Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2423-3544
Online ISSN: 2423-3803

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

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

Fakhreddin Salehi[1*], Sara Ghazvineh[2], Mostafa Amiri[3]

[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.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/fppj.2024.22589.1821
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵٤٤-۲٤۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲٤۲۳

تأثیر پیش‌تیمار 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.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰٤/۱۱
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰٦/۰٤

واژه‌های کلیدی:
پارامترهای رنگی
پذیرش کلی
سرخ‌کردن
سفتی بافت
مقدار رطوبت

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از انرژی مایکروویو برای سرعت بخشیدن به فرآیند خشک‌کردن 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 پیش‌تیمار 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 ۱٦۰ 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.

یافته‌ها: استفاده از پیش‌تیمار 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 ($p<۰/۰۵$). جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی تیمار شده توسط مایکروویو به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه و سرخ‌شده در دمای ۱٦۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۹/۳٤، 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 ۱٦۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۰/٦۰، ۰/٦۱، ۰/۷۰ و ۰/۷۵ نیوتن بود. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه به‌صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص‌های روشنایی و زردی به ترتیب از ۷۹/٤۲ به ۸۳/۰۸ و ۲۳/۱۰ به

۳۱/۰۳ و همچنین به‌صورت معنی‌دار باعث کاهش شاخص قرمزی (سبزی) از ۳/۵۶- به ۶/۷۲- شد ($p<0/05$). اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش شاخص روشنایی و افزایش شاخص قرمزی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش اندازه برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده 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، برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده با مایکروویو به مدت ۲ دقیقه بالاترین امتیاز را داشتند.

نتیجه‌گیری: تیماردهی برش‌های سیب‌زمینی با مایکروویو باعث کوتاه‌کردن زمان سرخ شدن، کاهش جذب روغن، بهبود رنگ ظاهری و افزایش پذیرش حسی محصول شد؛ لذا تیماردهی سیب‌زمینی با مایکروویو پیش از سرخ‌کردن توصیه می‌شود.

استناد: صالحی، فخرالدین؛ قزوینه، سارا؛ امیری، مصطفی. (۱۴۰۳). تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر جذب روغن و ویژگی‌های کیفی و حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ شده. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۶ (۳)، ۱۴۸-۱۳۱.

DOI: 10.22069/fppj.2024.22589.1821

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

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

فرآیند سرخ‌کردن 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 به‌طور هم‌زمان در طی فرآیند سرخ‌کردن، توسط ماده غذایی جذب می‌شود. بسته به این شرایط فرآیند، پخت سریع، تغییر در رنگ، بافت و طعم ایجاد می‌شود (٤، ٥). دمای سرخ‌کردن بالاتر، تشکیل منافذ کمتر و کوچک‌تر در نمونه‌ها را تسهیل می‌کند و منجر به محتوای روغن کمتر می‌شود (٦). جذب زیاد روغن توسط محصولات سرخ‌شده را می‌توان با اعمال پیش‌تیمارهای مختلف کاهش داد. چندین روش برای کاهش جذب روغن هنگام سرخ‌کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی پیشنهاد شده است (۲، ۷، ۸). این روش‌ها شامل پیش‌تیمارهای فیزیکی و شیمیایی (پیش خشک‌کردن و پختن اولیه)، بهینه‌سازی شرایط فرآوری و اصلاح سطح غذا می‌باشد. حرارت دادن و خشک‌کردن یکی از پیش‌تیمارهایی است که خواص ساختاری غذاها را تغییر داده و با تشکیل پوسته، جذب روغن را کاهش می‌دهد (۱، ۳، ۹).

