

مدل‌سازی جذب روغن طی سرخ کردن عمیق قطعات سیب‌زمینی پیش‌تیمارشده با فراصوت و خشک کردن

عنایت‌الله نقوی^۱، جلال دهقان‌نیا^{۲*} و بابک قنبرزاده^۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۹

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

^۲ به ترتیب استادیار و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: J_dehghannya@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر میزان جذب روغن و ویژگی‌های حسی قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی و همچنین، جذب روغن نمونه‌ها مدل‌سازی شد. بدین منظور، پیش‌تیمار فراصوت در دو سطح فرکانس ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز و زمان ۱۵ دقیقه و همچنین، پیش‌تیمار خشک‌کردن در دو زمان ۸ و ۱۵ دقیقه و دمای 80°C صورت گرفته و سپس، سرخ‌کردن قطعات سیب‌زمینی در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و 190°C به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه انجام شد. برای مدل‌سازی جذب روغن، داده‌های آزمایشی با شش مدل تجربی (۲ مدل از کارهای پژوهشی قبلی و ۴ مدل پیشنهادی در این پژوهش) برازش شد. نتایج نشان داد که در نمونه‌های پیش‌تیمارشده با فراصوت، دمای سرخ‌کردن 150°C در کاهش جذب روغن، نسبت به نمونه‌های شاهد (قطعات مستطیلی به ابعاد $4 \times 1/2 \times 1/2 \text{ cm}^3$) سرخ‌شده در شرایط دما و زمان سرخ‌کردن مشابه، بهترین نتیجه را حاصل می‌کند؛ اگرچه این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همچنین، نمونه‌های پیش‌تیمارشده با خشک‌کردن و نمونه‌های پیش‌تیمارشده با فراصوت و خشک‌کردن به صورت تلفیقی نیز جذب روغن را نسبت به نمونه شاهد کاهش دادند؛ به طوری که این کاهش در برخی نمونه‌ها معنی‌دار و در برخی دیگر غیرمعنی‌دار بود. علاوه بر این، تمامی مدل‌های به کار رفته، به خوبی داده‌های آزمایشی را برازش کردند. از طرف دیگر، از طریق انجام تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره، مدل‌هایی با R^2 بالا جهت کاربرد در شرایط مختلف زمان و دمایی فرآیند سرخ‌کردن عمیق، پیشنهاد شد. از لحاظ ارزیابی حسی نیز، بین نمونه‌های مختلف سرخ‌شده از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در ارتباط با فاکتورهای مورد ارزیابی مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: فراصوت، جذب روغن، خشک‌کردن، سرخ‌کردن عمیق، سیب‌زمینی، مدل‌سازی

Oil uptake modeling during deep-fat frying of potato strips pretreated with ultrasound and drying

E Naghavi¹, J Dehghannya^{2*} and B Ghanbarzadeh²

Received: July 6, 2012 Accepted: September 10, 2013

¹Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Assistant Professor and Associate Professor, respectively, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: E-mail: J_dehghannya@tabrizu.ac.ir

Abstract

In this study, the effect of different pretreatments on oil uptake and sensory characteristics of fried potato slices was investigated and also oil uptake of the samples was modeled. Ultrasound pretreatment was performed at 28 and 40 kHz for 15 min and drying pretreatments were conducted at 80°C for 8 and 15 min. Then, the frying process was done at 150, 170 and 190°C for 60, 120, 180 and 240 seconds. In order to model the oil uptake, experimental data were fitted with six empirical models (2 models from published literature works and 4 models proposed in this study). The results showed that ultrasound-pretreated samples achieved the best result in decreasing oil uptake at the frying temperature of 150°C, compared to the control samples (rectangular slices with dimensions of 4×1.2×1.2 cm³) fried at similar frying time and temperature conditions; although the decrease was not statistically significant. Moreover, the samples pretreated with drying as well as combination of ultrasound and drying reduced oil uptake in comparison with the control samples. The decrease was significant in some samples and insignificant in some others. In addition, all the models used were well fitted to the experimental data. On the other hand, through multiple regression analysis, various models with high R² were proposed to be applied at different circumstances of time and temperature during deep-fat frying process. Between different fried samples, in terms of sensory evaluation, no statistical significant difference was observed among the evaluated factors.

Keywords: Deep-fat frying, Drying, Modeling, Oil uptake, Potato, Ultrasound

مقدمه

سرخ کردن عمیق در روغن، یک فرآیند انتقال جرم و حرارت همزمان می‌باشد که طی آن، حرارت از روغن به سطح ماده غذایی توسط روش همرفت و از سطح به داخل ماده توسط روش رسانش منتقل می‌شود (ضیائی‌فر و همکاران ۲۰۰۹). در این ارتباط، مطالعه انتقال حرارت حین فرآیند جهت افزایش آگاهی در مورد خصوصیات ترموفیزیکی محصول ضروری می‌باشد. این آگاهی به نوبه خود می‌تواند جهت انجام مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری مورد استفاده قرار گیرد (فارکاس و همکاران ۱۹۹۶؛ ضیائی‌فر و

همکاران ۲۰۰۹). از طرف دیگر، در مطالعه انتقال جرم طی فرآیند سرخ کردن، در نتیجه بکارگیری دماهای بالا، قسمت عمده آب ماده غذایی به شکل بخار از آن خارج شده و در مقابل روغن توسط ماده غذایی جذب می‌شود. جذب روغن توسط ماده غذایی یک مسئله مهم بوده و کیفیت تغذیه‌ای و حسی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ملما ۲۰۰۳). علاوه بر این، جذب روغن تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد (دانا و ساگوی ۲۰۰۶، ضیائی‌فر و همکاران ۲۰۰۸ و مورنو و همکاران ۲۰۱۰). حین فرآیند سرخ کردن و به ویژه در محتوی رطوبتی بالا، خروج شدید آب به شکل بخار از ماده غذایی و

کردن عمیق نیز می‌تواند یکی از این پیش‌تیمارها برای کاهش محتوی روغن در محصول سرخ‌شده باشد. امواج فراصوت، با ایجاد انقباض و انبساط‌های متوالی (اثر اسفنجی^۳) در ماده غذایی، باعث تشکیل کانال‌های میکروسکوپی و سهولت خروج آب از داخل محصول از طریق این کانال‌ها می‌شوند (فرناندز و همکاران ۲۰۰۹ و رودریگوئز و همکاران ۲۰۰۹). بنابراین، می‌توان انتظار داشت که استفاده از فراصوت به عنوان پیش‌تیمار قبل از فرآیند سرخ‌کردن، باعث افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت و کاهش زمان سرخ‌کردن و در نتیجه، منجر به بهبود ویژگی‌های کیفی محصول سرخ‌شده شود.

گوپتا و همکاران (۲۰۰۰)، اثر مدت زمان پیش‌تیمار خشک‌کردن بر روی سینتیک جذب روغن قطعات سیب‌زمینی طی فرآیند سرخ‌کردن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان جذب روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با خشک‌کردن، نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا می‌کند. همچنین، کروکیدا و همکاران (۲۰۰۱b)، اثر مدت زمان پیش‌تیمار خشک‌کردن بر روی محتوی روغن قطعات سیب‌زمینی، طی فرآیند سرخ‌کردن در دمای ۱۷۰°C و زمان‌های سرخ‌کردن مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نیز مشابه پژوهش گوپتا و همکاران (۲۰۰۰) بود. علاوه بر این، پدرسچی و مویانو (۲۰۰۵)، اثر پیش‌تیمار خشک‌کردن بر جذب روغن نمونه‌های مختلف چپیس سیب‌زمینی (نمونه‌های آنزیم-بری شده و نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آنزیم‌بری و خشک‌کردن به صورت تلفیقی) را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که پیش‌تیمار خشک‌کردن، به طور معنی‌داری محتوی روغن در ورقه‌های سیب‌زمینی آنزیم‌بری شده را بعد از سرخ‌کردن کاهش می‌دهد.

از طرف دیگر، برای بررسی بهتر تغییرات کمی و کیفی محصول سرخ‌شده، مدل‌سازی جذب روغن طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق ضروری می‌باشد (تریسترام ۲۰۱۲). پژوهش‌های زیادی پیرامون مدل‌سازی به روش‌های

ایجاد فشار بخار زیاد در داخل منافذ، مانع از نفوذ روغن به داخل ساختار متخلخل ماده غذایی می‌شود و در نتیجه، جذب روغن حین فرآیند سرخ‌کردن محدود می‌شود (بوچون و همکاران ۲۰۰۳، ملما ۲۰۰۳، ضیائی-فر و همکاران ۲۰۰۸ و مورنو و همکاران ۲۰۱۰). در مقابل، بعد از خارج کردن ماده غذایی از داخل سرخ‌کن، بخار موجود در منافذ کندانس می‌شود و در نتیجه، فشار بخار در داخل محصول سرخ‌شده به طور ناگهانی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، در نتیجه ایجاد اختلاف فشار قابل توجه بین بخش داخلی و بیرونی محصول سرخ‌شده، یک اثر خلأ^۱ ایجاد می‌شود و این مسئله منجر به نفوذ روغن موجود در سطح محصول سرخ‌شده به داخل آن، از طریق منافذ و مسیرهای موئین^۲ ایجاد شده در نتیجه خروج رطوبت طی فرآیند سرخ‌کردن می‌شود (گامبل و همکاران ۱۹۸۷ و ضیائی‌فر و همکاران ۲۰۰۸). بنابراین، روغن عمدتاً در پایان فرآیند سرخ‌کردن و بعد از خارج کردن ماده غذایی از داخل سرخ‌کن (شروع دوره سرد کردن) جذب می‌شود (آفیل و ایشر ۱۹۹۶، بوچون و همکاران ۲۰۰۳، ملما ۲۰۰۳، دوران و همکاران ۲۰۰۷ و ضیائی‌فر و همکاران ۲۰۱۰).

