



تاثیر پیش تیمار مایکروویو و شرایط سرخ کردن بر میزان تشکیل آکریل آمید و جذب روغن در قطعات هویج سرخ شده

معصومه آیت‌الله‌زاده شیرازی^۱، سارا موحد^{۲*}، علیرضا شهاب لواسانی^۳، حسین احمدی چنارین^۴، پیمان رجایی^۳

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
- ۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
- ۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله : تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۲	سرخ کردن عمیق یکی از متداول ترین عملیات مورد استفاده در فرآوری مواد غذایی می باشد. اما به کارگیری روش هایی برای کاهش جذب روغن و جلوگیری از تشکیل موادی سمی نظیر آکریل آمید، ضمن حفظ ویژگی های مطلوب، ضروری به نظر می رسد. در این راستا در این پژوهش تاثیر پیش تیمار مایکروویو در توان های ۲ و ۵ W/g و در مدت زمان های به ترتیب ۱۵ و ۱۰ دقیقه بر مقدار جذب روغن و میزان تشکیل آکریل آمید در قطعات هویج سرخ شده در دو دمای ۱۵۰ و ۱۷۰°C و در مدت زمان های ۲ و ۴ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، در تمام دماها، با افزایش زمان سرخ کردن، محتوی روغن و میزان تشکیل آکریل آمید در تمام نمونه ها افزایش یافت اما در زمان های سرخ کردن یکسان، نمونه های شاهد در مقایسه با نمونه های پیش تیمار شده از مقدار جذب روغن و آکریل آمید بیشتری برخوردار بودند. طبق بررسی های به عمل آمده، بیشترین میزان جذب روغن و بیشترین میزان آکریل آمید تشکیل شده به ترتیب در نمونه های سرخ شده در دمای ۱۵۰°C و در مدت زمان ۴ min (۱/۶٪) و در نمونه های سرخ شده در دمای ۱۷۰°C و در مدت زمان ۴ min (۱۸/۴۹ ppb) اندازه گیری شد. اما کمترین مقدار جذب روغن و تشکیل آکریل آمید در نمونه های پیش تیمار شده با مایکروویو (توان ۵ W/g و در مدت زمان ۱۰ min) و سرخ شده در دمای ۱۷۰°C و در مدت زمان ۲ min و به ترتیب (۳/۷۸٪) و (۴/۶۷ ppb) تعیین گردید.
کلمات کلیدی: مایکروویو، آکریل آمید، هویج، سرخ کردن عمیق، جذب روغن.	
DOI: 10.52547/fsct.18.03.18	
* مسئول مکاتبات: movahhed@iauvaramin.ac.ir	

۱- مقدمه

هویج گیاهی دوساله، با نام علمی *Daucus carota* از خانواده *Umbelliferae* می‌باشد. اصلی‌ترین ترکیب هویج آب بوده که حدود ۹۰-۸۵ درصد آن را تشکیل می‌دهد. هویج حاوی قندهای ساده نظیر گلوکز، ساکاروز و فروکتوز و پلی ساکاریدهایی نظیر نشاسته، مواد پکتیکی و سلولز و نیز حاوی ویتامین‌ها و اسیدهای آلی می‌باشد. ساکاریدهای محلول در این محصول که مسئول طعم شیرین آن هستند بین ۸-۵ درصد می‌باشند. همچنین اسیدهای آلی هویج شامل اسید مالیک و سیتریک، مسئول طعم و مزه هویج بوده و مقدار آن ۰/۲-۰/۱ درصد گزارش شده‌است. مزه اصلی هویج به دلیل حضور اسید گلوتامیک و نقش بافری اسیدهای آمینه آزاد آن است. مقادیر ناچیز از سوکسینیک اسید، الفاکتوگلوکوتاریک اسید، لاکتیک اسید نیز گزارش شده است. تیامین ($0.04 \text{ mg}/100 \text{ g}$)، ریبوفلاوین ($0.02 \text{ mg}/100 \text{ g}$)، نیاسین ($0.2 \text{ mg}/100 \text{ g}$)، اسید فولیک و ویتامین C ($100 \text{ mg}/100 \text{ g}$) نیز در ریشه هویج وجود دارند. همچنین میزان قندهای احیاء ۱/۶۷-۳/۳۵٪ و میزان قندهای غیر احیاء ۲/۷۱-۴/۵۳٪ گزارش شده است. در میان ترکیباتی که از نظر زیستی فعال هستند می‌توان به کاروتنوئیدها اشاره نمود. این ترکیبات علاوه بر ارزش تغذیه‌ای، نقش آنتی اکسیدانی نیز دارند. هر ۱۰۰ گرم هویج حاوی ۶-۱۵ میلی گرم کاروتنوئید است که سهم بیشتر آن را بتاکاروتن به مقدار ۲-۰ میلی گرم (۴۵-۷۰ درصد کاروتنوئیدهای کل) تشکیل می‌دهد. بنابراین مصرف آن باعث افزایش دریافت ویتامین A می‌گردد. سایر کاروتنوئیدهای هویج شامل آلفاکاروتن درصد، گاما کاروتن ۲-۱ درصد، زتاکاروتن ۷-۲ درصد می‌باشند [۱].

