تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۱۹/ شماره ۶۹/پاییز و زمستان ۱۳۹۹/ص ۲۰۶-۱۸۷

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: مروری

بررسی ترکیبات ضد تغذیه‌ای حاصل از واکنش میلارد در محصولات غذایی صنعتی و سنتی کشورهای مختلف

عادله محمدی[۱] و محمد قربانی[۲*]

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۱۲/۶ ؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۶/۳۱

چکیده

واکنش میلارد یا قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی معمولاً در فرایندهای حرارتی، نگهداری و ... در فراورده‌های غذایی رخ می‌دهد و آنچه از این واکنش به دست می‌آید در این فراورده‌ها باقی می‌ماند. تولیدکنندگان محصولات غذایی اغلب از محصولات تولیدی در واکنش میلارد برای بهبود رنگ، بافت و افزایش عطر و طعم باهدف افزایش دلپذیری و محبوبیت فراورده‌های غذایی استفاده می‌کنند. محصولات تولیدی در واکنش میلارد به غیر از جنبه‌های مثبت، آثار جهش‌زایی، سرطان‌زایی و سیتوتوکسیک نیز دارند. آکریل‌آمید، فوران و ۵- هیدروکسی متیل فورفورال از ترکیبات بالقوه زیان‌آور حاصل از واکنش میلارد شناسایی شده‌اند. گروه‌های غذایی متنوعی که از لحاظ ترکیبات توکسینوژنیک ارزیابی شده‌اند غالباً مصرف بالایی در جوامع انسانی دارند، از این رو استراتژی‌های کاهش این ترکیبات باید در اولویت فرایند تولید محصولات غذایی قرار گیرند. این مقاله مروری است بر ترکیبات ضد تغذیه‌ای حاصل از واکنش میلارد در محصولات غذایی صنعتی و سنتی کشورهای مختلف.

واژه‌های کلیدی

آکریل‌آمید، فراورده‌های غذایی، فوران، قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، ۵- هیدروکسی متیل فورفورال

مقدمه

واکنش میلارد در سال ۱۹۱۲ توسط لویس کامیل میلارد شناسایی شد و به واکنش قهوه‌ای‌شدن غیر آنزیمی نیز معروف است. این واکنش از زمان شناسایی تاکنون به طور گسترده مطالعه شده است، زیرا علاوه بر مواد غذایی در موجودات زنده نیز رخ می‌دهد (Gerrard, 2006). در فراورده‌های غذایی، مواد حاصل از واکنش میلارد معمولاً طی پخت و حرارت‌دهی، نگهداری و سایر فرایندها تشکیل می‌شوند (Kwak & Lim, 2004). تولیدکنندگان مواد غذایی اغلب از محصولات تولیدی در این واکنش برای بهبود رنگ، بافت و افزایش آروما به‌منظور افزایش دلپذیری و محبوبیت فراورده‌های غذایی استفاده می‌کنند. آنچه از واکنش میلارد به دست می‌آید ویژگی‌های ارگانولپتیک غذاهای پخته شده و حرارت دیده را به طور قابل توجهی بهبود

* نگارنده مسئول: Email: m.ghorbani@gau.ac.ir

http://doi: 10.22092/fooder.2020.342090.1259

© 2020,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

می‌بخشد (Bastos *et al.*, 2012) با این حال، تغییرات رنگ و آرومای حاصل از فراورده‌های میلارد همیشه مطلوب نیستند (Rannou *et al.*, 2016) به غیر از تغییرات حسی، فراورده‌های حاصل از واکنش میلارد می‌توانند خواص تغذیه‌ای و توکسیکوژنیک مواد غذایی را تحت تأثیر قرار دهند. مشخص شده است که برخی از فراورده‌های حاصل از واکنش میلارد، به‌ویژه ملانوئیدین‌ها، دارای ویژگی‌های سلامتی‌بخشی مانند ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی و ضد پیری هستند (Delgado-Andrade, 2014). فراورده‌های حاصل از واکنش میلارد به غیر از جنبه‌های مثبت سلامتی بخش اثرهای زیان‌آور نیز دارند. آکریل‌آمید، فوران، ۵- هیدروکسی متیل فورفورال و آمین‌های هتروسیکلیک از ترکیبات بالقوه زیان‌آور حاصل از واکنش میلارد شناسایی شده‌اند. آکریل‌آمید، فوران و ۵- هیدروکسی متیل فورفورال عمدتاً در فراورده‌های حاصل از غلات و سیب‌زمینی تشکیل می‌شوند درحالی‌که آمین‌های هتروسیکلیک در فراورده‌های گوشتی و ماهی به وجود می‌آیند (Rannou *et al.*, 2016). مطالعات در زمینه محدودسازی تشکیل برخی از محصولات ناشی از واکنش میلارد با تحقیقات پزشکی همپوشانی دارد، زیرا این محصولات به‌طور مستقیم در بدن انسان نیز طی فرایند گلیکیشن تولید می‌شوند که به بیماری‌های مزمنی مانند دیابت، پوکی استخوان و پیری می‌انجامد (Gerrard, 2006). مقایسه و مطالعه استراتژی‌های لازم برای کاهش دادن تولید فراورده‌های حاصل از واکنش میلارد در غذاها و بدن انسان بسیار جالب توجه و کاربردی است زیرا برخی از راه‌حل‌ها به‌منظور تعدیل این فراورده‌ها، مثل استفاده از پلی فنل‌ها، در هر دو مورد غذایی و پزشکی کارایی دارد (Cecile *et al.*, 2016).

در این مطالعه مکانیسم واکنش میلارد، دلایل کنترل این فرایند، فراورده‌های ضدتغذیه‌ای حاصل از آن در محصولات غذایی صنعتی و سنتی کشورهای مختلف و استراتژی‌های موجود برای تعدیل این ترکیبات بررسی می‌شود.

واکنش میلارد

واکنش میلارد یکی از واکنش‌های غیرآنزیمی است که مکانیسم آن هنوز به‌طور کامل شناسایی نشده است (Purlis, 2010). این واکنش به سه مرحله عمده تقسیم می‌شود.

مرحله اول با تراکم قند و آمین شروع می‌شود و به دنبال آن بازآرایی آمادوری رخ می‌دهد. محصولات این مرحله بی‌رنگ‌اند و فاقد جذب در نور فرابنفش (۲۸۰ نانومتر) هستند (Hodge, 1953; Nursten, 2005). محصولات ناشی از بازآرایی آمادوری با توجه به pH سیستم به فراورده‌های مختلفی تجزیه می‌شوند (Purlis, 2010). در pH های بیش از ۷، با تخریب محصولات ناشی از بازآرایی آمادوری از طریق مسیر ۳،۲ - انولیزاسیون ترکیباتی مانند ردوکتون‌ها (فورانون) تولید می‌شود درحالی‌که در pH برابر ۷ و کمتر، مسیر ۱،۲- انولیزاسیون فعال است که منجر به شکل‌گیری ترکیباتی مانند فورفورال یا ۵- هیدروکسی متیل فورفورال می‌گردد. انولیزاسیون فرایندی است که طی آن یک کتون یا آلدئید به انول (در شرایط اسیدی) یا انولات (در شرایط قلیایی) مربوط تبدیل می‌شود (Nursten, 2005; Lertittikul *et al.*, 2007).

مرحله دوم یا مرحله میانی شامل دهیدراته‌شدن قند، تکه تکه شدن و تجزیه آمینواسید است (تجزیه استریکر). آنچه از این تجزیه به دست می‌آید می‌تواند ترکیبات فرار یا پیش‌سازهای ترکیبات فرار باشند که به طعم مواد غذایی کمک می‌کنند.

دهیدروردوکتون‌ها حاصل از دهیدراسیون قندها و سایر محصولات تولیدی حاصل از تجزیه قند از طریق واکنش استریکر، آلدئیدها را تولید می‌کنند. محصولات تولیدی شامل آلدئیدهایی با یک اتم کربن کمتر از اسید آمینه اصلی هستند. آنها نقش مهمی در آروماهای محصولات غذایی بر عهده دارند (Whitfield, 1992). محصولات مرحله میانی بی‌رنگ یا زرد هستند و جذب زیادی در نور فرابنفش دارند (Nursten, 2005).

مرحله سوم یا مرحله نهایی شامل تراکم آلدول‌ها، تراکم آلدهید- آمین و تشکیل ترکیبات نیتروژن‌دار هتروسیکلیک است (Hodge, 1953; Nursten, 2005). ترکیبات انفعالی مرحله دوم طی واکنش‌های پلیمریزاسیون محصولات رنگی با وزن مولکولی بالا به نام ملانوئیدین‌ها را ایجاد می‌کنند. این رنگدانه‌ها مسئول توسعه رنگ در مواد غذایی طی فرایندهای حرارتی هستند (مانند نان، بیسکویت و گوشت). واکنش پلیمریزاسیون به سفت شدن مواد غذایی پخته شده و ذخیره شده نیز کمک می‌کند (Machiels, 2002).

