

بررسی مقایسه‌ای اثر ممانعت‌کنندگی صمغ دانه ریحان، کربوکسی‌متیل سلولز و گوار بر انتقال جرم طی سرخ کردن عمیق خلال‌های سیب‌زمینی و مدل‌سازی رگرسیونی سینتیک جذب روغن

عنایت‌الله نقوی^{۱*}، رسول قربانی^۲، سمیرا باقرزاده^۳

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۱۵)

چکیده

مدل‌سازی رگرسیونی می‌تواند روشی ساده و مفید برای پیش‌بینی تغییرات پدیده‌های انتقال جرم طی سرخ‌کردن مواد غذایی باشد. در مطالعه حاضر، اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان (BSG)، به عنوان یک هیدروکلوئید جدید) روی محتوای رطوبت و جذب روغن خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده ارزیابی شد. همچنین، اثر BSG روی انتقال جرم با خلال‌های پیش‌تیمار شده با صمغ‌های گوار و کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) مقایسه شد. علاوه بر این، سینتیک جذب روغن توسط مدل‌سازی رگرسیون غیرخطی بررسی گردید. پوشش‌دهی با هیدروکلوئیدهای صمغ دانه ریحان، گوار و CMC در غلظت‌های ۰/۵ و ۱٪ انجام شد. شرایط سرخ‌کردن عمیق نمونه‌ها شامل دمای ۱۹۰°C و زمان‌های ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه بود. نمونه بدون پوشش به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. برای برآزش داده‌های آزمایشی محتوای روغن با ۶ مدل تجربی، از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. همچنین، برای تعیین بهترین مدل، از دو معیار R^2 و RMSE استفاده گردید. نتایج نشان داد که همه صمغ‌های مورد استفاده منجر به کاهش معنی‌دار خروج رطوبت و جذب روغن شدند ($p < 0/05$). در این ارتباط، به ترتیب صمغ‌های دانه ریحان، CMC و گوار عملکرد بهتری داشتند. با افزایش غلظت صمغ از ۰/۵ به ۱٪، میزان کاهش محتوای روغن نمونه‌های مختلف افزایش یافت ($p < 0/05$). همچنین، از بین مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده، مدل پیشنهاد شده در مطالعه حاضر به دلیل داشتن R^2 بالاتر و RMSE پایین‌تر به عنوان بهترین مدل برای برآزش داده‌های آزمایشی جذب روغن انتخاب شد. استفاده از پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان به عنوان یک روش امیدوارکننده برای کاهش محتوای روغن سیب‌زمینی سرخ‌شده می‌تواند در پژوهش‌های آتی (برای مقایسه با سایر صمغ‌های تجاری) بیشتر مد نظر قرار گیرد.

کلید واژگان: انتقال جرم، صمغ دانه ریحان، صمغ گوار، کربوکسی‌متیل سلولز، مدل‌سازی

* مسئول مکاتبات: enayat.naghavi@gmail.com

۱- مقدمه

سیب‌زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum*^۱، گیاهی از خانواده سیب‌زمینیان (*Solanaceae*)^۲ است که برای استفاده از غده زیرزمینی آن کشت شده و پس از گندم، ذرت و برنج از مهم‌ترین محصولات کشاورزی به شمار می‌رود [۱]. بر اساس آمار فائو، میزان تولید سیب‌زمینی در سال ۲۰۱۳ در ایران حدود ۵۵۶۰۰۰۰ تن بوده است [۲]. سرخ‌کردن عمیق در روغن یک روش پخت سریع و معمول است که در آن ماده غذایی در داخل روغن داغ با دمای بالا (معمولاً ۱۵۰-۲۰۰°C) غوطه‌ور می‌شود [۳]. هدف از این فرآیند، حفظ مواد مؤلفه طعم در یک پوسته ترد، خشک و شکننده، همراه با بخش مرکزی نرم و مرطوب (در مورد محصولات ضخیم مانند خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده و ناگت مرغ) است. طی این فرآیند، قسمت اعظم آب ماده غذایی به شکل بخار از آن خارج شده و در مقابل، روغن توسط محصول جذب می‌گردد. در این ارتباط، جهت افزایش آگاهی در مورد محتوای رطوبت و روغن محصول نهایی، مطالعه انتقال جرم حین سرخ‌کردن ضروری می‌باشد. این آگاهی به نوبه خود می‌تواند جهت انجام مدل‌سازی پدیده انتقال جرم طی فرآیند سرخ‌کردن مورد استفاده قرار گیرد [۳]. پژوهش‌های مختلف به خوبی نشان داده‌اند که افزایش مصرف چربی (به ویژه انواع اشباع) در محصولات غذایی با محتوای روغن بالا می‌تواند با مشکلات چاقی، فشار خون بالا، بروز بیماری‌های قلبی-عروقی و سرطان در ارتباط باشد. بنابراین، مصرف محصولات غذایی کم‌چرب و سالم‌تر در جامعه امروزی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. طی سرخ‌کردن عمیق مواد غذایی، جذب روغن تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند دما و زمان فرآیند، ویژگی‌های فیزیکی نمونه اولیه (مانند شکل، محتوای رطوبت، تخلخل)، انجام پیش‌تیمار (ها) قرار می‌گیرد [۴ و ۵]. روش‌های مختلفی برای کاهش جذب روغن توسط ماده غذایی حین سرخ‌کردن عمیق پیشنهاد شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به انجام پیش‌تیمارهای خشک‌کردن مقدماتی [۶ و ۷]، فراصوت+ خشک‌کردن مقدماتی [۶]، آبیگری اسمزی [۸] و پوشش‌دهی با هیدروکلوئیدهای مختلف [۷، ۹-۱۲] اشاره کرد. در این ارتباط، پیش‌تیمار پوشش‌دهی با هیدروکلوئیدها نتایج امیدوارکننده‌ای

