

## بررسی سینتیک جذب روغن توسط خلال سیبزمینی تحت تأثیر روغن مغز بنه، مواد صابونی ناشونده روغن مغز بنه و هیدروکلوئید ثعلب طی فرآیند سرخ کردن عمیق

پروین شرایعی\*، رضا فرهوش، هاشم پورآذرتنگ و محمدحسین حداد خداپرست\*\*

\* نگارنده مسئول، نشانی: مشهد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ص. پ. ۴۸۸، تلفن:

۰۱-۳۸۲۲۳۰۱۱(۰۵۱۱)، پیام‌نگار: parvin\_sharayeri@yahoo.com

\*\* به‌ترتیب استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی؛ و استادان گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه

فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۹

### چکیده

در این تحقیق تأثیر پیش‌تیمارهای قبل از سرخ کردن (بلانچینگ در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرید کلسیم به مدت ۶ دقیقه و سپس فرو بردن در محلول ۱ درصد کربوکسی‌متیل سلولز، بلانچینگ در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرید کلسیم به مدت ۶ دقیقه و سپس فرو بردن در محلول ۲ درصد ثعلب و تیمار شاهد) و همچنین تأثیر نوع روغن (روغن کانولا، روغن کانولا حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه (BKO))، روغن کانولا حاوی ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (TBHQ)، و روغن کانولا حاوی ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه (UFB) بر سینتیک دفع رطوبت و جذب روغن خلال سیبزمینی طی فرآیند سرخ کردن عمیق مطالعه شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان دفع رطوبت و جذب روغن با افزایش زمان سرخ کردن افزایش می‌یابد (ضرب تیبین بیش از ۰/۹۱). روغن حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش دفع رطوبت و جذب روغن می‌شود و کارایی روغن مغز بنه و مواد صابونی‌ناشونده آن معادل کارایی آنتی‌اکسیدان سنتزی قدرتمند ترسیوبوتیل‌هیدروکینون است. پیش‌تیمارهای قبل از فرآیند باعث کاهش دفع رطوبت و جذب روغن می‌شوند و کارایی صمغ کربوکسی‌متیل سلولز نسبت به ورود روغن و خروج رطوبت از کارایی صمغ ثعلب بیشتر است.

### واژه‌های کلیدی

ثعلب، جذب روغن، روغن مغز بنه، سرخ کردن، کربوکسی‌متیل سلولز، مواد صابونی ناشونده

### مقدمه

فرآیند، میزان رطوبت ماده غذایی به کمتر از دو درصد کاهش می‌یابد، حال آن‌که میزان روغن آن به حدود ۳۵ تا ۴۲ درصد می‌رسد. رطوبت از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی محصولات سرخ شده به شمار می‌رود. رطوبت ماده غذایی طی سرخ کردن آن از درون به سطح منتقل و دفع می‌شود (Debnath et al., 2003; Math et al., 2004; Pedreschi

سرخ کردن مواد غذایی به دلیل ایجاد خواص حسی منحصر به فرد، امروزه به طور وسیع در سطوح صنعتی و خانگی به کار گرفته می‌شود. به کمک این روش آماده‌سازی، ماده‌ای غذایی تولید می‌شود با طعم دل‌پذیر، بافت ترد و ظاهر طلایی مطلوب (Orthofer et al., 1996). مشخص شده است که در این



(Troncoso & Pedreschi, 2009) میزان ضریب نفوذ مؤثر برای چیپس سیب زمینی پیش تیمار شده را بین  $4/73 \times 10^{-9}$  تا  $1/8 \times 10^{-8}$  گزارش داده‌اند. پدرسچی و مویانو (Pedreschi & Moyano, 2005) میزان ضریب مؤثر برای چیپس سیب زمینی سرخ شده در روغن سویا با دمای  $170$  درجه سلسیوس را  $1/07 \times 10^{-9}$  تا  $0/87$  به دست آوردند.

پس از خاتمه انتقال آب به درون روغن، ورود روغن داغ به داخل منافذ و لوله‌های مویین باز و عاری از آب آغاز می‌شود. سینتیک جذب روغن در خصوص فرآورده‌های مختلف معمولاً با استفاده از دو مدل تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مدل اول، میزان روغن طی فرآیند سرخ کردن از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$O = O_{eq} - O^* \quad (4)$$

این رابطه با فرض  $(Kt)^{-1} = \frac{O^*}{O_{eq}}$ ، به صورت رابطه ۵ در خواهد آمد:

$$O = \frac{O_{eq} Kt}{1 + Kt} \quad (5)$$

که در آن،

$O$  = میزان روغن بر پایه وزن خشک؛  $O_{eq}$  = میزان روغن تعادلی؛ و  $K$  = ثابت سرعت انتشار روغن. در بازه‌های کوتاه زمانی، رابطه ۵ به صورت خطی با زمان تغییر می‌کند و فراتر از آن مستقل از زمان است.

مدل سینتیکی دوم از درجه اول است (مورد استفاده در این پژوهش) و به صورت زیر (رابطه ۶) تعریف می‌شود (Krokida et al., 2001):

$$O = O_{eq} [1 - \exp(-Kt)] \quad (6)$$

در هر دو مدل، میزان روغن در لحظه صفر بسیار ناچیز است و در زمان‌های طولانی با میزان روغن تعادلی

(Moyano, 2005; Troncoso & Pedreschi, 2009) مکانیسم افت رطوبت بسیار پیچیده بوده و تئوری‌های مختلفی در زمینه انتقال رطوبت در فرآیند خشک کردن ارائه شده است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مکانیسم 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. از آن‌جا که تفکیک هر مکانیسم و اندازه‌گیری میزان انتقال جرم، هر یک به طور جداگانه کاری است دشوار، قانون دوم فیک<sup>۱</sup> (رابطه ۱) برای توصیف سینتیک انتشار رطوبت در مواد غذایی حرارت دیده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Crank, 1964).

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D_{eff} \Delta m^2 \quad (1)$$

که در آن،

$m$  = مقدار رطوبتی (گرم بر گرم ماده خشک)؛  $t$  = زمان (ثانیه)؛ و  $D_{eff}$  = ضریب نفوذ مؤثر رطوبت. رابطه فیک را نیومن (Newman, 1931) در شرایط مختلف برای مواد دارای شکل‌های مختلف (تیغه‌ای، استوانه‌ای و کروی) حل کرده است. حل این رابطه برای تیغه‌های نامحدود به صورت رابطه ۲ است:

$$M_R = \frac{8}{\pi^2} \exp(-Kt) \quad (2)$$

که در آن،

$M_R$  = نسبت رطوبت (بدون بعد)؛ و  $K$  = ثابت انتشار رطوبت و رابطه آن با ضریب نفوذ مؤثر به صورت رابطه ۳ است (Math et al., 2004):

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

ضریب نفوذ مؤثر بسته به نوع محصول، نوع روغن و دما متفاوت است. ترونکوزو و پدرسچی

هکتار از جنگل‌های زاگرس پراکنده است (Daneshrad & Ayenechi, 1980). بنه از گونه‌های مختلف پسته وحشی است که ۵۶ تا ۶۴ درصد کل دانه را مغز تشکیل می‌دهد. مغز حاوی تقریباً ۳۰ درصد روغن است.

