

## مدلسازی کینتیک انتقال جرم طی سرخ کردن عمیق ناگت پنیر کردی پوشش داده شده با سفیده تخم مرغ

الهام انصاری فر<sup>۱</sup> - محبت محبی<sup>۲\*</sup> - فخری شهیدی<sup>۳</sup> - مهدی وریدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۸

### چکیده

هدف این پژوهش ارزیابی اثر دما و زمان سرخ کردن و فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرابه، میزان جذب خمیرابه و پارامترهای کینتیک انتقال جرم ناگت پنیر در طی سرخ کردن عمیق بوده است. بدین منظور با افزودن صفر، ۵ و ۱۰٪ سفیده تخم مرغ به خمیرابه‌ی ناگت پنیر در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰، و ۱۹۰°C در زمان‌های صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ دقیقه به صورت عمیق سرخ شدند. خمیرابه شاهد ریسکوزیته ظاهری و میزان جذب خمیرابه بیشتری نسبت به سایر خمیرابه‌ها داشت. ضریب نفوذ موثر رطوبت برای ناگت‌های پوشش دار شده با خمیرابه شاهد در محدوده  $(m^2/s) \times 10^{-8}$  تا  $(m^2/s) \times 10^{-8}$  با ضریب تبیین  $0/86$  تا  $0/91$  و برای ناگت‌های پوشش دار شده با خمیرابه حاوی سفیده تخم مرغ در محدوده  $(m^2/s) \times 10^{-8}$  تا  $(m^2/s) \times 10^{-8}$  با ضریب تبیین  $0/87$  تا  $0/98$  بدست آمد. ضریب نفوذ سرعت انتقال روغن بین  $(m^2/s) \times 10^{-3}$  تا  $(m^2/s) \times 10^{-3}$  با ضریب تبیین  $0/82$  تا  $0/99$  بود. مقادیر انرژی فعال سازی برای حذف رطوبت در نمونه‌های شاهد و پوشش دار با خمیرابه حاوی سفیده تخم مرغ، برابر  $(kJ/mol) \times 30/01$  و بین  $36/52$  تا  $38/42$   $(kJ/mol)$  بدست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** انتقال جرم، خمیرابه، سرخ کردن عمیق، سفیده تخم مرغ، ناگت پنیر کردی

### مقدمه

سرخ کردن عمیق<sup>۵</sup> (DFF) یکی از قدیمی ترین فرآیندهای تهیه مواد غذایی است. این فرایند تحت عنوان غوطه ور کردن ماده غذایی در یک روغن خوراکی در دمایی بالاتر از نقطه جوش آب تعریف می‌شود (Varela et al., 1988; Chen et al., 2008). در فرایند سرخ کردن، ماده ی غذایی در تماس مستقیم با روغن بسیار داغ قرار دارد و این امر منجر به انتقال سریع حرارت و ایجاد گرادیان حرارتی وسیع، در سطح تماس ماده غذایی و روغن داغ می‌شود. این گرادیان دمایی منجر به ایجاد ساختاری دوگانه در ماده غذایی سرخ شده می‌گردد، که شامل پوسته ای خشک (با دمایی بالاتر از نقطه ی جوش آب و میزان رطوبت پایین) و بخش مرکزی آبدار می‌باشد (Fizman et al., 2003; Dogan et al., 2005; Chen et al., 2008). به دلیل تغییرات فرهنگی و اجتماعی تقاضا برای مصرف

غذاهای آماده رو به افزایش است و در میان آنها فرآورده‌های پوشیده شده با خمیرابه<sup>۶</sup> به دلیل ویژگی های حسی مطلوب بسیار مورد توجه هستند (Albert et al., 2009). ریسکوزیته خمیرابه باید در محدوده مشخصی قرار گیرد. یک خمیرابه نازک غیر ویسکوز، باعث ایجاد پوشش متخلخل شده و جذب روغن را افزایش می‌دهد. اگر ریسکوزیته خمیرابه بالا باشد، لایه ی ضخیمی روی سطح محصول ایجاد کرده، باعث عدم پخت کافی، عدم تردی و تشکیل پوسته‌ای ناهموار و غیر یکنواخت در سطح محصول می‌گردد (Fizman & Salvador, 2003). افزایش ریسکوزیته ناشی از افزایش ویژگی‌های حفظ آب در خمیرابه، به کاهش جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن کمک می‌کند. بطور حتم خصوصیات رئولوژیکی خمیرابه اثر قطعی بر تعیین کیفیت محصول سرخ شده دارد. بررسی خصوصیات رئولوژیکی خمیرابه این امکان را فراهم می‌سازد تا همبستگی میان ریسکوزیته خمیرابه و میزان جذب آن و نیز ارتباط این خصوصیات با ویژگی‌های کیفی محصول نهایی مشخص گردد (Sahin & Sumnu, 2009). Chen و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که افزودن HPMC و CMC

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار، استاد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
\* - نویسنده مسئول  
(Email: m-mohebbi@um.ac.ir)

5- Deep Fat Frying (DFF)

کیفیت می‌شود. این فرایندها معمولاً شامل واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی هستند که با کینتیک مشخصی پیشرفت می‌کنند. با کمک مدل سازی کینتیک می‌توان این تغییرات و شدت آنها را بطور کمی توصیف کرد (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۶). امروزه با بکارگیری روش‌های معتبر عددی و افزایش سرعت رایانه‌ها امکان مدل سازی واکنش‌های بسیار پیچیده در مواد غذایی فراهم شده است. انتشار رطوبت از درون محصول به محیط حرارت دهنده و جذب روغن به داخل ماده غذایی از مهمترین وقایع انتقالی صورت گرفته در حین سرخ کردن به شمار می‌روند (Sahin et al., 2009).

### بررسی کینتیک افت رطوبت

میزان رطوبت از مهمترین پارامترهای کیفی محصولات سرخ کردنی بشمار می‌رود و معمولاً به صورت کسر مقدار رطوبت بر واحد جرم محصول بیان می‌شود. در حین سرخ شدن رطوبت ماده غذایی رفته رفته از درون به سطح انتقال یافته و سپس دفع می‌شود. دمای روغن و زمان سرخ کردن از مهمترین عوامل موثر بر محتوای رطوبتی مواد غذایی سرخ شده به شمار می‌روند (Sahin et al., 2009). مکانیسم افت رطوبت بسیار پیچیده است، تئوری‌های مختلفی در زمینه انتقال رطوبت ارائه شده است که از مهمترین آنها می‌توان به مکانیسم‌های نفوذ مولکولی، حرکت در لوله‌های مویین، نفوذ مایع در خلل و فرج ماده جامد، نفوذ بخار در منافذ حاوی هوا و جریان هیدرودینامیکی اشاره کرد. هنگامی که مکانیسم‌های مختلفی در انتقال موثر باشند، جدا کردن هر مکانیسم و اندازه‌گیری میزان انتقال جرم در هر یک دشوار می‌باشد. از این رو در چنین فرآیندهایی از توصیف نفوذ موثر و برای بیان مفهوم آن از قانون دوم فیک<sup>۱</sup> استفاده می‌شود (سورگی، ۱۳۸۹). بنابراین پدیده انتقال رطوبت را نیز می‌توان توسط قانون دوم انتشار فیک اینچنین توصیف نمود (Sosa-Morales et al., 2006):

$$\frac{\partial}{\partial L} \left[ D_{eff} \frac{\partial M}{\partial L} \right] = \frac{\partial (M)}{\partial t} \quad (1)$$

که در این رابطه  $M$  محتوای رطوبت (بر مبنای وزن خشک،  $g/g$ )،  $t$  زمان (ثانیه)،  $L$  نصف ضخامت نمونه (متر) و  $D_{eff}$  ضریب نفوذ موثر (بر حسب  $m^2/s$ ) می‌باشد.

