

اثر مقدار مخمر، زمان تخمیر و دمای سرخ کردن بر میزان آکریل آمید و خصوصیات فیزیکوشیمیایی دونات

زهرة قائینی^۱، راضیه نیازمند^{۲*}، مصطفی شهیدی نوقابی^۲

۱- دانش آموخته گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد واحد دامغان

۲- استادیار گروه شیمی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد

* نویسنده مسئول (r.niazmand@rifst.ac.ir)

چکیده

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۱۲

واژه‌های کلیدی

آکریل آمید

تخمیر

دونات

سرخ کردن

دونات یکی از فرآورده‌های نانوائی سرخ شده و مستعد تشکیل آکریل آمید در حین تولید می‌باشد. در این پژوهش اثر دمای سرخ کردن (۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی-گراد)، مقدار مخمر (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) و همچنین زمان تخمیر (۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی (محتوای رطوبت، اسید قابل تیتر، قند کل، قند-های احیاکننده، رنگ) و میزان آکریل آمید دونات مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش مقدار مخمر و دمای سرخ کردن میزان رطوبت محصول افزایش نشان داد. افزایش مقدار مخمر سبب کاهش معنی‌دار مقدار آکریل آمید در محصول نهایی گردید ولی زمان تخمیر اثر معنی‌داری بر آن نداشت. همچنین بررسی‌ها نشان داد که افزایش دمای سرخ کردن از ۱۶۰ به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد محتوای آکریل آمید را از ۱۳/۲۴ به ۲۷/۳۴ میکروگرم بر کیلوگرم افزایش داد. در نهایت مشخص شد که با تنظیم شرایط فرآیند می‌توان تشکیل آکریل آمید را در فرآورده دونات کاهش داد.

مقدمه

فرآورده‌های غذایی بود. مضر بودن آکریل آمید برای سلامتی انسان توسط کمیته علمی سازمان استاندارد مواد غذایی انگلستان نیز اعلام گردیده است (Friedman, 2003). در سال ۲۰۰۹ سازمان سلامت کانادا گزارش کرد که آکریل آمید تولید شده در غذا-های حرارت دیده نشاسته‌ای برای سلامت انسان خطرناک است و باید قوانینی برای آن اعمال شود. اثر سمی بر سیستم عصبی، ایجاد اختلال در باروری و اثر سرطان‌زایی ناشی از آکریل آمید در حیوانات مشخص شده است اما اثر سمی آن بر سیستم عصبی در انسان در مقادیر بسیار بالا مشاهده شده است. البته میزان آکریل آمید در غذاهای مختلف بر اساس الگوهای مصرف و روش‌های آماده‌سازی آنها متفاوت است. میزان آکریل آمید دریافتی برای بزرگسالان به‌طور متوسط ۰/۳ تا ۰/۶ میکروگرم و برای خردسالان ۰/۴ تا

برای اولین بار در سال ۲۰۰۲، پژوهشگران دانشگاه استکهلم و انجمن غذایی سوئد به وجود آکریل آمید در فرآورده‌های غذایی نشاسته‌ای سرخ شده در درجه حرارت بالا پی‌بردند. آنها مشاهده کردند که این ترکیب شیمیایی نتیجه آلودگی محیطی و مواد اولیه قبل از فرآوری نمی‌باشد. در گذشته تصور این بود که منبع اصلی دریافت آکریل آمید در بدن انسان محیط-های کارگری تولید آکریل آمید، مصرف دخانیات و آب آشامیدنی آلوده به سموم کشاورزی و پساب فاضلاب-های صنعتی می‌باشد (Friedman, 2003)

در ۴ دسامبر سال ۲۰۰۲ سازمان غذا و دارو آمریکا فهرستی از فرآورده‌های غذایی حاوی آکریل-آمید تهیه کرد. این فهرست شامل غذای کودک، نان-ها، چیپس سیب زمینی، اسنک‌ها، سس‌ها و سایر

مخمر در محیط خصوصیات خمیر از لحاظ شکل‌گیری و الاستیسیته بهبود می‌یابد و بافت، عطر، طعم و همچنین زمان ماندگاری محصول افزایش می‌یابد. مخمر با تولید اسیدلاکتیک در محیط سبب ایجاد تخلخل و غیرفعال‌سازی آنزیم آلفا‌آمیلاز و در نتیجه سبب افزایش نرمی، ایجاد حجم و ماندگاری در فرآورده مورد نظر می‌گردد. در فرآورده‌های نانوائی، مخمر با ایجاد خلل و فرج از طریق آزادسازی گاز دی-اکسیدکربن در خمیر سبب ایجاد نوعی عایق هوا در بافت محصول شده و از نفوذ هوا به داخل و خشک‌شدن و بیاتی زود هنگام جلوگیری می‌کند (Mustafa, 2009).

مخمر مورد مصرف در نانوائی ساکارومیسس سرویسبه است که در حقیقت یک قارچ تک‌سلولی بوده و دارای آنزیم‌های متعددی از قبیل فیتاز، انورتاز و مالتاز می‌باشد. همچنین مخمر قادر است قند را به الکل و دی‌اکسیدکربن تبدیل نماید و در حین فعالیت شرایط pH کمی اسیدی (۴ تا ۶) را برای تخمیر ترجیح می‌دهد و در خارج از این محدوده فعالیت مخمر به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (Pomeranz, 1971).

دمای پخت در فرآورده‌های نانوائی عاملی مؤثر در جهت حفظ کیفیت محصول نهایی تلقی می‌شود. میزان رطوبت از مهم‌ترین پارامترهای کیفی محصولات سرخ شده به‌شمار می‌رود. در حین سرخ‌شدن رطوبت ماده غذایی به تدریج از درون به سطح انتقال یافته و سپس دفع می‌شود. دمای روغن و زمان سرخ‌کردن از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر محتوای رطوبتی مواد غذایی سرخ‌شده به‌شمار می‌روند (Ni & Datta, 1999).

شیرینی تخمیری دونات از جمله میان‌وعده‌های پرطرفدار در بین اقشار مختلف مردم دنیا بوده و در سنین مختلف به‌ویژه کودکان و نوجوانان از مقبولیت خاصی برخوردار است. این شیرینی به دلیل پیش‌سازهای موجود در فرمول و سرخ‌شدن در دمای بالا مستعد تشکیل آکریل‌آمید می‌باشد.

بنابر اطلاعات ما، تاکنون هیچ‌گونه تحقیق معتبر علمی در ارتباط با عوامل مؤثر در تشکیل آکریل‌آمید و نحوه کنترل و یا کاهش آن در این محصول انجام

۰/۶ میکروگرم به ازاء هر کیلوگرم وزن بدن تخمین زده شده است که مقدار بالاتر در کودکان را می‌توان به‌دلیل تمایل بیشتر آنها به مصرف غذاهای غنی از آکریل‌آمید مثل سیب‌زمینی سرخ‌شده و چیپس دانست (Wilson et al., 2006).

