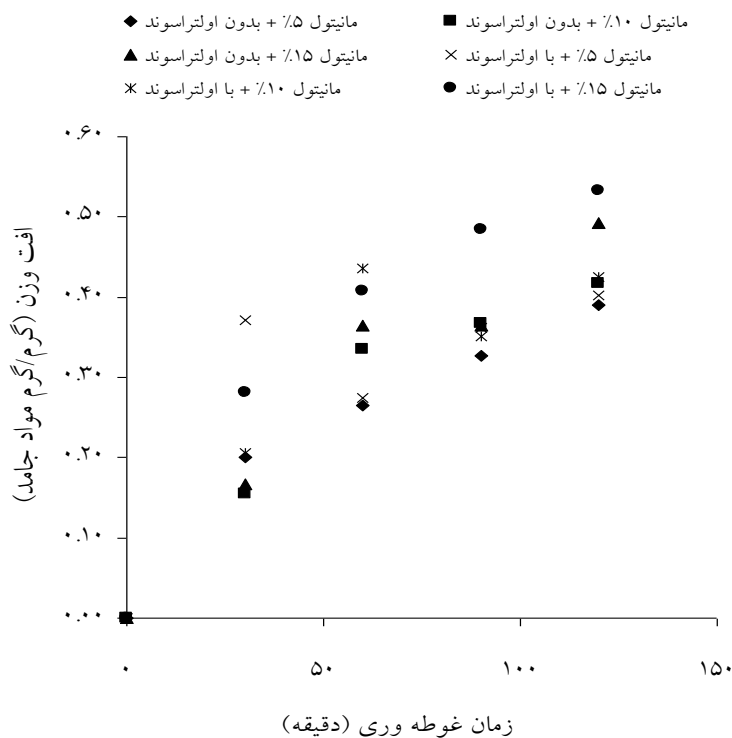
تأثیر معنی داری را افت وزن نمونه‌های ترب داشت و مقادیر افت وزن در نمونه‌ی پیش تیمار شده 30/20 (گرم/100گرم مواد جامد) و در نمونه‌ی بدون پیش تیمار 25/67 (گرم/100گرم مواد



شکل 2- تأثیر پیش تیمار اولتراسوند بر روند تغییرات درصد کاهش آب برش‌های ترب در طول زمان



شکل 3- تأثیر پیش تیمار اولتراسوند بر روند تغییرات درصد جذب مواد جامد برش‌های ترب در طول زمان



شکل 4- تاثیر پیش تیمار اولتراسوند بر روند تغییرات درصد افت آب برش های ترب در طول زمان

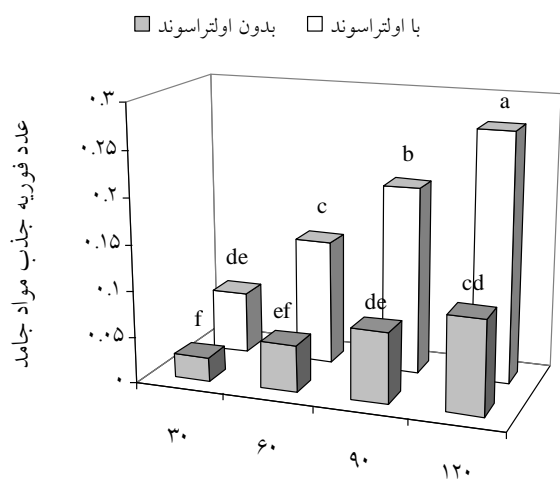
محلول اسمزی، هیچ گونه اختلاف آماری معنی داری مشاهده نگردید اگرچه نمونه‌ی آبیگری شده در غلظت 15 درصد مانیتول دارای بیش تری امتیاز آماری بود.

شکل 6 اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و زمان غوطه وری را روی عدد فوریه جذب مواد جامد نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد اثر زمان غوطه وری و امواج فراصوت روی میزان عدد فوریه جذب مواد جامد نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم در سطح 1 درصد کاملاً معنی دار می‌باشد ( $\alpha=0/01$ ). بیش ترین میزان عدد فوریه‌ی جذب مواد جامد در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده با امواج اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند در زمان غوطه وری 2 ساعت مشاهده گردید اگرچه نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند دارای امتیاز آماری بالاتری نسبت به نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند می‌باشد. از طرف دیگر، کم ترین میزان عدد فوریه‌ی

حفظ خصوصیات کیفی ماده‌ی غذایی از طریق کاهش زمان خشک کردن و به حداقل رساندن زمان آبیگری می‌باشد.

