

## کاهش آکریل آمید در سیب زمینی سرخ کرده تحت پیش تیمارهای مختلف

طلا رهبرایمانی<sup>۱</sup>، لیلا روفه‌گری‌نژاد<sup>۲\*</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲\*. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

\*نویسنده مسئول: l.roufegari@iaut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۹۴/۱۰/۶ پذیرش نهایی: ۹۵/۲/۱۵)

### چکیده

آکریل آمید در طی فرایندهای حرارتی بالا در مواد غذایی غنی از کربوهیدرات تشکیل می‌گردد. به دلیل اثرات سوء آن بر سلامتی انسان، پیشگیری و کاهش احتمال ایجاد این ترکیب در طی فرآوری مواد غذایی از جهت ایمنی مصرف‌کننده اهمیت زیادی دارد. با توجه به و مصرف بالای سیب‌زمینی سرخ‌کرده و فراوانی آکریل آمید در آن، هدف این تحقیق، تعیین اثر پیش تیمارهای مختلف (آنزیم‌بری در آب مقطر، غوطه‌وری در محلول کلرید کلسیم (۰/۵ و ۱ درصد) و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز (۱ درصد) بر کاهش آکریل آمید و ویژگی‌های حسی سیب‌زمینی سرخ‌شده می‌باشد. اندازه‌گیری محتوای آکریل آمید سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده در ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه، توسط کروماتوگرافی گازی با آشکارساز یونی شعله‌ای (GC-FID) صورت گرفت. نتایج نشان داد پیش تیمارها هر یک به تنهایی و به صورت ترکیبی به‌طور قابل توجهی از تشکیل آکریل آمید در نمونه‌ها به میزان متغیر ۲۷ تا ۹۰ درصد جلوگیری کردند. بیشترین کاهش آکریل آمید در نمونه‌های تهیه شده با ترکیب سه پیش تیمار مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). نمونه آنزیم‌بری شده، غوطه‌وری شده در کلرید کلسیم (۰/۵ درصد) و پوشش‌دهی شده با کربوکسی متیل سلولز نیز بالاترین امتیاز را از نظر ویژگی‌های حسی کسب کرد ( $P < 0.05$ ). به‌طور کلی اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر روی مقدار آکریل آمید سیب‌زمینی‌های سرخ کرده معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ) و به‌نظر می‌رسد با تلفیق این روش‌ها، بتوان محصولی با سطح سلامتی بالاتری تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: آکریل آمید، آنزیم‌بری، سیب‌زمینی، کربوکسی متیل سلولز، کلرید کلسیم

## مقدمه

سرطان‌های مرتبط با تغذیه، به دلیل وجود آکريل آميد در مواد غذایی می‌باشد. مطالعات و تحقیقات مختلف تومورزایی این ماده در غده تیروئید، پانکراس، کلیه، روده بزرگ، رحم و پستان را در موش و انسان تصدیق می‌نمایند و ایجاد اختلالات در سیستم عصبی توسط آکريل آميد نیز به اثبات رسیده است (Amrein, 2005; Keramat et al., 2011; Praegitzer, 2011). تحقیقات نشان داده است که آکريل آميد (۲ پروپن آميد) یک ترکیب شیمیایی سمی و سرطان‌زا است که در غذاهای غنی از کربوهیدرات و حاوی پروتئین کم، که در دماهای بالاتر از ۱۲۰ درجه سلسیوس فرآوری شده‌اند، تشکیل می‌شود (Michalak et al., Boegl et al., 2006). نتایج بررسی‌های انجام شده در زمینه مقدار آکريل آميد موجود در غذاهای مختلف توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا (Food and Drug Administration/FDA) و سازمان‌های غذایی چندین کشور مشخص کرد که این آلاینده به‌طور گسترده در بسیاری از گروه‌های غذایی مانند فرآورده‌های سبب زمینی سرخ شده مانند چپس و سبب زمینی سرخ کرده، فرآورده‌های غلات پخته شده مانند بیسکویت، نان، غلات صبحانه برشته شده، شیرینی‌ها و قهوه وجود دارد (Arvanitoyannis & Dionisopoulou, 2014; Zhang et al., 2005). آکريل آميد در فرآورده‌های سبب زمینی مانند چپس و سبب زمینی سرخ کرده فراوان‌تر از دیگر غذاهای فرآوری شده می‌باشد، به طوری که در سبب زمینی سرخ کرده مقادیر نسبتاً بالایی از آکريل آميد (۴۲۴ میکروگرم در هر کیلوگرم) گزارش شده است در حالی که سبب زمینی‌های پخته

امروزه صنعتی شدن تولید مواد غذایی و روشن شدن تأثیر تغذیه بر روی سلامت جسمی و روحی باعث شده است که بخش قابل توجهی از بیماری‌ها به مصرف مواد غذایی ناسالم ارتباط داده شود (Daraei Garmakhany et al., 2010). در بین اثرات زیانبار متعدد، ترکیبات وارد شده از طریق مواد غذایی که پتانسیل بالقوه سرطان‌زایی دارند، بسیار مورد اهمیت قرار دارند (Zeng, 2010). آکريل آميد یکی از این ترکیبات می‌باشد که قبل از شناخته شدن آن در مواد غذایی، منبع اصلی دریافت آن علاوه بر محیط‌های کارگری مرتبط با تولید آکريل آميد، دخانیات و آب آشامیدنی ذکر گردیده است (Wong et al., 2014). این یافته که غذا مهم‌ترین منبع دریافت آکريل آميد برای انسان می‌باشد، نگرانی وسیعی را در سطح بین‌المللی به دنبال داشته است، زیرا سازمان بین‌المللی تحقیقات سرطان در سال ۱۹۹۴ آکريل آميد را به‌عنوان یک ماده سرطان‌زای احتمالی برای انسان معرفی کرد و سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (Food and Agriculture Organization/FAO) و سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization/WHO) متوسط میزان دریافت روزانه آکريل آميد در کشورهای پیشرفته را بین ۰/۳ تا ۲ میکروگرم به ازای کیلوگرم وزن بدن تخمین زده‌اند (میانگین وزن ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است) و این در حالی است که حداکثر میزان دریافت آکريل آميد، ۱ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز توصیه شده است (Mestdagh, 2007). سازمان جهانی بهداشت اعلام کرده است که یک سوم از