در صورتی که انتقال جرم در هر دو طرف محصول روی داده باشد، از حل دیفرانسیل جزئی معادله ۱ برای تیغه نامحدود توسط Crank (۱۹۷۵) استفاده می‌شود:

$$M_r = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ - (2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad (2)$$

که  $M_r$  نسبت رطوبت (بدون بعد)،  $M$  متوسط میزان رطوبت بر

در فرمول خمیرابه ماهی باعث افزایش ریسکوزیته، میزان چسبندگی و حفظ میزان رطوبت نمونه‌ها می‌شود در حالی که جذب روغن را کاهش می‌دهد. Amboon و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که افزودن HPMC با درجه‌های جانشینی ۱/۹ و ۱/۴ باعث افزایش ریسکوزیته ظاهری، تنش تسلیم و شاخص قوام خمیرابه می‌شود.

ناگت پنیر جزء دسته غذاهای آماده سوخاری یا سرخ کردنی محسوب می‌شود. از آنجایی که مصرف زیاد غذاهای چرب برای سلامت انسان مضر است و می‌تواند منجر به بیماری‌هایی مانند افزایش کلسترول خون، افزایش فشار خون و افزایش خط ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، چاقی و برهم خوردن تعادل وزنی شود (Bajaj et al., 2007; Bertolini et al., 2008; Quasem et al., 2009)، محققان به دنبال یافتن راهکارهایی برای کاهش میزان روغن جذب شده‌ی غذاهای سرخ شده می‌باشند، بدون اینکه تاثیر منفی بر طعم، بافت و رنگ ماده غذایی داشته باشد. برخی از روش‌های کاهش جذب روغن شامل: تغییر روش‌های سرخ کردن، اصلاح محیط سرخ کردن و خصوصیات ماده غذایی (Mellema et al., 2003; Ziaifar et al., 2008)، اعمال دما و زمان بهینه سرخ کردن، استفاده از پیش‌فرآیندهای سرخ کردن و پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی (Mellema, 2003; Ziaifar et al., 2008) می‌باشند. انواع مختلفی از پوشش‌های خوراکی برای کاهش جذب روغن در غذاهای سرخ کردنی بکار برده شده‌اند مانند: متیل سلولز (Albert et al., 2002; Soorgi et al., 2010)، هیدروکسی متیل سلولز (Holownia et al., 2000)، دکسترین و تخم مرغ (Baixauli et al., 2003).

سفیده تخم مرغ سیستم پروتئینی مرکبی است که از محلول پروتئین‌های کروی به همراه فیبرهای اووموسین تشکیل شده است (Woodward, 1990). اووآلبومین که از نظر مقدار بیش از نصف پروتئین‌های سفیده را تشکیل می‌دهد، تنها جزئی است که حاوی گروه‌های سولفیدریل آزاد (SH) می‌باشد. سایر پروتئین‌ها نظیر اووترانسفرین، اووموکوئید و لیزوزیم دارای پیوندهای دی سولفید (S-S) هستند (Mine, 1995). پیوندهای دی سولفید در تولید فیلم‌های پروتئینی حاوی سفیده تخم مرغ نقش مهمی دارند (Okamoto, 1978). Aminlari و همکاران (۲۰۰۵) از کازئات سدیم، آب پنیر و سفیده تخم مرغ برای کاهش جذب روغن چپیس سبب زمینی استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که پوشش‌های پروتئینی کاهش معنی‌داری بر میزان جذب روغن چپیس سبب زمینی دارد که این میزان به ترتیب ۱۴، ۵ و ۱۲ درصد گزارش شده است.

### مدلسازی کینتیک انتقال جرم

تغییرات مواد غذایی در اثر فرآوری و نگهداری منجر به تغییر

ثابت سرعت جذب روغن برای ناگت مرغ بین  $0.23 \times 10^{-3} s^{-1}$  تا  $2/27 s^{-1}$  با ضریب تبیین  $0.8$  تا  $0.94$  و انرژی فعال سازی  $0.71$  تا  $1/71$  کیلوژول بر مول به دست آمد (سورگی، ۱۳۸۸). مقادیر این پارامتر در نمونه‌های فاقد MC در محدوده  $10^{-3} \times 4/2 s^{-1}$  تا  $10^{-3} \times 7/2 s^{-1}$  با ضریب تبیین  $0.88$  تا  $0.95$  و در نمونه‌های حاوی MC در محدوده  $10^{-3} \times 3/5 s^{-1}$  تا  $7/8 \times 10^{-3} s^{-1}$  بدست آمد (Dehghan Nasiri et al., 2010).

### انرژی فعالسازي

تغییرات ضریب نفوذ موثر رطوبت و میزان روغن تعادلی به عنوان تابعی از دما با استفاده از معادله ی آرنیوس نشان داده می‌شود (Duran et al., 2007; Adedeji, 2009):

$$D_{eff} = D_0 \exp \left[ -\frac{E_a}{RT} \right] \quad (5)$$

بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تاثیر دما و زمان سرخ کردن و پوشش دهی با سفیده تخم مرغ بر کینتیک کاهش رطوبت و جذب روغن در طی سرخ کردن عمیق ناگت پنیر کردی سرخ شده به روش عمیق است. نتایج این پژوهش می‌تواند به منظور بهینه سازی و کنترل فرآیند سرخ کردن عمیق ناگت پنیر به کار رود.

### مواد و روش ها

#### آماده سازی نمونه ها

مواد اولیه‌ی مورد استفاده در این پژوهش شامل پنیر کردی، آرد گندم، مواد طعم دهنده و روغن (تولید شرکت نینا، ایران) از فروشگاه‌های محلی شهر مشهد تهیه گردید. ترکیبات شیمیایی پنیر کردی استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ ذکر شده است. آرد سوخاری از شرکت پارس بریانک مشهد و پترولیوم اتر از شرکت اسکارلاست اسپانیا خریداری شد. فرمولاسیون خمیرابه شامل آرد گندم (۹۰/۸ درصد وزنی/وزنی)، بکینگ پودر (۳/۱ درصد وزنی/وزنی)، ادویه (فلفل) (۰/۶ درصد وزنی/وزنی) و نمک (۵/۵٪ وزنی/وزنی) می‌باشد. علاوه براین به منظور بررسی تاثیر سفیده تخم مرغ بر پارامترهای کیفی ناگت پنیر میزان (صفر، ۵ و ۱۰ درصد) از آن را جایگزین همان مقدار آرد گندم شد. آماده سازی خمیرابه با مخلوط کردن مواد خشک با آب در دمای  $20^{\circ}C$  به نسبت ۱: ۱/۲ (وزنی/وزنی) با استفاده از هم زن (مولینکس BM۴) به مدت ۲ دقیقه به منظور اطمینان از اختلاط کامل ترکیبات صورت گرفت. نمونه‌های پنیر قالب زده شده با ابعاد  $4/5$  سانتی متر (قطر)  $\times$  ۱ سانتی متر (ضخامت) هریک به طور جداگانه به مدت ۳۰ ثانیه در خمیرابه غوطه

مبنای وزن خشک (g/g) در زمان  $t$ ،  $M_0$  رطوبت اولیه بر حسب وزن خشک (g/g)،  $Me$  میزان رطوبت تعادلی،  $t$  زمان سرخ کردن (ثانیه)،  $L$  نصف قطر استوانه بر حسب متر و  $Deff$  ضریب نفوذ موثر رطوبت (بر حسب  $m^2/s$ ) می‌باشد.

