

بررسی عوامل مؤثر بر تشکیل آکریل آمید و بنزو(آ)پیرن در فرایند پخت انواع نان سنتی، نیمه‌صنعتی و صنعتی

سمیرا اسلامی‌زاد¹، فرزاد کبارفرد^{2*}، نیما نادری³، حسن یزدان‌پناه⁴ و^{5*}

- 1- استادیار، مرکز تحقیقات سلامت غذا، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- 2- استاد، گروه شیمی دارویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول (kobarfard@sbmu.ac.ir)
- 3- دانشیار، گروه سم‌شناسی و داروشناسی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- 4- استاد، گروه سم‌شناسی و داروشناسی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- 5- استاد، مرکز تحقیقات سلامت غذا، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول (yazdanpanah@sbmu.ac.ir)

تاریخ دریافت: 1399/11/15
تاریخ بازنگری: 1400/02/21
تاریخ پذیرش: 1400/03/04
تاریخ انتشار برخط: 1400/03/12

چکیده

نان قوت غالب مردم ایران و بسیاری از کشورهای است. آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن به‌عنوان آلاینده‌های مهم نان به‌ترتیب جزء سرطان‌زاهای گروه 2A و گروه 1 طبقه‌بندی شده‌اند. از این رو، با توجه به مصرف بالای نان در کشورمان و اثرات سرطان‌زایی این سموم، عوامل مؤثر بر تشکیل این ترکیبات در فرایند پخت نان بررسی شد. در این مطالعه آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن موجود در 126 نمونه نان سنگک سنتی، نان سنگک نیمه‌صنعتی و نان صنعتی (نان همبرگر) جمع‌آوری شده از شهرهای تهران و شیراز تعیین مقدار گردید، سپس تأثیر عوامل مختلف روی میزان آلودگی نان به این دو ترکیب و همچنین ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید موجود در نان بررسی شد. نتایج نشان دادند اختلاف معنی‌داری در میزان آکریل‌آمید انواع نان‌های بررسی شده، وجود داشت ($P < 0/001$). همچنین اختلاف معنی‌داری نیز بین میزان بنزو(آ)پیرن موجود در نان‌های سنگک سنتی و نان‌های صنعتی مشاهده شد ($P < 0/05$). از طرف دیگر بین دمای پخت و میزان بنزو(آ)پیرن موجود در نان‌های سنگک نیمه‌صنعتی شیراز رابطه معنی‌دار آماری وجود داشت ($P < 0/05$). همچنین ارتباط خطی معنی‌داری بین غلظت‌های آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن در نمونه‌های نان سنگک سنتی تهران مشاهده شد. بررسی نتایج این مطالعه نشان داد کاهش میزان درجه‌حرارت و استفاده از روش پخت مناسب می‌توانند فاکتورهای مهمی جهت پیشگیری از تولید آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن در نمونه‌های نان باشند.

واژه‌های کلیدی

ایران
آکریل‌آمید
بنزو(آ)پیرن
نان سنتی
نان صنعتی

مقدمه

نان قسمت عمده نیازهای غذایی انسان را تأمین می‌کند (هادیان و عزیز، 1390).

در تغذیه مردم ایران نیز نان و محصولات آردی مهم‌ترین منبع غذایی و تأمین‌کننده قسمت عمده کالری، پروتئین و ویتامین‌های گروه B بوده و از نظر مواد معدنی

نان قسمت مهمی از غذای روزانه بشر را تشکیل می‌دهد. در بعضی از کشورهای در حال توسعه و توسعه‌نیافته، نان و محصولات تهیه‌شده از غلات تا 80 درصد قوت غالب مردم را تشکیل می‌دهد و تقریباً در نیمی از کشورهای جهان

منجر به تشکیل آکریل آمید می‌شود (کوشکی، محمدیان و کوهی کمالی، 1391).

از دیدگاه آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC⁷) آکریل آمید جزء ترکیبات سرطان‌زا گروه 2A (به احتمال قوی سرطان‌زا برای انسان) (International Agency for Research on Cancer, 1994) طبقه‌بندی شده است.

غذاهایی که منجر به ورود آکریل آمید به بدن افراد می‌شود از کشوری به کشور دیگر بسته به الگوهای مختلف رژیم غذایی و روش‌های فرآوری و آماده‌سازی غذاها متفاوت هستند. با این وجود مطالعه‌های انجام شده در رابطه با میزان ورود آکریل آمید به بدن افراد نشان می‌دهد که سیب‌زمینی سرخ‌کرده، نان و شیرینی‌ها، قهوه و غلات صبحانه غذاهایی هستند که نقش مهمی را در مواجهه افراد با آکریل آمید از طریق رژیم غذایی بازی می‌کنند. سایر غذاها کمتر از 10 درصد در ورود آکریل آمید از طریق رژیم غذایی نقش دارند (Authority, 2011; Claeys *et al.*, 2010; Vinci, Mestdagh, & De Meulenaer, 2012; World Health Organization, 2011).

یکی دیگر از ترکیبات به شدت سرطان‌زا، بنزو(ا)پیرن (با فرمول شیمیایی $C_{20}H_{12}$) می‌باشد که یک هیدروکربن آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) است که در ساختار خود دارای پنج حلقه بنزنی بوده و متابولیت‌های آن موتاژن است. این ماده از طرف IARC به‌عنوان سرطان‌زای گروه 1 شناخته شده است (International Agency For Research On Cancer, 2010). ترکیبات PAHs ممکن است در غذا در نتیجه تجزیه حرارتی برخی از اجزاء غذایی (همانند تری‌گلیسرید، اسیدهای چرب، استروئیدها، کلسترول و اسیدهای آمینه) تولید شوند (Chen & Chen, 2001).

مواد سوختی و گازهای حاصل از احتراق مستقیم مواد سوختی (چوب، زغال‌سنگ، گاز، گازوئیل و مازوت) و یا انرژی الکتریکی که برای پختن نان استفاده می‌شوند نیز ممکن است در روش شعله مستقیم با نان برخورد کنند و سوخت ناقص آنها و نشت این ترکیبات روی مواد غذایی در درجه حرارت بالا سبب تولید هیدروکربن‌های آروماتیک

نیز دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (رجب‌زاده، 1395). مصرف سرانه نان روزانه در ایران به‌طور میانگین 310 گرم می‌باشد (عبادی، 1395).

