



بررسی اثر نوع روغن و نسبت محصول به روغن بر توزیع دما، افت رطوبت و جذب روغن در طی فرآیند

### سرخ کردن قطعات سیب زمینی

عبدالرحمن قادری<sup>۱\*</sup>، جلال دهقان نیا<sup>۲</sup>، بابک قنبرزاده<sup>۲</sup>

۱- مدرس گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

#### اطلاعات مقاله

#### چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

کلمات کلیدی:

سرخ کردن،

نوع روغن،

نسبت سیب زمینی به روغن،

جذب روغن.

در فرآیند سرخ کردن بسیاری از تغییراتی که روی می دهد تابع نوع روغن و نسبت محصول به روغن (بار سرخ کردن) می باشند و توزیع یکنواخت دمای روغن در نقاط مختلف سرخ کن با توجه به سرخ شدن یکنواخت قطعات سیب زمینی حائز اهمیت می باشد. بنابراین، با پایش نحوه توزیع دما، روغن و رطوبت در محصول با گذشت زمان می توان فرآیند سرخ کردن را به طور مؤثرتری کنترل نمود و به درک عمیق تری از این فرآیند پیچیده رسید. بنابراین هدف تحقیق حاضر بررسی اثر سه نوع روغن (آفتابگردان، سویا و کانولا)، سه نوع بار سرخ کردن (۱:۲۰، ۱:۱۵ و ۱:۱۰ کیلوگرم سیب زمینی به لیتر روغن) و چهار موقعیت مختلف در سرخ کن بر توزیع دما در سرخ کن و سیب زمینی، محتوای رطوبت و میزان روغن جذب شده در قطعات سیب زمینی حین سرخ کردن در ۴ فاصله زمانی ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه بود. آنالیز آماری داده ها نشان داد که بار سرخ کردن بر افت رطوبت و جذب روغن اثر معنی داری داشت در حالیکه برای نوع روغن و موقعیت سیب زمینی در سرخ کن اثر معنی دار مشاهده نشد. با افزایش بار سرخ کردن میزان جذب روغن بیشتر و رطوبت نهایی سیب زمینی ها افزایش یافت. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که دمای مرکز سیب زمینی تحت تأثیر نوع روغن و بار سرخ کردن قرار نگرفت و دمای مرکز در کل تیمارها در حدود ۹۵-۹۶ درجه سلسیوس تخمین زده شد. برخلاف دمای مرکز، دمای سطح تحت تأثیر نسبت سیب زمینی به روغن قرار گرفت و با افزایش بار سرخ کردن دمای سطح افزایش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده تحقیق حاضر نشان داد برای کاهش روغن جذب شده حتماً باید از نسبت مناسب سیب زمینی به روغن استفاده گردد در حالیکه نوع روغن و مکان سیب زمینی در سرخ کن تأثیر قابل ملاحظه ای بر میزان روغن جذب شده نداشت.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.269

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.14.7

\* مسئول مکاتبات:

abdurrahmanghadery@gmail.com

## ۱- مقدمه

فرآیند سرخ کردن عمیق به عنوان یک روش پخت مؤثر در صنایع فرآوری غذا نظیر کارخانه جات فرآوری مواد غذایی، مراکز تهیه غذا و تهیه خانگی غذاها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. در این روش غذا با غوطه‌ور شدن در یک روغن خوراکی نظیر آفتابگردان، کانولا و غیره در محدوده دماهای ۱۵۰-۲۰۰ درجه سلسیوس سرخ می‌گردد [۲]. در این فرآیند کیفیت محصول سرخ شده بستگی به شرایط سرخ کردن نظیر دما و زمان فرآیند اندازه فرآورده، نوع روغن و نوع محصول دارد [۳]. سرخ شدن یک فرآیند غیرمتعارف به شمار می‌آید؛ از آنجایی که از یک محصول غذایی به عنوان محیط انتقال‌دهنده حرارت استفاده می‌شود. بنابراین، عملیات سرخ کردن از دو طریق بر غذا اثر می‌گذارد، اول اثر آن بر روغن است که به نوبه خود بر کیفیت غذا تأثیر دارد و دیگر اثر حرارت مستقیم بر غذای سرخ شده است [۴].

روغن جذب شده در ایجاد طعم و مزه دهانی غذای سرخ شده نقش بسزایی دارد اما مشکلاتی را نیز به وجود می‌آورد. جذب روغن توسط ماده غذایی به دلیل دوباره پر کردن سرخ‌کن هزینه فرآیند را افزایش داده و همچنین میزان ماندگاری محصول تحت تأثیر روغن جذب شده قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، جذب روغن توسط ماده غذایی موجب ایجاد حالت عدم تعادل بین مواد مغذی خواهد شد [۴]. در حین سرخ کردن اگرچه افت رطوبت از محصول هم‌زمان با جذب روغن اتفاق می‌افتد، ولی نسبت این دو باهم برابر نیست. اعتقاد بر این است که در فرآیند تبخیر، انبساط حجمی آب به ایجاد بافتی متخلخل منجر می‌شود و مشخصه آن حفرات داخلی، درز، شکاف و منافذ ریز در پوسته غذا می‌باشد [۵]. جذب روغن به داخل محصول تحت تأثیر دمای روغن، زمان سرخ کردن، محتوی روغن سطحی، سطح ویژه، کیفیت و نوع روغن قرار می‌گیرد [۶].

در فرآیند سرخ کردن بسته به نوع محصول، اندازه و ترکیبات آن دمای روغن می‌تواند در محدوده ۱۲۰-۱۹۰ درجه سلسیوس باشد اما معمول‌ترین دماهای مورد استفاده ۱۷۰-۱۹۰ درجه سلسیوس می‌باشد [۷]. علاوه بر این، دمای روغن و خصوصیات ترموفیزیکی محصول و روغن فاکتورهای مهمی در ایجاد و

توسعه خصوصیات حسی مناسب در محصول سرخ شده می‌باشند که نرخ بالای انتقال حرارت در ایجاد این خصوصیات نقش مهم و اساسی دارد [۸]. برای تهیه محصول باکیفیت ثابت و یکنواخت لازم است کلیه سیب‌زمینی‌ها در همه نقاط سرخ‌کن تحت شرایط یکسان قرار داشته باشند. برای مثال از آنجایی که دمای روغن تأثیر مستقیمی بر رنگ و خصوصیات بافتی محصول سرخ شده دارد؛ کنترل دما از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. اگر دما در نقاط مختلف سرخ‌کن یکنواخت و همگن نباشد ممکن است محصولاتی با خصوصیات متفاوت تولید شوند.

در عملیات فرآوری غذا، مقدار روغن مورد استفاده باید از لحاظ وزنی و یا حجمی تعیین گردد و مقدار مصرف شده مشخص باشد. علاوه بر این، باید میزان محصولی نیز که وارد سرخ‌کن می‌شود از لحاظ وزنی دقیق و مقداری مشخص و متناسب با مقدار روغن مصرف شده باشد [۹]. در هنگام افزودن ماده غذایی به روغن داغ دمای سطحی ماده غذایی به سرعت افزایش پیدا می‌کند و آب موجود در سطح ماده غذایی شروع به تبخیر می‌کند و روغن احاطه‌کننده ماده غذایی دچار افت دمایی می‌گردد اما به سرعت توسط جریان جابه‌جایی روغن این افت دمایی جبران می‌شود. اگر میزان ماده غذایی اضافه شده به روغن بیش از حد مجاز باشد دمای روغن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۱۰]. اگر نسبت ماده غذایی به روغن بیش از حد باشد، دمای روغن دچار افت شدید شده و این امر موجب افزایش زمان بازیابی حرارتی و در نتیجه افزایش زمان سرخ کردن می‌گردد. هنگام افزودن ماده غذایی به روغن، بسته به اندازه سرخ‌کن، حجم روغن، اندازه ماده غذایی و محتوای رطوبت ماده غذایی، در حدود ۳۰ تا ۴۵ درجه سلسیوس افت دما روی می‌دهد [۱۱]. یکی از فاکتورهای مؤثر بر میزان تولید آکریلامید در سیب‌زمینی میزان نسبت روغن به سیب‌زمینی می‌باشد. متخصصین قانون ۱۰٪ را به عنوان میزان مناسب نسبت سیب‌زمینی به روغن معرفی نموده‌اند، یعنی یعنی ۱۰۰ گرم سیب‌زمینی باید در ۱ لیتر روغن سرخ گردد در این صورت میزان تولید آکریلامید در حد مناسبی خواهد بود. به‌طور کلی وقتی دمای روغن به اندازه کافی بالا باشد (۱۷۰ درجه سلسیوس) و میزان مناسبی از محصول (نسبت ۱/۱۰) در سرخ‌کن قرار داده شده باشد می‌توان تضمین کرد محصولی باکیفیت بالا، همراه با مقدار پائین آکریلامید و خواص حسی مناسب تولید