(Pedreschi, 2008; Knol, 2008). بررسی‌های کمیته مشترک متخصصان سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد و سازمان جهانی بهداشت افزودنی‌های غذایی (Joint (FAO/WHO) Expert Committee on Food Additives/JECFA) تأیید نمود که آکریل‌آمید آلاینده غیرعمدی است که در طول پخت ایجاد می‌شود و حذف آن از غذا غیرممکن به نظر می‌رسد. با توجه به توسعه روزافزون صنایع تولید فرآورده‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده و مصرف بالای این محصولات در جهان، این کمیته توصیه نمود که صنایع غذایی باید به سمت کاهش مقدار آکریل‌آمید در گروه‌های غذایی محتمل مانند چیپس و سیب‌زمینی سرخ‌کرده پیش رود و این رهنمود باید برای کمک به مصرف‌کنندگان به‌منظور کاهش مقادیر تولید شده در غذاهای خانگی گسترش یابد (Pedreschi & Zuñiga, 2009).

تشکیل آکریل‌آمید در مواد غذایی تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد: از جمله درجه حرارت، زمان فرآیند، غلظت واکنش‌دهنده‌هایی مانند آسپاراژین و قندهای احیاکننده، مقدار رطوبت و مقدار روغن مورد استفاده برای سرخ کردن و... (Knol, 2008; Pedreschi, 2008). با توجه به اهمیت سلامت و ایمنی مصرف‌کنندگان، پژوهش‌های متعددی در زمینه کاهش میزان آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ‌شده صورت گرفته است که می‌توان تأثیر غوطه‌وری تکه‌های سیب‌زمینی در آب (Morales et al., 2008; Pedreschi et al., 2007)، آنزیم‌بری با محلول کلریدکلسیم (Gökmen and Şenyuva, 2007; Lindsay and Jang, 2005) و پوشش‌دهی با صمغ‌های مختلف (Zeng et al., 2010);

با توجه به مطالب عنوان شده، در این پژوهش اثر پیش‌تیمار آنزیم‌بری، غوطه‌وری در محلول کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز به دو صورت مستقل و متقابل بر کاهش محتوای آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده بررسی و ویژگی‌های حسی محصول در راستای تولید فرآورده‌ای سالم و افزایش ایمنی و سلامتی مصرف‌کننده ارزیابی گردید.

#### مواد و روش‌ها

##### - مشخصات سیب‌زمینی و روغن مورد استفاده

برای تهیه نمونه‌های آزمایشی سیب‌زمینی رقم آگریا تهیه و تا زمان آزمایش در دمای ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. برای سرخ کردن نمونه‌ها از روغن مایع مخصوص سرخ‌کردنی نینا (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، سویا، پنبه دانه و کلزا) استفاده شد. کربوکسی متیل سلولز مورد استفاده متعلق به شرکت سانروس ژاپن بود. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده متعلق به شرکت مرک آلمان بودند.

##### - انجام پیش‌تیمارها و آماده‌سازی نمونه‌ها

سیب‌زمینی‌ها پس از شستشو و پوست‌گیری، به قطعاتی با ابعاد ۵×۱×۱ سانتی‌متر برش داده شده و به منظور حذف نشاسته سطحی به مدت ۱ دقیقه در آب مقطر شستشو و خیس‌انده شدند و آب اضافی سیب‌زمینی‌ها با استفاده از کاغذ صافی گرفته شد. سپس مقدار ۵۰ گرم سیب‌زمینی تحت پیش‌تیمارهای

پوشش دهی، نمونه‌ها در محلول کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد در دمای اتاق به مدت ۶۰ دقیقه و با نسبت ۳ به ۱ غوطه ور شدند (Christova *et al.*, 2012). سرخ کردن نمونه‌های آماده شده، تحت دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و مدت ۷ دقیقه انجام و پس از انجام هر تیمار، روغن تعویض گردید.

مختلف (مطابق با جدول ۱) قرار گرفت. آنزیم‌بری نمونه‌ها، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۸۰ دقیقه انجام شد. برای پيش تیمار غوطه‌وری در کلرید کلسیم، سيب زميني‌ها به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در محلول‌های کلرید کلسیم با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد وزنی-وزنی غوطه‌ور شدند. برای

جدول (۱)- ترکیب تیمارهای تهیه شده

شماره تیمار	آنزیم‌بری با آب	غوطه‌وری در کلرید کلسیم (%)	پوشش‌دهی با CMC/۱
۱	+	۰	+
۲	+	۰	-
۳	+	۰/۵	+
۴	+	۰/۵	-
۵	+	۱	+
۶	+	۱	-
۷	-	۰	+
۸	-	۰	-
۹	-	۰/۵	+
۱۰	-	۰/۵	-
۱۱	-	۱	+
۱۲	-	۱	-

علامت - و + به ترتیب به معنی به کارگیری و عدم به کارگیری روش‌های مندرج در جدول می‌باشد.