شکل 5 اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و نوع محلول اسمزی روی عدد فوریه جذب مواد جامد ( $F_{0.5}$ ) نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد اثر نوع محلول اسمزی و امواج فراصوت روی میزان عدد فوریه جذب مواد جامد نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم در سطح 1 درصد کاملاً معنی دار می‌باشد. بیش ترین میزان عدد فوریه جذب مواد جامد در غلظت 10 درصد مانیتول مشاهده گردید که البته اختلاف آماری معنی داری با محلول اسمزی 15 درصد مانیتول نداشت. از طرف دیگر، کم ترین میزان عدد فوریه جذب مواد جامد در غلظت 5 درصد مانیتول و بدون پیش تیمار امواج اولتراسوند مشاهده گردید. بررسی تاثیر محلول اسمزی بدون پیش تیمار اولتراسوند روی عدد فوریه جذب مواد جامد نشان داد که در بین کلیه‌ی غلظت‌های





شکل 6 - اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و زمان غوطه وری روی عدد فوری جذب مواد جامد

شکل 7 اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و نوع محلول اسمزی روی عدد فوری کاهش آب ( $F_{0w}$ ) نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم را نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد اثر نوع محلول اسمزی و امواج فراصوت روی میزان عدد فوری کاهش آب نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم در سطح 1 درصد کاملاً معنی‌دار می‌باشد. بیشترین عدد فوری کاهش آب در غلظت 15 درصد مانتیول مشاهده گردید. از طرف دیگر، کمترین میزان عدد فوری کاهش آب در غلظت 5 درصد مانتیول و بدون پیش تیمار امواج اولتراسوند مشاهده گردید. بررسی تاثیر غلظت محلول اسمزی روی عدد فوری کاهش آب در غلظت‌های 5 و 10 درصد مانتیول نشان داد که در بین غلظت‌های 5 و 10 درصد مانتیول هیچ گونه اختلاف آماری معنی‌داری برای نمونه‌های پیش تیمار شده و بدون پیش تیمار شده با امواج صوتی مشاهده نگردید اگرچه نمونه‌ی آنگیری شده با پیش تیمار اولتراسوند و غلظت 10 درصد مانتیول دارای امتیاز آماری بیش تری بود. شکل 8 اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و زمان غوطه وری را روی عدد فوری کاهش آب نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم نشان می‌دهد. نتایج، نشان داد اثر زمان غوطه وری و امواج فراصوت روی میزان عدد فوری کاهش آب نمونه‌ی ترب در طی فرآیند انتقال جرم در سطح 1 درصد کاملاً معنی‌دار می‌باشد ( $\alpha=0/01$ ).

جذب مواد جامد در زمان غوطه وری 30 دقیقه در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده با امواج اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند مشاهده گردید که اختلاف آماری معنی‌داری با نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با امواج صوتی در سطح 1 درصد داشت.



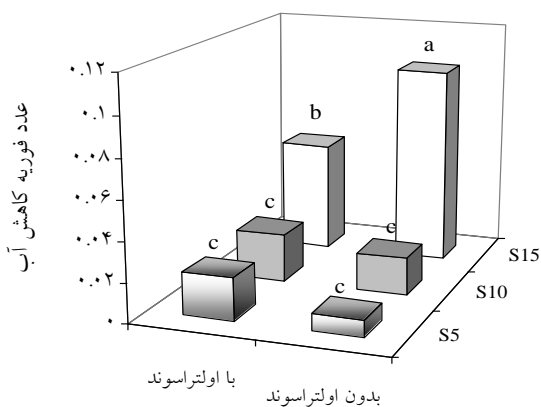
شکل 5 - اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و نوع محلول اسمزی روی عدد فوری جذب مواد جامد (S5 مانتیول 5 درصد، S10 مانتیول 10 درصد و S15 مانتیول 15 درصد)

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 (8).

بیشترین میزان عدد فوریه‌ی کاهش آب در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده با امواج اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند در غلظت 15 درصد مانتیول مشاهده گردید اگرچه اختلاف آماری معنی‌داری بین نمونه‌های پیش تیمار شده با اولتراسوند و بدون پیش تیمار مشاهده نشد ولی نمونه‌های بدون پیش تیمار دارای امتیاز آماری بالاتری نسبت به نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند می‌باشد. از طرف دیگر، کمترین میزان عدد فوریه‌ی کاهش آب در زمان غوطه‌وری 30 دقیقه در هر دو نمونه‌ی پیش تیمار شده با امواج اولتراسوند و نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند مشاهده گردید (شکل 8).

