

**Review**

***Investigation of the Effective Factors in the Formation and Reduction Acrylamide Levels in Bread***

Habib Vahedi<sup>1</sup>, Farzad Kobarfard<sup>2\*</sup>

1. Food Technology(P.hD), The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

2. Department of Medicinal Chemistry, School of Pharmacy, Shaheed Beheshti University of Medical Sciences, Tehran. Iran.

\*. Corresponding Author: E-mail: kamalsafar@yahoo.com

(Received 8 June 2015; Accepted 10 August 2015)

---

***Abstract***

The formation of acrylamide monomers in cereal products at temperatures higher than 120°C is a major global health and safety problem in food hygiene first discovered by the University of Stockholm in Sweden. Acrylamide is a carcinogen that causes gene mutation and damages the immune and nervous systems and is therefore a major health concern for humans. No safe limits of consumption that do not cause cancer have yet been determined for acrylamide, as the compound is carcinogenic even at low concentrations, and is 100 times more dangerous to humans than the other known toxins present in the environment. Bread is a main source for the human intake of high levels of acrylamide. In Iran, the rate of the formation of acrylamide and its intake through bread is very concerning. The free asparagine present in wheat become the main acrylamide formation agents in acting through the Maillard reaction. The present study was conducted to investigate the measures through which acrylamide levels can be reduced in bread.

**Keywords:** Acrylamide, Bread, Cancer, Free asparagine.

**J ClinExc 2015; 4(Special Issue): 1-16 (Persian).**

## بررسی عوامل مؤثر بر تشکیل و کاهش اکریل‌آمید در نان

حبیب واحدی<sup>1\*</sup>، فرزاد کبارفرد<sup>2</sup>

### چکیده

ساخته‌شدن مونومر اکریل‌آمید در دماهای بالاتر از 120 درجه سانتی‌گراد در فرآورده‌های غلات یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در ایمنی و بهداشت مواد غذایی در جهان می‌باشد که اولین بار توسط دانشگاه استکهلم گزارش شد. اکریل‌آمید به واسطه ایجاد جهش در ژن‌ها و ایجاد سرطان، آسیب به سیستم ایمنی و عصبی یکی از نگرانی‌های عمده در مورد سلامت انسان محسوب می‌شود. هیچ حد ایمنی که از ایجاد سرطان جلوگیری نماید، برای آن تعیین نشده است. زیرا که، غلظت‌های کم آن، خطرآفرین و سرطان‌زا است و در مقایسه با دیگر مواد سمی شناخته‌شده برای انسان تا صد برابر خطرناک‌تر می‌باشد. نان یکی از منابع مهم دریافت مقادیر بالای اکریل‌آمید برای انسان محسوب می‌شود. در ایران نگرانی‌ها از حجم تولید و دریافت اکریل‌آمید از طریق نان است. آسپارژین آزاد موجود در گندم عامل اصلی تشکیل اکریل‌آمید در نان، طی واکنش میلارد اعلام شده است. هدف از این مطالعه تبیین راه‌های کاهش اکریل‌آمید در نان می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آسپارژین آزاد، اکریل‌آمید، سرطان، نان.

### مبانی نظری پژوهش

تغذیه‌ای آرد با درجه استخراج 93 درصد ارزش غذایی بالاتری دارد اما باعث افزایش ساخت اکریل‌آمید در نان می‌شود. از طرفی مشاهده شده است که کاهش درجه استخراج آرد باعث کاهش ساخت اکریل‌آمید در نان می‌شود (3-5).

آسپارژیناز جهت کاهش اکریل‌آمید در کراکر مورد مطالعه قرار گرفته است و مشاهده شد که، ساخت اکریل‌آمید تا 70 درصد کاهش می‌یابد بدون اینکه در طعم یا رنگ فرآورده تغییری به وجود آید (6).

سازمان کنفدراسیون صنایع غذایی و آشامیدنی اروپا برای کاهش اکریل‌آمید در نان استفاده از افزایش زمان تخمیر، کاهش آسپارژین آزاد در آرد، کاهش زمان برشته شدن و استفاده از ال-آسپارژیناز را به عنوان 4 راهکار مناسب و بدون خطر برای کاهش تشکیل اکریل‌آمید در نان پیشنهاد نموده است (1). براساس درجه استخراج آرد ویژگی‌های آرد متفاوت می‌شود. آرد با درجه استخراج 82 درصد (18 درصد سبوس‌گیری شده) حاوی سبوس و آسپارژین آزاد کمتری است. ولی، آرد با درجه استخراج 93 درصد (7 درصد سبوس‌گیری شده) حاوی سبوس و آسپارژین بیشتری است (2). از نظر

1. دکترای تخصصی تکنولوژی مواد غذایی، مرکز تحقیقات سلامت فرآورده‌های گیاهی و دامی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران.

2. گروه شیمی دارویی دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول: مازندران، ساری، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت، گروه علوم پایه

تاریخ دریافت: 1394/3/18 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1394/5/11 تاریخ پذیرش: 1394/5/19

## مقدمه

گندم، درجه استخراج آرد، تخمیر، دما، زمان پخت و آنزیم ال-آسپارژیناز جهت جلوگیری از ساخت اکریل آمید انجام شده است (5-1). هدف این مطالعه خلاصه سازی و ارزیابی پژوهش‌هایی است که در خصوص عوامل مؤثر بر تشکیل و کاهش اکریل آمید در نان مطالعاتی انجام داده‌اند تا تصویر واضح تری از روش‌های کاهش ساخت اکریل آمید در نان ارائه شود.

## روش پژوهش

این مطالعه مروری مبتنی بر انجام 3 مطالعه تجربی (5-3)، تألیف یک جلد کتاب با عنوان اکریل آمید و چالش‌های آن (26) و جستجوی منابع الکترونیکی از سال‌های 1980 تا 2012 در پایگاه داده‌های اطلاعاتی در دسترس Medline Pubmed, Science Direct, ProQuest, SID, ISI web science, IranMedex, Scopus, PubMed, ISC بدون هر گونه محدودیت زمانی و به دو زبان فارسی و انگلیسی انجام گرفت. جهت جستجو در منابع الکترونیکی از کلید واژه‌های اکریل آمید، آسپارژیناز، درجه استخراج آرد، طیف‌سنجی جرمی متوالی (LC/MS/MS) واکنش میلارد، مخمر نانویی و تخمیر استفاده شد. در ابتدا 120 مقاله در پایگاه‌های داده‌های اطلاعاتی یافت شد که از این تعداد تنها 50 مقاله واجد معیارهای ورود (چگونگی ساخت و کاهش اکریل آمید در فرآورده‌های غلات) به مطالعه بودند. خلاصه مقالات فارسی در مورد اکریل آمید مورد بررسی قرار گرفت (27-18).

## پیشینه پژوهش در ایران

مطالعات انجام شده توسط متقی و میرزا پور نشان داد که نمک طعام به میزان کمتر از 2 درصد میزان اکریل آمید را کاهش می‌دهد ولی مقادیر بیشتر از آن ساخت اکریل آمید را افزایش می‌دهد همچنین سیستمین باعث کاهش اکریل آمید می‌شود ولی در تنوره‌های که انتقال هوا به صورت گردشی انجام می‌شود ساخت اکریل آمید افزایش می‌یابد همچنین میزان اکریل آمید در

