مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ١٤/ شماره ٣/سال ١٣٩٢/ص ١١٢-٩٧

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

پروین شرایعی*، رضا فرهوش، هاشم پورآذرنگ و محمدحسین حداد خداپرست**

* نگارنده مسئول، نشانی: مشهد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ص. پ. ۴۸۸، تلفن: ۳۸۲۲۳۰۱-۴(۰۵۱۱)، پیام‌نگار: parvin_sharayei@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 درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵درصد کلریدکلسیم به مدت ٦ دقیقه و سپس فرو بردن در محلول ۱ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز، بلانچینگ در آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم به مدت ٦ 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 صابونی‌ناشوندهٔ 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 (ضریب تبیین بیش از ۰/۹۱). روغن حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش دفع رطوبت و جذب روغن می‌شود و کارآیی روغن مغز بنه و مواد صابونی‌ناشوندهٔ آن معادل کارآیی آنتی‌اکسیدان سنتزی قدرتمند ترسیوبوتیل‌هیدروکینون است. پیش‌تیمارهای قبل از فرآیند باعث کاهش دفع رطوبت و جذب روغن می‌شوند و کارآیی صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز نسبت به ورود روغن و خروج رطوبت از کارآیی صمغ ثعلب بیشتر است.

واژه‌های کلیدی

ثعلب، جذب روغن، روغن مغز بنه، سرخ کردن، کربوکسی‌متیل‌سلولز، مواد صابونی ناشونده

مقدمه

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 (Orthoefer *et al*., 1996). مشخص شده است که در این 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

.& Moyano, 2005; Troncoso & Pedreschi, 2009) مکانیسم افت رطوبت بسیار پیچیده بوده و تئوری‌های مختلفی در زمینهٔ 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[1] (رابطهٔ ۱) برای توصیف سینتیک انتشار رطوبت در مواد غذایی حرارت دیده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Crank, 1964).

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D_{eff}\,\Delta m^{2} \qquad (۱)$$

که در آن،

m= مقدار رطوبتی (گرم بر گرم مادهٔ خشک)؛ t= زمان (ثانیه)؛ و D_{eff}= ضریب نفوذ مؤثر رطوبت. رابطهٔ 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 رابطهٔ ۲ است:

$$M_{R} = \frac{8}{\pi^{2}}\exp\left(-Kt\right) \qquad (۲)$$

که در آن،

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

$$D_{eff} = \frac{4\,Kh^{2}}{\pi^{2}} \qquad (۳)$$

ضریب نفوذ مؤثر بسته به نوع محصول، نوع روغن و دما متفاوت است. ترونکوزو و پدرسچی (Troncoso & Pedreschi, 2009) میزان ضریب نفوذ مؤثر برای چیپس سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده را بین $۴/۷۳\times۱۰^{-۹}$ تا $۱/۸\times۱۰^{-۸}$ گزارش داده‌اند. پدرسچی و مویانو (Pedreschi & Moyano, 2005) میزان ضریب مؤثر برای چیپس سیب‌زمینی سرخ شده در روغن سویا با دمای ۱۷۰ درجهٔ سلسیوس را $۱/۰۷\times۱۰^{-۹}$ تا ۰/۸۷ به دست آوردند.

پس از خاتمهٔ 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 رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود:

$$O = Oeq - O^{*} \qquad (۴)$$

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

$$O = \frac{O_{eq}\,Kt}{1+Kt} \qquad (۵)$$

که در آن،

O= میزان روغن بر پایهٔ وزن خشک؛ O_{eq}= میزان روغن تعادلی؛ و K= ثابت سرعت انتشار روغن. در بازه‌های کوتاه زمانی، رابطهٔ 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 (رابطهٔ ۶) تعریف می‌شود (Krokida *et al*., 2001):