را حاصل نموده است. در واقع، از آن‌جا که جذب روغن توسط ماده غذایی یک پدیده سطحی است، استفاده از پوشش‌های خوراکی به منظور اصلاح خواص سطحی محصول (از طریق پوشاندن سطح یا کاهش میزان منافذ و تخلخل موجود در سطح) می‌تواند به کاهش جذب روغن توسط ماده غذایی منجر شود و کیفیت محصولات غذایی نهایی را بهبود بخشد. تاکنون هیدروکلوئیدهای مختلفی به عنوان ماده پوششی در سطح ماده غذایی طی سرخ‌کردن مورد آزمایش قرار گرفته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به مشتقات سلولز مانند کربوکسی‌متیل سلولز (CMC)، متیل سلولز (MC) و هیدروکسی‌پروپیل متیل سلولز (HPMC)، پکتین، آلژینات، گوار، کاراگینان، صمغ لوبیای خرنوب و صمغ زلان اشاره کرد [۷، ۹-۱۷]. مشتقات سلولز جزء بهترین هیدروکلوئیدها برای کاهش جذب روغن حین سرخ‌کردن مواد غذایی می‌باشند. مشتقات سلولز همگی محلول در آب بوده و دارای خصوصیت تشکیل فیلم خوب هستند. استفاده از پوشش‌های خوراکی با ماهیت آبدوست و توانایی تشکیل فیلم (لایه نازک سطحی) و ایجاد ژل حرارتی^۳ مثل CMC، می‌تواند به عنوان یک عامل بازدارنده انتخابی بین ماده غذایی و روغن عمل کند و از نفوذ روغن به داخل ماده غذایی جلوگیری کند. در پژوهشی توسط عزیزاده و همکاران (۲۰۱۳)، قطعات سیب‌زمینی به صورت تنها پوشش‌دهی با محلول CMC یا آنزیم‌بری (۸۰°C و ۱ یا ۳ دقیقه)+ پوشش‌دهی با محلول CMC پیش‌تیمار و سپس به روش عمیق سرخ شدند [۱۳]. در نهایت، کاهش معنی‌دار جذب روغن توسط نمونه‌های پوشش داده شده با CMC یا تیمار تلفیقی آنزیم‌بری+ پوشش‌دهی نسبت به نمونه شاهد گزارش شد. نتایج مشابهی نیز توسط شرایعی و همکاران (۲۰۱۳) در مورد سرخ‌کردن عمیق قطعات سیب‌زمینی پوشش-دهی شده با محلول خوراکی CMC گزارش گردید [۱۵]. علاوه بر CMC، صمغ گوار نیز دارای توانایی تشکیل ژل خوب طی فرآیندهای حرارتی مانند سرخ‌کردن می‌باشد [۱۰-۱۲]. در همین راستا، دارایی گرمه‌خانی و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی اثر پوشش‌دهی با هیدروکلوئیدهای مختلف روی جذب روغن نمونه‌های سرخ‌شده پی بردند که پوشش-دهی با CMC، پکتین، گوار و زانتان جذب روغن در قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده را به طور معنی‌داری کاهش داد [۱۲].

1. *Solanum tuberosum*
2. *Solanaceae*

3. Thermo-gelling

تغییرات محتوای روغن طی سرخ کردن عمیق را توسط مدل‌سازی پیش‌بینی نمود. طی فرآیند سرخ کردن، با بدست آوردن مدل‌های مناسب، امکان پیش‌بینی روند تغییرات محتوای روغن جهت کنترل بهتر کیفیت محصول نهایی امکان‌پذیر شده و ضرورت انجام آزمایشات متعدد و پرهزینه نیز کاهش پیدا می‌کند [۱۹]. بر اساس مطالعات انجام شده تاکنون، مدل‌سازی تجربی سینتیک جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن خلال‌های سیب‌زمینی (بدون پیش‌ تیمار آنزیم‌بری) پوشش‌دهی شده با صمغ دانه ریحان مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر با اهداف زیر انجام شد: (۱) مقایسه اثر غلظت-های مختلف صمغ دانه ریحان (به عنوان یک صمغ بومی ایران با کاربرد جدید در فرآیند سرخ کردن) با هیدروکلوئیدهای معمول و پرکاربرد مانند گوار و CMC (انتخاب بر اساس پژوهش‌های متعدد انجام شده روی آن‌ها) روی جذب روغن و محتوای رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در زمان‌های مختلف سرخ کردن (۹۰ تا ۳۶۰ ثانیه)؛ (۲) برازش داده‌های آزمایشی سینتیک جذب روغن در خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده (شاهد یا پوشش‌دهی شده با هیدروکلوئیدهای مختلف) با مدل‌های موجود در منابع علمی؛ (۳) بررسی امکان ارائه یک مدل تجربی جدید با قدرت پیش‌بینی خوب (R^2 بالا و RMSE پایین) برای داده‌های جذب روغن بر حسب زمان سرخ کردن و همچنین ارائه یک رابطه تجربی برای تعیین ارتباط بین خروج رطوبت و جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن نمونه‌ها.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

صمغ گوار، کربوکسی‌متیل سلولوز، دانه ریحان، سیب‌زمینی (رقم ساتینا)، روغن مخصوص سرخ‌کردنی بهار (روغن آفتابگردان، شرکت صنعتی بهشهر) به عنوان مواد خام مورد استفاده قرار گرفتند. سیب‌زمینی‌ها تا شروع آزمایشات در دمای 8°C ، رطوبت نسبی ۹۰-۸۵٪ و در تاریکی نگهداری شدند [۶]. قبل از استفاده نیز به منظور کاهش درصد قندهای احیاء‌کننده، سیب‌زمینی‌ها به مدت ۴ روز در تاریکی و دمای محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. صمغ گوار و کربوکسی‌متیل سلولوز از شرکت سیگما و دانه ریحان از بازار خریداری شدند. صمغ

نتایج مشابهی در مورد کاربرد صمغ گوار با غلظت ۰/۹٪ توسط Kim و همکاران (۲۰۱۱) برای کاهش معنی‌دار جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ شده به دست آمد [۱۰]. یزدان‌ستا و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش معنی‌دار جذب روغن در نمونه‌های دونات پیش‌ تیمار شده با صمغ‌های CMC و گوار و سپس سرخ شده به روش عمیق را در مقایسه با نمونه شاهد گزارش نمودند [۱۶].