ویسکوزیته پایین روغن موجب افزایش سرعت جریان روغن و در نتیجه کاهش ضخامت لایه مرزی شده و از این طریق موجب افزایش نرخ انتقال حرارت می‌گردد [۱۴]. از طرف دیگر، ویسکوزیته بالا و یا افزایش ویسکوزیته به دلیل ماهیت نوع روغن و یا استفاده مکرر از روغن (واکنش‌های پلیمریزاسیون) می‌تواند بر پدیده‌های انتقال مومتموم<sup>۱</sup> (تحت تأثیر قرار دادن حرکت حباب‌های بخار آب ناشی از نیروی شناوری)، حرارت و جرم داخل سرخ‌کن تأثیرگذار باشد [۱۴]. دانسیته روغن می‌تواند بسته به وضعیت قرار گرفتن روغن در بالا و یا زیر سطح محصول اثری مثبت یا منفی داشته باشد. برای مثال نیروی گرانش مانع از جذب شدن روغن جذب‌شده در قسمت پائینی محصول می‌شود و این نیرو مانع از اثر نفوذ کاپیلاری<sup>۲</sup> خواهد شد و برعکس روغن قرارگرفته روی سطح محصول توسط نیروی گرانش و همچنین نیروی کاپیلاری به راحتی جذب محصول خواهد شد. به عبارتی دیگر در سطح بالایی محصول نیروی گرانش و کاپیلاری در جهت هم و در سطح پائینی این دو نیرو در خلاف جهت هم عمل خواهند نمود [۲۰]. روغن آفتابگردان، کانولا و سویا سه نوع روغن خوراکی با مصرف گسترده در فرآیند سرخ‌کردن هستند. این روغن‌ها به دلیل دارا بودن اسیدهای چرب اشباع پائین و نسبت بالای اسیدهای چرب تک و چند غیراشباعی دارای مزیت ویژه‌ای نسبت به سایر روغن‌های سرخ‌کردنی می‌باشند [۹]. بنابراین هدف تحقیق حاضر بررسی اثر سه نوع روغن (آفتابگردان، سویا و کانولا)، سه نوع بار سرخ کردن (۱:۱۵، ۱:۱۰ و ۱:۱۰ کیلوگرم سیب زمینی به لیتر روغن) و چهار موقعیت مختلف در سرخ‌کن بر توزیع دما در سرخ‌کن و سیب‌زمینی، محتوای رطوبت و میزان روغن جذب شده در قطعات سیب‌زمینی حین سرخ کردن در ۴ فاصله زمانی ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- روش آماده سازی نمونه

سیب‌زمینی‌های موردنیاز از بازار محلی تبریز تهیه و قبل از انجام آزمایش‌ها در سردخانه بالای صفر ۸ درجه سلسیوس نگهداری

خواهد شد. با افزایش نسبت محصول به روغن افت دمای روغن شدیدتر خواهد شد و در مدت‌زمان معین اگر سامانه گرمکن نتواند افت دمای روغن را جبران نماید محصولی با بافت نرم و روغنی تولید خواهد شد که موردپذیرش مصرف‌کننده قرار نخواهد گرفت. با توجه به تحقیقات انجام‌شده پیشنهاد شده است که تنها میزانی از سیب‌زمینی باید به سرخ‌کن اضافه شود که دمای روغن در انتهای فرآیند بالای ۱۴۰ درجه سلسیوس باشد [۱۲]. حفظ شرایط فرآیند سرخ‌کردن خصوصاً دما از اهمیت خاصی برخوردار است به طوری که برای مثال میزان تولید بخار آب در حد مشخص و ثابت باقی بماند تا با حفظ فشار داخلی مانع از ورود روغن به داخل بافت شود [۱۳]. به طور متداول دو نسبت ۱ به ۷ و ۱ به ۳۵ به ترتیب در صنعت (بار سرخ‌کردن بالا) و در تهیه غذاهای خانگی و یا رستوران (بار سرخ‌کردن پائین) مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۴]. افزایش نسبت سیب‌زمینی به روغن در سرخ‌کن می‌تواند منجر به افزایش همزدن ناشی از حباب‌های بخار آب در اثر خروج بیشتر رطوبت گردد. همچنین، نسبت بالاتر محصول به روغن به معنای افزایش تماس سطح بیشتری از محصول با روغن می‌باشد [۱۴]. از طرف دیگر، افزایش نسبت میزان سیب‌زمینی به روغن می‌تواند به دلیل تأثیر بر پخش سرعت روغن و ممانعت از جریان راحت روغن باعث ایجاد تغییر الگوی جریان شده و به عنوان سدی مانع حرکت راحت روغن در نقاط مختلف سرخ‌کن گردیده و همگنی دما را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این، تحقیقات نشان داده است نسبت سیب‌زمینی به روغن بعد از مدت زمان مشخص سرخ‌کردن یعنی افزایش تعداد دفعات سرخ‌کردن بر میزان پلیمریزاسیون اثرگذار می‌باشد [۱۵]. به طور کلی در صنعت سرخ‌کردن نسبت محصول به روغن یک فاکتور تصمیم‌گیری مهم و اساسی به حساب می‌آید [۹].

نوع روغن مورد استفاده به دلیل وجود ویژگی‌های حرارتی و فیزیکوشیمیایی مختلف می‌تواند بر فرآیند سرخ کردن تأثیر داشته باشد [۱۶، ۱۷]. یکی از فاکتورهایی که بر ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بین روغن و ماده غذایی تأثیرگذار می‌باشد، تغییر ویسکوزیته روغن حین فرآیند به دلیل واکنش‌های پلیمریزاسیون و همچنین، ویژگی‌های سطحی محصول می‌باشد [۱۸]. هر اندازه ویسکوزیته روغن کمتر باشد، به دلیل سیالیت بیشتر، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بیشتر خواهد شد [۱۹]. به عبارتی دیگر،

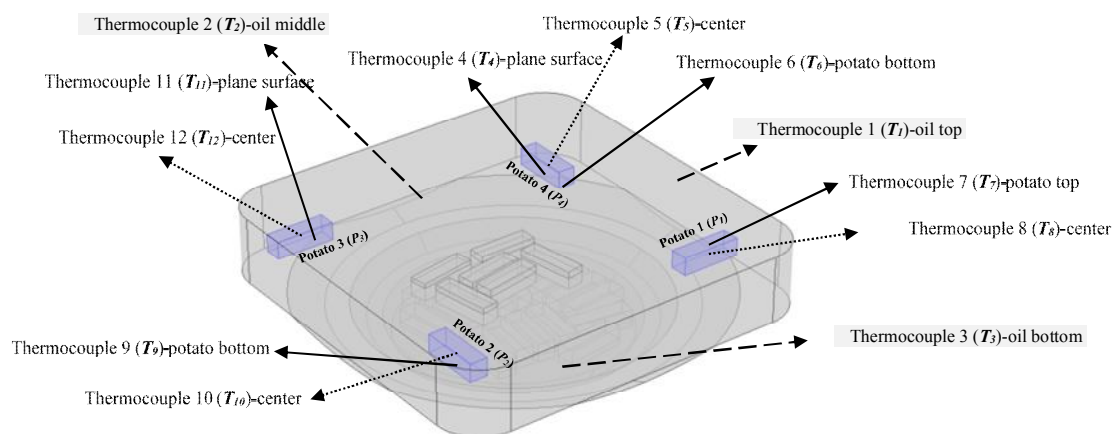
1. Momentum transfer  
2. Capillary diffusion

مرکز سیب‌زمینی‌های شماره ۱ (ترموکوپل شماره ۸)، شماره ۲ (ترموکوپل شماره ۱۰)، شماره ۳ (ترموکوپل شماره ۱۲) و شماره ۴ (ترموکوپل شماره ۵)، پنج عدد ترموکوپل در ۱ میلی‌متری سطوح سیب‌زمینی‌ها در جهت‌های مختلف (ترموکوپل شماره ۷ در بالای سیب‌زمینی شماره ۱، ترموکوپل شماره ۹ در کف سیب‌زمینی شماره ۲، ترموکوپل‌های شماره ۴ و ۶ به ترتیب در سطح جانبی و کف سیب‌زمینی شماره ۴) قرار داده شدند و برای اندازه‌گیری دمای روغن نیز از سه عدد ترموکوپل در سطح بالا (ترموکوپل شماره ۱)، وسط (ترموکوپل شماره ۲) و سطح پایینی حمام روغن (ترموکوپل شماره ۳) استفاده و به فواصل زمانی ۱ ثانیه داده‌های دمایی نقاط مختلف با استفاده از دیتا لاگر Lutron مدل BTM-4208SD ثبت گردید.

شدند. برای انجام هر آزمایش، سیب‌زمینی‌ها پس از شستشو و پوست‌گیری، توسط کاتر به ابعاد  $1/2 \times 1/2 \times 1/2$  (ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول) سانتی‌متر مکعب به صورت قطعات مکعب مستطیلی برش داده شدند. نمونه‌ها جهت جلوگیری از اتلاف رطوبت در درون یک پلیت درب‌دار قرار گرفته و قبل از سرخ‌کردن جهت حذف نشاسته سطحی با آب مقطر شسته شده و آب اضافی سطحی نیز توسط یک کاغذ رطوبت‌گیر گرفته شد. سپس، فرآیند سرخ‌کردن در دمای  $170^\circ\text{C}$  درجه سلسیوس در سه نوع روغن آفتابگردان، سویا، کانولا و سه نسبت  $1/10$ ،  $1/15$  و  $1/20$  (کیلوگرم سیب‌زمینی به لیتر روغن) صورت گرفت.

