

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد شیمی تجزیه

استفاده از تکنیک سُل-ژل در ساخت فیبرهای پلی اتیلن گلیکول و پلی اتیلن گلیکول
اصلاح شده با ذرات نانولوله‌های کربنی و مقایسه‌ی آنها در میکرواستخراج فاز جامد
فوران از نمونه‌های غذایی

استاد راهنما:

دکتر علی سرافراز یزدی

دکتر غلامحسین رونقی

تحقیق و نگارش:

مریم عباسیان

شهریور ماه ۱۳۹۰

حاصل تلاشم را تقدیم می‌کنم به:

پدر و مادر عزیزم

که دست‌های دعایشان در راه رسیدن به هدفم همواره به آسمان بلند بود و صدای همایشان، حریر سبز بهاری جادویی بود که در اوج سختی‌ها سگوفایم می‌ساخت.

خواهران و برادر مهربانم

که در لحظه‌های پرالتهاب تلاشم شمریکم شدند و در نهایت سکون و آرامش، زیر آسمان خدا برایم بذر ستاره کاشتند. و در نهایت خلوص، صداقت و پاکی

به همسرم، همراه زندگی‌ام که بارانی‌ترین نگاه‌هایش را برایم کنار گذاشت و بی‌شک، همواره تکیه‌گاه بی‌شکایتی بود که در اتاق روشن دلش برایم شعر دعای نوشت.

در ذهن کوچکم سرودی است زلال با عطر بال های کبوتران سپید که به پاس همراهی بی دریغ و نصیحت آموزنده ی
بزرگواران عرصه ی علم و آموزش تقدیم می دارم به:

استاد ارجمند جناب آقای دکتر علی سرافراز زیدی که خداوند متعال در دورانی از زندگی ام افتخار شاگردی
ایشان را نصیبم ساخت تا در سایه ی راهنمایی های علمی و اخلاقی بی دریغ ایشان گامی در راه ارتقاء دانش خویش
و خدمت به انسانیت بردارم.

استاد محترم گروه شیمی تجزیه، آقایان دکتر غلامحسین رونقی، دکتر محمود چمنان، دکتر محمد حسین ارباب زوار و
سرکار خانم دکتر زرجب اشرف که از محضرشان کسب علم و اخلاق نموده ام.

همکاران و دوستان خوبم در آزمایشگاه شیمی تجزیه، خانم فریال قائمی، آقای مهدی مصدق و سایر عزیزانی که
توشه ی اندوخته هایشان را بر ایمنم گشودند و در این مسیر دشوار، دست یاریم را به گرمی فشردند.

و نیز تشکری ویژه دارم از جناب آقای امیر حسن امیری که همواره نصیحت ارزشمندشان مسیر علم آموزی ام
را هموار کرد.

Abstract

Headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) method with two different coatings synthesized by sol-gel technology [such as poly(ethylene glycol) (PEG) and PEG reinforced with multi-walled carbon nanotubes (PEG/CNTs)] coupled with gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID) was proposed for determination of furan at trace levels in food samples. Experimental parameters including extraction time, extraction temperature, stirring speed, ionic strength, desorption temperature and time were evaluated and optimized. Under optimized conditions, the linear range for furan with PEG and PEG/CNTs fibers were 1,100-11,000 and 1,100-11,000 ng/mL, limit of detection (S/N=3) were 1,100 and 1,100 ng/mL and limit of quantification (LOQ) were 1,100 and 1,100 ng/mL, respectively. Repeatability and reproducibility of these fibers were also compared. Relative recoveries for the spiked samples with 1,100 ng/mL of furan were ranged from 92-103%. The proposed HS-SPME-GC-FID method was successfully applied for the extraction of furan in two environmental food samples (baby food and fruit juice), and the concentrations of the target were found in the range of 1,100 to 1,100 ng/mL.

Keywords: Headspace solid phase microextraction; Sol-gel technology; Furan; Food samples; GC-FID

چکیده:

تکنیک میکرواستخراج فاز جامد با سنتز دو نوع پوشش متفاوت (پلی اتیلن گلیکول و پلی اتیلن گلیکول تقویت شده با کربن نانو تیوب چند دیواره) به روش سل-ژل، کوپل شده با دستگاه کروماتوگرافی گازی و دتکتور یونیزاسیون شعله، به منظور تعیین فوران در مقادیر بسیار کم در نمونه‌های غذایی پیشنهاد شده است. پارامترهای تجزیه‌ای شامل زمان استخراج، دمای استخراج، سرعت همزن، قدرت یونی، دما و زمان واجذب بررسی و بهینه شدند. تحت شرایط بهینه، محدوده خطی برای فوران با فیبرهای پلی اتیلن گلیکول و پلی اتیلن گلیکول تقویت شده به ترتیب $10^{-0}/0.0005$ و $10^{-0}/0.005$ نانوگرم بر میلی لیتر، حد تشخیص کیفی 0.001 و 0.00025 نانوگرم بر میلی لیتر و حد تشخیص کمی 0.005 و 0.0005 بدست آمده است. انحراف استاندارد نسبی برای یک فیبر مشخص ($n=5$) و انحراف استاندارد نسبی برای سه فیبر از یک نوع ($n=3$)، بررسی و مقایسه شدند. درصد بازیابی نسبی برای نمونه‌های اسپایک شده با محلول $0/1$ نانوگرم بر میلی لیتر فوران بین $92\%-103\%$ محاسبه شد. روش پیشنهاد شده به طور موفقیت آمیزی برای استخراج فوران از نمونه‌های غذایی (غذای کودک و آبمیوه) بکار برده شد و فوران در ناحیه‌ی بین $0.23-0.128$ نانوگرم بر میلی لیتر اندازه‌گیری شد.

