

*Research Article***The Effects of Ohmic Cooking Process on Some Physical and Chemical Characteristics of Button Mushrooms**Mehdi Qavanloo¹, Mohsen Azadbakht^{2*}, Feryal Varasteh³, Mohammad Vahedi Torshizi⁴

1. MSc Student, Department of Biosystem Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Horticulture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4. Ph.D. student, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

(Received 28 April 2023, Received in revised form 7 August 2023, Accepted 7 August 2023)

Introduction: Nowadays, according to the importance of drying and reducing moisture in the cooking process in the food industry, different methods have been presented for different agricultural products. In this research, the ohmic heating method was used to reduce the moisture content of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). The heating process is used as one of the basic processes in the processing of food products, due to its importance in destroying the microorganisms that cause the product to become moldy. One of the thermal methods that is used today is the ohmic method, which is a fast method and it occurs when an alternating electric current passes through the product.

Material and Methods: The purpose of this research is to investigate some physical and chemical characteristics of the button mushroom at the end of the ohmic process. In this research, three voltages of 60, 75, and 90 V were used, and according to the 8 cm distance between the electrodes, 7.5, 9.37, and 11.25 V/cm were obtained. Moreover, three types of steel, brass and aluminum electrodes and three concentrations of 5, 10 and 15% ohmic solution were selected for the experiment. In order to calorimetrically measure button mushrooms, the images were scanned in color using Image J software in the Lab space, and the extracted values were expressed as percentages. Further, in order to measure chemical properties, 0.5 g of dried samples were separated and methanolic extract was prepared and properties including antioxidant activity, total phenol content, flavonoid content, vitamin C, pH and Brix were measured.

Results and discussion: The results showed that with the increase of the voltage gradient, the value of the browning index and the total color changes increased significantly. The highest and lowest values of the browning index were 244.39 (voltage gradient 11.25 V/cm-aluminum electrode) and 86.39 (voltage gradient 7.5 V/cm-steel electrode). The highest and lowest total color changes were 27.98 (aluminum electrode) and 16.01 (steel electrode) and the increase in browning index and total color changes were observed in steel, brass and aluminum electrodes, respectively. In the chemical properties section, similar information was obtained in the parameters of antioxidant activity, total phenol content, flavonoid content, vitamin C and soluble solids; So, with the increase of the voltage gradient, the value of these parameters increased significantly. In the voltage gradient of 11.25 V/cm, the highest values have been observed.

Conclusion: It was found that applying the thermal process at higher voltages causes damage to the colorimetric properties, reducing the brightness of the product and increasing the amount of browning of the product and the higher voltage gradient had a positive effect on the chemical properties.

* Corresponding Author's Email: azadbakht@gau.ac.ir



DOI: <http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6244.2139>

Innovative Food Technologies, 10(3), 281-298, Spring 2023



Keywords: *Button mushroom, Ohmic, Antioxidant activity, Phenol, Flavonoid, Physical and chemical properties*

How to cite this article:

Qavanloo, M., Azadbakht, M., Varasteh, F., & Vahedi Torshizi, M., (2023). The Effects of Ohmic Cooking Process on Some Physical and Chemical Characteristics of Button Mushrooms. *Innov. Food Technol.*, 10(3), 281-298.

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات فرآیند پخت به روش اهمیک بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی قارچ خوراکی دکمه‌ای

مهدی قوانلو^۱، محسن آزاد بخت^{۲*}، فریال وارسته^۳، محمد واحدی ترشیزی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار گروه باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس تهران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶)

