بررسی اثر نوع شیرین کننده‌های مصرفی در فرمولاسیون بیسکویت بر میزان تولید آکریلامید در محصول

فریناز اعرابی[a]*، جواد کرامت[b]، مهدی سیدین اردبیلی[c]، مهدی امین افشار[d]، غلامحسین صادقیان[e]

[a] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم و صنایع غذایی، تهران، ایران
[b] استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، اصفهان، ایران
[c] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم وتحقیقات تهران، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، تهران، ایران
[d] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم وتحقیقات تهران، دانشکده کشاورزی ومنابع طبیعی، تهران، ایران
[e] معاونت غذا و دارو، اداره کل نظارت بر مواد غذایی استان اصفهان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۳۰ /۱۳۹۰/۷

چکیده

مقدمه: کشف اولیه مقادیر بالای آکریلامید در موادغذایی غنی از کربوهیدرات که تحت فرآیندهای حرارتی بالا فرآوری می‌شوند و همچنین اعلام خواص سمیت و اثرات سرطان‌زایی این ترکیب، سبب بروز نگرانیهای وسیعی در سراسر جهان شده است. وجود آکریلامید در فرآورده‌های غلات از جمله بیسکویت با توجه به فرمولاسیون و شرایط ویژه فرآوری این محصولات، سبب مطالعات گسترده‌ای در این زمینه شده است. یکی از نگرانی‌های اصلی در مورد بیسکویت چگونگی تنظیم فرمولاسیون بیسکویت به منظور به حداقل رساندن میزان آکریلامید در این محصول می‌باشد. در این پژوهش اثرات دو شیرین‌کننده مصرفی متداول، قند اینورت و ساکارز بر میزان تشکیل آکریلامید در بیسکویت در مقیاس صنعتی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش نمونه‌های بیسکویت در یک بچ ۱۰۰ کیلوگرمی در سه فرمولاسیون براساس ۳ سطح (۵، ۷ و ۹ درصد) قند اینورت و (۱۲، ۱۳ و ۱۴ درصد) ساکارز تهیه شدند و هر یک از فرمولاسیون‌ها در سه دمای پخت متفاوت مورد آزمون واقع شدند. سپس برای آنالیز میزان آکریلامید در نمونه‌های بیسکویت از دستگاه کروماتوگرافی گازی/ دتکتور شکار الکترونی (GC/ECD) استفاده شد. همچنین آنالیز رنگ نمونه‌های بیسکویت به روش پردازش عکس دیجیتالی انجام گرفت.

یافته‌ها: در کلیه تیمارهای دمایی مورد آزمون، بیشترین میزان آکریلامید، در فرمولاسیون محتوی ۹٪ شربت اینورت و ۱۳٪ ساکارز و کمترین میزان آکریلامید، در فرمولاسیون محتوی ۵٪ شربت اینورت و ۱۵٪ ساکارز یافت شد. همچنین رابطه خطی معنی‌داری بین غلظت آکریلامید و فاکتور روشنایی رنگ سطحی نمونه (فاکتور*L) وجود داشت. با توجه به تغییرات اعمال شده در فرمولاسیون، تیمارهای مختلف بیسکویت از نقطه نظر ویژگیهای حسی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند.

نتیجه‌گیری: کاهش درصد قند اینورت و جایگزینی آن با ساکارز به عنوان عامل شیرین‌کننده در فرمولاسیون بیسکویت نوع قالب غلطکی، یک راهکار عملی به منظور کنترل میزان آکریلامید در این محصول در مقیاس صنعتی می باشد.

واژه‌های کلیدی : *آکریلامید، بیسکویت، دما، ساکارز، قند اینورت*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: farinaz_a1998@yahoo.com

jftn.srbiau.ac.ir

مقدمه

در سال ۲۰۰۲ مؤسسه ملی تغذیه سوئد و محققین دانشگاه استکهلم، وجود ترکیب شیمیایی مضری به نام آکریلامید را در برخی موادغذایی حرارت دیده و غنی از کربوهیدرات مانند فرآورده‌های غلات، گزارش کردند (Swidish National Food Administration, 2002). این گزارشات موجب نگرانی‌های وسیعی در سطح بین‌المللی شد، زیرا آکریلامید توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به عنوان یک "ترکیب سرطان‌زای احتمالی برای انسان" معرفی شده است (IRAC, 1994). براساس اطلاعات موجود، تعیین حداکثر میزان مصرف مجاز آکریلامید امکانپذیر نیست ولی میزان حد مجاز دریافت رژیمی آکریلامید در جمعیت‌های مختلف حدود ۰/۸-۰/۳ میکروگرم (به ازای هر کیلوگرم وزن بدن روزانه برای بزرگسالان) تخمین زده شده است (FAO/WHO, 2005; Hilbig *et al*., 2004).

نتایج ارزیابی‌های متعدد انجام شده در زمینه میزان آکریلامید موجود در غذاهای مختلف، توسط سازمان‌های غذایی چندین کشور مشخص نموده است که فرآورده‌های غلات مانند انواع نان، کیک، کلوچه، بیسکویت و غلات صبحانه از منابع اصلی دریافت رژیمی آکریلامید محسوب می‌شوند (A-Mucci *et al*., 2005). کشفیات در این زمینه بیان می‌کند که مسیر اصلی تشکیل آکریلامید در فرآیندهای حرارتی، واکنش مایلارد مابین قندهای احیاکننده و گروه آمین اسیدآمینه آزاد آسپاراژین است، که معمولاً در دماهای بالا، حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد. میزان آکریلامید تولید شده به دو عامل ترکیب موادغذایی و شرایط فرآوری که سبب تشدید واکنش مایلارد می‌شود، بستگی دارد (Becalski *et al*., 2003; Clause *et al*., 2008; Keramat *et al*., 2010; Mottram *et al*., 2002; Stadler *et al*., 2002).

آزمایشات صورت گرفته بر سیستم‌های مدل نشان می‌دهد که مکمل‌های نانوایی[1]، قندهای احیاکننده، آسپاراژین آزاد و شرایط فرآیند شامل دما و زمان پخت بر تشکیل آکریلامید در فرآورده‌های غلات مؤثر هستند. همچنین در مورد بیسکویت نیز نوع و مقدار عوامل حجم دهنده، نوع و میزان قند مصرفی، pH و سایر افزودنی‌ها از عوامل تأثیرگذار بر تشکیل آکریلامید مطرح شده‌اند (Brathen and Knutsen, 2005; CIAA, 2006; Gokmen *et al*., 2007; Graf *et al*., 2006).