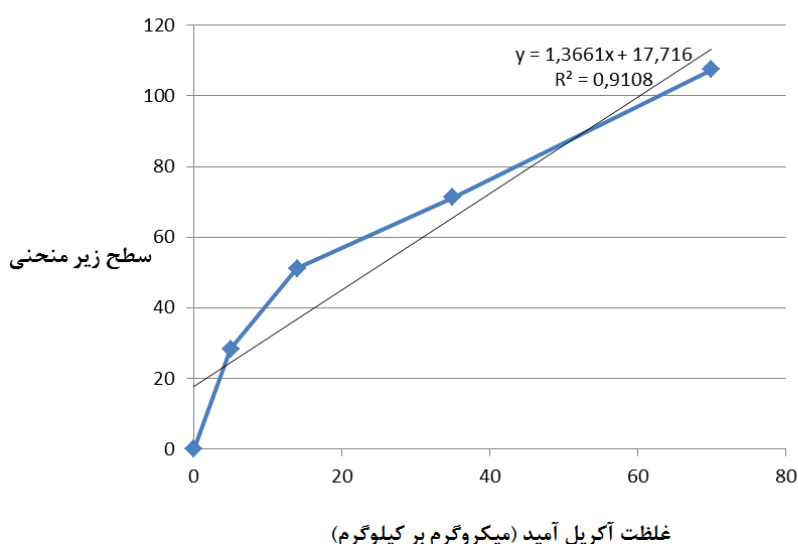
#### - آنالیز محتوای آکريل آميد نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری میزان آکريل آميد تشکیل شده در نمونه‌ها، ۱ گرم از سيب زميني‌های سرخ‌شده خرد و همگن شده با ۱۰ میلی‌لیتر محلول آب و ۰/۱ درصد اسید فرمیک به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط شد و سپس در دمای ۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت

۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. فاز رویی (supernatant) توسط سرنگ نایلونی ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر و برای خالص‌سازی (Clean up) و آنالیز ذخیره شد. برای خالص‌سازی بهتر آنالیت، ۲ میلی‌لیتر محلول نهایی از کارتریج استخراج فاز جامد (Solid-phase extraction /SPE) (نوع Oasis HLB, 3 ml/60 mg) استخراج

گردید: دمای ستون در ابتدا به مدت ۰/۵ دقیقه در ۱۰۰ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد. سپس دما با سرعت ۱۵ درجه سلسیوس بر دقیقه افزایش یافت تا دمای ستون به ۲۰۵ درجه سلسیوس برسد. گاز هلیوم به عنوان گاز حامل با فشار ثابت ۰/۷ مگاپاسکال با سرعت خطی ۱/۴ میلی لیتر در دقیقه در داخل ستون جریان داشت. مقادیر آکریل آمید نمونه‌ها از طریق منحنی کالیبراسیون حاصل از تزریق نمونه‌های استاندارد آکریل آمید با خلوص ۹۹/۸ درصد در غلظت‌های ۵، ۱۴، ۳۵ و ۷۰ میکروگرم بر کیلوگرم رسم شد و سطح زیر منحنی‌های به دست آمده محاسبه گردید (شکل ۱).

Waters، آمریکا) عبور داده شد. سپس شستشوی کارتریج ابتدا با ۱-۰/۵ ۰/۵ میلی لیتر آب و سپس با ۲ میلی لیتر استون انجام شد (Perkin, 2004). مقدار ۱ میکرولیتر از محلول حاصل از فرآیند SPE با استفاده از سرنگ ویژه تزریق به دستگاه کروماتوگرافی گازی با آشکارساز یونی شعله‌ای (Gas /GC-FID) مدل 68-20 (Agilent، آمریکا) به صورت خالص تزریق شد. ستون استفاده شده در این دستگاه از نوع موئین (HP5) به طول ۳۰ متر، قطر ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر بود. دمای محفظه تزریق ۲۳۰ درجه سلسیوس و دمای آشکارساز ۲۶۰ درجه سلسیوس و برنامه دمایی آن به شرح ذیل تنظیم



شکل (۱) - منحنی کالیبراسیون آکریل آمید به همراه معادله محاسبه آن

**- ارزیابی حسی نمونه‌های سیب زمینی سرخ شده**

در این تحقیق از ۳۰ نفر از دانش‌آموزان ابتدایی برای انجام ارزیابی حسی استفاده شد. برای ارزیابی کیفیت نمونه‌های سیب زمینی سرخ شده و تعیین میزان پذیرش نمونه‌های تولید شده از آزمون هدونیک پنج نقطه‌ای استفاده شد. نمونه‌های سیب زمینی در ظروف یک‌بار مصرف با شماره‌های سه رقمی تصادفی مشخص و روی میز به صورت کاملاً تصادفی چیده شدند. قبل از انجام هر آزمون به هر ارزیاب راهنمایی لازم در مورد نحوه انجام آزمون و مصرف کراکر و آب ولرم بعد از صرف هر نمونه ارائه گردید. شاخص‌هایی که توسط ارزیابان مورد ارزیابی قرار گرفت عبارت بودند: بافت، طعم و رنگ. برای بافت خصوصیتی از قبیل تردی، برش پذیری در دهان و نداشتن چروکیدگی مدنظر ارزیابان قرار گرفت و در خصوص رنگ، یکنواختی، دارا نبودن تکه‌های سوخته و یا نپخته بررسی شد.

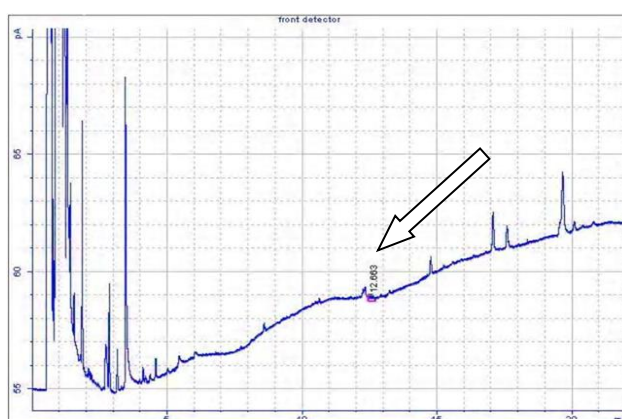
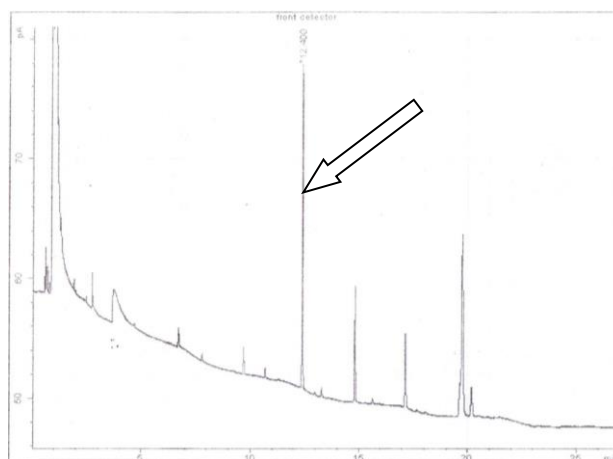
**- تجزیه و تحلیل آماری**