چکیده

امروزه با توجه به اهمیت خشک‌کردن و کاهش رطوبت در فرایند پخت در صنایع غذایی برای محصولات مختلف کشاورزی روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این تحقیق از روش حرارت‌دهی اهمیک جهت کاهش محتوای رطوبت قارچ دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*) استفاده شد. هدف از این تحقیق بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی قارچ دکمه‌ای در پایان فرایند اهمیک است. در این تحقیق سه ولتاژ ۷/۵، ۹/۳۷ و ۱۱/۲۵ به دست آمد. همچنین سه نوع الکترواستیل، برنجی و آلومینیومی و نسبت به هم گرادیان ولتاژ ۷/۵، ۹/۳۷ و ۱۱/۲۵ به دست آمد. همچنین سه نوع الکترواستیل، برنجی و آلومینیومی و سه غلظت ۵، ۱۰ و ۱۵٪ محلول اهمیک برای انجام آزمایش انتخاب شد. به منظور رنگ سنجی قارچ دکمه‌ای از نرم‌افزار Image J در فضای Lab تصاویر به صورت رنگی اسکن و مقادیر استخراج شده به درصد بیان شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی از پودر نمونه‌های خشک‌شده ۰/۵ g جدا شده و عصاره متانولی تهیه شد و ویژگی‌هایی شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان کل فنول کل، محتوای فلاونوئید، ویتامین ث، پی‌اچ و بریکس اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش گرادیان ولتاژ مقدار شاخص قهوه‌ای شدن و تغییرات رنگ کل افزایش معنی‌داری داشته است. بیشترین و کمترین مقدار شاخص قهوه‌ای شدن ۲۴۴/۳۹ (گرادیان ولتاژ ۱۱/۲۵ V/cm - الکترو آلومینیوم) و ۸۶/۳۹ (گرادیان ولتاژ ۷/۵ V/cm - الکترو استیل) نتیجه شد. بیشترین و کمترین مقدار تغییرات میزان رنگ کل ۲۷/۹۸ (الکترو آلومینیوم) و ۱۶/۰۱ (الکترو استیل) نتیجه شد. همچنین افزایش شاخص قهوه‌ای شدن و تغییرات رنگ کل به ترتیب در الکترودهای استیل، برنج و آلومینیوم مشاهده شد. در بخش خواص شیمیایی در پارامترهای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان کل فنول، محتوای فلاونوئید، ویتامین ث و مواد جامد محلول اطلاعات مشابهی به دست آمد؛ به طوری که با افزایش میزان گرادیان ولتاژ مقدار این پارامترها افزایش معنی‌داری داشت. در گرادیان ولتاژ ۱۱/۲۵ V/cm بیشترین مقادیر مشاهده شده است. به طور کلی با توجه به نتایج تحقیق مشخص شد که اعمال فرایند حرارتی در ولتاژهای بالاتر سبب آسیب به خصوصیات رنگ سنجی، کاهش روشنایی محصول و افزایش مقدار قهوه‌ای شدن محصول شده است و گرادیان ولتاژ بالاتر تأثیر مثبتی بر خواص شیمیایی داشته است.

کلیدواژه: قارچ دکمه‌ای، اهمیک، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنول، فلاونوئید، خواص فیزیکی و شیمیایی

۱. مقدمه

رنگ‌دانه‌ها اتفاق می‌افتد که ممکن است سبب ایجاد تأثیراتی بر رنگ آن‌ها شود. یکی از دغدغه‌های مهم صنعت، قهوه‌ای شدن آب‌میوه‌ها و پوره‌ها در طی فرآوری و انبارداری است. همچنین قهوه‌ای شدن غیر آرزیمی ممکن است سبب ایجاد افت رنگ، کاهش مواد مغذی، بدطعمی و مهم‌تر از همه، بروز رنگ‌دانه‌های قهوه‌ای شود. تغییر در ویژگی‌های رنگی، شامل ویژگی‌هایی مانند شاخص قهوه‌ای شدن قابل‌مشاهده است که ممکن است در اثر هرگونه فاکتور اعمالی، باعث تغییر کلی رنگ نمونه‌ها شود [۹،۸]. از این‌رو محققان جهت غلبه بر این مشکلات، بر فناوری‌های جایگزین در فرایندهای صنعتی متمرکز شده‌اند. همچنین محققین مختلفی هم بر روی روش اهمیک کار کرده‌اند. در تحقیقی توسط درویشی و همکاران، (۲۰۲۰) اثر روش گرمایش اهمیک^۱ (OHM) بر ویژگی‌های کمی و کیفی ملاس انگور سیاه مورد بررسی قرار گرفت و با روش گرمایش معمولی^۲ (CHM) مقایسه شد. نتایج نشان داد که نمونه‌های تهیه‌شده توسط OHM بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به CHM داشته است. افزایش گرادیان ولتاژ تأثیر مثبتی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت. همچنین تغییرات pH برای OHM کمتر از CHM بود. هر دو روش حرارت‌دهی موردنظر در این تحقیق تأثیر معنی‌داری بر محتوای فنول نداشت. [۵].

