

Influence of Microwave Pretreatment on Oil Absorption, and Quality and Sensory Properties of Fried Potato Slices

Fakhreddin Salehi^{1*}, Sara Ghazvineh², Mostafa Amiri³

¹ Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

² BSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

³ BSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-7-1
Revised: 2024-8-17
Accepted: 2024-8-25

Keywords:
Color parameters
Frying
Moisture content
Overall acceptance
Texture hardness

ABSTRACT

Background and objectives: The employment of microwave energy to speed up the drying process and maintaining the quality of the dried product was recommended. Consumer demand for high-quality, healthy foods has led to continuous attempts to produce fried products with less oil content. Therefore, in this research, the effect of microwave pretreatment on the oil absorption, and quality and sensory properties of fried potato slices was investigated.

Materials and methods: First, potato slices with a thickness of 0.5 cm were prepared. To apply microwave treatment, the samples were placed inside the microwave device for 0, 1, 2 and 3 min. The treated slices were fried by a fryer at a temperature of 160°C. Finally, the samples were examined for frying time, moisture content, oil absorption, hardness, color parameters, color change index, surface changes, and sensory properties. The texture hardness of fried potato slices was measured using a texture analyser. The puncture speed of the probe into the sample was considered to be 1 mm/s.

Results: The use of microwave pretreatment and exposure to microwaves decreased the frying time of potato slices. The lowest moisture percentage and oil absorption was related to the slices treated by microwave for 3 min, which had a significant difference with the control sample ($p < 0.05$). The oil absorption of potato slices treated by microwave for 0, 1, 2, and 3 min and fried at 160°C was 19.34, 18.35, 13.95, and 10.00%, respectively. The texture hardness of fried potato slices increased with increasing microwave treatment time. The hardness of potato slices treated by microwave for 0, 1, 2, and 3 min and fried at 160°C was 0.60, 0.61, 0.70 and 0.75 N, respectively. After 3 min of microwave treatment, the lightness and yellowness indexes increased significantly from 79.42 to 83.08, and 23.10 to 31.03, respectively, and the redness (greenness) index also decreased significantly from -3.56 to -6.72 ($p < 0.05$). Applying microwave pretreatment decreased the lightness index and increased the redness index of fried potato slices. The use of microwave pretreatment reduced the size of fried potato slices, and the highest value of size change was related to the sample treated by microwave for 3 min. In terms of appearance, odor, texture and taste acceptance

scores, as well as overall acceptance, fried potato slices pretreated with microwave for 2 min had the highest score.

Conclusion: Treating potato slices with the microwaves shortened frying time, reduced oil absorption, improved appearance color and increased sensory acceptability of product; therefore, it is recommended to treat potato with the microwave before frying.

Cite this article: Salehi, F., Ghazvineh, S., Amiri, M. 2024. Influence of Microwave Pretreatment on Oil Absorption, and Quality and Sensory Properties of Fried Potato Slices. *Food Processing and Preservation Journal*, 16(3), 131-148.



"Authors retain the copyright and full publishing rights"

DOI: 10.22069/fppj.2024.22589.1821

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر جذب روغن و ویژگی‌های کیفی و حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ شده

فخرالدین صالحی^{۱*}، سارا قزوینه^۲، مصطفی امیری^۳

^۱ دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: f.salehi@Basu.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

^۳ دانشجوی کارشناسی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله کامل علمی-پژوهشی

سابقه و هدف: استفاده از انرژی مایکروویو برای سرعت بخشیدن به فرآیند خشک کردن و حفظ کیفیت محصول خشک‌شده، توصیه شده است. تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذاهای باکیفیت و سالم منجر به تلاش‌های مداوم برای تولید محصولات سرخ‌شده با محتوای چربی کمتر شده است. لذا در این پژوهش اثر پیش تیمار مایکروویو بر جذب روغن و ویژگی‌های کیفی و حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها: ابتدا برش‌های سیب‌زمینی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر تهیه شدند. برای اعمال تیمار مایکروویو، نمونه‌ها به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه داخل دستگاه مایکروویو قرار گرفتند. برش‌های تیمار شده توسط سرخ‌کن با دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس سرخ شدند. در نهایت زمان سرخ شدن، مقدار رطوبت، جذب روغن، سفتی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصیات حسی نمونه‌ها بررسی شدند. سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده توسط دستگاه بافت سنج اندازه‌گیری شد. سرعت نفوذ پروب به داخل نمونه ۱ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴

واژه‌های کلیدی:

پارامترهای رنگی

پذیرش کلی

سرخ کردن

سفتی بافت

مقدار رطوبت

یافته‌ها: استفاده از پیش تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو باعث کاهش زمان سرخ شدن برش‌های سیب‌زمینی شد. کمترین درصد رطوبت و جذب روغن مربوط به برش‌های تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود که اختلاف معناداری با نمونه شاهد داشتند ($p < 0/05$). جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۹/۳۴، ۱۸/۳۵، ۱۳/۹۵ و ۱۰/۰۰ درصد بود. سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده با افزایش زمان تیماردهی با مایکروویو افزایش یافت. سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۰/۶۰، ۰/۶۱، ۰/۷۰ و ۰/۷۵ نیوتن بود. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه به صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص‌های روشنایی و زردی به ترتیب از ۷۹/۴۲ به ۸۳/۰۸ و ۲۳/۱۰ به

۳۱/۰۳ و همچنین به صورت معنی دار باعث کاهش شاخص قرمزی (سبزی) از ۳/۵۶- به ۶/۷۲- شد ($p < 0/05$). اعمال پیش تیمار مایکروویو باعث کاهش شاخص روشنایی و افزایش شاخص قرمزی برش های سیب زمینی سرخ شده شد. استفاده از پیش تیمار مایکروویو باعث کاهش اندازه برش های سیب زمینی سرخ شده شد و بیشترین مقدار تغییر اندازه هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. از نظر امتیاز پذیرش ظاهر، بو، بافت و طعم و همچنین پذیرش کلی، برش های سیب زمینی سرخ شده پیش تیمار شده با مایکروویو به مدت ۲ دقیقه بالاترین امتیاز را داشتند.

نتیجه گیری: تیماردهی برش های سیب زمینی با مایکروویو باعث کوتاه کردن زمان سرخ شدن، کاهش جذب روغن، بهبود رنگ ظاهری و افزایش پذیرش حسی محصول شد؛ لذا تیماردهی سیب زمینی با مایکروویو پیش از سرخ کردن توصیه می شود.

استناد: صالحی، فخرالدین؛ قزوینه، سارا؛ امیری، مصطفی. (۱۴۰۳). تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر جذب روغن و ویژگی های کیفی و حسی برش های سیب زمینی سرخ شده. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۶ (۳)، ۱۴۸-۱۳۱.



