

# تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر سینتیک انتقال جرم بادمجان (*Solanum melongena L.*) طی فرآیند سرخ کردن عمیق

حجت کاراژیان<sup>۱\*</sup>، نینا دلیری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد دانشگاه آزاد اسلامی، تربت حیدریه، ایران.

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

## چکیده

در پژوهش حاضر اثر پیش تیمار مایکروویو در (دمای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت پنج دقیقه) بر انتقال حرارت طی سرخ کردن عمیق مورد بررسی قرار گرفت. میزان دریافت روغن و رطوبت فرآورده در هر دقیقه از فرآیند اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد که پیش تیمار مایکروویو بر انتقال جرم مؤثر بود. نمونه‌های تیمار یافته با مایکروویو روغن کمتری جذب کردند. سینتیک معادله درجه اول قانون فیک برای تشریح داده‌های انتشار رطوبت بکار رفت. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در محدوده  $10^{-8}$  تا  $10^{-7}$  -  $10^{-8}$  محدود به متر مربع بر ثانیه و ثابت سرعت جذب روغن بین ۰/۱۲ و  $2 \times 10^{-3}$  یک بر ثانیه قرار داشت. انرژی اکتیواسیون ضریب نفوذ مؤثر رطوبت منحنی آرنیوس در محدوده ۱۷/۹۸ تا ۳۴/۱۸ کیلو ژول بر مول قرار داشت.

واژه های کلیدی: انتقال جرم، بادمجان، سرخ کردن عمیق.

## ۱- مقدمه

سرخ کردن عمیق مواد غذایی، یکی از رایج‌ترین روش‌های فرآوری می‌باشد (۸). در این فرآیند، روغن و چربی در دمای بالای نقطه جوش آب و در تماس مسقیم با غذا به عنوان محیط انتقال حرارت عمل می‌کند (۴)، که تولید محصول با خصوصیات حسی بی‌نظیر در مدت زمان کوتاه از اهداف مهم آن می‌باشد (۵). انتقال حرارت و گرادیانت دمایی زیادی که طی سرخ کردن در سطح مشترک روغن- غذا ایجاد می‌شود، باعث ظهور خواص منحصر به فرد غذاهای سرخ شده، نظیر پوسته خشک، طلایی، ترد و بخش داخلی مرطوب می‌شود (۳). دریافت روغن توسط فرآورده از نقطه نظر تغذیه‌ای و کیفیت ارگانولیتیکی غذاهای سرخ شده بسیار مهم می‌باشد (۱۷). فرآیند جذب روغن به دمای روغن، زمان فرآیند، رطوبت اولیه ماده غذایی، سطح غذا، نسبت ماده غذایی به حجم روغن، پیش تیمارهای انجام یافته، ترکیب شیمیایی و نوع روغن، نسبت سطح به حجم غذا و میزان فشار بستگی دارد (۵). از آنجایی که امروزه تولید غذاهای سالم با کیفیت تغذیه‌ای بالا اهمیت بسیاری دارد، بنابراین به منظور کاهش میزان جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن عمیق، تحقیقات فراوانی انجام شده است (۱۷). از روش‌های مختلفی جهت کاهش میزان روغن در غذاهای سرخ شده استفاده شده است؛ که انجام پیش تیمارهای حرارتی قبل از فرآیند سرخ کردن از جمله آنها می‌باشد.

مدل‌های ریاضی امکان طراحی فرآیند سرخ کردن را فراهم ساخته است. در سرخ کردن عمیق انتقال جرم و حرارت به طور همزمان رخ می‌دهد، بنابراین آگاهی از پارامترهای بحرانی جهت مدل‌سازی مراحل فرآیند ضرورت دارد (۲۰). تورونکوسو و پدرسچی<sup>۱</sup> (۲۰۰۹)، سینتیک افت رطوبت و جذب روغن را طی سرخ کردن برش‌های سیب زمینی پیش تیمار شده در شرایط فشار اتمسفری و خلا مورد بررسی قرار دادند و میزان محتوای رطوبت را در نمونه‌های شاهد، بلانچ شده، بلانچ شده به همراه خشک کردن به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۱ و ۰/۲۲ درصد گزارش کردند. نمونه‌های پیش تیمار شده در دمای ۱۳۰°C و ۱۴۰°C نیز روند مشابهی نشان دادند (۱۹). اددجی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹)، انتقال جرم را در ناگت‌های مرغ مدل‌سازی کردند، آنها پخت