دلایل کنترل واکنش میلارد

محصولات غذایی باید دارای خواص ارگانولپتیکی خوب و ویژگی‌های تغذیه‌ای مناسب برای مصرف‌کنندگان باشند. تعدادی از محصولات تولیدی در فرایند میلارد مانند ملانوئیدین‌ها ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و فعالیت‌های ضدمیکروبی دارند درحالی‌که تعداد دیگری از این تولیدات در بسیاری از بیماری‌ها مانند دیابت، پوکی استخوان و بیماری‌های قلبی- عروقی دخالت دارند (Delgado-Andrade, Morales *et al.*, 2010). از این رو حصول به کیفیت مطلوب مواد غذایی، کنترل فرایند میلارد و فراورده‌های تولیدی در آن الزامی است.

۱- جنبه‌های ارگانولپتیکی

واکنش میلارد اغلب برای تولید عطر و طعم اشتهاآور در محصولات غذایی (مانند پخت نان و کباب کردن گوشت) توصیه می‌شود، اما در برخی محصولات پاستوریزه و استریلیزه مانند آب میوه‌ها، شیر UHT و شیرخشک این امر نامطلوب تلقی خواهد شد (Jaeger *et al.*, 2010). شیر حاوی لاکتوز و پروتئین است که به‌عنوان واکنش‌گرهای میلارد عمل می‌کنند. فرایند حرارتی اعمال شده بر شیر، که به تولید رنگ قهوه‌ای و تشکیل طعم پخت می‌انجامد، مطلوب مصرف‌کنندگان نیست (Schamberger & Labuza, 2007; Singh *et al.*, 2009)، همین مشکلات در تولید آب‌میوه‌ها نیز مشاهده می‌شود. قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی ویژگی‌های ارگانولپتیک آب‌میوه‌ها و کنسانتره‌های آب‌میوه را کاهش می‌دهد و ارزش تجاری آنها را می‌کاهد (Fustier, St-Germain *et al.*, 2011; Du, Dou *et al.*, 2012).

۲- جنبه تغذیه‌ای

واکنش میلارد فراهمی‌زیستی و هضم اسیدهای آمینه پروتئین را کاهش می‌دهد (Friedman, 1996; Malec *et al.*, 2002). لیزین به علت داشتن دو گروه آمینو (α و ε)، یکی از واکنش‌پذیرترین اسید آمینه‌ها طی این واکنش محسوب می‌شود (Malec *et al.*, 2002; Kwak & Lim, 2004). مطالعات زیادی به‌منظور تعیین کاهش لیزین موجود طی فرایندهای حرارتی مواد غذایی مانند شیر (Malec *et al.*, 2002)، شیر خشک (Schmitz *et al.*, 2011)، غلات نوزادان (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2004)، غلات غنی‌شده با فیبر (Delgado-Andrade *et al.*, 2007)

و محصولات نانوایی (Purlis, 2010) در دسترس هستند. اسید اسکوربیک نیز به علت ساختارش در واکنش میلارد درگیر می‌شود و کاهش ارزش غذایی، قهوه‌ای شدن و بدطعمی را ایجاد می‌کند (Damasceno *et al.*, 2008; Smuda & Glomb, 2013). یون‌های فلزی مانند کلسیم، منیزیم، مس، آهن و روی می‌توانند با فراورده‌های حاصل از واکنش میلارد واکنش دهند و در بسیاری از واکنش‌های میلارد دخالت داشته باشند به طوری که این امر باعث کاهش فرایند جذب آنها توسط ارگانیسم‌ها می‌شود (Nursten, 2005; Ramonaitytė *et al.*, 2009). فراورده‌های ناشی از واکنش میلارد که از طریق رژیم غذایی وارد بدن می‌شوند به محصولات پیشرفته گلیکاته تبدیل خواهند شد که منجر به سرطان و پیری می‌گردند (Delgado-Andrade *et al.*, 2010).

۳- جنبه سلامت و سمیت زایی

فرایندهای حرارتی از طریق واکنش میلارد می‌توانند منجر به ترکیباتی زیان‌آور با اثرهای جهش‌زایی، سرطان‌زایی و سیتوتوکسیک شوند. در حال حاضر بیشترین مطالعات درزمینه آکریل‌آمید، فوران و ۵- هیدروکسی متیل فورفورال است، دلیل آن ویژگی‌های توکسیکولوژیکال بالقوه آنها و گستردگی حضور این ترکیبات در فراورده‌های غذایی است (Capuano & Fogliano, 2011; Anese & Suman, 2013).

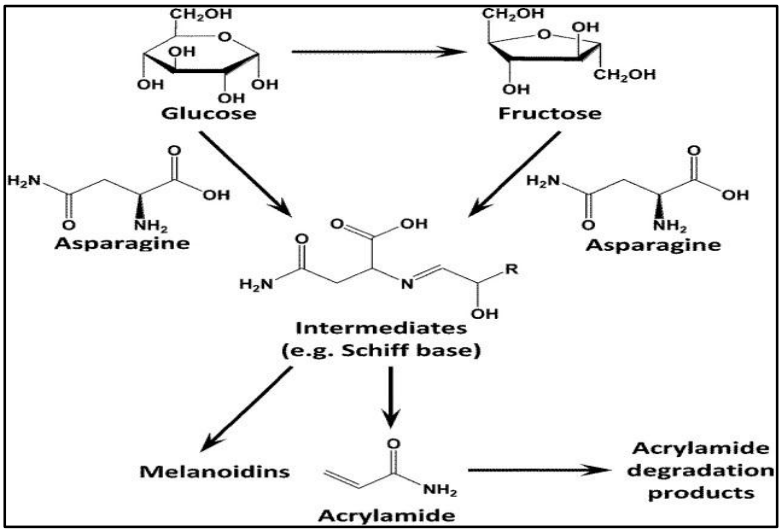
بررسی فراورده‌های ضدتغذیه‌ای در محصولات غذایی صنعتی و سنتی کشورهای مختلف

۱- آکریل‌آمید

آکریل‌آمید 2- (CH_2=CH-CO-NH_2; propenamide) ترکیبی کریستالی، فاقد رنگ و بوست که بیش از ۵۰ سال به‌منظور تولید پلی آکریل‌آمیدها به کار رفته و کاربردهای زیادی در کاغذسازی، نساجی، لوازم آرایشی و تصفیه آب داشته است (Borda & Alexe, 2011). این ترکیب کوچک در آب، استون و اتانول حل‌پذیر است و تحرک زیادی در خاک و آب‌های زیرزمینی دارد ضمن آنکه تجزیه‌پذیر نیز هست (Zhang & Zhang, 2007).

آکریل‌آمید به عنوان ترکیب سرطان‌زای ژنوتوکسیک و نوروتوکسیک طبقه‌بندی شده است (IARC., 1995; EFSA., 2015). جذب روزانه آکریل‌آمید خطر ابتلا به سرطان کلیه و پستان را افزایش می‌دهد (Hogervorst *et al.*, 2008). آزمایش‌ها مشخص ساخته‌اند که این ترکیب دارای اثرهای ژنوتوکسیک و نوروتوکسیک، جهش‌زایی و مخرب DNA است (Mojska *et al.*, 2012). دوز ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم- روزانه از طریق آب آشامیدنی و ۸ میلی‌گرم بر متر مکعب از طریق هوا می‌تواند باعث آثار نوروتوکسیسیتی در انسان شود (Hagmar, Törnqvist *et al.*, 2001).

از سال ۲۰۰۲، زمانی که تشکیل آکریل‌آمید در غذاها برای نخستین بار گزارش شد، تاکنون در زمینه شناسایی این ماده در مواد غذایی تحقیقات زیادی شده است (Borda & Alexe, 2011). مسیرهای مختلف و واسطه‌های تشکیل آکریل‌آمید شناسایی شده‌اند. مسیر اصلی تشکیل آکریل آمید تجزیه آسپاراژین در حضور قندهای احیاکننده طی مرحله میانی واکنش میلارد است (شکل ۱).



شکل ۱- تشکیل آکریل‌آمید طی فرایند میلارد (Cheng *et al.*, 2014).

