

بررسی اثر فرایند بر احتمال تشکیل و میزان اکریل آمید در محصولات خط تولید شکر از چغندر قند

فائزه صحرایی^a، مسعود هنرور^{b*}، محمد عرفان بهرامی^c

^a دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^b دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^c دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: اکریل آمید یک ترکیب سرطان زا است که از واکنش بین اسیدهای آمینه با قندهای احیا کننده به عنوان ترکیبات کربونیل در حین واکنش میلارد تشکیل می‌شود. صنایع تولید قند و شکر به دلیل وسعت تولید و اهمیت بالای فرآورده نهایی و کاربردهای گسترده شکر در محصولات غذایی مختلف، به علت حضور پیش سازهای اولیه و شرایط بهینه، می‌تواند یکی از پتانسیل‌های تشکیل اکریل آمید باشد. هدف از این پژوهش بررسی احتمال تشکیل اکریل آمید در طی فرایند تولید شکر از چغندر قند بوده است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق به منظور سنجش وجود اکریل آمید، از نمونه‌های مختلف کارخانه قند اعم از شربت خام حاصل از چغندر قند، شربت رقیق، شربت غلیظ، ملاس و شکر نهایی، در فواصل زمانی ۷ روزه و برای ۳ هفته متوالی نمونه‌برداری گردید. آزمون‌های مختلف فیزیکوشیمیایی به منظور سنجش کیفیت هر یک از نمونه‌ها انجام شد. در نهایت با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) میزان اکریل آمید هر یک از نمونه‌ها بررسی و مورد آنالیز قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که نمونه‌های شربت غلیظ در همه فواصل نمونه‌برداری حاوی مقادیری از اکریل آمید بودند، اما مقدار این ترکیب سرطان‌زا در دیگر محصولات کارخانه قند یافت نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه اکریل آمید در برخی نمونه‌های شربت غلیظ تا حدود ۸۲۵ نانوگرم بر کیلوگرم نیز یافت شد، اما در شکر نهایی هیچ مقداری از این ترکیب سرطان‌زا وجود نداشته از این رو نگرانی‌های مربوط به حضور این ماده در یکی از پرمصرف‌ترین محصولات غذایی دنیا، یعنی شکر سفید وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: اسپاراژین، اکریل آمید، شربت غلیظ، شکر

مقدمه

چغندر قند به عنوان یک گیاه صنعتی و استراتژیک، یکی از اصلی ترین منابع تولید شکر در ایران محسوب می شود که از دیرباز مورد توجه بوده است. براساس گزارشات ارائه شده انجمن صنفی کارخانه های قند و شکر ایران، تولید شکر در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۹۵، ۲۳٪ رشد داشته است. در سال ۹۵ میزان تولید شکر ۱۶۴۳۲۰۶ تن بوده است که این میزان با رشد ۲۳ درصدی به ۲۵۰۰۳۶۹ تن رسیده است. در ۵ ماهه نخست سال ۱۳۹۶ نیز ۱۰۷ هزارتن شکر تولید شده است. تولید شکر از چغندر و نیشکر در سال ۹۶، در مقایسه با سال ۹۲ بیش از ۸۰٪ رشد داشته و این میزان تولید در عمر ۱۲۳ ساله این صنعت در کشور بی سابقه بوده است (بی نام، ۱۳۹۷).

فرایند تولید قند مجموعه عملیات پیوسته ای است که با هدف استخراج شکر از درون ساختار سلول های چغندر قند انجام می گیرد و هدف آن به دست آوردن شکری با بالاترین درجه خلوص و باقی ماندن ملاسی با پایین ترین درجه خلوص ممکن است. در طی فرایند تولید و استخراج شکر، از انواع عملیات و تکنیک های مختلف، از جمله حرارت، انتشار (یا دیفوزیون)، مصرف انرژی، فیلتراسیون، ته نشینی، تبخیر، کریستالیزاسیون و خشک کردن، بهره گرفته می شود (Asadi, 2006).

اکریل آمید با فرمول شیمیایی $(-CH_2=CH-CO-NH_2)$ یک مولکول واکنش پذیر است که به عنوان یک عامل آلکیله کننده بیولوژیکی عمل می کند (Rice, 2004) و ترکیبی است که توسط آژانس بین المللی تحقیقات سرطان در سال ۱۹۹۴ به عنوان "احتمالا سرطان زا برای انسان (IARC Group 2A)" تشخیص داده شده است (Dybing et al., 2004). مطالعات نشان داده که حضور و تشکیل اکریل آمید در مواد غذایی متاثر از چند فاکتور مختلف است. از مهم ترین آنها می توان به حضور اسیدهای آمینه (خصوصا آسپاراژین)، قندهای احیاکننده، دمای بالا و زمان طولانی اشاره کرد (Serpen and Gokmen, 2008). که در بیشتر غذاها اکریل آمید از واکنش میلارد^۱ بین گروه آمین از اسید آمینه آسپاراژین و گروه کربونیل از قندهای احیا کننده مانند گلوکز و فروکتوز تشکیل می شود. اکریل