خشک‌کردن محصول قبل از فرآیند سرخ‌کردن، یکی از موثرترین روش‌های پیش‌تیمار برای کاهش جذب روغن معرفی شده است. ثابت شده است که روش‌های پیش خشک‌کردن ازجمله هوای داغ، مایکروویو خلأ، مادون‌قرمز و خشک‌کردن انجمادی به‌طور مؤثری محتوای روغن محصول سرخ‌شده را کاهش می‌دهند (۹-۱۱). این فرآیندهای پیش از خشک‌کردن 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 پیش‌تیمار خشک‌کردن توسط فروسرخ تحت خلأ باعث کاهش مقدار روغن چیپس سیب‌زمینی از ۲۲/۳۸ درصد به ۱۳/٤۹ درصد می‌شود. پیش خشک‌کردن توسط فروسرخ تحت خلأ منجر به افزایش تغییر رنگ کلی و چروکیدگی چیپس‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد (۱۳). با این حال، رفتار جذب روغن هنگام سرخ‌کردن پیچیده است و عموماً اعتقاد بر این است که ویژگی‌های سطحی محصول سرخ‌شده علت اصلی مسیر جذب و محتوای روغن است و پارامتر مهم برای تولید مواد غذایی با محتوای روغن کم است (٦). در پژوهشی، ساری و همکاران (۲۰۲٤) تأثیر پیش‌تیمارهای فراصوت و گرمایش اهمیک بر کاهش جذب روغن توسط سیب‌زمینی هنگام سرخ‌کردن را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش‌تیمار گرمایش اهمیک به‌طور معنی‌داری جذب روغن محصول را کاهش داده و باعث بهبود پارامترهای کیفی سیب‌زمینی سرخ‌شده می‌شود (١٤).

ونـــگ و همکـــاران (۲۰۲٤) گـــزارش کردنـــد کـــه خشک‌کردن و کاهش رطوبت محصول قبل از فرآینـد سـرخ‌کردن باعـث کـاهش مقـدار روغـن جذب‌شـده توسط محصول سرخ‌شده می‌شود (۱۵).

استفاده از فناوری مایکروویـــو در فـرآوری مـواد غذایی یکی از روش‌هـای جدیـد پیش‌فـرآوری مـواد غـذایی قبـل از سـرخ‌کردن بـه‌منظور بهبـود کیفیـت غذاهای سرخ‌شده اسـت. فنـاوری مـایکروویو شـامل جذب انرژی توسط غذاها است کـه منجـر بـه تولیـد داخلی گرما و متعاقب آن ایجاد گرادیان فشار در غـذا می‌شود که منجـر بـه افـزایش سـرعت از دسـت دادن رطوبت می‌شود (۱٦). اخیراً به دلیل مزایای بی‌شماری که اسـتفاده از پیش‌تیمـار مـایکروویو دارد، علاقـه بـه توسعه و استفاده از آن، قبل از فـرآوری مـواد غـذایی مختلف افزایش یافته است. ایـن مزایـا شـامل کـاهش مصرف انرژی، نرخ گرمـــایش بالاتر و بهبود کیفیـت محصول است (۱۷، ۱۸). خشـک‌کردن در مـایکروویو به دلیل مزایایی مانند راندمان انرژی بالا، زمان خشـک شدن سریع و کیفیت محصول نهایی، فناوری ایمـن و نسبتاً جدید برای استفاده در صنایع غذایی است (۱۹). اســتفاده از پیش‌تیمـــار مـــایکروویو قبـــل از فرآینـــد سرخ‌کردن باعث کاهش جذب روغن توسط محصـول می‌شـــود (۱، ۳، ٤، ۲۰). بـــرای مثـــال، کاراکـــابی و همکاران (۲۰۱۷) استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو قبل از فرآیند سرخ‌کردن هـویج بـرای کـاهش رطوبـت و محدود کـردن جـذب روغـن پیشـنهاد کرده‌انـد. ایـن پژوهشـگران بـیش از ۱۸ درصـد کـاهش در جـذب روغن و ۱۲ درصد کاهش در رطوبت طی سـرخ‌کردن با پیش‌تیمار مایکروویو را گزارش کرده‌اند (٤). یانـگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که مقـدار رطوبـت و خصوصیات نشاسته سیب‌زمینی، بر کیفیت و جـذب روغن محصول سرخ‌شده نهایی تأثیر می‌گذارنـد و بـا اسـتفاده از پیش‌تیمـار مـایکروویو مـی‌تـوان تغییـرات مطلوبی ایجاد کرد که منجر به کـاهش جـذب روغـن شود (۲۱).

