مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هفتم، شماره ۵، ویژه‌نامه زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۹۶۸-۹۵۷

مقاله مروری

بررسی شرایط تشکیل آکریلامید و راه‌های کاهش آن در منابع غذایی خاص

وحید قاسم زاده[۱]، محسن عاطفی[۲]، رضا همایونفر[۱]، احسان حجازی[۱]، زهرا توده روستا[۱]

۱- کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- نویسنده مسئول: کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: mohsen.atefi@sbmu.ac.ir

چکیده

آکریلامید عامل بالقوه طیف وسیعی از اثرات سمی است. در ۲۴ آوریل ۲۰۰۲، اداره ملی غذای سوئد داده‌هایی را ارائه کرد که دلالت بر غلظت‌های بالای آکریلامید در مواد غذایی ویژه داشت. این بررسی مروری، اطلاعاتی را در زمینه تشکیل آکریلامید در مواد غذایی و روش‌های کاهش آن‌را در غذاهای خاص ارائه می‌کند.

این تحقیق به صورت بررسی الکترونیکی بود. مقالات، کتب و گزارشات از منابع الکترونیکی تهیه شدند و پس از مطالعه و تجزیه و تحلیل آن‌ها، بررسی مروری تهیه شد.

منابع غذایی اصلی دریافت آکریلامید عبارتند از: غلات و محصولات آردی، محصولات سیب زمینی، خشک شده، قهوه و مغزهای تفت داده شده. در این فرآورده‌ها، تشکیل آکریلامید ارتباط خوبی با واکنش قهوه‌ای شدن میلارد دارد. واکنش آسپاراژین با قندهای احیا مسیر اصلی تشکیل آکریلامید است. در غلظت‌های پایین آسپاراژین، فروکتوز خیلی موثرتر از گلوکز است. در غلظت‌های بالای قندهای احیا، آسپاراژین عامل محدود کننده در تشکیل آکریلامید می‌شود. مسیرهای جایگزین دیگری نیز برای تشکیل آکریلامید پیشنهاد شده است. آکرولئین، اسیدهای چرب، اسید آسپارتیک، کارنوزین، بتا-آلانین، آمینوپروپیون آمید (از آسپاراژین) ، پیرورویک اسید قادر به تولید آکریلامید از طریق تولید آکریلیک اسید هستند. تشکیل آکریلامید با افزایش دما از ۱۲۰ تا ۱۸۰ °C افزایش می‌یابد و سپس ممکن است کاهش یابد. این ترکیب با افزایش pH، به ویژه در pH بالاتر از ۷ افزایش می‌یابد. عامل دیگری که بر تشکیل آکریلامید اثر می‌گذارد، فعالیت آبی است.

طبیعت و ویژگی‌های نهایی یک محصول غذایی برای انتخاب راه‌های کاهش میزان آکریلامید در آن مؤثر است. بسته به نوع محصولات غذایی، استراتژی‌های مختلفی برای کاهش سطوح آکریلامید در غذاهای خاص ارائه شده‌اند. تعدادی از این استراتژی‌ها عبارتند از : ۱- حذف یا کاهش مواد واکنش دهنده، ۲-اختلال در واکنش تشکیل آکریلآمید (کنترل رابطه‌ی دما - زمان، pH، و فعالیت آبی) و ۳- تخریب یا به دام اندازی آکریلامید پس از تشکیل آن.

واژگان کلیدی: آکریلآمید، آکریلیک اسید، محصولات غذایی، واکنش قهوه‌ای میلارد

مقدمه

آکریلامید برای اولین بار در آلمان به وسیله‌ی Moureu در سال ۱۸۹۳ تولید شده است و در سال۱۹۵۴ ، تولید آن به منظور کاربرد در زمینه‌های مختلف صنعتی آغاز شد (۱). آکریلامید یک آمید غیر اشباع ($CH_2=CH-CONH_2$) است و به راحتی در واکنش‌های شیمیایی شرکت می‌کند. این ترکیب یک ماده جامد سفید رنگ، با نقطه ذوب ۸۴/۵°C، نقطه جوش بالا ۲۳۲°C (۱۳۶ در ۲۵ mm Hg) و فشار بخار پایین (۰/۰۰۷ mm Hg در ۲۵°C) می‌باشد. از نظر حلالیت این ترکیب در آب به خوبی حل می‌شود (۲۱۵/۵ g/100 mL در ۳۰ °C) و حلالیتش در حلال‌های قطبی بهتر از غیر قطبی است (۲). آکریلامید در صنعت به منظور تهیه پلی‌آکریلامید تولید می‌شود. پلی‌آکریلامید کاربردهای زیادی در صنعت دارد از جمله این کاربردها می توان به کاربرد در: صنایع تصفیه آب و معدن، صنایع کاغذ و پارچه، صنایع بهداشتی و آرایشی، صنایع شیمیایی (تولید پوشش‌ها و چسب‌ها) و عکاسی اشاره کرد (۱).

جدا از کاربردهای بی شمار آکریلامید این ترکیب به عنوان یک سم شناخته شده است که طیفی از مسمومیت‌ها را ایجاد می‌کند. از جمله این آثار سوء می‌توان بر اثر مخرب آن بر اعصاب، قدرت باروری و احتمال اثرات موتاژنیکی و سرطان‌زایی از طریق تولید اپوکسیدان (گلیسید آمید) اشاره کرد (۳).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

دریافت آکریلامید (منابع غیر غذایی و غذایی): میزان آکریلامید به صورت مونومر، در پلی‌مر آن که در مواد آرایشی و بسته بندی و آب شرب به کار می‌رود، ناچیز است. بنابراین به طور طبیعی، آلودگی حاصل از آن به ندرت به وقوع می‌پیوندد.در بدترین حالت میزان آکریلامید منتقل شده از راه آب آشامیدنی کمتر از ۰/۲۵ µg در روز می‌باشد. آکریلامید در اثر کشیدن سیگار نیز تشکیل می‌شود. هر سیگار تولید ۱-۲ µg آکریلامید می‌نماید. بررسی‌های انجام شده نشان داده اند که در حالت معمول، دریافت از راه غذا، اصلی ترین مسیر دریافت آکریلا مید است(۴).

اهمیت آکریلامید در مواد غذایی با بررسی انجام شده در سال ۲۰۰۲ میلادی در کشور سوئد مشخص شد. تا آن زمان آکریلامید به عنوان یک سم صنعتی شناخته می‌شد. در آن سال مشخص شد که آکریلامید می‌تواند در مواد غذایی به وجود بیاید. هم‌چنین معلوم شد که در بعضی از غذاها میزان آکریلامید تولید شده بالا می‌باشد. علاوه بر آن در محصولات لبنی و گوشتی میزان آکریلامید نسبت به محصولات فوق الذکر پایین می‌باشد (جدول ۱) (۵).

بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ نیز اندازه‌گیری مقدار آکریلامید در مواد غذایی دیگر ادامه یافت. در این اندازه‌گیری‌ها مشخص شد که علاوه بر غلات و محصولات آردی، محصولات سیب زمینی و قهوه، در محصولات خشک شده نیز میزان آکریلامید بالا است. میزان دریافت آکریلامید از مواد غذایی بسته به نوع رژیم غذایی دارد. برآورد متوسط میزان دریافت روزانه آکریلامید از غذاها به وسیله‌ی WHO ، ۰/۳ تا ۰/۸ µg/kg b. w. day می‌باشد. هم‌چنین با توجه به اندازه گیری‌های انجام شده در کشورهای اروپایی، میزان برآورد شده دریافت آکریلامید در بچه‌ها (۳ تا ۱۰ سال) و کودکان (بین ۱۳ تا ۳۶ ماه) حدود دو برابر بزرگسالان است. در بچه‌ها و کودکان این مقدار به ترتیب: ۱/۲ µg/kg b.w.day تا ۲/۴ و ۰/۷ تا ۲/۰۵ µg/kg b.w.day و در بزرگسالان (بالای ۱۸ سال) ۰/۴۳ تا ۱/۴ µg/kg b.w.day می‌باشد. منابع اصلی دریافت آکریلامید در بچه‌ها و کودکان، چیپس‌ها، بیسکویت‌ها و کراکرها هستند (۶).

جدول۱. مقدار آکریلامید اندازه‌گیری شده در موادغذایی حرارت دیده

محصول	غلظت آکریلامید (µg/kg) دامنه معمول	مقادیر حدود	
کریپس سیب زمینی	۶۰۰-۲۰۰۰	۱۷۰	۲۳۰۰
فرنچ فرایز	۳۰۰- ۷۰۰	۳۰۰	۳۵۰۰
سیب زمینی سرخ شده در تابه	۲۵۰-۳۰۰		
بیسکویت و کرار	۱۰۰-۶۰۰	<۳۰	۷۵۰
ذرت بوداده	۴۰۰		
نان‌های کریپس	۵۰-۴۰۰	<۳۰	۴۰۰۰
قهوه (پودر)	۲۰۰	۱۷۰	۲۳۰
غلات صبحانه ای	۵۰-۲۵۰	<۳۰	۱۳۵۰
کریپس ذرت	۱۰۰-۲۰۰	۳۰	۴۲۰
محصولات گوشت و ماهی	< ۳۰-۵۰	<۳۰	۱۶۰
پیزا، پن کیک، کلوچه‌ها و املت تخم مرغ	<۳۰	<۳۰	۶۰
سیب زمینی‌های خام ، جوشانده یا خورد شده	<۳۰	<۳۰	۴۰
پاستا	<۳۰		
آردهای گندم و چاودار، فلیک‌های برنج و جو دوسر	<۳۰		
شنیتزل گیاه خوار، خوراک گل کلم	< ۳۰		
میوه‌های خشک a	<۳۰		
آبجو (بدون الکل) b	< ۳۰		

a مقادیر به زیادی ۱۲۸۰۰ µg/kg نیز گزارش شده است. برای نمونه‌هایی که اختیاری پخت بیش از حد داشته‌اند.

b یک مقدار تنها

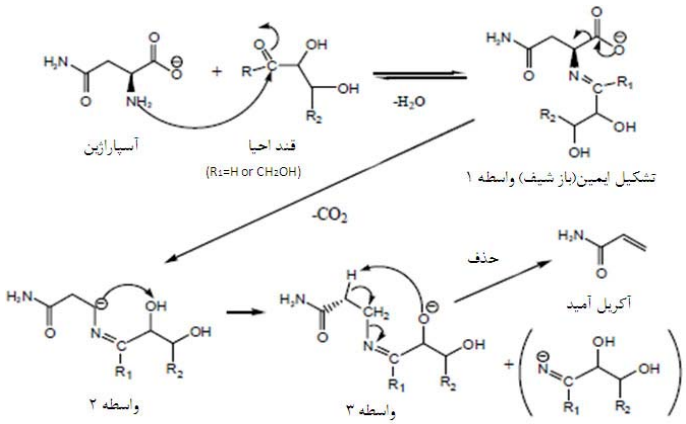
[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

مقدار حداکثر دوز مجاز توصیه شده (maximum allowable dose level: MADL) برای آکریلامید ۲ µg/kg bw/day می‌باشد (۷). در بررسی جمشیدیان و ماهرانی (۱۳۹۰) بر روی چیپس‌های گوناگون تهیه شده از ۵ کارخانه داخل کشور، میزان آکریلامید در نمونه‌های گرفته شده از ۹۸/۳ تا ۱۸۷ میکروگرم در یک بسته ۶۵ گرمی متفاوت بوده است (کمترین در چیپس نمکی و بیشترین در چیپس گوجه‌ای) (۱). این مقدار در حدود ۱/۵ تا ۲ برابر میزان دریافت مجاز توصیه شده روزانه برای یک فرد ۷۰ کیلوگرمی (۱۴۰ µg/kg bw/day) می‌باشد.

چگونگی تشکیل آکریلامید در مواد غذایی

در سال ۲۰۰۰، Tareke و همکاران رژیم‌های غذایی معمولی و سرخ شده را به موش‌ها خورانده اند و میزان آکریلامید متصل به هموگلوبین را در این موش‌ها اندازه‌گیری کرده‌اند. در نتایج حاصل، سطح آکریلامید متصل به هموگلوبین در موش‌هایی که غذاهای سرخ شده دریافت کرده اند تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به موش‌های تغذیه شده با غذایی معمولی داشته‌اند. هم‌چنین آن‌ها مشاهده کرده اند که در غذاهای حرارت دیده‌ی حاوی قند و پروتئین ، میزان آکریلامید تولید شده، افزایش قابل ملاحظه می‌یابد. لذا آن‌ها احتمال دادند که واکنش بین این ترکیبات ،نقش اساسی در تولید آکریلامید دارد. نهایتاً آن‌ها در بررسی خود عنوان کردند که عواملی مانند : دما، درجه حرارت و ترکیب غذا در تعیین مقدار آکریلامید در مواد غذایی نقش دارند(۱). پس از آن‌ها Stadler و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود نشان دادند که تولید آکریلامید در مواد غذایی تحت واکنش میلارد صورت می‌گیرد. هم‌چنین آن‌ها عنوان کردند که تغییر رنگ و طعم مواد غذایی با مقدار آکریلامید تولید شده در ارتباط است. در این بررسی ۲۰ اسید آمینه مورد آزمایش قرار گرفت که در میان آن‌ها مقدار آکریلامید تولید شده از اسید آمینه‌ی آسپاراژین به طور بارزی بیشتر از سایر اسید آمینه‌ها بوده است. هم‌چنین اسیدهای آمینه دیگری نظیر: گلوتامین، متیونین و سیستئین، اگرچه به اندازه‌ی آسپاراژین آکریلامید تولید نکرده اند، اما در رده‌های بعد قرار گرفته اند(۲).

