**مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران**
**سال هفتم، شماره ۵، ویژه‌نامه زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۹۴۷-۹۳۹**

مقاله مروری

# روش‌های مؤثر در کاهش تشکیل آکریلامید در محصولات سرخ شده سیب زمینی

محمدرضا کوشکی[۱]، مهدی محمدیان[۲]، پالیز کوهی کمالی[۳]

۱- نویسنده‌ی مسئول: استادیار گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: mr_koushki@yahoo.com

۲- کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد آزمایشگاه، گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

## چکیده

فرآیندهای حرارتی اگر چه با غیر فعال کردن میکروارگانیسم‌های مضر و آنزیم‌های نامطلوب سبب افزایش ماندگاری مواد غذایی می‌شوند ولی بطور ناخواسته باعث تولید آلاینده‌های شیمیایی خطرناکی چون آکریلامید در مواد غذایی می‌گردند، این ترکیب توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به عنوان "ترکیب سرطان‌زای احتمالی برای انسان" شناخته شد. FDA/WHO میزان دریافت روزانه آکریلامید را ۰/۳-۰/۸ µg/kg bw تعیین نمود. این در حالی است که مقدار آن در محصولات سرخ شده سیب‌زمینی ۱۵۰۰-۴۰۰ µg/kg گزارش شده است. با توجه به حداکثر تشکیل آکریلامید در محصولات سرخ شده سیب زمینی و بالا بودن مصرف این محصولات در کشور، با به کارگیری روش‌هایی چون انتخاب واریته مناسب، انبارمانی در دمای بالای $8^{\circ}C$، سرخ کردن تحت خلاء یا در دمای کمتر از $120^{\circ}C$، تخمیر لاکتیکی، خیساندن برگه‌های سیب‌زمینی در اسید استیک، سیتریک، گلیسین، هیدروکلوئیدها، نمک‌ها، آنزیم آسپاراژیناز، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها، می‌توان مقدار آکریلامید در محصولات سرخ شده سیب زمینی را به حداقل رساند.

**واژگان کلیدی:** آکریلامید، محصولات سرخ شده سیب زمینی، سرطان‌زایی

### مقدمه

اداره ملی غذای کشور سوئد (NFA) در آوریل سال ۲۰۰۲ وجود مقادیر بالای آکریلامید را در مواد غذایی غنی از کربوهیدرات اعلام کرد و متذکر شد که این ترکیب شیمیایی می‌تواند طی فرآیندهای حرارتی چون پختن، سرخ کردن و کباب کردن در بسیاری از مواد غذایی به وجود آید. تا قبل از کشف وجود آکریلامیدها در غذا تصور می‌شد که منبع اصلی دریافت آن علاوه بر محیط‌های کارگری تولید آکریلامید، دخانیات و آب آشامیدنی است. طبق مقررات، مقدار آن در آب آشامیدنی به ۰/۵ µg/kg محدود شد. امروزه این موضوع که غذا مهم ترین منبع دریافت آکریلامید برای انسان است نگرانی وسیعی را در سطح بین المللی به دنبال داشته است چرا که این ترکیب در سال ۱۹۹۴ توسط آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer) به عنوان ترکیب سرطان‌زای احتمالی برای انسان معرفی شده است، از آن زمان بررسی‌های مختلفی توسط FDA، EFSA و سایر سازمان‌ها صورت گرفت و معلوم شد که مقدار آکریلامیدها در چیپس سیب زمینی و سایر محصولات حاوی سیب زمینی سرخ شده، فراورده‌های نانوایی و قهوه از سایر مواد غذایی بالاتر است که حداکثر مقدار آکریلامید در سیب زمینی سرخ شده یافت می‌شود، FDA/WHO میزان دریافت روزانه آکریلامید در کشورهای پیشرفته را ۰/۳-۰/۸ µg/kg bw بیان کرده است، این در حالی است که مقدار آن در محصولات سرخ شده سیب‌زمینی ۱۵۰۰-۴۰۰ µg/kg گزارش شده است (۲، ۱).

آکریلامیدها یا ۲-پروپن آمیدها ترکیباتی بی بو، در دمای اتاق به صورت جامد کریستالی سفید رنگ و دارای حلالیت بالایی در آب می‌باشند. این ترکیبات طی واکنش میلارد در مواد غذایی حرارت دیده ایجاد می‌شوند، در این راستا گروه کربونیل قندهای احیاءکننده با گروه آمین

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]

