مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال دوازدهم، شماره 1، بهار 1396، صفحات 120-109

اثر پوشش‌های هیدروکلوئیدی در جلوگیری از تشکیل آکریل‌آمید و کاهش جذب روغن در چیپس سیب‌زمینی

راضیه ترابی[1]، محمد حجتی[2]، محسن برزگر[3] ، حسین جوینده[4]

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، اهواز، ایران

2- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، اهواز، ایران، پست الکترونیک: hojjati@ramin.ac.ir

3- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

4- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: 95/5/19 تاریخ پذیرش: 95/9/4

چکیده

سابقه و هدف: آکریل‌آمید ماده‌ای سرطان‌زا برای انسان است که عمدتاً در غذاهای با منشأ گیاهی حاوی نشاسته یافت می‌شود. چیپس و خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده بیشترین میزان آکریل‌آمید را نسبت به سایر مواد غذایی دارند. با توجه به مصرف بالای چیپس در جهان و رشد آگاهی مردم به غذاهای سالم، هدف از این تحقیق ارزیابی پتانسیل پوشش‌دهنده‌های طبیعی در کاهش تشکیل آکریل‌آمید در حین سرخ کردن چیپس سیب‌زمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: اثر پلی‌ساکارید محلول در آب سویا و صمغ عربی به عنوان هیدروکلوئیدهای پوشش‌دهنده (در سه غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد و دو زمان غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه) بر میزان تشکیل آکریل‌آمید، اتلاف رطوبت، جذب روغن، تغییرات رنگ، بافت و ویژگی‌های حسی چیپس سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی گردید. روش استخراج با فاز جامد و دستگاه کروماتوگرافی گازی جهت اندازه‌گیری آکریل‌آمید چیپس‌های سیب‌زمینی بکار گرفته شدند.

یافته‌ها: با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها و زمان غوطه‌وری، رطوبت چیپس افزایش و از میزان روغن آن به طور هم‌زمان کاسته شد. غوطه‌وری سیب‌زمینی در محلول پلی‌ساکارید محلول در آب سویا و صمغ عربی با غلظت 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه به ترتیب سبب کاهش آکریل‌آمید به میزان 79/94 (بالاترین میزان کاهش) و 44/52 درصد شد. بیشترین میزان کاهش جذب روغن توسط پلی‌ساکارید محلول در آب سویا (در غلظت 1/5 درصد و زمان 4 دقیقه) به میزان 53/01 درصد بر اساس وزن مرطوب مشاهده شد. همچنین مواد پوشش‌دهنده سبب افزایش تردی و شاخصه‌های رنگی و بهبود ویژگی‌های حسی از جمله رنگ و مزه چیپس شدند.

نتیجه‌گیری: با توجه به تأثیر معنی‌دار مواد پوشش‌دهنده بر کاهش تشکیل آکریل‌آمید، می‌توان اعمال پیش‌تیمار هیدروکلوئیدهای خوراکی به ویژه پلی‌ساکارید محلول در آب سویا قبل از سرخ کردن را به عنوان روشی مناسب جهت کاهش تشکیل آکریل‌آمید و جذب روغن در چیپس سیب زمینی در نظر گرفت.

واژگان کلیدی: استخراج با فاز جامد، سرخ کردن عمیق، پلی‌ساکارید محلول در آب سویا، صمغ عربی

• مقدمه

در دهه‌های اخیر، با تغییر در سبک زندگی و رژیم غذایی، توجه تولیدکنندگان به مواد غذایی سرخ شده بیشتر شده است به طوری که امروزه حرارت‌دهی ماده‌ی غذایی در دمای بالا روشی رایج به منظور تولید مواد غذایی فرآیند شده به حساب می‌آید (1). اگرچه فرایند حرارتی از مهم‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است و سرخ‌کردن، به عنوان یکی از انواع روش‌های حرارتی، باعث بهبود برخی ویژگی‌های مواد غذایی همچون بافت، طعم، رنگ و خصوصیات حسی می‌شود با این حال، می‌توان گفت این فرآیند قادر به شکل‌دادن طیف گسترده‌ای از ترکیبات سمی مانند کلروپروپانول، فوران و آکریل‌آمید است (2). آکریل‌آمید (2-پروپنامید یا آکریلیک اسید آمید) یک آمید غیراشباع با فرمول مولکولی C_3H_5NO

است که عمدتاً از دکربوکسیلاسیون باز شیف حاصل از واکنش میلارد که نتیجه واکنش بین گروه کربونیل قندهای احیاکننده با گروه آمین اسیدهای‌آمینه به ویژه آسپاراژین است بوجود می‌آید. بررسی‌های متعدد نشان می‌دهد که آکریل‌آمید، ماده‌ای سرطان‌زا است که در مواد غذایی غنی از کربوهیدرات زمانی که تحت فرآیند حرارتی با دمای بالا (بالاتر از 120 درجه سانتی‌گراد) نظیر سرخ‌کردن قرار می‌گیرند، تشکیل می‌شود (4، 3). تومورزایی (Tumorigenicity) این ماده در غده تیروئید، پانکراس، کلیه، روده بزرگ، رحم و پستان در موش و انسان و همچنین ایجاد اختلالات در سیستم عصبی توسط آکریل‌آمید به اثبات رسیده است (5). گزارش‌ها نشان می‌دهد جذب آکریل‌آمید می‌تواند از طریق مصرف دامنه وسیعی از مواد غذایی مانند محصولات سرخ‌شده سیب‌زمینی، نان و محصولات نانوایی، قهوه و غلات صبحانه صورت گیرد. تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف، نشان می‌دهد بیشترین میزان آکریل‌آمید مربوط به محصولات سرخ شده سیب‌زمینی است (6). چیپس سیب‌زمینی اسنک نمکی شوری است که محبوبیت آن از 150 سال پیش تاکنون پابرجاست و فروش آن حدود یک سوم از کل فروش بازار موادغذایی را به خود اختصاص داده است (7). از طرفی، الگوی مصرف غذا در بین مردم در محدوده سنی مختلف تغییر کرده است و مردم به ویژه قشر جوان علاقه‌مند به مصرف اسنک‌ها هستند (6). از این رو تاکنون راه‌های مختلفی جهت کاهش آکریل‌آمید گزارش شده است (11-8، 4، 3). عوامل مؤثر بر کاهش تشکیل مقدار آکریل‌آمید در محصولات سرخ‌شده سیب‌زمینی را می‌توان در دو مرحله قبل از فرآوری و حین فرآوری بررسی نمود که به نظر می‌رسد تاکنون در بین روش‌های به کار گرفته شده، میزان موفقیت روش‌هایی که در طول فرآیند تولید اعمال شده کمتر از سایر روش‌ها بوده (8) و تحقیقات بیشتری را در این زمینه می‌طلبد. هیدروکلوئیدها پلیمرهای خوراکی هستند که به صنعت غذا جهت تولید محصولات جذاب، سالم و ایمن کمک می‌کنند. هیدروکلوئیدها همچنین به طور گسترده جهت بهبود کیفیت غذاهای سرخ شده به صورت پوشش‌دهی آن‌ها به کار می‌روند (12). استفاده از برخی انواع پوشش‌های هیدروکلوئیدی جهت کاهش آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده به فرم خلال بررسی و مشاهده شد که کاربرد این پوشش‌ها موجب کاهش میزان آکریل آمید در خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده می‌گردند (14، 13). همچنین استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی مختلف جهت کاهش جذب روغن در خلال سیب‌زمینی سرخ شده به اثبات رسیده است (16، 15) ولی براساس اطلاعات در دسترس تا به حال پژوهشی در زمینه پوشش سیب‌زمینی سرخ‌شده به فرم چیپس با هیدروکلوئید پلی‌ساکارید محلول در آب سویا جهت کاهش آکریل‌آمید صورت نگرفته است. این تحقیق با هدف بررسی اثر دو نوع هیدروکلوئید صمغ عربی (هتروپلی‌ساکارید) و پلی‌ساکاریدهای محلول در آب سویای دارای خاصیت پخش‌شوندگی، پایدارسازی، امولسیون‌کنندگی و چسبندگی (17) بر ویژگی‌های چیپس سیب‌زمینی از جمله میزان تشکیل آکریل‌آمید، جذب روغن، اتلاف رطوبت، بافت (تردی)، رنگ و طعم انجام شد.

• مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی و استانداردها: سیب‌زمینی‌های خریداری شده (واریته دیررس پاییزه آگریا، منطقه فریدن اصفهان) در انباری با دمای 21 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 68 درصد نگه‌داری شدند. از روغن خوراکی سرخ‌کردنی (مخلوط روغن‌های آفتاب‌گردان، سویا، پالم اولئین و کانولا) تولید شرکت صنعتی بهار (بهشهر، ایران) استفاده شد. صمغ عربی، استاندارد آکریل‌آمید با خلوص 98 درصد و استن با خلوص 99 درصد از شرکت مرک آلمان و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا (سریS-DN) از شرکت فوجی اویل ژاپن تهیه شدند. اسید فرمیک 0/1 درصد با خلوص 99 درصد از شرکت شیمیایی ان وی بلژیک خریداری گردید.

تهیه پوشش‌ها: محلول صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا با افزودن آرام آن‌ها به آب مقطر حدود 70 درجه سانتی‌گراد در حال هم زدن و در سه غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد تهیه و با هدف هیدراتاسیون کامل بعد از طی یک شبانه روز در دمای محیط، مورد استفاده قرار گرفتند. pH محلول‌های تهیه شده قبل از استفاده در دمای محیط اندازه‌گیری و ثبت شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها و پوشش‌دهی: ابتدا سیب‌زمینی‌ها شسته شده و پس از پوست‌گیری به کمک دستگاه برش (ساخت شرکت بوراکس، چین) برگه‌هایی به قطر 5/49±0/25 سانتی‌متر و ضخامت 2/29±0/36 میلی‌متر از آن تهیه شد. اندازه‌گیری ضخامت و قطر برگه‌های سیب‌زمینی به ترتیب به وسیله ریزسنج دیجیتالی (با دقت 0/001 میلی‌متر، مدل Insize سری 3109 ساخت تایوان) و کولیس (با دقت 0/02 میلی‌متر ساخت Mitutoyo ژاپن) انجام شد. خیساندن برگه‌های خام به منظور حذف نشاسته سطحی به مدت 1 دقیقه در آب سرد صورت گرفت. مرحله آنزیم‌بری در دمای 85 درجه سانتی‌گراد و زمان 6 دقیقه با نسبت سیب زمینی به آب 1 به 20 (وزنی – حجمی) انجام شد. پس از سرد شدن

نمونه‌ها تا دمای محیط به منظور پوشش‌دهی، صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا هر کدام در سه غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد و دو زمان غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه به طور مجزا مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه‌های شاهد نیز در آب خالص با دمای محیط در دو زمان 2 و 4 دقیقه غوطه‌ور شدند. سرخ کردن نمونه‌ها در دمای 170 درجه سانتی‌گراد و زمان 4 دقیقه با سرخ‌کن خانگی (دلونگی، مدلRotofry F28533، ایتالیا) مجهز به ترموستات و سبد توری استیل ضد زنگ انجام شد. نسبت سیب‌زمینی به محلول‌های هیدروکلوئیدی و روغن به ترتیب برابر با 1 به 3 و 1 به 15 (وزنی - حجمی) بود. روغن اضافی نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ شده توسط کاغذ جاذب گرفته شد و بلافاصله آزمون‌های مربوطه بر روی آن‌ها صورت گرفت (9).

تعیین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی: آزمون‌های شیمیایی شامل رطوبت، ماده خشک، قند احیا، خاکستر، چربی و pH سیب‌زمینی و چیپس‌های تهیه شده مطابق با روش Gumul و همکاران (18) و روش‌های استاندارد ملی ایران اندازه‌گیری شدند (19). جهت اندازه‌گیری pH سیب زمینی بعد از پوست‌گیری عصاره آن تهیه و سپس در هر تکرار 30 میلی‌لیتر از عصاره صاف شده سیب‌زمینی جهت سنجش pH مورد استفاده قرار گرفت و برای اندازه‌گیری pH چیپس، یک گرم از آن کاملاً خرد شده و به آن 50 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و به مدت 30 دقیقه هم زده شد و پس از جدا نمودن لایه رویی، باقی مانده آن جهت اندازه‌گیری pH استفاده شد. شاخصه‌های رنگ (L*, a*, b*) چیپس سیب‌زمینی با استفاده از رنگ‌سنج سری 400 کونیکا مونیلتا ساخت ژاپن مورد آزمون قرار گرفت و سپس شاخصه‌های C* و h* محاسبه شد.

اندازه‌گیری میزان روغن جذب شده: میزان روغن جذب شده در چیپس‌های سیب‌زمینی پوشش داده شده و نمونه‌های شاهد براساس وزن مرطوب به روش سوکسله (دستگاه اتوماتیک سوکسله مدل 4XL ساخت صنایع آزمایشگاه بخشی، ایران) و با استفاده از حلال پترولیوم اتر (شرکت پارس شیمی، ایران) طبق روش استاندارد AOAC در 3 تکرار اندازه‌گیری شد (20). درصد روغن نمونه‌ها از طریق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{درصد روغن} = [(W_1 - W_2) \div W_1] \times 100$$

W_1: وزن نمونه چیپس و کاغذ صافی قبل از عمل سوکسله

W_2: وزن نمونه چیپس و کاغذ صافی بعد از عمل سوکسله

آنالیز بافت نمونه‌ها: به منظور تعیین ویژگی‌های بافتی (تردی و شکنندگی) چیپس سیب‌زمینی از آزمون فشردگی توسط دستگاه آنالیزگر بافت مدل TA-XT-plus ساخت کشور انگلستان استفاده گردید. نمونه‌های چیپس جهت انجام آزمون به صورت کامل بر روی سطح نگهدارنده HDP/CFS (Crisp Fracture Support Rig) قرار داده شدند. سرعت حرکت پروب در هنگام اجرای آزمون 0/5 میلی‌متر بر ثانیه و مسافت پیموده شده توسط پروب حین اجرای آزمون 5 میلی‌متر بود. این آزمون در دمای محیط و با استفاده از پروب P/5 صورت گرفت.

استخراج و اندازه‌گیری آکریل‌آمید: در این پژوهش، آکریل‌آمید موجود در نمونه‌ها با استفاده از کارتریج اختصاصی استخراج با فاز جامد (Solid Phase Extraction) (500 میلی‌گرم-6 میلی‌لیتر، ساخت شرکت Restek آمریکا) ویژه آکریل آمید و براساس روش Ogolla و همکاران (21)، روش شماره 8032A آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (22) و مطابق با دستورالعمل ارائه شده شرکت سازنده (23) با اندکی تغییرات استخراج و با دستگاه گازکروماتوگرافی اندازه‌گیری گردید. بدین منظور یک گرم از چیپس سیب زمینی خرد شده با 10 میلی‌لیتر اسیدفرمیک 0/1 درصد مخلوط و به مدت 20 دقیقه و با سرعت 150 دور در دقیقه در دستگاه شیکر قرار گرفت. جهت حذف آسان‌تر لایه روغنی، نمونه در یخچال نگهداری و سپس از فیلترسرسرنگی (Biofil، ساخت چین) و در نهایت از کارتریج استخراج با فاز جامد که با عبور 2 میلی‌لیتر استن و 2 میلی‌لیتر اسید فرمیک 0/1 درصد مشروط گردیده بود عبور داده شد. در این مرحله، عبور نمونه صاف شده حاوی آنالیت بدون اعمال خلأ و به کمک وزن خود از کارتریج عبور داده شد. در مرحله بعد، به منظور شستشوی عوامل مزاحمت‌زا 0/5 تا 1 میلی‌لیتر آب مقطر خالص به کمک پمپ خلأ و با استفاده از ارلن تخلیه به سرعت از کارتریج گذرانده شد و جهت اطمینان از عبور کامل آب حدود یک دقیقه این خلأ ادامه داشت. در مرحله آخر یا همان مرحله شویش، مقدار 2 میلی‌لیتر استن به کارتریج اضافه شد که در اثر وزن خود از کارتریج خارج گردید. خروجی این مرحله، آکریل‌آمید استخراج شده از نمونه، آماده تزریق به کروماتوگرافی گازی بود. برای اندازه‌گیری مقدار آکریل‌آمید نمونه‌ها از دستگاه گاز کروماتوگرافی Agilent 6890A مجهز به ستون اینووکس (HP-INNOWax) به طول 30 متر، قطر داخلی 0/25 میلی‌متر و ضخامت 0/25 میکرومتر و حاوی آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای با دمای 260 درجه سانتی‌گراد

استفاده شد. دمای ابتدایی 100 درجه سانتی‌گراد بود و با سرعت 15 درجه در دقیقه به260 درجه سانتی‌گراد رسید و به مدت 0/5 دقیقه در این دما نگه داشته شد. گاز حامل هلیم و با فشار ثابت استفاده شد. حجم تزریق 1 میکرولیتر و به صورت غیرشکافته در دمای 260 درجه سانتی‌گراد انجام شد.

