

تأثیر بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم روی دانسیته ظاهری سیب زمینی طی سرخ کردن

جلال دهقان نیا^{۱*}، ژایلا رنجزاد^۲، بابک قنبرزاده^۳

۱- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۱)

چکیده

استفاده از ترکیباتی مثل سیکلودکسترین‌ها و الکترولیت‌های قوی که بتوانند کشش سطحی بین ماده غذایی و روغن را حین فرآیند سرخ کردن عمیق تحت تأثیر قرار دهند، روی کیفیت محصول سرخ شده از جمله دانسیته ظاهری مؤثر است. هدف این پژوهش، بررسی اثر افزودن بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم به روغن روی دانسیته ظاهری قطعات سیب زمینی و همچنین مدل‌سازی این عامل طی فرآیند سرخ کردن عمیق بود. در این پژوهش، بتاسیکلودکسترین در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۶ گرم در لیتر و کلریدسدیم با غلظت‌های ۱ و ۳ درصد به روغن سرخ‌کردنی افزوده شدند؛ سپس قطعات سیب زمینی در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه سرخ شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که طی فرآیند سرخ کردن، دانسیته ظاهری نمونه‌های مختلف با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند. همچنین، با افزایش دمای فرآیند از ۱۵۰ به ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد روند کاهش دانسیته ظاهری تشدید شد. علاوه بر این، تیمارهای بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم بصورت مجزا و تلفیقی، در هر دو غلظت، منجر به افزایش معنی‌دار دانسیته ظاهری نسبت به نمونه شاهد شدند. از سوی دیگر، جهت مدل‌سازی دانسیته ظاهری طی فرآیند سرخ کردن عمیق، تعدادی مدل تجربی برای مدل‌سازی این عامل پیشنهاد گردید. میانگین ضریب همبستگی بین نتایج آزمایش‌ها با یافته‌های حاصل از این مدل‌ها قابل توجه بود.

کلید واژگان: بتاسیکلودکسترین، سرخ کردن عمیق، دانسیته ظاهری، مدل‌سازی

* مسئول مکاتبات: j_dehghannya@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

رطوبت و جذب روغن را تحت تأثیر قرار دهد، کیفیت محصول نهایی را تعیین خواهد کرد. یکی از راهکارهای پیشنهادی، استفاده از ترکیباتی است که کشش سطحی بین ماده غذایی و روغن را تحت تأثیر قرار دهند که از آن جمله می‌توان به سیکلودکستین‌ها و الکترولیت‌های قوی اشاره نمود. به دلیل ساختار هیدروفیلی بخش خارجی سیکلودکستین‌ها و جذب در سطح ماده غذایی، این مواد موجب افزایش کشش سطحی و در نتیجه کاهش میزان انتقال جرم (دفع رطوبت و جذب روغن) می‌گردند [۱۳]. الکترولیت‌های قوی از جمله کلریدسدیم نیز، به دلیل ماهیت یونی خود، با جذب در لایه سطحی، از طریق افزایش کشش سطحی بین ماده غذایی و روغن، دفع رطوبت و جذب روغن در ماده غذایی را کاهش می‌دهند [۱۴].

همچنین، برای پیش‌بینی صحیح روند سرخ‌شدن مواد غذایی، می‌توان تغییرات دانسیته ماده غذایی طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق را مدل‌سازی نمود [۱۵، ۱۶]. این پژوهش، با هدف مطالعه تأثیر افزودن کلریدسدیم و بتاسیکلودکستین در روغن سرخ‌کردنی روی تغییرات دانسیته ظاهری و مدل‌سازی آن بر حسب زمان، محتوای رطوبت، میزان جذب روغن و چروکیدگی صورت گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این پژوهش، سیب‌زمینی و روغن مایع به عنوان مواد خام مورد استفاده قرار گرفتند. سیب‌زمینی از بازار محلی خریداری و قبل از انجام آزمایش‌ها در سردخانه بالای صفر نگهداری شد. روغن مورد استفاده در این مطالعه، روغن مایع مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، سویا و پنبه-دانه) بود. از بتاسیکلودکستین (Cyclomaltoheptaose Sodium chloride ساخت شرکت Sigma آمریکا) و کلریدسدیم (Sodium chloride ساخت شرکت Merck آلمان) نیز به عنوان افزودنی به روغن سرخ‌کردنی استفاده گردید.

۲-۲- تجهیزات

سرخ‌کن مورد استفاده در این پژوهش، سرخ‌کن خانگی (Moulinex، مدل F430.R، با ظرفیت ۲/۲ لیتر روغن، ساخت فرانسه، مجهز به سیستم تنظیم دما در محدوده ۱۵۰ تا

در حین سرخ‌کردن عمیق، تغییرات فیزیکی، شیمیایی و حسی مختلفی مانند تبخیر آب، تشکیل پوسته، چروکیدگی، تغییر رنگ، ایجاد تخلخل و مهاجرت روغن به داخل ماده غذایی اتفاق می‌افتد که مجموعه این تغییرات، به طور قابل توجهی کیفیت ماده غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱-۶]. میزان خروج رطوبت از ماده غذایی طی فرآیند سرخ‌کردن، ارتباط نزدیکی با دانسیته محصول سرخ‌شده دارد. به دلیل رابطه بین دانسیته و محتوای رطوبت اولیه، ماده غذایی خام با دانسیته بالاتر می‌تواند در محصول سرخ شده، میزان جذب روغن را کاهش دهد [۷]. ویژگی‌های فیزیکی ماده غذایی مانند دانسیته و تخلخل، عوامل مهمی هستند که بافت و پدیده‌های انتقال را در مواد غذایی سرخ‌شده تحت تأثیر قرار می‌دهند و از این طریق، سرعت فرآیند و در نهایت کیفیت محصول نهایی را تغییر می‌دهند؛ به همین دلیل، محاسبه تغییرات دانسیته ظاهری محصول طی این فرآیند اهمیت ویژه‌ای دارد [۸].