$$O = Oeq\,\left[1-\exp\left(-Kt\right)\right] \qquad (۶)$$

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

1- Fick's Second Law

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 چیپس سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده (بلانچ شده در محلول ۲۰ گرم بر لیتر کلریدسدیم، بلانچ و پوشش داده شده با هیدروکسی‌پروپیل‌متیل‌سلولز) ۰/۱۸ تا ۲ (بر ثانیه) و نیز برای چیپس 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 کم کالری، فرآیندهایی در نظر گرفته و اجرا می‌شوند که نتیجهٔ آن‌ها ضمن حفظ کیفیت محصول، کاهش میزان جذب روغن است. شرایط فرآیند (دما و زمان سرخ کردن)، پیش‌تیمارهای قبل از سرخ کردن، خصوصیات فیزیکوشیمیایی مادهٔ 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 مادهٔ غذایی دارد. مشخص شده است محصولاتی که بر اثر تجزیهٔ روغن به دست می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا)، باعث افزایش گرانروی و کاهش کشش سطحی روغن و مادهٔ غذایی می‌شوند که در نتیجهٔ آن، روغن به راحتی جذب سطح مادهٔ 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 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 تقریبا ۳۰ درصد روغن است.

شرایعی و همکاران (Sharayei *et al*., 2011a,b) با پایش پارامترهای اولیه و ثانویهٔ اکسایشی و نیز تندی ناشی از هیدرولیز روغن کانولا طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجهٔ سلسیوس گزارش داده‌اند که پایداری روغن کانولا تحت تأثیر روغن مغز بنه در غلظت ۰/۱ درصد (۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) افزایش می‌یابد و کارآیی سطح ۰/۱ درصدی روغن مغز بنه تقریباً مشابه کارایی آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون است. کارآیی مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه (۱۰۰ پی‌پی‌ام) در کنترل واکنش‌های فیزیکوشیمیایی مختلف طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجهٔ سلسیوس مساوی یا حتی بهتر از ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) است. همچنین، کارآیی مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه در جلوگیری از تشکیل تری‌گلیسیریدهای دیمری 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 صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه نشان می‌دهد که ترکیبات توکولی، عمده‌ترین اجزای آن به شمار می‌آیند. همچنین مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه دارای مقادیر قابل توجهی دلتا[۵]- و دلتا[۷]- آوناسترول است که این ترکیبات، کاربرد روغن مزبور را به منظور پایدارسازی در روغن‌های سرخ کردنی امکان‌پذیر می‌سازد.

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

۰/۵ درصد و سپس فرو بردن آن‌ها در محلول یک درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز موجب کاهش ۵۴ درصدی جذب روغن شده است (Rimac-Brncic *et al.*, 2004). از هیدروکلوئیدهای بومی ایران می‌توان ثعلب را نام برد. گیاه ثعلب از نظر گیاه‌شناسی متعلق به راسته ارکیدالس[1] و تیره ارکیداسه[2] است. ثعلب، منبعی با ارزش از گلوکومانان‌هاست (۱۶ تا ۵۵ درصد) و همچنین دارای نشاسته (۱۲/۷درصد)، ترکیبات نیتروژنی (۵ درصد)، رطوبت (۱۲/۲درصد) و خاکستر (۲/۴ درصد) است. این پلی‌ساکارید به عنوان عامل ایجاد ژل، غلیظ‌کننده، عامل ایجاد فیلم و امولسیون در مواد غذایی به کار می‌رود (Kaya &Tekin, 2001).

نظر به اهمیت موضوع، هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون، روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ آن) و نیز بررسی تأثیر پیش‌تیمارهای قبل از سرخ کردن (بلانچینگ در آب حاوی کلریدکلسیم و سپس فرو بردن در محلول کربوکسی‌متیل‌سلولز و یا ثعلب) بر سینتیک دفع رطوبت و جذب روغن خلال سیب‌زمینی طی فرایند سرخ کردن (سرخ کردن عمیق) است.

