



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

شبیه سازی محتوای رطوبت و جذب روغن در فرآیند سرخ کردن ناپیوسته بادمجان

مسعود خدابنده^۱، نارملا آصفی^{۲*}، ارمان سالم^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز.

۳- دانش آموخته دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۹

کلمات کلیدی:

بادمجان،

سرخ کردن عمیق،

محتوای روغن،

محتوای رطوبت

ضریب انتقال حرارت

DOI: 10.22034/FSCT.22.163.16.

* مسئول مکاتبات:

narmela@iau.ac.ir.

بادمجان به دلی رطوبت بالا و نرم شدن بافت طی مدت زمان نگهداری، عمر ماندگاری کوتاهی دارد. بنابراین استفاده از روش های مناسب برای فرآوری، افزایش زمان نگهداری و حفظ ارزش تغذیه ای آن ضروری می باشد. در واقع درک انتقال حرارت و جرم در طی سرخ کردن می تواند برای بهینه سازی و کنترل هرچه بیشتر فرایند مفید باشد. در این پژوهش اثر سرخ کردن در دماهای ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سلسیوس به مدت های ۲۰، ۳۶، ۱۲۴ و ۲۰۰ ثانیه بر محتوای رطوبتی، محتوای روغن، سینتیک انتقال رطوبت و روغن و تخمین ضریب انتقال جابه جایی انجام گرفت. نتایج نشان داد نمونه سرخ شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲۴ ثانیه، کمترین میزان جذب روغن را دارند. همچنین مشخص شد با کاهش دما و زمان سرخ کردن محتوای روغن نمونه ها کمتر می گردد. به علاوه، مدل های تجربی، به خوبی داده های آزمایشی را برازش نمودند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که نمونه سرخ شده به مدت ۲۰۰ ثانیه در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس کمترین میزان نسبت محتوای رطوبت را دارد. همان طور که مشخص است با افزایش دمای سرخ کردن ثابت سینتیک کاهش رطوبت افزایش یافت که نشان دهنده سرعت خروج رطوبت بیشتر از محصول در دمای بالا نسبت به دماهای پایین تر بود. همچنین، افزایش زمان و دمای سرخ کردن موجب کاهش محتوای رطوبت نمونه ها گردید. ضریب انتقال حرارت جابجایی در زمان های اولیه فرآیند بیشتر بوده و با سپری شدن زمان سرخ کردن این عدد نیز کاهش یافت. بیشترین مقدار h مربوط به ثانیه بیستم در دمای سرخ کردن ۲۰۰ درجه سلسیوس بود.

۱-مقدمه

بادمجان به لحاظ اقتصادی یک محصول مهم کشاورزی در آسیا و اروپا محسوب می‌شود؛ طبق آمار منتشره سازمان خوار و بار و کشاورزی ایران بعد از چین و هندوستان با تولید ۱/۲ میلیون تن در سال، مقام سوم تولید بادمجان در جهان را دارد [۱]. هر ۱۰۰ گرم بادمجان به طور متوسط حاوی ۸۶/۱۳ درصد آب، ۹/۴۱ درصد کربوهیدرات، ۳ درصد فیبر، ۰/۹۸ درصد پروتئین، ۰/۱۸ درصد چربی، ۰/۳ درصد ویتامین‌ها و مواد معدنیست [۲]. بادمجان یک جزمهم و معمول از غذاهای مدیترانه‌ای را تشکیل می‌دهد، که در بسیاری از دستورهای غذایی سستی بکار می‌رود و منبع مهمی از ترکیب زیست فعال^۱ می‌باشد و در پیشگیری از بیماری‌های مزمن نقش بسزایی دارد [۳]. بادمجان به دلیل میزان رطوبت بالا و نرم شدن بافت طی مدت زمان نگهداری، عمر ماندگاری کوتاهی دارد. بنابراین استفاده از روش‌های مناسب برای فرآوری، افزایش زمان نگهداری و حفظ ارزش تغذیه‌ای آن ضروری می‌باشد. یکی از قدیمی‌ترین فرایندهای پخت مواد غذایی از جمله بادمجان، سرخ کردن به دو صورت سطحی و عمیق می‌باشد. این فرایندها به دلیل سادگی و هزینه‌های نسبتاً پایین، یکی از پرکاربردترین فرایندها در صنایع غذایی هستند [۴، ۵]. سرخ کردن عمیق یک فرایند پخت سریع مواد غذایی است و اغلب به عنوان روشی برای ایجاد عطر، طعم، رنگ و بافت یکنواخت در مواد غذایی فراوری شده انتخاب می‌شود [۶]. فرایند سرخ کردن یک فرایند انتقال همزمان جرم و حرارت می‌باشد [۷]، که در آن گرما به وسیله همرفت از روغن به سطح ماده غذایی و به طریق هدایت از سطح به داخل ماده غذایی منتقل می‌شود و به دنبال آن رطوبت نیز از ماده غذایی تبخیر شده و روغن وارد محصول می‌شود [۸]. در سرخ کردن عمیق انتقال حرارت ترکیبی از ۲ روش جابجایی (انتقال حرارت از روغن به ماده غذایی) و هدایت

(انتقال حرارت در داخل ماده غذایی) می‌باشد [۹]. از مزایای فرایند سرخ کردن عمیق، علاوه بر شکل‌گیری ویژگی‌های بافتی، رنگ، عطر و طعم مطلوب در محصول نهایی، می‌توان به سرعت بالای انتقال حرارت اشاره نمود؛ که این مسئله در اثر خروج رطوبت به شکل بخار از داخل ماده غذایی طی فرایند سرخ کردن و در نتیجه ایجاد حالت تلاطم و افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی به وجود می‌آید [۱۰]. با این حال چروکیدگی یا کاهش حجم ظاهری محصول نهایی، تشکیل ترکیب سمی و سرطان‌زای آکریل‌آمید که در اثر واکنش بین قندهای احیاءکننده و اسیدآمینها در دماهای بالای فرایند سرخ کردن رخ می‌دهد و محتوای بالای روغن در ماده غذایی سرخ‌شده، که در برخی از موارد به یک سوم کل وزن محصول نیز می‌رسد، از مهمترین معایب فرایند سرخ کردن عمیق می‌باشد [۱۱-۱۳]. به عبارت دیگر شناخت پدیده‌هایی مانند تغییرات ساختاری که حین سرخ کردن عمیق مواد غذایی در روغن اتفاق می‌افتند، به منظور کنترل کیفیت محصول سرخ شده نهایی و انرژی مصرفی طی فرایند سرخ کردن از دیدگاه مهندسی و اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد و از نظر مصرف‌کننده نیز سلامت، ظاهر و خصوصیات حسی محصول نهایی بسیار مهم می‌باشد [۱۴، ۱۵]. بنابراین هدف اصلی یک سیستم کنترل باید حفظ حداکثری مواد مغذی و سلامت محور همزمان با بهینه‌سازی مصرف انرژی باشد. در واقع فهم انتقال حرارت و جرم در طی سرخ کردن می‌تواند برای بهینه‌سازی و کنترل هرچه بیشتر فرایند مفید باشد [۱۶]. شاهین و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی طی سرخ کردن سیب زمینی مشاهده کردند که این پارامترها با افزایش دمای روغن زیاد می‌شوند و بعد از تشکیل پوسته با کاهش نرخ تبخیر که عامل ایجاد تلاطم در روغن است، از ضریب انتقال حرارت جابجایی نیز کاسته می‌شود. همچنین با حرکت حباب‌های حاصل از

باقیمانده در خلال داشت [۱۹]. هدف از این پژوهش تعیین تاثیر دماهای مختلف روغن سرخ کردنی و زمان فرآیند سرخ کردن بر میزان رطوبت و جذب روغن قطعات سرخ شده‌ی بادمجان تحت شرایط سرخ کردن عمیق و تخمین ضریب انتقال حرارت جابجایی با دمای سطح محصول و سینتیک انتقال جرم و رطوبت در بادمجان می‌باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد اولیه

بادمجان مورد استفاده از بازار محلی خریداری گردید و تا زمان انجام آزمایشات در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. روغن مورد استفاده نیز روغن مایع مخصوص سرخ کردن (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، پنبه دانه و سویا) با نام تجاری اویلا بود و حلال استفاده شده جهت استخراج روغن از نمونه های سرخ شده در دستگاه سوکسله پترولیوم اتر (دکتر مجلی)، ساخت کشور ایران بود.