همچنین در تحقیق بهت و همکاران، (۲۰۱۷) به مقایسه گرمایش اهمیک و فرایندهای حرارتی مرسوم بر روی آبادو پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد که مقدار شاخص قهوه‌ای شدن در طی فرایند اهمیک کمتر از فرایند حرارتی مرسوم بوده است. همچنین فرایند حرارت‌دهی اهمیک تغییرات کلی رنگی کمتری را در مقایسه با فرایند حرارت‌دهی مرسوم داشته است [۱۰].

تحقیقی دیگر نیز به بررسی تغییرات رنگ آب هندوانه طی فرایند حرارت‌دهی اهمیک پرداخته شد. نتایج آن‌ها نشان داد که گرادیان ولتاژ تأثیر معنی‌داری بر روی مقدار تغییرات رنگ داشته است و با افزایش گرادیان ولتاژ، مقدار شفافیت آب هندوانه طی فرایند حرارت‌دهی کاهش خواهد یافت [۱۱].

فرایند حرارت‌دهی به‌عنوان یکی از فرایندهای اساسی در فرآوری محصولات غذایی، به دلیل اهمیت آن در از بین بردن میکروارگانیسم‌هایی که باعث کپک زدن محصول می‌شوند، به کار گرفته می‌شود. یکی از روش‌های حرارتی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد روش اهمیک است که روشی سریع بوده و زمانی رخ می‌دهد که جریان متناوب الکتریکی از درون محصول عبور می‌کند [۱،۲]. از آنجاکه در این روش حرارت‌دهی، به‌محض اعمال فرایند، حرارت به‌طور هم‌زمان و مستقیماً در تمامی بخش‌های ماده غذایی پخش می‌شود در نتیجه نیازی به انتقال حرارت از سطح مشترک محیط حرارتی به درون ذرات جامد غذا وجود ندارد. در واقع حرارت‌دهی اهمیک یک روش فرآوری حرارتی پیشرفته است که در آن مواد غذایی به‌عنوان مقاومت الکتریکی عمل می‌کند که به‌وسیله عبور جریان الکتریسیته از درون آن گرم می‌شود [۳،۴]. حرارت‌دهی اهمیک در مقایسه با روش‌های مرسوم حرارتی دارای مزایایی مانند حفظ رنگ و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی، زمان کوتاه فرایند و راندمان بالا را دارد. فرایندهای حرارتی متعارف، ایمنی مواد غذایی را تضمین می‌کند، اما دمای بالای بکار رفته در فرایندهای حرارتی منجر به از دست دادن مواد مغذی و تغییرات شیمیایی می‌شود. در حال حاضر، روش‌های الکتریکی و غیرحرارتی توجه صنایع غذایی به‌عنوان یک روش جایگزین حرارتی جهت نگهداری محصولات غذایی به دست آورده‌اند [۵،۶]. با توجه به اهمیت فرایند فرآوری محصولات غذایی، در سال‌های اخیر، فناوری‌های جدید و جایگزین درزمینه‌ی صنعتی و فرایندهای مرتبط با مواد غذایی در سراسر جهان توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. با کاهش انرژی مصرفی در صنعت، برخی از مشکلات مانند کمبود منابع انرژی و مشکلات زیست‌محیطی کاهش می‌یابد؛ ارزش اقتصادی بیشتری برای آن کشور فراهم خواهد کرد [۷]. همچنین، یکی از دلایل تغییر در رنگ غذاها ممکن است به دلیل اعمال تیمار حرارتی باشد. در هنگام گرمایش محصولات غذایی مانند میوه‌ها و سبزی‌ها، واکنش‌های مختلف واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آرزیمی و تخریب