شرایعی و همکاران (Sharayei et al., 2011a,b) با پایش پارامترهای اولیه و ثانویه اکسایشی و نیز تندی ناشی از هیدرولیز روغن کانولا طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس گزارش داده‌اند که پایداری روغن کانولا تحت تأثیر روغن مغز بنه در غلظت ۰/۱ درصد (۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) افزایش می‌یابد و کارایی سطح ۰/۱ درصدی روغن مغز بنه تقریباً مشابه کارایی آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون است. کارآیی مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه (۱۰۰ پی‌پی‌ام) در کنترل واکنش‌های فیزیکوشیمیایی مختلف طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس مساوی یا حتی بهتر از ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) است. همچنین، کارآیی مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه در جلوگیری از تشکیل تری‌گلیسیریدهای دیمیری و پلیمری بیش از ترسیوبوتیل‌هیدروکینون است و این ترکیبات اثر محافظتی بیشتری در خصوص تخریب ترکیبات توکوفرولی روغن کانولا طی فرآیند سرخ کردن دارند.

بررسی ساختار شیمیایی مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه نشان می‌دهد که ترکیبات توکولی، عمده‌ترین اجزای آن به شمار می‌آیند. همچنین مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه دارای مقادیر قابل توجهی دلتا<sup>۵</sup>- و دلتا<sup>۷</sup>- آوناسترول است که این ترکیبات، کاربرد روغن مزبور را به منظور پایدارسازی در روغن‌های سرخ کردنی امکان‌پذیر می‌سازد.

عملیاتی که روی ماده غذایی پیش از سرخ کردن انجام می‌شود بر میزان جذب روغن تأثیر می‌گذارد. بلانچینگ ورقه‌های سیب‌زمینی در محلول کلریدکلسیم

برابر می‌شود (Moyano & Pedreschi, 2006). میزان ثابت سرعت جذب روغن (K) به متغیرهای اصلی فرآیند (نوع روغن، زمان و دمای سرخ کردن، پیش‌تیمارهای مورد استفاده) بستگی دارد (Troncoso & Pereschi, 2009). مقادیر این ثابت برای چپیس سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده (بلانچ شده در محلول ۲۰ گرم بر لیتر کلریدسدیم، بلانچ و پوشش داده شده با هیدروکسی‌پروپیل‌متیل‌سلولوز) ۰/۱۸ تا ۲ (بر ثانیه) و نیز برای چپیس بلانچ و خشک شده ۰/۲۱۸ (بر ثانیه) گزارش شده است (Moyano & Pedreschi, 2006; Duran et al., 2007).

با توجه به اهمیت فراوان میزان جذب روغن از دیدگاه تغذیه‌ای، بیماری‌های قلبی-عروقی، و جنبه‌های اقتصادی و نیز تمایل رو به افزایش مصرف‌کنندگان به میان وعده‌های غذایی کم‌کالری، فرآیندهایی در نظر گرفته و اجرا می‌شوند که نتیجه آن‌ها ضمن حفظ کیفیت محصول، کاهش میزان جذب روغن است. شرایط فرآیند (دما و زمان سرخ کردن)، پیش‌تیمارهای قبل از سرخ کردن، خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماده غذایی و نوع روغن از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که بر جذب روغن، خواص حسی (رنگ، طعم، تردی و ظاهر عمومی) و زمان ماندگاری محصول تأثیر می‌گذارند.

کیفیت روغن سرخ کردنی تأثیری قابل توجه بر میزان جذب روغن و همچنین خواص حسی و ارزش تغذیه‌ای ماده غذایی دارد. مشخص شده است محصولاتی که بر اثر تجزیه روغن به دست می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا)، باعث افزایش گرانی و کاهش کشش سطحی روغن و ماده غذایی می‌شوند که در نتیجه آن، روغن به راحتی جذب سطح ماده غذایی می‌گردد (Dobarganes et al., 2000). بنه (*Pistacia atlantica var mutica*) از جمله منابع خدادادی کشور است که بیش از ۴۰ میلیون درخت آن همراه با درختان بادام وحشی در ۱/۲۰۰/۰۰۰

گردید. صمغ کربوکسی متیل سلولوز از شرکت سان رز<sup>۳</sup> و آنتی اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل هیدروکینون از شرکت سیگما<sup>۴</sup> تهیه شد.

ساختار اسید چربی روغن کانولا عمدتاً شامل اسیدهای پالمیتیک (۱۰ درصد، ۱۶:۰)، استئاریک (۳/۷ درصد، ۱۸:۰)، اولئیک (۵۰/۵ درصد، ۱۸:۱)، لینولئیک (۲۴ درصد، ۱۸:۲)، لینولنیک (۸ درصد، ۱۸:۳) و اروسیک (۰/۴۴ درصد، ۲۲:۱) است. ساختار اسید چربی روغن مغز بنه عمدتاً شامل اسیدهای پالمیتیک (۱۰/۸ درصد، ۱۶:۰)، استئاریک (۳ درصد، ۱۸:۰)، اولئیک (۴۹ درصد، ۱۸:۱)، لینولئیک (۳۳ درصد، ۱۸:۲) و لینولنیک (۱/۲ درصد، ۱۸:۳) است. میزان اسید چرب آزاد (اندازه گیری شده به روش تیتراسیون گزارش شده در AOCs، ۴۰-۵۰ Ca ۵۰، Anon, 1993)، و عدد پراکسید (اندازه گیری شده به روش اسپکتروفتومتری فدراسیون بین المللی فرآورده های لبنی، روش تیوسیانات) (Shantha & Decker, 1994) روغن های کانولا و مغز بنه به ترتیب ۰/۲ و ۰/۵۱ میلی گرم هیدروکسیدپتاسیم بر کیلوگرم و ۰/۵۱ و ۱/۶۵ میلی اکی والان گرم اکسیژن بر کیلوگرم روغن و نشان دهنده کیفیت مناسب و غیراکسایشی روغن های مورد مطالعه است. حلال ها و مواد شیمیایی مورد استفاده با درجه تجزیه ای از شرکت مرک آلمان و سیگمای انگلستان خریداری شدند.

**استخراج روغن:** بعد از خشک کردن بنه در سایه، پریکارپ آن برداشته و مغزها در آسیاب پودر شد. پودرها به نسبت ۱ به ۴ وزنی حجمی با حلال هگزان نرمال مخلوط شد و عملیات استخراج روغن با هم زدن شدید مخلوط به مدت ۴۸ ساعت در محیطی تاریک دنبال شد. حلال در خلأ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تبخیر گردید. روغن استخراج شده تا هنگام اجرای آزمایشها در ظروف تیره تحت ازت و در فریزر نگهداری شد.