مواد و روش‌ها

مواد: حدود ۵ کیلوگرم میوه رسیدهٔ بنه از مزارع آبادی اسلام‌آباد شهرستان دره‌شهر استان ایلام در اواخر مهرماه جمع‌آوری شد. روغن کانولا تصفیه، بی‌رنگ و بی‌بو شده بدون آنتی‌اکسیدان از کارخانه سه‌گل نیشابور خریداری و تا زمان استفاده در دمای ۱۸- درجهٔ سلسیوس نگهداری شد. ثعلب پنجه‌ای از محل رویش در کردستان به میزان کافی تهیه و در پلاستیک پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شد و تا زمان آماده‌سازی در سردخانه با دمای بالای صفر نگهداری گردید. صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز از شرکت سان‌رز[3] و آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون از شرکت سیگما[4] تهیه شد.

ساختار اسید چربی روغن کانولا عمدتاً شامل اسیدهای پالمتیک (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 پالمتیک (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 (اندازه‌گیری شده به روش تیتراسیونی گزارش شده در AOCS، ۴۰- Ca 5a (Anon, 1993)، و عدد پراکسید (اندازه‌گیری شده به روش اسپکتروفتومتری فدراسیون بین‌المللی فراورده‌های لبنی، روش تیوسیانات) (Shantha & Decker, 1994) روغن‌های کانولا و مغز بنه به ترتیب ۰/۲ و ۰/۵۱ میلی‌گرم هیدروکسیدپتاسیم بر کیلوگرم و ۰/۵۱ و ۱/۶۵ میلی‌اکی‌والان گرم اکسیژن بر کیلوگرم روغن و نشان‌دهندهٔ کیفیت مناسب و غیراکسایشی روغن‌های مورد مطالعه است. حلال‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده با درجهٔ تجزیه‌ای 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 وزنی‌حجمی 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 درجهٔ سلسیوس تبخیر گردید. روغن استخراج شده تا هنگام اجرای آزمایش‌ها در ظروف تیره تحت ازت و در فریزر نگهداری شد.

1- *Orchidales*
2- *Orchidasea*
3- Food Grade CMC, Sunrose
4- Tert-Butylhydroquinone

استخراج مواد صابونی‌ناشونده: 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 درجهٔ 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. لایهٔ رویی جدا و با سولفات‌سدیم بدون آب مخلوط شد و پس از صاف شدن در آون تحت خلا در دمای ۴۵ درجهٔ سلسیوس خشک گردید. برای تخلیص بیشتر، مواد صابونی‌ناشونده درکلروفرم حل شد و بعد از صاف شدن، کلروفرم در دمای ۴۵ درجهٔ سلسیوس تحت خلا تبخیر گردید (Lozano *et al.*, 1993). بازده استخراج مواد صابونی‌ناشونده ۵/۷ درصد بود.

آماده‌سازی نمونه‌های روغن: برای بررسی کارآیی سرخ کردن روغن مغز بنه و مقایسهٔ فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن، از روغن کانولای تصفیه شده بدون آنتی‌اکسیدان به عنوان محیط سرخ کردن استفاده شد. روغن مغز بنه در سطح ۰/۱درصد (BKO)، آنتی‌اکسیدان سنتزی 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 ۰/۲ ± ۱×۱×۶ سانتی‌متر برش زده شدند. یکنواختی نمونه‌ها با استفاده از کولیس کنترل شد. خلال‌ها به سه دسته تقسیم شدند. خلال‌های دستهٔ اول در معرض هیچ‌گونه پیش‌تیماری قرار نگرفته و به عنوان نمونهٔ شاهد در نظر گرفته شدند. خلال‌های دستهٔ دوم و سوم در آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلرورکلسیم به مدت ۶ دقیقه بلانچ شدند و بلافاصله در محلول ۱ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز 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 درجهٔ سلسیوس برای کاهش رطوبت سطحی خشک شدند.