سرخ کردن یک فرآیند پخت است که در آن از روغن، به عنوان محیط انتقال حرارت استفاده می‌شود. این فرآیند یک روش نگهداری مواد غذایی نیز محسوب می‌شود، زیرا در آن میکروارگانیسم‌ها از بین رفته، آنزیم‌ها غیرفعال شده و فعالیت آبی در سطح ماده غذایی کاهش می‌یابد. طی این عملیات واحد پیچیده، انتقال جرم و حرارت به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهد به گونه‌ای که حرارت به‌روشن همرفتی از روغن به سطح ماده غذایی و سپس به روش رسانش به درون آن منتقل می‌شود و هم‌زمان رطوبت از داخل ماده غذایی به خارج از آن انتقال می‌یابد. در این

راستا عوامل نظیر ویژگی‌های حرارتی و فیزیکوشیمیایی ماده غذایی و روغن، شکل هندسی ماده غذایی، درجه حرارت روغن و نیز نوع پیش تیمارهای قبل از فرآیند سرخ کردن بر انتقال جرم و گرما تأثیرگذار هستند [۲]. سرخ کردن مواد غذایی به دو روش متداول انجام می‌پذیرد که شامل سرخ کردن عمیق (فرآوری غذا به روش غوطه‌ور سازی آن در روغن زیاد) و سرخ کردن سطحی (فرآوری غذا در روغن کم عمق) می‌باشند. سرخ کردن عمیق، روشی است که بیش از بقیه روش‌ها مورد بررسی‌های فنی قرار گرفته زیرا به طور گسترده در صنعت کاربرد دارد. سرخ کردن عمیق به صورت غوطه‌ور کردن ماده غذایی در روغن خوراکی که در دمایی بالاتر از نقطه جوش آب، حرارت دیده باشد، تعریف می‌شود. در واقع سرخ کردن در روغن داغ ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس نوعی خشک کردن سریع می‌باشد. این خشک شدن سریع، در بهبود خواص مکانیکی و ساختاری محصول نهایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. شرایط مذکور منجر به انتقال حرارت با سرعت بالا، پخت سریع، قهوه‌ای شدن، بهبود بافت و عطر و طعم می‌شود. انتقال حرارت، رطوبت و چربی در داخل و اطراف ماده غذایی و تشکیل پوسته، پایه اساسی سرخ کردن عمیق می‌باشد. روغن نه تنها به عنوان محیط انتقال حرارت عمل می‌کند بلکه وارد ماده غذایی شده و یا خارج می‌شود. وقتی ماده غذایی در روغن داغ قرار می‌گیرد به سرعت تا نقطه تبخیر آب، داغ می‌شود و بخار حاصل شده باعث جوشیدن روغن می‌شود. چنین جوششی باعث ورود بیشتر هوا به داخل روغن و در نتیجه منجر به تشکیل هیدروپراکسیدها که محصول اولیه اکسیداسیون روغن هستند می‌شود. از اینرو در حین سرخ کردن بسیاری از واکنش‌ها از جمله اکسیداسیون، پلیمریزاسیون، هیدرولیز و ایزومریزاسیون رخ می‌دهد که به نوبه خود منجر به تشکیل ترکیب پیچیده‌ای از محصولات فرار و غیر فرار می‌شود [۳]. محققین زیادی فرایند سرخ کردن عمیق را در محصولات مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند [۴، ۵ و ۶]. استفاده از پیش تیمار مایکروویو یکی از روش‌هایی است که می‌تواند قبل از سرخ کردن مورد توجه قرار گیرد. گستره امواج مایکروویو مابین امواج رادیویی و امواج فرورسرخ می‌باشد. گرمایش مایکروویو به دلیل سازوکار خاص تولید و انتقال حرارت از کلیه روش‌های دیگر انتقال حرارت که شامل هدایت، جابجایی و تابش می‌باشد، متمایز است. امواج