آمید معمولا در غذاهای غنی از کربوهیدرات که در دمای بالاتر از ۱۲۰ درجه سلسیوس در طی سرخ کردن، پخت و یا کباب کردن آماده می شوند، تولید می گردد (Vinci et al., 2012). اکریل آمید به طور بالقوه سرطان زاست و مشخص شده است و اثرات نورو توتوکسیک آن بر انسان مشخص شده و در انواع مختلفی از غذاهای غنی از کربوهیدرات و اسید آمینه آسپاراژین مانند انواع چیپس ها، نان، بیسکویت و محصولات مختلف بر پایه غلات یافت شده است. طبق تحقیقاتی که صورت گرفته مواجهه با اکریل آمید و ورود آن به بدن در کشورهای اروپایی از طریق مصرف محصولاتی مانند سیب زمینی ۵۰٪ و برای نان و محصولات نانویی ۲۰٪ گزارش شده است که به نسبت اعداد بالایی هستند (Nguyen et al., 2017). تحقیقات نشان داده که مسیر اصلی تشکیل اکریل آمید در مواد غذایی، واکنش های قهوه ای شدن میلارد می باشد، که شروع این واکنش با پیوند بین گروه آمین اسید آمینه با گروه کربونیل از قندهای احیاکننده رخ می دهد (Knol, 2008).

در سال های اخیر مطالعات گسترده ای در زمینه بررسی و سنجش حضور اکریل آمید در مواد غذایی مختلف انجام شده است. به عنوان مثال Muttucumarو همکاران در سال ۲۰۱۷ بیست گونه سیب زمینی مختلف که در دو منطقه متفاوت در انگلستان کشت شده بودند را مورد بررسی قرار دادند تا تاثیر محل کشت و رشد را بر احتمال وقوع اکریل آمید و پیش سازهای آن بررسی کنند. آنها به این نتیجه رسیدند که چگونگی آزادسازی آسپاراژین می تواند بر تشکیل اکریل آمید تاثیر معنی دار بگذارد. همچنین Pedreschi و همکاران در سال ۲۰۰۷ سینتیک قهوه ای شدن را در طول سرخ کردن عمیق چیپس سیب زمینی بلانچ شده و بلانچ نشده مورد بررسی قرار دادند و تلاش کردند که رابطه ای بین افزایش قهوه ای شدن و تشکیل اکریل آمید قبل از سرخ کردن سیب زمینی پیدا کنند. آنها دریافتند که فرایند بلانچ کردن می تواند به مقدار قابل ملاحظه ای تشکیل اکریل آمید را در چیپس سیب زمینی طی سرخ کردن کاهش دهد و همچنین با افزایش دما غلظت اکریل آمید تشکیل شده نیز افزایش می یابد.

¹ Maillard

و فروکتوز (۵۰:۵۰) است که در نتیجه تجزیه اسیدی یا آنزیمی ساکارز به دست می آید. برای اندازه‌گیری اینورت نمونه‌ها از روش انسیتو برلین استفاده گردید (بهزاد و همکاران، ۱۳۹۱)

اندازه‌گیری pH نمونه‌ها: معمولا فرآورده‌های خط تولید شکر (به جز شربت خام) دارای pH در محدوده قلیایی هستند، چرا که pH شربت‌های قندی چنانچه در محدوده اسیدی باشد اینورسون رخ داده و منجر به تجزیه و از دست رفتن ساکارز می‌شود. pH نمونه‌ها با استفاده از دستگاه pH متر JENWAY ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری گردید (Wojtczak, 2003).

سنجش میزان رنگ نمونه‌ها: رنگ نمونه‌ها به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت (بهزاد و همکاران، ۱۳۹۱).

اندازه‌گیری درصد قند نمونه‌ها: درصد قند یا پُل^۱ میزان قند پلاریمتری نمونه‌ها را نشان می‌دهد و شاخصی برای تعیین میزان ساکارز نمونه‌ها است. میزان قند نمونه‌ها براساس روش پلاریمتری توسط دستگاه ساکارومتر مدل Saccaromat ساخت کشور آلمان انجام گردید (بهزاد و همکاران، ۱۳۹۱).

اندازه‌گیری بریکس یا ماده خشک نمونه‌ها: میزان ماده خشک نمون‌های مختلف توسط دستگاه رفاکتومتر Anton Paar ساخت کشور اتریش مدل Abbemat200 مورد سنجش قرار گرفت (بهزاد و همکاران، ۱۳۹۱).