در دماهای بالاتر از 120 درجه سانتی‌گراد در فرآورده‌های دارای کربوهیدرات بالا یک فرآورده جانبی سرطان‌زا بنام مونومر اکریل آمید یافت شده است (9-7). اکریل آمید به واسطه ایجاد جهش در ژن‌ها و ایجاد سرطان یکی از نگرانی‌های عمده در مورد سلامت انسان محسوب می‌شود. هیچ حد ایمنی که از ایجاد سرطان جلوگیری نماید برای اکریل آمید تعیین نشده است (8). نان یکی از منابع مهم غذایی دریافت مقادیر بالای اکریل آمید برای انسان محسوب می‌شود (6,10,11). اکریل آمید از واکنش بین آسپارژین آزاد و یک منبع کربونیل، طی واکنش میلارد تولید می‌شود (14-12). آسپارژین آزاد موجود در گندم به عنوان عامل کلیدی و آغازگر اصلی تشکیل اکریل آمید در نان شناخته شده است. درجه استخراج آرد اثر مستقیم بر مقدار آسپارژین آرد و تشکیل اکریل آمید در نان دارد (16,15). اکریل آمید بعد از جذب در بدن، گلاسید آمید را تولید می‌نماید که با اثر بر DNA و ایجاد جهش در ژن‌ها، باعث بروز سرطان و آسیب به سیستم عصبی می‌شود (7). پژوهش انجام شده روی ویفر نشان داد هنگامی که، از آرد با خاکستر 1/05 درصد به جای 0/55 درصد استفاده شد، ساخت اکریل آمید به دو برابر افزایش یافت (11,7). تاکنون اکثر راه‌های پیشنهادی برای کاهش آسپارژین آزاد در بخش کشاورزی و تکنولوژی نانویی نتیجه‌بخش و مقرون به صرفه نبوده است و امکان عملی شدن این تغییرات به صورت صنعتی نیز امکان‌پذیر نبوده است. استفاده از ال - آسپارژیناز در فرآورده‌های غلات برای کاهش آسپارژین آزاد در مقیاس صنعتی تاکنون در دنیا به جز در بیسکوئیت‌های صنعتی نیمه شیرین انجام نشده است. سایر مطالعات انجام شده با مداخله در تکنولوژی و در مدل‌های آزمایشگاهی انجام شده است. با این وجود، پژوهش‌های انجام شده در ایران براساس 4 راهکار ارائه شده توسط سازمان کنفدراسیون صنایع غذایی و آشامیدنی اروپا بدون هیچ گونه مداخله در تکنولوژی نانویی و در شرایط نرمال نانویی سنگکی بر مبنای رقم

نان‌های تافتون، سنگک و بربری به ازای هر 200 گرم به ترتیب

14، 11، 9 نانوگرم مشاهده شد ولی در نان لواش اکریل آمید مشاهده نشد (27).

مطالعه انجام شده توسط واحدی و همکاران نشان داد که، درجه استخراج آرد، زمان تخمیر به‌طور معناداری بر میزان آسپارژین در سبوس تأثیرگذار است، مناسب‌ترین زمان تخمیر برای کاهش آسپارژین آزاد در خمیر نان سنگک 110 دقیقه مشاهده شد. تأثیر رقم گندم و درجه استخراج آرد بر میزان آسپارژین آزاد حتمی است، استفاده از آسپارژیناز روش مناسبی جهت جلوگیری از ساخت اکریل آمید در نان سنگک است و با افزایش درجه استخراج آرد ساخت اکریل آمید افزایش می‌یابد، همچنین ساخت اکریل آمید با دما و مدت زمان پخت رابطه مستقیم نشان داد و در حضور آنزیم آسپارژیناز کمترین میزان اکریل آمید مشاهده شد و عدم برشته نمودن نان سنگک به میزان زیادی از ساخت اکریل آمید جلوگیری می‌کند (3-5).

## پیشینه پژوهش در جهان

در آوریل 2002 دانشگاه استکهلم اعلام نمود غذاهای حاوی کربوهیدرات که در حرارت بالا فرآیند می‌شوند دارای مقادیر قابل توجهی اکریل آمید می‌باشند بعد از تأیید این مشاهدات، تحقیقات زیادی در خصوص روش‌های کاهش اکریل آمید در 30 مرکز علمی دنیا آغاز شد (11). سازمان غذا و داروی امریکا اقداماتی را انجام داد که مهم‌ترین آن شامل اجرای تحقیقاتی بر روی روش‌های کاهش اکریل آمید، آنالیز نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های غذایی، ایجاد یک روش مؤثر برای اندازه‌گیری اکریل آمید در غذاها و قرار دادن روش‌ها در سایت سازمان و ایجاد برنامه‌های عملیاتی از جمله، پرسش و پاسخ در خصوص اکریل آمید و اجرای تبصره 65 (برنامه آب آشامیدنی ایمن و پیشگیری از مسمومیت، مصوب 1986، مبتنی بر این که در ایالت کالیفرنیا قانون مشاغل را

ملزم می‌کند که به شهروندان در خصوص احتمال خطرات مواد شیمیایی که به‌طور بالقوه ایجاد سرطان یا آسیب جدی می‌کنند هشدار دهند). سازمان بهداشت جهانی جهت به دست آوردن یک روش بین‌المللی برای کاهش سطح اکریل آمید در غذا انجمنی متشکل از متخصصین سراسر دنیا ایجاد نمود (27).

## نتایج

یافته‌های پژوهشی در مورد عوامل مؤثر بر تولید و کاهش اکریل آمید در نان توسط مراکز معتبر بین‌المللی سازمان بهداشت جهانی میزان جذب روزانه اکریل آمید را در کشورهای پیشرفته بین 0/8-0/3 میکروگرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن، در روز تخمین زده است (1). مطالعات انجام شده توسط تار که نشان داد که، مقدار اکریل آمید در غذاهای غنی از پروتئین (گوشت و محصولات ماهی) در مقایسه با غذاهای غنی از نشاسته 100-10 برابر کمتر می‌باشد اکریل آمید طی فرآیندهای حرارتی در غذاهای غنی از پروتئین با گروه‌های زنجیره جانبی اسیدهای آمینه موجود در پروتئین‌ها وارد واکنش می‌شود و از تشکیل مقادیر بالای اکریل آمید در این غذاها جلوگیری می‌نماید (8). مطالعات انجام شده توسط ادواردو نشان می‌دهد که، استفاده از گلابسین در نان چاودار باعث کاهش ساخت اکریل آمید می‌شود. ولی، تشکیل هیدروکسی‌متیل‌فورفورال را افزایش می‌دهد. آنزیم آسپارژیناز توانست میزان ساخت اکریل آمید را 88 درصد کاهش دهد ولی، تأثیری بر فرآیند فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، تشدید رنگ یا خواص حسی نان ندارد (14). نتایج مطالعات اسپرینگر نشان داده است که، رقم گندم، زراعت ارگانیک، میزان برداشت از مزرعه، درجه استخراج آرد و الک نمودن آرد بر میزان آسپارژین آزاد و ساخت اکریل آمید در نان تأثیر دارد. ارقام مختلف چاودار حاوی آسپارژین آزاد بیشتری نسبت به ارقام مختلف گندم می‌باشند (15). مطالعه‌ای که توسط جانگ انجام شد نشان داده است که، افزودن اسیدها و کاهش