با توجه به تقاضای روزافزون بازار مصرف برای استفاده از هیدروکلوئیدها به عنوان جایگزین چربی در محصولات غذایی کم‌چرب و همچنین قیمت بالای صمغ‌های تجاری، توجه ویژه به هیدروکلوئیدهای بومی و کاربرد آن‌ها در بخش‌های مختلف صنایع غذایی بسیار حائز اهمیت است [۱۷]. دانه ریحان از جمله منابع بومی ایران است که می‌توان هیدروکلوئید از آن استخراج کرد [۱۷ و ۱۸]. اگرچه امکان تولید محصولات سرخ شده کم‌چرب با استفاده از پوشش‌دهی توسط صمغ‌های تجاری مختلف به طور نسبتاً گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است، با این حال پژوهش‌های بسیار اندکی پیرامون استفاده از صمغ‌های بومی مانند صمغ دانه ریحان در این حوزه پژوهشی در دسترس می‌باشد. در این ارتباط، زمانی قلعه‌شاهی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که پوشش‌دهی خلال‌های سیب‌زمینی (از قبل آنزیم‌بری شده در 85°C به مدت ۳/۳۰ دقیقه) با صمغ‌های ریحان، گزانتان و متیل سلولوز (۰/۵ و ۱٪) منجر به کاهش معنی‌دار جذب روغن در مقایسه با نمونه شاهد شد [۱۷]. از بین این‌ها، صمغ دانه ریحان به طور مؤثرتری منجر به کاهش افت رطوبت و جذب روغن شد. در مطالعه‌ای دیگر جهت استفاده از صمغ ثعلب و CMC در فرآیند سرخ‌کردن، شرایعی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که استفاده از ثعلب در غلظت ۲٪ و همچنین CMC در سطح ۱٪ برای پوشش‌دهی قطعات سیب‌زمینی، به طور معنی‌داری جذب روغن نسبت به نمونه شاهد را کاهش دادند [۱۵]. از بین دو صمغ نیز اثر CMC بر میزان کاهش جذب روغن در مقایسه با ثعلب مؤثرتر بود.

از طرف دیگر، شناخت پدیده‌های پیچیده‌ای مانند انتقال جرم که حین سرخ‌کردن عمیق مواد غذایی در روغن اتفاق می‌افتند، به منظور کنترل کیفیت محصول سرخ‌شده نهایی حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا، برای پیش‌بینی محتوای روغن مواد غذایی با هدف افزایش کیفیت محصول سرخ‌شده، می‌توان

انجام شد و داده‌های گزارش شده برای محتوای رطوبت و روغن، میانگین داده‌های آزمایشی هستند.

۲-۵- اندازه‌گیری محتوای رطوبت و روغن

محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده، از طریق خشک‌کردن آن‌ها در آن آزمایشگاهی در دمای $105 \pm 1^\circ\text{C}$ تا رسیدن به وزن ثابت انجام [۲۰] و در نهایت بر حسب گرم رطوبت بر گرم ماده خشک گزارش شد (AOAC، شماره 934.06). محتوای روغن نیز توسط استخراج روغن نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در دستگاه سوکسله اندازه‌گیری و بر حسب گرم روغن بر گرم ماده خشک گزارش شد (AOAC، شماره 945.16) [۲۰].

۲-۶- مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون

غیرخطی

در پژوهش حاضر، مدل‌سازی محتوای روغن خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شده بر حسب زمان صورت گرفت و از ۶ مدل تجربی استفاده شد (جدول ۱). بدین منظور، ۵ مدل از کارهای پژوهشی قبلی انتخاب شد و یک مدل رگرسیونی جدید نیز در مطالعه حاضر پیشنهاد شد. مطابق جدول ۱، حروف a، b و c ثابت‌های مدل، O بیانگر محتوای روغن و t زمان سرخ‌کردن (s) می‌باشند. پارامترهای مربوط به مدل‌های بکار رفته، از طریق برازش کردن داده‌های آزمایشی محتوای روغن در نرم‌افزار MATLAB (Version 7.12.0.635, R2011a) بدست آمدند [۱۹].

Table 1 Equations used to describe the oil uptake kinetics

Number	Model	Reference
[1]	$O = \frac{a \cdot b \cdot t}{1 + b \cdot t}$	[22]
[2]	$O = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot t))$	[21]
[3]	$O = \frac{1 - \exp(-a \cdot t)}{(1 - b \cdot t)}$	[19]
[4]	$O = \frac{a \cdot t}{t + b}$	[13]
[5]	$O = a \cdot t^b$	[13]
[6]	$O = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot t^c))$	Present study

برای تعیین بهترین مدل، از دو معیار ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. با توجه به این دو معیار آماری، مدلی که دارای R^2 بالاتر و RMSE

دانه ریحان به روش رضوی و همکاران [۱۸] استخراج شد. دلیل انتخاب صمغ‌های کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) و گوار، کاربرد موفقیت‌آمیز آن‌ها در پژوهش‌های قبلی [۱۰-۱۴] بود تا بتوان کارایی این دو هیدروکلوئید پرکاربرد را با صمغ دانه ریحان به عنوان یک هیدروکلوئید بومی ایران مورد مقایسه قرار داد.

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

برای انجام هر آزمایش، سیب‌زمینی‌ها پس از شستشو و پوست‌گیری، توسط یک کاتر دستی به ابعاد $5 \times 1 \times 1 \text{ cm}$ (ارتفاع \times عرض \times طول)، به خلال‌های مکعب مستطیلی شکل با ابعاد یکسان برش داده شدند. یکنواختی اندازه نمونه‌ها با استفاده از کولیس کنترل شد. جهت جلوگیری از اتلاف رطوبت، نمونه‌های برش‌داده شده در درون یک پلیت قرار گرفته و قبل از سرخ‌کردن، جهت حذف نشاسته سطحی با آب مقطر شسته شدند [۶]. آب اضافی سطحی نیز توسط یک کاغذ جاذب رطوبت گرفته شد.

۲-۳- پوشش‌دهی نمونه‌ها

پوشش‌دهی خلال‌های سیب‌زمینی با ۳ صمغ مختلف شامل صمغ دانه ریحان، گوار و CMC در غلظت‌های ۰/۵ و ۱/۱ (وزنی/وزنی) [۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۷] انجام شد. نمونه‌ها به طور مجزا به مدت ۱ دقیقه [۱۲] در محلول هر کدام از صمغ‌ها غوطه‌ور شدند. سپس، خلال‌ها از داخل محلول پوشش‌دهی خارج شده و برای حذف پوشش اضافی آبکشی شدند [۱۲] و [۱۷]. در نهایت، نمونه‌های شاهد (بدون پوشش) و پوشش‌دهی شده (۶ تیمار) در شرایط مورد نظر سرخ شدند.

