



## بررسی فرآیند سرخ کردن در خلا برش‌های گوجه‌فرنگی و تعیین شرایط بهینه

نسرین حسینی<sup>۱</sup>، علیرضا بصیری<sup>۲\*</sup>، بابک غیاثی طریزی<sup>۳</sup>، صحرا فرهادی<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

۲- استادیار گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران.

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران.

۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی صنایع غذایی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران.

## چکیده

## اطلاعات مقاله

## تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

## کلمات کلیدی:

گوجه‌فرنگی،

سرخ کردن تحت خلا،

شاخص‌های کیفی،

شرایط بهینه.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.303

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.22.9

\* مسئول مکاتبات:

bassiri@irost.ir

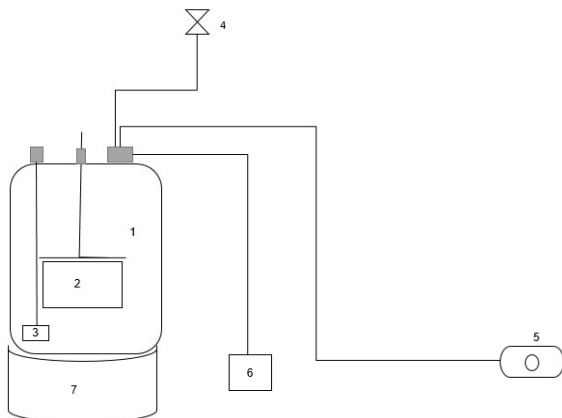
گوجه‌فرنگی به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا و هم‌چنین ویژگی‌های حسی منحصر بفرد به طور گسترده در سطح جهان تولید و مصرف می‌گردد. فسادپذیری بالا و ماندگاری پایین گوجه‌فرنگی، بکارگیری روش‌های نوین فرآوری را الزامی می‌سازند. در این تحقیق، امکان استفاده از روش سرخ کردن در خلا در فرآوری برش‌های گوجه‌فرنگی، تاثیر متغیرهای فرآیند (زمان فرآوری، دمای روغن و فشار درون محفظه) بر برخی ویژگی‌های کیفی محصول نهایی (محتوی رطوبت و چربی، چروکیدگی، اسید آسکوربیک، رنگ و تردی بافت) و هم‌چنین تعیین شرایط بهینه فرآوری در یک سیستم سرخ‌کن تحت خلا آزمایشگاهی با قابلیت کنترل دقیق شرایط فرآیند، مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا با انجام پیش‌آزمایش‌ها، محدوده متغیرهای مورد بررسی شامل دمای سرخ کردن (۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد)، فشار درون محفظه (۲۶۰ تا ۳۴۰ میلی‌بار) و زمان فرآیند (۱۵ تا ۲۵ دقیقه) تعیین شد. یافته‌های تحقیق نشان دادند که دمای فرآیند بر ویژگی‌های محتوی رطوبت، چروکیدگی، محتوی چربی، میزان اسید آسکوربیک و تردی بافت، اثرات معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) دارد به گونه‌ای که با افزایش دما، محتوی رطوبت و میزان آسکوربیک اسید، کاهش و چروکیدگی، محتوی چربی و تردی بافت، افزایش می‌یابند. زمان فرآوری اثرات معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) بر ویژگی‌های محتوی رطوبت، چروکیدگی، محتوی چربی و تردی بافت، نشان داد به گونه‌ای که با افزایش زمان فرآیند، محتوی رطوبت کاهش و چروکیدگی، محتوی چربی و تردی بافت، افزایش یافت. فشار در محدوده تحت بررسی تنها بر ویژگی‌های چروکیدگی و تغییرات کلی رنگ اثرات معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) داشت. افزایش فشار درون محفظه منجر به کاهش چروکیدگی و افزایش تغییرات کلی رنگ گردید. شرایط بهینه سرخ‌کردن در خلا برش‌های گوجه‌فرنگی تعیین شده شامل دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۱/۹۲ دقیقه و فشار ۲۶۰ میلی‌بار بود که در این شرایط محتوی رطوبت ۴۵/۹۳ درصد، چروکیدگی ۷۰/۵۴ درصد، محتوی چربی ۳۴/۶۴ درصد، میزان اسید آسکوربیک ۲/۹۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر، تغییرات کلی رنگ ۶۴/۸۶ و نیروی شکست ۲/۵۸ نیوتن، بودند.

## ۱- مقدمه

علاوه بر محتوی روغن کمتر و ارزش تغذیه‌ای بالاتر، تغییرات رنگ کمتری را خواهند داشت و فرآورده‌ها با رنگ، بافت و طعم مطلوب‌تری نسبت به روش سرخ کردن در فشار محیط، بدست می‌آیند [۷-۹]. گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esulentum* Mill) منبع سرشاری از ترکیبات مغذی شامل ویتامین C و E، بتاکاروتن، لیکوپن، فلاونوئیدها، اسیدهای آلی، ترکیبات فنولیک و کلروفیل، می‌باشد که به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا و هم‌چنین ویژگی‌های حسی مطلوب، به طور گسترده در سطح جهان تولید و مصرف می‌گردد [۱۰]. تولید جهانی گوجه‌فرنگی حدود ۱۸۰ میلیون تن می‌باشد که ایران با تولید بیش از ۵ میلیون تن در رتبه هفتم کشورهای بزرگ تولیدکننده این محصول قرار دارد [۱۱]. سبزی‌ها از جمله گوجه‌فرنگی به دلیل داشتن رطوبت و فعالیت آبی بالا، ماندگاری پایینی داشته و در صورت عدم فرآوری دچار فساد شده و از چرخه مصرف خارج می‌شوند [۱۲]. سرخ‌کردن تحت خلا در بسیاری از مواد غذایی به طور عمده در میوه‌ها و سبزی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به محصولاتمانند سیب، زردآلو، موز، هویج، کیوی، سیب‌زمینی و قارچ خوراکی، اشاره نمود [۱۳]. Praneeth و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی شرایط فرآیند سرخ کردن در خلا بر ویژگی‌های کیفی برش‌های گلایی پرداخته و شرایط بهینه فرآیند را دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، فشار عملیاتی ۷۵ تا ۹۸ میلی‌بار و زمان فرآوری ۴ تا ۴/۲ دقیقه تعیین کردند [۱۴]. نیکخواه و همکاران (۱۳۹۳) اثرات دما، زمان و فشار عملیاتی در فرآیند سرخ‌کردن برش‌های لوبیاسبز را بر محتوی رطوبت و روغن، چروکیدگی، بافت و تغییرات کلی رنگ بررسی و شرایط بهینه فرآوری (دما ۱۱۹/۳ درجه سانتی‌گراد، فشار عملیاتی ۲۸۵ میلی‌بار و زمان ۱۴/۶ دقیقه) را بدست آوردند [۱۵]. Torres و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی شرایط فرآیند سرخ کردن در خلا برش‌های بادمجان پرداخته و بیان کردند که با افزایش دما و زمان فرآوری، محتوی رطوبت و شاخص رنگی (L\*) کاهش و جذب روغن، تغییرات کلی رنگ و نیروی شکست نمونه‌ها، افزایش می‌یابد [۱۶]. اثرات شرایط فرآیند سرخ کردن در خلا بر شاخص‌های کیفی برش‌های بارهنگ توسط Akinpelu و همکاران (۲۰۱۴) بررسی و با فرآیند سرخ کردن در فشار محیط مقایسه و نشان داده شده که فاکتورهای فرآیند اثرات معنی‌داری بر محتوی