محققان فاکتورهای متعدد و اثرگذار بر تشکیل آکریل‌آمید را در مواد غذایی شناسایی کردند. حضور ترکیبات پروتئینی با وزن مولکولی پایین (مانند آمینواسیدها بخصوص آسپاراژین) و قندهای احیا-کننده (فروکتوز و گلوکز)، دمای بالای فرآیند و دسترسی پایین به آب در داخل مواد غذایی، شاخص‌های مربوطه برای تشکیل آکریل‌آمید می‌باشند. تحقیقات حاکی از این است که آکریل‌آمید محصول فرعی فرآیندهای حرارتی بالای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد یا ۲۴۸ درجه‌فانهایت بوده و در مواد غذایی پخته نشده و یا فرآورده‌هایی که تحت دمای پایین فرآوری می‌شوند (مانند جوشاندن) تشکیل نمی‌شود. یکی از مهم‌ترین واکنش‌هایی که منجر به تشکیل آکریل‌آمید در مواد غذایی می‌شود، واکنش میلارد است (Friedman, 2003).

با وجود اینکه اولین جداسازی آکریل‌آمید در مواد غذایی در سال ۲۰۰۲ انجام شد اما در خصوص راه‌های تولید و کاهش آن تحقیقات زیادی انجام شده است. برای مثال تغییر در دما و زمان پخت و تخمیر، جایگزینی شربت اینورت و افزودنی‌هایی مثل کربنات هیدروژن آمونیوم در فرآورده‌های نانوائی بسیار مؤثر بوده است. همچنین در فرآورده‌های غلات استفاده از اسید آمینه سیستین، کاتیون‌های دو ظرفیتی یا پلی-فنل‌ها در کاهش آکریل‌آمید نقش مؤثری داشته است. البته بدیهی است که راهکارهایی که جهت کاهش آکریل‌آمید در فرآورده‌های مختلف کاربرد دارد به‌دلیل اختلاف در مواد متشکله و فناوری تولید، کاملاً قابل تعمیم به فرآورده‌های دیگر نیستند و مهم‌تر اینکه تولیدکنندگان باید به این مسأله توجه کنند که فرآورده‌هایی که میزان آکریل‌آمید آنها کاهش داده شده، باید مشتری‌پسند بوده و همچنین طعم و رنگ و دیگر ویژگی‌های حساس آنها نیز قابل قبول باشد.

افزودن مخمر یکی از مهم‌ترین مراحل در تهیه فرآورده‌های نانوائی محسوب می‌شود، چون با حضور

شده، با پهن کردن خمیر روی یک سطح صاف، عملیات ورزدهی و قالب‌زدن انجام پذیرفت. خمیر با ضخامت ۱ سانتی‌متر و قطر داخلی قالب ۲/۹۵ سانتی‌متر و قطر خارجی ۷/۶۰ سانتی‌متر برش‌دهی شد. پس از قالب‌زنی و شکل‌دهی خمیر دونات تمامی قطعات برش‌دهی شده داخل ظرف مخصوص قرار داده شد و برای پروف ثانویه به مدت ۱۵ دقیقه و در داخل آون (Memmertun 500، ساخت آلمان) در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت.



شکل ۱- مقادیر و مراحل آماده‌سازی شیرینی دونات در نمونه شاهد

قبل از شروع سرخ‌کردن، مخزن سرخ‌کن (Delonghi 18233، ساخت ایتالیا) با ۱/۵ لیتر روغن کلزا (محصول کارخانه لادن) پر شد و به منظور تثبیت و پایدارشدن دمای روغن، یک ساعت قبل از شروع

نگرفته است از این رو با توجه به اهمیت موضوع، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر زمان تخمیر، مقدار مخمر، دمای سرخ‌کردن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید، رنگ و سایر ویژگی‌های کیفی دونات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد اولیه برای تهیه دونات (شامل آرد گندم، شیر خشک، مخمر، بکینگ‌پودر، شکر، کره، نمک، وانیل، تخم مرغ و روغن مایع کلزا) از بازار محلی گرگان خریداری گردید. مواد و حلال‌های شیمیایی مورد نیاز از شرکت مرک خریداری شدند.

مراحل تهیه شیرینی دونات

مواد مورد نیاز برای تهیه خمیر شیرینی دونات شامل آرد گندم، شیر خشک، مخمر، بکینگ‌پودر، شکر، کره، نمک، وانیل و تخم مرغ مطابق با مقادیر مشخص شده در شکل ۱ وزن و آماده‌سازی شد. مواد پودری که شامل آرد گندم، بکینگ‌پودر، نمک، وانیل و شیر خشک بود به‌طور کامل مخلوط و دوبار الک (۰/۴۲۵ میلی‌متر) گردید. این کار سبب هوادهی و افزایش راندمان کیفی محصول نهایی در فرآورده‌های آردی و شیرینی می‌شود. پس از آماده‌سازی مواد پودری، مقدار کره تعیین‌شده در فرمول به آنها اضافه و با مخلوط‌کن استاندارد الکتریکی (مدل Kenwood KM-010 Chef، ساخت انگلستان) به مدت ۵ دقیقه با سرعت ثابت ۳ همزده شد. سپس محلول مخمر که شامل مقدار تعیین‌شده مخمر، آرد و شکر به همراه آب در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه از قبل تهیه و به درون مخلوط‌کن اضافه گردید و به مدت ۲ دقیقه عمل هم‌زدن با سرعت ثابت ۳ انجام شد. سپس تخم‌مرغ به سایر مواد داخل مخلوط‌کن اضافه شد و عمل هم‌زدن به مدت ۲ دقیقه و با سرعت ثابت ۳ انجام گرفت. در انتها با افزودن آب و عمل هم‌زدن با سرعت ۳ به مدت ۶ دقیقه خمیر فرآورده دونات آماده گردید. خمیر آماده شده داخل ظرف مناسب ریخته شد و برای تخمیر اولیه داخل گرمخانه در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد (ID 53، ساخت شرکت ایران خودساز) به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. پس از مدت زمان سپری

به جز دمای سرخ کردن کلیه مراحل و مقادیر مواد اولیه در تهیه شیرینی دونات مطابق با مراحل تهیه نمونه شاهد بود.

آزمون‌ها

مقدار رطوبت

میزان رطوبت مطابق با روش Tan و Mittal (۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد و درصد رطوبت بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{درصد رطوبت} = \frac{A-B}{C-B} \times 100$$

که A وزن ظرف حاوی نمونه خشک نشده، B وزن ظرف خالی و C وزن نمونه خشک شده به همراه ظرف نمونه پس از سرد شدن می‌باشند.

مقدار pH

مقدار pH مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۲۵۵۳ (۱۳۷۸) اندازه‌گیری شد.

مقدار اسید قابل تیتر

۲۰ گرم نمونه خمیر دونات قبل از عملیات سرخ کردن به دقت وزن گردید و مقدار اسید قابل تیتر آن مطابق با روش Fredriksson (۲۰۰۴) اندازه‌گیری و بر اساس رابطه ۲ برحسب درصد اسید لاکتیک گزارش گردید.

رابطه (۲)

$$\text{مقدار قند} = \frac{0.0045 \times 100 \times \text{میلی لیتر هیدروکسید سدیم}}{\text{گرم وزن نمونه}} = \text{اسید قابل تیتر}$$

مقدار قند

میزان قند نمونه‌ها به روش روش لین اینون^۱ و با استفاده از محلول فهلینگ انجام شد (استاندارد ملی ایران، ۱۳۷۸) و قندهای احیاکننده قبل از هیدرولیز (n) برحسب گرم درصد گرم طبق رابطه ۳ محاسبه شد.