اولیه ناگت‌ها را با روش مایکروویو انجام دادند و سپس در دمای ۱۷۰ تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد سرخ کردند. نتایج مطالعات آنان نشان داد که شرایط فرآیند بر میزان انتقال جرم مؤثر بوده و انتقال رطوبت و جذب روغن بجز بخش مرکزی فرآورده از نوع سنتیک درجه اول پیروی می‌کند (۲). دوران و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷)، سینتیک انتقال جرم را در برش‌های سیب زمینی بررسی نمودند و نشان دادند که جذب روغن حین سرخ کردن و نیز در زمان سرد کردن فرآورده سرخ شده، رخ می‌دهد (۷).

با توجه به رشد روز افزون فرآورده‌های سرخ شده و افزایش مقبولیت این گونه فرآورده‌ها از سوی مصرف کنندگان همچنین با توجه به میزان چربی و کلسترول غذاهای سرخ شده که باعث افزایش ابتلاء به بیماری‌های مختلفی نظیر چاقی، کلسترول زیاد، فشار خون بالا و بیماری‌های عروق کرونری شده است، ضرورت کنترل میزان روغن در این نوع غذاها را از بعد پزشکی و تغذیه‌ای در صنعت غذا بیان می‌کند. از آنجا که سالانه مقادیر زیادی بادمجان تولید می‌شود، این مطالعه با هدف معرفی سرخ شده بادمجان به عنوان یک محصول جالبی با خواص تغذیه‌ای مطلوب و مطالعه تأثیر پیش تیمار حرارتی انجام یافته است. سینتیک انتقال جرم در حین فرآیند سرخ کردن برش‌های بادمجان، اندازه‌گیری میزان جذب روغن و میزان رطوبت برش‌های بادمجان در حین سرخ کردن به روش غوطه‌وری و در نهایت معرفی مناسب‌ترین دمای فرآیند سرخ کردن برش‌های بادمجان از نقطه نظر میزان جذب روغن در فرآورده نهایی از اهداف پژوهش حاضر می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد

نمونه‌های بادمجان به صورت تازه از بازار محلی خریداری شد و تا زمان آزمایش در یخچال در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری گردید. نمونه‌ها در دمای محیط با آب شستشو داده شده، پوست گیری شده و عمل برش به صورت دستی انجام گرفت. عملیات برش توسط اسلایسر (MeyerPrestige Ltd, UK) به صورت حلقه‌هایی با ضخامت ۸ میلی‌متر صورت پذیرفت. قبل از فرآیند سرخ کردن رطوبت نمونه‌های خام بادمجان اندازه‌گیری شد. در

<sup>1</sup> Pedreschi and Troncoso<sup>2</sup> Adedeji et al<sup>3</sup> Duran et al

هرآزمایش حدود چهارده حلقه از بادمجان‌های برش یافته وارد سرخ کن شد.

### ۲-۲- سرخ کردن عمیق

از دستگاه سرخ کن خانگی (BLACK & DECKER) مدل EF40 با گنجایش ۲/۵ لیتر روغن جهت فرآوری استفاده شد و از ترمومتر مجهز به ترموکوپل (ATBIN) جهت کنترل دقیق دما حین فرآیند سرخ کردن استفاده گردید. در این پژوهش از دماهای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت پنج دقیقه استفاده شد و در بازه‌های زمانی ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ ثانیه میزان رطوبت و میزان جذب روغن طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۹ اندازه گیری شد (۱).

### ۲-۳- پیش تیمار مایکروویو

نمونه‌ها جهت پیش تیمار حرارتی در اجاق مایکروویو (JR, MC-۲۰۰۲LG) با توان ۹۰۰ وات به مدت دو دقیقه انجام پذیرفت.

