

انتقال جرم قارچ دکمه‌ای با امواج فراصوت با پیش فرایند آبگیری اسمزی

شادی بصیری^{1*}، فرزاد غیبی¹

1- استادیار پژوهش علوم و صنایع غذایی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: 98/09/17 تاریخ پذیرش: 98/10/30)

چکیده

قارچ دکمه‌ای نسبت به ضربات مکانیکی، حساسیت زیاد و ماندگاری کم دارد. هدف از این تحقیق تعیین روش بهینه آبگیری به کمک فراصوت و بررسی شرایط اسمز بر میزان انتقال جرم قارچ بود. در مرحله اول، محلول اسمزی کلرید سدیم با غلظت‌های 6، 9، 12 و 15 درصد، زمان‌های ۲۰، ۴۰، 60، 90 و 120 دقیقه و در دماهای 25 و 45 درجه سانتی‌گراد استفاده و در مرحله دوم در شرایط اسمزی 12 درصد، دمای 45 درجه سانتی‌گراد و زمان غوطه‌وری 60 دقیقه، تیمار فراصوت با فرکانس 20 کیلوهرتز و شدت صوت 400 وات در دو سطح (یک دقیقه فراصوت-یک دقیقه استراحت و 1 دقیقه فراصوت-4 دقیقه استراحت) استفاده و میزان خروج آب، جذب مواد جامد و افت وزنی در قارچ دکمه‌ای، بررسی شدند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان انتقال جرم از نمونه افزایش یافت. غوطه‌وری قارچ تا 60 دقیقه، باعث افزایش انتشار رطوبت از بافت و جذب ماده جامد شد. از این زمان، سرعت خروج آب زیاد نبوده و مقدار جذب نمک افزایش یافت. ادامه جذب نمک باعث تشکیل لایه مقاوم در برابر نفوذ و حرکت مواد به دو طرف بافت شد. دمای 45 درجه سانتی‌گراد با تغییر در نفوذپذیری دیواره سلولی و افزایش ضریب نفوذ منجر به افزایش سرعت انتقال جرم شد. نتایج نشان داد بهترین روش اسمزی براساس حداقل جذب نمک و حداکثر خروج آب و افت وزنی، محلول نمکی 12 درصد به مدت 60 دقیقه در دمای 45 درجه که باعث جذب نمک به مقدار 2/83 درصد و خروج آب به مقدار 29/36 درصد و افت وزنی 24/53 درصد شد. استفاده از فراصوت با پالس 1 دقیقه نتایج بهتری داشت. در زمان 40 دقیقه جذب نمک به مقدار 2/93، خروج آب 41/23 و افت وزنی 40/30 درصد شدند. محتوای رطوبت قارچ بعد از تیمار اسمزی و فراصوت به ترتیب به 85 و 82 درصد کاهش یافت.

کلید واژگان: امواج فراصوت، انتقال جرم، خشک کردن اسمزی، قارچ دکمه‌ای

* مسئول مکاتبات: shbasiri35@yahoo.com

1- مقدمه

استفاده از قارچ به عنوان یک ماده غذایی دارای قدمت زیادی است. کشت قارچ در بیش از 100 کشور انجام می‌شود. در حال حاضر سالانه تولید قارچ در جهان از 5 میلیون تن عبور کرده است [1]. براساس آمار فائو در سال 2013 بالغ بر 9/9 میلیون تن قارچ‌های خوراکی در جهان تولید شده که از این میزان حدود 7/4 میلیون تن مربوط به قاره آسیا بوده است. فائو میزان تولید قارچ‌های خوراکی در ایران را 87675 تن گزارش کرده است [2]. با توجه به فضای کم مورد نیاز برای تولید قارچ، تولید قارچ برای کشاورزان و تولید کنندگان کم درآمد و بدون زمین ارزش افزوده بالایی ایجاد می‌نماید.

قارچ‌های خوراکی را می‌توان به عنوان یک غذای سالم و مغذی حاوی مقدار مناسب پروتئین، املاح و ویتامین در نظر گرفت [3]. 20-35 درصد ماده خشک اغلب قارچ را پروتئین تشکیل می‌دهد. قارچ به دلیل دارا بودن مقدار پایین چربی و کربوهیدرات‌های قابل هضم، فرآورده غذایی مناسب برای رژیم غذایی کم کالری می‌باشند [4 و 5]. در بین انواع متفاوت قارچ، کمتر از 25 گونه به عنوان غذا پذیرفته شده است و تعداد کمی دارای اهمیت تجاری هستند [6 و 7]. بیشترین تولید قارچ‌های خوراکی در سطح جهان را قارچ دکمه‌ای (Agaricus bisporus) به خود اختصاص می‌دهد. میزان تولید این نوع قارچ حدود 40 درصد تولید جهانی قارچ‌های خوراکی است [8]. قارچ‌ها پس از برداشت به علت عدم وجود کوتیکول، سرعت بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت آنزیمی شدید دارای ماندگاری کمتری نسبت به سایر سبزیجات بوده، به سرعت فاسد می‌شوند. بنابراین قارچ‌های برداشت شده باید به سرعت مصرف یا فرآوری شوند. استفاده از روش‌های مختلف فرآوری برای کاهش ضایعات یک ضرورت می‌باشد. از جمله روش‌های فرآوری قارچ می‌توان به کنسرو قارچ، قارچ منجمد، ترشی قارچ و قارچ خشک شده اشاره نمود. تولید محصولات خشک از قارچ دکمه‌ای به دلیل حساسیت محصول و حرارت بالا منجر به محصولی با کیفیت پایین می‌شود. به همین دلیل استفاده از روش‌های تکمیلی می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصول تولیدی گردد. یکی از این روش‌ها، آبیگری اسمزی می‌باشد.