روش‌های مختلفی برای کاهش جذب روغن توسط ماده غذایی در حین سرخ‌کردن عمیق پیشنهاد شده است. در این ارتباط، پیش‌تیمار خشک‌کردن از طریق کاهش محتوی آب اولیه ماده غذایی، منجر به کاهش زمان فرآیند سرخ‌کردن شده (کروکیدا و همکاران ۲۰۰۱b) و جذب روغن طی این فرآیند را کاهش می‌دهد (لامبرگ و همکاران ۱۹۹۰، کروکیدا و همکاران ۲۰۰۱ a,b و مویانو و همکاران ۲۰۰۲). بنابراین، این پیش‌تیمار به دلیل کاهش جذب روغن و بهبود ویژگی‌های حسی (افزایش تردی) محصول سرخ‌شده، می‌تواند مورد توجه باشد (دبنات و همکاران ۲۰۰۳).

علاوه بر خشک‌کردن، استفاده از فراصوت قبل از سرخ-

¹ Vacuum effect

² Capillary pathways

³ Sponge effect

تجربی (کروکیدا و همکاران ۲۰۰۰؛ مویانو و پدرسچی ۲۰۰۶)، بنیادی^۱ (یام‌سنگ‌سان و موریرا ۲۰۰۲ a,b)، سطح پاسخ (هاشمی شهرکی و همکاران ۲۰۱۲) و شبکه عصبی مصنوعی (محبی و همکاران ۲۰۱۱) در فرآیند سرخ‌کردن انجام شده است. گامبل و همکاران (۱۹۸۷)، داده‌های آزمایشی جذب روغن (O) ورقه‌های سیب‌زمینی را با زمان سرخ‌کردن (t) به طریق زیر مرتبط کردند.

$$O = a.t + b \quad [1]$$

$$O = a.t^2 + b \quad [2]$$

با این حال، این روابط در کارهای پژوهشی دیگر به ندرت استفاده شده است.

مویانو و پدرسچی (۲۰۰۶)، سینتیک جذب روغن طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق ورقه‌های سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده (آنزیم‌بری و همچنین آنزیم‌بری و خشک‌کردن) را بررسی کردند. در این مطالعه، از دو مدل تجربی (جدول ۲، مدل ۵ و ۶) برای بررسی سینتیک جذب روغن طی فرآیند سرخ‌کردن نمونه‌ها استفاده شد. همچنین، ترانکوزو و پدرسچی (۲۰۰۹)، مدل‌سازی جذب روغن طی سرخ‌کردن عمیق تحت خلأ و فشار اتمسفری ورقه‌های سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده با آنزیم‌بری و خشک‌کردن را انجام دادند. در این مطالعه، برای مدل‌سازی جذب روغن، داده‌های آزمایشی با یک مدل تجربی (جدول ۲، مدل ۵) برازش شد. علاوه بر این، محبی و همکاران (۲۰۱۱)، مدل‌سازی محتوی روغن نمونه‌های قارچ پیش‌تیمار شده با آگیری اسمزی و پوشش‌دهی شده با متیل سلولز را با استفاده از الگوریتم ژنتیکی - شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که مدل حاصل از روش ترکیبی الگوریتم ژنتیکی - شبکه عصبی مصنوعی، به خوبی داده‌های آزمایشی را پیش‌گویی می‌کند ($R^2 = 96\%$). از طرف دیگر، پژوهش امیریوسفی و همکاران (۲۰۱۲)، در بررسی سینتیک جذب روغن نمونه‌های گوشت شترمرغ

پخته شده به‌طور مقدماتی^۲ با مایکروویو و سپس سرخ‌شده در دماهای مختلف نشان داد که بسته به شرایط فرآیند، مقدار ثابت سرعت (k) موجود در مدل کروکیدا و همکاران (جدول ۲، مدل ۶)، در محدوده $19/70 \text{ s}^{-1}$ - $0/24$ تغییر می‌کند. همچنین، سورگی و همکاران (۲۰۱۲)، در بررسی سینتیک جذب روغن نمونه‌های ناگت جوجه پیش‌تیمار شده با مایکروویو و متیل سلولز و سپس سرخ‌شده در دماهای مختلف پی بردند که مدل تجربی کروکیدا و همکاران (جدول ۲، مدل ۶)، به خوبی آهنگ تغییرات محتوی روغن نمونه‌ها را طی فرآیند سرخ‌کردن پیش‌گویی می‌کند. علاوه بر این، هاشمی شهرکی و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی جهت بهینه‌سازی شرایط سرخ‌کردن خلال‌های سیب‌زمینی و بررسی کارایی الگوریتم‌های ژنتیکی برای بهبود مدل‌های حاصل از روش سطح پاسخ (RMS)^۳ به این نتیجه رسیدند که در ارتباط با جذب روغن، مدل‌های بهینه‌سازی شده با الگوریتم‌های ژنتیکی ($R^2 = 94/3\%$)، نسبت به مدل‌های حاصل از روش سطح پاسخ ($R^2 = 93/02\%$)، با داده‌های آزمایشی برازش بهتری دارند؛ اگرچه اختلاف موجود بین این دو روش غیرمعنی‌دار بود. در این پژوهش، یک مدل درجه دوم برای توصیف محتوی روغن به عنوان تابعی از متغیرهای فرآیند (توان مایکروویو، زمان مایکروویو دما و زمان سرخ‌کردن) با $R^2 = 95/51\%$ به دست آمد.

بر اساس اطلاعات موجود، در ارتباط با تأثیر فراصوت بر میزان جذب روغن توسط ماده غذایی طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق، تاکنون پژوهشی صورت نگرفته است و این پژوهش، با هدف بررسی تأثیر این پیش‌تیمار به همراه تلفیق آن با پیش‌تیمار خشک‌کردن بر جذب روغن قطعات سیب‌زمینی طی این فرآیند و همچنین، مدل‌سازی تجربی سینتیک جذب روغن نمونه‌های سرخ‌شده انجام شد.

² Precooked³ Response surface methodology (RSM)¹ Fundamental

مواد و روش‌ها**مواد**

در این پژوهش، سیب‌زمینی و روغن مایع به عنوان مواد خام، مورد استفاده قرار گرفتند. سیب‌زمینی (رقم آگریا) از بازار محلی خریداری و قبل از انجام آزمایشات در سردخانه بالای صفر (12°C) نگهداری شد. روغن مورد استفاده در این مطالعه، روغن مایع مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، سویا و پنبه-دانه، با نام تجاری بهار) بود.

تجهیزات

در این پژوهش، از یک سرخ‌کن خانگی (مدل F430.R با ظرفیت ۲/۲ لیتر روغن، ساخت فرانسه، مجهز به سیستم تنظیم دما در محدوده 150°C تا 190°C)، خشک‌کن سینی‌دار طراحی شده در مقیاس آزمایشگاهی (مدل UOP 8 Tray dryer, Armfield, UK، مجهز به سیستم ثبت خودکار داده‌ها، واحد کنترل‌کننده دما، شدت جریان و رطوبت نسبی هوا) برای انجام پیش‌تیمار خشک‌کردن، دستگاه حمام فراصوت (مدل USD - 4R، ساخت ژاپن، شرکت TAKASHI، مجهز به سیستم تنظیم فرکانس و زمان اولتراسونیکاسیون) استفاده شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای انجام هر آزمایش، سیب‌زمینی‌ها پس از شستشو و پوست‌گیری، توسط یک کاتر دستی طراحی شده به ابعاد $4 \times 1/2 \times 1/2 \text{cm}$ (ارتفاع \times عرض \times طول)، به قطعات مکعب مستطیلی برش داده شدند. نمونه‌های برش‌داده شده جهت جلوگیری از اتلاف رطوبت در درون یک پلیت (پتری‌دیش) آزمایشگاهی درب‌دار قرار گرفته و قبل از سرخ‌کردن، جهت حذف نشاسته سطحی با آب مقطر شسته شدند و آب اضافی سطحی نیز توسط یک کاغذ رطوبت‌گیر گرفته شد. از این مرحله به بعد، نمونه‌ها بر حسب انجام نوع پیش‌تیمار، به چند دسته تقسیم شدند (جدول ۱):

۱: نمونه‌های شاهد که بلافاصله در دما و زمان مورد نظر سرخ شدند.

۲ و ۳: نمونه‌هایی که جهت انجام اولتراسونیکاسیون، در حمام فراصوت در معرض فرکانس‌های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز و مدت زمان ۱۵ دقیقه به طور مجزا قرار گرفتند.

۴ و ۵: نمونه‌هایی که جهت انجام پیش‌تیمار خشک‌کردن، در دستگاه خشک‌کن سینی‌دار، در دمای 80°C ، زمان‌های ۸ و ۱۵ دقیقه و سرعت هوای $1/5$ متر بر ثانیه به طور مجزا قرار گرفتند.

۶، ۷، ۸ و ۹: نمونه‌هایی که جهت انجام تلفیقی از پیش‌تیمارهای فراصوت و خشک‌کردن، ابتدا در حمام فراصوت در معرض فرکانس‌های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز و مدت‌زمان ۱۵ دقیقه به طور مجزا قرار گرفتند و سپس در دستگاه خشک‌کن سینی‌دار، در دمای 80°C ، زمان‌های ۸ و ۱۵ دقیقه و سرعت جریان هوای $1/5$ متر بر ثانیه به طور مجزا خشک شدند.

شرایط سرخ‌کردن

در هر آزمایش پس از آماده‌سازی نمونه‌ها (بر اساس جدول ۱)، جهت سرخ‌کردن آنها، ابتدا سرخ‌کن با $1/5$ لیتر روغن پر شد و بعد از تنظیم دما و زمان سرخ‌کردن موردنظر، سرخ‌کن بر روی حالت خودکار قرار داده شد؛ به طوری‌که پس از رسیدن دمای سرخ‌کن به دمای موردنظر، نمونه‌های سیب‌زمینی به میزان 120g - 100g گرم در داخل سبد مشبک سرخ‌کن قرار داده شدند و سپس سبد حاوی نمونه‌ها، به طور خودکار در روغن غوطه‌ور شد. پس از سرخ‌شدن نمونه‌ها به مدت زمان موردنظر، نمونه‌ها از سرخ‌کن بیرون آورده شدند و روغن اضافی آنها توسط یک دستمال کاغذی گرفته شد و بلافاصله آزمایش‌های مربوطه بر روی آنها انجام گرفت. تمامی آزمایشات با ۲ تکرار انجام شد و داده‌های گزارش شده، میانگین داده‌های آزمایشی هستند.