## ۲-۲- اندازه‌گیری دما

جهت اندازه‌گیری دما در داخل قطعات سیب‌زمینی، با توجه به جدول ۱، دوازده عدد ترموکوپل در قسمت‌های مختلف روغن و سیب‌زمینی‌ها قرار داده شد. شکل ۱ چهار عدد ترموکوپل در



**Fig 1** A schematic view of the fryer and location of thermocouples in 12 different positions in potatoes and oil

**Table 1** Implaced thermocouples in the diffrenet location (oil and potatoes)

| thermocouple number | location                           | thermocouple number | location                           |
|---------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1 (T1)              | top of the fryer                   | 7 (T7)              | upper surface of potato number 1   |
| 2 (T2)              | middle of the fryer                | 8 (T8)              | center of potato number 1          |
| 3 (T3)              | bottom of the fryer                | 9 (T9)              | lower surface of potato number 2   |
| 4 (T4)              | lateral surface of potato number 4 | 10 (T10)            | center of potato number 2          |
| 5 (T5)              | center of potato number 4          | 11 (T11)            | lateral surface of potato number 3 |
| 6 (T6)              | lower surface of potato number 4   | 12 (T12)            | center of potato number 3          |

سرخ‌شدن، نمونه در فواصل زمانی مشخص (۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه) از سرخ‌کن خارج شده و از طریق خشک‌کردن در آون همرفتی در دمای  $105 \pm 1^\circ\text{C}$  درجه سلسیوس میزان رطوبت تعیین و

## ۲-۳- اندازه‌گیری محتوای رطوبت و روغن

جهت تعیین محتوای رطوبت نمونه‌های سیب‌زمینی در حال

می‌باشد که بررسی دمای مرکز سیب‌زمینی سرخ‌شده در سه نوع روغن نشان داد نوع روغن اثر قابل توجهی بر روند افزایش دما و دمای نهایی مرکز سیب‌زمینی‌ها ندارد و برای همه تیمارها دمای مرکز در انتهای فرآیند حدود ۹۵ درجه سلسیوس بود که این دما تا انتهای فرآیند به دلیل ادامه روند تبخیر ثابت باقی ماند. همچنین، موقعیت سیب‌زمینی‌ها در ۴ نقطه مختلف سرخ‌کن نیز نشان داد که موقعیت تأثیرگذاری خاصی بر دمای مرکز نداشت (شکل ۲). اختلاف مشاهده شده در بین موقعیت‌های مختلف مربوط به دوره افزایش دما به سمت نقطه جوش بود که دو ترموکوپل T5 و T12 سرعت کمی بالاتر نشان دادند. در حالیکه در نهایت همه موقعیت‌ها در یک دمای ثابت باقی ماندند. می‌توان گفت که دو ترموکوپل مذکور (T5 و T12) در مرکز سیب‌زمینی‌های شماره ۳ و ۴ (P3 و P4) قرار داشتند که در ارتفاع نسبتاً پایین‌تری نسبت به دو سیب‌زمینی دیگر واقع شده بودند و به عبارتی به المنت سرخ‌کن نزدیک‌تر بودند که این نزدیکی احتمالاً باعث شده است دمای مرکز آن‌ها تا حدودی سریع‌تر به نقطه تبخیر برسد.

در نهایت برحسب گرم رطوبت بر گرم ماده خشک گزارش گردید [۲۱] محتوای روغن نمونه‌ها نیز به فواصل زمانی ذکرشده از طریق استخراج در دستگاه سوکسله، با استفاده از حلال پترولیوم اتر اندازه‌گیری و برحسب گرم روغن بر گرم ماده خشک گزارش شد [۲۱].

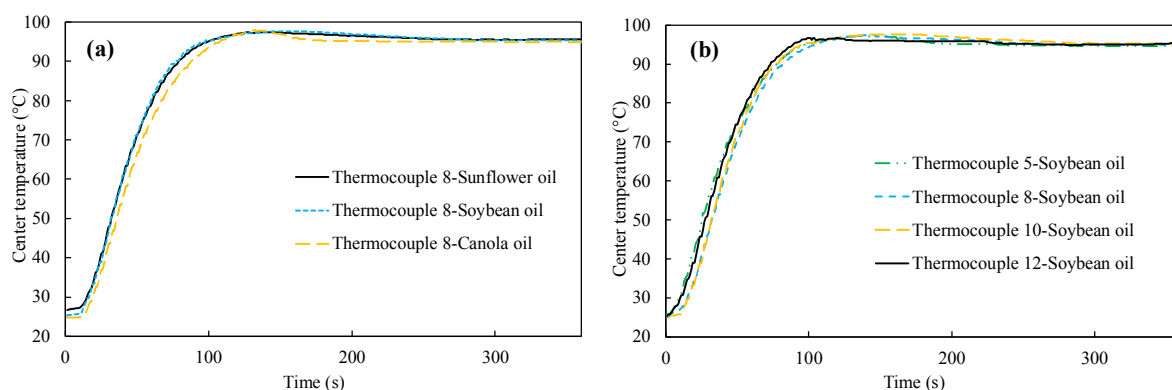
## ۲-۴- آنالیز آماری

برای آنالیز آماری یک آزمایش به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک کاملاً تصادفی برای بررسی اثر متقابل فاکتورها (نسبت سیب‌زمینی به روغن، نوع روغن، موقعیت سیب‌زمینی‌ها و زمان فرآیند) با استفاده از ANOVA توسط نرم SAS 9.4 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده گردید ( $P < 0.05$ ).

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- اثر نوع روغن

یکی از فاکتورهای مهم که می‌تواند بر فرآیند سرخ‌کردن تأثیر داشته باشد نوع روغن به‌عنوان محیط انتقال دهنده حرارت



**Fig 1** Center temperature changes of potatoes in different oils (a) and center temperature changes in different positions (b) for the ratio of 1:15

روغن به دلیل خصوصیات ویژه خود باعث افزایش شار حرارتی به مرکز سیب‌زمینی گردد تا وقتی که رطوبت در مرکز سیب‌زمینی باقی بماند دمای مرکز بدون توجه به نوع روغن در حد دمای تبخیر باقی می‌ماند و بعد از اینکه کل آب مرکز تبخیر شد دمای مرکز نیز به سمت دمای روغن تدریجاً افزایش خواهد یافت. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود کاهش جزئی در نمودار دمای

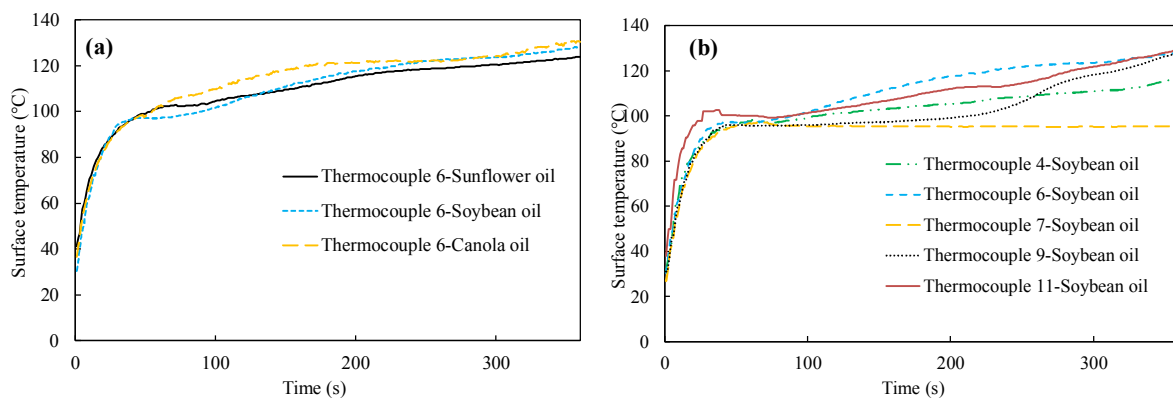
تغییر نوع روغن شاید تا حدودی خیلی جزئی باعث افزایش شار حرارتی به مرکز سیب‌زمینی گردیده باشد اما به دلیل اثر خنک‌کنندگی تبخیر آب، دمای مرکز (خصوصاً بعد از زمان ۱۲۰ ثانیه) هیچ اختلافی با هم نشان ندادند که در شکل ۲ نیز این موارد را به خوبی نشان داده است. به‌خوبی بیان شده است. نتایج این قسمت نشان‌دهنده این واقعیت است که حتی اگر تغییر نوع

موقعیت‌ها یک نوع روغن بالاترین دما را نشان دهند. با توجه به شکل شماره ۶ تا زمان ۵۰ ثانیه هر سه نوع روغن همپوشانی دمایی بالایی نشان دادند اما از زمان ۵۰ ثانیه به بعد بین روغن‌های مختلف تفاوت مشاهده گردید. احتمالاً از زمان ۵۰ ثانیه به بعد به دلیل چروکیده شدن سطح سیب‌زمینی و جابه‌جا شدن جزئی ترموکوپل اختلاف دمایی در بین روغن‌های مختلف مشاهده گردید [۲۲، ۲۳].