DOI: 10.22069/fppj.2024.22589.1821

"حق نشر و حقوق کامل انتشار برای نویسندگان محفوظ است"

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

غذاهای سرخ شده پرچرب دارای ویژگی‌های منحصر به فردی مانند احساس دهانی خاص، طعم متمایز، رنگ و خوش طعم بودن هستند. برخی از محصولات سرخ شده به دلیل جذب طبیعی روغن در طول سرخ کردن با روغن‌های خوراکی، می‌توانند حاوی مقدار زیادی چربی باشند (۱). هر چقدر روغن جذب شده توسط این محصولات بیشتر باشد، ماندگاری و کیفیت آن‌ها کمتر شده و باعث کاهش پذیرش محصول نهایی توسط مصرف کننده می‌شود. همچنین مصرف روغن‌های خوراکی در مقادیر زیاد با مشکلات سلامتی متعددی مرتبط است و تقاضای مصرف کنندگان برای غذاهای با کیفیت و سالم منجر به تلاش‌های مداوم برای تولید محصولات سرخ شده با محتوای چربی کمتر، شده است (۲، ۳)؛ بنابراین، علاقه زیادی به کاهش جذب روغن طی سرخ کردن عمیق وجود دارد.

فرآیند سرخ کردن بر اساس حرارت دادن روغن خوراکی بالای نقطه جوش آب است، لذا خشک شدن جزئی و کامل رخ می‌دهد و در حین حذف آب، روغن به طور هم‌زمان در طی فرآیند سرخ کردن، توسط ماده غذایی جذب می‌شود. بسته به این شرایط فرآیند، پخت سریع، تغییر در رنگ، بافت و طعم ایجاد می‌شود (۴، ۵). دمای سرخ کردن بالاتر، تشکیل منافذ کمتر و کوچک‌تر در نمونه‌ها را تسهیل می‌کند و منجر به محتوای روغن کمتر می‌شود (۶). جذب زیاد روغن توسط محصولات سرخ شده را می‌توان با اعمال پیش تیمارهای مختلف کاهش داد. چندین روش برای کاهش جذب روغن هنگام سرخ کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی پیشنهاد شده است (۲، ۷، ۸). این روش‌ها شامل پیش تیمارهای فیزیکی و شیمیایی (پیش خشک کردن و پختن اولیه)، بهینه‌سازی شرایط فرآوری و اصلاح سطح غذا می‌باشد. حرارت دادن و

خشک کردن یکی از پیش تیمارهایی است که خواص ساختاری غذاها را تغییر داده و با تشکیل پوسته، جذب روغن را کاهش می‌دهد (۱، ۳، ۹).

خشک کردن محصول قبل از فرآیند سرخ کردن، یکی از موثرترین روش‌های پیش تیمار برای کاهش جذب روغن معرفی شده است. ثابت شده است که روش‌های پیش خشک کردن از جمله هوای داغ، مایکروویو خلأ، مادون قرمز و خشک کردن انجمادی به طور مؤثری محتوای روغن محصول سرخ شده را کاهش می‌دهند (۹-۱۱). این فرآیندهای پیش از خشک کردن پیشنهادی برای کاهش روغن بر اساس مکانیسم جذب روغن جایگزینی آب است که طی آن کاهش تبخیر آب از مواد غذایی، منافذ و شکاف‌های کم‌تری را برای ورود روغن به غذا ایجاد می‌کند و بنابراین منجر به کاهش جذب روغن می‌شود (۹، ۱۲). سو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که پیش تیمار خشک کردن توسط فرسرخ تحت خلأ باعث کاهش مقدار روغن چپس سیب‌زمینی از ۲۲/۳۸ درصد به ۱۳/۴۹ درصد می‌شود. پیش خشک کردن توسط فرسرخ تحت خلأ منجر به افزایش تغییر رنگ کلی و چروکیدگی چپس‌های سیب‌زمینی سرخ شده شد (۱۳). با این حال، رفتار جذب روغن هنگام سرخ کردن پیچیده است و عموماً اعتقاد بر این است که ویژگی‌های سطحی محصول سرخ شده علت اصلی مسیر جذب و محتوای روغن است و پارامتر مهم برای تولید مواد غذایی با محتوای روغن کم است (۶). در پژوهشی، ساری و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر پیش تیمارهای فراصوت و گرمایش همیک بر کاهش جذب روغن توسط سیب‌زمینی هنگام سرخ کردن را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش تیمار گرمایش همیک به طور معنی‌داری جذب روغن محصول را کاهش داده و باعث بهبود پارامترهای کیفی سیب‌زمینی سرخ شده می‌شود (۱۴).

مطلوبی ایجاد کرد که منجر به کاهش جذب روغن شود (۲۱).

محصولات غذایی سرخ‌شده به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بافتی منحصربه‌فرد از محبوبیت بالایی در میان مصرف‌کنندگان برخوردار می‌باشند. با این حال، چربی زیاد در غذاهای سرخ‌کردنی از نظر اقتصادی و همچنین از نظر سلامت مصرف‌کنندگان یک مشکل جدی برای تولیدکنندگان مواد غذایی است. در نتیجه علاقه مصرف‌کنندگان به دلیل توصیه به کاهش میزان آن در رژیم غذایی، به سمت غذاهایی با محتوای کم چربی منجر شده است (۲، ۴). در این پژوهش اثر پیش‌ تیمار مایکروویو بر زمان سرخ شدن، مقدار رطوبت، جذب روغن، سفتی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصیات حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه برش‌های سیب‌زمینی: سیب‌زمینی‌های رقم سانتا از شهرستان کبودرآهنگ (استان همدان، ایران)، با اندازه متوسط و یک شکل تهیه گردید. سیب‌زمینی توسط آب سرد شسته شدند و سپس برای انجام فرآیند سرخ‌کردن ابتدا توسط اسلایسر صنعتی (جرمی، مدل AF-23، ایتالیا) به قطعاتی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر برش داده شدند و سپس توسط یک قالب فلزی، برش‌های به شکل استوانه از آن‌ها جدا شد. میانگین رطوبت برش‌های تازه سیب‌زمینی ۸۴/۸۵ درصد بود.

اعمال پیش‌ تیمار مایکروویو بر برش‌های سیب‌زمینی: برش‌های سیب‌زمینی قبل از فرآیند سرخ‌کردن به مدت ۰ (نمونه شاهد)، ۱، ۲ و ۳ دقیقه توسط دستگاه مایکروویو خانگی (جی‌پلاس، مدل GMW-M425S.MIS00، شرکت گل‌دیران، ایران) تیماردهی شدند. از جمله عواملی که در خشک‌کردن

ونگ و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که خشک‌کردن و کاهش رطوبت محصول قبل از فرآیند سرخ‌کردن باعث کاهش مقدار روغن جذب‌شده توسط محصول سرخ‌شده می‌شود (۱۵).

