



## Investigating the effect of baking method and fermentation time on the amount of acrylamide in traditional breads (Tafton, Sangak, Lavash and Barbari)

Maryam Gharachorloo<sup>1\*</sup>✉

<sup>1</sup>Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

✉ Corresponding author: m\_gharachorloo@srbiau.ac.ir

### ARTICLE INFO

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: March 22, 2023

Accepted: October 9, 2023

Published: February 29, 2024

#### Keywords:

Acrylamide, Fermentation time, Rotative oven, Traditional oven, Traditional breads

### ABSTRACT

**Background:** Bread is the main part of the diet all over the world and especially in Iran. During the baking process, there is a possibility of forming acrylamide as a side product.

**Aims:** The effect of the type of oven and the time of fermentation process on the amount of acrylamide formation in traditional breads were investigated.

**Methods:** Sampling of Barbari, Lavash, Tufton, and Sangak breads were carried out from bakeries with a direct (traditional oven) and indirect (rotary oven) flame heat oven, in each bakery in two stages of incomplete and complete fermentation of the dough. The amount of acrylamide was measured by GC-MS method based on the extraction of acrylamide from the sample and derivatization.

**Results:** The way of baking bread has a significant effect on the amount of acrylamide formation, which can be due to the amount and type of heat applied and also, the cooking time which is different depending on the amount of heat applied. In all breads, with the lengthening of the fermentation time, the amount of acrylamide decreased from 14.21% in lavash bread to 40.99% in Sangak (bright flour) bread.

**Conclusion:** In all breads, with the lengthening of the fermentation time, the amount of acrylamide decreased. In the general classification of types of bread regardless of fermentation time and cooking method, there were Sangak, Tufton, Barbari and Lavash breads respectively. The obtained amounts are not dangerous for health and are much lower than the maximum amount determined by the European Union Commission



**Introduction:** Bread is the main part of the diet all over the world and especially in Iran. The baking process during the preparation of bread improve the color, taste, and texture of the bread to a great extent. At temperatures higher than 120°C, acrylamide has been found as a carcinogenic byproduct in high carbohydrate products (Lingnert, 2006). Acrylamide compounds are generally found in fried, roasted or overheated foods that are of carbohydrate origin. Heat causes the reaction of decarboxylation and deamination of asparagine, which is the main basis for the formation of acrylamide, and the presence of reducing sugars is necessary for this reaction (Keramat et al 2011). The formation of acrylamide in this route is based on the main stages of the Maillard reaction. Acrylamide is one of the major concerns for human health due to causing mutations in genes and causing cancer. No safety limit to prevent cancer has been determined for acrylamide (Tareke, 2002). During the baking process, there is a possibility of forming acrylamide as a side product therefore bread is one of the important sources of food for humans to receive high amounts of acrylamide. Considering that the most Iranian breads are still cooked in traditional ways and mostly using direct heat, therefore, in this research, the effect of the type of oven and the time of fermentation process on the amount of acrylamide formation in traditional types of bread was investigated.

**Materials and methods:** Sampling of Barbari, Lavash, Tufton, and Sangak breads was done from bakeries with a direct flame heat oven (traditional oven) and bakeries with an indirect flame heat oven (rotary oven) and in each bakery in two stages of incomplete and complete fermentation of the dough. The bread samples were completely dried in the shade. The amount of acrylamide was measured by GC-MS method based on the extraction of acrylamide from the sample with the help of

sodium chloride and derivatization by bromine. To draw the standard curve, different concentrations of acrylamide standard were used and the calibration curve was drawn.

**Results and discussion:** The way of baking bread and in better words the type of oven used has a significant effect on the amount of acrylamide formation in bread, which can be due to the difference in the amount and type of heat applied, direct flame (traditional ovens) or indirect flame (rotary) and also, the cooking time which is different depending on the amount of heat applied. In Barbari and Sangak breads, the use of indirect flame heat (rotary oven) had a significant effect on reducing the amount of acrylamide in the breads. So that regardless of the fermentation time, the amount of acrylamide in Barbari breads cooked with indirect flame heat compared to the traditional oven was reduced by 49.14%, which is a very significant amount. In the case of Sangak breads, the average amounts of acrylamide were 163.95 ppb and 93.88 ppb in bakeries with traditional and rotary ovens respectively, which regardless of the fermentation time reduced 42.74% is observed in the amount of acrylamide. In Tufton breads, the difference in cooking method, the use of direct or indirect flame heat, did not significantly changes in the amounts of acrylamide. According to the obtained results, the amount of acrylamide formed in Sangak bread prepared from flour with higher ash content is higher. In fact, more ash in flour indicates a higher degree of flour extraction, and with an increase in the degree of extraction, the amount of protein, especially asparagine, which is the key factor in the reaction of acrylamide formation, will be higher. For this reason, the amount of acrylamide in breads made with wholemeal flour is higher than breads made with light flour. In all flat breads studied, regardless of the cooking method, the amount of acrylamide

decreased significantly with the lengthening of the fermentation time. So that the average percentage of reduction during fermentation was 14.21% in lavash breads, 23.04% in Barbari breads, 29.39% in Sangak breads prepared from whole wheat flour, 31.77% in Tufton breads and 40.99% in Sangak breads prepared from bright flour.

**Conclusion:** The type of oven used has a significant effect on the amount of acrylamide formation in bread due to the difference in the amount, the type of heat applied and the cooking time, and the use of rotary ovens might be a suitable alternative to traditional ovens to reduce the formation of acrylamide in breads. In all studied breads, with the lengthening of the fermentation time, the amount of acrylamide decreased on average from 14.21% in lavash bread to 40.99% in Sangak (bright flour) bread. In the general classification of types of bread regardless of fermentation time and cooking method, there were Sangak, Tufton, Barbari and Lavash breads respectively. The amounts obtained in the examined types of bread are not dangerous for health and are much lower than the maximum amount (300 ppb) determined by the European Union Commission. It is worth mentioning that the variety of flat breads produced in the country has also been seen in people's diet, so despite the high consumption of bread in the country, the average intake of acrylamide is much lower than the set limits and is within the range of standards that have been developed so far.

## بررسی تاثیر روش پخت و زمان تخمیر بر مقدار اکریل آمید در نان‌های سنتی (تافتون، سنگک، لواش و بربری)

مریم قراچورلو<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>استاد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

✉ مسئول مکاتبه: [m\\_gharachorlo@srbiau.ac.ir](mailto:m_gharachorlo@srbiau.ac.ir)

### چکیده

### مشخصات مقاله

**زمینه مطالعاتی:** نان جزء اصلی رژیم غذایی در ایران می باشد که طی فرآیند پخت امکان تشکیل اکریل آمید بعنوان فرآورده جانبی وجود دارد. هدف: در این پژوهش بررسی اثر نوع تنور و فرآیند تخمیر بر میزان تشکیل اکریل آمید در انواع نان سنتی مورد بررسی قرار گرفت.

**روش کار:** نمونه برداری از نان های بربری، لواش، تافتون و سنگک از نانویی با تنور حرارت شعله مستقیم (سنتی) و نانویی با فرگردان با حرارت شعله غیرمستقیم و در هر نانویی در دو مرحله تخمیر ناقص و کامل خمیر، صورت گرفت. اندازه گیری مقدار اکریل آمید به روش GC-MS بر مبنای استخراج اکریل آمید از نمونه و مشتق سازی انجام شد.

**نتایج:** نوع تنور مورد استفاده بدلیل تفاوت در میزان، نوع حرارت اعمال شده و زمان پخت بر میزان تشکیل اکریل آمید در نان اثر معنی دار داشته و استفاده از فرگردان می تواند جایگزین مناسبی برای تنورهای سنتی جهت کاهش تشکیل اکریل آمید در نان، طی فرآیند پخت باشد. در همه نان‌های مسطح مورد مطالعه با طولانی شدن زمان تخمیر مقدار اکریل آمید بطور متوسط از ۱۴/۲۱ درصد در نان لواش تا ۴۰/۹۹ درصد در نان سنگک (آرد روشن) کاهش یافت.

**نتیجه گیری:** در همه نان‌های مسطح مورد مطالعه صرف نظر از شیوه پخت با طولانی شدن زمان تخمیر مقدار اکریل آمید بطور قابل توجهی کاهش یافته است. در طبقه بندی کلی انواع نان صرف نظر از زمان تخمیر و شیوه پخت به ترتیب نان‌های سنگک، تافتون، بربری و لواش قرار داشتند. مقادیر بدست آمده در انواع نان مورد بررسی از نظر سلامتی مخاطره آمیز نبوده و بسیار کمتر از ماکزیمم مقدار تعیین شده در کمیسیون اتحادیه اروپا می باشد.