این ترکیب طی فرایندهای حرارتی مانند سرخ کردن و پختن، در دمای بالا با رطوبت کم تشکیل می‌شود. مقادیر زیادی آکریل‌آمید در فراورده‌های غذایی با کربوهیدرات بالا یافت شده است (Stadler & Studer, 2015). جدول ۱ مقادیر آکریل‌آمید موجود در فراورده‌های غذایی تجاری و سنتی برخی از کشورها را نشان می‌دهد. مطالعات مشخص ساخته‌اند که سطوح آکریل‌آمید موجود در غذاهای تجاری در بین برندها و تولیدکنندگان متفاوت است. مدت زمان تولید، شرایط تولید و نوع فرایند تولید بر میزان آکریل آمید موجود در فراورده‌های غذایی تأثیر دارد. تحقیقات ژوانگ و همکاران (Zhuang *et al.*, 2012) در خصوص تعیین آکریل‌آمید در فراورده‌های غذایی سنتی چینی مشخص ساخت که نوع فرایند حرارتی تأثیر معنی‌داری بر مقدار آکریل‌آمید تولیدی دارد به طوری که فراورده‌های غذایی سنتی که با فرایند پف دادن (۱۹۷ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) تولید شده بودند نسبت به فرایندهای سرخ شدن (۱۶۷ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)، خشک شدن (۱۰۵ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)، تفت دادن (۱۰۴ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) و رستینگ (۹۱ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) بالاترین مقدار آکریل آمید را نشان دادند. اکثر غذاهای پف‌دار بررسی شده تحت تأثیر دما و فشار بالا از غلات تولید شده بودند، مقداری شکر یا نمک نیز به فرمولاسیون این فراورده‌ها افزوده می‌شود که باعث افزایش مقدار آکریل‌آمید در این فراورده‌ها می‌گردد. اعمال فرایند دمایی خشک و تشکیل پوسته قهوه‌ای از علل عمده تشکیل آکریل آمید در انواع غذاهاست (Al-Dmoor, 2005). pH برابر ۷ برای تولید آکریل‌آمید بهینه محسوب می‌گردد؛ تشکیل آکریل‌آمید در شرایط اسیدی مهار می‌شود که این امر می‌تواند به علت پروتونه شدن گروه α آمینوی آسپاراژین باشد (Zhang & Zhang, 2007). در مواد غذایی با pH بیشتر از ۶/۵ همراه با فرایند حرارتی میزان تولید آکریل‌آمید افزایش می‌یابد. جوشاندن، یکی از فرایندهای حرارتی، تأثیری در مقادیر این ترکیب ایجاد نمی‌کند (Al-Dmoor, 2005). نوع روغن مصرفی در فرایند سرخ کردن، دوره سرخ کردن و دما تأثیر قابل توجهی بر میزان آکریل‌آمید دارد (Gökmen, 2008; Ozkaynak & Ova, 2009). نتایج مطالعات ژانگ و همکاران

(Zhang *et al.*, 2007) نشان می‌دهد در غذاهای سنتی چینی فرایند بخارپز کردن، نسبت به سرخ کردن، مقادیر کمتری آکریل‌آمید تولید می‌شود. در دمای بالاتر از ۱۲۰ درجه سلسیوس، آسپارژین آزاد همراه با قندهای احیاکننده باعث افزایش میزان آکریل‌آمید می‌گردد (Mottram *et al.*, 2002). بر اساس برخی از تحقیقات اخیر مشخص شده است که سیب‌زمینی سرخ‌شده و چیپس بیش از ۴۹ درصد کل آکریل‌آمید مصرف شده در رژیم غذایی غربی را شامل می‌شود (Hu *et al.*, 2017). فراورده‌های سیب‌زمینی حاوی مقادیر بیشتری از قندهای احیاکننده و اسید آمینه آسپاراژین هستند، از این رو سیب‌زمینی سرخ‌شده و چیپس مقادیر بالایی آکریل‌آمید دارند (Elmore *et al.*, 2015).

جدول ۱- مطالعات در زمینه تولید آکریل‌آمید در محصولات صنعتی و سنتی تعدادی از کشورها

منابع	مقدار آکریل آمید (میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)	نوع فراورده غذایی	کشور
(Eslamizad *et al.*, 2019)	۵/۸-۸۳/۳	۵۶ نمونه نان سنتی سنگک و ۳۰ نمونه نان صنعتی	ایران
(Sadeghi *et al.*, 2016)	۴۰/۳-۳۲۰/۲	۲۴ نمونه نان صنعتی	
	۹/۵-۳۳۶/۳	۲۴ نمونه نان سنتی	
(Motaghi *et al.*, 2012)	۱۸-۱۶۱	۱۲۰ نمونه نان صاف	
(Boroushaki *et al.*, 2010)	۳۰-۱۶۸۸	۸ برند از فراورده‌های ذرت و ۷ برند از فراورده‌های سیب‌زمینی	
(Arribas-Lorenzo & Morales, 2009)	۸۱-۲۶۲۲	۱۶ محصول چیپس سیب‌زمینی	اسپانیا
(Rufián Henares, *et al.*, 2006)	۶۲-۸۰۳	۶۰ نمونه غلات صبحانه	
(Al dmoor, 2005)	۵۰۰ -۴۹۰۰	۱۴ نمونه محصول غذایی سنتی و نوشیدنی	اردن
(Tateo *et al.*, 2007)	۵۰-۲۹۴	۲۷ فراورده غذایی شامل سس گوجه‌فرنگی، برنج و سیب‌زمینی سرخ‌شده	ایتالیا
(Tateo *et al.*, 2010)	۲۷-۱۴۰۰	۳۲ محصول چیپس سیب‌زمینی	
(Arisseto *et al.*, 2007)	۲۰-۲۵۲۸	۱۱۱ نمونه غذایی شامل فراورده‌های سیب‌زمینی، قهوه، فراورده‌های کاساوا، نوشیدنی‌ها و نان	برزیل
(Razia *et al.*, 2016)	۲۷/۱-۱۳۲۳	۳۵ محصول غذایی مانند کیک، بیسکویت و چیپس سیب‌زمینی	پاکستان
(Ono *et al.*, 2003)	۵-۳۵۴۰	۶۳ نمونه غذای فراوری شده شامل چیپس سیب‌زمینی، کراکر برنج، تمپورا، نودل، وافل و لوبیای سرخ‌شده	ژاپن
(Ölmez *et al.*, 2008)	۱۰-۲۳۳۶	۳۱۱ نمونه غذایی سنتی و فراوری شده مانند بیسکویت، شکلات، حلوا، پیلاف، تاهینی، املت، پودر کاکائو و مربای توت فرنگی	ترکیه
(Boyacı Gündüz & Cengiz, 2015)	۱۲۱-۴۷۹	۴۳ نمونه نان مختلف	
(Boyaci Gunduz *et al.*, 2017)	۶۷-۱۳۷۶	۹۰ نمونه غذایی شامل کراکر، بیسکویت و غذای بچه	
(Hu *et al.*, 2017)	۱۰-۳۶۴۹	۶۹ برند فراورده غذایی غنی از کربوهیدرات	چین

ادامه جدول ۱- مطالعات در زمینه تولید آکریل‌آمید در محصولات صنعتی و سنتی تعدادی از کشورها

منابع	مقدار آکریل آمید (میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)	نوع فراورده غذایی	کشور
(Chen *et al.*, 2012)	۰/۴۱-۴۱۲۶/۲۶	۱۲۳ فراورده غذایی مانند سیب‌زمینی سرخ‌شده، ویفر، نودل، حلقه های برنج و گوشت فرایند شده	رومانی
(Zhuang *et al.*, 2012)	۲۳-۹۳۵	۲۲۳ نمونه از فراورده‌های سنتی چینی مانند پودر سویا، نودل، سبزی‌های خشک شده و چای سبز	
(Oroian *et al.*, 2015)	۱۸-۶۹۶۸	۱۲۵ فراورده غذایی مانند دانه قهوه، چیپس سیب‌زمینی و فراورده‌های سیب‌زمینی	
(Mioara, Iorga *et al.*, 2016)	۲۱/۳۱-۱۶۵/۵۳	۱۴ نمونه نان	
(Alyousef *et al.*, 2016)	۵۷-۱۸۴۴	۶۳ محصول غذایی شامل غلات صبحانه، بیسکویت، نان، قهوه، چیپس سیب‌زمینی	سوریه
	۱۳۰-۴۸۱	محصول غذایی سنتی شامل نان سرخ‌شده، باقلوا، النمورا، کنافه	
(Khan *et al.*, 2017)	۱۰-۶۸۲	۵۶ نمونه غذایی شامل قهوه عربی، چای و قهوه	عربستان سعودی
(Sirot *et al.*, 2012)	۲-۹۵۴	۱۹۲ محصول غذایی شامل نان، غلات صبحانه، بیسکویت، قهوه، شکلات، ساندویچ‌ها، همبرگر و پیتزا	فرانسه
(Shamla & Nisha, 2014)	۱۴/۷-۴۲۴۵/۵	۲۰ محصول غذایی شامل اسنک‌های سرخ‌شده و انواع چیپس	هند

هو و همکاران (Hu *et al.*, 2017) با بررسی ۱۰۵ نمونه غذایی موجود در بازار چین گزارش داده‌اند که بالاترین غلظت آکریل‌آمید در فراورده‌های سیب‌زمینی (۲۸۵±۵۶۴ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) و سپس فراورده‌های ذرت (۱۸۷ ± ۵۲۴ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)، غذاهای فوری (۳۵±۱۸۰ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)، فراورده‌های گندم (۲۹ ± ۹۶ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)، قطعات میوه خشک شده (۱۳ ± ۸۳ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) و فراورده‌های برنج (۱۷ ± ۸۲ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) وجود دارد. سیروت و همکاران (Sirot *et al.*, 2012) با بررسی ۲۲۸۰ نمونه غذایی موجود در بازار فرانسه مشخص ساختند که چیپس سیب‌زمینی (۹۵۴ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) و سیب‌زمینی سرخ‌شده (۷۲۴ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) حاوی بالاترین مقادیر آکریل آمید هستند.