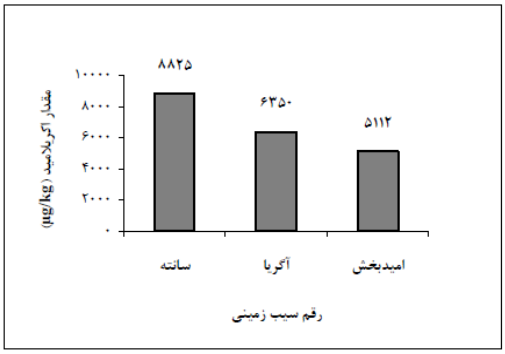
اسیدهای آمینه مخصوصاً آسپارژین آزاد وارد واکنش شده و واسطه باز شیف را ایجاد می‌کند که طی دکربوکسیلاسیون در مراحل بعدی منجر به تشکیل آکریلامید می‌شود. با توجه به سرطان‌زا بودن، ایجاد جهش سلولی، به وجود آوردن عیوب باروری در جنس مذکر، تضعیف سیستم ایمنی بدن و ایجاد اختلالات عصبی توسط این آلاینده شیمیایی، که اثرات آن نه تنها در حیوانات آزمایشگاهی بلکه در انسان هم به اثبات رسیده است و از طرف دیگر با توسعه روز افزون صنایع تولید محصولات سرخ شده سیب-زمینی و مصرف بالای این محصولات لازم است تا با اعمال شرایط مختلفی چون بهینه سازی خاک زراعی و کشت واریته‌هایی که میزان پیش سازهای آکریلامید (قندهای احیاء کننده و آسپارژین) در آنها کم است، دما و مدت زمان انبارمانی مناسب سیب زمینی، مهار پیش سازها توسط آنزیم‌ها، بهینه سازی فرآیند سرخ کردن از نظر دما و مدت زمان فراوری، انتخاب نوع روغن مناسب برای سرخ کردن، آنزیم‌بری برگه‌های سیب زمینی، تیمار با اسیدهای آلی، نمک‌های معدنی، اسیدهای آمینه و تخمیر لاکتیکی برگه‌های سیب زمینی قبل از فراوری و استفاده از آنتی اکسیدانها در حین سرخ کردن سیب زمینی، شرایط بهینه فراوری را فراهم کرد تا با حفظ کیفیت، طعم، رنگ و ارزش تغذیه‌ای میزان این آلاینده شیمیایی را در محصولات سرخ شده سیب زمینی کاهش داد (۲۲-۱).

## عوامل و روش‌های مختلف مؤثر در کاهش تشکیل آکریلامیدها در محصولات سرخ شدهٔ سیب زمینی

عوامل مؤثر بر کاهش تشکیل مقدار آکریلامید در محصولات سرخ شده سیب زمینی را می‌توان در دو مرحله قبل از فراوری و حین فراوری بررسی نمود.

**عوامل و روش‌های مؤثر قبل از فراوری:** اصلاح ژنتیکی در جهت تولید واریته‌هایی از سیب زمینی با میزان قند احیاءکننده و یا آسپارژین آزاد کمتر یا فاقد آن سبب کاهش تولید آکریلامید می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر خاک زراعی حاوی سولفور کمتری باشد مقدار اسید آمینه آسپارژین در سیب زمینی حاصل از این خاک کم بوده و بعد از فراوری مقدار کمتری آکریلامید تولید می‌کند. همچنین اگر خاک زراعی حاوی نیتروژن بیشتری باشد مقدار اسیدهای آمینه آزاد و پروتئین زیادتر شده و در موقع فراوری آکریلامید بیشتری در محصول ایجاد می‌شود (۴، ۳).

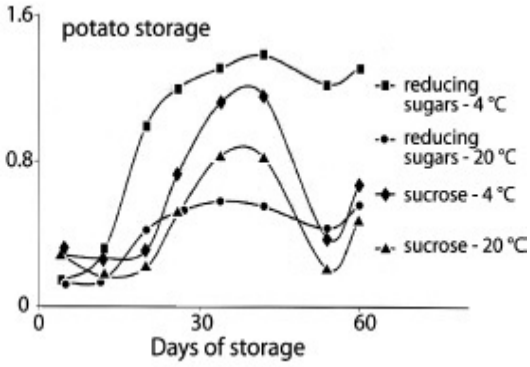
سه رقم سیب زمینی آگریا، سانته و امیدبخش برای تولید چیپس تحت دمای ۱۸۰°C برای ۴/۱۵ دقیقه مورد بررسی قرار گرفتند، مقدار قند احیاکننده در رقم سانته (۳۵۱۳ mg/kg)، در رقم آگریا (۲۱۱۱ mg/kg) و امیدبخش (۱۶۲۲ mg/kg) بود، بعد از فراوری بالاترین مقدار آکریلامید تشکیل شده در چیپس سیب زمینی رقم سانته بود (۸۸۲۵ µg/kg) و کمترین مقدار آکریلامید تشکیل شده در بین این سه رقم مربوط به امید بخش بود (۵۱۱۲ µg/kg) که نشان می‌دهد رقم‌های مختلف سیب زمینی قندهای احیاکننده مختلفی دارند و هر چه مقدار قند احیاءکننده بیشتر باشد در نهایت آکریلامید بیشتری در محصول ایجاد می‌شود (شکل ۱) (۱).




**شکل۱.** میزان تشکیل آکریلامید در چیپس حاصل از سه واریته مختلف سیب‌زمینی

سوکروز، گلوکز، فروکتوز و نشاسته از جمله قندهای موجود در سیب زمینی می باشند. در دمای بالاتر از۱۰°C، قندها و نشاسته در حال تعادل می‌باشند. در دمای زیر ۱۰°C قندهای احیاءکننده شروع به افزایش می‌کنند که این قندها هم می‌توانند در واکنش میلارد و هم در تشکیل آکریلامیدها شرکت کنند. انبارمانی نمونه‌ای از سیب زمینی ژاپنی برای مدت ۱۸ هفته نگهداری در دمای ۲، ۶، ۸، ۱۰و ۱۸ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفت. میزان قندهای احیاءکننده و آکریلامید، به طور معنی داری در دمای کمتر از ۸°C افزایش یافته بود، اما در طی نگهداری تغییری در میزان آسپارژین مشاهده نشده بود. در نمونه‌های سیب زمینی سوئدی علاوه بر قندهای احیاءکننده، مقدار آسپارژین هم در طی نگهداری در شرایط سرد افزایش یافته بود. در انبارمانی سیب زمینی باید دقت شود که دمای نگهداری سبب تشکیل قندهای احیاءکننده نشود با ایجاد چنین حالتی می‌توان دوباره سیب زمینی را در دمای اتاق قرار داد تا میزان قندهای احیاءکننده کاهش یابد (شکل ۲)(۴).