علاوه بر این، دو سطح مختلف سیب‌زمینی شماره ۴ (P4) دماهای مختلفی را نشان دادند (ترموکوپل شماره ۴ و ۶ تعبیه شده در این سیب‌زمینی) و دمای ترموکوپل شماره ۶ در هر سه روغن دمای بالاتری را نسبت به ترموکوپل شماره ۴ در همان سیب‌زمینی نشان داد. علت دمای بالاتر این ترموکوپل که در سطح پائینی سیب‌زمینی قرار داده شده بود می‌تواند نزدیکی به المنت سرخ‌کن (در حدود ۱ سانتی‌متر) و قرار گرفتن به صورت عمود بر جریان روغن باشد درحالی‌که ترموکوپل شماره ۴ جهت قرارگیری آن موازی بر جریان روغن بود و قطعاً تأثیر پذیری آن از جریان جابه‌جایی روغن نسبت به سطح پائینی کمتر بود.

مرکز بعد از زمان ۱۲۰ ثانیه در داده‌های آزمایشگاهی اتفاق می‌افتد که می‌توان آن را به تشکیل پوسته نسبت داد. به عبارت دیگر وقتی پوسته تشکیل می‌شود انتقال حرارت به سمت مرکز کاهش پیدا می‌کند و از آنجایی‌که در مرکز، فرآیند تبخیر در حال اتفاق است این کاهش شار حرارتی باعث می‌شود انرژی کافی برای ثابت ماندن دما و ادامه روند قبلی به مرکز نمونه نرسد و کاهشی هرچند جزئی (در اثر سرد شدن تبخیری) اتفاق خواهد افتاد.

در ارتباط با دماهای سطحی نیز مشاهده شد نوع روغن بر دماهای سطحی اثرگذار بود و با توجه به نوع روغن دماهای مختلفی توسط ترموکوپل‌ها ثبت گردیدند که البته این دماها از لحاظ عددی به هم نزدیک بودند که در شکل ۳ برای مثال ترموکوپل شماره ۶ نشان داده شده است. از طرف دیگر، با وجود مشاهده اختلاف در بین روغن‌های مختلف اما هر روغن در یک ترموکوپل نسبت به بقیه دمای بالاتری را نشان داد و این پدیده امکان پیش‌بینی روند تأثیر نوع روغن بر دمای سطح را به نحوی غیرممکن ساخت. برای مثال در ترموکوپل شماره ۹ (T9) روغن آفتابگردان بالاترین دما و در ترموکوپل شماره ۶ (T6) روغن کانولا بالاترین دما را نشان داد و به این صورت نبود که در همه



**Fig 2** Surface temperature changes (T6) for sunflower, soybean and canola oils (a) and surface temperature changes of four positions fried at soybean oil (b) for the ratio of 1:15

با مقایسه دماهای سطحی مشاهده شد ترموکوپل شماره ۶ (T6) و شماره ۷ (T7) به ترتیب بیشترین و کمترین دما را در بین همه ترموکوپل‌ها نشان دادند که در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد. دلیل دمای پائین ترموکوپل شماره ۷ قرار گرفتن ترموکوپل در بالاترین سطح روغن بود به طوری‌که در سطح بالای سیب‌زمینی ۱ (P1) روغن کمی با ضخامت حدود چند میلی‌متر قرار داشت و به این دلیل و همچنین نقش سردکننده هوای بالای روغن دمای این

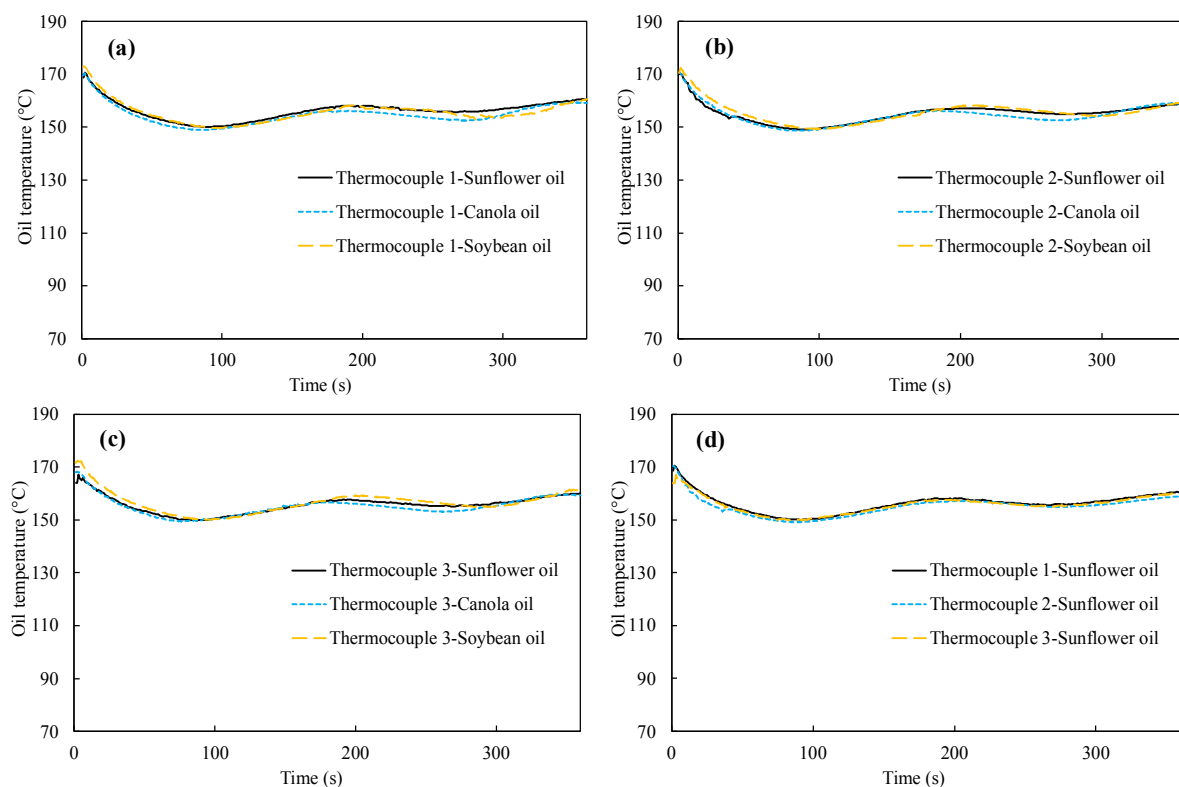
با مقایسه دماهای سطحی مشاهده شد ترموکوپل شماره ۶ (T6) و شماره ۷ (T7) به ترتیب بیشترین و کمترین دما را در بین همه ترموکوپل‌ها نشان دادند که در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد. دلیل دمای پائین ترموکوپل شماره ۷ قرار گرفتن ترموکوپل در بالاترین سطح روغن بود به طوری‌که در سطح بالای سیب‌زمینی ۱ (P1) روغن کمی با ضخامت حدود چند میلی‌متر قرار داشت و به این دلیل و همچنین نقش سردکننده هوای بالای روغن دمای این

ترموکوپل می‌تواند منجر به خطاهای بزرگی در دمای ثبت شده گردد. علاوه بر این، چروکیدگی سیب‌زمینی حین فرآیند سرخ‌کردن می‌تواند باعث تغییر مکان ترموکوپل گردد [۱۱، ۲۵، ۲۷، ۲۸].

اندازه‌گیری دمای روغن توسط ترموکوپل در سه نقطه مختلف سرخ‌کن نشان داد (شکل ۴) به محض ورود سیب‌زمینی‌ها به روغن دمای روغن افت نمود که این افت دمایی در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است [۲۹، ۳۰]. نتایج نشان داد دمای سه نقطه (T1، T2 و T3) در داده‌های آزمایشگاهی در هر سه نوع استفاده شده به دلیل هم‌زدن ناشی از حباب‌های بخار آب از همگنی بالایی برخوردار بودند و دمای سه نقطه متفاوت سرخ‌کن تقریباً روی هم قرار گرفتند.

ترموکوپل شماره ۷ نیز در همه تیمارها کمترین دمای ممکن بین سطوح را نشان داد که می‌توان به دلیل اثر سرمایشی هوای بالای سرخ‌کن و همچنین ضخامت کم لایه روغن بالای آن نسبت داد. در پژوهش کریری و همکاران (۲۰۱۰) به دمای پائین سطح بالایی سیب‌زمینی قرارگرفته در قسمت‌های بالای سرخ‌کن اشاره شده که با نتایج تحقیق حاضر کاملاً در یک راستا بودند [۲۴].

به‌طورکلی اندازه‌گیری دمای سطحی بنابر دلایل زیادی می‌تواند دارای دقت پائینی باشد. زیرا جایگذاری ترموکوپل در ۱ میلی-متری واقعی سطح دقت بسیار بالایی می‌خواهد. کیولا (۲۰۱۶) و ساوترن و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند موقعیت و قطر ترموکوپل می‌تواند تأثیر معنی‌داری روی اندازه‌گیری دما داشته باشد [۲۵، ۲۶]. به‌عبارتی‌دیگر، در ناحیه پوسته که گرادیان دمایی بالایی وجود دارد کوچک‌ترین حرکت و جابه‌جایی در موقعیت



**Fig 3** Temperature changes for various oils at three positions T1 (a), T2 (b), T3 (c) and comparison of temperature data for sunflower at three points (d) for the ratio of 1:15

دمای سطح تا حدودی تحت تأثیر قرار گرفت. آنالیز آماری داده‌های آزمایشگاهی نشان داد اگر چه نوع روغن بر میزان افت رطوبت و جذب روغن تا حدودی اثر گذاشت اما این اثر معنی‌دار ( $p > 0.05$ ) نبود و رطوبت نهایی سیب‌زمینی سرخ

با توجه به شکل ۴ در هر سه موقعیت دماهای یکسانی برای روغن‌ها ثبت شدند و برای یک روغن نیز در هر سه موقعیت همپوشانی بالایی مشاهده گردید. همچنین، نتایج نشان دادند نوع روغن تأثیر خاصی بر دمای مرکز سیب‌زمینی‌ها نداشت در حالیکه



ثانیه ۳۰ درصد کل آب در مرکز تبخیر شد و بعد از آن حدود ۲۷۰ ثانیه طول کشید تا ۷۰ درصد آب باقیمانده نیز تبخیر شود. دلیل این پدیده با وجود گرم شدن بیشتر مرکز را می‌توان به کاهش آب و افت شار حرارتی به مرکز به دلیل تشکیل پوسته با ضریب هدایت حرارتی پائین نسبت داد.