۲-۴- شرایط سرخ‌کردن

در هر آزمایش پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، جهت سرخ‌کردن ابتدا سرخ‌کن خانگی (Moulinex AM302، با ظرفیت ۱/۵ لیتر روغن، ساخت چین، مجهز به سیستم تنظیم دما در محدوده ۱۵۰ تا 190°C) با ۱/۵ لیتر روغن پر شد. بعد از تنظیم زمان سرخ‌کردن موردنظر، سرخ‌کن بر روی حالت اتوماتیک قرار داده شد. در این حالت، نمونه‌های سیب‌زمینی به میزان ۱۰۰ گرم در داخل سبد مشبک سرخ‌کن قرار داده شدند و بعد از چند لحظه سبد حاوی نمونه‌ها به طور اتوماتیک در روغن غوطه‌ور شد [۱۹]. پس از طی شدن زمان سرخ شدن نمونه‌ها، خلال‌های سیب‌زمینی از سرخ‌کن بیرون آورده شدند و پس از حذف روغن اضافی واقع در سطح نمونه، آنالیزهای مربوطه بر روی آن‌ها انجام گرفت. تمامی آزمایشات با ۳ تکرار

۳- نتایج و بحث

شکل ۱، تغییرات نسبت محتوای رطوبت (بدون بُعد) و جذب روغن نمونه‌های شاهد سرخ شده در چهار زمان ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه و دمای 190°C را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۱ (a) پیداست، با افزایش زمان سرخ کردن میزان رطوبت نمونه کاهش پیدا می‌کند؛ به طوری که محتوای رطوبت در فواصل زمانی اولیه تقریباً یک رفتار خطی را نشان می‌دهد و آهنگ وقوع آن در قطعات سیب‌زمینی با گذشت زمان (از ۹۰ به ۳۶۰ ثانیه) کاهش یافته و در زمان‌های طولانی‌تر حالت غیرخطی پیدا می‌کند. شکل ۱ (b) نیز افزایش محتوای روغن نمونه‌ها با گذشت زمان سرخ کردن را نشان می‌دهد که با افزایش زمان سرخ کردن، حالت غیرخطی پیدا می‌کند. همچنین، مطابق شکل ۱ (c)، با کاهش محتوای رطوبت، جذب روغن توسط نمونه‌ها افزایش یافت که همبستگی بالای بین این دو پدیده انتقال جرم را نشان می‌دهد ($R^2=0/9978$).

پایین‌تر بود، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{MR}_{\text{pred},i} - \text{MR}_{\text{exp},i})^2}$$

$\text{MR}_{\text{pred},i}$: نسبت محتوای رطوبتی پیشگویی شده؛
 $\text{MR}_{\text{exp},i}$: نسبت محتوای رطوبتی آزمایشی؛
 N: تعداد مشاهدات

۲-۷- آنالیز آماری

در این مطالعه، ۷ تیمار مختلف (شاهد + ۶ نمونه پوشش‌دهی شده) به طور مجزا در دمای 190°C و چهار زمان ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه در ۳ تکرار ($7 \times 4 \times 3 = 84$) سرخ شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 (نسخه 17.2.1) انجام شد. برای انجام مقایسه میانگین نیز از آزمون توکی یا آزمون اختلاف معنی‌دار قابل اعتماد (HSD) در سطح احتمال ۵٪ ($p < 0/05$) استفاده شد.

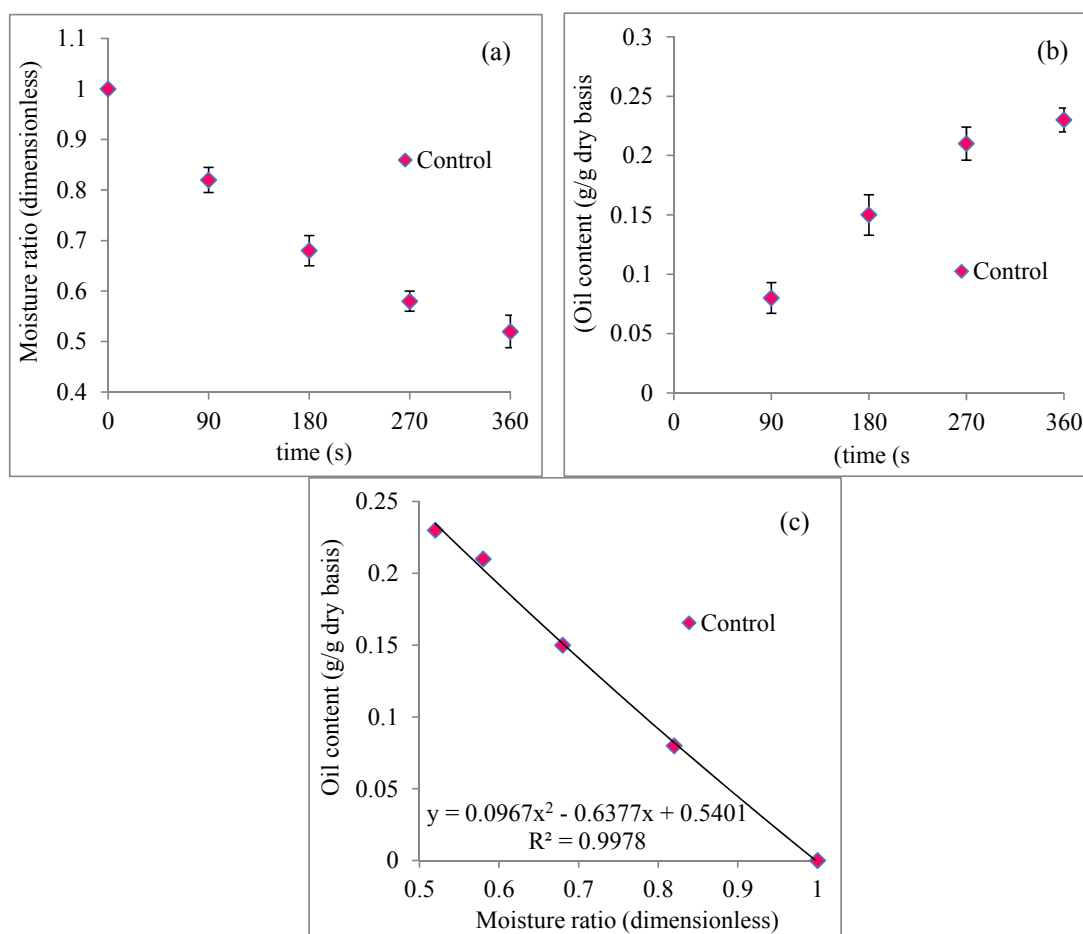


Fig 1 Moisture and oil content of fried potato strips (control sample) as a function of time (a, b) and oil content as a moisture ratio (c) during deep-fat frying at 190°C