اندازه‌گیری خاکستر نمونه‌ها: خاکستر نمونه‌ها با روش هدایت سنجی و به کمک دستگاه کدناکتومتر Jenway ساخت کشور انگلستان مدل ۴۵۱۰ مورد بررسی قرار گرفت (Wojtczak, 2003).

استخراج و اندازه‌گیری اکریل آمید: برای اندازه‌گیری اکریل آمید نمونه‌ها از روش زیر استفاده گردید؛ ۱ گرم نمونه کاملا همگن شده با ۵۰ میلی‌لیتر (FEP) اتیلن پروپیلن فلورینه شده^۲ به یک لوله سانتریفیوژ الکترونی ریخته شد. d3- اکریل آمید به 500ng/g (۱۰۰ μL) از ۵ g/ml μ d3- استاندارد اکریل آمید در آب دیونیزه شده با ۰/۱% اسید فرمیک) اضافه شد. سپس به این مخلوط، ۵ میلی لیتر هگزان با استفاده از یک کمک حلال اضافه گردید. در ادامه ۱۰ میلی لیتر از آب دیونیزه و ۱۰ میلی لیتر

تحقیقات نشان داده که حضور این ترکیب سرطان‌زا و نوروٹوکسیک می‌تواند حتی در مقادیر اندک اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان و دیگر موجودات زنده داشته باشد (Attoff et al., 2016). صنعت قند و فرایند تولید شکر به دلیل گستردگی و اهمیت بالای فرآورده تولیدی آن، یعنی شکر، و کاربردهای فراوان این محصول به عنوان ماده اولیه بسیاری از صنایع، و همچنین سرانه مصرف بالای شکر، جزو محصولات مهم و استراتژیک قلمداد می‌شود. در فرایند تولید شکر به دلیل حضور فراوان انواع قندهای احیاکننده و همینطور میزان تقریباً کافی از اسیدهای آمینه مختلف، این امکان وجود دارد که در مراحل از تولید که از دماهای بالا و زمان‌های طولانی استفاده می‌شود، اکریل آمید تشکیل گردد.

بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی امکان تشکیل اکریل آمید در مراحل مختلف فرایند تولید قند و غلظت آن در هر یک از محصولات جانبی و فرآورده نهایی کارخانه قند می باشد.

مواد و روش‌ها

- مواد

از شربت خام، شربت رقیق، شربت غلیظ، شکر و ملاس خط تولید کارخانه قند همدان طی سه هفته متوالی و در فواصل زمانی ۷ روزه نمونه برداری شد. نمونه‌های تهیه شده در هفته اول با شماره ۱، نمونه‌های هفته دوم با شماره ۲ و نمونه‌های هفته سوم با شماره ۳ مشخص شدند. پس از نمونه‌برداری، آزمون‌های کیفی بلافاصله انجام و به منظور انجام تست‌های تعیین مقدار اکریل آمید، نمونه‌ها در ظروف تیره رنگ نگهداری و مورد آنالیز قرار گرفتند. تمامی محلول‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

- روش‌ها

به منظور سنجش کیفیت نمونه‌های به دست آمده، آزمون‌های فیزیکوشیمیایی مختلفی انجام از جمله تعیین میزان قند اینورت، رنگ نمونه‌ها، pH و خاکستر انجام شد (Wojtczak, 2003).

اندازه‌گیری قند/اینورت: اینورت مخلوط برابری از گلوکز

¹ Pol

² Fluorinated Ethylene Propylene(FEP)

MeCN استفاده شده در محلول کمک حلال نیز اضافه شد. ۴ گرم $MgSO_4$ بدون آب و ۰/۵ گرم NaCl نیز اضافه گردید (به صورت یک مخلوط نمک در یک سرنگ ۲۰ میلی لیتری). بلافاصله لوله بسته و به آرامی تکان داده شد و از اختلاط کامل حلال با کل نمونه اطمینان حاصل گردید. عملیات سانتریفیوژ کردن نمونه به مدت ۵ دقیقه در ۳۴۵۰ rcf (5000 rpm) با استفاده از سانتریفیوژ RT6000B از Sorvall; Newton, CT انجام شد. در این مرحله لایه هگزان بوجود آمده از بین برده شد و سپس ۱ میلی ایترا عصاره MeCN را به یک لوله مینی سانتریفیوژ ۲ میلی لیری حاوی ۵۰ میلی گرم PSA و ۱۵۰ میلی گرم $MgSO_4$ بدون آب منتقل شد. محلول جاذب برای مدت ۳۰ ثانیه هم زده و سانتریفیوژ لوله در 3450 rcf برای مدت ۱ دقیقه انجام شد. محلول شناور ۴ در یک اتوسمپلر برای تجزیه با GC-MS قرار داده شد (Mastovska & Lehotay, 2006).