در پژوهشی در سال ۲۰۰۶، اثرات تغییرات فرمولاسیون و نوع قند موجود در فرمولاسیون با مقادیر مختلف ساکارز و قند اینورت، بر تولید آکریلامید در نوعی بیسکویت نیم پز[2] مورد مطالعه قرار گرفته و نشان داده شد که جایگزینی محلول ساکارز به جای قند اینورت در فرمولاسیون خمیر، منجر به کاهش آکریلامید در بیسکویت پس از فرآیند پخت خواهد شد (Graf *et al*., 2006). همچنین نتایج یک تحقیق در سال (۲۰۰۷)، در بررسی اثرات چندین فرمولاسیون با غلظت‌های مختلف قندهای ساکارز و گلوکز در بیسکویت نشان داد که کمترین میزان آکریلامید در غلظت‌های پایین گلوکز حاصل شده است (Gokmen *et al*., 2007). بررسی ارتباط میزان آکریلامید و درجه قهوه‌ای شدن مدل‌های بیسکویت نشان داده که در غلظت‌های بالای آکریلامید، شدت رنگ قهوه‌ای در محصول بیسکویت افزایش می‌یابد (Gokmen *et al*., 2006). با توجه به شرایط پخت بیسکویت در فرهای تونلی در درجه حرارت‌های بالا (حدود ۴۰۰-۲۰۰) و تحت شرایط رطوبت پایین، عملیات پخت این محصول، معمولاً دربرگیرنده واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد برای توسعه‌ی عطر و طعم و رنگ و بافت مطلوب می‌باشد. همچنین با در نظر گرفتن احتمال سرطان‌زایی آکریلامید و در عین حال توسعه روزافزون صنایع تولید بیسکویت و مصرف بالای این محصول در کشور، ضرورت بررسی راهکارهای کاهش این ترکیب در بیسکویت احساس می‌شود و محاسبه میزان آکریلامید در بیسکویت جهت آگاهی از میزان این ترکیب سرطان‌زا، به منظور بهبود وضعیت سلامت غذایی عموم مردم ضروری به نظر می‌رسد. از آنجائیکه در اکثر فرمولاسیون‌های معمول بیسکویت از انواع شیرین کننده ها نظیر شربت اینورت، ساکارز و غیره استفاده می‌شود که به عنوان پیش‌سازهای اصلی آکریلامید مطرح شده‌اند. لذا بررسی اثر نوع شیرین کننده بر میزان تشکیل آکریلامید در محصول، با ثابت نگه داشتن سایر فاکتورهای تأثیرگذار ذکر شده و دستیابی به

[1] Baking Agents

[2] Semi Finished Biscuit

jftn.srbiau.ac.ir

یک فرمولاسیون مناسب ضمن قابلیت اجرای صنعتی در کشور برای به حداقل رساندن میزان آکریلامید در این محصول مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

- تولید صنعتی بیسکویت

جهت انجام این پژوهش، از فرمولاسیون بیسکویت نوع قالب غلطکی ساده که متداولترین نوع بیسکویت تولید شده در صنایع داخلی کشور است، در مقیاس صنعتی در واحد صنعتی اصفهان شیرینک، در یک بچ تولیدی ۱۰۰ کیلوگرم استفاده شد.

سه نوع فرمولاسیون خمیر تحت دو فاکتور شیرین‌کننده‌های شربت اینورت و ساکارز، در ۳ سطح (۵ ، ۷ ، ۹ ٪ شربت اینورت) و (۱۳، ۱۴، ۱۵ ٪ ساکارز) تهیه شد.

فرمولاسیون۱: ۶۰ کیلوگرم‌آرد، ۷ کیلوگرم آب، ۱۵ کیلوگرم ساکارز، ۵ کیلوگرم شربت اینورت، ۱۳ کیلوگرم روغن، ۶۰۰گرم لسیتین، ۶۰۰ گرم بی‌کربنات سدیم، ۶۰۰ گرم نمک و ۴۰۰ گرم اسانس.

فرمولاسیون۲: ۶۰ کیلوگرم آرد، ۷ کیلوگرم آب، ۱۴ کیلوگرم ساکارز، ۷ کیلوگرم شربت اینورت، ۱۳ کیلوگرم روغن، ۶۰۰ گرم لسیتین، ۶۰۰ گرم بیکربنات سدیم، ۶۰۰ گرم نمک و۴۰۰ گرم اسانس.

فرمولاسیون۳: ۶۰ کیلوگرم آرد، ۷ کیلوگرم آب، ۱۳ کیلوگرم ساکارز، ۹ کیلوگرم شربت اینورت، ۱۳ کیلوگرم روغن، ۶۰۰ گرم لسیتین، ۶۰۰ گرم بیکربنات سدیم، ۶۰۰گرم نمک و ۴۰۰ گرم اسانس.

در این پژوهش به منظور اثبات اثر نوع و میزان شیرین‌کننده موجود فرمولاسیون بیسکویت صرف نظر از اثرات احتمالی شرایط پخت، هر یک از فرمولاسیون‌ها در سه تیمار حرارتی ثابت (دماهای معمول مورد استفاده در اکثر واحدهای صنعتی) با متوسط دمایی سه منطقه تونل پخت (۳۰۰، ۳۲۰ و ۳۴۰ درجه سانتیگراد) پخته شده و مورد مقایسه قرار گرفتند.

- مشخصات شربت اینورت مورد استفاده

برای تولید سیروپ اینورت در واحد صنعتی مربوطه، از پودر ساکارز استفاده گردید. بدین ترتیب که حدود ۲۰۰ کیلوگرم شکر و ۱۸۰ لیتر آب را تا دمای $100^{\circ}C$ حرارت داده وسپس به میزان ۳ لیتر اسید سیتریک به آن اضافه کرده و حدود ۳۰ دقیقه بطور مداوم به خوبی بهم زده و سرانجام به ملایمت سرد شد، در نهایت شربت اینورت با خصوصیات $Bx= ۶۵^{\circ}$ و pH= ۵/۵ برای استفاده در فرمولاسیون، آماده‌سازی شد.

- استخراج و اندازه‌گیری آکریلامید

عملیات آماده‌سازی نمونه بیسکویت و استخراج آکریلامید بر اساس روش Zhu و همکاران، با اندکی اصلاحات انجام گرفت (Zhu *et al*., 2008). ابتدا نمونه‌های بیسکویت بوسیله آسیاب خانگی آسیاب شده و ۱۰ گرم از نمونه هموژن شده برای آنالیز توزین گردید. عملیات آماده سازی شامل حل کردن نمونه در آب و مخلوط کردن آن با شیکر آزمایشگاهی به مدت ۳۰ دقیقه و سپس یک مرحله چربی‌گیری با حلال n- هگزان انجام گرفت.

عملیات مشتق‌سازی عصاره بیسکویت با استفاده از پتاسیم بروماید، اسید هیدروبرومیک و محلول برم اشباع انجام شد. بدین منظور، ابتدا میزان ۷/۵ گرم از پتاسیم بروماید پایدار شده در کوره با تکان دادن در فاز آبی جداسازی شده حل شده و با افزودن چند قطره (حدود ۰/۴ میلی‌لیتر) اسید هیدروبرمیک pH مابین ۳-۱ تنظیم گردید. در حین بهم زدن ارلن، ۸ میلی لیتر محلول بروماین اشباع به آن افزوده و ارلن با فویل آلومینیومی پوشانده شده و به حمام یخ منتقل شد تا اینکه واکنش برومیزاسیون به مدت ۱ساعت در تاریکی انجام شود. پس از تکمیل واکنش برومیزاسیون، به منظور توقف واکنش چند قطره (۰/۴ میلی‌لیتر) محلول ۱ مولار تیوسولفات سدیم به محلول اضافه کرده تا زمانیکه رنگ زرد کاملاً از بین رفته و محلول بیرنگ شود. مرحله نهایی استخراج مشتق دو برومه آکریلامید، با استفاده از ۲۵ میلی‌لیتر حلال اتیل‌استات در قیف جداکننده پس از۱ دقیقه مخلوط کردن و سپس جداسازی فاز آلی، انجام گردید. فاز آلی جداسازی شده تحت سولفات سدیم آبزدایی شد و نهایتاً محلول از میکروفیلتر سورنگی ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شده و به ویال آزمایشگاهی منتقل گردید. برای تبدیل ۲و۳-دی بروموپروپیونامید به ۲-بروموپروپیونامید، ۱۰٪ تری اتیل

jftn.srbiau.ac.ir

آمین به نمونه نهایی افزوده شد (Castle *et al*., 1991; Zhu *et al*., 2008).