1. Ohmic heating method

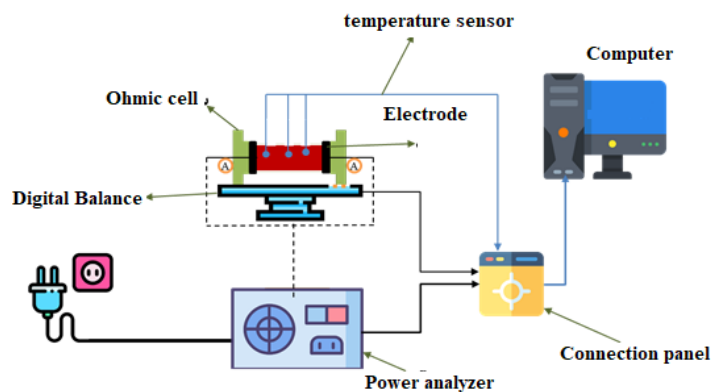
2. Conventional heating method

۱.۲ آماده‌سازی و روش انجام آزمایش

نمونه‌های قارچ دکمه‌ای از بازار خریداری شدند که پس از آن نمونه‌ها جهت یکسان‌سازی از نظر ابعاد با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شده تا نمونه‌های یک اندازه انتخاب شود. سپس نمونه‌ها شست‌وشو شدند و پس از شست‌شو در دسته‌های مختلف جهت انجام آزمایش قرار گرفتند که در این تحقیق سه گرادیان ولتاژ $۷/۵$ ، $۹/۲۵$ و $۱۱/۵$ ، سه نوع الکترود استیل، برنجی و آلومینیومی و سه غلظت محلول آمیک بکار گرفته شدند. همچنین مشخصات دستگاه آمیک طراحی شده در این آزمایش در جدول (۱) آورده شده و شکل (۱) نیز شماتیک این دستگاه را نمایش می‌دهد.

با توجه به اهمیت ویژگی‌های کمی و کیفی در محصولات کشاورزی و تنفس محصولات پس از برداشت، هدف این تحقیق تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای محصول قارچ دکمه‌ای است؛ زیرا علاوه بر انجام فرایندهای مهندسی یک دستگاه، حفظ کیفیت یک محصول نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق، با بررسی اثر غلظت‌های مختلف در فرایند آمیک در گرادیان‌های ولتاژ مختلف با استفاده از الکترودهای آلومینیوم، برنجی و استیل، بهترین مقادیر برای پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای محصول قارچ دکمه‌ای به دست آمده است.

۲. مواد و روش‌ها



شکل (۱) شماتیک سامانه آمیک

Figure 1. Schematic of the ohmic system

جدول (۱) مشخصات سامانه آمیک

Table 1. Specifications of the ohmic system

Type of ohmic cell نوع سلول آمیک	PTF cylindrical tube
The type of electrodes نوع الکترودها	steel - aluminum - Brass
Ohmic cell length طول سلول آمیک	150 mm
Internal diameter of ohmic cell قطر درونی سلول	50 mm
The external diameter of the ohmic cell قطر خارجی سلول	60 mm
The diameter of the holes on the ohmic cell قطر حفره‌های سلول	4 mm
The diameter of the electrodes قطر الکترودها	49.9 mm
The thickness of the electrodes ضخامت الکترودها	2 mm
The distance between the two electrodes فاصله بین دو الکترود	50 mm
The diameter of the electrode connecting rod قطر میله اتصال الکترود	2 mm

۲.۲ رنگ‌سنجی قارچ دکمه‌ای

برای تعیین مقدار فلاونوئید، عصاره متانولی با متانول، آلومینیم کلرید ۱۰٪ (۱۰ g) آلومینیم کلرید در ۱۰۰ ml آب مقطر، استات پتاسیم یک M (۲/۴۱ g) در ۱۰ ml آب مقطر) و آب مقطر مخلوط شد. برای تهیه نمونه شاهد، به جای عصاره متانولی تنها از متانول خالص استفاده شد. مخلوط نیم ساعت در تاریکی قرار داده شد و بلافاصله در طول موج ۴۱۵ nm، دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار داده شده و عدد خروجی دستگاه خوانده شد. اعداد به دست آمده برای فلاونوئید با رجوع به منحنی استاندارد، واقعی شدند [۱۳].

۳.۳.۲ ویتامین ث

مقدار ویتامین ث به وسیله تیترا با ۵ و ۱ دی کلروفنول - اندوفنول برحسب mg در ۷۴۴ g وزن نمونه محاسبه گردید [۱۴].