محصولات غذایی سرخ‌شـده بـه دلیـل دارا بـودن ویژگی‌های بافتی منحصربه‌فرد از محبوبیـت بالـایی در میان مصرف‌کنندگان برخوردار می‌باشند. با این حـال، چربی زیاد در غذاهای سرخ‌کردنی از نظر اقتصـادی و همچنین از نظر سلامت مصـرف‌کنندگان یـک مشـکل جدی برای تولیدکنندگان مواد غذایی است. در نتیجـه علاقه مصرف‌کنندگان به دلیل توصیه به کـاهش میـزان آن در رژیم غذایی، به سمت غذاهایی با محتـوای کـم چربی منجر شده اسـت (۲، ٤). در ایـن پـژوهش اثـر پیش‌تیمار مـایکروویو بـر زمـان سـرخ شـدن، مقـدار رطوبـت، جـذب روغـن، سـفتی، پارامترهـای رنگـی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصـیات حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه برش‌های سیب‌زمینی: سیب‌زمینی‌های رقم سـانتا از شهرستان کبودرآهنـگ (اسـتان همـدان، ایـران)، بـا اندازه متوسط و یک شـکل تهیـه گردیـد. سـیب‌زمینی توسط آب سـرد شسـته شـدند و سـپس بـرای انجـام فرآیند سرخ‌کردن ابتدا توسط اسلایسر صنعتی (جرمی، مـدل AF-23، ایتالیـا) بـه قطعـاتی بـا ضـخامت ۰/۵ سانتی‌متر برش داده شدند و سپس توسـط یـک قالـب فلزی، برش‌های بـه شـکل اسـتوانه از آن‌هاجـدا شـد. میانگین رطوبـت برش‌هـای تـازه سـیب‌زمینی ۸٤/۸۵ درصد بود.

اعمـــال پیش‌تیمـــار مـــایکروویو بـــر برش‌هـــای سـیب‌زمینی: برش‌هـای سـیب‌زمینی قبـل از فرآینـد سرخ‌کردن به مدت ۰ (نمونه شـاهد)، ۱، ۲ و ۳ دقیقـه توسط دستگاه مـایکروویو خـانگی (جی‌پلـاس، مـدل GMW-M425S.MIS00، شرکت گلـدیران، ایـران) تیماردهی شدند. از جمله عواملی که در خشـک‌کردن

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، درحالی‌که 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 ٤٤٠ وات برای پیش‌تیمار برش‌های تازه سیب‌زمینی انتخاب شد.

سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی: برش‌های سیب‌زمینی بعد از تیماردهی توسط سرخ‌کن دلونگی (F18، ۱۸۰۰ وات، ایتالیا) با دمای ۱٦۰ درجه سلسیوس سرخ‌شده و زمان سرخ شدن هر نمونه یادداشت شد. جهت سرخ‌کردن عمیق از روغن مایع مخصوص سرخ‌کردن بدون پالم (آفتابگردان–سویا، ورامین، ایران) استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی دو کاناله لوترون[1] (تایوان) با دامنه دمایی ۵۰- تا ۱۲۳۰ درجه سلسیوس (±۰/۱°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 ۱۰۵ درجه سلسیوس و در مدت‌زمان ۵ 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 ۱۰۰ به دست آمد. تغییرات وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی (لوترون، GM-300p، تایوان) با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت گردید.

آزمون نفوذ (بافت سنجی): آزمون نفوذ معمولاً برای اندازه‌گیری سفتی بافت و تردی محصولات پیشنهاد شده است زیرا جویدن را از نقطه‌نظر معیارهای ارگانولپتیک شبیه‌سازی می‌کند (۹، ٢٤). در این مطالعه آزمون نفوذ با استفاده از یک پروب استوانه‌ای با قطر ۲/۵ میلی‌متر انجام شد. سفتی بافت سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده توسط دستگاه بافت سنج (Santam, STM-5, Iran) اندازه‌گیری شد. سرعت نفوذ پروب به داخل نمونه ۱ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (۲۵).

تعیین کیفیت ظاهری سیب‌زمینی سرخ‌شده: شدت تغییر خصوصیات ظاهری و رنگ سطحی محصولات سرخ‌شده وابسته به پیش‌تیمارهای 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، تیمارشده 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.