در مراحل مختلف تهیه نان، مواد خام و نان فرآوری شده ممکن است به طرق مختلف آلوده شوند. از این آلاینده‌ها می‌توان به آلودگی با فلزات سنگین از جمله سرب، کادمیوم و نیکل (Khaniki, Yunesian, Mahvi, & Nazmara, 2005)، آلودگی نان با مایکوتوکسین‌ها مانند داکسی‌نیوالنول¹، زیرالنون²، نیوالنول³ و اکراتوکسین⁴ (Pacin, Bovier, Cano, Taglieri, & Pezzani, 2010; Patel, 2008; Scudamore, Hazel, Patel, & Scriven, 2009)، آلودگی نان با هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs⁵) از جمله بنزو(ا)پیرن (Ahmed, Hadi, El Samahy, & Youssof, 2000; Al-Rashdan, Helaleh, Nisar, Ibtisam, & Al-Ballam, 2010; Eslamizad, Kobarfard, *et al.*, 2016; Eslamizad, Yazdanpanah, *et al.*, 2016; Kayali-Sayadi, Rubio-Barroso, Garcia-Iranzo, & Polo-Diez, 2006; Rey-Salgueiro, Garcia-Falcón, Martínez-Carballo, & Claus, 2008) و آلودگی با آکریل آمید (Simal-Gándara, Carle, & Schieber, 2008; Eslamizad, Kobarfard, Tabib, Yazdanpanah, & Salamzadeh, 2020; Eslamizad *et al.*, 2019; Keramat, LeBail, Prost, & Jafari, 2011; Mustafa, Kamal-Eldin, Petersson, Andersson, & Åman, 2008) اشاره کرد.

آکریل آمید (یا آکرلیک‌آمید) یک ترکیب شیمیایی با فرمول شیمیایی C_3H_5NO است (Codex Alimentarius, 2021). این ترکیب در غذاهای غنی از هیدروکربن در شرایطی که در دمای بالا (بالاتر از 120 درجه سانتی‌گراد) به‌صورت سرخ‌کردن، بریان کردن و پختن فرآوری می‌شوند حضور دارد (Commission of the european communities, 2007). آکریل آمید در غذا طی واکنش میلارد تولید می‌شود (Mottram, Wedzicha, & Dodson, 2002; Stadler *et al.*, 2002). در این راستا گروه کربونیل فندهای احیاکننده با گروه آمین اسیدهای آمینه مخصوصاً آسپارژین آزاد وارد واکنش شده و واسطه باز شیف را ایجاد می‌کند که طی دکربوکسیلاسیون⁶ در مراحل بعدی

¹ Deoxynivalenol

² Zearalenone

³ Nivalenol

⁴ Ochratoxin

⁵ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

⁶ Decarboxylation

⁷ International Agency for Research on Cancer

در مطالعه حاضر نان‌های سنگک سنتی با روش حرارت مستقیم و در دمای بین 242 تا 352 درجه سانتی‌گراد پخت شدند. نان‌های سنگک نیمه‌صنعتی در محدوده دمایی 160 تا 470 درجه سانتی‌گراد و به روش حرارت غیرمستقیم در تنوره‌های ریلی پخت شدند. حرارت‌دهی در نان‌های صنعتی به‌طور غیرمستقیم و با استفاده از جریان هوای داغ در فر انجام می‌شود. دستگاه پخت نان سنگک نیمه‌صنعتی دارای یک کوره مرکزی بوده که توسط گاز حرارت لازم را جهت گرم کردن قسمت بالایی و پایینی کوره تأمین می‌کند. هوای داغ تولیدشده توسط این کوره جهت گرم کردن بخش بالایی و زیرین (صفحات داغ) کوره به‌صورت چرخشی دوران می‌کند، حداکثر دمای مورد استفاده برای تهیه این نان‌ها 220 درجه سانتی‌گراد بود.

آسیاب و همگن‌سازی نمونه‌های نان

نمونه‌های نان پس از جمع‌آوری در دمای 20- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها بلافاصله پس از خارج شدن از فریزر با استفاده از دستگاه آسیاب (آسان توس شرق، مدل 1000، ساخت ایران)، به ذرات ریز تبدیل‌شده و همگن شدند.

تعیین مقدار آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن

در این مطالعه آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن موجود در نان پس از بهینه‌سازی و اعتبارسنجی مراحل استخراج و خالص‌سازی روش به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های کروماتوگرافی مایع-طیف‌سنج جرمی (کروماتوگرافی گازی Agilent، مدل 1200 همراه با طیف‌سنج جرمی Agilent Triple Quadrupole 6410، ساخت آمریکا) و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی (کروماتوگرافی گازی Agilent، مدل 7890A همراه با طیف‌سنج جرمی Agilent Triple-Quad 7000، ساخت آمریکا) تعیین مقدار شدند (Eslamizad, Kobarfard, et al., 2016; Eslamizad et al., 2019; 2020).

روش استخراج و خالص‌سازی آکریل‌آمید

روی 1 گرم نمونه نان، استاندارد داخلی و متانول به‌عنوان حلال استخراج اضافه شد، پس از اختلاط کامل و انجام

چندحلقه‌ای گردد (خوش‌طینت و پایان، 1374).

براساس مطالعات انجام‌شده در فرانسه عوامل اصلی مواجهه با ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در بزرگسالان، چربی، نان، محصولات تهیه‌شده از نان خشک‌شده و سپس مصرف جانوران سخت‌پوست و نرم‌تن می‌باشد (Nie et al., 2014). در تایوان سه منبع اصلی مواجهه با ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای از طریق رژیم غذایی عبارتند از: سبزی‌ها، آرد گندم و میوه‌ها، که 75/95 درصد از سهم دریافت ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای از کل مواد غذایی را دارا می‌باشند (Veyrand et al., 2013).