استفاده از فناوری مایکروویو در فرآوری مواد غذایی یکی از روش‌های جدید پیش‌ فرآوری مواد غذایی قبل از سرخ‌کردن به‌منظور بهبود کیفیت غذاهای سرخ‌شده است. فناوری مایکروویو شامل جذب انرژی توسط غذاها است که منجر به تولید داخلی گرما و متعاقب آن ایجاد گرادیان فشار در غذا می‌شود که منجر به افزایش سرعت از دست دادن رطوبت می‌شود (۱۶). اخیراً به دلیل مزایای بی‌شماری که استفاده از پیش‌ تیمار مایکروویو دارد، علاقه به توسعه و استفاده از آن، قبل از فرآوری مواد غذایی مختلف افزایش یافته است. این مزایا شامل کاهش مصرف انرژی، نرخ گرمایش بالاتر و بهبود کیفیت محصول است (۱۷، ۱۸). خشک‌کردن در مایکروویو به دلیل مزایایی مانند راندمان انرژی بالا، زمان خشک شدن سریع و کیفیت محصول نهایی، فناوری ایمن و نسبتاً جدید برای استفاده در صنایع غذایی است (۱۹). استفاده از پیش‌ تیمار مایکروویو قبل از فرآیند سرخ‌کردن باعث کاهش جذب روغن توسط محصول می‌شود (۱، ۳، ۴، ۲۰). برای مثال، کاراکابی و همکاران (۲۰۱۷) استفاده از پیش‌ تیمار مایکروویو قبل از فرآیند سرخ‌کردن هویج برای کاهش رطوبت و محدود کردن جذب روغن پیشنهاد کرده‌اند. این پژوهشگران بیش از ۱۸ درصد کاهش در جذب روغن و ۱۲ درصد کاهش در رطوبت طی سرخ‌کردن با پیش‌ تیمار مایکروویو را گزارش کرده‌اند (۴). یانگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که مقدار رطوبت و خصوصیات نشاسته سیب‌زمینی، بر کیفیت و جذب روغن محصول سرخ‌شده نهایی تأثیر می‌گذارند و با استفاده از پیش‌ تیمار مایکروویو می‌توان تغییرات

(لوترون، GM-300p، تایوان) با دقت ± 0.1 گرم، ثبت گردید.

آزمون نفوذ (بافت سنجی): آزمون نفوذ معمولاً برای اندازه‌گیری سفتی بافت و تردی محصولات پیشنهاد شده است زیرا جویدن را از نقطه نظر معیارهای ارگانولپتیک شبیه‌سازی می‌کند (۹، ۲۴). در این مطالعه آزمون نفوذ با استفاده از یک پروب استوانه‌ای با قطر $2/5$ میلی‌متر انجام شد. سفتی بافت سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده توسط دستگاه بافت سنج (Santam, STM-5, Iran) اندازه‌گیری شد. سرعت نفوذ پروب به داخل نمونه 1 میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (۲۵).

تعیین کیفیت ظاهری سیب‌زمینی سرخ‌شده: شدت تغییر خصوصیات ظاهری و رنگ سطحی محصولات سرخ‌شده وابسته به پیش تیمارهای اعمال شده و شرایط انجام فرآیند است. در این پژوهش، شاخص‌های رنگی (L^* ، a^* و b^*)، تغییر رنگ کلی (ΔE) و تغییرات اندازه سطح برش‌های سیب‌زمینی بعد از سرخ‌کردن، به روش پیشنهاد شده توسط صالحی و همکاران (۲۰۲۱) اندازه‌گیری شدند (۲۳). برای تهیه عکس از برش‌های تازه، تیمار شده توسط مایکروویو و سرخ‌شده، از یک اسکنر (اچ‌پی، Scanjet 300، چین) و برای پردازش عکس‌ها هم از نرم‌افزار Image J (ویرایش 1.42e، آمریکا) استفاده شد.

ارزیابی حسی محصول سرخ‌شده: برای ارزیابی خصوصیات حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده از ۲۰ ارزیاب و روش هدونیک ۹ نقطه‌ای استفاده شد. در جدول ارزیابی حسی، شاخص‌ها شامل پذیرش ظاهر، پذیرش بو، پذیرش بافت، پذیرش طعم و پذیرش کلی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بود.

با مایکروویو باید درست انتخاب شود، سطح توان مورد استفاده است که تأثیر مستقیمی بر سرعت خشک شدن دارد. سطوح پایین می‌تواند منجر به کاهش سرعت خشک شدن شود، درحالی که سطوح بالا می‌تواند آن را افزایش دهد اما همچنین می‌تواند کیفیت محصول نهایی را کاهش دهد (۲۲). لذا در این پژوهش بعد از بررسی مقالات منتشر شده و آزمون خطا، توان 440 وات برای پیش تیمار برش‌های تازه سیب‌زمینی انتخاب شد.

سرخ کردن برش‌های سیب‌زمینی: برش‌های سیب‌زمینی بعد از تیماردهی توسط سرخ‌کن دلونگی (F18، 1800 وات، ایتالیا) با دمای 160 درجه سلسیوس سرخ‌شده و زمان سرخ شدن هر نمونه یادداشت شد. جهت سرخ کردن عمیق از روغن مایع مخصوص سرخ کردن بدون پالم (آفتابگردان-سویا، ورامین، ایران) استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی دو کاناله لوترون^۱ (تایوان) با دامنه دمایی $50-$ تا 1230 درجه سلسیوس ($\pm 0.1/1^\circ\text{C}$) و ترموکوپل دمایی نوع K با ضخامت یک میلی‌متر استفاده گردید.

درصد رطوبت و جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی: درصد رطوبت و جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی بعد از سرخ‌کردن، به روش پیشنهاد شده توسط صالحی و همکاران (۲۰۲۱) اندازه‌گیری شدند (۲۳). مقدار رطوبت برش‌های تازه و سرخ‌شده سیب‌زمینی با استفاده از آون (شیماز، ایران) با دمای 105 درجه سلسیوس و در مدت زمان 5 ساعت اندازه‌گیری شد. درصد روغن نمونه‌های سرخ‌شده نیز از کسر ماده جامد برش‌های تازه سیب‌زمینی از مقدار ماده جامد برش‌های سرخ‌شده، تقسیم بر وزن محصول سرخ‌شده ضرب در 100 به دست آمد. تغییرات وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی

1. Lutron, TM-916

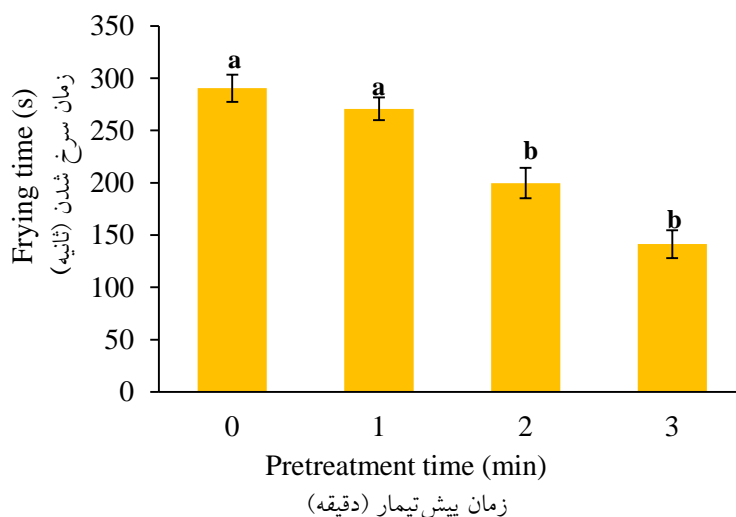
آنالیز آماری

تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد. این پژوهش بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 تجزیه و تحلیل شد. برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر پیش‌تیمار بر زمان سرخ کردن: شکل ۱ اثر تیماردهی با مایکروویو بر زمان سرخ شدن برش‌های سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. در این پژوهش، استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض

امواج مایکروویو باعث کاهش زمان سرخ شدن برش‌های سیب‌زمینی شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین زمان سرخ شدن برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده به مدت ۲ و ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشت ($p < 0.05$) و کمترین زمان سرخ شدن هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، اردوغو و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که با افزایش زمان تیماردهی با مایکروویو (با توان ۸۵۰ وات) از ۰ به ۳۰ ثانیه، زمان سرخ کردن نوارهای سیب‌زمینی در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس از ۴/۵ دقیقه به ۲/۵ کاهش یافت (۲۶).



شکل ۱- تأثیر تیماردهی با مایکروویو بر زمان سرخ شدن برش‌های سیب‌زمینی

حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

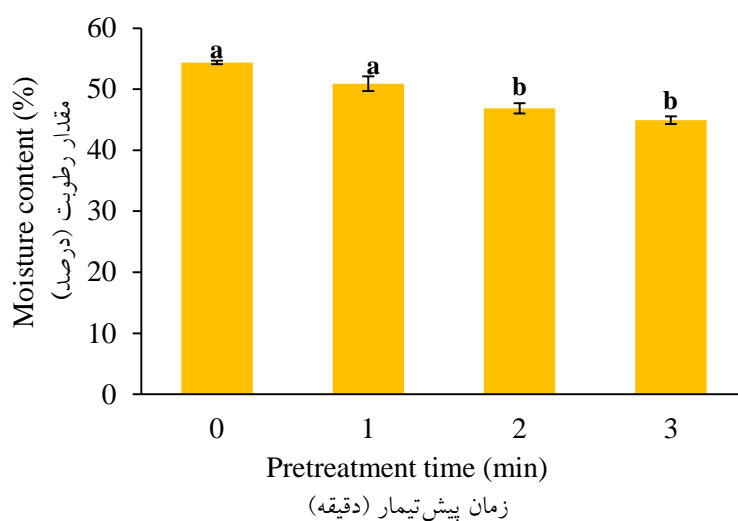
Figure 1. Effect of microwave treatment on frying time of potato slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)

تیماردهی، پیش‌تیمار مایکروویو علاوه بر گرم کردن ماده غذایی، باعث کاهش رطوبت محصول می‌شود (۲۸). استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو به صورت معنی‌داری باعث کاهش مقدار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

درصد رطوبت: گروهی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که مقدار روغن جذب‌شده توسط محصول هنگام سرخ کردن با مقدار رطوبت اولیه آن ارتباط دارد و هرچه مقدار رطوبت اولیه محصول کمتر شد، جذب روغن کمتر است (۲۷). اثرات مایکروویو بر میزان رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. به عنوان یک روش

همکاران (۲۰۲۱) میانگین رطوبت خلال‌های تازه سیب‌زمینی را برابر ۸۴/۶۰ درصد گزارش کردند و نتایج حاکی از آن بود که پیش تیمار خلال‌های سیب‌زمینی توسط هوای داغ با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱۸۰ دقیقه باعث کاهش درصد رطوبت محصول سرخ شده از ۶۴/۹۹ درصد (شاهد) به ۳۹/۴۴ درصد می‌شود (۳۹/۳۱ درصد کاهش در رطوبت) (۹).

پیش تیمار شده به مدت ۲ و ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشت ($p < 0.05$) و کمترین درصد رطوبت هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، گروهی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که پیش تیمار خشک کردن، رطوبت اولیه و همچنین مورفولوژی سطح، ساختار داخلی، محتوای جامد و توزیع رطوبت مواد غذایی را تغییر می‌دهد و بعد از سرخ کردن، رطوبت و روغن کم‌تری به غذا می‌دهد (۲۹). لیو و



شکل ۲- اثر تیماردهی با مایکروویو بر مقدار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ شده
حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

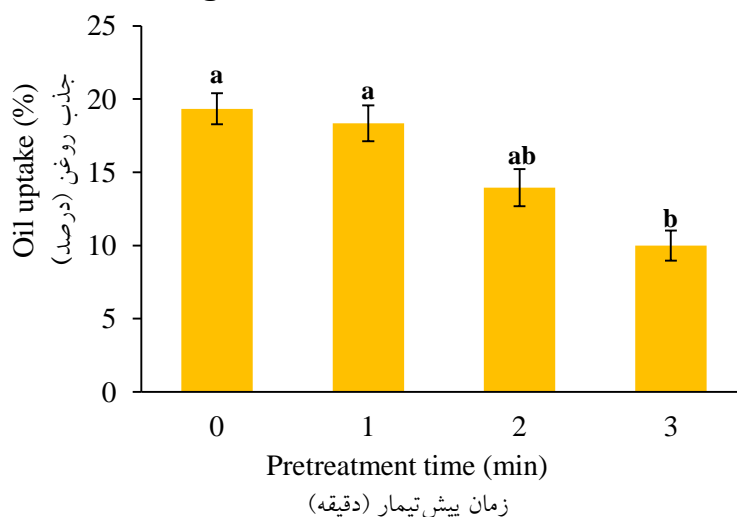
Figure 2. Effect of microwave treatment on moisture content of fried potato slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)

(۸). شکل ۳ اثر تیماردهی با مایکروویو بر جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو به صورت معنی‌داری باعث کاهش جذب روغن توسط برش‌های سیب‌زمینی هنگام سرخ کردن شد. بررسی نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد هرچه مقدار رطوبت مواد قبل از سرخ کردن کمتر باشد، میزان روغن محصول پس از سرخ کردن کمتر است (۹، ۱۳، ۲۰). با توجه باینکه پیش تیمار مایکروویو باعث

جذب روغن: جذب روغن یک فرآیند پیچیده است و شامل تغییرات فیزیکی، شیمیایی و ساختاری متعددی است که در طول سرخ کردن در محصول ایجاد می‌شود (۱۴). تغییرات در ریزساختار در حین سرخ کردن یک عامل تعیین‌کننده در جذب روغن است و گزارش شده است که بیشتر روغن جذب شده به سطح محصولات سرخ شده محدود می‌شود. این پدیده با تشکیل حفره‌ها و مسیرهای مویرگی تضعیف ساختار سلولی و افزایش تخلخل ناشی از تبخیر سریع آب در طی فرآیند سرخ کردن توضیح داده شده است