نوع مقاله:

علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲

پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۷

انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

### کلید واژگان:

اکریل آمید، تنور سنتی، زمان تخمیر، فرگردان، نان‌های سنتی

## مقدمه

تغذیه به منظور تامین مواد ضروری و مغذی مورد نیاز سلولهای بدن جهت متابولیسم و رشد فیزیولوژیک صورت می‌گیرد. تغذیه و سلامتی در تماس مستقیم با یکدیگر هستند و سوء تغذیه میتواند بطور جدی سلامتی را به خطر اندازد. یکی از این مخاطرات مهم عوامل سرطانزا هستند که در غذاها تولید می‌شوند و یا در افزودنی‌های آن وجود دارند (تقوی و یزدی ۲۰۰۷).

آکریل آمید<sup>۱</sup> یک ماده جامد سفید رنگ، بدون بو، کریستالی، محلول در آب، با فرمول شیمیایی  $C_3H_5NO$  با جرم مولکولی ۷۱/۰۸ می‌باشد (هالفورد و کورتیس ۲۰۱۹) که توسط آژانس بین المللی تحقیقات سرطان<sup>۲</sup> در دسته مواد احتمالی ایجاد سرطان (گروه A2) طبقه بندی شده است. آکریل آمید به واسطه احتمال ایجاد جهش در ژن ها و ایجاد سرطان یکی از نگرانی های عمده در مورد سلامت انسان محسوب می‌شود (تارک و همکاران ۲۰۰۲). مطالعات انجام شده در چندین گونه از حیوانات آزمایشگاهی نشان داده که قرار گرفتن در معرض روزانه در سطح ۰/۵ تا ۵۰ میلی گرم آکریل آمید به ازاء کیلوگرم وزن بدن در روز بطور مداوم، دارای اثراتی بر روی اندام‌های حرکتی و ضعف عضلات اسکلتی خواهد بود (مایر و اسپنسر ۱۹۸۵). تاثیر بر روی تولید مثل نیز در حیوانات آزمایشگاهی که در معرض سطوح بالایی از آکریل آمید قرار گرفته بودند، مشاهده شد. اگرچه میزان دقیقی که عوارض جانبی در دستگاه تولید مثل ایجاد کند قابل تشخیص نیست دوز سمیت برای تولید مثل، ۲-۵ میلی گرم به ازاء کیلوگرم وزن بدن در روز برآورد شده است (تیلا و همکاران ۲۰۰۰). آکریل آمید بعد از جذب در بدن، گلاسید آمید را تولید می نماید که با اثر بر DNA و ایجاد جهش در ژن ها، باعث بروز سرطان و آسیب به سیستم عصبی می‌شود (لینگنرت ۲۰۰۲).

بر اساس رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت، ۰/۵ میکروگرم آکریل آمید در یک لیتر آب آشامیدنی به عنوان غلظت قابل تحمل برای سلامتی در نظر گرفته شده است. قانون اتحادیه اروپا در این مورد ۰/۱ میکروگرم آکریل آمید در یک لیتر آب آشامیدنی است. میزان دریافت آکریل آمید از مواد غذایی بستگی به نوع رژیم غذایی دارد.

بر اساس یکی از منابع، متوسط دریافت آکریل آمید از طریق مواد غذایی در محدوده ۰/۳ تا ۰/۸ میکروگرم آکریل آمید به ازای کیلوگرم وزن بدن در روز تخمین زده شده است. کمیته تخصصی مشترک سازمان جهانی بهداشت و سازمان غذا و کشاورزی، متوسط دریافت آکریل آمید از طریق مواد غذایی را در محدوده ۰/۳ تا ۲ میکروگرم به ازای کیلوگرم وزن بدن در روز تخمین زده است (تایمنس و همکاران ۲۰۰۴). آکریل آمید از جمله مواد شیمیایی است که تصور می‌شود نمی‌توان برای اثرات آنها آستانه‌ای تعیین کرد، به این معنا که غلظت‌های بسیار کم آنها نیز می‌تواند خطر کمی ایجاد کند ولی احتمالاً با افزایش مواجهه با اینگونه مواد سرطان زا خطر نیز افزایش پیدا می‌کند.

در سال ۲۰۰۲، موسسه تحقیقات ملی غذا در کشور سوئد وجود مقادیر بالای آکریل آمید را در غذاهای حرارت دیده سرشار از کربوهیدرات اعلام کرد که نگرانی های زیادی را در بین مجامع جهانی بوجود آورد (موسی و همکاران ۲۰۰۳؛ هوگرورست و همکاران ۲۰۱۰).

نان جزء اصلی رژیم غذایی در سراسر جهان و بویژه در ایران می‌باشد. فرآیند پخت در هنگام تهیه نان می‌تواند رنگ، طعم، مزه و بافت نان را تا حد زیادی بهبود بخشد و در نتیجه جذابیت آن را برای مصرف کننده افزایش دهد. در دماهای بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتی گراد در فرآورده‌های دارای کربوهیدرات بالا آکریل آمید بعنوان فرآورده جانبی سرطان زا یافت شده است (لینگنرت ۲۰۰۲). تشکیل آکریل آمید در مواد غذایی از مسیرهای مختلف که در ارتباط با واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی میلارد می باشد، و بطور عمده از مسیر آسپاراژین صورت می‌پذیرد (اریکسون ۲۰۰۵). واکنش میلارد واکنشی پیچیده بین قندهای احیاکننده و اسید آمینه های آزاد می‌باشد. حرارت موجب واکنش دکربوکسیلاسیون و دامیناسیون اسید آمینه آسپاراژین می‌شود که پایه اصلی تشکیل آکریل آمید است و حضور قندهای احیا کننده برای این واکنش ضروری می‌باشند (کرامت و همکاران ۲۰۱۱). از این رو نان یکی از منابع مهم غذایی دریافت مقادیر بالای آکریل آمید برای انسان محسوب می‌شود. لذا با توجه به

<sup>2</sup> International Agency for Research on Cancer (IARC)

<sup>1</sup> Acrylamide

### اندازه گیری مقدار اکریل آمید نان

اندازه گیری مقدار اکریل آمید به روش GC-MS بر مبنای استخراج اکریل آمید از نمونه به کمک کلرید سدیم و مشتق سازی به وسیله برم صورت گرفت (عاشوری و همکاران ۱۴۰۰).

۲ گرم از نمونه نان آسیاب شده و همگن در داخل لوله فالکن ۵۰ میلی لیتر ریخته شد، حدود ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه ورتکس گردید، سپس ۱ میلی لیتر از محلول های کارز I و II اضافه شد (معرف کارز I از انحلال ۱۵ گرم پتاسیم هگزا سیانوفرات در ۱۰۰ میلی لیتر آب و معرف کارز II از انحلال ۳۰ گرم فسفات روی در ۱۰۰ میلی لیتر آب تهیه شد). پس از آن به مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. لایه آبی خارج شد و ۲ میلی لیتر هگزان اضافه گردید. بار دیگر لوله فالکن به مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. لایه هگزانی دور ریخته شد و ۱۰ میلی لیتر از فاز آبی به فالکن دیگری منتقل گردید.

به ۱۰ میلی لیتر از هر یک از نمونه های آماده سازی شده و محلول های استاندارد، پتاسیم برمید و اسید برمیک اضافه گردید. سپس ۱ میلی لیتر آب برم اشباع اضافه گردید. لوله فالکن به مدت یک ساعت در یخچال در دمای ۴°C قرار داده شد. سپس، سدیم تیوسولفات به محلول اضافه گردید تا مرحله ای که محلول بی رنگ شد. سپس سدیم کلراید و اتیل استات به نمونه اضافه شد. لایه فوقانی خارج شد و به یک بالون منتقل گردید و این مرحله دوباره تکرار شد. محتویات بالون جهت حذف حلال در روتاری قرار داده شد. سپس ۰/۵ میلی لیتر اتیل استات به آن اضافه شد و پس از ورتکس به دستگاه GC-MS تزریق گردید.

در این آزمون از گاز کروماتوگراف متصل شده به طیف سنج جرمی Agilent مدل 7890A-5795C مجهز به ستون HP-5 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای محل تزریق ۲۵۰ درجه سانتیگراد، برنامه حرارتی ستون از ۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد (۵۰ درجه سانتیگراد برای ۲ دقیقه، افزایش دما ۱۰ درجه سانتیگراد در دقیقه، ۲۰۰ درجه

اینکه بیشترین غذای مصرفی مردم ایران را نان تشکیل داده و همچنان به روش های سنتی و بیشتر با استفاده از حرارت شعله مستقیم پخت می گردد، تعیین میزان اکریل آمید در انواع این ماده غذایی ضروری به نظر می رسد که در این مطالعه اثر شیوه پخت و فرآیند تخمیر بر میزان تشکیل اکریل آمید در انواع نان مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش ها

#### نمونه برداری نان

نمونه برداری از نان های بربری، تافتون و سنگک (با آرد روشن با خاکستر ۰/۶ درصد) هر یک از ۴ نانوائی منتخب، ۲ نانوائی با تنور حرارت شعله مستقیم (سنتی) و ۲ نانوائی با فرگردان با حرارت شعله غیرمستقیم انجام شد. در هر نانوائی در دو مرحله، نان اول پخت خمیر (تخمیر ناقص ۲۰ دقیقه) و نان آخر پخت خمیر (تخمیر کامل ۹۰ دقیقه) در دو تکرار (جمعا ۱۶ نمونه برای هر نوع نان) نمونه برداری انجام شد. همچنین نمونه برداری از نان سنگک یک نانوائی منتخب با آرد سبوس دار (با خاکستر ۱/۲۸ درصد) و شیوه پخت سنتی انجام شد. در دو روز مختلف به فاصله یکماه و هر بار در دو مرحله در ابتدا و انتهای پخت خمیر تهیه شده، نمونه برداری از نان ها با ۲ تکرار (جمعا ۸ نمونه نان) صورت گرفت. نمونه برداری از آرد نانوائی های مورد مطالعه نیز جهت تعیین مقدار خاکستر آرد به روش استاندارد ایران به شماره ۲۷۰۶ انجام شد.