آزمایشات**محتوی رطوبت**

محتوی رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده، از طریق خشک‌کردن آنها در آون همرفتی در دمای $105 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ، تا

از سرخ‌شدن و دادن کد، به طور تصادفی توسط ارزیاب‌ها (به صورت انفرادی)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. شش ویژگی حسی شامل شاخص‌های رنگ (زرد کم‌رنگ: ۱؛ زرد طلایی: ۵)، بافت (خیلی نرم: ۱؛ ترد: ۵)، طعم (طعم روغنی بسیار زیاد: ۱؛ بسیار کم: ۵)، شکل ظاهری (چروکیدگی خیلی زیاد: ۱؛ چروکیدگی خیلی کم: ۵)، بو (بوی روغنی خیلی ملایم: ۱؛ خیلی شدید: ۵) و ارزیابی کلی (بر اساس ۵ شاخص ذکر شده)، مورد ارزیابی قرار گرفت.

تحلیل آماری

در این مطالعه، ۹ تیمار نشان داده شده در جدول ۱، در سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰°C و چهار زمان ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه سرخ شدند و کلیه آزمایشات در دو تکرار ($2 \times 4 \times 3 = 24$) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. همچنین، برای مقایسه میانگین از آزمون بونفرونی^۴ (استیبل و همکاران ۱۹۹۷) در سطح احتمال ۹۵٪ ($P < 0.05$) استفاده شد.

نتایج و بحث

جذب روغن

شکل ۱- الف، محتوی روغن نمونه‌های شاهد سرخ‌شده در ۴ زمان ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه و ۳ دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰°C را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل پیداست، در تمامی دماها، با افزایش زمان سرخ‌کردن، محتوی روغن نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند؛ به طوری که جذب روغن در فواصل زمانی اولیه، یک رفتار نمایی را نشان می‌دهد و آهنگ جذب روغن با گذشت زمان (از ۶۰ به ۲۴۰ ثانیه) کاهش یافته و به سمت حالت تعادلی سوق پیدا می‌کند. نتایج مشابهی توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (کروکیدا و همکاران

رسیدن به وزن ثابت انجام شد (AOAC ۱۹۹۰) و در نهایت بر حسب گرم رطوبت بر گرم ماده خشک بدون روغن گزارش شد.

محتوی روغن

محتوی روغن نمونه‌های سرخ‌شده از طریق استخراج روغن آنها در دستگاه سوکسله، با استفاده از حلال پترولیوم اتر اندازه‌گیری گردید (AOAC ۱۹۹۵) و بر حسب گرم روغن بر گرم ماده خشک بدون روغن گزارش شد.

مدلسازی ریاضی

در این پژوهش، مدل‌سازی جذب روغن قطعات سیب-زمینی طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق، بر حسب زمان صورت گرفت و از شش مدل تجربی استفاده شد (جدول ۲). پارامترهای مربوط به این مدل‌ها، از طریق برازش داده‌های آزمایشی با آن‌ها، در نرم‌افزار MATLAB (Version 7.12.0.635, R2011a) بدست آمدند. برای تعیین بهترین مدل، از دو معیار ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) استفاده شد. با توجه به این دو معیار، مدلی که دارای R^2 بالاتر و RMSE پایین‌تر بود، به عنوان مدل بهتر انتخاب شد. همچنین، به منظور یافتن رابطه بین ضرایب مدل‌ها و متغیرهای مرتبط با فرآیند سرخ‌کردن (زمان پیش‌تیمار خشک‌کردن، فرکانس پیش‌تیمار فراصوت و دمای فرآیند سرخ‌کردن)، از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره^۲ در نرم افزار Excel 2007 استفاده شد و معیار ضریب تبیین (R^2) برای انتخاب بهترین رابطه در نظر گرفته شد.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌های سرخ‌شده در دمای ۱۹۰°C و زمان‌های ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه، توسط ۱۰ ارزیاب آموزش ندیده^۳ (۲۴ تا ۲۸ ساله) انجام شد. این ارزیاب‌ها از بین دانشجویان کارشناسی ارشد انتخاب شدند. نمونه‌ها بعد

¹ Root Mean Square Error

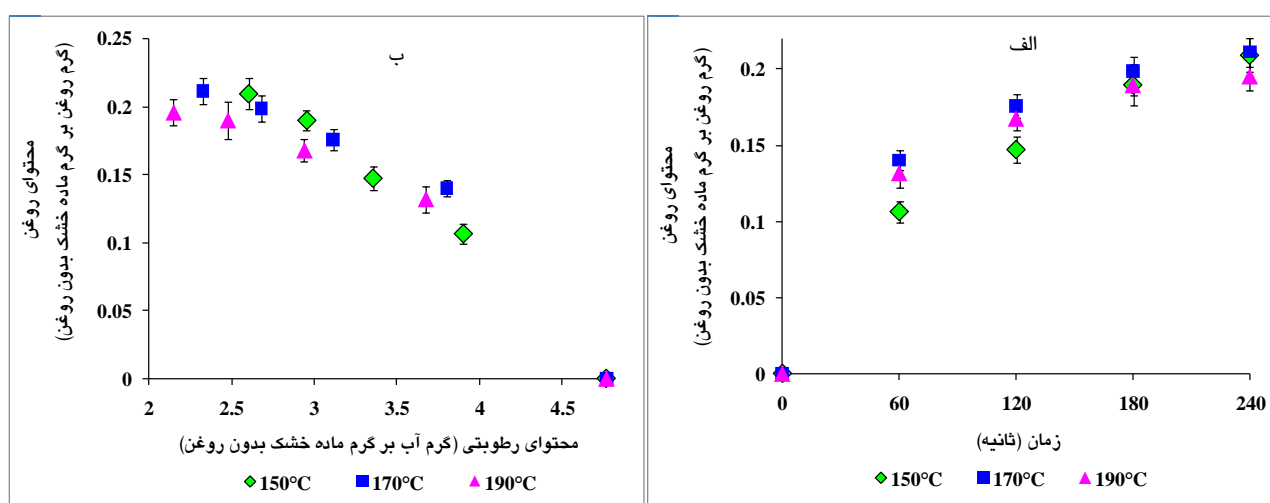
² Multiple regression analysis

³ Untrained panelists

⁴ Bonferroni

جدول ۱- علائم اختصاری مورد استفاده برای تیمارهای مختلف

علامت اختصاری	تیمار	ردیف
Control	شاهد	۱
D8	خشک کردن در زمان ۸ دقیقه	۲
D15	خشک کردن در زمان ۱۵ دقیقه	۳
U28	اولتراسوند با فرکانس ۲۸ کیلوهرتز	۴
U40	اولتراسوند با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز	۵
U28 - D8	اولتراسوند با فرکانس ۲۸ کیلوهرتز - خشک کردن در زمان ۸ دقیقه	۶
U40 - D8	اولتراسوند با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز - خشک کردن در زمان ۸ دقیقه	۷
U28 - D15	اولتراسوند با فرکانس ۲۸ کیلوهرتز - خشک کردن در زمان ۱۵ دقیقه	۸
U40 - D15	اولتراسوند با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز - خشک کردن در زمان ۱۵ دقیقه	۹



شکل ۱- محتوای روغن قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده (نمونه شاهد) به عنوان تابعی از زمان (الف) و محتوای رطوبتی (ب)، طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰، و ۱۹۰°C

فرآیند سرخ‌کردن، جذب روغن افزایش پیدا کرد. علاوه براین، تقریباً در محتوای رطوبتی کمتر از $\frac{3 \text{ گرم آب}}{\text{گرم ماده جامد بدون روغن}}$ ، با افزایش دمای روغن از ۱۵۰ به ۱۹۰°C، جذب روغن کاهش یافت. همچنین، در تمامی محتوای رطوبتی، با افزایش دما از ۱۷۰ به ۱۹۰°C، جذب روغن کاهش پیدا کرد. این نتیجه نیز، با نتایج بدست آمده توسط بایمن و ایشر (۱۹۹۵)، مویانو و برنا (۲۰۰۲)، مویانو و پدرسچی (۲۰۰۶)، دوران و همکاران (۲۰۰۷) و ضیائی‌فر و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در واقع دماهای بالاتر روغن طی فرآیند سرخ‌کردن، باعث ایجاد یک پوسته سخت و محکم‌تر بر سطح خارجی ماده غذایی می‌شود و این پوسته، به عنوان یک مانع فیزیکی

۲۰۰۱، مویانو و پدرسچی ۲۰۰۶، دوران و همکاران ۲۰۰۷، ترانکوزو و پدرسچی (۲۰۰۹). در بررسی اثر دما بر جذب روغن، هنگامی که محتوای روغن به صورت تابعی از زمان سرخ‌کردن در نظر گرفته شد (شکل ۱- الف)، مشخص شد که دماهای بالای سرخ‌کردن، باعث کاهش جذب روغن می‌شود؛ با این حال، بین محتوای روغن جذب شده در دماهای ۱۷۰ و ۱۹۰°C، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. این یافته در تطابق با نتایج بدست آمده توسط مویانو و پدرسچی (۲۰۰۶) و ضیائی‌فر و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. از طرف دیگر، مطابق شکل ۱- ب، با در نظر گرفتن محتوای روغن نمونه‌های شاهد به عنوان تابعی از محتوای رطوبتی در ۳ دمای مختلف، با کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها طی