یافته‌ها

نتایج حاصل از بررسی خصوصیات کیفی نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۱ که نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های به دست آمده در بازه‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد، مشخص گردید که میزان اینورت نمونه‌ها در زمان‌های مختلف مقادیر متفاوتی را نشان می‌باشد و در بین نمونه‌های مختلف، نمونه شربت خام دارای بیشترین میزان اینورت بود. شربت‌های غلیظ و ملاس بیشترین میزان بریکس را در بین نمونه‌های خط تولید قند دارا می‌باشند. pH در نمونه‌های شربت خام پایین‌ترین و در نمونه‌های شربت رقیق بالاترین میزان را از خود نشان داد. همانطور که انتظار می‌رود بیشترین میزان درصد قند در نمونه‌های شکر وجود دارد اما در بین شربت‌ها، شربت غلیظ به دلیل ماده خشک بالاتر میزان قند بالاتری را نیز دارد. در رابطه با رنگ نمونه‌ها نیز پایین‌ترین رنگ در نمونه‌های شکر و بالاترین میزان رنگ در نمونه‌های ملاس به دست آمد. ملاس به دلیل کدورت بالا و حضور انواع ناخالصی‌های رنگزا، معمولاً بیشترین میزان رنگ را در بین فرآورده‌های صنعت قند دارا می‌باشد (Coca et al., 2003). خاکستر که میزان حضور املاح در نمونه‌ها را نشان می‌دهد، در ملاس بیشترین و در شربت‌های خام و رقیق کمترین میزان را از خود نشان داد.

جدول ۱- نتایج آزمون‌های کیفی نمونه‌ها

نام نمونه	بریکس (%)	pH	قند پلاریمتر (%)	خاکستر (%)	رنگ (بر حسب واحد ایکومزا)	اینورت (%)
شربت خام ۱	۱۳/۹	۶/۲	۱۲/۰۵	۰/۵۱	۲۸۹۰	۰/۰۵۵
شربت خام ۲	۱۴/۸۱	۶/۰۳	۱۲/۹	۰/۵۴۳	۲۲۸۲۱	۰/۰۷۱
شربت خام ۳	۱۴/۵۵	۵/۹	۱۲/۹۵	۰/۵۳	۲۱۶۹۴	۰/۰۷۶
شربت رقیق ۱	۱۵/۵	۸/۳	۱۳/۹	۰/۴۱۲	۱۰۸۶	۰/۰۱۳
شربت رقیق ۲	۱۴/۴۸	۸/۶۳	۱۳/۰۵	۰/۴۷۷	۳۰۹۴	۰/۰۰۷
شربت رقیق ۳	۱۵/۷۲	۸/۰۳	۱۴/۲	۰/۴۸	۲۰۶۲	۰/۰۲۱
شربت غلیظ ۱	۵۴/۳	۸/۶	۵۰/۱	۱/۳۲۶	۱۲۵۹	۰/۰۴۰
شربت غلیظ ۲	۵۸/۵۹	۸/۴۵	۵۲/۹۵	۱/۸۲۸	۳۶۹۱	۰/۰۳۴
شربت غلیظ ۳	۵۴/۷۱	۷/۷	۴۹/۸	۱/۴۸	۲۸۱۱	۰/۰۰۴۹
ملاس ۱	۷۷/۴۲	۸/۶	۴۱/۶	۱۹/۷۸	۲۴۱۷۹	۰/۲۷
ملاس ۲	۸۶/۲	۶/۷	۴۷/۱	۲۵/۱۷	۲۲۰۲۲	۰/۰۹
ملاس ۳	۷۹/۵۶	۶/۶	۴۳/۲	۲۴/۷۸	۲۱۶۹۵	۰/۰۴۹
شکر ۱	-	۶/۱۲	۹۹/۷۸	۱۵/۵۳	۴۷/۴۹	۰/۰۱۸
شکر ۲	-	۷/۷	۹۹/۷	۲۰/۱۱۷	۱۱۵/۳۲	۰/۰۷
شکر ۳	-	۷/۲۳	۹۹/۸۱	۱۷/۴۱۳	۵۰/۴۲۵	۰/۰۱۱

درجه و زمان ۶۰ دقیقه مورد فرآوری قرار می‌گیرد. دما و pH نسبتاً پایین در این شربت احتمال وقوع واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد (Mudoga *et al.*, 2007) و متعاقب آن تشکیل اکریل آمید را پایین می‌آورد. در شربت رقیق با کمک آهک و گاز دی‌اکسید کربن تلاش می‌شود تا بخش عمده‌ای از ناخالصی‌های موجود در شربت (که مهم‌ترین آنها قند اینورت و آمیدها هستند) از شربت جدا گردد (Asadi, 2007). زمان کوتاه در فرایند تصفیه نیز احتمالاً اجازه تشکیل این ترکیب سرطان‌زا را نمی‌دهد. اما نمونه‌های شربت غلیظ به دلیل دمای بالای اواپراتورهای صنعت قندسازی و زمان طولانی ماندن این شربت‌ها، ریسک و احتمال تشکیل اکریل آمید در آن‌ها بالا است. مطالعات نشان داده که در دمای ثابت و با افزایش رطوبت میزان اکریل آمید تولیدی در نمونه‌ها افزایش می‌یابد (متقی و همکاران؛ ۱۳۹۱). ثابت شده است که مقادیر متوسطی از اکریل آمید (حدود ۵-۵۰ ppb) در مواد غذایی غنی از پروتئین و اسید آمینه یافت می‌شود، درحالی‌که در مواد غذایی که عمدتاً کربوهیدراتی هستند مقادیر بسیار بالاتری از اکریل آمید (حدود ۱۵۰-۴۰۰۰ ppb) مشاهده می‌شود. علاوه بر این در مواد غذایی خام یا حرارت داده