آبیگری اسمزی به صورت گسترده برای خارج ساختن بخشی از رطوبت موجود در محصولات به وسیله تماس مستقیم آن‌ها

با یک محلول غلیظ مناسب (محلول‌های غلیظ قندی، نمکی یا مخلوطی از هردو) مورد استفاده قرار می‌گیرد [9]. این فرآیند به عنوان یکی از روش‌های نگهداری برای تولید محصول با کیفیت بالا می‌باشد و همچنین کمترین تخریب حرارتی ماده غذایی را به دلیل خارج ساختن رطوبت در دمای پایین ایجاد می‌کند [10 و 11]. در آبیگری اسمزی حذف بخشی از آب تحت تاثیر بسیاری از عوامل مانند نوع و غلظت عوامل اسمزی، دما، تلاطم/جریان محلول، نسبت محلول به نمونه، ضخامت ماده غذایی و پیش تیمارها قرار می‌گیرد [12].

مطالعات متعددی بر روی آبیگری اسمزی گیاهان انجام شده است. در یک پژوهش (2015)، آبیگری اسمزی قطعات قارچ دکمه‌ای با غوطه وری در محلول آب نمک با غلظت‌های 10، 20 و 30 درصد با نسبت‌های قارچ به محلول 1 به 10 و 1 به 25؛ وزنی وزنی در دمای 60 درجه سانتیگراد انجام شد. با افزایش غلظت نمک، افت وزنی، افزایش و جذب نمک کاهش یافت کیفیت نمونه‌ها از نظر رنگی و بازجذب رطوبت مجدداً بررسی شدند تیمار با محلول نمکی 30 درصد و نسبت قارچ به محلول 1 به 25، نمونه برتر شد [13]. در یک پژوهش در سال 2017، یک نوع قارچ دکمه‌ای سفید تحت تاثیر آبیگری اسمزی در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (10، 15، 20 و 25 درصد) و محلول‌های قندی با بریکس (50، 60 و 70 درجه) پیش تیمار شده و سپس در آمن 55 درجه سانتیگراد خشک شدند. نتایج نشان داد که رنگ محصولات پیش تیمار شده پس از خشک شدن نهایی از نمونه شاهد بهتر بودند. نمونه‌های تیمار شده با 25 درصد نمک و با 70 درجه بریکس، بعد از گذشت یک سال در دمای معمولی دارای ویژگیهای حسی و ماندگاری بهتر بودند [14]. پژوهشی دیگر (2018) در زمینه خشک کردن اسمزی قارچ دکمه‌ای قبل از خشک کردن نهایی در هوای گرم انجام شد. ابتدا اسلایسهای قارچ در محلول‌های نمکی با غلظت‌های 10، 15 و 20 درصد و در دماهای 35، 45 و 55 درجه سانتیگراد برای مدت 2 ساعت قرار گرفتند. از آنجا که میزان رطوبت موجود در نمونه‌ها پس از این مرحله در حدی بود که نمی‌توانست مانع رشد و فعالیت میکروارکانیسم‌ها شود لذا ضرورت داشت که خشک کردن نهایی روی نمونه‌ها انجام شود. دمای مطلوب برای خشک کردن نهایی 65 درجه سانتیگراد و سرعت هوای 2 متر بر ثانیه تعیین شد [15]. با این حال، اطلاعات کمی در

مورد تاثیر فرایندهای اسمز و فراصوت در حین اسمز بر انتقال جرم در قارچ دکمه‌ای وجود دارد.

بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تاثیر شرایط مختلف اسمز و فراصوت بر میزان انتقال جرم از جمله مقادیر آب خارج شده، نمک جذب شده و میزان افت وزنی، به منظور افزایش سرعت فرآیند اسمز و بهبود کیفیت محصول، بود. تیمارهای محلول اسمزی کلرید سدیم (6، 9، 12 و 15 درصد)، زمان غوطه وری (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه) و دما (25 و 45 درجه سانتی‌گراد) در مرحله اول استفاده و در مرحله دوم در شرایط اسمزی 12 درصد، دمای 45 درجه سانتی‌گراد و زمان غوطه وری 60 دقیقه، تیمار فراصوت در دو سطح (یک دقیقه فراصوت-یک دقیقه استراحت و 1 دقیقه فراصوت-4 دقیقه استراحت) استفاده شدند.

2- مواد و روش ها

2-1- مواد

قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) تازه برداشت شده از واحد تولید قارچ صدفی رستگار (کیلومتر 20 جاده سنتو مشهد) به صورت تازه و روزانه تهیه شد. سایر ترکیبات مصرفی شامل پرکلرین، نمک کرید سدیم از بازار محلی تهیه شد.

2-2- آماده سازی نمونه

ابتدا قارچ‌های تازه بر اساس اندازه و زمان رویش آنها درجه بندی شدند و پس از شستشو با آب حاوی پرکلرین 1 تا 2 درصد، رطوبت سطحی آن توسط کاغذ جاذب رطوبت حذف و برش‌های عمودی یکنواخت به ضخامت 5 میلی‌متر از آن تهیه شد. قارچ‌های مورد استفاده دارای رطوبت اولیه 92 ± 1 درصد بودند. رطوبت نمونه‌ها با قرار گرفتن در آون (*Memert, UM55, GMBH.*) با دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت مطابق با روش AOAC (1984) تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد [16].

2-3- آبگیری اسمزی

نمونه‌های قارچ، در محلول‌های اسمزی کلرید سدیم در 4 غلظت 6، 9، 12 و 15 درصد در دو دمای 25 و 45 درجه سانتی‌گراد به مدت 20، 40، 60، 90 و 120 دقیقه غوطه‌ور شدند. در این مرحله به منظور کاهش اثر رقیق شدن محلول

اسمزی در فشار اسمزی محلول در حین فرآیند، نسبت محلول به نمونه مقدار ثابت 5 به 1 (وزنی-حجمی) در نظر گرفته شد. به منظور مشاهده اثر خالص هر تیمار و پرهیز از هرگونه عامل بر هم زننده یکنواختی نظیر تبخیر در اثر حرارت و سرعت جریان هوا، فرآیند اسمزی در شرایط آرام صورت گرفت. بعد از طی شدن زمان فرآیند طبق تیمارهای آزمایشی، نمونه‌ها از داخل محلول خارج و با آب شستشو داده و با کاغذ صافی خشک گردید. وزن نمونه‌ها تعیین و رطوبت نهایی آن‌ها نیز اندازه‌گیری گردید [17 و 18]. میزان خروج آب، نفوذ ماده جامد و افت وزنی نیز طبق روابط 1، 2 و 3 محاسبه شدند. تمام آزمایشات در سه تکرار انجام و مقدار میانگین برای محاسبه در نظر گرفته شد.