سرخ کردن دستگاه روشن گردید. دمای سرخ کن در ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. قطعات خمیر شکل-دهی شده به آرامی داخل محفظه سرخ کن قرار گرفت. دونات‌ها پس از گذشت دو دقیقه (از قبل به صورت پیش‌آزمون تعیین شده بود) از سبد سرخ کن خارج و توسط کاغذ جاذب، روغن اضافی موجود روی سطح فرآورده نهایی جذب و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق خنک گردیدند. تعویض روغن نیز پس از هر مرحله سرخ کردن برای تیمار تعریف شده انجام گرفت. فرآورده‌های دونات با پوشش‌دهی توسط کاغذ آلومینیوم داخل کیسه‌های پی‌اتیلن قرار گرفت و تا زمان انجام آزمون‌ها در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد در سردخانه نگهداری شد. شیرینی دونات شاهد مطابق با روش توضیح داده شده تهیه و آماده شد. نمونه شاهد با مقدار مخمر یک درصد، زمان تخمیر ۳۰ دقیقه، و دمای سرخ کردن ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد تخمیر شد. سایر فرمول‌ها نیز به روشی مشابه و تنها با تغییر لازم با توجه به نوع تیمار تهیه شدند.

مراحل آزمون

این پژوهش جهت بررسی اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر و همچنین اثر دماهای مختلف سرخ کردن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید و برخی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی محصول تولید شده در دو مرحله انجام پذیرفت:

مرحله اول: بررسی اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر

در این مرحله اثر مقدار مخمر در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و زمان تخمیر اولیه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بر میزان تشکیل آکریل‌آمید در نمونه‌های دونات بررسی شد. به جز مقدار مخمر و زمان تخمیر کلیه مراحل و مقادیر مواد اولیه در تهیه شیرینی دونات مطابق با مراحل تهیه نمونه شاهد بود.

مرحله دوم: بررسی اثر دمای سرخ کردن

در این مرحله اثر دمای سرخ کردن بر میزان تشکیل آکریل‌آمید در نمونه‌های دونات بررسی شد. نمونه‌ها مطابق با فرمول شاهد تهیه و در دماهای مختلف شامل ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند.

¹ Lyne eynon

تصاویر، میزان شاخص‌های a ، b و L برای هر تصویر به دست آمد، اختلاف کلی رنگ (ΔE) از رابطه ۶ تعیین شد (Sun & Brosnan, 2002).

رابطه (۶)

$$\Delta E = \sqrt{((a - a^*)^2) + (b - b^*)^2 + (L - L^*)^2}$$

شاخص‌های a^* ، b^* و L^* رنگ نمونه خمیر دونات را قبل از سرخ کردن نشان می‌دهند.

آکریل آمید

ابتدا نمونه‌های دونات آسیاب شده و ۱۰ گرم از نمونه هموزن شده توزین گردید. عملیات آماده‌سازی شامل حل کردن نمونه در آب و یک مرحله چربی‌گیری با حلال هگزان نرمال بود. عملیات مشتق‌سازی عصاره فرآورده دونات با استفاده از پتاسیم‌بروماید، اسید هیدروبرومیک و محلول برم اشباع به مدت یک ساعت در تاریکی انجام شد. مرحله نهایی استخراج مشتق دوبروموآکریل‌آمید، با استفاده از حلال اتیل‌استات انجام گرفت. در نهایت فاز آلی جداسازی شده از میکروفیلتر سرنگی (۰/۴۵ میکرون) عبور داده شد. برای تبدیل ۲ و ۳ دی-بروموپروپیونامید به ۲ برومو-پروپیونامید، تری‌اتیل‌آمین به نمونه نهایی افزوده شد. تعیین غلظت آکریل‌آمید در نمونه‌های دونات با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی Shimadzu مدل Qp-2010 ultra مجهز به آشکارساز اسپکتروسکوپی جرمی با ولتاژ ۷۰ ولت و دمای ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام پذیرفت. برای این منظور از ستون موئینه نیمه‌قطبی به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۵۰ میکرومتر استفاده شد. دمای محفظه تزریق ۲۵۰ درجه سانتی-گراد و دمای ستون بین ۷۰ الی ۳۰۰ درجه سانتی-گراد تنظیم شد. تعیین کمی غلظت آکریل‌آمید از طریق مقایسه با منحنی کالیبراسیون استاندارد آکریل‌آمید صورت گرفت (Robarge et al., 2003).

$$n = \frac{F \times 100 \times 100}{V \times 25} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که F فاکتور فلهینگ، V حجم مصرفی محلول بر حسب میلی‌لیتر است. قند کل (پس از هیدرولیز) بر حسب گرم درصد گرم نیز از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$N = \frac{F \times 100 \times 100 \times 100}{V \times 25 \times 25} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که F ، فاکتور فلهینگ و V حجم مصرفی محلول بر حسب میلی‌لیتر می‌باشند.

پس از انجام تمامی مراحل آزمون لین آنیون، قند غیراحیا در نمونه مورد نظر از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$S = (N - n) \times 0.95 \quad \text{رابطه (۵)}$$

که N قند کل (قند پس از هیدرولیز)، n مقدار قند-های احیاکننده (قند قبل از هیدرولیز)، S درصد ساکارز در ۱۰۰ گرم نمونه، ۰/۹۵ نسبت وزن مولکولی ساکارز به وزن مولکولی گلوکز و فروکتوز می‌باشد (استاندارد ملی ایران، ۱۳۷۸).

رنگ

ابتدا قطعات دونات به صورت برش طولی با حفظ پوسته رویی و بدون آسیب به نمونه، برش‌دهی شد. این کار پس از سرد شدن کامل نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه و جذب کامل روغن آنها توسط کاغذهای جاذب انجام پذیرفت. سپس نمونه‌های برش‌دهی شده به زیر اسکنر (مدل N65 Canon) برده شد و پس از اطمینان از بوجود آمدن شرایط یک اسکن مناسب بدون عبور نور به داخل اسکنر و ایجاد شرایط کاملاً ثابت برای تمامی نمونه‌ها، قطعات دونات به‌طور کامل اسکن و توسط کامپیوتر مدل Pentium III با مشخصات ۱۲۰ گیگابایت حافظه جانبی و نرم‌افزار فتوشاپ (CS 8) تصویری با کیفیت بالا از آنها ارائه شد. تمامی تصاویر اسکن شده فرآورده دونات به محیط فتوشاپ وارد شد و پس از سگمنت کردن آنها تمامی قسمت‌های اضافی از بین برده شد، به عبارت دیگر بعد از این مرحله تصاویر دونات بدون پس‌زمینه ذخیره شد. سپس تمامی عکس‌ها در محیط نرم-افزاری Image J فرآیند شده و پس از حذف نویز از

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایشات با سه تکرار و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده طرح کاملاً تصادفی و آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با نرم‌افزار آماری SPSS 16 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح ۹۵ درصد انجام پذیرفت. کلیه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2010 ترسیم گردیدند.