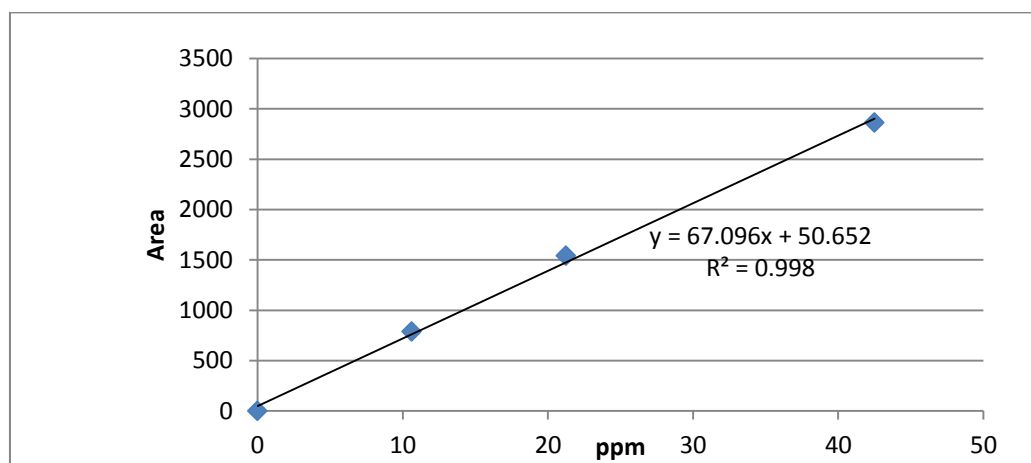
در ارتباط با اندازه‌گیری میزان اکریل آمید نمونه‌ها، ابتدا مقدار مشخصی نمونه استاندارد به دستگاه تزریق شد تا زمان بازداری^۱ و سطح زیر نمودار آن محاسبه گردد (نمودار ۱). زمان بازداری برای نمونه استاندارد حدود ۶/۱۱۷ دقیقه بود و برای نمونه شربت غلیظ هفته اول زمان بازداری حدود ۵/۴۱۷ و هر دو شربت‌های غلیظ هفته دوم و سوم نیز تقریباً همین زمان را از خود نشان دادند (جدول ۲). همانگونه که نتایج نشان می‌دهد در بین نمونه‌های مختلف فرایند تولید، شربت حاوی مقادیر ۸۲۵، ۵۲۵۰ و ۶۶۱ نانوگرم بر کیلوگرم اکریل آمید قابل اندازه‌گیری، به ترتیب برای نمونه شربت غلیظ ۱، ۲ و ۳ بود. کروماتوگرام‌های به دست آمده برای محصولات مشتق‌سازی شده اکریل آمید استاندارد، قابل اعتماد بوده و می‌توان گفت که تشخیص اکریل آمید با وجود سایر مواد، تداخلی ندارد (نمودار ۱).

بحث

طبق یافته‌های حاصل از این پژوهش، میزان اکریل آمید در نمونه‌های شربت خام، شربت رقیق، شکر و ملاس غیرقابل اندازه‌گیری بود و عملاً یافت نشد. شربت خام که شربت حاصل از مرحله دیفوزیون است در دمای حدود ۷۰