۰/۵ درصد و سپس فرو بردن آنها در محلول یک درصد کربوکسی متیل سلولوز موجب کاهش ۵۴ درصدی جذب روغن شده است (Rimac-Brnecic et al., 2004). از هیدروکلونیدهای بومی ایران می توان ثعلب را نام برد. گیاه ثعلب از نظر گیاه شناسی متعلق به راسته ارکیدالس<sup>۱</sup> و تیره ارکیداسه<sup>۲</sup> است. ثعلب، منبعی با ارزش از گلوکومانان هاست (۱۶ تا ۵۵ درصد) و همچنین دارای نشاسته (۱۲/۷ درصد)، ترکیبات نیتروژنی (۵ درصد)، رطوبت (۱۲/۲ درصد) و خاکستر (۲/۴ درصد) است. این پلی ساکارید به عنوان عامل ایجاد ژل، غلیظ کننده، عامل ایجاد فیلم و امولسیون در مواد غذایی به کار می رود (Kaya & Tekin, 2001).

نظر به اهمیت موضوع، هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر ترکیبات آنتی اکسیدانی (آنتی اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل هیدروکینون، روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی ناشونده آن) و نیز بررسی تأثیر پیش تیمارهای قبل از سرخ کردن (بلانچینگ در آب حاوی کلرید کلسیم و سپس فرو بردن در محلول کربوکسی متیل سلولوز و یا ثعلب) بر سینتیک دفع رطوبت و جذب روغن خلال سیب زمینی طی فرایند سرخ کردن (سرخ کردن عمیق) است.

## مواد و روشها

**مواد:** حدود ۵ کیلوگرم میوه رسیده بنه از مزارع آبادی اسلام آباد شهرستان دره شهر استان ایلام در اواخر مهرماه جمع آوری شد. روغن کانولا تصفیه، بی رنگ و بی بو شده بدون آنتی اکسیدان از کارخانه سه گل نیشابور خریداری و تا زمان استفاده در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شد. ثعلب پنجه ای از محل رویش در کردستان به میزان کافی تهیه و در پلاستیک پلی اتیلنی بسته بندی شد و تا زمان آماده سازی در سردخانه با دمای بالای صفر نگهداری

1- Orchidales  
3- Food Grade CMC, Sunrose

2- Orchidasea  
4- Tert-Butylhydroquinone

خلال‌های دسته اول در معرض هیچ‌گونه پیش‌تیماری قرار نگرفته و به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شدند. خلال‌های دسته دوم و سوم در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرورکلسیم به مدت ۶ دقیقه بلانچ شدند و بلافاصله در محلول ۱ درصد کربوکسی‌متیل سلولز یا ۲ درصد ثعلب به مدت ۲ دقیقه (در دمای اتاق) فرو برده شدند. این خلال‌ها آبکشی و به مدت ۳ دقیقه در آون ۱۵۰ درجه سلسیوس برای کاهش رطوبت سطحی خشک شدند.

خلال‌های سیبزمینی در دمای  $5 \pm 180$  درجه سلسیوس و به مدت زمان ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ دقیقه با استفاده از سرخ‌کن‌های خانگی (Black & Decker, type 01, Made in Germany) مجهز به ترموستات و سبد توری استیل زنگ نزن، سرخ شدند. برای اطمینان از یکنواختی دمای روغن قبل از سرخ کردن، روغن مورد استفاده دو ساعت قبل از سرخ کردن در دمای مورد نظر حرارت داده شد. در انتهای فرآیند، نمونه‌ها بلافاصله از سرخ‌کن خارج و روغن اضافی سطحی آن‌ها با کاغذ جاذب گرفته شد. سرانجام، نمونه‌ها پس از خنک شدن مورد آزمون قرار گرفتند. عملیات سرخ کردن در دو تکرار صورت گرفت.

**میزان رطوبت خلال‌های سیبزمینی:** مقدار رطوبت نمونه‌ها با خشک کردن خلال‌ها در گرم‌خانه  $1 \pm 105$  درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت، به دست آمد. میزان رطوبت بر مبنای وزن خشک محاسبه شد (Anon, 2005).

**میزان روغن خلال‌های سیبزمینی:** میزان روغن خلال‌های سیبزمینی با دستگاه سوکسله مداوم به مدت ۶ ساعت با حلال پترولیوم اتر اندازه‌گیری شد (Anon, 2005). بدین منظور، نمونه‌های خشک شده مورد استفاده برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، ابتدا آسیاب و

**استخراج مواد صابونی ناشونده:** پنج گرم روغن خام مغز بنه با ۵۰ میلی‌لیتر پتاس اتانلی یک نرمال در ارلن مخلوط شد و به مدت یک ساعت در دمای ۹۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از سرد شدن، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مخلوط اضافه و در ادامه دو مرتبه با بخش‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری دی‌اتیل‌اتر استخراج شد. لایه‌های رویی جمع‌آوری و با ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول پتاس اتانولی نیم‌نرمال به آن اضافه و بعد از مخلوط کردن با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد. لایه رویی جدا و با سولفات سدیم بدون آب مخلوط شد و پس از صاف شدن در آون تحت خلا در دمای ۴۵ درجه سلسیوس خشک گردید. برای تخلیص بیشتر، مواد صابونی‌ناشونده در کلروفرم حل شد و بعد از صاف شدن، کلروفرم در دمای ۴۵ درجه سلسیوس تحت خلا تبخیر گردید (Lozano et al., 1993). بازده استخراج مواد صابونی‌ناشونده ۵/۷ درصد بود.

**آماده‌سازی نمونه‌های روغن:** برای بررسی کارایی سرخ کردن روغن مغز بنه و مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن، از روغن کانولای تصفیه شده بدون آنتی‌اکسیدان به عنوان محیط سرخ کردن استفاده شد. روغن مغز بنه در سطح ۰/۱ درصد (BKO)، آنتی‌اکسیدان سننتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (TBHQ) و مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه (UFB) به میزان ۱۰۰ پی‌پی‌ام به روغن کانولا اضافه شدند. مخلوط‌های مزبور به طور جداگانه آماده شدند (Sharayei et al., 2011a, b).

**فرآیند جذب روغن (پیش‌تیمارهای قبل از سرخ کردن):** سیبزمینی (واریته آگریا) پس از پوست‌گیری با استفاده از قالب دستی به خلال‌های  $2 \pm 0/1 \times 1 \times 6$  سانتی‌متر برش زده شدند. یکنواختی نمونه‌ها با استفاده از کولیس کنترل شد. خلال‌ها به سه دسته تقسیم شدند.