آزمون حسی: خواص حسی چیپس سیب‌زمینی پوشش داده شده (شامل شکل ظاهری، بافت، رنگ، مزه و پذیرش کلی) از طریق آزمون ترجیحی 5 نقطه‌ای صورت پذیرفت (15). برای اجرای این آزمون از 10 نفر از دانشجویان رشته علوم و صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان استفاده شد. پس از بررسی نمونه‌ها توسط ارزیاب، اعداد 1، 2، 3، 4 و 5 را که به ترتیب بیان‌گر سطوح بسیار ناخوشایند، نسبتاً ناخوشایند، متوسط، نسبتاً خوشایند و بسیار خوشایند بودند به نمونه‌ها اختصاص داده شد.

آنالیز آماری: این مطالعه با طرح کاملاً تصادفی و در قالب آزمایش فاکتوریل بررسی شد و داده‌های به دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه9/3 تجزیه و تحلیل گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان 95% استفاده شد.

• یافته‌ها

نتایج به دست آمده از آزمون ویژگی‌های شیمیایی سیب‌زمینی رقم آگریا در جدول 1 نشان داده شده است.

جدول1. خواص شیمیایی سیب‌زمینی رقم آگریا (برحسب وزن مرطوب)

ویژگی	مقادیر محاسبه شده
ماده خشک (%)	22/72±1/53
قند احیا (%)	0/09±0/07
رطوبت (%)	77/21±1/51
خاکستر (%)	3/71±0/17
چربی (%)	1/09±0/70
pH	5/88±0/08

نتایج به صورت میانگین سه تکرار± انحراف معیار بیان شده است.

نتایج تأثیر استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی (غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد از صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا در دو زمان غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه) بر محتوای ماده خشک، رطوبت، چربی و قند احیا نمونه‌های چیپس سیب‌زمینی در جدول 2 آورده شده است. تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که پوشش‌های هیدروکلوئیدی، باعث افزایش معنی‌داری در رطوبت نمونه‌های چیپس سیب‌زمینی شدند ($p<0/05$) به طوری که غلظت 1/5 درصد از هر دو هیدروکلوئید در زمان غوطه‌وری 4 دقیقه بالاترین رطوبت (69/58 درصد افزایش) را داشت.

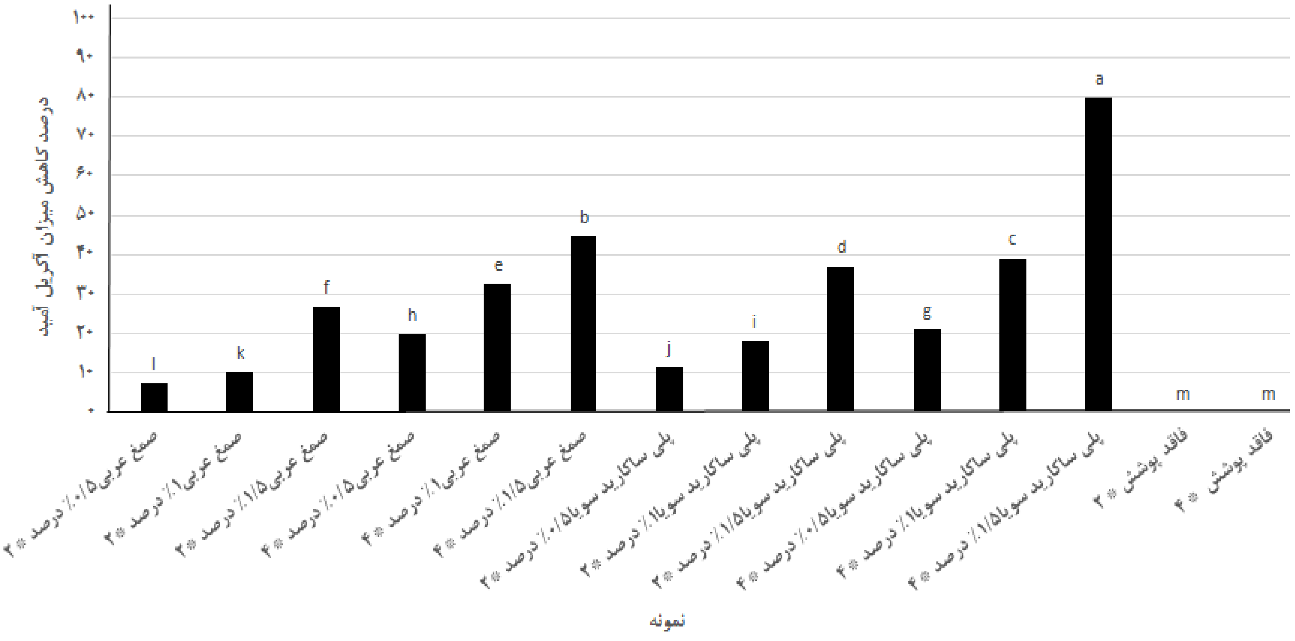
جدول 2. تأثیر هیدروکلوئیدها بر برخی از خواص شیمیایی چیپس سیب‌زمینی حاصل از پوشش‌دهی (برحسب وزن مرطوب)

تیمارها	میزان چربی(درصد)	رطوبت(درصد)	ماده خشک(درصد)	قنداحیا(درصد)	pH
2* صمغ عربی 0/5درصد	29/54±0/19^{c}	7/09±0/01^{b}	92/90±0/01^{c}	0/88±0/08^{a}	5/24±0/00^{b}
2* صمغ عربی 1درصد	29/38±0/04^{c}	7/39±0/07^{b}	92/61±0/07^{c}	0/98±0/01^{a}	5/24±0/00^{b}
2* صمغ عربی 1/5درصد	26/60±0/12^{b}	12/75±0/20^{c}	87/25±0/21^{b}	1/24±0/04^{b}	5/23±0/00^{b}
4* صمغ عربی 0/5درصد	29/49±0/01^{c}	7/23±0/05^{b}	92/76±0/05^{c}	0/94±0/08^{a}	5/20±0/00^{b}
4* صمغ عربی 1درصد	26/53±0/41^{b}	12/44±0/49^{c}	87/55±0/49^{b}	1/41±0/02^{b}	5/19±0/00^{b}
4* صمغ عربی 1/5درصد	25/19±0/15^{a}	16/59±0/51^{d}	83/41±0/51^{a}	1/43±0/01^{b}	4/97±0/00^{a}
2* پلی‌ساکاریدسویا 0/5درصد	29/72±0/07^{c}	7/19±0/27^{b}	92/46±0/27^{c}	0/77±0/02^{a}	5/35±0/00^{c}
2* پلی‌ساکاریدسویا1درصد	29/61±0/01^{c}	7/54±0/01^{b}	92/81±0/01^{c}	0/99±0/13^{a}	5/34±0/00^{c}
2* پلی‌ساکارید 1/5درصد	26/60±0/52^{b}	12/58±0/37^{c}	87/41±0/37^{b}	1/18±0/08^{b}	5/33±0/01^{c}
4* پلی‌ساکاریدسویا 0/5درصد	29/68±0/01^{c}	7/33±0/26^{b}	92/67±0/26^{c}	0/97±0/01^{a}	5/26±0/00^{c}
4* پلی‌ساکارید سویاد1درصد	26/65±0/33^{b}	12/63±0/27^{c}	87/37±0/27^{b}	1/46±0/01^{b}	5/03±0/00^{a}
4* پلی‌ساکاریدسویا1/5درصد	25/07±0/11^{a}	16/34±0/13^{d}	83/66±0/13^{a}	1/47±0/01^{b}	4/98±0/01^{a}
2* فاقد پوشش	38/42±0/33^{d}	5/00±0/19^{a}	98/00±0/01^{d}	0/81±0/04^{a}	5/71±0/01^{d}
4* فاقدپوشش	38/30±0/32^{d}	4/95±0/19^{a}	97/49±0/04^{d}	0/76±0/01^{a}	5/71±0/03^{d}

حروف مشابه در هرستون نشان‌دهنده‌ی عدم معنی‌دار آماری در سطح احتمال خطای 5 درصد می‌باشد/ اعداد 2 و 4 کنار نمونه‌ها نشان دهنده زمان غوطه‌وری آنها در محلول هیدروکلوئیدی هستند.