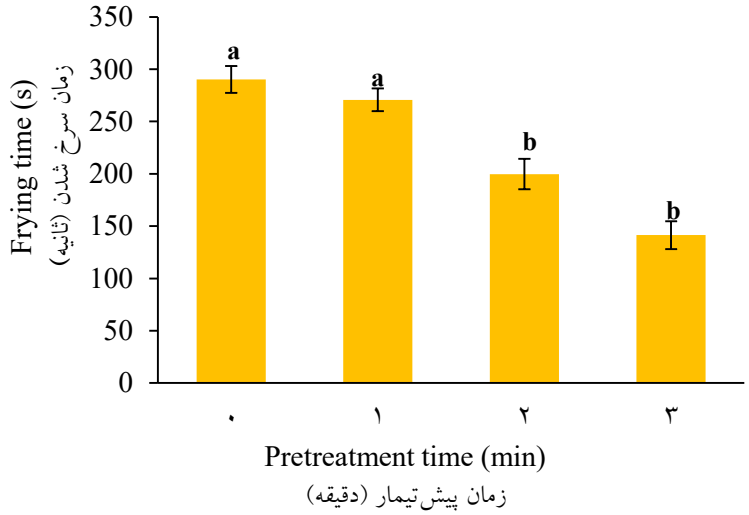
1. Lutron, TM-916

آنالیز آماری

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

نتایج و بحث

اثر پیش‌تیمار بر زمان سرخ‌کردن: 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 سرخ‌کردن نوارهای سیب‌زمینی در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس از ٤/٥ دقیقه به ۲/۵ کاهش یافت (۲٦).



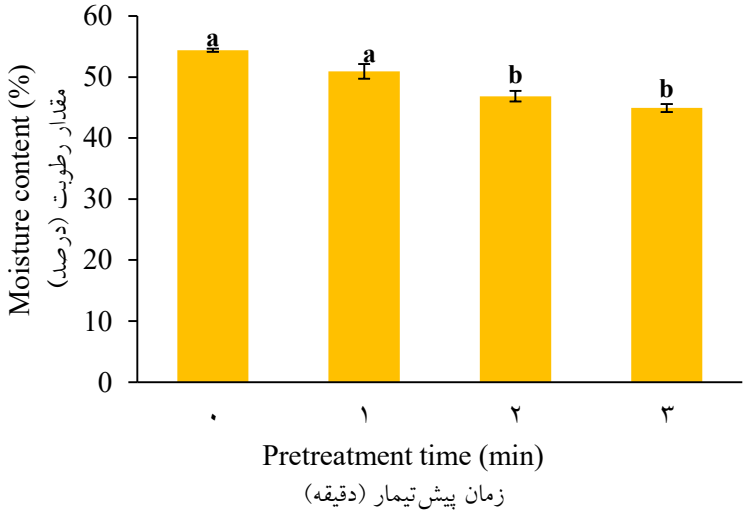
شکل ۱- تأثیر تیماردهی با مایکروویو بر زمان سرخ شدن برش‌های سیب‌زمینی

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 ($p<0.05$)

درصد رطوبت: گروهی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که مقدار روغن جذب‌شده توسط محصول هنگام سرخ‌کردن با مقدار رطوبت اولیه آن ارتباط دارد و هرچقدر مقدار رطوبت اولیه محصول کمتر شد، جذب روغن کمتر است (۲۷). اثرات مایکروویو برمیزان رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. به‌عنوان یک روش 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 به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش مقدار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

پیش‌تیمار 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 پیش‌تیمار خشک‌کردن، رطوبت اولیه و همچنین مورفولوژی سطح، ساختار داخلی، محتوای جامد و توزیع رطوبت مواد غذایی را تغییر می‌دهد و بعد از سرخ‌کردن، رطوبت و روغن کم‌تری به غذا می‌دهد (۲۹). لیو و همکاران (۲۰۲۱) میانگین رطوبت خلال‌های تازه سیب‌زمینی را برابر ۸٤/٦۰ درصد گزارش کردند و نتایج حاکی از آن بود که پیش‌تیمار خلال‌های سیب‌زمینی توسط هوای داغ با دمای ٦۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱۸۰ دقیقه باعث کاهش درصد رطوبت محصول سرخ‌شده از ٦٤/۹۹ درصد (شاهد) به ۳۹/٤٤ درصد می‌شود (۳۹/۳۱ درصد کاهش در رطوبت) (۹).



