



## تأثیر پیش تیمار فراصوت و آنزیم بری روی ضریب نفوذ و میزان جذب روغن کدوی سرخ شده تحت شرایط عمیق

آیدا آزادگر<sup>۱</sup>، نارملا آصفی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله: تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۷	سرخ کرن یکی از روش های متداول در پخت سریع مواد غذایی با ویژگی های حسی مطلوب و همچنین یک فرآیند مهم فراگیر و متنوع در نظر گرفته می شود. از آنجایی که امروزه تمایل به مصرف مواد غذایی سرخ شده با محتوای روغن پایین تر افزایش یافته است لذا با اعمال پیش تیمارهایی نظیر آنزیم بری و فراصوت می توان سبب کاهش جذب روغن از محصول سرخ شده و بهبود خصوصیات حسی مواد غذایی شد. در این پژوهش پیش تیمار آنزیم بری با آب داغ با دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲ و ۴ دقیقه و پیش تیمار اولتراسوند تحت فرکانس ۳۷ کیلوهرتز در دو زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه اعمال شد. تاثیر پیش تیمارهای فوق بر میزان جذب روغن و خصوصیات حسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده افزایش ضریب انتشار رطوبت با افزایش دما در تمام پیش تیمارها به دلیل خروج سریع تر رطوبت از ماده غذایی است. بطوری که بیشترین میزان ضریب انتشار رطوبت در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد مشاهده گردید. با افزایش دمای سرخ کردن، محتوای روغن در ماده غذایی کاهش یافت. در مورد محتوای رطوبت تفاوت معنی داری بین نمونه شاهد و نمونه های آنزیم بری شده و تیمار شده با اولتراسوند وجود داشت ( $P < 0/05$ ). در بین نمونه های تیمار، تفاوت معنی داری بین نمونه آنزیم بری شده در ۲ دقیقه و نمونه آنزیم بری شده در ۴ دقیقه وجود نداشت ( $P > 0/05$ ). چروکیدگی در تمام تیمارهای فوق کاهش یافت به طوری که در نمونه های پیش تیمار شده با اولتراسوند به مدت ۲۰ و ۴۰ دقیقه در مقایسه با نمونه های شاهد و آنزیم بری شده چروکیدگی کمتری را داشتند. با این حال اختلاف بین نمونه های پیش تیمار اولتراسوند به مدت ۲۰ دقیقه با نمونه های آنزیم بری شده معنی دار نبود ( $P > 0/05$ ).
کلمات کلیدی: آنزیم بری، اولتراسوند، سرخ کردن عمیق، جذب روغن.	
DOI: 10.52547/fsct.18.02.29	
*مسئول مکاتبات: n.asefi@iaut.ac.ir	

## ۱- مقدمه

سرخ کردن عمیق، یک روش پخت سریع است که در آن ماده غذایی در داخل روغن داغ با دمای بالاتر از نقطه جوش آب، ۲۰۰-۱۵۰ درجه سانتی گراد غوطه ور می شود به طور معمول طی این فرآیند، در نتیجه به کارگیری دماهای بالا، قسمت اعظم آب ماده غذایی به شکل بخار از آن خارج می شود و در مقابل، روغن توسط ماده غذایی جذب می شود. بنابراین، بررسی میزان از دست دادن رطوبت در حین سرخ کردن مواد غذایی حائز اهمیت می باشد [۱]. همچنین، جذب روغن تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند ترکیب ماده غذایی، تخلخل، میزان رطوبت و مواد جامد اولیه قرار می گیرد. در همین راستا، قطعه هایی از ماده غذایی با محتوی رطوبتی اولیه بالاتر، آب بیش تری طی فرآیند از دست داده و روغن بیش تری جذب می کنند.

یکی از مهم ترین پارامترهای کیفی مواد غذایی سرخ شده، مقدار روغن جذب شده در طی سرخ کردن می باشد. میزان جذب روغن زیاد در مواد غذایی سرخ شده که گاه به یک سوم وزن کل محصول نهایی می رسد، جزء معایب محصول سرخ شده محسوب می شود [۲]. بنابراین در دهه های اخیر، در بسیاری از تحقیقات پژوهشی تلاش شده است فرآیندهای مکمل متعددی با هدف کاهش محتوای روغن در عین حفظ کیفیت حسی پیشنهاد شود. از جمله این فرآیندها می توان به سرخ کردن در خلا [۳]، استفاده از پیش تیمارهایی مثل آبیگری اسمزی [۴]، پوشش های خوراکی [۵] و پیش خشک کردن اشاره کرد [۶].

طی دهه های اخیر استفاده از امواج فراصوت در فرآیندهای صنایع غذایی با هدف بهینه سازی فرآیند و بهبود کیفیت ماده غذایی مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات مختلفی در زمینه استفاده از پیش تیمار فراصوت در فرآیند خشک کردن انجام شده است [۷]. نتایج پژوهش های انجام شده نشان داده اند که استفاده از پیش تیمار فراصوت موجب افزایش ضریب انتشار موثر رطوبت، کاهش چروکیدگی و بهبود ویژگی های ظاهری و حسی ماده خشک شده می گردد. دلیل این امر به شکل گیری کانال های میکروسکوپی در ماده در اثر انقباض و انبساط های متوالی ایجاد شده توسط امواج فراصوت نسبت داده می شود که باعث تسهیل خروج آب از ماده غذایی می گردد [۸]. تاکنون مطالعات

محدودی در زمینه استفاده از پیش تیمار فراصوت در فرآیند سرخ کردن عمیق صورت گرفته است؛ ولی انتظار می رود با توجه به شباهت فرآیند سرخ کردن با خشک کردن از نظر از دست دادن آب [۹]، استفاده از امواج فراصوت در فرآیند سرخ کردن به دلیل افزایش ضریب انتشار موثر رطوبت، کاهش زمان فرآیند و در نتیجه کاهش جذب روغن را در پی داشته باشد.