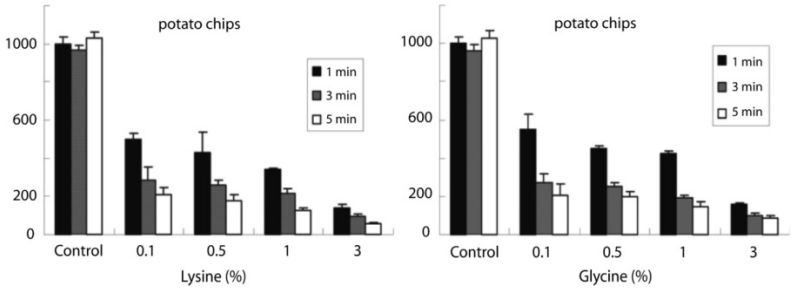
[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]




**شکل ۲.** اثر دمای انبارمانی سیب زمینی در تشکیل قندهای احیاءکننده (بر حسب g/100g)

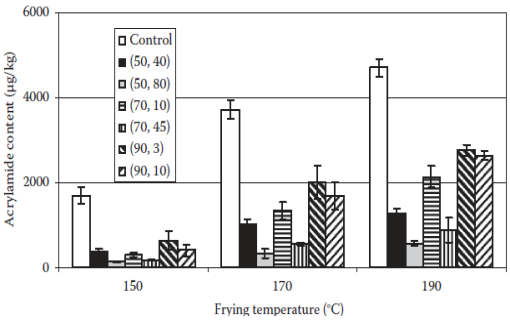
اضافه کردن ۱۴۰ میلی مول بر کیلوگرم از اسیدهای آمینه گلوتامین، آرژنین، لیزین، گلیسین و آسپارژین به سیستم گلوکز/آسپارژین و فراوری در دمای ۱۸۰ °C برای ۲۵ دقیقه نشان داده که گلوتامین ۷۰٪، آرژنین ۵۰ ٪، لیزین ۸۸٪، گلیسین ۹۱٪ باعث کاهش تشکیل آکریلامید می‌شوند در حالی که افزودن آسپارژین حدود دو برابر تشکیل آکریلامید را افزایش می‌دهد. در بررسی بر روی چیپس سیب زمینی، پیش فرآیند خلال‌های سیب زمینی با اسید آمینه‌ها نشان داده دو اسید آمینه گلیسین و لیزین بیشترین اثر را بر کاهش تشکیل آکریلامید داشته‌اند (شکل ۳).

اضافه کردن ۳۵ و ۲۴۰ میلی مول بر کیلوگرم فروکتوز به سیستم گلوکز/آسپارژین باعث شد به ترتیب مقدار آکریلامید ۴ و ۳ برابر افزایش یابد، در حالی که اضافه کردن همین مقدار گلوکز باعث افزایش حدود ۱/۶ و ۴ برابر در تشکیل آکریلامیدها شده است. . علت اینکه چرا در غلظت‌های بالای قند، تشکیل آکریلامیدها کمتر می‌شود، هنوز مشخص نشده است. نقش فروکتوز در تشکیل آکریلامیدها، ۲ برابر گلوکز در سیب زمینی می‌باشد. مطالعات نشان داده که سیب زمینی با محتوای ۱ گرم برکیلوگرم قند احیا کننده، در هنگام سرخ کردن تولید بیش از ۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم آکریلامید می‌کند که برای کاهش این مقدار، باید میزان قندهای احیاکننده کمتر از ۱ گرم بر کیلوگرم باشد (۵، ۴).




**شکل ۲.** مقدار تشکیل آکریلامید در برگه‌های سیب‌زمینی بر حسب µg/kg
(محور عمودی) خیسانده شده در درصدهای مختلف اسید آمینه‌های گلیسین و لیزین(محور افقی)

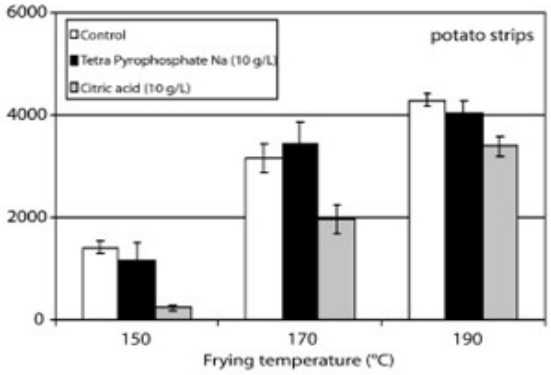
آنزیم‌بری برگه‌های سیب زمینی با آب داغ (۸-۱ دقیقه در دمای ۹۵°C) منجر به کاهش لگاریتمی در مقدار قندهای احیاء کننده، قند کل و میزان گلوکز می‌شود که این کاهش برای قندهای احیاء کننده ۶۲-۵۱ ٪ مقدار اولیه است. همچنین مقدار تشکیل آکریلامید در فرآیند آنزیم بری و سرخ کردن سطحی(shallow-fried) بعدی در دمای ۱۸۰°Cحدود ۴ برابر بیشتر از فرآیند آنزیم بری و سرخ کردن عمیق (deep-fried) در دمای ۱۹۰°C است(شکل ۴) (۶).




