

سینتیک انتقال جرم با استفاده از تیمار فراصوت-اسمز در اسلایس های پیاز زرد

مهرانوش غریبی تهرانی^۱، الهام آذرپژوه^{۲*}، احمد پدram نیا^۳، سیدحسین استیری^۳

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۳- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰

چکیده

این تحقیق با هدف به کارگیری هم‌زمان پیش تیمارهای فراصوت و آبیگری اسمزی به منظور از دست دادن رطوبت و بهبود انتقال جرم اسلایس های پیاز زرد (*Allium cepa L.*) مورد بررسی قرار گرفت. پیش تیمارها شامل فراصوت در شدت های (۵۰ و ۱۰۰ درصد) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و زمان ثابت (۱۵ دقیقه)، غلظت محلول اسمزی کلرید سدیم (۳، ۱۰ و ۱۵ درصد) و زمان فرآیند اسمز (۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه) بودند. دمای محلول اسمزی ۵۰ درجه سلسیوس و نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱ به ۱۰ بود. به منظور بررسی تأثیر زمان بر سینتیک انتقال جرم، ثابت های مدل ریاضی و نقاط تعادل نهایی جهت از دست دادن آب و جذب مواد جامد از مدل ریاضی آزارا و برای پیش بینی سرعت خروج و نفوذ مواد در آبیگری اسمزی اسلایس های پیاز از قانون دوم فیک استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت محلول اسمزی، زمان آبیگری و میزان شدت فراصوت بر انتقال جرم به طور لگاریتمی تأثیر معنی داری داشت. فرآیند فراصوت موجب انتقال جرم بیشتر مواد جامد شد. ضریب نفوذ موثر مواد جامد در شدت ۵۰ درصد بین 10^{-9} تا 10^{-9} تا 10^{-9} تا 10^{-9} متر مربع بر ثانیه و ضریب نفوذ آب بین 10^{-9} تا 10^{-9} متر مربع بر ثانیه متغیر بود. این ضریب در شدت ۱۰۰ درصد برای نفوذ مواد جامد بین 10^{-9} تا 10^{-9} متر مربع بر ثانیه و نفوذ آب بین 10^{-9} تا 10^{-9} متر مربع بر ثانیه بود.

واژه های کلیدی: آبیگری اسمزی، مواد جامد، اسلایس های پیاز، ازدست دادن آب

*مسئول مکاتبات: azarpazhooh@gmail.com

۱- مقدمه

پیاز با نام علمی (*Allium Cepa L*)، نوعی گیاه (غده ای) گوشتی زیرزمینی می باشد. پوسته خارجی پیاز منبع اصلی فلاوونوئیدهاست که اصلی ترین بخش از تغذیه انسان را شامل می شوند. فلاوونوئید اصلی در پیاز، کوئرستین^۱ (رنگ زرد و یا قهوه ای) از مهمترین فلاوونول آگلیکون ها^۲ است که به میزان زیادی به فرم گلیکوزیدها در پیاز خوراکی موجود است (۳، ۸، ۲۶). پیاز زرد یا پیاز قهوه ای در ایران به نام پیاز قهدریجان (یک نوع از پیاز خشک با مزه و بوی تند)، درونش سفید و لایه های پوست کاغذیش رنگ قهوه ای متمایل به زرد دارد (۱۷). از فصل بهار تا پاییز رشد می کند و در بقیه فصول انبارش می شود (۲۹). آبگیری اسمزی یکی از پرکاربردترین روش های مورداستفاده جهت کاهش محتوای رطوبت در پژوهش های علمی بوده است که طی آن رطوبت موجود در بافت میوه ها و سبزی ها توسط غوطه ور نمودن آنها در محلول های هایپرتونیک به طور نسبی و بدون تغییر فاز خارج می شود و نیروی مورد نیاز را جهت انتقال جرم با ایجاد فشار اسمزی فراهم می آورد (۱۲). در طول این فرآیند بسیاری از واکنش های مخرب مانند اکسیداسیون، به دلیل عدم حضور اکسیژن در محیط واکنش صورت نمی گیرند. این فرآیند به عنوان یک پیش تیمار قبل از برخی فرآیندها مانند خشک کردن و یا انجماد می پذیرد که باعث بهبود ویژگی های حسی علاوه بر حفظ ارزش تغذیه ای مواد غذایی می شود (۴، ۵، ۷). از دست دادن آب به دلیل تفاوت در فشار اسمزی بین غذا و محلول اطراف آن بکار می رود. امواج فراصوت، میدان الکتریکی پالسی با شدت بالا، فرآیند فشار بالا و خلا از فرآیندهای مؤثر بر آبگیری اسمزی محسوب می شوند. اعمال پیش تیمار با استفاده از امواج فراصوت قبل از فرآیند خشک کردن، شامل غوطه وری ماده غذایی در آب یا در یک

فاز آبی هایپرتونیک می باشد. استفاده از امواج فراصوت پیش از فرآیند خشک کردن، افزایش ضریب نفوذ رطوبت، کاهش کدورت زمان فرآیند خشک کردن و افزایش آهنگ انتقال جرم را به همراه دارد. یکی از اهداف پیش تیمار اولتراسونیک، نابودی دیواره سلولی و آزادسازی مواد داخل سلولی است (۱۹). بعلاوه، پیش تیمار اولتراسوند سبب تجزیه ذرات آلی بزرگ به ذرات کوچکتر می شود. بورگری^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۵، تاثیر پیش تیمار اولتراسوند بر انتشار سائزذرات در سهم انرژی مخصوص^۴ را بررسی کردند و حجم ذرات اشغال شده توسط ذرات کوچک با انرژی مخصوص افزایش یافت (۷). انقباض و انبساط با عبور امواج صوتی از محیط ماده غذایی باعث بوجود آمدن پدیده کاویتاسیون می شود که منجر به تولید نیروهای زیادی می شوند و رطوبت را درون کانال های میکروسکوپی مواد نگهداشته، بنابراین سبب تسهیل از دست دادن آب می گردند (۱۰). محققین پدیده کاویتاسیون را عامل اصلی تسریع واکنشهای شیمیایی که توسط دما و فشار بالا ایجاد می شوند (۱۱)، ایجاد نیروهای تنشی زیاد در مایع، افزایش تشکیل رادیکالهای بازفعال که می توانند در واکنشهای شیمیایی کمک شایانی نمایند و افزایش تخریب ترکیبات مخصوص هنگامیکه حبابهای کاویتاسیون بوسیله لایه مرزی هیدروفوبیک^۵ مایع محاط شدند که مواد هیدروفوبیک و فرار نفوذ نمایند و متعاقباً در داخل حبابهای گاز واکنش دهند. همچنین، توان فراصوت با بهبود پدیده کاویتاسیون ارتباط دارد (۳۲ و ۳۳). مدل آزوار^۶ جهت از دست دادن رطوبت و جذب مواد جامد طرح ریزی شد که الگوی انتقال جرم را بر اساس کاهش مدت زمان اسمزی تشریح نماید. این مدل جهت پیش بینی تعادل در از دست دادن رطوبت و جذب مواد جامد استفاده شد (۴). نتایج تحقیقات مظفری و همکاران در سال ۱۳۹۰ بر روی آبگیری اسمزی پیاز تحت هوای گرم

3- Bougrier

4 - Specific Energy Input

5 - Hydrophobic

6- Azuara

1-Quercetin

2-Flavonol Aglycone

۲- مواد و روش ها

۲-۱- تهیه و آماده سازی نمونه ها

پیاز مورد استفاده رقم زرد (*Allium cepa L.*) بود که از بازار مشهد تهیه گردید. پیازهای مصرفی تاهنگام استفاده در دمای محیط نگهداری شدند. پس از پوست گیری، میوه ها به شکل اسلایس به ضخامت ۲ میلی متر برش داده شدند.