که  $k$  (1/s) ثابت انتشار رطوبت بوده، رابطه آن با ضریب نفوذ به صورت زیر می‌باشد (Dehghan Nasiri et al., 2010):

$$D_{eff} = \frac{4kL^2}{\pi^2} \quad (3)$$

ضریب نفوذ موثر رطوبت بسته به نوع محصول، نوع روغن و دما متفاوت است. به عنوان مثال سورگی (۱۳۸۸) مقادیر این ضریب را برای ناگت‌های مرغ پیش تیمار شده  $10^{-8} \times 3/25 - 10^{-8} \times 1/43 m^2/s$  گزارش نمود. Adedeji و همکاران (۲۰۰۹) مقدار ضریب نفوذ را برای پوشش و بخش مرکزی ناگت‌های مرغ پیش پخته در مایکروویو بین  $10^{-10} \times 14/7 - 10^{-10} \times 6/39 m^2/s$  و  $10^{-10} \times 14/7 - 10^{-10} \times 6/39 m^2/s$  گزارش نمودند. نکادی و همکاران در سال ۲۰۰۶، مقدار این ویژگی را برای پوشش ناگت مرغ سرخ شده در شورتنینگ مایع در دمای  $150^{\circ}C$  تا  $190^{\circ}C$  بین بدست آوردند، در حالی که برای ناگت میگو پوشش دار شده با خمیرابه فاقد متیل سلولز در محدوده  $10^{-8} \times 11/41 - 10^{-8} \times 3/42 m^2/s$  و برای ناگت‌های پوشش‌دار شده با خمیرابه حاوی متیل سلولز در محدوده  $10^{-8} \times 5/71 - 10^{-8} \times 2/05 m^2/s$  بدست آمد (Dehghan Nasiri et al., 2010).

#### بررسی کینتیک جذب روغن

برای مدل سازی جذب روغن، مدل کینتیک درجه ی اول پیشنهادی Krokida و همکاران (۲۰۰۱) مورد استفاده قرار گرفت:

$$FC = O_{eq} [1 - \exp(-kt)] \quad (4)$$

که در این مدل  $k$  ثابت سرعت جذب روغن (1/s) است. بر اساس این مدل میزان جذب روغن در  $t=0$  بسیار ناچیز است و در زمان‌های طولانی برابر میزان روغن تعادلی ( $O_{eq}$ ) می‌شود (Duran, 2007).

Adedeji و همکاران (۲۰۰۹) مدلسازی انتقال جرم را برای ناگت‌های مرغ پیش پخته شده با میکروویو و سرخ شده در دمای  $170^{\circ}C - 190^{\circ}C$  انجام دادند. مقادیر ثابت سرعت جذب روغن ( $k$ ) برای پوسته ی ناگت مرغ بین  $10^{-4} s^{-1}$  تا  $10^{-1} s^{-1}$  گزارش نمودند. Duran و همکاران (۲۰۰۷) پارامترهای انتقال جرم را برای محتوای روغن چپس‌های سیب زمینی بدست آوردند که مقدار ثابت سرعت جذب روغن بین  $10^{-1} s^{-1}$  تا  $10^{-2} s^{-1}$  و مقدار انرژی فعال سازی برای جذب روغن،  $3/9 - 4/5$  کیلوژول بر مول گزارش نمودند.

$$\text{BatterPickup}(\%) = \frac{W_b - W_N}{W_N} \times 100 \quad (6)$$

که  $W_N$  وزن نمونه قبل از مرحله خمیرزنی و  $W_b$  وزن نمونه پس از غوطه‌وری در محلول خمیرابه می‌باشد.

### اندازه گیری رطوبت و چربی

نمونه‌های سرخ شده به مدت ۳۰ ثانیه خنک شده و سپس بخش پوسته (سوخاری) از هسته جدا شد. مطابق استاندارد AACC (۱۹۸۶) با خشک کردن نمونه‌ها در آون (Memmert, 154 Beschickung- loading, model 100-800) در دمای  $105^\circ\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت، اندازه گیری رطوبت انجام گرفت. میزان رطوبت بخش پوسته و هسته ناگت پنیر به صورت جداگانه بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید.

تعیین میزان روغن با استفاده از استاندارد AOAC (۱۹۹۰) انجام گرفت. نمونه‌های خشک شده ی مورد استفاده برای اندازه گیری میزان رطوبت، ابتدا با استفاده از آسیاب دستی آسیاب شده، سپس ۴-۲ گرم از نمونه‌های خشک و آسیاب شده در کارتوش قرار گرفته، استخراج روغن با استفاده از پترولیوم اتر (Scharlau, ET0091) انجام گرفت. بعد از استخراج، کارتوش‌ها به مدت یک ساعت در  $105^\circ\text{C}$  قرار گرفتند تا رطوبت و باقی مانده حلال تبخیر شود. میزان روغن (پوسته و هسته) نیز بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید.

### مدل سازی انتقال جرم در طی فرایند سرخ کردن

#### بررسی کینتیک افت رطوبت

نسبت رطوبت یا  $M_r$  برای کلیه نمونه‌ها محاسبه گردید. جهت بررسی کینتیک افت رطوبت از رابطه (۲-۱) استفاده شد. لگاریتم طبیعی داده‌های نسبت رطوبت محاسبه گردید و نمودار منفی لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت در برابر زمان ترسیم شد. شیب معادله خط راست برازش داده شده بر داده‌ها، همان یا  $k$  ثابت سرعت افت رطوبت در رابطه (۲-۱) می‌باشد. ضریب نفوذ موثر ( $D_{eff}$ ) طبق رابطه ۳ محاسبه گردید. محاسبات و برازش معادله در این مرحله با نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ انجام شد.

#### کینتیک جذب روغن

با استفاده از نرم افزار اسلاید رایت پلاس ۳ و رابطه ۴ کینتیک جذب روغن نیز بررسی شد. مجهولات این معادله که ثابت سرعت جذب روغن ( $k$ ) و میزان روغن تعادلی ( $O_{eq}$ ) است، به این صورت به

ور شده (مرحله ی خمیرابه دار کردن)، سپس به منظور حذف خمیرابه اضافی به مدت ۳۰ ثانیه به صورت عمودی نگه داشته شدند (مرحله ی چکانیدن). سپس سطح نمونه‌ها با استفاده از آرد سوخاری پوشانیده شد.

### جدول ۱- ترکیبات شیمیایی پنیر کردی استفاده شده در این پژوهش

خاکستر (%)	۷/۸۳
ماده خشک (%)	۴۱/۹۳
پروتئین (%)	۳۶/۲
چربی (%)	۳۴/۸
pH	۶/۰۸

### سرخ کردن عمیق

سرخ کردن در یک دستگاه سرخ‌کن عمیق (Black & Decker, Type 01) با ظرفیت دو لیتر انجام شد. به عنوان محیط سرخ کننده از روغن آفتابگردان (تولید شرکت نینا، ایران) استفاده شد. هر بار ۶ عدد ناگت در دو لیتر روغن به صورت عمیق سرخ شد. ناگت پنیر در ۵ دوره زمانی بین صفر تا ۴ دقیقه در سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و  $190^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد سرخ شد. روغن پیش از سرخ کردن در دماهای مذکور به مدت یک ساعت پیش‌گرم شد. روغن سطحی قطعات گوشت بلافاصله پس از سرخ کردن با حوله کاغذی حذف گردید. پس از هر آزمون سرخ کردن، سطح روغن در سرخ‌کن بررسی و مجدداً جایگزین شد. یک ساعت پس از سرخ کردن، روغن تعویض می‌شد.

### ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرابه

ویژگی‌های جریان فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه، با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین (Bohlin Model Visco 88, Bohlin Instruments, UK) در دمای  $25^\circ\text{C}$  مورد بررسی قرار گرفت. اسپیندل‌های<sup>۱</sup> مناسب (C۳۰، C۲۵، C۱۴) بر اساس ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها انتخاب گردید. درجه ی برشی به صورت لگاریتمی از  $14/2$  تا  $300$  ( $\text{S}^{-1}$ ) افزایش یافت. رفتار رئولوژیکی خمیرابه بر اساس برازش داده‌ها (درجه ی برش - نیروی برشی) با مدل قانون توان توصیف گردید و مقادیر پارامترهای این مدل شامل ضریب قوام سیال ( $k, \text{Pa.s}^n$ ) و شاخص رفتار جریان ( $n$ ) محاسبه گردید.