همان‌طور که ذکر شد آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن از جمله ترکیباتی هستند که در حین فراوری در مواد غذایی نیز تولید می‌شوند و نان یکی از مهم‌ترین مواد غذایی است که ممکن است به این دو ترکیب آلوده گردد. از آنجاکه نان به‌عنوان قوت غالب مردم کشورمان به حساب می‌آید بررسی میزان تشکیل آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن و همچنین عوامل مؤثر در میزان تشکیل این سموم و ارتباط بین میزان تشکیل آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. باتوجه به بررسی‌های صورت‌گرفته، پژوهش حاضر اولین مطالعه در مورد ارزیابی عوامل مؤثر در تشکیل آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن در فرایند پخت نان سنگک و همچنین بررسی رابطه بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در نان است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

126 نمونه نان سنگک سنتی، نان سنگک نیمه‌صنعتی و نان صنعتی از شهرهای تهران و شیراز جمع‌آوری گردید. نمونه‌های شهر شیراز شامل 65 نمونه (41 نمونه نان سنگک نیمه‌صنعتی و 24 نمونه نان سنگک سنتی) بود. نمونه‌های شهر تهران شامل 31 عدد نان سنگک سنتی و 30 بسته نان صنعتی (نان همبرگر) بود که به‌ترتیب از نانوایی‌های سنگکی و سوپرمارکت‌های شهر تهران جمع‌آوری شدند. جهت بررسی عوامل تأثیرگذار روی میزان تشکیل آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن پرسشنامه‌ای تهیه گردید که در هنگام نمونه‌برداری تکمیل شد.

نتایج و بحث

بنزو(آ)پیرن

میانگین غلظت بنزو(آ)پیرن در نمونه‌های نان سنگک سنتی تهران و شیراز، نان‌های سنگک نیمه‌صنعتی شیراز و نان‌های صنعتی تهران به ترتیب 0/83، 0/50 و 0/25 نانوگرم بر گرم بود. نتایج آنالیز آماری پرسشنامه تهیه‌شده برای نمونه نان‌های شهر شیراز در **جدول‌های (1) تا (3)** نشان داده شده است.

نتایج آزمون مجذور کای در **جدول (1)** نشان می‌دهد که بین میزان پخت و استفاده از مخمر نانویی در فرمولاسیون با میزان آلودگی نان به بنزو(آ)پیرن (نمونه‌های حاوی بنزو(آ)پیرن به میزان بالاتر از حد تعیین مقدار به‌عنوان نمونه‌های آلوده در نظر گرفته شدند) در نان سنگک سنتی شیراز اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد، هرچند که میزان بنزو(آ)پیرن با افزایش درجه پخت اندکی افزایش یافت اما از نظر آماری قابل توجه نبود.

نتایج آزمون مجذور کای در **جدول (2)** نشان داد که بین میزان پخت و وجود مخمر با آلودگی نان به بنزو(آ)پیرن در نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز به‌عنوان متغیر وابسته ارتباط آماری معنی‌داری وجود نداشت.

جهت بررسی ارتباط بین مدت‌زمان پخت نان و مدت‌زمان آماده‌سازی خمیر با میزان بنزو(آ)پیرن از آزمون همبستگی استفاده شد. نتایج آزمون همبستگی نشان می‌دهد که بین مدت زمان پخت نان و مدت زمان آماده‌سازی خمیر با میزان بنزو(آ)پیرن در نان سنگک سنتی شیراز اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد که براساس مطالعه‌های انجام‌شده دمای پخت نسبت به زمان پخت تأثیر بیشتری روی تشکیل هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای دارد (Min, Patra, & Shin, 2018).

همچنین نتایج آزمون همبستگی نشان می‌دهد که میزان بنزو(آ)پیرن در نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز با دمای پخت ارتباط معنی‌داری داشت ($P < 0/05$). علاوه بر این نتایج این آزمون نشان می‌دهد که بین مدت‌زمان پخت نان و مدت زمان آماده‌سازی خمیر با میزان بنزو(آ)پیرن در نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز ارتباط معنی‌دار آماری وجود ندارد (**جدول 3**).

سانتریفیوژ (Hettich، مدل Rotinta 380R، ساخت آلمان)، محلول رویی به‌طور کامل برداشته شد. به‌عصاره حاصله محلول کارز 1 و 2 اضافه شد و پس از اختلاط کامل¹ PSA اضافه گردید، مجدد محلول سانتریفیوژ و عصاره حاصله تبخیر شد و درنهایت عصاره با آب دیونیزه به حجم 0/5 سی‌سی رسانده شد و 70 میکرولیتر آن به دستگاه تزریق شد (Eslamizad et al., 2020).

روش استخراج و خالص‌سازی بنزو(آ)پیرن

5 گرم نمونه نان توزین شد و به آن استاندارد داخلی، آب دیونیزه و استن اضافه شد. نمونه به‌طور کامل مخلوط و سپس سولفات منیزیم بدون آب و سدیم کلراید اضافه گردید، بعد از اختلاط کامل، نمونه سانتریفیوژ و کل محلول رویی به فالکون حاوی سولفات منیزیم بدون آب و PSA منتقل شد. بعد از اختلاط کامل و انجام سانتریفیوژ مجدد، حلال باقی‌مانده تبخیر گردید. به‌عصاره حاصله 100 میکرولیتر استن اضافه و 2 میکرولیتر آن بعد از همگن‌سازی با دستگاه فراصوت (Elma، ساخت آلمان) به مدت 2 دقیقه با فرکانس 37 کیلوهرتز، به دستگاه تزریق گردید (Eslamizad, Yazdanpanah, et al., 2016).

بررسی تأثیر عوامل مختلف روی میزان آلودگی نان به آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن و ارتباط احتمالی میزان تشکیل این دو ترکیب در نان

پس از تعیین مقدار آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن موجود در نان، تأثیر عوامل مختلف از جمله دما و زمان پخت، درجه پخت (خام، معمولی، برشته و بسیار برشته)، مدت‌زمان آماده‌سازی خمیر و استفاده از مخمر نانویی در فرمولاسیون بر میزان آلودگی نان به آکریل‌آمید و بنزو(آ)پیرن و همچنین ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در نان (نان سنگک سنتی تهران و شیراز و نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز) بررسی شد. آنالیز آماری این اطلاعات با استفاده از تست‌های آماری مجذور کای، آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون همبستگی در نرم‌افزارهای SPSS نسخه 17 و Prism و GraphPad نسخه 6 انجام گرفت.