### ۲-۴- تعیین سینتیک انتقال جرم

داده‌های رطوبت - زمان نمونه‌های بادمجان در بازه‌های زمانی ذکر شده با روش ریاضی جهت تعیین پارامتر انتقال جرم بکار رفت. در تعیین پارامترهای انتقال جرم و حرارت از قوانین پایه‌ای (قانون فیک) در شرایط پایا استفاده شد. از دست رفتن رطوبت در طول سرخ کردن بصورت نفوذ کنترل شده در نظر گرفته می‌شود (اددجی و همکاران، ۲۰۰۹):

$$\frac{\partial}{\partial L} \left[ D_{eff} \frac{\partial M}{\partial L} \right] = \frac{\partial (M)}{\partial t} \quad (۱)$$

بدلیل ضخامت کم نمونه‌ها در مقایسه با سایر ابعاد، توزیع اولیه یکنواخت رطوبت و دما، حداقل چروکیدگی و گرادیان در دما و رطوبت، مقاومت خارجی ناچیز در مقابل انتقال جرم از هر ۲ طرف نمونه‌ها، شکل تیغه نامحدود فرض شد. ضمناً فرض کردیم که محتوی رطوبتی هنگامی که به تعادل در فرآیند سرخ کردن می‌رسد، ناچیز است. معادله برای محاسبه میزان ضریب نفوذ به شکل زیر استفاده شد:

$$Mr = \frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (۲)$$

که در این معادله

M: محتوای رطوبت فرآورده بر حسب گرم بر گرم ماده خشک

Mr: نسبت رطوبت فرآورده

M<sub>0</sub>: محتوای رطوبت اولیه بر حسب گرم بر گرم ماده خشک

D<sub>eff</sub>: ضریب نفوذ مؤثر رطوبت بر حسب متر مربع بر ثانیه

L: نصف ضخامت نمونه بر حسب متر

t: زمان بر حسب ثانیه

می باشند.

برای مدل سازی جذب چربی مدل سینتیکی درجه اول در نظر گرفته شد (کروکیدا و همکاران، ۲۰۰۰):

$$F_C = o_{eq} (1 - \exp(-k)) \quad (۳)$$

که در این معادله

FC: محتوای روغن بر حسب گرم بر گرم ماده خشک

O<sub>eq</sub>: محتوای روغن تعادلی بر حسب گرم بر گرم ماده خشک

K: ثابت سرعت بر حسب یک بر ثانیه

می باشند.

تغییرات ضریب نفوذ مؤثر (D<sub>eff</sub>) و محتوی روغن تعادلی

(O<sub>eq</sub>) با دما، با استفاده از مدل آرنوس به ترتیب معادلات (۴)

و (۵) تعیین شد (اددجی و همکاران، ۲۰۰۹).

$$D_{eff} = D_{exp} \left[ \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \right] \quad (۴)$$

$$O_{eq} = k_{exp} \left[ \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \right] \quad (۵)$$

در این معادلات

R: ثابت جهانی گازها (۰/۰۰۸۳۱۴۸) کیلو ژول بر مول درجه

کلوین

E<sub>a</sub>: انرژی اکتیواسیون بر حسب کیلو ژول بر مول

T: دمای مطلق بر حسب کلوین

می باشند.

ثابت سرعت طبق معادله ۶ تعیین شد:

$$D_{eff} = \frac{4KL^2}{\pi^2} \quad (۶)$$

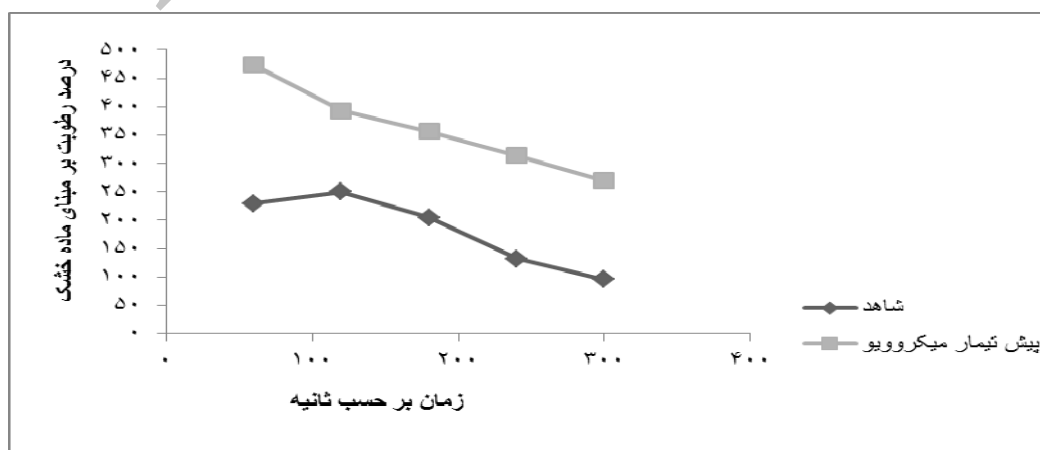
## ۳- بحث و نتایج

## ۳-۱- افت رطوبت و جذب روغن

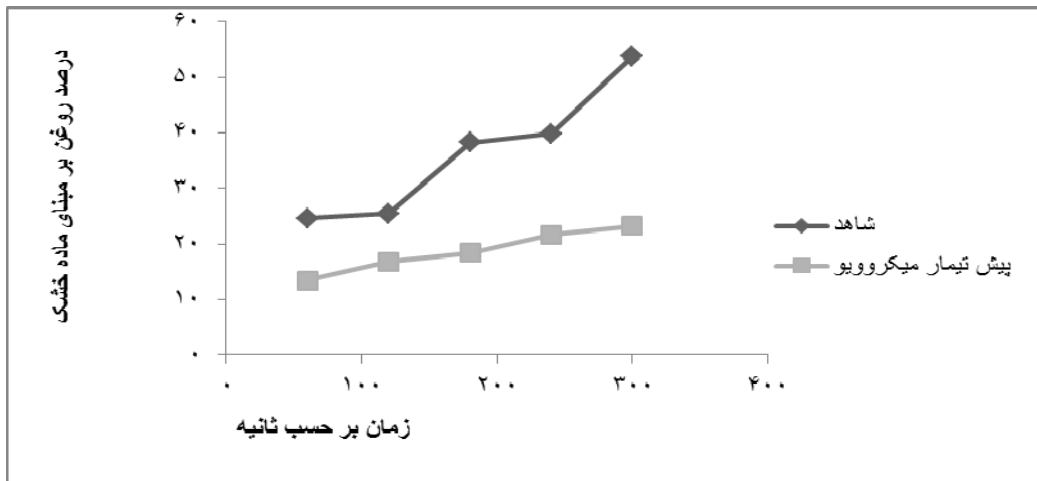
در فرآیند سرخ کردن افت رطوبت و جذب روغن رخ می‌دهد؛ سرعت در این فرآیند به زمان و دمای سرخ کردن بستگی دارد. در دمای بالا بخشی از آب ماده غذایی تبخیر شده و در مقابل مقدار مشخصی روغن جذب آن می‌شود (۱۲ و ۱۵). همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند، محتوای رطوبت کاهش می‌یابد که در اصل به دلیل افت رطوبت از سطح نمونه‌ها می‌باشد، در این زمینه محققان نتایج مشابهی را بدست آورده‌اند (۲ و ۱۳ و ۱۵ و ۱۶). بیشترین میزان رطوبت در نمونه‌های پیش تیمار شده با میکروویو، در زمان‌های ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ ثانیه و کمترین میزان رطوبت در نمونه شاهد در دقیقه پنجم بود؛ به نظر می‌رسد که پیش تیمار میکروویو باعث تشکیل لایه رطوبت پیرامونی در اطراف حلقه‌های بادمجان قبل از فرآیند سرخ شدن می‌شود و متعاقباً فرآورده سرخ شده نهایی رطوبت بیشتری را دارا می‌باشد. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان فرآیند، محتوای روغن فرآورده نهایی نیز افزایش می‌یابد. نمونه شاهد پس از سرخ شدن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد بیشترین میزان روغن و نمونه‌هایی تیمار یافته کمترین میزان روغن را داشتند؛ بنابراین می‌توان گفت که محتوای رطوبت اولیه ماده غذایی یک عامل بحرانی در میزان جذب روغن می‌باشد و فرآورده‌ای که رطوبت اولیه بیشتری داشته باشد روغن کمتری جذب می‌کند. احتمالاً رطوبت پیرامونی موجود در نمونه‌هایی که قبل از فرآیند سرخ شدن تیمار یافته بودند، به عنوان یک پوشش محافظ در مقابل خروج بیشتر آب از سطح فرآورده عمل کرده است. جذب روغن پدیده‌ای است که در قسمت