۲-۲- آماده سازی نمونه

برای انجام هر آزمایش، بادمجان‌ها پس از شستشو و پوست گیری، توسط یک کاتر دستی (قالب آلومینیومی) به شکل مکعب مستطیل به ترتیب به طول، عرض و ارتفاع ۵، ۳ و ۱ سانتی متر برش داده شدند.

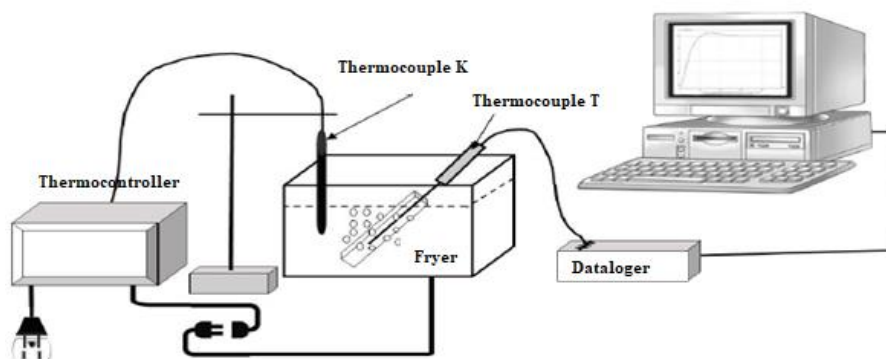
۲-۳- عملیات سرخ کردن و ثبت دما

فرآیند سرخ کردن برش‌های بادمجان در سرخ کن (سوزوکی - مدل ZDF2510-ژاپن) حاوی دولتر روغن مخصوص سرخ کردنی، مجهز شده به کنترل کننده دما (ترموکترلر) و ترموکوپل نوع K در دمای ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ سلسیوس انجام شد. به منظور اندازه گیری و ثبت تغییرات دمای محصول در حین سرخ کردن نیز سه عدد ترموکوپل نوع T در مرکز و سطح محصول قرار گرفت و دمای ترموکوپل های T با فواصل زمانی ۲ ثانیه به وسیله دیتالاگر ثبت و سپس به کامپیوتر منتقل گردید. این عمل از لحظه شروع سرخ کردن تا رسیدن محصول به حالت سرخ شده نهایی ادامه یافت. جهت تعیین محتوای رطوبت و

بخار آب به سمت سطح بالایی روغن ضریب انتقال حرارت جابجایی در سطح بالایی کمتر از سطح پایینی است که به علت تاثیر عایق حباب‌های بخار آب در سطح بالایی می‌باشد [۱۶]. صباغی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی ضریب انتقال حرارت جله‌جایی به عنوان تابعی از نرخ کاهش آب طی فرایند سرخ کردن، با توجه به اثرات تبخیر آب و جوشش روی این پارامتر حرارتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ضریب انتقال حرارت در دماهای بالا به دلیل نرخ خروج رطوبت بیشتر و در نتیجه تلاطم روغن بیشتر است و در دماهای پایین تر کسر حرارتی مورد نیاز برای تکمیل فرایند تبخیر، به دلیل پایین بودن ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی با کاهش دمای روغن، بیشتر می‌باشد [۱۷]. بیلدیز و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی ضریب انتقال هدایت جابجایی را با استفاده از معادله بخش خطی منحنی لگاریتم طبیعی دما و رطوبت بدون دما و رطوبت بدون بعد در برابر زمان تخمین زدند. با توجه به نتایج ضریب انتقال حرارت با افزایش دمای روغن کاهش یافت. افزایش نرخ خروج رطوبت در دماهای بالای سرخ کردن موجب صرف انرژی بیشتر برای تبخیر شده و در نتیجه کاهش انرژی در دسترس برای افزایش انرژی داخلی و ایجاد تغییرات دمایی محسوس در ماده غذایی شده و ضریب انتقال حرارت موثر کاهش می‌یابد که نتیجه آن با سایر محققین اختلاف داشت [۱۸]. حامد بیگی و ناصر همدی (۱۳۹۲) در یک مطالعه به بررسی سینتیک جذب روغن و خروج رطوبت در طی سرخ کردن خلال‌های سیب‌زمینی پرداختند. با توجه به نتایج، افزایش دمای سرخ کردن بطور معنی‌داری سبب افزایش جذب روغن و خروج رطوبت از خلال‌ها گردید. همچنین برای توصیف میزان جذب روغن و خروج رطوبت از خلال سیب‌زمینی و تغییرات سفتی پوسته و مغز خلال طی سرخ کردن مدل‌های سینتیکی متفاوتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مدل سینتیکی درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول، بیشترین انطباق را با داده‌های آزمایشگاهی مربوط به خروج رطوبت و روغن

بلافاصله آنالیزهای مربوطه بر روی آنها انجام گرفت. تمامی آزمایشات با سه تکرار انجام شد.

میزان جذب روغن در طول سرخ کردن در زمان‌های ۲۰، ۳۶، ۱۲۴ و ۲۰۰ ثانیه، نمونه‌ها از سرخ‌کن خارج گردید و روغن سطحی آنها توسط کاغذ جاذب حذف شد و



Equipment for recording temperature change during frying

Figure 1. diagram of frying operation and recording of the temperature of eggplant slices during deep frying

$$(۱) \text{ رابطه } q_h = \gamma q_T = \gamma A_p h (T_{st} - T_0)$$

$$(۲) \text{ رابطه } q_c = (1 - \gamma) q_T = (1 - \gamma) A_p h (T_{st} - T_0) = \lambda \dot{W}$$

A_p = مساحت سطح بادمجان (m^2)، T_0 و T_{st} = به ترتیب دمای سطحی برش‌های بادمجان ($^{\circ}C$) در زمان صفر و زمان t بر حسب ثانیه، qh = انرژی حرارتی مصرفی برای تغییر دمای بادمجان، m جرم برش‌های بادمجان (kg)، $C_{p,ave}$ میانگین ظرفیت گرمایی ویژه بادمجان، $\dot{W}$ = نرخ کاهش آب محصول ($kg \cdot s^{-1}$)، γ = کسری از q_T که برای حرارت دهی بادمجان استفاده می‌شود، λ = گرمای نهان تبخیر آب در بادمجان.