علاوه بر پیش تیمار فراصوت، پیش تیمار آنزیم بری قبل از سرخ کردن نیز برای تولید محصولات سرخ شده کم چرب مورد توجه می باشد. پیش تیمار آنزیم بری قبل از فرآیند سرخ کردن نیز باعث یکنواختی و بهبود رنگ مواد غذایی بعد از سرخ شدن می شود. این پیش تیمار موجب تشکیل یک لایه ژلاتینه نشاسته ای شده و از این طریق جذب روغن را محدود کرده و کیفیت ماده غذایی را بهبود می بخشد. از طرف دیگر، برخی محققان گزارش کرده اند که آنزیم بری در دمای پایین (۵۵-۷۰ درجه سانتیگراد) در حضور کلرید کلسیم، باعث فعال شدن آنزیم پکتین متیل استراز شده و پیوند متیل با گروه کربوکسیلیک شکسته شده و گروه کربوکسیلیک با یون های کلسیم پیوند داده و منجر به استحکام بافت و کاهش تخلخل و در نهایت کاهش میزان جذب روغن می گردد [۱۰]. پژوهش های متعددی در زمینه استفاده از پیش تیمارها قبل از سرخ کردن صورت گرفته است. محمدعلینژاد و همکاران [۱۱]، تاثیر فرکانس های تلفیقی و زمان اعمال پیش تیمار فراصوت روی جذب روغن طی سرخ کردن قطعات سیب زمینی را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، از امواج فراصوت تحت فرکانس های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز به صورت مجزا و تلفیقی به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد. استفاده از امواج فراصوت در هر دو فرکانس به صورت مجزا و تلفیقی، جذب روغن را کاهش داد. به طوری که استفاده از امواج فراصوت با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه بالاترین کاهش در جذب روغن را داشتند. همچنین در پژوهشی رزاق پور و همکاران [۱۰]، تاثیر پیش تیمار با فراصوت و آنزیم بری رو جذب روغن سیب زمینی طی سرخ کردن عمیق را مطالعه نمودند. پیش تیمار فراصوت تحت فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در دو زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه اعمال شد. سپس سرخ کردن در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه صورت گرفت. نتایج نشان داد که نمونه های پیش تیمار شده با آنزیم بری به مدت

مواد خام مورد استفاده در این پژوهش کدو و روغن سرخ کردنی بود. کدو از بازار محلی خریداری شد و قبل از آزمایشات در یخچال در دمای ۶-۴ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. از روغن مایع مخصوص سرخ کردن (روغن آفتابگردان، لادن) برای سرخ کردن کدوها استفاده شد. برای آماده سازی نمونه‌ها، ابتدا کدوها شسته شده و با استفاده از یک کاتر دستی به ابعاد  $4 \times 1/2 \times 1/2$  سانتی-متر (ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول) برش داده شدند. نمونه‌های برش داده شده جهت جلوگیری از اتلاف رطوبت، در درون یک پلیت قرار گرفتند.

## ۲-۲- پیش تیمارها

نمونه‌ها بر حسب نوع پیش تیمار انجام شده، به گروه‌های زیر تقسیم شدند (جدول ۱):

۲ دقیقه و دمای سرخ کردن ۱۵۰ درجه سانتیگراد، کمترین جذب روغن را داشتند. همچنین، تلفیق پیش تیمار فراصوت تحت فرکانس ۴۰ کیلو هرتز به مدت ۲۰ دقیقه با پیش تیمار آنزیم‌بری باعث کاهش جذب روغن، در دماهای سرخ کردن ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتیگراد شدند. هدف از این پژوهش، بررسی جذب روغن در قطعات کدو پیش تیمار شده با فراصوت و آنزیم‌بری شده و همچنین بررسی تاثیر این پیش تیمارها بر میزان چروکیدگی و مدل سازی محتوای رطوبتی بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد اولیه

Table 1 Nomenclature samples

Samples	Nomenclature
Control	C
Blanching at 85 ° C for 2 minutes	B2
Blanching at 85 ° C for 4 minutes	B4
Ultrasonic frequency 20 kHz	U20
Ultrasonic frequency 40 kHz	U40
Blanching at 85 ° C for 2 minutes and Ultrasonic of 20 kHz	U20B2
Blanching at 85 ° C for 4 minutes and Ultrasonic of 20 kHz	U20B4

## ۲-۴- آزمایش‌ها

### ۲-۴-۱- محتوای روغن

محتوای روغن نمونه‌های سرخ شده از طریق استخراج روغن آنها با استفاده از حلال پترولیوم اتر و دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد و بر حسب گرم روغن بر گرم ماده خشک بدون روغن گزارش گردید [۱۰].

### ۲-۴-۲- محتوای رطوبت

محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ شده، از طریق خشک کردن آنها در آون کنوکسیون در دمای  $105 \pm 2$  درجه سانتیگراد، تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد. نتایج حاصله بر پایه وزن خشک محاسبه شد [۶].

## ۲-۳- شرایط سرخ کردن

در این پژوهش از یک سرخ کن خانگی (Nasa Electric، مدل NS305، با ظرفیت ۱/۵ لیتر روغن، ساخت کشور آلمان مجهز به سیستم تنظیم دما از ۱۵۰ تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد، دارای محفظه ضد زنگ و سبد جدا شونده) استفاده شد. ابتدا سرخ کن با ۱/۵ لیتر روغن پر شد و بعد از رسیدن روغن به دمای مورد نظر، نمونه‌ها در سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد تا رسیدن به رطوبت حدود ۱/۸ درصد سرخ شدند. روغن سطحی نمونه‌های سرخ شده بلافاصله پس از خروج از سرخ کن با کاغذ خشک‌کن گرفته شد. تمام آزمایش‌ها سه بار تکرار گردید و مقادیر گزارش شده میانگین داده‌های حاصل از آزمایش‌ها می‌باشند.

## ۲-۴-۳ چروکیدگی

برای بدست آوردن چروکیدگی ابتدا حجم ظاهری اولیه نمونه‌ها قبل از سرخ کردن ( $V_0$ ) و حجم ظاهری ثانویه ( $V_1$ ) بعد از سرخ کردن، با استفاده از معادله ۱ تعیین شد [۱۲].

(معادله ۱)

$$V = \frac{M + M_1 - M_2}{\rho}$$

در رابطه فوق  $V$  حجم ظاهری ( $\text{cm}^3$ )،  $M$  وزن نمونه (g)،  $M_1$  وزن پیکنومتر خالی و حلال (g)،  $M_2$  وزن پیکنومتر حاوی نمونه و حلال (g) و  $\rho$  چگالی تولوئن ( $\text{Kg/m}^3$ ) می‌باشند. سپس با استفاده از معادله ۲، میزان چروکیدگی تعیین گردید.