مایکروویو برخلاف امواج فرسرخ، حامل انرژی گرمایی نیستند اما در اثر برخورد با مواد در میدان الکترومغناطیسی، باعث تولید گرما در داخل ماده می‌شوند. برای تبدیل انرژی در این روش سازوکارهای مختلفی دخالت دارند که مهمترین آنها عبارت از هدایت یونی و برهم کنش دوقطبی می‌باشند. به طور کلی بسیاری از محلول‌های شیمیایی و اغلب مواد غذایی، حاوی آب و مقادیر متفاوتی از نمک‌های حل شده هستند. وقتی که این نمک‌ها حل می‌شوند، به دو ذره باردار مجزا و غیر همنام تبدیل می‌شوند. هنگامی که محلول‌های یونی در معرض میدان مایکروویو قرار می‌گیرند، یون‌ها به صورت اجباری در یک جهت و سپس به سرعت در جهت مخالف در میدان متناوب جریان می‌یابند. ذرات باردار با مولکول‌های هم جوار خود برخورد کرده و با انتقال انرژی جنبشی خود به آنها، باعث شتاب گرفتن مولکول‌های هم جوار خود شده و موجب برخورد آنها با سایر مولکول‌ها می‌شوند. بنابراین تبدیل انرژی در دو مرحله اتفاق می‌افتد، ابتدا انرژی میدان الکترومغناطیسی با ذرات باردار منتقل شده و تبدیل به انرژی جنبشی می‌شود و در مرحله بعد ذرات باردار بر اثر افزایش اندازه حرکت با مولکول‌های مجاور برخورد می‌نمایند و انرژی جنبشی خود را به آنها منتقل می‌کنند. افزایش انرژی جنبشی مولکول‌های داخل ماده، باعث گرم شدن و افزایش دمای ماده می‌گردد. لذا تمام قسمت‌های ماده غذایی به طور یکنواخت، انرژی مایکروویو را جذب و گرم می‌شوند که این امر باعث خروج یکنواخت رطوبت از درون ماده غذایی شده و پذیرش محصول نهایی را کمتر تحت تاثیر قرار می‌دهد [۷]. همان‌گونه که بیان شد، فرایند سرخ کردن عمیق در دماهای بالایی انجام می‌شود که در نتیجه آن تیره شدن سطح محصول و تشکیل مداوم آکریل آمید شدت بیشتری می‌یابد. آکریل آمید از ترکیبات سرطان‌زای حاصل از فرایند سرخ کردن است که به میزان زیادی در مواد غذایی سرخ شده، برشته و پخته شده وجود دارد. این ترکیب بیشتر در اثر تجزیه حرارتی اسیدامینه آزاد اسپارژین و واکنش با گروه کربونیل قندهای احیاکننده (عمدتا گلوکز و فروکتوز) در حین واکنش قهوه‌ای شدن غیرانزیمی مایلارد به وجود می‌آید. غلظت اولیه مواد واکنش‌گر، نسبت آنها، درجه حرارت، زمان فرآیند، pH و فعالیت آبی محصول بر تشکیل آکریل آمید

طی فرایندهای حرارتی مواد غذایی موثر می‌باشند [۸]. غلظت آکریل آمید در محصولات سرخ شده در نتیجه تشکیل متقابل و حذف آکریل آمید ترکیب است. مکانیسم حذف آکریل آمید هنوز ناشناخته می‌باشد. به طور کلی، تشکیل و حذف آکریل آمید تحت تاثیر دمای سرخ‌کردن، نوع و غلظت قند، ماتریکس احاطه کننده، pH، فعالیت آبی و غلظت اسپارژین می‌باشد. به منظور کنترل تشکیل آکریل آمید و محدود سازی آن پارامترهای مختلفی در فرایند به کار گرفته می‌شوند که از آن جمله می‌توان به، کنترل دما و زمان، ساختار شیمیایی محصول اشاره کرد. کنترل دما و زمان در حین سرخ‌کردن تاثیر معنی‌داری بر کاهش تشکیل آکریل آمید دارد. سطح آکریل آمید با افزایش زمان و دمای فرایند زیاد می‌شود. تشکیل آکریل آمید عمدتاً در سطح و نزدیک سطح محصول اتفاق می‌افتد بنابراین کنترل دمای سطحی محصول و شستشوی سطح برش خورده محصول می‌تواند تا حد زیادی مقدار آن را کاهش دهد. در ارتباط با ساختار شیمیایی محصول، با تغییر در میزان ترکیبات فنولیک و قندهای احیاء و اسیدهای امینه (مثلاً سیب زمینی، هویج،...) در میزان تشکیل آکریل آمید نوسانات بسیاری مشاهده شده است. به گونه‌ای که مقادیر بالای ترکیبات فنولیک موجب کاهش سطح آکریل آمید می‌گردد. رومانی و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی بیان کردند که آکریل آمید، ترکیب یحاصل از واکنش بین اسید آمینه اسپارژین و قندهای احیاء کننده، طی واکنش میلارد بوده و کنترل دما و زمان حین فرآیند سرخ‌کردن تاثیر معنی‌داری بر کاهش تشکیل این ماده دارد [۶]. همچنین در پژوهشی سینتیک کاهش قندهای احیا کننده، تشکیل آکریل آمید و تغییرات رنگ خلال‌های سیب زمینی طی فرایند سرخ‌کردن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش قندهای احیا کننده و تشکیل آکریل آمید طی سرخ‌کردن از تابع نمایی پیروی می‌کند و افزایش دما و زمان سرخ‌کردن به طور معنی‌داری سبب تشدید فرایندهای مذکور می‌گردد [۹]. با توجه به موارد مطرح شده در پژوهش حاضر تاثیر استفاده از پیش تیمار مایکروویو بر میزان جذب روغن و تشکیل آکریل آمید، به منظور افزایش کیفیت تغذیه‌ای قطعات هویج سرخ‌شده مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش ها