۲-۲- آبگیری اسمزی به کمک فراصوت

به منظور اعمال پیش فرآیند فراصوت-اسمز، از دستگاه فراصوت نوع پروب مارک Hielscher مدل UP400S ساخت آلمان با فرکانس کاری 24 KHz استفاده شد. شدت صوت ورودی دستگاه در حین انجام عمل فراصوت در دو دامنه ۵۰ و ۱۰۰ درصد تنظیم شد. برای انجام آبگیری اسمزی به کمک فراصوت، در هر بار انجام آزمایش، ابتدا وزن مشخصی از اسلایس های پیاز (حدود ۲۵ گرم) در داخل یک بشر حاوی آب داخل دستگاه فراصوت در دمای محیط و شدتهای (۵۰ و ۱۰۰ درصد) به میزان ۱۵ دقیقه قرارداد شدند، سپس بشر حاوی نمونه از دستگاه فراصوت خارج گردیده، آب آن خارج شد و برای انجام آبگیری اسمزی درون بشرهای ۵۰۰ میلی لیتری، حاوی ۲۵۰ میلی لیتر محلول اسمزی کلرید سدیم با غلظت های (۵، ۱۰، ۱۵ درصد) غوطه ورگشتند و به داخل یک دستگاه بن ماری مارک Memmert (مدل W350، ساخت کشور آلمان) با دمای ثابت معادل ۵۰ درجه سلسیوس برای مدت زمانهای (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ دقیقه) قرار گرفتند. با استفاده از یک همزن مغناطیسی با ۳۰۰ دور در دقیقه دمای محلول اسمزی طی آبگیری به منظور کاهش مقاومت در برابر انتقال جرم در سطح مواد، مخلوط نمودن مناسب و کنترل دمای محلول اسمزی حفظ شد. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شد. پس از اتمام مدت زمان تعیین شده برای آبگیری اسمزی، نمونه ها از داخل بشر حاوی محلول اسمزی خارج شدند، سپس به

نشان داد که میزان آبگیری مجدد با درجه حرارت و زمان آبگیری ارتباط مستقیم داشت به طوریکه با افزایش درجه حرارت و زمان، میزان آبگیری مجدد افزایش یافت (۲). تیمار آبگیری در سال ۲۰۰۵ طبیعت محلول اسمزی و زمان را به عنوان دو عامل موثر در افزایش از دست دادن آب و جذب مواد جامد بر انتقال جرم اسلایس های پیاز و گوجه فرنگی تحت تیمار آبگیری اسمزی نشان دادند که پدیده آبگیری برای گوجه فرنگی به میزان ۲۰ ساعت و برای اسلایس های پیاز ۱۵ دقیقه به طول انجامید (۳۴). در تحقیقی دیگر توسط رن^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۷ اولتراسوند به عنوان پیش تیمار جهت فرآیند آنزیم بری^۳ به منظور افزایش محتوای آنتی اکسیدان های پیاز خشک شده تحت هوای داغ و انجماد استفاده شد (۲۵). ریگی و نقوی در سال ۱۳۹۵ نشان دادند که آبگیری اسمزی به کمک فراصوت می تواند یک روش موثر برای افزایش از دست دادن آب طی فرآیند باشد که به نوبه خود می تواند زمان کلی فرآیند برای میوه (به) آبگیری اسمزی- خشک شده را کاهش دهد (۲). گولاو^۴ همکاران در سال ۲۰۱۷ نشان دادند که تیمار سیب زمینی تحت اولتراسوند منتج به افزایش میزان رطوبت و افزایش آهنگ انتقال جرم شد و آبگیری اسمزی به کمک اولتراسوند سبب افزایش ضریب موثر آب شد (۱۶). باتوجه به اینکه براساس اطلاعات موجود تاکنون تاثیر بکارگیری پیش تیمارهای اولتراسوند هنگام آبگیری اسمزی اسلایس های پیاز مورد بررسی قرار نگرفته است، بنابراین هدف از این تحقیق مطالعه تاثیر پیش تیمار آبگیری اسمزی همراه فراصوت بر آهنگ تغییرات انتقال جرم نمونه های اسلایس های پیاز، مدل سازی تغییرات آن می باشد.

- 1-Tsamo
- 2-Ren
- 3-Blanching
- 4-Goula-
- 5-Effective diffusivity

۲-۳-۲- اندازه گیری میزان آزدایی ، افزایش جذب مواد

میزان آزدایی (ML)، افزایش ماده جامد جذب شده (SG) و میزان کاهش وزن نمونه ها (WR) در حین فرآیند اسمزی با استفاده از روابط (۴ تا ۷) محاسبه گردید (۲۰).

$$\%ML = 100 \frac{(M_0 x_0 - M_t x_t)}{M_0} \quad (1)$$

$$\%SG = 100 \frac{(M_0 s_0 - M_t s_t)}{M_0} \quad (2)$$

M_0 : وزن نمونه تازه (گرم)، M_t : وزن نمونه اسمزی شده (گرم)، S_0 : وزن ماده خشک نمونه تازه، S_t : وزن ماده خشک نمونه اسمزی شده

مدل سازی انتقال جرم

مقادیر تعادلی از دست دادن آب و جذب مواد با استفاده از مدل دو پارامتری آزووارا و همکاران (۱۹۹۲) تعیین گردید.

(۳)

$$ML_\theta = \frac{S_1 \theta (ML_\infty)}{1 + S_1 \theta} = \frac{\theta (ML_\infty)}{\frac{1}{S_1} + \theta}$$

ML_θ : کسر از دست دادن رطوبت در زمان، S_1 ثابت سرعت نفوذ آب به خارج از محصول،

θ : زمان، ML_∞ : کسر از دست دادن رطوبت در حالت تعادل

در طول فرآیند آبدگیری اسمزی اسلایس های پیاز، ثابت S_1 و از دست دادن آب در حالت تعادل توسط رگرسیون خطی با داده های آنالیز می تواند محاسبه شود. فرم خطی در رابطه (۴) نشان داده شده است.