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها برای بررسی تأثیر پیش تیمارهای آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلرید کلسیم و پوشش دهی با کربوکسی متیل سلولز بر میزان آکريل آميد سيب زميني سرخ شده با آزمایش فاکتوریل (۲×۳×۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. داده‌های

حاصل از ارزیابی ویژگی‌های حسی نیز با آزمایش فاکتوریل (۲×۳×۲) در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل گردید. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ۹/۱ صورت گرفت. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال (P<۰/۰۵) انجام شد. به منظور رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ استفاده شد. در این تحقیق کلیه آزمایش‌ها در دو تکرار انجام گرفت.

**یافته‌ها****- نتایج اندازه‌گیری محتوای آکريل آميد نمونه‌ها**

با توجه به مطالعات قبلی انجام شده، انتظار می‌رود مقدار آکريل آميد با انجام پیش تیمارهای مختلف نسبت به انواع شاهد کاهش یابد. در شکل (۲) نمونه‌ای از کروماتوگرام مربوط به آنالیز نمونه‌ها و استاندارد آکريل آميد نشان داده شده است که به وضوح کاهش سطح زیر منحنی پیک مربوط به آکريل آميد در مقایسه الگوی کروماتوگرافی نمونه استاندارد آکريل آميد با سيب زميني سرخ شده دارای پیش تیمار مشاهده می‌شود. همچنین زمان ماند (Retention Time) برای اندازه‌گیری آکريل آميد ۱۲±۰/۰۱۵ دقیقه تعیین گردید.



شکل (۲) - کروماتوگرام GC-FID بدست آمده برای آکریل آمید استاندارد (بالا) و نمونه‌ها (پایین) پیک مربوط به آکریل آمید با پیکان نمایش داده شده است.

پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز بر روی میزان آکریل آمید معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0.05$ ). در بررسی اثرات متقابل نیز تنها اثر متقابل آنزیم‌بری و غوطه‌وری با کلرید کلسیم از نظر آماری معنی‌دار نبوده در حالی که سایر روش‌های ترکیبی اثرات متقابل قابل‌ملاحظه‌ای نشان داده‌اند.

جدول (۲) نتایج آنالیز واریانس و جدول (۳) مقایسه میانگین‌های تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف (آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز) بر میزان آکریل آمید سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن هستند که تأثیر اثرات اصلی آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلرید کلسیم و

جدول (۲) - آنالیز واریانس (میانگین مربعات) تأثیر پيش تیمارهای مختلف (آنزيم بری، غوطه وری در کلريد کلسيم و پوشش دهی با کربوکسی متیل سلولز) بر میزان آکريل آميد سيب زميني سرخ شده

منبع تغییر	درجه آزادی	محتوای آکريل آميد ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
آنزيم بری (A)	۱	۴۲۳۴/۹۷ <sup>oo</sup>
غوطه وری در کلريد کلسيم (B)	۲	۲۰۸/۷۷ <sup>o</sup>
پوشش دهی با کربوکسی متیل سلولز (C)	۱	۱۱۵۷/۷۷ <sup>oo</sup>
A×B	۲	۸۷/۴۵ <sup>ns</sup>
A×C	۱	۲۳۱/۶۶ <sup>o</sup>
B×C	۲	۱۸۶/۱۰ <sup>o</sup>
A×B×C	۲	۱۹۲/۲۴ <sup>o</sup>
خطا	۱۲	۳۴/۰۱
ضريب تغییرات	-	۲۰/۴۲

\*\* اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، \* اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد،  
ns اختلاف غیر معنی دار

جدول (۳) - مقایسه میانگین ها برای بررسی تأثیر تیمارها بر محتوای آکريل آميد سيب زميني سرخ شده

شماره تیمار	آنزيم بری با آب	غوطه وری در کلريد کلسيم (%)	پوشش دهی با ۱٪ CMC	محتوای آکريل آميد ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
۱	+	۰	+	۲۱/۱۳۲±۱/۲۲۷ <sup>ef</sup>
۲	+	۰	-	۲۸/۵۵۵±۰/۸۶۶ <sup>cde</sup>
۳	+	۰/۵	+	۶/۲۸۱±۲/۴۶ <sup>g</sup>
۴	+	۰/۵	-	۱۴/۷۹۰±۰/۲۴۹ <sup>fg</sup>
۵	+	۱	+	۶/۸۹۸±۰/۳۶۹ <sup>g</sup>
۶	+	۱	-	۱۳/۹۹۹±۰/۰۱۹ <sup>fg</sup>
۷	-	۰	+	۲۲/۷۱۷±۰/۴۸۵ <sup>def</sup>
۸	-	۰	-	۶۵/۱۷۹±۱۸/۹۷۱ <sup>a</sup>
۹	-	۰/۵	+	۳۶/۹۱۷±۰/۶۸۸ <sup>bc</sup>
۱۰	-	۰/۵	-	۴۷/۵۴۴±۵/۳۸۱ <sup>b</sup>
۱۱	-	۱	+	۳۵/۷۳۹±۰/۷۲۶ <sup>bcd</sup>
۱۲	-	۱	-	۴۲/۹۶۴±۳/۰۸۳ <sup>b</sup>

علامت - و + به ترتیب به معنی به کارگیری و عدم به کارگیری روش های مندرج در جدول می باشد.