از صمغ‌های مورد استفاده، نسبت محتوای رطوبت در زمان‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار بود؛ به طوری‌که با افزایش زمان سرخ‌کردن، نسبت محتوای رطوبت به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$). همچنین، در همه زمان‌های سرخ‌کردن، نمونه شاهد در مقایسه با تمامی خلال‌های سیب‌زمینی پوشش‌دهی شده با صمغ‌های مختلف دارای محتوای رطوبت کمتری بود ($p < 0.05$). علاوه بر این، در یک غلظت یکسان از محلول پوشش‌دهی، خلال‌های سیب‌زمینی تیمار شده با صمغ دانه ریحان دارای محتوای رطوبت بالاتری بودند ($p < 0.05$ ؛ شکل ۲-ا). پس از این تیمار، نمونه‌های پوشش‌دهی شده با CMC و گوار دارای میزان حفظ رطوبت بیشتری بودند که اختلاف بین این دو نمونه (به جز در زمان ۲ دقیقه و غلظت ۱٪) از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

روند مشابهی برای سایر تیمارها مشاهده شد (نمودارها نشان داده نشده است). نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران در ارتباط با رفتار خروج آب و جذب روغن طی سرخ‌کردن محصولات غذایی مختلف گزارش شده است [۶، ۸، ۱۳، ۱۴ و ۲۱].

۳-۱- تأثیر پیش‌تیمار پوشش‌دهی بر محتوای رطوبت و روغن خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

شکل ۲ (a) روند تغییرات نسبت محتوای رطوبت (بدون بُعد) با گذشت زمان را برای تیمارهای مختلف سرخ‌شده نشان می‌دهد که مقایسه میانگین نیز بین کل تیمارهای سرخ‌شده در زمان‌های مختلف انجام شده است. مطابق شکل ۲ (a) و نتایج به دست آمده، در مورد همه نمونه‌ها و در یک غلظت یکسان

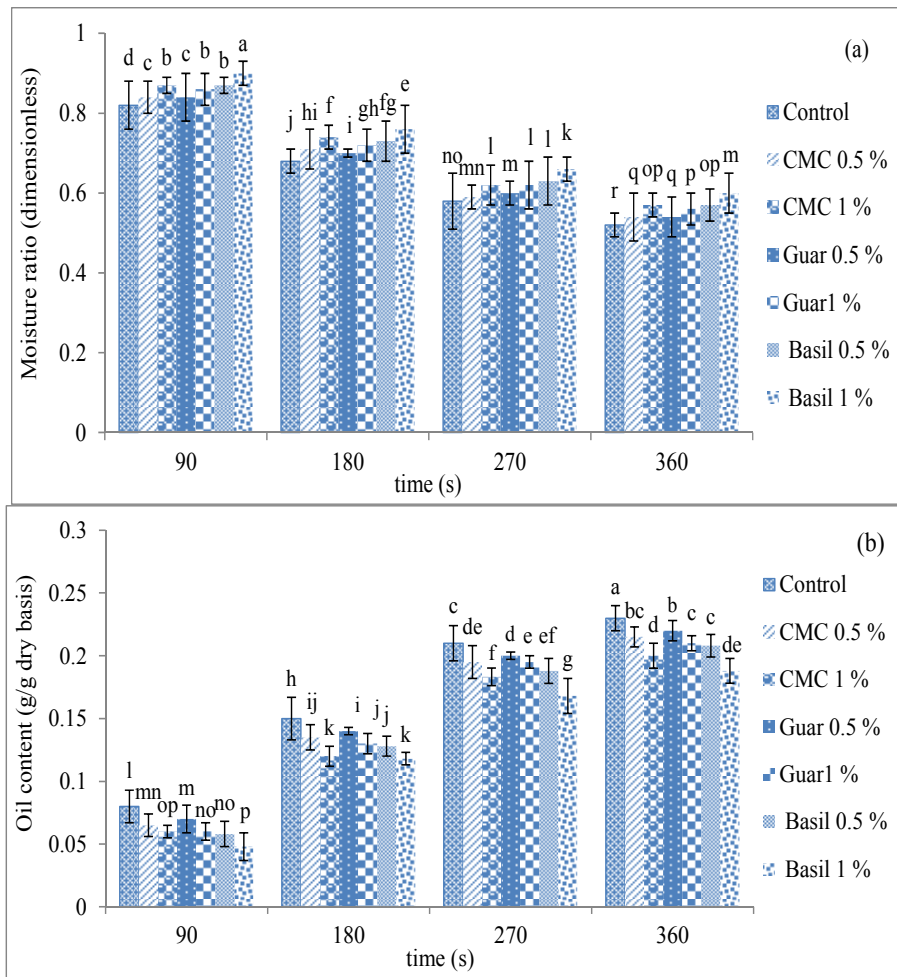


Fig 2 Comparison between moisture ratios (dimensionless) (a) and oil content (b) of different treatments during deep-fat frying for 90-360 s (Different letters indicate significant differences, $p < 0.05$)