سرخ کردن به روش غوطه‌وری یکی از رایج‌ترین و قدیمی‌ترین فرآیندها در آماده‌سازی مواد غذایی در مصارف خانگی و هم‌چنین صنعتی است. فرآیند سرخ کردن دربرگیرنده انتقال هم‌زمان انرژی و جرم می‌باشد که منجر به تغییرات معنی‌دار در پوسته و بدنه فرآورده می‌گردد. انتقال انرژی به شکل حرارت باعث دناتور شدن پروتئین‌ها، ژلاتیناسیون نشاسته، تبخیر آب، تشکیل پوسته خارجی و تغییر رنگ می‌شود. انتقال جرم شامل خروج آب و برخی ترکیبات محلول در آب و هم‌چنین جذب روغن توسط محصول می‌شود [۱ و ۲]. سرعت بالای فرآیند و ویژگی‌های حسی مناسب (رنگ، بافت و عطر)، سرخ کردن را به صنعتی با سرعت رشد بالا تبدیل نموده است. محتوی بالای چربی در فرآورده‌های سرخ شده، از یک سو و افزایش سطح آگاهی مصرف‌کنندگان از سوی دیگر، صنعت غذا را به سمت بکارگیری فناوری‌هایی سوق می‌دهد که بتوان در کنار حفظ ویژگی‌های حسی موردانتظار مصرف‌کنندگان، میزان جذب روغن در فرآورده‌ها را کاهش داد. در روش سنتی و متداول، سرخ کردن به صورت غوطه‌وری ماده غذایی در یک روغن یا چربی مایع خوراکی و حرارت‌دهی در دماهای بیش‌از نقطه جوش آب و تحت فشار محیط انجام می‌گیرد که حضور اکسیژن و کاربرد دماهای بالا، سبب تغییرات ساختاری در سطح و درون ماده غذایی، افت ارزش غذایی، اکسیداسیون لیپیدی، قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ فرآورده و کاهش ماندگاری روغن می‌گردد، هم‌چنین این روش باعث تشکیل ترکیبات ضدتغذیه‌ای مانند آکریل‌آمیدها و افزایش میزان جذب روغن توسط ماده غذایی می‌گردد [۳ و ۴]. سرخ کردن تحت خلا روشی نوین در سرخ کردن به روش غوطه‌وری در روغن است که طی آن ماده غذایی در یک سیستم بسته تحت فشار کاهش‌یافته قرار می‌گیرد که این امر نقطه جوش روغن سرخ‌کردنی و هم‌چنین آب موجود در ماده غذایی را کاهش داده و در نتیجه سرعت انتقال حرارت در داخل ماده غذایی افزایش و مدت زمان سرخ کردن کاهش می‌یابد، از سوی دیگر، در این روش میزان جذب روغن در فرآورده نسبت به روش غوطه‌وری، کاهش چشمگیری می‌یابد [۵]. علاوه بر این بدلیل کاهش میزان اکسیژن در دسترس در طول دوره فرآوری، سرعت اکسیداسیون روغن کاهش و دوره زمان بهره‌برداری از آن، افزایش می‌یابد [۶]. فرآورده‌های حاصل در این روش،

آزمایشات مربوط به سرخ کردن برش‌های گوجه‌فرنگی در یک دستگاه سرخ‌کن تحت خلا آزمایشگاهی انجام شد که از بخش‌های محفظه سرخ‌کن (طرف ته صاف از جنس پیرکس نشکن با ظرفیت سه لیتر)، دماسنج دیجیتال (جهت سنجش دمای روغن تحت استفاده با دقت  $\pm 1$  درجه سانتی‌گراد)، شیر فشار شکن (جهت شکستن خلا در انتهای فرآیند و همچنین تنظیم میزان فشار درون محفظه)، فشارسنج (جهت سنجش فشار درون محفظه با دقت  $\pm 1$  میلی‌بار)، زمان‌سنج (جهت سنجش زمان فرآیند، لحظه وارد شدن نمونه‌ها به درون روغن تا لحظه خارج شدن آن‌ها)، سبد توری حامل (از جنس استنلس استیل و متصل به یک میله بالابریا قابلیت حرکت عمودی در درون محفظه سرخ‌کن)، هیتر الکتریکی ۵۰۰ وات مجهز به همزن مغناطیسی (جهت تامین حرارت و مخلوط کردن روغن در طول فرآیند)، میله بالابر (به منظور حرکت سبد حامل نمونه‌ها در درون محفظه که یک سر آن به سبد توری متصل بوده و طرف دیگر آن به صورت دسته‌ای بود که حرکت دادن سبد را بدون شکستن خلا در درون محفظه ممکن می‌ساخت) و پمپ خلا (جهت دستیابی به فشارهای تحت بررسیدر درون محفظه). نمای شماتیک سیستم سرخ‌کن در خلا آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق در شکل ۱ آورده شده است.



**Fig 1** Schematic view of the Lab-scale vacuum frying system

(1 Vacuum frying chamber, 2 Carrier basket, 3 Thermometer, 4 Pressure relief valve, 5 Vacuum pump, 6 Pressure gauge, 7 Electrical heater)

## ۲-۴- فرآیند سرخ کردن تحت خلا

نمونه‌های پیش‌تیمار شده و نمونه شاهد (بدون هیچ‌گونه آماده‌سازی) در سبد توری سیستم سرخ‌کن در خلا قرار گرفت. پس از بستن درب سرخ‌کنو تنظیم فشار مورد نیاز

رطوبت، بافت و تغییرات کلی رنگ نمونه‌ها داشته و نمونه‌های حاصل از فرآیند سرخ کردن در خلا دارای شاخص‌های کیفی برتری نسبت به نمونه‌های بدست آمده در فرآیند سرخ کردن در فشار محیط می‌باشند [۱۷].