تعیین غلظت آکریلامید در نمونه‌های بیسکویت با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی Varian مدل 3400 مجهز به دتکتور شکار الکترونی انجام شد. برای این منظور از ستون موئینه Stabilwax به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلیمتر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. تعیین کمی غلظت آکریلامید از طریق مقایسه با منحنی کالیبراسیون استاندارد آکریلامید صورت گرفت. بدین منظور محلول‌های استاندارد آکریلامید در متانول با غلظت‌های ۰/۱ ، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ میلی‌گرم در میلی لیتر تهیه شد و مطابق روش بالا مشتق سازی و استخراج گردید و به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. سپس منحنی کالیبراسیون استاندارد آکریلامید به روش رگرسیون خطی ترسیم گردید و معادله خط مربوطه بدست آمد.

- **آنالیز رنگ**

ارزیابی رنگ نمونه‌های بیسکویت با کاربرد پردازش تصویری دیجیتال تشریح شده و عملیات تصویرگری و پردازش تصویر جهت استخراج پارامترهای رنگی در فضای رنگی L*a*b* انجام شده است (Gokmen *et al*., 2006). ابتدا از هر تیمار، ۳ بیسکویت به تصادف انتخاب شد و از آنها تصویرگیری شد. عملیات تصویرگیری، در محفظه‌ای سفید رنگ مجهز به دو لامپ فلورسنت با زاویه تابشی برابر ۴۵ درجه با نمونه، در شرایط مشابهی از نظر نور و روشنایی انجام شد. تصویرگیری با استفاده از دوربین Canon مدل Powershot A520 انجام شد که با پورت USB به رایانه متصل بود. دوربین در فاصله ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آنها ثابت شد. از تصاویر گرفته شده قطعات ۱۰۰۰×۱۰۰۰ پیکسلی بریده شده، با فرمت BMP ذخیره شدند. سپس توسط نرم‌افزار Photoshop CS_2 ، بوسیله برنامه Imagej تحت عنوان Color-Space-Converter تصاویر به CIE XYZ و سپس به L*a*b* در فضای رنگی هانترلب تبدیل گردید. در مرحله بعد نمونه‌های بیسکویت از طریق منحنی کالیبراسیون حاصل شده با رالهای استاندارد (صفحات رنگی که دارای شاخصه‌های $L^*a^*b^*$ در شرایط استاندارد هستند) کالیبره شدند (احتیاطی، ۱۳۸۵).

بدین منظور، از صفحات استاندارد RAL که دارای رنگ نزدیک به نمونه‌های مورد ارزیابی نیز به همین طریق تصویرگیری شد و با نرم افزار فتوشاپ میزان $L^* a^* b^*$ آنها تعیین گردید. سپس با استفاده از داده‌های $L^* a^* b^*$ استاندارد مربوط به هر RAL، که از سایت مربوط به این شرکت به دست آمد، در برابر $L^* a^* b^*$ های بدست آمده از نرم‌افزار فتوشاپ، برای هریک از شاخصه‌های $L^*a^* b^*$ منحنی کالیبراسیون استاندارد رسم گردید و معادله خط مربوط به آن بدست آمد. با قرار دادن اعداد بدست آمده از آنالیز رنگ نمونه‌های بیسکویت در معادله‌ی خط بدست آمده مقادیر $L^* a^* b^*$ استاندارد شده نمونه‌ها تعیین شد (جدول۲).

- **آنالیز شیمیایی نمونه‌های بیسکویت**

آزمایشات تجزیه‌ی شیمیایی بیسکویت با ۳ تکرار در هر تیمار انجام شده است (بی نام، ۱۳۷۸).

درصد رطوبت نمونه‌ها، مطابق استاندارد شماره ۲۷۰۵ (روش اندازه‌گیری رطوبت غلات و فرآورده‌های آن به روش معمولی) اندازه‌گیری شد و خاکستر نامحلول در اسید و pH آن، مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۳۷ (اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی بیسکویت)، انجام شد. همچنین اندازه‌گیری چربی مطابق استاندارد شماره ۲۸۶۲ (روش اندازه‌گیری چربی غلات و فرآورده‌های آن) و اندازه‌گیری درصد قندهای ساده (مونوساکاریدها و دی‌ساکاریدها) مطابق استاندارد شماره ۲۵۵۳ (ویژگیهای کیفی) انجام شد.

- **ارزیابی حسی**

نمونه‌های بیسکویت تولید شده، از نظر خواص حسی (رنگ، شیرینی، تردی، احساس دهانی و پذیرش کلی) بررسی شدند. بدین منظور روش آزمون مقایسه چندتایی[1] بکار برده شد و آزمون حسی توسط پنلیست‌های آموزش دیده انجام گرفت. تمامی نمونه‌ها به طور همزمان در اختیار پنلیست‌ها قرار گرفت و از آنها خواسته شد که پس از بررسی و چشیدن نمونه‌ها، آنها را به ترتیب از بهترین به

[1] Multiple Comparison Test

ifn.srbiau.ac.ir

بدترین کنار هم مرتب و سپس به بهترین نمونه عدد ۱ و به همین ترتیب به بدترین نمونه عدد ۹ دهند. سپس نتایج حاصل از ارزیابی حسی پنلیست‌ها با روش رانک مقایسه و تحلیل گردید.

- **تجزیه و تحلیل آماری**

در این پژوهش به منظور تعیین تفاوت معنی‌دار بین فرمولاسیون‌های مختلف در دماهای ثابت پخت بیسکویت، از آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی به ۳ تکرار در هر تیمار استفاده شد. در صورت تابعیت داده ها از توزیع نرمال، برای مقایسه میانگین داده‌ها پس از آنالیز واریانس، از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه ای دانکن استفاده شد. برخی از داده ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کرد و امکان نرمال کردن آنها نیز از طریق تبدیل داده‌ها میسر نشد. به منظور آنالیز این داده ها از آزمون غیرپارامتری کروسکال والیس استفاده شد. نرم افزارهای مورد استفاده در این تحقیق SPSS و Minitab بوده است. برای بررسی وجود رابطه‌ی خطی بین متغیرها از آزمون همبستگی پیرسون و ضریب تابعیت خطی استفاده گردید.