(معادله ۲)

$$S = \frac{V_0 - V_1}{V_0}$$

در این معادله  $S$  درصد چروکیدگی،  $V_0$  حجم ظاهری نمونه خام ( $\text{cm}^3$ ) و  $V_1$  حجم ظاهری نمونه پس از سرخ شدن ( $\text{cm}^3$ ) می‌باشد [۵].

## ۲-۴-۴-۵ ضریب نفوذ

در این تحقیق جهت بدست آوردن ضریب انتشار، محتوای رطوبت خلال‌های کدو طی فرایند سرخ کردن عمیق، بر حسب زمان بدست آمده و از قانون دوم فیک (معادله ۳) جهت برازش داده‌ها و تعیین ضریب انتشار استفاده شد.

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{(2n-1)^2} \right) \exp\left( -\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D t}{L^2} \right) \quad (\text{معادله ۳})$$

در معادله فوق،  $M_t$  محتوای رطوبتی بر اساس وزن خشک در زمان  $t$ ،  $M_\infty$  رطوبت تعادلی بر اساس وزن خشک،  $D$  ضریب انتشار مؤثر رطوبت ( $\text{m}^2/\text{s}$ )،  $L$  ضخامت فیلم (m) و  $t$  زمان (s) است [۱۰].

## ۲-۵-۲ آنالیز آماری

تمامی آزمون‌ها در قالب طرح تصادفی با آنالیز واریانس یک طرفه (one-way ANOVA) با استفاده از نرم افزار SPSS 20 انجام شد. اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها توسط آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد برآورد شد. داده‌ها در جداول و اشکال به صورت میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد برای سه تکرار

ارائه گردید. از نرم افزار Excel (office 2013) جهت رسم نمودارها استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- محتوای روغن

محتوای روغن کدوی سبز سرخ شده در دو حالت شاهد و آنزیم بری همراه با امواج اولتراسوند در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس در شکل ۱، آورده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌گردد تفاوت معنی‌داری بین نمونه شاهد با نمونه تیمار آنزیم‌بری شده به مدت ۲ و ۴ دقیقه و نیز نمونه تیمار شده با امواج اولتراسوند با قدرت ۴۰ کیلوهرتز وجود داشت ( $P < 0/05$ )؛ ولی بین نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ( $P > 0/05$ ). همچنین در مقایسه بین پیش‌تیمارهای اعمال شده، مشاهده می‌گردد که کمترین میزان جذب روغن را نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند مجزا به مدت ۲۰ دقیقه و پیش‌تیمار تلفیقی اولتراسوند و آنزیم‌بری در ۲ دقیقه دارا هستند. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج نقوی و همکاران [۶] مطابقت داشت. این پژوهشگران در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند در دمای سرخ کردن ۱۵۰ درجه سانتیگراد، کاهش جذب روغن نسبت به نمونه‌های شاهد سرخ شده در شرایط دما و زمان سرخ کردن مشابه، بهترین نتیجه را در زمان‌های اولیه سرخ کردن (۱۲۰ ثانیه) حاصل کردند؛ بطوری که پیش‌تیمار اولتراسوند با ۴۰ کیلوهرتز کمترین میزان جذب روغن را داشت (ولی این کاهش در محتوای روغن نسبت به نمونه شاهد معنی‌دار نبود). در ادامه فرآیند با افزایش زمان سرخ کردن (۱۸۰ تا ۲۴۰ ثانیه) نمونه پیش‌تیمار شده با فرایند خشک کردن در ۱۵ دقیقه کمترین میزان جذب روغن را از دارا بود. تاثیر پیش‌تیمار اولتراسوند را می‌توان اینگونه توجیح نمود که، کاهش محتوای روغن در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند نسبت به سایر نمونه پیش‌تیمار شده را می‌توان به کاهش میزان روغن جذب شده حین فرآیند سرخ کردن نسبت داد. در واقع طبق مکانیزم جذب روغن و همچنین مطابق نتایج بدست آمده توسط محققان مختلف، اگرچه بیشتر روغن جذب شده توسط محصول سرخ شده، حین دوره سرد کردن رخ می‌دهد، با این حال

بیشتر (نسبت به نمونه شاهد سرخ شده در شرایط دما و زمان یکسان) در اطراف ماده غذایی در حین فرآیند سرخ کردن، روغن یا احتمالاً به داخل ماده غذایی نفوذ نکند یا اینکه در مقایسه با نمونه شاهد روغن به میزان کمتری توسط قطعات کدو جذب شود. و این امر به کاهش کل میزان روغن جذب شده توسط محصول سرخ شده کمک کند.

مشخص شده است که بخشی از کل روغن جذب شده حین انجام فرآیند توسط مواد غذایی اتفاق می‌افتد (روغن ساختاری). بنابراین در ارتباط با کاهش محتوای روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و سرخ شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد می‌توان بیان کرد که با افزایش شدت خروج رطوبت در اثر کانال‌های میکروسکوپی طی انجام پیش‌تیمار و ایجاد فشار بخار