با توجه به محدودیت پخت نان لواش با تنور سنتی (حرارت شعله مستقیم)، نمونه برداری از نان لواش ۲ نانوائی با فرگردان انجام شد. در هر نانوائی در دو مرحله در ابتدا و انتهای پخت خمیر تهیه شده، نمونه برداری از نان ها با ۲ تکرار (جمعا ۸ نمونه) صورت گرفت. شایان ذکر است برای کنترل اول و آخر پخت، نمونه برداری ها در صبح انجام شد. نمونه های نان در سایه کاملا خشک و به آزمایشگاه منتقل گردید.

۲ کروماتوگرام ترکیب استاندارد اکریل آمید (a) و کروماتوگرام اکریل آمید در یک نمونه نان مورد بررسی (b) را نشان می‌دهد.

### تجزیه و تحلیل آماری

نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن سطح احتمال  $(p \leq 0.05)$  مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گرفت.

سانتیگراد برای ۵ دقیقه)، گاز حامل هلیوم با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد، سرعت جریان ۱ ml/min و حجم تزریق ۱ میکرولیتر بود.

برای رسم منحنی استاندارد، از غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میکروگرم ترکیب استاندارد اکریل آمید استفاده شد که منحنی کالیبراسیون در شکل ۱ نشان داده شده است. معادله رگرسیون برای اکریل آمید با ضریب همبستگی  $R^2 = 0.9979$  بدست آمد. شکل

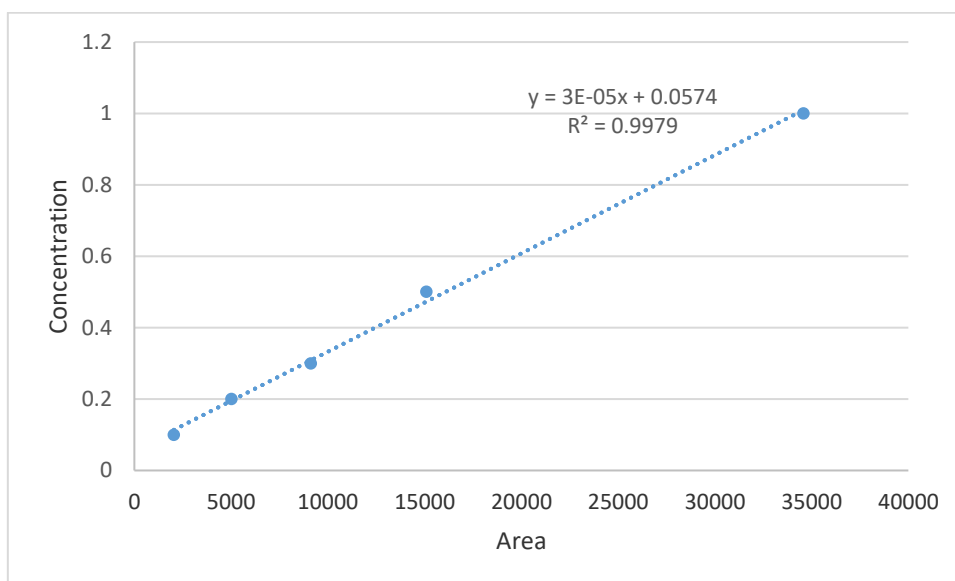
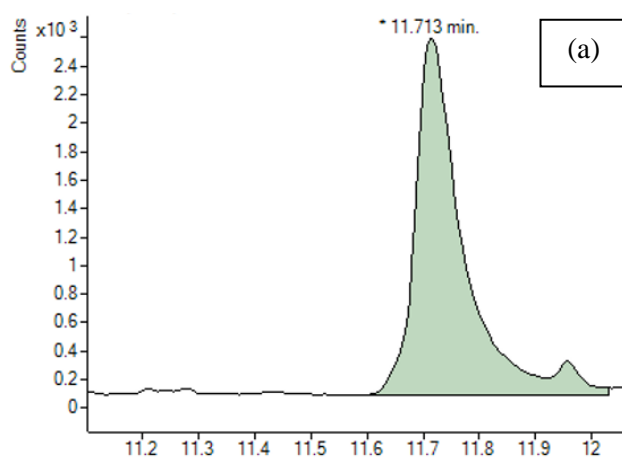
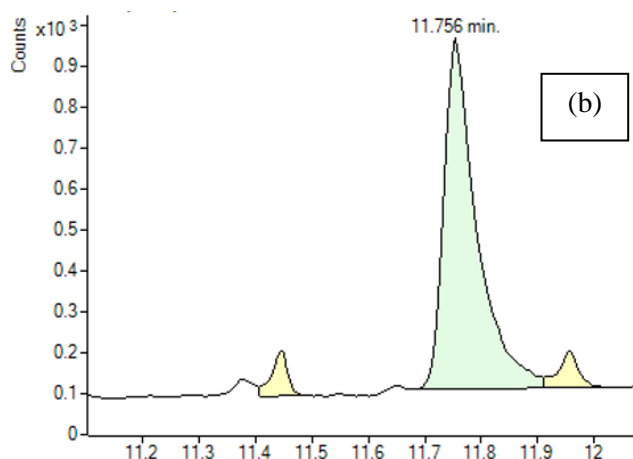


Figure 1- Calibration curve of Acrylamide standard





**Figure 2- Chromatogram of standard composition of acrylamide (a) and chromatogram of acrylamide in a taftoon sample (b)**