یافته ها

- **بررسی اثر ساکارز و قند اینورت**

میزان آکریلامید اندازه‌گیری شده در نمونه‌های بیسکویت در (جدول۱) آورده شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین از طریق آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که غلظت آکریلامید بین فرمولاسیون‌های ۱، ۲ و۳ دارای اختلاف معنی‌داری است ($p<۰/۰۵$). فقط بین نمونه‌ی F_{1a} و نمونه F_{2a} اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($p\geq۰/۰۵$). بر طبق نتایج آنالیز تجزیه واریانس میانگین غلظت آکریلامید در نمونه‌های تهیه شده تحت تیمارهای شرح داده شده، بالاترین میزان آکریلامید در مورد نمونه F_{3b} و پایین‌ترین میزان آکریلامید در نمونه F_{1c} یافت شد.

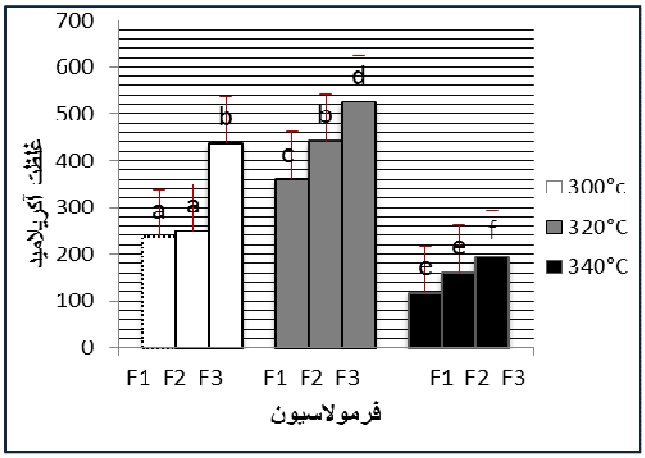
در (نمودار۱)، مقایسه‌ی میزان آکریلامید تولید شده در فرمولاسیون‌های مختلف که هر یک در دمای ثابت پخته شده‌اند، نشان داده شده است. برطبق (نمودار۱) در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد بیشترین غلظت آکریلامید معادل ۴۳۸ میکروگرم بر کیلوگرم در نمونه F_{3a} و کمترین غلظت آکریلامید معادل ۲۳۷ میکروگرم بر کیلوگرم در نمونه F_{1a} مشاهده شده است. همچنین در دمای ۳۲۰ درجه سانتیگراد نیز بیشترین میزان آکریلامید معادل ۵۲۶ میکروگرم بر کیلوگرم مربوط به نمونه F_{3b} دارای فرمولاسیون ۳ و کمترین میزان آکریلامید معادل ۳۶۲ میکروگرم برکیلوگرم مربوط به نمونه F_{1b} دارای فرمولاسیون ۱ می‌باشد. در دمای ۳۴۰ درجه سانتیگراد نیز بیشترین غلظت آکریلامید معادل ۱۹۴ میکروگرم بر کیلوگرم در نمونه F_{3c} دارای فرمولاسیون ۳ (۹٪ شربت اینورت- ۱۳٪ ساکارز) و کمترین میزان آکریلامید معادل ۱۱۸ میکروگرم برکیلوگرم مربوط به نمونه F_{1c} دارای فرمولاسیون ۱ (۵٪شربت اینورت- ۱۵٪ساکارز) بوده است.

جدول۱- مقایسه میانگین غلظت آکریلامید در نمونه های بیسکویت

شماره نمونه	فرمولاسیون	دمای تونل پخت	غلظت آکریلامید (ppb)
F_{1a}	۱۵٪ ساکارز- ۵٪ قند اینورت	۳۰۰ درجه سانتیگراد	۲۳۷[a]
F_{2a}	۱۴٪ ساکارز- ۷٪ قند اینورت	۳۰۰ درجه سانتیگراد	۲۴۹[a]
F_{3a}	۱۳٪ ساکارز- ۹٪ قند اینورت	۳۰۰ درجه سانتیگراد	۴۳۸[b]
F_{1b}	۱۵٪ ساکارز-۵٪ قند اینورت	۳۲۰ درجه سانتیگراد	۳۶۲[c]
F_{2b}	۱۴٪ ساکارز-۷٪ قند اینورت	۳۲۰ درجه سانتیگراد	۴۴۲[b]
F_{3b}	۱۳٪ ساکارز-۹٪ قند اینورت	۳۲۰ درجه سانتیگراد	۵۲۶[d]
F_{1c}	۱۵٪ساکارز-۵٪ قند اینورت	۳۴۰ درجه سانتیگراد	۱۱۸[e]
F_{2c}	۱۴٪ساکارز-۷٪ قند اینورت	۳۴۰ درجه سانتیگراد	۱۶۲[e]
F_{3c}	۱۳٪ساکارز-۹٪ قند اینورت	۳۴۰ درجه سانتیگراد	۱۹۴[f]

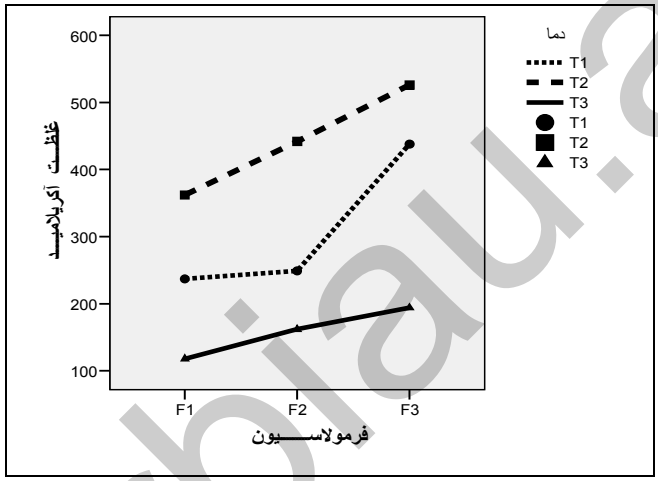
* میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند($p \leq ۰/۰۵$) .

jftn.srbiau.ac.ir



نمودار ۱- مقایسه تولید آکریلامید در فرمولاسیون‌های مختلف در تیمار حراتی ثابت

(فرمولاسیون ۱: ۵٪ شربت اینورت- ۱۵٪ ساکارز، فرمولاسیون۲: ۷٪ شربت اینورت- ۱۴٪ ساکارز، فرمولاسیون۳: ۹٪ شربت اینورت- ۱۳٪ ساکارز)



نمودار ۲- اثر فرمولاسیون بر غلظت اکریلامید در بیسکویت

(فرمولاسیون ۱: ۵٪ شربت اینورت- ۱۵٪ ساکارز، فرمولاسیون۲: ۷٪ شربت اینورت- ۱۴٪ ساکارز، فرمولاسیون۳: ۹٪ شربت اینورت- ۱۳٪ ساکارز)

(T_1: ۳۰۰°C T_2: ۳۲۰°C T_3: ۳۴۰°C)

در (نمودار۲) اثر فرمولاسیون بر غلظت آکریلامید در بیسکویت و روند تغیرات غلظت آکریلامید در فرمولاسیون‌های یک (۵٪ شربت اینورت و ۱۵٪ ساکارز)، دو (۷٪ شربت اینورت و۱۴٪ ساکارز) و سه (۹٪ شربت اینورت و ۱۳٪ ساکارز) نشان داده شده است. برطبق این نمودار، در کلیه دماهای مورد آزمون، از فرمولاسیون ۱ تا فرمولاسیون ۳ با افزایش میزان شربت اینورت و کاهش میزان ساکارز، روند تغییرات غلظت آکریلامید بصورت روند افزایشی مشاهده شده است.