روند کاهش رطوبت در دقایق اولیه فرآیند سرخ کردن به دلیل دفع رطوبت سطحی، سریع‌تر است (Debnath *et al.*, 2003; Math *et al.*, 2004; Pedreschi & Moyano, 2005; Troncoso & Pedreschi, 2009). روند کاهشی مشابهی در میزان رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس در روغن‌های مختلف (روغن کانولا حاوی روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)، ترسیویوبوتیل‌هیپیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) و مواد صابونی ناشونده روغن مغز بنه (۱۰۰ پی‌پی‌ام) مشاهده گردید (نمایی با ضریب تبیین بیش از ۰/۹۱)، اما معلوم شد که میزان رطوبت نهایی نمونه‌های مورد آزمایش به طرز معنی‌داری با یکدیگر تفاوت دارد.

میزان رطوبت نهایی (گرم بر گرم ماده خشک) و پارامترهای سینتیکی دفع رطوبت طبق روابط ۱ و ۲ (ضریب انتشار رطوبت،  $K$ ، و ضریب نفوذ مؤثر،  $D_{eff}$ ) در خصوص خلال‌های سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. پارامتر  $K$  عبارت از شیب معادله خطی برازش یافته بر نسبت رطوبت تعادلی،  $-\ln(M_r)$ ، در برابر زمان است. میزان رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی نمونه شاهد طی فرآیند سرخ کردن در روغن کانولا از ۳/۶۰ با  $K$  و  $D_{eff}$  به ترتیب معادل  $۲/۸۹ \times ۱۰^{-۳}$  بر ثانیه و  $۲/۹۳ \times ۱۰^{-۱۰}$  متر مربع به  $۰/۹۰$  گرم بر گرم ماده خشک رسید. میزان رطوبت نهایی نمونه شاهد با افزودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به روغن‌های کانولا به میزان قابل توجهی افزایش یافت (جداول ۱ و ۲).

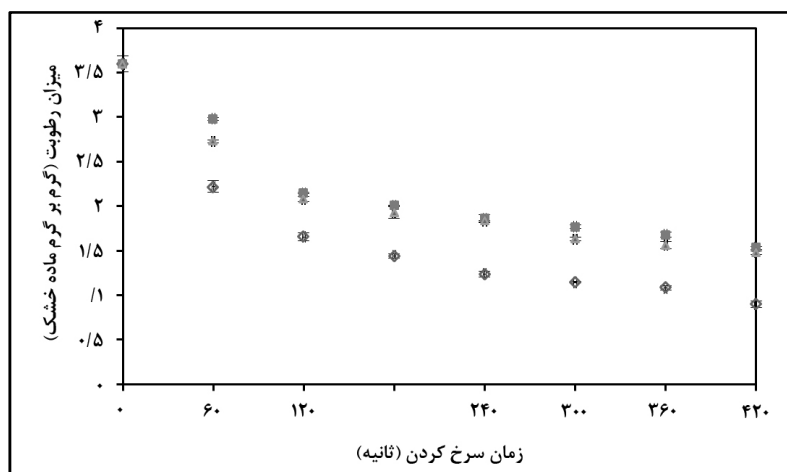
سپس سه گرم از آن در کارتوش قرار داده شد. بعد از استخراج، کارتوش‌ها به مدت یک ساعت در آون ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا رطوبت باقی‌مانده و حلال تبخیر شود. میزان روغن نیز بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید.

**تجزیه و تحلیل آماری:** کلیه آزمایش‌ها در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد (به غیر از عملیات سرخ کردن که ۲ تکرار داشت). میانگین‌ها با نرم‌افزار MstatC و بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

تغییرات میزان رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است؛ بلانچ شده در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرید کلسیم به مدت ۶ دقیقه و بلافاصله پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز، بلانچ شده در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرید کلسیم به مدت ۶ دقیقه و بلافاصله پوشش داده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب و تیمار شاهد.

برای سرخ کردن، روغن کانولا در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس و به مدت ۷ دقیقه به کار گرفته شد. یادآوری می‌شود که روند دفع رطوبت به عنوان نمایش شمای تغییرات فقط در نمونه شاهد تیمار شده به روش‌های مختلف و سرخ شده در روغن کانولا آورده شده است. میزان رطوبت نمونه‌ها (گرم بر گرم ماده خشک) با افزایش زمان سرخ کردن به صورت نمایی تا رسیدن به رطوبت تعادلی کاهش یافت (ضریب تبیین بیش از ۰/۹۳).



شکل ۱- روند کاهش میزان رطوبت (گرم بر گرم ماده خشک) در خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف

شاهد (◆)، بلانچ شده با آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی کلرید کلسیم ۰/۵ درصد به مدت ۶ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب (▲)، و بلانچ شده با آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی کلرید کلسیم ۰/۵ درصد به مدت ۶ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز (■) طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه در روغن کانولا. تیرکهای رسم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

کشش سطحی روغن و ماده غذایی می‌شوند که در نتیجه آن، روغن به راحتی جذب سطح ماده غذایی می‌شود (دفع رطوبت بیشتر)، (Dobarganes *et al.*, 2000). شرایعی و همکاران (Sharayei *et al.*, 2011a,b) گزارش داده‌اند که کارآیی نمونه‌های حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه، ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل هیدروکینون و ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده در افزایش پایداری روغن کانولا بسیار قابل توجه است، به طوری که روغن حاوی این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، مقدار کمتری ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا (تری‌گلیسیریدهای پلیمر شده، تری‌گلیسیریدهای دimer شده و تری‌گلیسیریدهای اکسید شده) طی فرآیند سرخ کردن تولید می‌کنند. این پدیده، به وجود ترکیبات پلی‌فنلی، توکوفرولی و استرولی موجود در روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشونده آن نسبت داده شده است. نکته قابل توجه آن است که کارآیی روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشونده آن در جلوگیری از خروج رطوبت از خلال سیب‌زمینی، تقریباً معادل کارایی آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند TBHQ است.