**شکل ۴.** اثر دما و زمان آنزیم بری بر روی مقدار آکریلامید در سه دمای مختلف سرخ کردن
(در مستطیل بالا عدد اول دما و عدد دوم زمان آنزیم بری)

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]

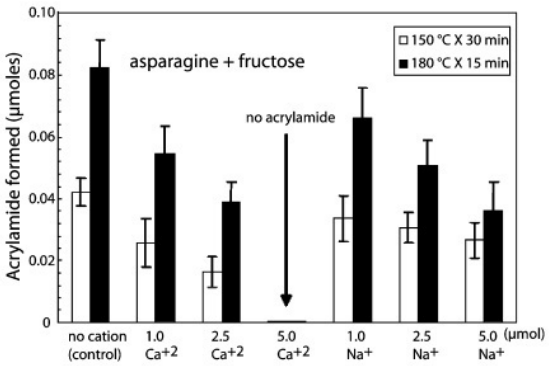
خیساندن برگه‌های سیب زمینی در محلول اسید استیک برای ۶۰ دقیقه در ۲۰°C و سرخ کردن بعدی آنها، منجر به ۹۰ ٪ کاهش در محتوای آکریلامید می‌شود که علت آن خروج اسیدهای آمینه‌ی آزاد و قندهای احیاءکننده در طی تیمار می‌باشد. خیساندن برگه‌های سیب زمینی در محلول ۱۰ g/L اسید سیتریک و ترا پیرو فسفات سدیم برای ۸۰ دقیقه در ۵۰°C منجر به کاهش دمای فراوری از ۱۹۰ به ۱۵۰ °C می‌شود که این عمل با خروج اسیدهای آمینه آزاد و قندهای احیاءکننده سبب کاهش مقدار آکریلامید می‌شود که نقش اسید سیتریک در جلوگیری از تشکیل آکریلامید از ترا پیرو فسفات سدیم بیشتر است(شکل ۵). اثربخشی اسید استیک از اسید سیتریک بیشتر است و همچنین خیساندن برگه‌های سیب-زمینی در محلول ۱ ٪ سدیم هیدروکساید و سرخ کردن آنها در دمای آون ۱۰۵ °C برای مدت ۳۰-۲۰ دقیقه میزان آکریلامید تشکیل شده را کاهش می‌دهد (۷).




**شکل ۵.** اثر اسید سیتریک و ترا پیرو فسفات سدیم بر میزان تشکیل آکریلامید در چیپس سیب‌زمینی بر حسب µg/kg (محور عمودی)

غوطه ورکردن خلال سیب زمینی ۶۰ دقیقه قبل از سرخ کردن در محلول های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۱ مولار وانادیل سولفات، به ترتیب باعث بازدارندگی تشکیل آکریلامید به میزان ۳۰/۳٪، ۵۳/۳٪ و ۸۹/۳٪ گردید. در مورد چیپس، ۵۷/۷٪، ۷۱/۴٪ و ۹۲/۵٪ بازدارندگی مشاهده گردید. در یک واکنش مدل جداگانه، زمانیکه یک محلول محتوی غلظت مولی مساوی ال آسپاراژین و دی گلوکز ۳۰ دقیقه در ۱۵۰°C در حضور سولفات وانادیوم ($VoSo_4$) حرارت داده شد، به میزان قابل توجهی از تشکیل آکریلامید جلوگیری گردید. نتایج این بررسی نشان داد که اتصال یون وانادیوم $Vo^{2+}$ به آسپاراژین و کاهش pH نمونه‌های سیب زمینی، به میزان قابل ملاحظه ای باعث عدم تشکیل آکریلامید در محصولات سرخ شده سیب زمینی می گردد(۸).

خیساندن برگه‌های سیب زمینی در محلول NaCl یک درصد به طور معنی داری تشکیل آکریلامید را کاهش می‌دهد و تیمار با محلول $CaCl_2$ تا حدود ۹۵٪ از تشکیل آکریلامید در طی سرخ کردن خلال‌های سیب زمینی جلوگیری می‌کند. $CaCl_2$ به طور کامل و NaCl به طور جزئی تشکیل آکریلامید در سیستم فروکتوز/آسپارژین را کاهش می‌دهد. نقش یون $Ca^{2+}$ به این خاطر است که از تشکیل واسطه باز شیف که در نهایت منجر به تشکیل آکریلامید می‌شود، جلوگیری می‌کند و یون $Na^{+}$ بر سرعت واکنش بین گروه آمین اسیدهای آمینه با پیوند دو گانه کانژوگه ترکیباتی چون آکریلامیدها اثر می‌گذارد(شکل ۶) (۹، ۱۰).




**شکل ۶.** اثر غلظت‌های مختلف نمک‌های NaCl و $CaCl_2$ بر میزان تشکیل آکریلامید

تخمیر لاکتیکی برگه‌های سیب زمینی آنزیم‌بری نشده توسط لاکتوباسیلوس پلانتاروم NC8 در دمای ۳۷ °C برای مدت ۴۵ و ۱۲۰ دقیقه می‌تواند به ترتیب باعث کاهش ۴۸ و ۷۱ درصدی آکریلامید بعد از سرخ کردن عمیق در دمای ۱۷۰°C شود. اگر عملیات آنزیم بری هم قبل از تخمیر انجام شود بعد از سرخ کردن عمیق ۷۹ و ۹۴ درصد ( به ترتیب در دو زمان تخمیر ۴۵ و ۱۲۰) مقدار آکریلامید کاهش می‌یابد. علت این امر استفاده از قندهای احیاءکننده توسط لاکتوباسیلوس پلانتاروم و تولید اسید لاکتیک است که منجر به کاهش pH از ۵/۷ به ۴ می‌شود در این حالت مقدار گلوکز طی ۳ ساعت تخمیر از ۶۱۰/۸ به ۷/۹ mg/100ml و مقدار فروکتوز از ۴۵۷/۸ mg/100 ml

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]

به صفر کاهش می‌یابد ولی در مقدار اسید آمینه آسپاراژین تغییری حاصل نمی‌شود (۱۱).