PH در چپیس ذرت منجر به کاهش آکریل آمید می‌شود. با کاهش PH از 7 به 6 و از 7 به 4 به ترتیب 73 و 99 درصد از تشکیل اکریل آمید جلوگیری شد (28). مطالعه گروب نشان داد که، برای تشکیل اکریل آمید دماهای بالاتر از 100 درجه سانتی‌گراد و رطوبت پایین ضروری است (33). تایمز نشان داد که، تأثیر رقم گندم بر میزان آسپارژین آزاد چشمگیر است (30). مطالعات انجام شده توسط وس نشان داد که، آنزیم آسپارژیناز توانسته است بدون تأثیر بر طعم یا رنگ فرآورده ساخت اکریل آمید را در کراکر به میزان 70 درصد کاهش دهد. ولی، استفاده از آمونیوم کربنات هیدروژن در فرآورده‌های نانویی باعث افزایش ساخت اکریل آمید می‌شود. اما، در غیاب آمونیوم کربنات هیدروژن ساخت اکریل آمید به یک‌سوم کاهش می‌یابد. ولی، از آنجائی که آمونیوم هیدروژن کربنات با PH و رنگ در ارتباط می‌باشد، محصول تولیدی رنگ و ظاهر مطلوب نداشته و مشتری‌پسند نمی‌باشد. استفاده از بی‌کربنات سدیم به جای آمونیوم هیدروژن کربنات ساخت اکریل آمید را به یک‌سوم کاهش می‌دهد اما، محصول طعم قلیایی پیدا می‌نماید که، با استفاده از اسید تارتاریک یا اسیدسیتریک هم طعم قلیایی بین می‌برد و هم ساخت اکریل آمید را کاهش می‌دهد. همچنین مشاهده شد که، در کراکرها استفاده از ساکارز به جای قند اینورت مقدار اکریل آمید 60 درصد کاهش می‌یابد. و با کاهش درجه حرارت از 230 به 190 درجه سانتی‌گراد مقدار اکریل آمید 60 درصد کاهش می‌یابد. افزودن اسیدهای آمینه گلايسین، لیزین و گلوتامین بر میزان تشکیل اکریل آمید تأثیری ندارد، ولی، باعث بهبود و تشدید رنگ قهوه‌ای و تولید ملانوئیدین بیشتری در فرآورده می‌شود (31). مطالعه دیگری که توسط ساردیک انجام شد مشخص شد که، اکریل آمید به صورت خطی با زمان و درجه حرارت افزایش می‌یابد و در درجه حرارت‌های بالا کاهشی در تشکیل اکریل آمید مشاهده نشد. ولی، آسپارژین آزاد، عامل محدودکننده تشکیل اکریل آمید در فرآورده‌های نانی می‌باشد (32). فردریکسون نشان داده است که، با طولانی شدن زمان تخمیر مخمری، آسپارژین آزاد کاهش

می‌یابد و نهایتاً از تشکیل اکریل آمید در حد بالایی جلوگیری می‌شود. ولی، تخمیر مخمری بیش از حد (3 ساعت) با توجه به محدود بودن ظرفیت مخمر برای مصرف آسپارژین آزاد، نه تنها در کاهش اکریل آمید مؤثر نیست بلکه باعث تضعیف شبکه گلوتهی و کاهش حجم نان می‌شود. تخمیر اسیدلاکتیک به میزان 70 درصد و خمیرترش با گذشت 72 ساعت میزان اکریل آمید را کاهش می‌دهند. ولی، بیشتر از این زمان (96 ساعت) در اثر فعالیت پروتئولیتیکی میکروارگانیسم‌ها میزان اکریل آمید افزایش می‌یابد (33). مطالعات آمرین در خصوص بیسکوئیت و نان زنجبیلی نشان می‌دهد که، با افزودن 250 میلی‌گرم آسپارژین آزاد به یک کیلوگرم خمیر در تهیه بیسکوئیت، مقدار تشکیل اکریل آمید به 4 برابر افزایش می‌یابد و زمانی که 1000 میلی‌گرم آسپارژین اضافه شود ساخت اکریل آمید به بیش از 8000 میکروگرم در کیلوگرم افزایش می‌یابد. با افزایش درجه استخراج آرد مقدار پیش‌سازهای ساخت اکریل آمید (آسپارژین آزاد و قندهای احیاکننده) در خمیر بیسکوئیت افزایش می‌یابد. هنگامی که در نان زنجبیلی به جای کربنات هیدروژن آمونیوم از بی‌کربنات سدیم استفاده شد به همان مقدار اکریل آمید کاهش یافت (34,6). نتایج مطالعات الدر بیان می‌دارد که، با افزودن کاتیون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم به خمیر نان در دامنه حرارتی 180-150 درجه سانتی‌گراد اکریل آمید حداکثر 20 درصد کاهش می‌یابد (35). تحقیقات انجام شده توسط برادن نشان می‌دهد که، ساخت اکریل آمید در درجه حرارت‌های بالاتر در نان گندم کاهش نمی‌یابد و همچنین با افزایش زمان و درجه حرارت تشکیل اکریل آمید در نان به طور خطی افزایش می‌یابد ولی، اسید آمینه گلیسین در مقادیر زیاد به علت رقابت با آسپارژین توانسته است ساخت اکریل آمید را در هر کیلوگرم نان حدود 90 درصد کاهش دهد (36). هندریکسن طی مطالعاتی گزارش نموده است هر چند که، مقدار قندهای گلوکز، فروکتوز و آسپارژین آزاد تعیین‌کننده میزان تشکیل اکریل آمید در نان می‌باشند ولی، می‌توان از طریق غیرفعال کردن گروه آمین

آسپارژین آزاد با استفاده از اسید آمینه آسپارژین موجود در ساختمان پروتئین‌ها و استیله کردن آسپارژین (تبدیل آن به ان- استیل آسپارژین) میزان ساخت اکریل آمید را در نان کاهش داد (37). لندسی طی مطالعاتی گزارش مشخص نمود که، کاتیون‌های سه‌ظرفیتی مانند آهن توانسته است ضمن واکنش با گروه‌های باردار آسپارژین آزاد به میزان 77 درصد از ساخت اکریل آمید در نان جلوگیری نماید (38). هنلی طی مطالعاتی پیشنهاد نموده است که، جهت کاهش ساخت اکریل آمید باید از طریق تنظیم زمان و دمای پخت ساخت اکریل آمید را در نان کاهش داد (39). هبسن طی مطالعاتی گزارش نموده است که، مقدار اکریل آمید ساخته شده در نان و کلوچه حداقل تا 3 ماه پایدار باقی می‌ماند و همچنین اکریل آمید ساخته شده در غلات صبحانه تا یک سال در دمای اتاق بدون تغییر باقی می‌ماند (40). مطالعه لیوفون نشان می‌دهد که، اسیدهای آمینه گوگردی و آنتی‌اکسیدان‌ها بر کاهش ساخت اکریل آمید در کراکرها مؤثر هستند (41). واتم گزارش نموده است که، پروتئین‌های خوبات به‌واسطه داشتن ترکیبات گوگردی در جلوگیری از تشکیل اکریل آمید در فرآورده‌های غلات مؤثر می‌باشند (42). لوائین در تحقیقاتی که انجام داد به این نتیجه رسید که، استفاده از اسید آسکوربیک در فرآورده‌های غلات صبحانه باعث جلوگیری از ساخت اکریل آمید می‌شود (43). آمیرین طی مطالعاتی نشان داد که، مقدار اکریل آمید ساخته شده در حضور گلی‌اکسال که از تجزیه حرارتی قندها به وجود می‌آید 250 بار بیشتر از وقتی است که قند فروکتوز در محیط وجود دارد (44). میا طی مطالعه‌ای نشان داد که، افزودن اسید تارتاریک به بیسکوئیت میزان ساخت اکریل آمید را به یک‌سوم کاهش می‌دهد (45). گراف با انجام مطالعه در مقیاس صنعتی نشان داد که، استفاده از بی‌کربنات سدیم به‌جای آمونیم بی‌کربنات 70 درصد ساخت اکریل آمید را در بیسکوئیت‌های نیمه شیرین کاهش می‌دهد ولی، استفاده از ساکارز به‌جای قند اینورت (گلوکز + فروکتوز) باعث کاهش بیشتر اکریل آمید می‌شود (46). فینک طی انجام