در این تحقیق نمونه‌های هویج (*Daucus carota* L.) از بازار محلی خریداری و در اتاقی تاریک با دمای 8°C و رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد نگهداری شدند. قبل از شروع آزمایش، هویج‌ها شسته و پوست‌گیری شدند. سپس با استفاده از یک کاتر دستی به قطعاتی با ابعاد $6\text{mm} \times 6\text{mm} \times 6\text{mm}$ برش داده شدند. قابل توجه این‌که رطوبت اولیه نمونه‌ها با استفاده از یک آون (مدل Shimadzu/TPS6777 ساخت ایران) و ترازوی دیجیتال (مدل A&D /HR-200 ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. در ادامه نمونه‌های برش خورده در یک مایکروویو (مدل LG JR,MC-2002) و در توان‌های ۲ وات بر گرم به مدت ۱۵ دقیقه و ۵ وات بر گرم به مدت ۱۰ دقیقه پیش تیمار شدند. در ادامه بمنظور سرخ کردن قطعات هویج، از یک سرخ‌کن پارس خزر (مدل Nuget، با ظرفیت ۱/۵ لیتر، ساخت ایران، دارای سنسور دمایی

توکار (Built-in temperature sensor) جهت کنترل ترموستاتیکی دما با دقت $\pm 2^{\circ}\text{C}$ استفاده شد. به منظور انجام فرایند سرخ کردن، ابتدا سرخ‌کن با ۱ لیتر روغن مایع سرخ‌کردنی با نام تجاری بهار (مخلوطی از روغن‌های افتابگردان، سویا و پنبه‌دانه، تهیه شده در شرکت صنعتی بهشهر) پر و بعد از تنظیم دما، دستگاه روی حالت اتوماتیک قرار داده می‌شد. در ادامه پس از رسیدن دمای سرخ‌کن به دماهای آزمایش، سبد حاوی قطعات هویج در روغن غوطه‌ور می‌گردید. پس از اتمام فرایند سرخ شدن قطعات هویج در مدت زمان مورد نظر، سبد از سرخ‌کن خارج و بر روی سینی مشبک قرار داده می‌شد تا روغن سطحی نمونه‌ها با کاغذ جاذب گرفته شود. قابل توجه این‌که در این پژوهش نمونه‌ها در دماهای ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سلسیوس و به مدت ۲ و ۴ دقیقه سرخ شدند. در ضمن تیمارهای تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

Table 1 Treatments of study

Row	Description	Code
1	Microwave pretreatment at (2W/g for 10 min) and fried at 170°C for 2 min	M1
2	Microwave pretreatment at (2W/g for 10 min) and fried at 170°C for 4 min	M2
3	Microwave pretreatment at (2W/g for 10 min) and fried at 150°C for 2 min	M3
4	Microwave pretreatment at (2W/g for 10 min) and fried at 150°C for 4 min	M4
5	Microwave pretreatment at (5W/g for 15 min) and fried at 170°C for 2 min	M5
6	Microwave pretreatment at (5W/g for 15 min) and fried at 170°C for 4 min	M6
7	Microwave pretreatment at (5W/g for 15 min) and fried at 150°C for 2 min	M7
8	Microwave pretreatment at (5W/g for 15 min) and fried at 150°C for 4 min	M8
9	Fried at 170°C for 2 min	C1
10	Fried at 170°C for 4 min	C2
11	Fried at 150°C for 2 min	C3
12	Fried at 150°C for 4 min	C4

وزن اولیه بالن با وزن ثانویه، میزان چربی نمونه‌ها را نشان داد [۱۰].

۲-۲- اندازه گیری میزان آکریل آمید

در این پژوهش آکریل آمید موجود در نمونه‌ها با استفاده از کارتریج اختصاصی استخراج با فاز جامد (Solid Phase Extraction, Restek Co, USA) ویژه آکریل آمید و بر اساس روش اوگولا و همکاران (۲۰۱۵)، روش شماره A ۸۰۳۲ از انس حفاظت از محیط زیست آمریکا و مطابق با دستورالعمل ارائه شده شرکت سازنده با اندکی تغییرات استخراج و با دستگاه گازکروماتوگرافی اندازه گیری گردید [۱۱].

۲-۱- اندازه گیری میزان جذب روغن نمونه های

هویج سرخ شده

به روش استخراج سوکسله، محتوای روغن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. اساس این روش بر مبنای استخراج چربی از مواد غذایی با حلال مناسب است که در این تحقیق از حلال پترولیوم‌تر استفاده گردید. چربی خلال‌ها با حلال آلی مناسب در بالن‌هایی که قبلاً توزین شده بودند، استخراج گردیدند. پس از استخراج، برای حذف حلال باقیمانده، بالن‌ها تا رسیدن به وزن ثابت در آن حرارت داده شدند و در پایان وزن ثابت آن‌ها ثبت گردید. تفاوت

استفاده شد. دمای ابتدایی ۱۰۰ درجه سلسیوس بود و با سرعت ۱۵ درجه در دقیقه به ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد رسید و به مدت ۰/۵ دقیقه در این دما نگه داشته شد. گاز حامل هلیوم و با فشار ثابت استفاده شد. حجم تزریق ۱ میکرولیتر بود که در دمای ۲۶۰ درجه سلسیوس انجام پذیرفت.