نتایج و بحث

اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر

رطوبت

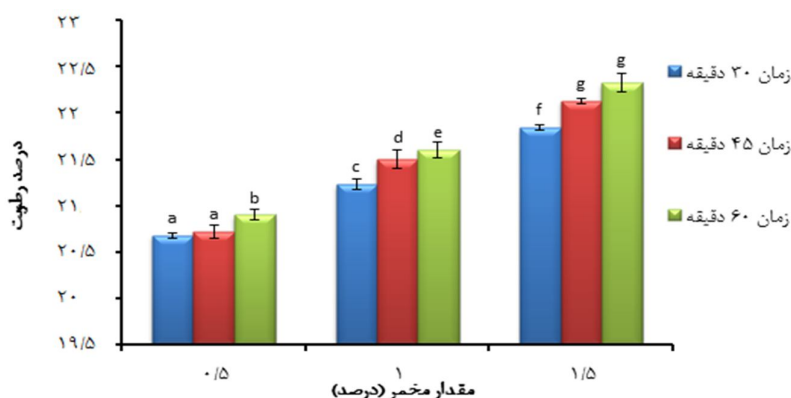
نتایج تجزیه واریانس در این مرحله حاکی از تأثیر معنی‌دار مقدار مخمر و زمان تخمیر بر مقدار رطوبت نمونه‌های دونات بود ($P < 0/05$). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش مقدار مخمر در نمونه‌های دونات از ۰/۵ به ۱/۵ درصد در تمام زمان‌های تخمیر مورد مطالعه محتوای رطوبت آنها نیز افزایش یافت (شکل ۲).

بنابراین با افزایش مقدار مخمر درصد رطوبت محصول نیز افزایش می‌یابد که این ویژگی سبب بهبود کیفیت محصول نهایی می‌شود. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که به‌طور کلی با افزایش زمان تخمیر از ۳۰ به ۶۰ دقیقه محتوی رطوبت نمونه‌های دونات افزایش یافت اما این افزایش در نمونه

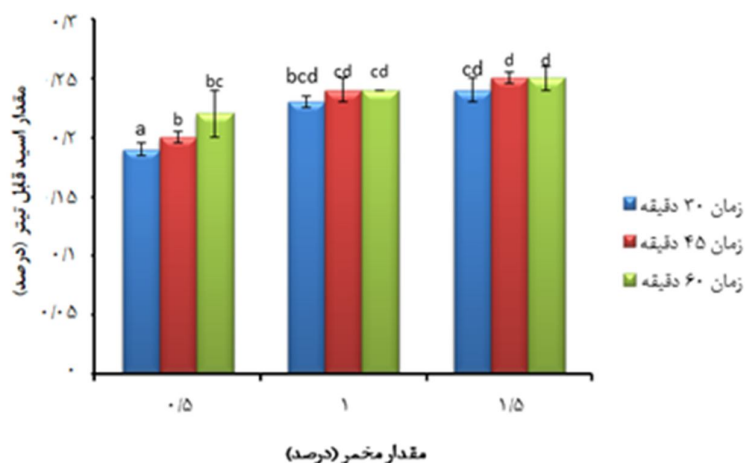
دونات فرایندشده با ۰/۵ درصد مخمر، در زمان‌های تخمیر ۳۰ و ۴۵ دقیقه معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). علت این امر را می‌توان به پایین‌بودن بیش از حد مقدار مخمر در فرمول دونات و در نتیجه کم بودن ظرفیت آن در مقدار تخمیر فرآورده و ایجاد بافت مناسب جهت حفظ رطوبت نسبت داد در حالی که در نمونه‌های فرآیندشده با یک درصد مخمر با افزایش زمان تخمیر، درصد رطوبت افزایش معنی‌دار یافت ($P < 0/05$) و در نهایت در مقدار مخمر ۱/۵ درصد و زمان تخمیر ۴۵ دقیقه به بالاترین حد خود رسید (شکل ۲).

اسید قابل تیتر

نتایج تجزیه واریانس در سطح ۹۵ درصد حاکی از وجود اثر معنی‌دار مقدار مخمر و زمان تخمیر بر مقادیر اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات بود. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد با افزایش مقدار مخمر، اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات افزایش یافت که این روند با افزایش مقدار مخمر از ۰/۵ به ۱ درصد معنی‌دار بود ($P < 0/05$). به نظر می‌رسد با افزایش مقدار مخمر، تولید اسید لاکتیک در محیط افزایش یافته که این امر موجب افزایش اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات شده است.



شکل ۲- اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر بر میزان رطوبت نمونه‌های دونات. حروف غیرمشترک روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است ($P < 0/05$). تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها بیانگر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ۳- اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر بر اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات. حروف غیرمشترک روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است ($P < 0/05$). تیرک‌های رسم‌شده روی ستون‌ها بیانگر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده است.

اسیدی به اجزاء تشکیل‌دهنده و قندهای ساده‌تری مثل فروکتوز و دکستروز تبدیل می‌شود و حضور مخمر که منبع غنی از آنزیم‌های مختلف از جمله نورتاز می‌باشد سبب شد که با افزایش مقدار مخمر و زمان تخمیر درصد قند باقیمانده بیشتری در محصول به قند احیا تبدیل شود.

به علت ویژگی فعالیت مخمرها در استفاده و تخمیر مواد قندی و تبدیل آنها به اتانول و دی-اکسیدکربن، با افزایش مقدار مخمر در فرآورده‌های نانوبی شیرین مقدار قند کل کاهش خواهد یافت. گزارش شده است که حدود دو درصد از قند اضافه شده در طول تخمیر توسط مخمر استفاده می‌شود که این مقدار بر اساس آردهای مختلف نیز متفاوت است. بنابراین با ثابت بودن مقدار و نوع شیرین‌کننده در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش مقدار مخمر و زمان تخمیر مقدار درصد بیشتری از قند کل به قند احیا تبدیل شد و مقدار قند غیراحیا کاهش یافت (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین بیانگر این مطلب بود که افزایش زمان تخمیر از ۳۰ به ۶۰ دقیقه تنها در مقدار مخمر ۰/۵ درصد سبب افزایش معنی‌دار میزان اسید قابل تیتر در نمونه‌های دونات شد ($P < 0/05$). علت این امر کم بودن مقدار مخمر در محیط و در نتیجه تأثیر زمان تخمیر در میزان تولید اسید لاکتیک بود (Mustafa, 2009).

مقدار قند احیا

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار بین مقدار مخمر و زمان تخمیر بر مقادیر قند کل، احیا و غیراحیا در فرآورده دونات بود ($P < 0/05$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۱)، در تیمار حاوی ۰/۵ درصد سطح مخمر با افزایش زمان تخمیر از ۴۵ تا ۶۰ دقیقه اختلاف معنی‌دار در مقادیر قند کل، احیا و غیراحیا مشاهده شد. این اختلاف سطح با افزایش مقدار مخمر از ۱ تا ۱/۵ درصد و افزایش زمان تخمیر با کاهش محتوای مقدار قند کل همراه بود به طوری که در تیمار حاوی بالاترین سطح مخمر (۱/۵ درصد) و زمان تخمیر (۶۰ دقیقه) این مقدار به کمترین میزان سطح خود رسید. با توجه به خصوصیات نوع شیرین‌کننده مصرفی (شکر) که توسط آنزیم و شرایط

جدول ۱- اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر بر میزان قند کل، قند احیا و قند غیراحیا (بر حسب گرم در صد گرم) در نمونه‌های دونات