ضریب انتقال حرارت جابجایی با بدست آمدن مقدار γh از رابطه (۳) و اضافه کردن آن به مقدار $(1 - \gamma)h$ که از رابطه (۴) حاصل می‌شود، قابل تخمین است. برای هر زمان مقدار T_{st} و T_{si} به صورت تجربی بدست آمده و در معادلات قرار داده شد.

$$\text{رابطه (۳)} \quad y_h = m C_{p,ave} (T_{st} - T_{si}) / t A_p (T_{st} - T_0)$$

$$\text{رابطه (۴)} \quad (1 - \gamma) h = \lambda W / A_p (T_{si} - T_0)$$

۲-۴- محتوای رطوبت

محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ شده بادمجان قبل از سرخ شدن و بعد از سرخ شدن (بعد از خارج کردن روغن)، از طریق خشک کردن آنها در آون کنوکسیون (ممرت - آلمان) در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سلسیوس، تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد [۲۰].

۲-۵- استخراج روغن

محتوای روغن نمونه‌های سرخ‌شده از طریق استخراج روغن آنها در دستگاه سوکسله (بهر-آلمان) بر حسب گرم روغن بر گرم ماده خشک، با استفاده از حلال پترولیوم اتر اندازه‌گیری گردید [۲۰].

۲-۶- تخمین ضریب انتقال حرارت جابجایی با دمای سطح محصول

در این روش با فرض اینکه کل حرارت منتقل شده بر حسب $J \cdot s^{-1}$ از روغن به سطح برش‌های بادمجان (q_T) برای حرارت دهی بادمجان (q_h) و برای تبخیر آب (q_c) استفاده می‌شود [۲۱]. ضریب انتقال حرارت جابجایی بر اساس روابط (۱ و ۲) بر حسب $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ تخمین زده خواهد شد:

۳- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، بررسی و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بدست آمده از آزمایشات، به صورت طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار Design expert نسخه ۷.۰.۰ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال $P \leq 0.05$ استفاده شده و کلیه نمودارها توسط نرم‌افزار EXCEL ۲۰۱۶ رسم گردید.

۴- نتایج و بحث:

۴-۱- بررسی تغییرات دمای مرکزی و سطحی بادمجان در طی سرخ کردن عمیق

نمودار ۱ تغییرات دمای مرکزی و سطحی محصول را در طی سرخ کردن در سه دمای مختلف روغن نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، روند تغییرات دمایی در دو مرحله پیش می‌رود. در پژوهش حاضر آهنگ افزایش دما در کل تیمارها هم در مرکز و هم در سطح محصول تا محدوده‌ی نقطه جوش آب پیش رفت و پس از آن در طول زمان سرخ کردن دمای محصول ثابت باقی ماند. افزایش دمای مرکزی محصول (نمودار ۱) در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس روغن تا رسیدن به محدوده‌ی نقطه جوش آب حدود ۵۰ ثانیه و در دماهای ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه- سلسیوس، این مدت تقریباً ۹۰ ثانیه پس از شروع فرآیند مشاهده شد. در ابتدا به دلیل فشار بخار ناشی از تبخیر و حبس حباب‌های بخار در محصول به دلیل تشکیل پوسته، نقطه جوش آب طبق قوانین ترمودینامیکی با زیاد شدن فشار ناشی از وجود بخار، افزایش یافت و سپس با کاهش نرخ تبخیر آب و فاز جوشش، نقطه‌ی جوش آب کاهش یافت و تا پایان سرخ کردن دمای مرکزی و سطحی محصول لندگی کمتر از 100°C باقی‌ماند. در سرخ کردن انتقال حرارت با دو سینک حرارتی^۲ صورت می‌گیرد. اولین

T_0 و T_{si} = ترتیب دمای سطحی برش‌های بادمجان ($^{\circ}\text{C}$) در زمان t بر حسب ثانیه و در زمان صفر

۷-۲- سنتتیک انتقال رطوبت و روغن

تغییرات رطوبت محصول در طی سرخ کردن از یک تابع نمایی کاهشی پیروی می‌کند. مدل سنتتیک کاهش رطوبت در طی سرخ کردن مشابه کروکید و همکاران (۲۰۰۱) و همچنین بایک و میتال (۲۰۰۵) به صورت یک تابع نمایی به صورت رابطه (۵) در نظر گرفته شد [۲۳، ۲۲].

$$\text{رابطه (۵)} \quad \ln\left(\frac{m_t - m_{\infty}}{m_i - m_{\infty}}\right) = -Kmt$$

در رابطه فوق m_i رطوبت اولیه محصول m_t ، (g/g, db) رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه m_{∞} ، (g/g, db) رطوبت تعادلی نمونه‌ها (رطوبت نمونه‌ها در زمان بی نهایت) می‌باشد.

مدل سینتیکی فوق روی داده‌های تجربی بررسی شده و با رسم $\ln(m_t/m_0)$ در برابر زمان و بدست آوردن شیب خط حاصل سینتیکی Km برای دماهای مختلف آزمایش برآورد شد.

مدل سینتیکی جذب روغن ارائه شده به صورت رابطه (۶) مطابق کروکید و همکاران در نظر گرفته شد [۸]:

$$\text{رابطه (۶)} \quad O = O_{eq}[1 - \exp(-k_0 t)]$$

در این معادله O = محتوای روغن محصول (گرم روغن در گرم ماده خشک) در زمان t ، O_{eq} = محتوای روغن در حالت تعادل یا حداکثر محتوای روغن در ماده خشک در زمان $t = \infty$ ، زمان سرخ کردن و K_0 = نرخ ویژه یا ثابت سینتیک جذب روغن برای مدل بر حسب (1/s) می‌باشد. در این مدل در زمان $t=0$ محتوای روغن محصول صفر در نظر گرفته شد و در زمان طولانی سرخ کردن محتوای روغن برابر با میزان تعادلی یا O_{eq} در نظر گرفته شد.

سیلسیوس به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ درجه سیلسیوس ثبت کردند و مراحل آن را از نظر زمانی تفکیک کردند. نتایج نشان داد که دمای مرکزی محصول برای هر سه دمای روغن پس از رسیدن به نقطه جوش آب تا پایان به صورت یکنواخت باقیماند و در خصوص دمای سطحی افزایش دما قبل از رسیدن به تبخیر در دمای ثابت، مرحله حرارت دهی اولیه است که با پیشرفت فرایند سرخ کردن و رسیدن دمای مرکزی محصول به نقطه جوش این مرحله محدود شد که این مدت زمان در این پژوهش ۶۰ ثانیه طول کشید، که با نتایج حاصل از این پژوهش منطبق بود [۱۷].