زمان مختلف انجام شده است. مطابق این شکل و نتایج به دست آمده، در مورد همه تیمارها و در یک غلظت یکسان از هیدروکلونیدهای بکار رفته، محتوای روغن در زمان‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار بود؛ به طوری‌که با افزایش زمان سرخ‌کردن، محتوای روغن به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد ($p < 0/05$). در همه زمان‌های سرخ‌کردن، نمونه شاهد در مقایسه با همه خلال‌های سیب‌زمینی پوشش‌دهی شده با صمغ‌های مختلف دارای محتوای روغن بیشتری بود ($p < 0/05$). این نتایج با یافته‌های به دست آمده برای محتوای رطوبت نمونه‌های مختلف در تطابق است. در واقع، همان‌طور که در شکل ۱ (c) نیز نشان داده شده است، همبستگی بالایی ($R^2 = 0/9978$) بین جذب روغن و محتوای رطوبت طی فرآیند سرخ‌کردن خلال‌های سیب‌زمینی وجود دارد و می‌توان بیان نمود که خروج کمتر رطوبت حین فرآیند، می‌تواند دلیل اصلی کاهش میزان روغن جذب شده باشد. این یافته نیز با نتایج سایر پژوهشگران در تطابق است [۶، ۱۱ و ۱۷]. Parimala و Sudha (۲۰۱۲) گزارش نمودند که از بین نمونه‌های پیوری یا پوری^۱ (نوعی نان غیرحجم تهیه شده در کشورهای آسیای جنوبی) تیمار شده با صمغ‌های مختلف، نمونه حاوی گوار دارای بالاترین محتوای رطوبت و کمترین جذب روغن بود [۱۱]. در مطالعه‌های دیگر توسط شرایعی و همکاران (۲۰۱۳)، افزایش حفظ رطوبت و کاهش جذب روغن در قطعات سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده با صمغ‌های CMC و ثعلب حاصل شد [۱۵].

علاوه بر این، در یک غلظت یکسان از محلول پوشش‌دهی، خلال‌های سیب‌زمینی تیمار شده با صمغ دانه ریحان دارای محتوای روغن کمتری بودند ($p < 0/05$; شکل ۲-b) که در تطابق با یافته‌های زمانی قلعه‌شاهی و همکاران (۲۰۱۵) است [۱۷]. پس از این تیمار، نمونه‌های پوشش‌دهی شده با CMC و گوار دارای محتوای روغن کمتری بودند که اختلاف بین این دو نمونه در غلظت ۱٪ (به جز در زمان ۱ دقیقه) از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($p < 0/05$). این نتایج کارایی استفاده از صمغ دانه ریحان به عنوان یک هیدروکلونید بومی ایران برای استفاده در سرخ‌کردن عمیق خلال‌های سیب‌زمینی جهت تهیه محصولات سالم‌تر و با کالری کمتر را نشان می‌دهد. بنابراین، کارایی یکسان یا بالاتر به دست آمده برای صمغ دانه ریحان

مطابق نتایج به دست آمده، محتوای رطوبت نمونه‌های پوشش‌دهی شده با صمغ‌های مختلف به طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد بالاتر بود ($p < 0/05$). در واقع، حفظ محتوای آب بیشتر در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با صمغ‌ها می‌تواند به دلیل ایجاد پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب موجود در پوشش و توانایی آن‌ها جهت تشکیل ژل حرارتی حین سرخ‌کردن باشد که به عنوان مانعی در برابر خروج بیشتر رطوبت عمل نموده و آهنگ وقوع پدیده‌های انتقال جرم را کاهش می‌دهد. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد [۷، ۱۱، ۱۴، ۱۶ و ۱۷]. رونقی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که قطعات سیب‌زمینی پوشش‌دهی شده با CMC و سرخ شده، در مقایسه با نمونه شاهد به طور معنی‌داری دارای رطوبت بالاتری بودند [۱۴]. قابلیت حفظ رطوبت نمونه توسط پوشش‌های هیدروکلونیدی مختلف یکسان نیست و میزان حفظ رطوبت با افزایش غلظت صمغ افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند به علت افزایش ضخامت فیلم یا ژل حرارتی تشکیل شده توسط پوشش‌های هیدروکلونیدی باشد [۱۷]. در پژوهشی دیگر، حفظ رطوبت بیشتر در نمونه‌های تیمار شده با صمغ‌های CMC و گوار در مقایسه با نمونه شاهد گزارش شد [۱۱].

علاوه بر این، محتوای رطوبت بالاتر نمونه‌های پوشش‌دهی شده با صمغ دانه ریحان در مقایسه با سایر تیمارها احتمالاً می‌تواند به دلیل تشکیل بهتر ژل حرارتی و فراهم ساختن امکان بیشتر برای کاهش خروج رطوبت و در نتیجه کاهش جذب روغن (با توجه به همبستگی بالای بین این دو پدیده انتقال جرم) باشد. نتایج مشابهی توسط زمانی قلعه‌شاهی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شد [۱۷]. این پژوهشگران گزارش نمودند که نمونه‌های پوشش‌دهی شده با صمغ دانه ریحان دارای بالاترین قابلیت حفظ رطوبت در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه‌های تیمار شده با متیل سلولز و گزانتان بودند. قابل ذکر است که ایجاد اتصالات عرضی در کنار تشکیل ژل حرارتی حین فرآوری در دماهای بالای سرخ‌کردن نیز می‌تواند با کاهش تعداد منافذ عریض و باز در سطح ماده غذایی، منجر به کاهش وقوع انتقال جرم گردد.

از طرف دیگر، شکل ۲ (b) روند تغییرات محتوای روغن با گذشت زمان را برای تیمارهای مختلف سرخ شده نشان می‌دهد که مقایسه میانگین نیز بین کل تیمارهای سرخ شده در

1. Puri (poori)

یافته‌های سایر پژوهشگران در ارتباط با روند تغییرات محتوای روغن طی فرآیند سرخ‌کردن و همچنین قابلیت مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی سینتیک جذب روغن در تطابق است [۸، ۱۳ و ۱۹]. در پژوهش انجام شده توسط علیزاده و همکاران (۲۰۱۳) و همچنین نقوی و همکاران (۲۰۱۳) نیز مدل‌های نمایی دارای توانایی بهتری برای پیش‌بینی تغییرات محتوای روغن قطعات سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن عمیق در مقایسه با مدل‌های غیرنمایی یا چندجمله‌ای درجه دوم بودند [۱۳ و ۱۹]. بنابراین، از آنجا که مدل‌سازی رگرسیونی می‌تواند روشی ساده و مفید برای پیش‌بینی تغییرات پدیده‌های انتقال جرم طی سرخ‌کردن محصولات غذایی باشد، مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده در پژوهش حاضر (به ویژه مدل پیشنهادی ۶، جدول ۱) می‌توانند در پژوهش‌های آتی بیشتر مورد توجه واقع شوند و کارایی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. شکل ۳ برازش داده‌های آزمایشی محتوای روغن برای نمونه شاهد سرخ‌شده در چهار زمان ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه را با مدل ۶ (جدول ۱) نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مدل تجربی بکار رفته (خط ممتد) با انطباق خوب بر داده‌های آزمایشی (نقاط) به خوبی داده‌های آزمایشی جذب روغن را برازش نموده است که در تطابق با مقادیر به دست آمده برای R^2 بالا و RMSE پایین در جدول ۲ (مدل ۶) است. روند مشابهی برای سایر تیمارها مشاهده شد (سایر نمودارها نشان داده نشده است). با توجه به کارایی بیشتر مدل ۶، پارامترهای ثابت به دست آمده برای این مدل پس از برازش با داده‌های آزمایشی در جدول ۳ ارائه شده است.