### نتایج

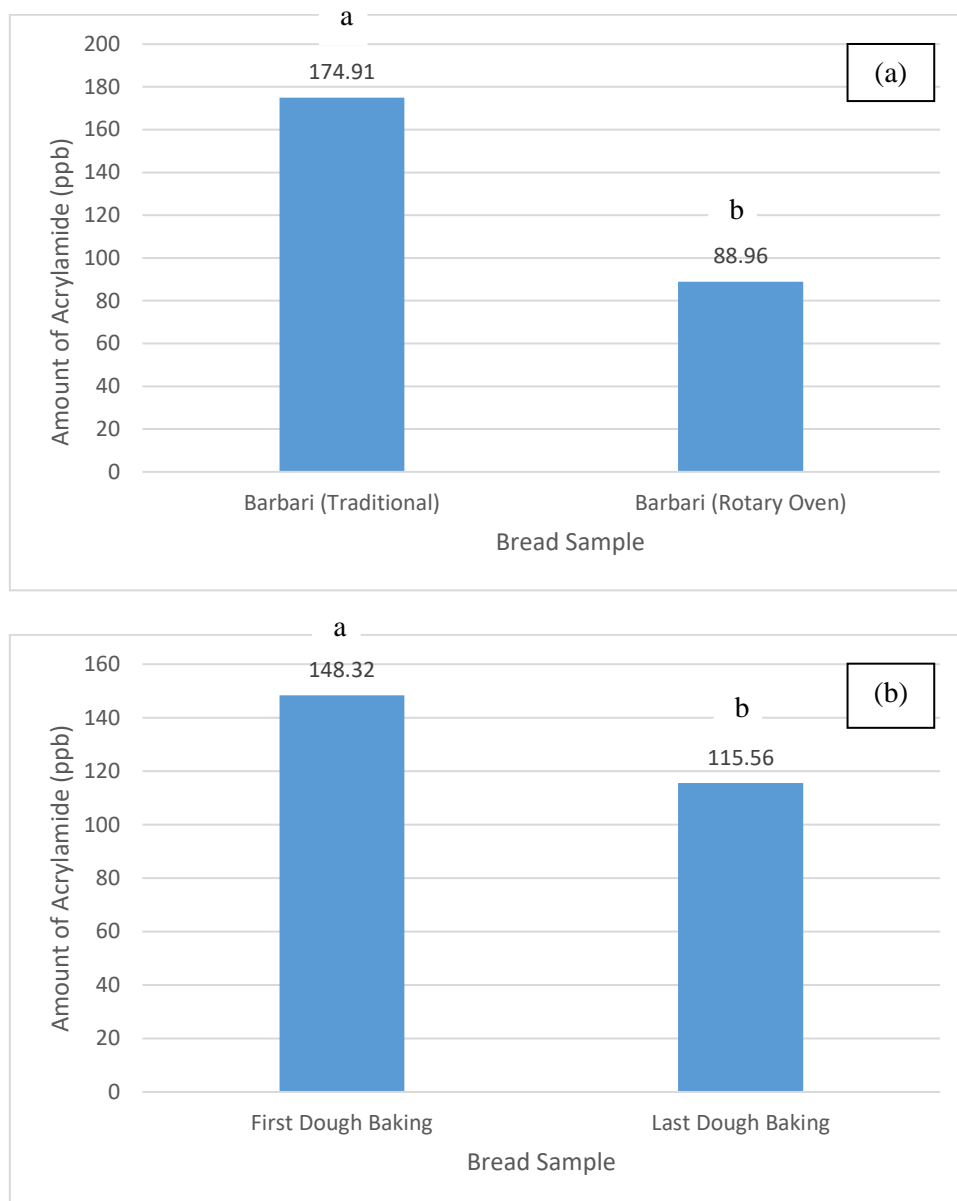
#### مقدار اکریل آمید در نان بربری

شکل ۳-ا نشاندهنده اختلاف آماری معنی دار ( $p < 0.05$ ) و بیشتر بودن مقدار اکریل آمید در نمونه‌های نان بربری پخته شده در تنور سنتی می‌باشد که ناشی از شیوه حرارت دهی مستقیم و تفاوت در زمان پخت می‌باشد. صرف نظر از شیوه پخت، مقدار اکریل آمید در نمونه های نان اول پخت خمیر بیشتر از نمونه های آخر پخت خمیر بوده و اختلاف آماری معنی داری ( $p < 0.05$ ) از این نظر وجود دارد (شکل ۳-ب). بعبارت بهتر بطور متوسط  $22/09$  درصد کاهش در مقدار اکریل آمید نان با گذشت زمان تهیه خمیر یا استراحت بیشتر خمیر و فرآیند تخمیر صورت گرفته است.

#### مقدار اکریل آمید در نان تافتون

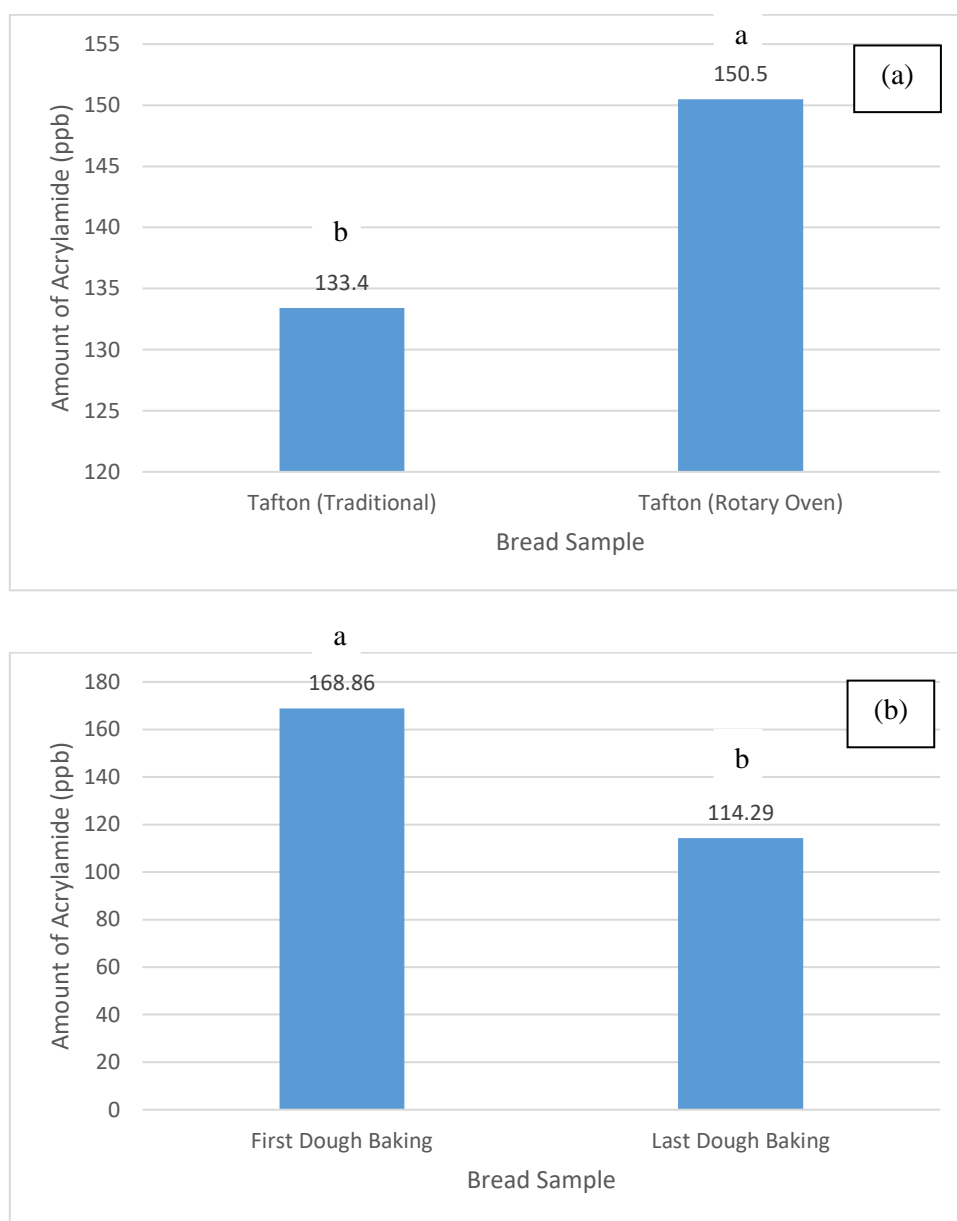
همانطور که در شکل ۴-ا ملاحظه می‌گردد مقدار اکریل آمید در نمونه های نان پخته شده در فرگردان اندکی بیشتر بوده و اختلاف حدود  $17$  ppb بین میانگین مقدار اکریل آمید در دو شیوه پخت متفاوت (حرارت شعله مستقیم و غیرمستقیم) وجود دارد. صرف نظر از شیوه پخت مقدار اکریل آمید در نمونه های نان اول پخت خمیر بیشتر از نمونه‌های آخر پخت خمیر بوده و اختلاف آماری معنی داری ( $p < 0.05$ ) از این نظر وجود دارد (شکل ۴-ب). بطور متوسط  $32/32$  درصد کاهش در مقدار اکریل آمید نان با گذشت زمان تهیه خمیر یا استراحت بیشتر خمیر و بالطبع انجام عمل تخمیر صورت گرفته است.





**Figure 3- Comparison of the average amount of acrylamide of Barbari bread samples cooked (a) in traditional and rotary ovens and (b) first and last dough baking**

Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ )



**Figure 4- Comparison of the average amount of acrylamide of Tufton bread samples cooked (a) in traditional and rotary ovens and (b) first and last dough baking**

Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ )

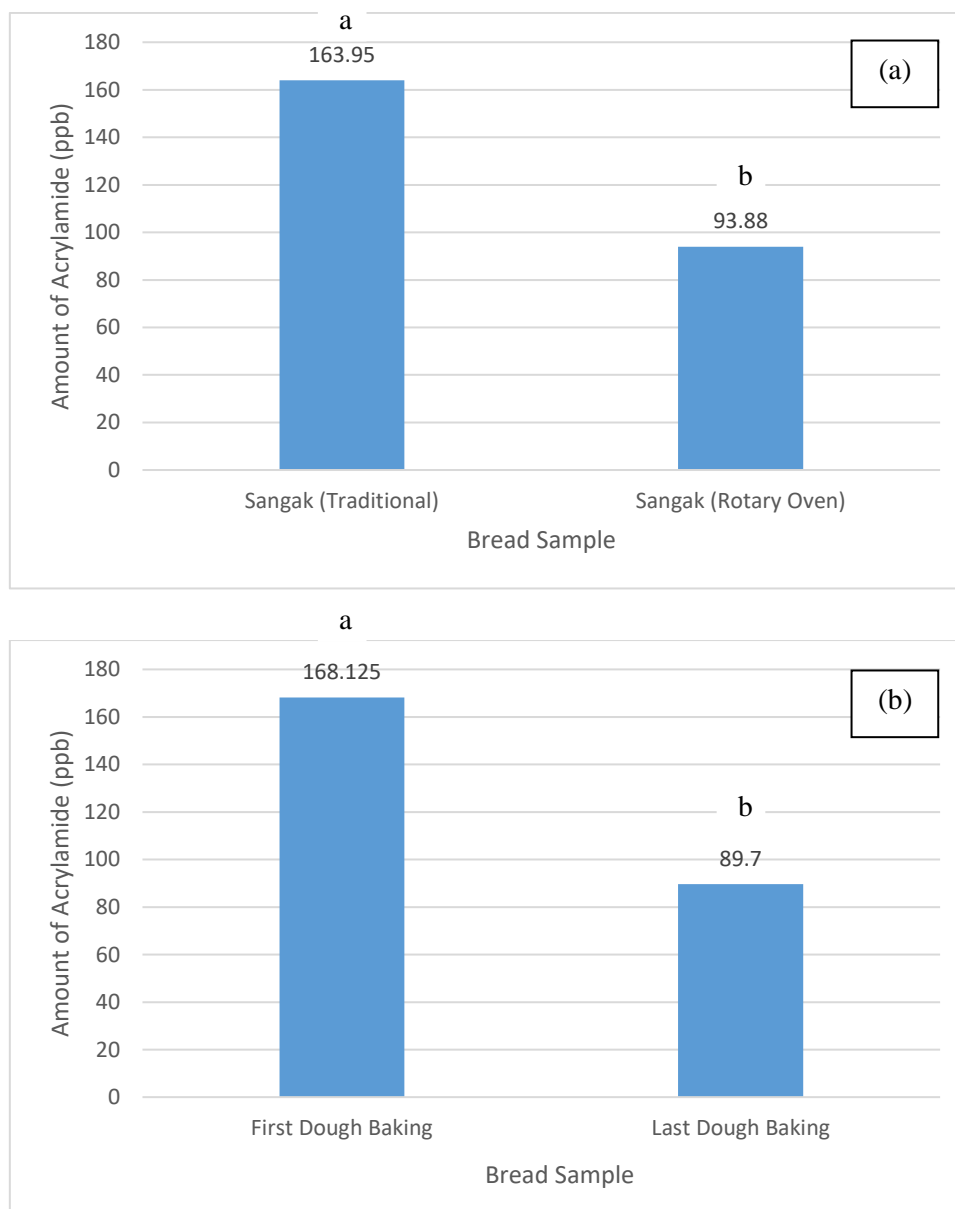
توجه به میزان حرارت اعمال شده و زمان پخت بر تشکیل اکریل آمید نان اثر نسبتاً مشابهی داشته است.

#### مقدار اکریل آمید در نان سنگک

متوسط مقدار اکریل آمید در نمونه‌های نان سنگک حاصل از آرد روشن، پخته شده در تنور سنتی بطور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بیشتر از نمونه‌های نان سنگک پخته شده با فر گردان می‌باشد (شکل ۵- a). لذا بنظر می‌رسد اختلاف معنی‌دار مقدار اکریل آمید نان‌های

اگر چه درصد کاهش مقدار اکریل آمید طی گذشت زمان تهیه خمیر و فرآیند تخمیر در نانوائی‌های مورد بررسی متغیر بوده متوسط در صد کاهش طی تخمیر در هر دو شیوه پخت (۳۲/۰۴ در صد در نانوائی سنتی و ۳۱/۵۱ در صد در نانوائی فر گردان) تقریباً یک سان می‌باشد. لذا طبق نتایج بدست آمده در مورد نان تافتون شیوه پخت نان، استفاده از حرارت شعله مستقیم یا حرارت شعله غیرمستقیم، با

حاصل از دو شیوه پخت متفاوت ناشی از نوع شعله (مستقیم یا غیرمستقیم)، میزان حرارت اعمال شده و همچنین تفاوت در مدت زمان پخت در این دو شیوه پخت نان باشد.



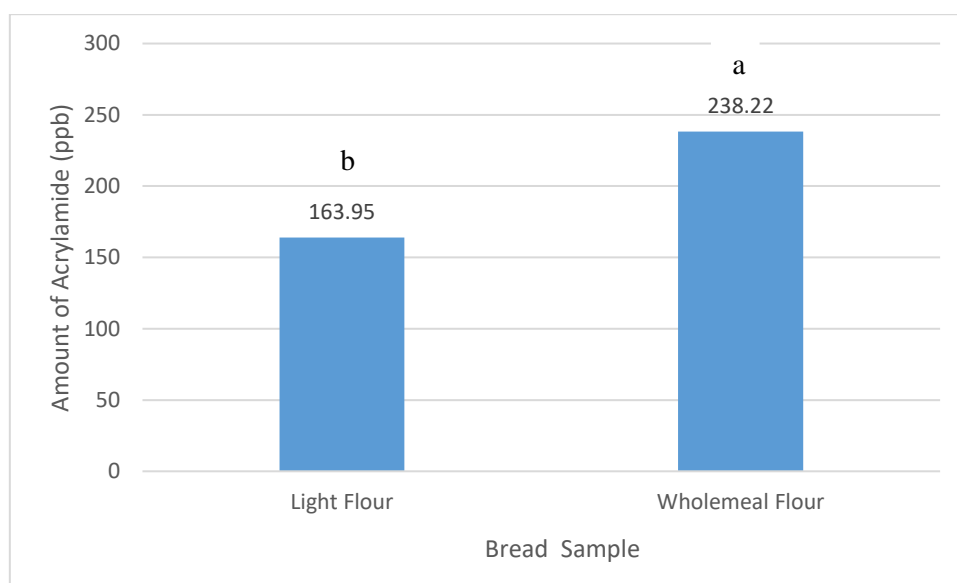
**Figure 5- Comparison of the average amount of acrylamide of Sangak bread samples made from light flour cooked (a) in traditional and rotary ovens and (b) first and last dough baking**  
Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ )

آخر پخت خمیر بوده و اختلاف آماری معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) از این نظر وجود دارد. بعبارت بهتر بطور متوسط ۴۶/۶۵ درصد کاهش در مقدار اکریل آمید نان با گذشت زمان تهیه خمیر و فرآیند تخمیر صورت گرفته است. مقدار اکریل آمید در نمونه‌های نان اول پخت

طبق نتایج بدست آمده تخمیر نقش اصلی در کنترل سرعت تشکیل اکریل آمید ایفا می‌نماید. همانطور که در شکل ۵-b ملاحظه می‌گردد صرف نظر از شیوه پخت نان (تنور سنتی یا فرگردان) مقدار اکریل آمید در نمونه‌های نان سنگک اول پخت خمیر بیشتر از نمونه‌های

تاثیر درجه استخراج آرد بر میزان اکریل آمید تولیدی در نان‌های پخته شده با تنور سنتی با حرارت شعله مستقیم نیز مورد بررسی قرار گرفت. از آرد نانوائی‌ها نمونه برداری و میزان اکریل آمید نان تهیه شده با آرد سبوس دار با میانگین خاکستر ۱/۲۸ درصد و آرد روشن با میانگین خاکستر ۰/۶ درصد مشخص گردید (شکل ۶). همانطور که ملاحظه می‌گردد متوسط مقدار اکریل آمید در نمونه های نان سنگک آرد سبوس دار بطور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بیشتر از نمونه‌های نان سنگک با آرد روشن می باشد. لذا با توجه به اینکه نمونه‌برداری از تنور حرارت شعله مستقیم (سنتی) انجام شده بنظر می‌رسد اختلاف معنی‌دار مقدار اکریل آمید نان‌های مورد بررسی ناشی از نوع آرد مصرفی باشد.

خمیر در نانوائی‌های با تنور سنتی بیشتر از نانوائی‌های با فرگردان می باشد. اگرچه با گذشت زمان تخمیر مقدار اکریل آمید در همه نمونه‌ها کاهش یافته، اما مقدار آن در نمونه‌های پخته شده با فرگردان کمتر از نمونه‌های سنتی می باشد که با توجه به مطالعه واحدی و همکاران (۱۳۹۱) این تفاوت می‌تواند به این دلیل باشد که در صنایع نانوائی از گونه‌های مختلف مخمر ساکارومایسس سرویزیه برای عمل تخمیر استفاده می‌شود، و همچنین مصرف آسپارژین آزاد توسط مخمر، ممکن است از یک گونه مخمر به گونه دیگر متفاوت باشد و البته فاکتورهای دیگری چون دمای محیطی نیز بر فرآیند تخمیر موثر می‌باشد. متوسط درصد کاهش در نانوائی با تنور سنتی ۵۲/۸۴۵ درصد و در نانوائی با فرگردان ۲۹/۱۴۵ درصد بوده است.