2-4- اندازه‌گیری میزان خروج آب، دریافت

مواد جامد و افت وزنی

میزان خروج آب و میزان جذب ماده جامد در نمونه‌های تیمار شده در حین فرآیند اسمزی از طریق روابط 1، 2 و 3 به دست آمدند [19 و 20].

$$\text{میزان خروج آب (\%)} = \frac{100 \times (\text{وزن نمونه اسمزی شده} - \text{وزن ماده خشک نمونه اسمزی شده})}{(\text{وزن ماده خشک نمونه تازه} - \text{وزن میوه تازه})}$$

$$\text{میزان جذب ماده جامد (\%)} = \frac{100 \times (\text{وزن ماده خشک نمونه اسمزی شده} - \text{وزن ماده خشک نمونه تازه گرم})}{\text{وزن میوه تازه}}$$

$$\text{میزان افت وزنی (\%)} = \frac{\text{میزان جذب ماده جامد (\%)} - \text{میزان خروج آب (\%)}}{100}$$

2-5- تیمار فراصوت

نمونه‌های قارچ تازه آماده سازی شده داخل بشر حاوی محلول آب نمک غوطه‌ور شدند. نسبت آب به نمونه مقدار ثابت 5 به 1 (وزنی-حجمی) در نظر گرفته شد. در این آزمایش سه تیمار فراصوت با استفاده از دستگاه فراصوت مبله‌ای (پروپ) (*Sonica, USA*) با فرکانس 20 کیلوهرتز و قدرت صوت 400 وات در حین فرآیند اسمزی انجام شد. پس از اعمال تیمار، نمونه‌ها از آب مقطر خارج شده، و سپس آب سطحی آن‌ها توسط کاغذ خشک کن گرفته شد. وزن و رطوبت هر گروه به طور مجزا اندازه‌گیری شد [21].

2-6- طراحی آزمایش

نمونه‌های تهیه شده در دو دمای 25 و 45 درجه سانتیگراد در 4 نوع محلول نمک طعام 6، 9، 12 و 15 درصد تحت فرآیند اسمزی قرار گرفت و در 5 زمان مختلف نمونه‌برداری انجام شد. در آزمایش دوم تاثیر فرآیند فراصوت در حین فرآیند اسمزی مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه تاثیر سه فرآیند 1- استفاده از فراصوت به صورت پالس یک دقیقه‌ای (یک دقیقه استراحت-یک دقیقه فراصوت)، 2- استفاده از فراصوت به صورت پالس 5 دقیقه‌ای (4 دقیقه استراحت-یک دقیقه فرآیند) و 3- بدون استفاده از فراصوت، بر روی انتقال جرم در حین فرآیند اسمزی در 25 درجه سانتیگراد در محلول نمکی 12 درصد در طی 4 مرحله نمونه برداری در زمانهای 10، 20، 30 و 40 دقیقه مورد مطالعه قرار گرفت.

2-7- برازش اطلاعات

برای مدیریت اطلاعات از نرم افزار Microsoft office-Excel استفاده شد. اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری صفات نمونه‌های فراوری شده در مدل پیچ، استخراج شده از پژوهش‌های غیبی و همکاران (2012) به عنوان یک مدل تجربی مورد قبول، پردازش شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. از نرم افزار Statgraphics نسخه 10 برای برازش اطلاعات در مدل استفاده شد.

مدل مورد استفاده در این بررسی مدل مشهور به "پیچ" بوده و به شرح ذیل می باشد [22]

$$WL \text{ and } SG = \exp(-At^B)$$

که در آن A و B ضرایب مدل و t زمان می‌باشد.

3- نتایج و بحث

3-1- تاثیر دما، زمان و غلظت محلول اسمزی

فرآیند بر خروج آب (WL)

خروج آب یک شاخص مهم انتقال جرم در آگیری اسمزی است که میزان کاهش رطوبت نمونه را نشان می‌دهد. در جدول 1 میانگین نتایج اثر دما، غلظت محلول و زمان فرآیند

بر روی میزان خروج آب ارائه شده است. براساس این نتایج با افزایش غلظت محلول اسمزی، دما و زمان فرآیند اسمزی میزان خروج آب افزایش یافت. مقایسه نتایج اثر فاکتورهای فرآیند بر خروج آب نشان داد که در دمای 25 درجه سانتیگراد مقدار خروج آب برای محلول‌های 12 درصد و 15 درصد بالاترین مقدار بود ولی با توجه به شرایط موجود به دلیل نزدیکی مقدار خروج آب در این دو غلظت در زمان 120 دقیقه به نظر می‌رسد برای دستیابی به محصولی سالم‌تر استفاده از محلول 12 درصد مناسب‌تر است. در واقع با افزایش غلظت محلول اسمزی، گرادیان غلظت بین نمونه و محلول اسمزی افزایش یافته و در نتیجه رطوبت موجود در بافت نمونه با سهولت بیشتری از بافت خارج می‌شود. نتایج پژوهش‌های پارک و همکاران (2002) تایید کننده این مطلب است.

همچنین مقایسه نتایج نمونه‌ها در دو دمای 25 و 45 درجه سانتیگراد نشان‌دهنده سرعت کم در مقدار خروج آب در نمونه‌های مشابه می‌باشد [23]. به نحوی که در غلظت و زمان یکسان مقدار خروج آب در دمای 45 درجه سانتیگراد تقریباً دو برابر این مقدار در دمای 25 درجه می‌باشد. ولی تاثیر غلظت 12 درصد و 15 درصد نمک بر روی مقدار خروج آب در دمای 45 درجه سانتیگراد نیز اختلاف بالایی ندارد. افزایش دما با تغییر در نفوذپذیری دیواره سلولی و افزایش ضریب نفوذ منجر به بهبود فرآیند می‌شود. استفاده از دماهای بالا منجر به تورم و پلاستیکی شدن غشاء سلولی و در نتیجه انتشار سریع‌تر رطوبت از بافت می‌شود [15]. بر مبنای نتایج میزان خروج آب، برای بدست آوردن نمونه هایی با مقدار خروج آب بالاتر، بهترین فرآیند، دمای 45 درجه سانتیگراد با مقدار نمک 12 درصد با زمان 60 دقیقه می‌باشد.