#### - نتایج ارزیابی ویژگی های حسی

جدول ۴ نتایج آنالیز واریانس و جدول ۵ مقایسه میانگین های تأثیر پيش تیمارهای مختلف را بر

ویژگی های حسی سيب زميني های سرخ شده نشان می دهد. نتایج بیانگر آن هستند که تأثیر اثرات اصلی و مجزای آنزيم بری، غوطه وری در کلريد کلسيم و



پوشش دهی با کربوکسی متیل سلولز و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های حسی نمونه‌ها معنی‌دار بوده است.

جدول (۴) - آنالیز واریانس (میانگین مربعات) تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف (آنزیم‌بری، غوطه‌وری در کلرید کلسیم و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز) بر ویژگی‌های حسی سیب‌زمینی سرخ‌شده

منبع تغییر	درجه آزادی	بافت	طعم	رنگ
آنزیم‌بری (A)	۱	۹/۶**	۲/۴**	۴۵/۰۶**
غوطه‌وری در کلرید کلسیم (B)	۲	۹/۰۲**	۱۹/۰۲**	۲/۲۲**
پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز (C)	۱	۰/۶**	۰/۶**	۱۴۰/۴۳**
A×B	۲	۰/۳۵**	۲/۱۵**	۵/۷۷**
A×C	۱	۰/۶**	۰/۶**	۳۰/۵۸**
B×C	۲	۰/۳۵**	۰/۳۵*	۳/۲۸*
A×B×C	۲	۰/۳۵**	۰/۳۵*	۲۰/۷۵**
بلوک	۴	۳/۳۲**	۲/۶۷**	۶/۷۹**
خطا	۴۴	۰/۰۱۷	۰/۰۷۶	۰/۱۰۷
ضریب تغییرات	-	۳/۳۴	۷/۵۱	۱۰/۰۱**

\*\* اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، \* اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ns اختلاف غیر معنی‌دار

جدول (۵) - مقایسه میانگین‌ها برای بررسی تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های حسی سیب‌زمینی سرخ‌شده

شماره تیمار	آنزیم‌بری با آب	غوطه‌وری در کلسیم کلرید (%)	پوشش‌دهی با ۱٪ CMC	بافت	طعم	رنگ
۱	+	۰	+	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>b</sup>	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>b</sup>
۲	+	۰	-	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>b</sup>	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>b</sup>
۳	+	۰/۵	+	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۴/۸±۰/۴۴۷ <sup>a</sup>
۴	+	۰/۵	-	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>b</sup>	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>b</sup>
۵	+	۱	+	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>c</sup>	۲/۸±۰/۴۴۷ <sup>c</sup>	۴/۸±۰/۴۴۷ <sup>a</sup>
۶	+	۱	-	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>c</sup>	۲/۶±۰/۵۴۷ <sup>cd</sup>	۴/۴±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>
۷	-	۰	+	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>c</sup>	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۳/۴±۰/۵۴۷ <sup>bc</sup>
۸	-	۰	-	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۱±۰ <sup>e</sup>
۹	-	۰/۵	+	۳/۶±۰/۵۴۷ <sup>c</sup>	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۳±۰ <sup>c</sup>
۱۰	-	۰/۵	-	۳/۸±۰/۴۴۷ <sup>b</sup>	۴/۶±۰/۵۴۷ <sup>a</sup>	۲±۰ <sup>d</sup>
۱۱	-	۱	+	۲/۶±۰/۵۴۷ <sup>d</sup>	۲/۴±۰/۵۴۷ <sup>d</sup>	۳±۰ <sup>c</sup>
۱۲	-	۱	-	۲/۶±۰/۵۴۷ <sup>d</sup>	۲/۴±۰/۵۴۷ <sup>d</sup>	۲±۰ <sup>d</sup>

علامت - و + به ترتیب به معنی به کارگیری و عدم به کارگیری روش‌های مندرج در جدول ۱ می‌باشد. حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد.

## بحث و نتیجه گیری

### - محتوای آکريل آميد

به طور کلی مکانيسم هاي پيشنهاده شده جهت تأثير هيدروكلوئيدها بر کاهش آکريل آميد را می توان در موارد زیر خلاصه کرد: (۱) هيدروكلوئيدها با ايجاد لايه محافظ، انتقال حرارت در طول حرارت دهی را کاهش داده و منجر به کاهش آکريل آميد می شود، (۲) هيدروكلوئيدها بر واكنش پيش سازهاي آکريل آميد (قند و آمينواسيد) تأثير می گذارند، (۳) هيدروكلوئيدها با تغيير در مقدار آب (کاهش از دست دادن آب) محتوای آکريل آميد را کاهش می دهند زیرا در طول سرخ کردن، آکريل آميد در بخش هايی از مواد غذایی که حاوی آب کمتری است، بیشتر تشکيل می شود (Zengh et al., 2010).

محتوای آکريل آميد در نمونه هاي آنزيم بريد شده (۲۸/۵۵ میکروگرم آکريل آميد در كيلوگرم سيب زميني) در مقايسه با نمونه هاي آنزيم بريد نشده (۶۵/۱۷۹ میکروگرم در كيلوگرم) بود که منجر به کاهش ۵۶ درصدی آکريل آميد شد. دليل اين کاهش می تواند کاهش محتوای قند و اسپاراژين (ترکيبات اصلی برای تشکيل آکريل آميد) تکه هاي سيب زميني در طی آنزيم بريد باشد که در نهايت منجر به کاهش محتوای آکريل آميد بعد سرخ کردن می شود (Seal et al., 2008). آنزيم بريد طولانی مدت منجر به کاهش بیشتر مقدار قند و محتوای اسپاراژين قبل از سرخ کردن و به تبع آن کاهش بیشتر آکريل آميد تکه هاي سيب زميني بعد از سرخ کردن شده است. نه تنها گلوکز، بلکه محتوای اسپاراژين نیز با افزايش زمان آنزيم بريد به شدت کاهش

می يابد و در نتيجه محتوای آکريل آميد سيب زميني هاي سرخ کرده پس از سرخ کردن کاهش می يابد. همچنين آنزيم بريد باعث غير فعال شدن آنزيم هاي مؤثر در شکستن کربوهيدرات هاي موجود در ماده غذایی و توليد قندهاي پيش ساز آکريل آميد نیز می شود. اين نتيجه در راستای يافته هاي پدرسچی و همکاران (Pedreschi et al., 2004)، ويکلاند و همکاران (Viklund et al., 2010) و مرالس و همکاران (Morales et al., 2008) قرار داشت.