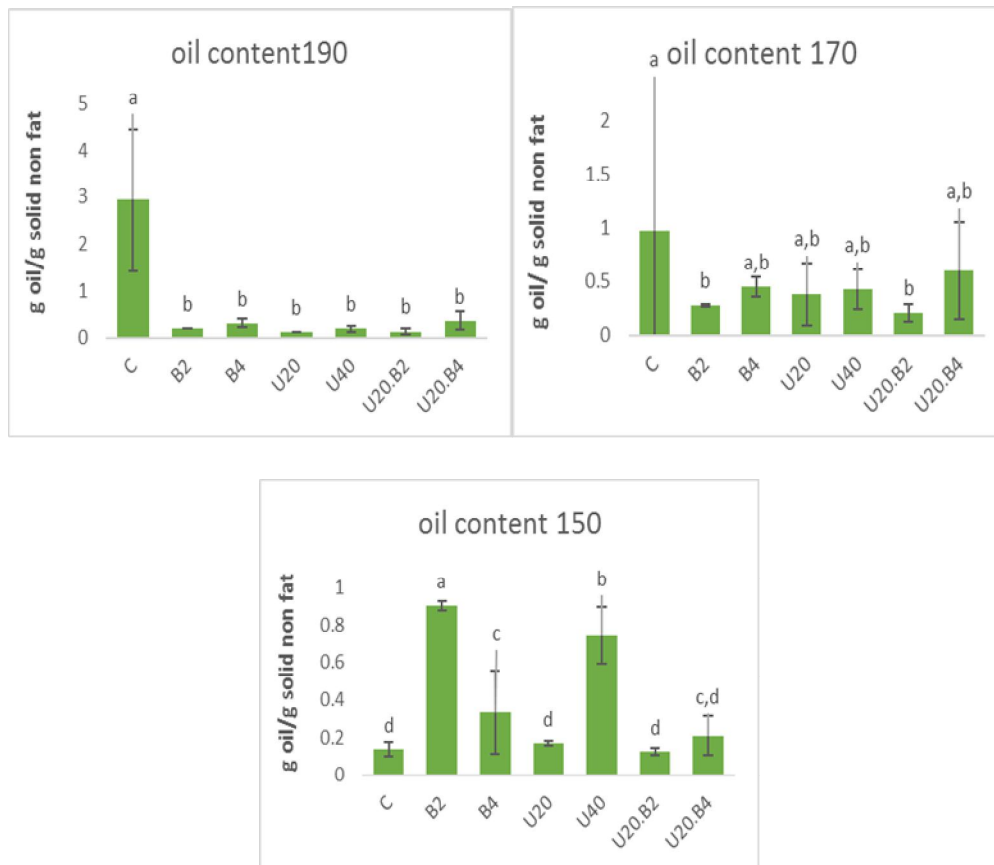


Fig. 1 Oil content of fried pumpkin samples at 150, 170 and 190 °C

نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش دمای سرخ کردن، محتوای روغن در ماده غذایی کاهش یافته است. نتایج این تحقیق با نتایج نقوی و همکاران [۶]؛ رزاق‌پور و همکاران [۱۰]؛ علیزاده زیناب [۱۳] و رونقی و همکاران [۱۴]، در تضاد می‌باشد. آنها اعلام کردند که روند داده‌های آزمایشی بدست آمده در تیمار شاهد و همچنین نمونه‌های پیش‌تیمار شده، در تمامی دماهای سرخ کردن روند یکسانی را از خود به نمایش گذاردند. این در حالیست که روند نتایج بدست آمده در این تحقیق برای سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد کاملاً

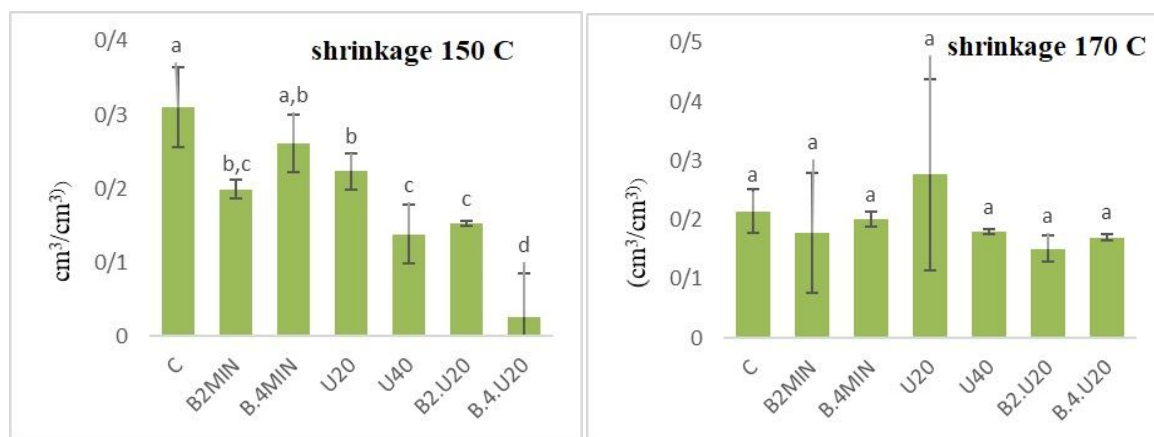
همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد بین نمونه شاهد و نمونه‌های پیش‌تیمار با آنزیم بری ۲ دقیقه و پیش‌تیمار تلفیقی با ۲۰ دقیقه اولتراسوند و ۲ دقیقه آنزیم بری تفاوت معنی داری وجود دارد ( $P < 0/05$ ). علت این امر می‌تواند ناشی تشکیل لایه خارجی در سطح ماده‌غذایی و ایجاد مقاومت در جذب روغن باشد. با افزایش دما از ۱۷۰ به ۱۹۰ درجه سانتیگراد بین نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها تفاوت معنی داری وجود داشت ( $P < 0/05$ ). از این نمودار، چنین

پیش تیمار نسبت داد، به طوری که حین فرایند سرخ کردن نمونه‌ها در روغن، رطوبت با سهولت بیشتری از آنها خارج می‌شود و در نتیجه، آسیب کمتری به لوله‌های موئین وارد می‌شود. همچنین آهنگ بالای خروج رطوبت از نمونه‌ها طی فرایند سرخ کردن، احتمالا باعث تشکیل سریع‌تر یک پوسته سطحی سفت شده و از این طریق از کاهش حجم بیشتر نمونه‌ها جلوگیری می‌کند. پیش تیمار آنزیم‌بری با افزایش نفوذپذیری بافت و تسریع خروج بخار آب در ماده غذایی می‌تواند سبب کاهش چروکیدگی ماده غذایی گردد. علاوه بر این برای نمونه‌های پیش تیمار شده تلفیقی چروکیدگی کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها از خود به نمایش گذاشتند، بطوریکه کمترین میزان چروکیدگی مربوط به تیمار ۲۰ دقیقه اولتراسوند و آنزیم‌بری به مدت ۴ دقیقه بود. احتمالا خروج سریع‌تر رطوبت و تشکیل زودتر پوسته می‌تواند از دلایل آن باشد. این نتایج با نتایج مهماندوست و همکاران [۹] و رزاق‌پور و همکاران [۱۰] مطابقت داشت.

متفاوت بود و بیشترین تاثیر پیش تیمارها در کاهش جذب روغن در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد مشاهده گردید.