در مقایسه CMC (به عنوان یکی از معمول‌ترین صمغ‌های مورد استفاده در سرخ‌کردن عمیق محصولات غذایی) در پژوهش حاضر می‌تواند حائز اهمیت باشد و با انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه، شرایط را برای کاربرد نیمه‌صنعتی یا تولید تجاری این صمغ برای کاربرد جدید در سرخ‌کردن عمیق مواد غذایی فراهم نماید.

۳-۲- مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون

غیر خطی

جدول ۲ نتایج به دست آمده برای پارامترهای آماری برای برازش داده‌های آزمایشی محتوای روغن (با استفاده از نرم‌افزار MATLAB) با ۶ مدل تجربی مختلف (جدول ۱) را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۲ و بر حسب دو معیار آماری R^2 و RMSE، همه مدل‌های استفاده شده به خوبی داده‌های آزمایشی جذب روغن را برازش نمودند. با این حال، مدل شماره ۶ با داشتن مقادیر R^2 بالاتر و RMSE پایین‌تر، نسبت به سایر مدل‌ها قادر به پیش‌بینی بهتر سینتیک جذب روغن تیمارهای مختلف سرخ شده بود. علاوه بر این، با توجه به اثبات رفتار نمایی جذب روغن با افزایش زمان سرخ‌کردن (کاهش آهنگ جذب روغن با گذشت زمان فرآیند و رسیدن به محتوی روغن تعادلی) در اکثر کارهای پژوهشی صورت گرفته، می‌توان بیان کرد که مدل‌های نمایی یا مدل‌های تبعیت‌کننده از رفتار نمایی، مدل‌های بهتری جهت برازش داده‌های آزمایشی جذب روغن جهت دستیابی به ضریب تبیین (R^2)

بیشتر و میزان خطای کمتر خواهند بود [۱۹]. این نتایج با

Table 2 Statistical analysis of models (Table 1) for the oil uptake of different treatments

Model number	(1)		(2)		(3)	
Treatment	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Control	0.9939	0.0086	0.9949	0.0079	0.9949	0.0079
CMC 0.5%	0.9904	0.0102	0.9912	0.0097	0.9912	0.0097
CMC 1%	0.9881	0.0106	0.9887	0.0103	0.9887	0.0103
Guar 0.5%	0.9918	0.0096	0.9927	0.0091	0.9927	0.0091
Guar 1%	0.9844	0.0129	0.9852	0.0125	0.9852	0.0125
BSG 0.5%	0.9880	0.0110	0.9887	0.0107	0.9887	0.0107
BSG 1%	0.9852	0.0112	0.9859	0.0109	0.9859	0.0109
Model number	(4)		(5)		(6)	
Treatment	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Control	0.9939	0.0085	0.9886	0.0117	0.9983	0.0059
CMC 0.5%	0.9904	0.0101	0.9853	0.0126	0.9971	0.0048
CMC 1%	0.9881	0.0105	0.9837	0.0124	0.9957	0.0077
Guar 0.5%	0.9918	0.0096	0.9865	0.0123	0.9985	0.0050
Guar 1%	0.9844	0.0128	0.9789	0.0150	0.9970	0.0068
BSG 0.5%	0.9880	0.0110	0.9833	0.0130	0.9987	0.0044
BSG 1%	0.9852	0.0111	0.9802	0.0129	0.9999	0.0010

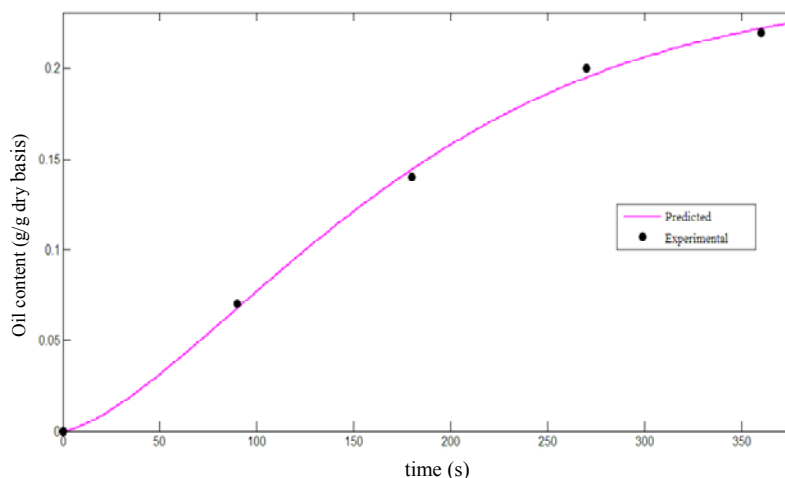


Fig 3 The fitting experimental data of oil uptake with model 6 (Table 1) as the best model selected

Table 3 Constants obtained for the model 6 (Table 1) for the prediction of the oil uptake kinetics

Treatment	Constants (model 6)		
	a	b	c
Control	0.2564	0.00082	1.352
CMC 0.5%	0.2344	0.00032	0.527
CMC 1%	0.2226	0.00030	0.525
Guar 0.5%	0.2417	0.00045	0.463
Guar 1%	0.2245	0.00015	1.670
BSG 0.5%	0.2243	0.00019	1.626
BSG 1%	0.1974	0.00010	1.744

۴- نتیجه گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که همه صمغ‌های مورد استفاده (صمغ دانه ریحان، گوار و CMC) منجر به کاهش معنی‌دار خروج رطوبت و جذب روغن شدند ($p < 0.05$). در این ارتباط، به ترتیب صمغ‌های دانه ریحان، CMC و گوار عملکرد بهتری داشتند. با افزایش غلظت صمغ از ۰/۵ به ۱٪، میزان کاهش محتوای روغن نمونه‌های مختلف افزایش یافت ($p < 0.05$). همچنین، همبستگی بالایی بین خروج رطوبت و جذب روغن مشاهده شد ($R^2 = 0.9978$). از بین مدل‌های سینتیکی مورد استفاده، مدل پیشنهاد شده در مطالعه حاضر به دلیل داشتن R^2 بالاتر و RMSE پایین‌تر به عنوان بهترین مدل برای برازش داده‌های آزمایشی جذب روغن انتخاب شد. در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پیش‌تیمار پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان به عنوان یک روش امیدوارکننده برای کاهش جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ‌شده می‌تواند در پژوهش‌های آتی (برای مقایسه با سایر صمغ‌های تجاری) بیشتر مد نظر قرار گیرد.