سطح فرآورده رخ می‌دهد و زمانی روغن به سطح نفوذ می‌کند که آب آن تبخیر شود. خروج رطوبت و جذب روغن دو فرآیند وابسته به هم هستند (۷). محتوای رطوبت اولیه زیاد، جذب روغن کمتری بعد از فرآیند سرخ شدن به همراه دارد (۶). شکل ۳، میزان جذب روغن بادمجان‌ها را در سه دمای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، نمونه شاهد، در دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد جذب روغن کاهش و با افزایش دما به ۱۸۰ درجه سانتیگراد مجدداً جذب روغن افزایش یافته است، به نظر می‌رسد که در این نمونه‌ها دمای بالای فرآیند باعث تبخیر بیشتر رطوبت و جذب بیشتر روغن شده است. افزایش ناگهانی میزان روغن در دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد در نمونه‌هایی که به روش میکروویو آماده سازی شده اند، احتمالاً به عدم تشکیل به موقع پوسته سفت در سطح بادمجان‌ها و به دنبال آن تخریب منافذ و سوراخ‌های ماده غذایی مربوط باشد، این نمونه‌ها در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد چنین افزایشی را نشان نمی‌دهند، به نظر می‌رسد دمای بالای فرآیند به تشکیل پوسته سفت کمک کرده است.

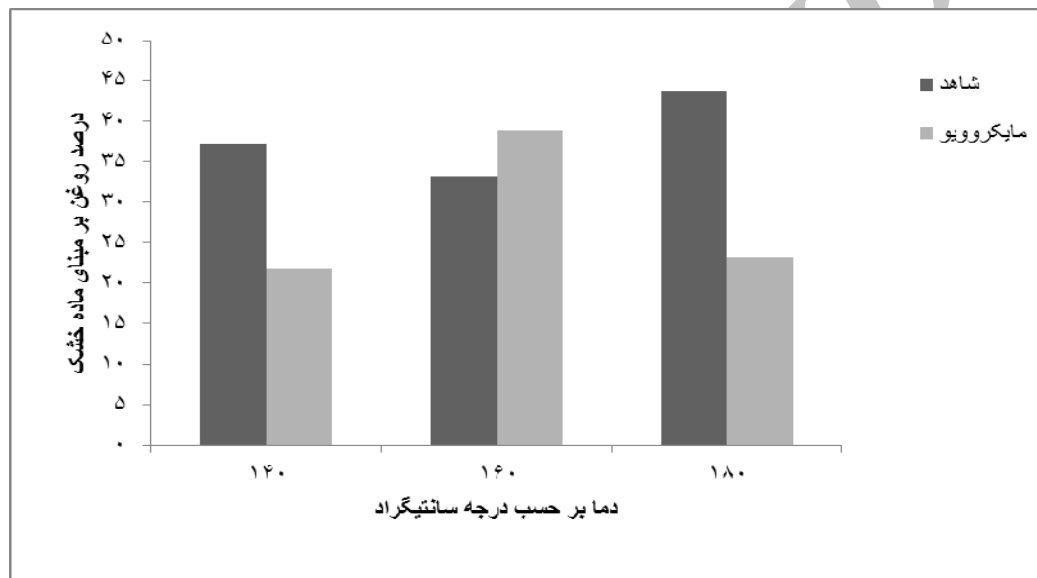
اصولاً با افزایش دما، به دلیل تغییر در بافت فرآورده، پوسته سفت که به عنوان یک مانع فیزیکی در مقابل نفوذ روغن عمل می‌کند، سریع‌تر تشکیل می‌شود و جذب روغن کاهش می‌یابد (۱۹ و ۵). اگرچه مطالعات زیادی در مورد تأثیر دما بر میزان جذب روغن انجام یافته است؛ ولی در این زمینه بین محققان توافق کلی وجود ندارد (۱۹).