خلال‌های سیب‌زمینی در دمای ۵ ±۱۸۰ درجهٔ 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 ۱± ۱۰۵ درجهٔ 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 شدهٔ مورد استفاده برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، ابتدا آسیاب و

سپس سه گرم از آن در کارتوش قرار داده شد. بعد از استخراج، کارتوش‌ها به مدت یک ساعت در آون ۱۰۵ درجهٔ 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.

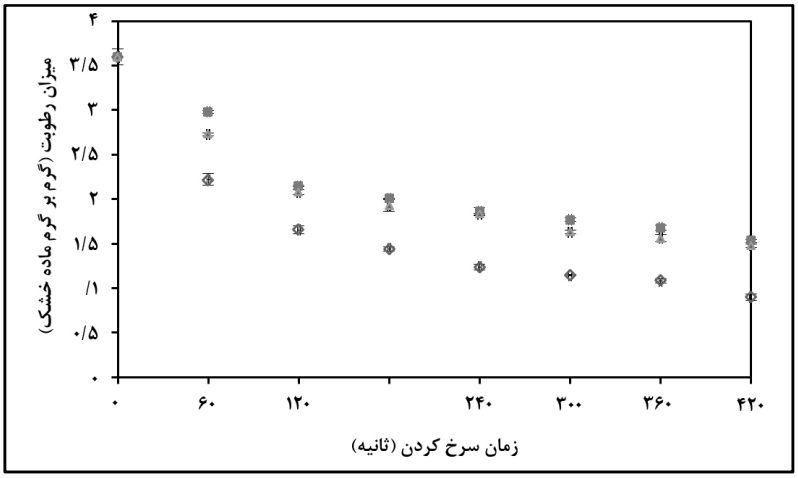
نتایج و بحث

تغییرات میزان رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است؛ بلانچ شده در آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم به مدت ۶ دقیقه و بلافاصله پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز، بلانچ شده در آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم 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 درجهٔ سلسیوس و به مدت ۷ دقیقه به کار گرفته شد. یادآوری می‌شود که روند دفع رطوبت به عنوان نمایش شمای تغییرات فقط در نمونهٔ 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).

روند کاهش رطوبت در دقایق اولیهٔ 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 درجهٔ سلسیوس در روغن‌های مختلف (روغن کانولا حاوی روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)، ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (۱۰۰پی‌پی‌ام) و مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه (۱۰۰پی‌پی‌ام) 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 مادهٔ 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 معادلهٔ 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 $۲/۸۹\times۱۰^{-۳}$ بر ثانیه و $۲/۹۳\times۱۰^{-۱۰}$ متر مربع به ۰/۹۰ گرم بر گرم مادهٔ خشک رسید. میزان رطوبت نهایی نمونهٔ شاهد با افزودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به روغن‌های کانولا به میزان قابل توجهی افزایش یافت (جداول ۱ و ۲).



شکل ۱- روند کاهش میزان رطوبت (گرم بر گرم مادهٔ خشک) در خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف
شاهد (♦)، بلانچ شده با آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی کلرید کلسیم ۰/۵ درصد به مدت ٦ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب (▲)، و بلانچ شده با آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی کلرید کلسیم ۰/۵ درصد به مدت ٦ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز (■) طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۷ دقیقه در روغن کانولا.
تیرک‌های رسم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