(۴)

$$\frac{\theta}{ML_\theta} = \frac{1}{S_1 (ML_\infty)} + \frac{\theta}{ML_\infty}$$

منظور حذف محلول اسمزی باقیمانده در سطح آنها با آب مقطر شستشوی شده، رطوبت اضافی آنها با کاغذ صافی گرفته و توسط ترازوی دیجیتال مدل GEC AVERY ساخت کشور انگلستان با دقت ۰/۰۱ گرم، توزین شدند. (شکل ۱).



شکل ۱- مراحل آبدگیری اسمزی اسلایس های پیاز (حمام آب گرم)

۱- الف ، صوت دهی پیاز در دستگاه فرآصوت

۲- ب، غوطه وری اسلایس های پیاز در حمام آب گرم (بن ماری)

۲-۳- روش آزمایشات

۲-۳-۱- تعیین میزان رطوبت

برش های پیاز اسمز شده پس از خروج از محلول اسمزی با آب مقطر شسته شدند و با دستمال جذب رطوبت، رطوبت سطحی آن ها گرفته شد. نمونه ها توسط ترازو توزین و سپس درصد رطوبت آنها بر طبق استاندارد (AOAC 931.04) با استفاده از آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت در رابطه (۱) تعیین گردید (۳).

$$X_i = \frac{M_t - M_d}{M_d} \times 100$$

X_i : رطوبت نمونه های اسلایس پیاز بر پایه خشک (درصد)،

M_t : وزن نمونه ها در زمان مشخص، M_d : وزن اولیه نمونه ها

$$K_{mfcs} = \frac{M_e S_e - M_t S_t}{M_e S_e - M_0 S_0} = \frac{SG_e - SG_t}{SG_e - SG_0} \quad (9)$$

که در رابطه ۸، SG_e و SG_t ، G_t ، به ترتیب مقادیر جذب مواد جامد در ابتدای فرآیند، در زمان t و در حالت تعادل می‌باشند.

ضریب نفوذ موثر آب (Dew) و مواد جامد (Des) در نمونه‌های تحت فرآیند اسمز از رسم نمودارهای

$$\ln \frac{SG_e - SG_t}{SG_e - SG_0} \quad \text{و} \quad \ln \frac{ML_e - ML_t}{ML_e - ML_0}$$

در برابر زمان t تعیین

می‌شوند. برازش نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شد. ضریب همبستگی (R^2) به منظور تعیین مناسب بودن مدل برازش شده مورد استفاده قرار گرفت.

۴-۲- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه تحلیل آماری طرح با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ و آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر زمان غوطه وری بر روی ازدست دادن آب و

آهنگ انتقال جرم

فرآیند از دست دادن آب اسلایس های پیاز در غلظت های مختلف کلرید سدیم طی مدت زمان غوطه وری در محلول اسمزی در شکل (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میزان از دست دادن آب در غلظتهای متفاوت محلول اسمزی و شدت های مختلف فراصوت غیرخطی بوده است. در کلیه تیمارها، سرعت فرآیند از دست دادن آب در اوایل مدت زمان غوطه وری سریعتر بودند که به دلیل اختلاف اسمزی بین اسلایس های پیاز و محلول اسمزی از اوایل تا اواسط زمان غوطه وری (۹۰ دقیقه) بود و سپس در پایان مدت زمان غوطه وری (۱۲۰ دقیقه) با شیب ملایمی کاهش یافتند (بجز نمونه غوطه ور در محلول اسمزی بابرکس ۱۰ و شدت فراصوت ۵۰ درصد) که به دلیل جذب رطوبت توسط نمونه پیاز اسلایس

معادلات مشابه (۵) و (۶) جهت تعیین ثابت S_2 و جذب مواد جامد در حالت تعادل طی فرآیند آبدگیری اسمزی اسلایس های پیاز بکاررفته است.

(۵)

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

$$\frac{\theta}{SG_{\theta}} = \frac{1}{S_2 (SG_{\infty})} + \frac{\theta}{SG_{\infty}}$$

SG_0 : کسر جذب مواد جامد در زمان S_2 : ثابت سرعت نفوذ مواد جامد در محصول، SG_{∞} : کسر جذب مواد جامد در حالت تعادل

۳-۲-۴- محاسبه ضریب نفوذ موثر

محاسبه ضریب نفوذ موثر با استفاده از قانون دوم فیک، ابزاری جهت توصیف فرآیند آبدگیری اسمزی و مکانیسم‌های ممکن در انتقال رطوبت و مواد جامد موجود در مواد غذایی می‌باشد. ضریب نفوذ موثر در یک استوانه محدود با داشتن مقادیر کاهش رطوبت و جذب مواد جامد تعیین می‌شود (رابطه ۷):

$$k_{mfc} = 056 e^{-8.25/a^2} Dt \quad (7)$$

که در رابطه ۷، K_{mfc} غلظت جرمی ناپایا ۱ در یک استوانه محدود و d قطر استوانه می‌باشد.

برای کاهش رطوبت:

$$K_{mfcw} = \frac{M_e x_e - M_t x_t}{M_e x_e - M_0 x_0} = \frac{ML_e - ML_t}{ML_e - ML_0} \quad (8)$$

که ML_t, ML_e در رابطه ۷، و ML_e به ترتیب کاهش رطوبت نمونه‌ها در ابتدای فرآیند، در زمان t و در حالت تعادل هستند. به طور مشابه برای جذب مواد جامد:

شدت فراصوت ۱۰۰ درصد و بریکس ۱۵ درصد، افزایش روند دفع آب با شیب ملایم (بجز بریکس ۵ درصد در اوایل غوطه وری با شیب تند) مشاهده شد که دلیل آنرا می توان الف- ایجاد فشارهای بالا در محیط اسمزی با افزایش شدت فراصوت دانست که منجر به افزایش درپدیده کاویتاسیون و تاثیراسفنج (پدیده انبساط و انقباض) امواج اولتراسوند شده است و سبب افزایش انتقال جرم محیط اسمزی از نمونه شد که با نتایج لی^۶ و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت (۲۱). ب- انفجار حبابهای کاویتاسیون نزدیک به سطح مواد جامد نمونه که سبب تولید میکروجت ها در سطح شده و باعث بهبود سرعت انتقال جرم شده است (۳۰). شدت فراصوت ۵۰ درصد و غلظتهای متفاوت محلول اسمزی (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد)، بیشترین و کمترین میزان از دست دادن آب به ترتیب ۳۵ درصد در طی مدت زمان ۹۰ دقیقه غوطه وری در بریکس ۱۵ درصد و ۱۸ درصد در طی مدت زمان ۳۰ دقیقه غوطه وری در بریکس ۱۰ و ۵ درصد بودند (شکل ۲- الف). در شدت فراصوت ۱۰۰ درصد و غلظتهای متفاوت محلول اسمزی (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد)، بیشترین و کمترین میزان از دست دادن آب به ترتیب ۴۰ درصد در طی مدت زمان ۱۲۰ دقیقه غوطه وری در بریکس ۱۵ درصد و ۱۰ درصد در طی مدت زمان ۳۰ دقیقه غوطه وری در بریکس ۵ درصد بودند. نتایج نشان داد که اختلاف معنی داری بین شدت فراصوت و میزان از دست دادن آب در اسلایس های پیاز وجود داشته است، همچنین بین اثر متقابل شدت فراصوت و غلظت های مختلف محلول اسمزی با میزان از دست دادن آب اختلاف معنی داری وجود داشت ($p < 0.05$).