همچنین استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی، باعث کاهش معنی‌داری در میزان جذب روغن نمونه‌های چیپس سیب‌زمینی شد ($p<0/05$) به طوری که دو هیدروکلوئید صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا در بالاترین غلظت و زمان غوطه‌وری به ترتیب سبب کاهش 53/01 و 53/28 درصد کاهش جذب روغن شدند. همان‌طور که در جدول 2 مشاهده می‌شود در غلظت‌های ثابت 1 و 1/5 درصد افزایش زمان غوطه‌وری از 2 به 4 دقیقه به طور معنی‌داری سبب افزایش رطوبت و کاهش چربی شد ($p<0/05$) به عبارت دیگر میزان چربی در نمونه با غلظت 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 2 دقیقه دارای عدم تفاوت معنی‌دار با نمونه با غلظت کم‌تر (1درصد) و زمان غوطه‌وری بیشتر (4دقیقه) بود ($p<0/05$). مقایسه داده‌های حاصل از تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی بر قند احیا و pH نشان می‌دهد (جدول2) که استفاده از پوشش‌های صمغ عربی و پلی ساکارید محلول در آب سویا (غلظت‌های 1 و 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 2و 4 دقیقه) به صورت معنی‌داری باعث افزایش قند احیا نسبت به نمونه‌های فاقد پوشش شد به این صورت که غلظت 1/5 درصد در زمان غوطه‌وری 4 دقیقه بیشتر و نمونه‌های شاهد کم‌ترین میزان قند احیا را به خود اختصاص دادند ($p<0/05$). همچنین با افزایش غلظت و زمان در تمامی تیمارها، میزان pH در نمونه‌های چیپس پوشش داده شده نسبت به نمونه‌های فاقد پوشش کاهش یافت ($p<0/05$).

نمودار 1، تغییرات میزان آکریل‌آمید را در نمونه‌های پوشش داده شده در زمان‌های غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه نشان می‌دهد، میزان تشکیل آکریل‌آمید در تمامی نمونه‌های پوشش داده شده به طور معنی‌داری نسبت به نمونه‌های فاقد پوشش کاهش یافت ($p<0/05$). در غلظت ثابت، میزان افت آکریل‌آمید با افزایش زمان غوطه‌وری در همه نمونه‌های پوشش داده شده، افزایش یافت. فرآیند کاهش آکریل‌آمید در چیپس سیب‌زمینی به شدت وابسته به غلظت و فاکتور زمان غوطه‌وری بود. بررسی تأثیر تیمارها بر کاهش آکریل‌آمید نشان می‌دهد، که نمونه‌های پیش تیمار شده با پلی‌ساکارید محلول در آب سویا دارای آکریل‌آمید کم‌تری نسبت به نمونه‌های پوشش داده شده با صمغ عربی بودند. همچنین افزایش دو عامل غلظت و زمان سبب کاهش حداکثری میزان آکریل‌آمید (79/94درصد) در نمونه پوشش داده شده با پلی‌ساکارید سویا با غلظت 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه شد. بیشترین کاهش در نمونه‌های چیپس پوشش داده شده با صمغ عربی مربوط به غلظت 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه بود که از مقدار آکریل‌آمید به میزان 44/52 درصد کاسته شد ($p<0/05$).



نمودار1. اثر پوشش‌دهی بر میزان کاهش تشکیل آکریل‌آمید در نمونه‌های چیپس سیب‌زمینی سرخ‌شده (درصد)

*اعداد 2 و 4 نشان‌دهنده میزان زمان غوطه‌وری بر حسب دقیقه می‌باشد.

نتایج ارزیابی بافت و رنگ (جدول 3) نشان می‌دهد که نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پلی‌ساکارید محلول در آب سویا در غلظت‌های 1 و 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه و صمغ عربی با غلظت 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه نسبت به دیگر نمونه‌های پوشش داده شده و نمونه‌های فاقد پوشش کم‌ترین مقدار نیرو را برای برش نیاز داشتند ($p<0/05$). همچنین رنگ نمونه‌های غوطه‌ور شده در محلول‌های هیدروکلوئیدی در پارامترهای a^*، b^* و L^* و پارامتر کروما (C^*) با هم تفاوت معنی‌دار داشته ولی در شاخص‌های h^* فاقد تفاوت معنی‌دار بودند. با افزایش غلظت و زمان غوطه‌وری میزان روشنایی نمونه‌ها و مقدار عددی شاخص b^* بیشتر و از میزان گرایش آن‌ها به رنگ قرمز کاسته شد به طوری که بالاترین مقدار شاخص L^* (روشنایی) به ترتیب در نمونه‌های پوشش داده شده با پلی‌ساکارید سویا 1 و 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه، پلی ساکارید سویا 1/5 درصد با زمان غوطه‌وری 2 دقیقه و صمغ عربی 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه بود و کم‌ترین مقدار L^* (تیرگی) در نمونه‌های فاقد پوشش (در دو زمان 2 و 4 دقیقه) و نمونه‌های پوشش داده شده در پایین‌ترین غلظت از هر دو هیدروکلوئید در دو زمان غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه بود. بیشترین گرایش به رنگ قرمز (شاخص a^*) و کم‌ترین گرایش به رنگ زرد مربوط به نمونه‌های فاقد پوشش و به طور عکس در نمونه‌های پوشش داده شده با بیشترین غلظت در هر دو زمان غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه مشاهده گردید($p<0/05$). صمغ عربی علی رغم دارا بودن گروه آمین در ساختار خود، به دلیل خاصیت آبدوستی و برقراری پیوند با مولکول‌های آب، محیطی نامناسب جهت پیشرفت واکنش میلارد فراهم می‌آورد. یافته‌های این تحقیق نشان داد پوشش دهی با محلول صمغ عربی باعث کاهش pH و در نتیجه سبب عدم پیشروی واکنش میلارد می‌گردد و از طرفی دیگر یکی از دلایل رنگ روشن نمونه‌های پوشش داده شده با هیدروکلوئیدها کاهش جذب روغن است (24).

انتخاب بهترین غلظت و زمان غوطه‌وری پوشش‌های هیدروکلوئیدی: با توجه به جدول 4 آزمون ارزیابی حسی، تمام نمونه‌ها به جزء غلظت‌های 0/5درصد در دو زمان غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه از صمغ عربی دارای طعم بهتری نسبت به نمونه فاقد پوشش بودند که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار بود و نمونه‌های پوشش داده شده با غلظت بالا (1/5 درصد) و زمان غوطه‌وری 2 و 4 دقیقه از هر دو هیدروکلوئید از نظر رنگ به عنوان بهترین نمونه انتخاب شدند. سایر پارامترها (شکل ظاهری، بافت، بو و پذیرش کلی) در سطح 5 درصد خطا فاقد تفاوت معنی‌دار بودند.