سرخ کردن کاهش می‌یابد (۱۴). هم‌راستا با نتایج این پژوهش، ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که پیش‌ تیمار مایکروویو باعث کاهش مقدار روغن محصول سرخ شده از ۴۱/۳ درصد به ۱۸/۱ درصد می‌شود (۲۰). لیو و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که پیش‌ تیمار خلال‌های سیب‌زمینی توسط هوای داغ با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱۸۰ دقیقه باعث کاهش جذب روغن محصول سرخ شده از ۳۶/۳۸ درصد (شاهد) به ۲۲/۸۱ درصد می‌شود (۹). رطوبت کم غذا و دمای بالای سرخ کردن به دلیل تبخیر شدید رطوبت و افزایش سرعت انتقال حرارت منجر به تشکیل سریع پوسته در محصول سرخ شده می‌شود. تشکیل و توسعه پوسته نه تنها به دلیل تأثیرگذاری در انتقال حرارت و جرم، بلکه به این دلیل که نقش مهمی در جذب روغن توسط مواد غذایی در طی سرخ کردن عمیق ایفا می‌کند، اهمیت زیادی دارد (۹). یانگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که استفاده از پیش‌ تیمار مایکروویو باعث کاهش رطوبت سیب‌زمینی شده و در نتیجه باعث کاهش مقدار روغن محصول سرخ شده می‌شود (۲۱).

کاهش رطوبت و خشک شدن محصول می‌شود، لذا جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی کاهش یافت. همچنین پیش‌ تیمار مایکروویو باعث می‌شود سیب‌زمینی‌ها یک پوسته محافظ ضخیم‌تر تشکیل دهند که برای جلوگیری از جذب روغن در طول سرخ کردن و بهبود بافت بسیار تأثیرگذار است (۲۰). از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ شده پیش‌ تیمار شده به مدت ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشت ($p < 0.05$) و کمترین جذب روغن هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۹/۳۴، ۱۸/۳۵، ۱۳/۹۵ و ۱۰/۰۰ درصد بود. هرچه دمای سرخ شدن محصول سریع‌تر باشد، آسیب حرارتی کم‌تری در محصول ایجاد می‌شود. به همین دلیل، ساختار بافت ثبات بیشتری داشته و یکپارچگی دیواره سلول‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه جذب روغن توسط بافت سیب‌زمینی در طول فرآیند

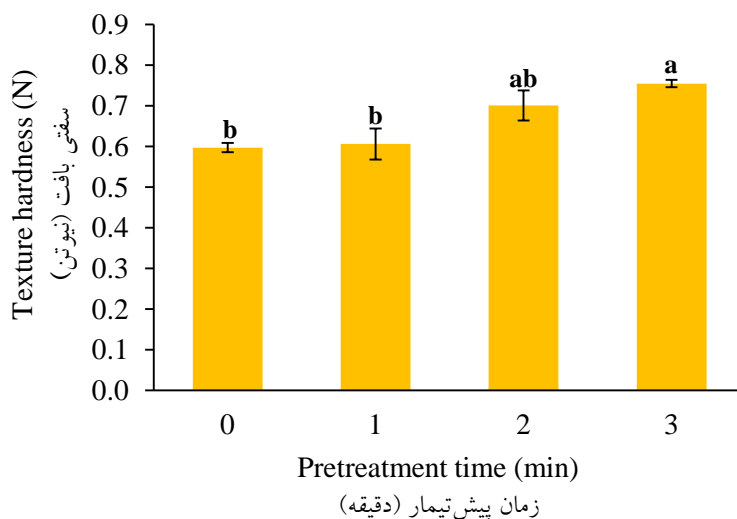


شکل ۳- اثر تیماردهی با مایکروویو بر جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ شده
حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

Figure 3. Effect of microwave treatment on oil uptake of fried potato slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)

توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۰/۶۰، ۰/۶۱، ۰/۷۰ و ۰/۷۵ نیوتن بود. لیو و همکاران (۲۰۲۱) ابتدا خلال‌های سیب‌زمینی را توسط هوای داغ در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه خشک و سپس سرخ کردند. این پژوهشگران سفتی بافت (آزمون نفوذ) خلال‌های سرخ‌شده تیمار نشده (شاهد) را برابر ۰/۳۳ نیوتن و نمونه‌های پیش تیمار شده توسط هوای داغ در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در مدت‌زمان‌های ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه را به ترتیب برابر ۰/۶۱، ۰/۷۸ و ۱/۴۵ نیوتن گزارش کردند (۹).

سفتی بافت: سرخ کردن عمیق یک روش فرآوری غیرقابل جایگزین است که به محصولات سرخ‌شده ویژگی‌های جذابی از جمله طعم ترد، عطر و سوسه‌انگیز و رنگ مطلوب می‌بخشد. ویژگی‌های بافتی محصولات سرخ‌شده به شدت با تشکیل پوسته مرتبط است (۱۲). شکل ۴ اثر تیماردهی با مایکروویو بر سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش تیمار مایکروویو باعث افزایش سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار سفتی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش تیمار شده به مدت ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشت ($p < 0.05$) و بیشترین مقدار سفتی هم مربوط به نمونه تیمار شده



شکل ۴- اثر تیماردهی با مایکروویو بر سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده
حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

Figure 4. Effect of microwave treatment on texture hardness of fried potato slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)

برش‌های سیب‌زمینی گزارش شده است. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه به صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص‌های روشنایی و زردی به ترتیب از ۷۹/۴۲ به ۸۳/۰۸ و ۲۳/۱۰ به ۳۱/۰۳ و همچنین به صورت معنی‌دار باعث کاهش شاخص قرمزی

رنگ سطحی برش‌های سرخ‌شده: در این مطالعه متوسط مقدار عددی شاخص‌های زردی، قرمزی و روشنایی برای برش‌های تازه سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۲۳/۳۲، ۳/۴۸- و ۸۰/۱۱- بود. در جدول ۱ اثر تیماردهی با مایکروویو بر شاخص‌های رنگی

در جدول ۱ شاخص تغییر رنگ نیز گزارش شده است. افزایش زمان اعمال پیش تیمار مایکروویو باعث افزایش تغییرات رنگ در برش‌های سیب‌زمینی شد، در نتیجه مقادیر این شاخص نیز به صورت معنی‌دار افزایش یافت. شاخص تغییر رنگ کلی برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۱، ۲ و ۳ دقیقه به ترتیب برابر ۵/۶۷، ۷/۶۲ و ۸/۲۸ بود (درصد تغییر برای نمونه شاهد صفر است).

(سبزی) از ۳/۵۶- به ۶/۷۲- شد ($p < 0.05$). ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که پیش تیمار خلال سیب‌زمینی با امواج مایکروویو به مدت ۲ دقیقه باعث افزایش روشنایی محصول سرخ‌شده شد و پارامتر روشنایی در این شرایط برابر ۶۴/۰۹ بوده است. همچنین در مقایسه با نمونه شاهد (۱۵/۵۴)، این نمونه بیشتر مقدار شاخص زردی را داشته است (۱۹/۳۳) (۲۰).