سینک حرارتی به صورت حرارت محسوس است که موجب افزایش دمای محصول از دمای اولیه به نزدیکی نقطه جوش آب می شود. این سینک حرارتی با پیشرفت فرایند سرخ کردن و رسیدن دمای مرکزی محصول به نقطه جوش محدود می شود. دومین سینک حرارتی مربوط به حد واسط پوسته/هسته می باشد که در این نقطه آب تبدیل به بخار می شود و در سرتاسر فرایند سرخ کردن حفظ می گردد [۲۴]. هرچه دمای فرایند بیشتر باشد طول دوره ثابت در پروفایل دمایی کاهش می یابد [۲۵]. صباغی و همکاران تغییرات دمایی سطحی و مرکزی خلال های سیب زمینی را با ترموکوپل طی سه دمای ۱۴۵، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه

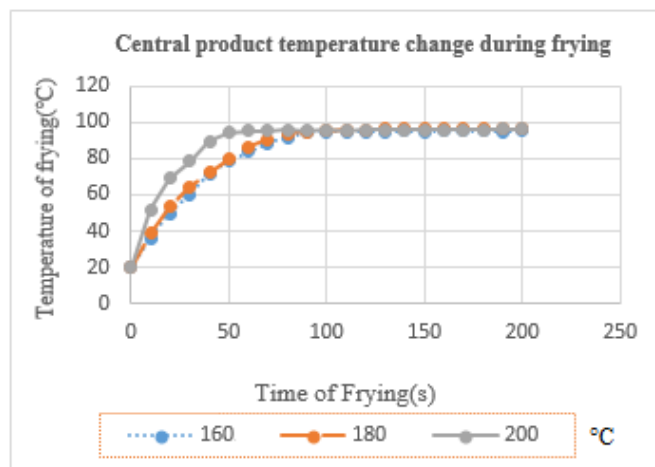


Figure 1. Comparison of central product temperature changes during eggplant frying at a constant oil temperature 160, 180 and 200 °C

محصول و تشکیل پوسته تا اتمام عمل سرخ شدن تقریباً در دمای ثابت باقیماند. اتمام عمل سرخ کردن با توجه به کاهش مقدار رطوبت و سرخ شدن مطلوب نمونه ها انجام شد. که طول زمان سرخ شدن در دماهای روغن ۲۰۰، ۱۸۰ و ۱۶۰ درجه سیلسیوس، به ترتیب ۲۰۰، ۲۶۰ و ۳۲۰ ثانیه بود. با توجه به روند تغییرات دما در دو نمودار بالا و معنی دار نبودن تغییرات دمایی سطح و مرکز، زمان های ثابت ۲۰ (۱۶۰-۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سیلسیوس) برای بررسی پارامترهای فیزیکی سرخ شدن بادمجان انتخاب گردید.

همانگونه که در نمودار ۲ مشاهده می شود تغییرات دمای سطح محصول همانند تغییرات دمای مرکز می باشد با این تفاوت که زمان رسیدن به محدوده نقطه جوش آب در مدت زمان کمتری رخ داد و علت این امر را می توان به علت تماس مستقیم روغن با سطح محصول و شدت انتقال حرارت بالا دانست. محدوده نقطه جوش آب در دمای ۲۰۰ درجه سیلسیوس روغن، حدود ۳۰ ثانیه و در دماهای ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سیلسیوس روغن این مدت تقریباً ۶۰ ثانیه پس از شروع فرایند رخ داد. دمای سطحی محصول زودتر به نقطه جوش آب رسیده و پس از اتمام آب سطحی

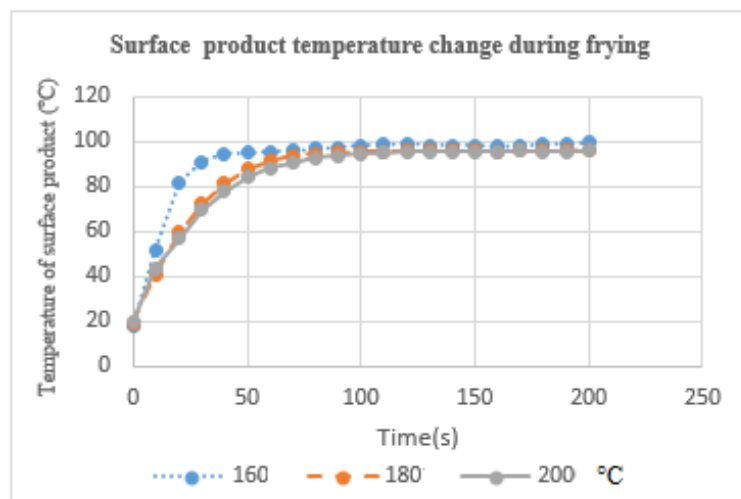


Figure 2. Comparison of product surface temperature changes at oil temperatures of 160, 180 and 200 °C during frying time

نتایج حاکی از این بود که از زمان‌های ابتدایی فرایند تا زمان ۱۲۰ ثانیه میان محتوای رطوبت و روغن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که دلیل آن با وجود نرخ تبخیر بالا تا این زمان قابل توضیح بود [۱۷]. همچنین رومانی و همکاران در خصوص نرخ کاهش آب و جذب روغن مشاهده کردند که در حدود ۳ دقیقه پس از شروع فرایند تقریباً ثابت بود. آنها همچنین بیان کردند، جذب روغن یک افزایش نسبتاً سریع و معنی‌داری را در ۱۲۰ ثانیه ابتدایی آغاز فرایند نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند جاننشینی آب تبخیر شده از محصول باشد [۲۴].

فارکاس و همکاران بیان کردند که تا زمانی که دمای مرکزی محصول حدود ۱۰۰ درجه سانتی گراد ثابت باقی‌ماند نرخ مهاجرت روغن به داخل محصول ناچیز است. کاهش رطوبت در محصول با ایجاد خلل و فرج باعث جذب روغن می‌شود [۲۵] همچنین صباغی و همکاران در خصوص سرخ کردن عمیق سیب زمینی در ۳ دمای مختلف نشان دادند که نرخ نفوذ روغن با شروع تبخیر مرکزی (رسیدن دمای مرکز) به ۱۰۰ درجه سلسیوس حدوداً از ثانیه ۶۰ به بعد، نسبت به ابتدای فرایند، کمتر شد، که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت [۱۷]

۴-۲- بررسی میزان رطوبت و روغن در دماها و زمان‌های مختلف سرخ کردن

در بررسی محتوای رطوبت اثر مستقل دما و زمان در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار شد ولی در بررسی محتوای روغن بادمجان سرخ شده تنها اثر مستقل دما در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار شد. نمودار ۳ و ۴ میانگین تغییرات رطوبت و محتوای روغن محصول را طی سرخ شدن در دماها و زمانهای فرایند نشان می‌دهد. با مقایسه نمودارها می‌توان ارتباط بین از دست رفتن آب محصول و جذب روغن را با توجه به دمای روغن و همچنین زمان‌های فرایند استنباط نمود. محتوای رطوبت محصول در دماهای بالای روغن، کمتر شد و با افزایش زمان سرخ کردن نرخ کاهش آب محدود گردید. شیب نمودارها در سه دمای سرخ کردن مؤید این نکته است. بالا بودن شدت تبخیر در ۲۰ ثانیه اول فرایند در هر سه دما احتمالاً به دلیل تبخیر ناگهانی آب آزاد سطحی محصول می‌باشد. اختلاف فشار بخار بین محصول و روغن سرخ کردن باعث تبخیر سریع آب می‌گردد که در ابتدای فرایند سرخ کردن اختلاف فشار جزئی بیشتر از سایر زمان‌های سرخ کردن می‌باشد. صباغی و همکاران تغییرات رطوبت و میانگین تغییرات محتوای روغن طی سرخ کردن سیب زمینی در دما و زمان‌های مختلف بررسی کردند.