نتایج آنالیز برازش اطلاعات میزان خروج آب در مدل مورد استفاده در جدول 2 ارائه شده است. ضریب تعیین (R^2) و ضریب تعیین تعدیل شده ($Adj-R^2$) حاصل از آنالیز نتایج برازش اطلاعات در مدل پیچ به عنوان یک مدل پذیرفته شده در فرآیند انتقال جرم در مطالعه روند خروج آب، تطابق نتایج با مدل پیچ و دقت آزمایش را نشان می‌دهد.

Table 1 Average effect of temperature, concentration of osmotic solution and immersion time on water loss

Temperature of osmotic solution (°C)								Time (min)
45				25				
Concentration of osmotic solution (%)				Concentration of osmotic solution (%)				
15	12	9	6	15	12	9	6	
27.0±0.09	24.19±0.11	11.32±0.07	6.37±0.09	10.32±0.11	9.59±0.13	9.10±0.11	7.34±0.08	20
28.60±0.15	25.95±0.19	12.47±0.17	7.41±0.17	11.67±0.17	10.60±0.07	9.47±0.07	7.76±0.09	40
31.41±0.17	29.36±0.17	15.74±0.19	8.27±0.11	13.57±0.09	12.56±0.11	9.92±0.13	8.58±0.07	60
32.95±0.13	34.26±0.09	19.37±0.13	10.91±0.17	14.16±0.13	13.88±0.09	10.43±0.11	9.75±0.1	90
35.82±0.19	36.51±0.13	20.87±0.17	11.27±0.13	15.69±0.11	15.52±0.15	10.94±0.09	9.86±0.09	120

Table 2 Analysis of variance on water loss for osmotic dehydration of mushroom

Temperature of osmotic solution (°C)								Time (min)
45				25				
Concentration of osmotic solution (%)				Concentration of osmotic solution (%)				
15	12	9	6	15	12	9	6	
1.9968	2.7241	4.2219	4.3627	3.2170	3.5756	2.7625	3.3175	a
-.01338	-.02033	-0.2056	-0.1448	0.1136	0.1334	0.0449	0.0755	b
94.66	93.29	94.62	93.63	97.34	96.37	95.67	93.65	R ²
92.88	91.05	92.83	91.47	96.51	95.18	94.22	91.53	Adj-R ²

The parameters a and b are the coefficients of the experimental page model

بافت در سطح محصول و کاهش گرادیان غلظت در سطح مشترک قارچ - محلول اسمزی، لایه‌ای مقاوم در برابر نفوذ شکل می‌گیرد [26 و 15].

مقایسه نتایج نمونه‌ها در دو دمای 25 و 45 درجه سانتی‌گراد نشان دهنده تاثیر افزایشی دما در مقدار جذب نمک در نمونه‌های مشابه می‌باشد. به نحوی که در غلظت و زمان یکسان مقدار جذب نمک در دمای 45 درجه بالاتر از مقدار جذب نمک در نمونه مشابه در دمای 25 درجه می‌باشد. در حقیقت با افزایش دما به دلیل کاهش ویسکوزیته محلول اسمزی، میزان جذب ماده جامد افزایش می‌یابد [20]. بر مبنای نتایج میزان جذب نمک، برای بدست آوردن نمونه‌هایی با مقدار جذب نمک پایین‌تر بهترین فرآیند، دمای 45 درجه سانتی‌گراد با مقدار نمک 12 درصد با زمان 60 دقیقه می‌باشد. نتایج آنالیز برازش اطلاعات میزان جذب ماده جامد در مدل مورد استفاده در جدول 4 ارائه شده است. ضریب تعیین (R²) و ضریب تعیین تعدیل شده (Adj-R²) حاصل از آنالیز نتایج برازش اطلاعات در مدل پیچ به عنوان یک مدل پذیرفته شده در فرآیند انتقال جرم برای مطالعه میزان جذب نمک، تطابق نتایج با مدل پیچ و دقت آزمایش را نشان می‌دهد.

3-2- تاثیر دما، زمان و غلظت محلول اسمزی

فرآیند بر جذب نمک (SG)

میانگین نتایج تاثیر دما، زمان و غلظت محلول اسمزی بر میزان جذب نمک (SG) در جدول 3 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دمای 25 درجه سانتی‌گراد مقدار جذب ماده جامد برای محلول‌های 6، 9 و 12 درصد روند افزایشی بود. ولی در غلظت 15 درصد تا سطح دو برابر افزایش نشان می‌دهد. با توجه به شرایط موجود به دلیل جذب نمک بالا در این غلظت در زمان 120 دقیقه به نظر می‌رسد برای دستیابی به محصولی سالم‌تر استفاده از محلول 12 درصد مناسب‌تر است. در واقع با افزایش غلظت محلول اسمزی، همزمان با حذف رطوبت از قارچ، جذب ماده جامد افزایش می‌یابد که عمدتاً به دلیل تفاوت بالای غلظت بین نمونه قارچ و محلول اسمزی می‌باشد. با افزایش زمان مقدار جذب نمک نیز افزایش یافت. به مرور زمان که رطوبت از بافت قارچ به محلول اسمزی منتقل می‌شود، همزمان مقداری نمک وارد بافت قارچ شده، البته این مسئله تا زمانی صورت می‌گیرد که تعادل بین خروج آب از محصول و نفوذ عوامل اسمزی به درون آن ایجاد شود [24 و 25]. با ادامه جذب ماده جامد به

Table 3 Average effect of temperature, concentration of osmotic solution and immersion time on solid gain