همان‌طوری که در قسمت‌های نتایج داده‌های آزمایشگاهی بیان گردید نوع روغن تأثیر قابل توجهی بر محتوای رطوبت سیب‌زمینی‌ها نشان نداد و برای سه روغن آفتابگردان، سویا و کانولا میزان محتوای رطوبت به ترتیب ۱/۸۲، ۱/۸۵ و ۱/۸۱ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک به دست آمد. نتایج این قسمت هم‌راستا با نتایج لیومباس و همکاران (۲۰۱۲) بود که نشان دادند روغن پالم و زیتون تأثیر مشابهی در افت رطوبت محصول دارند و روند افت رطوبت برای هر دو روغن یکسان گزارش گردید [۲۹]. همچنین نتایج حاکی از عدم تأثیر موقعیت سیب‌زمینی در سرخ‌کن بر افت رطوبت بود و اختلاف قابل توجهی بین ۴ موقعیت مشاهده نگردید (شکل ۵).

شده در سه روغن آفتابگردان، سویا و کانولا به ترتیب از ۱/۷۴، ۱/۷۵ و ۱/۶۷ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک و محتوای روغن جذب‌شده نهائی نیز ۰/۱۷، ۰/۱۸ و ۰/۲ کیلوگرم روغن بر کیلوگرم ماده خشک به دست آمد. سیب‌زمینی سرخ‌شده در روغن کانولا که کمترین محتوای رطوبت نهائی را نشان داد دارای بالاترین میزان روغن نیز بود (شکل ۵). نتایج تحقیق حاضر که حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار نوع روغن بر افت رطوبت و جذب روغن بود با نتایج شلال و همکاران [۳۱] و کیم و همکاران [۳۲] همخوانی داشت. از طرف دیگر، کیتا و لیسینسکا (۲۰۰۵) نتایجی خلاف تحقیق حاضر گزارش نمودند و بیان کردند نوع روغن روی میزان جذب روغن مؤثر است اما اشاره‌ای به علت این اختلاف نکردند [۳۳]. موقعیت سیب‌زمینی‌ها نیز تأثیر معنی‌داری بر دفع رطوبت و جذب روغن نشان نداد ( $P > 0.05$ ) و اختلاف معنی‌داری بین ۴ موقعیت به دست نیامد.

همچنین شکل ۵ نشان داد که میزان تبخیر آب از حدود ۴۰ ثانیه به بعد شروع شده و تا این زمان چون شار حرارتی کافی به مرکز نرسیده بود تبخیر خاصی مشاهده نگردید. همچنین، در حدود ۹۰

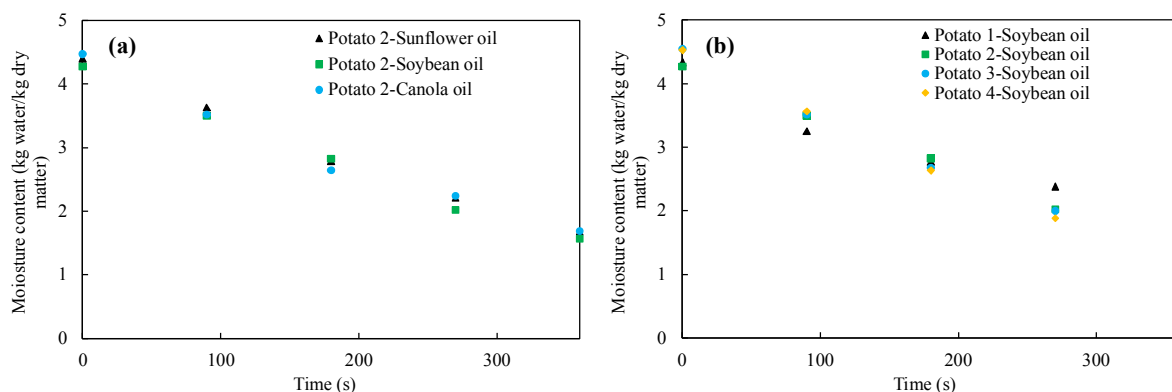


Fig 4 Change in moisture content of potatoes in different oils (a) and in four positions for soybean oil (b)

کردن اتفاق افتاد و ادامه سرخ‌کردن منجر به جذب کم روغن گردید. دلیل این کاهش جذب روغن را می‌توان به بخار آب و تشکیل پوسته در سیب‌زمینی نسبت داد.

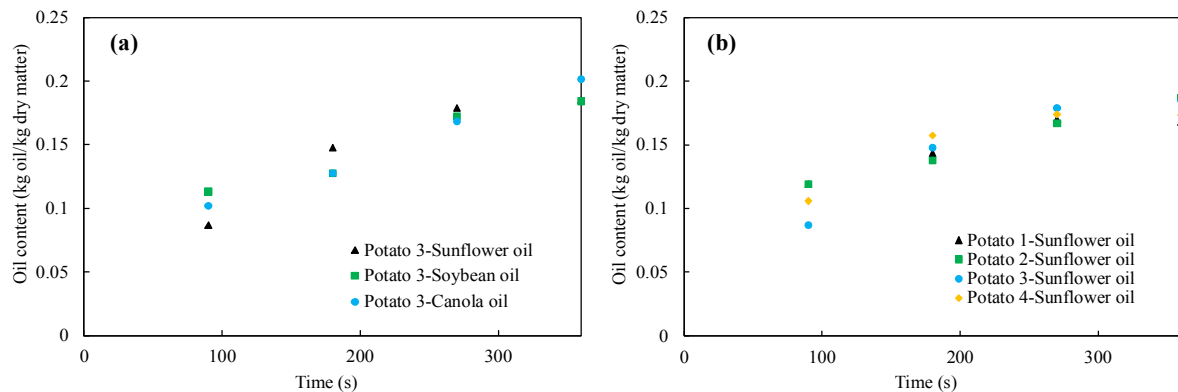
به‌طورکلی، همه این عوامل به‌صورت سینرژستی مانع جذب کمتر روغن بعد از مدت زمان حدود ۹۰ ثانیه شدند. به عبارت دیگر، تشکیل پوسته مانع جذب و نفوذ روغن به داخل سیب‌زمینی شده است و بخار آب نیز به دلیل جهت جریان مخالف با نفوذ روغن، اثر تشکیل پوسته را تشدید کرده است.

همچنین، نتایج تحقیق حاضر بیانگر عدم تأثیر معنی‌دار ( $p > 0.05$ ) نوع روغن بر جذب روغن بود. از طرف دیگر، افزایش جذب روغن با گذشت زمان در داده‌های آزمایشگاهی به‌خوبی نشان داده شد (شکل ۶-a).

همچنین، نتایج آزمایشگاهی اختلافی بین محتوای روغن سیب‌زمینی‌ها در موقعیت‌های مختلف نشان ندادند و روغن همه موقعیت‌ها تقریباً یکسان تخمین زده شد (شکل ۶-b).

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود قسمت اصلی روغن جذب‌شده برای همه روغن‌ها تقریباً در ۹۰ ثانیه اول فرآیند سرخ





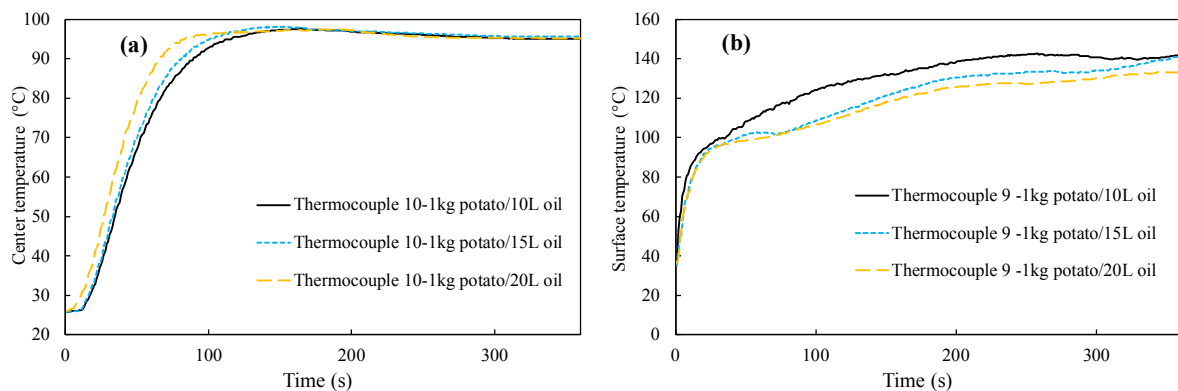
**Fig 5** Potato oil content in the three frying oils (a) and in four positions for sunflower oil (b)

انتهای فرآیند حدود ۹۵ درجه سلسیوس بود (شکل ۷-ا). برخلاف دمای مرکز، دمای سطح سیب‌زمینی‌ها تحت تأثیر نسبت محصول به روغن قرار گرفت و با افزایش نسبت محصول به روغن دمای سطح افزایش نشان داد و بر عکس. همچنین، در بعضی ترموکوپل‌های سطحی اختلاف بین نسبت‌های استفاده شده زیاد و در برخی دیگر کم بود. یکی از دلایل این پدیده تأثیر نسبت بالا روی افزایش تشکیل حباب و افزایش جریان‌های جابه‌جایی حرارتی و در نتیجه افزایش دما می‌تواند باشد (شکل ۷-ب). نکته مشترک در همه دماهای سطحی، وجود یک دوره ثابت در فاصله زمانی بین ۲۰-۶۰ ثانیه و سپس افزایش دما به سمت دمای روغن بود که در شکل ۷ به خوبی نشان داده شده است.