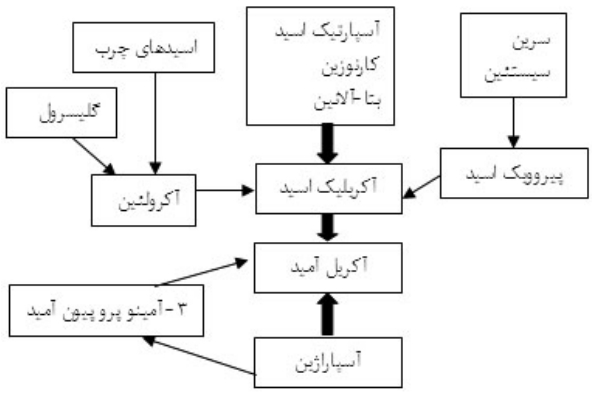
پس از آن‌ها محققانی نظیر : Amrein و همکاران (۲۰۰۴)، Becalski و همکاران (۲۰۰۳)،Biedermann و همکاران (۲۰۰۳b,c) نیز با استفاده از ترکیبات خالص در سیستم‌های مدل، تولید آکریلامید را بررسی کرده‌اند. این مدل‌ها نزدیک به شرایط پخت در خانه و فرآیند صنعتی بوده است. بررسی‌های به عمل آمده به وسیله‌ی این محققان نیز، نظریه Stadler و همکاران (۲۰۰۲) را در ارتباط با نقش مهم آسپاراژین در تولید آکریلامید تأیید کردند. به ویژه در خصوص سیب زمینی خرد شده‌ی شسته شده که پس از فرآیند حرارتی ،کاهش قابل توجه در مقدار آکریلامید تولید شده را نشان داده است (مقدار اسیدهای آمینه آزاد سیب زمینی بالا می‌باشد و نیز حدود ۳۵٪ آن‌ها را آسپاراژین تشکیل می‌دهد). تشکیل آکریلامید از واکنش بین آسپاراژین و قندهای احیا به عنوان مسیر اصلی شناخته شده است (۳-۶). در شکل (۱) چگونگی بین آسپاراژین و قندهای احیا ارائه شده است.



شکل۱. مکانیسم پیشنهادی تشکیل آکریلامید از آسپاراژین و قند احیاء (۷).

علاوه بر مسیر مستقیم تشکیل آکریلامید از واکنش گروه آمینی آسپاراژین (و یا سایر اسیدهای آمینه) با گروه آلدهیدی قندهای احیا ، مسیرهای فرعی دیگری نیز برای تولید آکریلامید ارائه شده‌اند. ترکیباتی مانند پیرووئیک اسید (منتج شده از سرین و سیستئین یا منابع دیگر) ،آکریلیک اسید (حاصل از آسپارتیک،کارنوزین و بتاآلانین به ویژه در منابع گوشتی) ، آکرولئین (منتج شده از اسیدهای چرب و گلیسرول) و ۳- آمینوپروپیون آمید (منتج شده از آسپاراژین) می‌توانند در تولید آکریلامید شرکت کنند (شکل ۲).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]



شکل۲. مسیرهای تشکیل آکریلامید (۷).

آکرولئین در آفت کش‌ها به کار می‌رود و می‌تواند از آبگیری گلیسرول در حین حرارت دهی چربی‌های حیوانی و نباتی تولید شود(۸). هم‌چنین آکرولئین می‌تواند از اسیدهای چرب غیر اشباع تحت واکنش‌های آنزیمی و غیر آنزیمی اکسیداسیون چربی‌ها تولید شود. این ترکیب نیز می‌تواند آکریلامید را تولید کند و به عنوان یک مسیر فرعی تشکیل آکریلامید در مواد غذایی حاوی چربی مطرح شده است(۹). اسپارتیک اسید، کارنوزین و بتا- آلانین می‌توانند تحت شرایط حرارتی شکسته شده و تولید آکریلیک اسید را تولید کند. این ترکیب در حضور منبع یون آمونیوم،آکریلامید را تولید می‌کند(۱۰-۱۲). عمده ترین اسیدهای آمینه‌ای که می‌توانند یون آمونیوم را تامین کنند عبارتند از : آسپاراژین، گلوتامین، سیستئین و آسپارتیک اسید (۱۳). ۳- آمینو پروپیون آمید علاوه برآنکه در مسیر مستقیم تشکیل آکریلامید از آسپاراژین به وسیله دکربوکسیلاسیون آنزیمی آسپاراژین تولید می‌شود (۱۴) می‌تواند از واکنش بین آسپاراژین و اسیدپیرووئیک تولید شود (۱۵) آبگیری از سرین در حضور و یا عدم حضور قندهای احیا می‌تواند منجر به تولید اسید پیرووئیک شود(۱۶) هم‌چنین سیستئین با از دست دادن سولفید هیدروژن می‌تواند اسید پیرووئیک را تولید کند. عنوان شده است که اسید پیرووئیک تحت مراحل احیا و سپس آبگیری به اسید آکریلیک و در نهایت به آکریلامید قابل تبدیل است. در سیستم‌های مدل در حضور یون آمونیوم این مسیر تأیید شده است. مخلوط اسید لاکتیک و نمک‌های آمونیوم لاکتاآمید ،آکریلیک اسید و آکریلامید را در پیرولیز حرارتی تولید کرده است(۱۱).

همان طور که اشاره شد واکنش میلارد نقش اساسی در تشکیل آکریلامید در مواد غذایی دارد. در واکنش پذیری قندها با اسیدهای آمینه در واکنش میلارد که غالباً در سیستم‌های مدل انجام شده اند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- کوتاه‌تر بودن طول زنجیره باعث واکنش پذیری بیشتر با اسید آمینه لیزین می‌شود.

۲- پنتوزان‌ها خیلی فعالتر از هگزوزها و دی ساکاریدها می‌باشند (در تولید رنگ قهوه ای).

۳- آلدوزها فعالتر از کتوزها می‌باشند، هم در سیستم‌های مدل محلول‌های آبی و هم در انبارمانی (میزان آب پایین).

۴- در بین قندهای ایزومر، استرئوایزومری در واکنش پذیری اهمیت دارد (ریبوز فعالتر از گزیلوز است).

ساکاروز اگر چه مستقیماً نمی تواند در واکنش میلارد شرکت کند اما در دمای بالاتر از $100^{\circ}C$ درجه به ویژه با اسیدی بودن محیط شروع به تجزیه شدن می‌کند و حاصل تجزیه آن می‌تواند در واکنش میلارد شرکت کند. تجزیه حرارتی در دمای بالاتر از $100^{\circ}C$ برای سایر دی ساکاریدها و نیز نشاسته اتفاق بیافتد(۱۷). نقش نوع قند در تشکیل آکریلامید در بستر آرد گندم کاملاً شسته شده توسط Biedermann و همکاران (c. ۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفته است (جدول۲). در بررسی این محققان، فروکتوز در غلظت‌های برابر با آسپاراژین در تولید آکریلامید نقش مهم تری از گلوکز و ساکاروز داشته است. هم‌چنین زمانی که فروکتوز غلظت بیشتر از آسپاراژین (۲ برابر) داشته، نقش فروکتوز مهم تر بوده است. اما با کاهش غلظت آسپاراژین، گلوکز نقش مهم تری از فروکتوز داشته است(۱۸). Pollien و همکاران (۲۰۰۳) نیز نتایج مشابه‌ای را به دست آورده‌اند(۱۹).

جدول۲. تشکیل آکریلامید از واکنش بین آسپاراژین (۰/۷۵ mmol) و قندهای مختلف (۰/۷۵ mmol) در یک ماتریکس آرد گندم کاملاً شستشو داده شده

قند	آکریلامید(µg) **
گلوکز	۷۲
فروکتوز	۱۱۰
ساکاروز	۹۲

در بررسی Schieberle و همکاران (۲۰۰۵) در سیستم مدل حاصل از واکنش قندها و آسپاراژین، نتایج جدول (۳)حاصل شده است (۲۰).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

جدول۳. آکریلامید تولید شده (در mmol/mol آسپاراژین) به وسیله‌ی قندهای مختلف (۰/۱ mmol قند در ۳ g سیلیکاژل، ۱۰٪ آب و ۳۰ دقیقه حرارت دهی در ۱۷۰ °C).