جدول ۲- سطح زیر نمودار و مقدار اکریل آمید نمونه‌ها

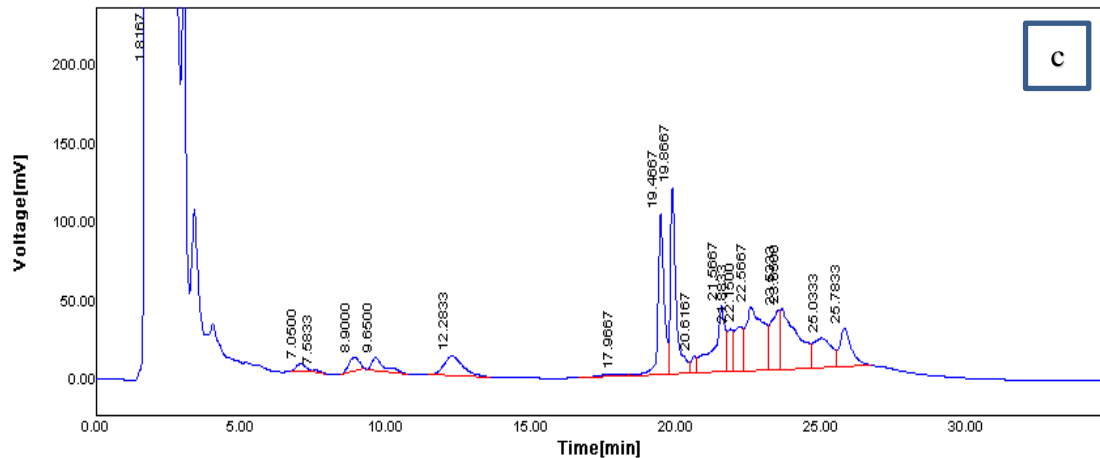
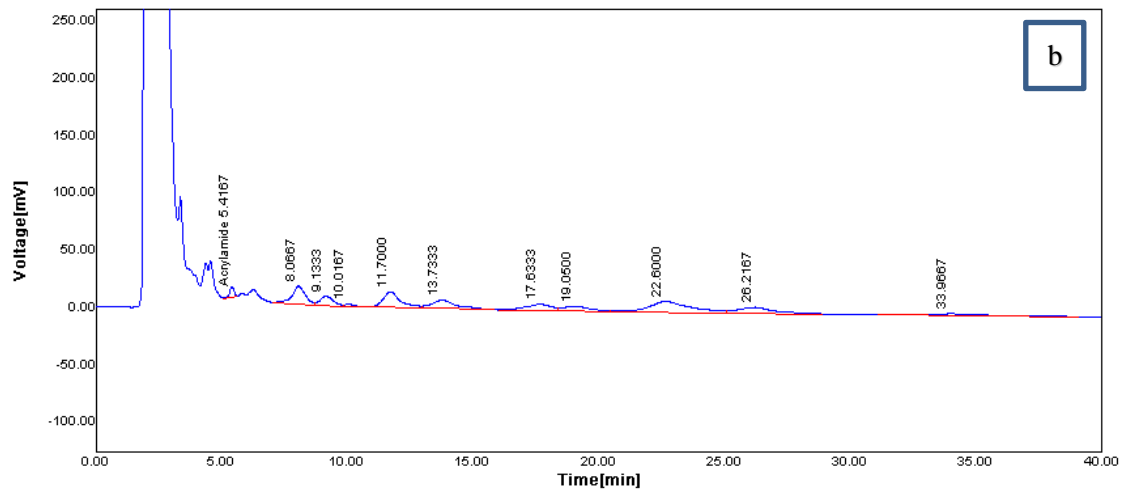
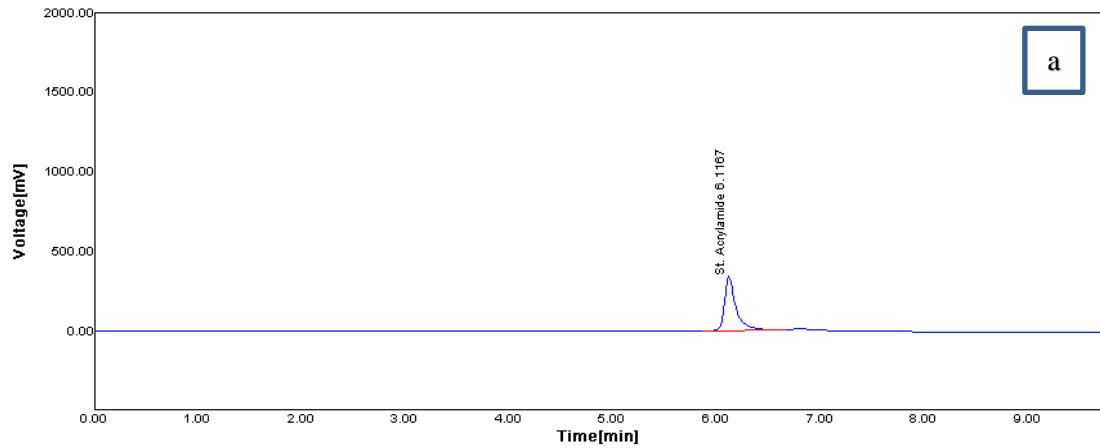
Sample name	Area	Con. ppm	Ug/g
شربت غلیظ ۱	۱۰۶	۰/۸۲۵	۰/۰۶۰
شربت غلیظ ۲	۴۰۳/۷۹	۵/۲۵	۲/۶۱
شربت غلیظ ۳	۹۵	۰/۶۶۱	۰/۱۱



نمودار ۱- نمودار کالیبراسیون استاندارد آنالیز اکریل آمید

¹ Retention Time

بررسی اثر فرایند بر تشکیل اکریل آمید در محصولات خط تولید شکر



نمودار ۲- کروماتوگرام های اکریل آمید استاندارد (a)، نمونه شربت غلیظ (b) و نمونه ملاس (c)

کیفیت محصول مطلوب می‌شود و همبستگی های به دست آمده برای پیش بینی تولید اکریل آمید در مطالعه موردی، یک ابزار مفید برای صنعت فرآوری مواد غذایی برای به حداقل رساندن تولید اکریل آمید است.