تکه هاي سيب زميني غوطه ور شده در محلول هاي کلريد کلسيم ۰/۵ و ۱ درصد در دمای ۲۵ درجه سلسيوس به مدت ۶۰ دقيقه به ترتيب حاوی ۴۴/۵۴۴ و ۴۲/۹۶۴ میکروگرم آکريل آميد در كيلوگرم سيب زميني می باشند که در مقايسه با نمونه شاهد مقدار آکريل آميد به ترتيب ۲۷ و ۳۴ درصد کاهش نشان می دهد که با يافته هاي پدرسچی و همکاران مطابقت داشت (Pedreschi et al., 2010). دليل اين اتفاق، کاهش پيش سازهاي آکريل آميد و کاهش pH نمی باشد، بلکه دليل آن می تواند حضور کاتيون هاي يک و دو ظرفيتی کلسيم باشد. کلسيم با اسپاراژين واكنش داده و از شکل گيري شيف (باز) اسپاراژين، و به اين ترتيب از تشکيل آکريل آميد، در طی حرارت دهی جلوگيري می کند. همچنين فعاليت آبي سطح تکه هاي سيب زميني بر مکانيسم تشکيل آکريل آميد در حين سرخ کردن تأثير می گذارد و ممکن است اين پيش تيمار منجر به کاهش فعاليت آبي شود و در نتيجه محتوای آکريل آميد کاهش يابد. به علاوه تحقيقات نشان داده است که کلريد کلسيم و کلريد سدیم جذب روغن را در حين سرخ

در کیلوگرم) در مقایسه با نمونه شاهد (۶۵/۱۷۹ میکروگرم در کیلوگرم) کاهش ۶۷ درصد در آکریل آمید مشاهده شد. تکه‌های سیب‌زمینی غوطه‌ور شده در محلول‌های کلرید کلسیم ۰/۵ و ۱ درصد و پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد (به ترتیب ۳۶/۹۱۷ و ۳۵/۷۳۹ میکروگرم در کیلوگرم) کاهش ۴۳ و ۴۵ درصدی آکریل آمید نشان دادند. تکه‌های سیب‌زمینی‌های آنزیم‌بری شده و غوطه‌وری شده در محلول کلرید کلسیم ۰/۵ و ۱ درصد نیز با داشتن مقدار آکریل آمید ۱۴/۷۹۰ و ۱۳/۹۹۹ میکروگرم در کیلوگرم به ترتیب منجر به کاهش ۷۷ و ۷۸ درصد آکریل آمید تکه‌های سیب‌زمینی سرخ شده نسبت به نمونه شاهد شدند. ترکیب سه پیش‌تیمار آنزیم‌بری، غوطه‌وری شده در محلول کلرید کلسیم (۰/۵ و ۱ درصد) و پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد با داشتن مقادیر آکریل آمید ۶/۱۸۲ و ۶/۸۹۸ میکروگرم در کیلوگرم در مقایسه با نمونه شاهد، به ترتیب منجر به کاهش ۹۰ و ۸۹ درصدی آکریل آمید تکه‌های سیب‌زمینی سرخ شده در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه شد که نشان‌دهنده کارایی بالای استفاده ترکیبی از چند پیش‌تیمار به عنوان مانع (هردل) در جلوگیری از تشکیل آکریل آمید در سیب‌زمینی سرخ شده می‌باشد.

پیش‌تیمار آنزیم‌بری منجر به بهبود بافت سیب‌زمینی سرخ شده شد و تأثیر منفی جزئی بر طعم سیب‌زمینی سرخ شده داشت، در حالی که این فرآیند باعث بهبود رنگ سیب‌زمینی سرخ شده شده است. در بین ویژگی‌های حسی، نمونه‌های آنزیم‌بری شده نسبت به

کردن کاهش می‌دهند که این امر نیز می‌تواند یک عامل مؤثر بر کاهش شکل‌گیری آکریل آمید در مواد غذایی سرخ شده باشد. مرالس و همکاران نیز بیان کردند غوطه‌وری در محلول سدیم کلرید ۰/۱ درصد قبل از سرخ کردن، منجر به کاهش ۹۰ درصدی آکریل آمید و ۲۷ درصدی مقدار روغن چپس‌ها می‌شود (Morales *et al.*, 2008). اسمیال و همکاران نیز با آنزیم‌بری تکه‌های سیب‌زمینی در محلول‌های کلرید کلسیم، کلرید منیزم، کلرید سدیم ۰/۱ مولار در دمای اتاق ۲۵ به مدت ۶۰ دقیقه، به این نتیجه رسیدند که مقدار آکریل آمید نمونه‌ها به ترتیب ۹۳/۴۳، ۸۸/۹۸، ۹۱/۴۱ درصد کاهش یافت و کلرید کلسیم تأثیر بیشتری در کاهش آکریل آمید داشت (Ismial *et al.*, 2013).

محتوای آکریل آمید در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز (۲۲/۷۱۷ میکروگرم در کیلوگرم) و در نمونه‌های فاقد پوشش (۶۵/۱۷۹ میکروگرم در کیلوگرم) بدست آمد که مقایسه این مقدار کاهش ۶۵ درصدی آکریل آمید در تکه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه را در طی پیش‌تیمار پوشش‌دهی نشان می‌دهد که مطابق با مطالعات زنگ (Zeng, 2010) و علی و همکاران (Ali *et al.*, 2012) بود. دلیل این مساله نیز عمل هیدروکلوئیدها به عنوان مانعی در برابر افت مقدار آب و کاهش جذب روغن در طی سرخ کردن و بنابراین کاهش مقدار آکریل آمید تشکیل شده می‌باشد.