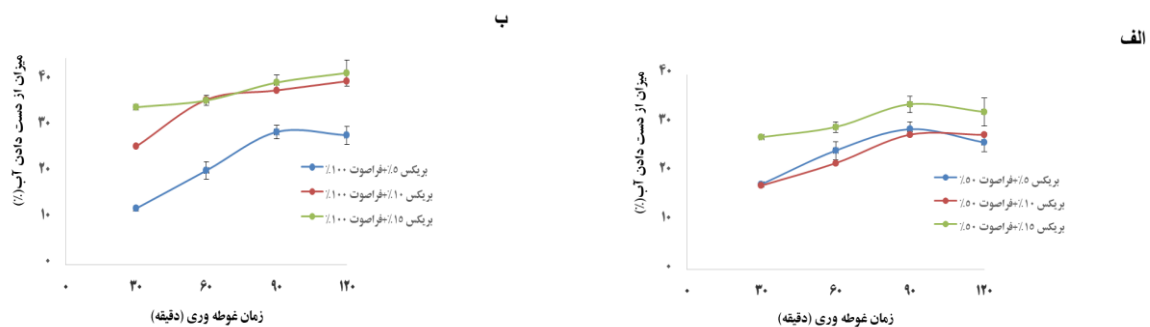
شده برای تعادل حالت اسمزی با محلول کلرید سدیم بود. این پدیده قابل پیش بینی بود زیرا توانایی اسمز برای عبور رطوبت، همچنین انتقال مواد جامد در طول زمان، کاهش یافت. لومبارد و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش نمودند که در فرآیند اسمزی با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان از دست دادن رطوبت افزایش یافت (۲۲). همچنین کاریزاک^۲ و همکاران (۲۰۱۳) به نتایج مشابهی در مورد افزایش دفع آب در اوایل مدت زمان غوطه وری که حاکی از افزایش نیروی محرک اسمزی بین نمونه سیب زمینی و محلول اسمزی محاط کننده بود، دست یافتند (۱۸). بر طبق بررسی های ایکسین^۳ و همکاران (۲۰۱۳)، انتشار آب در مراحل اولیه فرآیند اسمزی بسیار راحت بوده که به دلیل کاهش فشار اسمزی داخل سلول های کلم بروکلی در برابر محلول اسمزی اطراف بوده است (۳۲). دلیل کاهش از دست دادن آب در اواخر مدت زمان غوطه وری (پایان ۱۲۰ دقیقه) را می توان جذب سریع مواد جامد که منجر به افزایش غلظت عوامل اسمزی در سطح اسلایس های پیاز و اشباع بودن لوله های موئینه دانست که منتج به افزایش مقاومت در برابر انتقال آب به خارج از اسلایس های پیاز و به داخل محلول اسمزی شد که با نتایج رودریگز و فرناندز (۲۰۰۷) و گانجلو^۵ و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت (۲۷ و ۱۳). افزایش شدت فراصوت به همراه افزایش بریکس محلول اسمزی سبب افزایش دفع آب از اسلایس های پیاز شد همانطور که در شکل (۲- ب) مشاهده می شود افزایش از دست دادن آب در شدت فراصوت ۱۰۰ درصد و بریکس ۱۵ درصد نسبت به شدت فراصوت ۵۰ درصد و بریکس ۱۵ درصد قابل مشاهده است. بطوریکه در

- 1 - Lombard
- 2 - Karizaki
- 3 - Xin
- 4 - Rodrigues & Fernandes
- 5 - Ganjloo

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس داده ها بر اساس پارامتر ML با استفاده از آزمون دانکن

منابع تغییر	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F محاسبه شده
شدت صوت	۱	۲۶/۴۶	**۰/۷۷
غلظت محلول اسمزی	۲	۲۵۴/۵۸	**۷/۴۳
زمان	۳	۱۱۱/۰۰	**۳/۲۴
اثر متقابل غلظت-شدت صوت	۲	۲۱/۴۳	**۰/۶۲
اثر متقابل زمان-شدت صوت	۳	۶۴/۷۴	**۱/۸۹
اثر متقابل زمان-غلظت	۶	۱۳۰/۲۷	**۳/۸۰
اثر متقابل زمان-غلظت-شدت صوت	۶	۱۲۸/۷۱	**۳/۷۶
خطا	۴۸	۳۴/۲۳	
کل	۷۲		

** وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵



شکل ۲- تاثیر غلظت نمک و فراصوت بر میزان از دست دادن آب (ML) در زمان‌های مختلف غوطه‌وری. الف: فراصوت ۵۰ درصد +نمک (۱۰،۵ و ۱۵ درصد) ب: فراصوت ۱۰۰ درصد +نمک (۱۰،۵ و ۱۵ درصد). خطوط عمودی روی نمودار بیانگر انحراف استاندارد مقادیر است.

نمونه با بریکس ۱۰ درصد که در اوایل غوطه وری افزایش و در انتهای مدت زمان غوطه وری با شیب ملایمی کاهش یافت). در کلیه تیمارهای با شدت فراصوت ۱۰۰ درصد، سرعت فرآیند جذب مواد طی مدت زمان غوطه وری با شیب ملایمی افزایش یافت (بجز تیمار ۵ درصد در ۳۰ دقیقه اول که شیب تندی داشته است). افزایش مواد جامد منتج به افزایش تشکیل لایه مرزی در سطح نمونه شده و دیواره سلولی نفوذناپذیری می‌شود که با گرا دیان غلظت در میان سطح مشترک محلول اسمزی- نمونه مرتبط است و بعنوان مانعی در برابر از

۲-۳- تاثیر زمان بر روی جذب مواد جامد و آهنگ انتقال جرم

فرآیند جذب مواد جامد در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم در اسلایس های پیاز طی مدت زمان غوطه وری در محلول اسمزی در شکل (۳) نشان داده شده است. میزان تغییرات جذب مواد در غلظت‌های متفاوت محلول اسمزی و شدت‌های مختلف فراصوت غیرخطی بوده است. در کلیه تیمارهای با شدت فراصوت ۵۰ درصد، سرعت فرآیند جذب مواد طی مدت زمان غوطه وری با شیب ملایمی افزایش یافت (به جز