کلمات کلیدی: میکرواستخراج فاز جامد، پلی اتیلن گلیکول، کربن نانو تیوب چند دیواره، سل-ژل، فوران، کروماتوگرافی گازی و دتکتور یونیزاسیون شعله.

اصطلاحات و علائم اختصاری:

| | |
|---|---|
| US FDA | اداره کل غذا و داروی ایالات متحده |
| EFSA | جامعه سلامت غذایی اروپا |
| psi | پوند بر اینچ مربع |
| U.S. National Institutes of Health | انجمن بین المللی سلامت ایالات متحده |
| | نماینده بین المللی برای تحقیقات روی سرطان |
| International Agency for Research on Cancer | |
| Head Space | فضای فوقانی |
| Purge and trap | گاززدایی و به تله انداختن |
| SPME | میکرواستخراج فاز جامد |
| HS-SPME | روش میکرواستخراج فاز جامد از فضای فوقانی |
| PDMS/Carboxen | پلی‌دی‌متیل سیلوکسان/کربوکسن |
| GC | کروماتوگرافی گازی |
| HPLC | کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا |
| FID | آشکارساز یونیزاسیون شعله |
| TCD | آشکارساز هدایت گرمایی |
| MS | اسپکتروسکوپی جرمی |
| Headspace extraction | استخراج از فضای فوقانی |
| D_f | ضریب توزیع آنالیت در پوشش |
| D_s | ضریب نفوذ آنالیت در سیال نمونه |

| | |
|------------------------|---|
| δ | ضخامت لایه مرزی |
| K_{fh} | ثابت توزیع (پوشش-گاز) |
| K_{hs} | ثابت توزیع (گاز - بافت نمونه) |
| PDMS | پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان |
| CW/PDMS | کربواکس / پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان |
| TFA | تری‌فلوئورو استیک اسید |
| MTMOS | متیل‌تری‌متوکسی‌سیلان |
| MW-CNTs | نانولوله‌های چند دیواره کربنی |
| SW-CNTs | نانولوله‌های تک دیواره کربنی |
| ng/ml (ppb) | نانو گرم بر میلی‌لیتر (قسمت در بیلیون) |
| $\mu\text{g/ml}$ (ppm) | میکرو گرم بر میلی‌لیتر (قسمت در میلیون) |
| LOQ | حد تشخیص کمی |
| LOD | حد تشخیص کیفی |
| RSD | انحراف استاندارد نسبی |
| SEM | میکروسکوپ الکترونی پوششی |
| TEM | میکروسکوپ الکترونی روبشی |

فهرست:

| | |
|-------|---|
| ۱ | فصل اول |
| ۱-۱ | مقدمه |
| ۲-۱ | فوران در مواد غذایی |
| ۳-۱ | اثر حرارت بر روی تشکیل فوران در مواد غذایی |
| ۴-۱ | مکانیسم‌های تشکیل فوران |
| ۵-۱ | تشکیل فوران از تخریب کربوهیدرات‌ها |
| ۶-۱ | تشکیل فوران از طریق تخریب گرمایی آمینواسیدهای ویژه |
| ۷-۱ | تشکیل فوران از اکسیداسیون گرمایی اسید آسکوربیک |
| ۸-۱ | تشکیل فوران از اکسیداسیون گرمایی اسیدهای چرب غیراشباع |
| ۹-۱ | اثر تابش یونیزه کننده بر روی تشکیل فوران |
| ۱۰-۱ | اثرات فوران بر روی سلامتی |
| ۱۱-۱ | مروری بر روش‌های استفاده شده برای اندازه‌گیری فوران |
| ۱۲ | فصل دوم |
| ۱-۲ | مقدمه |
| ۲-۲ | میکرواستخراج فاز جامد |
| ۳-۲ | شیوه‌های استخراج با میکرواستخراج فاز جامد |
| ۱-۳-۲ | روش استخراج مستقیم |
| ۲-۳-۲ | روش استخراج از فضای فوقانی |
| ۳-۳-۲ | روش محافظت با غشاء |
| ۴-۲ | اصول تئوری میکرواستخراج فاز جامد |
| ۵-۲ | پارامترهای موثر در استخراج با میکرواستخراج فاز جامد |
| ۱-۵-۲ | حجم پوشش |
| ۲-۵-۲ | اصلاح ماتریکس |