مقدار مخمر (درصد)	زمان تخمیر (دقیقه)	قند کل	قند احیا	قند غیراحیا
۰/۵	۳۰	۱۰/۰۰ ± ۰/۰۰ ^f	۹/۵۴ ± ۰/۰۶ ^{bc}	۰/۴۲ ± ۰/۰۵ ^e
	۴۵	۱۰/۰۰ ± ۰/۰۰ ^f	۹/۶۱ ± ۰/۰۳ ^{cd}	۰/۳۶ ± ۰/۰۳ ^e
۱	۶۰	۹/۸۶ ± ۰/۰۲ ^e	۹/۷۶ ± ۰/۰۲ ^e	۰/۰۹ ± ۰/۰۵ ^{abc}
	۳۰	۹/۸۱ ± ۰/۰۲ ^{de}	۹/۶۶ ± ۰/۰۲ ^d	۰/۱۴ ± ۰/۰۵ ^{cd}
۱/۵	۴۵	۹/۷۸ ± ۰/۰۲ ^d	۹/۶۶ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۱۰ ± ۰/۰۲ ^{bc}
	۶۰	۹/۷۲ ± ۰/۰۲ ^c	۹/۵۲ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۱۹ ± ۰/۰۳ ^c
۱/۵	۳۰	۹/۵۶ ± ۰/۰۲ ^b	۹/۵۱ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۰۴ ± ۰/۰۰ ^a
	۴۵	۹/۵۳ ± ۰/۰۳ ^{ab}	۹/۴۹ ± ۰/۰۱ ^{ab}	۰/۰۳ ± ۰/۰۱ ^a
	۶۰	۹/۵۰ ± ۰/۰۵ ^a	۹/۴۴ ± ۰/۰۶ ^a	۰/۰۴ ± ۰/۰۰ ^a

اعداد (± انحراف معیار) دارای حروف غیرمشترک در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند (آزمون دانکن، $P < 0.05$).

رنگ

تولید اسید لاکتیک بیشتر توسط مخمر و ایجاد رنگ روشن در مغز و پوسته فرآورده‌های نانواپی ناشی از واکنش میلارد می‌باشد. واکنش میلارد واکنشی است شیمیایی میان یک آمینواسید و قند احیاکننده که معمولاً در حضور گرما انجام می‌شود (Friedman, 2003). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار مخمر و زمان تخمیر تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص‌های رنگی در نمونه‌های دونات داشت ($P < 0.05$). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که افزایش سطح مخمر از ۰/۵ به ۱/۵ درصد تقریباً در تمامی زمان‌های تخمیر با کاهش معنی‌دار شاخص قرمزی (a) در نمونه‌های دونات همراه بود ($P < 0.05$) در حالی که تغییر معنی‌داری در شاخص زردی (b) و روشنائی (L) آنها مشاهده نشد (جدول ۲). همچنین مشاهده شد که فقط زمانی که از ۰/۵ درصد مخمر جهت تخمیر فرآورده دونات استفاده شد، افزایش زمان تخمیر از ۳۰ به ۶۰ دقیقه منجر به کاهش معنی‌دار شاخص قرمزی گردید در حالی که در سطوح دیگر مخمر مورد استفاده افزایش زمان تخمیر تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رنگی نمونه‌های دونات نداشت (جدول ۲). طبق یافته‌های Wolen و Rothe (۱۹۷۴) با افزایش مخمر و زمان تخمیر در فرآورده‌های نانواپی شیرین، مقادیر بالاتری از قند موجود در فرآورده مصرف شده که این امر سبب کاهش pH به لحاظ

تولید اسید لاکتیک بیشتر توسط مخمر و ایجاد رنگ روشن در مغز و پوسته محصول نهایی می‌گردد. از طرفی مخمر با شکستن نشاسته و تولید قندهای ساده‌تر سبب افزایش مقدار قندهای احیا و در نتیجه افزایش شدت انجام واکنش میلارد در فرآورده نانواپی می‌گردد (Cauvin & Young, 2006). قیافه‌داوودی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی اثر سه زمان تخمیر ۲۵، ۳۵ و ۴۵ دقیقه بر کیفیت نان بربری در حضور امولسیفایر سدیم استئاروئیل دولانکات در سه سطح مختلف ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ بر اساس وزن آرد مشاهده کردند که با افزایش زمان تخمیر شاخص زردی (b) افزایش و اختلاف کلی رنگ کاهش و پذیرش حسی فرآورده از لحاظ رنگ افزایش یافت. در پژوهشی دیگر کریمی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی زمان تخمیر ۲۵، ۳۵ و ۴۵ دقیقه و تأثیر همزمان امولسیفایر سیترم^۱ و هموکانت گلیسرین^۲ در فرآورده نان بربری به نتایجی مشابه در این زمینه دست یافتند. آنها بیان کردند که با افزایش زمان تخمیر و کاهش pH محیط به دلیل حضور اسید لاکتیک شاخص قرمزی (a^*) کاهش یافت. نتایج مشاهده شده در این مرحله مشابه با یافته‌های Cauvin و Young (۲۰۰۶) روی فرآورده نان بود. آنها بیان کردند در هنگام واکنش تخمیر،

¹ Sytrem

² Humectant glycerine

مقدار قند و کاهش pH ناشی از حضور اسید لاکتیک در محیط کاهش یافته و در نتیجه رنگ پوسته نهایی نیز روشن تر می‌گردد که این امر با کاهش شاخص قرمزی (a) همراه است.

مخمر از قند موجود در محیط به عنوان محیط مغذی جهت تولید اسید لاکتیک استفاده می‌کند. این امر سبب می‌شود که میزان قند مصرف شده توسط مخمر بیشتر و مقدار قند باقیمانده در محیط کمتر باشد. از این رو، شدت انجام واکنش میلارد نیز به علت کاهش

جدول ۲- اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر بر شاخص‌های رنگی و اختلاف کلی رنگ نمونه‌های دونات

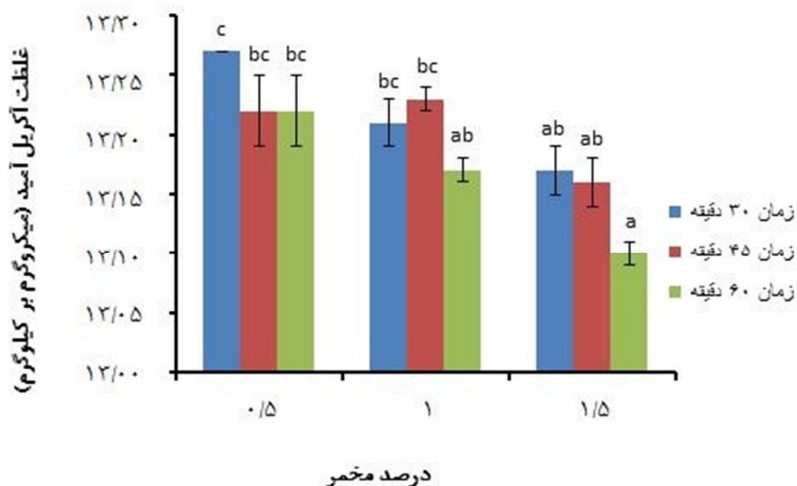
ΔE	b	L	a	زمان تخمیر (دقیقه)	سطح مخمر (درصد)
$28/63 \pm 0/0^c$	$41/81 \pm 0/03^a$	$54/75 \pm 0/05^a$	$22/18 \pm 0/06^c$	۳۰	
$28/60 \pm 0/03^c$	$41/86 \pm 0/06^{ab}$	$54/66 \pm 0/06^a$	$22/05 \pm 0/06^d$	۴۵	۰/۵
$28/65 \pm 0/07^c$	$41/91 \pm 0/04^b$	$54/60 \pm 0/03^a$	$21/94 \pm 0/06^c$	۶۰	
$28/33 \pm 0/03^d$	$42/65 \pm 0/06^c$	$55/33 \pm 0/05^b$	$21/84 \pm 0/08^c$	۳۰	
$28/18 \pm 0/13^c$	$42/71 \pm 0/04^c$	$55/47 \pm 0/13^b$	$21/83 \pm 0/07^c$	۴۵	۱
$28/18 \pm 0/01^c$	$42/84 \pm 0/04^d$	$55/63 \pm 0/08^c$	$21/86 \pm 0/04^c$	۶۰	
$28/14 \pm 0/05^{bc}$	$43/86 \pm 0/04^c$	$56/11 \pm 0/12^{de}$	$21/65 \pm 0/07^b$	۳۰	
$28/03 \pm 0/01^{ab}$	$43/88 \pm 0/08^c$	$56/22 \pm 0/05^d$	$21/75 \pm 0/06^{ab}$	۴۵	۱/۵
$27/93 \pm 0/05^a$	$43/91 \pm 0/03^c$	$56/32 \pm 0/03^c$	$21/50 \pm 0/03^a$	۶۰	