### ۲-۳- چروکیدگی

شکل ۲، نمودار تغییرات چروکیدگی قطعات کدو در تیمار شاهد، پیش تیمار اولتراسوند (۲۰ و ۴۰ دقیقه)، آنزیم‌بری (۲ و ۴ دقیقه) و همچنین تلفیق این دو پیش تیمار را در دمای سرخ کردن ۱۵۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. مطابق نتایج بدست آمده چروکیدگی در تمام تیمارهای فوق کاهش یافت به طوری که در نمونه‌های پیش تیمار شده با اولتراسوند به مدت ۲۰ و ۴۰ دقیقه در مقایسه با نمونه‌های شاهد و آنزیم‌بری شده چروکیدگی کمتری را داشتند. با این حال اختلاف بین نمونه‌های پیش تیمار اولتراسوند به مدت ۲۰ دقیقه و نمونه‌های آنزیم‌بری شده معنی‌دار نبود ( $P>0/05$ ). میزان چروکیدگی کمتر نمونه‌های پیش تیمار شده با اولتراسوند نسبت به نمونه‌های شاهد را احتمالا می‌توان به ایجاد کانال‌های میکروسکوپی در قطعات سیب‌زمینی طی انجام



Shrinkage at 150 °C

Shrinkage at 170 °C

Fig 2 Shrinkage of fried squashes at temperatures of 150 and 170 °C

دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد تفاوت معنی‌داری بین نمونه شاهد و نمونه آنزیم‌بری شده وجود نداشت ( $P>0/05$ )، ولی بین نمونه شاهد و بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار بود ( $P<0/05$ ). در بین نمونه‌های تیمار بین نمونه‌های پیش تیمار با اولتراسوند به مدت ۲۰ و ۴۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ( $P>0/05$ ). همچنین اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های تلفیقی با نمونه شاهد مشاهده

مطابق شکل ۲ روند داده‌های آزمایشی بدست آمده در دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد در تیمار شاهد و همچنین پیش تیمار شده با اولتراسوند و آنزیم‌بری به صورت مجزا و تلفیقی، مشابه روند آزمایشی بدست آمده در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. با این تفاوت که هیچ اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها وجود ندارد. شکل ۳، نیز تغییرات چروکیدگی نمونه‌های پیش تیمار شده در شرایط مختلف (به صورت مجزا و تلفیقی) و سپس سرخ شده در

یافته‌های نقوی و همکاران [۶]، رزاق‌پور و همکاران [۱۰]، پدرسچی و همکاران [۱۵] و دهقان‌نصیری و همکاران [۱۶] بود. همچنین با اعمال پیش‌تیمارهای مختلف شاهد تغییر در میزان ضریب انتشار رطوبتی هستیم. در واقع از آنجایی که ضریب انتشار رطوبتی نمونه‌های سرخ شده از طریق شیب نمودار لگاریتم طبیعی نسبت به محتوای رطوبتی (بدون بعد) بر حسب زمان بدست می‌آید؛ بنابراین، می‌توان بیان کرد که محتوای رطوبتی اولیه کمتر نمونه‌ها و همچنین در ادامه روند کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها در طی فرآیند سرخ کردن، منجر به افزایش بیشتر شیب نمودار در نمونه‌ها گردیده است در نتیجه این امر سبب تغییرات در ضریب انتشار موثر پیش‌تیمارهای مختلف در مقایسه نمونه شاهد شده است [۶]. با بررسی ضریب انتشار رطوبتی در دو دمای ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتیگراد مشاهده می‌گردد که کمترین میزان ضریب انتشار بین نمونه‌های پیش‌تیمار نمونه‌های آنزیم بری شده می‌باشد. همچنین با بررسی محتوای رطوبتی اولیه در پیش‌تیمارها، مشاهده گردید که بیشترین میزان رطوبت اولیه نیز مربوط به پیش‌تیمارهای آنزیم بری شده می‌باشد. به عبارت دیگر اعمال پیش‌تیمار آنزیم بری با تاثیر بر روی محتوای رطوبت اولیه سبب کاهش شیب نمودار گردیده است و در نتیجه منجر به کاهش میزان ضریب انتشار رطوبت در مقایسه با سایر پیش‌تیمارها گردیده است. علاوه بر این مشاهده می‌گردد که در پیش‌تیمارهای اعمال شده توسط اولتراسوند سبب افزایش میزان ضریب انتشار رطوبت نمونه‌ها گردیده، که با افزایش مدت زمان اعمال اولتراسوند این میزان نیز افزایش پیدا کرده است. که علت آن را می‌توان به تغییرات ساختاری ایجاد شده در ماده غذایی نسبت داد که با ایجاد حالت اسفنجی، خروج راحت‌تر رطوبت را ممکن می‌سازد [۱۶]. علاوه بر این اولتراسوند به دلیل کاهش اتصالات بین سلولی و همچنین گسیختگی نسبی دیواره‌های سلولی سبب می‌گردد که خروج رطوبت راحت‌تر صورت گرفته و سبب افزایش ضریب انتشار موثر رطوبت در طول فرآیند سرخ کردن شود.

نگردید. نتایج چروکیدگی در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد روند متفاوتی را نسبت به دماهای ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتیگراد به نمایش می‌گذارد.