| | | |
|----|-------|---|
| ۲۰ | ----- | ۳-۵-۲ اثر دما و حلال |
| ۲۰ | ----- | ۴-۵-۲ زمان استخراج |
| ۲۱ | ----- | ۵-۵-۲ سینتیک استخراج |
| ۲۲ | ----- | ۶-۲ انواع پوشش‌ها |
| ۲۳ | ----- | ۱-۶-۲ تکنیک سل-ژل |
| ۲۴ | ----- | ۱-۱-۶-۲ مراحل فرآیند سل-ژل |
| ۲۷ | ----- | ۷-۲ ساخت فیبر با استفاده از نانولوله‌های کربنی به روش سل-ژل |
| ۲۸ | ----- | ۸-۲ ویژگی‌های فیبر بر پایه‌ی سل-ژل |
| ۳۰ | ----- | فصل سوم |
| ۳۱ | ----- | ۱-۳ دستگاه‌های مورد استفاده |
| ۳۱ | ----- | ۱-۱-۳ دستگاه کروماتوگرافی گازی |
| ۳۳ | ----- | ۲-۱-۳ دستگاه اولتراسونیک |
| ۳۳ | ----- | ۳-۱-۳ دستگاه سانتریفیوژ |
| ۳۳ | ----- | ۴-۱-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی |
| ۳۳ | ----- | ۲-۳ مواد شیمیایی مورد استفاده |
| ۳۴ | ----- | ۳-۳ تهیه‌ی محلول‌های استاندارد |
| ۳۵ | ----- | ۴-۳ فعالسازی بستر فیبر |
| ۳۵ | ----- | ۵-۳ ساخت سل و تشکیل ژل بر روی بستر شیشه‌ای فیبر |
| ۳۵ | ----- | ۱-۵-۳ ساخت سل برای تهیه‌ی فیبر پلی اتیلن گلیکول |
| ۳۶ | ----- | ۲-۵-۳ تشکیل ژل روی بستر شیشه‌ای |
| | | ۳-۵-۳ ساخت سل برای تهیه‌ی فیبر پلی اتیلن گلیکول اصلاح شده با نانولوله‌های کربنی |
| ۳۶ | ----- | |
| ۳۷ | ----- | ۱-۳-۵-۳ پیر شدن ژل |
| ۳۷ | ----- | ۲-۳-۵-۳ خشک شدن ژل |

- ۳۸..... میکرواستخراج فاز جامد از فضای فوقانی
- ۳۹..... شرایط دستگاه کروماتوگرافی گازی
- ۴۰..... ۱-۷-۳ بهینه‌سازی دمای اولیه‌ی ستون کروماتوگرافی
- ۴۰..... ۲-۷-۳ سرعت گاز حامل و شرایط تزریق به دستگاه
- ۴۱..... ۳-۷-۳ بهینه‌سازی زمان واجذب آنالیت از روی فیبر
- ۴۱..... ۴-۷-۳ بهینه‌سازی دمای واجذب آنالیت از روی فیبر
- ۴۳..... ۸-۳ شرایط بهینه برای سیستم استخراج
- ۴۳..... ۱-۸-۳ بهینه‌سازی دمای استخراج
- ۴۵..... ۲-۸-۳ بهینه‌سازی زمان استخراج
- ۴۶..... ۳-۸-۳ بهینه‌سازی سرعت همزن
- ۴۸..... ۴-۸-۳ اثر نمک
- ۴۹..... ۹-۳ مقایسه‌ی کارایی فیبرها
- ۵۰..... ۱۰-۳ بررسی آماری و ارقام شایستگی روش
- ۵۳..... ۱۱-۳ بررسی نمونه‌های حقیقی
- ۵۵..... ۱۲-۳ مقایسه‌ی فیبرهای ساخته شده با استفاده از روش سل-ژل با سایر روش‌ها
- ۵۶..... ۱۳-۳ بررسی ساختار فیبر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی
- ۶۱..... ۱۴-۳ بحث و نتیجه‌گیری
- ۶۲..... ۱۵-۳ پیشنهادات
- ۶۳..... مراجع

فصل اول

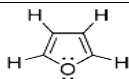
فوران

۱-۱ مقدمه

فوران، یک ترکیب آلی هتروسیکل می‌باشد که در دسته‌ی اترهای حلقوی دی‌انی طبقه بندی شده است و عموماً از تجزیه‌ی گرمایی مواد حاوی پنتوز، جامدهای سلولزی، بویژه چوب درخت کاج حاصل می‌شود [۱]. فوران مایعی شفاف، بی‌رنگ و اشتعال پذیر با رایحه‌ی اتری است. هنگامی که در معرض هوا قرار می‌گیرد پروکسیدهای قابل انفجار تشکیل می‌دهد. این ترکیب در مقابل بازها پایدار است اما در هنگام تبدیل شدن به بخار یا در تماس با اسیدهای معدنی، رزین تشکیل می‌دهد. این ماده در آب غیر قابل حل اما در الکل، استون، بنزن و اتر حل می‌شود [۲]. این ترکیب آروماتیک می‌باشد زیرا یکی از جفت الکترون‌های تنهای اتم اکسیژن در داخل حلقه متمرکز شده و یک سیستم آروماتیک $4n+2$ مشابه بنزن بوجود آورده است [۱].