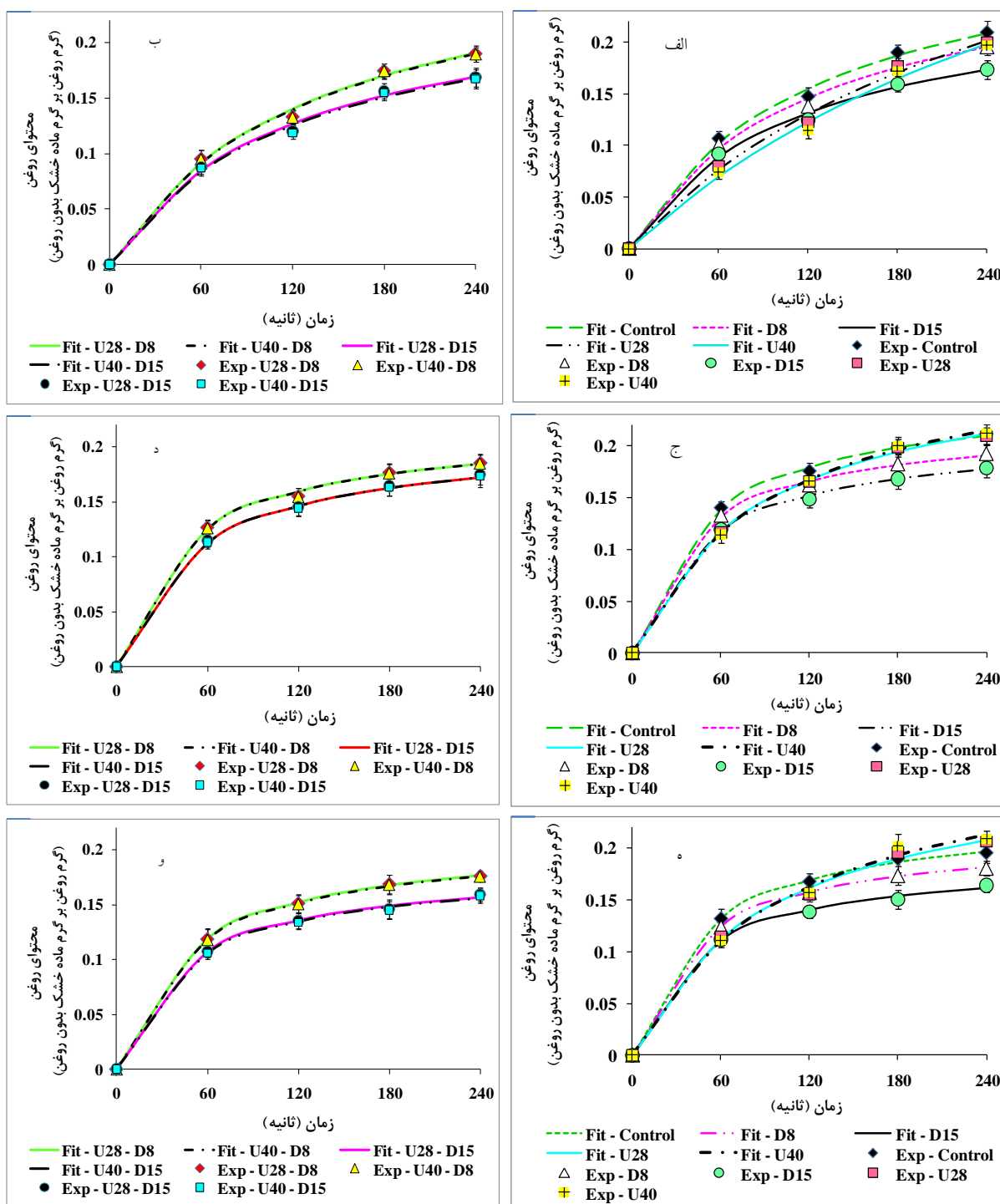
آمارای غیر معنی‌دار بود. همچنین، در سطح ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری بین محتوی روغن نمونه‌های پیش- تیمارشده با فراصوت در فرکانس‌های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز مشاهده نشد.

همچنین، برای نمونه‌های پیش‌تیمار شده با خشک‌کردن (۸ و ۱۵ دقیقه) و سپس سرخ‌شده در دمای 150°C (شکل ۲- الف)، کاهش در محتوی روغن نسبت به نمونه شاهد، در تطابق با نتایج بدست آمده توسط گوپتا و همکاران (۲۰۰۰)، کروکیدا و همکاران (۲۰۰۱)، پدرسچی و مویانو (۲۰۰۵)، مویانو و پدرسچی (۲۰۰۶) و تاجنر - زوپک و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد. این مسئله را می‌توان به ایجاد یک لایه نازک بر سطح خارجی قطعات سیب‌زمینی در پایان انجام پیش‌تیمار خشک‌کردن (ضیائی‌فر و همکاران ۲۰۰۸) و در نتیجه، تسریع در تشکیل یک پوسته خارجی حین فرآیند سرخ‌کردن عمیق نسبت داد که این مسئله به نوبه خود، باعث افزایش مقاومت در مقابل نفوذ روغن به بخش درونی قطعات سیب‌زمینی می‌شود (مویانو و پدرسچی ۲۰۰۶). بنابراین، می‌توان بیان کرد که پیش‌تیمار خشک‌کردن از طریق کاهش محتوی رطوبت اولیه قطعات سیب‌زمینی، روش مؤثری برای کاهش محتوی روغن در محصول سرخ‌شده نهایی می‌باشد (لامبرگ و همکاران ۱۹۹۰ و مویانو و همکاران ۲۰۰۲). با این‌حال و مطابق نتایج بدست آمده و همچنین شکل ۲- الف، می‌توان نتیجه گرفت که از لحاظ آماری، پیش‌تیمار خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه، در مقایسه با خشک‌کردن در زمان ۸ دقیقه، به دلیل کاهش معنی‌دار در میزان جذب روغن (در ثانیه‌های ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه) نسبت به نمونه‌های شاهد سرخ‌شده در زمان سرخ‌کردن یکسان، مؤثرتر بوده است.

شکل ۲- ب، تغییرات محتوی روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (در فرکانس‌های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز) و خشک‌کردن (۸ و ۱۵ دقیقه) به صورت تلفیقی (بر اساس جدول ۱) و سپس سرخ‌شده در دمای 150°C را نشان

در برابر ورود روغن به بخش درونی محصول عمل می‌کند که این مسئله به نوبه خود منجر به کاهش جذب روغن می‌شود (مویانو و برنا ۲۰۰۲). همچنین، می‌توان بیان کرد که در دماهای پایین سرخ‌کردن نسبت به دماهای بالاتر، برای رسیدن به یک محتوی رطوبتی تقریباً یکسان، زمان بیشتری نیاز است. بنابراین، با افزایش زمان سرخ‌کردن، جذب روغن می‌تواند افزایش پیدا کند.

شکل ۲- الف، منحنی تغییرات محتوی روغن در زمان‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه، در تیمار شاهد و همچنین نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (در فرکانس‌های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز) و خشک‌کردن (در زمان‌های ۸ و ۱۵ دقیقه) به صورت مجزا و سپس سرخ‌شده در دمای 150°C را نشان می‌دهد. مطابق نتایج بدست آمده، با افزایش زمان سرخ‌کردن، محتوی روغن در تمامی نمونه‌های فوق افزایش پیدا کرد؛ به طوری‌که در زمان‌های سرخ‌کردن یکسان، نمونه‌های شاهد در مقایسه با ۴ پیش‌تیمار انجام شده، بیشترین میزان جذب روغن را از خود نشان دادند. علاوه بر این، مقایسه بین این پیش‌تیمارها نشان می‌دهد که در ثانیه‌های ۶۰ یا ۱۲۰ از زمان سرخ‌کردن، پیش‌تیمار فراصوت با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز کمترین میزان جذب روغن را دارد و بعد از آن به ترتیب، پیش‌تیمار فراصوت با فرکانس ۲۸ کیلوهرتز، خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه و خشک‌کردن در زمان ۸ دقیقه، جذب روغن بالاتری را نشان می‌دهند. با این‌حال، اختلاف موجود بین این نمونه‌ها از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار بود. در ادامه فرآیند و با افزایش زمان سرخ‌کردن (۱۸۰ یا ۲۴۰ ثانیه)، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه، کمترین میزان جذب روغن را نشان دادند؛ ولی این کاهش در محتوی روغن نسبت به نمونه شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بود. قابل ذکر است که کاهش در محتوی روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز) نسبت به نمونه شاهد، از لحاظ



شکل ۲- تغییرات محتوی روغن حاصل از آزمایش (Exp) و برازش شده (Fit) با مدل ۵ (جدول ۲)، طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق قطعات سیب‌زمینی با گذشت زمان، در دماهای ۱۵۰°C (الف، ب)، ۱۷۰°C (ج، د)، و ۱۹۰°C (ه، و)، در پیش‌تیمارهای مختلف بر اساس جدول (۱)

فراصوت (۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز) و خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه، کمترین میزان جذب روغن را داشتند و بعد از آن، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (۲۸ و ۴۰

می‌دهد. طبق نتایج، محتوی روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده به صورت تلفیقی، نسبت به نمونه‌های شاهد، کاهش پیدا کرد؛ به طوری که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با

جدول ۲- مدل‌های ریاضی مورد استفاده برای بررسی تغییرات محتوی روغن قطعات سیب‌زمینی با گذشت زمان (t)

شماره	مدل ریاضی	مرجع
۱	$O = a.t^2 + b.t + c$	تحقیق حاضر
۲	$O = a.\exp(-b.t) + c$	تحقیق حاضر
۳	$O = \frac{1+t}{a.t+b}$	تحقیق حاضر
۴	$O = \frac{1-\exp(-a.t)}{(1-b.t)}$	تحقیق حاضر
۵	$O = \frac{a.b.t}{1+b.t}$	مویانو و پدرسچی (۲۰۰۶)
۶	$O = a.(1-\exp(-b.t))$	کروکیدا و همکاران (۲۰۰۰)

میزان جذب روغن را نشان دادند و در یک زمان سرخ-کردن یکسان، این کاهش در محتوی روغن نسبت به نمونه شاهد معنی‌دار بود.