Temperature of osmotic solution (°C)								Time (min)
45				25				
Concentration of osmotic solution (%)				Concentration of osmotic solution (%)				
15	12	9	6	15	12	9	6	
3.66±0.07	1.64±0.5	1.38±0.03	0.73±0.03	2.70±0.07	0.88±0.03	0.56±0.02	0.21±0.01	20
3.87±0.06	2.37±0.07	1.76±0.07	0.81±0.01	2.82±0.03	1.14±0.02	0.98±0.03	0.34±0.03	40
4.16±0.09	2.83±0.08	1.98±0.05	0.93±0.05	3.46±0.02	1.81±0.03	1.10±0.06	0.61±0.01	60
4.27±0.11	3.27±0.09	2.31±0.07	1.09±0.07	3.9±0.03	2.26±0.06	1.86±0.05	0.74±0.02	90
4.39±0.13	3.72±0.08	2.98±0.09	1.13±0.05	4.17±0.06	2.44±0.03	2.09±0.03	0.79±0.03	120

Table 4 The results of “Page” model fitting of data of solid gain for osmotic dehydration of mushroom

Temperature of osmotic solution (°C)								Time (min)
45				25				
Concentration of osmotic solution (%)				Concentration of osmotic solution (%)				
15	12	9	6	15	12	9	6	
3.6508	5.864	6.086	6.066	4.576	7.458	12.3037	10.1557	a
-0.3262	-0.1206	-0.11084	-0.6545	-0.0802	-0.1476	-0.2561	-0.1635	b
97.92	99.76	93.56	97.27	93.76	96.42	93.93	98.22	R ²
97.23	99.68	91.42	95.03	91.68	95.22	91.9	97.63	Adj-R ²

The parameters a and b are the coefficients of the experimental page model

صورتی که نمونه محدودیت دما وجود نداشته باشد بهترین درصد غلظت محلول نمکی 12 درصد می‌باشد.

با افزایش زمان غوطه‌وری، مقدار افت وزنی نیز افزایش یافت. جوکیچ و همکاران (2007) با بررسی تاثیر زمان غوطه‌وری بر آبیگری اسمزی چغندر قند عنوان کردند که افت وزنی با افزایش زمان غوطه‌وری افزایش میابد [27]. از آنجا که افزایش زمان باعث افزایش جذب نمک شده است و از طرفی از زمان حدود 60 دقیقه به بعد افزایش سرعت خروج آب زیاد نبوده است می‌توان چنین نتیجه گرفت فرآیند در دمای 45 درجه سانتی‌گراد و 12 درصد نمکی در زمان 60 دقیقه نتیجه بهینه‌ای به همراه دارد. از آنجا که وجود نمک در قارچ خشک شده یا پودر شده مشکلات زیادی به همراه ندارد و امکان تنظیم میزان نمک در زمان استفاده از آن براساس فرمولاسیون غذا وجود دارد، لذا افزایش جذب نمک عامل محدود کننده به شمار نمی‌آید. ارن و کایمک (2007) نیز به نتیجه مشابهی در سبب زمینی رسیدند [26].

نتایج آنالیز برازش اطلاعات بر میزان افت وزنی در جدول 6 آورده شده است. ضریب تعیین (R^2) و ضریب تعیین تعدیل شده ($Adj-R^2$) حاصل از آنالیز نتایج برازش اطلاعات در مدل پیچ به عنوان یک مدل پذیرفته شده در فرآیند انتقال جرم نشان دهنده تطابق با مدل پیچ و دقت آزمایش می‌باشد.

3-3- تاثیر دما، زمان و غلظت محلول اسمزی

فرآیند بر افت وزنی (WR)

افت وزنی، تفاوت مقدار مواد خارج شده و میزان مواد جامد جذب شده به نمونه در طی فرآیند آبیگری اسمزی را نشان می‌دهد. در جدول 5 میانگین نتایج اثر دما، غلظت محلول و زمان فرآیند بر روی میزان افت وزنی ارائه شده است. مقایسه نتایج اثر دما و غلظت نمک بر مقدار افت وزنی که اختلاف میزان خروج آب و میزان جذب مواد می‌باشد، نشان می‌دهد که در دمای 25 درجه سانتی‌گراد بیشترین مقدار افت وزنی برای محلول 12 درصد بوده و مقدار افت وزنی نمونه‌های محلول 15 درصد کاهش یافته است. این موضوع جمع بندی نتایج خروج آب و جذب نمک می‌باشد که خروج آب در نمونه 15 درصد نمک نسبت به نمونه 12 درصد نمک کم بوده و در مقابل مقدار جذب نمک در نمونه 15 درصد نمک بالا بود به همین دلیل افت وزنی نمونه 15 درصد نمک کم شده است. در دمای بالاتر به دلیل افزایش خروج آب در نمونه 15 درصد نمک، افت وزنی نیز افزایش یافته و تاثیر مثبت آن همسو با مقدار خروج آب نشان داده شده است.

براساس نتایج افت وزنی در حین فرآیند اسمز، در دمای 45 درجه مقدار افت وزنی نمونه‌های 12 و 15 درصد نمک اختلاف زیادی نداشته و بسیار نزدیک هستند. بر همین مبنا در

Table 5 Average effect of temperature, concentration of osmotic solution and immersion time on weight reduction

Temperature of osmotic solution (°C)								Time (min)
45				25				
Concentration of osmotic solution (%)				Concentration of osmotic solution (%)				
15	12	9	6	15	12	9	6	
23.34±0.17	22.55±0.17	9.94±0.11	5.64±0.07	6.62±0.07	8.71±0.11	8.85±0.07	7.13±0.11	20
23.53±0.13	23.58±0.19	10.71±0.13	6.6±0.05	5.73±0.05	9.46±0.09	8.59±0.9	7.42±0.13	40
27.25±0.15	24.53±0.21	13.77±0.17	7.34±0.09	9.01±0.07	10.75±0.9	8.82±0.11	7.97±0.09	60
28.68±0.19	30.99±0.13	17.06±0.09	9.82±0.07	9.30±0.09	11.82±0.07	8.97±0.05	8.91±0.07	90
33.43±0.17	32.79±0.17	17.89±0.11	10.14±0.06	10.12±0.07	13.28±0.11	9.05±0.09	9.07±0.09	120

Table 6 Analysis of variance on weight reduction for osmotic dehydration of mushroom

Temperature of osmotic solution (°C)								Time (min)
45				25				
Concentration of osmotic solution (%)				Concentration of osmotic solution (%)				
15	12	9	6	15	12	9	6	
2.168	2.626	4.239	4.497	3.4077	3.3911	2.5766	3.13	a
0.126	0.1749	0.1885	0.1408	0.0935	0.1036	0.01447	0.0535	b
94.1	91.12	93.3	93.18	96.37	95.37	92.66	94.42	R ²
92.14	88.16	91.07	90.91	95.16	93.82	90.21	92.56	Adj-R ²

The parameters a and b are the coefficients of the experimental page model

پالس 1 دقیقه‌ای بیشترین افت وزنی را به همراه داشت (شکل 1، ج).