میزان رطوبت نهایی خلال سیب‌زمینی شاهد سرخ شده در روغن کانولا حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه، ۱/۰۱ ($K=۲/۷۴\times۱۰^{-۳}$ و $D_{eff}=۲/۷۸\times۱۰^{-۱۰}$)؛ ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه، ۱/۰۹ ($K=۲/۶۳\times۱۰^{-۳}$ و $D_{eff}=۲/۶۷\times۱۰^{-۱۰}$) و ۱۰۰ پی‌پی‌ام ترسیوبوتیل‌هیدروکینون ۱/۱۰ ($K=۲/۶۰\times۱۰^{-۳}$ و $D_{eff}=۲/۶۳\times۱۰^{-۱۰}$) گرم بر گرم ماده خشک به دست آمد. اختلاف در مقدار رطوبت نمونه‌های سرخ شده در روغن‌های مختلف احتمالا به دلیل تأثیر ساختار اسید چربی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بر پایداری روغن‌های مورد مطالعه است؛ به طوری‌که 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 تجزیهٔ روغن به دست می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا)، باعث افزایش گرانروی روغن و کاهش کشش سطحی روغن و مادهٔ غذایی می‌شوند که در نتیجهٔ آن، روغن به راحتی جذب سطح مادهٔ 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 طوری‌که روغن حاوی این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، مقدار کمتری ترکیبات قطبی با وزن مولکولی بالا (تری‌گلیسیریدهای پلیمر شده، تری‌گلیسیریدهای دیمر 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 صابونی‌ناشوندهٔ آن نسبت داده شده است. نکتهٔ قابل توجه آن است که کارآیی روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ آن در جلوگیری از خروج رطوبت از خلال سیب‌زمینی، تقریباً معادل کارایی آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند TBHQ است.

بلانچینگ خلال سیب‌زمینی با آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم به مدت ۶ دقیقه و سپس فرو بردن در محلول ۱ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز (تیمار۱) یا محلول ۲ درصد ثعلب (تیمار۲) باعث افزایش میزان رطوبت نهایی نمونه‌ها می‌شود. میزان رطوبت نهایی تیمارهای ۱ و ۲ طی فرآیند سرخ کردن در روغن کانولا ۱/۵۳ ($K=۱/۸۹\times۱۰^{-۳}$ و $D_{eff}=۱/۹۲\times۱۰^{-۱۰}$) و ۱/۶۰ ($K=۱/۸۲\times۱۰^{-۳}$ و $D_{eff}=۱/۸۴\times۱۰^{-۱۰}$) گرم بر گرم مادهٔ خشک به دست آمد که افزایش قابل توجهی نسبت به نمونهٔ شاهد سرخ شده در روغن کانولا دارد (۰/۹۰ گرم بر گرم مادهٔ 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 درجهٔ سلسیوس

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

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

ضرایب انتشار رطوبت و نفوذ مؤثر، بسته به پیش‌تیمارهای قبل از فرآیند سرخ کردن متفاوت است (Pedreschi & Moyano, 2005; Troncoso & Pedreschi, 2009). بلانچینگ با آب داغ به دلیل ژلاتینه کردن نشاستهٔ موجود در سطح مادهٔ 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 دیوارهٔ سلولی باقی می‌مانند و ساختمان و سختی آن را حفظ می‌کنند. طی فرآیند سرخ

کردن، این امر با کاهش ضرایب انتشار رطوبت و نفوذ مؤثر باعث خروج کمتر رطوبت از مادهٔ غذایی می‌شود (Rimac-Brncic *et al.*, 2004). اعتقاد بر این است که صمغ به دلیل ظرفیت بالای اتصال به آب و قابلیت تشکیل فیلم (ژل حرارتی) به عنوان سدی در مقابل خروج رطوبت عمل می‌کند که در این حالت تبخیر رطوبت طی فرآیند سرخ کردن کمتر می‌شود (Mallikarjunan *et al.*, 1997; Williams & Mittal, 1999; Rimac-Brncic *et al.*, 2004; Duran *et al.*, 2007). چنان‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کارآیی صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز در کاهش کمتر مقدار رطوبت از کارآیی صمغ ثعلب بیشتر است که دلیل آن احتمالاً تشکیل بهتر ژل حرارتی و نفوذپذیری کمتر فیلم تشکیل شده از کربوکسی‌متیل‌سلولز نسبت به خروج رطوبت است.