**Figure 6- Comparison of the average amount of acrylamide of Sangak bread samples prepared with light or wholemeal flour (ppb) cooked in a traditional oven**

Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ )

آمید در نان‌های حاصل از آرد با درجه استخراج بالاتر ناشی از مقدار بیشتر آسپارژین، ترکیب اصلی شرکت کننده در واکنش میلارد و مسیر سنتز اکریل آمید می‌باشد. مقدار اکریل آمید در نمونه های نان سنگک اول پخت خمیر و نمونه‌های نان سنگک آخر پخت خمیر متفاوت بوده و بدلیل فرآیند تخمیر خمیر کاهش یافته است. بطوریکه متوسط مقدار کاهش اکریل

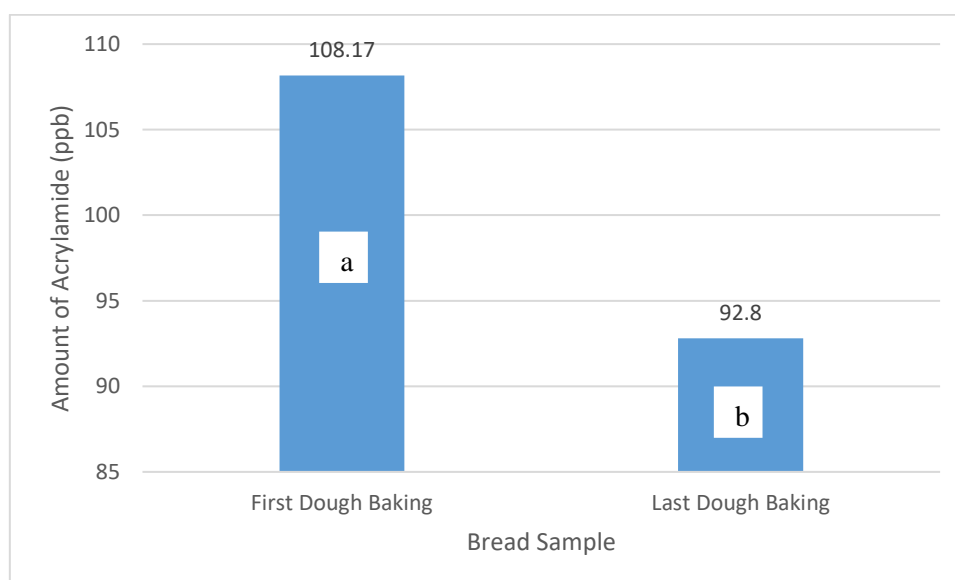
میزان خاکستر بیشتر در آرد نشانه‌دهنده درجه استخراج بالاتر آرد می‌باشد و با افزایش درجه استخراج میزان پروتئین بویژه اسید آمینه آسپارژین که عامل کلیدی در واکنش تشکیل اکریل آمید می‌باشد بیشتر خواهد بود. به همین دلیل میزان اکریل آمید در نان‌های تهیه شده با آرد سبوس دار بیشتر از نان‌های تهیه شده با آرد روشن بدست آمده است. با توجه به نتایج مطالعه حاضر بالاتر بودن مقدار اکریل

### مقدار اکریل آمید در نان لواش

میانگین مقدار اکریل آمید بر پایه وزن خشک نان ها ۱۰۰/۴۵ ppb بدست آمد.

همانطور که در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد در نان لواش نیز مقدار اکریل آمید در نمونه‌های نان اول پخت خمیر بیشتر از نمونه‌های آخر پخت خمیر بوده و اختلاف آماری معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) از این نظر وجود دارد. بطور متوسط ۱۴/۲۱ درصد کاهش در مقدار اکریل آمید نان با گذشت زمان تهیه خمیر یا استراحت بیشتر خمیر و فرآیند تخمیر صورت گرفته است.

آمید طی تخمیر طولانی در نمونه‌های نان تهیه شده با آرد روشن و آرد سبوس‌دار به ترتیب ۱۲۴/۹۵ ppb و ۸۲/۴۵ ppb بوده است که با توجه به تشکیل کمتر اکریل آمید در نان‌های با آرد روشن، متوسط درصد کاهش در نان با آرد روشن ۵۲/۸۴ درصد و در نان با آرد سبوس‌دار ۲۹/۳۹ درصد بدست آمد. با توجه به اینکه در آرد روشن مقدار آسپاراژین، عامل اصلی شرکت‌کننده در واکنش تشکیل اکریل آمید، کمتر می‌باشد طی تخمیر قسمت اعظم آن مصرف شده و کاهش بیشتری در مقدار اکریل آمید حاصل شده است (واحدی و کبارفرد، ۱۳۹۴).



**Figure 7- Comparison of the average amount of acrylamide in lavash bread at the first and last baking of the dough (ppb)**

Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ )

## بحث

## مقایسه مقدار اکریل آمید در نان‌های مورد بررسی

بررسی مقدار اکریل آمید نان‌های مورد مطالعه صرف نظر از زمان تخمیر در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به تفاوت در نوع آرد مورد استفاده و شیوه پخت در نان‌های مورد مطالعه بیشترین مقدار اکریل آمید به ترتیب در نان سنگک (آرد سبوس دار) تنور سنتی و پس از آن نان بربری تنور سنتی، نان سنگک (آرد روشن) تنور سنتی، تافتون فرگردان، تافتون سنتی، لواش فرگردان، سنگک (آرد روشن) فرگردان و بربری فرگردان بدست آمد. طبق مقررات کمیسیون اتحادیه اروپا<sup>۱</sup> ۲۰۱۷/۲۱۵۸ که در ۲۰ نوامبر ۲۰۱۷ وضع گردیده است مقدار اکریل آمید در نان نرم<sup>۲</sup> بر پایه گندم ۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم و نان نرم بر پایه غیرگندم ۱۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم،

برای نان ترد<sup>۳</sup> ۳۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم و محصولات مشابه از گروه نان ۳۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم تعیین شده است. با توجه به ماهیت نان‌های مسطح مورد استفاده در کشور می‌توان ماکزیمم ۳۰۰ میکروگرم در کیلوگرم را بعنوان شاخص مقدار اکریل آمید تعیین شده توسط این کمیسیون در نظر گرفت که بر این اساس گرچه مقدار اکریل آمید بسته به نوع نان، نوع آرد مورد استفاده و روش پخت متفاوت می‌باشد همه در محدوده تعیین شده در این کمیسیون قرار دارد.

در طبقه‌بندی کلی انواع نان‌های مورد مطالعه صرف نظر از زمان تخمیر و شیوه پخت (تنور یا فرگردان) بیشترین میزان اکریل آمید به ترتیب در نان‌های سنگک، تافتون و بربری تشکیل شده و کمترین آن در نان لواش بدست آمد.

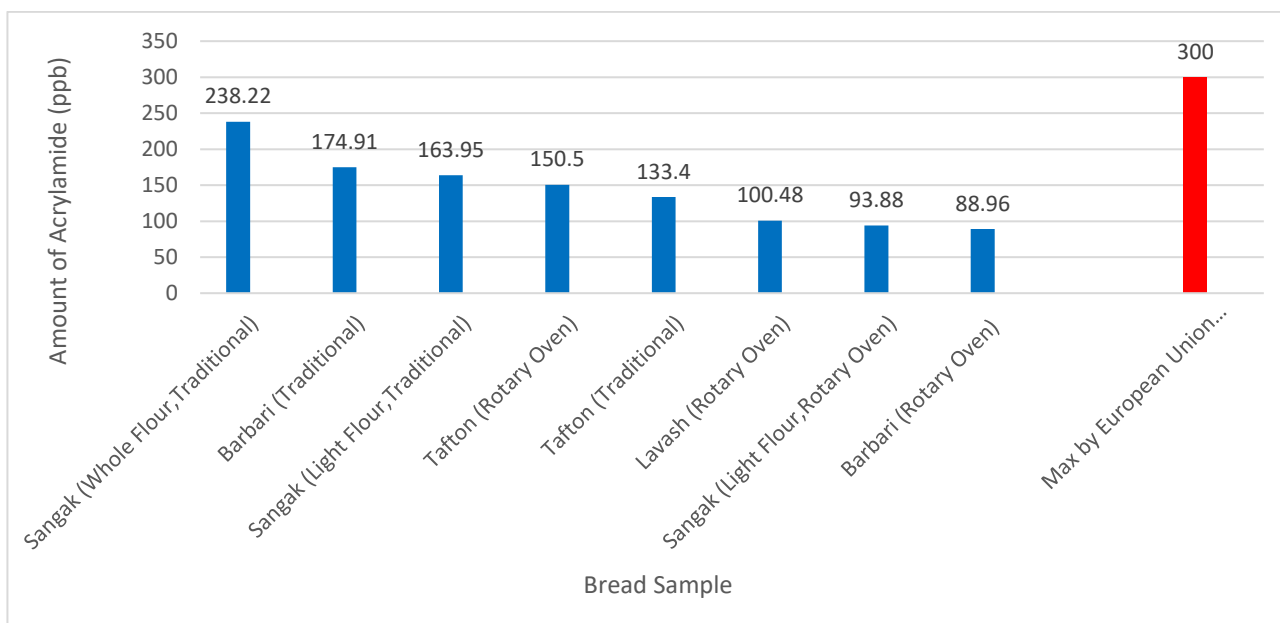


Figure 8- Comparison of the amount of acrylamide of the studied breads regardless of fermentation time (ppb)

بیشتری است، همچنان میانگین مقدار اکریل آمید ۶۲ ppb کمتر از ماکزیمم مقدار تعیین شده توسط کمیسیون اتحادیه اروپا می‌باشد. شایان ذکر است که تنوع نان‌های مسطح تولید شده در کشور در رژیم غذایی افراد نیز دیده شده لذا علیرغم مصرف بالای نان در کشور، متوسط میزان دریافتی اکریل آمید بسیار کمتر از حدود تعیین شده بوده و در محدوده استانداردهایی که تاکنون تدوین گردیده می‌باشد.