### جذب خمیرابه

این فاکتور که شاخصی از میزان چسبندگی و ریسکوزیته خمیرابه می‌باشد، با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (دوگان و همکاران، ۲۰۰۵):

2- Excel, package 2010

3- Slide Write Plus 2.0 (Advanced Graphic Software Inc., Landbouw Univ. Wageningen)

1- Spindles, C14, C25& C30

جدول ۲ نشان داده شده است. شاخص قانون توان و یا رفتار جریان در همه ی انواع خمیرابه کوچک تر از یک می‌باشد و این نشان دهنده ی رفتار ضعیف شونده‌گی با برش نمونه‌های مورد بررسی می‌باشد.

جدول ۲- اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر پارامترهای قانون توان

ضریب تبیین	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n	فرمولاسیون
۰/۹۹۹	۷/۶۴	۰/۷۲	شاهد
۰/۹۹۷	۵/۸۵	۰/۶۸	۵٪ سفیده تخم مرغ
۰/۹۹۸	۵/۱۸	۰/۷۶	۱۰٪ سفیده تخم مرغ

مطابق جدول ۲ افزودن سفیده تخم مرغ، در دمای مورد مطالعه، باعث کاهش ضریب قوام سیال در خمیرابه ها می‌شود.

### جذب خمیرابه

میزان جذب خمیرابه در نمونه‌های پوشش دار شده با فرمولاسیون‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود این مقدار برای خمیرابه شاهد بیشتر از سایر خمیرابه‌ها می‌باشد، که این امر می‌تواند ناشی از ضریب قوام بیشتر در این خمیرابه باشد. در واقع میان ریسکوزیته ظاهری و میزان جذب خمیرابه رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد (Sahin و Sumnu, ۲۰۰۹). سورگی و همکاران (۲۰۰۸) به نتیجه مشابهی بروی خمیرابه های بر پایه آرد گندم دست یافتند.

### میزان رطوبت و روغن

حذف رطوبت و جذب روغن دو فرایند اصلی انتقال جرم طی سرخ کردن عمیق مواد غذایی محسوب می‌شوند. سرعت این فرایندها به طور مستقیم تابع دما و زمان سرخ کردن می‌باشد (Cuesta et al., 2007; Nagdi et al., 2001). دمای بالای روغن منجر به تبخیر بخشی از آب موجود در ماده غذایی می‌شود، که از ماده غذایی به سمت روغن اطراف حرکت می‌کند و مقدار مشخصی روغن نیز توسط ماده غذایی جذب می‌گردد (Moyano et al., 2006). جدول آنالیز واریانس (۳) نشان داد که تاثیر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه، دما و زمان سرخ کردن بر میزان رطوبت و روغن پوسته و هسته ناگت‌های پنیر معنی دار ( $p < 0.05$ ) است.

همان طور که انتظار می‌رفت، افزایش زمان سرخ کردن منجر به کاهش میزان رطوبت نمونه ها شد. این روند کاهش در دقیقه اول فرایند سرخ کردن سریع تر بود، این امر اساسا ناشی از حذف رطوبت سطحی می‌باشد (جدول ۴).

دست می‌آید: ضریب تبیین<sup>۱</sup>، مبین میزان همبستگی داده ها با مدل مربوط می‌باشد.

### انرژی فعالساز (Ea)

دما به عنوان مهمترین عامل خارجی، بر کیفیت مواد غذایی موثر است. از آنجایی که مواد غذایی به دلایل متفاوت حرارت می‌بینند، اثر این تیمار بر روند تغییرات موضوع بسیار مهمی است. بیشتر کارشناسان صنایع غذایی تمایل دارند در این زمینه از قانون آرنیوس (رابطه ۵) استفاده کنند و انرژی فعال سازی را بدست آورند. به این منظور، در این مطالعه لگاریتم طبیعی انتشار موثر در برابر دمای مطلق رسم شد. شیب خط برازش شده، معادل نسبت انرژی فعال سازی به ثابت جهانی گاز است؛ که به این ترتیب می‌توان مقادیر انرژی فعال سازی را به دست آورد.

### آنالیز آماری

آنالیز واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار مینی تب<sup>۲</sup> نسخه ۱۵ انجام گرفت. برای این کار از طرح آزمایشی فاکتوریل روی متغیر فرمولاسیون خمیرابه، دما و زمان سرخ کردن استفاده شد. سطح آماری معنی داری ۹۵ درصد احتمال بود. همه آزمایش ها در سه بار تکرار شدند.

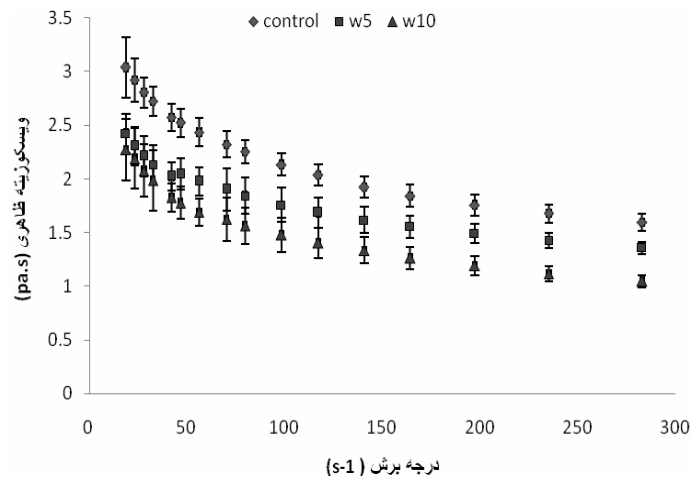
### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرابه

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، ویسکوزیته ظاهری در فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه با افزایش درجه برش ( $s^{-1}$ ) کاهش می‌یابد و این بیانگر رفتار غیر نیوتنی خمیرابه می‌باشد. به طور کلی، آب آزاد نقش مهمی در میزان ویسکوزیته ظاهری خمیرابه دارد و ریسکوزیته ظاهری بالاتر در نتیجه ی میزان آب آزاد کمتر ایجاد می‌شود. همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در خمیرابه‌های حاوی سفیده تخم مرغ ویسکوزیته ظاهری کاهش می‌یابد، زیرا در این خمیرابه ها درصدی سفیده تخم مرغ جایگزین آرد گندم شده است و از آنجایی که گلوتن گندم توانایی جذب آب بالاتری دارد، این امر موجب کاهش میزان آب آزاد در فرمولاسیون خمیرابه نمونه شاهد می‌شود. نتایج بدست آمده برای تنش برشی در مقابل درجه ی برشی نمونه‌های مختلف، در دمای مورد مطالعه، به خوبی با استفاده از مدل قانون توان برازش شدند ( $R^2 > 0.97$ ).