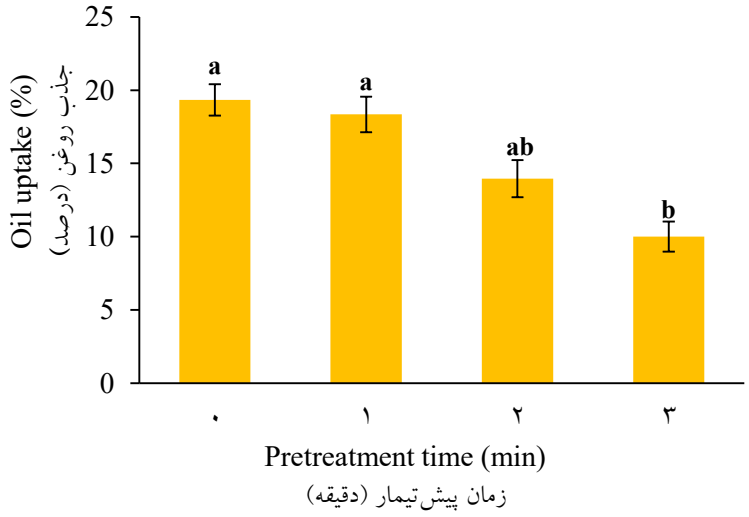
شکل ۲- اثر تیماردهی با مایکروویو بر مقدار رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

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 ($p<0.05$)

جذب روغن: جذب روغن یک فرآیند پیچیده است و شامل تغییرات فیزیکی، شیمیایی و ساختاری متعددی است که در طول سرخ‌کردن در محصول ایجاد می‌شود (۱٤). تغییرات در ریزساختار در حین سرخ‌کردن یک عامل تعیین‌کننده در جذب روغن است و گزارش شده است که بیشتر روغن جذب‌شده به سطح محصولات سرخ‌شده محدود می‌شود. این پدیده با تشکیل حفره‌ها و مسیرهای مویرگی تضعیف ساختار سلولی و افزایش تخلخل ناشی از تبخیر سریع آب در طی فرآیند سرخ‌کردن توضیح داده شده است (۸). شکل ۳ اثر تیماردهی با مایکروویو بر جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو و قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش جذب روغن توسط برش‌های سیب‌زمینی هنگام سرخ‌کردن شد. بررسی نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد هرچه مقدار رطوبت مواد قبل از سرخ‌کردن کمتر باشد، میزان روغن محصول پس از سرخ‌کردن کمتر است (۹، ۱۳، ۲۰). با توجه بااینکه پیش‌تیمار مایکروویو باعث

کاهش رطوبت و خشک شدن محصول می‌شود، لذا جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی کاهش یافت. همچنین پیش‌تیمار مایکروویو باعث می‌شود سیب‌زمینی‌ها یک پوسته محافظ ضخیم‌تر تشکیل دهند که برای جلوگیری از جذب روغن در طول سرخ‌کردن و بهبود بافت بسیار تأثیرگذار است (۲۰). از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش‌تیمار 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 سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۹/۳۴، ۱۸/۳۵، ۱۳/۹۵ و ۱۰/۰۰ درصد بود. هرچقدر گرمایش محصول سریع و یکنواخت‌تر 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 سرخ‌کردن کاهش می‌یابد (۱۴). هم‌راستا با نتایج این پژوهش، ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش مقدار روغن محصول سرخ‌شده از ۴۱/۳ درصد به ۱۸/۱ درصد می‌شود (۲۰). لیو و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که پیش‌تیمار خلال‌های سیب‌زمینی توسط هوای داغ با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱۸۰ دقیقه باعث کاهش جذب روغن محصول سرخ‌شده از ۳۶/۳۸ درصد (شاهد) به ۲۲/۸۱ درصد می‌شود (۹). رطوبت کم غذا و دمای بالای سرخ‌کردن به دلیل تبخیر شدید رطوبت و افزایش سرعت انتقال حرارت منجر به تشکیل سریع پوسته در محصول سرخ‌شده می‌شود. تشکیل و توسعه پوسته نه‌تنها به دلیل تأثیرگذاری در انتقال حرارت و جرم، بلکه به این دلیل که نقش مهمی در جذب روغن توسط مواد غذایی در طی سرخ‌کردن عمیق ایفامی‌کند، اهمیت زیادی دارد (۹). یانگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش رطوبت سیب‌زمینی شده و در نتیجه باعث کاهش مقدار روغن محصول سرخ‌شده می‌شود (۲۱).