گرچه همواره بر دریافت مقادیر کمتر اکریل آمید طی رژیم غذایی توصیه شده، مقادیر بدست آمده در انواع نان مورد بررسی از نظر سلامتی مخاطره آمیز نبوده و بسیار کمتر از ماکزیمم مقدار تعیین شده می‌باشد. بطوریکه در نان سنگک سبوس‌دار پخته شده در تنور با حرارت شعله مستقیم که در مقایسه با دیگر انواع نان با توجه به نوع آرد مصرفی و شیوه پخت با حرارت مستقیم دارای مقدار اکریل آمید

<sup>3</sup> Crispbread

<sup>1</sup> COMMISSION REGULATION (EU) 2017/2158

<sup>2</sup> Soft bread

## بررسی اثر زمان تخمیر بر میزان اکریل آمید نان

طبق نتایج بدست آمده در همه نان‌های مسطح مورد مطالعه صرف نظر از شیوه پخت با طولانی شدن زمان تخمیر مقدار اکریل آمید بطور قابل توجهی کاهش یافته است. بطوریکه متوسط درصد کاهش طی تخمیر، ۱۴/۲۱ درصد در نان لواش، ۲۳/۰۴ درصد در نان بربری، ۲۹/۳۹ درصد در نان سنگک (آرد سبوس دار)، ۳۱/۷۷ درصد در نان تافتون و ۴۰/۹۹ درصد در نان سنگک (آرد روشن) بوده است.

بر اساس مطالعات انجام شده، آسپاراژین آزاد موجود در آرد گندم، تاثیرگذارترین عامل برای تشکیل اکریل آمید در دماهای بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتیگراد در فرآورده های غلات از جمله نان می باشد که با افزایش زمان تخمیر مصرف آسپاراژین آزاد توسط مخمر افزایش یافته و بالطبع شاهد کاهش در مقدار تشکیل اکریل آمید با گذشت زمان و طولانی شدن فرآیند تخمیر هستیم. از سوی دیگر مطالعات مختلف مشخص کرده که اثر کاهشی مقدار اکریل آمید در نان بدلیل فرآیندهای تخمیری ناشی از باکتری های اسید لاکتیک و مخمرها بیش از مصرف پیش‌سازهایی چون آسپاراژین و قندهای احیا توسط میکروارگانیسم ها بدلیل کاهش pH می‌باشد. مطالعاتی نیز نشان داده که فعالیت باکتری‌های اسید لاکتیک باعث افزایش قابل توجه در غلظت گلوکز می‌گردد که ناشی از تجزیه ساکارز یا نشاسته بوسیله آمیلوزها و باکتری‌های اسید لاکتیک می‌باشد (ناچی و همکاران ۲۰۱۸).

مصطفی و همکاران (۲۰۰۹) که اثر متقابل زمان تخمیر و افزودن آسپاراژین را بر مقدار اکریل آمید نان مورد بررسی قرار دادند گزارش کردند که مقدار قندهای احیا کننده بطور معنی‌داری با افزایش زمان تخمیر کاهش یافت. گرچه روند تغییرات مقدار قندهای احیا کننده در خمیر تخمیر شده حاوی مقادیر کم و زیاد آسپاراژین افزوده شده مشابه بود، افزودن مقادیر کم آسپاراژین تأثیر معنی‌داری بر کاهش قندهای احیا کننده نداشت. با این حال، هنگام ارزیابی برهمکنش آن با زمان تخمیر، تأثیر کوچک اما قابل توجهی بر محتوای قندهای احیا کننده مشاهده گردید که نشان می‌دهد که اثر کاهشی زمان تخمیر بر محتوای قندهای احیا کننده به سطح آسپاراژین در سیستم بستگی دارد. گزارش شده است که مخمر در طی تخمیر برای فعالیت

متابولیکی خود آسپاراژین را مصرف می‌کند. محتوای آسپاراژین موجود در این سیستم ممکن است فعالیت متابولیک را تسهیل کرده و در نتیجه منجر به افزایش مصرف قندها در طول تخمیر شود. لذا یک همبستگی قوی و ثابت بین محتوای قندهای احیا کننده در خمیر و زمان تخمیر، صرف نظر از مقدار آسپاراژین موجود گزارش گردید. طبق مطالعات این محققین زمان تخمیر اثر کاهشی قابل توجهی بر سطح قندهای احیا کننده در خمیر دارد، اما این اثر نشان‌دهنده تأثیر بر سطح اکریل آمید نان نبوده چراکه طبق مطالعات مختلف آسپاراژین پیش‌ساز حیاتی برای تشکیل اکریل آمید در محصولات غلات است و به همین دلیل سطح آسپاراژین در خمیر با سطح اکریل آمید در نان همبستگی زیادی نشان داد.

طبق مطالعه انجام شده توسط واحدی و کبارفرد (۱۳۹۴) درجه استخراج آرد و زمان تخمیر به طور معناداری بر میزان آسپاراژین در سبوس تأثیرگذار بوده و مناسبترین زمان تخمیر برای کاهش آسپاراژین آزاد در خمیر نان سنگک ۱۱۰ دقیقه گزارش شد. همچنین گزارش شد که تخمیر مخمری بیش از حد (۳ ساعت) با توجه به محدود بودن ظرفیت مخمر برای مصرف آسپاراژین آزاد، نه تنها در کاهش اکریل آمید مؤثر نیست بلکه باعث تضعیف شبکه گلوتمی و کاهش حجم نان می‌شود.

ونگ و همکاران (۲۰۱۶) که اثر تخمیر مخمر بر تشکیل اکریل آمید در نان گندم را مورد بررسی قرار دادند نیز گزارش کردند که تخمیر مخمر مقدار آسپاراژین را به میزان ۶۰ - ۴۰ درصد در خمیر کاهش داده، افزایش اندک در محتوای قند احیا کننده پس از تخمیر با کاهش زیادی در محتوای آسپاراژین همراه بود که منجر به کاهش محتوای اکریل آمید در نان شد و مشخص گردید که آسپاراژین پیش‌ساز حیاتی برای تشکیل اکریل آمید در فرآورده‌های آردی است. از این رو افزودن مخمر به آرد در حین تهیه نان یک راه مؤثر برای کاهش محتوای اکریل آمید محصول نهایی گزارش گردید.

زو و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی کاهش محتوای اکریل آمید در نان گندم با ترکیب لاکتوباسیل و ساکارومایسس سرویزیه در خمیر ترش در مقایسه با تخمیر طبیعی پرداختند و گزارش کردند که افزودن سویه ها در خمیر ترش می‌تواند محتوای اکریل آمید نان ها را ۲۴/۳۸ تا

طی پژوهش انجام شده روی ویفر مشخص گردید که در صورتیکه به جای آرد با ۰/۵۵ درصد خاکستر از آرد با ۱/۰۵ درصد خاکستر استفاده شود ساخت اکریل آمید به دو برابر افزایش می‌یابد (ناچی و همکاران ۲۰۱۶).

اگرچه اکثر تحقیقات انجام شده اشاره بر نقش کلیدی اسپاراژین بر تشکیل اکریل آمید در نان دارد واحدی و کبارفرد (۱۳۹۴) قندهای احیاکننده را بعنوان فاکتور اصلی جهت ساخت اکریل آمید در نان سنگگ معرفی کرده و اظهار نمودند که نقش ویژه قندها در خمیرهای تهیه شده از آرد ۹۳ درصد که ۶۸/۷۱ درصد گلوکز بیشتری نسبت به خمیر تهیه شده از آرد ۸۲ درصد دارد برجسته تر می‌باشد.

سبوس گندم حاوی ترکیبات ارزشمند و مغذی بسیاری همچون فیبر غذایی، پروتئین ها و ترکیبات فنولیک با ویژگی‌های آنتی اکسیدانی می‌باشد. فیبرهای غذایی موجب بهبود اثرات رخوت، کاهش کلسترول خون و کاهش گلوکز می‌شوند (شیخ الاسلامی کندلوسی و همکاران ۲۰۱۶). از این رو تمایل افراد جامعه به مصرف نان سبوس‌دار و آردهایی با درجه استخراج بالا بدلیل عوامل تغذیه‌ای و اثرات مفید بر سلامتی افزایش یافته است. طبق مطالعه حاضر اگر چه میزان اکریل آمید در نان سنگگ تهیه شده از آرد سبوس‌دار بدلیل داشتن مقدار بیشتر اسپاراژین آزاد بیشتر از آرد روشن است اما مقادیر بدست آمده همچنان کمتر از محدوده تعیین شده در کمیسیون اتحادیه اروپا می‌باشد. با این حال پیشنهاد می‌گردد برای تهیه نان سنگگ از آرد با درجه استخراج کمتر با زمان تخمیر طولانی برای به حداقل رساندن مقدار اکریل آمید استفاده نمود.