شکل ۲ (ه، و)، محتوی روغن نمونه‌های مختلف سرخ-شده در دمای 190°C را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، روند داده‌های آزمایشی بدست آمده در تیمار شاهد، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با خشک-کردن (۸ و ۱۵ دقیقه) و همچنین نمونه‌های پیش‌تیمار شده به صورت تلفیقی، مشابه روند داده‌های آزمایشی بدست آمده در دماهای 150°C و 170°C می‌باشد؛ با این-حال، در مورد نمونه‌های تنها پیش‌تیمار شده با فراصوت، با افزایش زمان سرخ‌کردن (از ۶۰ به 240 ثانیه)، جذب روغن در زمان‌های ۱۸۰ و 240 ثانیه، نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرده است که البته این افزایش در محتوی روغن از لحاظ آماری غیر معنی-دار می‌باشد. بنابراین، در مجموع با مقایسه نمونه‌های تنها پیش‌تیمار شده با فراصوت و سرخ‌شده در دماهای 150°C ، 170°C و 190°C (شکل ۲- الف، ج، ه)، می‌توان نتیجه گرفت که دمای سرخ‌کردن 150°C ، در کاهش جذب روغن نسبت به نمونه‌های سرخ‌شده در دو دمای دیگر، نتیجه بهتری را حاصل کرده است.

مدل‌سازی جذب روغن

شکل ۲ منحنی‌های برازش داده‌های آزمایشی محتوی

کیلوهرتز) و خشک‌کردن در زمان ۸ دقیقه، جذب روغن بالاتری را نشان دادند. قابل ذکر است که در نمونه‌های پیش‌تیمار شده به صورت تلفیقی، اثر فرکانس فراصوت (۲۸ و 40 کیلوهرتز) بر میزان روغن جذب شده توسط نمونه‌های سرخ‌شده، غیرمعنی‌دار بود. همچنین در زمان‌های سرخ‌کردن یکسان، کاهش در محتوی روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (۲۸ و 40 کیلوهرتز) و خشک‌کردن در زمان ۸ دقیقه، نسبت به نمونه شاهد غیرمعنی‌دار بود؛ با این‌حال، در زمان‌های سرخ‌کردن یکسان (۱۸۰ و 240 ثانیه)، محتوی روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (۲۸ و 40 کیلوهرتز) و خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه، نسبت به نمونه شاهد، به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد.

شکل ۲ (ج، د)، محتوی روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده در شرایط مختلف (به صورت مجزا و تلفیقی) و سپس سرخ‌شده در دمای 170°C را نشان می‌دهد. مطابق این دو شکل، روند داده‌های آزمایشی بدست آمده در تیمار شاهد و همچنین، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت و خشک‌کردن به صورت مجزا و تلفیقی، مشابه روند داده‌های آزمایشی بدست آمده در دمای 150°C می-باشد؛ به طوری‌که در نمونه‌های پیش‌تیمار شده به صورت مجزا (شکل ۲- ج)، قطعات سیب‌زمینی پیش-تیمار شده با خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه، کمترین

پیشنهاد شده در جدول ۴ (مدل‌های ۵ و ۶)، مشخص است که با افزایش دما از ۱۵۰ به ۱۹۰°C، محتوی روغن تعادلی کاهش و سرعت ویژه جذب روغن افزایش پیدا می‌کند؛ به‌طوری‌که در مدل مویانو و پدرسچی (مدل ۵، جدول ۴)، مقادیر محتوی روغن تعادلی در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰°C، به ترتیب برابر ۰/۳۰۹۱، ۰/۲۳۶۵ و ۰/۲۲۲۹ گرم روغن بر گرم ماده خشک بدون روغن و در مدل کروکیدا و همکاران (مدل ۶، جدول ۴)، مقادیر محتوی روغن تعادلی در دماهای مذکور به ترتیب برابر ۰/۲۱۸۰، ۰/۱۹۲۴ و ۰/۱۸۱۶ گرم روغن بر گرم ماده خشک بدون روغن می‌باشد. این یافته، یعنی کاهش محتوی روغن تعادلی و افزایش سرعت ویژه جذب روغن با افزایش دمای سرخ‌کردن، در تطابق با نتایج بدست آمده توسط مویانو و پدرسچی (۲۰۰۶)، دوران و همکاران (۲۰۰۷) و دهقان‌نصیری و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد. علاوه بر این، کاهش محتوی روغن تعادلی با افزایش دمای روغن، تأیید کننده کاهش میزان روغن جذب شده توسط ماده غذایی با افزایش دمای سرخ‌کردن (همان‌طور که قبلاً بیان شد) می‌باشد. علاوه بر این، در مرحله بعد با هدف بدست آوردن رابطه بین ضرایب مدل‌ها و متغیرهای مرتبط با فرآیند سرخ‌کردن (زمان پیش‌تیمار خشک‌کردن، فرکانس پیش‌تیمار فراصوت و دمای فرآیند سرخ‌کردن)، تجزیه و تحلیل رگرسیونی چند متغیره بر روی ضرایب تمامی مدل‌های مربوطه انجام گرفت. جدول ۵، مدل‌های بدست آمده از این طریق را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که محتوی روغن به عنوان تابعی از زمان سرخ‌کردن بوده و ضرایب هر مدل (a، b و c) نیز، تابعی از متغیرهای فرآیند می‌باشند. مطابق این جدول، می‌توان بیان کرد که با داشتن مقادیر مختلف این متغیرها، به راحتی می‌توان محتوی روغن را با استفاده از این مدل‌ها بدست آورد. از طرف دیگر، با بدست آوردن چنین مدل‌هایی، لزوم

روغن نمونه‌های مختلف (بر اساس جدول ۱) سرخ‌شده در چهار زمان ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه و سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰°C را با مدل ۵ (جدول ۲) نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مدل تجربی بکار رفته، با داشتن R^2 بالا و RMSE پایین (جدول ۳، مدل ۵)، به خوبی داده‌های آزمایشی جذب روغن را برازش نموده است. همچنین، مطابق نتایج بدست آمده و بر حسب دو معیار R^2 و RMSE، همه مدل‌های استفاده شده (به ویژه مدل‌های ۲ تا ۶)، به خوبی داده‌های آزمایشی جذب روغن را برازش نمودند (جدول ۳). علاوه بر این، با توجه به اثبات رفتار نمایی جذب روغن با گذشت زمان (کاهش آهنگ جذب روغن با گذشت زمان سرخ‌کردن و رسیدن به محتوی روغن تعادلی) در اکثر کارهای پژوهشی صورت گرفته، می‌توان بیان کرد که مدل‌های نمایی یا مدل‌های تبعیت کننده از رفتار نمایی، مدل‌های بهتری جهت برازش داده‌های آزمایشی جذب روغن با آنها، جهت دستیابی به ضریب تبیین (R^2) بالاتر خواهند بود. با این حال، در مرحله بعد، به منظور بدست آوردن مدل‌های کلی‌تر جهت استفاده در شرایط زمانی مختلف (از جمله زمان‌های سرخ‌کردن استفاده نشده در این مطالعه) و همچنین برای تیمارهای مختلف در یک دمای مشخص، جذب روغن بر حسب زمان مدل‌سازی شد (جدول ۴). مطابق این جدول، مدل‌های بدست آمده (به ویژه ۱۲-۸) با داشتن R^2 بالا و RMSE پایین، می‌توانند مدل‌های پیشنهادی مناسبی جهت کاربرد در شرایط زمانی مختلف و همچنین، برای تیمارهای متفاوت طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق در دماهای مشخص ذکر شده باشند. قابل ذکر است که در مدل‌های ۵ و ۶ (جدول ۲)، ضرایب a و b، به ترتیب نشان‌دهنده محتوی روغن تعادلی^۱ (حداکثر روغن جذب شده در زمان‌های طولانی فرآیند سرخ‌کردن) و سرعت ویژه^۲ جذب روغن می‌باشد. در این ارتباط و مطابق مدل‌های

¹ Equilibrium oil content (O_{eq})

² Specific rate

جدول ۳- پارامترهای آماری حاصل از مدل‌های ۱-۶ موجود در جدول ۲، برای تیمارها و دماهای مختلف