اعمال حرارت در فرایند تولید انواع بیسکویت و نان باعث ایجاد واکنش میلارد و کاراملیزاسیون می‌شود که مسئول رنگ و طعم این محصولات‌اند (Rufian-Henares *et al.*, 2007). روفیان – هنارز و همکاران (Rufian-Henares *et al.*, 2007) گزارش داده‌اند که در فراوری بیسکویت استفاده از آمونیوم هیدروژن کربنات مقادیر آکریل‌آمید را افزایش می‌دهد درحالی‌که افزودنی‌های عملگرا، مانند پلی‌ال‌ها، سطوح تولیدی آکریل‌آمید را کاهش می‌دهند. میزان آکریل‌آمید در انواع مختلف نان بسیار متغیر است که این امر به دلیل تفاوت در نوع

و کیفیت مواد اولیه، فرمولاسیون، روش‌های فرایند و پارامترهای دخیل در فرایند است که بر تشکیل آکریل‌آمید مؤثر هستند (Boyacı Gündüz & Cengiz, 2015). گوندوز و سنگیز (Boyacı Gündüz & Cengiz, 2015) میزان آکریل‌آمید ۴۳ نمونه نان تولید شده از آرد سفید گندم، آرد سبوس گندم، آرد چاودار، سبوس کامل و آرد گندم کامل را بررسی کردند. بالاترین مقدار آکریل‌آمید در نان تولید شده از گندم کامل یافت شد که این امر را می‌توان به حضور جوانه و سبوس گندم در آرد و مقادیر قابل توجه آسپاراژین نسبت داد. مطالعات اسلامی‌زاد و همکاران (Eslamizad *et al.*, 2019) در زمینه وجود آکریل آمید در ۵۶ نمونه نان سنگک و ۳۰ نمونه نان صنعتی که از شیراز و تهران جمع آوری شده بودند مشخص ساخت که در بیش از ۹۰ درصد نمونه‌ها آکریل‌آمید یافت می‌شود. نتایج بررسی‌های این محققان نشان می‌دهد که نان منبع عمده تولید آکریل‌آمید در ایران است که می‌تواند همه مصرف‌کنندگان را در معرض خطر ابتلا به سرطان قرار دهد.

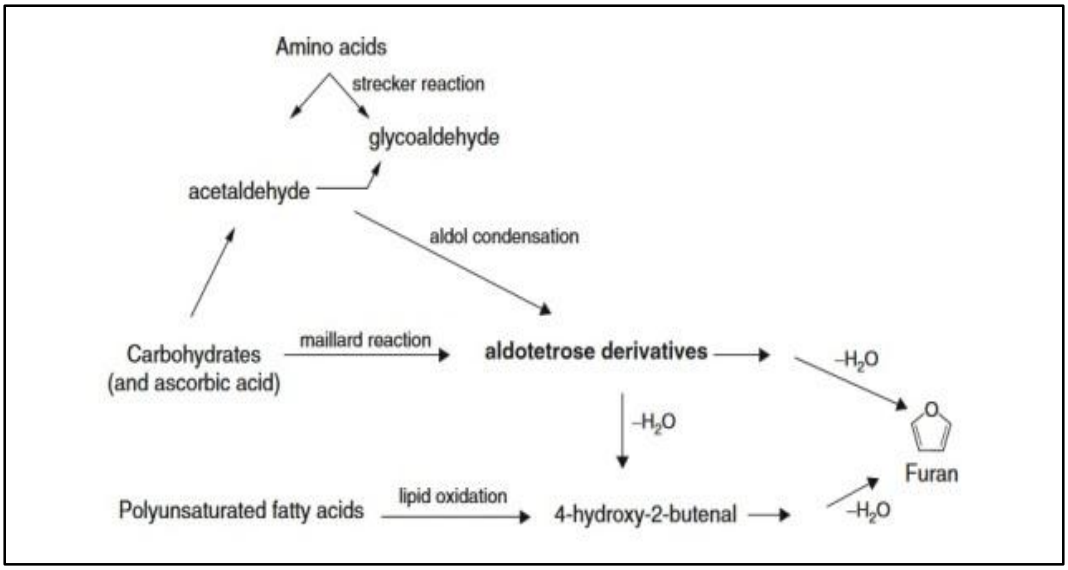
استراتژی‌های کاهش میزان آکریل آمید در فراورده‌های غذایی

استراتژی‌های مرتبط با کاهش میزان تولید آکریل‌آمید شامل این موارد هستند: تغییر دستورالعمل و فرمولاسیون مواد غذایی (مانند انتخاب واریته‌های سیب‌زمینی یا گونه‌هایی از غلات با مقادیر کمتری پیش‌ساز آکریل‌آمید؛ افزودن اسیدهای آلی، سیکلودکسترین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی؛ جایگزینی یا کاهش‌دادن قندها)، تغییر در شرایط فرایند و تکنولوژی تولید (مانند تغییر زمان-دما در فرایند سرخ‌کردن یا پختن، تغییر نوع آون و استفاده از تخمیر طولانی مدت) (Fogliano, 2015) نتایج مطالعات صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2016) نشان می‌دهد که نان‌های سنتی مقادیر اکریل‌آمید بیشتری دارند تا نان‌های صنعتی، و با استفاده از روش پخت صنعتی و کنترل بهتر بر شرایط فرایند و همچنین استفاده از تبخیر هنگام پخت می‌توان تا حد زیادی از تولید آکریل‌آمید طی فراوری نان جلوگیری کرد. غلظت پیش‌سازهای آکریل‌آمید با توجه به پارامترهایی مانند رسیدگی، شرایط آب و هوایی، تنوع، شرایط جغرافیایی و شرایط پس از برداشت و فراوری (مانند زمان و دمای فرایند) متغیر است (Shamla & Nisha, 2014). از این رو توصیه می‌شود برای کاهش میزان آکریل‌آمید در فرآورده‌های سیب‌زمینی، دما نباید از ۱۷۵ درجه سلسیوس بالاتر رود و برای فراورده‌هایی مانند بیسکویت و کیک‌ها باید زمان و دمای فرایند به دقت کنترل شود و با کاهش میزان شکر مصرفی در فرمولاسیون از افزایش میزان آکریل‌آمید در این قبیل فراورده‌ها پرهیز شود (Razia *et al.*, 2016).

۲- فوران

فوران (C_4H_4O) در رده ترکیبات احتمالاً سرطان‌زا برای انسان طبقه‌بندی می‌شود (IARC., 1995). فوران به سرعت و به شکل گسترده‌ای از طریق ریه و روده جذب می‌شود و با عبور از غشاهای بیولوژیکی می‌تواند وارد اندام‌های مختلف بدن گردد (Burka *et al.*, 1991). فوران از منابع مختلفی تولید می‌شود مانند تخریب حرارتی قندهای احیاکننده به تنهایی یا در حضور اسیدهای آمینه (واکنش میلارد)، تخریب حرارتی آمینو اسیدهای خاص، اکسیداسیون حرارتی اسید اسکوربیک، اسیدهای چرب چند غیراشباع و کاروتنوئیدها (Perez Locas & Yaylayan, 2004; Vranova & Ciesarova,

(2009 (شکل ۲). به علت نوسان‌های زیاد فوران، اندازه‌گیری این ترکیب در مواد غذایی پیچیده است (Altaki *et al.*, 2007). جدول ۲ برخی از مطالعات در زمینه مقادیر فوران در فراورده‌های غذایی صنعتی و سنتی کشورهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مکانیسم تشکیل فوران از قندها، اسید آسکوربیک و اسیدهای چرب (Mehta, 2015)

سیجیا و همکاران (Sijia *et al.*, 2013) مقادیر فوران را در فراورده‌های غذایی موجود در بازار چین ارزیابی کردند و نشان دادند که لیکور سنتی چین (۶۱/۶۳ نانوگرم به ازای هر گرم)، قهوه (۷۱/۳۶ نانوگرم به ازای هرگرم)، چای (۶۸/۲۸ نانوگرم به ازای هرگرم) و خیار شور (۸۵/۶۳ نانوگرم به ازای هرگرم) بالاترین مقادیر فوران را داشته‌اند. آریستو و همکاران (Arisseto, Vicente *et al.*, 2012) سطوح بالایی از فوران (۵۰۲۱/۴ – ۲۵۳ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) را در قهوه خرد و رست شده گزارش دادند که این امر می‌تواند به علت دمای بالای فرایند رستینگ باشد. این محققان همچنین مشخص کردند که غلظت قهوه (کلاسیک، قوی و خیلی قوی) با سطوح فوران مرتبط نیست. دانه سویا به علت داشتن مقادیر چربی و پروتئین بالا یکی از پیش‌سازهای تولید فوران در فرایند مواد غذایی است (Nie *et al.*, 2013). کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2010) نیز گزارش دادند که فراورده‌های غذایی حاوی سس سویا (۵۸/۳۰ – ۴۷/۳۶ نانوگرم به ازای هرگرم) و گوشت گاو چاشنی‌دار کره‌ای (۱۹۳/۹۵ – ۱۴/۲۱ نانوگرم به ازای هرگرم) حاوی فوران بالایی هستند. غذای کودک نیز یکی از فراورده‌های غذایی حاوی فوران است، این فراورده اغلب با استفاده از ویتامین ث قبل از اعمال فرایند حرارتی غنی‌سازی می‌شود و برای دست‌یابی به ایمنی میکروبیوژیکی از دماهای بالا به‌منظور فرایند این محصولات استفاده می‌شود که این امر تولید فوران را افزایش می‌دهد (Mesias *et al.*, 2012).