- **بررسی رابطه رنگ و غلظت آکریلامید**

در این روش سه فاکتور تعیین رنگ مشخص گردید. مقادیراندیس L^*: معادل میزان سفیدی و تیرگی محصول که بین ۰ تا ۱۰۰ است، مقادیر اندیس a^*: نامحدود ایت و مفادیر مثبت معادل رنگ قرمز محصول و مفادیر منفی معادل رنگ سبز است، مقادیر اندیس b^*: نامحدود بوده و مفادیر مثبت معادل رنگ زرد محصول و مقادیر منفی معادل رنگ آبی است.

مطابق نتایج ارزیابی رنگ سطحی کلیه اعداد بدست آمده در مورد فاکتورهای a* و b* نمونه‌های بیسکویت دارای مقادیر مثبت می‌باشند. همچنین بر طبق نتایج آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس، بین سه فرمولاسیون مختلف، از نظر دو فاکتور رنگی a* و b* اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($p\geq 0/05$). نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داده است که در مورد فاکتور رنگی L* مابین فرمولاسیون‌های ۱ و ۳ و همچنین بین

jftn.srbiau.ac.ir

فرمولاسیون‌های ۱و۲ تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<0.05$) لذا از آزمون مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. براساس آزمون همبستگی بین دو متغیر فاکتور رنگی *L و غلظت آکریلامید رابطه‌ی خطی معنی‌داری وجود دارد و معادله خط مربوطه در (نمودار۳) نشان داده شده است. ضریب تابعیت در این نمودار معنی‌دار مشاهده شده است ($p<۰/۰۵$). میزان همبستگی محاسبه شده ($r = -۰/۰۸$) و ضریب تابعیت معادله رگرسیون نشان می‌دهد که بین فاکتور رنگی*L (میزان روشنایی رنگ سطحی) و غلظت آکریلامید در نمونه‌های بیسکویت همبستگی منفی و رابطه‌ی خطی نزولی وجود دارد بطوریکه با افزایش غلظت آکریلامید در نمونه، فاکتور *L کاهش می‌یابد (نمودار ۳).

- بررسی ویژگیهای شیمیایی نمونه‌های بیسکویت

نتایج آزمایشات تجزیه شیمیایی نمونه‌های بیسکویت در (جدول ۳) آورده شده است. مطابق داده‌های این جدول مشخص گردید که ویژگیهای شیمیایی نمونه‌های بیسکویت تهیه شده، مطابق استاندارد شماره ۳۷ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در مورد ویژگیهای بیسکویت و در رنج اعلام شده برای هر یک از ویژگیهای محصول نهایی بیسکویت می‌باشد (بی نام، ۱۳۷۷).

مابین نمونه‌های بیسکویت، از نظر میزان رطوبت، خاکستر و چربی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده، که نشان دهنده اینست که ویژگیهای شیمیایی محصول نهایی متأثر از تغییرات اعمال شده بر فرمولاسیون نبوده است.

نتایج مشابهی براساس یافته‌های سایر مطالعات در این زمینه، در مورد پوسته سطحی نان نیز گزارش شده است (Brathen and Knutsen, 2005; Clause *et al*., 2008). همچنین تجزیه شیمیایی نمونه‌های تولید شده نشان می‌دهد که مابین فرمولاسیون‌های ۱، ۲ و۳ ، از نظر درصد قند کل اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نمونه‌های F_{1a}، F_{1b} و F_{1c} که دارای فرمولاسیون ۱ (حاوی ۵٪ شربت اینورت) به علت پایین‌تر بودن درصد قند اینورت آنها در مقایسه با سایر تیمارها، دارای درصد قند کل کمتری هستند و نمونه‌های F_{3a} ، F_{3b} و F_{3c} دارای فرمولاسیون ۳ (حاوی ۹٪ شربت اینورت) دارای بالاترین درصد قند کل می‌باشند، ولی با جایگزینی شیرین‌کننده‌ها درصد قند کل نمونه‌های نهایی در رنج استاندارد مطرح شده می‌باشد. بطور کلی، تغییرات اعمال شده در فرمولاسیون و جایگزینی شیرین‌کننده‌های موجود در فرمولاسیون در این پژوهش تغییرات محسوس و قابل ملاحظه‌ای در ویژگیهای شیمیایی بیسکویت ایجاد نکرده است.

- بررسی ارزیابی حسی نمونه‌های بیسکویت

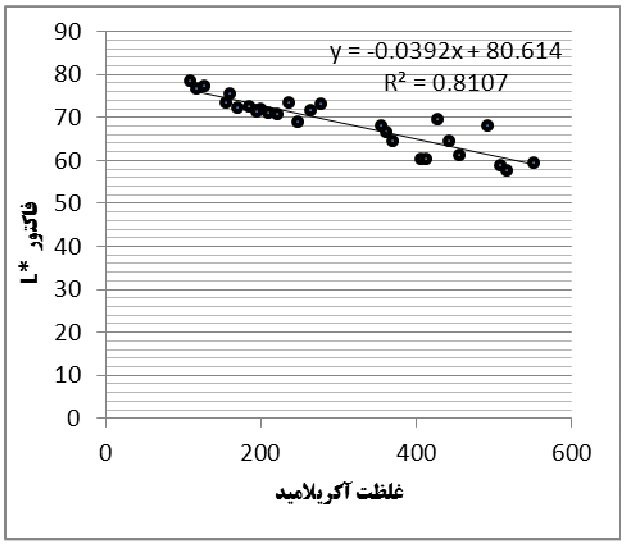
طبق روش رانک، در حالتی که تعداد داوران ۱۰ نفر و تعداد تیمار ۹ عدد باشد در آن صورت تیمارهایی که جمع آنها بین ۲۶–۷۴ می‌باشند در سطح احتمال ۱ درصد و تیمارهایی که جمع آنها بین۷۰–۳۰ بوده در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. به طور کلی، مابین همه تیمارهای بیسکویت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($p\geq۰/۰۵$).