از عوامل مؤثر بر دانسیته ظاهری محصول سرخ‌شده، می‌توان به دما و زمان سرخ‌کردن، وارسته و نوع سیب‌زمینی، کیفیت روغن سرخ‌کردنی، نسبت سطح به حجم محصول، محتوای رطوبت اولیه ماده غذایی، میزان دفع رطوبت و جذب روغن توسط محصول سرخ شده، دانسیته ظاهری اولیه ماده غذایی و همچنین میزان تخلخل آن اشاره کرد. پینت‌هاوس و همکاران [۹]، در پژوهشی بیان کردند که با پیشرفت زمان در طول فرآیند سرخ‌کردن، دانسیته ظاهری به صورت خطی کاهش می‌یابد. موریرا و همکاران [۱۰] نیز، در مطالعه‌ای روی چیپس تورتیلا در طول فرآیند سرخ‌کردن، نتیجه مشابهی را گزارش کرده‌اند. در مطالعه دیگری، دانسیته ظاهری قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده با روغن پنبه‌دانه طی فرآیند سرخ‌کردن بررسی شده است [۱۱]. طبق نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، دانسیته ظاهری در طول فرآیند کاهش یافت. همچنین، دمای روغن اثر معنی‌داری بر روی خصوصیات ساختاری سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده داشت. به طوری‌که با افزایش دمای فرآیند، دانسیته ظاهری کاهش پیدا کرد. کاهش دانسیته ظاهری به کاهش محتوای رطوبت، جذب روغن و توسعه حفره‌های هوایی نسبت داده شد [۱۲].

هر عامل یا تیماری که بتواند فاکتورهای مؤثر بر دانسیته ظاهری محصول سرخ‌شده مثل دما و زمان فرآیند، میزان دفع

۴-۲-۴- شرایط سرخ کردن

در هر آزمایش پس از آماده‌سازی نمونه‌ها (بر اساس جدول ۱)، جهت سرخ کردن آنها، ابتدا سرخ‌کن با ۱/۵ لیتر روغن پر شد و بعد از افزودن ترکیبات، تنظیم دما و زمان سرخ کردن موردنظر، سرخ‌کن بر روی حالت اتوماتیک قرار داده شد؛ به طوری که پس از رسیدن دمای سرخ‌کن به دمای موردنظر، نمونه‌های سیب‌زمینی به میزان ۱۲۰-۱۰۰ گرم در داخل سبد مشبک سرخ‌کن قرار داده شدند. سپس، سبد حاوی نمونه‌ها به طور اتوماتیک در روغن غوطه‌ور شد. پس از سرخ شدن نمونه‌ها به مدت زمان موردنظر، نمونه‌ها را از سرخ‌کن بیرون آورده و روغن اضافی آنها توسط یک کاغذ جاذب گرفته شد و بلافاصله آنالیزهای مربوطه بر روی آنها انجام گرفت. تمامی آزمایش‌ها، با ۲ تکرار انجام شد و داده‌های گزارش شده، میانگین داده‌های آزمایشی هستند.

۴-۲-۵- آزمایش‌ها

۴-۲-۵-۱- اندازه‌گیری محتوای رطوبت

محتوای رطوبت نمونه‌ها، از طریق خشک کردن آنها در آون کنوکسیون در دمای $105 \pm 1^\circ\text{C}$ ، تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد [۱۷] و نتایج بر حسب گرم رطوبت بر گرم ماده خشک گزارش گردید.

۴-۲-۵-۲- اندازه‌گیری محتوای روغن

سنجش میزان روغن نمونه‌های سرخ‌شده به وسیله استخراج روغن نمونه‌ها در دستگاه سوکسله با حلال پترولیوم اتر صورت گرفت [۱۸] و در نهایت بر حسب گرم روغن بر گرم ماده خشک گزارش شد.

۴-۲-۵-۳- اندازه‌گیری میزان چروکیدگی

برای اندازه‌گیری چروکیدگی، ابتدا حجم ظاهری نمونه خام و سرخ‌شده توسط پیکنومتر پر شده با حلال تولوئن (تکنیک جابجائی حلال) مطابق رابطه زیر اندازه‌گیری شد:

۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، دارای محفظه ضدزنگ، سبد جداشونده) و آون کنوکسیون (مدل BM120، ۱۲۰ لیتری، ساخت ایران، شرکت فن آزما گستر، هوشمند و مجهز به فن سیرکولاسیون هوا) جهت اندازه‌گیری مقدار رطوبت نمونه‌ها استفاده شد.

۴-۲-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از شستشو و پوست‌گیری سیب‌زمینی‌ها، برای تهیه نمونه‌ها به شکل قطعات مکعب مستطیل با ابعاد $1/2 \times 1/2 \times 4$ سانتیمتر (طول \times عرض \times ارتفاع)، از یک کاتر دستی طراحی شده با همین ابعاد استفاده شد. نمونه‌های برش داده شده جهت جلوگیری از اتلاف رطوبت در درون یک پلیت قرار گرفته و قبل از سرخ کردن، جهت حذف نشاسته سطحی با آب مقطر شستشو داده شدند. آب اضافی با کاغذ جاذب رطوبت گرفته شده و قطعات سیب‌زمینی تا زمان سرخ کردن در پلیت‌های در-بسته جهت جلوگیری از افت رطوبت نگهداری شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها بر حسب نوع و میزان بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم افزوده شده به روغن سرخ‌کردنی، به چند دسته تقسیم شدند (جدول ۱).

۱: نمونه‌های شاهد که بلافاصله در دماها و زمان‌های موردنظر سرخ شدند.

۲ و ۳: نمونه‌هایی که در روغن حاوی بتاسیکلودکسترین به میزان $0/3$ و $0/6$ گرم در لیتر (بر اساس آزمایش‌های مقدماتی) در دماها و زمان‌های موردنظر سرخ گردیدند.

۴ و ۵: نمونه‌هایی که در روغن حاوی کلریدسدیم به میزان ۱ و ۳ درصد (وزنی- حجمی) (بر اساس آزمایش‌های مقدماتی) در دماها و زمان‌های موردنظر سرخ شدند.

۶، ۷، ۸ و ۹: نمونه‌هایی که با افزودن تلفیقی از بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم در مقادیر موردنظر به روغن سرخ‌کردنی، سرخ گردیدند.

Table 1 Different treatments and their abbreviations

Number	Pretreatment	Symbol
1	Control	Control
2	Oil containing 0.3 g/l β -cyclodextrin	B0.3
3	Oil containing 0.6 g/l β -cyclodextrin	B0.6
4	Oil containing 1% (w/v) sodium chloride	NC1
5	Oil containing 3% (w/v) sodium chloride	NC3
6	Oil containing 1% (w/v) sodium chloride - 0.3 g/l β -cyclodextrin	NC1-B0.3
7	Oil containing 1% (w/v) sodium chloride - 0.6 g/l β -cyclodextrin	NC1-B0.6
8	Oil containing 3% (w/v) sodium chloride - 0.3 g/l β -cyclodextrin	NC3-B0.3
9	Oil containing 3% (w/v) sodium chloride - 0.6 g/l β -cyclodextrin	NC3-B0.6

افزار Microsoft Excel 2007 انجام و معیار انتخاب بهترین مدل، ضریب همبستگی (R^2) در نظر گرفته شد.