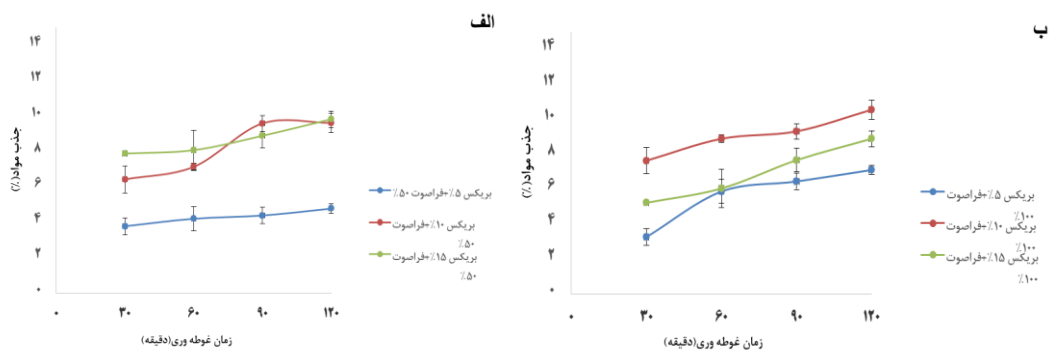
سبب افزایش جذب مواد جامد شد که دلیل آن جلوگیری از رقیق شدن محلول اسمزی طی فرآیند آبگیری بود. با افزایش همزمان غلظت محلول اسمزی و شدت فراصوت میزان جذب مواد جامد افزایش بیشتری از خود نشان داد که دلیل این امر را می توان به احتمال زیاد به تخریب بیشتر دیواره سلولی در شدتهای بالاتر فراصوت و افزایش غلظت محلول کلرید سدیم نسبت داد. مطابق شکل ۳-الف و ب بیشترین و کمترین مقادیر جذب مواد جامد (شدت فراصوت ۱۰۰ درصد) به ترتیب ۱۰ درصد باریکس ۱۰ درصد در مدت زمان غوطه وری ۱۲۰ دقیقه و ۳ درصد با باریکس ۵ درصد در مدت زمان غوطه وری ۳۰ دقیقه بدست آمد. با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان جذب مواد افزایش یافت که بدلیل نیروی محرک ایجاد شده در اثر اختلاف غلظت بیشتر بین نمونه ها و محلول اسمزی بود که با نتایج رودریگز و همکاران (۲۰۰۹) در نمونه آبگیری اسمزی پایا با مطابقت داشت (۲۸). نتایج نشان داد که اختلاف معنی داری بین شدت فراصوت و میزان جذب مواد جامد در اسلایس های پیاز وجود داشته است، همچنین بین اثر متقابل شدت فراصوت و غلظت های مختلف محلول اسمزی با میزان از دست دادن آب اختلاف معنی داری وجود داشت ($P < 0.05$).

دست دادن آب و جذب مواد جامد عمل می کند. بعلاوه در ابتدا از دست دادن سریع آب و جذب مواد جامد نزدیک سطح ممکن است منتج به تغییرات ساختاری شود که منجر به فشردگی لایه های سطحی و افزایش مقاومت در برابر انتقال جرم آب و مواد جامد شود. همانطور که در شکل های ۲ و ۳ مشاهده می شود مقادیر میزان جذب مواد جامد پایین تر از میزان از دست دادن آب می باشد که به دلیل تفاوت در سایز مولکولی بین آب و مواد جامد و نفوذ پذیری غشای سلولی پیاز می باشد. افزایش در جذب مواد جامد سبب توقف لایه های سطحی اسلایس های پیاز شده که موجب کاهش گرادپانت غلظت شد و باعث افزایش مقاومت در برابر انتقال جرم و کاهش سرعت از دست دادن آب و متعاقبا کاهش وزن در زمانهای بیشتر شد که با نتایج گارسیانوگراو همکاران (۲۰۱۰) و کاریزاکی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت (۱۴ و ۱۸). افزایش نیروی اولتراسوند از ۵۰ درصد به ۱۰۰ درصد سبب افزایش جذب بیشتر مواد جامد در اسلایس های پیاز شد که موجب افزایش پدیده انتقال جرم شد که سبب شکستن ساختار سلولی گردید که با نتایج اولیورا و همکاران (۲۰۱۱) در مورد نمونه های سیب مطابقت داشت (۲۴). افزایش غلظت های محلول اسمزی نسبت به نمونه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس داده ها بر اساس پارامتر SG با استفاده از آزمون دانکن

منابع تغییر	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F محاسبه شده
شدت صوت	۱	۳۱/۰۹	**۴/۰۹
غلظت محلول اسمزی	۲	۲۱۹/۳۱	**۲۸/۸۵
زمان	۳	۲۲/۳۳	**۲/۹۳
اثر متقابل غلظت-شدت صوت	۲	۳/۷۱	**۰/۴۸
اثر متقابل زمان-شدت صوت	۳	۳۱/۸۴	**۴/۱۹
اثر متقابل زمان-غلظت	۶	۵۷/۱۹	**۷/۵۲
اثر متقابل زمان-غلظت-شدت صوت	۶	۴۹/۶۸	**۶/۵۳
خطا	۴۸	۷/۶۰	
کل	۷۲		

** وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪



شکل ۳- تاثیر غلظت نمک و فراصوت بر جذب مواد جامد (SG) در زمان های مختلف غوطه وری. الف: فراصوت ۵۰ درصد + نمک (۱۰،۵) و ۱۵ درصد) ب: فراصوت ۱۰۰ درصد + نمک (۱۰،۵ و ۱۵ درصد). خطوط عمودی روی نمودار بیانگر انحراف استاندارد مقادیر است.

شد. نتایج بدست آمده از برازش داده های فرآیند اسمز به کمک فراصوت با استفاده از این مدل در جدول (۳) ارائه شده است.

۳-۳- پیش بینی توسط مدل ارائه شده

در این تحقیق میزان از دست دادن آب و جذب مواد جامد در زمان های مختلف با داده های تجربی این مدل برازش داده

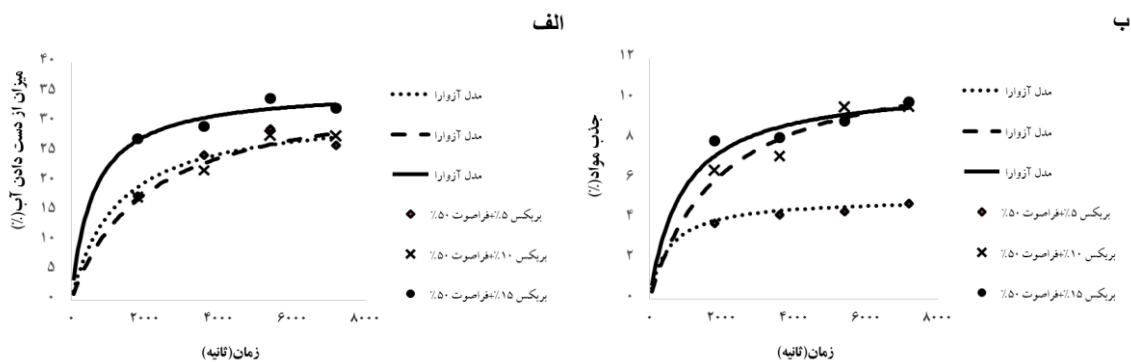
جدول ۳- نتایج برازش داده‌های فرآیند اسمز با مدل دو پارامتری آزوارا