یک مطالعه نشان داد که، استفاده از اسید آمینه گلیسین به صورت اسپری (محلول 10 درصدی) بر روی خمیر نان تأثیری بر کاهش اکریل آمید نشان نداد. ولی، با تکرار آن تا 8 بار مقدار اکریل آمید 16 درصد کاهش یافت اما، باعث تشکیل 3 - پروپیون آمید (ماده‌ای واسطه در تولید اکریل آمید) می‌شود که باعث افزایش ساخت اکریل آمید می‌شود. همچنین استفاده از گلاسیسین اقتصادی نمی‌باشد زیرا که بایستی به میزان 3 - 1/5 درصد وزن آرد اضافه شود (47). کرول در طی مطالعاتی به این نتیجه رسید که، استفاده از ترکیبات پلی‌فنلیک در نان گندم اثر قوی‌تری در کاهش اکریل آمید دارد ولی، نیاز به بررسی‌های بیشتری می‌باشد (48). میا طی مطالعه‌ای به این نتیجه رسید که، استفاده از ساکارز در بیسکوئیت‌های تولید شده با آرد گندم میزان اکریل آمید را تا 70 درصد کاهش می‌دهد (45). مطالعات جئوکنن نشان داد که، کاتیون دو ظرفیتی کلسیم در محدوده دمایی 180 - 150 درجه سانتی‌گراد به میزان 95 درصد از ساخت اکریل آمید جلوگیری می‌نماید، ولی، استفاده از کاتیون یک ظرفیتی سدیم توانست تشکیل اکریل آمید را به نصف کاهش دهد (50,49). مطالعات کلاس نشان داد که، اگر نان را در دمای 200 درجه سانتی‌گراد به مدت 70 دقیقه و 240 درجه سانتی‌گراد به مدت 50 دقیقه حرارت دهیم ساخت اکریل آمید در تیمار دومی 124/1 و در تیمار اولی 92/4 میکروگرم در کیلوگرم مشاهده شد. نان‌های حاصله از نظر طعم، رنگ و بو یکسان بودند. همچنین خشک شدن سریع‌تر پوسته نان، تخمیر مخمری، سال برداشت، آب و هوای نامساعد، جوانه زدن غلات و استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنی در مزارع گندم یک اثر تعیین‌کننده بر میزان آسپارژین آزاد موجود در آرد و ساخت اکریل آمید نشان داده‌اند (51,16,11). مطالعه انجام شده توسط کولک نشان داد که، استفاده از نمک طعام به میزان یک درصد ساخت اکریل آمید را تا 40 درصد کاهش داد. ولی، استفاده از مقادیر بیشتر نمک تأثیری بر کاهش اکریل آمید نشان نداد (52).

یافته‌های پژوهشی در مورد عوامل مؤثر بر تولید و کاهش اکریل‌آمید در نان توسط مراکز علمی معتبر ایران مطالعات انجام شده توسط واحدی و همکاران نشان داد که، رقم گندم و کاهش درجه استخراج آرد به‌طور معنی‌داری باعث کاهش آسپارژین آزاد می‌شود، تأثیر ال-آسپارژیناز (میلی‌گرم/کیلوگرم) بر هیدرولیز آسپارژین در شرایط آزمایشگاه به میزان 100 درصد مشاهده شد، استفاده از آنزیم در خمیر نانوائی سنگگی سنتی با غلظت 250 توانست آسپارژین آزاد را به میزان  $21/54$  درصد کاهش دهد ولی، با غلظت 500 آسپارژین آزاد به میزان  $85/36$  درصد کاهش یافت. اما، زمانی که از آنزیم با غلظت مساوی (500 میلی‌گرم) در دو نوع خمیر استفاده شد میزان کاهش آسپارژین آزاد به  $79/89 - 75/47$  درصد رسید (3). کاهش آسپارژین آزاد توسط تخمیر مخمری، بعد از 360 دقیقه 99 درصد، بعد از 300 دقیقه 98 درصد، بعد از 240 دقیقه 97 درصد، بعد از 180 دقیقه 97 درصد، بعد از 150 دقیقه 94 درصد و بعد از 110 دقیقه 94 درصد، مشاهده شد. ولی، کاهش مؤثر آسپارژین آزاد در دو نوع خمیر تهیه‌شده از دو نوع آرد با درجه استخراج 93 و 82 درصد در 110 دقیقه طی عمل تخمیر به میزان 90 درصد رسید. با جایگزینی آرد 93 درصد استخراج به جای آرد 82 درصد استخراج آسپارژین آزاد به میزان  $133/33$  درصد، فروکتوز به میزان  $347/07$  درصد، گلوکز به میزان  $343/89$  درصد، مالتوز به میزان  $127/43$  درصد و ساکارز به میزان  $5/10$  درصد افزایش یافت (4). تأثیر درجه استخراج آرد، مدت‌زمان پخت، دما و میزان ال-آسپارژیناز بر کاهش ساخت اکریل‌آمید در نان سنگگی به‌صورت جداگانه و فردی مشخص شد (5). تأثیر متقابل عوامل دوگانه (دما و درجه استخراج، دما و آنزیم، دما و زمان، درجه استخراج و آنزیم و آنزیم، درجه استخراج و زمان، آنزیم و زمان)، تأثیر متقابل عوامل سه‌گانه (دما + آنزیم و زمان، دما + درجه استخراج و زمان، درجه استخراج + آنزیم و زمان، آنزیم و دما + درجه استخراج و آنزیم) و تأثیر متقابل عوامل چهارگانه (دما، آنزیم، درجه استخراج و زمان پخت)، بر ساخت اکریل‌آمید در نان سنگگی نشان داده شد (26).

کمترین مقدار اکریل‌آمید با میانگین  $13/07$  میلی‌گرم در کیلوگرم نان سنگگی در شرایطی که دمای پخت 241 درجه سانتی‌گراد، درجه استخراج آرد 82 درصد، مدت‌زمان پخت 5 دقیقه و ال-آسپارژیناز حضور داشته باشد ساخته می‌شود. اما، بیشترین مقدار اکریل‌آمید با میانگین  $60/30$  میلی‌گرم در کیلوگرم نان سنگگی در شرایطی که دمای پخت 352 درجه سانتی‌گراد، درجه استخراج آرد 93 درصد، زمان پخت 10 دقیقه و با عدم حضور آنزیم آسپارژیناز ساخته می‌شود (5). در ازای افزایش یک درجه استخراج آرد در دامنه 93 - 82 درصد  $1/572$ ، یک دقیقه زمان پخت در دامنه 10 - 5 دقیقه  $1/155$  و یک درجه حرارت در دامنه 241-352 درجه سانتی‌گراد  $0/057$  میلی‌گرم ساخت اکریل‌آمید در هر کیلوگرم نان سنگگی افزایش یافت. اما، در ازای هر واحد آنزیم در دامنه 500 - 0 میلی‌گرم در کیلوگرم ساخت اکریل‌آمید  $0/022$  - در هر کیلوگرم نان سنگگی کاهش یافت. همچنین نشان داده شد که، سازوکارهای ساخت اکریل‌آمید در زمان بسیار کوتاهی و با سرعت بالا در تنور سنگگی محقق می‌شود. اکریل‌آمید در تنور نانوائی سنگگی در دامنه دمایی 241-352 درجه سانتی‌گراد و در زمان‌های 5 دقیقه (پخت معمولی) و 10 دقیقه (برشته شدن) ساخته شد. بیشترین عامل تأثیرگذار بر ساخت اکریل‌آمید درجه استخراج آرد و کمترین تأثیر مربوط به درجه حرارت پخت مشاهده شد. ولی بیشترین عامل تأثیرگذار در جلوگیری از ساخت اکریل‌آمید در نان سنگگی به‌صورت اثرات متقابل توسط آسپارژیناز مشاهده شد (۲۶،۵). متقی طی مطالعه‌ای نشان داد که، غلظت اکریل‌آمید در نان‌های تافتون 14 نانوگرم، سنگگی 11 نانوگرم و نان بربری 9 نانوگرم می‌باشد. ولی غلظت اکریل‌آمید در نان لواش غیرقابل ردیابی گزارش شد (27). اعرابی طی مطالعه‌ای نشان داد که، استفاده از اسیداستیک و اسیدآسکوربیک در فرمولاسیون نان سنگگی ساخت اکریل‌آمید به میزان 90 درصد کاهش یافت. پیشنهاد شده است که، در مقیاس صنعتی استفاده از ساکارز به‌جای قند اینورت در فرمولاسیون بیسکوئیت و پخت در دماهای پایین‌تر یک

راهکار عملی برای کنترل ساخت اکریل آمید است. در نان سنگک رابطه دما با میزان اکریل آمید در نان سنگک یک رابطه سهمی شکل ولی رابطه زمان با میزان اکریل آمید یک رابطه خطی است (53).