جدول 3. تأثیر پوشش‌دهی با مواد هیدروکلوئیدی بر بافت و شاخص‌های رنگی چیپس سیب‌زمینی

تیمارها	ماکزیمم نیروی برشی (گرم)	L*	a*	b*	C*	h*
2* صمغ عربی 0/5%	913/52±0/52^{b}	53/20±0/01^{a}	-3/52±0/02^{bc}	19/08±0/03^{c}	19/04±0/06^{c}	79/55±1/05^{a}
2* صمغ عربی 1%	912/16±0/96^{b}	59/13±0/06^{b}	-5/47±0/02^{ab}	23/21±0/63^{d}	23/88±0/85^{e}	76/81±3/7^{a}
2* صمغ عربی 1/5%	914/85±2/02^{b}	59/38±0/17^{b}	-4/32±0/07^{abc}	23/18±0/28^{d}	23/66±0/60de	78/04±4/6^{a}
4* صمغ عربی 0/5%	913/66±1/74^{b}	53/15±0/02^{a}	-4/05±0/04^{abc}	19/02±0/22^{c}	19/48±0/55^{c}	77/33±4/6^{a}
4* صمغ عربی 1%	908/92±1/17^{b}	58/65±1/66^{b}	-4/30±0/04^{abc}	19/04±0/10^{c}	19/57±0/46^{c}	79/54±5/92^{a}
4* صمغ عربی 1/5%	890/75±3/22^{a}	59/58±0/03^{b}	-5/99±0/02^{a}	22/98±0/03^{d}	23/02±0/03^{d}	77/65±0/75^{a}
2* پلی‌ساکاریدسویا0/5%	909/13±9/53^{b}	52/26±0/28^{a}	-2/36±0/26^{cd}	18/51±0/36^{ab}	18/67±0/46^{ab}	82/11±1/57^{a}
2* پلی‌ساکاریدسویا1%	907/55±4/61^{b}	58/72±0/33^{b}	-3/25±0/19^{bcd}	18/98±0/13^{c}	19/25±0/11^{bc}	80/29±0/59^{a}
2* پلی‌ساکارید 1/5%	907/55±4/61^{b}	59/59±0/06^{b}	-5/98±0/02^{a}	23/01±0/10^{d}	23/82±0/05^{e}	76/62±4/32^{a}
4* پلی‌ساکاریدسویا0/5%	913/82±1/47^{b}	53/02±0/01^{a}	-3/23±0/58^{bcd}	18/68±0/13^{bc}	18/96±0/14^{bc}	80/17±0/31^{a}
4* پلی‌ساکارید سویاد1%	895/08±4/93^{a}	64/62±0/43^{c}	-4/31±0/06^{abc}	18/94±0/15^{c}	19/46±0/51^{c}	77/25±4/32^{a}
4* پلی‌ساکاریدسویا1/5%	892/69±2/42^{a}	65/11±0/11^{c}	-6/16±0/04^{a}	23/16±0/04^{d}	23/92±0/04^{e}	76/60±4/32^{a}
2* فاقد پوشش	909/21±2/66^{b}	52/24±0/70^{a}	-1/22±0/01^{d}	18/12±0/02^{a}	18/17±0/02^{a}	80/63±1/09^{a}
4* فاقد پوشش	907/49±2/61^{b}	52/24±0/67^{a}	-1/25±0/01^{d}	18/13±0/05^{a}	18/18±0/00^{a}	80/40±0/54^{a}

حروف مشابه در هرستون نشان‌دهنده‌ی عدم معنی‌دار آماری در سطح احتمال خطای 5 درصد می‌باشد/ اعداد 2 و 4 کنار نمونه‌ها نشان دهنده زمان غوطه‌وری آنها در محلول هیدروکلوئیدی هستند.

جدول 4. نتایج آزمون حسی چیپس‌های پوشش داده شده با هیدروکلوئیدها در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش

تیمارها	شکل ظاهری	بافت	رنگ	مزه	بو	پذیرش کلی
2* صمغ عربی 0/5%	4/8±0/30^{a}	4/6±0/51^{a}	4/20±0/42^{a}	3/50±0/53^{a}	19/04±0/06^{c}	4/0±0/94^{a}
2* صمغ عربی 1%	4/8±0/30^{a}	4/8±0/48^{a}	4/70±0/48^{b}	3/50±0/53^{ab}	23/88±0/85^{e}	4/0±0/66^{a}
2* صمغ عربی 1/5%	4/8±0/40^{a}	4/8±0/42^{a}	4/90±0/31^{b}	4/70±0/48^{c}	23/66±0/60de	4/2±0/42^{a}
4* صمغ عربی 0/5%	4/8±0/30^{a}	4/8±0/42^{a}	4/30±0/48^{a}	3/90±0/31^{a}	19/48±0/55^{c}	4/3±0/67^{a}
4* صمغ عربی 1%	4/8±0/36^{a}	4/8±0/48^{a}	4/80±0/42^{b}	3/50±0/53^{ab}	19/57±0/46^{c}	4/1±0/73^{a}
4* صمغ عربی 1/5%	4/8±0/42^{a}	4/7±0/48^{a}	5/00±0/00^{b}	4/80±0/42^{c}	23/02±0/03^{d}	4/2±0/42^{a}
2* پلی‌ساکاریدسویا0/5%	4/8±0/39^{a}	4/8±0/42^{a}	4/90±0/32^{b}	3/40±0/52^{ab}	18/67±0/46^{ab}	3/9±0/57^{a}
2* پلی‌ساکاریدسویا1%	4/8±0/39^{a}	4/8±0/42^{a}	4/80±0/42^{b}	3/60±0/52^{ab}	19/25±0/11^{bc}	3/9±0/56^{a}
2* پلی‌ساکارید 1/5%	4/8±0/42^{a}	4/4±0/51^{a}	4/90±0/32^{b}	4/70±0/48^{c}	23/82±0/05^{e}	4/5±0/53^{a}
4* پلی‌ساکاریدسویا0/5%	4/8±0/38^{a}	4/6±0/51^{a}	4/70±0/48^{b}	3/50±0/53^{ab}	18/96±0/14^{bc}	3/9±0/31^{a}
4* پلی‌ساکارید سویاد1%	4/8±0/40^{a}	4/9±0/31^{a}	4/80±0/42^{b}	3/50±0/53^{ab}	19/46±0/51^{c}	4/0±0/67^{a}
4* پلی‌ساکاریدسویا1/5%	4/8±0/42^{a}	4/8±0/42^{a}	5/00±0/00^{b}	4/80±0/42^{c}	23/92±0/04^{e}	4/3±0/48^{a}
2* فاقد پوشش	4/6±0/40^{a}	4/4±0/60^{a}	4/20±0/48^{a}	3/50±0/53^{ab}	18/17±0/02^{a}	3/9±0/70^{a}
4* فاقد پوشش	4/7±0/48^{a}	4/4±0/69^{a}	4/17±0/43^{a}	3/50±0/49^{ab}	18/18±0/00^{a}	3/9±0/73^{a}

حروف مشابه در هرستون نشان‌دهنده‌ی عدم معنی‌دار آماری در سطح احتمال خطای 5 درصد می‌باشد/ اعداد 2 و4 کنار نمونه‌ها نشان دهنده زمان غوطه‌وری آنها در محلول هیدروکلوئیدی هستند.

• بحث

نتایج نشان داد که سیب‌زمینی آگریای متعلق به منطقه فریدن اصفهان که به عنوان ماده اولیه مورد استفاده قرار گرفت، به علت ماده خشک نسبتاً بالا (22/72درصد) برای تولید چیپس سیب‌زمینی مناسب است که مقدار ماده خشک اندازه‌گیری شده در این تحقیق نسبت به سایر گزارشات در مورد رقم آگریا بیشتر است (26، 25). از آن‌جایی که سیب‌زمینی با توجه به رقم و شرایط نگه‌داری دارای مقادیر مختلف پیش‌سازهای آکریل‌آمید هست (10) میزان قند احیا در سیب‌زمینی تحقیق حاضر (0/09 درصد) نیز بیشتر از مقدار اعلام شده در سایر تحقیقات می‌باشد (27) همچنین pH سیب‌زمینی برابر با 5/88 بود که این میزان در مقایسه با pH برخی دیگر از رقم‌های سیب‌زمینی‌ها کم‌تر است (10). عباسی و همکاران (27) نیز pH رقم آگریا را برابر 6/25 اعلام کردند که نسبت به نتایج تحقیق حاضر بیشتر است.

نتایج آزمایشات نشان داد که pH محلول‌های حاصل از صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا در بیشترین غلظت به ترتیب برابر با 5/22 و 5/51 و در کم‌ترین غلظت به ترتیب دارای pH 5/49 و 6/50 می‌باشند. به عبارت دیگر محلول‌های تهیه شده از صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا نسبتاً اسیدی بودند که میزان اسیدیته در محلول‌های تهیه شده از صمغ عربی بیشتر از پلی‌ساکارید محلول در آب سویا گزارش گردید ($p<0/05$) و در هر دو با افزایش غلظت، میزان pH کمتر شد.