۷-۲- آنالیز آماری

در این مطالعه، ۹ تیمار نشان داده شده در جدول ۱، در سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و چهار زمان ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه در دو تکرار ($2 \times 4 \times 3 \times 9$) سرخ-شدند و تأثیر افزودن هر کدام از ترکیبات (کلریدسدیم و بتاسیکلودکستین) به روغن روی دانسیته ظاهری قطعات سیب‌زمینی آنالیز گردید. برای بررسی اثر متقابل فاکتورها (بتاسیکلودکستین در ۲ سطح غلظت ۰/۳ و ۰/۶ گرم در لیتر و کلریدسدیم در ۲ سطح غلظت ۱ و ۳ درصد)، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی، با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 به کار گرفته شد. همچنین، برای انجام مقایسه میانگین از آزمون بونفرونی^۱ [۱۹] در سطح احتمال ۰/۵ ($P < 0.05$) استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر شرایط فرآیند سرخ کردن بر

دانسیته ظاهری نمونه‌های شاهد سرخ شده

دانسیته ظاهری نمونه‌ها با گذشت زمان سرخ کردن، در همه دماها کاهش یافت (شکل ۱- a) و با پیشرفت زمان (از ۹۰ به ۳۶۰ ثانیه)، روند کاهش میزان دانسیته، افزایش پیدا کرد. با گذشت زمان و با خروج رطوبت، تخلخل افزایش یافته و همچنین، با توجه به ارتباط مستقیم بین دانسیته ظاهری و محتوای رطوبت، نسبت جرم به حجم نمونه‌ها کاهش پیدا کرده و در نتیجه از میزان دانسیته ظاهری نمونه‌های سرخ شده کاسته می‌شود. با افزایش دمای سرخ کردن از ۱۵۰ به ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد نیز دانسیته ظاهری کاهش یافت (شکل ۱- a). در دماهای بالا به دلیل افزایش سرعت انتقال حرارت، در زمان‌های یکسان سرخ کردن، رطوبت بیشتری از نمونه‌ها خارج می‌گردد و در نتیجه این امر، نسبت جرم به حجم نمونه‌ها با سرعت زیادی کاهش یافته و این مسئله منجر به کم شدن دانسیته ظاهری در دماهای بالا می‌گردد [۱۲، ۲۰، ۲۱]. قابل ذکر است که کاهش در میزان دانسیته ظاهری نمونه‌های شاهد با افزایش دما، از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$).

$$V = \frac{M + M_1 - M_2}{\rho} \quad (1)$$

در رابطه ۱، V : حجم ظاهری اولیه یا سرخ شده (cm^3)، M : وزن نمونه (g)، M_1 : وزن پیکنومتر خالی و حلال (g)، M_2 : وزن پیکنومتر حاوی نمونه و حلال (g) و ρ : دانسیته تولوئن (g/cm^3) می‌باشد. سپس، از نسبت اختلاف حجم نمونه خام و نمونه سرخ شده به حجم نمونه خام، میزان چروکیدگی به صورت عدد بدون بعد محاسبه شد [۱۲].

$$S_{(t)} = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \quad (2)$$

در رابطه ۲، $S_{(t)}$: درصد چروکیدگی، V_0 : حجم ظاهری نمونه تازه (cm^3) و V_t : حجم ظاهری نمونه پس از سرخ شدن (cm^3) می‌باشد.

۲-۵-۴- اندازه‌گیری دانسیته ظاهری

دانسیته ظاهری یک ماده جامد عبارتست از وزن واحد حجم آن:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3)$$

در رابطه ۳، ρ : دانسیته ظاهری محصول (g/cm^3)، M : جرم محصول (g) و V : حجم ظاهری محصول (cm^3) می‌باشد. بعد از اندازه‌گیری حجم ظاهری نمونه سرخ شده توسط پیکنومتر پر شده با حلال تولوئن، از نسبت وزن به حجم نمونه سرخ شده مقادیر دانسیته ظاهری به صورت گرم بر سانتیمتر مکعب گزارش شد [۱۲۸].

۲-۶- مدل‌سازی دانسیته ظاهری

مدل‌سازی دانسیته ظاهری در قطعات سیب‌زمینی تیمار شده طی فرآیند سرخ کردن عمیق در این مطالعه، به صورت تابعی از زمان، دفع رطوبت، جذب روغن و چروکیدگی صورت گرفت. ارزیابی مدل‌ها نیز با استفاده از دو معیار ضریب همبستگی (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) انجام شد؛ به این صورت که مدل‌های دارای R^2 بالاتر و RMSE پایین‌تر به عنوان مدل پیشنهادی انتخاب گردیدند. ضریب‌های مدل‌های به‌کاررفته، از طریق برازش داده‌های حاصل از آزمایش با آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB (Version 7.12.0.635, R2011a) به دست آمدند. همچنین، به منظور یافتن رابطه بین ضرایب مدل‌ها و متغیرهای مرتبط (غلظت بتاسیکلودکستین، غلظت کلریدسدیم و دمای فرآیند سرخ-کردن) تجزیه و تحلیل رگرسیونی چند متغیره در نرم

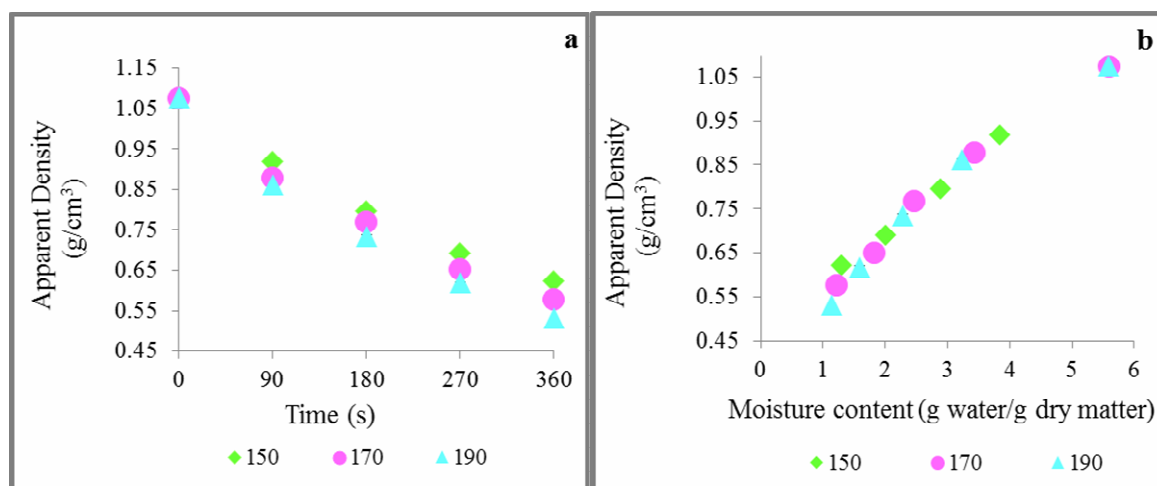


Fig 1 Apparent density of potato slices (Control) as a function of frying time (a) and moisture content (b) at 150, 170 and 190°C