جدول ۱- اثر تیماردهی با مایکروویو بر شاخص‌های رنگی برش‌های سیب‌زمینی

Table 1- Effect of microwave treatment on color indexes of potato slices.

زمان تیماردهی (دقیقه) Treatment time (min)	روشنایی Lightness	قرمزی Redness	زردی Yellowness	شاخص تغییر رنگ Color change index
0	79.42±0.34 ^b	-3.56±0.11 ^a	23.10±1.67 ^c	0.00±0.00 ^c
1	81.07±1.86 ^{ab}	-6.06±0.71 ^b	26.52±1.96 ^{bc}	5.67±0.55 ^b
2	82.51±1.20 ^{ab}	-6.24±0.85 ^b	30.20±1.59 ^{ab}	7.62±0.90 ^a
3	83.08±1.54 ^a	-6.72±0.41 ^b	31.03±1.28 ^a	8.28±1.27 ^a

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$)

(۲۰۲۱) شاخص روشنایی خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده تیمار نشده (شاهد) را برابر ۶۰/۰۲ و نمونه‌های پیش تیمار شده توسط هوای داغ در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در مدت‌زمان‌های ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه را به ترتیب برابر ۵۷/۷۹، ۵۴/۶۴ و ۴۵/۳۴ گزارش کردند (۹).

پیش تیمار مایکروویو رطوبت برش‌های سیب‌زمینی را کاهش می‌دهد و آن‌ها را در هنگام سرخ کردن مستعد سوختن و قهوه‌ای شدن می‌کند (۲۰). واکنش مایلارد نیز باعث تغییر رنگ محصول سرخ‌شده در حین سرخ شدن می‌شود و عمق رنگ آن به میزان قند احیاکننده و اسیدهای آمینه یا پروتئین روی سطح محصول و همچنین دما و مدت زمان سرخ کردن بستگی دارد (۳۲). نتایج گزارش شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که اعمال تیمار مایکروویو باعث افزایش شاخص قرمزی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده است و اعمال این پیش تیمار به مدت ۳

رنگ یکی از ویژگی‌های ارگانولپتیک کلیدی برای غذاهای سرخ‌شده است. محصولی که روشنایی (L^*) بیشتر، زردی (b^*) بیشتر و قرمزی (a^*) کم‌تری داشته باشد، از نظر پذیرش ظاهری توسط مصرف‌کنندگان، از مقبولیت بیشتری برخوردار است و امتیاز کیفی بالاتری می‌گیرد (۳۰، ۳۱). در حین سرخ کردن عمیق، انتقال سریع حرارت از روغن به محصول باعث تبخیر و مهاجرت آب آن می‌شود و برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را به محصولی با پوسته ترد و طلایی و همچنین هسته مرطوب و نرم تبدیل می‌کند. رنگ طلایی پوسته نیز مربوط به واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی و تغییرات قندهای کاهنده است (۹). در جدول ۲ اثر تیماردهی با مایکروویو بر شاخص‌های رنگی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده گزارش شده است. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه به صورت معنی‌دار باعث کاهش شاخص روشنایی از ۷۲/۵۵ به ۶۶/۱۵ شد ($p < 0.05$). لیو و همکاران

دقیقه به صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص قرمزی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده از ۳/۰۰ به ۷/۷۲ شد ($p < 0.05$). لیو و همکاران (۲۰۲۱) شاخص زردی خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده تیمار نشده (شاهد) را برابر ۳۴/۶۱ و نمونه‌های پیش‌تیمار شده توسط هوای داغ در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه را به ترتیب برابر ۳۰/۴۱، ۲۸/۳۱ و ۲۵/۳۲ گزارش کردند (۹).

در جدول ۲ نتایج مربوط به شاخص تغییر رنگ کلی نیز گزارش شده است. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش زمان اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث افزایش تغییرات رنگ در برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد، در نتیجه مقادیر این شاخص افزایش یافت. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه به صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص تغییر رنگ کلی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده از ۱۲/۸۶ به ۱۹/۹۳ شده است ($p < 0.05$).

دقیقه به صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص قرمزی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده از ۳/۰۰ به ۷/۷۲ شد ($p < 0.05$). لیو و همکاران (۲۰۲۱) شاخص قرمزی خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده تیمار نشده (شاهد) را برابر ۱/۸۸- و نمونه‌های پیش‌تیمار شده توسط هوای داغ در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه را به ترتیب برابر ۳/۴۹، ۷/۰۱ و ۱۳/۲۳ گزارش کردند (۹). افزایش شاخص قرمزی طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق یکی از نتایج واکنش مایلارد است (۳۳).

مقدار b^* بالاتر به معنای زردی بیشتر است که در محصولات سرخ‌شده برای مصرف‌کننده مطلوب است (۳۳). نتایج گزارش شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که اعمال تیمار مایکروویو اثر معنی‌داری بر تغییر شاخص زردی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده نداشته است.

جدول ۲- اثر تیماردهی با مایکروویو بر شاخص‌های رنگی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

Table 2- Effect of microwave treatment on color indexes of fried potato slices.

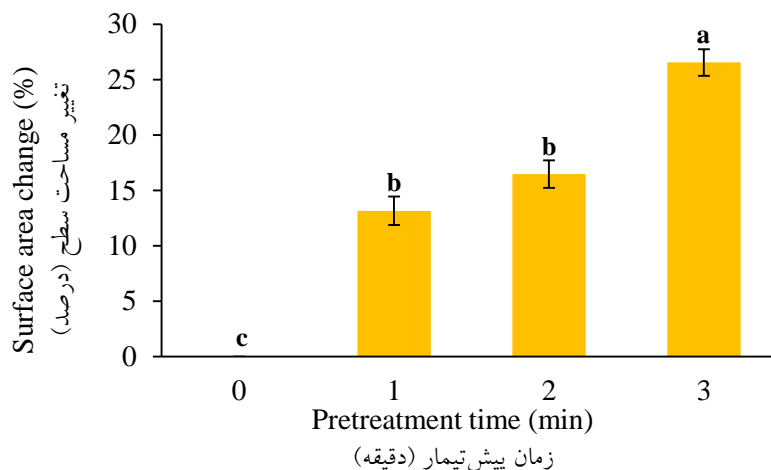
زمان تیماردهی (دقیقه)	روشنایی	قرمزی	زردی	شاخص تغییر رنگ
Treatment time (min)	Lightness	Redness	Yellowness	Color change index
0	72.55±1.55 ^a	3.00±0.77 ^b	31.30±1.48 ^a	12.86±1.86 ^c
1	71.04±2.73 ^a	3.93±1.04 ^b	31.96±1.15 ^a	15.00±0.42 ^{bc}
2	69.81±0.82 ^{ab}	5.16±1.16 ^b	33.12±1.49 ^a	17.93±1.61 ^{ab}
3	66.15±0.74 ^b	7.72±0.52 ^a	32.21±1.04 ^a	19.93±1.31 ^a

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$)

به صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص تغییر مساحت سطح محصول شده است. تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۱، ۲ و ۳ دقیقه به ترتیب برابر ۱۳/۱۵، ۱۶/۴۸ و ۲۶/۵۵ درصد بود (درصد تغییر برای نمونه شاهد صفر است).