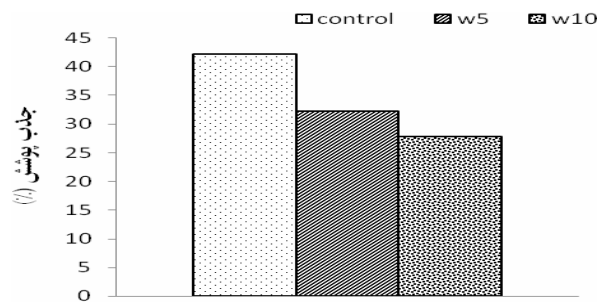
مقادیر ضریب قوام سیال (k) و شاخص رفتار جریان (n)، در

1- Coefficient of detedmination  
2- Minitab



شکل ۱- تغییرات ویسکوزیته ظاهری در درجه برش‌های مختلف

Control: خمیرابه شاهد، w5: خمیرابه حاوی ۵٪ سفیده تخم مرغ، w10: خمیرابه حاوی ۱۰٪ سفیده تخم مرغ



فرمولاسیون خمیرابه

شکل ۲- اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر میزان جذب خمیرابه

جدول ۳- آنالیز واریانس میزان رطوبت و روغن در بخش پوسته و هسته ناگت پنیر کردی

محتوای روغن g/g (db)		محتوای رطوبت g/g (db)		درجه آزادی	منبع
پوسته	هسته	پوسته	هسته		
۱۷/۴۹**	۲/۷۲**	۶۴/۱۱**	۱۷/۴۳**	۲	A
۷۶/۲۹**	۳۱/۲۰**	۱۲۴۲/۸۴**	۹۷۲/۳۱**	۲	B
۱۹۲/۱۵**	۱۵/۸۴**	۷۴۵/۶۸**	۲۶۰/۷۰**	۴	C
۱/۱۹ NS	۰/۰۹ NS	۵/۲۴**	۳/۵۷	۴	A×B
۱/۷۷**	۰/۱۸ NS	۷/۱۹**	۱/۷۰ NS	۸	A×C
۴/۶۵**	۱/۸۶ NS	۲۳/۰۱**	۴۴/۴۷**	۸	B×C
۰/۱۹**	۰/۲۰ NS	۰/۹۲ NS	۱/۰۸ NS	۱۶	A×B×C
۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۴۵	Error
				۸۹	Total

A درجه حرارت (C, °C), B نوع فرمولاسیون, C زمان سرخ کردن (min), NS not significant, p\* = 0.05, p\*\* = 0.01

روند مشابهی توسط بسیاری از محققان طی فرآیند سرخ کردن عمیق گزارش شده است (Ngadi et al., 2007; Mariscal et al., 2008; Adedeji et al., 2009). مشاهده می‌شود، نمونه‌های پوشش دار شده با خمیرابه حاوی ۱۰ درصد سفیده تخم مرغ میزان رطوبت

روند مشابهی توسط بسیاری از محققان طی فرآیند سرخ کردن عمیق گزارش شده است (Ngadi et al., 2007; Mariscal et al., 2008; Adedeji et al., 2009).

بالتری (در پوسته و هم در هسته) در مقایسه با سایر فرمول‌ها دارند (جدول ۴). کاهش افت رطوبت را می‌توان به توانایی سفیده تخم مرغ در تشکیل ژل حرارتی و فیلم نسبت داد (Mohamed *et al.*, 1998). اووآلبومین که از نظر مقدار بیش از نصف پروتئین‌های سفیده تخم مرغ را تشکیل می‌دهد، تنها جزئی است که حاوی گروه‌های سولفیدریل آزاد (SH) می‌باشد (Mine, 1992). با حرارت دادن سفیده تخم مرغ میزان گروه‌های سولفیدریل آزاد (SH) که در سطح وجود دارد افزایش می‌یابد (Handa *et al.*, 1999). هر چه میزان گروه‌های سولفیدریل آزاد سطحی بیشتر شود، توانایی تشکیل فیلم سفیده تخم مرغ نیز بیشتر می‌شود، زیرا این گروه‌ها در اثر اکسیداسیون تبدیل به گروه‌های دی سولفید شده است (Mine, 1992). پیوندهای دی سولفیدی در تولید فیلم‌های پروتئینی حاوی سفیده تخم مرغ نقش مهمی دارند (Okamoto, 1978). در نتیجه پوسته سخت تری بروی ناگت پنیر ایجاد می‌شود که مانع از خروج رطوبت از آن می‌گردد. خمیرابه شاهد ریسکوزیته ظاهری و میزان جذب خمیرابه بیشتری نسبت به سایر خمیرابه‌ها داشت در نتیجه لایه ضخیم تری بروی هسته تشکیل داد، انتظار می‌رفت اثر ممانعت کنندگی پوسته‌ی تشکیل شده طی فرایند سرخ کردن بر میزان افت رطوبت آن نسبت به خمیرابه‌های حاوی سفیده تخم مرغ بیشتر باشد (Dehghan Nasiri *et al.*, 2010). اما همانطور که نتایج رطوبت در جدول ۴ نشان می‌دهد با این امر در تناقض است. نمونه‌های حاوی سفیده تخم مرغ بیشترین میزان رطوبت را دارا بودند. این امر می‌تواند ناشی از توانایی سفیده‌ی تخم مرغ در تشکیل ژل حرارتی و فیلم نسبت داد. نقش پوسته سخت حاصل از سفیده تخم مرغ در طی سرخ کردن موثرتر از ضخامت پوسته حاصل از خمیرابه شاهد در برابر ممانعت از

خروج رطوبت از ناگت پنیر کردی بود.

محتوی رطوبت ماده غذایی یک فاکتور مهم در جذب روغن در طی سرخ کردن عمیق می‌باشد. زیرا در طی سرخ کردن دلیل دمای بالای روغن، بخشی از آب موجود در ماده غذایی تبخیر می‌شود که از مرکز ماده غذایی به سمت اطراف حرکت می‌کند که منجر به ایجاد خلل و فرج هایی در آن می‌گردد که از طریق همین خلل و فرج ها روغن جذب می‌گردد (Ngadi *et al.*, 2007). به طور کلی جذب روغن بیشتر، در نمونه هایی با میزان رطوبت پایین تر (نمونه هایی که طی سرخ کردن رطوبت بیشتری را از دست داده اند) مشاهده شد. این نتایج رابطه‌ی بین میزان حذف رطوبت و جذب روغن را تایید می‌کند. نتایج مشابهی توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Mellema, 2003; Akdeniz *et al.*, 2006; Ngadi *et al.*, 2010; Dehghan Nasiri *et al.*, 2007). نمونه‌های پوشش دار شده با فرمولاسیون حاوی ۱۰ درصد سفیده تخم مرغ کمترین میزان جذب روغن را (در بخش پوسته و هسته) در تمام دماهای سرخ کردن، داشتند. بر طبق شکل ۳ جذب روغن در بخش پوسته ناگت پنیر با شیب بیشتری نسبت به بخش هسته صورت گرفته است. همچنین برخی از مطالعات نشان می‌دهند که جذب روغن طی سرخ کردن عمیق در پوسته متمرکز می‌شود (Ngadi *et al.*, 2007).

پوسته به عنوان یک مانع بین بخش‌های درونی و روغن اطراف ناگت عمل می‌کند و روغن تمایل دارد که نزدیک کناره‌ها، در گوشه‌ها و شکاف‌های سطح ماده غذایی متمرکز گردد (Ballard, 2003). با افزایش زمان سرخ کردن جذب روغن برای تمام نمونه‌ها افزایش یافته است (شکل ۴).