اعداد (±) انحراف معیار) دارای حروف غیرمشترک در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند (آزمون دانکن، $P < 0/05$).

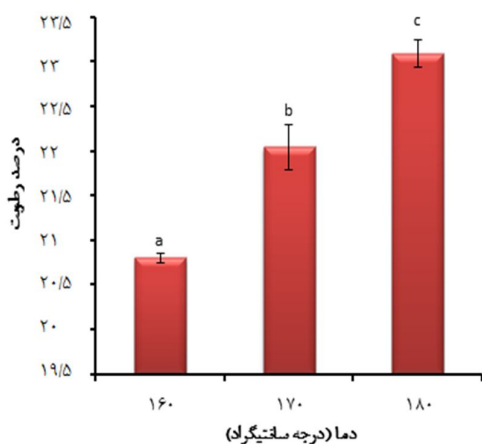
آکریل آمید

بیش از حد تخمیر و افزایش بیش از حد مخمر با توجه به محدود بودن ظرفیت مخمر در استفاده از آسپارژین، نه تنها در کاهش آکریل آمید مؤثر نیست بلکه به دلیل تضعیف شبکه گلوتهنی نیز موجب کاهش حجم فرآورده غلات می‌گردد (Fredriksson *et al.*, 2004). همچنین افزایش اسید قابل تیتر موجود در محیط به علت افزایش اسید لاکتیک ناشی از فعالیت مخمر در کاهش سرعت واکنش میلارد مؤثر است. در تحقیقی که روی اثر تخمیر در محتوای آکریل آمید در فرآورده نان صورت گرفت، مشاهده شد که با افزایش زمان تخمیر به میزان ۷۲ ساعت مقدار آکریل آمید محصول نهایی کاهش یافت (Erland & Halvor, Knutsen, 2005).

نتایج تجزیه واریانس حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین مقدار مخمر و زمان تخمیر بر میزان آکریل آمید موجود در فرآورده دونات بود ($P < 0/05$). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در زمان‌های تخمیر ۳۰ و ۶۰ دقیقه، افزایش مقدار مخمر از ۰/۵ به ۱/۵ درصد موجب کاهش معنی‌دار مقدار آکریل آمید در محصول نهایی گردید (شکل ۴). همچنین نتایج حاکی از عدم تغییر معنی‌دار محتوی آکریل آمید نمونه‌های دونات در اثر افزایش زمان تخمیر از ۳۰ به ۴۵ و ۶۰ دقیقه در تمامی سطوح مورد استفاده مخمر بود ($P > 0/05$). مخمر جهت فعالیت مقدار زیادی آسپارژین مصرف می‌کند و به این طریق امکان واکنش میلارد و در نتیجه تشکیل آکریل آمید کاهش می‌یابد (Fredriksson *et al.*, 2004). البته طولانی نمودن



شکل ۴- اثر مقدار مخمر و زمان تخمیر بر میزان آکریل آمید نمونه‌های دونات. حروف غیرمشترک روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن است ($P < 0.05$). تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها بیانگر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ۵- اثر دمای سرخ کردن بر میزان رطوبت نمونه‌های دونات. حروف غیرمشترک روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است ($P < 0.05$). تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها بیانگر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده است.

حرارت به سطح زیرین را کاهش داده و در نتیجه سبب ایجاد مقاومت در برابر عبور رطوبت در قسمت‌های مرکزی شده و از تبخیر و همچنین از دست رفتن رطوبت در فرآورده مورد نظر جلوگیری می‌کند. بنابراین با افزایش دما و ثابت بودن زمان سرخ کردن محتوای رطوبت محصول افزایش می‌یابد.

دمای سرخ کردن

رطوبت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دمای سرخ کردن اثر معنی‌داری بر مقدار رطوبت دونات داشت ($P < 0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین حاکی از این مطلب بود که افزایش دمای سرخ کردن نمونه‌های دونات (شکل ۵) به افزایش معنی‌دار محتوای رطوبت آنها منجر شد ($P < 0.05$) به طوری که افزایش دما از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی-گراد به ترتیب با ۲۲/۰۴ و ۲۳/۰۹ درصد افزایش در میزان رطوبت نمونه‌های دونات همراه بود.

افزایش مدت زمان سرخ کردن سبب خشک شدن سطح فرآورده و تشکیل پوسته‌ای ضخیم شده که این امر سرعت بیاتی و افت کیفیت محصول را افزایش می‌دهد. در واقع در اثر سرخ کردن، رطوبت ماده غذایی خارج شده و روغن جایگزین آن می‌شود و محصول با ازدست دادن محتوای رطوبت با افت کیفی مواجه می‌شود (Dana & Saguy, 2006).

بر طبق یافته‌های Véllez-Ruiz و Sosa-Morales (۲۰۰۳) با افزایش دمای پخت در فرآورده‌های نانوائی و ثابت بودن زمان پخت، پوسته ضخیم و تیره‌رنگی روی محصولات تشکیل می‌شود که این پوسته به عنوان پوشش و محافظ عمل کرده و شدت انتقال

مقدار اسید قابل تیتر

بیانگر عدم تأثیر تخریبی دمای سرخ کردن بر محتوای قند نمونه‌های دونات طی فرایند سرخ کردن می‌باشد.

رنگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دمای سرخ کردن تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص‌های رنگی نمونه‌های دونات داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش دمای سرخ کردن از ۱۷۰ به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد با کاهش معنی‌دار شاخص روشنایی (L) و افزایش معنی‌دار شاخص زردی (b) نمونه‌های دونات همراه بود. بدین معنی که در اثر افزایش دمای سرخ کردن رنگ نمونه‌های دونات به سمت تیره شدن متمایل می‌شود. افزایش دمای سرخ کردن همچنین سبب افزایش معنی‌دار شاخص قرمزی (a) و اختلاف کلی رنگ نمونه‌های دونات شد ($P < 0/05$). به عبارت دیگر افزایش دمای سرخ کردن با افزایش رنگ قرمز در نمونه‌های دونات همراه بود. در مجموع تغییر شاخص‌های رنگی منجر به افزایش اختلاف کلی رنگ نمونه‌های دونات همگام با افزایش دما شد. تیرگی رنگ نمونه‌های دونات می‌تواند ناشی از واکنش میلارد باشد (Mottram *et al.*, 2002) که با تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای روی پوسته دونات همراه بود.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افزایش دمای سرخ کردن تأثیر معنی‌داری بر مقدار اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات نداشت ($P > 0/05$). متوسط مقدار اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات سرخ‌شده در دماهای مورد مطالعه به ترتیب ۰/۲۵ درصد بود. از آن جایی که اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات پس از استخراج روغن از نمونه و بر حسب اسید لاکتیک محاسبه شده است، این نتیجه دور از انتظار نیست. چرا که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر اسید قابل تیتر فرآورده‌های نانوبی مقدار مخمر و زمان تخمیر و همچنین محیط مغذی جهت فعالیت مخمر می‌باشند که در تمامی دماهای مورد مطالعه ثابت بودند.