آزورا و همکاران در سال 1992، معادلات دو پارامتری را برای پیش بینی سینتیک فرآیند آبیگری اولتراسوند-اسمزی ترب و همچنین تعیین نقاط تعادلی از طریق داده‌های تجربی در یک دوره‌ی کوتاه مدت فرآیند آبیگری به کار بردند. 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 معادله‌ی رگرسیون خطی در 6 حالت مختلف برای نمونه‌های پیش تیمار شده و بدون پیش تیمار اولتراسوند و غلظت محلول اسمزی نشان می‌دهد. در بیش تر حالات، ضریب رگرسیون بیش تر از 0/9064 محاسبه گردید که این، نشان دهنده‌ی رضایت بخش بودن مدل آزورا و همکاران در پیش بینی دفع آب و جذب مواد جامد تعادلی برش‌های ترب در طی فرآیند آبیگری می‌باشد.

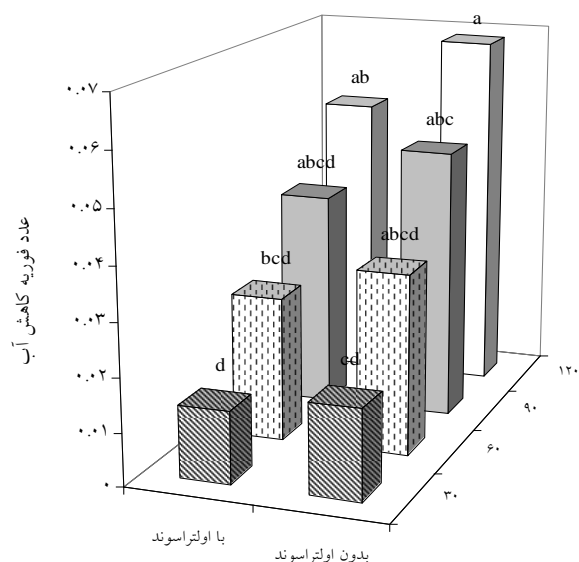
مقادیر انتشار مؤثر آب و مواد جامد در جدول 5 و 6 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد مقدار ضریب تبیین در حالت‌های مختلف فرآیند آبیگری اولتراسوند-اسمزی بالاتر از 0/850 تخمین زده شده است. نتایج جدول نشان داد که مقادیر انتشار آب بالاتر از انتشار مواد جامد محاسبه گردید. نتایج، حاکی از آن است که به کارگیری امواج صوتی اولتراسوند سبب افزایش انتشار مؤثر آب و مواد جامد می‌گردد. همچنین افزایش غلظت محلول اسمزی سبب افزایش انتشار مؤثر آب و مواد جامد می‌گردد. برای شرایط مختلف آبیگری اسمزی انتشار مؤثر آب در دامنه‌ی  $10^{-8}$  تا  $1/34 \times 10^{-7}$  و انتشار مواد جامد از  $10^{-7}$  تا  $0/707 \times 10^{-7}$  محاسبه گردید. افزایش غلظت محلول اسمزی نیروی محرکه‌ی لازم برای انتقال جرم بین نمونه و



شکل 7 - اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و نوع محلول اسمزی روی عدد فوریه‌ی کاهش آب (S5 مانتیول 5 درصد، S10 مانتیول 10 درصد و S15 مانتیول 15 درصد)

شکل 8 - اثر متقابل پیش تیمار اولتراسوند و زمان غوطه وری

روی عدد فوریه کاهش آب



جدول 2- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل پارامترهای آبیگری اولتراسوند-اسمزی ترب

پیش تیمار	محلول اسمزی	جذب مواد جامد	کاهش آب	افت وزن	نسبت WL/SG	محتوای رطوبت نهایی
اولتراسوند	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	6/20 <sup>a</sup>	34/2 <sup>ab</sup>	28/0 <sup>ab</sup>	4/65 <sup>a</sup>	5/98 <sup>ab</sup>
	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	5/00 <sup>a</sup>	33/6 <sup>ab</sup>	28/6 <sup>ab</sup>	6/24 <sup>a</sup>	5/29 <sup>c</sup>
	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	5/00 <sup>a</sup>	39/0 <sup>a</sup>	34/0 <sup>a</sup>	6/05 <sup>a</sup>	5/41 <sup>c</sup>
بدون اولتراسوند	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	6/00 <sup>a</sup>	29/4 <sup>b</sup>	23/8 <sup>b</sup>	4/04 <sup>a</sup>	6/38 <sup>a</sup>
	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	4/40 <sup>a</sup>	30/0 <sup>b</sup>	25/6 <sup>b</sup>	5/34 <sup>a</sup>	5/60 <sup>bc</sup>
	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	5/60 <sup>a</sup>	33/4 <sup>ab</sup>	27/6 <sup>ab</sup>	4/77 <sup>a</sup>	5/41 <sup>c</sup>

\* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال 1٪ با استفاده از آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول 3- مقادیر دفع آب در زمان  $\infty$  و ثابت‌های سینتیکی  $S_1$  برای قطعات ترب در شرایط مختلف آبیگری

پیش تیمار	محلول اسمزی	کاهش آب تعادلی <sup>1</sup>	$S_1 (s^{-1})$	معادله‌ی رگرسیونی	$R^2$
اولتراسوند	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	62/50	0/000365	$y = 0.0160x + 0.7306$	0/9982
	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	81/96	0/000203	$y = 0.0122x + 0.9969$	0/9981
	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	92/59	0/00020	$y = 0.0108x + 0.8989$	0/9934
بدون اولتراسوند	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	54/06	0/00103	$y = 0.0185x + 0.2993$	0/9740
	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	59/88	0/000796	$y = 0.0167x + 0.3496$	0/9284
	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	75/75	0/000515	$y = 0.0132x + 0.4269$	0/9064

شرایط آزمایش: دما ثابت 25 درجه‌ی سانتیگراد، قطر قطعات 2 سانتی متر، زمان فرآیند آبیگری 120 دقیقه.

جدول 4- مقادیر جذب مواد جامد در زمان  $\infty$  و ثابت‌های سینتیکی  $S_2$  برای قطعات ترب در شرایط مختلف آبیگری

$R^2$	معادله‌ی رگرسیونی	$S_2 (s^{-1})$	جذب مواد جامد تعادلی <sup>1</sup>	محلول اسمزی	پیش تیمار
0/9974	$y = 0.1214x + 2.155$	0/000938	8/24	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	
0/9842	$y = 0.0986x + 2.3761$	0/000691	10/14	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	اولتراسوند
0/9993	$y = 0.0921x + 2.2217$	0/000690	10/86	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	
0/9988	$y = 0.1504x + 1.918$	0/00130	6/65	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	
0/9781	$y = 0.1383x + 0.2815$	0/00818	7/23	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	بدون اولتراسوند
0/9959	$y = 0.1212x + 1.0658$	0/00189	8/25	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	

شرایط آزمایش: دما ثابت 25 درجه‌ی سانتیگراد، قطر قطعات 2 سانتی متر، زمان فرآیند آبیگری 120 دقیقه.

جدول 5- ضریب انتشار آب برای قطعات ترب در شرایط مختلف آبیگری

$R^2$	معادله‌ی رگرسیونی	$D_{ew} (m^2/min)$	محلول اسمزی	پیش تیمار
0/922	$y = -0.008x - 0.144$	$2/88 \times 10^{-8}$	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	
0/850	$y = -0.007x - 0.187$	$3/27 \times 10^{-8}$	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	اولتراسوند
0/850	$y = -0.011x - 0.272$	$7/48 \times 10^{-8}$	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	
0/961	$y = -0.010x - 0.046$	$1/15 \times 10^{-8}$	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	
0/980	$y = -0.015x - 0.068$	$2/55 \times 10^{-8}$	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	بدون اولتراسوند
0/897	$y = -0.006x + 0.894$	$1/34 \times 10^{-7}$	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	

شرایط آزمایش: دما ثابت 25 درجه‌ی سانتیگراد، قطر قطعات 2 سانتی متر، زمان فرآیند آبیگری 120 دقیقه.