جدول ۴- محتوای رطوبت پوسته و هسته ناگت پنیر با فرمولاسیون‌های مختلف سرخ شده در دمای ۱۹۰°C

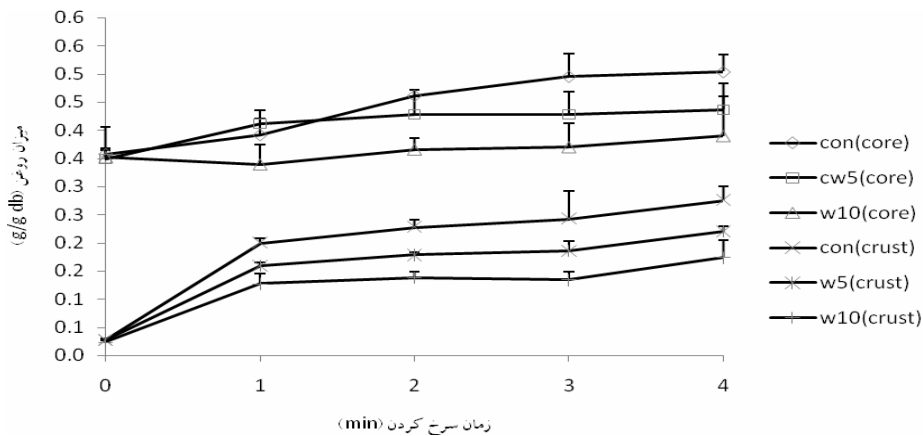
محتوای رطوبت هسته (g/g db)	محتوای رطوبت پوسته (g/g db)	زمان (min)	فرمولاسیون
۰/۹۵۵ ± ۰/۰۱۸ <sup>BC</sup>	۰/۳۰۵ ± ۰/۰۰۹ <sup>C</sup>	۰	شاهد
۰/۲۳۳ ± ۰/۰۰۷ <sup>H</sup>	۰/۱۰۲ ± ۰/۰۰۴ <sup>H</sup>	۱	۵٪ سفیده تخم مرغ
۰/۲۲۴ ± ۰/۰۰۵ <sup>H</sup>	۰/۰۸۷ ± ۰/۰۰۲ <sup>H</sup>	۲	
۰/۲۰۶ ± ۰/۰۲۳ <sup>H</sup>	۰/۰۷۱ ± ۰/۰۰۱ <sup>H</sup>	۳	
۰/۱۸۳ ± ۰/۰۲۷ <sup>H</sup>	۰/۰۷۶ ± ۰/۰۰۷ <sup>H</sup>	۴	
۱/۰۲۵ ± ۰/۰۰۸ <sup>B</sup>	۰/۳۶۹ ± ۰/۰۰۴ <sup>B</sup>	۰	۱۰٪ سفیده تخم مرغ
۰/۸۲۱ ± ۰/۰۱۹ <sup>DE</sup>	۰/۲۲۴ ± ۰/۰۰۱ <sup>E</sup>	۱	
۰/۷۳۹ ± ۰/۰۰۵ <sup>F</sup>	۰/۱۷۹ ± ۰/۰۱۷ <sup>F</sup>	۲	
۰/۶۱۱ ± ۰/۰۰۲ <sup>FG</sup>	۰/۱۷۰ ± ۰/۰۱۰ <sup>FG</sup>	۳	
۰/۵۵۱ ± ۰/۰۱۱ <sup>G</sup>	۰/۱۴۳ ± ۰/۰۰۵ <sup>G</sup>	۴	
۱/۱۳۳ ± ۰/۰۳۳ <sup>A</sup>	۰/۴۰۸ ± ۰/۰۰۵ <sup>A</sup>	۰	
۰/۸۴۳ ± ۰/۰۱۱ <sup>BCD</sup>	۰/۲۵۵ ± ۰/۰۴۷ <sup>D</sup>	۱	
۰/۸۶۴ ± ۰/۰۰۹ <sup>BCD</sup>	۰/۲۲۲ ± ۰/۰۰۶ <sup>E</sup>	۲	
۰/۷۰۵ ± ۰/۰۱۱ <sup>CDE</sup>	۰/۱۹۴ ± ۰/۰۰۸ <sup>EF</sup>	۳	
۰/۶۶۷ ± ۰/۰۰۸ <sup>E</sup>	۰/۱۶۶ ± ۰/۰۱۶ <sup>FG</sup>	۴	

داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، دما بر روی ضریب نفوذ موثر اثر مثبت دارد، بطوری که با افزایش دما، به دلیل شدت فعل و انفعالات این ضریب افزایش می‌یابد. ضریب نفوذ موثر برای ناگت‌های پوشش دار شده با خمیرابه بدون سفیده تخم مرغ در محدوده ی  $(m^2/s) \times 10^{-8}$  تا  $3/97 \times 10^{-8}$  تا  $7/51 \times 10^{-8}$  با ضریب تبیین  $0/86$  تا  $0/91$  و برای ناگت‌های پوشش دار شده با خمیرابه حاوی سفیده تخم مرغ در محدوده ی  $(m^2/s) \times 10^{-8}$  تا  $2/26 \times 10^{-8}$  تا  $5/96 \times 10^{-8}$  با ضریب تبیین  $0/87$  تا  $0/98$  بدست آمد. ضرایب بدست آمده بیشتر از ضرایبی است که توسط Ngadi و همکاران (۲۰۰۶) و Adedeji و همکاران (۲۰۰۹) برای ناگت مرغ گزارش شده است. این تفاوت ممکن است ناشی از اختلاف در فرمولاسیون خمیرابه و نوع ماده ی غذایی به کار رفته باشد.

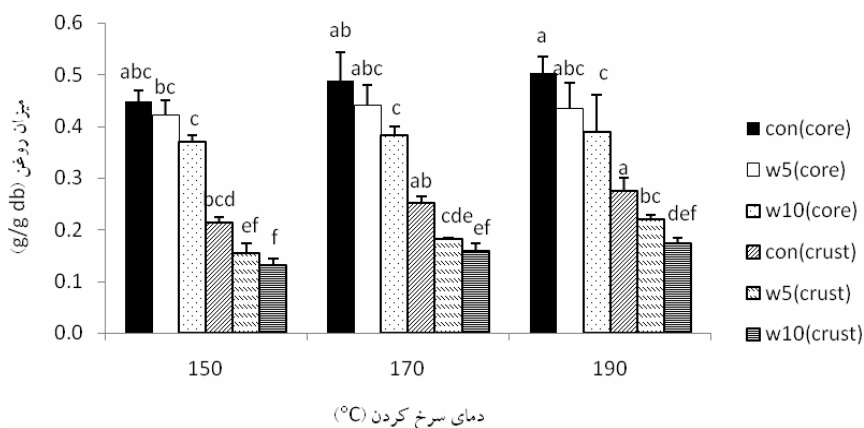
(1999) Ni and Datta گزارش دادند که در ابتدا جذب روغن به سرعت افزایش می‌یابد و سپس شیب جذب روغن با شیب ملایم تری افزایش می‌یابد. با وجود این که مطالعات بسیاری در زمینه ی اثر دمای سرخ کردن بر میزان روغن انجام گرفته است، هنوز توافق کلی در این زمینه حاصل نشده است (Troncoso et al., 2009). در این پژوهش میزان روغن با افزایش دمای سرخ کردن در تمامی نمونه افزایش یافت (شکل ۴).

### بررسی تغییرات کینتیک انتقال جرم طی فرآیند سرخ کردن دفع رطوبت

پارامترهای مختلف مدل فیک (معادله‌های ۳ و ۲) برای ناگت‌های پوشیده شده با خمیرابه با فرمولاسیون‌های متفاوت در جدول ۵ نشان



شکل ۳- میزان روغن پوسته و هسته ناگت‌های پنیر سرخ شده در دمای  $190^{\circ}C$  در زمان‌های ۰، ۱، ۲، ۳ و ۴ دقیقه Control: خمیرابه شاهد، w5: خمیرابه حاوی ۵٪ سفیده تخم مرغ، w10: خمیرابه حاوی ۱۰٪ سفیده تخم مرغ



شکل ۴- میزان روغن پوسته و هسته ناگت‌های پنیر سرخ شده در زمان ۴ دقیقه در دماهای  $150^{\circ}C$ ،  $170^{\circ}C$  و  $190^{\circ}C$  Control: خمیرابه شاهد، w5: خمیرابه حاوی ۵٪ سفیده تخم مرغ، w10: خمیرابه حاوی ۱۰٪ سفیده تخم مرغ



جدول ۵- مقادیر ثابت سرعت انتشار رطوبت (k) و ضریب نفوذ موثر رطوبت (D<sub>eff</sub>) ناگت‌های پنیر کردی پوشش داده شده با سفیده تخم مرغ