هدف از این تحقیق بررسی اثرات متغیرهای فرآیند (دما، فشار و زمان) بر برخی ویژگی‌های برش‌های گوجه‌فرنگی سرخ شده در خلا (شامل محتوی رطوبت، چروکیدگی، اسید آسکوربیک، تغییرات کلی رنگ، تردی بافت و محتوی چربی) و تعیین شرایط بهینه فرآیند سرخ کردن تحت خلا برش‌های گوجه‌فرنگی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد اولیه مورد استفاده

گوجه‌فرنگی‌های سالم و تازه از مزارع اطراف استان تهران تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها شستشو و پس از خشک کردن سطوح، تا شروع آزمایشات در دمای یخچال نگهداری شدند. روغن مورد استفاده در این تحقیق، روغن مایع مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان و سویا با نام تجاری بهار) بود.

### ۲-۲- آماده‌سازی گوجه‌فرنگی

نمونه‌ها قبل از شروع هر آزمایش جهت رسیدن به دمای محیط به مدت ۳۰ دقیقه از یخچال خارج و توسط اسلایسر به حلقه‌هایی به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر و قطر ۵۰ میلی‌متر بریده شدند. برش‌های گوجه‌فرنگی پس از توزین و علامت‌گذاری با نسبت محلول به نمونه (۱۰ به ۱) به درون محلول اسمزی حاوی ۱۰ درصد (وزنی/حجمی) نمک خوراکی، منتقل گردیدند. پیش‌تیمار آبیگری اسمزی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت همزنی ۱۵۰ دور در دقیقه و به مدت ۶۰ دقیقه، انجام شد. در ادامه برش‌های گوجه‌فرنگی از درون محلول اسمزی خارج و توسط جریان آب به مدت ۳۰ ثانیه، نمک‌های باقی‌مانده سطحی، خارج و سپس توسط دستمال کاغذی، آب سطحی آنان جداسازی گردید [۱۸].

### ۲-۳- دستگاه سرخ‌کن تحت خلا در مقیاس

### آزمایشگاهی

$$Sv = V_0 - Vt / V_0 \times 100$$

## ۷-۲- آسکوربیک اسید

محتوی آسکوربیک اسید نمونه‌ها با استفاده از روش تیتراسیون با محلول ۲ و ۶ دی کلروفنل ایندوفنل تعیین شد. به مقدار معینی از گوجه‌فرنگی، محلول متافسفریک اسید ۳ درصد، اضافه و پس از فیلتر کردن با کاغذ صافی، توسط محلول ۲ و ۶ دی کلروفنل ایندوفنل تا زمانی که رنگ صورتی متمایل به قرمز کم رنگ ۱۵ ثانیه ثابت بماند، تیتراژ شد. با استفاده از رابطه ۳ میزان آسکوربیک اسید نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم در صد میلی‌لیتر محاسبه شد که در آن  $c$ : حجم محلول رنگی مصرف شده جهت هر نمونه (میلی‌لیتر)،  $d$ : مقدار محلول رنگی مصرف شده جهت تیتراسیون استاندارد (میلی‌لیتر)،  $b$ : حجم محلول ساخته شده با متافسفریک اسید (میلی‌لیتر)،  $c$ : حجم محلول برداشته شده جهت تیتراسیون (میلی‌لیتر) و  $a$ : جرم نمونه (گرم)، می‌باشد [۲۲].

$$\text{Ascorbic acid} = cx \, dx \, b / c \, x \, a \times 100$$

## ۸-۲- محتوی چربی

محتوی چربی نمونه‌های خام و فرآوری شده گوجه‌فرنگی از روش سوکسله و با استفاده از حلال پترولیوم طبق روش AOAC به شماره (49-BC3) تعیین گردید. ۲ گرم نمونه خشک و فاقد رطوبت، توزین و داخل کارتوش قرار گرفته و به قسمت استخراج‌کننده سوکسله منتقل شد و به مدت ۸ ساعت روغن نمونه توسط حلال استخراج گردید. در نهایت محتوی روغن نمونه (%) از رابطه ۴ محاسبه شد که در آن  $W_1$ : وزن نمونه (گرم) و  $W_2$ : وزن روغن باقیمانده در بالن (گرم) می‌باشد [۲۳].

$$\% \text{ Oil} = W_2 / W_1 \times 100\%$$

## ۹-۲- تغییرات کلی رنگ

شاخص‌های رنگی نمونه‌ها توسط دستگاه هانتربل تعیین شدند. رنگ‌سنج ابتدا با استفاده از صفحات رنگی، کالیبره و سپس شاخص‌های رنگی نمونه‌ها شامل  $L^*$  (روشنی)،  $a$  (قرمزی) و  $b$  (زردی) بدست آمد. تغییرات کلی رنگ نمونه‌های فرآوری شده نسبت به نمونه خام به وسیله رابطه (۵) محاسبه شد [۲۱].

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

## ۱۰-۲- تردی بافت

حداکثر نیروی شکست جهت خرد کردن نمونه‌های گوجه‌فرنگی سرخ شده به عنوان شاخص تردی با استفاده از

(محدوده فشار تحت بررسی ۲۶۰ تا ۳۴۰ میلی‌بار) توسط پمپ خلا، با پایین بردن میله بالابر و سبد متصل به آن، برش‌های گوجه‌فرنگی در روغنی که قبلاً دمای مورد نظر در آن تنظیم شده بود (محدوده دما تحت بررسی ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد) غوطه‌ور و زمان سنجی آغاز گردید. پس از گذشت زمان مورد نیاز (مدت زمان تحت بررسی ۱۵ تا ۲۵ دقیقه)، سبد حاوی برش‌های گوجه‌فرنگی توسط بالا بردن میله بالابر از روغن خارج شده و پس از شکستن خلا و باز نمودن درب سرخ‌کن، برش‌های سرخ شده گوجه‌فرنگی در دمای محیط خنک شده و پس از جداسازی روغن‌های سطحی نمونه‌ها (با استفاده از سانتریفوژ دستی)، نمونه‌ها در بسته‌بندی از جنس پلی‌اتیلن تا زمان سنجش ویژگی‌های کیفی تحت بررسی (حداکثر به مدت یک هفته) در دمای یخچال (+۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند [۱۹].