نتایج به دست آمده این قسمت با نتایج پینتهوس (۱۹۹۵) و دوران (۲۰۰۷) همخوانی داشت که نشان داده بودند جذب روغن با تشکیل پوسته کاهش می‌یابد [۳۴، ۳۵].

### ۳-۲- اثر نسبت سیب‌زمینی به روغن (بار سرخ کردن)

نسبت محصول به روغن بسته به ظرفیت حرارتی سرخ‌کن‌های مختلف می‌تواند اثرات گوناگونی را روی فرآیند سرخ کردن نشان دهد که در نهایت روی کیفیت نهایی محصول اثرگذار باشد. بررسی اثر نسبت سیب‌زمینی به روغن در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس نشان داد این فاکتور اثر قابل‌توجهی بر دمای نهایی مرکز سیب‌زمینی‌ها ندارد و برای همه تیمارها دمای مرکز در

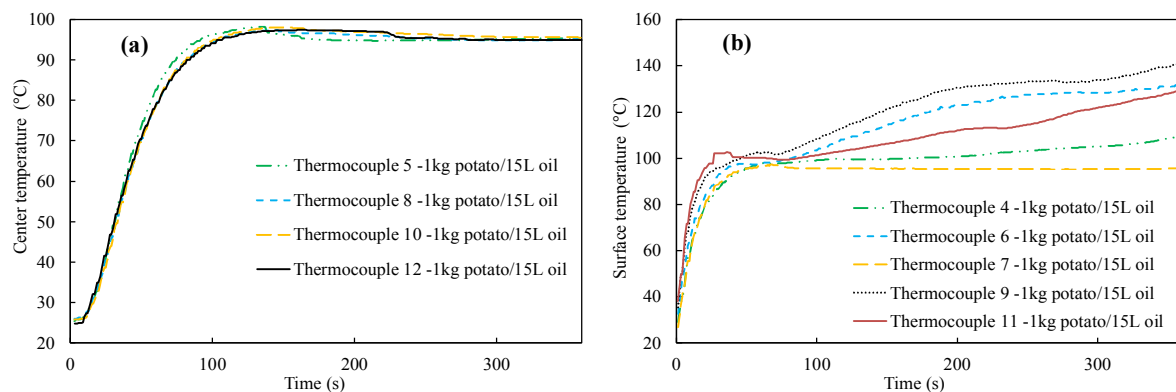


**Fig 6** Potato center temperature changes (a) and surface temperature (b) in the frying load of 1:10, 1:15 and 1:20 (b) for the soybean oil

موقعیت قرار گرفت (شکل ۸-ب). کمترین دمای ترموکوپل مربوط به شماره ۷ (T7) در سطح بالایی سیب‌زمینی ۱ (P1) بود که تقریباً روغن بالای آن در حدود چند میلی‌متر ضخامت داشت. به

موقعیت سیب‌زمینی‌ها در ۴ نقطه مختلف سرخ‌کن نیز نشان داد موقعیت تأثیر معنی‌داری ( $P > 0.05$ ) بر دمای مرکز نداشت (شکل ۸-ا) در حالیکه دمای سطحی سیب‌زمینی‌ها تحت تأثیر از

سریع تر بود و در ۵۰ ثانیه به دمای ثابت رسید در حالیکه در مرکز بعد از حدود ۱۰۰ ثانیه به دمای ثابت رسید و سپس بعد از آن تا انتهای فرآیند در همین دما (نقطه تبخیر) باقی ماند که در شکل ۸ به خوبی مشخص می‌باشد. در هر سه نسبت استفاده شده این روند مشاهده گردید و دمای ترموکوپل ۷ (T7) تقریباً مشابه دمای مرکز بود.



**Fig 7** Changes in potato center temperature (a) and surface temperature changes in four different positions (b) for the soybean oil

بالایی برخوردار بودند و دمای سه نقطه مختلف سرخ‌کن کاملاً روی هم قرار گرفتند.

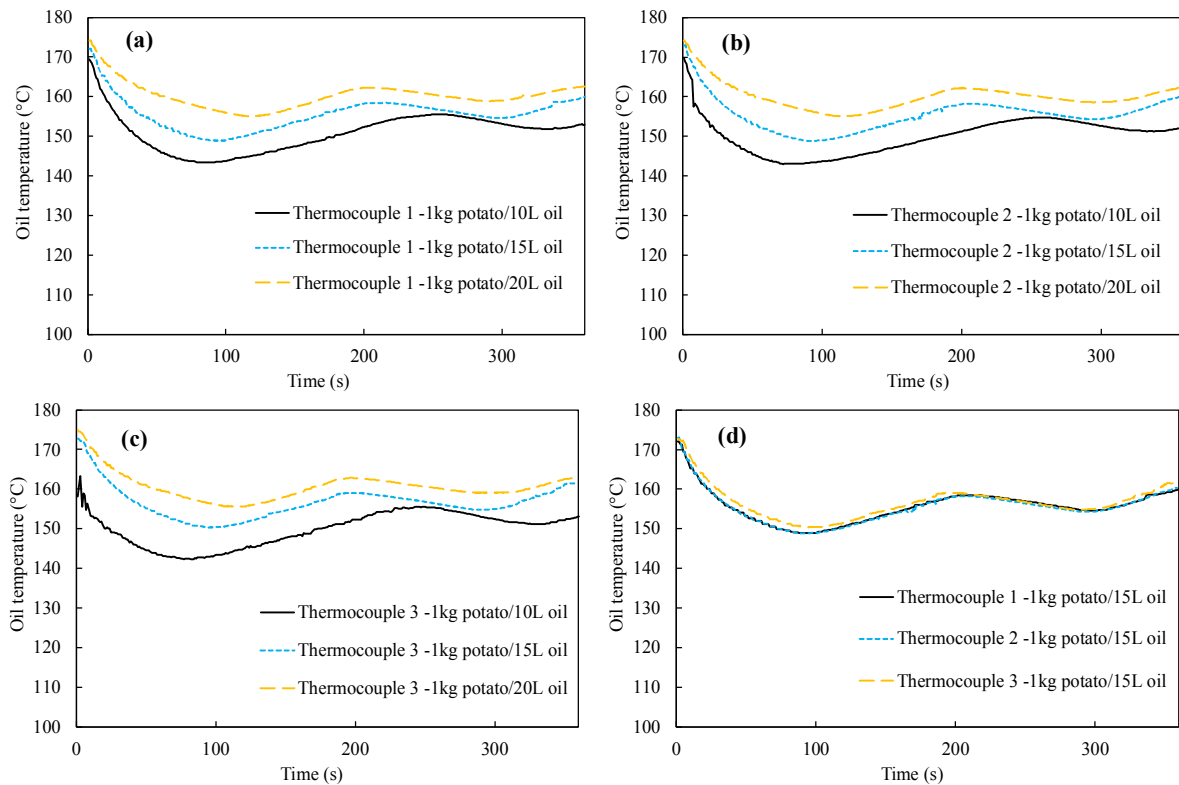
علاوه بر این، ورود سیب‌زمینی با دمای محیط به روغن موجب افت دمای روغن گردید که این افت در نسبت‌های بالاتر بیشتر بود که در شکل ۹ به خوبی نشان داده شده است. به عبارتی دیگر، برای نسبت‌های ۱:۲۰، ۱:۱۵ و ۱:۱۰ در سه نقطه مورد بررسی (T1، T2 و T3) نسبت به دمای اولیه (۱۹۰ درجه سلسیوس) در ۹۰ ثانیه اولیه سرخ‌کردن آزمایشگاهی به ترتیب ۱۰، ۱۳ و ۱۸ درصد افت دمای روغن محاسبه گردید.

در ارتباط با محتوی رطوبت نیز داده‌های آزمایشگاهی نشان دادند که اثر معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بین نسبت ۱:۱۰ با دو نسبت دیگر وجود دارد در حالیکه بین دو نسبت ۱:۱۵ و ۱:۲۰ اختلاف معنی‌دار دیده نشد هرچند میزان رطوبت نهایی بین همه تیمارها متفاوت ارزیابی گردید. با افزایش نسبت سیب زمینی به روغن از ۱:۲۰ به ۱:۱۵ و ۱:۱۰ رطوبت نهائی به ترتیب از ۱/۲۲ به ۱/۳۱ و ۱/۵۱ کیلوگرم آب در کیلوگرم ماده خشک افزایش یافت.