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این ماده در جدول ۱-۱ آمده است.

جدول ۱-۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فوران

| | |
|---|------------------------|
|  | ساختار شیمیایی |
| فوران | نام آیوپاک |
| اکسول، فورفوران، دی‌وینیل اکسید | نام‌های دیگر |
| C_4H_4O | فرمول مولکولی |
| ۶۸/۰۷ | جرم مولی (گرم بر مول) |
| بی‌رنگ، مایع فرار | مشخصات ظاهری |
| ۰/۹۳۶ | دانسیته (گرم بر مول) |
| -۸۵/۶ | نقطه‌ی ذوب (سانتیگراد) |
| ۳۱/۴ | نقطه‌ی جوش (سانتیگراد) |

همه‌ی داده‌ها در شرایط استاندارد (۲۵ درجه سانتیگراد و فشار ۱۰۰ کیلو پاسکال) داده شده‌اند.

۱-۲ فوران در مواد غذایی

اولین گزارشات در مورد حضور فوران در مواد غذایی در سال ۱۹۷۹ ارائه گردید [۳]. در سال ۲۰۰۴، اولین نتایج آزمایشات بر روی فوران در مواد غذایی که عمدتاً با حرارت دادن تهیه شده بودند، توسط اداره‌ی کل غذا و داروی ایالات متحده (US FDA) گزارش شد [۴]. جامعه‌ی سلامت غذای اروپا (EFSA) ^۱ از روش موسسه‌ی US FDA برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به آنالیز و تشکیل فوران در نمونه‌های غذایی استفاده کردند.

بررسی‌های FDA و EFSA محدود به محصولات‌ی که در ظروف دربسته گرما داده شده بودند، می‌شد، لذا توسط این بررسی‌ها توزیع واقعی فوران در مواد غذایی حاصل نمی‌شد، به همین دلیل EFSA برای تخمین میزان آن در نمونه‌های غذایی مختلف فراخوان داد [۵]. همچنین مقادیر زیاد فوران (۲۰-۲۰۰ میکرو گرم/کیلوگرم) در مواد غذایی که در ظروف باز پخته شده بودند، مانند چیپس سیب زمینی، کلوچه‌ها و نان برشته گزارش شد [۶].

۱-۳ اثر حرارت بر روی تشکیل فوران در مواد غذایی

در ابتدا تصور بر این بود که چنین ماده‌ی فراری در هنگام باز کردن کنسروها یا شیشه‌ها به سادگی تبخیر شود، اما ثابت شده که این تصورات نادرست است. در حقیقت فوران ماندگاری بیشتری در مواد غذایی دارد. فورانی که در فرآیندهای صنعتی در اثر حرارت دادن مواد غذایی در ظروف دربسته تشکیل می‌گردد حتی در هنگام گرم کردن برای مصرف، مقدار زیادی از آن در ماده‌ی غذایی باقی می‌ماند [۷]، از طرف دیگر جوشاندن و یا پختن مواد غذایی می‌تواند باعث تبخیر فوران گردد.

^۱ US Food and Drug Administration

^۲ European Food Safety Authority

۱-۴ مکانیسم‌های تشکیل فوران

راه‌های مختلف تشکیل فوران [۸] عبارتند از:

۱- تخریب گرمایی / واکنش میلارد^۱ قندهای کاهنده (به تنهایی یا در حضور آمینواسیدها)