پیش‌گرم کردن برگه‌های سیب‌زمینی با میکروویو (۱۰، ۲۰ و ۳۰ ثانیه و ۸۵۰ W) و سرخ کردن عمقی در دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ °C به ترتیب سبب کاهش ۳۶، ۴۱ و ۶۰ درصدی در مقدار آکریلامید می‌شود در این بررسی مقدار آکریلامید در سطح و مغز خلال‌های سیب‌زمینی اندازه‌گیری و معلوم شد مقدار آن در سطح به مراتب بالاتر از مغز می‌باشد، فرآیند میکروویو سبب کاهش مدت زمان سرخ شدن، انتقال بهتر آب از عمق به سطح و در نهایت باعث کاهش تشکیل آکریلامید در سطح محصول شده بود(۱۲).

از آنجایی که آکریلامید از اسید آمینه ال آسپاراژین و ساکاریدهای احیاء کننده از طریق واکنش میلارد بوجود آمده است، حذف یکی از این پیش سازها با آنزیم ال آسپاراژیناز در مواد خام باعث جلوگیری از تشکیل آکریلامید در محصول نهایی می گردد. کاربرد محلول ال آسپاراژیناز در یک ماتریکس سیب زمینی شبیه سازی شده، بسته به شرایط (دوز آنزیم، زمان و دمای انکوباسیون)، باعث کاهش ۹۰-۵۰٪ آکریلامید گردید (۱۳).آنزیم‌بری برگه‌های سیب-زمینی در دمای ۷۵ °C برای ۱۰ دقیقه، خشک کردن بعدی آنها با دمای ۸۵ °C برای مدت ۱۰ دقیقه، خیساندن آنها در آنزیم آسپاراژیناز ۱۰۰۰۰ ASNU/l در ۴۰ °C به مدت ۲۰ دقیقه و در نهایت سرخ کردن در دمای ۱۷۵ °C به مدت ۱ دقیقه نشان داده مقدار تشکیل آکریلامید در فرنچ فرایز حاصل از برگه‌های این سیب زمینی در نمونه کنترل (بدون آنزیم بری و تیمار با آسپاراژیناز) ۲۰۷۵ µg/kg است که این مقدار در نمونه هایی که فقط تحت آنزیم آسپاراژیناز قرار گرفته بودند کاهش ۳۰ درصدی و در نمونه‌های آنزیم بری شده و تحت تیمار با آسپاراژین قرار گرفته، کاهش ۶۰ درصدی را نشان داده است. همچنین معلوم شده است که اضافه کردن آنزیم آسپاراژیناز به سیب زمینی باعث می‌شود ۹۶ درصد اسید آمینه آسپارژین طی هیدرولیز به اسیدآسپارتیک تبدیل شود که در نتیجه آن در اثر پختن و سرخ کردن، سطح آکریلامید در ماده‌ی غذایی بسیار کاهش می‌یابد. با کاربرد آنزیم گلوکز اکسیداز، می‌توان گلوکز را اکسید کرده و از شرکت آن در تولید آکریلامید جلوگیری کرد. اثر آنزیم‌ها، این امر را تایید می‌کند که با مهار پیش سازهای آکریلامید (اسید آمینه آسپارژین و قند احیاءکننده)، می‌توان تشکیل آن را در ماده‌ی غذایی کاهش داد (۱۴، ۴).

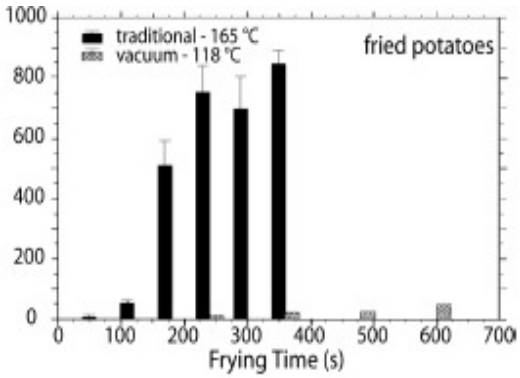
خیساندن برگه‌های سیب زمینی در محلول ۲٪ و ۵٪ (w/w) هشت هیدروکلوئید برای مدت ۱ ساعت نشان داده، اسید آلژینیک در غلظت ۵ تا حدود ۳۰ درصد مقدار آکریلامیدها را در سیب‌زمینی سرخ شده کاهش می‌دهد و در غلظت ۲٪ کاهش مقدار آکریلامیدها معنی‌دار نمی‌باشد، همچنین اگر زمان خیساندن به ۵ ساعت برسد میزان کاهش از ۳۰ به ۶۰ درصد می‌رسد(۱۵).