کربوهیدرات	آکریلامید (µg)
گلوکز	۹/۶
فروکتوز	۸/۹
لاکتوز	۸/۱
ریبوز	۷/۶
آرابینوز	۶/۷
اریتروز	۶/۴
ساکاروز	۵/۷

علاوه بر قندهای احیا، افزون بر آنچه که در خصوص واکنش پذیری اسیدهای آمینه در تشکیل آکریلامید ذکر شد، نوع اسیدهای آمینه در تعیین مقدار نهایی آکریلامید نقش داردر بررسیLow و همکاران (۲۰۰۶) کاهش آکریلامید در سیستم‌های نشاسته، گلوکز، آسپاراژین در اثر گلیسین مشاهده شده است. هم‌چنین اضافه کردن سیستئین و یا لیزین به سیستم‌های مدل آسپاراژین-گلوکز و حرارت دهی در دمای ۱۴۰ تا ۲۰۰ °C آکریلامید تشکیل شده را کاهش داده است. مشخص شده است که در این اثر کاهش، لیزین نقش رقابتی با آسپاراژین دارد و هم‌چنین سیستئین در عین حال که واکنش پذیری کمی برای شرکت در واکنش میلارد دارد، می‌تواند سرعت حذف آکریلامید از طریق واکنش با آن و تولید سیستئنیل – اس- بتا- پروپیون آمید را شدت بخشد(۲۱). هم‌چنین در روشی مشابه با سیستئین، ترکیبات و اسیدهای آمینه گوگردی می‌توانند تولید آکریلامید را در مواد غذایی کاهش دهند. در حالی که آلانین بی‌تأثیر است و گلوتامین منجر به افزایش مقدار آکریلامید می‌شود(۲۲).

اثر هیدروکلوئیدها (آگار، اسید آلژنیک، کاراگینان، هیدروکسی پروپیل نشاسته‌ی فسفاته ، پکتین، و زانتان) در کاهش تولید آکریلامید در سیستم‌های مدل (آسپاراژین و گلوکز هردو یک میلی مول، هیدروکلوئید ۲٪ ، در محیط آبی) و خلال‌های سیب زمینی سرخ شده بررسی شده است. در غلظت ۲٪ (وزن/وزن) پکتین، آلژنیک اسید (بیش از ۵۰٪) و زانتان (تقریباً ۲۰٪) تشکیل آکریلامید در مدل‌ها کاهش یافته‌اند. در مدل اسنک سرخ شده، کاهش مؤثر آکریلامید (تقریباً ۳۰٪) تنها وقتی که غلظت به ۵٪ رسیده است ،در تمامی هیدروکلوئیدها مشاهده شده است. خیساندن قطعات سیب زمینی به مدت ۱ ساعت در محلول ۱٪ اسید آلژنیک قبل از سرخ کردن ،مشابه استفاده از غلظت ۵٪ بوده است. هم‌چنین قرار دادن به مدت ۵ ساعت در محلول ۱٪ منجر به کاهش قابل توجه آکریلامید (تقریباً ۶۰٪ در مقایسه با ۳۰٪) در مقایسه با مدت ۱ ساعت ماندن در محلول ۱٪ یا ۵٪ شده است. نتایج مشابه ، برای پکتین نیز به دست آمده است. اما استفاده از هیدروکلوئیدهای ذکر شده در غلظت ۱٪ در یک سیستم مدل کراکر نتوانسته اند کاهش بارزی در تشکیل آکریلامید را سبب شوند. عدم کاهش بارز در غلظت ۲/۵ ٪ نیز مشاهده شده است. احتمالاً این امر به علت عدم تحرک و در نتیجه کاهش واکنش‌های صورت گرفته در سیستم مدل جامد نسبت به سیستم‌های مدل مایع بوده است(۲۳).

اثر یون‌های یک و دو ظرفیتی بر روی تشکیل آکریلامید در سیستم مدل آسپارژین- فروکتوز در دماهای ۱۵۰ و ۱۸۰ °C بررسی شده است. مشخص شده است که یون‌های دو ظرفیتی نظیر Ca^{+2} تقریباً می‌توانند به طور کامل، تولید آکریلامید را متوقف کنند. اما یون‌های یک ظرفیتی مانند Na^{+1} تقریباً تشکیل آکریلامید را به نصف کاهش می‌دهند. تولید باز شیف توسط کاتیون‌ها ممانعت شده است. در همان حال ، واکنش در جهت تشکیل رنگ ادامه یافته است. خیساندن سیب زمینی در کلرید کلسیم، کاهش ۹۵٪ تولید آکریلامید را در طی سرخ کردن باعث شده است. اما در عین حال ویژگی‌های کیفی حسی تردی و رنگ زرد برش‌های سیب زمینی‌های سرخ شده تحت تاثیر این عمل قرار نگرفته است (۲۵، ۲۴).

اثر آنتی اکسیدان‌ها بر روی کاهش و یا حذف آکریلامید بر حسب نوع آنتی اکسیدان و سیستم ماده غذایی از اثرات افزایشی تا اثر خفیف و کاهشی متفاوت است. در جدول (۴) اثر افزودن آنتی اکسیدان‌ها بر تشکیل آکریلامید در ماتریکس‌های مختلف و مدل‌های غذایی ارائه شده است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

جدول۴. اثر افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها بر تشکیل آکریلامید در ماتریکس‌های مختلف و مدل‌های غذایی (۲۷، ۲۶)

آنتی اکسیدان به کار رفته	ماده غذایی	اثر بر میزان آکریلامید	محققان
رزماری	روغن به کار رفته برای سرخ کردن برش‌های سیب زمینی	کاهش آکریلامید	Becalski et al. ,2004
مایع مخلوط ادویه‌ها غنی از فلاوونوئیدها	برش‌های سیب زمینی قبل و بعد از سرخ کردن	کاهش تا ۵۰٪	Fernandez et al. ,2003
اسید آسکوربیک	سیستم مدل بر پایه سیب زمینی	ممانعت ضعیف	Biedermann et al. ,2002
محلول‌های مختلف از آنتی اکسیدان‌های برگ‌های بامبو (AOB)	کریپس‌های سیب زمینی و فرنچ فرایز	۷۴/۱ ٪ و ۷۶/۱٪ کاهش در زمانی که نسبت‌های وزنی ۰/۰۱٪ و ۰/۱٪ (w/w) بوده اند; اثرات معنی دار روی کریپسنس و طعم دیده نشده است.	Zhang et al. ,2007
محلول‌های مختلف از آنتی اکسیدان‌های برگ‌های بامبو (AOB)	بال‌های جوجه سرخ کرده	به ترتیب: تقریباً ۵۷/۸ ٪ و ۵۹/۰٪ کاهش با اضافه کردن نسبت‌های وزنی ۰/۱٪ و ۰/۵٪ (w/w) مشاهده شده است.	
محلول‌های مختلف از AOB یا عصاره چای سبز (EGT)	برش‌های نان سرخ شده	به ترتیب : تقریباً ۸۲/۹ ٪ و ۷۲/۵٪ کاهش با اضافه کردن سطوح ۱ و ۰/۱ g/kg با AOB و EGT ۰/۵٪ (w/w) ; اثرات معنی دار روی کریپسنس و طعم دیده نشده است.	
بوتیلیت هیدروکسی تولوئن، کنجد، ویتامین E	گوشت	افزایش تشکیل آکریلامید	Tareke et al. ,2003
آنتی‌اکسیدان‌های فنلی از کرانبری و ارگانو	برش‌های سیب زمینی سرخ شده	افزایش خفیف تشکیل آکریلامید	Vattem et al. ,2003
آسکوربیل پالمیتات و آسکوربات سدیم، بنزوئیل پراکسید هیدروژن پراکسید	سیب زمینی هموژنیزه شده حرارت دیده در آون	اثر روی میزان آکریلامید کوچک یا بدون اثر	Rydberg et al. ,2003
فرولیک اسید و آسکوربیک اسید	سیستم مدل بر اساس آرد گندم و آب، مشابه کراکرها	کاهش تشکیل آکریلامید، افزایش حذف آکریلامید	Levine et al. ,2005
TBHQ ، BHA ، BHT ، فرولیک اسید، ویتامین C و اپی گالاکتوکاتشین	سیب زمینی سرخ شده	عدم حذف آکریلامید و جلوگیری از تولید آن	Ou et al. ,2010