طور معنی‌داری افزایش دادند. تیمار کلریدسدیم با غلظت ۳ درصد، بیشترین میزان دانسیته ظاهری را به خود اختصاص داد و پس از آن به ترتیب بتاسیکلودکسترین با غلظت ۰/۶ گرم در لیتر، کلریدسدیم با غلظت ۱ درصد و بتاسیکلودکسترین با سطح غلظت ۰/۳ گرم بر لیتر، بالاترین دانسیته ظاهری را داشتند. لازم به ذکر است که اختلاف معنی‌داری بین میانگین دانسیته ظاهری نمونه‌های تیمار شده با کلریدسدیم با غلظت ۱ درصد و نمونه‌های تیمار شده با بتاسیکلودکسترین با غلظت ۰/۳ گرم در لیتر مشاهده نگردید.

در مورد تأثیر کلریدسدیم بر کاهش میزان دفع رطوبت می‌توان بیان نمود که این ماده پس از تماس با ماده غذایی در طول فرآیند سرخ‌کردن، موجب افزایش کشش سطحی می‌گردد [۱۳]. بدین ترتیب تمایل دو فاز روغن و رطوبت موجود در ماده غذایی به اختلاط با همدیگر کمتر می‌شود. افزایش میزان دانسیته ظاهری در هر دو غلظت تیمار کلریدسدیم نسبت به نمونه‌های شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). در ارتباط با بتاسیکلودکسترین نیز با توجه به اینکه این ترکیب از نظر ساختاری شامل یک بخش داخلی هیدروفوب و بخش بیرونی با خاصیت هیدروفیلیک می‌باشد [۱۳]، با جذب در لایه سطحی ماده غذایی می‌تواند بین سطح ماده غذایی و روغن، بعنوان متصل کننده آب عمل کرده و با باند شدن به رطوبت، مانند یک مانع، باعث کاهش دفع رطوبت شود. همچنین، بتاسیکلودکسترین از طریق به‌دام انداختن عوامل فعال سطحی، افزایش کشش سطحی بین روغن و ماده غذایی را موجب می‌گردد؛ در نتیجه، رطوبت کمتری از ماده غذایی در طی فرآیند خارج شده و دانسیته ظاهری این نمونه‌ها نسبت به نمونه

روند مشابهی نیز در مورد سایر نمونه‌های تیمار شده با بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم (به صورت مجزا و تلفیقی) مشاهده شد (داده‌ها نشان داده نشده است).

شکل ۱- b، نیز تغییرات دانسیته ظاهری نمونه‌های شاهد سرخ‌شده را به صورت تابعی از محتوای رطوبت نشان می‌دهد. مطابق شکل، با کاهش محتوای رطوبت، میزان دانسیته ظاهری در نمونه‌های شاهد، در هر سه دما کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های مطالعات کاواس و همکاران [۲۲] و تایوو و همکاران [۲۳] که به ترتیب روی چیپس تورتیلا و سیب‌زمینی شیرین انجام یافته است، مطابقت دارد. همچنین، روند تغییرات دانسیته بر حسب محتوای رطوبت در تیمارهای دیگر نیز به همین منوال بود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

۲-۳- بررسی اثر تیمارهای مختلف بر دانسیته

ظاهری قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده

شکل ۲- a، منحنی تغییرات دانسیته ظاهری حاصل از آزمایش و برازش شده با مدل ۱ جدول ۲ را به صورت تابعی از زمان در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، برای نمونه‌های شاهد و تیمارهای کلریدسدیم و بتاسیکلودکسترین به صورت مجزا نشان می‌دهد. در تمام این نمونه‌ها، دانسیته ظاهری با افزایش زمان، کاهش پیدا کرد و میزان کاهش در دانسیته ظاهری با گذشت زمان، افزایش یافت. همچنین، در زمان‌های سرخ‌کردن یکسان، نمونه‌های شاهد در مقایسه با ۴ تیمار دیگر، کمترین میزان دانسیته ظاهری را داشتند و کاهش دانسیته ظاهری، از یک الگوی خطی تبعیت کرد. علاوه بر این، همه تیمارهای انجام یافته میزان دانسیته ظاهری را نسبت به نمونه شاهد به