تیمار برگه‌های سیب زمینی قبل از سرخ کردن، با آنتی اکسیدان‌های فنولیک قره قاط (cranberry) و پونه کوهی (oregano) و تیمار با خمیر مرغ (chickpea)، نشان می‌دهد میزان آکریلامیدها بعد از سرخ کردن عمیق در نمونه‌های غیرتیمار شده ۱۴۹۰µg/kg، برای قره قاط ۱۰۳۰، پونه کوهی ۱۵۱۰ µg/kg و خمیر مرغ ۵۸۰µg/kg است. معلوم شد که تیمار با خمیر مرغ باعث کاهش بیشتر در تشکیل آکریلامید شده که به اثر بهبود دهندگی پروتئین خمیر مرغ بر روی اسیدهای آمینه‌ی سیب زمینی برمی‌گردد. اثربخشی کم آنتی اکسیدان‌ها، نشان می‌دهد که تشکیل آکریلامید در سیستمی غیراکسیداتیو انجام می‌شود. در مطالعه دیگر افزودن فلاوونوئید ادویه، باعث کاهش معنی داری در تشکیل آکریلامید در چیپس سیب زمینی شده است(۴). نتایج یک بررسی جدید نشان داد که آنتی اکسیدان ها نمی توانند به نحو مؤثری آکریلامید را از بین ببرند و یا تشکیل آنرا متوقف یا حتی تحریک کنند. اما محصولات اکسیداتیو حاصل از آنها می توانند آکریلامید و پیش ساز آن، آسپاراژین را تخریب کنند و در نتیجه از تشکیل آکریلامید جلوگیری گردد(۱۶).

**عوامل و روش‌های مؤثر در حین فراوری:** سرخ کردن برگه‌های سیب زمینی حدود ۹ دقیقه در دمای ۱۵۰ °C نشان می‌دهد که دمای سطح سیب زمینی به ۱۲۰ °C هم نمی‌رسد نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در دمای ۱۲۰ °C مقدار تشکیل آکریلامیدها بسیار پایین است و حداقل دما برای تشکیل باید بالای ۱۲۰ °C باشد. سرخ کردن عمقی محصولات سیب‌زمینی در دمای ۱۸۰-۱۴۰ °C تشکیل آکریلامید را به طور خطی افزایش می‌دهد که این افزایش در دمای کمتر از ۱۶۰ °C به میزان دمای اعمال شده بستگی دارد بطوری که هر چه دما بیشتر باشد مقدار تشکیل آکریلامید بیشتر است، ولی در دمای بیشتر از ۱۷۰ °C مقدار تشکیل به مدت زمان فراوری بستگی دارد یعنی هر

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]

چه مدت زمان فراوری کمتر باشد مقدار کمتری آکریلامید در طی فراوری شکل می‌گیرد. سرخ کردن سیب زمینی تحت شرایط اتمسفری در دمای ۱۶۵ °C برای ۴ دقیقه منجر به تشکیل ۵۰۲۱ میکروگرم بر کیلوگرم آکریلامید در سیب زمینی رقم white-rose، ۶۴۹ میکروگرم بر کیلوگرم در سیب زمینی رقم آتلانتیک (Atlantic) و ۴۶۶ میکروگرم بر کیلوگرم در سیب زمینی رقم shepody شده است، در حالی که سرخ کردن تحت شرایط خلاء در دمای ۱۱۸ °C منجر به کاهش ۹۴ درصدی تشکیل آکریلامید در چیپس سیب زمینی در مقایسه با روش اتمسفری شده است (شکل ۷). مقدار تشکیل آکریلامید در برگه‌های سیب‌زمینی آنزیم‌بری شده و سرخ کردن سطحی در دمای ۱۸۰ °C حدود ۴ برابر بیشتر از سرخ کردن عمیق در دمای ۱۹۰ °C است. سرخ کردن سطحی سیب زمینی بدون آنزیم بری در دمای ۱۸۰ °C مقدار تشکیل آکریلامید را تا ۶ برابر در مقایسه با فرآیند آنزیم بری و سرخ کردن عمیق افزایش می‌دهد (۱۸، ۱۷، ۴).




**شکل ۷.** مقایسه اثر سرخ کردن در شرایط اتمسفری و خلاء بر میزان تشکیل آکریلامید در چیپس سیب‌زمینی بر حسب µg/kg (محور عمودی)

اگر چه اکسیداسیون روغن‌های مصرفی در طی سرخ کردن می‌تواند منجر به تشکیل پیش سازهای آکریلامید شود ولی تشکیل آن را نمی‌توان به طور قطعی به هیدرولیز و اکسیداسیون روغن مصرفی نسبت داد. مطالعات نشان داده که اکسیداسیون لیپیدها در طی سرخ کردن سیب زمینی منجر به افزایش معنی داری در تشکیل آکریلامید نمی‌شود و از بین روغن‌ها، روغن پالم منجر به تشکیل آکریلامید بیشتری در طی سرخ کردن می‌شود. همچنین سرخ کردن خلال‌های سیب زمینی در ۲۰ نمونه روغن زیتون ویرجین در دمای ۱۸۰ °C برای مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه نشان داده است که مقدار آکریلامید تشکیل شده کاهش یافته که این کاهش در مدت زمان ۵ دقیقه بیشتر بوده، همچنین این کاهش به علت ترکیبات فنولیک موجود در روغن نسبت داده شد. از بین این روغن‌های زیتون ویرجین نمونه‌هایی که اورتو-دی فنیل بالایی داشتند سبب کاهش بیشتری در مقدار آکریلامید شده بودند(۲۰-۱۷).