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق جهت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- جذب روغن

مطابق جدول مقایسه میانگین ۲، بین تیمارهای مختلف از نظر جذب روغن اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). به گونه‌ای که تیمارهای پیش تیمار شده با میکروویو از میزان جذب روغن کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد برخوردار بودند. طبق نتایج بیشترین مقدار جذب روغن در تیمار C4 (%). و کمترین مقدار آن در تیمار M5 (% ۳/۷۸) اندازه‌گیری شد.

بدین منظور ۱ گرم از هویج های سرخ شده با ۱۰ میلی لیتر اسیدفرمیک ۰/۱ درصد مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دستگاه شیکر قرار گرفت. جهت حذف آسان‌تر لایه روغنی، نمونه در یخچال نگهداری و سپس از فیلتر سرسرنگی (Biofil، ساخت چین) و در نهایت از کارتریج استخراج با فاز جامد که با عبور ۲ میلی لیتر استن و ۲ میلی لیتر اسیدفرمیک ۰/۱ درصد مشروط گردیده بود، عبور داده شد. در این مرحله، عبور نمونه صاف شده حاوی انالیت بدون اعمال خلاء و به کمک وزن خود از کارتریج عبور داده شد. در مرحله بعد، به منظور شستشوی عوامل مزاحمت زا ۰/۵ تا ۱ میلی لیتر آب مقطر خالص به کمک بمب خلاء و با استفاده از ارلن تخلیه به سرعت از کارتریج گذرانده شد و جهت اطمینان از عبور کامل آب حدود یک دقیقه این خلاء ادامه داشت. در مرحله آخر یا همان مرحله شویش، مقدار ۲ میلی لیتر استون به کارتریج اضافه شد که در اثر وزن خود از کارتریج خارج گردید. خروجی این مرحله، اکریل امید استخراج شده از نمونه، آماده تزریق به کروماتوگرافی گازی بود. برای اندازه‌گیری مقدار اکریل امید نمونه‌ها از دستگاه گاز کروماتوگرافی Agilent 6890A مجهز به ستون اینووکس (HP-INNOWax) به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر و حاوی اشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای با دمای ۲۶۰ درجه سلسیوس

Table 2 Effects of microwave pretreatment, frying time and temperature on oil uptake (dimensionless)

Oil uptake (%)	Description	Code
5.12±0.03 ^c	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 170 °C for 2 min	M1
5.14±0.03 ^e	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 170 °C for 4 min	M2
5.35±0.04 ^d	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 150 °C for 2 min	M3
5.45±0.03 ^c	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 150 °C for 4 min	M4
3.78±0.04 ⁱ	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 170 °C for 2 min	M5
4.38±0.04 ^h	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 170 °C for 4 min	M6
4.63±0.03 ^g	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 150 °C for 2 min	M7
4.76±0.04 ^f	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 150 °C for 4 min	M8
5.51±0.03 ^c	Fried at 170 °C for 2 min	C1
5.58±0.02 ^{bc}	Fried at 170 °C for 4 min	C2
5.60±0.03 ^b	Fried at 150 °C for 2 min	C3
6.12±0.02 ^a	Fried at 150 °C for 4 min	C4

Different letters indicate significant difference between means at $P \leq 0.05$

دمای سرخ کردن، میزان جذب روغن در تمام نمونه‌ها کاهش یافت. بسیاری از محققین معتقدند که در اثر گرما و کاهش رطوبت، فشار نامتعادلی بین بخش داخلی و خارجی ماده ایجاد و این امر موجب اعمال تنش به ساختار سلولی ماده غذایی می‌شود.

طبق نتایج، در تمام دماها، با افزایش زمان سرخ کردن، محتوی روغن در تمام نمونه‌ها افزایش یافت اما در زمان‌های سرخ کردن یکسان، نمونه‌های شاهد در مقایسه با نمونه‌های پیش تیمار شده از جذب روغن بیشتری برخوردار بودند. از سوی دیگر با افزایش

در این حالت ماتریس ویسکوالاستیک ماده به درون فضاهای خالی ایجاد شده بر اثر تبخیر کشیده می‌شود که سرانجام به انقباض و چروکیدگی ماده و ایجاد لایه سخت سطحی می‌انجامد [۲]. چروکیدگی بر خواص ترموفیزیکی ماده غذایی، پدیده انتقال حرارت و جرم و نیز بر ضریب انتشار موثر رطوبت، چگالی و تخلخل تأثیر می‌گذارد. همچنین موجب کاهش قابلیت آگیری مجدد و ترک خودگی سطحی محصول می‌شود [۱۲]. به عبارت دیگر با افزایش دما میزان چروکیدگی محصول افزایش می‌یابد که این فرایند سبب ایجاد پوسته سخت و محکم بر سطح ماده غذایی می‌شود و این پوسته به‌عنوان یک مانع از ورود روغن به بخش درونی محصول جلوگیری می‌کند. همچنین با کاهش تخلخل مانع جایگزین شدن روغن در بافت ماده غذایی می‌شود [۱۳]. از سوی دیگر می‌توان بیان نمود که در دماهای پایین سرخ کردن نسبت به دماهای بالاتر، برای رسیدن به یک محتوی رطوبت یکسان، زمان بیشتری مورد نیاز است بنابراین با افزایش زمان سرخ کردن جذب روغن افزایش می‌یابد. مطابق نتایج، نمونه‌های پیش تیمار شده با مایکروویو از میزان جذب روغن کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد برخوردار بودند و البته این کاهش در تیمارهایی که در توان بالاتر (5W/g) خشک شده بودند، بیشتر مشاهده گردید. زیرا افت رطوبت در این تیمارها بیشتر اتفاق افتاد که دلیل آن شدت بالای انرژی الکترومغناطیسی و در نتیجه طبیعت گرمایش حجمی (Volumetric heating) در محیط مایکروویو می‌باشد [۱۴]. همچنین طبق قانون لامبرت (Lambert) در جذب توان مایکروویو، توان اولیه (Incident power) مایکروویو به