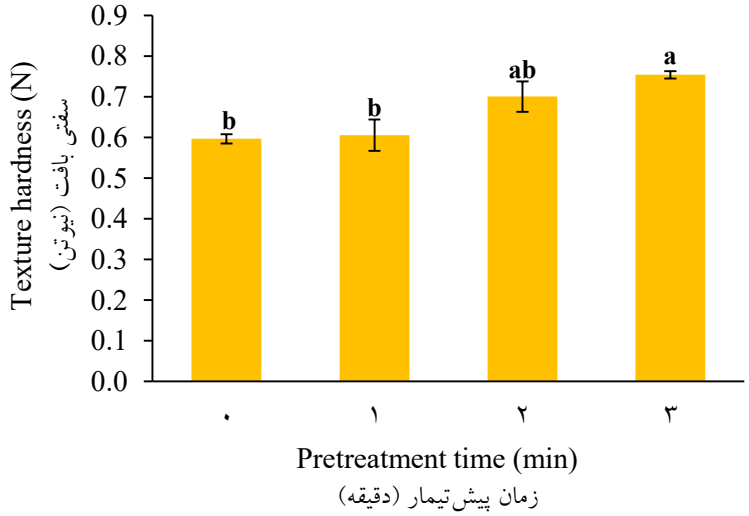


شکل ۳- اثر تیماردهی با مایکروویو بر جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

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 ($p<0.05$)

سفتی بافت: سرخ‌کردن عمیق یک روش فرآوری غیرقابل جایگزین است که به محصولات سرخ‌شده ویژگی‌های جذابی ازجمله طعم ترد، عطر وسوسه‌انگیز و رنگ مطلوب می‌بخشد. ویژگی‌های بافتی محصولات سرخ‌شده به‌شدت با تشکیل پوسته مرتبط است (۱۲). شکل ٤ اثر تیماردهی با مایکروویو بر سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث افزایش سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار سفتی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده به مدت ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشت ($p<0.05$) و بیشترین مقدار سفتی هم مربوط به نمونه تیمار شده 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 ۱٦۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۰/٦۰، ۰/٦۱، ۰/۷۰ و ۰/۷۵ نیوتن بود. لیو و همکاران (۲۰۲۱) ابتدا خلال‌های سیب‌زمینی را توسط هوای داغ در دمای ٦۰ درجه سلسیوس به مدت ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه خشک و سپس سرخ‌کردند. این پژوهشگران سفتی بافت (آزمون نفوذ) خلال‌های سرخ‌شده تیمار نشده (شاهد) را برابر ۰/۳۳ نیوتن و نمونه‌های پیش‌تیمار شده توسط هوای داغ در دمای ٦۰ درجه سلسیوس در مدت‌زمان‌های ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه را به ترتیب برابر ۰/٦۱، ۰/۷۸ و ۱/٤٥ نیوتن گزارش کردند (۹).



شکل ٤- 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 ($p<0.05$)

رنگ سطحی برش‌های سرخ شده: در این مطالعه متوسط مقدار عددی شاخص‌های زردی، قرمزی و روشنایی برای برش‌های تازه سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۲۳/۳۲، ۳/٤۸- و ۸۰/۱۱ بود. در جدول ۱ اثر تیماردهی با مایکروویو بر شاخص‌های رنگی برش‌های سیب‌زمینی گزارش شده است. اعمال تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه به‌صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص‌های روشنایی و زردی به ترتیب از ۷۹/٤۲ به ۸۳/۰۸ و ۲۳/۱۰ به ۳۱/۰۳ و همچنین به‌صورت معنی‌دار باعث کاهش شاخص قرمزی

(سبزی) از ۳/۵۶- به ۶/۷۲- شد (p<۰/۰۵). ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که پیش‌تیمار 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).