¹ Bondesil-primary secondary amine

جدول 1- تأثیر درجه پخت و وجود مخمر بر میزان بنزو(آ)پیرن در نان سنگک سنتی شیراز

عوامل تأثیرگذار	تعداد نمونه‌های غیرآلوده (درصد)	تعداد نمونه‌های آلوده (درصد)	P value
درجه پخت	0	0	0/91
	12 (85/7)	2 (14/3)	
	11 (84/6)	2 (15/4)	
وجود مخمر	1 (100)	0 (0)	0/127
	22 (88)	3 (12)	
	2 (50)	2 (50)	

جدول 2- تأثیر میزان پخت و وجود مخمر روی میزان بنزو(آ)پیرن در نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز

عوامل تأثیرگذار	تعداد نمونه‌های غیرآلوده (درصد)	تعداد نمونه‌های آلوده (درصد)	P value
درجه پخت	0	0	0/47
	24 (82/8)	5 (17/2)	
	13 (92/9)	1 (7/1)	
وجود مخمر	4 (100)	0 (0)	0/87
	40 (77)	6 (13)	
	1 (100)	0 (0)	

جدول 3- ارتباط بین دمای پخت، مدت‌زمان پخت نان و مدت‌زمان آماده‌سازی خمیر با میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز

متغیرها	غلظت بنزوآپیرن	غلظت آکریل‌آمید
دمای پخت	Person Correlation	0/113
	P value	0/474
زمان پخت	Person Correlation	0/079
	P value	0/605
مدت زمان آماده‌سازی خمیر	Person Correlation	-0/019
	P value	0/897

(برشته‌کردن با استفاده از تنور برقی) را بررسی کردند. براساس نتایج این مطالعه بنزو(آ)پیرن در نان‌های برشته‌شده به روش غیرمستقیم در آون برقی در دمای 200 درجه سانتی‌گراد و توستر در دمای 250 تا 270 درجه سانتی‌گراد یافت نشده است. میانگین غلظت بنزو(آ)پیرن در نان‌های پخته‌شده در کوره مافل¹ در دمای 300 و 500 درجه سانتی‌گراد به ترتیب 0/5 و 0/8 میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Rey Salgueiro *et al.*, 2008).

Hakami و همکاران (2014) ارتباط روش‌های پخت و سرطان سلول‌های مری را در منطقه‌ای با ریسک بالا در ایران بررسی کردند. این محققان با استفاده از پرسشنامه‌ای معتبر، غذاهای مصرفی و روش‌های پخت را

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تأثیر پارامترهای مختلف روی میزان بنزو(آ)پیرن موجود در نان نشان داد بین دما و میزان بنزو(آ)پیرن موجود در نان‌های سنگک نیمه‌صنعتی شیراز ارتباط معنی‌دار آماری وجود داشت ($P < 0/05$). همچنین ارتباط معنی‌داری نیز بین میزان بنزو(آ)پیرن موجود در نان‌های سنگک سنتی و نان‌های صنعتی مشاهده شد ($P < 0/05$).

مطالعه‌های مختلفی نشان می‌دهند میزان دما با مقدار بنزوآپیرن تولیدشده ارتباط دارد. Rey Salgueiro، Simal-Gandara و Martinez-Carballo، García-Falcon (2008) تأثیر شرایط پخت را روی میزان بنزو(آ)پیرن تولیدشده در نان ساندویچی بررسی کردند. این محققان شرایط برشته‌کردن مستقیم (برشته‌کردن با استفاده از شعله، برشته‌کردن با استفاده از زغال‌سنگ یا برشته‌کردن با استفاده از تنور گازی) و برشته‌کردن غیرمستقیم

¹ Muffle furnace

نتایج به دست آمده از تأثیر پارامترهای مختلف روی میزان آکریل آمید یافت شده در نان نشان داد بین میزان آکریل آمید در انواع نان‌های مورد بررسی، ارتباط معنی دار آماری وجود داشت ($P < 0/001$).

گزارش Krishnakumar و Visvanathan (2014) همبستگی زیادی بین دما و زمان پخت با تولید آکریل آمید را نشان می‌دهند. این محققان نتیجه‌گیری کردند پخت در دمای 260 درجه سانتی‌گراد به مدت 20 دقیقه سبب کاهش تولید میزان آکریل آمید در غذا می‌شود. براساس گزارش این محققان روش‌های بهینه پخت از نظر دما و رطوبت نسبی می‌توانند تا حدود 50 درصد تولید آکریل آمید را نسبت به روش‌های پخت سنتی کاهش دهند. این محققان ادعان کردند انتقال حرارت به روش هدایت و تشعشع نسبت به روش جابجایی حرارت و همچنین ترکیبی از روش‌های جابجایی حرارت و میکروویو با هم تأثیر بیشتری در کاهش تولید آکریل آمید در محصولات نانویی داشت (Krishnakumar & Visvanathan, 2014).

مطالعه‌های موجود نشان می‌دهند دما و روش پخت تأثیر بسیاری بر میزان تشکیل آکریل آمید دارد و با توجه به اینکه در مطالعه حاضر نیز دما و روش‌های پخت متفاوت بودند در نتیجه وجود ارتباط معنی دار بین میزان آکریل آمید و انواع نان‌های مورد بررسی منطقی به نظر می‌رسد.

بررسی ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل آمید در انواع نان (نان سنگگ سنتی تهران و شیراز، نان سنگگ نیمه‌صنعتی شیراز و نان صنعتی تهران)

جهت بررسی ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و نوع نان و همچنین ارتباط بین آکریل آمید و نوع نان از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون تکمیلی توکی استفاده شد. نتایج بررسی بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل آمید با نوع نان و همچنین ارتباط احتمالی آکریل آمید و بنزو(آ)پیرن در نان‌های شهر شیراز و تهران در شکل‌های (1) تا (4) نشان داده شده است.