میزان رطوبت نهایی خلال سیب‌زمینی شاهد سرخ شده در روغن کانولا حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه،  $1/0.1$  ( $K=2/74 \times 10^{-3}$  و  $D_{eff}=2/78 \times 10^{-10}$ );  $100$  پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه،  $1/0.9$  ( $K=2/63 \times 10^{-3}$  و  $D_{eff}=2/67 \times 10^{-10}$ ) و  $100$  پی‌پی‌ام ترسیوبوتیل هیدروکینون  $1/10$  ( $K=2/60 \times 10^{-3}$ ) و  $100$  پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه،  $1/0.1$  ( $D_{eff}=2/63 \times 10^{-10}$  و  $K=2/60 \times 10^{-3}$ ) گرم بر گرم ماده خشک به دست آمد. اختلاف در مقدار رطوبت نمونه‌های سرخ شده در روغن‌های مختلف احتمالاً به دلیل تأثیر ساختار اسید چربی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بر پایداری روغن‌های مورد مطالعه است؛ به طوری که با افزایش پایداری روغن، ضرایب انتشار و نفوذ مؤثر رطوبت کاهش می‌یابد و این به افزایش مقدار رطوبت نمونه‌ها می‌انجامد. ضرایب انتشار رطوبت و نفوذ مؤثر، بسته به نوع روغن و دما و زمان سرخ کردن متفاوت است (Pedreschi & Moyano, 2005; Troncoso & Pedreschi, 2009). مشخص شده است محصولاتی که بر اثر تجزیه روغن به دست می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا)، باعث افزایش گرانیوی روغن و کاهش

بلانچینگ خلال سیبزمینی با آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرید کلسیم به مدت ۶ دقیقه و سپس فرو بردن در محلول ۱ درصد کربوکسی متیل سلولوز (تیمار ۱) یا محلول ۲ درصد ثعلب (تیمار ۲) باعث افزایش میزان رطوبت نهایی نمونه‌ها می‌شود. میزان رطوبت نهایی تیمارهای ۱ و ۲ طی فرآیند سرخ کردن در روغن کانولا  $1/53$  ( $K=1/89 \times 10^{-3}$  و  $D_{eff}=1/92 \times 10^{-10}$ ) و  $1/60$  ( $K=1/82 \times 10^{-3}$  و  $D_{eff}=1/84 \times 10^{-10}$ ) گرم بر گرم ماده خشک به دست آمد که افزایش قابل توجهی نسبت به نمونه شاهد سرخ شده در روغن کانولا دارد (۰/۹۰ گرم بر گرم ماده خشک، جداول ۱ و ۲).

جدول ۱- میزان رطوبت و روغن نهایی خلال سیبزمینی تیمار شده با روش‌های مختلف و سرخ شده در روغن‌های مختلف طی ۷ دقیقه سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس

میزان جذب روغن (گرم بر گرم ماده خشک)	میزان رطوبت (گرم بر گرم ماده خشک)	نوع روغن و روش پخش فرآیند
		<b>روغن کانولا</b>
۰/۲۳۵±۰/۰۰۴ A	۰/۹۰±۰/۰۴E	تیمار شاهد
۰/۱۶۷±۰/۰۰۱ DE	۱/۵۳±۰/۰۲C	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولوز)
۰/۱۸۲±۰/۰۰۹ CD	۱/۴۸±۰/۰۴C	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
		<b>روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)</b>
۰/۲۲۰±۰/۰۰۸ B	۱/۰۱±۰/۰۴D	تیمار شاهد
۰/۱۶۰±۰/۰۰۰ E	۱/۵۹±۰/۰۲B	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولوز)
۰/۱۷۰±۰/۰۰۷ DE	۱/۵۲±۰/۰۲Ca	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
		<b>روغن کانولا + UFB (۱۰۰ پی پی ام)</b>
۰/۲۱۷±۰/۰۰۱ B	۱/۰۹±۰/۰۳D	تیمار شاهد
۰/۱۵۲±۰/۰۰۲ EF	۱/۶۳±۰/۰۶AB	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولوز)
۰/۱۵۹±۰/۰۰۰ E	۱/۵۴±۰/۰۶BC	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
		<b>روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰ پی پی ام)</b>
۰/۱۹۹±۰/۰۰۶ C	۱/۱۰±۰/۰۱D	تیمار شاهد
۰/۱۴۶±۰/۰۰۱ F	۱/۷۰±۰/۰۸ A	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولوز)
۰/۱۵۹±۰/۰۰۱ E	۱/۶۱±۰/۰۵AB	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.  
TBHQ: ترسیوبوتیل هیدروکینون، UFB: ترکیبات صابونی ناشونده روغن مغز بنه

ضرایب انتشار رطوبت و نفوذ مؤثر، بسته به پیش تیمارهای قبل از فرآیند سرخ کردن متفاوت است (Pedreschi & Moyano, 2005; Troncoso & Pedreschi, 2009). بلانچینگ با آب داغ به دلیل ژلاتینه کردن نشاسته موجود در سطح ماده غذایی، میزان دفع رطوبت را کاهش می‌دهد

(Kadam et al., 1991; Andersson et al., 1994). بر اثر حرارت‌دهی، بافت گیاهی نرم و ساختمان سلولی آن تغییر می‌کند. نمک‌های کلسیم با اتصال به مواد پکتیکی باعث تشکیل پکتینات و پکتات کلسیم می‌گردند که نسبتاً انحلال‌ناپذیرند و در دیواره سلولی باقی می‌مانند و ساختمان و سختی آن را حفظ می‌کنند. طی فرآیند سرخ



(Mallikarjunan *et al.*, 1997; Williams & Mittal, 1999; Rimac-Brcic *et al.*, 2004; Duran *et al.*, 2007). چنان‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کارایی صمغ کربوکسی‌متیل سلولز در کاهش کمتر مقدار رطوبت از کارایی صمغ ثعلب بیشتر است که دلیل آن احتمالاً تشکیل بهتر ژل حرارتی و نفوذپذیری کمتر فیلم تشکیل شده از کربوکسی‌متیل سلولز نسبت به خروج رطوبت است.

کردن، این امر با کاهش ضرایب انتشار رطوبت و نفوذ مؤثر باعث خروج کمتر رطوبت از ماده غذایی می‌شود (Rimac-Brcic *et al.*, 2004). اعتقاد بر این است که صمغ به دلیل ظرفیت بالای اتصال به آب و قابلیت تشکیل فیلم (ژل حرارتی) به عنوان سد در مقابل خروج رطوبت عمل می‌کند که در این حالت تبخیر رطوبت طی فرآیند سرخ کردن کمتر می‌شود

جدول ۲- میزان ضرایب انتشار رطوبت (K، بر ثانیه) و نفوذ مؤثر رطوبت ( $D_{eff}$ ، متر مربع بر ثانیه) خلال سیب‌زمینی تیمار شده با روش‌های مختلف و سرخ شده در روغن‌های مختلف طی ۷ دقیقه سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس

R <sup>2</sup>	Deff × 10 <sup>-10</sup>	K × 10 <sup>-3</sup>	
			<b>روغن کانولا</b>
۰/۹۱۹	۲/۹۳	۲/۸۹	تیمار شاهد
۰/۹۶۹	۱/۹۲	۱/۸۹	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۳۴	۱/۹۷	۱/۹۴	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
			<b>روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)</b>
۰/۹۶۷	۲/۷۸	۲/۷۴	تیمار شاهد
۰/۹۷۳	۱/۸۴	۱/۸۲	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۴۰	۱/۹۴	۱/۹۱	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
			<b>روغن کانولا + UFB (۱۰۰ پی‌پی‌ام)</b>
۰/۹۶۶	۲/۶۷	۲/۶۳	تیمار شاهد
۰/۹۱۷	۱/۷۹	۱/۷۷	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۷۰	۱/۹۱	۱/۸۸	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
			<b>روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰ پی‌پی‌ام)</b>
۰/۹۶۵	۲/۶۳	۲/۶۰	تیمار شاهد
۰/۹۷۴	۱/۷۱	۱/۶۹	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۶۳	۱/۸۴	۱/۸۲	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)