از مقایسه روند افزایشی فاکتورهای انتقال جرم در طول زمان برای دو روش تیمار فراصوت و نمونه شاهد، در شرایط ثابت حرارتی و غلظتی محلول اسمزی مشاهده می‌شود که تیمار فراصوت با پالس یک دقیقه بیشترین خروج آب و افت وزنی و کمترین جذب نمک را داشته است و براساس نتایج این بخش به منظور کاهش زمان فرآوری می‌توان از تیمار فراصوت برای تسریع عمل استفاده نمود. افزایش فاکتورهای انتقال جرم با افزایش زمان را می‌توان به دلیل تغییرات تدریجی در شکل سلول‌ها، جدا شدن سلول‌ها و ایجاد کانال‌های میکروسکوپی در طی تیمار فراصوت و همچنین ناشی از اختلاف فشار اسمزی بین نمونه قارچ و محلول اسمزی دانست [28]. نتایج فرناندس و همکاران (2009) و رودریگز و همکاران (2008) که به ترتیب به بررسی اثر آبیگری اسمزی به کمک فراصوت بر روی ساختار سلولی آناناس و ساپوتا پرداخته بودند، تایید کننده نتایج این پژوهش می‌باشد [29 و 30].

در خصوص استفاده از فراصوت در حین فرآیند آبیگری اسمزی یک تئوری دیگر در علت افزایش انتقال جرم، بر هم زدن لایه مرزی غلظتی است. با توجه به نتایج حاصل در این پژوهش این تئوری بهتر می‌تواند علت یکسان بودن نتایج

3-4- تاثیر تیمار فراصوت بر میزان انتقال جرم (خروج آب، درصد ماده جامد و افت وزنی)

در فرآیند اسمزی قارچ

نمودار میانگین درصد خروج آب، جذب ماده جامد و افت وزنی (فاکتورهای انتقال جرم) نمونه‌های قارچ در زمان‌های مختلف، در نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده با فراصوت (با پالس 1 دقیقه و 4 دقیقه) در شکل 1 آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان فراصوت، در شرایط ثابت حرارتی و غلظتی محلول اسمزی، تیمار فراصوت با پالس یک دقیقه در مقایسه با نمونه فراصوت با پالس 4 دقیقه و نمونه بدون پیش تیمار درصد خروج آب بیشتری دارد (شکل 1، الف). همچنین روند جذب نمک در نمونه‌های مختلف در زمان‌های اولیه نشان می‌دهد که نمونه‌های فرآوری شده طی زمان فراصوت، نمک بیشتری جذب می‌کنند؛ ولی این روند افزایشی در نمونه‌های فراصوت با پالس 1 دقیقه بسیار کند بوده به صورتی که نمونه اسمزی با فراصوت یک دقیقه در مدت 40 دقیقه فرآوری، کمترین جذب نمک را داشته و نمونه‌های اسمزی بدون فراصوت و با فراصوت 4 دقیقه‌ای مقدار نمک جذب شده نزدیک به هم دارند (شکل 1، ب). روند تغییرات افت وزنی در نمونه‌ها مانند تغییرات مقدار خروج آب بوده و بر این اساس روش استفاده از فراصوت با

جدول 7 آورده شده است. ضریب تعیین (R^2) بسیار بالای حاصل از آنالیز نتایج برازش اطلاعات در مدل پیچ به عنوان یک مدل پذیرفته شده در فرآیند انتقال جرم در فرآیند اسمزی به همراه فراصوت نشان دهنده تطابق نتایج با مدل پیچ و همچنین نزدیکی ضریب تعیین تعدیل شده ($Adj-R^2$) به ضریب تعیین نشان از دقت آزمایش دارد.

مربوط به زمان صوت دهی 1 دقیقه و 4 دقیقه را توجیه نماید. در روش مورد مطالعه به دلیل ساکن بودن نمونه‌ها مورد آزمون در حین فرآیند اسمزی و تشکیل لایه مرزی غلظتی، وجود 1 دقیقه فراصوت برای برهم زدن این لایه مرزی کافی است [22].

بررسی آماری حاصل از برازش میانگین نتایج در مدل مورد استفاده در پروژه برای هر یک فاکتورهای انتقال جرم در

Table 7 Analysis of variance for ultrasound treatment during osmotic dehydration on water loss (WL), solid gain (SG) and water reduction (WR)

WR				SG				WL				Treatment
Adj-R ²	R ²	b	a	Adj-R ²	R ²	b	a	Adj-R ²	R ²	b	a	
94.84	96.56	-0.426	6.276	93.56	95.71	-0.308	10.995	93.71	95.81	-0.468	6.799	control
97.99	98.66	-0.475	5.559	98.18	98.78	-0.169	6.562	98.31	98.87	-0.504	5.735	Pulse ultrasound ratio 1:1
91.92	94.61	-0.56	8.313	97.26	98.17	-0.197	7.246	95.33	96.89	-0.584	8.304	Pulse ultrasound ratio 1:4