جدول ۲- مقایسه میانگین میزان فاکتورهای رنگی نمونه های بیسکویت

نمونه	L*	a*	b*
F_{1a}	۷۷/۷۷۹۳^{a}	۲۱/۱۹۶۷^{ns}	۷۴/۲۵۵۳^{ns}
F_{2a}	۷۱/۹۴۵۳^{b}	۱۶/۸۱۱۳^{ns}	۸۵/۸۴۱۷^{ns}
F_{3a}	۶۱/۹۶۵۳^{c}	۲۱/۷۱۷۷^{ns}	۷۲/۰۲۳۳^{ns}
F_{1b}	۶۶/۲۹۷۷^{d}	۱۷/۲۷۴۰^{ns}	۷۵/۴۸۳۳^{ns}
F_{2b}	۶۶/۰۱۱۳^{d}	۲۰/۳۴۵۳^{ns}	۷۴/۲۰۵۰^{ns}
F_{3b}	۵۸/۵۲۳۳^{e}	۲۴/۸۷۹۰^{ns}	۷۰/۴۲۱۰^{ns}
F_{1c}	۷۰/۴۴۴۰^{b}	۱۴/۶۹۹۷^{ns}	۷۳/۴۵۷۷^{ns}
F_{2c}	۷۳/۶۷۷۰^{f}	۲۲/۴۰۲۳^{ns}	۷۳/۶۶۳۰^{ns}
F_{3c}	۷۱/۸۴۱۷^{b}	۲۵/۱۰۷۳^{ns}	۷۰/۵۵۹۳^{ns}

*آنالیز نمونه ها با ۳ تکرار انجام شده است (n=۳). * ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار

jftn.srbiau.ac.ir



نمودار۳- رابطه‌ی فاکتور *L و غلظت آکریلامید در بیسکویت

جدول ۳- نتایج آزمایشات تجزیه شیمیایی نمونه‌های بیسکویت

نمونه‌های بیسکویت	درصد رطوبت	درصد خاکستر	درصد چربی	درصد قند	pH
F_{1a}	۴/۳۷	۰/۰۵	۱۳/۰۳	۲۰/۶۷	۶
F_{2a}	۴/۵	۰/۰۴	۱۳/۰۸	۲۱/۳۷	۶/۱
F_{3a}	۵	۰/۰۳	۱۳/۰۰	۲۳/۴۶	۶/۲
F_{1b}	۴/۵	۰/۰۵	۱۳/۰۴	۲۰/۷۴	۶/۸
F_{2b}	۴/۵	۰/۰۴	۱۳/۲۰	۲۱/۱۵	۶/۷
F_{3b}	۵/۱۲	۰/۰۳	۱۳/۰۰	۲۳/۰۴	۶/۵
F_{1c}	۵	۰/۰۵	۱۳/۱۱	۲۰/۸۵	۷
F_{2c}	۴/۸	۰/۰۴	۳۲/۱۳	۲۱/۳۳	۶/۸
F_{3c}	۵	۰/۰۳	۱۳/۰۸	۲۳/۶۲	۷
نمونه شاهد (استاندارد بیسکویت)	حداکثر ۵	حداکثر ۰/۰۵	حداقل ۱۱	حداقل ۱۸	حداکثر ۷

بحث

از سال ۲۰۰۲ تاکنون، مطالعات گسترده‌ای در زمینه کاهش میزان آکریلامید در محصولات غذایی مستعد تشکیل آکریلامید بویژه فرآورده‌های غلات صورت گرفته است. یکی از راهکارهای موثر در مورد کاهش پتانسیل تشکیل آکریلامید در این فرآورده‌ها، کاهش میزان پیش‌سازهای این ترکیب در فرمولاسیون است (Hendrickx *et al*., 2005). فرمولاسیون و ترکیب فرآورده‌های نانوایی نقش عمده‌ای را در میزان تشکیل آکریلامید در این محصولات ایفا می‌کنند. بطور کلی مشهود است که معمولاً وجود یک قند احیاکننده یا یک گروه کربونیل فعال، برای تشکیل آکریلامید از آسپاراژین، مطابق واکنش مایلارد مورد نیاز است (Graf *et al*., 2006; Stadler *et al*., 2005; Amrein *et al*., 2005). اگرچه آسپاراژین یک فاکتور محدودکننده درمحصولات نانوایی می‌باشد ولی به علت مقادیر نسبتاً پایین آسپاراژین آزاد در آرد گندم (۰/۴- ۰/۰۱۵ گرم آسپاراژین در هر کیلوگرم آرد)، در این زمینه قندها نقش تعیین کننده ای راایفا می کنند (Claus *et al*., 2008). با توجه به استفاده از شیرین کننده‌های محتوی قند اینورت به عنوان یکی از پیش‌سازهای اصلی تشکیل آکریلامید در فرمولاسیون بیسکویت، یکی از نگرانی های اصلی در مورد فرآورده بیسکویت، تنظیم فرمولاسیون با حذف میزان قندهای احیاکننده و جایگزینی آن با قندهای غیر احیاکننده، برای به حداقل رساندن میزان تولید آکریلامید می‌باشد. ایجاد این تغییرات بایستی به صورت بسیار حساس و بحرانی ارزیابی شود به نحوی که بر روی ویژگیهای حسی محصول از جمله طعم و رنگ محصول اثر منفی نداشته

ijtn.srbiau.ac.ir

باشد. براساس مطالعات صورت گرفته توسط محققان پیشین و نیز مطالعه حاضر شیرین‌کننده‌هایی از جمله سیروپ قند اینورت به عنوان منابع اصلی حاوی گلوکز و فروکتوز بوده که از اجزاء اصلی در واکنش‌های مایلارد هستند و مهمترین جزء فرمولاسیون در تشکیل آکریلامید در فرآورده‌های غلات محسوب می‌شوند (Amrein *et al*., 2005; Clause *et al*., 2008).

مقادیر آکریلامید اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها دقیقاً با اطلاعات محدود موجود در گزارشات سایر محققین که در مورد بیسکویت گزارش شده، مطابقت داشته و در رنج ارائه شده برای این گروه محصولات می‌باشد. بطور کلی سطوح آکریلامید در انواع بیسکویت‌ها رنج بسیار وسیعی را پوشش می‌دهد (Sadd and Hamlet, 2005). یکی از نکات مهم در مورد این مطالعات، اختلاف زیاد بچ به بچ تولید در میزان آکریلامید بیسکویت‌های تولید شده تحت شرایط صنعتی ونمونه‌برداری از روی خط تولید مطرح شده است (J-Petersen and Tran, 2005). معمولاً خمیر تهیه شده برای تولید انواع مختلف بیسکویت، به منظور مطالعه اثرات شرایط پخت و نوع قند، در آغاز فاقد هرگونه آکریلامید بوده است (Gokmen *et al*., 2005).