## بحث

پژوهش انجام شده در ایران نشان داد که، ال-آسپارژیناز توانست در شرایط آزمایشگاه آسپارژین خالص را به میزان 100 درصد هیدرولیز نماید. اما، ال-آسپارژیناز با میزان 250 میلی گرم در کیلوگرم آسپارژین خمیر را در شرایط نانویی سنگکی به میزان 21/70 درصد کاهش داد ولی، با میزان 500 توانست آسپارژین آزاد موجود در آرد را به میزان 87/81 درصد هیدرولیز نماید (تفاوت کاهش آسپارژین در خمیر توسط ال-آسپارژیناز با میزان 500 نسبت به میزان 250، 66/11 درصد است). ولی، کاهش آسپارژین در دو نوع خمیر تهیه شده از دو نوع آرد با درجه استخراج 82 و 93 درصد در حضور شاهد توسط ال-آسپارژیناز به میزان برابر (500 میلی گرم در کیلوگرم) به میزان 75/46-80/02 درصد رسید (3). این یافته‌ها با نتایج مطالعات هانه (55)، زیزاک (54)، وس (31)، مونیکا (20)، ادوآردو (14) و آمرین (6) مبنی بر تاثیر آسپارژیناز بر کاهش آسپارژین آزاد همسوئی دارد. بین مقادیر آسپارژین در آرد کامل، سبوس و آرد آندوسپرم تهیه شده از دو نوع گندم، اختلاف معنی داری مشاهده شد. همچنین اثر مقدار آسپارژین در آرد کامل، سبوس، آرد آندوسپرم، تأثیر درجه استخراج آرد و ال-آسپارژیناز بر کاهش آسپارژین در خمیر نان بررسی شد (3). این یافته‌ها با نتایج مطالعات اسپرینگر (15)، در مورد چاودار همخوانی دارد با این تفاوت که، این پژوهشگر بر روی میزان توزیع آسپارژین در آرد کامل، سبوس و آرد آندوسپرم اظهارنظری ننموده است و مهم تر اینکه اثر تفاوت میزان توزیع آسپارژین را در آرد کامل، سبوس، آرد آندوسپرم و تأثیر درجه استخراج آرد را بر تشکیل اکریل آمید در نان سنگک نشان نداد و همچنین تأثیر ال-آسپارژیناز را بر کاهش آسپارژین آزاد در خمیر نان به صورت صنعتی

مورد بررسی قرار نداد. ولی، در ایران تأثیر مخمر نانویی در مقایسه با آنزیم بر کاهش آسپارژین آزاد به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که مقدار آسپارژین آزاد در آرد 82 درصد 62/33 درصد کمتر از آرد 93 درصد می باشد (4،3). این یافته‌ها با نتایج مطالعات کلاس در مورد ویفر همسوئی دارد (16،6). با تغییر درجه استخراج آرد از 93 درصد به 82 درصد یک کاهش 50 درصدی در مقدار خاکستر آرد مشاهده شد و بین مقدار آسپارژین آزاد در دو رقم گندم اختلاف معنی داری مشاهده شد (3). این یافته‌ها با نتایج مطالعات هانسن (56)، کلاس (16)، اسپرینگر (15)، رومیز (58)، هالفورد (57)، تایمز (30)، کلاس (16) و اسپرینگر (15) همسوئی دارد. ولی، با نتایج مطالعه لرنر (59) که تفاوت مقدار آسپارژین را به شرایط آب و هوایی، افزایش کود نیتروژنه و کمبود سولفات نسبت داده است ناهمسو می باشد. در خمیرهای تهیه شده از آرد 93 درصد استخراج (بدون حضور مخمر) کاهش آسپارژین آزاد در دقیقه صفر بدون تغییر مشاهده شد. ولی، کاهش آسپارژین در اثر تخمیر مخمری (با حضور مخمر) بعد از 360 دقیقه 99 درصد، بعد از 300 دقیقه 98 درصد، بعد از 240 دقیقه 97 درصد، بعد از 180 دقیقه 94 درصد، بعد از 150 و 110 دقیقه 94 درصد مشاهده شد. ولی، کاهش مؤثر آسپارژین (با حضور مخمر) در دو نوع خمیر تهیه شده از دو نوع آرد با درجه استخراج 93 درصد و 82 درصد در 110 دقیقه به میزان 90 درصد رسید (4). این یافته‌ها با نتایج مطالعات فردریکسون (33)، بندیتو (60) و کلاس (11) همسوئی دارد. ولی، با نتایج مطالعه کلاسیز (61) مبنی بر عدم کاهش آسپارژین تا 5/5 ساعت بعد از تخمیر ناهمسو است. به نظر می رسد که استفاده از زمان 110 دقیقه برای پایان تخمیر مخمری در خمیر نان سنگک به منظور کاهش مؤثر آسپارژین آزاد و جلوگیری از ساخت اکریل آمید مناسب ترین زمان باشد (4). این یافته‌ها با نتایج مطالعات سد (62)، فردریکسون (33) و کلاس (6) مبنی بر اینکه، اگر زمان تخمیر بیش از 120 دقیقه ادامه یابد باعث تخریب، تجزیه شبکه پروتئینی گلوتن و از دست رفتن قابلیت پذیرش



نان سنگک به میزان 22/96 درصد کاهش نشان داد (5). این یافته‌ها با نتایج مطالعات کلاوس (16)، ادآردو (14) و هانه (55) همسوئی دارد. قابل ذکر است که، تفاوت‌های ناشی از تأثیر ال-آسپارژیناز بر کاهش اکریل‌آمید در مطالعات انجام شده در ایران و جهان بیشتر به نوع سامانه تهیه نان برمی‌گردد و مهم‌تر اینکه شرایط مطلوب آزمایشگاهی در مقیاس صنعتی بندرت محقق می‌شود. مطالعات انجام شده در جهان مبتنی بر استفاده از آسپارژیناز در جهت کاهش اکریل‌آمید در فرآورده‌های غلات به جز در مورد بیسکوئیت‌های نیمه شیرین در سامانه‌های مدل و شرایط آزمایشگاهی و با مداخله انجام شده است. ولی، مطالعه ایران در مقیاس صنعتی و بدون مداخله در فناوری نانویی سنگکی انجام شد و مشاهده شد که حداکثر میزان اکریل‌آمید تشکیل شده حاصل از اثرات متقابل عوامل 4 گانه دما 352 درجه سانتی‌گراد، زمان پخت 10 دقیقه، آرد با درجه استخراج 93 درصد و بدون آنزیم به مقدار 60/30 می‌باشد. حداقل میزان اکریل‌آمید ساخته شده در دمای 241 درجه سانتی‌گراد، زمان پخت 5 دقیقه، آرد با درجه استخراج 82 درصد و با حضور آنزیم به میزان 13/07 میلی‌گرم در کیلوگرم نان سنگک، ساخته شد (5). از آنجایی که یافته‌های برخی تحقیقات در خصوص اندازه‌گیری اکریل‌آمید در نان با دستگاه LC/MS/MS (معتبرترین روش اندازه‌گیری اکریل‌آمید) به دست نیامده است (53) نتایج این مطالعات با یافته‌های به دست آمده در خصوص نتایج اندازه‌گیری اکریل‌آمید توسط LC/MS/MS قابل مقایسه نبود (5-3). از نقاط قوت این مطالعه این است که اولاً، مطالعه اولین مرور نظامند پیرامون بررسی عوامل مؤثر بر تشکیل و کاهش اکریل‌آمید در نان در ایران می‌باشد. ثانیاً، به صورت جامع و مبتنی بر تجربه انجام شده است.