شکل ۱- درصد رطوبت بادمجان طی فرآیند سرخ کردن عمیق در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه



شکل ۲- درصد روغن بادمجان طی فرآیند سرخ کردن عمیق در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه



شکل ۳- اثر دما بر میزان درصد روغن نمونه ها : الف: دمای ۱۴۰ ب: دمای ۱۶۰ ج: دمای ۱۸۰

یافت. تفاوتی که در مقادیر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت وجود دارد می‌تواند ناشی از انجام روش پیش تیمار باشد. با توجه به جدول ۱، نمونه‌هایی که به روش مایکروویو آماده سازی شده بودند پس از سرخ شدن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد کمترین میزان ضریب نفوذ مؤثر رطوبت را نسبت به سایر نمونه‌ها نشان دادند، به نظر می‌رسد که رطوبت زیاد این نمونه‌ها به عنوان پوششی در مقابل ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، عمل می‌کند؛ در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد پوسته سفت سریع‌تر تشکیل شده و مانع خروج بیشتر رطوبت می‌شود. نمونه شاهد در دمای ۱۸۰ بیشترین میزان ضریب نفوذ مؤثر رطوبت را نشان داد که احتمالاً به دلیل عدم وجود پوشش مناسب و عدم تشکیل پوسته سفت می‌باشد و نیز از بین رفتن سوراخ‌ها و منافذ بادمجان‌ها می‌باشد.

### ۲-۳- مدل‌سازی انتشار رطوبت

پارامترهای مدل انتشار رطوبت در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود دما بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت تأثیر گذار است. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت بادمجان‌ها در محدوده  $1.07 \times 10^{-8}$  تا  $2.57 \times 10^{-8}$  متر مربع بر ثانیه با ضریب تبیین بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۹، قرار دارد. مورالس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت ورقه‌های گوشت خوک را در دمای ۹۰ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد  $1.5 \times 10^{-9}$  تا  $3.0 \times 10^{-9}$  ذکر کردند (۱۸). با افزایش دما ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در نمونه شاهد، افزایش و در نمونه‌های آماده‌سازی شده با مایکروویو کاهش

<sup>1</sup> Morals et al

رطوبت قسمت مرکزی و بخش پوشش داده شده ناگت‌های مرغ گزارش شده است (۲). دوران و همکاران (۲۰۰۷)، انرژی اکتیواسیون جذب روغن چپیس سیب زمینی آنزیم بری شده را  $3/90$  - کیلوژول بر مول گزارش کردند (۷). انرژی اکتیواسیون منفی نشان می دهد که با افزایش دما سرعت جذب روغن یا انتشار رطوبت کاهش یافته است، بنابراین می توان گفت که پوسته سفت تشکیل یافته در سطح فرآورده مانع تبادل رطوبت و روغن می شود، که در این مطالعه این انرژی اکتیواسیون منفی در مورد نمونه های میکروویو شده مشاهده شد.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه تأثیر پیش تیمار میکروویو، دما و زمان بر انتقال جرم بادمجان طی فرآیند سرخ کردن عمیق مورد بررسی قرار گرفت. در طول سرخ کردن، افت رطوبت با افزایش زمان و دما افزایش یافت و پیش تیمار میکروویو بر افت رطوبت بسیار مؤثر بود. میزان جذب روغن به طور قابل ملاحظه‌ای به دما، زمان و نیز تیمار میکروویو بستگی داشت. نمونه شاهد و نمونه پیش تیمار شده با میکروویو رفتار جذب روغن متفاوتی را نشان دادند. نمونه‌های میکروویو شده در دمای  $180$  درجه سانتیگراد پائین ترین میزان جذب روغن را داشتند. در این مطالعه ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در محدوده  $1/07 \times 10^{-8}$  -  $2/58 \times 10^{-8}$  مترمربع بر ثانیه و ثابت سرعت جذب روغن بین  $0/12$  و  $2 \times 10^{-3}$  بر ثانیه قرار داشت. انرژی اکتیواسیون ضریب نفوذ مؤثر رطوبت منحنی آرنیوس در محدوده  $17/98$  - تا  $34/18$  کیلو ژول بر مول قرار داشت.

#### ۵- سپاس گذاری

نویسندگان بر خود لازم می دانند از باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت حیدریه که کمک های مالی این طرح را عهده دار بودند نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشند.