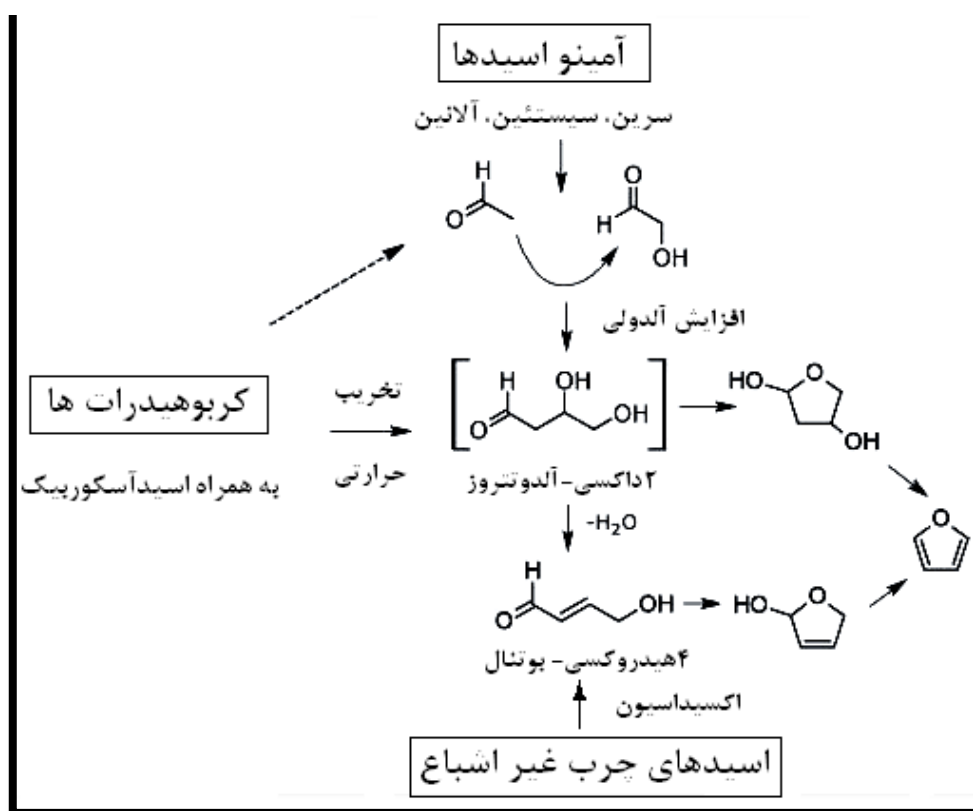
۲- تخریب گرمایی بعضی از آمینو اسیدها

۳- اکسیداسیون گرمایی اسید آسکوربیک

۴- اکسیداسیون گرمایی اسیدهای چرب غیراشباع

شکل ۱-۱ این مکانیسم‌ها را نمایش می‌دهد.

اسید آسکوربیک دارای بیشترین پتانسیل برای تشکیل فوران می‌باشد و پس از آن اسیدهای چرب دارای حلقه‌های اشباع نشده و قندها قرار دارند [۹].



شکل ۱-۱ مسیرهای پیشنهادی و مواد اولیه فوران [۱۳،۱۰]

^۱ Maillard reaction

۱-۵ تشکیل فوران از تخریب کربوهیدرات‌ها

در حرارت‌های بالا و در غیاب آمینواسیدها، فوران عمدتاً از ساختمان دست نخورده‌ی قند حاصل می‌شود. در شکل ۱-۲ مسیرهای پیشنهادی تشکیل فوران از کربوهیدرات‌ها هگزوز نشان داده شده است. چهار مسیر A, B, C و D برای تخریب کربوهیدرات‌هایی که می‌توانند منجر به تولید مشتقات آلدوتروز شوند وجود دارد [۱۰]. هگزوز در حضور آمینواسیدها متحمل واکنش میلارد شده و واسطه‌هایی مانند ۱-داکسی اسان^۱ و ۳-داکسی اسان^۲ (مسیرهای A و D) تولید می‌کند، ۱-داکسی اسان به منظور تولید آلدوتروز تحت تاثیر شکافتگی آلفا-دی کربونیل قرار می‌گیرد [۱۱]. همچنین آلدوتروز توسط شکافتگی آلدولی^۳ برگشت پذیر در غیاب آمینواسیدها (مسیر B) تشکیل شده است. مسیر C تشکیل ۲-داکسی-۳-کتو-آلدوتروز^۴ را پس از واکنش آگیری و شکافتگی آلدولی برگشت پذیر نشان می‌دهد. در پایان ۳-داکسی اسان به منظور تولید ۲-داکسی آلدوتروز تحت تاثیر شکافتگی آلفا-دی کربونیل، اکسیداسیون و کربوکسیل زدایی قرار می‌گیرد (مسیر D).