صورت نمایی از سطح به عمق نمونه کاهش می‌یابد. در توان‌های اولیه پایین، بیشترین میزان گرمایش در سطح نمونه ایجاد شده و بنابراین میزان دفع رطوبت از مرکز به سطح کاهش پیدا می‌کند. از سوی دیگر برخی نظریه‌ها بیان می‌کنند که حجم کل روغن جذب شده برابر مقدار آب جدا شده از ماده غذایی در هنگام سرخ کردن می‌باشد. لذا هرچه رطوبت اولیه ماده غذایی بیشتر باشد، انتشار رطوبت از داخل ماده غذایی در حین فرآیند سرخ کردن و در نتیجه جذب روغن بیشتر خواهد بود [۱۵]. حال استفاده از پیش تیمار مایکروویو سبب کاهش رطوبت اولیه محصول و در نتیجه کاهش زمان سرخ کردن و در نتیجه کاهش جذب روغن در محصول می‌شود. همچنین در یک ماده غذایی خشک شده که محتوای رطوبتی کمی دارد یک لایه نازک بر سطح خارجی ماده غذایی ایجاد شده که این لایه باعث افزایش مقاومت در مقابل نفوذ روغن به بخش درونی قطعات سرخ شده می‌شود [۱۶]. بنابراین می‌توان بیان کرد که پیش تیمار مایکروویو به دلیل کاهش پدیده انتقال جرم در طول فرایند سرخ کردن عمیق و کاهش نسبت منافذ باز، به عنوان روشی موثر جهت کاهش محتوای روغن در محصول سرخ شده نهایی می‌باشد.

۳-۲-۳- اکریل امید

مطابق جدول ۳، بین تیمارهای مختلف از نظر سینتیک تشکیل اکریل امید اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). به گونه‌ای که تیمارهای پیش تیمار شده با مایکروویو از میزان اکریل امید کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد برخوردار بودند. طبق نتایج بیشترین میزان اکریل امید در تیمار C₂ (18.49 ppb) و کمترین مقدار آن در تیمار M5 ($<4/67$ ppb) اندازه‌گیری شد.

Table 3 Effects of microwave pretreatment, frying time and temperature on acrylamide content

Acrylamide (ppb)	Description	Code
9.88±0.05 ^f	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 170 °C for 2 min	M1
7.32±0.04 ^g	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 170 °C for 4 min	M2
11.71±0.04 ^e	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 150 °C for 2 min	M3
9.93±0.05 ^f	Microwave pretreatment at (2W/g for 15 min) and fried at 150 °C for 4 min	M4
<4/67±0.00 ^h	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 170 °C for 2 min	M5
<4/67±0.00 ^h	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 170 °C for 4 min	M6
<4/67±0.00 ^h	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 150 °C for 2 min	M7
<4/67±0.00 ^h	Microwave pretreatment at (5W/g for 10 min) and fried at 150 °C for 4 min	M8
17.74±0.04 ^b	Fried at 170 °C for 2 min	C1
18.49±0.03 ^a	Fried at 170 °C for 4 min	C2
12.03±0.02 ^d	Fried at 150 °C for 2 min	C3
15.39±0.03 ^c	Fried at 150 °C for 4 min	C4

Different letters indicate significant difference between means at $P \leq 0.05$

طبق نتایج، با افزایش دما و زمان سرخ کردن، میزان اکریل امید نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p \leq 0.05$) و این افزایش در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های پیش تیمار شده با مایکروویو بود. قابل توجه این‌که کمترین مقادیر اکریل امید در نمونه‌های پیش تیمار شده با مایکروویو در توان ۵W/g و در مدت زمان ۱۰min اندازه‌گیری شد.