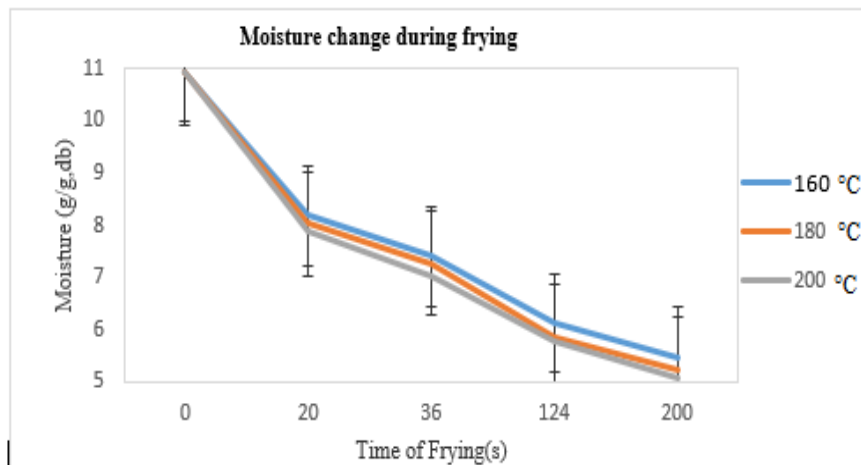


Figure 3. Moisture changes of eggplant pieces during frying

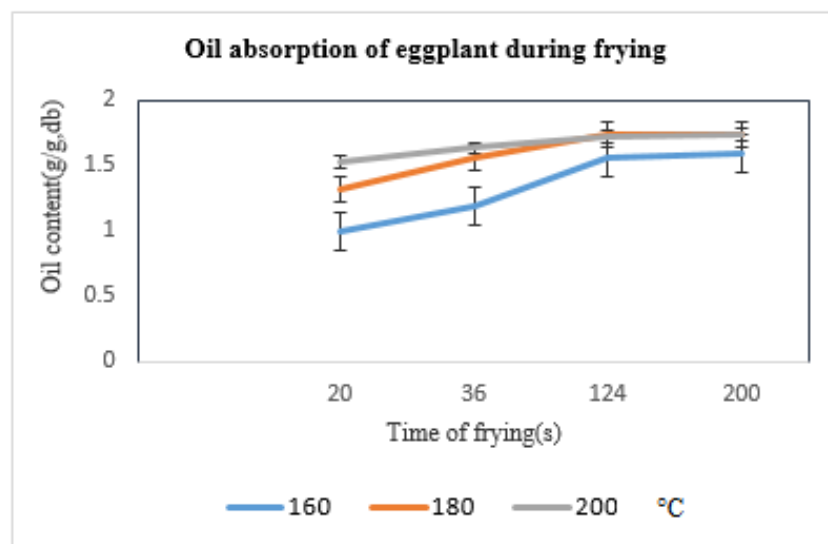


Figure 4. Changes in oil absorption of eggplant pieces during frying at three different temperatures

(۲۰۰۷) می‌تواند ساختار فشرده شده محصول باشد که به عنوان مانعی برای نفوذ روغن عمل می‌کند. البته به منظور انتقال جرمی رطوبت و روغن می‌توان از ثابت‌های سینتیکی بهره‌گرفت [۲۶].

۴-۵- نتایج سینتیک انتقال رطوبت و روغن

نمودار ۸ خطی سازی مدل انتقال رطوبت بصورت تغییرات لگاریتم طبیعی رطوبت بدون بعد را از ابتدای زمان فرایند نشان می‌دهد. با محاسبه شیب خطوط برازش شده روی داده‌های لگاریتم طبیعی، مقدار ثابت سینتیک کاهش آب (kw)، برای دمای ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰ به ترتیب ۰/۱۶۶۹، ۰/۱۷۸۹ و ۰/۱۸۴ به دست آمد. همان‌طور که مشخص

با توجه به نمودار ۴ بیشترین جذب روغن مربوط به تیمار ۲۰۰ ثانیه در دمای ۲۰۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس بود. شدت جذب روغن در ثانیه‌های آغازین فرایند بخصوص در دمای پایین‌تر بیشتر بود. زمانی که دمای مرکزی محصول به حدود ۱۰۰ درجه سلسیوس رسید نرخ مهاجرت روغن به داخل محصول ناچیز شد. رومانی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند جذب روغن یک افزایش نسبتاً سریع و معنی داری را در ۱۲۰ ثانیه ابتدایی آغاز فرایند نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند به علت جانشینی آب تبخیر شده از محصول باشد [۲۴]. در بخش انتهایی نمودارهای جذب روغن محتوی روغن جذب شده در طی زمان در دماهای بالا معنی دار نبود که علت آن طبق بیان دوران و همکاران

آب، کاهش یافت و با افزایش زمان سرخ کردن نرخ کاهش آب محدود گردید [۲۷]

است با افزایش دمای سرخ کردن ثابت سینتیک کاهش رطوبت افزایش یافت که نشان دهنده سرعت خروج رطوبت بیشتر از محصول در دمای بالا نسبت به دماهای پایین تر بود. محبی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که، محتوی رطوبت نهایی محصول با افزایش دمای فرایند سرخ کردن بدلیل خروج سریع تر جزء جرمی

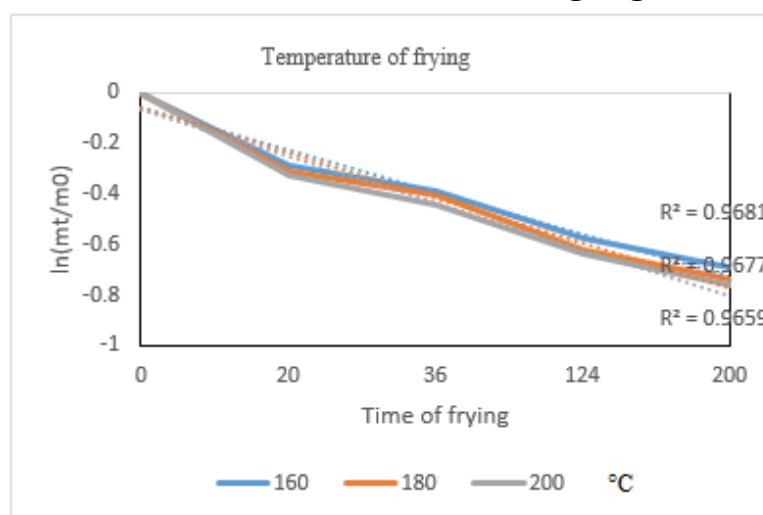


Figure 8. Linear fitting of a natural logarithmic moisture transfer model (from the beginning of the process)

جذب کردند [۱۰]، همچنین دوران و همکاران مشاهده کردند که در طول سرخ کردن سیب زمینی در ۱۸۰ درجه سلیسیوستنها ۳۸٪ از محتوای روغن در سیب زمینی نفوذ کرده بود و ۶۲٪ در سطح باقیمانده، که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشتند [۲۶]. تغییرات ثابت سینتیک جذب روغن با زیاد شدن دمای روغن، افزایش ناچیزی نشان داد.