توجه به داده های جذب روغن، سرعت جذب روغن از معادله ۳ بدست آمد که در محدوده  $0/39$  تا  $0/01$  بر ثانیه با تبیین ضریب  $(0/85$  تا  $0/99$  درصد) قرار دارد. ثابت سرعت جذب روغن به متغیرهای اصلی فرآیند مثل نوع فرآورده، تیمارهای بکار رفته، شرایط فرآیند سرخ کردن، نوع روغن بکار رفته و سطح فرآورده بستگی دارد (۱۹). تورونکوسو و پدرسچی (۲۰۰۹) گزارش کردند که ثابت سرعت جذب روغن در برش های سیب زمینی بین  $3/7 \times 10^{-3}$  تا  $440/1 \times 10^{-3}$  بر ثانیه قرار دارد (۱۹). دوران و همکاران (۲۰۰۷) سرعت جذب روغن را در محدوده  $0/18$  تا  $2/00$  بر ثانیه را برای چپیس های سیب زمینی گزارش کردند (۷). مویانو و پدرسچی<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) ثابت سرعت جذب روغن را  $7 \times 10^{-3}$  تا  $0/218$  بر ثانیه برای نمونه شاهد، نمونه های تیمار یافته به روش آنزیم بری و نیز نمونه های خشک شده سیب زمینی که تحت فرآیند سرخ شدن قرار گرفته بودند گزارش کردند (۱۲). اددجی و همکاران (۲۰۰۹)، ثابت سرعت جذب روغن ناگت های مرغ پوشش داده شده را  $0/04$  تا  $40/96$  بر ثانیه بدست آوردند (۲).

#### ۳-۳- مدل سازی جذب روغن

با توجه به جدول ۲ میزان روغن تعادلی با افزایش دما افزایش یافته است، همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، نمونه های پیش تیمار شده با میکروویو در دمای  $160$  درجه سانتیگراد روغن تعادلی بیشتری نسبت به دمای  $180$  درجه سانتیگراد نشان دادند. به نظر می رسد که در حین سرخ شدن پوسته سفت نمونه های میکروویو شده در دمای  $180$  درجه سانتیگراد سریع تر از دمای  $160$  درجه سانتیگراد تشکیل شده که متعاقباً روغن کمتری را در دمای  $180$  جذب کرده اند. جدول ۳ وابستگی دما به ضریب انتشار رطوبت را با معادله آرنیوس نشان می دهد. لگاریتم طبیعی ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در مقابل دمای مطلق رسم و شیب آن معادل انرژی اکتیواسیون و ثابت جهانی گازها ثبت گردید. انرژی اکتیواسیون ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و روغن تعادلی به ترتیب در محدوده  $17/9826$  - تا  $34/18$  کیلوژول بر مول و  $33/389$  - تا  $19/200$  کیلوژول بر مول قرار داشت. محدوده  $13/65$  -  $54/93$  کیلوژول بر مول و  $16/33$  - تا  $94/77$  - توسط اددجی و همکاران (۲۰۰۹) به ترتیب برای ضریب نفوذ مؤثر

<sup>1</sup> Moyano and Pedreschi

جدول ۱- پارامترهای مدل انتشار رطوبت طی فرآیند سرخ کردن عمیق بادمجان

نمونه	دما (سانتیگراد)	$K \times 10^{-3}$ بر ثانیه	$D_{eff} \times 10^{-8}$ متر مربع بر ثانیه	ضریب تبیین
	۱۴۰	۱/۶۵۱۲۵۱	۱/۰۷۱۸۵	۰/۹۹۳۰۱۱
شاهد	۱۶۰	۲/۹۸۰۲۴۱	۱/۹۳۴۵۱۵	۰/۹۹۹۲۳۳
	۱۸۰	۳/۹۷۲۴۴۲	۲/۵۷۸۵۶۶	۰/۸۵۴۸۵۱
	۱۴۰	۳/۷۱۳۵۶	۲/۴۱۰۵۲۲	۰/۸۸۵۸۶۷
پیش تیمار شده با مایکروویو	۱۶۰	۳/۳۳۶۳۵۶	۲/۱۶۵۶۷۴	۰/۸۷۳۹۴۱
	۱۸۰	۲/۳۲۸۸۱۹	۱/۵۱۱۶۶۸	۰/۸۰۰۴۸۷