جدول ۲- مطالعات در زمینه تولید فوران در محصولات صنعتی و سنتی تعدادی از کشورها

منابع	مقدار فوران (میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)	فراورده غذایی	کشور
(Mesias *et al.*, 2012)	۷/۷-۱۴۳	۱۵ نمونه غذای کودک بر پایه میوه‌ها و سبزی‌ها	اسپانیا
(Bononi & Tateo, 2009)	۴ - ۲۶	۲۱ نمونه سرکه بالزامیک صنعتی	ایتالیا
(Arisseto *et al.*, 2012)	۲/۴-۹۵/۵	۳۱ نمونه غذای کودک	برزیل
(Arisseto *et al.*, 2012)	۲/۴-۵۰۲۱/۴	۳۰۶ نمونه فراورده‌های غذایی فرایند شده شامل انواع سبزی‌ها، گوشت، قهوه، سس سویا و فراورده‌های غلات	
(Liu & Tsai, 2010)	۱۵۰ - ۰/۴۰	۱۰۰ نمونه فراورده غذایی شامل غذای کودک، میوه‌های کنسروی، قهوه، مربا و ماهی	تایوان
(Sijia *et al.*, 2013)	۲/۰۶-۱۴۵/۲	۱۹۱ فراورده غذایی سنتی و تجاری شامل نودل، کیک، سس فلفل، بیسکویت کودک، کیک برنج و آجیل	چین
(Kim *et al.*, 2010)	۱۹۳/۹۵ -۰/۷۷	۱۰۰ نمونه فراورده‌های کنسروی مانند کنسرو ماهی، نوشیدنی رژیمی، سبزی‌های کنسروی و سوپ	کره

نتایج مطالعات مسیاس و همکاران (Mesias *et al.*, 2012) مشخص ساخت که غذای کودک حاوی سبزی‌ها (۱۴۳/۰ – ۱۰/۹ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) در مقایسه با غذای حاوی میوه (۳۲/۱– ۷/۷ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم) به دلیل تجزیه بیشتر اسید آسکوربیک، حاوی فوران بالاتری است. لیو و تسای نیز گزارش داده‌اند که غذای کودک (۱۲۴/۱ – ۴/۳ نانوگرم به ازای هرگرم) و قهوه (۱۵۰ – ۳۵/۴ نانوگرم به ازای هرگرم) بیشترین سطح فوران را در غذاهای فرایند شده تایوان دارند.

استراتژی‌های کاهش فوران در فراورده‌های غذایی

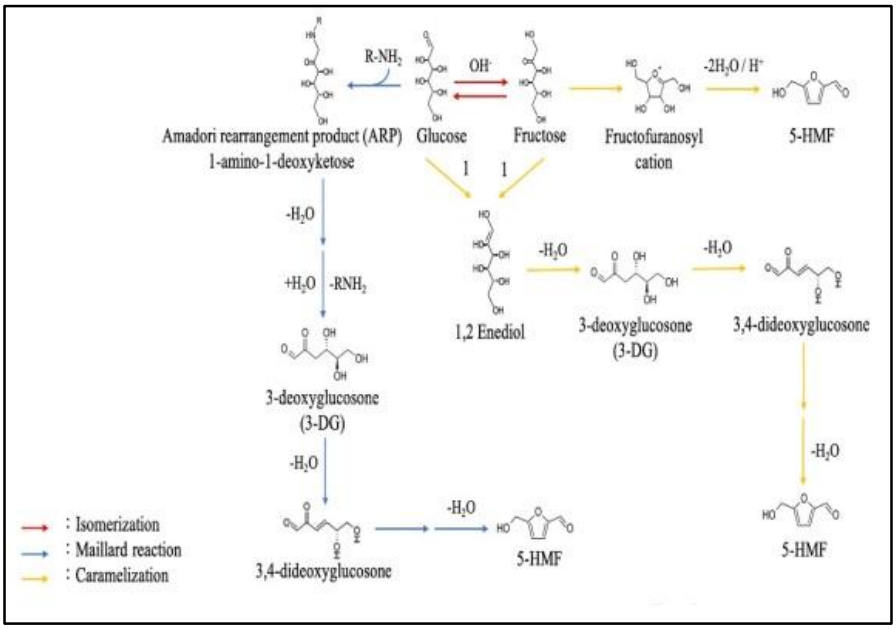
استراتژی متداول برای کاهش سطوح ترکیبات توکسینوژنیک در فراورده‌های غذایی شامل تغییر شرایط حرارتی فرایند و کاهش پیش‌سازهای این ترکیبات است (Kim *et al.*, 2010). یادآوری می‌شود که کاهش سطح فوران چالش برانگیز است زیرا تغییرات در پارامترهای حرارتی به علت امکان رشد میکروارگانیسم‌ها در فراورده‌های غذایی با مشکل مواجه است ضمن اینکه فوران از پیش‌سازهای مختلفی مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای چرب غیراشباع و اسید آسکوربیک تولید می‌شود (Seok *et al.*, 2015). با توجه به مسیرهای متفاوت تولید فوران و نوسان‌های زیاد این ترکیب، یافتن راه حلی به‌منظور کاهش این ترکیب در مواد غذایی به چالش بزرگی تبدیل شده است. اکثر راهکارهای کاهش فوران متمرکز بر افزودنی‌های غذایی یا کنترل پیش‌سازها هستند (Seok *et al.*, 2015). همچنین

مشخص شده است که کاهش اکسیژن اتمسفری باعث کاهش اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع و همچنین کاهش تولید فوران می‌شود (Märk *et al.*, 2006). بنابراین، اصلاح اتمسفر سیستم‌های حرارتی تولید ممکن است منجر به کاهش فوران تشکیل یافته در فراورده‌های غذایی شود (Crews & Castle, 2007).

۳- ۵- هیدروکسی متیل فورفورال

۵- هیدروکسی متیل فورفورال قبلاً به‌عنوان شاخص کیفیت فراورده‌های غذایی حرارت دیده و در زمانی بررسی می‌شد که خواص سمیت زایی آن تشخیص داده نشده بود (Fallico *et al.*, 2004; Anese & Suman, 2013). ۵-هیدروکسی متیل فورفورال از دو مسیر واکنش میلارد و دهیدراسیون قندها در سطح وسیعی در مواد غذایی تولید می‌گردد (شکل ۳) (Gökmen & Morales, 2014).

۵- هیدروکسی متیل فورفورال یک واسطه در واکنش میلارد است که از تخریب محصولات آمادوری در مرحله میانی واکنش میلارد تشکیل می‌شود؛ این امر نیاز به شرایط دمایی مناسب دارد (Gökmen & Morales, 2014). مسیر دوم برای تولید ۵-هیدروکسی متیل فورفورال، دهیدراسیون قندها در شرایط اسیدی است (کاراملیزاسیون)؛ این واکنش، نسبت به واکنش میلارد، نیاز به شرایط دمایی بالاتر دارد (Gökmen & Morales, 2014). کتوزها نسبت به آلدوزها، ۵-هیدروکسی متیل فورفورال بیشتری تولید می‌کنند و با افزایش دمای فرایند و غلظت کاتالیست اسیدی، بازده تولید افزایش می‌یابد. عوامل بسیاری مانند زمان، مقدار رطوبت، دما، مقدار و نوع کاتالیست و قند بر شکل‌گیری ۵-هیدروکسی متیل فورفورال تأثیرگذار هستند (Perez Locas & Yaylayan, 2004).



شکل ۳- مکانیسم تشکیل ۵- هیدروکسی متیل فورفورال (Lee *et al.*, 2019)

مطالعات نشان می‌دهد غلات و فراورده‌های غلات، مانند نان، یکی از برجسته‌ترین منابعی هستند که انسان را در معرض ۵-هیدروکسی متیل فورفورال قرار می‌دهند (Husøy *et al.*, 2008).