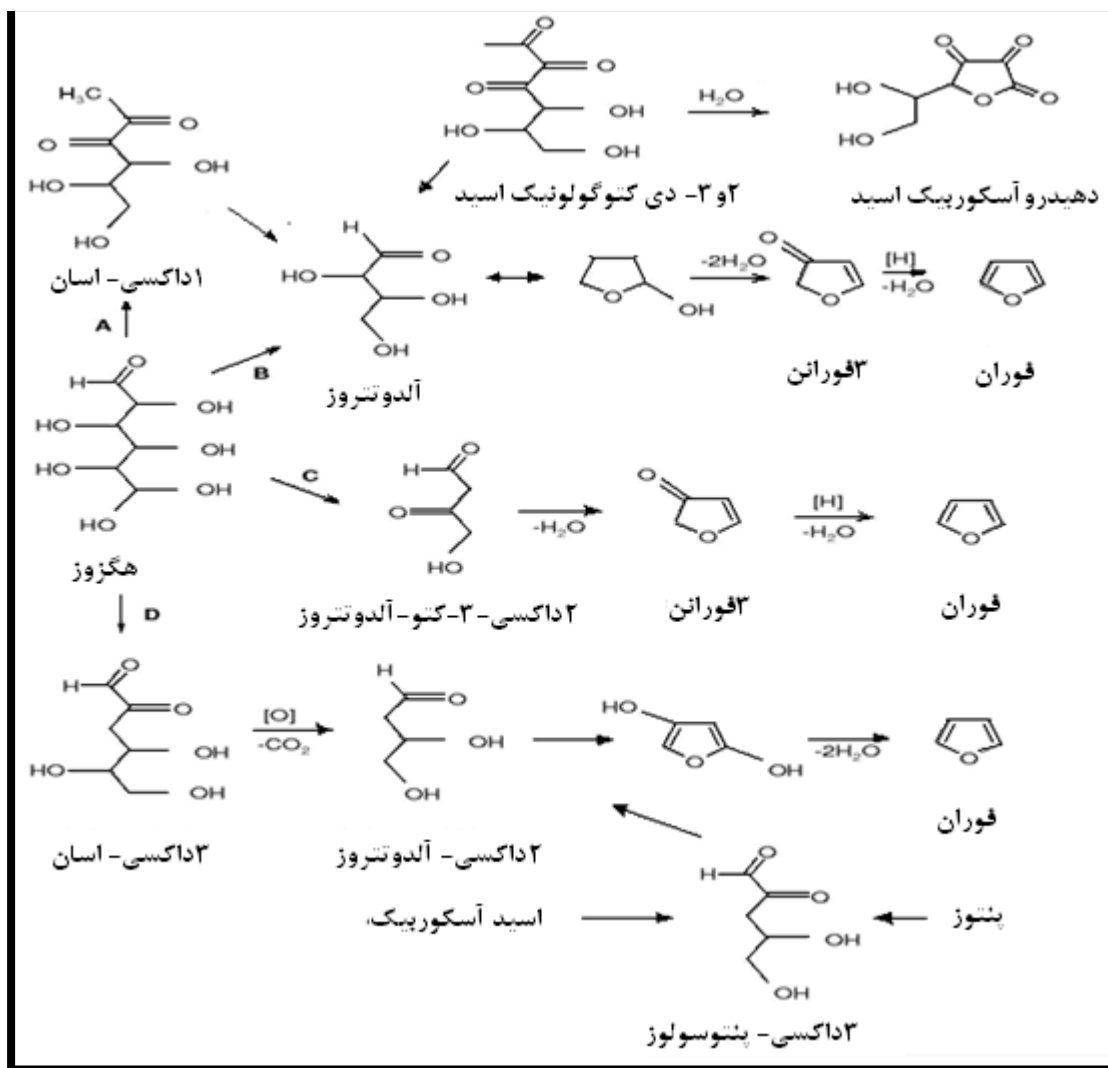
همانطور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، همه‌ی مشتقات آلدوتروز به سادگی به فوران تبدیل می‌شوند [۱۰]. قندهای پنتوز می‌توانند مشابه با هگزوز به مشتقات ۳-داکسی اسان تبدیل شده و فوران تولید کنند [۱۱].

^۱ ۱-deoxy-osane

^۲ ۳-deoxy-osane

^۳ Retro-aldol cleavage

^۴ ۲-deoxy-۳-keto-aldotetrose



شکل ۱-۲ طرح کلی تشکیل فوران از هگزوز (مسیر های A, B, C)، پنتوز و اسید آسکوربیک [۱۰].

۱-۶ تشکیل فوران از طریق تخریب گرمایی آمینواسیدهای ویژه

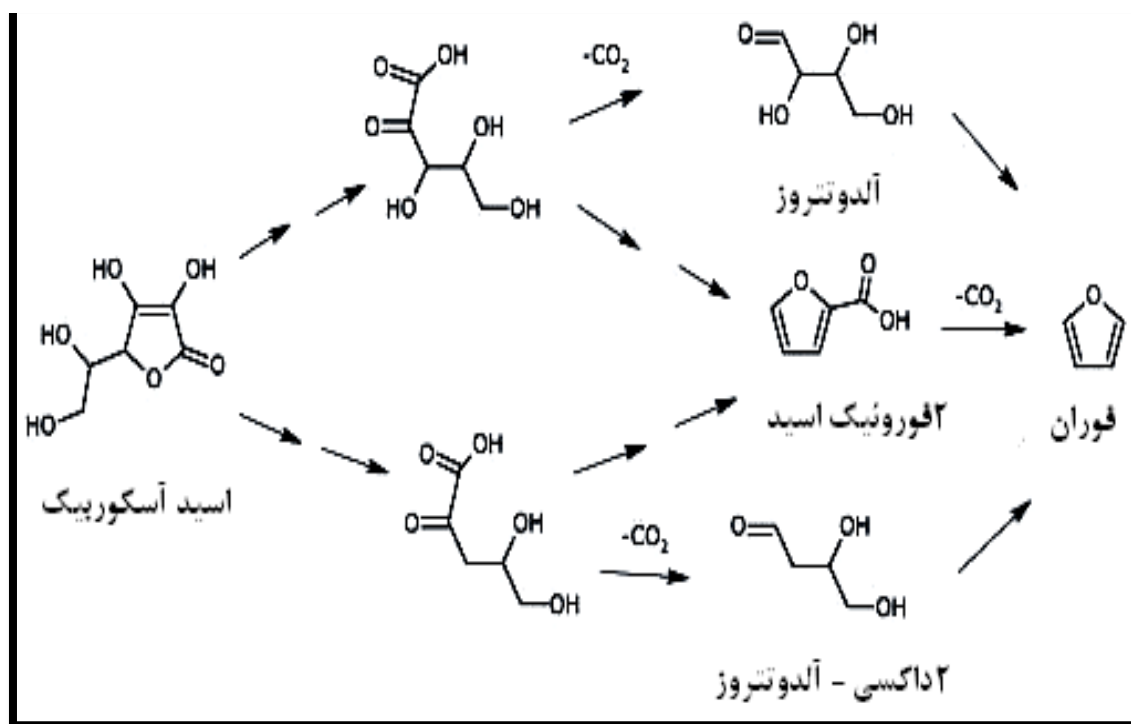
آمینواسیدهایی مانند سرین^۱ و سیستئین^۲ متحمل تخریب گرمایی شده و فوران را بدون نیاز به هر منبع دیگری تولید می‌کنند. هر دو آنها قادرند در اثر متابولیز به استالدهید^۳ و گلیکول آلدهید^۴ تبدیل شوند که توسط واکنش تغلیظ آلدولی^۵ تولید مشتقات آلدوتروز و سرانجام فوران می‌کنند.