دلیل وجود روغن کم و همچنین نقش سردکننده هوای بالای روغن [۲۴] دمای این سطح در حدود دمای مرکز بود. به عبارتی دیگر، به دلیل وجود روغن کم و همچنین نقش سردکننده هوای بالای سرخ‌کن انرژی زیادی برای تبخیر سریع آب و افزایش دما تأمین نشد و دمای سطح افزایش آن‌چنانی نشان نداد. فرق بین دمای سطحی و مرکزی سیب‌زمینی P1 فقط سرعت افزایش دما بود که در سطح بالائی سیب‌زمینی (T7) نسبت به مرکز خیلی

همچنین، دمای ترموکوپل شماره ۶ در هر سه نسبت استفاده شده دمای بالاتری را نسبت به ترموکوپل شماره ۴ در همان سیب‌زمینی (P4) نشان داد. دلیل این پدیده قطعاً نزدیکی به المنت سرخ‌کن و اینکه کاملاً بالای المنت و عمود بر جریان روغن قرار گرفته بود، در حالیکه در ترموکوپل شماره ۴ جهت قرارگیری آن موازی بر جریان روغن بود. همچنین ترموکوپل شماره ۶ در همه نسبت‌ها بالاترین دمای را نشان داد.

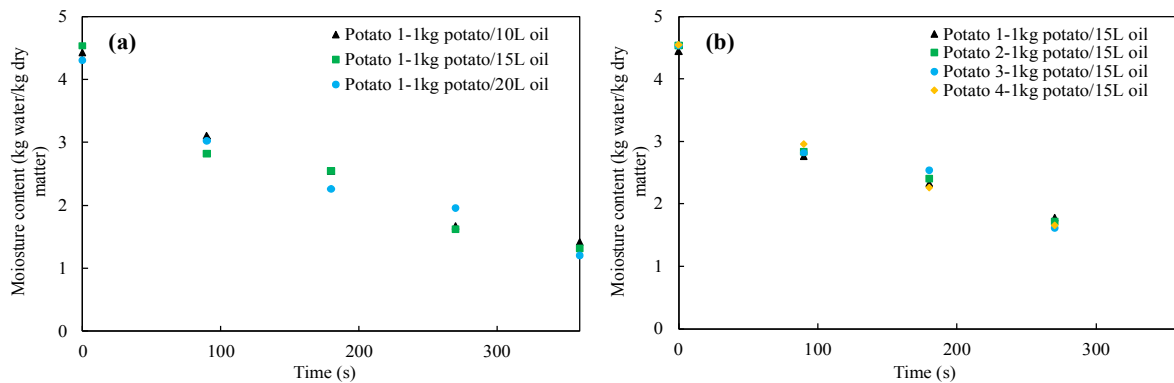
با توجه به شکل ۹ با افزایش بار سرخ کردن دمای روغن کمتر شد و افت دما روی داد که به معنی عدم جریان دما توسط المنت سرخ‌کن می‌باشد. دلیل افت زیاد دما در نزدیک کف سرخ‌کن تبخیر زیاد رطوبت از سیب‌زمینی‌های بیچ بوده است و این افت دما توسط جریان روغن سریع جبران نشده است و دما در این نواحی افت پیدا کرده است. به همین دلیل با افزایش نسبت سیب زمینی به روغن به دلیل تبخیر آب بیشتر، افت دمایی بالاتری مشاهده گردید و دمای روغن دچار افت بیشتری شد. مقایسه دمای اندازه‌گیری شده توسط ترموکوپل در سه نقطه مختلف سرخ‌کن نشان داد که دمای سه نقطه (T1، T2 و T3) در هر سه نسبت استفاده شده به دلیل همزدن ناشی از بخارات از همگنی



**Fig 8** Temperature changes at points T1 (a), T2 (b) and T3 (c) for different frying loads and at various location for 1:15 (d) for the soybean oil

که همخوان با نتایج تحقیق حاضر بود [۲۹]. نتایج تحقیق حاضر را می‌توان با توجه کاهش بیشتر دمای روغن با ورود حجم بیشتری از محصول (افزایش نسبت سیب‌زمینی به روغن) و گرفتن انرژی تبخیر از دمای روغن تفسیر نمود. از طرف دیگر، موقعیت سیب‌زمینی‌ها در ۴ نقطه سرخ‌کن تأثیر معنی‌داری بر دفع رطوبت و جذب روغن نشان نداد ( $P > 0.05$ ) و دفع رطوبت و جذب روغن مستقل از موقعیت ارزیابی گردیدند.

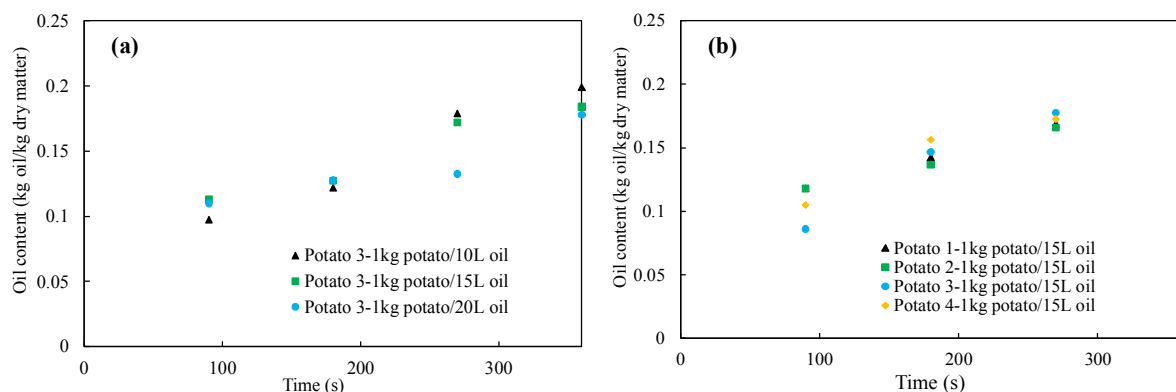
از طرف دیگر، در ارتباط با جذب روغن اختلاف معنی‌داری بین سه نسبت دیده شد و جذب روغن نهائی با افزایش نسبت از ۱:۲۰، به ۱:۱۵ و ۱:۱۰ به ترتیب از ۰/۱۲۸ به ۰/۱۵۷ و ۰/۱۷۲ کیلوگرم روغن در کیلوگرم ماده افزایش یافت (شکل ۱۰-ا). در ارتباط با اثر نسبت سیب‌زمینی به روغن بر افت رطوبت لیومباس و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که افزایش نسبت محصول به روغن موجب افزایش رطوبت نهایی محصول گردید



**Fig. 9** Change in potato moisture content in the three frying loads (a) and in four locations for 1:15 (b) for the soybean oil

روغن با افزایش نسبت محصول به روغن افزایش یافت و آنالیز آماری نیز اختلاف معنی داری ( $p < 0.05$ ) بین نسبت‌های مختلف را نشان داد (شکل ۱۱-ا). همچنین نتایج آزمایشگاهی اختلافی بین محتوای روغن در موقعیت‌های مختلف سیب‌زمینی نشان ندادند و روغن در همه موقعیت‌ها تقریباً مشابه تخمین زده شد (شکل ۱۱-ب).

روی هم رفته، افزایش نسبت سیب‌زمینی به روغن موجب بالا ماندن رطوبت سیب‌زمینی‌های سرخ شده گردید. همچنین موقعیت سیب‌زمینی در سرخ‌کن بر افت رطوبت تأثیر معنی داری نشان نداد و هیچ اختلاف قابل‌توجهی بین ۴ موقعیت مشاهده نگردید (شکل ۱۰-ب). بررسی داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که جذب روغن با گذشت زمان افزایش و در نهایت به یک حالت تعادلی رسیدند که در شکل ۱۱ نشان داده شده است. جذب



**Fig 11** Change in potato oil content in the three frying loads (a) and in four locations for 1:15 (b) for the soybean oil

به روغن استفاده گردد در حالیکه نوع روغن و مکان سیب‌زمینی در سرخ‌کن تأثیر خاصی بر روغن جذب شده نشان نداد.