تحقیقات نشان می‌دهد در صورت وجود اکسیژن اکسیداسیون حرارتی، سیب‌زمینی در طول سرخ کردن متحمل واکنش‌های شیمیایی زیادی مانند هیدرولیز و واکنش میلارد می‌شود (10، 9، 7) لذا بررسی ترکیبات آن بعد از فرآیند سرخ کردن به منظور ارزیابی کیفیت آن امری ضروری است.

تأثیر پوشش هیدروکلوئیدی بر محتوای رطوبت چیپس سیب‌زمینی: هیدروکلوئیدها به دلیل خاصیت سدکنندگی خود در برابر خروج رطوبت در حین سرخ شدن ماده‌ی غذایی مانع خروج رطوبت بافت از سطح چیپس بر اثر حرارت می‌شوند (28). نتایج حاصل از جدول 3 نشان داد که استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی سبب حفظ رطوبت چیپس سیب‌زمینی می‌شود ($p<0/05$) که نتایج آن مشابه نتایج سایر پژوهش‌گران در استفاده از محلول‌های هیدروکلوئیدی به عنوان پوشش‌دهنده‌ی سیب‌زمینی سرخ شده می‌باشد (30، 29، 14).

تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی بر درصد چربی چیپس سیب‌زمینی: از دلایل موفقیت دو نوع هیدروکلوئید مذکور در کاهش جذب روغن می‌توان گفت، دو مکانیسم اصلی در پدیده جذب روغن نقش دارند: تراکم بخار آب (کندانس شدن) و مکانیسم جذب موئینگی که در هر دو، روغن از طریق منافذی به درون ماده غذایی راه پیدا می‌کند. در فرآیند سرخ کردن آب از سطح ماده غذایی تبخیر و روغن جایگزین آن می‌شود به عبارت دیگر جذب روغن در فرآیند سرخ کردن یک پدیده‌ی

سطحی است (24). هیدروکلوئیدها با کاهش تعداد و اندازه منافذ سطحی سبب کم کردن جذب روغن می‌شوند (28). در واقع ایجاد پوسته متراکم‌تر با منافذ کوچک‌تر در سطح ماده غذایی توسط هیدروکلوئیدها فرآیند انتقال جرم را محدودتر کرده و جذب روغن را کاهش می‌دهد (24).

نتایج حاصل از جدول 3 نشان داد که استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی به طور معنی‌داری باعث کاهش جذب روغن نمونه‌های چیپس سیب‌زمینی می‌شود ($p<0/05$) که این نتیجه مشابه با نتایج سایر پژوهش‌گران در به کارگیری پوشش‌های هیدروکلوئیدی جهت کاهش چربی بود (28). همچنین تأثیر افزایش غلظت و زمان غوطه‌وری محلول‌های هیدروکلوئیدی بر کاهش جذب روغن با نتایج خضری پور عرب و همکاران در به کارگیری دو هیدروکلوئید صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا (16) و پوشش مالتودکسترین (30) بر خلال سیب‌زمینی مطابقت دارد.

تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی بر میزان قند احیا: میزان تغییرات قند احیا در چیپس سیب‌زمینی می‌تواند تحت تأثیر دو فرآیند کاهشی (شرکت در واکنش میلارد و تشکیل آکریل‌آمید) و افزایشی (تجزیه نشاسته) قرار گیرد (18). بدین ترتیب پوشش‌های هیدروکلوئیدی با افزایش رطوبت و رقیق کردن محیط حاوی پیش‌سازها و همچنین اسیدی کردن محیط مانع از واکنش میلارد شده (12) و به حفظ و افزایش قند احیا در نمونه‌های پوشش داده شده کمک کردند.

تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی بر میزان pH: Kotsiou و همکاران (4) در بین عوامل مؤثر بر تشکیل آکریل‌آمید علاوه بر میزان پیش‌سازها، دما و شرایط فرآیند حرارتی، به pH اجزای تشکیل دهنده فرمولاسیون چیپس سیب‌زمینی اشاره کردند. Anese و همکاران (11) نیز گزارش کردند که با استفاده از اسید سیتریک به همراه گلایسین و پروتئین سویای هیدرولیز شده باعث کاهش تشکیل آکریل‌آمید شدند.

تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی بر میزان آکریل‌آمید: نقش هیدروکلوئید در کاهش آکریل‌آمید می‌تواند به ابعاد مختلفی مرتبط شود. هر عاملی (pH، فعالیت آبی، دما، مدت زمان سرخ کردن و فرمولاسیون غذا) که بتواند واکنش میلارد را تحت تأثیر قرار دهد می‌تواند بر میزان تشکیل آکریل‌آمید اثرگذار باشد (14). غوطه‌وری برگه‌های سیب‌زمینی در محلولی با خاصیت اسیدی سبب ایجاد شرایطی می‌شود که در آن گروه آمین آسپاراژین با گرفتن پروتون‌ها و ایجاد آنیون مانع از واکنش آن با قند احیا می‌شود (11، 4). همچنین هیدروکلوئیدها با وجود قدرت نگهداری آب و افزایش رطوبت سبب کاهش تشکیل آکریل‌آمید می‌شوند. علاوه بر کاهش pH و افزایش رطوبت می‌توان به خاصیت آنتی اکسیدانی هیدروکلوئیدهای مورد استفاده اشاره کرد. آنتی‌اکسیدان‌ها بر واکنش میلارد تأثیر دارند بنابراین می‌تواند تشکیل آکریل‌آمید را تحت تأثیر قرار دهد (31). پلی ساکارید محلول در آب سویا دارای خاصیت ضد اکسیدانی بوده (32) و ثابت شده که این ماده می‌تواند از اکسیداسیون روغن‌ها و سایر مواد غذایی مستعد اکسایش جلوگیری کند با وجود این خاصیت، از اکسیداسیون آکروولئین که طی اکسید شدن لیپیدها به وجود می‌آید جلوگیری می‌کند و در نتیجه مانع از تشکیل آکریل‌آمید می‌شود (31). تفاوت بارز پلی ساکارید محلول در آب سویا با صمغ عربی در کاهش آکریل‌آمید، به خواص ویژه این پلی ساکارید مانند قدرت چسبندگی بالای آن برمی‌گردد. به عبارت دیگر، خاصیت تشکیل فیلم و چسبندگی خوب پلی ساکارید محلول در آب سویا (32) باعث شده که در تماس هر چه بیشتر با برگه نازک سیب‌زمینی قرار گیرد و بر میزان اسیدیته محیط و کاهش از دست‌دهی رطوبت اثرگذار باشد و با تشکیل پوششی یکنواخت بر سطح آن از جذب چربی و تشکیل ترکیبات حاصل از اکسیداسیون بکاهد. همچنین با برقراری پیوند با ملکول‌های آب و کاهش pH مانع از پیشرفت قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی میلارد می‌گردد.

موسویان و همکاران (14) با استفاده از هیدروکلوئیدهای کربوکسی متیل سلولز و کتیرا در غلظت‌های 0/3 و 0/7 درصد و با ترکیب‌های مختلف روغن جهت کاهش آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده به فرم خلال مشاهده کردند که هیدروکلوئیدها می‌توانند به طور معنی‌داری تشکیل آکریل‌آمید در چیپس را کاهش دهند و بهترین تیمار در پژوهش آن‌ها توانست آکریل‌آمید را به میزان 62/9 درصد کاهش دهد. Zeng و همکاران (13) گزارش کردند استفاده از پکتین، آلژینیک اسید و زانتان در مدل شیمیایی و خلال سیب‌زمینی می‌تواند سبب کاهش آکریل آمید شود. همچنین افزایش زمان غوطه‌وری در مورد هر سه نوع هیدروکلوئید به کار گرفته شده توانست به طور معنی‌داری سبب کاهش میزان تشکیل آکریل‌آمید گردد به طوری که اثر آن به مراتب بیشتر از غلظت محلول هیدروکلوئیدی بود که این نتیجه در راستای نتایج این تحقیق است. در واقع کاهش آکریل‌آمید به وسیله هیدروکلوئیدها یک فرآیند وابسته به غلظت و زمان غوطه‌وری است به طوری که با افزایش هر دو، مقدار کاهش آکریل‌آمید به طور چشم‌گیری تغییر پیدا می‌کند.

تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی بر ویژگی‌های فیزیکی(تردی) چیپس سیب‌زمینی: بیشترین تردی یا به عبارت دیگر کم‌ترین سختی به نمونه‌های پوشش داده شده با هیدروکلوئیدها در غلظت بالا اختصاص یافته بود. علت تردی کم‌تر نمونه‌های فاقد پوشش و سایر نمونه‌های پوشش داده شده دو پدیده‌ای است که هم‌زمان اتفاق می‌افتد: 1) تضعیف ساختار شبکه متشکل از لایه‌ی میانی و از دست رفتن چسبندگی بین سلولی 2) تضعیف دیواره‌ی سلولی در طول سرخ کردن. اما علت افزایش تردی نمونه‌های پوشش داده شده را می‌توان تشکیل ژل، ایجاد اتصالات عرضی و وجود فیلمی مقاوم بر سطح چیپس بیان کرد (33) که با نتایج Bouaziz و همکاران (34) در به‌کارگیری صمغ بادام و دارایی گرمه‌خانی و همکاران (35) در به کارگیری صمغ زانتان، گوار، کربوکسی-متیل‌سلولز و کتیرا مطابقت دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال تیمارهای هیدروکلوئیدی با در نظر داشتن زمان غوطه‌وری سبب تغییرات رنگ چیپس سیب‌زمینی در جهت مطلوب شده است. موسویان و همکاران (14) و دارایی گرمه‌خانی و همکاران (35) گزارش کردند که نمونه‌های پوشش داده شده با هیدروکلوئیدها دارای رنگ قرمز کم‌تری بوده و در آن‌ها تمایل به زردی و روشنایی بیشتر بوده است که با یافته‌های این تحقیق موافق است. با افزایش غلظت و زمان غوطه‌وری در هر دو هیدروکلوئید، شدت رنگ یا میزان اشباعیت (پارامتر*C) آن افزایش یافت. مقدار عددی پارامتر h* (رنگ) در نمونه‌های فاقد پوشش و پوشش داده شده بدون تفاوت معنی‌دار در سطح 5 درصد بود و میانگین عددی آن‌ها برابر 78/79 درجه است که نشان‌دهنده گرایش به رنگ زرد در تمام نمونه‌ها می‌باشد. به طور کلی پوشش‌دهنده‌های هیدروکلوئیدی سبب بیشترین افت در شاخص a* و بیشترین افزایش در مقدار عددی شاخص روشنایی (L*)، میزان گرایش به رنگ زردی (b*) و میزان اشباعیت (C*) رنگ نمونه‌های چیپس سیب‌زمینی شدند.

تأثیر پوشش‌های هیدروکلوئیدی بر ویژگی‌های حسی چیپس سیب‌زمینی: با توجه به جدول 4 آزمون ارزیابی حسی، پوشش‌دهی با هیدروکلوئیدها به خصوص در غلظت‌های بالا توانست مزه و رنگ نمونه‌های چیپس را علی‌رغم عدم تأثیر بر بافت، بو و شکل ظاهری در جهت بهبود تغییر دهد که این نتایج مشابه با نتیجه Bouaziz و همکاران (34) است. همچنین تأثیر مواد پوشش‌دهنده بر پذیرش کلی محصول ناچیز بود. پلی‌ساکارید محلول در آب سویا می‌تواند از نابودی مواد طعم‌دهنده به واسطه ویژگی آنتی اکسیدانی‌اش جلوگیری کند. خاصیت ضد اکسیدانی آن با پلی‌ساکاریدهای پکتیک که قسمت عمده پلی ساکارید محلول در آب سویا را به خود اختصاص دادند توجیه می‌شود بدین صورت که این ترکیبات سبب خنثی شدن رادیکال‌های آزاد می‌شوند (31) و مانع از تشکیل مواد بد بو در موادغذایی با چربی بالا می‌شود. به طور کلی پوشش‌دهی علاوه بر کاهش آکریل‌آمید و جذب روغن، در غلظت‌های بالا توانست سبب ارتقاء رنگ و مزه محصول بدون اثر منفی بر سایر پارامترهای حسی شود و در سایر غلظت‌ها نیز محصولی مشابه با نمونه چیپس فاقد پوشش تولید کند.

با وجود تاثیر تقریباً یکسانی که صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا در کاهش جذب روغن و ویژگی‌های حسی چیپس‌های سیب‌زمینی سرخ شده داشتند، ولی پلی‌ساکارید محلول در آب سویا، با غلظت 1/5 درصد و زمان غوطه‌وری 4 دقیقه، بیشترین میزان کاهش آکریل‌آمید را در نمونه‌ها در پی‌داشت که به همین دلیل پوشش مناسب‌تری جهت تولید چیپس با سلامتی و ایمنی بالا محسوب می‌شود.

یافته‌های این تحقیق نشان داد که میزان آکریل‌آمید به شدت می‌تواند تحت تأثیر پوشش‌دهی با صمغ عربی و پلی-ساکارید محلول در آب سویا قرار گیرد که این امر ناشی از ویژگی‌های ساختاری و عمل‌گرایی هیدروکلوئیدهای استفاده شده می‌باشد به طوری که مقدار آکریل‌آمید تمام تیمارها نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری داشتند. نتایج حاصل از پوشش‌دهی برگه‌های سیب‌زمینی و استفاده از روش استخراج با فاز جامد که ابزاری مناسب و رضایت‌بخش جهت جستجوی آکریل‌آمید بود نشان داد، هیدروکلوئیدهای صمغ عربی و پلی‌ساکارید محلول در آب سویا، علاوه بر داشتن خاصیت کنترل‌کنندگی میزان جذب روغن به دلیل کاهش اتلاف رطوبت، با استفاده از خواص دیگر خود نظیر کاهش pH، داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش رطوبت می‌توانند با سایر مواد کاهنده آکریل‌آمید رقابت کنند و جهت کاهش هم‌زمان این دو صفت نامطلوب در سیب‌زمینی سرخ شده استفاده شوند. کاهش چشم‌گیر میزان چربی و آکریل‌آمید، بدون ایجاد تغییرات منفی در خواص ارگانولپتیکی چیپس سیب‌زمینی حاکی از انتخاب مناسب غلظت هیدروکلوئیدها و زمان غوطه‌وری بود. همچنین به نظر می‌رسد بتوان از طریق افزایش زمان غوطه‌وری در مصرف هیدروکلوئیدها به ویژه در مقیاس صنعتی صرفه‌جویی کرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد پلی-ساکارید محلول در آب سویا به دلیل خواص ویژه خود مانند قدرت چسبندگی و تشکیل فیلم در سطح زیاد، خوراکی بودن و ایمن بودن و توانایی مناسب در کاهش میزان آکریل‌آمید،

می‌تواند به لیست مواد پوشش‌دهنده طبیعی جهت پوشش‌دهی فرآورده‌های سرخ شده سیب‌زمینی مستعد تشکیل آکریل آمید اضافه شود.

سپاسگزاری: از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان که هزینه‌های انجام این تحقیق را فراهم نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Gadiraju TV, Patel Y, Gaziano JM, Djoussé L. Fried food consumption and cardiovascular health: A review of current evidence. Nutrients 2015; 7(10):8424-30.

2. Mogol B. A, Gökmen V. Thermal process contaminants: acrylamide, chloropropanols and furan. Curr Opin Food Sci 2016; 7: 86-92.

3. Salazar R, Arámbula-Villa G, Vázquez-Landaverde PA, Hidalgo FJ, Zamora R. Mitigating effect of amaranth (Amarantus hypochondriacus) protein on acrylamide formation in foods. Food chem 2012; 135(4): 2293-8.

4. Kotsiou K, Tasioula-Margari M, Kukurová K, Ciesarová Z. Impact of oregano and virgin olive oil phenolic compounds on acrylamide content in a model system and fresh potatoes. Food Chem 2010; 123(4): 1149-55.

5. Hariri E, Abboud M. I, Demirdjian S, Korfali, S Mroueh, M, Taleb I. R. Carcinogenic and neurotoxic risks of acrylamide and heavy metals from potato and corn chips consumed by the Lebanese population. J Food Compost Anal 2015; 42: 91-7.