همان طور که از اطلاعات این جدول بر می‌آید، شاید بتوان از عصاره‌های گیاهانی که خاصیت آنتی اکسیدانی دارند در کاهش مقدار آکریلامید در غذاها استفاده نمود. لازم به ذکر است که احتمالاً ترکیبات دیگری غیر از ترکیبات آنتی اکسیدانی این عصاره‌ها در کاهش میزان آکریلامید غذاها نقش دارند. بنابراین برای شناخت مواد مؤثره این عصاره‌ها، به مطالعات بیشتری مورد نیاز می‌باشد.

دما و مدت حرارت دهی

تولید آکریلامید تحت مکانیسم میلارد یک واکنش گرماگیر است. انرژی اکتیواسیون واکنش میلارد در دامنه ۱۶۰- ۱۰ kJ/mol متغییر است. عواملی مانند : فعالیت آبی، pH و مواد شرکت کننده در واکنش می‌توانند در این تغییرات نقش داشته باشند و لذا این واکنش این پدیده می‌تواند نسبت به دما متغییر باشد(۲۸). در بررسی Stadler و همکاران (۲۰۰۰) مشخص شده است که میزان آکریلامید تولید شده در سیستم‌های مدل شامل آسپاراژین و د-فروکتوز، د-گالاکتوز، لاکتوز و سوکروز در دمای ۱۸۰°C زیاد می‌باشد(۱۵). در بررسی Biedermann و همکاران (۲۰۰۰) میزان تشکیل آکریلامید در دمای ۱۵۰°C در مدت ۳۰ دقیقه برای فروکتوز دو برابر گلوکز بوده است. با این حال Claeys و همکاران (۲۰۰۵) عنوان کرده اند که در دمای ۱۴۰°C میزان آکریلامید تولید شده در تحقیق آن‌ها برای گلوکز بیشتر از فروکتوز بوده است (۲۲). با این وجود مشخص شده است که میزان تشکیل آکریلامید در دمای ۱۸۰°C بیشتر از دماهای پائین‌تر است. . با این حال قدری از آکریلامید تولید شده ممکن است تبخیر شود، چون دمای جوش آکریلامید ۱۷۰°C است. لذا دماهای بالاتر می‌توانند باعث کاهش میزان آکریلامید شوند. چنان که Rydberg و همکارانان (۲۰۰۳) با بررسی میزان آکریلامید تولید شده در سیب زمینی از دمای ۱۰۰ تا ۲۲۰°C مشاهده کرده اند که تا ۲۲۰ °C درجه مقدار آکریلامید افزایش پیدا کرده و سپس کاهش می‌یابد. این امر نشان از پیشی گرفتن کاهش

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

آکریلامید به واسطه تبخیر و یا شرکت در واکنش‌ها نسبت به تولید آن در دماهای بالا است(۲۹). از دمای ۱۲۰ تا ۱۷۵°C یک رابطه خطی بین افزایش آکریلامید و دما در سیب زمینی و در غلات تا ۱۸۰°C مشاهده شده است. در دمای بالاتر در محصولات نام برده شده، مقدار آکریلامید کاهش یافته ولی مکانیسم‌های آن به خوبی شناخته نشده اند(۳۰).

Gokmen و Senyuva (۲۰۰۶) میزان تشکیل رنگ و آکریلامید در قهوه، آرد گندم و چیپس‌های سیب زمینی را در محدوده دمایی ۱۵۰ تا ۲۲۵ °C بررسی کرده‌اند. در بررسی آن‌ها ، در شروع حرارت دهی میزان آکریلامید افزایش یافته است . این افزایش تا محدوده‌ی دمایی ۲۰۰ تا ۲۲۵°C ادمه یافته است و سپس به صورت نمایی، کاهش یافته است. این عمل با تیره تر شدن رنگ قهوه همراه بوده است. در آرد گندم کاهش مقدار آکریلامید در محدوده حرارتی ۱۸۰ تا ۲۲۰°C مشاهده شده است. در خصوص چیپس نیز کاهش روشنی در تمامی درجات مشاهده شده است. در این محصول آکریلامید در دماهای بالاتر، سریع تر افزایش یافته و سریع تر نیز کاهش یافته است. در این تحقیق دمای حدود ۱۷۰°C درجه برای سرخ کردن سیب زمینی مناسب گزارش شده است(۳۱).

Lukac و همکاران (۲۰۰۷) اثر شرایط تفت دادن بر میزان آکریلامید و رنگ بادام تفت داده شده را در محدوده‌ی دمایی ۱۳۰ تا ۱۶۵°C درجه بررسی کرده‌اند. در این بررسی میزان آکریلامید تولید شده با دما (در تمامی درجات) ارتباط مستقیم داشته است. انرژی اکتیواسیون محاسبه شده برای تولید آکریلامید ۱۲۳ kJ/mol بوده است. هم‌چنین در دماهای ۱۴۵ و ۱۶۵°C میزان همبستگی روشنی رنگ با مقدار آکریلامید معکوس بوده است. هم‌چنین در این بررسی میزان آکریلامید تولید شده در نمونه‌های با رطوبت بیشتر، کمتر بوده است. با توجه به بالا بودن انرژی اکتیواسیون تشکیل آکریلامید در بادام تفت داده شده، Lukac و همکاران کنترل دمایی نقش کنترل دمایی در کاهش آکریلامید تولید شده را مهم دانسته اند(۳۲).

pH

تشکیل آکریلامید در pH = ۷-۸ شدت می‌یابد و با کاهش pH ، کاهش می‌یابد . Kim و Lee (۲۰۰۸) اثر pH در تشکیل آکریلامید از آسپاراژین - گلوکز و یا آسپاراژین فروکتوز را بررسی کرده‌اند. در این بررسی مشخص شده است که با افزایش pH در سیستم آسپاراژین -گلوکز، مقدار آکریلامید تولید شده، افزایش یافته است. اما در سیستم آسپاراژین - د- فروکتوز این امر صورت نگرفته است. تفاوت میزان آکریلات و آکریلامید تولید شده در pH =۱۰ بارزتر بوده است (برای گلوکز بالاتر از فروکتوز بوده است). با این وجود در خصوص آنانتیومرهای اسیدهای آمینه ، تنها تفاوت در میزان آکریلامید در سیستم فروکتوزی مشاهده شده است. هم‌چنین میزان آکریلات با افزایش pH بجز برای سیستم گلوکز/ال-آسپاراژین افزایش یافته است، اما در این pH آکریلامید تولید نشده است. بعلاوه تشکیل اکریلات به ویژه در pH =۴ هم برای سیستم‌های د- گلوکز و فروکتوز مشاهده شده است. این تحقیق به وضوح اثر تداخلی نوع قند و pH را نشان داده است.