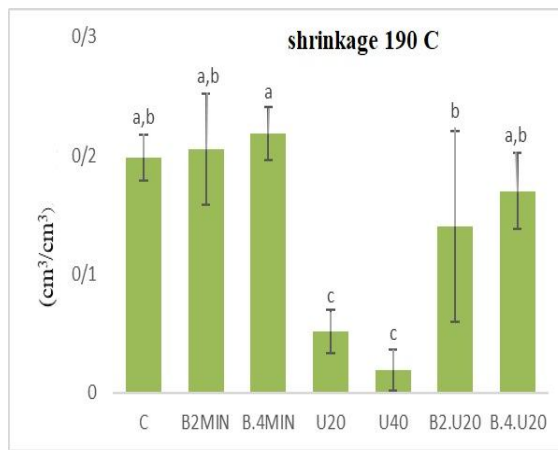


Fig 3 Shrinkage of fried squash samples at 190 °C

### ۳-۳-۳ مدل سازی محتوای رطوبتی

شکل ۴، مقادیر ضریب انتشار موثر را در سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد این ضریب برای نمونه‌های مختلف در دامنه  $5 \times 10^{-9}$  تا  $1/2 \times 10^{-8}$  مترمربع بر ثانیه بدست آمده است. ضریب انتشار رطوبتی تحت تاثیر عواملی همچون نوع فرآیند سرخ کردن (تحت خلا یا اتمسفری)، نوع ماده غذایی، دما و زمان سرخ کردن شکل و ضخامت نمونه و پیش‌تیمار انجام شده تغییر می‌کند. ضریب انتشار رطوبت با افزایش دما در تمام پیش‌تیمارها به دلیل خروج سریع‌تر رطوبت از ماده غذایی افزایش یافته است. بطوری که بیشترین میزان ضریب انتشار رطوبت در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد مشاهده گردید. بنابراین می‌توان بیان داشت که دمای سرخ کردن از عوامل تاثیرگذار بر روی ضریب انتشار رطوبتی است. تاثیر دما بر روی ضریب انتشار موثر رطوبت را می‌توان به تبخیر سریع‌تر رطوبت در دمای بالا و کاهش بیشتر محتوای رطوبتی در بازه زمانی ثابت نسبت داد. این نتیجه در تطابق با



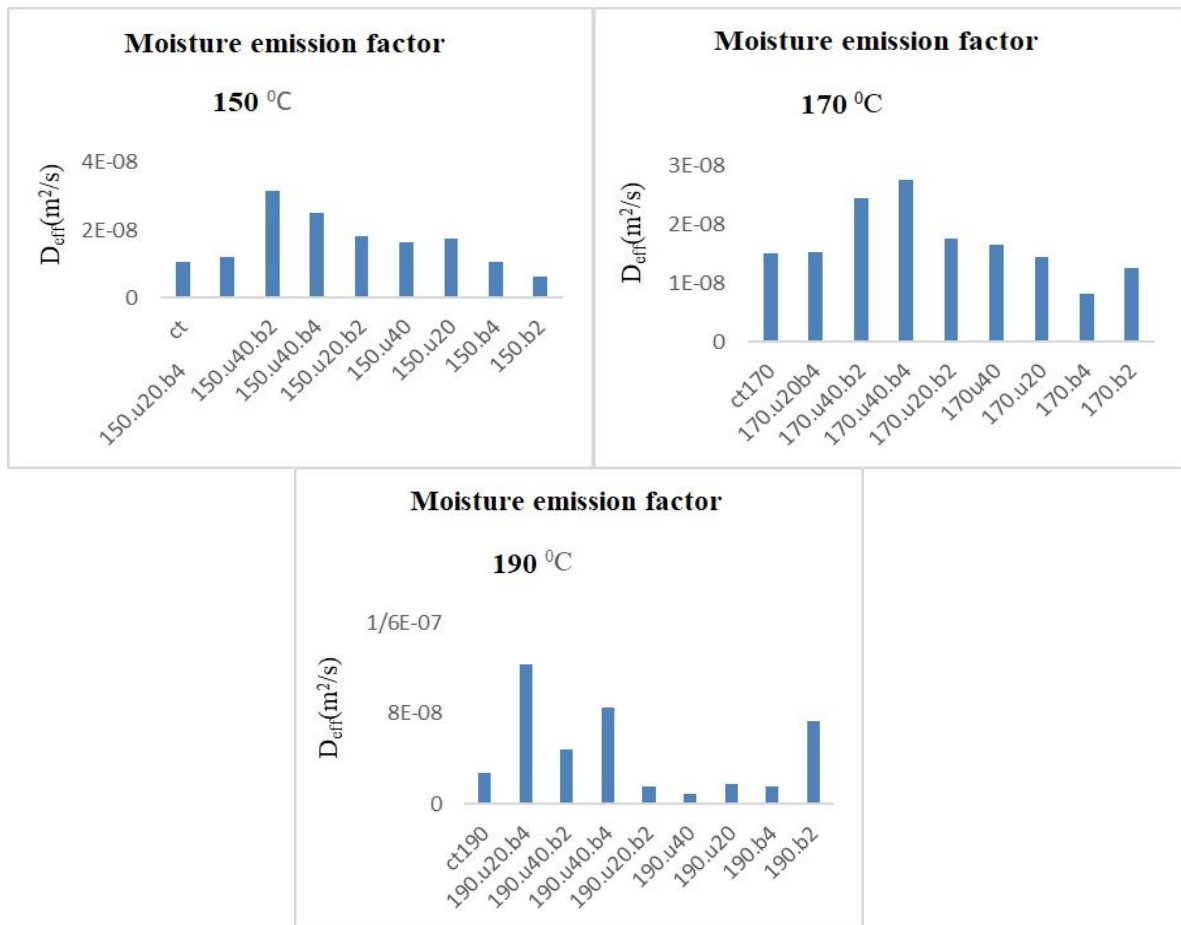


Fig 4 shows the effective emission factor of moisture at three different temperatures for different hearths

همچنین در مطالعه ضریب انتشار در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد مشاهده می‌گردد میزان ضریب انتشار به طور معنی‌داری از دو دمای قبلی بیشتر می‌باشد. یکی از پارامترهای دیگری که در تعیین مقادیر ضریب انتشار رطوبت موثر می‌باشد زمان فرآیند سرخ کردن است. به این ترتیب که در زمان‌های ابتدایی فرآیند سرخ کردن به دلیل وجود رطوبت بالا و کافی در بخش مرکزی نمونه‌های سرخ شده مقادیر ضریب انتشار رطوبت بالاتر است ولی با گذشت زمان سرخ کردن و کاهش آهنگ خروج رطوبت از نمونه‌ها ضریب انتشار رطوبت نیز کاهش پیدا می‌کند همچنین در زمان‌های کوتاه‌تر پوسته خارجی تشکیل شده در اطراف ماده غذایی به دلیل هیدراسیون شدید در طول فرآیند سرخ کردن ضخامت کمتری دارد و تاثیر جزئی روی انتقال جرم (خروج رطوبت) خواهد داشت ولی در زمان‌های طولانی‌تر فرآیند، این

پوسته در مقابل انتقال رطوبت به صورت یک مانع عمل می‌نماید، بنابراین می‌توان بیان داشت که استفاده از زمان‌های سرخ کردن کوتاه‌تر نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل بیشتر بودن میزان ضریب انتشار رطوبتی و همچنین تفاوت ضریب انتشار رطوبتی در پیش تیمارهای اعمال شده با دو دمای دیگر باشد. همچنین با توجه به شکل ۵، منحنی‌های برازش داده‌های تجربی با داده‌های حاصل از مدل نشان دهنده برازش مناسب داده‌های حاصله با مدل استفاده شده می‌باشد ( $R^2_{average} = 0/964$ ). همانطور که مشاهده می‌گردد، منحنی‌ها در ابتدا شیب تندتری داشته و رفته رفته با نزدیک شدن به محتوای رطوبت تعادلی از شیب آنها کاسته می‌شود. همچنین با توجه به شکل مشاهده می‌شود که افزایش دما سبب کاهش نسبت رطوبتی بدون بعد می‌شود.