میزان تشکیل ۵-هیدروکسی متیل فورفورال در فراورده‌های غلات به عوامل زیادی مانند دما، فرایند تخمیر، فعالیت آبی و حضور میوه‌ها، حبوبات و سایر طعم‌دهنده‌ها (کاکائو، مالت، ساکارز، گلوکز، نمک و عسل) بستگی دارد (Shapla *et al.*, 2018). منکوسکا و همکاران (Mańkowska, *et al.*, 2017) ۴۱ محصول غذایی را در قالب سه گروه محصولات غذایی رژیمی، غلات صبحانه و محصولات نانوایی از لحاظ مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال بررسی کردند و نشان دادند که آرد گندم حاوی کرانبری دارای بالاترین مقدار (۲۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) ۵-هیدروکسی متیل فورفورال است. نوع و مقدار قندها به خصوص گلوکز، بیشترین تأثیر را در میزان ۵-هیدروکسی متیل فورفورال دارد. این امر در مورد محصولات رژیمی و غلات صبحانه مشهود است. مقادیر ۵-هیدروکسی متیل فورفورال در غلات صبحانه بسته به نوع غله، میوه یا افزودنی‌های طعم‌دار تا حد زیادی متفاوت است (Mańkowska *et al.*, 2017). قهوه یکی از مهم‌ترین منابع ۵-هیدروکسی متیل فورفورال شناخته شده است. ال سوبوت و ال دیاب (Alsubot & Aldiab, 2019) مقدار هیدروکسی متیل فورفورال موجود در قهوه فوری و قهوه بو داده موجود در بازار سوریه را بررسی و مشخص کردند که مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال در قهوه بو داده شده ۲۱۲/۰۸-۹/۴۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و در قهوه فوری در محدوده ۱۸۰۰/۹ - ۵۲۶/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال در قهوه فوری بیشتر است تا در قهوه بو داده. در قهوه بو داده با افزایش زمان جوش و افزودن شکر، مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال افزایش می‌یابد. میوه‌ها و سبزی‌ها به دلیل داشتن مقادیر زیاد قند و اسیدهای آمینه، مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال بالایی دارند. مطالعه بوردورلو و کارادنیز (Selen Burdurlu & Karadeniz, 2003) نشان می‌دهد که رابطهٔ مستقیمی بین زمان و دمای نگهداری دو واریته آب سیب و تشکیل ۵-هیدروکسی متیل فورفورال وجود دارد. اوردونز- سانتوس و همکاران (Ordóñez-Santos *et al.*, 2009) گزارش می‌دهند که بین تشکیل ۵-هیدروکسی متیل فورفورال و اسیدهای آلی مانند آسکوربیک، سیتریک و مالیک در پوره گوجه‌فرنگی رابطه منفی وجود دارد. علی زاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2015) ۵۰ نمونه از میوه‌های خشک پرمصرف موجود در بازار ایران را از لحاظ مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال بررسی کردند و نشان دادند بیشترین و کمترین مقدار این ترکیب به ترتیب در لواشک (۸۵۶۹/۸۵ میکروگرم در گرم) و کشمش طلایی (۸۰/۴۹ میکروگرم در گرم) یافت شده است. این محققان گزارش می‌دهند که بین میانگین مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال اندازه‌گیری شده در نمونه‌های لواشک و میزان اسیدیته آنها همبستگی معنی‌دار مستقیم وجود دارد. با توجه به اینکه اسیدیته لواشک‌ها بسیار بیشتر از اسیدیته سایر نمونه‌ها بود، بالاتر بودن شرایط اسیدی در این نمونه‌ها بر افزایش مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال تأثیر بیشتری دارد. مدنی تنکابنی و همکاران (Madani *et al.*, 2015) میزان فورفورال و هیدروکسی متیل فورفورال شیرخشک‌های موجود در بازار تهران را بررسی کردند و نشان دادند کمترین و بیشترین مقدار فورفورال به ترتیب ۰/۱۸ و ۲۰/۷۷ میکروگرم برگرم و کمترین و بیشترین مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال، به ترتیب ۰/۲۴ و ۱۶۷/۱۶ میکروگرم

برگرم در نمونه‌های شیرخشک وجود دارد. این محققان می‌گویند روش تولید و میزان فرآیند حرارتی اعمال شده به شیرخشک در زمان تولید تأثیر بارزی بر تشکیل این ترکیبات دارد.

جدول ۳- مطالعات در زمینه تولید ۵-هیدروکسی متیل فورفورال در محصولات صنعتی و سنتی تعدادی از کشورها

منابع	مقدار ۵-هیدروکسی متیل فورفورال (میکروگرم به ازای هر کیلوگرم)	فراورده غذایی	کشور
(Alizadeh *et al.*, 2015)	۸۵۶۹/۸۵-۸۰/۴۹	۵۰ نمونه میوه خشک	ایران
(Madani *et al.*, 2015)	۲۴۰-۱۶۷۱۶۰	۲۲ نمونه شیرخشک	
	۰/۴۸ -۳۹/۳۸	۸ نمونه محصولات غذایی رژیمی	
(Mańkowska *et al.*, 2017)	۴/۷۹ -۸۵/۱۰	۲۱ نمونه غلات صبحانه	لهستان
	۲/۲۳ -۲۱۰	۱۲ نمونه فراورده نانوایی	
(Alsubot, 2019)	۵۲۶/۵۶ -۱۸۰۰/۹	قهوه فوری	سوریه
	۹/۴۹-۲۱۲/۰۸	قهوه بو داده شده	

استراتژی‌های کاهش ۵- هیدروکسی متیل فورفورال در فراورده‌های غذایی

علاوه بر استفاده از پیشرفت‌های تکنولوژیکی فراوری محصولات غذایی در زمینه کاهش ۵- هیدروکسی متیل فورفورال، همزمان نیز می‌توان از طریق تنظیم فرمولاسیون‌های غذایی نیز اقدام کرد. مطالعات نشان می‌دهند که جایگزینی قندهای احیاکننده با ساکارز راهکاری مناسب برای کاهش شکل‌گیری ۵- هیدروکسی متیل فورفورال است. نوع اسیدهای آمینه موجود در مواد غذایی فراوری شده نیز می‌تواند بر مقدار ۵- هیدروکسی متیل فورفورال تأثیر بگذارد. استفاده از تکنولوژی غیرحرارتی برای فراوری محصولات غذایی، استفاده از فرایندهای تخمیر، ریز پوشانی، ماکروویو، پرتوهای فرابنفش و افزودن فلاوان- ۳- ال‌ها یا کوئرستین می‌تواند به کاهش تشکیل ۵- هیدروکسی متیل فورفورال در فراورده‌های غذایی بینجامد (Lee, Chen *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری

مقادیر مختلفی از محصولات به‌دست‌آمده از واکنش میلارد در طیف گسترده‌ای از محصولات غذایی با توجه به نوع ترکیبات و پارامترهای فرایند تولید می‌شود. گروه‌های غذایی که از لحاظ ترکیبات توکسینوژنیک ارزیابی می‌شوند غالباً مصرف بالایی در جوامع انسانی دارند، از این رو استراتژی‌های کاهش این ترکیبات باید در اولویت فرایند تولید محصولات غذایی قرار گیرند. استراتژی استفاده از ترکیبات عملگرا مانند پلی فنول‌ها ممکن است باعث مهار دوگانه گردند، در ابتدا در غذا و پس از مصرف فراورده غذایی در بدن انسان موجب کاهش آثار مخرب واکنش میلارد خواهند شد. با توجه به این استدلال، واضح است که کنترل واکنش میلارد از لحاظ حفظ کیفیت مطلوب و خواص تغذیه‌ای محصولات غذایی و ممانعت از تشکیل ترکیبات مضر اهمیت بالایی دارد. با توجه به اثرهای مثبت و منفی ترکیبات حاصل از واکنش میلارد در کیفیت حسی و

تغذیه‌ای محصولات غذایی، در حال حاضر چالش اصلی برای صنعت غذا یافتن بهترین راه‌حل به‌منظور تولید فراورده‌های غذایی سالم و خوش طعم است.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از اخلاق نشر تبعیت نموده و از سوء رفتارهایی نظیر سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Al-Dmoor, H. M. 2005. Determination of acrylamide levels in selected traditional foodstuffs and drinks in jordan. Journal of Food, Agriculture & Environment. 3(2): 77-80.

Alizabeh, M., Rahimzadeh, N. and Kheirouri, S. 2015. Determination of 5-hydroxymethylfurfural in frequently consumed dried fruits in iran. Journal of Food technology and Nutrition. 12(4): 69-76.

Alsubot, S., Aldiab, D. 2019. 5-hydroxymethylfurfural levels in coffee and study of some effecting factors. Research Journal of Pharmacy and Technology. 12(9): 4263-4268.

Altaki, M. S., Santos, F. J. and Galceran, M. T. 2007. Analysis of furan in foods by headspace solid-phase microextraction–gas chromatography–ion trap mass spectrometry. Journal of Chromatography A. 1146(1): 103-109.

Alyousef, H. A., Wang, H., Al-Hajj, N. Q. M. and Koko, M. Y. 2016. Determination of acrylamide levels in selected commercial and traditional foods in syria. Tropical Journal of Pharmaceutical Research. 15(6): 1275-1281.

Anese, M. and Suman, M. 2013. Mitigation strategies of furan and 5-hydroxymethylfurfural in food. Food Research International. 51(1): 257-264.

Arisseto, A.P., Toledo, M.C., Govaert, Y., Loco, J.V., Fraselle, S., Weverbergh, E. and Degroodt, J.M. 2007. Determination of acrylamide levels in selected foods in brazil. Food Additives & Contaminants. 24(3): 236-241.

Arisseto, A.P., Vicente, E., Furlani, R.P.Z., Ueno, M.S., Pereira, A.L.D. and Toledo, M.C.F. 2012. Occurrence of furan in commercial processed foods in brazil. Food Additives & Contaminants: Part A. 29(12): 1832-1839.

Arribas-Lorenzo, G. and F. Morales. 2009. Dietary exposure to acrylamide from potato crisps to spanish population. Food Additives and Contaminants. 26(3): 289-297.

Bastos, D. M., Monaro, É., Siguemoto, É. and Séfora, M. 2012. Maillard reaction products in processed food: pros and cons. INTECH Open Access Publisher.

Bononi, M. and F. Tateo. 2009. Determination of furan by headspace solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry in balsamic vinegars of modena (Italy). Journal of Food Composition and Analysis. 22(1): 79-82.

Borda, D. and Alexe, P . 2011. Acrylamide levels in food. Romanian Journal of Food Science. 1(1): 3-15.

Boroushaki, M. T., Nikkhah, E., Kazemi, A., Oskooei, M. and Raters, M. 2010. Determination of acrylamide level in popular iranian brands of potato and corn products. Food and Chemical Toxicology. 48(10): 2581-2584.