فعالیت آبی

در واکنش میلارد، فعالیت آبی یک اثر دو سویه دارد. به طور کلی انجام گرفتن این واکنش در محدوده‌ی رطوبت میانی (۰/۳ تا ۰/۷ = aw) حداکثر است. در مقادیر بالای فعالیت آبی رقیق شدن ترکیبات شرکت کننده در واکنش و در پایین‌تر از آن کاهش تحرک این ترکیبات در کاهش واکنش میلارد نقش دارند. بیشتر تحقیقات انجام شده در خصوص واکنش میلارد در دماهای پایین (۶۰-۳۰°C) صورت گرفته است و در دماهای بالاتر احتمالاً فعالیت‌های آبی پایین‌تر بیشتر برای واکنش میلارد مطلوب هستند (۲۸). در بررسی‌های Jung و همکاران (۲۰۰۷) وClaeys و همکاران (۲۰۰۵) میزان آکریلامید تولید شده در محصولات سیب زمینی در رطوبت ۲۰-۱۰٪ حداکثر بوده است. در دیگر محصولات نیز در انتهای فرآیند سرخ کردن و کباب کردن با کاهش بیشتر رطوبت ،تولید آکریلامید افزایش پیدا کرده است (۲۳، ۲۲). در بررسی Elmore و همکاران (۲۰۰۵) در محدوده رطوبت ۰/۱ تا ۰/۵ ٪ یک رابطه خطی معکوس بین مقادیر آکریلامید در کیک‌های سیب زمینی و میزان رطوبت آن‌ها مشاهده شده است(۳۴).

راه‌های کاهش آکریلامید در مواد غذایی با مقدار آکریلامید بالا

همان طور که اشاره شد، میزان آکریلامید تولید شده در محصولات سیب زمینی، محصولات غلاتی و آردی، محصولات خشک شده و مغزهای تفت داده شده و قهوه میزان آکریلامید تولید شده بیشتر از سایر مواد غذایی است. با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی این محصولات ، بر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

حسب نوع محصول می‌توان راه کارهای زیر را برای کاهش میزان آکریلامید در این محصولات ارائه کرد:

محصولات سیب زمینی

انتخاب گونه‌ی مناسب : دارای میزان قند پایین تر و ژن تولید کننده آسپاراژیناز(تغییر ژنتیکی باعث کاهش ۲۰ برابری آسپاراژین در سیب زمینی شده است).

کنترل شرایط کشت: استفاده از کود نیتروژنه، قند احیا را کاهش می‌دهد (به میزان ۱۰۰-۶۰٪).

کاربرد آنزیم آسپارژیناز: استفاده از آنزیم آسپارژیناز در محصولات خمیری سیب زمینی می‌تواند منجر به کاهش میزان آسپاراژین و در نتیجه آکریلامید شود.

کنترل شرایط انباری: نگهداری سیب زمینی در دمای ۱۲ تا ۱۶ ºC، بالای ۶ ºC برای کاهش و یا عدم افزایش قندهای احیاء کننده به واسطه تجزیه نشاسته توصیه می‌شود.

بلانچ: پیش جوشاندن و یا خیساندن ابتدایی باعث تراوش قندها و آسپاراژین از سیب زمینی خام می‌شود.

کاهش pH پس از بلانچ کردن سیب زمینی: با استفاده از نمک سدیم اسید پیروفسفات و یا اسیدهای خوراکی مجاز در صورتی که ویژگی‌های حسی محصول آسیب نبیند.

کنترل زمان و دمای حرارت دهی: شروع حرارت دهی ۱۴۰ºC و اتمام آن ۱۶۰ ºC، حداکثر دما ۱۷۵ºC

کاربرد محلول‌های نمک‌های یون‌های دو یا سه ظرفیتی: محلول‌های یون کلسیم (اثر کاهش: ۹۵٪) و یا یک ظرفیتی مانند کلرید سدیم. البته باید توجه کرد که کلرید سدیم می‌تواند باعث افزایش سدیم بدن شود.

تهیه‌ی برش‌های بزرگ‌تر: قطعات بزرگتر سیب زمینی سرخ شده در مقایسه با قطعات کوچکتر، آکریلامید کمتری در واحد وزن دارند.

سرخ کردن سیب زمینی تا رسیدن به رنگ زرد طلایی، سرد کردن سریع پس از سرخ کردن و جداسازی سیب زمینی‌های سرخ شده با رنگ تیره.

سرخ کردن تحت خلاء و یا استفاده از روش‌های حرارتی مناسب: (احتمالاً خلاء مقدار آکریلامید تولید شده در سیب زمینی را در حین حرارت دهی کاهش می‌دهد). حرارت دهی با مادون قرمز و بخار خشک که برای چیپس‌های با چربی کم به کار می‌روند در کاهش آکریلامید مؤثر هستند.

جایگزینی قندهای احیاکننده با غیر احیا کننده و یا پلی‌ساکاریدها در فرمولاسیون (۳۸-۳۵).

محصولات غلاتی و آردی

دقت در مراحل کشاورزی و انتخاب گونه: مشخص شده که نوع کود و سیستم کشاورزی در مقدار آکریلامید تولید شده در این محصولات نقش دارند. افزایش پروتئین باعث افزایش آکریلامید تولیدی می‌شود.

*در چاودار گونه تاثیر چندانی در میزان آکریلامید ندارد. اما در گندم از ۷/۸ تا ۹/۲۴ mg/kg متفاوت است.

میزان استخراج: درجه‌ی استخراج بالاتر (مقادیر بیشتر سبوس، آلرون و جوانه) در گندم و چاودار، منجر به افزایش مقدار آسپاراژین آزاد می‌گردد. به ویژه در چاودار این مقدار حدود ۱۰ برابر در مقایسه با آرد با درجه‌ی استخراج پایین است.

تخمیر : افزایش زمان تخمیر منجر به کاهش مقدار آسپاراژین آزاد می‌شود. ۲ ساعت تخمیر باعث کاهش ۸۰٪ آسپاراژین آزاد می‌گردد. در این کاهش ،مخمرها نقش مؤثرتری از باکتری‌های لاکتیکی دارند.

کاهش مقدار قند احیاء کننده: جایگزین کردن قندهای احیا با ساکاروز

انتخاب نوع عمل آورنده : NaHCO3 و Na2CO3 به اندازه‌ی NH4HCO3 ، آکریلامید تولید نمی کنند.

کاهش pH: به کارگیری اسیدها (نظیر: سیتریک و تارتاریک) در فرمول ماده غذایی.

کنترل زمان و دمای حرارت دهی: در ابتدای پخت میزان آکریلامید تولید شده بیشتر است و سپس در دماهای ۱۸۰ تا ۲۰۰ ºC میزان اتلاف از تولید بیشتر می‌گردد. کاهش میزان آکریلامید در محصولات خیلی پخته گزارش شده است.