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر که در راستای بررسی عوامل مؤثر بر کاهش جذب روغن و افزایش سلامتی محصولات سرخ شده بود حاکی از آن بود که بار سرخ کردن، نوع روغن و موقعیت سیب‌زمینی در سرخ‌کن تأثیر خاصی بر روند و مقدار دمای مرکز سیب‌زمینی‌ها نشان ندادند و دمای مرکز تمام سیب‌زمینی‌ها بدون توجه به تیمار اعمال‌شده در حدود ۹۶-۹۵ درجه سلسیوس به دست آمد. همچنین، دمای سطح سیب‌زمینی‌ها تحت تأثیر بار سرخ‌کردن، نوع روغن و موقعیت سیب‌زمینی در سرخ‌کن قرار گرفت. از طرف دیگر، دمای سطح سیب‌زمینی‌ها بسته به نوع تیمار اعمال‌شده در محدوده ۱۱۰-۱۴۰ درجه سلسیوس توسط ترموکوپل‌ها ثبت گردید. بار سرخ‌کردن روی افت رطوبت و جذب روغن اثر معنی داری نشان دادند و با افزایش بار سرخ کردن میزان جذب روغن افزایش نشان داد. با این حال، نوع روغن و موقعیت سیب‌زمینی در سرخ‌کن تأثیر معنی دار روی افت رطوبت و جذب روغن نشان ندادند. به‌طورکلی تحقیق حاضر نشان داد که برای کاهش روغن جذب شده حتماً باید از نسبت مناسب سیب‌زمینی

#### ۵- منابع

- [1] O.-D. Baik and G. S. Mittal, "Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying," *Food Research International*, vol. 38, no. 2, pp. 183-191, 2005.
- [2] A. Y. Khaled, S. A. Aziz, and F. Z. Rokhani, "Capacitive sensor probe to assess frying oil degradation," *Information Processing in Agriculture*, vol. 2, no. 2, pp. 142-148, 9// 2015, doi: <http://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.07.002>.
- [3] E. Choe and D. Min, "Chemistry of deep-fat frying oils," *Journal of food science*, vol. 72, no. 5, pp. R77-R86, 2007.
- [4] P. J. Fellows, *Food processing technology: principles and practice*, fourth ed. Elsevier, 2017.
- [5] K. K. Bhat and S. Bhattacharya, "Deep fat frying characteristics of chickpea flour suspensions," *International Journal of Food*

- [18] D. Dana and I. S. Saguy, "Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 128, pp. 267-272, 2006.
- [19] A. S. Mujumdar, *Handbook of industrial drying*. CRC press, 2014.
- [20] P. Bouchon and D. Pyle, "Modelling oil absorption during post-frying cooling: II: solution of the mathematical model, model testing and simulations," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 83, no. 4, pp. 261-272, 2005.
- [21] AOAC, "Official Methods of Analysis of AOAC International," 18th ed: AOAC Int. Gaithersburg, MD, 2007, pp. -.
- [22] S. Khalilian, O. I. Mba, and M. O. Ngadi, "g-Frying of eggplant (*Solanum melongena* L.)," *Journal of Food Engineering*, vol. 293, p. 110358, 2021.
- [23] F. Roshani, S. Movahhed, and H. A. Chenarbon, "Modelling Shrinkage in Deep-Fried Satina Potato Slices Pretreated with Ultrasound," *Potato Research*, vol. 64, no. 2, pp. 257-265, 2021.
- [24] G. Carrieri, M. Anese, B. Quarta, M. V. De Bonis, and G. Ruocco, "Evaluation of acrylamide formation in potatoes during deep-frying: The effect of operation and configuration," *Journal of Food Engineering*, vol. 98, no. 2, pp. 141-149, 2010, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.12.011.
- [25] A. Cebula, "A Device for Measuring the Heat Flux on the Cylinder Outer Surface in a Cross-flow," *Procedia Engineering*, vol. 157, pp. 264-270, 2016.
- [26] C. Southern, M. Farid, X. Chen, B. Howard, and L. Eyres, "Thermal validation of a simple moving boundary model to determine the frying time of a thin potato crisp," *Heat and mass transfer*, vol. 36, no. 5, pp. 407-412, 2000.
- [27] M. Farid and X. Chen, "The analysis of heat and mass transfer during frying of food using a moving boundary solution procedure," *Heat and Mass transfer*, vol. 34, no. 1, pp. 69-77, 1998.
- [28] A. Farinu and O.-D. Baik, "Convective mass transfer coefficients in finite element simulations of deep fat frying of sweetpotato," *Journal of Food Engineering*, vol. 89, no. 2, *Science & Technology*, vol. 36, no. 5, pp. 499-507, 2001, doi: 10.1046/j.1365-2621.2001.00455.x.
- [6] B. Innawong, "Improving fried product and frying oil quality using nitrogen gas in a pressure frying system," Virginia Tech, 2001.
- [7] A.-M. Ziaifar, "Oil absorption during deep-fat frying: mechanisms and important factors," AgroParisTech, 2008.
- [8] L. J. Hubbard and B. E. Farkas, "A method for determining the convective heat transfer coefficient during immersion frying," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 22, no. 3, pp. 201-214, 1999.
- [9] J. Rosseli, "Industrial frying process," *Grasas y Aceites*, vol. 49, no. 3-4, pp. 282-295, 1998.
- [10] M. Mellema, "Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 14, no. 9, pp. 364-373, 2003.
- [11] Y. Chen and R. Moreira, "Modelling of a batch deep-fat frying process for tortilla chips," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 75, no. 3, pp. 181-190, 1997.
- [12] S. G. Sumnu and S. Sahin, *Advances in deep-fat frying of foods*. CRC Press, 2008.
- [13] J. Podmore, "Fats in bakery and kitchen products," in *Fats in food products*: Springer, 1994, pp. 213-253.
- [14] E. Kalogianni, T. Karapantsios, and R. Miller, "Effect of repeated frying on the viscosity, density and dynamic interfacial tension of palm and olive oil," *Journal of Food Engineering*, vol. 105, no. 1, pp. 169-179, 2011.
- [15] E. P. Kalogianni, C. Karastogiannidou, and T. D. Karapantsios, "Effect of potato presence on the degradation of extra virgin olive oil during frying," *International journal of food science & technology*, vol. 45, no. 4, pp. 765-775, 2010.
- [16] J. Rahimi and M. O. Ngadi, "Inter-particle space fractions in fried batter coatings as influenced by batter formulation and pre-drying time," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 57, no. 2, pp. 486-493, 2014.
- [17] E. Troncoso and F. Pedreschi, "Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 42, no. 6, pp. 1164-1173, 2009.

- [32] J. Kim, D. N. Kim, S. H. Lee, S.-H. Yoo, and S. Lee, "Correlation of fatty acid composition of vegetable oils with rheological behaviour and oil uptake," *Food chemistry*, vol. 118, no. 2, pp. 398-402, 2010.
- [33] A. Kita and G. Lisińska, "The influence of oil type and frying temperatures on the texture and oil content of French fries," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 85, no. 15, pp. 2600-2604, 2005.
- [34] M. Durán, F. Pedreschi, P. Moyano, and E. Troncoso, "Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling," *Journal of food Engineering*, vol. 81, no. 1, pp. 257-265, 2007.
- [35] E. Pinthus, P. Weinberg, and I. Saguy, "Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity," *Journal of Food Science*, vol. 60, no. 4, pp. 767-769, 1995.
- pp. 187-194, 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.04.024.
- [29] J. S. Lioumbas, M. Kostoglou, and T. D. Karapantsios, "Surface water evaporation and energy components analysis during potato deep fat frying," *Food Research International*, vol. 48, no. 1, pp. 307-315, 2012.
- [30] O. Vitrac, G. Trystram, and A.-L. Raoult-Wack, "Continuous measurement of convective heat flux during deep-frying: validation and application to inverse modeling," *Journal of Food Engineering*, vol. 60, no. 2, pp. 111-124, 2003.
- [31] P. Shallal, P. Rajaei, and S. Asadollahi, "The effect of kind and temperature of oil used in deep frying on the amount of oil uptake," *International Journal of Biosciences (IJB)*, vol. 5, no. 12, pp. 331-341, 2014.



## Effect of oil type and potato to oil ratio on temperature distribution, moisture loss and oil absorption during the frying process of french fries

Ghaderi, A. <sup>1\*</sup>, Dehghannya, J. <sup>2</sup>, Ghanbarzadeh, B. <sup>2</sup>

1. Department of Food Science and Technology, University of Kurdistan, Sanadaj, Iran  
2. Department of Food Science and Technology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2021/11/25  
Accepted 2022/01/16

#### Keywords:

Frying, Oil type,  
Potato to oil ratio,  
Oil absorption.

DOI: [10.52547/fsct.19.122.269](https://doi.org/10.52547/fsct.19.122.269)

DOR: [20.1001.1.20088787.1401.19.122.14.7](https://doi.org/20.1001.1.20088787.1401.19.122.14.7)

\*Corresponding Author E-Mail:  
[abdurrahmanghaderi@gmail.com](mailto:abdurrahmanghaderi@gmail.com)

### ABSTRACT

Many changes that occur in the frying process were affected by oil type and potato to oil ratio (frying load) as well as the uniform distribution of oil temperature is important in different parts of the fryer due to the uniform frying of food. Therefore, with monitoring the distribution of temperature, oil and moisture in the product over time, the frying process can be controlled more effectively and reached a deeper understanding of this complex process. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of three types of oil (sunflower, soybean and canola), three types of frying times (1:20, 1:15 and 1:10 kg of potatoes per liter of oil) and four different positions in the fryer on temperature distribution, the moisture and oil content in the potato pieces in the four time intervals of 90, 180, 270 and 360 seconds. The statistical analysis of the data showed that frying load has a significant effect on the loss of moisture and oil absorption, while the potato position in the fryer has not significant effect. By increasing the frying load, the amount of oil absorption and the final moisture of potatoes increased. The results indicated that the temperature of the potato center was not affected by the type of oil and frying load and the center temperature was estimated about 96-95. Unlike the center temperature, the surface temperature was affected by the ratio of potato to oil and increased by increasing the frying load. According to the results of the present study, to reduce the absorbed oil, the appropriate ratio of potatoes to oil must be used, while the type of oil and the location of potatoes in the fryer did not have a significant effect on the amount of absorbed oil.