در این پژوهش همانگونه که قبلاً شرح داده شد، خمیر بیسکویت با غلظت‌های مختلف ساکارز و شربت اینورت تهیه و سعی شد که از طریق ثابت نگه داشتن شرایط پخت، تا حد امکان سایر عوامل حذف شوند و بتوان تغییرات مشاهده شده در میزان آکریلامید محصول نهایی را تنها به فرمولاسیون نسبت داد. براساس روش شرح داده شده تولید شربت اینورت در واحد صنعتی، هر ۱ کیلوگرم ساکارز معادل بازده ۲ کیلوگرم شربت اینورت بوده است. به منظور حفظ سایر ویژگیهای کیفی بیسکویت، در هر سه فرمولاسیون ۲٪ از شربت اینورت موجود در فرمولاسیون حذف شد و با ۱٪ پودر ساکارز جایگزین شد. در این پژوهش، از نظر آماری، میان فرمولاسیون‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (نمودارهای ۱و ۲) که نشان می‌دهد نوع و غلظت قندهای موجود در فرمولاسیون عامل مهمی در تعیین مقدار پیش‌سازهای آکریلامید در بیسکویت است. غلظت آکریلامید از فرمولاسیون۱ (محتوی ۵٪ شربت اینورت) تا فرمولاسیون ۳ (محتوی ۹٪ شربت اینورت) روند صعودی را داشته است. به گونه‌ای که با افزایش میزان شربت اینورت از ۵٪ به ۷٪ و ۹٪ و کاهش ساکارز از ۱۵٪ به ۱۴٪ و ۱۳٪ در فرمولاسیون بیسکویت، غلظت آکریلامید تشکیل شده در طی فرآیند پخت افزایش یافته است و البته این افزایش غلظت آکریلامید، در مورد فرمولاسیون حاوی ۹٪ شربت اینورت و ۱۳٪ ساکارز با شیب بیشتری مشاهده شده است که نشان‌دهنده این است که در غلظت‌های بالاتر شربت اینورت با توجه به افزایش ثابت واکنش مایلارد، تشکیل آکریلامید با شدت بیشتری انجام می‌شود ولی در غلظت‌های پایین این اثر با شدت کمتری مشاهده شده است. بر طبق این نتایج می‌توان بیان داشت که حذف مقداری از شربت اینورت موجود در فرمولاسیون بیسکویت و جایگزینی آن با ساکارز (به عنوان یک قند غیراحیاکننده) در فرمولاسیون به علت پدیده حذف پیش‌سازهای اولیه واکنش،منجر به کاهش تشکیل آکریلامید در این محصول می‌شود. طبق مکانیسم تشکیل آکریلامید (واکنش مایلارد) که توسط چندین محقق به طور مستقل بیان شده، دما نیز به عنوان یک عامل کلیدی مطرح می شود (Ahrne *et al*., 2007; Ehenberg and Tornqvist, 2005) اما در عمل نوع و مقدار شیرین‌کننده‌ها در فرمولاسیون، تعیین‌کننده پتانسیل تشکیل آکریلامید در بیسکویت هستند. بطوریکه در این مطالعه نیز مشاهده شده که میانگین میزان آکریلامید در متوسط دمای سه منطقه‌ی فر از میانگین دمایی ۳۰۰ درجه سانتیگراد به میانگین دمای ۳۲۰ درجه سانتیگراد، میزان آکریلامید افزایش یافته است ولی در میانگین دمای ۳۴۰ درجه سانتیگراد میزان آکریلامید کاهش یافته است. با توجه به این روند می‌توان گفت که با افزایش دما، شدت واکنش مایلارد و در نتیجه تشکیل آکریلامید افزایش یافته است ولی در دماهای بالاتر با یک تنزلی روبه رو می‌شود که این به علت سرعت بالاتر تجزیه این ترکیب می‌باشد. با وجود اینکه، درجه هیدرولیز ساکارز در درجه حرارت‌های بالا تعیین کننده میزان آکریلامید تشکیل شده در بیسکویت در طی فرآیند پخت می باشد ولی کاهش میزان قندهای احیاکننده در خمیر از ابتدای عملیات پخت بر میزان تشکیل آکریلامید تأثیرگذار بوده و موجب کاهش آن می‌گردد. نظر به اینکه در فرمولاسیون های بیسکویت دارای ساکارز بالاتر نسبت به فرمولاسیون هایی با درصد شربت اینورت بالاتر، مقادیر آکریلامید تشکیل شده پایین‌تر بوده است لذا

ifn.srbiau.ac.ir

به نظر می‌رسد که هیدرولیز ساکارز در طی عملیات پخت محدود می‌باشد (Gokmen *et al*., 2007). نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد که جایگزینی قندهای احیاکننده با ساکارز یک روش مؤثر برای کاهش قابل‌توجه میزان آکریلامید در فرآورده‌های نانوایی شیرین می‌باشد (Amrein *et al*., 2004; Vass *et al*., 2004) . میزان روشنایی رنگ سطحی فرآورده، اغلب به عنوان یک شاخص تکمیل پخت استفاده می‌شود که معمولاً رنگ در طی فرآیند پخت از طریق واکنش‌های شیمیایی مانند واکنش مایلارد و کاراملیزاسیون قند همزمان با تشکیل پوسته سطحی در فرآورده‌های نانوایی، توسعه می‌یابد (Ahrne *et al*., 2007). یافته‌های پیشین به طور گسترده‌ای پیشنهاد می‌کند که رنگ سطحی با غلظت آکریلامید در موادغذایی که فرآوری حرارتی شده‌اند ارتباط مستقیمی دارد، همچنین درجه قهوه‌ای شدن در فرآورده‌های نانوایی، به عنوان نشانه‌ای از مقادیر بالای آکریلامید معرفی شده است. مطابق (نمودار۳) در تیمارهای مختلف بیسکویت مورد آزمون با کاهش درصد شربت اینورت و در نتیجه کاهش میزان آکریلامید در نمونه نهایی رنگ بیسکویت روشن‌تر (L*) می‌شود ولی روند کاهش میزان روشنایی نمونه بصورت ملایم بوده است. کاهش درصد شربت اینورت در فرمولاسیون بیسکویت، روشنی و تیرگی نمونه را تحت تأثیر قرار داده و محصولی با رنگ سطحی روشن‌تر تولید می‌کند. به گونه‌ای که با افزایش میزان فاکتور L* مربوط به تیرگی و روشنی سطحی، کاهش تیرگی رنگ نمونه مورد ارزیابی مشهود است و بالعکس با کاهش این فاکتور سطح محصول تیره‌تر می‌شود. اگرچه با جایگزینی بخشی از شربت اینورت با ساکارز طعم این محصولات تغیر محسوسی نداشته اما در بیسکویت‌های تهیه شده با درصد ساکارز بالاتر، رنگ سطحی روشن‌تر می‌شود، این امر به علت عدم وجود قندهای احیاکننده مورد نیاز برای انجام واکنش قهوه‌ای شدن مایلارد می‌باشد (Amrein *et al*., 2005; Graf *et al*., 2006). با افزایش میزان آکریلامید در نمونه‌ها روشنی نمونه کاهش بسیار محسوسی را نشان داده است، این موضوع قابل پیش‌بینی بوده زیرا قهوه‌ای شدن و تشکیل آکریلامید هر دو از واکنش مایلارد ناشی می‌شوند (Amrein *et al*., 2005). معمولاً این روش جایگزینی بیشتر در مورد فرآورده‌هایی کاربرد دارد که در آنها رنگ فرآورده دارای اهمیت ویژه‌ای نیست و فرآورده مستقیماً مورد مصرف نمی‌باشد زیرا ممکن است ایجاد رنگ روشن‌تر برای برخی فرآورده‌های نهایی به عنوان یک ویژگی منفی تلقی شود (Graf *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌ها و آنالیزهای انجام شده در مورد اثرات نوع قند بر میزان تشکیل آکریلامید در بیسکویت نوع قالب غلطکی در مقیاس صنعتی نتایج کلی ذیل ارائه می‌گردد. تغییرات در فرمولاسیون و شرایط پخت، هم تشکیل آکریلامید و هم تشکیل رنگ سطح فرآورده غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که انتخاب و طراحی یک فرمولاسیون مناسب که حاوی مقدار کمتری پیش‌سازهای اصلی آکریلامید بویژه قندهای احیاکننده باشد از طریق جایگزینی سیروپ قند اینورت با ساکارز با اندک تغییرات قابل پذیرش در رنگ و ویژگیهای ارگانولپتیک محصول نهایی، غلظت آکریلامید را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهد. ویژگیهای حسی محصول نیز مطابق محصول استاندارد بوده و محصول با کیفیت بالا مورد انتظار صنعت و مصرف کننده می‌باشد. نتایج گزارش شده در این پژوهش نشان می‌دهد که بهینه‌سازی فرمولاسیون از جنبه کاهش مواداولیه پیش‌ساز آکریلامید در فرآورده‌های نانوایی از جمله بیسکویت، یک راهکار عملی برای کاهش میزان آکریلامید موجود در این فرآورده‌ها می‌باشد. بنابراین می‌توان فرمولاسیون بیسکویت، محتوی ۵٪ شیرین‌کننده شربت اینورت و پایین‌تر را، برای تولید صنعتی بیسکویت با به حداقل رساندن میزان آکریلامید پیشنهاد نمود. تاکنون راهکارهای گوناگونی به منظور کاهش میزان آکریلامید در فرآورده‌های غذایی مختلف در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی ارائه شده است اما هیچ یک از راهکارها، موفق به پیشگیری کامل از تشکیل این ماده سمی نشده است. اکثر مطالعات در رابطه با کاهش میزان آکریلامید در فرآورده‌های نانوایی در مدل‌های آزمایشگاهی یا در مقیاس تولید آزمایشگاهی انجام شده است از اینرو اطلاعات کاربردی چنین راهکارهای کاهشی در فرآیندهای صنعتی بسیار محدود است. تشکیل آکریلامید در موادغذایی به علت اثرات ضد