در جدول ۱ شاخص تغییر رنگ نیز گزارش شده است. افزایش زمان اعمال پیش‌تیمار مایکروویو باعث افزایش تغییرات رنگ در برش‌های سیب‌زمینی شد، در نتیجه مقادیر این شاخص نیز به‌صورت 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).

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<۰/۰۵)

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

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 سرخ‌کردن 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 به‌صورت معنی‌دار باعث کاهش شاخص روشنایی از ۷۲/۵۵ به ۶۶/۱۵ شد (p<۰/۰۵). لیو و همکاران (۲۰۲۱) شاخص روشنایی خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده تیمار نشده (شاهد) را برابر ۶۰/۰۲ و نمونه‌های پیش‌تیمار 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).

پیش‌تیمار مایکروویو رطوبت برش‌های سیب‌زمینی را کاهش می‌دهد و آن‌ها را در هنگام سرخ‌کردن 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 پروتئین‌روی سطح محصول و همچنین دما و مدت زمان سرخ‌کردن 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 پیش‌تیمار به مدت ۳

دقیقه به‌صورت 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 ($p>0/05$). 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 به‌صورت معنی‌دار باعث افزایش شاخص تغییر رنگ کلی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده از ۱۲/۸۶ به ۱۹/۹۳ شده است ($p<0/05$).

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

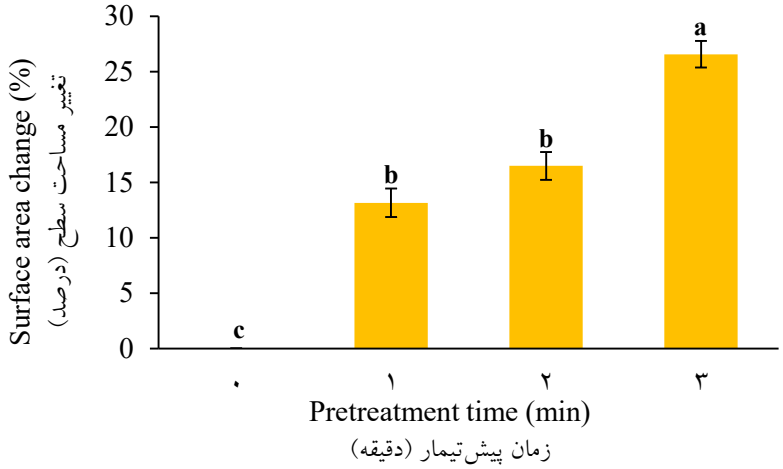
Table 2- Effect of microwave treatment on color indexes of fried potato slices.

زمان تیماردهی (دقیقه) Treatment time (min)	روشنایی Lightness	قرمزی Redness	زردی Yellowness	شاخص تغییر رنگ 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 ($p < 0.05$)

تغییر اندازه برش‌های تیمار شده و سرخ شده: قرار دادن برش‌های سیب‌زمینی در معرض امواج مایکروویو باعث خروج رطوبت از نمونه‌ها و درنتیجه کاهش اندازه و سطح محصول می‌شود. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، تیماردهی با مایکروویو باعث کاهش اندازه برش‌های سیب‌زمینی و در نتیجه به‌صورت 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 به‌ترتیب برابر ۱۳/۱۵، ۱۶/۴۸ و ۲۶/۵۵ درصد بود (درصد تغییر برای نمونه شاهد صفر است).