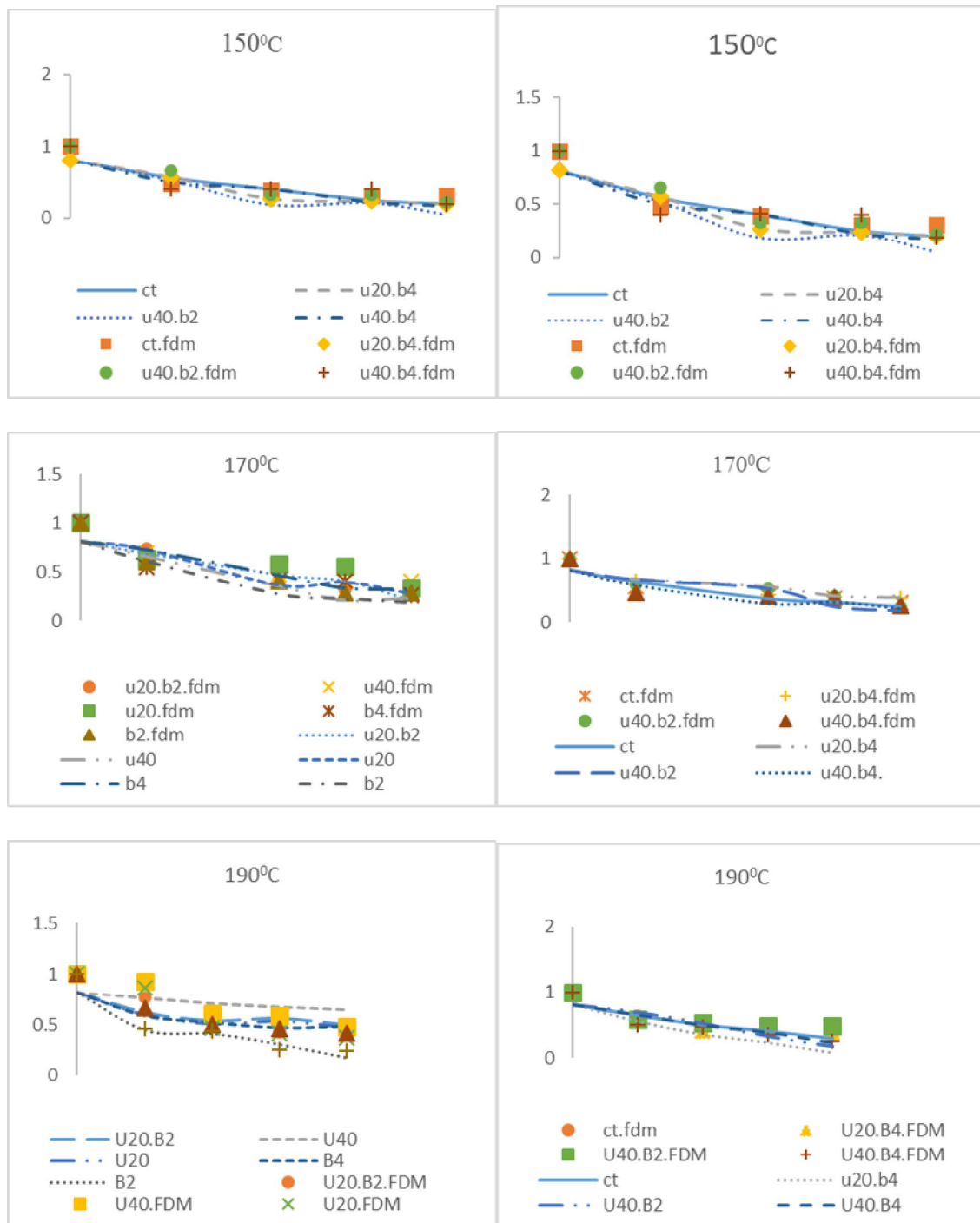


Fig 5 fitting empirical data and data from the model

## ۴- نتیجه گیری کلی

میزان جذب روغن با افزایش دمای سرخ کردن از ۱۵۰ تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد در تمامی نمونه‌ها کاهش یافت. استفاده از پیش تیمار فراصوت به همراه آنزیم بری با کاهش محتوای رطوبت اولیه باعث کاهش محتوای روغن این نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد گردید. در مقایسه این دو پیش تیمار اثر فراصوت بیشتر از آنزیم بری بود. همچنین پیش تیمار فراصوت با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز بر خلاف فرکانس ۴۰ کیلوهرتز توانست در کاهش جذب روغن توسط قطعات کدو طی سرخ کردن عمیق موثر واقع شود. ضریب انتشار رطوبت برای نمونه‌های مختلف در دامنه  $5 \times 10^{-9}$  تا  $1/2 \times 10^{-7}$  مترمربع بر ثانیه بدست آمده است. ضریب انتشار رطوبت با افزایش دما در تمام پیش تیمارها به دلیل خروج سریع‌تر رطوبت از ماده غذایی افزایش یافته است. بطوری که بیشترین میزان ضریب انتشار رطوبت در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد مشاهده گردید. با بررسی ضریب انتشار رطوبتی در دو دمای ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتیگراد مشاهده می‌گردد که کمترین میزان ضریب انتشار بین نمونه‌های پیش تیمار شده، نمونه‌های بلانچینگ شده می‌باشد. همچنین با بررسی محتوای رطوبتی اولیه در پیش تیمارها، مشاهده گردید که بیشترین میزان رطوبت اولیه نیز مربوط به پیش تیمارهای بلانچینگ می‌باشد. اعمال پیش تیمار فراصوت سبب افزایش میزان ضریب انتشار رطوبت نمونه‌ها گردیده، که با افزایش مدت زمان اعمال فراصوت این میزان نیز افزایش پیدا کرده است. که علت آن می‌توان به تغییرات ساختاری ایجاد شده در ماده غذایی نسبت داد که با ایجاد حالت اسفنجی، خروج راحت‌تر رطوبت را ممکن می‌سازد همچنین اعمال پیش تیمار فراصوت باعث کاهش چروکیدگی نمونه‌ها می‌شود به طوری که نمونه‌های پیش تیمار شده با فراصوت به مدت ۲۰ و ۴۰ دقیقه در مقایسه با نمونه‌های شاهد و آنزیم بری شده چروکیدگی کمتری را داشتند.