^۱ Serine
^۲ Cysteine
^۳ Acetaldehyde
^۴ Glycolaldehyde
^۵ Aldol Condensation

آلانین^۱، ترئونین^۲ به تنهایی قادر به تولید فوران نیستند، این آمینواسیدها فقط قادر به تولید استالدهید هستند اما به منظور تهیه ی گلیکول آلدهید نیاز به حضور قندهای کاهنده ی سرین و سیستئین دارند [۱۱].

۱-۷ تشکیل فوران از اکسیداسیون گرمایی اسید آسکوربیک

محصولات تخریب گرمایی اسید آسکوربیک، حدواسطه های ۲- داکسی آلدوتروز^۳، ۲- فورنیک اسید^۴ و ۲- فورآلدهید^۵ می باشند. اسید آسکوربیک به سرعت به اسید آسکوربیک بدون آب^۶، اکسید شده که در سیستم های غذایی به ۲-دی کتوگولونیک اسید^۷ (DKG) تبدیل می شود [۱۲]. ۲-دی کتوگولونیک اسید به آلدوتروز و سرانجام به فوران تبدیل می شود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳ مکانیسم تجزیه ی حرارتی پیشنهاد شده برای اسید آسکوربیک به منظور تشکیل فوران [۱۰، ۱۳]