TBHQ: ترسیبوتیل‌هیدروکینون، UFB: ترکیبات صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه

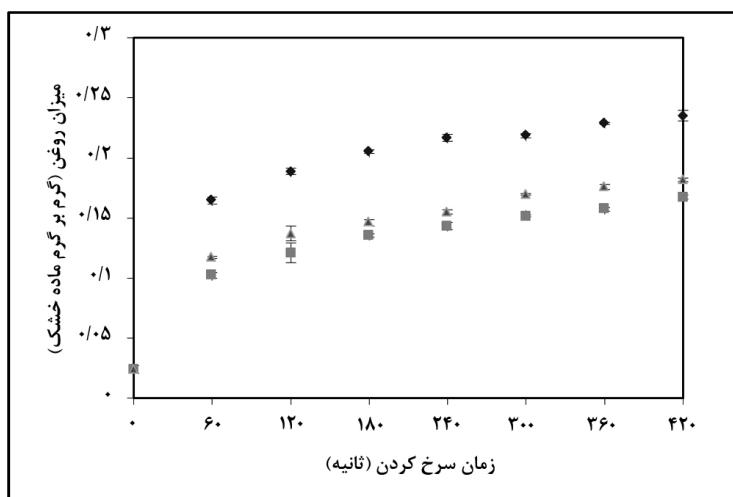
به مدت ۶ دقیقه و پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز، بلانچ شده در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرید کلسیم به مدت ۶ دقیقه و پوشش داده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب و تیمار شاهد. یادآوری می‌شود که روند جذب روغن به عنوان نمایش شمای تغییرات، فقط در نمونه شاهد تیمار شده به روش‌های مختلف و سرخ شده در روغن کانولا آورده شده

میزان جذب روغن از دیدگاه تغذیه‌ای، بیماری‌های قلبی- عروقی و جنبه‌های اقتصادی حائز اهمیت است. در شکل ۲، روند جذب روغن خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف طی فرآیند سرخ کردن در روغن کانولا در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه، نشان داده شده است؛ این روش‌ها عبارت‌اند از: بلانچ شده در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرید کلسیم

تکمیل فرآیند تشکیل پوسته سخت) باشد که جذب روغن را با مشکل روبه‌رو می‌سازد (Adedji *et al.*, 2009). روند افزایشی مشابهی در خصوص میزان جذب روغن در خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس در روغن‌های مختلف (روغن کانولاحاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه)، ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) و مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه (۱۰۰ پی‌پی‌ام) مشاهده شده است (نمایی با ضریب تبیین بیش از ۰/۹۴)، اما میزان جذب روغن نمونه‌های مورد آزمایش به طرز معنی‌داری با یکدیگر تفاوت دارد.

است. میزان جذب روغن با افزایش زمان سرخ کردن تا رسیدن به مقدار تعادلی افزایش می‌یابد و سپس نسبتاً ثابت باقی می‌ماند. افزایش ناگهانی جذب روغن در ابتدای فرآیند، به دلیل دفع سریع رطوبت و افزایش تخلخل طی فرآیند سرخ کردن است. در مراحل انتهایی، رطوبت کمتری از ماده غذایی دفع می‌شود؛ همچنین به دلیل اشباع شدن یا انسداد منافذ با روغن، تخلخل کاهش و بنابراین سرعت جذب روغن کاهش می‌یابد (Sahin & Sumnu, 2009).

این پدیده علاوه بر کاهش رطوبت محصول ممکن است ناشی از تغییرات ساختاری ماده غذایی (دنا توره یا واسرشت شدن پروتئین‌ها، ژلاتینه شدن نشاسته و



شکل ۲- روند جذب روغن (گرم بر گرم ماده خشک) در خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف

شاهد (♦)، بلانچ شده با آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی کلرید کلسیم ۰/۵ درصد به مدت ۶ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب (▲)، و بلانچ شده با آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی کلرید کلسیم ۰/۵ درصد به مدت ۶ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولوز (■) طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه در روغن کانولا. تیرک‌های رسم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

شرایط فرآیند (دما و زمان سرخ کردن)، پیش‌تیمارهای قبل از سرخ کردن، خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماده غذایی و نوع روغن از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که بر جذب روغن محصول تأثیر می‌گذارند (Dobarganes *et al.*, 2000).

میزان جذب روغن (گرم بر گرم ماده خشک) و پارامترهای سینتیکی جذب روغن بر طبق رابطه ۶ (ثابت سرعت جذب روغن،  $K$ ، و میزان روغن تعادلی،  $O_{eq}$ ) خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف در جداول ۱ و ۳ نشان داده شده است.

رطوبت نهایی پایین‌تری دارند (نمونه‌هایی که طی فرآیند سرخ کردن رطوبت بیشتری از دست داده‌اند) به میزان بیشتری روغن جذب می‌کنند. این نتایج، رابطه میان میزان حذف رطوبت و جذب روغن را تایید می‌کند. اختلاف در میزان جذب روغن نمونه‌های سرخ شده در روغن‌های مختلف احتمالاً به دلیل تأثیر ساختار اسید چربی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بر پایداری روغن‌های مورد مطالعه است؛ به طوری که با افزایش پایداری روغن، ثابت سرعت جذب روغن کاهش می‌یابد و نمونه سریع‌تر به میزان روغن تعادلی می‌رسد. این امر به کاهش جذب روغن منجر می‌شود. میزان ثابت سرعت جذب روغن ( $K$ ) به متغیرهای اصلی فرآیند (نوع روغن، زمان و دمای سرخ کردن و پیش تیمارهای مورد استفاده) بستگی دارد (Troncoso & Pedreschi, 2009).