مقدار قند

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از عدم اثر معنی‌دار افزایش دمای سرخ کردن بر مقادیر قند کل، قند احیا و قند غیراحیا نمونه‌های دونات بود ($P > 0/05$). میانگین درصد قند کل، درصد قند احیا و درصد قند غیراحیا در نمونه‌های دونات به ترتیب معادل ۹/۴۰، ۹/۱۷ و ۰/۲۱ بود. با توجه به ثابت بودن مقدار و نوع شیرین‌کننده در نمونه‌های مورد مطالعه از یک سو و عدم تغییر معنی‌دار اسید قابل تیتر نمونه‌های دونات سرخ‌شده در دماهای مختلف از سوی دیگر، نتیجه به دست آمده منطقی به نظر رسیده و

جدول ۳- اثر دمای سرخ کردن بر حسب درجه سانتی‌گراد بر شاخص‌های رنگی و اختلاف کلی رنگ در نمونه‌های دونات

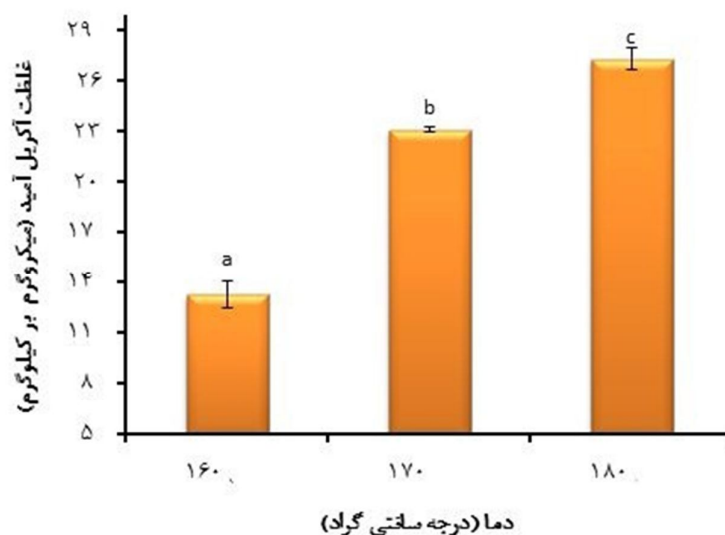
ΔE	b	L	a	دمای سرخ کردن
۲۷/۳۷ ± ۰/۲۶ ^a	۴۲/۸۸ ± ۰/۱۹ ^b	۵۶/۹۷ ± ۰/۱۳ ^c	۲۲/۲۱ ± ۰/۲۹ ^a	۱۶۰
۲۸/۴۲ ± ۰/۱۱ ^b	۴۱/۰۲ ± ۰/۳۴ ^a	۵۵/۹۳ ± ۰/۱۳ ^b	۲۳/۹۵ ± ۱/۴۰ ^b	۱۷۰
۳۰/۴۶ ± ۰/۵۲ ^c	۴۱/۰۹ ± ۰/۲۸ ^a	۵۴/۵۱ ± ۱/۵۲ ^a	۲۵/۶۰ ± ۰/۲۰ ^c	۱۸۰

اعداد (±) انحراف معیار) دارای حروف غیرمشترک در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند (آزمون دانکن، $P < 0/05$).

مقدار آکریل آمید

نتایج آزمایشات و تجزیه واریانس داده‌های حاصل نشان داد که دمای سرخ کردن اثر معنی‌داری بر مقدار آکریل‌آمید تشکیل شده در نمونه‌های دونات داشت ($P < 0.05$). تحقیقات نشان داده است که حداقل دمای سرخ کردن برای تشکیل آکریل‌آمید باید بالای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد. از طرفی طبق نتایج Zhang و همکاران (۲۰۰۷)، افزایش دمای سرخ کردن عمیق محصولات نشاسته‌ای از ۱۴۰ به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، تشکیل آکریل‌آمید را به صورت خطی افزایش داد که این افزایش در دمای کمتر از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به میزان دمای اعمال شده بستگی داشت در حالی که در دماهای بالاتر از ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد مقدار تشکیل آکریل‌آمید به مدت زمان فرآوری بستگی داشت. به عبارت دیگر هرچه زمان فرآوری کمتر باشد مقدار آکریل‌آمید کمتری نیز در محصول تشکیل می‌شود. همان طور که از شکل ۶

پیداست افزایش دمای سرخ کردن با افزایش معنی‌دار محتوای آکریل‌آمید در نمونه‌های دونات همراه بود ($P < 0.05$). به طوری که با افزایش دمای سرخ کردن از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد محتوای آکریل‌آمید نمونه‌های دونات به ترتیب ۹/۸۸ و ۱۴/۱ واحد افزایش یافت. حرارت در فرآورده دونات سبب ایجاد پوسته در لایه‌های خارجی می‌گردد. پروتئین‌ها و یا به عبارت بهتر آمینواسیدها با قندها واکنش داده و سبب بروز واکنش میلارد می‌شوند و در نهایت پوسته قهوه‌ای رنگ فرآورده را تشکیل می‌دهند آکریل‌آمید تولیدی نیز در این محصولات عمدتاً در سطح فرآورده مشاهده شد که دلیل آن را به دمای بالاتر پوسته نسبت به مغز نسبت داده‌اند (Surdyk et al., 2004).



شکل ۶- اثر دمای سرخ کردن بر غلظت آکریل‌آمید در نمونه‌های دونات. حروف غیرمشترک روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است ($P < 0.05$). تیرک‌های رسم‌شده روی ستون‌ها بیانگر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده است.

مستقیم دما و غلظت آکریل‌آمید و نتایج به‌دست آمده در این مرحله بود.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش مقدار مخمر منجر به کاهش معنی‌دار مقدار قند احیا و به دنبال آن آکریل‌آمید در نمونه‌های دونات شد در حالی که با افزایش دمای سرخ کردن مقدار قند کل تغییر معنی‌داری نیافت و میزان آکریل‌آمید در نمونه‌های دونات افزایش یافت. همچنین رنگ و رطوبت محصول نیز تحت تأثیر مقدار مخمر، زمان تخمیر و دمای سرخ کردن قرار گرفتند. از این‌رو، با توجه به سرطان‌زا بودن آکریل‌آمید از یک طرف و مستعد بودن شیرینی دونات برای تشکیل آکریل‌آمید از سوی دیگر می‌توان با کنترل شرایط تخمیر و سرخ نمودن دونات ضمن تولید محصول با کیفیت مطلوب، کمک شایانی به تولید محصول ایمن و سالم نمود و بدین ترتیب گامی مهم در جهت سلامت جامعه برداشت.