Gündüz, C. P. B., Bilgin, A. K. and Cengiz, M. F. 2017. Acrylamide contents of some commercial crackers, biscuits and baby biscuits. Akademik Gıda. 15(1): 1-7.

Boyacı Gündüz, C. P. and Cengiz, M. F. 2015. Acrylamide contents of commonly consumed bread types in turkey. International Journal of Food Properties. 18(4): 833-841.

Burka, L. T., Washburn, K. D. and Irwin, R. D. 1991. Disposition of [14c]furan in the male f344 rat. Journal of Toxicology and Environmental Health. 34(2): 245-257.

Capuano, E. and Fogliano, V. 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (hmf): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. LWT - Food Science and Technology. 44(4): 793-810.

C´ecile, R., Delphine, L., Emilie, R., Carole, P., and Thierry, S. 2016. Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods. Food Research International. 90:154-176.

Chen, Y. H., Xia, E. Q., Xu, X. R., Ling, W. H., Li, S., Wu, S., Deng, G. F., Zou, Z.F. and Li, H. B. 2012. Evaluation of acrylamide in food from china by a lc/ms/ms method. International Journal of Environmental Research and Public Health. 9(11): 4150-4158.

Cheng, J., Chen, X., Lu, H., Chen, Q., and Zhang, Y. 2014. Antioxidant-related and kinetic studies on the reduction effect of catechins and esterified catechins on acrylamide formation in a microwave heating model system. RSC Advances. 4(82): 43378-43386.

Crews, C. and Castle, L. 2007. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. Trends in Food Science & Technology. 18(7): 365-372.

Damasceno, L.F., Fernandes, F.A., Magalhães, M.M. and Brito, E.S. 2008. Non-enzymatic browning in clarified cashew apple juice during thermal treatment: Kinetics and process control. Food Chemistry. 106(1): 172-179.

Delgado-Andrade, C. 2014. Maillard reaction products: Some considerations on their health effects. Clinical Chemistry and Laboratory Medicine. 52(1): 53-60.

Delgado-Andrade, C., Morales, F. J., Seiquer, I. and Navarro, M. P. 2010. Maillard reaction products profile and intake from spanish typical dishes. Food Research International. 43(5): 1304-1311.

Delgado-Andrade, C., Rufián-Henares, J. A., and Morales, F. J. 2007. Lysine availability is diminished in commercial fibre-enriched breakfast cereals. Food Chemistry. 100(2): 725-731.

Du, Y., S. Dou, and Wu, S. 2012. Efficacy of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice. Food Chemistry 135(2): 580-582.

EFSA. 2015. Panel on contaminants in the food chain (contam). Scientific opinion on acrylamide in food. EFSA Journal. 13(6):4104.

Elmore, J. S., Briddon, A., Dodson, A. T., Muttucumaru, N., Halford, N. G., and Mottram, D. S. 2015. Acrylamide in potato crisps prepared from 20 UK-grown varieties: Effects of variety and tuber storage time. Food Chemistry. 182, 1-8.

Eslamizad, S., Kobarfard, F., Tsitsimpikou, C., Tsatsakis, A., Tabib, K., and Yazdanpanah, H. 2019. Health risk assessment of acrylamide in bread in Iran using lc-ms/ms. Food and Chemical Toxicology. 126, 162-168.

Fallico, B., Zappala, M., Arena, E., and Verzera, A. 2004. Effects of conditioning on hmf content in unifloral honeys. Food Chemistry. 85(2): 305-313.

Fogliano, V. 2015. Maillard reaction products: Occurenc, mitigation strategies and their physiological relevance. Doctoral dissertation, Budapesti Corvinus Egyetem.

Friedman, M. 1996. Food browning and its prevention: An overview. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44(3): 631-653.

Fustier, P., St-Germain, F., Lamarche, F., and Mondor, M. 2011. Non-enzymatic browning and ascorbic acid degradation of orange juice subjected to electroreduction and electro-oxidation treatments. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 12(4), 491-498.

Gerrard, J. A. 2006. The Maillard reaction in food: Progress made, challenges ahead—conference report from the eighth international symposium on the maillard reaction. Trends in Food Science & Technology. 17(6): 324-330.

Gökmen, V. and Morales, F. J. 2014. Hydroxymethylfurfural. Encyclopedia of Food Safety. 2, 404-408.

Hagmar, L., Törnqvist, M., Nordander, C., Rosén, I., Bruze, M., Kautiainen, A., Magnusson, A., Malmberg, B., Aprea, P., Granath, F. and Axmon, A. 2001. Health effects of occupational exposure to acrylamide using hemoglobin adducts as biomarkers of internal dose. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health. 27(4): 219-226.

Hodge, J. E. 1953. Dehydrated foods, chemistry of browning reactions in model systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1(15): 928-943.

Hogervorst, J. G., Schouten, L. J., Konings, E. J., Goldbohm, R. A., and van den Brandt, P. A. 2008. Dietary acrylamide intake and the risk of renal cell, bladder, and prostate cancer. American Journal of Clinical Nutrition. 87(5): 1428-1438.

Hu, F., Jin, S. Q., Zhu, B. Q., Chen, W. Q., Wang, X. Y., Liu, Z., and Luo, J. W. 2017. Acrylamide in thermal-processed carbohydrate-rich foods from chinese market. Food Additives & Contaminants: Part B 10(3): 228-232.

Husøy, T., Haugen, M., Murkovic, M., Jöbstl, D., Stølen, L. H., Bjellaas, T., Rønningborg, C., Glatt, H. and Alexander, J. 2008. Dietary exposure to 5-hydroxymethylfurfural from Norwegian food and correlations with urine metabolites of short-term exposure. Food and Chemical Toxicology. 46(12): 3697-3702.

IARC. 1995. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, International Agency for Research on Cancer, & World Health Organization. Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals (Vol. 63). World Health Organization.

Jaeger, H., Janositz, A., and Knorr, D. 2010. The maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. Pathologie Biologie. 58(3): 207-213.

Khan, M. R., Alothman, Z. A., Naushad, M., Alomary, A. K., Alfadul, S. M., Alsohaimi, I. H., & Algamdi, M. S. 2017. Occurrence of acrylamide carcinogen in Arabic coffee Qahwa, coffee and tea from Saudi Arabian market. Scientific Reports. 7(1): 1-8.

Kim, T.-K., Kim, S. and Lee, K.G. 2010. Analysis of furan in heat-processed foods consumed in korea using solid phase microextraction–gas chromatography/mass spectrometry (SPME–GC/MS). Food Chemistry. 123(4): 1328-1333.

Kwak, E. J. and S. I. Lim. 2004. The effect of sugar, amino acid, metal ion, and nacl on model maillard reaction under pH control. Amino Acids. 27(1): 85-90.

Lee, C. H., Chen, K. T., Lin, J. A., Chen, Y. T., Chen, Y. A., Wu, J. T., and Hsieh, C. W. 2019. Recent advances in processing technology to reduce 5-hydroxymethylfurfural in foods. Trends in Food Science & Technology. 93, 271-280.

Lertittikul, W., Benjakul, S., and Tanaka, M. 2007. Characteristics and antioxidative activity of maillard reaction products from a porcine plasma protein–glucose model system as influenced by pH. Food Chemistry. 100(2): 669-677.

Liu, Y. T., and Tsai, S. W. 2010. Assessment of dietary furan exposures from heat processed foods in taiwan. Chemosphere. 79(1): 54-59.

Machiels, D. and Istasse, L. 2002. Maillard reaction: Importance and applications in food chemistry. Annales de Médecine Vétérinaire. 146(6): 347-352.

Madani-Tonekaboni, M., Kamankesh, M., AM Farsani, M., Ferdowsi, R. and Mohammadi, A. 2015. Determination of furfural (F) and hydroxylmethyl furfural (HMF) in baby formulas obtained from tehran market using dispersive liquid-liquid microextraction (DLLM) followed by high-performance liquid chromatography. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology. 9(4): 97-107.

Malec, L.S., Gonzales, A.P., Naranjo, G.B. and Vigo, M.S. 2002. Influence of water activity and storage temperature on lysine availability of a milk like system. Food Research International. 35(9): 849-853.

Mańkowska, D., Majak, I., Bartos, A., Słowianek, M., Łącka, A. and Leszczyńska, J. 2017. 5-hydroxymethylfurfural content in selected gluten-and gluten-free cereal food products. Biotechnology and Food Science. 81(1): 11-21.

Märk, J., Pollien, P., Lindinger, C., Blank, I. and Märk, T. 2006. Quantitation of furan and methylfuran formed in different precursor systems by proton transfer reaction mass spectrometry. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54(7): 2786-2793.

Mehta, B. M. 2015. Nutritional and toxicological aspects of the chemical changes of food components and nutrients during heating and cooking. Handbook of Food Chemistry. pp. 897-936.

Mesías, M., Guerra-Hernández, E. and García-Villanova, B. 2012. Furan content in Spanish baby foods and its relation with potential precursors. Cyta - Journal of Food. 11(1): 1-6.

Negoita, M., Iorga, E., Adascalului, A., Catana, L., Belc, N., Stan, A., Efstatiade, D. and Aboul-Enein, H.Y. 2016. Analysis and evaluation of the acrylamide levels in some bread assortments on the Romanian market by GC-MS/MS. Journal of Environmental Science and Engineering A, 180.