## ۵-۲- محتوی رطوبت

جهت تعیین محتوی رطوبت نمونه‌های گوجه‌فرنگی خام و هم‌چنین فرآوری شده از روش AACC (شماره A ۴۴-۱۵) استفاده شد. قطعات نمونه به طور یکسان خرد و مخلوط شده و سپس حدود ۲ گرم از نمونه‌ها توزین و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳-۵ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. در نهایت محتوی رطوبتی نمونه‌ها طبق رابطه ۱ محاسبه گردید که در آن  $W_1$  وزن اولیه نمونه (گرم) و  $W_2$  وزن ثانویه نمونه (گرم)، می‌باشد [۲۰].

$$\text{Moisture content (\%)} = W_1 - W_2 / W_2 \times 100\%$$

## ۶-۲- چروکیدگی

سنجش میزان چروکیدگی نمونه‌ها به روش جابجای سیال (تولون) انجام شد. در ابتدا ۱۰ قطعه از نمونه‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده و در درون استوانه مدرج ۱۰۰ میلی‌لیتری با دقت  $\pm 0.1$  میلی‌لیتر که حاوی ۵۰ میلی‌لیتر تولون بود قرار داده شده و میزان جابه‌جایی سیال که در واقع حجم قطعات می‌باشد ثبت شد. در ادامه همان نمونه‌ها، فرآوری شده و مجدداً داخل استوانه حاوی تولون قرار گرفته و میزان جابه‌جایی سیال ثبت گردید که این عمل در ۳ تکرار برای هر آزمون انجام شد و در نهایت از رابطه ۲ میزان چروکیدگی محصول بدست آمد که در آن  $Sv$ : چروکیدگی (%).  
 $V_0$ : حجم اولیه نمونه (میلی‌لیتر) و  $V_1$ : حجم نمونه در پایان فرآیند (میلی‌لیتر)، می‌باشد [۲۱].

در این پژوهش، تجزیه و تحلیل آماری و تعیین شرایط بهینه فرآیند با استفاده از روش سطح پاسخ (طرح مرکب مرکزی CCD) با بکارگیری متغیرهای مستقل دمای فرآیند (۱۱۵ - ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد)، زمان فرآیند (۱۵-۲۵ دقیقه) و فشار درون محفظه (۲۶۰-۳۴۰ میلی‌بار)، انجام گردید. نرم افزار آماری مورد استفاده در تحقیق، Design Expert (شرکت Stat-Ease ویرایش ۱۰) بود. سطوح متغیرهای مستقل به صورت حقیقی و کد شده در جدول ۱، ارائه شده است.

دستگاه بافت‌سنج (اینستران مدل M350-10CT، کشور انگلستان) بدست آمد، بدین گونه که نیروی کمتر نشان دهنده تردی بیشتر و نیروی بیشتر نشان‌دهنده تردی کمتر می‌باشد. ابتدا نمونه‌های گوجه‌فرنگی فرآوری شده بر روی صفحه مخصوص جای‌گیری نمونه قرار گرفته و پراب میله‌ای با قطر ۳ میلی‌متر با سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بر قسمت میانی سطح مقطع نمونه نیرو وارد کرد [۲۴].

## ۲-۱۱- طرح آماری

**Table 1** Independent process variables and their values

(Code and related levels)			Math symbol	Independent variables
+1	0	-1		
25	15	20	$X_1 (A)$	Time (min)
135	125	115	$X_2 (B)$	Temperature ( $^{\circ}C$ )
340	300	260	$X_3 (C)$	Pressure (mbar)

دارد [۱۳]. متغیرهای دما و زمان فرآیند بر محتوی رطوبت برش‌های گوجه‌فرنگی سرخ‌شده اثرات معنی‌دار داشتند در حالی که فشار عملیاتی اختلاف معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) در محتوی رطوبت برش‌ها ایجاد نمی‌نماید (جدول ۲) که این امر در دماها و زمان‌های ثابت تحت بررسی، به وضوح دیده می‌شود (جدول ۳).

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تاثیر شرایط فرآیند بر محتوای رطوبت

محتوی رطوبت نهایی در فرآورده‌های خشک و سرخ‌شده در شمار فاکتورهای تاثیرگذار بر ویژگی‌های کیفی فرآورده از جمله تردی بافت، جذب روغن و چروکیدگی سطحی، قرار

**Table 2** P-values resulting from analysis of variance (ANOVA) for studied characteristics

Studied characteristics						
Crispiness	Total color difference	Fat content	Ascorbic acid	Shrinkage	Moisture content	Source
0.0006	0.0006	0.0011	0.0090	0.0055	0.0309	Model
0.0002	0.1196	0.0005	0.0658	0.0307	0.0134	A Time
0.0254	0.5899	0.0369	0.0094	0.0078	0.0305	B Temperature
0.9218	0.03	0.8203	0.0823	0.0112	0.3616	C Pressure

**Table 3** Effects of operating pressure at constant frying temperatures and frying times on studied characteristics

Responses						Variables		
Crispiness (N)	Total color difference	Ascorbic Acid (mg/100mL)	Fat content (%)	Shrinkage (%)	Moisture content (%)	Time (min)	Temperature ( $^{\circ}C$ )	Pressure (mbar)
3.53 <sup>a</sup>	63.63 <sup>a</sup>	3.99 <sup>a</sup>	32.7 <sup>a</sup>	67.14 <sup>a</sup>	47.49 <sup>a</sup>	15	115	260
3.48 <sup>a</sup>	65.33 <sup>b</sup>	3.87 <sup>a</sup>	32.4 <sup>a</sup>	65.33 <sup>b</sup>	47.53 <sup>a</sup>	15	115	300
3.41 <sup>a</sup>	66.09 <sup>c</sup>	3.84 <sup>a</sup>	32.8 <sup>a</sup>	63.78 <sup>c</sup>	47.62 <sup>a</sup>	15	115	340
2.99 <sup>a</sup>	67.63 <sup>a</sup>	3.38 <sup>a</sup>	34.4 <sup>a</sup>	71.53 <sup>a</sup>	45.98 <sup>a</sup>	20	125	260
2.63 <sup>a</sup>	68.03 <sup>b</sup>	3.25 <sup>a</sup>	34.3 <sup>a</sup>	69.63 <sup>b</sup>	45.74 <sup>a</sup>	20	125	300
2.58 <sup>a</sup>	69.79 <sup>c</sup>	2.28 <sup>a</sup>	34.2 <sup>a</sup>	67.91 <sup>c</sup>	45.08 <sup>a</sup>	20	125	340
1.63 <sup>a</sup>	69.64 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	35.1 <sup>a</sup>	73.81 <sup>a</sup>	44.83 <sup>a</sup>	25	135	260
1.55 <sup>a</sup>	70.56 <sup>b</sup>	2.19 <sup>a</sup>	35.4 <sup>a</sup>	72.11 <sup>b</sup>	44.80 <sup>a</sup>	25	135	300
1.50 <sup>a</sup>	71.22 <sup>c</sup>	2.28 <sup>a</sup>	34.9 <sup>a</sup>	71.62 <sup>c</sup>	44.73 <sup>a</sup>	25	135	340

Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$ .