نمودار ۹، برازش مدل سینتیکی جذب روغن را نشان می دهد. با توجه به جدول (۱) ثابت سینتیک جذب روغن با افزایش دمای سرخ کردن نسبتاً زیاد شد. از طرفی میزان مجموع اطلاعات حاصل از برازش منحنی، کاهش جذب روغن در دماهای بالا را تایید کرد. این نتایج با نتایج کیتا و همکاران مطابقت داشت آنها مشاهده کردند که در دماهای بالاتر چپس های سیب زمینی روغن کمتری

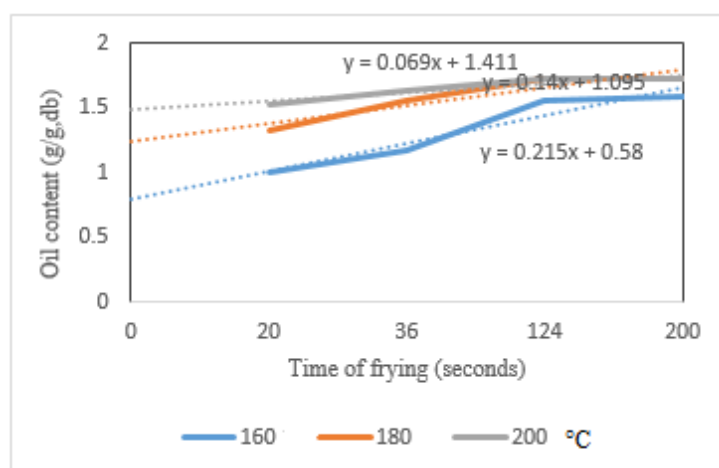


Figure 9. Linear fit of a kinetic model of oil absorption

Table1- Fitting information of oil adsorption kinetic model

Oil Temperature (°C)	Equilibrium Oil Content O_{eq} (g/g, db)	Oil Uptake Rate Constant K_0 (1/s)
160	1.59	0.024667
180	1.73	0.026771
200	1.73	0.045643

۶-۴- ضریب انتقال حرارت جابجایی

ضریب انتقال حرارت از مهم ترین پارامترها برای حفظ کیفیت محصول سرخ شده می باشد. ضریب انتقال حرارت طی فاز جوشش نقش بحرانی در تشکیل خصوصیات حسی محصول، تحریک قهوه ای شدن (واکنش مایلارد) و واکنش های کاراملیزه شدن که موجب پخش شدن کامل عطر و طعم، رنگ و بافت ماده غذایی می شوند، دارد. کیفیت پوسته تشکیل شده، در طی فاز جوشش عامل بسیار مهمی در نرخ انتقال حرارت و بافت مطلوب محصول می باشد. بعلاوه جریان های حرارتی در طول ماده غذایی نیازمند در نظر گرفتن شرایط مرزی برای معادلات انتقال حرارت با استفاده ضریب انتقال حرارت جابجایی می باشد. بنابراین اندازگیری ضریب انتقال حرارت نقش مهمی در فهم پیچیدگی های فرایند سرخ کردن دارد [۲۸] همانگونه که از نمودار ۱۰ هم مشخص است ضریب انتقال حرارت جابجایی در زمان های اولیه فرایند بیشتر بوده و با سپری شدن زمان سرخ کردن این عدد نیز کاهش یافت. بیشترین مقدار h مربوط به ثانیه بیستم در دمای سرخ کردن ۲۰۰

درجه سیلسیوس می باشد. مقادیر ضریب انتقال حرارت بدست آمده در سرخ کردن وابستگی خطی به نرخ کاهش آب محصول دارد و میزان حداکثر آن همزمان با رسیدن به حداکثر نرخ تبخیر آب و تلاطم روغن مشاهده می شود. پس از خشک شدن سطحی محصول در دماهای مختلف و کاهش تلاطم با وجود افزایش دمای سطحی محصول به سمت دمای روغن، تقریباً میزان ضریب انتقال حرارت ثابتی بدست می آید که نشان دهنده وابستگی شدید این فاکتور به وجود حرکت حجمی یا آشفتگی جریان در محیط حرارتی است. با کاهش دما و زمان سرخ کردن مقدار h کاهش می یابد. ضریب انتقال حرارت جابجایی با آغاز فرایند و تبخیر آب محصول و ایجاد تلاطم به حداکثر خود رسیده و سپس با کاهش نرخ جوشش و کاهش تلاطم بستر کاهش می یابد. این ضریب برای دماهای مختلف روغن بطور تقریباً همزمان به میزان حداکثری خود رسید که این امر نشان دهنده وابستگی این فاکتور به تلاطم روغن و فاز تبخیر دارد. در دماهای بالا به دلیل نرخ خروج رطوبت بیشتر و تلاطم زیاد حاصل از دمای بیشتر بستر، میزان ضریب انتقال حرارت بیشینه بیشتر است [۲۹].

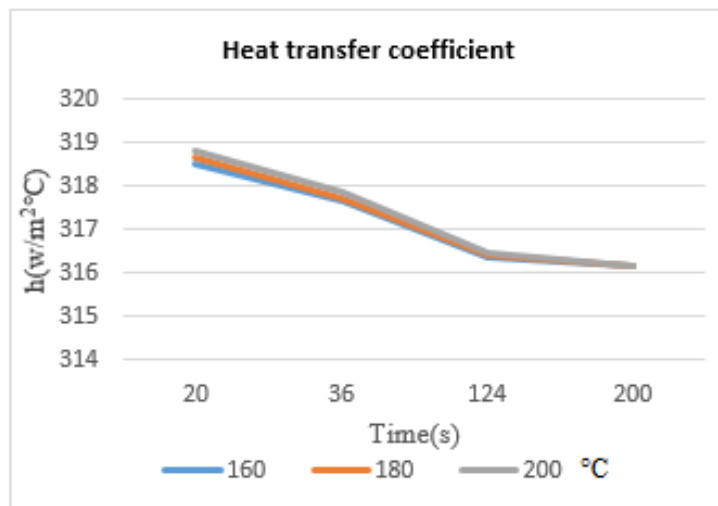


Figure 10: Changes in convective heat transfer coefficient of displacement over time

مشخص می‌شود: اول اینکه دمای این ناحیه بالاتر از نقطه جوش مایع حاضر در ماده غذایی است و دوم اینکه غلظت آب مایع در آن ناچیز است [۳۱]. همانطور که هدایت حرارتی در پوسته کاهش می‌یابد این امر بر روی انتقال حرارت و جرم تأثیر گذاشته و نرخ آبردائی کاهش می‌یابد. سرعت انتقال حرارت به اختلاف درجه حرارت بین ماده غذایی و سیال حرارت داده شده و ضریب هدایت حرارت سطحی بستگی دارد [۳۲]. روش‌های گزارش شده در مقالات برای اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت در طی سرخ کردن غوطه وری دارای محدودیت‌هایی است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به عدم وجود روش‌های استاندارد برای اندازه‌گیری، در نظر نگرفتن انتقال حرارت در اغلب موارد، عدم توجه به اثرات تجمع محصولات و عدم یکنواختی در تخمین و گزارش خطاهای اندازه‌گیری اشاره کرد [۹]. ساهین و همکاران با بررسی ضریب انتقال حرارت جابه جایی طی سرخ کردن سیب زمینی مشاهده کردند که h با افزایش دمای روغن زیاد می‌شود. بعد از تشکیل پوسته با کاهش نرخ تبخیر که عامل ایجاد تلاطم در روغن است، از ضریب انتقال جابه جایی نیز کاسته می‌شود. همچنین با حرکت حباب‌های حاصل از بخار آب به سمت سطح بالایی روغن ضریب انتقال حرارت جابجایی در سطح بالایی کمتر از سطح پایینی است که به علت تأثیر عایق حباب‌های بخار آب در سطح بالایی می‌باشد [۳۳]. فارکاس و هوبارت انتقال