دما (°C)							مدل (۱)
۱۹۰		۱۷۰		۱۵۰		تیمار	
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۰۱۹۳	۰/۹۷۱۱	۰/۰۲۲۴	۰/۹۶۵۶	۰/۰۱۲۳	۰/۹۸۹۰	Control	
۰/۰۱۸۹	۰/۹۶۷۵	۰/۰۲۲۳	۰/۹۵۹۱	۰/۰۱۱۸	۰/۹۸۸۵	D8	
۰/۰۱۹۹	۰/۹۵۴۷	۰/۰۱۹۲	۰/۹۶۴۶	۰/۰۱۱۰	۰/۹۸۷۳	D15	
۰/۰۱۳۲	۰/۹۸۷۵	۰/۰۱۱۱	۰/۹۹۱۵	۰/۰۰۷۹	۰/۹۹۵۰	U28	
۰/۰۱۰۴	۰/۹۹۲۵	۰/۰۰۹۷	۰/۹۹۳۶	۰/۰۰۸۵	۰/۹۹۴۲	U40	
۰/۰۱۷۸	۰/۹۶۹۵	۰/۰۲۰۸	۰/۹۶۲۱	۰/۰۱۰۳	۰/۹۹۰۸	U28 - D8	
۰/۰۱۷۶	۰/۹۶۹۹	۰/۰۲۰۷	۰/۹۶۲۱	۰/۰۱۰۳	۰/۹۹۰۷	U40 - D8	
۰/۰۱۸۸	۰/۹۵۶۹	۰/۰۱۷۸	۰/۹۶۸۴	۰/۰۱۰۲	۰/۹۸۸۵	U28 - D15	
۰/۰۱۸۳	۰/۹۵۸۷	۰/۰۱۷۳	۰/۹۶۹۳	۰/۰۱۰۲	۰/۹۸۸۲	U40 - D15	
دما (°C)							مدل (۲)
۱۹۰		۱۷۰		۱۵۰		تیمار	
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۰۰۴۶	۰/۹۹۸۳	۰/۰۰۷۴	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۸۱	۰/۹۹۵۲	Control	
۰/۰۰۳۶	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۷۱	۰/۹۹۵۸	۰/۰۰۸۰	۰/۹۹۴۷	D8	
۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۵۲	۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۶۰	۰/۰۰۷۰	۰/۹۹۴۷	D15	
۰/۰۰۷۸	۰/۹۹۵۶	۰/۰۰۳۳	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۷۷	۰/۹۹۵۳	U28	
۰/۰۰۷۹	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۳۰	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۸۵	۰/۹۹۴۲	U40	
۰/۰۰۳۹	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۷۰	۰/۹۹۵۶	۰/۰۰۷۳	۰/۹۹۵۳	U28 - D8	
۰/۰۰۳۹	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۷۰	۰/۹۹۵۶	۰/۰۰۷۴	۰/۹۹۵۱	U40 - D8	
۰/۰۰۵۹	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۶۹	۰/۰۰۷۰	۰/۹۹۴۶	U28 - D15	
۰/۰۰۵۶	۰/۹۹۶۰	۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۷۱	۰/۰۰۷۲	۰/۹۹۴۱	U40 - D15	
دما (°C)							مدل (۳)
۱۹۰		۱۷۰		۱۵۰		تیمار	
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۰۰۳۳	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۳۶	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۶۹	Control	
۰/۰۰۲۸	۰/۹۹۸۹	۰/۰۰۳۷	۰/۹۹۸۳	۰/۰۰۵۴	۰/۹۹۶۴	D8	
۰/۰۰۳۵	۰/۹۹۷۹	۰/۰۰۳۱	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۴۷	۰/۹۹۶۵	D15	
۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۶۷	۰/۰۰۳۴	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۶۲	۰/۹۹۵۴	U28	
۰/۰۰۶۷	۰/۹۹۵۳	۰/۰۰۳۶	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۶۹	۰/۹۹۴۲	U40	
۰/۰۰۲۶	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۳۷	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۶۱	۰/۹۹۵۱	U28 - D8	
۰/۰۰۲۶	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۳۷	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۴۷	U40 - D8	
۰/۰۰۳۲	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۲۶	۰/۹۹۸۹	۰/۰۰۴۹	۰/۹۹۶۶	U28 - D15	
۰/۰۰۳۱	۰/۹۹۸۲	۰/۰۰۲۵	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۵۱	۰/۹۹۵۶	U40 - D15	
دما (°C)							مدل (۴)
۱۹۰		۱۷۰		۱۵۰		تیمار	
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۰۰۴۶	۰/۹۹۷۵	۰/۰۰۷۲	۰/۹۹۴۶	۰/۰۰۶۵	۰/۹۹۵۳	Control	
۰/۰۰۳۹	۰/۹۹۷۹	۰/۰۰۷۰	۰/۹۹۳۹	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۴۹	D8	
۰/۰۰۶۱	۰/۹۹۳۶	۰/۰۰۵۹	۰/۹۹۵۰	۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۵۱	D15	
۰/۰۰۶۲	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۲۶	۰/۹۹۹۳	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۵۳	U28	
۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۵۹	۰/۰۰۲۳	۰/۹۹۹۵	۰/۰۰۶۹	۰/۹۹۴۱	U40	
۰/۰۰۳۹	۰/۹۹۷۸	۰/۰۰۶۵	۰/۹۹۴۳	۰/۰۰۵۸	۰/۹۹۵۵	U28 - D8	
۰/۰۰۳۹	۰/۹۹۷۸	۰/۰۰۶۵	۰/۹۹۴۳	۰/۰۰۵۹	۰/۹۹۵۳	U40 - D8	
۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۴۴	۰/۰۰۵۰	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۵۰	U28 - D15	
۰/۰۰۵۲	۰/۹۹۴۹	۰/۰۰۴۸	۰/۹۹۶۵	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹۴۵	U40 - D15	
دما (°C)							مدل (۵)
۱۹۰		۱۷۰		۱۵۰		تیمار	
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۰۰۱۹	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۲۴	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۶۹	Control	
۰/۰۰۰۷	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۲۵	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۶۵	D8	
۰/۰۰۲۵	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۲۱	۰/۹۹۹۳	۰/۰۰۴۶	۰/۹۹۶۶	D15	
۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۶۹	۰/۰۰۲۸	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۶۲	۰/۹۹۵۴	U28	
۰/۰۰۶۶	۰/۹۹۵۵	۰/۰۰۳۱	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۶۹	۰/۹۹۴۱	U40	
۰/۰۰۰۸	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۲۷	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۵۲	۰/۹۹۶۵	U28 - D8	
۰/۰۰۰۸	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۲۷	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۶۳	U40 - D8	
۰/۰۰۲۳	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۱۴	۰/۹۹۹۷	۰/۰۰۴۸	۰/۹۹۶۲	U28 - D15	
۰/۰۰۲۱	۰/۹۹۹۱	۰/۰۰۱۴	۰/۹۹۹۷	۰/۰۰۵۰	۰/۹۹۵۷	U40 - D15	
دما (°C)							مدل (۶)
۱۹۰		۱۷۰		۱۵۰		تیمار	
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۰/۰۰۳۸	۰/۹۹۸۳	۰/۰۰۶۱	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۵۵	Control	
۰/۰۰۲۹	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۵۸	۰/۹۹۵۸	۰/۰۰۶۶	۰/۹۹۴۶	D8	
۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۵۲	۰/۰۰۵۲	۰/۹۹۶۰	۰/۰۰۵۸	۰/۹۹۴۶	D15	
۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۵۵	۰/۰۰۲۷	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۵۳	U28	
۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۲۴	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۶۹	۰/۹۹۴۱	U40	
۰/۰۰۳۲	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹۵۶	۰/۰۰۶۰	۰/۹۹۵۲	U28 - D8	
۰/۰۰۳۲	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹۵۶	۰/۰۰۶۱	۰/۹۹۵۰	U40 - D8	
۰/۰۰۴۸	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۴۵	۰/۹۹۶۹	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹۴۵	U28 - D15	
۰/۰۰۴۶	۰/۹۹۶۰	۰/۰۰۴۳	۰/۹۹۷۱	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹۴۵	U40 - D15	

جدول ۴- ضرایب مدل‌های ریاضی پیشنهادی برای پیشگویی میزان جذب روغن قطعات سیب‌زمینی با گذشت زمان، طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق در دماهای معین بر اساس جدول ۲

دما (°C)	مدل ریاضی (۱)	R ^۲	RMSE
۱۵۰	$O = -۲/۸۱۴E - ۶ t^۲ + ۰/۰۰۱۴ t + ۰/۰۰۴۱$	۰/۹۴۹۶	۰/۰۱۲۲
۱۷۰	$O = -۴/۶۷۹E - ۶ t^۲ + ۰/۰۰۱۸ t + ۰/۰۰۸۵$	۰/۹۴۹۵	۰/۰۱۶۳
۱۹۰	$O = -۴/۴۶۹E - ۶ t^۲ + ۰/۰۰۱۷ t + ۰/۰۰۸۰$	۰/۹۳۴۴	۰/۰۱۷۷
دما (°C)	مدل ریاضی (۲)	R ^۲	RMSE
۱۵۰	$O = -۰/۲۱۷۷ \exp(-۰/۰۰۸۰ t) + ۰/۲۱۹۲$	۰/۹۷۳۰	۰/۰۱۱۵
۱۷۰	$O = -۰/۱۹۱۸ \exp(-۰/۰۱۵۸ t) + ۰/۱۹۲۶$	۰/۹۷۲۹	۰/۰۱۱۹
۱۹۰	$O = -۰/۱۸۱۱ \exp(-۰/۰۱۵۹ t) + ۰/۱۸۱۷$	۰/۹۵۷۳	۰/۰۱۴۳
دما (°C)	مدل ریاضی (۳)	R ^۲	RMSE
۱۵۰	$O = \frac{۱+t}{۳/۱۹۸ t + ۵۱۱/۵}$	۰/۹۷۴۰	۰/۰۱۱۱
۱۷۰	$O = \frac{۱+t}{۴/۱۹۷ t + ۲۵۲}$	۰/۹۷۴۶	۰/۰۱۱۴
۱۹۰	$O = \frac{۱+t}{۴/۴۵۴ t + ۲۶۳/۹}$	۰/۹۵۸۶	۰/۰۱۳۹
دما (°C)	مدل ریاضی (۴)	R ^۲	RMSE
۱۵۰	$O = \frac{۱ - \exp(-۰/۰۰۱۸ t)}{۱ + ۰/۰۰۳۷ t}$	۰/۹۷۳۲	۰/۰۱۱۳
۱۷۰	$O = \frac{۱ - \exp(-۰/۰۰۳۱ t)}{۱ + ۰/۰۰۷۴ t}$	۰/۹۷۲۳	۰/۰۱۱۹
۱۹۰	$O = \frac{۱ - \exp(-۰/۰۰۲۹ t)}{۱ + ۰/۰۰۷۸ t}$	۰/۹۵۶۸	۰/۰۱۴۲
دما (°C)	مدل ریاضی (۵)	R ^۲	RMSE
۱۵۰	$O = \frac{۰/۳۰۹۳ \times ۰/۰۰۶۴ \times t}{۱ + (۰/۰۰۶۴ \times t)}$	۰/۹۷۳۵	۰/۰۱۱۱
۱۷۰	$O = \frac{۰/۲۳۶۵ \times ۰/۰۱۷۵ \times t}{۱ + (۰/۰۱۷۵ \times t)}$	۰/۹۷۵۲	۰/۰۱۱۳
۱۹۰	$O = \frac{۰/۲۲۲۹ \times ۰/۰۱۷۷ \times t}{۱ + (۰/۰۱۷۷ \times t)}$	۰/۹۵۹۲	۰/۰۱۳۸
دما (°C)	مدل ریاضی (۶)	R ^۲	RMSE
۱۵۰	$O = ۰/۲۱۸۰ (۱ - \exp(-۰/۰۰۸۱ \times t))$	۰/۹۷۲۹	۰/۰۱۱۴
۱۷۰	$O = ۰/۱۹۲۴ (۱ - \exp(-۰/۰۱۵۸ \times t))$	۰/۹۷۲۸	۰/۰۱۱۸
۱۹۰	$O = ۰/۱۸۱۶ (۱ - \exp(-۰/۰۱۶۰ \times t))$	۰/۹۵۷۲	۰/۰۱۴۱