The parameters a and b are the coefficients of the experimental page model

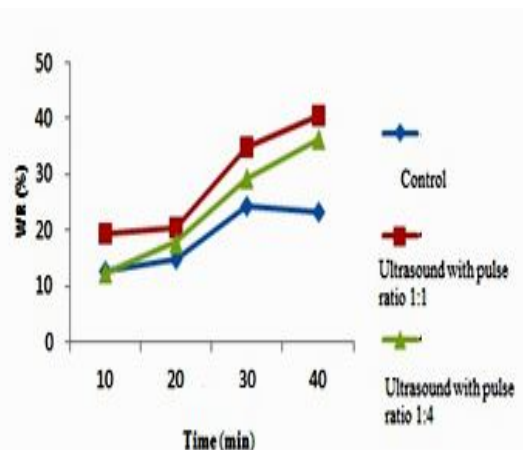
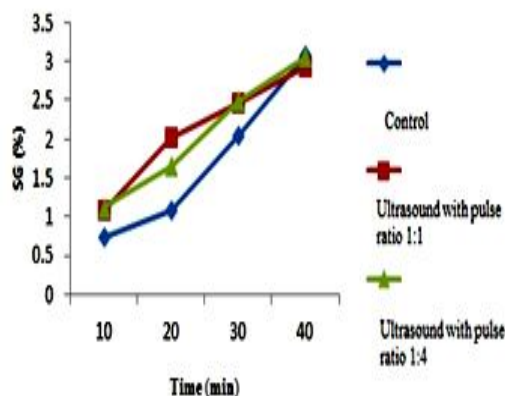
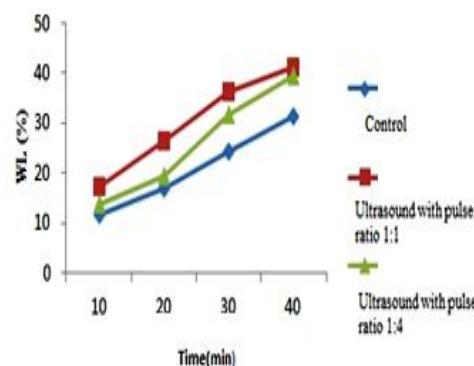


Fig 1 The effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on water loss (WL), solid gain (SG) and water reduction (WR) (%)



4- نتیجه گیری

قارچ دکمه‌ای به عنوان یک ماده غذایی با ارزش غذایی بالا، بسیار حساس به عوامل محیطی است و به سرعت قهوه‌ای شده و سریعاً فاسد می‌شود. فرآیند آبگیری اسمزی به دلیل استفاده از دمای پایین و انرژی کمتر در فرآوری به عنوان یکی از شیوه‌های مناسب فرآوری مواد غذایی در نگهداری مواد غذایی

- [2] FAO. 2013. Statistical Database. Available at <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
- [3] Mehta, B. K., Jain, S. K., Sharma, G. P., Mudgal, V. D., Verma, R. C., Doshi, A., and Jain, H. K., 2012. Optimization of osmotic drying parameters for button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Applied Mathematics*. 3: 1298-1305.
- [4] Jadhav, H. T., and Chandiwade, U. N. 2008. Effect of pretreatment, drying temperature and intermittent drying technique on cooking quality of oyster mushroom. *Agriculture Update*. 3 (1/2): 23-26.
- [5] Mattila, P., Salo-Väänänen, P., Könkö, K., Aro, H., and Jalava, T. 2002. Basic composition and amino acid contents of mushrooms cultivated in Finland. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50 (22): 6419-6422.
- [6] Angle, R. Y. and Tamhane, D. V. 1974. Mushrooms: An exotic source of nutritious and palatable food. *Indian Food Packer*. 28 (5): 22-28.
- [7] Kotwaliwale, N., Bakane, P., and Verma, A. 2007. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. *Journal of Food Engineering*. 78 (4): 1207-1211.
- [8] Giri, S. K., and Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*. 78 (2): 512-521.
- [9] Shukla, B. D., and Singh, S. P. 2007. Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and green pea. *Journal of food engineering*. 80 (2): 741-747.
- [10] Jain, S. K., Verma, R. C., Murdia, L. K., Jain, H. K., and Sharma, G. P. 2011. Optimization of process parameters for osmotic dehydration of papaya cubes. *Journal of Food Science and Technology*. 48 (2), 211-217.
- [11] Sodhi, N. S., Singh, N. Komal (2006) Osmotic dehydration kinetics of carrots. *Journal of Food Science and Technology*. 43 (4): 374-376.
- [12] Dalla Rosa, M., and Giroux, F. 2001. Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of Food Engineering*. 49(2): 223-236.
- [13] Prerna, G., Anju, B., Harmeet, C., Naseer, A., Anisa, M., 2015.

و کاهش ضایعات مواد غذایی می‌باشد. استفاده از نمک طعام در این فرآیند به دلیل ماهیت ایجاد کننده فشار اسمزی و همچنین سازگاری سبزیجات با طعم حاصل از فرآیند موضوع قابل مهمی به شمار می‌رود. برازش نتایج حاصل از آزمایشات در مدل پیچ نشان داد که با توجه به ضریب (R^2) بالای حاصل، این نتایج با مدل مورد استفاده تطابق داشته و در نتیجه علاوه بر امکان استفاده از آن برای پیش بینی نتایج، می‌توان از مدل پیچ و سایر مدل‌های ریاضی برای مطالعه روند فرآیند اسمزی با محلول نمکی نیز استفاده نمود.

در این پژوهش تاثیر شرایط فرآیند شامل غلظت محلول اسمزی، دمای فرآیند اسمزی، تیمار فراصوت در طی فرآیند اسمزی بر میزان فاکتورهای انتقال جرم قارچ دکمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد که استفاده از محلول نمکی با غلظت 12 درصد به مدت 60 دقیقه در دمای 45 درجه سانتی‌گراد نتیجه بهتری را به دنبال داشت. شرایط بهینه فرآیند براساس کمترین مقدار نمک جذب شده و بیشترین خروج آب تعیین شده است. همچنین فراصوت به عنوان یک منبع انرژی بی‌خطر و ارزان قیمت، برای استفاده در فرآوری غذایی، روش مناسبی برای افزایش ضریب انتقال جرم در پروسه اسمزی می‌باشد. برای دستیابی به حداکثر استخراج آب در حداقل زمان فرآوری، استفاده از فراصوت با پالس یک دقیقه‌ای به جای استفاده مداوم و یا استفاده در مدت زمان 4 دقیقه در حین فرآیند اسمزی مناسب‌تر می‌باشد. در نهایت فرآیند اسمزی با استفاده از محلول نمکی می‌تواند برای آبیگری سبزیجات مورد استفاده قرار گیرد. این فرآیند می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های موثر نگهداری برای تولید محصول با کیفیت بالا با کمترین تخریب حرارتی ماده غذایی و کاهش انرژی همراه باشد. همچنین، با استفاده از فرآیند فراصوت با پالس یک دقیقه در حین فرآیند اسمزی، می‌توان در تسهیل و تسریع انتقال رطوبت و کاهش زمان فرآیند اسمزی بهره برد.