نشده عموماً اکریل آمید وجود ندارد (متقی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین در مطالعه Jensen و همکاران در سال ۲۰۰۸ نشان داده شد که کاهش دما و طولانی شدن زمان فرایند سبب کاهش مقدار اکریل آمید و همچنین حفظ

بیشتر بوده در نتیجه تمامی نمونه‌های کارخانه از جنبه خصوصیات کیفی و میزان اکریل آمید مورد آنالیز قرار گرفتند و نتایج این تحقیق نشان داد که در نمونه‌های شربت خام، شربت رقیق، شکر و ملاس هیچگونه مقادیری از اکریل آمید یافت نشد اما همانگونه که عنوان شد شربت غلیظ حاصل از فرایند اوپراسیون به دلیل وجود شرایط مناسب تشکیل اکریل آمید حاوی مقادیر قابل توجهی از این ترکیب سرطان‌زا بود.

منابع

بی‌نام. (۱۳۹۷). ماهنامه شکر انجمن صنفی کارخانه‌های قند و شکر ایران. شماره ۱۸۱.
بهزاد، خ، باقرزاده، م. ب. و الهی، م. (۱۳۹۱). دستورالعمل کنترل کیفی آزمایشگاهی در کارخانه‌های قند. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۶۰۲.
متقی، م، سیدین اردبیلی، م، هنرور، م، مهربانی، م. و باقی‌زاده، الف. (۱۳۹۱). تعیین اکریل آمید در نان‌های مسطح سنتی شهرستان کرمان به روش LC/DAD و مطالعه تاثیر عصاره رزماری بر تشکیل آن. مجله نوآوری در علوم و فناوری غذایی، سال ۴، شماره ۴.

Asadi, M. (2006). Beet sugar handbook: John Wiley & Sons.

Attoff, K., Kertika, D., Lundqvist, J., Gredsson, S. & Fors, A. (2016). Acrylamide affects proliferation and differentiation of the neural progenitor cell line C17.2 and the neuroblastoma cell line SH-SY5Y. *Toxicology in Vitro*, 35, 100-111.

Becalski, A., Lau, B. P. Y., Lewis, D. & Seaman, S. W. (2003). Acrylamide in foods: Occurrence, sources, and modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 802-808.

Biedermann, M. (2002). Experiments on acrylamide formation and possibilities to decrease the potential of acrylamide formation in potatoes. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 93, 668-687.

Coca, M., Garcla, T., Gonzalez, G., Pena, M. & Garcla, J. A. (2003). Study of coloured components formed in sugar beet processing. *Food Chemistry*, 86, 421-433.

Dybing, E., Farmer, P. B., Ahdersen, M., Fennell, T. R., Lalljie, S. P. D., Muller, D. J.

اما همانطور که از نتایج مشخص است، اکریل آمید در نمونه‌های شکر و ملاس که حاصل از شربت‌های غلیظ هستند یافت نشد. شربت غلیظ حاصل از مرحله اوپراسیون، در ادامه وارد آپارات‌های پخت شکر شده و طی یک فرایند سه پختی و در ادامه خشک کردن، تبدیل به شکر نهایی می‌شود که محصول جانبی حاصل از این فرایند نیز ملاس است. مطالعات نشان داده است که اگر چه افزایش دما ممکن است به تشکیل بیشتر اکریل آمید در محصولات منجر شود، اما افزایش دما به همراه طولانی شدن زمان یکی از عوامل تخریب اکریل آمید است، چرا که در این شرایط مولکول اکریل آمید پلیمریزه شده و پتانسیل آشکارسازی را در دستگاه‌های آنالیز کننده از دست می‌دهد (Becalski *et al.*, 2003). حضور اکریل آمید در شربت‌های غلیظ و عدم حضور آن در محصولات شکر و ملاس می‌تواند به علت پلیمریزاسیون این ترکیب به دلیل طولانی شدن فرایند پخت در سیستم سه پختی باشد. در مطالعه‌ای که توسط Surdyk و همکاران در سال ۲۰۰۴ انجام شد، مشخص گردید که نه تنها درجه حرارت، بلکه طول مدت قرارگیری در حرارت نیز می‌تواند بر محتوای اکریل آمید تاثیر گذارد. در مطالعه دیگری که در زمینه تشکیل اکریل آمید در سیب‌زمینی انجام شد، مشخص گردید که اگرچه دماهای بالا می‌تواند منجر به تشکیل اکریل آمید گردد، اما ادامه فرایند و طولانی شدن آن متعاقبا باعث پلیمریزه شدن اکریل آمید و کاهش آن می‌گردد (Biedermann, 2002).