در بررسی استفاده از پیش‌تیمارهای ترکیبی مشاهده شد تکه‌های سیب‌زمینی آنزیم‌بری شده و پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز ۱ درصد (۲۱/۱۳۲ میکروگرم

طبيعتاً اين نتايج با نتايج بدست آمده از اندازه گيري محتوای آکريل آميد مطابقت دارد زیرا یکی از مهم ترین مسيرهاي تشکيل آکريل آميد وقوع واکنش ميلارد می باشد که افزايش سرعت اين واکنش، رنگ را نيز دستخوش تغيير می کند. پيش تيمار غوطه وري در محلول کلريد کلسيم ۱ درصد به تنهائی و همراه با پوشش دهی با کربوکسی متيل سلولز کمترین امتياز بافت و طعم را به خود اختصاص داده است ( $P < 0.05$ ).

در خصوص تأثير پيش تيمار پوشش دهی با کربوکسی متيل سلولز بر روی بافت، تأثير منفي جزئی مشاهده شد و باعث سفت شدن مختصر بافت سيب زميني سرخ شده گرديد. در خصوص طعم و رنگ، ارزيابان حسی امتياز بیشتری برای سيب زميني های پوشش دهی شده با کربوکسی متيل سلولز در مقايسه با نوع غير پوشش دهی شده دادند. نتايج حاصله در مورد رنگ اين نمونه ها نيز منطبق با نتايج ارزيابی آکريل آميد می باشد زیرا پوشش دهی با کربوکسی متيل سلولز بر واکنش قهوه ای شدن ميلارد تأثير داشته و محتوای آکريل آميد کاهش می يابد که نهايتاً بهبود رنگ سيب زميني ها را باعث خواهد شد.

نتايج بدست آمده نشان داد أنزيم بري باعث کاهش معنی دار محتوای آکريل آميد در سيب زميني سرخ کرده شد، اما بر روی طعم محصول اثر نامطلوب داشت. تأثير غوطه وري در محلول های کلريد کلسيم بر کاهش محتوای آکريل آميد در سيب زميني سرخ کرده معنی دار بود اما اين کاهش تحت تأثير غلظت مورد استفاده قرار نداشت. برخلاف اين مسئله، ویژگی های حسی تحت تأثير غلظت کلريد کلسيم قرا گرفت و با افزايش غلظت

نمونه های آنزيم بري نشده فقط در مورد طعم امتياز پايين تری از سوی ارزيابان دريافت کرده اند که دليل اين مسئله به خاطر کاهش تردی نمونه های آنزيم بري شده به نرم شدن بافت در اثر حرارت دهی اوليه قبل از سرخ کردن مربوط می شود که مطابق با یافته های مرالس و همکاران بود (Morales et al.,).

پيش تيمار غوطه وري با کلريد کلسيم ۰/۵ درصد تأثير منفي چندانی بر بافت سيب زميني سرخ شده نمی گذارد ولی پيش تيمار غوطه وري در کلريد کلسيم ۱ درصد تأثير منفي بر بافت سيب زميني سرخ شده داشته و منجر به سفت شدن سيب زميني ها شده است. دليل اين مساله را می توان چنين تفسير کرد که پيش تيمار غوطه وري تکه های سيب زميني در محلول کلريد کلسيم قبل از سرخ کردن باعث فعال شدن آنزيم پکتين متيل استراز می شود و پيوند متيل با گروه کربوکسيل شکسته می شود و گروه کربوکسيل با کلسيم پيوند برقرار کرده و باعث استحکام بافت می شود. درنتيجه ساختار بافت سيب زميني در مقابل آسیب های فرآيند سرخ کردن توسط واکنش بين کلسيم و پکتين سيب زميني بهبود می يابد. پيش تيمار غوطه وري با کلريد کلسيم ۰/۵ درصد منجر به بهبود طعم سيب زميني سرخ شده می شود زیرا غوطه وري در کلريد کلسيم ۰/۵ درصد منجر به ايجاد مزه نمکی مطلوب می شود که نياز به نمک زنی بعد از پختن نخواهد داشت، ولی پيش تيمار غوطه وري در کلريد کلسيم ۱ درصد تأثير منفي بر طعم سيب زميني سرخ شده داشت زیرا باعث ايجاد پس مزه نامطلوب شده است. غوطه وري با کلريد کلسيم ۰/۵ و ۱ درصد باعث بهبود رنگ سيب زميني سرخ شده شده است که

آنزیم‌بری شده، غوطه‌وری شده در کلرید کلسیم ۰/۵ درصد و پوشش‌دهی شده با کربوکسی متیل سلولز به‌دست آمد. اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر مقدار آکریل‌آمید سیب‌زمینی‌های سرخ کرده معنی‌دار بود و به نظر می‌رسد که با تلفیق این روش‌ها بسته به شرایط واحدهای تولیدی بتوان محصولی با سطح ایمنی بالاتری تولید کرد.

افت طعمی و بافتی مشاهده گردید. پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز باعث کاهش محتوای آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ کرده شد اما بافت این سیب‌زمینی‌ها نیز در مقایسه با نوع پوشش‌دهی نشده، امتیاز نسبتاً کمتری را از ارزیابان دریافت کردند. به‌طور کلی، بیشترین کاهش در محتوای آکریل‌آمید بدون تأثیر نامطلوب بر روی ویژگی‌های حسی در تیمار