نتایج آزمون آنالیز واریانس در شکل (1) نشان می‌دهد که بین نوع نان به‌عنوان متغیر مستقل و غلظت بنزو(آ)پیرن به‌عنوان متغیر وابسته اختلاف معنی دار آماری وجود داشت [$P < 0/05$], $f(2, 134) = 62/3$. آزمون تکمیلی توکی نشان داد که بین نان سنگگ سنتی و نان

در سه گروه؛ 40 فرد دارای سرطان مری در منطقه‌ای با ریسک بالا در شمال ایران، 40 فرد سالم از همان منطقه دارای ریسک بالا و 40 فرد سالم از منطقه‌ای با ریسک پایین در جنوب ایران بررسی کردند. این محققان نحوه پخت غذاها را از قبیل جوشاندن، کباب‌کردن، سرخ‌کردن در بین این سه گروه رتبه‌بندی کردند. آنها نتیجه‌گیری کردند که دمای بالای پخت و سرخ‌کردن با افزایش ریسک سرطان مری در منطقه دارای ریسک بالا ارتباط داشت.

از آنجایی که منابع موجود گزارش کردند که ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در مواد غذایی، به‌طور عمده از پیرولیز ترکیبات آلی مانند چربی‌ها، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها در دمای 200 درجه سانتی‌گراد به بالا (به‌خصوص در دمای 500-900 درجه سانتی‌گراد) (Chen, Kao, Chen, Huang, & Chen, 2013) تولید می‌شوند و همچنین اصلاح روش‌های فراوری و کاهش دمای پخت از روش‌های معمول برای کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در غذاست (Zhang, Chen, & Zhang, 2021) در نتیجه ارتباط معنی دار مشاهده شده بین دما و میزان بنزو(آ)پیرن موجود در نان‌های سنگگ نیمه‌صنعتی شیراز و همچنین بین میزان بنزو(آ)پیرن موجود در نان‌های سنگگ سنتی و نان‌های صنعتی به دلیل دمای پخت بالا و متفاوت منطقی به نظر می‌رسد.

آکریل آمید

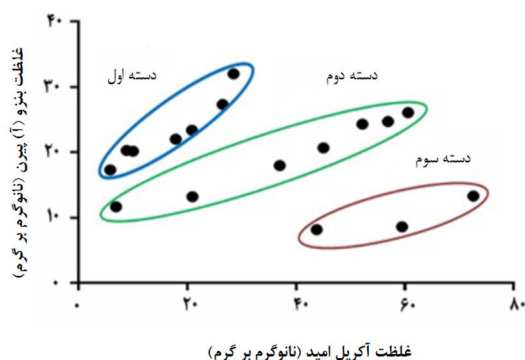
میانگین غلظت آکریل آمید در نمونه‌های نان سنگگ سنتی تهران و شیراز، نان‌های سنگگ نیمه‌صنعتی شیراز و نان‌های صنعتی تهران به ترتیب 26/43، 46/36 و 8/02 نانوگرم بر گرم بود. نتایج آنالیز آماری پرسشنامه تهیه شده برای نمونه نان‌های شهر شیراز نشان داد، بین مدت زمان پخت نان و مدت زمان آماده‌سازی خمیر با میزان آکریل آمید در نان سنگگ سنتی شیراز همبستگی معنی دار آماری وجود ندارد.

جهت بررسی ارتباط بین دمای پخت، مدت زمان پخت نان و مدت زمان آماده‌سازی خمیر با میزان آکریل آمید نیز از آزمون همبستگی استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که بین دمای پخت نان، مدت زمان پخت و مدت زمان آماده‌سازی خمیر با میزان آکریل آمید در نان سنگگ نیمه‌صنعتی شیراز ارتباط معنی دار آماری وجود ندارد.

*** $P < 0/001$ اختلاف معنی‌دار با گروه مورد مقایسه

بررسی ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در نان (نان سنگک سنتی تهران و شیراز و نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز)

جهت بررسی ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در انواع نان، منحنی تغییرات غلظت بنزو(آ)پیرن در مقابل غلظت آکریل‌آمید در نمونه‌های نان در یک محور مختصات رسم شد و از آزمون همبستگی به‌منظور پایش ارتباط احتمالی بین این دو پارامتر استفاده گردید. گرچه برای تمامی نمونه‌ها همبستگی قابل‌ملاحظه‌ای بین غلظت‌های بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید به‌دست نمی‌آید اما مطابق شکل (3) برای نمونه‌هایی که میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در آنها بالاتر از حد تعیین‌شده بود، سه الگوی ارتباطی متفاوت از این سموم قابل تشخیص است. این الگوها تحت عنوان دسته اول، دوم و سوم در شکل (3) مشخص شده است.

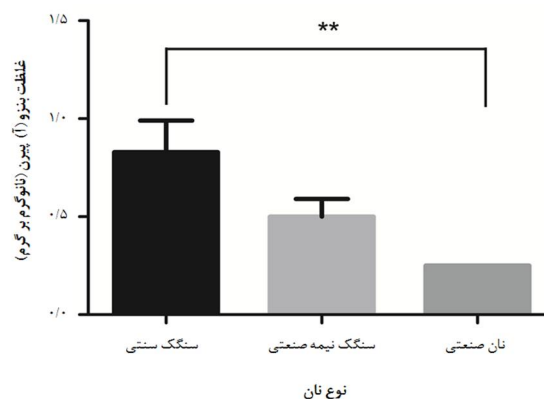


شکل 3- ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در نان (نان سنگک سنتی تهران و شیراز و نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز)

نقاط دسته اول و همچنین 4 نقطه از دسته دوم مربوط به نمونه نان‌های سنگک سنتی تهران است. 2 نقطه از دسته سوم، مربوط به نان سنگک سنتی شیراز و 1 نقطه نیز مربوط به نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز است. الگوهای به‌دست‌آمده در شکل (3) حاکی از ارتباط خطی بین غلظت‌های بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در نمونه نان‌های بررسی شده است. این بدان معنی است حضور هرکدام از این دو آلاینده می‌تواند حاکی از حضور دیگری نیز باشد.