^۱ Alanine

^۲ Threonine

^۳ ۲-Deoxy-aldotetrose

^۴ ۲-Furoic acid

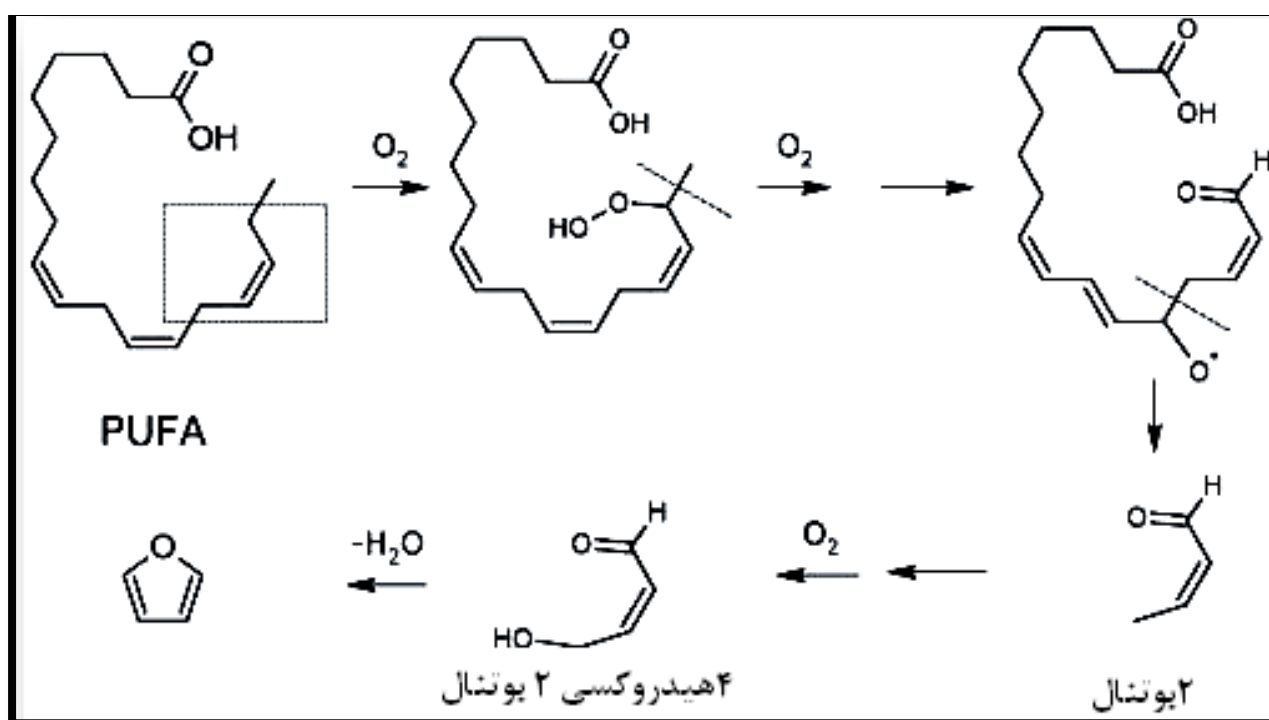
^۵ ۲-Furaldehyde

^۶ Dehydroascorbic acid

^۷ ۲, ۳- Diketogulonic acid

۸-۱ تشکیل فوران از اکسیداسیون گرمایی چربی غیراشباع:

اسیدهای چرب غیراشباع در اثر حرارت فوران تولید می‌کنند و در سیستم‌های مدل، بازده، با افزایش درجه-ی غیراشباعی، افزایش می‌یابد. بر طبق تحقیقات "بکالسکی و سیمن"^۱ اسیدهای چرب با یک واحد غیراشباع، مانند اولئیک^۲ فوران تولید نمی‌کنند [۱۳]. یون‌های فلزی اکسیداسیون اسیدهای چرب و در نتیجه تشکیل فوران را افزایش می‌دهند، به عنوان مثال یون‌های فریک، تشکیل فوران را در لینولئیک اسید^۳ اسید^۳ تا ۷۹ درصد و در تری لینولئین^۴ تا ۲۹ درصد افزایش می‌دهند [۱۴].



شکل ۴-۱ مکانیسم پیشنهاد شده برای اکسیداسیون چربی‌ها به منظور تشکیل فوران [۱۰]

^۱ Becalski and Seaman

^۲ Oliec

^۳ Linoleic acid

^۴ Trilinolein

۱-۹ اثر تابش یونیزه کننده بروی تشکیل فوران

"فان"^۱ اثرات تابش یونیزه کننده را بر روی تشکیل فوران در آب سیب و پرتغال بررسی کرد و دریافت که پرتوهای یونیزه کننده باعث افزایش تشکیل فوران می‌گردند [۱۵]. بعلاوه در سه روز اول پس از عمل تابش-دهی، مقدار فوران شروع به زیاد شدن می‌کرد. افزایش فوران در زمان ذخیره سازی ممکن است به دلیل اثرات باقی مانده‌ی تابش دهی باشد [۱۶]. تابش دهی باعث تولید رادیکال‌های اولیه از طریق تفکیک مولکول‌های آب می‌شود [۱۷]. رادیکال‌های اولیه شامل الکترون‌های هیدراته، اتم‌های هیدروژن و رادیکال-های هیدروکسیل می‌باشند. این رادیکال‌ها به منظور تولید رادیکال‌های ثانویه با اجزاء غذا واکنش می‌دهند و به عنوان عاملی موثر برای تشکیل فوران در مواد غذایی عمل می‌کنند [۱۶]. تحقیقات نشان می‌دهد که تابش‌دهی باعث افزایش تشکیل فوران از اسید آسکوربیک، فروکتوز^۲، ساکاروز^۳ و گلوکز^۴ می‌گردد. در مقایسه با استریلیزه کردن، تابش‌دهی قندها و اسید آسکوربیک مقادیر مشابهی فوران تولید می‌کند.

۱-۱۰ اثرات فوران بر روی سلامتی

برای هر ماده که برای سلامتی انسان مخاطره آمیز باشد سه روش برای ورود به بدن وجود دارد:

۱- از راه خوردن و آشامیدن ۲- از راه تنفس ۳- جذب از راه پوست

تحقیقات بر روی حیوانات نشان داده که فوران به سرعت و به طور گسترده‌ای از طریق روده و ریه جذب می‌شود [۱۸] و به علت قطبیت کم، فوران می‌تواند از طریق غشاهای بیولوژیکی عبور کرده و وارد اعضا مختلف شود.

طبق مطالعات انجام شده بر روی سرطان زایی و سم شناسی فوران، که توسط انجمن بین المللی سلامت ایالات متحده^۵ انجام گرفته، فوران برای موش‌ها و موش‌های صحرایی سرطان زاست و باعث افزایش تومورها و غدد سرطانی کبد در هر دو جنس نر و ماده، با افزایش مقدار مصرف آن می‌شود [۱۹]. در موش‌های

^۱ Fan

^۲ Fructose

^۳ Sucrose

^۴ Glucose

^۵ U.S. National Institutes of Health