#### نتیجه‌گیری

اکریل آمید بواسطه ایجاد جهش در ژنها و ایجاد سرطان، آسیب به سیستم ایمنی و عصبی یکی از نگرانی‌های عمده در مورد سلامت انسان بوده و نان یکی از منابع مهم دریافت اکریل آمید برای انسان محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت و میزان مصرف نان در ایران و نگرانی‌های ناشی از اکریل آمید تحقیق حاضر درخصوص میزان اکریل آمید نان‌های رایج مورد مصرف در کشور انجام شده و طبق نتایج بدست آمده مقدار اکریل آمید در تمام نان‌های مورد بررسی کمتر از حد تعیین شده توسط کمیسیون اتحادیه اروپا می‌باشد. لذا

۵۸/۸۳ درصد کاهش دهد و مقدار pH خمیر ترش به طور مستقیم بر تشکیل اکریل آمید در نان تأثیرگذار است. علیرغم همبستگی معنی‌داری بین محتوای پروتئین و اکریل آمید، ارتباط معنی‌داری بین اکریل آمید و میزان قند کاهنده مشاهده نشد.

#### بررسی اثر نوع تنور (حرارت شعله مستقیم و غیرمستقیم) بر میزان اکریل آمید نان

شیوه پخت نان و بعبارت بهتر نوع تنور مورد استفاده برای پخت نان بدلیل تفاوت در میزان و نوع حرارت اعمال شده که می‌تواند شعله مستقیم (تنورهای سنتی) یا شعله غیرمستقیم (فرگردان) باشد و همچنین زمان پخت که بسته به میزان حرارت اعمال شده متفاوت است بر میزان تشکیل اکریل آمید در نان اثر معنی‌دار دارد.

در نان‌های بربری و سنگگ بکارگیری فرگردان بر کاهش میزان اکریل آمید نان تأثیر معنی‌داری داشته است. بطوریکه میزان اکریل آمید در نان بربری فرگردان در مقایسه با تنور سنتی صرف نظر از زمان تخمیر ۴۹/۱۴ درصد کاهش یافته که میزان بسیار قابل توجهی می‌باشد. در مورد نان سنگگ نیز متوسط میزان اکریل آمید در نانویی‌های با تنور سنتی ۱۶۳/۹۵ ppb و در نانویی‌های فرگردان ۹۳/۸۸ ppb بدست آمد که صرف نظر از زمان تخمیر کاهش ۴۲/۷۴ درصدی در میزان اکریل آمید ملاحظه می‌گردد. در نانویی تافتون تفاوت در شیوه پخت تغییر چشمگیری بر میزان اکریل آمید ایجاد نکرده است. لذا با توجه به نتایج بدست آمده استفاده از فرگردان می‌تواند جایگزین مناسبی برای تنورهای سنتی جهت کاهش تشکیل اکریل آمید در نان، طی فرآیند پخت باشد.

#### بررسی اثر درجه استخراج آرد بر میزان اکریل آمید نان

طبق نتایج بدست آمده در نان سنگگ تهیه شده از آرد با میزان خاکستر بالاتر مقدار اکریل آمید تشکیل شده بیشتر می‌باشد. در واقع میزان خاکستر بیشتر در آرد نشاندهنده درجه استخراج بالاتر آرد می‌باشد و با افزایش درجه استخراج میزان پروتئین بویژه اسیدآمینیه اسپاراژین که عامل کلیدی در واکنش تشکیل اکریل آمید می‌باشد بیشتر خواهد بود. به همین دلیل میزان اکریل آمید در نان‌های تهیه شده با آرد سبوس‌دار بیشتر از نان‌های تهیه شده با آرد روشن بدست آمده است.



**تشکر و قدردانی**

مقاله فوق مستخرج از طرح پژوهشی شرکت مادر تخصصی بازرگانی دولتی ایران با کد رهگیری سمات ۲۱۴۰۸۶-۱۳۷۶۳ می‌باشد که بدینوسیله از شورای پژوهش شرکت مادر تخصصی بازرگانی دولتی ایران تقدیر و تشکر می‌گردد.

علیرغم مصرف بالای نان در کشور، متوسط میزان دریافتی اکریل آمید بسیار کمتر از حدود تعیین شده بوده و در محدوده استانداردهایی که تاکنون تدوین گردیده می‌باشد.

**References**

- شیخ الاسلامی کندلوسی م، محمدزاده میلانی ج و سیدجعفرنظری س س، ۱۳۹۵. اندازه گیری میزان اکریل آمید در نان‌های رایج ایران. نشریه فرآوری و تولید مواد غذایی، سال ششم، شماره ۲، ۱۵ - ۲۶ .
- عاشوری م، قراچورلو م و هنرور م، ۱۴۰۰. تأثیر نوع روغن بر میزان تشکیل اکریل آمید در سیب زمینی سرخ شده. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی جلد ۳۱، شماره ۴، ۱۵۵-۱۶۸. [doi: http://doi.org/10.22034/FR.2021.42255.1767](http://doi.org/10.22034/FR.2021.42255.1767)
- واحدی ح، عزیزی م ح، کبارفرد ف، برزگر م، حمیدی اصفهانی ز و حامدی م، ۱۳۹۱. تأثیر درجه استخراج آرد و مدت زمان تخمیر بر کاهش اسپارژین آزاد در خمیر نان سنگک. علوم غذایی و تغذیه، سال نهم، شماره ۴، ۲۰ - ۱۳ .
- واحدی ح و کبارفرد ف، ۱۳۹۴. بررسی عوامل مؤثر بر تشکیل و کاهش اکریل آمید در نان. مجله تعالی بالینی، دوره چهارم ویژه نامه ایمنی غذا از مزرعه تا سفره، ۱۶ - ۱ .
- Eriksson S, 2005. Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology. Institutionen för miljö kemi.
- Halford NG and Curtis T, 2019. Acrylamide In Food, World Scientific Publishing Company.
- Hogervorst JG, Baars BJ, Schouten LJ, Konings EJ, Goldbohm RA and van den Brandt PA, 2010. The carcinogenicity of dietary acrylamide intake: a comparative discussion of epidemiological and experimental animal research. Critical reviews in toxicology 40(6): 485-512. doi: <http://doi.org/10.3109/10408440903524254>
- Keramat J, Lebail A, Prost C and Soltanizadeh N, 2011. Acrylamide in foods: chemistry and analysis. A review. Food and bioprocess technology 4: 340-363. doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0470-x>
- Lingnert H, 2002. Acrylamide in food: Mechanisms of formation and influencing factors during heating of food. Scandinavian Journal of Nutrition 46 (4): 159- 172. doi: <https://doi.org/10.1080/110264802762225273>
- Miller MS and Spencer PS, 1985. The mechanisms of acrylamide axonopathy. Annual Review of Pharmacology and Toxicology 25: 643-666.
- Mucci L, Dickman P, Steineck G, Adami H and Augustsson K, 2003. Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney, and bladder: absence of an association in a population-based study in Sweden. British Journal of Cancer 88: 84. doi: <http://doi.org/10.1038/sj.bjc.6600726>
- Mustafa A, Fink M, Kamal-Eldin A, Rosen J, Andersson R and Aman P, 2009. Interaction effects of fermentation time and added asparagine and glycine on acrylamide content in yeast-leavened bread. Food Chemistry 112: 767 - 774. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.099>
- Nachi I, Fhoula I, Smida I, Taher IB and Chouaibi M, 2018. Assessment of lactic acid bacteria application for the reduction of acrylamide formation in bread. LWT - Food Science and Technology 92: 435- 441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.061>

- Taeymans D, Wood J, Ashby P, Blank I, Studer A and Stadler RH, 2004. A review of acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation, and control". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44(5): 323 - 347. doi: <http://doi.org/10.1080/10408690490478082>
- Taghavi N and Yazdi I, 2007. Type of food and risk of oral cancer. *Archives of Iranian Medicine* 10 (2): 227-232.
- Tareke E, Rydberg P and Karlsson P, 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated food stuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (17): 4998 - 5006. doi: <https://doi.org/10.1021/jf020302f>
- Tyla RW, Friedman MA, Losco PE, Fisher, LC, Johnson KA and Strother DE, 2000. Rat two-generation reproduction and dominant lethal study of acrylamide in drinking water. *Reproductive Toxicology* 14: 385-401.
- Wang S, Yu J, Xin Q, Wang S and Copeland L, 2016. Effects of starch damage and yeast fermentation on acrylamide formation in bread. *Food Control* 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.08.002>
- Zhou X, Duan M, Gao S, Wang T, Wang Y, Wang X and Zhou Y, 2022. A strategy for reducing acrylamide content in wheat bread by combining acidification rate and prerequisite substance content of *Lactobacillus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Current Research in Food Science* 5: 1054-1060. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.06.005>