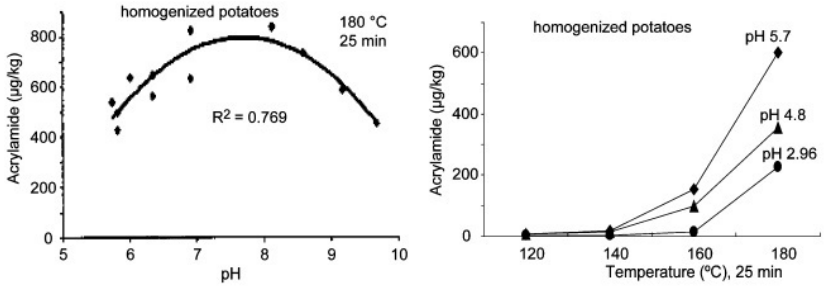
تحقیقات نشان می‌دهد که هر چه نسبت سطح به حجم کمتر باشد با افزایش دما از ۱۲۰ به ۲۳۰ °C و افزایش در زمان فراوری، حداکثر مقدار آکریلامید موجود در سیب زمینی طی سرخ کردن عمیق ۲۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم است. وقتی میزان سطح به حجم ، به حد متوسط به بالا می‌رسد بیشینه مقدار آکریلامید به ۱۸۰۰۰µg/kg در دمای ۱۸۰-۱۶۰ °C می‌رسد. درنسبت سطح به حجم بالا، دما و زمان فراوری بالاتر، مقدار تشکیل اکریلامید کاهش می‌یابد که می‌تواند به علت دگرگونی ساختاری یا انجام سایر واکنش‌ها باشد. در نسبت سطح به حجم پایین، ارتباط معنی داری بین میزان محتوای آکریلامید و گستردگی واکنش قهوه‌ای شدن مشاهده شده که این میزان ارتباط در نسبت سطح به حجم متوسط کمتر می باشد (۴).

در مطالعه‌ای اثر ۱۵ ویتامین بر مقدار تشکیل آکریلامید در سیستم مدل (آسپارژین و گلوکز) و در محصول سرخ شده سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفت معلوم شد که ویتامین‌های محلول در چربی در کاهش آکریلامید مؤثر نیستند و از بین ویتامین‌های محلول در آب $B_2$، $B_5$ و PL به مقدار بیشتری در سیستم مدل سبب کاهش شده بودند. در محصولات سیب‌زمینی ویتامین C، $B_3$ و PN به ترتیب ۱۱، ۵۰ و ۳۵ ٪ سبب کاهش آکریلامید شدند(۲۱).

آب نقش پیچیده‌ای را در تشکیل یا حذف آکریلامید بر عهده دارد. در مقدار رطوبت پایین، انرژی فعال‌سازی برای تشکیل آکریلامید در سیب زمینی بیشتر از مقدار آن برای فرآیند قهوه‌ای شدن است در نتیجه میزان تشکیل آکریلامید کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگر نشان داده شده که در دما و $a_w$های بالاتر، مقدار تشکیل آکریلامید بیشتر است. این در حالی است که قهوه‌ای شدن، بیشتر در $a_w$ متوسط انجام می‌گیرد. در میزان رطوبت خیلی بالا، تشکیل آکریلامید و واکنش قهوه ای شدن، هر دو کاهش می‌یابند(۴).

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]

کاهش دادن pH درونی سیب زمینی توسط اسید فوماریک ۲۸ ٪، اسید تارتاریک ۲۹٪ و اسید فسفریک ۲۵٪ از ۵/۷۲ به ۲/۹۶ باعث ۷۰٪ کاهش در مقدار آکریلامید می‌شود و pH ۶ تا ۸ سبب افزایش تشکیل آکریلامید می‌شود دوباره از pH ۸ تا ۱۰ میزان تشکیل آکریلامید کاهش می‌یابد. وقتی pH از ۸ به ۴ می‌رسد، میزان تشکیل آکریلامید در چیپس سیب زمینی در دمای ۱۶۰ °C تا حدود ۱۰ برابر کاهش می‌یابد (شکل ۸)(۲۲، ۴).




**شکل ۸.** اثر pH بر میزان تشکیل آکریلامید

## نتیجه گیری

با توجه به افزایش روز افزون تولید صنعتی محصولات سرخ شده سیب زمینی، علاقه وافر مردم به مصرف آن ها، بالا بودن احتمال تشکیل آکریلامیدها طی فرآیندهای حرارتی، سرطان‌زایی، ایجاد جهش سلولی و اختلالات عصبی آکریلامیدها و با در نظر داشتن به اینکه محصولات سرخ شده سیب زمینی مهم ترین منبع این آلاینده شیمیایی می‌باشند، می‌توان با انتخاب واریته‌ای از سیب زمینی که دارای مقدار کمتری قند احیاءکننده است، انبارمانی سیب زمینی در دمای بالای ۸ درجه سانتیگراد، سرخ کردن سیب زمینی تحت خلاء و در دمای پایین تر از ۱۲۰ °C، استفاده از سرخ کردن عمیق به جای سرخ کردن سطحی، پرهیز از pH در محدوده ۸-۶، پیش فرآیند یا خیساندن برگه‌های سیب زمینی در اسیدهای آمینه‌ای چون گلیسین و لیزین، آنزیم بری برگه‌های سیب زمینی و خیساندن آن ها در اسید استیک، استفاده از آنزیم‌های آسپارژیناز و گلوکز اکسیداز برای به حداقل رساندن پیش سازهای آکریلامید، خیساندن در محلول‌های نمکی NaCl و $CaCl_2$، پیش فرآیند یا تیمار با هیدروکلوئیدهای پکتین و اسید آلژینیک، ویتامین‌ها، تخمیر لاکتیکی قبل از فراوری، استفاده از ترکیبات آنتی اکسیدانی در حین فرآیند و یا با کاربرد توام دو یا چند روش ذکر شده می‌توان مقدار آکریلامید را نه تنها در محصولات سرخ شده سیب زمینی، بلکه در معرض خطر بودن به این آلاینده را در سایر مواد غذایی به حداقل ممکن رساند.