ML_e	$10^{-4} \times S_1$	R^2	SG_e	$10^{-4} \times S_2$	R^2	غلظت کلریدسدیم (درصد)	فراصوت (درصد)
۳۲/۱۵	۸/۱	۰/۹۶	۵/۰۴	۱۹/۰۵	۰/۹۹	۵	
۳۶/۱	۴/۹	۰/۹۸	۱۲/۳۰	۵/۱	۰/۹۵	۱۰	۵۰
۳۵/۷	۱۶	۰/۹۹	۱۰/۷۵	۱۰/۹۵	۰/۹۸	۱۵	
۵۳/۷۶	۱/۷	۰/۹۵	۱۱/۲۳	۲۵/۳	۰/۹۵	۵	
۴۸/۵۴	۶/۸	۰/۹۸	۱۱/۹۰	۸۶/۶	۰/۹۳	۱۰	۱۰۰
۴۶/۶۶	۱۳/۲	۰/۹۹	۱۲/۰۴	۳۵/۱	۰/۹۴	۱۵	

R^2 ، ضریب همبستگی؛ S_1 و S_2 ثابت‌های مدل آزوارا؛ ML_e و SG_e به ترتیب مقادیر از دست دادن آب و جذب مواد در حالت تعادل.

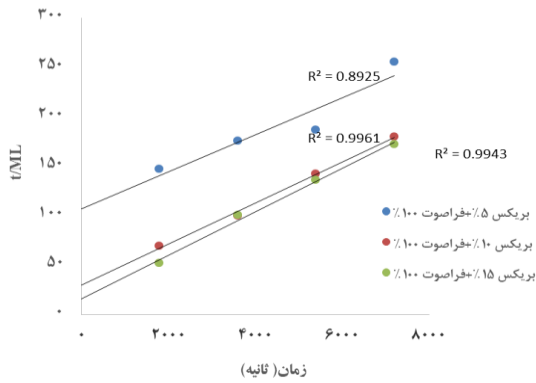
تعیین شدند. به منظور اثبات مناسب بودن مدل آزوارا نمودارهای t/ML و t/SG در برابر t رسم شده و در شکل‌های ۶ تا ۸ ارائه شده‌اند. مقادیر همبستگی (R^2) بدست آمده از این نمودارها بین ۰/۸۶ و ۰/۹۹ بود. این نتایج نشان داد که مدل آزوارا برای مدل‌سازی داده‌های این پژوهش کاملاً مناسب است. مقادیر تجربی و پیش بینی شده از دست دادن آب و جذب مواد جامد در زمان‌های مختلف براساس مدل آزوارا در غلظت‌های مختلف کلریدسدیم در شکل‌های ۴ الف و ب نشان داده شده است.

نمودارهای فرم خطی شده مدل آزوارا برای غلظت‌های مختلف نمک کلریدسدیم در شکل‌های ۵ و ۶ رسم شده‌اند. تعیین مقادیر پارامترهای مختلف مدل آزوارا شامل S_1 و S_2 و ML_e و SG_e از رسم نمودارهای ML_e/t و SG_e/t در برابر زمان امکانپذیر است. برای هریک از تیمارهای آبگیری اسمزی مقادیر تعادلی از دست دادن آب از شیب نمودارهای t/SG در برابر زمان محاسبه شدند. افزایش جذب مواد جامد در حالت تعادلی به علت افزایش گرادیان فشار جزئی بین نمونه و محیط اسمزی در غلظت‌های بالای ساکارز مشاهده شد. پارامترهای مدل آزوارا (یعنی S_1 و S_2) از طریق نقاط تقاطع با نمودار

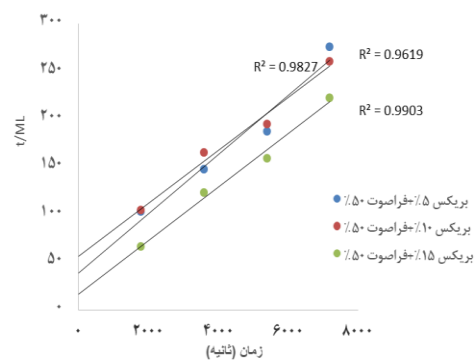


شکل ۴- برازش مقادیر الف، از دست دادن آب (ML)، ب، میزان جذب مواد (SG) با مدل آزوارا در غلظت‌های مختلف نمک و شدت فراصوت. داده‌های تجربی (نقاط مشخص شده در نمودار) با مدل آزوارا (خطوط مشخص در نمودار) برازش داده شده‌اند.

الف

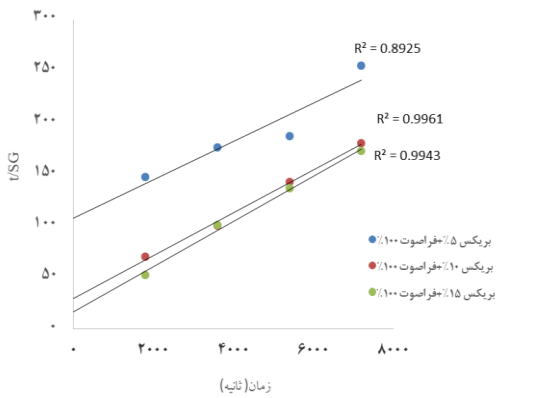


ب

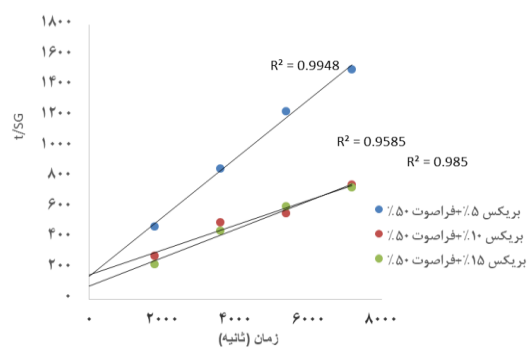


شکل ۵- نمودار خطی مدل آزارا برای تعیین مقادیر MLe در غلظت های ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد و فراصوت ۵۰ (الف) و ۱۰۰ (ب)