جدول۲- 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 درجهٔ سلسیوس

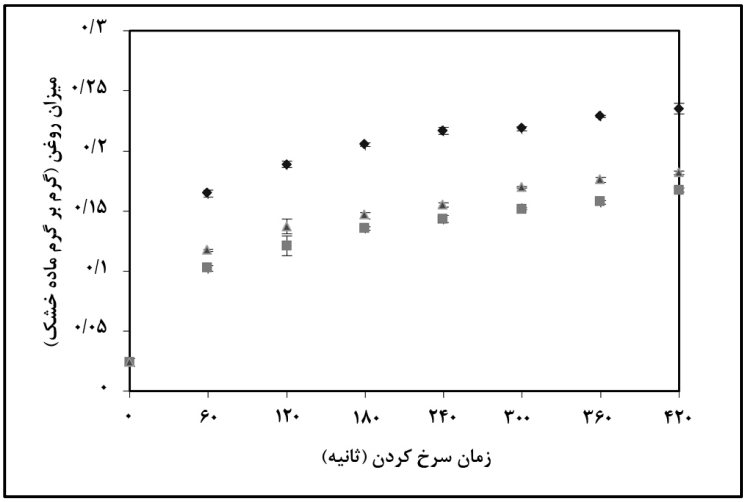
	$K\times10^{-3}$	$Deff\times10^{-10}$	R^2
روغن کانولا			
تیمار شاهد	۲/۸۹	۲/۹۳	۰/۹۱۹
تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۸۹	۱/۹۲	۰/۹۶۹
تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۹۴	۱/۹۷	۰/۹۳۴
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)			
تیمار شاهد	۲/۷۴	۲/۷۸	۰/۹۶۷
تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۸۲	۱/۸۴	۰/۹۷۳
تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۹۱	۱/۹۴	۰/۹۴۰
روغن کانولا + UFB (۱۰۰ پی‌پی‌ام)			
تیمار شاهد	۲/۶۳	۲/۶۷	۰/۹۶۶
تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۷۷	۱/۷۹	۰/۹۱۷
تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۸۸	۱/۹۱	۰/۹۷۰
روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰ پی‌پی‌ام)			
تیمار شاهد	۲/۶۰	۲/۶۳	۰/۹۶۵
تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۶۹	۱/۷۱	۰/۹۷۴
تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۸۲	۱/۸۴	۰/۹۶۳

TBHQ: ترسیوبوتیل‌هیدروکینون، UFB: ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه

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 درجهٔ سلسیوس به مدت ۷ دقیقه، نشان داده شده است؛ این روش‌ها عبارت‌اند از: بلانچ شده در آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵درصد کلریدکلسیم به مدت ۶ دقیقه و پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز، بلانچ شده در آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۰/۵ درصد کلریدکلسیم 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 نمونهٔ شاهد تیمار شده به روش‌های مختلف و سرخ شده در روغن کانولا آورده شده

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 فرایند 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 مادهٔ غذایی (دناتوره یا واسرشت شدن پروتئین‌ها، ژلاتینه شدن نشاسته و تکمیل فرآیند تشکیل پوستهٔ 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 درجهٔ سلسیوس در روغن‌های مختلف (روغن کانولا حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه)، ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) و مواد صابونی‌ناشوندهٔ 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.



شکل ۲- روند جذب روغن (گرم بر گرم مادهٔ خشک) در خلال سیب‌زمینی تیمار شده به روش‌های مختلف
شاهد (♦)، بلانچ شده با آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی کلریدکلسیم ۰/۵ درصد به مدت ٦ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب (▲)، و بلانچ شده با آب ۸۵ درجهٔ سلسیوس حاوی کلریدکلسیم ۰/۵ درصد به مدت ٦ دقیقه و سپس پوشش داده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز (■) طی فرآیند سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۷ دقیقه در روغن کانولا.
تیرک‌های رسم شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده های اندازه گیری شده است.

میزان جذب روغن (گرم بر گرم مادهٔ خشک) و پارامترهای سینتیکی جذب روغن بر طبق رابطهٔ 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.