5- منابع

- [1] Kumar A., Singh, M., and Singh, G. 2013. Effect of different pretreatments on the quality of mushrooms during solar drying. *Journal of Food Science and Technology*. 50: 1.165-170.

- [23] Park, K. J., Bin, A., Brod, F. P. R., and Park, T. H. K. B. 2002. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). *Journal of Food Engineering*. 52 (3): 293-298.
- [24] Asghari, B. Z. and Basiri, A. R. 2010. Optimization of Osmo-Convective Drying of Edible Button Mushroom Using Response Surface Methodology. *Food Technology and Nutrition*. 7: 2. 39-50. (In Persian)
- [25] Rezagah, M. E., Kashaninezhad, M., Mirzaei, H. E., and Khomeiri, M. (2009). Effect of temperature, osmotic solution concentration and mass ratio on kinetics of osmotic dehydration of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16: (1-A). (In Persian)
- [26] Eren, İ., and Kaymak-Ertekin, F. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. 79 (1): 344-352.
- [27] Jokic, A., Gyura, J., Levic, L., and Zavargó, Z. 2007. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *Journal of Food Engineering*. 78 (1): 47-51.
- [28] Eshraghi, E., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., Beiraghi, T. Sh. and Alami, M. 2014. Studying the Effect of Osmosis-Ultrasound Compound Pre-treatment on Drying Kiwi Fruit Sheets. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*. 9: 4. 2228-5415. (In Persian)
- [29] Fernandes, F. A., Gallão, M. I., and Rodrigues, S. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*. 90 (2): 186-190.
- [30] Rodrigues, S., Gomes, M. C., Gallão, M. I., and Fernandes, F. A. 2009. Effect of ultrasound assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89 (4): 665-670.
- Osmotic Dehydration of Button Mushroom. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5 (2): 177-182.
- [14] Kumar, K., Barmanray, A., Kumar, S. 2017. Shelf-Life Studies on Osmo-Air Dried White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus* L.). *Current Research Nutrition Food Science*, 5 (2): 144-153.
- [15] Mehta, B. K., Kumari, M., Surabhi. Jain, S. K. 2018. Osmotic dehydration as a pre-treatment before hot air drying of mushroom (*Agaricus bisporus*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7: 1341-1349.
- [16] AOAC. 1984. Official methods of analysis. 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- [17] Kar, A., and Gupta, D. K. 2003. Air drying of osmosed button mushrooms. *Journal of Food Science and Technology*. 40 (1): 23-27.
- [18] Yadav, B. S., Yadav, R. B., and Jatani, M. 2012. Optimization of osmotic dehydration conditions of peach slices in sucrose solution using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*. 49(5): 547-555.
- [19] Ozen, B. F., Dock, L. L., Ozdemir, M., and Floros, J. D. 2002. Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *International Journal of Food Science & Technology*. 37(5): 497-502.
- [20] 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 (2): 471-480.
- [21] Fernandes, F. A., Gallão, M. I., and Rodrigues, S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-Food Science and Technology*. 41(4): 604-610.
- [22] Gheybi, F. 2012. Osmotic dehydration of honeydew (*Cucumis melo* L. var *inodorus*) using high power ultrasonic treatment (Doctoral dissertation, Universiti Putra Malaysia).

Ultrasonic mass transfer of button mushroom after osmotic dehydration process

Basiri, Sh. ^{1*}, Gheybi, F. ¹

1. Assistant Professor in Food Technology , Agricultural Engineering Research Department , Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Mashhad, Iran

(Received: 2019/12/08 Accepted:2020/01/20)

Button mushroom has sensible to mechanical blows and has low shelf life. The purpose of this project was determining of the optimum method of ultrasonic dehydration and the effect of osmotic processing conditions on mass transfers. In the first step, sodium chloride solution with concentrations 6, 9, 12 and 15%, for 20,40,60,90 and 120 minutes at 25°C and 45°C were used and in the second step, in the constant conditions of salt concentration (12%), immersion time (60 min) and temperature (45°C), the mushroom samples were subjected to ultrasonic wave in two levels (pulse duration time to pulse rest time of 1:1 and 1:4) at frequency of 20 KHz and constant power 400 w, to determine their effect on water loss, solid gain and water reduction. The results showed that, as the concentration of osmotic solution increased, mass transfer from the sample increased. When immersion time was increased to 60 min, solid gain and moisture diffusion increased. After this time, water loss was less increased and solid gain was more increased. Further solid gain created a resistant layer against permeability and solute movements on both sides of tissue. in this process, at temperature of 45 °C, greater the mass transfer rate achieved, mainly due to the increase in cell permeability and permeability coefficient. It was found that salt concentration of 12%, immersion time of 60 min and temperature of 45°C gave the minimum solid gain (2.83%) and maximum water loss (29.36%) and weight reduction (24.53%). Also, the use of ultrasound with pulse ratio of 1:1 in constant osmotic dehydration condition was conducted better results. At 40 min processing time, the solid gain, water loss and weight reduction were 2.93%, 41.23% and 40.30%, respectively. Moisture content of mushrooms after osmotic dehydration and ultrasound treatment reduced to 85 and 82 %, respectively.

Keywords: Button Mushroom, Mass Transfer, Osmotic Dehydration, Ultrasound

*Corresponding Author E-Mail Address: shbasiri35@yahoo.com