## ۵- منابع

- [1] Mir-Bel, J., Oria, R., & Salvador, M.L. 2009. Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post frying cooling. *Journal of Food Engineering*, 95(3): 416-422.
- [2] Daliri, N., Zainali, F., Esmaili, M. 2015. Effect of blanching and microwave on qualitative properties during deep frying of pumpkin cuts. *Journal of Food Science and Technology Research*, 11: 48-55.
- [3] Tavakoli, M., Hamidi, Z., & Abbasi, Q. 2014. Effect of ultrasound on some quality properties of carrot juice using response surface method. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, Second year, 5: 25-17.
- [4] Ayase, A., Alizadeh, M., Esmaili, M., Mehrdad, A., & Javazadeh, I. 2015. Effect of ultrasound treatment on viscosity, particle size distribution, turbidity and total phenol of carrot juice. *Journal of Research in Food Industry of Iran*, 25(4): 40-26.
- [5] Ronaghi, T., Dehghanniya, J., Ganbarzadeh, B. 2014. Effect of Ultrasound and Edible Coating on Wrinkles of Potato Pieces During Frying. *Quarterly Journal of New Technologies of Food*, 6: 71-83.
- [6] Naghavi, A., Dehghanniya, J., Ganbarzadeh, B. 2012. Experimental modeling of shrinkage of ultra-coagulated potato peelings and drying during deep frying. *Journal of Science and Food Industry of Iran*, 3: 99-111.
- [7] Fernandes, F.A.N., & Rodrigues, S. 2007. Use of ultrasound as pretreatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82(2): 261-267.
- [8] Fernandes, F.A.N., Gallao, M.I., & Rodrigues, S. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90: 186-190.
- [9] Mehmandoost, R., & Hamed Mousavian, M. 2011. The effect of simultaneous ultrasound and heat on the inactivation of zucchini enzymes. *Quarterly Journal of Food Science & Technology*, 8(2): 101-111.
- [10] Razaghpour, A., Dehghanniya, J., Ganbarzadeh B. 2011. The effect of ultrasound and blanching on the absorption of potato oil

- absorption during fragmenting potato frying. *Quarterly Journal of New Technologies of Food*, 1: 21-36.
- [14] Farid, M., & Kizilel, R. 2009. A new approach to the analysis of heat and mass transfer in drying and frying of food products. *Chemical Engineering and Processing*, 48: 217-223.
- [15] Pedreschi, F., & Moyano, P. 2005. Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology*, 38: 599-604.
- [16] Dehghan-Nasiri, F., Mohebbi, M., Tabatabaee, F., & Haddad Khodaparast, M.H. 2011. Kinetic modeling of mass transfer during deep fat frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step. *Food and Bioprocess Technology*, 89(3): 241-247.
- during deep frying. *Journal of Research and Innovation in Science and Food Industry*, 3: 323-338.
- [11] Mohammad Aliinejad, S., Dehghanniya, J., Jalali, S.H. 2018. Effect of Frequency and Time of Application of Ultrasound Pavement on Oil Absorption During Frying Potato Pieces. *Biotechnology Engineering*, 1: 35-47.
- [12] Ziaiiifar, A.M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I., & Trystram, G. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deepfat frying process. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(8): 1410-1423.
- [13] Alizade Zinab, S., Dehghanniya, J., Khiabani, P.M. 2012. The effect of blanching and oral hydrocolloids on reducing oil



## The impact of ultrasound and blanching technology on effective diffusivity and uptake of oil in zucchini during deep fat frying

Azadgar, A.<sup>1</sup>, Asefi, N.<sup>2\*</sup>

1. Master Student in the Faculty of Sciences and Food Industries, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Associate Professor of the Faculty of Sciences and Food Industries, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Tabriz, Tabriz, Iran

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 08 July 2019

Accepted 07 January 2020

#### Keywords:

Blanching,  
Deep frying,  
Oil absorption,  
Ultrasound.

**DOI:** 10.52547/fsct.18.02.29

\*Corresponding Author E-Mail:  
[n.asefi@iaut.ac.ir](mailto:n.asefi@iaut.ac.ir)

In the present study, a convective heat transfer coefficient ( $h$ ) changes during deep fat frying was investigated. So, by keeping the oil temperature constant as a heat transfer medium, temperature changes in a potato strip (cube-shaped), in the center and left-right sides of the strip during frying by a three-channel thermocouple was measured. Processing temperature of oil was 150, 160 and 170°C. The strip temperature was recorded by a data logger at ten-second intervals. Due to no significant changes in the temperature of different selected locations in potato strip, the center temperature was selected and recorded as an effective temperature. Also, heat transfer parameter included convective coefficient ( $h$ ) was calculated in the range of 128\_515 W/m<sup>2</sup>.K .Result showed that ( $h$ ) is high in high levels temperature because of increasing rate of moisture exiting and turbulence in the oil. Also, with increasing oil temperature, decreasing of oil content and decreasing in moisture content of slices were observed. The mass transfer parameters including the effective moisture diffusivity ( $D_{eff}$ ) and the oil diffusivity ( $D_{oil}$ ) were calculated in the range of  $9.12 \times 10^{-9}$  \_  $1.31 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s and  $1.26 \times 10^{-5}$  \_  $1.52 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s, respectively. By using the calculated coefficients, heat and mass transfer modeling, was done by mathematical equations and the relevant equations were solved by the method of separation variables. Simulation was also done with COMSOL Multiphysics version 5.3a and the resulted profiles were also presented.