اسمزی را با یک مدل تجربی برازش نمودند (جدول ۲، مدل ۶). نتایج نشان داد که این مدل تجربی به خوبی داده‌های آزمایشی را برازش می‌کند. همچنین، کروکیدا و همکاران (۲۰۰۱b)، داده‌های آزمایشی جذب روغن قطعات سیب‌زمینی تازه و پیش‌تیمارشده با خشک‌کردن را با همان مدل تجربی برازش نمودند. نتایج این مطالعه

انجام آزمایشات پرهزینه در شرایط مختلف ذکر شده در فرآیند سرخ‌کردن، بسیار کاهش پیدا می‌کند و این مسئله، بیانگر اهمیت بالای چنین مدل‌هایی می‌باشد. در تطابق با نتایج بدست آمده در این تحقیق، کروکیدا و همکاران (۲۰۰۱a) داده‌های آزمایشی جذب روغن قطعات سیب‌زمینی تازه و پیش‌تیمارشده با آگیری

جدول ۵- مدل‌های نهایی حاصل از انجام تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره بر روی ضرایب مدل‌ها، به صورت تابعی از زمان سرخ‌کردن و دیگر پارامترهای مربوطه

R^2	ضرایب مدل $O = a.t^2 + b.t + c$
۰/۹۷۹۰	$a = 2/52E-08F_U - 1/10E-07T_D - 1/04E-08T + 2/76E-10F_U^2 + 7/60E-09T_D^2 - 8/49E-11T^2$
۰/۹۹۳۱	$b = -1/12E-06F_U + 1/19E-05T_D + 1/39E-05T + 1/78E-08F_U^2 - 1/64E-06T_D^2 - 1/80E-08T^2$
۰/۹۵۳۳	$c = -8/68E-05F_U + 4/82E-04T_D - 1/24E-04T + 7/80E-07F_U^2 - 2/36E-05T_D^2 + 3/12E-07T^2$
R^2	ضرایب مدل $O = a. \exp(-b.t) + c$
۰/۹۹۲۷	$a = -1/57E-04F_U + 0/072T_D - 0/038T - 4/21E-06F_U^2 - 0/002T_D^2 + 1/44E-05T^2$
۰/۹۷۳۸	$b = -1/07E-04F_U + 8/05E-04T_D - 5/64E-04T + 1/14E-06F_U^2 - 3/56E-05T_D^2 + 7/56E-07T^2$
۰/۹۹۲۷	$c = 1/60E-04F_U - 0/072T_D + 0/038T + 4/21E-06F_U^2 + 1/91E-04T_D^2 - 1/45E-05T^2$
R^2	ضرایب مدل $O = \frac{1+t}{a.t+b}$
۰/۹۹۴۶	$a = -0/0071F_U + 0/1675T_D + 0/0079T + 2/54E-05F_U^2 - 0/0047T_D^2 + 1/75E-05T^2$
۰/۹۵۰۱	$b = 4/437F_U - 17/12T_D + 9/166T + 1/287T_D^2 - 0/42T^2 - 0/017F_U T_D T$
R^2	ضرایب مدل $O = \frac{1-\exp(-a.t)}{(1-b.t)}$
۰/۹۸۰۷	$a = -1/92E-05F_U + 9/40E-05T_D + 4/54E-06T + 2/12E-07F_U^2 - 5/68E-06T_D^2 + 1/84E-08T^2$
۰/۹۷۶۲	$b = 4/30E-05F_U - 4/16E-04T_D + 3/97E-04T - 4/26E-07F_U^2 + 1/55E-05T_D^2 - 4/19E-07T^2$
R^2	ضرایب مدل $O = \frac{a.b.t}{1+b.t}$
۰/۹۷۸۳	$a = 1/92E-04F_U - 0/014T_D + 0/006T + 4/20E-06F_U^2 + 4/66E-04T_D^2 - 2/52E-05T^2$
۰/۹۵۲۳	$b = -1/75E-04F_U + 0/001T_D - 1/50E-04T + 2/01E-06F_U^2 - 5/77E-05T_D^2 + 1/31E-06T^2$
R^2	ضرایب مدل $O = a.(1 - \exp(-b.t))$
۰/۹۹۲۷	$a = 2/22E-04F_U - 0/007T_D + 0/004T + 3/17E-06F_U^2 + 1/76E-04T_D^2 - 1/41E-05T^2$
۰/۹۷۳۶	$b = -1/22E-04F_U + 7/57E-04T_D - 4/26E-04T + 1/39E-06F_U^2 - 3/32E-05T_D^2 + 1/91E-07T^2$

F_U , T_D و T ، به ترتیب نشان‌دهنده فرکانس پیش‌تیمار فراصوت، زمان پیش‌تیمار خشک‌کردن و دمای سرخ‌کردن می‌باشند.

کردند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که این مدل، به خوبی داده‌های آزمایشی نمونه‌های مختلف سرخ‌شده را برازش می‌کند ($R^2=0/998$).

ارزیابی حسی

جدول ۶، نتایج حاصل از ارزیابی حسی ویژگی‌های حسی مختلف نمونه‌های سرخ‌شده در دمای $190^\circ C$ و زمان‌های ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه را توسط ارزیاب‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در ارتباط با تمامی شاخص‌های استفاده شده در آزمون ارزیابی

نیز نشان داد که این مدل تجربی داده‌های آزمایشی را به طور صحیحی برازش می‌کند. علاوه بر این، دوران و همکاران (۲۰۰۷)، سینتیک جذب روغن ورقه‌های سیب-زمینی شاهد و پیش‌تیمار شده با آنزیم‌بری، آنزیم‌بری و محلول نمکی کلرید سدیم و همچنین محلول حاوی هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز، حین فرآیند سرخ‌کردن و همچنین بعد از فرآیند (طی دوره سرد کردن محصول) را با استفاده از مدل تجربی پیشنهاد شده توسط کروکیدا و همکاران (جدول ۲، مدل ۶) بررسی

جدول ۶- امتیازات ارزیابی‌ها به شاخص‌های مختلف مربوط به قطعات سیب‌زمینی شاهد و همچنین پیش‌تیمارشده (بر اساس جدول ۱) و سپس سرخ شده در دمای 190°C و زمان‌های ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه

زمان (ثانیه)	تیمار	فاکتورهای مورد استفاده در آزمون ارزیابی حسی				
		بافت	رنگ	شکل ظاهری	طعم و مزه	بو
۱۸۰	Control	۴/۰۰±۰/۲۸	۴/۸۵±۰/۲۱	۴/۲۰±۰/۲۱	۴/۲۵±۰/۲۸	۴/۸۵±۰/۲۱
۱۸۰	D8	۴/۲۵±۰/۲۸	۴/۹۰±۰/۱۴	۴/۱۰±۰/۲۸	۴/۳۵±۰/۲۸	۴/۸۵±۰/۲۱
۱۸۰	D15	۴/۵۵±۰/۲۱	۴/۹۰±۰/۱۴	۴/۰۵±۰/۲۸	۴/۵۰±۰/۲۸	۴/۹۰±۰/۱۴
۱۸۰	U28	۴/۲۰±۰/۲۸	۴/۹۰±۰/۱۴	۴/۳۰±۰/۲۱	۴/۳۰±۰/۲۱	۴/۸۵±۰/۲۱
۱۸۰	U40	۴/۳۰±۰/۲۸	۴/۸۵±۰/۲۱	۴/۲۵±۰/۲۸	۴/۳۵±۰/۲۸	۴/۸۰±۰/۱۴
۱۸۰	U28 – D8	۴/۵۰±۰/۲۸	۴/۹۰±۰/۱۴	۴/۰۵±۰/۲۱	۴/۴۵±۰/۳۵	۴/۹۰±۰/۱۴
۱۸۰	U40 – D8	۴/۴۵±۰/۲۱	۴/۸۵±۰/۲۱	۴/۰۰±۰/۲۸	۴/۵۰±۰/۲۱	۴/۸۵±۰/۲۱
۱۸۰	U28 – D15	۴/۷۰±۰/۲۸	۴/۷۵±۰/۲۱	۴/۰۰±۰/۳۵	۴/۶۵±۰/۲۱	۴/۹۰±۰/۲۸
۱۸۰	U40 – D15	۴/۶۵±۰/۳۵	۴/۷۵±۰/۲۱	۳/۹۵±۰/۲۱	۴/۷۰±۰/۲۱	۴/۸۵±۰/۲۱
۲۴۰	Control	۴/۲۵±۰/۲۸	۴/۷۵±۰/۲۱	۴/۱۰±۰/۴۲	۴/۳۰±۰/۲۱	۴/۷۵±۰/۲۱
۲۴۰	D8	۴/۵۰±۰/۲۱	۴/۸۰±۰/۱۴	۴/۰۰±۰/۳۵	۴/۳۵±۰/۲۱	۴/۸۰±۰/۱۴
۲۴۰	D15	۴/۶۵±۰/۱۴	۴/۷۵±۰/۱۴	۳/۹۵±۰/۲۸	۴/۵۵±۰/۱۴	۴/۸۰±۰/۱۴
۲۴۰	U28	۴/۴۵±۰/۲۸	۴/۸۰±۰/۲۸	۴/۱۵±۰/۲۸	۴/۴۰±۰/۲۱	۴/۷۰±۰/۲۸
۲۴۰	U40	۴/۵۰±۰/۲۸	۴/۷۵±۰/۱۴	۴/۱۵±۰/۲۸	۴/۴۰±۰/۲۸	۴/۷۵±۰/۲۱
۲۴۰	U28 – D8	۴/۵۵±۰/۱۴	۴/۷۵±۰/۲۱	۳/۹۵±۰/۲۸	۴/۴۵±۰/۲۸	۴/۷۰±۰/۱۴
۲۴۰	U40 – D8	۴/۶۰±۰/۲۱	۴/۸۰±۰/۱۴	۳/۹۰±۰/۳۵	۴/۴۵±۰/۲۸	۴/۷۵±۰/۲۱
۲۴۰	U28 – D15	۴/۶۵±۰/۲۱	۴/۷۰±۰/۱۴	۳/۹۰±۰/۳۵	۴/۶۵±۰/۲۱	۴/۷۵±۰/۲۱
۲۴۰	U40 – D15	۴/۶۵±۰/۲۱	۴/۷۵±۰/۱۴	۳/۹۰±۰/۲۸	۴/۶۰±۰/۱۴	۴/۷۵±۰/۲۱