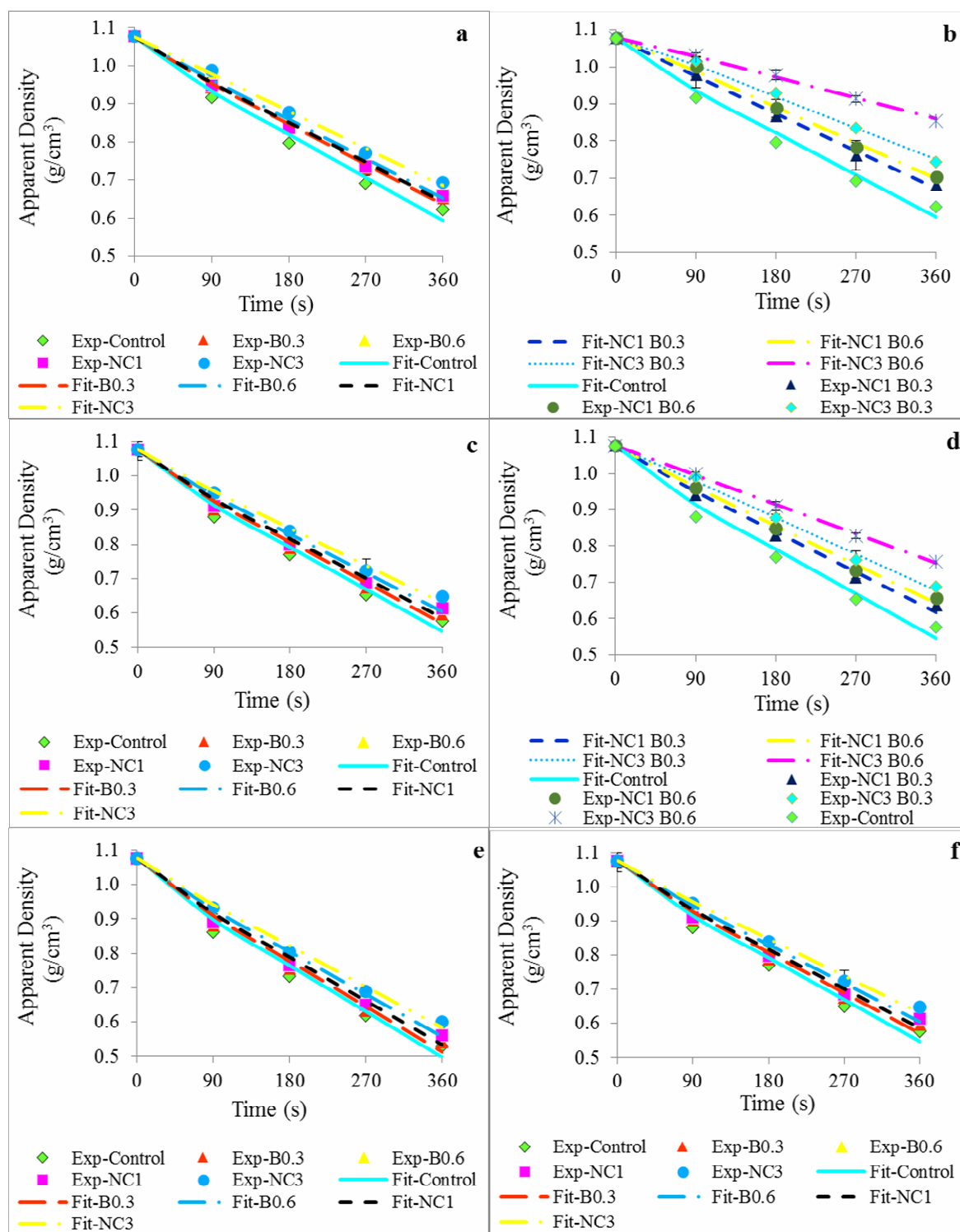


Fig 2 Apparent density variations of potato slices based on experimental (Exp) and predicted (Fit) data (model 1, Table 2) for various treatments based on Table 1 at 150°C (a,b), 170°C (c,d) and 190°C (e,f)

کلریسدیم (۱ و ۳ درصد) و بتاسیکلودکستین (۰/۳ و ۰/۶ گرم در لیتر) با پیشرفت زمان را نشان می‌دهد. دانسیته ظاهری نمونه‌های تیمار شده به صورت تلفیقی، نسبت به نمونه‌های شاهد، افزایش پیدا کرد؛ به طوری که نمونه‌های تیمار تلفیقی شامل کلریسدیم با غلظت ۳ درصد و بتاسیکلودکستین با

شاهد افزایش می‌یابد [۲۴، ۲۵]. میزان افزایش دانسیته ظاهری در هر دو غلظت تیمار بتاسیکلودکستین نسبت به نمونه شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳).
شکل ۲- b. تغییرات دانسیته ظاهری در نمونه‌های سرخ‌شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، برای تمام تیمارهای تلفیقی

Table 2 Apparent density (ρ) modeling of potato slices during frying process as a function of time (1-6), dimensionless moisture ratio (M_t), oil content (O) and shrinkage (S) (7-9)

Number	Model	Reference
1	$\rho = at + b$	Proposed in this study
2	$\rho = at^2 + bt + c$	Proposed in this study
3	$\rho = a \exp(bt)$	Proposed in this study
4	$\rho = 1/(\exp(-at) + b)$	Proposed in this study
5	$\rho = a - \exp(bt)$	Proposed in this study
6	$\rho = 1/(at + b)$	Proposed in this study
7	$\rho = aM_t^b$	Proposed in this study
8	$\rho = aO^2 + b$	Proposed in this study
9	$\rho = aS_t^2 + bS_t + c$	Proposed in this study

Table 3 Comparison of mean apparent density as a function of frying time (a), frying temperature (b), Sodium chloride concentration (c) and betacyclodextrin concentration (g/l)

a:				
Frying time (s)	90	180	270	360
Apparent density (g/cm ³)	0.946 ^a	0.833 ^b	0.725 ^c	0.645 ^d
b:				
Frying temperature (°C)	150	170	190	
Apparent density (g/cm ³)	0.830 ^a	0.783 ^b	0.748 ^c	
c:				
Sodium chloride concentration (%: w/v)	0	1	3	
Apparent density (g/cm ³)	0.721 ^a	0.754 ^b	0.793 ^c	
d:				
Betacyclodextrin concentration (g/l)	0	0.3	0.6	
Apparent density (g/cm ³)	0.721 ^a	0.744 ^b	0.771 ^c	

Different letters in each row indicate significant difference ($p < 0.05$).

بود. همچنین، میزان افزایش دانسیته ظاهری در نمونه‌های تیمارهای تلفیقی در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، بیشتر از میزان افزایش آن در دماهای ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد بود.

۳-۳- مدل‌سازی دانسیته ظاهری

در جدول ۲، مدل‌های ۱-۶، مدل‌های تجربی پیشنهادی را نشان می‌دهند که در آن‌ها دانسیته ظاهری قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده به‌صورت تابعی از زمان (t) مدل‌سازی شده است. علاوه‌براین، سه مدل ۷، ۸ و ۹ نیز به منظور مدل‌سازی میزان دانسیته ظاهری به‌ترتیب به‌صورت تابعی از محتوای رطوبتی بدون بعد (M_t)، جذب روغن (O) و چروکیدگی (S_t) پیشنهاد شد. جدول ۴، شاخص‌های آماری حاصل از برازش داده‌های آزمایشی با مدل‌های جدول ۲ را نشان می‌دهد. تمامی مدل‌های پیشنهادی با داشتن شاخص‌های آماری مناسب، داده‌های

غلظت ۰/۶ گرم در لیتر دارای بیشترین میزان دانسیته ظاهری بودند که این افزایش در دانسیته ظاهری از لحاظ آماری معنی‌دار بود؛ بعد از آن، تیمارهای NC1-B0.6، NC3-B0.3 و NC1-B0.3 (مطابق جدول ۱) دانسیته ظاهری بیشتری داشتند. در تمام تیمارهای تلفیقی در همه لحظات فرآیند، افزایش در میزان دانسیته ظاهری نسبت به نمونه شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