## References


1.Shojaee-Aliabadi, S., Nikoopour, H., Kobarfard, F., Parsapour, M. Effect of potato cultivar on acrylamide formation in potato chips. Iran J Nutr Sci Food Technol 2008; 3(1): 65-72[in Persian].

2. Friedman, M., Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. J. Agric. food chem., 2003; 51(16): 4504-4526.

3. Elmore, J. S.; et al, Changes in free amino acids and sugars in potatoes due to sulfate fertilization and the effect on acrylamide formation. J. Agric. Food Chem, 2007; 55: 5363– 5366.

4. Friedman, M. and C.E. Levin, Review of Methods for the Reduction of Dietary Content and Toxicity of Acrylamide. J. Agric. Food chem.., 2008; 56(15): 6113-6140.

5. Rydberg, P.; et al, Investigations of factors that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. J. Agric. Food Chem, 2003; 51: 7012–7018.

6. May, N., et al., Acrylamide formation in deep-fried potato products and removal of acrylamide precursors. Food Aust., 2006; 58(10): 488-493.


[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]

7. Kita, A.; Bråthen, E.; Knutsen, S. H.; Wicklund, T. Effective ways of decreasing acrylamide content in potato crisps during processing. J. Agric. Food Chem, 2004; 52: 7011–7016.

8.Kalita, D, Jayanty, S. S. Reduction of acrylamide formation by vanadium salt in potato French fries and chips. Food Chem., 2013; 138: 644-649.

9. Gökmen, V. and H.Z. Senyuva, Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. Food Chem 2007; 103(1): 196-203.

10. Lindsay, R. and S, Jang, Chemical intervention strategies for substantial suppression of acrylamide formation in fried potato products. Chemistry and safety of acrylamide in food, 2005: p. 393-404.

11.Baardseth, P.; et al. Lactic acid fermentation reduces acrylamide formation and other Maillard reactions in French fries. J. Food Sci. 2006; 71: C28-C33.

12. Erdogdu, S. B.; Palazoglu, T. K.; Go¨kmen, V.; Senyuva, H. Z.; Ekiz, H. I. Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips. J. Sci. Food Agric, 2007; 87: 133–137.

13.Ciesarova, Z., Kukurova, K.,Benesova, C. Enzymatic elimination of acrylamide in potato-based thermally treated foods.Nutr. Food Sci.,2010, 40(1),pp:55-63.

14. Pedreschi, F., K. Kaack, and K. Granby, The effect of asparaginase on acrylamide formation in French fries. Food Chem., 2008; 109(2): 386-392.

15. Zeng, X., et al., Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. Food Chem., 2010; 121(2): 424-428.

16.Ou, S., Shi, J., Hung, C., Zhang, G., Teng, J., Jiang,Y.,Yang,B. Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. J. Hazard. Mater 2010; 182(1-3): 863-868.

17. Gertz, C, Optimising the baking and frying process using oil-improving agents. Eur. J. Lipid Sci. Technol 2004; 106: 736–745.

18. Gertz, C.; Klostermann, S, Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. Eur. J. Lipid Sci.Technol 2002; 104: 762–771.

19. Mestdagh, F.; De Meulenaer, B.; Van Peteghem, C. Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries. Food Chem, 2007; 100: 1153–1159.

20. Napolitano, A., et al., Relationship between virgin olive oil phenolic compounds and acrylamide formation in fried crisps. J. Agric. Food chem., 2008; 56(6): 2034-2040.

21. Zeng, X., et al., Inhibition of acrylamide format ion by vitamins in model reactions and fried potato strips. Food Chem., 2009; 116(1): 34-39.

22. Park, Y., et al., Controlling acrylamide in French fry and potato chip models and a mathematical model of acrylamide formation, Chemistry and safety of acrylamide in food, 2005. p. 343-356.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]

# Effective ways of reducing acrylamide formation in fried potato products

*Koushki MR*[*1], Mohammadian M[2], Koohy-Kamaly P[3]*

1. **Corresponding author: Assistant Prof. (in Research), Dept. of Food Technology Research, National Nutrition and FoodTechnology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of MedicalSciences, Tehran, Iran. Email: mr_koushki@yahoo.com*
2. *Students' Research Committee, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty ofNutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran,Iran.*
3. *Dept. of Food Technology Research, National Nutrition and FoodTechnology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of MedicalSciences, Tehran, Iran.*

## Abstract

Although heating processes extend the shelf life of food by inactivating harmful microorganisms and unfavorable enzymes, they unavoidably produce hazardous chemical contaminants such as acrylamide. The International Agency for Research on Cancer classified acrylamide as a possible carcinogen for humans. The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JEFCA) estimated the mean dietary acrylamide intake between 0.3 and 0.8 µg/kg bw /day. However, the acrylamide levels is reported from 400 to 1500 µg/kg in fried potato products. Considering the maximum acrylamide formation in fried potato products and their high consumption in our country, application of mitigation methods such as suitable potato cultivar selection, storage above 8$^{o}$C, frying under vacuum or at temperatures lower than 120$^{o}$C, lactic fermentation, soaking potato crisps in acetic acid, citric acid, glycine, hydrocolloids, salts, asparaginase enzyme, vitamins and antioxidants, may minimize the acrylamide levels in fried potato products.

**Keywords:** Acrylamide, Fried potato, Carcinogenicity

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-20 ]