R <sup>2</sup>	D <sub>eff</sub> × 10 <sup>-8</sup> (m <sup>2</sup> /s)	k × 10 <sup>-3</sup> (s <sup>-1</sup> )	درجه حرارت (°C)	فرمولاسیون
۰/۹۰	۲/۴۵	۱۱/۷۲	۱۵۰	شاهد
۰/۹۱	۲/۸۷	۱۳/۴۹	۱۷۰	
۰/۸۶	۳/۱۶	۱۴/۶۰	۱۹۰	
۰/۹۲	۱/۷۱	۸/۲۷	۱۵۰	۵٪ سفیده تخم مرغ
۰/۹۶	۲/۴۵	۱۰/۸۸	۱۷۰	
۰/۸۷	۲/۹۰	۱۳/۳۵	۱۹۰	
۰/۹۴	۱/۴۰	۶/۰۹	۱۵۰	۱۰٪ سفیده تخم مرغ
۰/۹۸	۱/۹۷	۸/۶۵	۱۷۰	
۰/۸۹	۱/۹۹	۱۰/۸۹	۱۹۰	

جدول ۶- مقادیر ثابت سرعت جذب روغن (k) و میزان روغن تعادلی (O<sub>eq</sub>) ناگت‌های پنیر کردی پوشش داده شده با سفیده تخم مرغ

O <sub>eq</sub> (g/g, db)	K (s <sup>-1</sup> )	درجه حرارت (°C)	فرمولاسیون
۰/۴۶۳	۰/۰۰۳۶ (۰/۹۹)	۱۵۰	شاهد
۰/۵۴۹	۰/۰۰۴۳ (۰/۸۲)	۱۷۰	
۰/۶۵۰	۰/۰۰۸۹ (۰/۹۵)	۱۹۰	
۰/۳۹۳	۰/۰۰۱۱ (۰/۹۴)	۱۵۰	۵٪ سفیده تخم مرغ
۰/۴۷۵	۰/۰۰۱۵ (۰/۹۹)	۱۷۰	
۰/۴۸۵	۰/۰۰۵۷ (۰/۹۳)	۱۹۰	
۰/۳۶۰	۰/۰۰۱۸ (۰/۹۶)	۱۵۰	۱۰٪ سفیده تخم مرغ
۰/۳۸۱	۰/۰۰۳۹ (۰/۸۹)	۱۷۰	
۰/۴۲۳	۰/۰۰۴۹ (۰/۸۶)	۱۹۰	

همچنین مقدار روغن تعادلی (O<sub>eq</sub>)، که از فاکتورهای مهم در مدل سازی فرآیند سرخ کردن می‌باشد و به عنوان بیشینه ی مقدار روغنی که نمونه طی سرخ کردن می‌توند جذب کند، در نظر گرفته می‌شود، با افزایش دما افزایش می‌یابد که این امر تاییدکننده افزایش میزان جذب روغن با افزایش دما می‌باشد. ثابت سرعت جذب روغن برای ناگت مرغ بین ۰/۰۲۳ تا ۲/۲۷ با ضریب تبیین ۰/۸ تا ۰/۹۴ و انرژی فعال سازی ۰/۷۱ تا ۱/۷۱ کیلوژول بر مول به دست آمد (سورگی ۱۳۸۸). مقادیر این پارامتر در نمونه‌های فاقد MC در محدوده‌ی  $۱۰^{-۳}$  تا  $۴/۲ \times ۱۰^{-۳}$  با ضریب تبیین ۰/۸۸ تا ۰/۹۵ و در نمونه‌های حاوی MC در محدوده‌ی  $۳/۵ \times ۱۰^{-۳}$  تا  $۷/۸ \times ۱۰^{-۳}$  بدست آمد (Dehghan Nasiri et al., 2010). نوع محصول، پیش تیمار به کار رفته و شرایط سرخ کردن، عوامل مهمی در تعیین ثابت‌های سرعت جذب چرب هستند. قبلاً اطلاعاتی برای سرعت ثابت جذب روغن ناگت پنیر طی سرخ کردن در منابع وجود نداشت.

#### انرژی فعال سازی

نتایج وابستگی به دما برای ضرایب نفوذ رطوبت و روغن که با استفاده از برازش داده ها با معادله ی آرنیوس (معادله ی ۵ و ۶) بدست

همان طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، ضرایب حاصل از نمونه های حاوی سفیده تخم مرغ کمتر از نمونه شاهد می‌باشد که این نتیجه همانند نتایج افت رطوبت مبین این واقعیت هستند توانایی سفیده تخم مرغ در تشکیل ژل حرارتی و فیلم نسبت داد که پوسته سخت تری بروی ناگت پنیر ایجاد می‌شود که مانع از خروج رطوبت از آن می‌گردد.

#### جذب روغن

ثابت سرعت فرآیند جذب روغن با استفاده از برازش داده ها با معادله ی ۵ محاسبه شد. مقادیر این پارامتر در نمونه شاهد، در محدوده ی  $(s^{-1})$  ۰/۰۰۳۶ تا  $(s^{-1})$  ۰/۰۰۸۹ بدست آمد. همان طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود ثابت سرعت جذب روغن در نمونه هایی که در پوشش آنها سفیده تخم مرغ بکار رفته است، کمتر از نمونه هایی پوشش دار شده با خمیرابه فاقد سفیده تخم مرغ می‌باشد که این امر با توجه به میزان حذف رطوبت کمتر در این نمونه ها طی سرخ کردن و با توجه به ویژگی‌های تشکیل فیلم سفیده تخم مرغ قابل توجیه می‌باشد. در ضمن می‌توان دریافت که، مقادیر ثابت سرعت جذب روغن در نمونه ها با افزایش دما افزایش می‌یابد و

افزودن سفیده تخم مرغ، در دمای مورد مطالعه، باعث کاهش شاخص قوام سیال در خمیرابه ها شد. میزان جذب خمیرابه شاهد بیشتر از سایر خمیرابه‌ها است، که این امر می‌تواند ناشی از ضریب قوام بیشتر در این خمیرابه باشد. در واقع میان ریسکوزیته ظاهری و میزان جذب خمیرابه رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد. حذف رطوبت و جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن با افزایش زمان و دمای سرخ کردن افزایش یافت. نمونه‌های پوشش دار شده با خمیرابه‌های حاوی ۱۰ درصد سفیده تخم مرغ کمترین میزان حذف رطوبت و جذب روغن (در بخش پوسته و هم هسته) و نمونه‌های شاهد بالاترین میزان حذف رطوبت و جذب روغن (در بخش پوسته و هم هسته) را نشان دادند. به طور کلی استفاده از سفیده تخم مرغ در فرمولاسیون خمیرابه باعث کاهش جذب روغن و بهبود حفظ رطوبت در نمونه‌ها در نتیجه توانایی سفیده تخم مرغ در تشکیل ژل حرارتی و فیلم شد. با توجه به نتایج بدست آمده، دما اثر مثبت بر روی ضریب نفوذ موثر دارد، بطوری که با افزایش دما، به دلیل شدت فعل و انفعالات این ضریب افزایش می‌یابد. میزان ضریب نفوذ در نمونه‌های پوشش دار شده با خمیرابه حاوی سفیده تخم مرغ کمتر از نمونه شاهد است. این امر در نتیجه‌ی تشکیل فیلم سفیده تخم مرغ می‌باشد که به عنوان سدی در مقابل خروج رطوبت عمل می‌کند، مقادیر ثابت سرعت فرآیند جذب روغن در نمونه‌های پوشش دار شده با خمیرابه حاوی سفیده تخم مرغ کمتر از نمونه شاهد است. که این امر با توجه به میزان حذف رطوبت کمتر در این نمونه‌ها در طی سرخ کردن و ویژگی‌های سفیده تخم مرغ قابل توجیه است. مقادیر این ضریب با افزایش دما افزایش می‌یابد و همچنین مقدار روغن تعادلی ( $O_{eq}$ ) با افزایش دما افزایش می‌یابد. این امر تأییدکننده افزایش میزان جذب روغن با افزایش دما می‌باشد.