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

میزان روغن خلال سیب‌زمینی نمونهٔ شاهد سرخ شده در روغن کانولا از ۰/۰۳۲ با K و O_{eq} به ترتیب معادل $۱/۹۶\times۱۰^{-۲}$ بر ثانیه و ۰/۲۲۲ گرم بر گرم مادهٔ خشک بعد از ۷ دقیقه سرخ کردن به ۰/۲۳۵ گرم بر گرم مادهٔ خشک می‌رسد. میزان جذب روغن نمونهٔ شاهد با افزودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به روغن کانولا به میزان قابل توجهی کاهش یافته است (جدول۳). میزان جذب روغن خلال سیب‌زمینی شاهد طی فرآیند سرخ کردن در روغن کانولا حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه ۰/۲۲۰ ($K=۱/۵۲\times۱۰^{-۲}$ و $O_{eq}=۰/۲۰۶$)، ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه ۰/۲۱۷ ($K=۱/۴۱\times۱۰^{-۲}$ و $O_{eq}=۰/۱۹۸$) و ۱۰۰ پی‌پی‌ام ترسیوبوتیل‌هیدروکینون ۰/۱۹۹ ($K=۱/۴۱\times۱۰^{-۲}$ و $O_{eq}=۰/۱۸۷$) گرم بر گرم مادهٔ خشک است. با توجه به نتایج میزان دفع رطوبت (جداول ۱ و ۳)، مشاهده می‌شود که نمونه‌هایی که میزان رطوبت نهایی پایین‌تری دارند (نمونه‌هایی که طی فرآیند سرخ کردن رطوبت بیشتری از دست داده‌اند) به میزان بیشتری روغن جذب می‌کنند. این نتایج، رابطهٔ میان میزان حذف رطوبت و جذب روغن را تایید می‌کند. اختلاف در میزان جذب روغن نمونه‌های سرخ شده در روغن‌هایمختلف احتمالاً به دلیل تأثیر ساختار اسید چربی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بر پایداری روغن‌های مورد مطالعه است؛ به طوری‌که 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 پیش‌تیمارهای مورد استفاده) بستگی دارد (Troncoso & Pedreschi, 2009).

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 ۷ دقیقه سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجهٔ سلسیوس

	$K\times۱۰^{-۲}$	O_{eq}	R^2
روغن کانولا			
تیمار شاهد	۱/۹۶	۰/۲۲۲	۰/۹۷۲
تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۴۴	۰/۱۵۵	۰/۹۵۱
تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۵۹	۰/۱۶۹	۰/۹۴
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)			
تیمار شاهد	۱/۵۲	۰/۲۰۶	۰/۹۵۷
تیمار ۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۴۱	۰/۱۵۲	۰/۹۵۲
تیمار ۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۴۹	۰/۱۵۹	۰/۹۵۲
روغن کانولا + UFB (۱۰۰پی‌پی‌ام)			
تیمار شاهد	۱/۴۱	۰/۱۹۸	۰/۹۵۱
تیمار۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۳۰	۰/۱۴۸	۰/۹۵۵
تیمار۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۳۷	۰/۱۵۰	۰/۹۵۰
روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰پی‌پی‌ام)			
تیمار شاهد	۱/۴۱	۰/۱۸۷	۰/۹۶۷
تیمار۱ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۱ درصد صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز)	۱/۲۴	۰/۱۴۴	۰/۹۵۸
تیمار۲ (بلانچ و پوشیده شده با محلول ۲ درصد صمغ ثعلب)	۱/۳۰	۰/۱۵۱	۰/۹۵۲

TBHQ: ترسیو بوتیل‌هیدروکینون، UFB: ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه.