6. Wicklund T, Østlie H, Lothe O, Knutsen SH, Bråthen E, Kita A. Acrylamide in potato crisp—the effect of raw material and processing effect of raw material and processing. LWT-Food Sci Technol 2006; 39(5): 571-5.

7. Garayo J, Moreira R. Vacuum frying of potato chips. J Food Eng 2002; 55(2): 181-91.

8. Israilides C, Theodoros V. Strategies to reduce the formation of acrylamide in potato chips: A market and consumer’s prospective. Curr Res Nutr Food Sci J 2015; 3(1): 20-5.

9. Pedreschi F, Granby K, Risum J. Acrylamide mitigation in potato chips by using NaCl. Food Bioprocess Tech 2010; 3(6): 917-21.

10. Granda C, Moreira RG. Kinetics of acrylamide formation during traditional and vacuum frying of potato chips. J Food Process Eng 2005; 28(5):478-93.

11. Anese M, Bortolomeazzi R, Manzocco L, Manzano M, Giusto C, Nicoli MC. Effect of chemical and biological dipping on acrylamide formation and sensory properties in deep-fried potatoes. Food Res Int 2009; 42(1):142-7.

12. Li JM, Nie SP. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. Food Hydrocoll 2016; 53: 46-61.

13. Zeng X, Cheng K, Du Y, Kong R, Lo C, Chu I, Chen F, Wang M. Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. Food Chem 2010; 121(2): 424–8.

14. Mousavian D. S, Niazmand R, Sharayei P. Decreasing Acrylamide Formation in Fried Potato Slices Using Hydrocolloid Coatings and Bene Kernel Oil. J Agr Sci Tech 2015; Supplementary Issue, 17: 1725-34.

15. Hoseinabadi V, Badii F, Gharachorloo M, Heshmati A. Effects of blanching and hydrocolloid coating of potatoes with methyl cellulose and tragacanth on French-fries oil uptake and qualitative properties. Iran J Nutr Sci Food Tech 2012; 6(4): 71-81. [In Persian]

16. Khezripurarab M, Hojjati M, Samavati V. Effect of gum arabic and soybean soluble polysaccharide as coating agents on oil uptake and texture of French fries using Response Surface Methodology. J Food Res 2016; 25(4):623-38. [In Persian]

17. Hojjati M, Razavi SH, Rezaei K, Gilani K. Spray drying microencapsulation of natural canthaxantin using soluble soybean polysaccharide as a carrier. Food Sci Biotechnol 2011; 20(1): 63-9.

18. Gumul D, Ziobro R, Noga M, Sabat R. Characterisation of five potato cultivars according to their nutritional and pro-health components. Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria 2011; 10(1): 73-81.

19. International standard 3764 number, Chips- Specifications and test methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. [In Persian]

20. A.O.A.C. Official methods of analysis, 18th ed., Washington, DC: 2005. Association of Official Analytic Chemists.

21. Ogolla JA, Abong GO, Okoth MW, Kabira JN, Imungi JK, Karanja, PN. Levels of Acrylamide in Commercial Potato Crisps Sold in Nairobi County, Kenya. J Food Nutr Res 2015; 3(8): 495-501.

22. U.S. Environmental Protection Agency, SW 846, Test methods for evaluating solid waste, Method 8032A, Acrylamide by gas chromatography, Rev. 1. Washington, D.C: 1996.

23. PerkinElmer Life and Analytical Sciences. Available online at: http://perkinelmer.co.kr/files/GCA00007.pdf.

24. Akdeniz N, Sain S, Sumnu G. Functionality of batters containing different gums for deep fat frying of carrot slices. J Food Eng 2006; 75(4): 522-6.

25. Khoushtinat KH, Kavousi P, Zandi P. Determination of shelf life of potato chips fried in blends of palmolein, sunflower and cottonseed oils. J Agr Eng Res 2007; 7(29): 59-70. [In Persian]

26. Basuny AM, Mostafa DM, Shaker AM. Relationship between chemical composition and sensory evaluation of potato chips made from six potato varieties with emphasis on the quality of fried sunflower oil. World J. Dairy Food Sci 2009; 4(2): 193-300.

27. Abbasi KS, Masud T, Ali S, Mahmood T, Hussain A, Liaquat M, Jahangir M. Quality of potato chips as influenced by Aloe Vera coating. J Food Nutr Res 2015; 3(3):157-61.

28. Yu L, Li J, Ding S, Hang F, Fan L. Effect of guar gum with glycerol coating on the properties and oil absorption of fried potato chips. Food Hydrocoll 2016; 31(54): 211-9.

29. Sarmadizadeh D, Badii F, Ehsani MR, Maftoonazad N, Goodarzi F. Effects of soy-protein isolate coating on the properties of French fries using response surface methodology. Iran. J Nutr Sci Food Technol 2010; 6(2):75-.86. [In Persian]

30. Khezripurarab M, Hojjati M, Samavati V. Effect of maltodextrin coating on properties of french fries using Response Surface Methodology Iran. J Food Sci Technol 2017; 13(60): 25-36. [In Persian]

31. Serpen A, Gökmen V. Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color. J Food Compost Anal 2009; 22(6): 589-95.

32. Maeda H, Phillips G. O, Williams P. A. Soluble soybean polysaccharide. Phillips G. O, Williams P. A, editors. Handbook of hydrocolloids. Woodhead Publishing Ltd. UK; 2000: 309-20.

33. Khalil AH. Quality of French fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. Food Chem 1999; 66(2):201-18.

34. Bouaziz F, Koubaa M, Neifar M, Zouari-Ellouzi S, Besbes S, Chaari F, et al. Feasibility of using almond gum as coating agent to improve the quality of fried potato chips: evaluation of sensorial propertiesLWT-Food Sci Technol 2016; 65:800-7.

35. Daraei Garmehkhani A, Mirzaei H, Kashaninezhad M, Maghsoudlou Y. Use of hydrocolloids as edible covers, to produce low fat potato chips. J Agric Sci Natur Resour 2008; 15(6):170-5 [In Persian].

Effect of Hydrocolloid Coatings in Preventing Acrylamide Formation and Reducing Oil Uptake in Potato Chips

Torabi[1] R, Hojjati M[2], Barzegar M[3], Jooyandeh H[4]*

1- *MSc. Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran*

2- **Corresponding author: Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran. E-mail: hojjati@ramin.ac.ir*

3- *Professor, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modaress University, Tehran, Iran*

4- *Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran*

Received 9 Aug, 2016 **Accepted 24 Nov, 2016**

Background and Objectives: Acrylamide is carcinogenic in humans, which is found mainly in plant starchy foods. Potato chips and French fries have higher levels of acrylamide compared to other foods. With respect to consumption at high level of potato chips in the world and growing interested people in healthy food, the aim of this study was to evaluate the potential of natural coatings to reduction of acrylamide formation in potato chips during the frying process.

Materials and Methods: The effect of soluble soybean polysaccharide and Arabic gum as coating_hydrocolloids (in 0.5, 1 and 1.5% concentration levels and 2 and 4 minute of immersion time) on acrylamide formation, the moisture loss, fat absorption, changes in texture, color and sensory attributes of potato chips were investigated. Solid phase extraction and GC-FID were applied to the acrylamide extraction of potato chips and to analyze the procedures.

Results: The results showed that as concentration and immersion time increased, moisture of the chips was increased and their fat content was reduced simultaneously. The sliced potatoes submerged in soluble soybean polysaccharide and Arabic gum solution at 1.5 % concentration and 4 minute showed 79.94% (highest reduction) and 44.52% suppression of acrylamide, respectively. The maximum oil reduction was done by soluble soybean polysaccharide (1.5% con., 4 min) in 53.01% (based on wet weight). Also coating agents increased crispness and color indices, and improved the sensory characteristics such as color and taste.

Conclusion: Due to the significant effect of coating agents on reduction of acrylamide formation, pre-treating potato with edible hydrocolloids, especially soluble soybean polysaccharide before deep fat frying can be considered as suitable method to reduce acrylamide formation and oil absorption of potato chips.

Keywords: Solid phase extraction, Deep fat frying, Soluble soybean polysaccharide, Arabic gum