علت افزایش تشکیل اکریل امید با افزایش دما و زمان سرخ کردن، دهیدراته شدن محصول و مناسب‌تر شدن شرایط رطوبتی جهت انجام واکنش میلارد می‌باشد. ضرورت توجه به این نکته لازم است که، در دماهای کمتر افزایش دمای سطحی بعد از اتمام تبخیر سطحی کمتر بوده و بنابراین واکنش قهوه ای شدن در نتیجه افزایش حرارت، کمتر اتفاق می‌افتد [۱۷]. تشکیل آکریلامید با افزایش دما از ۱۲۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس افزایش و سپس ممکن است کاهش یابد. علاوه بر دما و زمان فرایند، میزان فعالیت آبی نیز بر انجام واکنش میلارد تاثیر گذار است به گونه‌ای که مقادیر بالای فعالیت آبی سبب رقیق شدن ترکیبات شرکت کننده در واکنش شده که نتیجه آن افزایش واکنش میلارد می‌باشد از سوی دیگر با کاهش فعالیت آبی و در نتیجه کاهش تحرک این ترکیبات، از انجام واکنش میلارد کاسته می‌شود. به‌طور کلی واکنش آسپاراژین با قندهای احیا، مسیر اصلی تشکیل آکریلامید است. در غلظت‌های پایین آسپاراژین، فروکتوز خیلی موثرتر از گلوکز است اما در غلظت‌های بالای قندهای احیا، آسپاراژین عامل محدود کننده در تشکیل آکریلامید محسوب می‌شود. قابل توجه این‌که مسیرهای جایگزین دیگری نیز برای تشکیل آکریلامید پیشنهاد شده است. آکروئین، اسیدهای چرب، اسید آسپارتیک، کارنوزین، بتا-آلانین، آمینوپروپیون امید و پیروویک اسید قادر به تولید آکریلامید از طریق تولید آکریلیک اسید هستند. ترکیباتی مانند پیروویک اسید (منتج شده از سرینوسیتین یا منابع دیگر)، آکریلیک اسید (حاصل از آسپارتیک، کارنوزین و بتا-آلانین به ویژه در منابع گوشتی)، آکروئین (منتج شده از اسیدهای چرب و گلیسرول) و ۳-آمینوپروپیون امید (منتج شده از آسپاراژین) می‌توانند در تولید اکریل امید شرکت کنند [۱۸]. همان‌گونه که قبلاً بیان گردید هویج حاوی اسپارتیک اسید است. اسپارتیک اسید، می‌تواند تحت شرایط حرارتی شکسته شده و تولید آکریلیک اسید کند. این ترکیب در

حضور منبع یون آمونیوم، اکریل امید تولید می‌کند. عمده ترین اسیدهای آمینه‌ای که می‌توانند یون آمونیوم را تامین کنند عبارتند از آسپاراژین، گلوتامین، سیستئینوآسپارتیک اسید می‌باشند. همچنین سرین اسید آمینه دیگری که در هویج وجود دارد. آگیری از سرین در حضور و یا عدم حضور قندهای احیا می‌تواند منجر به تولید اسید پیروویک شود. اسید پیروویک تحت مراحل احیا و سپس آگیری به اسید آکریلیک و در نهایت به آکریلامید قابل تبدیل است [۸]. از سوی دیگر ساکارز قند اصلی هویج محسوب می‌گردد که مستقیماً نمی‌تواند در واکنش میلارد شرکت کند اما در دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس و به ویژه با اسیدی بودن محیط شروع به تجزیه شدن می‌کند و حاصل تجزیه آن می‌تواند در واکنش میلارد شرکت کند. به طور کلی برای اختلال در واکنش‌های تشکیل اکریل امید، کنترل دما، زمان، فعالیت آبی و حذف یا کاهش مواد واکنش دهنده لازم است. کاهش دما و زمان سرخ کردن سبب کاهش قند احیا کننده و تشکیل اکریل امید می‌شود [۱۹]. در این پژوهش پیش تیمار مایکروویو با کاهش مقدار رطوبت محصول و انتقال بهتر رطوبت از عمق به سطح محصول سبب کاهش مدت زمان سرخ کردن و در نهایت کاهش تشکیل اکریل امید در سطح هویج گردید. گرچه ممکن است استفاده از مایکروویو سبب تغییراتی در قند احیا کننده شده باشد. به‌عنوان مثال گلوکز را اکسید کرده و از شرکتش در تولید اکریل امید جلوگیری نموده باشد.

۴- نتیجه گیری

طبق نتایج، در تمام نمونه‌ها، با افزایش دمای سرخ کردن، میزان جذب روغن کاهش اما با افزایش زمان سرخ کردن، محتوی روغن افزایش یافت. قابل توجه این‌که در زمان‌های سرخ کردن یکسان، نمونه‌های شاهد در مقایسه با نمونه‌های پیش تیمار شده از جذب روغن بیشتری برخوردار بودند. از سوی دیگر با افزایش دما و زمان سرخ کردن، میزان اکریل امید نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و این افزایش در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های پیش تیمار شده با مایکروویو بود. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار می‌تواند به طور معنی‌داری میزان جذب روغن و میزان تشکیل