نکتهٔ جالب توجه آن است که کارآیی روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشوندهٔ آن در کاهش میزان جذب روغن در خلال سیب‌زمینی تقریباً معادل کارایی آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند TBHQ است. بلانچینگ خلال سیب‌زمینی با آب ۸۵ درجهٔ 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 ۰/۱۶۷ ($K=۱/۴۴\times۱۰^{-۲}$ و $O_{eq}=۰/۱۵۵$)، ۰/۱۵۳ ($K=۱/۴۳\times۱۰^{-۲}$ و $O_{eq}=۰/۱۴۷$) گرم بر گرم مادهٔ خشک است که کاهش قابل توجهی نسبت به نمونهٔ شاهد سرخ شده در روغن کانولا دارد (۰/۲۳۵ گرم بر گرم مادهٔ خشک، جداول ۱ و ۳).

میزان جذب روغن تحت تأثیر بلانچینگ کاهش می‌یابد که این امر به ژلاتینه شدن نشاستهٔ 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 دیوارهٔ سلولی، ساختمان و سفتی آن را حفظ می‌کند و با خروج کمتر رطوبت، میزان جذب روغن را کاهش می‌دهد (Rimac-Brncic *et al.*, 2004). ظرفیت اتصال به آب بالا و گرانروی 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 موئینگی پایین می‌انجامد که در نتیجه میزان کمی روغن به داخل منافذ وارد می‌شود (Mellema, 2003). چنان که در جدول ۳ دیده می‌شود، کارآیی صمغ کربوکسی‌متیل‌سلولز در کاهش بیشتر میزان جذب روغن از کارآیی صمغ ثعلب بیشتر است که این امر همان‌طور که قبلا 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 نمونهٔ 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 مادهٔ خشک). این موضوع حاکی از اثر متقابل نوع روغن و پیش‌تیمارهای قبل از فرآیند بر کاهش مقادیر K (معادل $۱/۳۸\times۱۰^{-۲}$ تا $۱/۵۰\times۱۰^{-۲}$ در مقابل $۱/۹۴\times۱۰^{-۲}$ بر ثانیه) و O_{eq} (معادل۰/۱۳۴ تا ۰/۱۵۹ در مقابل ۰/۲۲۲ گرم بر گرم مادهٔ 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 درجهٔ 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 درجهٔ 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 صابونی‌ناشوندهٔ روغن مغز بنه) در دمای ۱۸۰ درجهٔ سلسیوس، نشان می‌دهد که میزان دفع رطوبت و پارامترهای سینتیکی آن (ضرایب انتشار رطوبت و نفوذ

مؤثر) و میـزان جـذب روغـن و پارامترهـای سـینتیکی آن (میزان روغن تعادلی و سرعت جـذب روغـن) تحـت تـأثیر زمان سرخ کردن، نوع روغن و پیش‌تیمارهای قبل از سـرخ کردن قرار دارند. میزان دفـع رطوبـت و جـذب روغـن بـا افزایش زمان سرخ کردن افزایش مـی‌یابـد. روغـن حـاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش دفع رطوبت و جـذب روغــن مــی‌شــود و کــارآیی روغــن مغــز بنــه و مــواد صابونی‌ناشونده آن معادل کـارآیی آنتـی‌اکسـیدان سـنتزی قدرتمند ترسیوبوتیل‌هیدروکینون اسـت. پـیش‌تیمارهـای قبل از فرآیند باعث کـاهش دفـع رطوبـت و جـذب روغـن می‌شوند و کارآیی صمغ کربوکسی‌متیل‌سـلولز، در مقایسـه با کارآیی صمغ ثعلب، به دلیل تشکیل بهتـر ژل حرارتـی و نفوذپذیری کمتر فیلم تشکیل شده نسبت به ورود روغن و خروج رطوبت، بیشتر است.

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 pours 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-Brncic, S., Lelas, V., Rade, D. and Simundic, 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.

Troncoso, E. and Pedreschi, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vaccum 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.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.14/No.3/2013/P:97-112

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*, R. Farhoosh, H. Poorazarang and M. H. Haddad-Khodaparast

* 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 a 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 ($R2 > 0.91$). 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