تغییر اندازه برش‌های تیمار شده و سرخ‌شده: قرار دادن برش‌های سیب‌زمینی در معرض امواج مایکروویو باعث خروج رطوبت از نمونه‌ها و در نتیجه کاهش اندازه و سطح محصول می‌شود. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، تیماردهی با مایکروویو باعث کاهش اندازه برش‌های سیب‌زمینی و در نتیجه

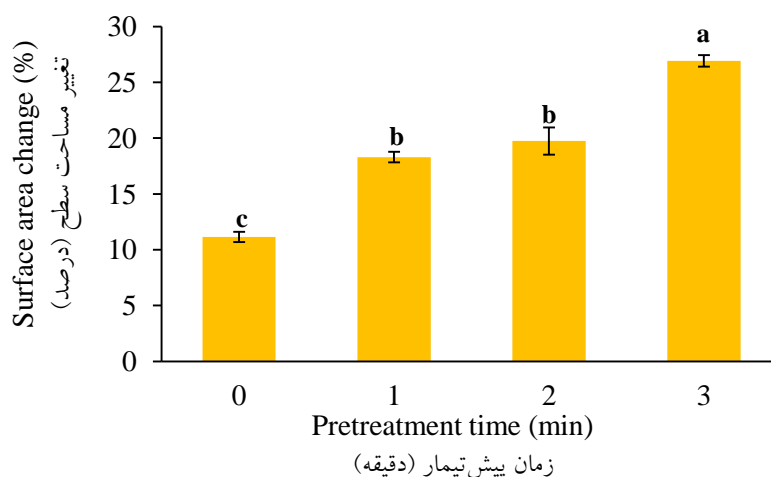


شکل ۵- اثر تیماردهی با مایکروویو بر تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

Figure 5. Effect of microwave treatment on surface area change of potato slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)

اختلاف معناداری بین مقدار شاخص تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش تیمار شده با نمونه شاهد وجود داشت ($p < 0.05$) و بیشترین مقدار تغییر اندازه هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. مقدار شاخص تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۱/۱۵، ۱۸/۳۰، ۱۹/۷۵ و ۲۶/۹۲ درصد بود.

درصد تغییرات اندازه سطح برش‌های سیب‌زمینی که معیاری از کاهش سطح محصول در طی فرآیند سرخ کردن می‌باشد با استفاده از روش پردازش تصویر محاسبه و گزارش شد. شکل ۶ اثر تیماردهی با مایکروویو بر تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش تیمار مایکروویو باعث کاهش اندازه برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده گردید و در نتیجه باعث افزایش شاخص تغییر مساحت سطح شد. از نظر آماری

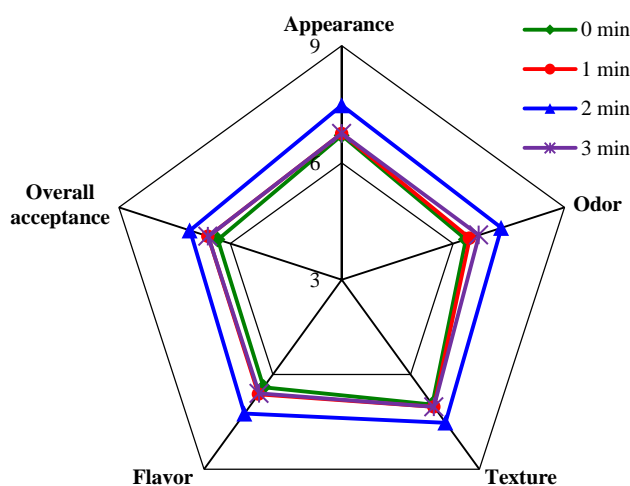


شکل ۶- اثر تیماردهی با مایکروویو بر تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p < 0.05$)

Figure 6. Effect of microwave treatment on surface area change of fried potato slices.
Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$)

سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش تیمار شده با مایکروویو به مدت ۲ دقیقه بالاترین امتیاز را داشتند. هم‌راستا با نتایج این پژوهش سو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که مدت زمان مناسب پیش تیمار خشک کردن توسط فرورسرخ تحت خلأ باعث پذیرش بیشتر مصرف‌کنندگان چیپس سیب‌زمینی می‌شود (۱۳).

ارزیابی حسی: شکل ۷ میانگین نتایج ارزیابی حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ شده تیمار نشده و تیمار شده با امواج مایکروویو را نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که اعمال پیش تیمار مایکروویو باعث بهبود ویژگی‌های حسی محصول سرخ‌شده می‌شود. از نظر امتیاز پذیرش ظاهر، بو، بافت و طعم و همچنین پذیرش کلی، برش‌های



شکل ۷- اثر تیماردهی با مایکروویو بر ویژگی‌های حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده
Figure 7. Effect of microwave treatment on sensory properties of fried potato slices.

مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. افزایش زمان تیماردهی با مایکروویو باعث افزایش شاخص‌های روشنایی و زردی و کاهش شاخص قرمزی برش‌های سیب‌زمینی شد. شاخص تغییر رنگ کلی برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو نیز با افزایش زمان پیش تیمار افزایش یافت. اعمال پیش تیمار مایکروویو باعث کاهش شاخص روشنایی و افزایش شاخص قرمزی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد. شاخص تغییر رنگ کلی برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده و سرخ‌شده نیز افزایش یافت. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار شاخص تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش تیمار شده

نتیجه‌گیری

مصرف روغن‌های خوراکی در مقادیر زیاد با مشکلات سلامتی متعددی مرتبط است. در این پژوهش اثر پیش تیمار مایکروویو بر زمان سرخ شدن، مقدار رطوبت، جذب روغن، سفتی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصیات حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد. استفاده از پیش تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو باعث کاهش زمان سرخ شدن، کاهش درصد رطوبت و کاهش جذب روغن توسط برش‌های سیب‌زمینی شد. بیشترین مقدار سفتی هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط

تشکر و قدردانی

هزینه های انجام این پژوهش از محل پژوهانه به شماره ۴۰۲۱۷۴، تأمین شده از سوی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا، پرداخت شده است. لذا بدینوسیله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا جهت حمایت مالی از این پژوهش، تشکر و قدردانی می شود.

با نمونه شاهد وجود داشت ($p < 0/05$) و بیشترین مقدار تغییر اندازه هم مربوط به نمونه تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۳ دقیقه بود. از نظر پارامترهای ارزیابی حسی، برش های سیب زمینی سرخ شده پیش تیمار شده با مایکروویو به مدت ۲ دقیقه بالاترین امتیاز را داشتند.