معرض دماهای اعمال شده در فرآیند قرار گرفته و خروج آب از محصول افزایش می‌یابد. اثرات شرایط فرآیند بر محتوی رطوبت در محصولات متعددی بررسی که با نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر همخوانی دارد [۲۱، ۲۵ و ۷].

افزایش دما و زمان فرآوری منجر به کاهش معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) محتوی رطوبت برش‌های سرخ شده گردید (جداول ۴ و ۵). با افزایش دما و به دنبال آن افزایش میزان تبخیر، آب بیشتری از برش‌ها خارج و رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده، کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش زمان فرآیند محصول به مدت بیشتری در

**Table 4** Effects of frying temperature at constant operating pressures and frying times on studied characteristics

Responses					(Varibles)			
Crispiness (N)	Total color difference	Total color difference	Ascorbic acid (mg/100mL)	Shrinkage (%)	Moisture content (%)	Time (min)	Pressure (mbar)	Temperature (°C)
3.53 <sup>a</sup>	63.63 <sup>a</sup>	63.63 <sup>a</sup>	3.99 <sup>a</sup>	67.14 <sup>a</sup>	47.49 <sup>a</sup>	15	260	115
3.22 <sup>b</sup>	63.83 <sup>a</sup>	63.83 <sup>a</sup>	3.45 <sup>b</sup>	68.22 <sup>b</sup>	47.08 <sup>b</sup>	15	260	125
2.87 <sup>c</sup>	63.96 <sup>a</sup>	63.96 <sup>a</sup>	3.02 <sup>c</sup>	69.69 <sup>c</sup>	46.44 <sup>c</sup>	15	260	135
2.82 <sup>a</sup>	67.87 <sup>a</sup>	67.87 <sup>a</sup>	3.89 <sup>a</sup>	69.01 <sup>a</sup>	46.99 <sup>a</sup>	20	300	115
2.63 <sup>a</sup>	68.03 <sup>a</sup>	68.03 <sup>a</sup>	3.25 <sup>b</sup>	69.63 <sup>b</sup>	45.74 <sup>b</sup>	20	300	125
2.16 <sup>b</sup>	68.47 <sup>a</sup>	68.47 <sup>a</sup>	2.95 <sup>c</sup>	70.52 <sup>c</sup>	45.09 <sup>c</sup>	20	300	135
2.17 <sup>a</sup>	70.87 <sup>a</sup>	3.44 <sup>a</sup>	34.1 <sup>a</sup>	69.78 <sup>a</sup>	46.03 <sup>a</sup>	25	340	115
1.85 <sup>b</sup>	71.09 <sup>a</sup>	2.98 <sup>b</sup>	34.5 <sup>b</sup>	70.84 <sup>b</sup>	45.23 <sup>b</sup>	25	340	125
1.50 <sup>c</sup>	71.22 <sup>a</sup>	2.28 <sup>c</sup>	34.9 <sup>c</sup>	71.62 <sup>c</sup>	44.73 <sup>c</sup>	25	340	135

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

**Table 5** Effects of frying time at constant frying temperatures and operating pressures on studied characteristics

Varibles			Responses					
Time (min)	Pressure (mbar)	Temperature (°C)	Moisture content (%)	Shrinkage (%)	Fat content (%)	Ascorbic Acid (mg/100mL)	Total color difference	Crispiness (N)
15	260	115	47.49 <sup>a</sup>	67.14 <sup>a</sup>	32.7 <sup>a</sup>	3.99 <sup>a</sup>	63.63 <sup>a</sup>	3.53 <sup>a</sup>
20	260	115	46.25 <sup>b</sup>	68.44 <sup>b</sup>	33.1 <sup>b</sup>	3.61 <sup>a</sup>	64.25 <sup>a</sup>	3.04 <sup>b</sup>
25	260	115	45.98 <sup>c</sup>	69.23 <sup>c</sup>	33.5 <sup>c</sup>	3.04 <sup>a</sup>	64.46 <sup>a</sup>	2.96 <sup>b</sup>
15	300	125	46.21 <sup>a</sup>	67.82 <sup>a</sup>	33.3 <sup>a</sup>	3.68 <sup>a</sup>	67.95 <sup>a</sup>	2.71 <sup>a</sup>
20	300	125	45.74 <sup>b</sup>	69.63 <sup>b</sup>	34.3 <sup>b</sup>	3.25 <sup>a</sup>	68.03 <sup>a</sup>	2.63 <sup>a</sup>
25	300	125	44.98 <sup>c</sup>	70.89 <sup>c</sup>	34.9 <sup>c</sup>	3.05 <sup>a</sup>	68.22 <sup>a</sup>	1.95 <sup>b</sup>
15	340	135	45.98 <sup>a</sup>	70.58 <sup>a</sup>	33.7 <sup>a</sup>	2.75 <sup>a</sup>	70.92 <sup>a</sup>	2.11 <sup>a</sup>
20	340	135	45.05 <sup>b</sup>	70.89 <sup>b</sup>	34.2 <sup>b</sup>	2.57 <sup>a</sup>	71.07 <sup>a</sup>	1.78 <sup>b</sup>
25	340	135	44.73 <sup>c</sup>	71.62 <sup>c</sup>	34.9 <sup>c</sup>	2.28 <sup>a</sup>	71.22 <sup>a</sup>	1.50 <sup>c</sup>