جدول 6- ضریب انتشار جذب مواد جامد برای قطعات ترب در شرایط مختلف آبیگری

$R^2$	معادله‌ی رگرسیونی	$D_{es} (m^2/min)$	محلول اسمزی	پیش تیمار
0/899	$y = -0.018x - 0.363$	$1/63 \times 10^{-7}$	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	
0/956	$y = -0.034x - 0.308$	$2/62 \times 10^{-7}$	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	اولتراسوند
0/860	$y = -0.021x - 0.482$	$2/53 \times 10^{-7}$	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	
0/934	$y = -0.014x - 0.202$	$0/707 \times 10^{-7}$	35٪ ساکارز + 5٪ مانیتول	
0/941	$y = -0.014x - 0.213$	$0/745 \times 10^{-7}$	35٪ ساکارز + 10٪ مانیتول	بدون اولتراسوند
0/914	$y = -0.016x - 0.280$	$1/12 \times 10^{-7}$	35٪ ساکارز + 15٪ مانیتول	

شرایط آزمایش: دما ثابت 25 درجه‌ی سانتیگراد، قطر قطعات 2 سانتی متر، زمان فرآیند آبیگری 120 دقیقه.

مواد جامد می‌باشد که اختلاف آماری معنی‌داری با نمونه‌ی بدون پیش تیمار شده با اولتراسوند و زمان 120 دقیقه در سطح 1٪ نداشت. بنابراین، با توجه به نتایج فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که به کارگیری اولتراسوند سبب کاهش زمان غوطه‌وری به 50 درصد حالت اولیه گردید که این کاهش زمان غوطه‌وری سبب افزایش راندمان اقتصادی و جلوگیری از اتلاف مواد مغذی محصول شده که دو مقوله‌ی مهم در صنعت مواد غذایی می‌باشد.

#### فهرست نمادها

#### 5- منابع

- 1- AOAC, 1990. Official methods of analysis. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- 2- 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.
- 3- 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.
- 4- Feng, H., Barbosa-Cánovas, G.V., and Weiss, J. 2011. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Springer, New York. P.P, 511-534.
- 5- 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 Food Science*. 41, 604-610.
- 6- 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
- 7- Jayaraman, K. S. 1990. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower, international. *Journal of Food Science and Technology*. 25: 47-60.
- 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- Lazarides, H. N. 1999. Advance in osmotic dehydration by processing foods: (eds. F.A. R. oliveria.) CRC press New York.
- 10- Ortuño, C., Munuera, P.I., Puig, A., Riera, E., and Perez, J. 2010. Effect Influence of power

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

#### 4- نتیجه گیری

هدف از این پژوهش، مطالعه‌ی تاثیر پیش تیمار اولتراسوند و غلظت محلول اسمزی روی فرآیند اولتراسوند-اسمز بافت ترب و مدلسازی ضرایب توزیع تعادلی آب و مواد جامد بود. نتایج، نشان داد که نوع غلظت محلول اسمزی و پیش تیمار اولتراسوند در فرآیند آبگیری قطعات ترب روی کاهش آب و جذب مواد جامد نقش معنی‌داری را ایفا نمود. بررسی نتایج حاصله از آنالیز داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کاهش آب و جذب مواد جامد در محلول اسمزی زمانی مشاهده گردید که از غلظت 15 درصد مانیтол همراه با پیش تیمار اولتراسوند استفاده گردد. هدف اصلی فرآیند آبگیری اسمزی کمینه نمودن جذب مواد جامد و بیشینه نمودن کاهش آب می‌باشد. بنابراین، هر چه پارامتر نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد (WL/SG) عدد بزرگ تری باشد فرآیند کارایی بیش تری داشته و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر می‌باشد. نتایج نشان داد که تاثیر غلظت محلول اسمزی و نوع پیش تیمار روی نسبت کاهش آب به جذب مواد جامد کاملاً معنی‌دار بود به طوری که نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و غلظت 10 درصد مانیтол و 35 درصد ساکارز دارای بالاترین امتیاز آماری بود که با نمونه‌ی پیش تیمار شده با اولتراسوند و غلظت 15 درصد مانیтол و 35 درصد ساکارز اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. همچنین، نتایج پیش تیمار اولتراسوند و زمان غوطه‌وری نشان داد که نمونه‌ی پیش تیمار شده با امواج صوتی و زمان غوطه‌وری 60 دقیقه دارای بالاترین مقدار نسبت کاهش آب به جذب

ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Journal of Physics Procedia*. 3, 153–159.

11- Rastogi, N.K., Angrersbach, A., and Knorr, D. Combined effect of high hydrostatic pressur pretreatment and osmotic stress on mass transfer during osmotic dehdration on DAAD fellow ship from: Department of food engineering, central food technological Research institute, Mysore- 570013, India.

12- Rodrigues, S., Francisca, I.P., Oliveira, 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: 2, 220–225.

13- 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.

14- 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.

15- Sun, D.W. 2005. Emerging technologies for food processing. Elsevier, USA. P.P, 323-325.