آمد، دامنه‌ی مقادیر انرژی فعال سازی برای حذف رطوبت و جذب روغن در نمونه‌های پوشیده شده با خمیرابه فاقد سفیده تخم مرغ، به ترتیب  $30.1 \pm 0.186$  (kJ/mol) و  $14.10 \pm 0.98$  (kJ/mol) و در نمونه‌های پوشش دار شده با خمیرابه حاوی سفیده تخم مرغ بین  $36.52 \pm 0.95$  تا  $38.42 \pm 0.96$  (kJ/mol) و  $6.70 \pm 0.99$  تا  $7.74 \pm 0.95$  (kJ/mol) بدست آمد. Adedeji و همکاران (۲۰۰۹) انرژی فعال سازی حذف رطوبت را در بخش مرکزی و پوسته ناگت‌های پیش پخته شده در مایکروفر سرخ شده در دماهای  $170^\circ\text{C}$ ،  $180^\circ\text{C}$  و  $190^\circ\text{C}$  به ترتیب بین  $16.33$  - تا  $52.13$  - (kJ/mol) و  $13.65$  تا  $54.93$  (kJ/mol) گزارش نمودند. به گزارش این محققان مقادیر منفی انرژی فعال سازی روند نزولی انتشار رطوبت با افزایش دما را در بخش مرکزی تأیید می‌کند، در این تحقیق افزایش دمای سرخ کردن منجر به کاهش جذب روغن شد.

## نتیجه گیری

در این پژوهش اثر دمای روغن، زمان سرخ کردن، فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر پارامترهای کینتیک انتقال جرم ناگت پنیر سرخ شده به روش عمیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فرمولاسیون خمیرابه اثر قابل توجهی بر ویژگی‌های خمیرابه و میزان روغن و رطوبت بخش پوسته و هسته ناگت‌های پنیر سرخ شده دارد.

داده‌های حاصل از ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی بخوبی با استفاده از قانون برآزش شدند. ریسکوزیته ظاهری در فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه با افزایش درجه برش کاهش یافت، که این بیانگر رفتار ضعیف شوندگی با برش خمیرابه‌ها می‌باشد.

## منابع

- سورگی، م.، ۱۳۸۸، بررسی اثر دما، امواج مایکروویو و صمغ بر کینتیک انتقال جرم و خصوصیات انتقال جرم و خصوصیات کیفی ناگت مرغ سرخ شده به روش عمیق. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- Adedeji, A. A., Ngadi, M. O., and Raghavan, G. S. V., 2009, Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep fat fried chicken nugget. *Journal of Food Engineering*, 91, 146-153.
- Akdeniz, N., Sahin, S., Sumnu, G., 2006, Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 75, 522-526.
- Albert, S., and Mittal, G. S., 2002, Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Research International*, 35, 445-458.
- Amboon, W., Tulyathan, V., and Tattiyakul, J., 2010. Effect of hydroxypropyl methylcellulose on rheological properties, coating pickup, and oil content of rice flour-based batters. *Food and Bioprocess Technology*, DOI 10.1007/s11947-010-0327-3.
- Aminlari, M., Ramezani, R., and Khalili, M. H., 2005, Production of Protein-Coated Low-Fat Potato Chips. *Food Science and Technology International*, DOI: 10.1177/1082013205054785.
- AOAC, 1990, Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- AACC, 1986, Moisture content. In: Approved Methods of the American Association of Chemists. AACC, St Paul,

MN.

Ballard, T., 2003, Application of edible coatings maintaining crispness of breaded fried foods. MSc Thesis, Biological system engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

Baixauli, R., Fiszman, S. M., Sanz, T., and Salvador, A., 2003, Effect of the addition of dextrin or dried egg on the rheological and textural properties of batters for fried foods. *Food Hydrocolloids*, 17, 305-310.

Bertolini Suárez, R., Campanone, L. A., Garcia, M. A., and Zaritzky, N. E., 2008, Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. *Journal of Food Engineering*, 84, 383-393.

Bajaj, I., and Singhal, R., 2007, Gellan gum for reducing oil uptake in sev, a legume based product during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 104, 1472-1477.

Chen, C., Chen, M., Chen, H., Hub, W., Lan, M., & Lib, P. 2008, Using HPMC to improve crust crispness in microwave-reheated battered mackerel nuggets: Water barrier effect of HPMC. *Journal of Food Hydrocolloids*, 22, 1337-1344.

Cuesta, C., Romero, A., and Sanchez-Muniz, F. J., 2001, Fatty acid changes in high oleic acid sunflower oil during successive deep-fat frying of frozen foods. *Food Science and Technology International*, 7, 317-328.

Crank, J., 1975, *The Arithmetics of Diffusion*, second ed. Oxford University Press, Oxford, UK

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

Dogan, S. F., Sahin, S., and Sumnu, G., 2005a, Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 71, 127-132

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, 256-265

Fiszman, S. M., and Salvador, A., 2003, Recent developments in coating batters. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 399-407

Handa, A., Gennadios, A., Froning, G. W., Kuroda, N. and Hanna, M. A., 1999, "Tensile, Solubility, and Electrophoretic Properties of Egg White Films as Affected by Surface Sulfhydryl Groups". *Journal of Food Science*, 64, 82-85.

Holownia, K. I., Chinnan, M. S., Erickson, M. C., and Mallikarjunan, P., 2000, Quality evaluation of edible film-coated chicken strips and frying oils. *Journal of Food Science*, 65, 1087-1090.

Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., Marinou-Kouris, D., and Oreopoulou, V., 2001, Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48, 219-225.

Mariscal, M., and Bouchon, P., 2008, Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*, 107, 1564-1569.

Mellema, M., 2003, A review. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 364-373.

Moyano, P., and Pedreschi, F., 2006, Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. *LWT – Food Science and Technology*, 39, 285-291.

Mine, Y., 1995, Recent Advance in the Understanding of Egg White Protein Functionality. *Trends Food Science Technology*, 60, 224-232

Mohamed, S., Hamid, N. A., and Hamid, M. A., 1988, Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter. *Journal of Science and Food Agriculture*, 78, 39-45

Ngadi, M., Li, Y., and Oloka, S., 2007, Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 1784-1791.

Ngadi, M., Dirani, K., and Oluka, S., 2006, Mass transfer characteristics of chicken nuggets. *International Journal of Food Engineering*, 2, 1-16

Ni, H., and Datta, A. K., 1999, Moisture, oil and energy transport during deep-fat frying of food materials. *Transactions of IChemE*, 77, 194-204

Okamoto, S., 1978, Factors Affecting Protein Film Formation. *Cereal Foods World*, 23, 256-262

Quasem, J. M., Mazahreh, A. S., Abu-Alruz, K., Afaneh, I. A., Al-Muhtaseb, A. H., and Magee, T. R. A., 2009, Effect of methyl cellulose coating and pre-treatment on oil uptake, moisture retention and physical properties of deep-fat fried starchy dough system. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 40, 156-166.

Sahin, S. and Sumnu, G., 2009, *Advances in Deep-Fat Frying of foods*. Taylor & Francis Group, New York.

Sosa-Morales, M. E., Orzuna-Espiritu, R., and Vélez-Ruiz, J. F., 2006, Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering*, 77, 731-738.

Soorgi, M., Mohebbi, M., Mousavi, S. M., and Shahidi, F., 2010, The Effect of methylcellulose, Temperature, and Microwave Pretreatment on Kinetic of Mass Transfer During Deep Fat Frying of Chicken Nuggets. *Food Bioprocess*

Technology. DOI 10.1007/s11947-011-0520-z.

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, 1164-1173.

Woodward, S. A., 1990, Egg Protein Gels. In *Food Gels*, ed., P. Harris, Essex, England: Elsevier Science Publishers Ltd., pp. 175-199.

Ziaifar, A. M., 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, 1410-1423.