jftn.srbiau.ac.ir

سلامتی این ترکیب هم برای مصرف‌کنندگان و هم برای تولیدکنندگان یک نگرانی عمده محسوب می‌شود. ولی هر راهکاری به منظور کاهش میزان آکریلامید در موادغذایی بایستی به گونه‌ای اعمال شود که ویژگیهای حسی و بازارپسندی محصول تحت تأثیر شرایط فرآوری واقع نشود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مشارکت واحد صنعتی اصفهان شیرینک و اداره کل نظارت بر موادغذایی استان اصفهان، در همکاری با این پروژه تحقیقاتی تشکر می گردد.

منابع

احتیاطی، الف.، محبی، م. و شهیدی، ف. (۱۳۸۵). کاربرد پردازش تصویر در رنگ‌سنجی سطح نان غنی شده با آرد سویا. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی.

بی نام. (۱۳۷۷). مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. اندازه‌گیری ویژگیهای شیمیایی بیسکویت. استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷. چاپ دوازدهم. تجدید نظر پنجم.

Ahrne, L., Andersson, C. G., Floberg, P., Rosen, J. & Lingert, H. (2007). Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: Stream and falling temperature baking. J. Agric. Food Chem. 40, 1708-1715.

A-Mucci, L. & Adami, H. (2005). The role of epidemiology in understanding the relationship between dietary acrylamide and cancer risk in humans. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food. pp:39-47.

Amrein,T., Schonbachler, B., Escher, F. & Amado, R. (2005). Factors influencing acrylamide formation in gingerbread. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food, pp: 431-446.

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, 802-808.

Brathen, E. & Halvor Knutsen, S. (2005). Effect of temperature and time on the formation of acrylamide in starch-based and cereal model systems, flat breads and bread. Food Chemistry, 92, 693-700.

Castle, L., Campos, M. J. & Gilbert, J. (1991). Determonation of acrylamide in hydroponically grown tomato fruits by capillary gas choromatography-mass spectrometry. Journal of Food Science and Agriculture, 54, 549-555.

CIAA. (2006). The CIAA acrylamide toolbox for the reduction of acrylamide in Biscuits, Crackers and drink Industries of the EU (CIAA).

Claus, A., Reinhold, C. & Scheieber, A. (2008). Acrylamide in cereal products: A review. Journal of Cereal Science, 47, 118-133.

Claus, A., Mongili, M., Weisz, G., Schieber, A. & Carle, R. (2008). Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. Journal of Cereal Science, 47, 546-554.

FAO/WHO. (2005). Consulation on health implications of acrylamide in food, Report of a joint FAO/WHO consultation, Geneva, Switzerland, Available from: http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en. pdf: 25-27.

Gokmen, V. & Senyuva, H. Z. (2006). Study of color and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. Food Chemistry, 99, 238-243.

Gokmen, V., Senyuva, H. Z., Dulek, B. & Cetin, A. E. (2007). Computer vision-based image analysis for the estimation of acrylamide concentrations of potato chips and French fries. Food Chemistry, 101, 791-798.

Gokmen, V., Cetinkaya, O., Koksel, H. & Acar, J. (2007). Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxylmethylfurfural formation in cookies. Food chemistry, 104:1136-1142.

Gokmen, V., Acar, O. C., Arribas, G. & Morales, F. J. (2008). Investigation the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies. Journal of Food Engineering , 87, 380-385.

Graf, M., Amrein, T. M., Graf, S., Szalay, R., Escher, F. & Amado, R. (2006). Reducing the acrylamide content of a semi-finished biscuit on industrial scale. LWT, 39, 724-728.

Hendrichx, E. & Vleeschouwer, K. (2005). Quantifying formation of carsinogens during food processing: acrylamide. Trends in Food Sci Tech., 16, 181-193.

Hilbig, A., Freidank, N., Kersting, M., Wilhelm, M. & Wittsiepe, J. (2004). Estimation of the dietary intake of acrylamide by German infants, children and adolescents as calculated from dietary records and available data on acrylamide levels in food groups,

jfn.srbiau.ac.ir

International Journal of Hygine and Envitomental Health, 207, 463-471.

International Agency on Research on Cancer. (1994). In IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. In some industrial chemicals. Vol. 60, Acrylamide, Lyon, France, IARC 1994. PP: 389-433.

Keramat, J., Lebail, A., Prost, C. & Soltanizadeh, N. (2010). Acrylamide in Foods: Chemistry and Analysis. A Review. Food Bioprocess Technol., 10,1007.

Mottram, D. S., Wedzicha, B. L. & Dodson, A. T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature, 419, 448-449.

Petersen, B. & Tran, N. (2005). Exposure to Acrylamide. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food, pp: 63-76.

Sadd, P. & Hamlet, C. (2005). The Formation of Acrylamide in UK Cereal Products. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food, pp: 415-429.

Stadler, R. (2005). Acrylamide formation in different foods and potential strategies for reduction. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food, pp: 157-169.

Swedisch National Food Administration. (2002). Information about acrylamide in food. 24 April 2002. www.slv.se.

Vass, M., Amrein, T. M., Schonbachler, B., Escher, F. & Amado, R. (2004). Ways to reduce acrylamide formation in cracker products. Czeech Journal of Food Science, 22, 19-21.

Zhang, Y., Zhang, G. & Zhang, Y. (2005). Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods: Review and recent developments. Journal of Chromatography, 1075, 1-21.

Zhu, Y., Li, G., Duan, Y., Chen, S., Zhang, C. & Li, Y. (2008). Application of the standard addition method for the determination of acrylamide in heat- processed starchy foods by gas chromatography with electron capture detector. Food Chemistry, 109, 899-908.

jftn.srbiau.ac.ir

jftn.srbiau.ac.ir

jftn.srbiau.ac.ir