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

میزان چروکیدگی همراه می‌باشد (جدول ۳). اثرات فشار درون محفظه سرخ‌کن بر ساختار محصول و چروکیدگی سطحی برش‌های سرخ‌شده در خلا سیب زمینی توسط Garayo و Moreira (۲۰۰۲) بررسی و نشان داده شده است که کاهش فشار درون محفظه منجر به افزایش تغییر ساختار، میزان تخلخل بافت و هم‌چنین چروکیدگی سطحی می‌گردد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. افزایش دما و زمان فرآیند در فشارهای ثابت موجب افزایش معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) میزان چروکیدگی برش‌های سرخ‌شده گردید (جداول ۴ و ۵) که این امر را می‌توان بر اثرات اعمال حرارت بر ساختار و هم‌چنین

### ۳-۲- تاثیر شرایط فرآیند بر میزان چروکیدگی

چروکیدگی پدیده‌ای رایج در فرآورده‌های خشک و هم‌چنین سرخ‌شده است که رابطه معنی‌داری با میزان کاهش محتوی رطوبت دارد بدین‌گونه که با کاهش میزان رطوبت، چروکیدگی افزایش می‌یابد (جداول ۴، ۵ و ۶). شرایط فرآیند سرخ‌کردن (دما، زمان و فشار عملیاتی) بر میزان چروکیدگی نمونه‌های سرخ شده گوجه‌فرنگی، دارای اثرات معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) هستند (جدول ۲). افزایش فشار در محدوده تحت بررسی در دماها و زمان‌های فرآوری ثابت، با کاهش معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ).

افزایش خروج رطوبت از محصول نسبت داد. بررسی تاثیرات دما و زمان فرآیند سرخ کردن در خلا بر میزان چروکیدگی در تحقیقات انجام شده توسط Moreira و da Silva (۲۰۰۸) و همچنین Maity و همکاران (۲۰۱۴) با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارند [۲۱، ۹ و ۲۶].

### ۳-۳- تاثیر شرایط فرآیند بر محتوای چربی

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تحقیق نشان دادند که دما و زمان فرآیند بر روی محتوای چربی برش‌های گوجه‌فرنگی سرخ‌شده اثرات معنی‌دار داشته در حالی که فشار عملیات فاقد اثرات معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) می‌باشد (جدول ۲). اثرات تغییر فشار در دامنه تحت بررسی در دماها و زمان‌های فرآوری ثابت بر میزان جذب روغن، اثرات معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) نشان نداد. دلیل این امر را می‌توان محدوده انتخابی و نزدیکی فشارهای تحت بررسی به یکدیگر عنوان نمود (جدول ۳). افزایش دما و زمان فرآوری در دامنه تحت بررسی در فشارهای ثابت، موجب افزایش معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) محتوی روغن نمونه‌های سرخ‌شده گردید (جدول‌های ۴ و ۵). میزان محتوی روغن در برش‌های گوجه‌فرنگی تابعی از دما و زمان سرخ‌کردن است [۲۲]. جذب چربی طی فرآیند سرخ‌کردن با توجه به اثرات منفی آن بر سلامت مصرف‌کننده، در تحقیقات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. Bouchon و Dueik (۲۰۱۱) بیان کردند که میزان جذب چربی رابطه مستقیمی با میزان کاهش رطوبت در محصول دارد [۵]. Moreira و Pandey (۲۰۱۲) شرایط فرآیند سرخ‌کردن در خلا برش‌های سیب‌زمینی را بررسی و نشان دادند که با افزایش دما و زمان فرآیند سرخ‌کردن، میزان جذب روغن در فرآورده، افزایش می‌یابد [۲۷]. کاهش فشار عملیاتی و اثرات آن بر میزان جذب روغن در محصولات مختلف بررسی و نشان داده شده است که کاهش فشار درون محفظه سرخ‌کن در مقایسه با سرخ‌کردن در فشار محیط موجب کاهش میزان جذب روغن می‌گردد [۹، ۲۸، ۲۷ و ۷].

### ۳-۴- تاثیر شرایط فرآیند بر میزان اسید

#### آسکوربیک

اسید آسکوربیک ویتامینی است محلول در آب که دارای نقش‌های متعدد در وضعیت سلامت انسان از جمله کاهش تنش‌های اکسیداتیو است. با توجه به پایداری حرارتی پایین

این ویتامین، کاهش میزان تخریب آن در فرآورده‌های سرخ‌شده می‌تواند به تهیه و تولید فرآورده‌های با ارزش تغذیه مناسب، کمک نماید. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تحقیق نشان دادند که در بین تیمارهای تحت بررسی، تنها دمای فرآیند بر میزان اسید آسکوربیک برش‌های گوجه‌فرنگی سرخ‌شده اثرات معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) دارد (جدول ۲). در دماها و زمان‌های فرآوری ثابت، کاهش فشار عملیاتی باعث افزایش میزان اسید آسکوربیک گردید، اما یافته‌های حاصل، اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند (جدول ۳). افزایش دما در محدوده تحت بررسی در فشارها و زمان‌های فرآوری ثابت، به کاهش معنی‌دار این ویتامین در نمونه‌ها منجر گردید (جدول ۴). افزایش زمان فرآوری در دماها و فشارهای ثابت، کاهش میزان اسید آسکوربیک را به دنبال داشت اما مقادیر آورده شده در جدول ۵ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند. Ayustaningwarno و همکاران (۲۰۲۰) اثرات شرایط فرآیند سرخ‌کردن در خلا بر شاخص‌های کیفی برش‌های سرخ‌شده انبه را بررسی و بیان کردند که مهم‌ترین عامل در کاهش میزان اسید آسکوربیک نمونه‌های تحت بررسی، دمای فرآیند می‌باشد [۲۹]. نتایج حاصل از تحقیقات پیشین نشان دادند که سرخ‌کردن در خلا در مقایسه با فرآوری در فشار محیط موجب حفظ بیشتر اسید آسکوربیک در نمونه‌های سرخ‌شده می‌گردد [۳۰، ۹ و ۱۸].