شکل ۲- (c, d, e, f)، به ترتیب، میزان دانسیته ظاهری نمونه‌های تیمار شده به صورت مجزا و تلفیقی و سپس سرخ‌شده در دماهای ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد را با گذشت زمان نشان می‌دهد. در این دو دما نیز، روند داده‌های آزمایشی در نمونه‌های شاهد و تیمار شده به‌صورت مجزا و تلفیقی، مشابه داده‌های آزمایشی به‌دست آمده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد

Table 4 Statistical parameters obtained from models 1-9 in Table 2 for different treatments and temperatures during frying

Model 1		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R²	RMSE	R²	RMSE	R²	RMSE
Control	0.97	0.0428	0.97	0.0300	0.99	0.0385
B0.3	0.99	0.0336	0.98	0.0174	0.99	0.0307
B0.6	0.99	0.0256	0.98	0.0165	0.99	0.0226
NC1	0.99	0.0323	0.98	0.0173	0.99	0.0296
NC3	0.99	0.0194	0.99	0.0095	0.99	0.0167
NC1-B0.3	0.99	0.0227	0.99	0.0095	0.99	0.0188
NC1-B0.6	0.99	0.0170	0.99	0.0108	0.98	0.0144
NC3-B0.3	0.99	0.0111	0.99	0.0113	0.99	0.0130
NC3-B0.6	0.99	0.0073	0.99	0.0063	0.98	0.0051

Model 2		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R²	RMSE	R²	RMSE	R²	RMSE
Control	0.99	0.0035	0.99	0.0155	0.99	0.0155
B0.3	0.99	0.0036	0.99	0.0107	0.99	0.0115
B0.6	0.99	0.0105	0.99	0.0080	0.99	0.0047
NC1	0.99	0.0026	0.99	0.0084	0.99	0.0089
NC3	0.99	0.0107	0.99	0.0084	0.99	0.0031
NC1-B0.3	0.99	0.0085	0.99	0.0076	0.99	0.0038
NC1-B0.6	0.99	0.0133	0.99	0.0098	0.99	0.0057
NC3-B0.3	0.99	0.0064	0.99	0.0155	0.99	0.0094
NC3-B0.6	0.99	0.0034	0.99	0.0047	0.99	0.00710

Model 3		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R²	RMSE	R²	RMSE	R²	RMSE
Control	0.99	0.0130	0.99	0.0195	0.99	0.0189
B0.3	0.99	0.0041	0.99	0.0132	0.99	0.0113
B0.6	0.99	0.0092	0.99	0.0085	0.99	0.0058
NC1	0.99	0.0040	0.99	0.0128	0.99	0.0110
NC3	0.99	0.0122	0.99	0.0074	0.99	0.0033
NC1-B0.3	0.99	0.0094	0.99	0.0070	0.99	0.0044
NC1-B0.6	0.99	0.0158	0.99	0.0089	0.99	0.0056
NC3-B0.3	0.98	0.0192	0.99	0.0164	0.99	0.0111
NC3-B0.6	0.98	0.0096	0.99	0.0059	0.99	0.0094

Model 4		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R²	RMSE	R²	RMSE	R²	RMSE
Control	0.99	0.0122	0.99	0.0187	0.99	0.0179
B0.3	0.99	0.0037	0.99	0.0124	0.99	0.0104
B0.6	0.99	0.0093	0.99	0.0080	0.99	0.0050
NC1	0.99	0.0035	0.99	0.0120	0.99	0.0101
NC3	0.99	0.0128	0.99	0.0075	0.99	0.0035
NC1-B0.3	0.99	0.0099	0.99	0.0069	0.99	0.0038
NC1-B0.6	0.99	0.0165	0.99	0.0093	0.99	0.0061
NC3-B0.3	0.98	0.0197	0.99	0.0170	0.99	0.0119
NC3-B0.6	0.99	0.0098	0.99	0.0063	0.99	0.0100

Model 5		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R²	RMSE	R²	RMSE	R²	RMSE
Control	0.96	0.0412	0.94	0.0508	0.94	0.0572
B0.3	0.98	0.0273	0.96	0.0425	0.96	0.0497
B0.6	0.98	0.0253	0.97	0.0334	0.97	0.0385
NC1	0.98	0.0270	0.96	0.0409	0.96	0.0458
NC3	0.99	0.0153	0.98	0.0266	0.97	0.0318
NC1-B0.3	0.98	0.0174	0.97	0.0292	0.97	0.0354
NC1-B0.6	0.99	0.0139	0.98	0.0235	0.98	0.0288
NC3-B0.3	0.99	0.0063	0.99	0.0175	0.98	0.0205
NC3-B0.6	0.99	0.0039	0.99	0.0130	0.99	0.0144

Model 6		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Control	0.99	0.0060	0.99	0.0103	0.99	0.0102
B0.3	0.99	0.0119	0.99	0.0100	0.99	0.0152
B0.6	0.99	0.0169	0.99	0.0136	0.99	0.0150
NC1	0.99	0.0110	0.99	0.0085	0.99	0.0123
NC3	0.98	0.0222	0.99	0.0170	0.99	0.0184
NC1-B0.3	0.98	0.0199	0.99	0.0157	0.99	0.0165
NC1-B0.6	0.97	0.0253	0.99	0.0194	0.99	0.0201
NC3-B0.3	0.96	0.0271	0.97	0.0262	0.98	0.0243
NC3-B0.6	0.98	0.0129	0.99	0.0127	0.98	0.0198

Model 7		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Control	0.98	0.0224	0.99	0.0141	0.99	0.0090
B0.3	0.99	0.0122	0.99	0.0123	0.99	0.0162
B0.6	1	0.0002	0.99	0.0161	0.99	0.0181
NC1	0.99	0.0127	0.99	0.0129	0.99	0.0122
NC3	0.99	0.0088	0.99	0.0182	0.99	0.0214
NC1-B0.3	0.99	0.0093	0.99	0.0142	0.99	0.0166
NC1-B0.6	0.99	0.0068	0.99	0.0156	0.99	0.0192
NC3-B0.3	0.99	0.0041	0.98	0.0194	0.98	0.0247
NC3-B0.6	0.99	0.0061	0.99	0.0074	0.98	0.0200