## نتیجه‌گیری

تبیین راهکارهای کاهش اکریل‌آمید در نان براساس نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در جهان و ایران:

خمیر می‌شود همسوئی دارد. تغییر درجه استخراج آرد از 82 به 93 درصد باعث افزایش ساکارز به میزان 5/10، مالتوز به میزان 127/43، گلوکز به میزان 343/89 و فروکتوز به میزان 347/07 درصد شد (4). این یافته‌ها با نتایج مطالعات کلاوس (16،6) بر روی ویفر همسو می‌باشد. مسئله قابل توجه دیگر این است که بعضی مطالعات آسپارژین آزاد را به عنوان فاکتور محدودکننده ساخت اکریل‌آمید در فرآورده‌های غلات گزارش نموده‌اند. ولی، در ایران آسپارژین آزاد در خمیرها توسط ال-آسپارژیناز تا حد بی‌اثر بر تولید اکریل‌آمید کاهش داده شد ولی، با کمال تعجب و برخلاف یافته‌های سایر مطالعات انجام شده اکریل‌آمید ساخته شد (3،5). ولی، مطالعه ایران نشان داد که فاکتور اصلی جهت ساخت اکریل‌آمید در نان سنگک قندهای احیاکننده می‌باشند و علاوه بر این نشان داده شد که، میزان قندها در آرد از نقطه نظر تشکیل اکریل‌آمید دارای نقش تعیین‌کننده و مهم‌ترین عامل در تولید میزان اکریل‌آمید در نان سنگک می‌باشند. این نقش ویژه قندها در خمیرهای تهیه شده از آرد 93 درصد که 68/71 درصد گلوکز بیشتر نسبت به خمیر تهیه شده از آرد 82 درصد داشتند برجسته‌تر شد. با افزایش درجه استخراج از 82 به 93 درصد، میانگین ساخت اکریل‌آمید در نان به میزان 50/33 درصد افزایش یافت (5). این یافته‌ها با نتایج یای لاین (63) همسوئی دارد. اما، با بخشی از نتایج مطالعات اسپرینگر (15) مبنی بر اینکه آسپارژین آزاد عامل کلیدی و اصلی برای تشکیل اکریل‌آمید در نان است ناهمسو است. اما، با نتایج مطالعات کلاوس بر روی ویفر (6،16) و بخشی دیگر از نتایج مطالعات اسپرینگر (15)، کلاوس (11) و هانسن (56) بر روی آرد چاودار همسو می‌باشد. میانگین ساخت اکریل‌آمید در تنور نانویی سنگکی در ایران با افزایش دما از 241 درجه سانتی‌گراد (کمترین دمای پخت) به 352 درجه سانتی‌گراد (بیشترین دمای پخت) 14/35 درصد مشاهده شد. ولی، با افزایش زمان پخت نان سنگک از 5 دقیقه به 10 دقیقه میانگین ساخت اکریل‌آمید 14/40 درصد مشاهده شد. ولی، با استفاده از ال-آسپارژیناز به میزان 500 میلی‌گرم در کیلوگرم، ساخت اکریل‌آمید در

- 1- کاشت و تولید گونه‌هایی از گندم از طریق مهندسی ژنتیک با میزان آسپارژین کمتر با توجه به تنوع شرایط آب و هوایی در دنیا قابلیت تعمیم ندارد و نه تنها مشکل را حل نمی‌کند بلکه احتمالاً منجر به کاهش تولید گندم و شیوع گرسنگی خواهد شد. همچنین جایگزینی کودهای سولفات به جای کودهای نیترا ته و تغییر شرایط آب و هوایی امکان‌ناپذیر است.
- 2- درجه استخراج آرد مرتبط‌ترین عامل ساخت اکریل آمید در نان شناخته شده است لذا استفاده از آردهایی با درجه استخراج پایین به میزان زیادی باعث کاهش آسپارژین آزاد می‌شود و خطر بهداشتی نان (ایجاد سرطان) کاهش می‌یابد ولی، از آنجائی که چنین آردهایی ارزش تغذیه‌ای بالایی ندارند لذا این راهکار هم دامنه کاربرد آرد را محدود می‌نماید و هم اینکه بایستی غنی‌سازی شوند ولی غنی‌سازی نه لزوماً امکان‌پذیر است و نه لزوماً توجیه اقتصادی دارد.
- 3- کند نمودن روند انجام واکنش میلارد از طریق تعدیل میزان پیش‌سازهای (آسپارژین آزاد و قندهای احیاکننده) ساخت اکریل آمید را در نان کاهش می‌دهد. ولی، استفاده از آردهایی با درجه استخراج پایین تا میزان بالایی مشکل ساخت اکریل آمید را مرتفع می‌نماید و به‌طور مؤثر باعث کاهش آسپارژین آزاد می‌شود اما، باعث کاهش میزان قندهای احیاکننده هم می‌شود و از آنجائی که قندها هم به‌عنوان ماده اولیه جهت انجام واکنش‌های تخمیری توسط مخمر ساکارومایسس سرروزیه و هم ایجاد عطر و طعم در نان (واکنش میلارد) ضروری هستند. لذا حل مشکل از طریق حذف قندها امکان‌ناپذیر است ولی، امکان تعدیل قندها وجود دارد.
- 4- تعدیل قند گلوکز با استفاده از آنزیم گلوکز اکسیداز منجر به تولید آب اکسیژنه می‌شود و جهت خنثی نمودن آب اکسیژنه باید از آنزیم کاتالاز استفاده نمود که این مسئله لزوماً توجیه اقتصادی ندارد.
- 5- تخمیر مخمیری به نحو مؤثری باعث کاهش آسپارژین آزاد و قندهای احیاکننده می‌شود ولی در خصوص طولانی شدن زمان تخمیر بایستی به پیامدهای منفی آن و محدودیت مصرف آسپارژین آزاد و قندها توسط گونه‌های مختلف مخمر توجه داشت.
- 6- استفاده از نمک طعام در مقادیر کمتر از 2 درصد مقدار اکریل آمید را در نان کاهش می‌دهد ولی، بیش‌تر از 2 درصد به طرز قابل‌توجهی مقدار ساخت اکریل آمید را افزایش می‌دهد.
- 7- تغییر در فرمولاسیون و مراحل فناوری خطر تغییر ویژگی‌های حسی فرآورده و در نتیجه عدم پذیرش مصرف‌کننده را به همراه دارد.
- 8- استفاده از ال-آسپارژیناز روش مناسبی به نظر می‌رسد و برخلاف سایر آنزیم‌ها احتیاجی به جداسازی بعدی ندارد (از این جهت مقرون به‌صرفه است). آنزیم آسپارژیناز در ابتدای پخت غیرفعال شده و هیچ‌گونه خطری متوجه انسان یا نان نمی‌شود به‌علاوه، خطرات مضر تغذیه‌ای ناشی از مصرف آردهای با درجه استخراج بالا (حاوی سبوس و آسپارژین بیشتر) را در تهیه نان کاهش داده و ضمن حفظ ارزش تغذیه‌ای سبوس باعث افزایش تنوع در تولید آرد می‌شود و توقعات مصرف‌کنندگان نان‌های سبوس را برطرف کرده و از ایجاد سرطان در جامعه جلوگیری می‌نماید. به‌طور کلی آنزیم می‌تواند در کاهش ساخت اکریل آمید و بهبود سلامت نان سنگک مؤثر باشد اما، باید توجه

باکتری 3 - *Rastonia eutropha* TDM موجود در فاضلاب که قادر است بیش از 1446 میلی گرم اکریل آمید را در هر لیتر فاضلاب متابولیزه نماید.

13- استفاده از اسیدها و ایجاد PH اسیدی باعث توقف واکنش میلارد می شود. ولی، خطر ایجاد طعم ترش در محصول وجود دارد و مهم تر اینکه در شرایط اسیدی ساکارز هیدرولیز شده و ساخت اکریل آمید افزایش می یابد. در مجموع می توان چنین نتیجه گرفت که کاهش اکریل آمید در نان با امکانات فعلی از راه های کشاورزی غیرممکن به نظر می رسد. استفاده از رقبای آسپارژین خطرناک شناخته شده است، استفاده از ال-آسپارژیناز به دلایل عدم توجه اقتصادی و محدودیت کاربرد راهکار اصلی محسوب نمی شود. استفاده از آردهایی با درجه استخراج پایین لزوماً توجه اقتصادی ندارد و کاهش یا حذف قندها هم غیرعملی به نظر می رسد. استفاده از افزودنی هایی مثل بی کربنات سدیم، نمک طعام، آنتی اکسیدان ها و ... هنوز تأیید نشده اند.