### ۳-۵- تاثیر شرایط فرآیند بر تغییرات کلی رنگ

شاخص رنگ یکی از ویژگی‌های ظاهری و مهم در مواد غذایی است که بر قابلیت پذیرش آن‌ها توسط مصرف‌کننده تاثیرگذار می‌باشد. به همین دلیل نیز تخریب رنگ طبیعی در طول فرآوری، موجب کاهش پذیرش از سوی مصرف‌کنندگان می‌گردد. تغییرات کلی رنگ ( $\Delta E$ ) شاخصی کاربردی است که انحراف رنگ فرآورده نسبت به ماده اولیه را بیان می‌نماید. نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثرگذاری معنی‌دار فشار فرآیند بر شاخص تغییرات کلی رنگ می‌باشد در حالی که دو فاکتور دما و زمان فرآیند در محدوده‌های تحت بررسی فاقد اثر معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) بودند (جدول ۲). افزایش فشار در دماها و زمان‌های ثابت فرآوری، میزان تغییرات کلی رنگ را به صورت معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) افزایش داد که این امر مرتبط با شدت گرفتن واکنش‌های قهوه‌ای شده در این شرایط و به دنبال آن افزایش تغییرات کلی رنگ فرآورده، می‌باشد. نتایج این تحقیق

با نتایج تحقیق Marsical و Bouchon (۲۰۰۸) که شرایط فرآیند سرخ‌کردن در خلا برش‌های سیب را بررسی نموده‌اند، مطابقت دارد [۳۱].

### ۳-۶- تاثیر شرایط فرآیند برتردی محصول

یکی از ویژگی‌های حسی شاخص که بر قابلیت پذیرش اسنک‌ها توسط مصرف‌کنندگان تاثیر می‌گذارد، تردی بافت است. برای تعیین تردی بافت محصول از نیروی لازم جهت شکستن برش‌های سرخ‌شده استفاده می‌شود، بدین‌گونه که نیروی شکست کمتر، نشانگر تردی بیشتر فرآورده است. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تحقیق نشان دادند که دما و زمان فرآیند بر تردی بافت برش‌های گوجه‌فرنگی سرخ‌شده اثرات معنی‌دار داشته در حالی که فشار عملیات فاقد اثرات معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) می‌باشد (جدول ۲). افزایش دما و زمان فرآوری در محدوده‌های تحت بررسی در فشارهای ثابت موجب کاهش معنی‌دار نیروی شکست (افزایش تردی) شد (جدول ۴ و ۵). دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توضیح داد که با افزایش دما و زمان فرآیند سرخ‌کردن، میزان رطوبت بیشتری از محصول خارج شده و در نتیجه محصول بافت تردتری پیدا می‌کند [۳۲].

### ۳-۷- بهینه‌یابی فرآیند برش‌های گوجه‌فرنگی سرخ‌شده تحت خلا

تعیین شرایط بهینه سرخ‌کردن در خلا برش‌های گوجه‌فرنگی با انتخاب اهداف بهینه‌سازی (کمینه محتوی رطوبت، میزان چروکیدگی، محتوی چربی، اختلافات کلی رنگ و نیروی شکست و بیشینه آسکوربیک اسید) انجام و شرایط بهینه سرخ‌کردن در خلا برش‌های گوجه‌فرنگی شامل دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۱/۹۲ دقیقه و فشار ۲۶۰ میلی‌بار بدست آمد که در این شرایط محتوی رطوبت ۴۵/۹۳ درصد، چروکیدگی ۷۰/۵۴ درصد، محتوی چربی ۳۴/۶۴ درصد، میزان اسید آسکوربیک ۲/۹۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر، تغییرات کلی رنگ ۶۴/۸۶ و نیروی شکست ۲/۵۸ نیوتن، بودند.

### ۴- نتیجه‌گیری

افزایش سطح آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به نقش تغذیه در سلامت موجب گردیده که صنعت غذا به سمت بکارگیری فناوری‌های نوین که در کنار تامین ویژگی‌های کیفی، ظاهری و

حسی موردانتظار جامعه، قادر به تولید محصولاتی با ارزش تغذیه‌ای بالا و با کمترین اثرات زیان‌بخش بر سلامت باشند، سوق داده شود. فرآیند سرخ‌کردن در خلا، فرآیند نوینی است که طی آن ماده غذایی در فشاری پایین‌تر از فشار محیط، فرآوری و قادر به تولید فرآورده‌هایی با ویژگی‌های کیفی برتر نسبت به روش سرخ‌کردن در فشار محیط است. یافته‌های این تحقیق، قابلیت کاربرد این روش در تهیه برش‌های سرخ‌شده گوجه‌فرنگی با ویژگی‌های مناسب را نشان دادند.

### ۵- منابع

- [1] Yamsaengsung, R., Rungsee, C., & Prasertsit, K. (2008). Simulation of the heat and mass transfer processes during the vacuum frying of potato chips. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 30(1), 109-115.
- [2] Farkas, B.E., Singh, R.P. & Rumsey, T.R. (1996). Modelling heat and mass transfer in immersion frying. I, model development. *Journal of Food Engineering*, 29(2), 211-226.
- [3] Andrés-Bello, A., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2011). Vacuum Frying: An Alternative to Obtain High-Quality Dried Products. *Food Engineering Reviews*, 3(2), 63-78.
- [4] Fan, L. P., Zhang, M., Xiao, G. N., Sun, J. C., & Tao, Q. (2005). The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. *International journal of food science & technology*, 40(9), 911-919.
- [5] Dueik, V., & Bouchon, P. (2011). Development of Healthy Low-Fat Snacks: Understanding the Mechanisms of Quality Changes During Atmospheric and Vacuum Frying. *Food Reviews International*, 27(4), 408-432.
- [6] Shyu, S. L., Hau, L. B., & Hwang, L. S. (1998). Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(10), 1393-1398.
- [7] Shyu, S. L. & Hwang, L. S. (2001). Effect of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International*, 34(2), 133-142.
- [8] Granda, C., Moreira, R.G. & Tichy, S.E. (2004). Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature



- [19] Moreira, R. G., Da Silva, P. F., & Gomes, C. (2009). The effect of a de-oiling mechanism on the production of high-quality vacuum fried potato chips, *Journal of Food Engineering*, 92(3), 297-304.
- [20] AACC. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. AACC, Minneapolis, MN.
- [21] Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Food Engineering*, 55, 181-191.
- [22] Pourmir, Y., Sadeghi Mahung, A.R., Fatahi Moghadam, J. & Alami, M. (2014). Comparison of physicochemical properties and bioactive compounds of four citrus cultivars fruits with the aim of utilization in dehydration industry and concentrate production. *Food Science and Nutrition*, 12(1), 21-32. [In Persian]
- [23] AOAC. (1997). Official Method and Recommended Practices of the AOCS, 15<sup>th</sup> edition. The American Oil chemist 's Society, Chicago, IL.
- [24] Mariotti-Celis, M. S., Cortés, P. Dueik, V., Bouchon, P. & Pedreschi, F. (2017). Application of Vacuum Frying as a Furan and Acrylamide Mitigation Technology in Potato Chips. *Food Bioprocess Technol*, 10, 2092-2099.
- [25] Esan, T.A., Philip, S.O., Sanni, L. O., & Muñoz, L. A. (2015). Process optimization by response surface methodology and quality attributes of vacuum fried yellow fleshed sweet potato (*Ipomea batatas* L.) chips. *Food and Bioprocess Processing*, 95, 27-37.
- [26] Maity, T., Bawa, A. S., & Raju, P.S. (2014). Effect of Vacuum Frying on Changes in Quality Attributes of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Bulb Slices. *International Journal of Food Science*, (3), 1-8.
- [27] Panddey, A., & Moreira, R. G. (2012). Batch vacuum frying system analysis for potato chips. *Journal of Food Process Engineering*, 35(6), 863-873.
- [28] Diamante, L.M., Savage, G.P., Vanhanen, L. & Ihns, R. (2012). Effects of maltodextrin level, frying temperature and time on the moisture, oil and betacarotene contents of vacuum-fried apricot slices. *International Journal of Food Science & Technology*, 47, 325-331.
- [29] Ayustaningwarno, F., Verkerk, R., Fogliano, V. & Dekker, M. (2020). The pivotal role of moisture content in the kinetic modelling of the quality attributes of vacuum Vacuum Frying. *Journal of food science*, 69(8), 405-411.
- [9] Da Silva, P. F. & Moreira, R. G. (2008). Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT—Food Science and Technology*, 41(10), 1758-1767.
- [10] Dorais, M., Ehret, D.L. & Papadopoulos, A.P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochem Rev*, 7, 231-250.
- [11] FAO. (2019). Web site database. <http://www.fao.org>.
- [12] Domínguez, I., Lafuente, T. M., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. (2016). Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Food Chemistry*, 209(2), 211-219.
- [13] Diamante, L. M., Shi, S., Hellmann, A. & Busch, J. (2015). Vacuum frying foods: Products, process and optimization. *International Food Research Journal*, 22(1), 15-22.
- [14] Praneeth J., Moorthy K., S., & Sukumar D. (2020). Effect of vacuum frying on quality attributes of pear (*Pyrus communis* L) chips and blended oil. *Journal of food processing and preservation*, 44(6), 144-188.
- [15] NickchahEshghi, E., GhiassiTarzi, B. & Bassiri, A.R. (2014). Optimization of vacuum frying process of green bean slices using the response surface methodology. *Food Science and Nutrition*, 14(96), 91-102. [In Persian]
- [16] Torres, J. D., Alvis, A., Acevedo, D., Montero, P. M. & Tirado, D. F. (2017). Optimization of vacuum frying conditions of eggplant (*Solanum melongena* L.) slices by response surface methodology. *Interciencia*, 42(10), 683-69.
- [17] Righteous, A. O., Idowu, M. A., & Sobukola, O. (2014). Optimization of processing conditions for vacuum frying of high-quality fried plantain chips using response surface methodology (RSM). *Food Science and Biotechnology*, 23(4), 1121-1128.
- [18] Nunez, Y. & Moreira, R. G. (2009). Effect of Osmotic Dehydration and Vacuum-Frying Parameters to Produce High-Quality Mango Chips. *Journal of Food Science*, 74(7), 355-362.

- vacuum frying of apple slices. *Food chemistry*, 107(4), 1561-1569.
- [32] Mehrjardi, P. Y., Tarzi, B. G., & Bassiri, A. R. (2012). Developing vacuum fried pumpkin (*Cucurbita Moschata* Dutch) snack. *World Applied Sciences Journal*, 18(2), 214-220.
- fried chips. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 1-8.
- [30] Dueik, V., Robert, P., & Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119, 1143-1149.
- [31] Mariscal, M., & Bouchon, P. (2008). Comparison between atmospheric and



## Study of vacuum frying process of tomato slices and determination of optimal conditions

Hasanipar, N. <sup>1</sup>, Basiri, A. R. <sup>2\*</sup>, Ghiassi Tarzi, B. <sup>3</sup>, Farhadi, S. <sup>4</sup>

1. Master of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Processing, Iranian Research Organization for science and technology, Tehran, Iran.
3. Associate professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. PhD student in Food Science and Engineering, Department of Food Science and Processing, Iranian Research Organization for science and technology, Tehran, Iran.

### ABSTRACT

Tomatoes are widely produced and consumed worldwide due to their high nutritional value as well as unique sensory properties. The high perishability and low shelf life of tomatoes necessitate the use of novel processing methods. In this research, the possibility of using vacuum frying technology in the processing of tomato slices, the effect of process variables (processing time, oil temperature and pressure inside the chamber) on some quality characteristics of the final product (moisture and fat content, shrinkage, ascorbic acid, color and texture brittleness) as well as determining the optimal processing conditions in a vacuum lab-scale frying system with precise control of process conditions were investigated. Initially, by performing pre-tests, the range of variables of the study included frying temperature (115-135°C), pressure inside the chamber (260-340 mbar) and process time (15-25 minutes) was determined. The results of study showed that the process temperature has significant effects ( $P \leq 0.05$ ) on the moisture content, shrinkage, fat content, ascorbic acid content and texture brittleness, so that with increasing temperature, the moisture content and ascorbic acid content decrease and shrinkage, fat content and tissue brittleness increase. Processing time showed significant effects ( $P \leq 0.05$ ) on the moisture content, shrinkage, fat content and texture brittleness, so that with increasing process time, the moisture content decreased and shrinkage, the fat content and texture brittleness, increased. Operating pressure had significant effects only on shrinkage and total color change characteristics ( $P \leq 0.05$ ). Increasing the operating pressure led to a reduction in shrinkage and an increase in total color changes. Optimum vacuum frying conditions of tomato slices were a temperature of 135°C, time of 21.92 minutes and pressure of 260 mbar, under these conditions were the moisture content, shrinkage, fat content, amount of ascorbic acid, total color changes and the breaking force were 45.93%, 70.54%, 34.64%, 2.92 mg/100 mL, 64.86 and 2.58N, respectively.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 01/ 18

Accepted 2022/ 03/ 07

#### Keywords:

Tomato,  
Vacuum frying,  
Quality characteristics, Optimum conditions.

**DOI:** 10.52547/fsct.19.124.303

**DOR:** 20.1001.1.20088787.1401.19.124.22.9

\*Corresponding Author E-Mail:  
bassiri@irost.ir