میزان روغن خلال سیبزمینی نمونه شاهد سرخ شده در روغن کانولا از  $0.32$  با  $K$  و  $O_{eq}$  به ترتیب معادل  $1.96 \times 10^{-2}$  بر ثانیه و  $0.222$  گرم بر گرم ماده خشک بعد از  $7$  دقیقه سرخ کردن به  $0.235$  گرم بر گرم ماده خشک می‌رسد. میزان جذب روغن نمونه شاهد با افزودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به روغن کانولا به میزان قابل توجهی کاهش یافته است (جدول ۳). میزان جذب روغن خلال سیبزمینی شاهد طی فرآیند سرخ کردن در روغن کانولا حاوی  $0.1$  درصد روغن مغز بنه  $0.220$  ( $O_{eq}=0.206$  و  $K=1/52 \times 10^{-2}$ )، پی‌پی‌ام مواد صابونی ناشونده روغن مغز بنه  $0.217$  ( $K=1/41 \times 10^{-2}$ ) و  $0.198$  ( $O_{eq}=0.198$ ) و پی‌پی‌ام ترسیوبوتیل‌هیدروکینون  $0.199$  ( $O_{eq}=0.187$  و  $K=1/41 \times 10^{-2}$ ) گرم بر گرم ماده خشک است. با توجه به نتایج میزان دفع رطوبت (جدول ۱ و ۳)، مشاهده می‌شود که نمونه‌هایی که میزان

جدول ۳- میزان ثابت سرعت جذب روغن ( $K$ ، بر ثانیه) و روغن تعادلی ( $O_{eq}$ ، گرم بر گرم ماده خشک) خلال سیبزمینی تیمار شده با روش‌های مختلف و سرخ شده در روغن‌های مختلف طی  $7$  دقیقه سرخ کردن در دمای  $180$  درجه سلسیوس

$R^2$	$O_{eq}$	$K \times 10^{-2}$	
			<b>روغن کانولا</b>
۰/۹۷۲	۰/۲۲۲	۱/۹۶	تیمار شاهد
۰/۹۵۱	۰/۱۵۵	۱/۴۴	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۴	۰/۱۶۹	۱/۵۹	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
			<b>روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)</b>
۰/۹۵۷	۰/۲۰۶	۱/۵۲	تیمار شاهد
۰/۹۵۲	۰/۱۵۲	۱/۴۱	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۵۲	۰/۱۵۹	۱/۴۹	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
			<b>روغن کانولا + UFB (۱۰۰ پی‌پی‌ام)</b>
۰/۹۵۱	۰/۱۹۸	۱/۴۱	تیمار شاهد
۰/۹۵۵	۰/۱۴۸	۱/۳۰	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۵۰	۰/۱۵۰	۱/۳۷	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)
			<b>روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰ پی‌پی‌ام)</b>
۰/۹۶۷	۰/۱۸۷	۱/۴۱	تیمار شاهد
۰/۹۵۸	۰/۱۴۴	۱/۲۴	تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل سلولز)
۰/۹۵۲	۰/۱۵۱	۱/۳۰	تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)

TBHQ: ترسیو بوتیل‌هیدروکینون، UFB: ترکیبات صابونی ناشونده روغن مغز بنه.

می‌شود (Mellema, 2003). چنان که در جدول ۳ دیده می‌شود، کارایی صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز در کاهش بیشتر میزان جذب روغن از کارایی صمغ ثعلب بیشتر است که این امر همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، احتمالاً به دلیل تشکیل بهتر ژل حرارتی و نفوذپذیری کمتر فیلم تشکیل شده از کربوکسی‌متیل‌سلولز به روغن است.

میزان جذب روغن خلال سیب‌زمینی تیمار شده که در روغن حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی سرخ می‌شود نسبت به نمونه شاهد (بدون پیش‌تیمار و سرخ شدن در روغن کانولا) به میزان چشم‌گیری کمتر است (۰/۱۴۱ تا ۰/۱۷۰ نسبت به ۰/۲۳۵ گرم بر گرم ماده خشک). این موضوع حاکی از اثر متقابل نوع روغن و پیش‌تیمارهای قبل از فرآیند بر کاهش مقادیر  $K$  (معادل  $1/38 \times 10^{-2}$  تا  $1/50 \times 10^{-2}$  در مقابل  $1/94 \times 10^{-2}$  بر ثانیه) و  $O_{eq}$  (معادل ۰/۱۳۴ تا ۰/۱۵۹ در مقابل ۰/۲۲۲ گرم بر گرم ماده خشک) است که به کاهش میزان جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن منجر می‌شود.

### نتیجه‌گیری

پایش میزان دفع رطوبت و جذب روغن خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف (بلانچ شده در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم به مدت ۶ دقیقه و پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز، بلانچ شده در آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم به مدت ۶ دقیقه و پوشش داده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب و تیمار شاهد) طی فرآیند سرخ کردن در روغن کانولای حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مختلف (۰/۱ درصد روغن مغز بنه، ۱۰۰ پی‌پی‌ام ترسیوبوتیل‌هیدروکینون و ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه) در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس، نشان می‌دهد که میزان دفع رطوبت و پارامترهای سینتیکی آن (ضرایب انتشار رطوبت و نفوذ

نکته جالب توجه آن است که کارایی روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشونده آن در کاهش میزان جذب روغن در خلال سیب‌زمینی تقریباً معادل کارایی آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند TBHQ است. بلانچینگ خلال سیب‌زمینی با آب ۸۵ درجه سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم به مدت ۶ دقیقه و سپس فرو بردن در محلول ۱ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز (تیمار ۱) یا محلول ۲ درصد ثعلب (تیمار ۲) باعث کاهش میزان جذب روغن نمونه‌ها می‌شود. میزان جذب روغن تیمارهای ۱ و ۲ طی فرآیند سرخ کردن در روغن‌های کانولا  $0/167$  و  $(K=1/43 \times 10^{-2})$ ،  $0/153$ ،  $(O_{eq}=0/155)$  و  $(K=1/44 \times 10^{-2})$  و  $O_{eq}=0/147$  گرم بر گرم ماده خشک است که کاهش قابل توجهی نسبت به نمونه شاهد سرخ شده در روغن کانولا دارد (۰/۲۳۵ گرم بر گرم ماده خشک، جداول ۱ و ۳).

میزان جذب روغن تحت تأثیر بلانچینگ کاهش می‌یابد که این امر به ژلاتینه شدن نشاسته سطحی و کاهش دفع رطوبت نسبت داده می‌شود (Kadam et al., 1991; Andersson et al., 1994). کلریدکلسیم نیز با تشکیل پکتینات و پکتات نسبتاً انحلال‌ناپذیر در دیواره سلولی، ساختمان و سفتی آن را حفظ می‌کند و با خروج کمتر رطوبت، میزان جذب روغن را کاهش می‌دهد (Rimac-Brcic et al., 2004). ظرفیت اتصال به آب بالا و گرانیوی ناشی از صمغ در کنترل جذب روغن مؤثر است. فیلم‌های مقاوم به نفوذ روغن (ناشی از ژل حرارتی کربوکسی‌متیل‌سلولز و ثعلب) که طی سرخ کردن در اطراف خلال سیب‌زمینی تشکیل می‌شود باعث کاهش جذب روغن در نمونه‌های پوشش داده شده خواهد شد (Akdeniz et al., 2006). همچنین، تشکیل ژل حرارتی و اتصالات عرضی صمغ به بهبود تشکیل تعداد اندکی منافذ عریض با فشار موئینیگی پایین می‌انجامد که در نتیجه میزان کمی روغن به داخل منافذ وارد

صابونی ناشونده آن معادل کارآیی آنتی‌اکسیدان سنتزی قدرتمند ترسیوبوتیل‌هیدروکینون است. پیش‌تیمارهای قبل از فرآیند باعث کاهش دفع رطوبت و جذب روغن می‌شوند و کارآیی صمغ کربوکسی‌متیل سلولز، در مقایسه با کارآیی صمغ ثعلب، به دلیل تشکیل بهتر ژل حرارتی و نفوذپذیری کمتر فیلم تشکیل شده نسبت به ورود روغن و خروج رطوبت، بیشتر است.