اگر زمان سرخ کردن ثابت باشد، افزایش دمای سرخ کردن منجر به افزایش بسیار شدید مقدار آکریل‌آمید می‌گردد. در دماهای پایین سرخ کردن، آکریل‌آمید کمتری تشکیل می‌گردد، اما سبب می‌شود تا جذب روغن در فرآورده افزایش یافته و بافت محصول از کیفیت مناسبی برخوردار نباشد (Morales & Jimenez-Perez, 2001). نتایج این مرحله از پژوهش حاضر با نتایج Erland و Halvor Knutsen (۲۰۰۵) همخوانی داشت. آنها تأثیر دما و زمان را بر میزان آکریل‌آمید در نان‌های مسطح بررسی کردند. طبق نتایج این محققین بیشترین میزان آکریل‌آمید در سطح نان‌ها دیده شد. همچنین آنها نشان دادند که افزایش دما و زمان فرآیند تشکیل بیشتر آکریل‌آمید را در آنها به همراه داشت. نتایج بدست آمده از تحقیقات (Ahrne *et al.*, 2007) روی بررسی تأثیر دما و رطوبت بر غلظت آکریل‌آمید در نان‌های سفید نیز با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. طبق نتایج آنها با افزایش دما میزان آکریل‌آمید افزایش یافت اما زمانی که میزان دما خیلی بالا رفت و محتوای آب کاهش یافت، غلظت آکریل‌آمید نیز به همان نسبت کاهش یافت. یافته‌های Claus و همکاران (۲۰۰۸) در مورد تأثیر فاکتورهای پخت بر آکریل‌آمید در نان‌های سفید مؤید رابطه

منابع

- ۱- استاندارد ملی ایران. ۱۳۷۸. کیک - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. شماره ۲۵۵۳، تجدید نظر دوم.
- ۲- قیافه‌داوودی، م. نقی‌پور، ف.، صحرائیان، ب. و کریمی، م. ۱۳۹۰. مقایسه دو امولسیفایر مونو و دی-گلیسرید اسید-های (E471) و داتم (E472) بر کیفیت نان بربری غنی شده با آرد سویا. اولین همایش بهینه‌سازی زنجیره تولید، توزیع و مصرف در صنایع غذایی. ۲۱-۲۰ اردیبهشت. گرگان.
- ۳- کریمی، م.، صحرائیان، ب.، نقی‌پور، ف.، قیافه‌داوودی، م. و شیخ‌الاسلامی، ز. ۱۳۹۰. اثر گلیسرین و سیتیریم روی رنگ پوسته و تخلل بافت نان بربری با استفاده از پردازش تصویر. اولین همایش بهینه‌سازی زنجیره تولید، توزیع و مصرف در صنایع غذایی. ۲۱-۲۰ اردیبهشت. گرگان.
- 4- 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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40 (2): 1708-1715.
- 5- Cauvin, S., & Young, L. 2006. Baked products: science technology and practices, Bake Tran, High Wycombe, Bucks, UK, Blackwell publishing, pp: 156.
- 6- Claus, A., Carle, R., & Schieber, A. 2008. Acrylamide in cereal products: a review. *Journal of Cereal Science*, 47 (2): 118-133.
- 7- Dana, D., & Saguy, S. 2006. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, 128-130: 267-272.
- 8- Erland, B., & 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. *Journal of Food Chemistry*, 92 (1): 693-700.
- 9- Fredriksson, H., Tallving, J., Rose'n, J., & Arman, P., 2004. Fermentation reduces free asparagine in dough and acrylamide content in bread. *Journal of Cereal Chemistry*, 81 (2): 650-653.
- 10- Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide: a review. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 51 (16): 4504-4526.
- 11- Mottram, D.S. Wedzicha, B.L., & Dodson, A.T. 2002. Acrylamide is formed in the maillard reaction. *Nature*, 419 (1): 448-449.
- 12- Mustafa, A., Fink, M., Kamal-Eldin, A., Rosén, J., Andersson, R., & Aman, P. 2009. Interaction effects of fermentation time and added asparagines and glycine on acrylamide content in yeast - leavened bread. *Journal of Food Chemistry*, 112: 767-774.
- 13- Ni, H., & Datta, A.K. 1999. Moisture oil and energy transport during deep-fat frying of food materials. *Food Bioproducts Processing*, 77 (C3): 194-204.
- 14- Pomeranz, Y., 1971. Wheat chemistry and technology. *Journal of Food Chemistry* , 536 (1): 613-614.
- 15- Robarge T., Phillips E., & Conoley M. 2003. Optimizing the analysis of acrylamide in food by Quadrupole GC/MS. *Chromatography and Mass Spectrometry GC/MS. Application Note number 9195. Thermo Electron Corporation, Austin. TX.*
- 16- Sun, D. W., & Brosnan, T. 2002. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems-a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36: 193-211.
- 17- Surdyk, N., Rose'n, J., Andersson, R., & Aman, P. 2004. Effects of asparagine, fructose and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (2): 2047-2051.
- 18- Tan, K.J., & Mittal, G.S. 2006. Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*, 9: 85-98.
- 19- Vélez-Ruiz, J. F., & Sosa-Morales, M. E. 2003. Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep fat frying at different temperatures. *International Journal of Food Properties*, 6 (2): 341-353.

- 20- Wilson, K. M. Rimm, E. B. Thompson, K. M., & Mucci, L. A. 2006. Dietary acrylamide and cancer risk in humans: a review. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 1 (1): 19-27.
- 21- Wolen, G., H. Rothe., 1974; Shortened dough development with wheat bread and its influence on flavor. 2. Alkanols as aroma index. *Die Nahrung*, 18 (2): 165-170.
- 22- Zhang, Y., Ren, Y., & Zhao, H., 2007. Determination of acrylamide in Chinese traditional carbohydrate-rich foods using gas chromatography with micro-electron capture detector and isotope dilution liquid chromatography combin with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (4): 322-332.

Effect of yeast, fermentation time and frying temperature on the amount of acryl amide and chemical properties of donut

Zohreh Ghaeini¹, Razieh Niazmand^{2*}, Mostafa Shahidi Noghabi²

1- MSc.Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Agricultural College, Islamic Azad University, Damghan Branch, Semnan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

*Corresponding author (r.niazmand@rifst.ac.ir)

Abstract

Donut is one of the most popular fried bakery products among consumers. This product is susceptible to the formation of acryl amide during processing. In this study, the effect of frying temperature (160, 170 and 180 ° C), the amount of yeast (0.5, 1 and 1.5 %) and the fermentation time (30, 45 and 60 min) on the physicochemical properties (moisture content, acidity, pH, total sugar, reducing sugars, color) and the amount of acryl amide in the final product was evaluated. The results showed that the amount of yeast, fermentation temperature and frying time affect many chemical properties (moisture, pH, acidity, protein, total sugar and color) as well as the formation of acryl amide in the final products. Increasing amount of yeast and frying temperature, the moisture content and total sugar of products increased and decreased, respectively. Increasing the amount of yeast caused a significant decrease in the amount of acryl amide in the final product, but fermentation time was not significantly effective on the amount of acryl amide in the final product. It was also found that increasing the temperature from 160 to 180 ° C increased the acryl amide content from 13.24 $\mu\text{g kg}^{-1}$ to 27.34 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Finally, it was found that the adjustment process can reduce the formation of acryl amide in donuts products.

Keywords: Acryl amide, Donuts, Fermentation, Frying, Yeast