جدول ۲- پارامترهای مدل جذب روغن بادمجانها

دما (سانتیگراد)	ثابت سرعت (بر ثانیه)			روغن تعادلی		گرم بر گرم
۱۴۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۸۰
شاهد	۰/۰۷۲۸۶۷	۰/۰۵۶۴۲۹	۰/۱۲۱۲۷۸	۰/۰۶۲	۰/۰۸۰	۰/۱۰۱
ضریب تبیین	(۰/۹۹)	(۰/۸۵)	(۰/۹۲)			
پیش تیمار شده با مایکروویو	۰/۰۰۵۲۷۶	۰/۰۰۳۳۹۶	۰/۰۰۲۲۳۵	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۲
ضریب تبیین	(۰/۸۶)	(۰/۸)	(۰/۹۶)			

جدول ۳- انرژی اکتیواسیون و ضریب تبیین بادمجانهای سرخ شده.

نمونه	انرژی اکتیواسیون	ضریب تبیین	محتوای رطوبت	محتوای روغن
شاهد	۳۴/۱۸	۰/۹۷	۱۹/۲۰۰	۰/۶۳
تیمار شده با مایکروویو	-۱۷/۹۸۲	۰/۹۰	-۳۳/۳۸۹	۰/۹۹

cooking procedures. Food Hydrocolloids, 23, 1443-1448.

4. Chen, S.D., Chen, H.H., Chao, Y.C., Lin, R.S. 2009. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets. Journal of Food Engineering, 95, 359-364.

5. Dana, D., Saguy, I.S. 2006. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. A review. Advances in Colloid and Interface Science, 128-130, 267-272.

6. Dehghan Nasiri, F., Mohebbi, M., Tabatabaee, Y.F., Haddad, M.H.K. 2010. Effects of soy and corn flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried shrimp nuggets. Food Bioprocess Technology, doi:10.1007/s11947-010-0423-4.

7. Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P., Troncoso, E. 2007. Oil partition in pre-treated potato slices

## ۶- منابع

۱. بی. چاپ اول. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

نام. ۱۳۸۸. ویژگی‌ها و روشهای فرآورده های سرخ شده بر

پایه سیب زمینی، غلات و حبوبات، استاندارد ملی ایران،

۱۲۰۹۹

2. Adedeji, A.A., Ngadi, M.O., Raghavan, G.S.V. 2009. 2. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep fat fried chicken nuggets. Journal of Food Engineering, 91, 146-153.

3. Albert, A., Perez-Munuera, I., Quiles, A., Salvador, A., Fiszman, S.M., Hernando, I. 2009. Adhesion in fried battered nuggets: performance of different hydrocolloids as products using three

- during frying and cooling. *Journal of Food Engineering*, 81, 257–265.
8. Gazmuri, A.M., Bouchon, P. 2009. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 115 (3), 999–1005.
9. Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., 2000a. Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering* ,44 (1), 39–46.
۱۰. Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., 2000b. Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering* 44, 39–46.
11. Mariscal, M., Bouchon, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*, 107, 1561–1569.
12. Moyano, P., Pedreschi, F. 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. *LWT – Food Science and Technology*, 39, 285–291.
13. Math, R.G., Velu, V., Nagender, A., Rao, D.G. 2004. Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. *Journal of Food Engineering*, 64, 429–434.
14. Ngadi, M.O., Wang, V., Adedeji, A.A., Raghavan, G.S.V. 2009. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 438–440.
15. Ngadi, M., Li, Y., Oloka, S. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 1784–1791.
16. Oztop, M.H., Sahin, S., Sumnu, G. 2007. Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. *Journal of Food Engineering*, 79, 83–91.
17. Pedreschi, F., Moyano, P. 2005. Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*, 70 (4), 557–563.
18. Sosa-Morales, M.E., Orzuna-Espiritu, R., Velez-Ruiz, J.F. 2006. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering*, 77, 731–738.
19. Troncoso, E., Pedreschi, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 1164–1173.
20. Yildiz, A., Palazoglu, T.K., Erdoğdu, F. 2007. Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 79, 11–17.