در کنترل دو مرحله ای فرایند سرخ کردن، اولین مرحله کنترل نرخ گرمادهی است به مواد خام و روغن است که در بهینه سازی و کنترل بهرووری فرایند در مرحله دوم اهمیت زیادی دارد [۱۴]. در فرایند سرخ کردن حرارت از محیط حرارتی (روغن) با انتقال حرارت جابه جایی به سطح ماده غذایی منتقل شده و سپس به وسیله انتقال حرارت هدایتی به داخل ماده غذایی وارد می‌شود. آب دارای چندین نقش در انتقال حرارت به داخل غذا و پخت آن طی فرایند سرخ کردن است. اولین نقش آب گرفتن انرژی حرارتی از روغن داغی است که غذا را احاطه کرده است. این عمل با خارج کردن انرژی در سطح غذا، از سوختن غذا به دلیل آب زدایی (هیدراتاسیون) بیش از حد جلوگیری می‌کند. بنابراین اگرچه درجه حرارت روغن ممکن است به ۱۸۰ درجه سلسیوس برسد ولی درجه حرارت غذا فقط در حد ۱۰۰ درجه سلسیوس است، که مطابق با نقطه جوش آب در ماده غذایی تحت فشار اتمسفری می‌باشد و گرمای اضافی صرف تغییر فاز آب از مایع به بخار می‌شود [۲۵] در واقع سرخ کردن شامل چهار مرحله حرارت دهی اولیه (انتقال حرارت جابه جایی طبیعی و عدم تبخیر)، جوشش سطحی (تشکیل پوسته و انتقال حرارت جابه جایی اجباری)، مرحله نرخ کاهشی (افزایش ضخامت پوسته، طولانی ترین مرحله) و نقطه پایان حباب می‌باشد [۳۰]. ناحیه پوسته که ضخامت آن در طی سرخ کردن افزایش می‌یابد با دو معیار

حرارت در سرخ کردن را به عنوان روشی سریع برای خشک کردن مواد غذایی بررسی کردند. نتایج نشان داد که سیستم پیچیده ای از انتقال حرارت جابه جایی طبیعی و جابه جایی اجباری علاوه بر شرایط جوشش در سرخ کردن وجود دارد. ضریب انتقال حرارت جابجایی بین ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ وات بر متر مربع درجه سانتی گراد محاسبه شد و تا حد زیادی به حرکت حجمی به و تلاطم روغن بستگی داشت. جریان حرارتی با افزایش میزان تجزیه شدن روغن افزایش یافت که به دلیل کاهش اندازه و افزایش تعداد حبابها بود که ناشی از تغییرات خصوصیات بین سطحی روغن می باشد. با افزایش ضخامت پوسته همزمان یک مانع انتقال حرارت میان سطح روغن و غذا بوجود آمد که باعث کاهش نرخ انتقال حرارت و بدنبال آن کاهش تشکیل بخار و کاهش آشفتگی جریان روغن شد [۳۴]. یلدیز و همکاران (۲۰۰۷) ضریب انتقال جابه جایی را با استفاده از معادله بخش خطی منحنی لگاریتم طبیعی دما و رطوبت بدون بعد در برابر زمان تخمین زدند. روش مورد استفاده آنها بر اساس اندازه گیری دما طی زمان در سیب زمینی بود و نیازی به دانستن محل ترموکوپل نبود و این امر پتانسیل ایجاد خطا را در آزمایش کاهش داد. نتایج نشان داد که ضریب انتقال حرارت با افزایش دمای روغن کاهش یافت. میزان ضریب انتقال حرارت برآورد شده در این شرایط به ترتیب برای دمای روغن ۱۵۰-۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سلسیوس برابر $15 + 287 - 8$ و $227 + 7 - 181$ وات بر متر مربع درجه سلسیوس بود. افزایش نرخ خروج رطوبت در دمای بالای سرخ کردن موجب صرف انرژی بیشتر برای تبخیر شده و در نتیجه کاهش انرژی در دسترس برای افزایش انرژی داخلی و ایجاد تغییرات دمای محسوس در ماده غذایی شد و ضریب انتقال حرارت موثر کاهش یافت که نتیجه آن با این پژوهش منطبق نبود [۱۸]. برطبق نتایج کوستا و همکاران در حین سرخ کردن، جوشش هسته ای^۳ مشاهده شد. یعنی بخار آب به شکل حباب در سطوح

مختلف نمونه سیب زمینی تشکیل شده و به سمت قسمت بالایی بستر روغن حرکت کرده است. حرکت حبابهای بخار بعد از تشکیل در سطح، تاثیر زیادی بر تلاطم و آشفتگی جریان روغن دارد. حباب های خروجی از سطوح پایین به هم متصل و حباب های برگتری را در سطح تشکیل می دهند که این امر می تواند به عنوان مقاومتی در برابر انتقال حرارت عمل کند و پیش بینی شد که ضریب انتقال حرارت سطح پایینی محصول از بالایی کمتر باشد. نتایج حاصل از این تخمین افزایش ضریب انتقال حرارت جابه جایی را با افزایش نرخ کاهش آب در ۵۰ تا ۶۰ ثانیه ابتدائی فرایند نشان می دهد که مشابه مشاهده حاصل از این تحقیق می باشد [۲۱]. مطابق گزارش فارکاس و هوبارهمچنان که جوشش سطحی موجب خروج آب به صورت بخار می شود، متلاطم شدن روغن موجب افزایش ضریب انتقال حرارت جابه جایی و رسیدن آن به میزان حداکثری خود می باشد. حداکثر نرخ خشک شدن محصول و پایین آمدن ضریب انتقال جابه جایی هر دو تقریباً ۶۰ ثانیه پس از شروع فرایند اتفاق افتاد. افزایش ضخامت پوسته در این زمان موجب ایجاد یک مانع انتقال حرارت در حد واسط روغن و غذا و حد واسط تبخیر شده که به صورت یک لایه عایق عمل می کند [۳۴]. بایک و میتا نیز بیان کردند که با رسیدن دمای سطح محصول به حدود ۱۰۰ درجه سلسیوس در مدت زمان کوتاهی آب به دلیل دمای بالای روغن از سطح محصول خارج شده و تلاطم شدید با تولید حباب ایجاد شد [۲۲].

۵- نتیجه گیری :

در این پژوهش تاثیر متغیرهای زمان و دما، بر ویژگیهای کیفی بادمجان سرخ شده تحت شرایط فرآیند عمیق سرخ کردن مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از بررسی شبیه سازی محتوای روغن و محتوای رطوبت

جایجایی در زمان‌های اولیه فرآیند بیشتر بوده و با سپری شدن زمان سرخ کردن این عدد نیز کاهش میابد. بیشترین مقدار h مربوط به ثانیه بیستم در دمای سرخ کردن ۲۰۰ درجه سلسیوس می‌باشد. بیشترین جذب روغن در زمانهای ابتدایی فرایند است، بنابراین دمای بالا با افزایش شدت تبخیر و کاهش زمان فرایند میتواند در کاهش روغن نهایی محصول طی سرخ کردن در شرایط اتمسفری مؤثر باشد.