کنترل رطوبت در حین حرارت دهی: در میزان رطوبت پایین پوسته محصول، میزان آکریلامید تولیدی افزایش می‌یابد.

کنترل شکل محصول: در کناره‌ها تولید آکریلامید بیشتر است لذا شکل‌های دایره‌ای می‌توانند مطلوب تر باشند(۳۷-۴۱).

محصولات خشک شده و مغزهای تفت داده شده

کنترل دما و مدت فرآیند خشک کردن باید متناسب با نوع محصول صورت گیرد. انتخاب مواد اولیه مناسب می‌تواند به کاهش آکریلامید تولید شده در حین فرآیند خشک کردن کمک کند (۳۸).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

قهوه: هنوز دستورالعمل خاصی برای کاهش میزان آکریلامید در قهوه توصیه نشده است. این امر شاید به علت کاهش میزان طعم قهوه در شرایطی باشد که آکریلامید کاهش می‌یابد. حرارت دهی زیاد قهوه و یا استفاده از آنتی اکسیدان‌ها می‌توانند به کاهش آکریلامید در قهوه منجر شوند. گزارش شده که در زمان انبارمانی میزان آکریلامید در قهوه کاهش می‌یابد. اما این امر می‌تواند به ویژگی‌های حسی آن آسیب بزند (۴۲، ۳۸).

نتیجه‌گیری

آکریلامید (۳- پروپیون آمید) یک ترکیب شیمیایی است که در صنعت به منظور تهیه پلی‌آکریلامید تولید می‌شود و کاربردهای صنعتی فراوانی دارد. اثرات مخرب آکریلامید بر اعصاب و قدرت باروری تأیید شده است و نیز احتمال اثرات موتاژنیکی و سرطانزایی (از طریق تولید اپوکسیدش در بدن انسان) داده می‌شود. این ترکیب از راه‌های غیر غذایی (محیط آلوده، مواد آرایشی و بهداشتی، آب و سیگار) و غذایی وارد بدن انسان می‌شود. در افرادی که مستقیماً با آن سروکار ندارند و نیز سیگاری نیستند، مواد غذایی منبع اصلی دریافت این سم است. منابع غذایی مهم دریافت آکریلامید عبارتند از : محصولات سیب زمینی ، محصولات غلاتی و آردی، محصولات خشک شده، مغزهای تفت داده شده و قهوه. تشکیل این ترکیب در مواد غذایی از واکنش میلارد پیروی می‌کند. در سیستم‌های قند- پروتئین، گروه کربونیل حاصل از قندهای احیا و در سیستم‌های با پایه چربی،گروهای کربونیل حاصل از تجزیه چربی مسوول واکنش با واحدهای آمینی می‌باشند. عمده ترین اسید آمینه‌ای که در واکنش تشکیل آکریلامید شرکت می‌کند، آسپاراژین است. واکنش تشکیل آکریلامید در pH بالاتر از ۷ شدت می‌یابد. افزایش دما باعث افزایش تولید آکریلامید می‌گردد و در دماهای بالا (بسته به نوع محصول ۱۸۰-۲۲۰ °C) کاهش مقدار آکریلامید به واسطه پیشی گرفتن تخریب نسبت به تولید، ممکن است مشاهده شود. تولید آکریلامید در رطوبت‌های میانی بیشتر صورت می‌گیرد. ترکیب ماده غذایی در مقدار آکریلامید تولید شده نقش دارد. از جمله این اثرات می‌توان به اثر کاهشی یون ها (به ویژه دو ظرفیتی)، صمغ‌ها و آنتی اکسیدان‌ها (از طریق کاهش محصولات اکسیداسیون) اشاره کرد. برای کاهش آکریلامید تولید شده در مواد غذایی ، با توجه به نوع محصول می‌توان راه کارهایی مانند : کاهش مواد اولیه واکنش (از طریق اصلاح ژنتیکی، انجام فرآیندهایی نظیر: شستشو و تخمیر، استفاده از آنزیم آسپارژیناز)،استفاده از فرآیندهای حرارتی مناسب (کاربرد روش‌های حرارتی پرتویی تحت خلاء به جای روش‌های مستقیم و هدایتی) ، تغییر فرمولاسیون (استفاده از کربوهیدرات‌های غیر احیا و پلی‌مری به جای قندهای احیا) و استفاده از مواد افزودنی (افزودن و یا خیساندن در محلول‌های حاوی : آنتی اکسیدان‌ها ، اسیدی‌های خوراکی، نمک‌ها و صمغ ها) را بسته به نوع محصول توصیه نمود. این راه کارها را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود: ۱- حذف یا کاهش مواد واکنش دهنده، ۲- اختلال در واکنش تشکیل آکریلآمید (کنترل رابطه‌ی دما - زمان، pH، و فعالیت آبی) و ۳- تخریب یا به دام اندازی آکریلامید پس از تشکیل.

References

1. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M. Acrylamide: a cooking carcinogen? Chemical research in toxicology. 2000;13(6):517-22.
2. Stadler RH, Blank I, Varga N, Robert F, Hau J, Guy PA, et al. Acrylamide from Maillard reaction products .Nature. 2002;419(6906):449-50.
3. Amrein TM, Schönbächler B, Rohner F, Lukac H, Schneider H, Keiser A, et al. Potential for acrylamide formation in potatoes: data from the 2003 harvest. European Food Research and Technology. 2004;219(6):572-8.
4. Becalski A, Lau BPY, Lewis D, Seaman SW, Hayward S, Sahagian M, et al. Acrylamide in French fries: influence of free amino acids and sugars. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004;52(12):3801-6.
5. Amrein TM, Bachmann S, Noti A, Biedermann M, Barbosa MF, Biedermann-Brem S, et al. Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003;51(18):5556-60.
6. Biedermann M, Noti A, Biedermann-Brem S, Mozzetti V, GROB K. Experiments on acrylamide

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

formation and possibilities to decrease the potential of acrylamide formation in potatoes. Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene. 2002;93(6):668-87.