## منابع

- Ali, H., Abdel-Razek, A., Kamil, M. (2012). Effect of pre-frying treatments of French fried potatoes to achieve better oil uptake reduction for health and technological aspects. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(10): 5018-5024.
- Amrein, T. M. (2005). Systematic studies on process optimization to minimize acrylamide contents in food. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Diss ETH, (16311): 160.
- Arvanitoyannis, I. S., Dionisopoulou, N. (2014). Acrylamide: Formation, Occurrence in Food Products, Detection Methods, and Legislation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(6): 708-733.
- Boegl, P., Ciesarova, Z., Kiss, E. (2006). Impact of L-asparaginase on acrylamide content in potato products. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(4): 141-146.
- Christova, V., Tishkova, J., and Vrabcheva, T. (2012). Acrylamide in processed foods. *Bulgarian Journal of Chemistry*, 1(3): 123-132.
- Daraei Garmakhany, A., Mirzaei, H. O., Maghsoudlou, Y., Kashaninejad, M. and Jafari, S.M. (2010). Influence of partial drying on oil uptake & quality attributes of French fries. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 4(1): 41-47.
- Gökmen, V., Şenyuva, H. Z. (2007). Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 103(1): 196-203.
- Ismial, S. A. M. A., Ali, R. F. M., Askar, M., Samy, W. M. (2013). Impact of pre-treatments on the acrylamide formation and organoleptic evolution of fried potato chips. *American Journal of Biochemistry & Biotechnology*, 9(2): 90-101.
- Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., Soltanizadeh, N. (2011). Acrylamide in foods: chemistry and analysis. A review. *Food and bioprocess technology*, 4(3): 340-363.
- Knol, J. J. (2008). Kinetic modeling of acrylamide formation in aqueous reaction systems and potato crisps. Publisher not identified.
- Lindsay, R. C., Jang, S. (2005). Chemical intervention strategies for substantial suppression of acrylamide formation in fried potato products. In *chemistry and safety of acrylamide in food*. pp. 393-404).
- Mestdagh, F. (2007). Formation of acrylamide in potato products and its dietary exposure. Doctoral dissertation, Ghent University.
- Michalak, J., Gujska, E., Klepacka, J. (2011). The effect of domestic preparation of some potato products on acrylamide content. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(4): 307-312.

- Morales, F., Capuano, E., Fogliano, V. (2008). Mitigation strategies to reduce acrylamide formation in fried potato products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1126(1): 89-100.
- Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *LWT-Food Science and Technology*, 37(6): 679-685.
- Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K., Troncoso, E. (2007). Acrylamide reduction under different pre-treatments in French fries. *Journal of food engineering*, 79(4): 1287-1294.
- Pedreschi, F. (2008). Fried and dehydrated potato products. *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Academic Press. USA. pp, 319-337.
- Pedreschi, F., Zuñiga, R. N. (2009). Acrylamide and oil reduction in fried potatoes: a review. *Food*, 3(2): 82-92.
- Pedreschi, F., Granby, K., Risum, J. (2010). Acrylamide mitigation in potato chips by using NaCl. *Food and bioprocess technology*, 3(6): 917-921.
- Perkin, E. (2004). *Acrylamide Analysis by Gas Chromatography*. USA: PerkinElmer Life and Analytical Sciences, 20(10): 5-7.
- Praegitzer, S. M. (2011). *Acrylamide formation and mitigation in processed potato products (Doctoral dissertation, Kansas State University)*.
- Seal, C. J., De Mul, A., Eisenbrand, G., Haverkort, A. J., Franke, K., Wilms, L. (2008). Risk-benefit considerations of mitigation measures on acrylamide content of foods—a case study on potatoes, cereals and coffee. *British Journal of Nutrition*, 99(2): 1-46.
- Viklund, G. Å., Olsson, K. M., Sjöholm, I. M., Skog, K. I. (2010). Acrylamide in crisps: Effect of blanching studied on long-term stored potato clones. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(2): 194-198.
- Wong, W. W., Chung, S. W., Lam, C. H., Ho, Y. Y., Xiao, Y. (2014). Dietary exposure of Hong Kong adults to acrylamide: results of the first Hong Kong Total Diet Study. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(5): 799-805.
- Zhang, Y., Zhang, G., Zhang, Y. (2005). Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods: Review and recent developments. *Journal of Chromatography A*, 1075(1): 1-21.
- Zeng, X., Cheng, K. W., Du, Y., Kong, R., Lo, C., Chu, I. K. *et al.* (2010). Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. *Food Chemistry*, 121(2): 424-428.
- Zeng, X. (2010). *Preventive potential and mechanism study of food additives on the formation of acrylamide*. HKU Theses Online (HKUTO).

## Reduction of acrylamide under different pretreatments in French fries

Rahbar Imani, T.<sup>1</sup>, Roufegari-Nejad, L.<sup>2\*</sup>

1. M.Sc Graduate in Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Department of Food Sciences, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

\*Corresponding author email: l.roufegari@iaut.ac.ir

(Received: 2015/12/27 Accepted: 2016/5/4)

### Abstract

Acrylamide is formed in carbohydrate-rich foods during high temperature thermal processes. There are well-known biological effects from acute exposure to the high levels of acrylamide, so prevention or elimination of its formation is very important to achieve consumer safety. Due to the ever-increasing consumption of potato and high amount of acrylamide in this product and particularly in French-fried potato, the aim of this study was investigating the effect of different pre-treatments effect [blanching in water, immersion in a calcium chloride solution and coating with carboxymethyl cellulose (CMC)] on reduction of acrylamide content as well as sensory properties of the fried potato. In this regard, the the potato samples were fried in 150°C for 7 min and acrylamide content was measured by gas chromatography with flame ionization detection (GC-FID). The results showed that pre-treatments, either alone or in combination, prevented the formation of acrylamide content varying 27% to 90%, which was statistically significant ( $p < 0.005$ ). The maximum reduction of acrylamide content was observed in the samples prepared by the combination of three pretreatments. Likewise, the sample blanched, immersed in 0.5% calcium chloride solution and coated with CMC showed the highest score of sensory properties. Consequently, the interaction of the studied pretreatments on the amount of acrylamide content in fried potatoes was significant ( $p < 0.05$ ). It seems that the combination of these pretreatments could possibly results in a healthy product.

**Keywords:** Acrylamide, Blanching, Calcium chloride, Carboxymethyl cellulose, Potato