Model 8		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Control	0.99	0.0141	0.99	0.0139	0.99	0.0184
B0.3	0.99	0.0107	0.99	0.0065	0.99	0.0152
B0.6	0.98	0.0254	0.99	0.0143	0.99	0.0112
NC1	0.99	0.0152	0.99	0.0077	0.99	0.0156
NC3	0.97	0.0278	0.98	0.0211	0.98	0.0236
NC1-B0.3	0.98	0.0248	0.97	0.0303	0.99	0.0216
NC1-B0.6	0.98	0.0206	0.98	0.0267	0.99	0.0097
NC3-B0.3	0.98	0.0188	0.97	0.0308	0.98	0.0203
NC3-B0.6	0.99	0.0094	0.98	0.0207	0.97	0.0308

Model 9		T (°C)				
		150		170		190
Treatment	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Control	0.99	0.0059	0.99	0.0276	0.99	0.0153
B0.3	0.99	0.0124	0.99	0.0268	0.99	0.0178
B0.6	0.99	0.0061	0.99	0.0252	0.99	0.0147
NC1	0.99	0.0112	0.99	0.0242	0.99	0.0151
NC3	0.99	0.0121	0.99	0.0222	0.99	0.0134
NC1-B0.3	0.99	0.0120	0.99	0.0124	0.99	0.0147
NC1-B0.6	0.99	0.0120	0.98	0.0250	0.99	0.0139
NC3-B0.3	0.98	0.0218	0.99	0.0201	0.99	0.0153
NC3-B0.6	0.98	0.0151	0.98	0.0201	0.99	0.0151

با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره، به صورت تابعی از شرایط فرآیند سرخ کردن (غلظت کلرید سدیم، غلظت بتاسیکلودکستین و دمای سرخ کردن) مدل سازی شدند. با استفاده از این مدل ها می توان میزان دانسیته ظاهری محصول را در شرایط مختلف فرآیند تعیین نمود.

آزمایشی را به خوبی برازش نمودند. علاوه بر این، شکل ۲، منحنی های برازش داده های آزمایشی میزان دانسیته ظاهری نمونه های مختلف ذکر شده در جدول ۱ را با مدل ۱ جدول ۲، در سه دمای مختلف نشان می دهد. این مدل به خوبی داده های آزمایشی را با میزان R² بالا و RMSE پایین برازش کرد (جدول ۴). همچنین، در جدول ۵، ضرایب مدل های جدول ۲

سرخ‌شده تحت شرایط مورد آزمایش، مناسب در نظر گرفته شود.

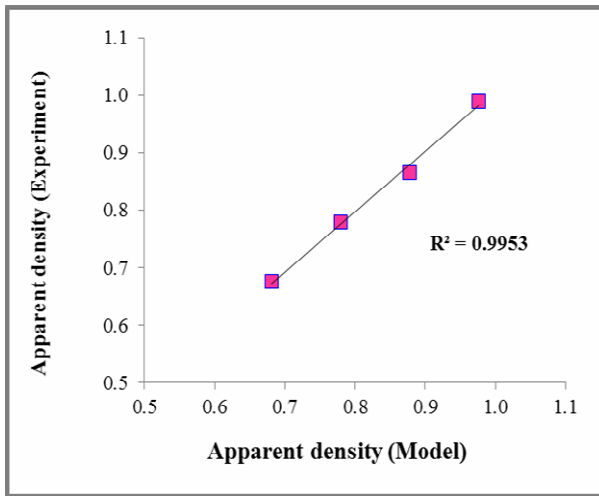


Fig 3 Linear fit between experimental and predicted apparent density data (model 1, Table 2)

۴- نتیجه گیری

میزان دانسیته ظاهری با افزایش دمای سرخ‌کردن از ۱۵۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد در همه نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، با پیشرفت زمان فرآیند از ۹۰ به ۳۶۰ ثانیه، کاهش در میزان دانسیته ظاهری در تمامی نمونه‌های مورد آزمون مشاهده گردید. بکارگیری هر یک از تیمارهای بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم، دانسیته ظاهری قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده را نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. همچنین، تلفیق دو تیمار مذکور نیز در مقایسه با هر کدام از تیمارها به تنهایی، میزان دانسیته ظاهری را افزایش دادند. با این حال، در مورد اثر عوامل مؤثر بر کاهش سطحی همچون بتاسیکلودکسترین و کلریدسدیم در فرآیند سرخ‌کردن و افزایش دانسیته ظاهری در طی آن، به پژوهش‌های بیشتری نیاز می‌باشد. در این مطالعه مدل‌های مختلفی برای تعیین ضرایب مدل‌های دانسیته به صورت تابعی از شرایط فرآیند به دست آمدند که می‌توانند مدل‌های کاربردی جهت استفاده در شرایط دمایی و زمانی مختلف طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق باشند و به کنترل کیفی محصول سرخ‌شده کمک نمایند.

Table 5 Multivariate models for constants of models 1-9 in Table 2 according to process conditions

R^2	$\rho = at + b$
0.99	$a = 0.0000845 \text{ NC} + 0.000294 \text{ B} - 0.0000082 \text{ T}$
0.99	$b = 0.017179 \text{ NC} + 0.078408 \text{ B} + 0.005915 \text{ T}$
R^2	$\rho = at^2 + bt + c$
0.95	$a = 0.0000000763 \text{ NC} + 0.000000247 \text{ B} + 0.0000000112 \text{ T}$
0.99	$b = 0.000241 \text{ NC} + 0.000819 \text{ B} - 0.000012 \text{ T}$
0.99	$c = 0.010008 \text{ NC} + 0.054861 \text{ B} + 0.006103 \text{ T}$
R^2	$\rho = a \exp(bt)$
0.99	$a = 0.013676 \text{ NC} + 0.006611 \text{ B} + 0.006055 \text{ T}$
0.99	$b = 0.000149 \text{ NC} + 0.000523 \text{ B} - 0.000011 \text{ T}$
R^2	$\rho = 1 / (\exp(-at) + b)$
0.99	$a = 0.000147 \text{ NC} + 0.000519 \text{ B} - 0.00001 \text{ T}$
0.98	$b = -0.00508 \text{ NC} - 0.01853 \text{ B} - 0.00035 \text{ T}$
R^2	$\rho = a - \exp(bt)$
0.99	$a = 0.026868 \text{ NC} + 0.130386 \text{ B} + 0.011503 \text{ T}$
0.99	$b = -0.000055 \text{ NC} - 0.00019 \text{ B} + 0.00000655 \text{ T}$
R^2	$\rho = 1 / (at + b)$
0.99	$a = -0.00022 \text{ NC} - 0.00078 \text{ B} + 0.0000132 \text{ T}$
0.99	$b = 0.00439 \text{ NC} + 0.032569 \text{ B} + 0.005269 \text{ T}$
R^2	$\rho = aM_t^b$
0.99	$a = 0.011465 \text{ NC} + 0.033497 \text{ B} + 0.006149 \text{ T}$
0.99	$b = -0.01559 \text{ NC} + 0.143728 \text{ B} + 0.002569 \text{ T}$
R^2	$\rho = aO^2 + b$
0.98	$a = 0.237801 \text{ NC} + 0.476985 \text{ B} - 0.1352 \text{ T}$
0.99	$b = 0.01007 \text{ NC} + 0.049157 \text{ B} + 0.006152 \text{ T}$
R^2	$\rho = aS_t^2 + bS_t + c$
0.98	$a = -0.43594 \text{ NC} - 1.14389 \text{ B} - 0.08033 \text{ T}$
0.98	$b = -0.01583 \text{ NC} - 0.08186 \text{ B} + 0.18823 \text{ T}$
0.99	$c = 0.008233 \text{ NC} + 0.048028 \text{ B} + 0.006124 \text{ T}$