نتایج آزمون همبستگی در شکل (3) (دسته اول) بین غلظت بنزو(آ)پیرن و آکریل‌آمید در نان سنگک سنتی تهران نشان می‌دهد که 94 درصد از تغییرات غلظت

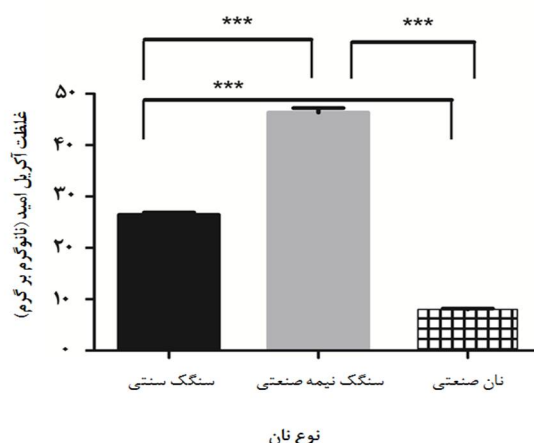
صنعتی از نظر میزان بنزو(آ)پیرن ارتباط معنی‌دار آماری وجود دارد ($P < 0/05$).



شکل 1- ارتباط بین غلظت بنزو(آ)پیرن و نوع نان (نان سنگک سنتی تهران و شیراز، نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز و نان صنعتی تهران)

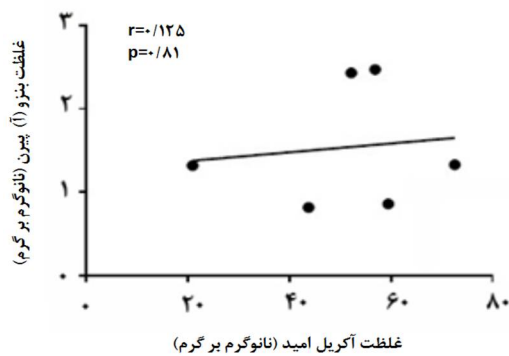
نتایج به‌صورت میانگین \pm انحراف معیار نشان داده شده است. *** $P < 0/01$ اختلاف معنی‌دار با گروه مورد مقایسه

نتایج آزمون آنالیز واریانس در شکل (2) نشان می‌دهد که بین نوع نان به‌عنوان متغیر مستقل و غلظت آکریل‌آمید به‌عنوان متغیر وابسته اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد [$F(2, 83) = 9/36, (P < 0/001)$]. این نتایج نشان می‌دهند که نان سنگک نیمه‌صنعتی نسبت به دو نوع دیگر آلودگی بیشتر از آکریل‌آمید را داشته‌اند. آزمون تکمیلی توکی نشان داد که گروه‌های مختلف نان از نظر میزان آلودگی به آکریل‌آمید با هم اختلاف معنی‌دار آماری داشتند ($P < 0/001$).



شکل 2- ارتباط بین غلظت آکریل‌آمید و نوع نان (نان سنگک سنتی تهران و شیراز، نان سنگک نیمه‌صنعتی شیراز و نان صنعتی تهران)

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار نشان داده شده است.



شکل 4- ارتباط بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل آمید در نان سنگک سنتی و نیمه صنعتی شیراز

نتیجه گیری

باتوجه به معنی دار بودن ارتباط بین دما و میزان بنزو(آ)پیرن در نان های سنگک نیمه صنعتی شیراز و میزان آلودگی پایین تر این دو ترکیب در نان های صنعتی که دمای پخت پایین تری دارند می توان نتیجه گیری کرد کاهش میزان درجه حرارت و استفاده از روش پخت مناسب می توانند فاکتورهای مهمی در جهت پیشگیری از تولید این سموم باشد. همچنین باتوجه به ارتباط خطی به دست آمده بین میزان آکریل آمید و بنزو(آ)پیرن در نمونه نان های بررسی شده می توان نتیجه گیری کرد هرگونه اقدام پیشگیرانه در خصوص کاهش یکی از این دو آلاینده با احتمال 98 درصد می تواند کاهش آلاینده دیگر را نیز به دنبال داشته باشد. مطالعه حاضر درمورد بررسی رابطه بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل آمید در نان است، لذا انجام مطالعه های تکمیلی در زمینه بررسی عوامل مؤثر در تشکیل این دو ترکیب و همچنین رابطه بین میزان بنزو(آ)پیرن و آکریل آمید در انواع نان های مورد استفاده در سبد غذایی جامعه ایرانی ضروری است.

هرکدام از این دو آلاینده می تواند همراه با تغییر غلظت در آلاینده دیگر باشد که این مقدار ارتباط خطی نیز از نظر آماری معنی دار نشان داده است ($P < 0/001$).

نتایج آزمون همبستگی در شکل (3) (دسته دوم) بین غلظت بنزو(آ)پیرن و آکریل آمید در نان سنگک سنتی تهران نشان می دهد که 98 درصد از تغییرات غلظت هرکدام از این دو آلاینده می تواند همراه با تغییر غلظت در مقدار آلاینده دیگر باشد که این مقدار ارتباط خطی نیز از نظر آماری معنی دار نشان داده شده است ($P < 0/05$).

الگوهای به دست آمده از بررسی ارتباط آکریل آمید و بنزو(آ)پیرن حاکی از ارتباط خطی بین غلظت های این دو سم در نمونه نان های بررسی شده است. نتایج آزمون همبستگی در الگوی اول و دوم به ترتیب نشان می دهد که 94 و 98 درصد از تغییرات غلظت هرکدام از این دو آلاینده می تواند همراه با تغییر غلظت در آلاینده دیگر باشد. این بدان معنی است حضور هرکدام از این دو آلاینده می تواند حاکی از حضور دیگری نیز باشد اما به دلیل ناکافی بودن تعداد نمونه ها نیاز به بررسی بیشتری وجود دارد. دسته بندی متفاوت (دسته اول و دوم) ایجاد شده برای نمونه های تهران می تواند ناشی از درجه حرارت های متفاوت پخت، مدت زمان متفاوت پخت، فاصله زمانی بین آماده سازی خمیر تا پخت نان، میزان پخت (خام، معمولی، برشته و یا خیلی برشته) و وجود یا عدم وجود مخمر در نان های جمع آوری شده از مناطق مختلف شهر تهران باشد.

الگوی ارتباط بین غلظت بنزو(آ)پیرن و آکریل آمید در نان سنگک سنتی و نیمه صنعتی شیراز در شکل (4) نشان داده شده است. نتایج آزمون همبستگی نشان می دهد که تنها 12/5 درصد از تغییرات غلظت هرکدام از این دو آلاینده می تواند همراه با تغییر غلظت در مقدار آلاینده دیگر باشد.