### پیشنهاد برای آینده

- تعدیل میزان آغازگرها (قندهای احیاکننده و آسپارژین آزاد) در آرد از طریق تخمیر مخمری تنها راهکار ایمن کاهش اکریل آمید در نان است زیرا که، تخمیر مخمری قادر است به اندازه کاهش درجه استخراج آرد و ال-آسپارژیناز باعث کاهش آسپارژین آزاد شود، اما، انجام مطالعات تکمیلی دیگری در خصوص تأثیر تخمیر بر کاهش اکریل آمید ضروری است.
- اندازه گیری نشانگرهای زیستی اکریل آمید در خون انسان ضروری است تا مشخص شود که، آیا مردم از ناحیه مصرف نان در معرض سرطان قرار دارند یا خیر؟

نمود که، آنزیم ایمن نیست و استفاده بیش از حد (آنزیم) نه تنها فایده ای ندارد بلکه می تواند باعث ایجاد سرطان شود از سوی دیگر ممکن است مهارکننده های برگشت پذیر غیررقابتی مثل اسیدفیتیک موجود در سبوس باعث مهار عمل آنزیم شود.

9- زمان و درجه حرارت از تأثیرگذارترین عوامل مؤثر بر ساخت اکریل آمید در نان شناخته شد اما، تغییر آن ها ناممکن به نظر می رسد زیرا که تغییر درجه حرارت از یک طرف باعث مهار جنبه های مثبت واکنش میلارد (ایجاد عطر و طعم در نان) می شود و از طرفی دیگر باعث طولانی شدن زمان پخت و افزایش ساخت اکریل آمید می شود.

10- استفاده از اسیدهای آمینه رقابت کننده با آسپارژین آزاد از جمله گلايسين می تواند باعث کاهش ساخت اکریل آمید شود اما، باعث تشدید واکنش های تشکیل رنگ، تولید ملانوئیدین بیشتر و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی می شود. اسید آمینه سیستین قوی ترین بازدارنده ساخت اکریل آمید شناخته شده است. ولی، چون باعث سفیدی رنگ محصول و ایجاد بوی نامطلوب در نان می شود توصیه نشده است.

11- غنی سازی با کاتیون های تک ظرفیتی ساخت اکریل آمید را به نصف کاهش می دهد ولی تجمع سدیم باعث تجمع فلزات سمی و خطرناک می شود.

12- استفاده از اکریل آمیدیناز و باکتری های فاضلاب (64). اکریل آمیدیناز قادر است در محصول نهایی باعث کاهش اکریل آمید و تبدیل آن به اسیداکریلیک، آمونیاک و محصولات غیرواکنش پذیر می شود. استفاده از بعضی باکتری های فاضلاب توانسته اند اکریل آمید را متابولیزه نمایند همانند

- بررسی تأثیر PH دستگاه گوارش انسان بر تغییرات اکریل آمید موجود در غذا.
  - بررسی تأثیر سرد نمودن سریع نان بلافاصله بعد از پخت بر میزان کاهش اکریل آمید.
  - بررسی میزان اکریل آمید در غذای کودکان.
- لذا ضروری است تا انجام تحقیقات تکمیلی به نانوایان و مردم آموزش داده شود که از برشته نمودن نان و طولانی شدن زمان پخت امتناع ورزند.

## References

1. The CIAA acrylamide toolbox for the reduction of acrylamide in flour: Confederation of the Food and Drink Industries of the EU (CIAA). 2009; Pdf.
2. Rajabzadeh N. Knowledge development and management of bread production, 1rd ed. Tehran: 2010; 1(1):641-644.
3. Vahedi H. Kobarfard F. Effect of flour extraction rate and Amount L - aspraginase enzyme on reduction free asparagine in bread dough, Ofogh- e - Danesh. GMUHS Journal. 2012; 18(2):37- 44.
4. Vahedi H. Kobarfard F. The Effect of flour extraction rate and of fermentation time on the free asparagine reduction in Sangak bread dough. Food Sciences and Nutrition Journal. 2012;9(4):13 -20.
5. Vahedi H. Kobarfard F. The Effect of flour extraction rate, Amount L - aspraginase enzyme, and baking temperature, and time on acrylamide formation in Sangak bread. Iranian Journal of Nutrition Sciences and food Technology. 2012;7(3):51- 60.
6. Amrein TM. Ways for Acrylamide in gingerbread: critical factors for formation and possible reduction. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004;52(13):4282- 4288.
7. Lingnert H. Acrylamide in food: Mechanisms of formation and in uencing factors during heating of food. Scandinavian Journal of Nutrition. 2006; 46(4):159-172.
8. Tareke E. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated food stuffs. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002; 50(17):4998- 5006.
9. Low M. Effect of citric acid and lysine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006; 54(16):5976-5983.
10. Swenson K. Dietary intake of acrylamide in Sweden Food Chemistry Toxicology. 2003; 41(11):1581-1586.
11. Claus A. Acrylamide in cereal products: A review. Journal of Cereal science. 2008;47(2):118 - 133.
12. Stadler RH. Acrylamide from Maillard reaction products. Journal of Nature. 2005;419(69):449-450.
13. Lindsay RC. Model Systems for Evaluating Factors Affecting Acrylamide Formation in Deep Fried Foods. Chemistry and Safety of Acrylamide in Food. 2005; 561:329-341.
14. Edoardo C. Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies, Food Research International. 2009; 42(9):1295-1302
15. Springer M. Development of Acrylamide in baked products. Getride Mehl und Brot. 2003; 57(5):274 - 278.
16. Claus A. Influence of agronomic factors and extraction rate on the acrylamide contents in veast-leavened breads. Journal Food Chemistry. 2006; 54(23):9876-9886.
17. Richmond P. Acrylamide in food. Journal of Lancet. 2007; 12(2):361-362.
18. Vahedi H. Migration of acrylamide from packaging to food. Summary of articles in Milk Seminar, first edition, Tehran, Medical Sciences University of Iran. 2009; 1(1):5-7.
19. Vahedi H. Comparison of acrylamide measuring methods. Summary of articles First Iranian Congress acrylamide and challenges in food industry, first edition, University of Iran first edition, Mashhad IRAN, Mashhad University of Medical Sciences. 2010;1(1):77.