7. Eriksson S. Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology. 2005.
8. Umano K, Shibamoto T. Analysis of acrolein from heated cooking oils and beef fat. Journal of agricultural and food chemistry. 1987;35(6):909-12.
9. Yasuhara A, Tanaka Y, Hengel M, Shibamoto T. Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003;51(14):3999-4003.
10. Yaylayan VA, Stadler RH. Acrylamide formation in food: A mechanistic perspective. Journal of AOAC International. 2005;88(1):262-7.
11. Yaylayan V, Perez Locas C, Wnorowski A, O'Brien J. Mechanistic pathways of formation of acrylamide from different amino acids. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food. 2005:191-203.
12. Stadler RH, Verzegnassi L, Varga N, Grigorov M, Studer A, Riediker S, et al. Formation of vinylogous compounds in model Maillard reaction systems. Chemical research in toxicology. 2003;16(10):1242-50.
13. Sohn M, Ho CT. Ammonia generation during thermal degradation of amino acids. Journal of agricultural and food chemistry. 1995;43(12):3001-3.
14. Granvogl M, Jezussek M, Koehler P, Schieberle P. Quantitation of 3-aminopropionamide in potatoes A minor but potent precursor in acrylamide formation. Journal of agricultural and food chemistry. 2004;52(15):4751-7.
15. Stadler RH, Robert F, Riediker S, Varga N, Davidek T, Devaud S, et al. In-depth mechanistic study on the formation of acrylamide and other vinylogous compounds by the Maillard reaction. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004;52(17):5550-8.
16. Yaylayan VA, Wnorowski A, Locas CP. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003;51(6):1753-7.
17. Adrian J. Nutritional and physiological consequences of the Maillard reaction. World review of nutrition and dietetics. 1974;19:71.
18. BIEDERMANN M, GROB K. Model studies on acrylamide formation in potato, wheat flour and corn starch; ways to reduce acrylamide contents in bakery ware. Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene. 2003;94(5):406-22.
19. Pollien P, Lindinger C, Yeretzian C, Blank I. Proton transfer reaction mass spectrometry, a tool for on-line monitoring of acrylamide formation in the headspace of Maillard reaction systems and processed food. Analytical chemistry. 2003;75(20):5488-94.
20. Schieberle P, Köhler P, Granvogl M. New aspects on the formation and analysis of acrylamide. Chemistry and safety of acrylamide in food. 2005:205-22.
21. Low MY, Koutsidis G, Parker JK, Elmore JS, Dodson AT, Mottram DS. Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006;54(16):5976-83.
22. Claeys WL, De Vleeschouwer K, Hendrickx ME. Kinetics of acrylamide formation and elimination during heating of an asparagine-sugar model system. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005;53(26):9999-10005.
23. Zeng X, Cheng KW, Du Y, Kong R, Lo C, Chu IK, et al. Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. Food Chemistry. 2010;121(2):424-8.
24. Gökmen V, Şenyuva HZ. Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. Food Chemistry. 2007;103(1):196-203.
25. Gökmen V, Şenyuva HZ. Effects of some cations on the formation of acrylamide and furfurals in glucose–asparagine model system. European Food Research and Technology. 2007;225(5):815-20.
26. Ou S, Shi J, Huang C, Zhang G, Teng J, Jiang Y, et al. Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. Journal of hazardous materials. 2010;182(1):863-8.
27. Morales F, Capuano E, Fogliano V. Mitigation strategies to reduce acrylamide formation in fried potato products. Annals of the New York Academy of Sciences. 2008;1126(1):89-100.
28. Lingnert H. Development of the Maillard reaction during food processing. The Maillard reaction in food processing, human nutrition and physiology Advances in Life Sciences Basel: Birkhauser. 1990:171-84.
29. Rydberg P, Eriksson S, Tareke E, Karlsson P, Ehrenberg L, Törnqvist M. Factors that influence the acrylamide content of heated foods. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food. 2005:317-28.
30. Gökmen V, Palazoğlu TK, Şenyuva HZ. Relation between the acrylamide formation and time–temperature history of surface and core regions of

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

French fries. Journal of Food Engineering. 2006;77(4):972-6.

31. Gökmen V, Şenyuva HZ. Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. Food Chemistry. 2006;99(2):238-43.
32. Lukac H, Amrein TM, Perren R, Conde□Petit B, Amadò R, Escher F. Influence of roasting conditions on the acrylamide content and the color of roasted almonds. Journal of food science. 2006;72(1):C033-C8.
33. Jung M, Choi D, Ju J. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in French fries. Journal of Food Science. 2006;68(4):1287-90.
34. Elmore JS, Koutsidis G, Dodson AT, Mottram DS, Wedzicha BL. The effect of cooking on acrylamide and its precursors in potato, wheat and rye. Chemistry and safety of acrylamide in food. 2005:255-69.
35. Foot R, Haase N, Grob K, Gonde P. Acrylamide in fried and roasted potato products: a review on progress in mitigation. Food additives and contaminants. 2007;24(sup1):37-46.
36. Pedreschi F, Bustos O, Mery D, Moyano P, Kaack K, Granby K. Color kinetics and acrylamide formation in NaCl soaked potato chips. Journal of food engineering. 2007;79(3):989-97.
37. Muttucumaru N, Elmore JS, Curtis T, Mottram DS, Parry MAJ, Halford NG. Reducing acrylamide precursors in raw materials derived from wheat and potato. Journal of agricultural and food chemistry. 2008;56(15):6167-72.
38. Medeiros Vinci R, Mestdagh F, De Meulenaer B. Acrylamide formation in fried potato products–Present and future, a critical review on mitigation strategies. Food Chemistry. 2012;133(4):1138-54.
39. Konings EJM, Ashby P, Hamlet CG, Thompson GAK. Acrylamide in cereal and cereal products: A review on progress in level reduction. Food additives and contaminants. 2007;24(sup1):47-59.
40. Claus A, Carle R, Schieber A. Acrylamide in cereal products: A review. Journal of Cereal Science. 2008;47(2):118-33.
41. Keramat J, LeBail A, Prost C, Jafari M. Acrylamide in baking products :A review article. Food and Bioprocess Technology. 2011;4(4):530-43.
42. Guenther H, Anklam E, Wenzl T, Stadler RH. Acrylamide in coffee: Review of progress in analysis, formation and level reduction. Food additives and contaminants. 2007;24(sup1):60-70

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]

Investigation of Acrylamide formation and reduction ways of it in specific food products

Ghasemzadeh V[1], Atefi M[2], Homaunfar R[1], Hejazi E[1] , Todeh Rosta Z[1]*

1. *Students' Research Committee, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty ofNutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran,Iran.*
2. **Corresponding author: Students' Research Committee, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty ofNutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran,Iran. Email: Mohsen.Atefi@sbmu.ac.ir*

Abstract

Acrylamide is a potential cause of a wide spectrum of toxic effects. On April 24, 2002, the Swedish National Food Agency presented data that showed high concentrations of acrylamide in certain foods. Since the year, it was revealed that at normal condition, food is the main source of acrylamide intake. For this reason, many researchers have been focused on this subject. Better knowing of acrylamide formation helps us in reduction of it in special food products. This review, presents informations about acrylamide formation in foods and reduction ways of it in specific food products .

This research has been done base on electronically research. Articles, books and reports were gathered from electronic resources (like Web of knowledge) and after reading and analysis of them, the review was prepared .

Main food sources of acrylamide are: Cereals and Bakery products, potato and dried products, café and toasted nuts. In these products, acrylamide formation has a good relation to the Maillard browning reaction. Reaction of asparagine with reducing sugars is the main way of acrylamide formation. At the lower content of asparagine, fructose is more effective than glucose. At the higher addition of reducing sugars, it is asparagine, which is the limiting factor in the formation. Also alternative pathways are suggested for acrylamide formation. Aspartic acid, carnosine, β-alanine, serine, cysteine, aminopropionamide and pyruvic acid can produce acrylamide via acrylic acid formation. Acrylamide formation is increased with increasing temperature from about 120 to 180 °C and then may be decreased. In addition, acrylamide formation was increased with increasing in pH, especially higher than 7. Another factor which effects on acrylamide formation is water activity .

Nature and final specifications of food product effects on selection of reducing ways for acrylamide content in it. Depending on the kind of food products, different strategies are proposed. Some of these strategies are as follow: 1-Removing or reducing of reactants, 2-Disruption in acrylamide formation (controlling of temperature-time relation, pH, and water activity) , and 3- Destroying and/or trapping of acrylamide after its formation .

Keywords: Acrylamide, Acrylic acid,food product, Maillard browning reaction

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-12]