منابع

خوش طینت، خ، و پایان، ر. (1374). نان مسائل تکنیکی، تغذیه ای، بهداشتی، اقتصادی و اجتماعی مجموعه مقالات اجلاس تخصصی: انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور.

رجب زاده، ن. (1395). تکنولوژی نان (جلد اول). تهران: دانشگاه تهران.

عبادی، ف. (1395). تحلیل و مقایسه سید غذایی مطلوب ایران با وضعیت تولید محصولات کشاورزی غذایی طی سالهای برنامه ششم

توسعه و افق 1404. برگرفته از http://panel.agriis.ir/Attachments/Files/2018/6/131748195298616951_Package.pdf

- کوشکی، م.، محمدیان، م.، و کوهی‌کمالی، ب. (1391). روش‌های مؤثر در کاهش تشکیل آکریلامید در محصولات سرخ شده سیب زمینی. *علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*, 7(5), 947-939.
- هادیان، ز.، و عزیزی، م. ح. (1390). تکنولوژی غلات و فرآورده‌ها: گندم، آرد، نان، ماکارونی، بیسکوئیت، کراکر و کیک. (جلد اول)، آموزش و ترویج کشاورزی و انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور.
- Ahmed, M. T., Hadi, E.-S. A., El Samahy, S., & Youssof, K. (2000). The influence of baking fuel on residues of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in bread. *Journal of hazardous materials*, 80(1-3), 1-8. doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00300-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00300-9)
- Al-Rashdan, A., Helaleh, M. I., Nisar, A., Ibtisam, A., & Al-Ballam, Z. (2010). Determination of the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread using gas chromatography mass spectrometry. *International journal of analytical chemistry*, 2010. doi:<https://doi.org/10.1155/2010/821216>
- Authority, E. F. S. (2011). Results on acrylamide levels in food from monitoring years 2007-2009 and Exposure assessment. *EFSA Journal*, 9(4), 2133. doi:<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2133>
- Chen, B. H., & Chen, Y. C. (2001). Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the smoke from heated model lipids and food lipids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(11), 5238-5243. doi:<https://doi.org/10.1021/jf0106906>
- Chen, S., Kao, T. H., Chen, C. J., Huang, C. W., & Chen, B. H. (2013). Reduction of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in meat by sugar-smoking and dietary exposure assessment in Taiwan. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(31), 7645-7653. doi:<https://doi.org/10.1021/jf402057s>
- Claeys, W., Baert, K., Mestdagh, F., Vercammen, J., Daenens, P., De Meulenaer, B., . . . Huyghebaert, A. (2010). Assessment of the acrylamide intake of the Belgian population and the effect of mitigation strategies. *Food Additives and Contaminants*, 27(9), 1199-1207. doi:<https://doi.org/10.1080/19440049.2010.489577>
- Claus, A., Carle, R., & Schieber, A. (2008). Acrylamide in cereal products: A review. *Journal of cereal science*, 47(2), 118-133. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.016>
- Codex Alimentarius. (2021). Risks during high temperature cooking. Retrieved from <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/roster/detail/en/c/468937/>
- Commission of the european communities. (2007). Commission Recommendation of 3 May 2007 on the monitoring of acrylamide levels in food (notified under document number C(2007) 1873) (Text with EEA relevance). Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/ALL/?qid=1432628549016&uri=CELEX%3A32007H0331>
- Ebadi, F. (2016). *Analysis and comparison of Iran's favorable food basket with the state of food and agricultural production during the years of the Sixth Development Plan and the horizon of 1404*. Retrieved from Research Institute, Planning, Agriculture and Rural Development, Iran Ministry of Agriculture-Jahad: http://panel.agriis.ir/Attachments/Files/2018/6/131748195298616951_Package.pdf (in Persian)
- Eslamizad, S., Kobarfard, F., Javidnia, K., Sadeghi, R., Bayat, M., Shahanipour, S., . . . Yazdanpanah, H. (2016). Determination of Benzo [a] pyrene in traditional, industrial and semi-industrial breads using a modified QuEChERS extraction, dispersive SPE and GC-MS and estimation of its dietary intake. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 15(Suppl), 165-174 .
- Eslamizad, S., Kobarfard, F., Tabib, K., Yazdanpanah, H., & Salamzadeh, J. (2020). Development of a Sensitive and Rapid Method for Determination of Acrylamide in Bread by LC-MS/MS and Analysis of Real Samples in Iran IR. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 19(1), 413-423. doi:<https://doi.org/10.22037/ijpr.2019.111994.13474>
- Eslamizad, S., Kobarfard, F., Tsatsimpikou, C., Tsatsakis, A., Tabib, K., & Yazdanpanah, H. (2019). Health risk assessment of acrylamide in bread in Iran using LC-MS/MS. *Food and chemical toxicology*, 126, 162-168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.02.019>