نتیجه‌گیری

مقدار اکریل آمید به طور گسترده‌ای در یک محصول غذایی مشابه در یک واحد تولیدی، خطوط تولید و در زمان‌های مختلف و همچنین بین تولید کنندگان به علت فرمولاسیون‌های مختلف و شرایط فرآوری متفاوت، متغیر است. یکی از محصولات مهم و خطرناک واکنش میلارد، تشکیل اکریل آمید است که در محصولات غذایی مختلفی شکل می‌گیرد. با توجه به فرایند تولید شکر که به طور خلاصه شامل مراحل دیفوزیون، تصفیه، اوپراسیون، کریستالیزاسیون و... است، در مرحله اوپراسیون با توجه به وجود دمای بالا و زمان طولانی فرایند تبخیر، احتمال تشکیل اکریل آمید در این مرحله نسبت به سایر مراحل

- G., Olin, S., Petersen, B. J., Schlatter, J., Scholz, G., Scimeca, J. A. & Verger, P. (2004). Human exposure and internal dose assessments of acrylamide in food. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 365-410.
- Jensen, B. B., Lennox, M., Granby, K., & Adler-Nissen, J. (2008). Robust modelling of heat-induced reactions in an industrial food production process exemplified by acrylamide generation in breakfast cereals. *Food and Bioproducts Processing*, 86(3), 154-162.
- Knol, J. J. (2008). Kinetic modeling of acrylamide formation in aqueous reaction systems and potato crisps: Text & Figures.
- Mastovska, K. & Lehotay, S. J. (2006). Rapid sample preparation method for LC-MS/MS or GC-MS analysis of acrylamide in various food matrices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7001-7008.
- Mudoga, H. L., Yucel, H. & Kincal, N. S. (2007). Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons. *Bioresource Technology*, 99, 3528-3533.
- Muttucumaru, N., Powers, S. J., Elmore, J. S., Dodson, A., Briddon, A., Mottram, D. S., & Halford, N. G. (2017). Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation. *Food Chemistry*, 220, 76-86.
- Nguyen, H. T. & Boekel, M. A. J. S. (2017). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation during biscuit baking. Part II: Effect of the ratio of reducing sugars and asparagine. *Food Chemistry*, 230, 14-23.
- Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K. & Granby, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 786-793.
- Rice, J. M. (2004). The carcinogenicity of acrylamide. *Mutation Research*, 580, 3-20.
- Surdyk, N., Rosén, J., Andersson, R., & Åman, P. (2004). Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 2047-2051.
- Serpen, A. & Gokmen, V. (2008). Evaluation of the maillard reaction in potato crisps by *Journal Food Composition and Analysis*, 22, 589-595.
- Vinci, R. M., Mestdagh, F. & Meulenaer, B. D. (2012). Acrylamide formation in fried potato products-present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, 133, 1138-1154.
- Wojtczak, M. (2003). ICUMSA-International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. *Gazeta Cukrownicza*, 6 (111), 191-192.

The Evaluation of Process Condition on Acrylamide Formation in Sugar Beet Industry

F. Sahraei^a, M. Honarvar^{b*}, M. E. Bahrami^c

^a M. Sc. Student of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^b Associate Professor of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^c Ph. D of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 9 September 2018

Accepted: 4 January 2019

Abstract

Introduction: Acrylamide is a carcinogenic compound which is formed by reaction between amino acids and reducing sugars. In this study, the possibility of acrylamide formation and different parameters related to sugar processing quality were investigated.

Materials and Methods: Different parameters for determination of physicochemical parameters such as pH, ash, brix, invert sugar, polarimetric sugar and color in samples were analyzed. Acrylamide is a carcinogenic compound and is formed from the asparagine amino acid release with reducing sugars as carbonyl compounds during the Maillard reaction. In its formation, several factors such as the concentration of reducing sugars, temperature and time are effective.

Results: Due to the danger of acrylamide in human diet and health, it is important to detect this compound during sugar production. The quantity of acrylamide was analyzed in different product produced in the factory, namely sugar beet, raw juice, thin juice, thick juice, molasses, and sugar crystals. The results indicated that the highest amount of acrylamide was found in thick juice samples (825 ng/kg).

Conclusion: The results of this study showed that although acrylamide is present in thick juice samples but in the final sugar the quantity of acrylamide is minute. Therefore, there is no concern about acrylamide in relation to sugar intake.

Keywords: *Acrylamide, Asparagine, Sugar, Thick Juice.*

* Corresponding Author: M-Honarvar@hotmail.com