بادمجان سرخ‌شده به صورت عمیق به طور خلاصه بدین شرح است:

با افزایش زمان سرخ کردن میزان رطوبت کاهش یافت که در نتیجه آن جذب روغن افزایش پیدا کرد. نتیجتاً با استفاده از زمان‌ها و دماهای کمتر سرخ کردن می‌توان از خروج رطوبت جلوگیری کرد و نهایتاً میزان جذب روغن نمونه‌ها را کاهش داد. با توجه به نتایج ضریب انتقال حرارت

۶- منابع

- [1] FAO. 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [2] Hui, Y.H. 2006. Handbook of food science, technology, and engineering. vol.4. CRC press.
- [3] Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Fray, A., & Doğanlar, S. 2018. Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry*, 268, 602–610.
- [4] Dueik, V., Robert, P., & Bouchon, P. 2010. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3), 1143–1149.
- [5] Mestdagh, F., Wilde, T.D., Fraselle, S., Govaert, Y., Ooghe, W., Degroodt, J.M. Verhe, R., Peteghem, C.V., & Meulenaer, B.D. 2008. Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 41 (9), 1648–1654.
- [6] Juárez, I., Zocco, C., Mouro, V., Cid, C., & De Peña, MP. 2016. Effect of frying process on furan content in foods and assessment of furan exposure of Spanish population. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 549–55.
- [7] Datta, A.K. 2007. Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations. *Journal of Food Engineering*, 80 (1), 80–95.
- [8] Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., & Marinos-Kouris, D. 2001. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of french fries. *Journal of Food Engineering*, 49 (4), 339–345.
- [9] Alvis, A., Vélez, C., Rada-Mendoza, M., Villamiel, M., & Villada, H.S. Heat transfer coefficient during deep-fat frying. *Food Control*, 20 (4), 321–325.
- [10] Kita, A., Lisińska, G., & Gołubowska, G. 2007. The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry*, 102 (1), 1–5.
- [11] Mottram, D.S., Wedzicha, B.L., & Dodson AT. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419, 448–449.
- [12] Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*, 14 (9), 364–373.
- [13] Zyzak, D.V., Sanders, R.A., Stojanovic, M., Tallmadge, D.H., Eberhart, B.L., Ewald, D.K., Gruber, D.C., Morsch, T.R., Strothers, M.A., Rizzi, G.P. & Villagran, M.D. 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (16), 4782–4787.
- [14] Rywotycki, R. 2003. Food frying process control system. *Journal of Food Engineering*, 59 (4), 339–342.
- [15] Trystram, G. 2012. Modelling of food and food processes. *Journal of Food Engineering*, 110 (2), 269–277.
- [16] Sahin, S., Sastry, S.K., & Bayindirli, L. 1999. The determination of convective heat transfer coefficient during frying. *Journal of Food Engineering*, 39 (3), 307–311.
- [17] Sabbaghi, H., Ziaifar, A.M., Mahoonak, A.R.S, Kashaninejad, M., & Mirzaei, H. 2015. Estimation of convective heat transfer coefficient as function of the water loss rate during frying process. *Iranian Journal Food Science and Technology Research*, 11 (4), 473–484.
- [18] Yıldız, A., Palazoğlu, T.K., & Erdoğan, F. 2007. Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 79 (1), 11–17.

- [19] Beyki, H., & Hamdami, N. 2014. Kinetic of Oil Uptake, Water Loss and Texture Changes During Frying of Potato Strips. *Journal of Food Research (UNIVERSITY OF TABRIZ)*, 23 (4), 471-481.
- [20] AOAC. 1995, Official methods of analysis Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists n.d.
- [21] Costa, R., & Oliveira, F. 1999. Modelling the kinetics of water loss during potato frying with a compartmental dynamic model. *Journal of Food Engineering*, 41 (3-4), 177-185.
- [22] Baik, O.D., & Mittal, G.S. 2005. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying. *Food Research International*, 38 (2), 183-191.
- [23] Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., & Marinos-Kouris, D. 2001. Effect of pre-drying on quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 49 (4), 347-354.
- [24] Romani, S., Bacchiocca, M., Rocculi, P., & Dalla Rosa, M. 2008. Effect of frying time on acrylamide content and quality aspects of French fries. *European Food Research and Technology*, 226, 555-560.
- [25] Farkas, B.E., Singh, R.P., & Rumsey, T.R. 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I, model development. *Journal of Food Engineering*, 29 (2), 211-226.
- [26] 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.
- [27] Mohebbi, M., Fathi, M., & Shahidi, F. 2011. Genetic algorithm-artificial neural network modeling of moisture and oil content of pretreated fried mushroom. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 603-609.
- [28] Sabbaghi, H., Ziaiiifar, A.M., & Kashaninejad, M. 2017. Analysis of heat and mass transfer during frying process of potato strips. *Iranian Journal Food Science and Technology Research*, 13 (2), 379-392.
- [29] Lioumbas, J.S., Kostoglou, M., & Karapantsios, T.D. 2012. On the capacity of a crust-core model to describe potato deep-fat frying. *Food Research International*, 46 (1), 185-193.
- [30] Farkas, B.E, Singh, R.P., & Rumsey, T.R. 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying. II, model solution and verification. *Journal of Food Engineering*, 29 (2), 227-248.
- [31] Ziaiiifar, A.M., Courtois, F., & Trystram, G. 2010. Porosity development and its effect on oil uptake during the frying process. *Journal of Food Process Engineering*, 33 (2), 191-212.
- [32] Moreira, R.G., Castell-Pérez, M.E., & Barrufet, M.A. 1999. Deep-Fat Frying: Fundamentals and Applications. An Aspen Publication. Inc Gaithersburg, Maryland.
- [33] Sahin, S., Sastry, S.K., & Bayindirli, L. 1999. Heat transfer during frying of potato slices. *LWT - Food Science and Technology*, 32 (1), 19-24.
- [34] Hubbard, L.J., & Farkas, B.E. 1999. Method for determining the convective heat transfer coefficient during immersion frying. *Journal of Food Process Engineering*, 22 (3), 201-214.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Simulation of moisture loss and oil absorption during batch deep frying of egg plants

Masoud khodabandeh¹, Narmela Asefi^{2*}, Armaghan Salem³

- 1- Graduate, in Department of Food Science and Technology, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran..
- 2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
- 3- Ph.D. in Department of Food Science and Technology, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received:2022/1/12 Accepted:2023/7/31 Keywords: eggplant, deep frying, oil content, moisture content, Heat transfer coefficient. DOI: 10.22034/FSCT.22.163.16. *Corresponding Author E- narmela@iau.ac.ir.	Eggplant has a short shelf life due to its high moisture content and softening of the tissue during storage. Therefore, it is necessary to use appropriate methods for processing to increase storage time and maintain its nutritional value. In fact, understanding the heat and mass transfer during frying can be useful for optimizing and controlling the process as much as possible. In this study, the effect of frying at 160, 180, and 200 °C for 20, 36, 124, and 200 seconds on moisture content, oil content, moisture, and oil transfer kinetics and estimation of convective heat transfer coefficient was analyzed. The results showed that the samples fried at 160 °C for 124 seconds had the lowest oil absorption. It was also found that as the temperature and frying time decreased, the oil content of the samples also decreased. In addition, the experimental models fit the experimental data well. In addition, the results showed that the sample fried for 200 seconds at 200 °C had the lowest moisture content ratio. It is known increasing the frying temperature of the synthetic constant also increases the decrease in humidity, which indicates that the rate of moisture exit of the product was higher at high temperatures than at lower temperatures. Also, increasing the frying time and temperature reduced the moisture content of the samples. The convective heat transfer coefficient is higher in the early times of the process and decreases with time as the frying time elapses. The maximum value of h was related to the twentieth seconds at a frying temperature of 200 °C.