Mojska, H., Gielecińska, I. and Stoś, K. 2012. Determination of acrylamide level in commercial baby foods and an assessment of infant dietary exposure. Food and Chemical Toxicology. 50(8): 2722-2728.

Motaghi, M. M., Seyedain, A.M., Honarvar, M., Mehrabani, M. and Baghizadeh, A. 2012. Determination of acrylamide in selected types of Iranian breads by SPME technique. Journal of Food Biosciences and Technology. 2(2):57-64.

Mottram, D. S., Wedzicha, B. L. and Dodson, A. T. 2002. Food chemistry: Acrylamide is formed in the maillard reaction. Nature 419(6906): 448-449.

Nie, S., Huang, J., Hu, J., Zhang, Y., Wang, S., Li, C., Marcone, M. and Xie, M. 2013. Effect of pH, temperature and heating time on the formation of furan in sugar–glycine model systems. Food Science and Human Wellness. 2(2):87-92.

Nursten, H. E. 2005. The maillard reaction: Chemistry, biochemistry, and implications. Royal Society of Chemistry.

Ölmez, H., Tuncay, F., Özcan, N. and Demirel, S. 2008. A survey of acrylamide levels in foods from the turkish market. Journal of Food Composition and Analysis. 21(7): 564-568.

Ono, H., Chuda, Y., Ohnishi-Kameyama, M., Yada, H., Ishizaka, M., Kobayashi, H. and Yoshida, M. 2003. Analysis of acrylamide by lc-ms and GC-MS in processed Japanese foods. Food Additives and Contaminants. 20(3): 215-220.

Ordóñez-Santos, L.E., Vázquez-Odériz, L., Arbones-Maciñeira, E. and Romero-Rodríguez, M.Á. 2009. The influence of storage time on micronutrients in bottled tomato pulp. Food Chemistry. 112(1): 146-149.

Oroian, M., Amariei, S. and Gutt, G. 2015. Acrylamide in romanian food using hplc-uv and a health risk assessment. Food Additives & Contaminants: Part B. 8(2): 136-141.

Özkaynak, E. and Ova, G. 2009. Effects of various cooking conditions on acrylamide formation in rolled patty. Food Additives & Contaminants: Part A 26(66): 793-799.

Palazoğlu, T.K. and Gökmen, V. 2008. Reduction of acrylamide level in French fries by employing a temperature program during frying. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56(15): 6162-6166.

Perez Locas, C. and Yaylayan, V.A. 2004. Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furana food toxicant. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52(22): 6830-6836.

Purlis, E. 2010. Browning development in bakery products – A review. Journal of Food Engineering 99(3): 239-249.

Ramírez-Jiménez, A., García-Villanova, B. and Guerra-Hernandez, E. 2004. Effect of storage conditions and inclusion of milk on available lysine in infant cereals. Food Chemistry. 85(2): 239-244.

Ramonaitytė, D.T., Keršienė, M., Adams, A., Tehrani, K.A. and De Kimpe, N. 2009. The interaction of metal ions with maillard reaction products in a lactose–glycine model system. Food Research International. 42(3): 331-336.

Rannou, C., Laroque, D., Renault, E., Prost, C. and Sérot, T. 2016. Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods. Food Research International. 90, 154-176.

Razia, S., Bertrand, M., Klaus, V. and Meinolf, G. L. 2016. Nvestigation of acrylamide levels in branded biscuits, cakes and potato chips commonly consumed in pakistan. International Food Research Journal. 23(5): 2187-2192.

Rufian-Henares, J. A., Arribas-Lorenzo, G. and Morales, F. J. 2007. Acrylamide content of selected spanish foods: Survey of biscuits and bread derivatives. Food Additives and Contaminants. 24(4): 343-350.

Rufián-Henares, J.A., Delgado-Andrade, C. and Morales, F.J. 2006. Relationship between acrylamide and thermal-processing indexes in commercial breakfast cereals: A survey of spanish breakfast cereals. Molecular nutrition & food research 50: 756-762.

Sadeghi, E., Yeganeh, S., Shoeibi, S., Amirahmadi, M., Karami, F. and Sharafi, K. 2016. Determinationof acrylamide in traditional and industrial breads: A case study: Tehran, Iran. International Journal of Pharmacy and Technology. 8(2): 881-892.

Schamberger, G. P. and Labuza, T. P. 2007. Effect of green tea flavonoids on maillard browning in uht milk. LWT - Food Science and Technology. 40(8): 1410-1417.

Schmitz, I., Gianfrancesco, A., Kulozik, U. and Foerst, P. 2011 .Influence of temperature and the physical state on available lysine in powdered infant formula. Procedia Food Science. 1: 1031-1038.

Seok, Y. J., Her, J. Y., Kim, Y. G., Kim, M. Y., Jeong, S. Y., Kim, M. K., Lee, J. Y., Kim, C. I., Yoon, H. J. and Lee, K. G. 2015. Furan in thermally processed foods-a review. Toxicological Research. 31(3): 241-253.

Shamla, L. and Nisha, P. 2014. Acrylamide in deep-fried snacks of india. Food Additives & Contaminants: Part B. 7(3):220-225.

Shapla, U.M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M.I. and Gan, S.H. 2018. 5-hydroxymethylfurfural (hmf) levels in honey and other food products: Effects on bees and human health. Chemistry Central Journal. 12(1): 1-18.

Sijia, W., Enting, W. and Yuan, Y. 2014. Detection of furan levels in select Chinese foods by solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry method and dietary exposure estimation of furan in the Chinese population. Food and Chemical Toxicology. 64, 34-40

Singh, R. R. B., Ruhil, A. P., Jain, D. K., Patel, A. A. and Patil, G. R. 2009. Prediction of sensory quality of uht milk – a comparison of kinetic and neural network approaches. Journal of Food Engineering 92(2): 146-151.

Sirot, V., Hommet, F., Tard, A. and Leblanc, J. C. 2012. Dietary acrylamide exposure of the French population: Results of the second French total diet study. Food and Chemical Toxicology. 50 (3-4): 889-894.

Smuda, M. and Glomb, M.A. 2013. Maillard degradation pathways of vitamin C. Angewandte Chemie International Edition. 52(18): 4887-4891.

Stadler, R. H. and A. Studer. 2015. Acrylamide in food In: V. Gökmens (Ed.). Acrylamide in food Academic Press. pp. 532.

Tateo, F., Bononi, M. and Andreoli, G. 2007. Acrylamide levels in cooked rice, tomato sauces and some fast food on the italian market. Journal of Food Composition and Analysis. 20(3-4): 232-235.

Tateo, F., Bononi, M. and Gallone, F. 2010. Acrylamide content in potato chips on the italian market determined by liquid chromatography tandem mass spectrometry. International Journal of Food Science & Technology. 45(3): 629-634.

Vranova, J. and Ciesarova, Z. 2009. Furan in food-a review. Czech Journal of Food Science. 27(1): 1-10.

Whitfield, F. B. and Mottram, D. S. 1992. Volatiles from interactions of maillard reactions and lipids. Critical Reviews in Food Science & Nutrition. 31(1-2):1-58.

Zhang, Y., Ren, Y., Zhao, H. and Zhang, Y. 2007. Determination of acrylamide in chinese traditional carbohydrate-rich foods using gas chromatography with micro-electron capture detector and isotope dilution liquid chromatography combined with electrospray ionization tandem mass spectrometry. Analytica Chimica Acta. 584(2): 322-332.

Zhang, Y. and Zhang, Y. 2007. Formation and reduction of acrylamide in maillard reaction: A review based on the current state of knowledge. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 47(5): 521-542.

Zhuang, H., Zhang, T., Liu, J. and Yuan, Y. 2012. Detection of acrylamide content in traditional chinese food by high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry method. Cyta - Journal of Food. 10(1): 36-41.

Food Engineering Research/Vol.19/No.69/Autumn and Winter 2020/P: 187-206

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Analysis of the Maillard Reaction Anti-nutritional Compounds in Industrial and Traditional Food Products of Different Countries

A. Mohammadi, M. Ghorbani*

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran. Email: m.ghorbani@gau.ac.ir
Received: 25 February 2020, Accepted: 21 September 2020
http://doi: 10.22092/fooder.2020.342090.1259

Abstract

Maillard reaction, or non-enzymatic browning, usually occurs during the thermal processing, storage, and other food processing operations, which can lead to the formation and retaining of Maillard reaction/non-enzymatic products reaction in foods. Food producers usually implement Maillard 's reaction products to improve the color, texture, and aroma of the various food products, leading to high acceptability and popularity. Nevertheless, the Maillard reaction products may induce mutagenic, carcinogenic, and cytotoxic effects; for instance, Acrylamide, furan, and 5-Hydroxymethyl furfural are identified as potential harmful Maillard-forming compounds. Different groups of food products which are analyzed toxinogenetically, have a high consumption rate in the human societies and therefore the strategies for the minimization of these compounds should be prioritized in the production process of food products. Thus, in this revision, the antinutritional compounds produced via the Maillard reaction in industrial and traditional food products of different countries are studied.

Keywords: Maillard, Food products, Acrylamide, Furan, 5-Hydroxymethyl furfural