الف

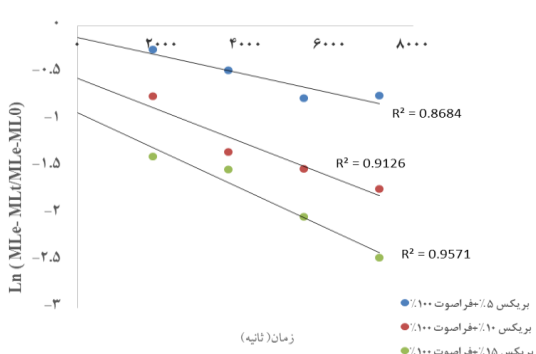


ب

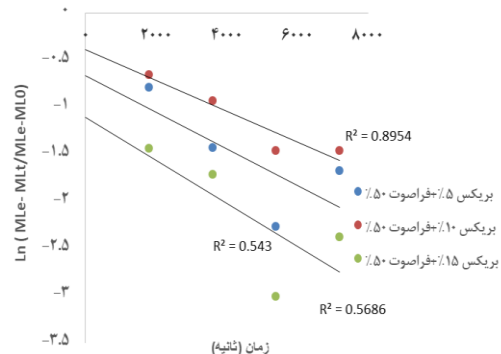


شکل ۶- نمودار خطی مدل آزارا برای تعیین مقادیر SG_e در غلظت های ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد و فراصوت ۵۰ (الف) و ۱۰۰ (ب)

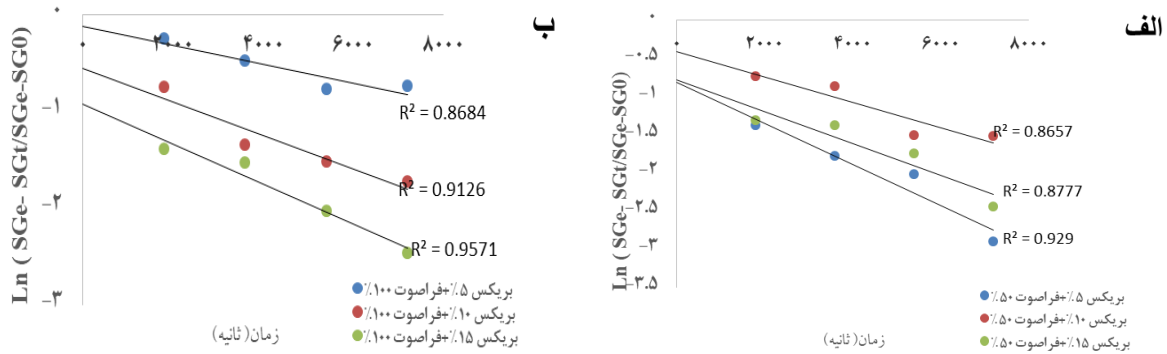
الف



ب



شکل ۷- نمودار تغییرات لگاریتمی مقادیر از دست دادن آب (ML) در برابر زمان t در غلظت های ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد و فراصوت ۵۰ (الف) و ۱۰۰ (ب)



شکل ۸- نمودار تغییرات لگاریتمی مقادیر جذب مواد جامد (SG) در برابر زمان t در غلظت‌های ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد و شدت فراصوت ۵۰ (الف) و ۱۰۰ (ب)

فراصوت ۱۰۰ درصد می‌باشند. ضریب نفوذ موثر مواد جامد در شدت ۵۰ درصد بین $1/40 \times 10^{-9}$ تا $1/76 \times 10^{-9}$ متر مربع بر ثانیه و ضریب نفوذ آب بین $1/99 \times 10^{-9}$ تا $2/50 \times 10^{-9}$ مترمربع بر ثانیه متغیر بود. که این میزان در شدت ۱۰۰ درصد به $1/89 \times 10^{-9}$ تا $2/52 \times 10^{-9}$ متر مربع بر ثانیه و ضریب نفوذ آب بین $2/42 \times 10^{-9}$ تا $2/76 \times 10^{-9}$ مترمربع بر ثانیه بود.

ضریب نفوذ موثر از دست دادن آب و جذب مواد جامد به ترتیب از شیب نمودارهای ۷ و ۸ در مقابل زمان محاسبه می‌شوند. مقادیر ضریب نفوذ موثر آب و مواد جامد طی فرآیند اسمز در جدول ۴ گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج بیانگر اثر مثبت افزایش غلظت کلرید سدیم بر مقادیر ضریب نفوذ موثر رطوبت در شدت

جدول ۴- مقادیر ضرایب نفوذ آب و مواد جامد در غلظت‌های ۱۰، ۵ و ۱۵ و شدت فراصوت ۵۰ و ۱۰۰

Dm(m ² /s) * ^۹ -۱۰	Ds(m ² /s) * ^۹ -۱۰	غلظت کلرید سدیم (درصد)	شدت فراصوت(درصد)
1/99	1/40	5	50
2/09	2/43	10	
2/50	1/76	15	
2/42	1/89	5	100
2/57	2/01	10	
2/76	2/52	15	

نسبت داد که منجر به تسهیل خروج رطوبت و افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت و مواد جامد طی آبدگیری اسمزی به کمک اولتراسوند شد(۲۷). نتیجه مشابهی در آبدگیری اسمزی کلم بروکلی گزارش شد که تاثیر تری هالوز و آبدگیری اسمزی به کمک اولتراسوند در مدت زمان کوتاهی (۳۰ دقیقه)

با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان ازدست دادن آب افزایش یافت که این مشاهده در تطابق با تاثیر مثبت اثر فراصوت در مورد از دست دادن آب می باشد(p<0.05). دلیل این امر را می توان به تشکیل کانال های میکروسکوپی و تخریب دیواره سلولی در اثر بکارگیری امواج فراصوت

۵- منابع

۱. ریگی، ص.، نقوی، ع. (۱۳۹۵). بررسی انتقال جرم طی آبگیری اسمزی به کمک فراصوت ورقه‌های انبه و بهینه‌سازی با روش سطح پاسخ. مجله علوم و صنایع غذایی. ۶۴ (۱۴): ۲۶۷-۲۷۹.
۲. مظفری، م، آصفی، ن.، سلیمانی، ج.، جعفریان، پ. (۱۳۹۰). اثر فرآیند اسمز بر خواص کیفی پیاز خشک م شده با هوای گرم، مجله بهداشت مواد غذایی، ۱(۲): ۳۳-۴۶.
3. Association of Official Analytical Chemists AOAC. (1990)3- AOAC official method 931.04. Washington, DC, USA.
4. Azuara, E., et al. 1992. "Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law." International Journal of Food Science & Technology 27(4): 409 - 418.
5. Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. 2014. Ways and Means for the Infusion of Bioactive Constituents in Solid Foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, (just- accepted).
6. Bellary, A.N., Sowbhagya, H.B., Rastogi, N.K., 2011. Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. Journal of Food Engineering 105, 453- 459.
7. Conway, J., et al. 1983. "Mass Transfer Considerations in the Osmotic Dehydration of Apples." Canadian Institute of Food Science and Technology Journal 16 (1): 25-29.
8. Corzo-Martinez, M; Corzo, N; Villamiel, M. 2007. Biological properties of onions and garlic. Trends in Food Science and Technology, 18, 609 - 625.
9. Crank, J. and G. Park. 1949. "An evaluation of the diffusion coefficient for chloroform in polystyrene from simple absorption experiments." Transactions of the Faraday Society 45: 240-249.
10. De la Fuente - Blanco, S., De Sarabia, E. R.- F., Acosta- Aparicio, V. M.,

موجب افزایش سریع از دست دادن آب و ضریب نفوذ موثر آب و مواد جامد شد (۳۴).