- and toxicity of acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 6113–6140.
- [10] Bligh, E. G., and Dyer, W. A. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 37: 911-917.
- [11] Ogolla, J. A., Abong, G. O., Okoth, M. W., Kabira, J. N., Imungi, J. K. and Karanja, P.N. 2015. Levels of acrylamide in commercial potato crisps sold in Nairobi County, Kenya. *Journal of Food Nutrition Research*. 3(8): 495-501.
- [12] Dehghannya, J., Naghavi, E. A., and Ghanbarzadeh, B. 2016. Frying of potato strips pretreated by ultrasound-assisted air-drying. *Journal of Food Processing and Preservation*. 40(4): 583-592.
- [13] Ziaifar, A. M., Courtois, F., and Trystram, G. 2010. Porosity development and its effect on oil uptake during frying process. *Journal of Food process Engineering*. 33:191-212.
- [14] Adedeji, A.A., Ngadi, M.O., and Raghavan, G.S.V. 2009. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 91: 146–153.
- [15] Ngadi, M., Wang, Y., Adedeji, A., and Raghavan, V. 2009. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep frying of chicken nuggets. *LWT-Food Science and Technology*. 42: 438-440.
- [16] Moyano, P., and Pedreschi, F. 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *LWT-Food science and Technology*. 39: 285-291.
- [17] Khezerlou, A., Alizadeh-Sani, M., Zolfaghari Firouzsalar, N., and Ehsani, A. 2018. Formation, properties, and reduction methods of acrylamide in foods: A Review Study. *Journal of Nutrition Fasting and Health*. 6: 52-59.
- [18] Sohn, M., and Ho, C.T. 1995. Ammonia generation during thermal degradation of amino acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43: 3001-3.
- [19] Zeng, X., Cheng, K. W., Du, Y., Kong, R., Lo, C., and Chu, I. K., Chen, F., and Wang, M. 2010. Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. *Food Chemistry*. 121(2):424-8.

اکریل امید را در نمونه‌های هویج کاهش دهد. لذا استفاده از این تکنیک می‌تواند به عنوان روشی امید بخش جهت بهبود ویژگی‌های کیفی و کمی محصولات سرخ‌شده مورد استفاده قرار گیرد.

۵- منابع

- [1] Sharma, K., Karki, S., Thakur, N.S., and Attri, S. 2012. Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. *Journal of Food Science and Technology*. 49: 22–32.
- [2] Movahhed, S., and Ahmadi Chenarbon, H. 2019. Moisture content and oil uptake variations and modeling in deep-fried hamburger slices. *Journal of Chemical Product and Process Modeling*. 14(3): 261-272.
- [3] Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., and Marinou-Kouris, D. 2001. Effect of pre-drying on quality of french fries. *Journal of Food Engineering*. 49(4): 347-354.
- [4] Movahhed, S., and Ahmadi Chenarbon, H. 2018. Moisture content and oil uptake in potatoes (Cultivar Satina) during deep-fat frying. *Potato Research*. 61: 261–272.
- [5] Dehghannya, J., Hosseinlar S. H., and Heshmati M. K. 2018. Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 45: 132-151.
- [6] Romani, S., Bacchiocca, M., Rocculi, P., and Rosa, M. D. 2009. Influence of frying conditions on acrylamide content and other quality characteristics of french fries. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22: 582-588.
- [7] Azarpazhooh, E., and Ramaswamy, H. 2011. Optimization of microwave-osmotic pretreatment of apples with subsequent air-drying for preparing high-quality dried product. *International Journal of Microwave Science and Technology*. 3: 1-12.
- [8] Yaylayan, V. A., Wnorowski, A., and Locas, C. P. 2003. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(6):1753-7.
- [9] Friedman, M., and Carol, E. 2008. Review of methods for the reduction of dietary content



Effect of microwave pre-treatment and frying conditions on acrylamide formation and oil uptake in fried carrot pieces

Ayatollahzadeh Shirazi, M.¹, Movahhed, S.^{2*}, Shahab Lavasani, A.³,
Ahmadi Chenarbon, H.⁴, Rajaei, P.³

1. Ph.D student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
2. Associated Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 23 October 2020
Accepted 12 December 2020

Keywords:

Microwave,
Acrylamide,
Carrot,
Deep frying,
Oil uptake.

DOI: 10.52547/fst.18.03.18

*Corresponding Author E-Mail:
movahhed@iauvaramin.ac.ir

ABSTRACT

Deep frying is one of the most common operations used in food processing. But it is necessary to use methods to reduce the oil uptake and prevent the formation of toxic substances such as acrylamide, while maintaining the desired features. Accordingly, in the present study, the effect of microwave pre-treatment with the power of 2 and 5W / g and in 15 and 10 minutes respectively, on the amount of oil uptake and the amount of acrylamide formation in fried carrot pieces was investigated at two temperatures of 150°C and 170°C and in 2 and 4 minutes duration. According to the results, at all temperatures, with increasing of the frying time, the amount of oil and the acrylamide formation increased in all samples, but at the same frying times, control samples had higher oil uptake and acrylamide formation compared to the pre-treated samples. According to the investigations, the highest oil uptake and the highest amount of acrylamide formation were respectively measured in the samples fried at 150°C in 4 min (6.12%), and the fried samples at 170°C and in 4 min (18.49 ppb). However, the lowest amount of oil uptake and acrylamide formation in microwave pre-treated samples (with 5W/g power in 10 minutes) and samples fried at 170°C in 2 minutes were respectively (3.78%) and (<4.67 ppb).