مؤثر) و میزان جذب روغن و پارامترهای سینتیکی آن (میزان روغن تعادلی و سرعت جذب روغن) تحت تأثیر زمان سرخ کردن، نوع روغن و پیش‌تیمارهای قبل از سرخ کردن قرار دارند. میزان دفع رطوبت و جذب روغن با افزایش زمان سرخ کردن افزایش می‌یابد. روغن حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش دفع رطوبت و جذب روغن می‌شود و کارآیی روغن مغز بنه و مواد

## مراجع

- Adedji, A. A., Ndssgi, M. O. and Raghavan, G. S. V. 2009. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep fat fried chicken nuggets. *J. Food Eng.* 91, 146-153.
- Akdeniz, N., Sahin, S., and Sumnu, G. 2006. Functionality of batters containing different gums for deep fat frying of carrot slices. *J. Food Eng.* 75, 522-526.
- Andersson, A., Gekas, V., Lind, I., Oliveira, F. and Oste, R. 1994. Effect of preheating on potato texture. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34, 229-251.
- Anon. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists of Analysis. Association of Official Analytical Chemists' Society (AOCS) Press. Champaign Illinois. USA.
- Anon. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Washington. D. C.
- Crank, J. 1964. *The Mathematics of Diffusion*. Oxford. Clarendon Press.
- Daneshrad, A. and Aynechi, Y. 1980. Chemical studies of the oil from pistachio nuts growing wild in Iran. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 57, 248-249.
- Debnath, S., Bhat, K. K. and Rastogi, S. 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *Lebensm. Wiss. Technol.* 36, 91-98.
- Dobarganes, C., Marquez-Ruiz, G. and Velasco, J. 2000. Interactions between fat and food during deep-frying. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.* 217, 104-109.
- Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P. and Troncoso, E. 2007. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *J. Food Eng.* 81, 257-265.
- Kadam, S. S., Wankier, B. N. and Adsule, R. N. 1991. Processing. In: Salunkhe, D. K., Kadam, S. S. and Jadhav, S. J. (Eds.) *Potato: Production, Processing, and Products*. CRC Press. Boca Raton.

- Kaya, S. and Tekin, A. R. 2001. The effect of salep content on the rheological characteristics of a typical ice-cream mix. *J. Food Eng.* 47, 59-62.
- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B. and Marinos-Kouris, D. 2001. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of French fries. *J. Food Eng.* 49, 339-345.
- Lozano, Y. F., Dhuique Mayer, C., Bannon, C. and Gaydou, E. M. 1993. Unsaponifiable matter, total sterol and tocopherol contents of avocado oil varieties. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 70, 561-565.
- Mallikarjunan, P., Chinnan, M. S. and Balasubramaniam, V. M. 1997. Edible coatings for deep fat frying of starchy products. *Food Sci. Technol.* 30, 709-714.
- Math, R. G., Velu, V., Nagender, A. and Rao, D. G. 2004. Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. *J. Food Eng.* 64, 429-434.
- Mellema, M. 2003. Mechanisms and reduction of fat uptake in deep fat fried foods. *Trends Food Sci. Tech.* 14, 364-373.
- Moyano, P. and Pedreschi, F. 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. *Lebensm. Wiss. Technol.* 39, 285-291.
- Newman, P. 1931. The drying of porous solids diffusion calculations. *T. Am. Inst. Chem. Eng.* 27, 310-333.
- Orthoefer, F. T., Gurkin, S. and Liu, K. 1996. Dynamics of Frying. In: Perkins E. G. and Erickson, M. D. (Eds.) *Deep Frying: Chemistry, Nutrition, and Practical Applications*. AOCS Press. Champaign Illinois. USA.
- Pedreschi, F. and Moyano, P. 2005. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. *Lebensm. Wiss. Technol.* 38, 599- 604.
- Rimac-Brnčić, S., Lelas, V., Rade, D. and Simundić, B. 2004. Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *J. Food Eng.* 64, 237-241.
- Sahin, S. and Sumnu, S. G. 2009. *Advances in Deep Fat Frying of Foods*. CRC Press. USA.
- Shantha, N. C. and Decker, E. A. 1994. Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 77, 21-424.
- Sharayei, P., Farhoosh, R., Poorazarang, H. and Haddad-Khodaparast, M. H. 2011a. Improvement of canola oil frying stability by bene kernel oil's unsaponifiable matter. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 88, 993-1000.
- Sharayei, P., Farhoosh, R., Poorazarang, H. and Haddad-Khodaparast, M. H. 2011b. Effect of bene kernel oil on the frying stability of canola oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 88, 647-654.

بررسی سینتیک جذب روغن توسط خلال سیب‌زمینی...

Troncoso, E. and Pedreschi, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *Lebensm. Wiss. Technol.* 42, 1164-1173.

Williams, R. and Mittal, G. S. 1999. Low fat fried foods with edible coatings: modeling and simulation. *J. Food Sci.* 64, 317-322.



## **Effect of Bene Kernel Oil and Its Unsaponifiable Matter Fraction and Salep Hydrocolloid during Deep Fat Frying on Kinetic Oil Uptake by Potato Strips**

**P. Sharayei<sup>\*</sup>, R. Farhoosh, H. Poorazarang and M. H. Haddad-Khodaparast**

<sup>\*</sup> Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 91735-488, Mashhad, Iran. Email: parvin\_sharayei@yahoo.com

Received: 14 April 2012, Accepted: 29 December 2012

This study examined the influence of pre-frying treatments and oil type on the moisture outflow and oil uptake during the frying of potato strips. The pre-treatments were 6 min blanching in a 85°C water bath containing 0.5% calcium chloride and immersion in a 1% solution of carboxymethyl cellulose; 6 min blanching in a 85°C water bath containing 0.5% calcium chloride and immersion in a 2% solution of salep; and the control condition. The type of oil used was CAO containing 0.1% bene kernel oil (BKO), 100 ppm unsaponifiable matter fraction of BKO and 100 ppm tert-butylhydroquinone (TBHQ). The potato strips were fried for 7 min. The results showed that the antioxidative additives and pre-frying treatments decreased moisture loss and oil absorption ( $R^2 > 0.91$ ). The ability of the UFB and BKO to decrease oil uptake was similar to that for TBHQ. The carboxymethyl cellulose decreased oil uptake better than did the salep.

**Keywords:** Bene kernel oil, Carboxy methyl cellulose, Frying, Oil uptake, Salep, Unsaponifiable matters