References

1. Adedeji, A.A., Ngadi, M.O., 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.
2. Salehi, F. 2020. Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep-fat frying: A review, *Journal of Food Processing and Preservation*. 44: e14879.
3. Deghannya, J., Ngadi, M. 2023. The application of pretreatments for producing low-fat fried foods: A review, *Trends in Food Science & Technology*. 140: 104150.
4. Karacabey, E., Özçelik, Ş.G., Turan, M.S., Baltacıoğlu, C., Küçüköner, E. 2017. Optimization of microwave-assisted predrying and deep-fat-frying conditions to produce fried carrot slices, *Journal of Food Process Engineering*. 40: e12381.
5. Salehi, F. 2019. Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica oleracea var. gongylodes*) slice, *International Journal of Food Properties*. 22: 511-519.
6. Liu, Y., Tian, J., Zhang, T., Fan, L. 2021. Effects of frying temperature and pore profile on the oil absorption behavior of fried potato chips, *Food Chemistry*. 345: 128832.
7. Salehi, F., Haseli, A., Roustaei, A. 2022. Coating of zucchini slices with Balangu, Basil, and Wild sage seeds gums to improve the frying properties, *European Journal of Lipid Science and Technology*. 124: 2100120.
8. Gallegos-Marin, I., Méndez-Lagunas, L.L., Rodríguez-Ramírez, J., Martínez-Sánchez, C.E. 2020. Influence of osmotic pretreatments on the quality properties of deep-fat fried green plantain, *Journal of Food Science and Technology*. 57: 2619-2628.
9. Liu, Y., Tian, J., Hu, B., Yu, P., Fan, L. 2021. Relationship between crust characteristics and oil uptake of potato strips with hot-air pre-drying during frying process, *Food Chemistry*. 360: 130045.
10. Jia, B., Fan, D., Yu, L., Li, J., Duan, Z., Fan, L. 2018. Oil absorption of potato slices pre-dried by three kinds of methods, *European Journal of Lipid Science and Technology*. 120: 1700382.
11. Troncoso, E., Pedreschi, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices, *LWT - Food Science and Technology*. 42: 1164-1173.
12. van Koerten, K.N., Schutyser, M.A.I., Somsen, D., Boom, R.M. 2015. Crust morphology and crispness development during deep-fat frying of potato, *Food Research International*. 78: 336-342.
13. Su, Y., Zhang, M., Zhang, W., Liu, C., Bhandari, B. 2018. Low oil content potato chips produced by infrared vacuum pre-drying and microwave-assisted vacuum frying, *Drying Technology*. 36: 294-306.
14. Sari, F., Incedayi, B., Turkmen Erol, N., Akpınar, P., Copur, O.U. 2024. Impact of ohmic heating and ultrasound pretreatments on oil absorption and other quality parameters of fried potato, *Potato Research*.
15. Wang, Q.-L., Yang, Q., Kong, X.-P., Chen, H.-Q. 2024. Effect of pre-drying and post-frying holding treatments on the oil absorption and quality of fried batter-coated peanuts, *Food Chemistry*. 443: 138617.

16. Oladejo, A.O., Ma, H., Qu, W., Zhou, C., Wu, B., Uzoejinwa, B.B., Onwude, D.I., Yang, X. 2018. Application of pretreatment methods on agricultural products prior to frying: a review, *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 98: 456-466.
17. Musa Özcan, M., Uslu, N. 2023. Influence of microwave heating on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid profiles of pomegranate seed oil, *Food Chemistry*. 422: 136207.
18. Zhang, L., Chen, J., Guo, X., Cao, Y., Qu, G., Li, Q., Gao, Y., Yu, X. 2024. Microwave pretreatment effects on the aroma precursors, sensory characteristics and flavor profiles of fragrant rapeseed oil, *Food Chemistry: X*. 22: 101381.
19. Salehi, F., Goharpour, K., Razavi Kamran, H. 2024. Effects of different pretreatment techniques on the color indexes, drying characteristics and rehydration ratio of eggplant slices, *Results in Engineering*. 21: 101690.
20. Zhang, C., Lyu, X., Aadil, R.M., Tong, Y., Zhao, W., Yang, R. 2023. Microwave heating instead of blanching to produce low-fat French fries, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 84: 103298.
21. Yang, D., Wu, G., Li, P., Qi, X., Zhang, H., Wang, X., Jin, Q. 2020. Effect of microwave heating and vacuum oven drying of potato strips on oil uptake during deep-fat frying, *Food Research International*. 137: 109338.
22. Kumar, C., Karim, M.A. 2019. Microwave-convective drying of food materials: A critical review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59: 379-394.
23. Salehi, F., Roustaei, A., Haseli, A. 2021. Effect of surface coating with seeds mucilages and xanthan gum on oil uptake and physical properties of fried potato strips, *Food Science & Nutrition*. 9: 6245-6251.
24. Altamirano-Fortoul, R., Hernando, I., Rosell, C.M. 2013. Texture of bread crust: puncturing settings effect and its relationship to microstructure, *Journal of Texture Studies*. 44: 85-94.
25. Li, Y., Li, Z., Guo, Q., Kong, B., Liu, Q., Xia, X. 2022. Inhibitory effect of chitosan coating on oil absorption in French fries based on starch structure and morphology stability, *International Journal of Biological Macromolecules*. 219: 1297-1307.
26. Belgin Erdoğan, S., Palazoğlu, T.K., Gökmen, V., Şenyuva, H.Z., Ekiz, H.İ. 2007. Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips, *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 133-137.
27. Zhang, T., Li, J., Ding, Z., Fan, L. 2016. Effects of initial moisture content on the oil absorption behavior of potato chips during frying process, *Food and Bioprocess Technology*. 9: 331-340.
28. Souza, A.U.d., Corrêa, J.L.G., Tanikawa, D.H., Abrahão, F.R., Junqueira, J.R.d.J., Jiménez, E.C. 2022. Hybrid microwave-hot air drying of the osmotically treated carrots, *LWT*. 156: 113046.
29. Gupta, P., Shivhare, U.S., Bawa, A.S. 2000. Studies on frying kinetics and quality of french fries, *Drying Technology*. 18: 311-321.
30. Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, F.A.-J. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review, *Food and Bioprocess Technology*. 6: 36-60.
31. Taiwo, K.A., Baik, O.D., Farinu, A.O. 2007. Kinetics of heat and mass transfer and color development of pre-treated sweet potatoes during frying, *Transactions of the ASABE*. 50: 129-135.
32. Graham-Acquaah, S., Ayernor, G.S., Bediako-Amoa, B., Saalia, F.S., Afoakwa, E.O., Abbey, L. 2015. Effect of blanching and frying on textural profile and appearance of yam (*Dioscorea rotundata*) french fries, *Journal of Food Processing and Preservation*. 39: 19-29.
33. Heredia, A., Castelló, M.L., Argüelles, A., Andrés, A. 2014. Evolution of mechanical and optical properties of French fries obtained by hot air-frying, *LWT - Food Science and Technology*. 57: 755-760.