NC: Sodium chloride concentration, B: β -cyclodextrin concentration, T: Frying temperature

۳-۳- معبرسازی مدل توسعه یافته پیشنهادی

برازش مقادیر دانسیته ظاهری پیش‌بینی شده توسط مدل پیشنهادی ۱ (جدول ۲) با مقادیر دانسیته ظاهری حاصل از آزمایش با غلظت بتاسیکلودکسترین ۰/۴۵ گرم در لیتر و غلظت کلریدسدیم ۲ درصد نشان از انطباق خوب ($R^2 = 0.9996$) بین میزان دانسیته ظاهری این مدل و تیمار آزمایشی داشت (شکل ۳). بنابراین، مدل پیشنهادی می‌تواند برای پیش‌بینی سینتیک دانسیته ظاهری قطعات سیب‌زمینی

۵- منابع

- Journal of Food Process Engineering*, 33, 191-212.
- [13] Martin Del Valle, E.M. (2004) Cyclodextrins and their uses: a review. *Process Biochemistry*, 39, 1033-1046.
- [14] Marcus, Y. (2010) Surface Tension of Aqueous Electrolytes and Ions. *Journal of Chemical Engineering Data*, 55, 3641-3644.
- [15] Bravo, J., Ruales, N.S.J. & Mulet, A. (2009) Modeling the dehydration of apple slices by deep fat frying. *Drying Technology*, 27, 782-786.
- [16] Trystram, G. (2012) Modelling of food and food processes. *Journal of Food Engineering*, 110, 269-277.
- [17] AOAC. (1990) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists., Washington, DC.
- [18] AOAC. (1995) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists., Washington, DC.
- [19] Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. (1997) Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. *New York: McGraw-Hill*, 633-1980.
- [20] Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. & Marinou-Kouris, D. (2001) Effect of pre-drying on quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 49, 347-354.
- [21] Math, R.G., Velu, V., Nagender, A. & Rao, D.G. (2004) Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. *Journal of Food Engineering*, 64, 429-434.
- [22] Kawas, M.L. & Moreira, R.G. (2001) Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. *Journal of Food Engineering*, 47, 97-107.
- [23] Taiwo, K.A. & Baik, O.D. (2007) Effects of pre-treatments on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 661-668.
- [24] Maskat, M.Y. & Kerr, W.L. (2004) Effect of surfactant and batter mix ratio on the properties of coated poultry product. *International Journal of Food Properties*, 7, 341-352.
- [25] Lante, A. & Zocca, F. (2010) Effect of β -Cyclodextrin addition on quality of precooked vacuum packed potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 409-414.
- [1] Bouchon, P., Aguilera, J.M. & Pyle, D.L. (2003) Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. *Journal of Food Science*, 68, 2711-2716.
- [2] Datta, A.K. (2007) media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: problem formulations. *Journal of Food Engineering*, 80, 80-95.
- [3] Bouchon, P. (2009) Understanding oil absorption during deep-fat frying. *Advances in Food and Nutrition Research*, 57, 209-234.
- [4] Mir-Bel, J., Oria, R. & Salvador, M.L. (2009) Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post-frying cooling. *Journal of Food Engineering*, 95, 416-422.
- [5] Sahin, S. & Sumnu, G. (2009) Advances in deep-fat frying of foods. *New York: Taylor & Francis Group*.
- [6] Pedreschi, F. (2012) Frying of Potatoes: Physical, Chemical, and Microstructural Changes. *Drying Technology*, 30, 707-725.
- [7] Paul, S. & Mittal, G.S. (1997) Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37, 635-662.
- [8] 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 and Technology*, 43, 1410-1423.
- [9] Pinthus, E.J., Weinberg, P. & Saguy, I.S. (1995) Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, 60, 767-769.
- [10] Moreira, R.G., Palau, J., Sweat, V.E. & Sun, X. (1995) Thermal and physical properties of tortilla chips as a function of frying time. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19, 175-189.
- [11] Krokida, M.K., Oreopoulou, V. & Maroulis, Z.B. (2000) Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potatoes. *Journal of Food Engineering*, 43, 147-154.
- [12] Ziaifar, A.M., Courtois, F. & Trystram, G. (2010) Porosity development and its effect on oil uptake during frying process.

Effect of β -cyclodextrin and sodium chloride on apparent density of potato during frying

Dehghannya, J. ^{1*}, Zhila Ranjzad², Babak Ghanbarzadeh³

1. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
2. M. Sc. Graduate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
3. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(Received: 2016/10/12 Accepted:2017/03/11)

The use of compounds such as cyclodextrins and strong electrolytes, that can affect surface tension between food and oil during deep-fat frying process, influences the quality of the fried product including apparent density. The aim of this study was to investigate the effect of β -cyclodextrin and sodium chloride addition to oil on apparent density kinetics and its modeling during deep-fat frying of potato strips. In this research, β -cyclodextrin was added to oil at 0.3 and 0.6 g/l and sodium chloride was added at 1 and 3%. Then, potato strips were fried at 150, 170 and 190°C for 90, 180, 270 and 360 seconds. The results showed that by increasing process time, apparent density of various samples is decreased. Furthermore, by increasing the temperature from 150 to 190°C, the trend of decrease in apparent density intensified. In addition, sodium chloride and β -cyclodextrin treatments in both concentrations, separately and simultaneously, significantly increased apparent density compared to control samples. Also, a number of experimental models were proposed to model the parameter during deep-fat frying. The average correlation coefficient between the experimental results with the results of the models was considerable.

Keywords: β -cyclodextrin, Deep-fat frying, Apparent density, Modeling

* Corresponding Author E-Mail Address: j_dehghannya@tabrizu.ac.ir