20. Vahedi H. Measuring acrylamide in Sangak bread using LC/MS/MS. Summary of articles in Cancer Prevention Conference first edition, Tehran, Institute of Cancer Research, Education and Prevention. 2012; 1(1):7.
21. Vahedi H. Assessment of flour type, fermentation time, asparaginase enzyme on reduction main reaction on formation of acrylamide in Sangak bread. Summary of Second Seminar on Role of Basic Sciences in Promotion of Health, first edition, Tehran, Shahid Beheshti University of Medical Sciences. 2012; 1(1):3.
22. Vahedi H. Effect of L-asparaginase enzyme extraction rate, temperature, and baking time on formation of acrylamide in Sangak bread. First Iranian of articles from national Congress of Researchers and Elites on Food Safety; from Farm to Table. First edition, Tehran, Tehran University of Medical Sciences. 2012; 1(1):5.
23. Vahedi H. Effect of L-asparaginase enzyme, extraction, and baking time on formation of acrylamide grade, temperature in Sangak bread. Summary of articles from 12<sup>th</sup> International Congress of Toxicology and poisoning in Iran. First edition, Sari, Mazandaran University of Medical Sciences. 2013; 1(1):10.
24. Vahedi H. Comparing formation Amount of acrylamide in four popular types of bread in Iran. Summary of articles from the third seminar on Role of Basic Medical Sciences in Promotion of Health. First edition, Tehran, Shahid eheshti University of Medical Sciences. 2014; 1(1):5.
25. Vahedi H. Timely assessment of effect of asparaginase, extraction rate, baking temperature and baking time on formation of acrylamide in Sangak bread. Summary of articles from the First International Congress on Healthy agriculture, Nutrition, and Society. First edition, Tehran, Central Environmental Organization. 2015; 1(1):15.
26. Vahedi H. Acrylamide and its challenges (food safety). First edition, Tehran, Noor-e-Danesh. 2013; 1(1):1-164.
27. Motaghi M. Comparison acryl amide in varieties of traditional bread. 1rd ed. city Mashhad: Mashhad university of Medical Sciences, 2010; 1(1):17.
28. Jung M. A novel technique for limitation of acryl amide formation in fried and baked com chips and in French fries Food Chemistry and Toxicology. 2003; 68: 1287-1290.
29. Grob K. French fries with less than 100 mg/kg acryl amide. A collaboration between cooks and analysis European Food Research and Technology. 2003; 217:185-194.
30. Taeymans D. A review of acryl amide: An industry perspective on research, analysis, formation, and control. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2004; 44:323-347.
31. Vass M. Ways to reduce Acryl amide formation in cracker products. Czech of Food Science. 2004; 22:19-21.
32. Surdyk J. Effects of 13sparagines, fructose and baking condition on acryl amide content in yeast - leavened wheat bread, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004; 52: 2047-2051.
33. Fredriksson, H. Fermentation reduces free 13sparagines in dough and acryl amide content in bread. Cereal Chemistry. 2004; 81:650-653.
34. Amrein TM. Ways for Acryl amide in ginger bread: critical factors for formation and possible reduction. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004; 52: 4282- 4288.
35. Elder A. Rapid Sample Preparation Method for LC-MS/MS or GC-MS, Analysis of Acrylamide in Various Food Matrices. Agriculture Food Chemistry. 2006; 54: 7001-7008.
36. Brathen, E. Addition of glycine reduces the content of acryl amide in cereal and potato products. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005; 53: 32591-3264.
37. Hendricksen E. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acryl amide. Trends in Food Science and Technology. 2005; 16:181-193.
38. Lindsay RC. Model systems for evaluating factors affecting acryl amide formation in deep fried foods. Chemistry and Safety of Acryl Amide in Food. 2005; 561:329-341.
39. Hanley A. Acryl amide reduction in processed foods. Adv Exp Med Biology. 2005; 561:387- 392.
40. Hebeisen T. Influence of storage temperature of potatoes on acryl amide formation in roasted dishes. International Society for Horticultural Science. 2005; 745:387-392.
41. Vahedi H. Kobarfard F. The Effect of flour extraction rate, Amount L -

- asparaginase enzyme, and baking temperature, and time on acrylamide formation in Sangak bread. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology. 2012;7(3):51- 60.
42. Vattem D. Acryl amide in food: a model for mechamsm of formation and its. Innovative Food Science and Emerging Technology. 2005; 4:331-338.
  43. Levine A. Sources of variability of acryl amide levels in a cracker model. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005; 53:4410-4416.
  44. Amrein T. M. on the Investigations on the promoting effect of ammonium hydrogencarbonate of Agricultural and Food formation of acrylamide in model systems. Journal Chemistry. 2006; 54:10523-10561.
  45. Maya G. Reducing the acrylamide content of a semi-finished biscuit on industrial scale. LWT. 2006; 39:724-728.
  46. Graf M. Reducing the acryl amide content of a semi – finished biscuit on industrial scale, Food Science and Technology. 2006; 39:724-728.
  47. Fink M. Effect of added asparagine and glycine on acrylamide content in yeast-leavened bread. Cereal Chemistry 2006, 83, 218-222.
  48. Kroll J. Reactions of plant phenolics with food proteins and enzymes under special consideration of covalent bonds. Food Science and Technology Research. 2003; 9:205-218.
  49. Gokmen V. Study of colour and acryl amide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. Food Chemistry. 2006;99:238-243.
  50. Gokmen V. Acryl amide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. Food Chemistry. 2007;103:198-203.
  51. Claus A. Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. Journal of Cereal Science. 2007;10:1011-1016.
  52. Kolek E. Inhibition of acrylamide formation in asparagine/D-glucose model systems by NaCl addition. European Food Research and Technology. 2006; 224:283-284.
  53. Arabi F. Mahdavi, M. Mohammadi, S. Summary of articles from 20th National Congress of Food Sciences and Industries of Iran. First edition, Tehran, Sharif Industrial University. 2011;1(1):53.
  54. Zyzak DV. Acrylamide formation mechanism in heated foods. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003; 51(16):4782- 4787.
  55. Hanne V. Evaluating the potential acryl amide mitigation in a range of food products using an asparaginase from aspergillus oryzae, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009; 57(10):4168- 4176.
  56. Hansen H. Grain characteristics chemical composition, and functional of rye (Scale cereal L.) as influenced by genotype and harvest year. Journal of Agricultural and. Food Chemistry. 2004; 52(8):2282-2291
  57. Halford N. Genetic and argonomic approaches to decreasing acrylamide precursors in crop plants. Food Additives. 2007; 24(1):26-36.
  58. Rommens C. Improving potato storage and processing characteristics through all- native DNA transformation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007; 54(26):9882-9887.
  59. Lerner S. N-fertiliser effects- on grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. Journal of Cereal Science. 2006; 44(1):2-11.
  60. Benedito D. Reversed phase high performance liquid chromatography analysis of changes in free amino acid during wheat bread dough fermentation. 1989; 66(4):283-288.
  61. Claceys W. L. Effect of amino acid on acrylamide formation and elimination kinetics. Biotechnology Progress. 2005; 21(5):1525-1530.
  62. Sadd P. The formation of acrylamide in UK cereal products. Journal Food Chmistry. 2005;?(?):415-430.
  63. Yaylayan V. Why asparagine needs carbohydrates to generate acryl amide. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003;51(7):1753-1757.
  64. Wang c.c. Isolation of the acrylamide denitrifying bacteria a waste water treatment system manufactured with polyacrylonitrile fiber. Curr. Microbiology. 2007;55:339-343.

## سؤالات

1- کدام یک از قندهای زیر در واکنش میلارد شرکت نمی کند؟

الف) گلوکز

ب) ساکارز

ج) لاکتوز

د) فروکتوز

2- تأثیر گذارترین عامل بر تولید اکریل آمید در نان سنگک کدام است؟

الف) نوع گندم

ب) درجه حرارت

ج) میزان سیوس آرد

د) قندهای غیر احیاکننده

3- کدام عامل زیر همیشه تشدیدکننده واکنش میلارد است؟

الف) ساکارز

ب) فروکتوز

ج) لاکتوز

د) حرارت

4- در کدام یک از نان‌های زیر تاکنون اکریل آمید مشاهده نشده است؟

الف) لواش

ب) تافتون

ج) بربری

د) سنگک

6- کدام یک از قندهای زیر در واکنش میلارد شرکت نمی کند؟

الف) گلوکز

ب) فروکتوز

ج) لاکتوز

د) ساکارز

7- مناسب‌ترین زمان جهت ورآمدن خمیر نان سنگک کدام است؟

الف) 50

ب) 100

ج) 110

د) 180

8- تأثیر کدام یک از فاکتورهای زیر بر کاهش اکریل آمید بیشتر است؟

الف) دما

ب) تخمیر

ج) اسپارژیناز

د) کاهش درجه استخراج آرد

9- علت اصلی ایجاد عطر و طعم در نان کدام عامل زیر است؟

الف) اسپارژیناز

ب) پدیده تخمیر

ج) واکنش میلارد

د) قندهای احیاکننده

10- بهترین زمان جهت پختن نان سنگک سنتی ایران چند دقیقه می باشد؟

الف) 5

ب) 6

ج) 8

د) 10