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصله از ارزیابی فاکتورهای شدت صوت دهی، غلظت محلول اسمزی و زمان در پیش تیمار فراصوت و آبگیری اسمزی، تحلیل های انجام شده بر اساس پارامترهای از دست دادن و جذب مجدد آب نشان می دهد که:

۱. آبگیری اسمزی با کمک فراصوت در غلظتهای بالاتر می‌تواند سبب افزایش از دست دادن آب، جذب مواد جامد و نفوذپذیری شود، همچنین یک روش مؤثر برای بهبود قابل توجه انتقال جرم محسوب می شود.
۲. مدل‌های دو پارامتری آزوآرا به منظور پیش بینی نقاط تعادلی رطوبت و جذب مواد بکاررفت و مدل برازش شده آزوآرا برای مدل‌سازی داده‌های این پژوهش کاملاً مناسب است.
۳. قانون دوم فیک برای انتقال جرم در سیستم های ناپایدار برای محاسبه ضریب نفوذ موثر قابل استفاده می باشد. لازم به ذکر است که تغییر در ساختار منافذ مواد غذایی ضریب نفوذ را تحت تاثیر قرار می دهد.
۴. نتایج بیانگر اثر مثبت افزایش غلظت کلرورسدیم بر مقادیر ضریب نفوذ موثر رطوبت و مواد جامد می‌باشند، به طوری که با افزایش شدت صوت (از ۵۰ به ۱۰۰ درصد)، غلظت محلول اسمزی کلرید سدیم از ۵ تا ۱۰ درصد، شیب گرادیان غلظت این ضرایب افزایش می‌یابند، در حالیکه با افزایش غلظت محلول اسمزی (۱۵ درصد) در شدت صوت ۱۰۰ درصد، شیب گرادیان غلظت این ضرایب کاهش می‌یابند.

- osmotic dehydration of plum using response surface methodology. *International Journal of Food Properties*, 13 (1), 155-166.
20. Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., & Cheng, S. 2006. Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chemistry*, 96 (2), 254-260.
 21. Lombard, G. E., Oliveira, J. C., Fito, p. and Andre's, A. 2008. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, 85, 277-284.
 22. Nowacka, N., Tylewicz, U., Laghi, L., Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. 2014. Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. *Food Chemistry*, 144: 18-25.
 23. Oliveira, E.F., Godoy, R.L.O., Borges, S.V., 2011. Quality of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*, Lam.) dehydrated under different processing conditions. *Brazilian Journal of Food Technology* 14 (3), 241-248.
 24. Ren, F., et al. 2017. "Impact of ultrasound and blanching on functional properties of hot-air dried and freeze dried onions." *LWT-Food science and Technology*.
 25. Rhodes, MJC; Price, KR. 1996. Analytical problems in the study of flavonoids compounds in onion. *Food Chemistry*, 57, 113- 117.
 26. Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N., 2007 Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons. *Drying Technology* 25, 1791-1796.
 27. Rodrigues, S., Oliveira, F.I., Gallao, M.I., & Fernandes, F.A.N. 2009. Effect of immersion time in osmosis and ultrasound on papaya cell structure during dehydration. *Drying Technology*, 27(2): 220-225.
 28. Rothman, Lauren . 2014. "A Beginner's Guide to Onions". *seriouseats.com*. Retrieved 1 February 2017.
 29. Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E.S., Rosello, C. 1998. Use of ultrasound to Blanco- Blanco, A., & Gallego- Juarez, J. A. 2006. Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, e523-e527.
 11. Dewil R, Baeyens J, Goutvrind R. 2006. The use of ultrasonic in the treatment of waste activated sludge. *Chinese Journal Chemistry engineering*, 14(1):105-113.
 12. Ferrando, M., Rózek, A., Achaerandio, I., & Güell, C. J. P. F. S. 2011. Grape phenolic infusion into solid foods: studies on mass transfer and antioxidant capacity. 1, 1494 -1501.
 13. Ganjloo, A., Rahman, R.A., Bakar, J., Osman, A., Bimakr, M., 2011. Kinetics modeling of mass transfer using Peleg's equation during osmotic dehydration of seedless guava (*Psidium guajava* L.): Effect of process parameters. *Food and Bioprocess Technology* 5, 2151-2159.
 14. Garcia-Noguera, J., Oliveira, F.I.P., Gallão, M.I., Weller, C.L., Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N., 2010. Ultrasound- assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Drying Technology* 28, 294-303.
 15. Kar, A. and Gupta, D.K. 2001. Osmotic dehydration characteristics of Button Mushrooms. *Journal of Food Science Technolgy*, 38: 352-357.
 16. Goula, A. M., et al. 2017. "Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes." *Food and Bioproducts Processing*.
 17. Karizaki, V.M., Sahin, S., Sumnu, G., Mosavian, M.T.H., Luca, A., 2013. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment on deep fat frying of potatoes. *Food and Bioprocess Technology* 6 (12), 3554-3563.
 18. Khanal SK, Grewell D, Sung S, van Leeuwen J. 2007 Ultrasound applications in wastewater sludge pretreatment: A review. *Environmental Science and Technology*, 37 (4):277-313.
 19. Koocheki, A., & Azarpazhooh, E. 2010. Evaluation of mass exchange during

- increase mass transport rate during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 36, 323–336.
30. Singh, B., Kumar, A., & Gupta, A. K. 2007. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *Journal of Engineering* 79 (2), 471- 480.
31. Sutar, P. P., & Gupta, D. K. 2007. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. *Journal of Engineering*, 78 (1), 90- 97.
32. Tarleton, E.S., & Wakeman, R.J. 1998. Ultrasonically assisted separation process. In M.J.W. Povey, T.J. Mason (Eds.), *Ultrasounds in Food Processing* (pp.193-218). Blackie Academic and Professional, Glasgow.
33. Tsamo, C. V. P., Bilame, A.-F., Ndjouenkeu, R., & Nono, Y. J. 2005. Study of material transfer during osmotic dehydration of onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*). *LWT-Food science and Technology*, 38 (5), 495-500.
34. Xin, Y., Zhang, M., Adhikari, B. 2013. Effect of trehalose and ultrasound-assisted osmotic dehydration on the state of water and glass transition temperature of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. botrytis L.). *Journal of Food Engineering* 119 (3), 640 – 647.