نتایج حاصل از مطالعه تاجنر - زوپک و همکاران (۲۰۰۷)، پیش‌تیمار خشک‌کردن همرفتی در دمای 50°C ، موجب بهبود طعم نمونه‌های سرخ‌شده نسبت به نمونه شاهد شد. همچنین در این پژوهش، بین نمونه‌های مختلف سرخ‌شده، از لحاظ شاخص بو، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. علاوه بر این، تاجنر - زوپک و همکاران (۲۰۰۸)، نشان دادند که طعم و تردی قطعات سیب‌زمینی پیش‌تیمارشده با خشک‌کردن همرفتی، نسبت به نمونه شاهد بهبود پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت، دمای سرخ‌کردن 150°C ، در کاهش جذب روغن نسبت به نمونه‌های شاهد سرخ‌شده در شرایط دما و زمان سرخ‌کردن یکسان، بهترین نتیجه را

حسی، بین نمونه‌های مختلف (شاهد و پیش‌تیمار شده) سرخ‌شده در زمان‌های یکسان، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین، بین زمان‌های سرخ‌کردن ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. با این حال و مطابق این جدول، در مجموع می‌توان بیان کرد که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز) و خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه به صورت تلفیقی، نسبت به سایر نمونه‌ها، تا حدودی امتیاز بالاتری (به ویژه در ارتباط با شاخص‌های بافت و طعم) را توسط ارزیابی‌ها کسب نموده‌اند که البته از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین، زمان‌های ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه، زمان‌های سرخ‌کردن مناسبی برای دستیابی به امتیازات بالا توسط ارزیابی‌های حسی بوده‌اند. در تطابق با نتایج بدست آمده در این پژوهش، مطابق

انجام تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره در این مطالعه، با داشتن R^2 خوب و RMSE پایین، می‌توانند مدل‌های مفید و کاربردی جهت استفاده در فرآیند سرخ‌کردن عمیق، در شرایط دما و زمانی مختلف و برای تیمارهای مختلف باشند و به کنترل کیفیت محصول نهایی سرخ‌شده از لحاظ جذب روغن کمک کنند. از لحاظ ارزیابی حسی نیز، بین نمونه‌های مختلف سرخ‌شده، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در ارتباط با شاخص‌های مورد ارزیابی مشاهده نشد. در مجموع، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از پیش‌تیمار فراصوت به عنوان یک روش امید بخش در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات سرخ‌شده، از جمله کاهش جذب روغن می‌تواند در پژوهش‌های آتی مدنظر قرار گیرد.

حاصل می‌کند؛ اگرچه این کاهش غیرمعنی‌دار بود. از طرف دیگر، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با خشک‌کردن و نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت و خشک‌کردن به صورت تلفیقی نیز، جذب روغن را نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش دادند؛ به طوری که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه و همچنین نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت (۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز) و خشک‌کردن در زمان ۱۵ دقیقه به صورت تلفیقی، کمترین میزان جذب روغن را داشتند.

علاوه بر این، تمامی مدل‌های تجربی مورد استفاده در این پژوهش، به خوبی داده‌های آزمایشی را برازش نمودند. همچنین، با افزایش دمای سرخ‌کردن، محتوی روغن تعادلی کاهش و سرعت ویژه جذب روغن افزایش پیدا کرد. از طرف دیگر، مدل‌های پیشنهاد شده حاصل از

منابع مورد استفاده

- Amiryousefi MR, Mohebbi M, and Khodaiyan F, 2012. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried ostrich meat plates. *Food and Bioprocess Technology* 5(3): 939-946.
- AOAC 1990. *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- AOAC 1995. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Baumann B, and Escher F, 1995. Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices - I. Rate of drying and oil uptake. *LWT - Food Science and Technology* 28(4):395-403.
- Bouchon P, Aguilera JM, and Pyle DL, 2003. Structure Oil-Absorption Relationships during Deep-Fat Frying. *Journal of Food Science* 68(9):2711-2716.
- Dana D, and Saguy IS, 2006. Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science* 128-130(0):267-272.
- Debnath S, Bhat KK, and Rastogi NK, 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *LWT - Food Science and Technology* 36(1):91-98.
- Dehghan Nasiri F, Mohebbi M, Tabatabaee Yazdi F, and Haddad Khodaparast MH, 2011. Kinetic modeling of mass transfer during deep fat frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step. *Food and Bioprocess Processing* 89(3):241-247.
- Duran M, Pedreschi F, Moyano P, and Troncoso E, 2007. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering* 81(1):257-265.
- Farkas BE, Singh RP, and Rumsey TR, 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying: I, model development. *Journal of Food Engineering* 29 (2): 211- 226.
- Fernandes FAN, Gallão MI, and Rodrigues S, 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering* 90(2):186-190.
- Gamble MH, Rice P, and Selman JD, 1987. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c. v. Record U.K. tubers. *International Journal of Food Science and Technology* 22(3):233-241.

- Gupta P, Shivhare US, and Bawa AS, 2000. Studies on frying kinetics and quality of french fries. *Drying Technology* 18(1-2):311-321.
- Hashemi Shahraki M, Ziaifar AM, Kashaninejad SM, and Ghorbani M, 2012. Optimization of pre-fry microwave drying of French fries using Response Surface Methodology and Genetic Algorithms. *Journal of Food Processing and Preservation*: n/a-n/a.
- Krokida MK, Oreopoulou V, and Maroulis ZB, 2000. Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering*. 44(1): 39-46.
- Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, and Marinos-Kouris D, 2001a. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of french fries. *Journal of Food Engineering* 49(4):339-345.
- Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, and Marinos-Kouris D, 2001b. Effect of pre-drying on quality of French fries. *Journal of Food Engineering* 49(4):347-354.
- Lamberg I, Hallstrom B, and Olsson H, 1990. Fat uptake in a potato drying frying process. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie* 23(4):295-300.
- Mellema M, 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology* 14(9):364-373.
- Mohebbi M, Fathi M, and Shahidi F, 2011. Genetic Algorithm–Artificial Neural Network modeling of moisture and oil content of pretreated fried mushroom. *Food and Bioprocess Technology* 4(4): 603-609.
- Moreno MC, Brown CA, and Bouchon P, 2010. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *Journal of Food Engineering* 101(2):179-186.
- Moyano PC, and Berna AZ, 2002. Modeling water loss during frying of potato strips: Effect of solute impregnation. *Drying Technology* 20(7):1303-1318.
- Moyano PC, and 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.
- Moyano PC, Ríoseco VK, and González PA, 2002. Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated french fries. *Journal of Food Engineering* 54(3):249-255.
- Pedreschi F, and Moyano P, 2005. Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology* 38(6):599-604.
- Rodrigues S, Gomes MCF, Gallão MI, and Fernandes FAN, 2009. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(4):665-670.
- Soorgi M, Mohebbi M, Mousavi SM, and Shahidi F, 2012. The effect of methylcellulose, temperature, and microwave pretreatment on kinetic of mass transfer during deep fat frying of chicken nuggets. *Food and Bioprocess Technology* 5(5):1521–1530.
- Steel RGD, Torrie JH and Dickey DA, 1997. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. New York: McGraw-Hill.
- Tajner - Czopek A, Figiel A, and Carbonell-Barrachina ÁA, 2008. Effects of potato strip size and pre-drying method on french fries quality. *European Food Research and Technology* 227(3):757-766.
- Tajner - Czopek A, Figiel A, and Rytel E, 2007. Effect of potato strips pre-drying methods on french fries quality. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 57(2): 175-181.
- Troncoso E, and Pedreschi F, 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT - Food Science and Technology* 42(6):1164-1173.
- Trystram G, 2012. Modelling of food and food processes. *Journal of Food Engineering* 110(2):269-277.
- Ufheil G, and Escher F, 1996. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. *LWT - Food Science and Technology* 29(7):640-644.
- Yamsaengsung R, and Moreira RG, 2002a. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying - Part I: Model development. *Journal of Food Engineering* 53(1): 1-10.
- Yamsaengsung R, and Moreira RG, 2002b. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying - Part II: Model solution & validation. *Journal of Food Engineering* 53(1): 11-25.

- Ziaifar AM, Achir N, Courtois F, Trezzani I, and 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 and Technology* 43(8):1410-1423.
- Ziaifar AM, Courtois F, and Trystram G, 2010. Porosity development and its effect on oil uptake during frying process. *Journal of Food Process Engineering* 33(2):191-212.
- Ziaifar AM, Heyd B, and Courtois F, 2009. Investigation of effective thermal conductivity kinetics of crust and core regions of potato during deep-fat frying using a modified Lees method. *Journal of Food Engineering* 95(3): 373-378.