- Eslamizad, S., Yazdanpanah, H., Javidnia, K., Sadeghi, R., Bayat, M., Shahabipour, S., . . . Kobarfard, F. (2016). Validation of an Analytical Method for Determination of Benzo [a] pyrene Bread using QuEChERS Method by GC-MS. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 15(2), 465-474 .
- Hadian, Z., & Azizi, M. (2011). *Cereal and product technology-Wheat, Flour, Bread, Pasta, Biscuits, Crackers and Cakes*. (Vol. 1), National Nutrition and Food Technology Research Institute. (in Persian)
- Hakami, R., Etemadi, A., Kamangar, F., Pourshams, A., Mohtadinia, J., Firoozi, M. S., . . . Malekzadeh, R. (2014). Cooking methods and esophageal squamous cell carcinoma in high-risk areas of Iran. *Nutrition and cancer*, 66(3), 500-505. doi:<https://doi.org/10.1080/01635581.2013.779384>
- Kayali-Sayadi, M., Rubio-Barroso, S., Garcia-Iranzo, R., & Polo-Diez, L. (2000). Determination of selected polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread by supercritical fluid extraction and HPLC with fluorimetric detection. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 23(12), 1913-1925. doi:<https://doi.org/10.1081/JLC-100100462>
- Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., & Jafari, M. (2011). Acrylamide in baking products: a review article. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 530-543. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-010-0495-1>
- Khaniki, G. R. J., Yunesian, M., Mahvi, A. H., & Nazmara, S. (2005). Trace metal contaminants in Iranian flat breads. *Journal of Agriculture & Social Sciences*, 1(4), 301-303 .
- Khosh Tinat, K., & Payan, R. (1995). *The exclusive Conference of Bread National Nutrition and Food Technology Research Institute: National Nutrition and Food Technology Research Institute.*, (in Persian)
- Koushki, M., Mohammadi, M., & Koohy-Kamaly, P. (2013). Effective ways of reducing acrylamide formation in fried potato products. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(5), 939-947. (in Persian)
- Krishnakumar, T., & Visvanathan, R. (2014). Acrylamide in food products: a review. *Journal of Food Processing and Technology*, 5(7). doi:<https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000344>
- International Agency for Research on Cancer. (1994). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans* (Vol. 60): World Health Organization.
- International Agency for Research on Cancer I. (2010). *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans-Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures* (Vol. 92): World Health Organization
- Min, S., Patra, J. K., & Shin, H.-S. (2018). Factors influencing inhibition of eight polycyclic aromatic hydrocarbons in heated meat model system. *Food Chemistry*, 239, 993-1000. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.020>
- Mottram, D. S., Wedzicha, B. L., & Dodson, A. T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419(6906), 448-449. doi:<https://doi.org/10.1038/419448a>
- Mustafa, A., Kamal-Eldin, A., Petersson, E. V., Andersson, R., & Åman, P. (2008). Effect of extraction pH on acrylamide content in fresh and stored rye crisp bread. *Journal of food composition and analysis*, 21(4), 351-355. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.01.003>
- Nie, J., Shi, J., Duan, X., Wang, B., Huang, N., & Zhao, X. (2014). Health risk assessment of dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in Taiyuan ,China. *Journal of Environmental Sciences*, 26(2), 432-439. doi:[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60424-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60424-6)
- Pacin, A., Bovier, E. C., Cano, G., Taglieri, D., & Pezzani, C. H. (2010). Effect of the bread making process on wheat flour contaminated by deoxynivalenol and exposure estimate. *Food Control*, 21(4), 492-495. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.07.012>
- Patel, S. (2008). Baking – an effective method of control Fusarium Mycotoxins – a manageable risk for the cereals food chain. *Food Standards Agency* .
- Ragabzadeh, N. (2017). *Technolpgy of bread: Tehran University.* (in Persian)

- Rey-Salgueiro, L., García-Falcón, M. S., Martínez-Carballo, E., & Simal-Gándara, J. (2008). Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread. *Food Chemistry*, 108(2), 607-615.
- Rey Salgueiro, L., García-Falcon, M. S., Martinez-Carballo, E., & Simal-Gandara, J. (2008). Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread. *Food Chemistry*, 108(2), 607-617. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.026>
- Scudamore, K., Hazel, C. M., Patel, S., & Scriven, F. (2009). Deoxynivalenol and other Fusarium mycotoxins in bread, cake, and biscuits produced from UK-grown wheat under commercial and pilot scale conditions. *Food Additives and Contaminants*, 26(8), 1191-1198. doi:<https://doi.org/10.1080/02652030902919426>
- Stadler, R. H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P. A., . . . Riediker, S. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419(6906), 449-450. doi:<https://doi.org/10.1038/419449a>
- Veyrand, B., Sirot, V., Durand, S., Pollono, C., Marchand, P., Dervilly-Pinel, G., . . . Le Bizec, B. (2013). Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: results of the second French Total Diet Study. *Environment International*, 54, 11-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.12.011>
- Vinci, R. M., Mestdagh, F., & De Meulenaer, B. (2012). Acrylamide formation in fried potato products—Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, 133(4), 1138-1154. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.001>
- World Health Organization, W. (2011). *Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second [72nd] report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.*: World Health Organization. .
- Zhang, Y., Chen, X., & Zhang, Y. (2021). Analytical chemistry, formation, mitigation, and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons: From food processing to in vivo metabolic transformation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1422-1456. doi:<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12705>

Investigation of Effective Factors on the Formation of Acrylamide and Benzo(a)Pyrene in the Baking Process of Different Bread types Traditional, Semi-industrial and Industrial

Samira Eslamizad¹, Farzad Kobarfard^{2*}, Nima Naderi³, Hassan Yazdanpanah^{4,5*}

1- Assistant Professor, Food Safety Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Medicinal Chemistry, School of Pharmacy, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

* Corresponding author (kobarfard@sbmu.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Toxicology and Pharmacology, School of Pharmacy, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- Professor, Department of Toxicology and Pharmacology, School of Pharmacy, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5- Professor, Food Safety Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

* Corresponding author (yazdanpanah@sbmu.ac.ir)

Abstract

Bread as staple of the Iranian may be contaminated by a variety of contaminants such as benzo(a)pyrene and acrylamide. Acrylamide and benzo(a)pyrene are classified as group 2A and group 1 carcinogens, respectively. Therefore, due to the high consumption of bread in our country and the carcinogenic effects of these toxic substances, the effective factors on the formation of these compounds in the process of bread baking were investigated. In this study benzo(a)pyrene and acrylamide were determined in 126 samples of traditional Sangak bread, semi-industrial Sangak bread and industrial bread collected from Tehran and Shiraz cities in IR Iran, then the effect of various parameters on bread contamination with acrylamide and benzo(a)pyrene as well as the relationship between the amount of benzo(a)pyrene and acrylamide in bread were investigated. The results showed that there was a significant difference between the concentration of acrylamide in the different types of bread examined ($P < 0.001$) and between the concentration of benzo(a)pyrene in traditional Sangak breads and industrial breads ($P < 0.05$). On the other hand, there is a significant correlation between temperature and the concentration of benzo(a)pyrene in Shiraz semi-industrial Sangak breads ($P < 0.05$). Also, a significant linear correlation was observed between acrylamide and benzo(a)pyrene concentrations in Tehran traditional Sangak bread samples. This study showed that, reducing the temperature and using the proper baking method could be important factors in reducing acrylamide and benzo(a)pyrene formation in bread samples.

Keywords: Acrylamide, Benzo(a)Pyrene, Industrial bread, Iran, Traditional bread