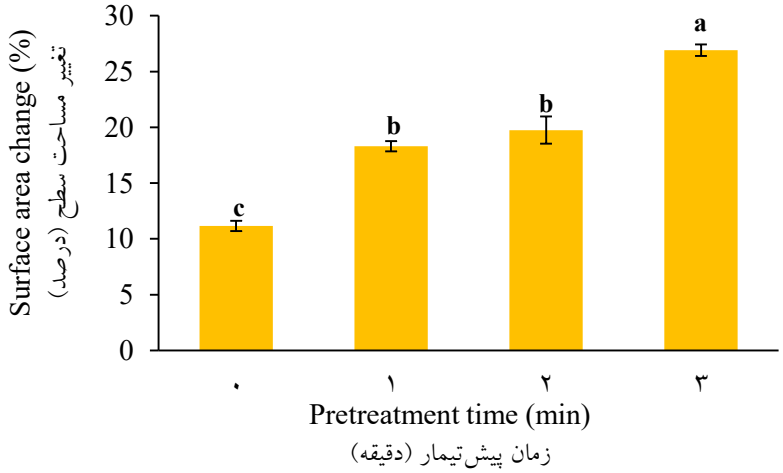


شکل ۵- اثر تیماردهی با مایکروویو بر تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی

حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵)

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

درصد تغییرات اندازه سطح برش‌های سیب‌زمینی که معیاری از کاهش سطح محصول در طی فرآیند سرخ‌کردن می‌باشد با استفاده از روش پردازش تصویر محاسبه و گزارش شد. شکل ٦ اثر تیماردهی با مایکروویو بر تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث کاهش اندازه برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده گردید و در نتیجه باعث افزایش شاخص تغییر مساحت سطح شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین مقدار شاخص تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده با نمونه شاهد وجود داشت (p<۰/۰۵) 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 ۱٦۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱۱/۱۵، ۱۸/۳۰، ۱۹/۷۵ و ۲٦/۹۲ درصد بود.

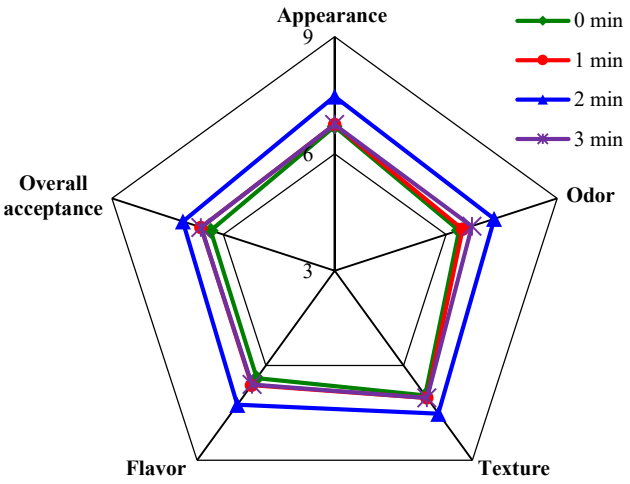


شکل ٦- اثر تیماردهی با مایکروویو بر تغییر مساحت سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵)

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)

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 پیش‌تیمار مایکروویو باعث بهبود ویژگی‌های حسی محصول سرخ‌شده می‌شود. از نظر امتیاز پذیرش ظاهر، بو، بافت و طعم و همچنین پذیرش کلی، برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش‌تیمار 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 پیش‌تیمار خشک‌کردن توسط فروسرخ تحت خلأ باعث پذیرش بیشتر مصرف‌کنندگان چیپس سیب‌زمینی می‌شود (۱۳).



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.

نتیجه‌گیری

مصرف روغن‌های خوراکی در مقادیر زیاد با مشکلات سلامتی متعددی مرتبط است. در این‌پژوهش اثر پیش‌تیمار 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 پیش‌تیمار 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 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 پیش‌تیمار افزایش یافت. اعمال پیش‌تیمار 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 پیش‌تیمار 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. از نظر پارامترهای ارزیابی حسی، برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پیش‌تیمار شده با مایکروویو به مدت ۲ دقیقه بالاترین امتیاز را داشتند.

تشکر و قدردانی

هزینه‌های انجام این پژوهش از محل پژوهانه به شماره ٤٠٢١٧٤، 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 می‌شود.

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. Dehghannya, 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., Özçelık, Ş.G., Turan, M.S., Baltacioğlu, 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., Martinez-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., Akpinar, 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 Erdoğdu, 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.