۵- منابع

- [1] Durán, M., Pedreschi, F., Moyano, P., & Troncoso, E. 2007. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 257-265.
- [2] FAO, 2013. Available from: URL: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor>
- [3] Farkas, B., Singh, R., & Rumsey, T. 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I, model development. *Journal of Food Engineering*, 29(2), 211-226.
- [4] Ziaifar, 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 deep-fat frying process. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(8), 1410-1423.
- [5] Moreno, M. C., Brown, C. A., & Bouchon, P. 2010. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *Journal of Food Engineering*, 101(2), 179-186.
- [6] Dehghannya, J., Naghavi, E. A., & Ghan-

- Food Research (in Persian), 23(3), 329-346.
- [15] Sharayei P, Farhoosh R, Poorazarang H, & M, H.-K. 2013. Effect of bene kernel oil and its unsaponifiable matter fraction and salep hydrocolloid during deep fat frying on kinetic oil uptake by potato strips. *Journal of Agricultural Engineering Research [in Persian]*, 14(3), 97-112.
- [16] Yazdanseta, P., Tarzi, B. G., & Ghara-chorloo, M. 2015. Effect of some hydrocolloids on reducing oil uptake and quality factors of fermented donuts. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6, 233-241.
- [17] Zamani Ghalesahi, A., Farhoosh, R., & Razavi, S. M. A. 2015. Effect of Basil seed hydrocolloid on the oil uptake and physical properties of potato strips during deep-fat frying. *Iranian Food Science and Technology*, 11(4), 309-318.
- [18] Razavi, S., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., & Khanipour, E. 2009. Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), 1755-1762.
- [19] Naghavi, E. A., Dehghannya, J., & Ghanbarzadeh, B. 2013. Oil uptake modeling during deep-fat frying of potato strips pretreated with ultrasound and drying. *Journal of Food Research (in Persian)*, 23(3), 393-410.
- [20] AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- [21] Krokida, M., Oreopoulou, V., & Maroulis, Z. 2000. Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering*, 44(1), 39-46.
- [22] Moyano, P. C., & Pedreschi, F. 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 285-291.
- barzadeh, B. 2015. Frying of Potato Strips Pretreated by Ultrasound-Assisted Air-Drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4), 583-592.
- [7] Zhu, Y.-y., Zhang, M., & Wang, Y.-q. 2015. Vacuum frying of peas: effect of coating and pre-drying. *Journal of Food science and Technology*, 52(5), 3105-3110.
- [8] Abedpour, L., & Dehghannya, J. 2016. Investigation of oil uptake during potato strips deep-fat frying pretreated with ultrasound and osmotic dehydration. *Journal of Food Science & Technology (in Persian)*, 13(50), Published online.
- [9] Albert, S., & Mittal, G. S. 2002. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Research International*, 35(5), 445-458.
- [10] Kim, D. N., Lim, J., Bae, I. Y., Lee, H. G., & Lee, S. 2011. Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering*, 102(4), 317-320.
- [11] Parimala, K., & Sudha, M. 2012. Effect of hydrocolloids on the rheological, microscopic, mass transfer characteristics during frying and quality characteristics of puri. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 191-200.
- [12] Garmakhany, A. D., Mirzaei, H., Maghsudlo, Y., Kashaninejad, M., & Jafari, S. 2014. Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1334-1341.
- [13] Alizadeh, S., Dehghannya, J., & Sowit-Khiabani, M. 2013. Effect of blanching and edible hydrocolloids on reducing oil uptake during frying of sliced potato. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology (in Persian)*, 1(1), 21-36.
- [14] Ronaghi, T., & Dehghannya, J. 2013. Kinetic modeling of water loss in potato slices pretreated with ultrasound and edible coating during deep-fat frying process. *Journal of*

Comparative Investigation of Barrier Effect of Basil Seed Gum, Carboxymethyl Cellulose and Guar on Mass Transfer during the Deep-Fat Frying of Potato Strips and Regression Modeling of Oil Absorption Kinetic

Naghavi, E. A.^{1*}, Rasoul Ghorbani², Samira Bagherzadeh³

1. Young Researchers and Elite Club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Urmia

3. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Sari

(Received: 2016/04/03 Accepted: 2016/12/05)

Regression modeling can be a simple and useful method to predict changes of mass transfer phenomena during the food frying. In the present study, the effect of coating with Basil seed gum (BSG, as a new hydrocolloid) on moisture content and oil absorption of fried potato strips was investigated. Also, the influence of BSG on mass transfer was compared to potato strips pretreated with guar and carboxymethyl cellulose (CMC). Moreover, the kinetics of oil absorption were investigated by nonlinear regression modeling. Coating with hydrocolloids of Basil seed gum, guar gum and CMC were performed in the concentrations of 0.5 and 1%. The conditions for deep-fat frying of samples were temperature of 190°C and times of 90, 180, 270 and 360 seconds. Uncoated samples were considered as controls. MATLAB software was used to fit the experimental data of oil content with six empirical models. Also, the two criteria of R^2 and RMSE were used to determine the best model. The results showed that all gums resulted in significant reduction in moisture loss and oil absorption ($p < 0.05$). In this regard, basil seed, CMC and guar gums had better performance, respectively. With the increasing gum concentration from 0.5 to 1%, the reduction level in oil content was increased in different samples ($p < 0.05$). Also, among the regression models used, the model proposed in the present study was selected as the best model to fit the experimental data of oil absorption due to higher R^2 and lower RMSE. The use of coating by Basil seed gum can be more considered in next researches (for comparing with other commercial gums) as a promising method for reducing oil content in potato strips.

Keywords: Mass transfer, Basil seed gum, Guar gum, Carboxymethyl cellulose, Modeling

* Corresponding Author E-Mail Address: enayat.naghavi@gmail.com