اندازه‌گیری مواد جامد محلول

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی (CETI, ABBE, Belgium) ساخت کشور ژاپن استفاده شد و برحسب درجه بریکس بیان گردید [۱۵].

۴.۳.۲ pH

همچنین برای اندازه‌گیری pH نیز طبق استاندارد ایران به شماره ۲۶۸۵ تمامی pH نمونه‌ها در دمای ۲۰ °C توسط pH متر دیجیتال (PHS-3BW (MICROPROCESSOR) ساخت کشور ایتالیا اندازه‌گیری شد PH/Mv pH meter [۱۶].

۵.۳.۲ درصد خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد بر اساس

روش DPPH

در این آزمایش مقدار درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH به روش باندت و همکاران اندازه‌گیری شد. نمونه‌های آماده‌سازی شده نیز با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل 2800UV/VIS در طول موج ۵۱۷ nm قرائت شد. نمونه شاهد حاوی ۲ ml DPPH و ۲ ml متانول بود. کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفوتومتر با متانول انجام و اعداد به دست آمده توسط رابطه (۴) به درصد مهار تبدیل شد [۱۳].

برای اندازه‌گیری رنگ قارچ دکمه‌ای از نرم‌افزار Image J و همچنین فضای رنگی $L^*a^*b^*$ استفاده گردید. در این اندازه‌گیری تمام نمونه‌ها قبل و پس از فرایند در پلیتی قرار داده شد و با استفاده از اسکنر تصاویر رنگی از نمونه‌ها دریافت گردید و با پلاگین‌های استفاده شده برای نرم‌افزار مربوطه تمامی تصاویر تحلیل شد و مقادیر استخراج شده نسبت به تصاویر قبل و بعد از فرایند به صورت درصد بیان گردید [۱۲]. اندازه‌گیری شاخص قهوه‌ایی شدن و اختلاف رنگ کل جهت توصیف تغییرات رنگی طی نگهداری قارچ تحت شرایط مختلف در معادلات ۲، ۱ و ۳ نشان داده شده است [۱۲].

$$x = \frac{a^* + 1.75 \times L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (1)$$

$$BI = \frac{(100(x - 0.33))}{0.17} \quad (2)$$

$$TCD = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3)$$

TCD=Colour difference

اندیس‌های صفر مربوط به مقادیر خوانده شده از نمونه شاهد قارچ تازه فراوری نشده است.

۳.۲ خصوصیات شیمیایی

۱.۳.۲ اندازه‌گیری فنول کل

برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولی از روش فولین سیو کالتو استفاده شد. بدین منظور ۲ ml از عصاره متانولی (حاوی ۰/۵ g در ۵ ml متانول ۰/۸۰٪) با ۱۰۰ ml فولین سیوکالتیو و ۱/۱۶ ml آب مقطر مخلوط و پس از ۵ الی ۸ دقیقه استراحت، ۳۰۰ ml کربنات سدیم یک مولار حاوی ۱۰/۶ g در ۱۰۰ ml آب مقطر به آن افزوده شد. محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و حمام بخار آب با دمای ۴۰ °C قرار گرفت. در نهایت نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ nm در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شدند. نتایج برحسب ml اسید گالیک در ۱۰۰ g نمونه محاسبه شد [۱۰].

۲.۳.۲ اندازه‌گیری فلاونوئید کل

قرار گرفته است. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار صورت گرفت و داده‌های به‌دست‌آمده از آن با استفاده از نرم‌افزار SAS و آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین به‌منظور بررسی اثر متقابل این فاکتورها از روش LSD استفاده گردید.

نتایج و بحث

۱.۳ بررسی تأثیر فرایند اهمیت بر میزان تغییرات رنگ قارچ دکمه‌ای

$$\text{درصد مه‌ر رادیکال آزاد} = \frac{(Ac-As)}{Ac} \times 100 \quad (۴)$$

۳. آنالیز آماری

فاکتورهای مستقل در این تحقیق شامل گرادیان ولتاژ V/cm، ۷/۵، ۹/۳۷ و ۱۱/۲۵ در سه نوع الکترو، استیل، برنج، آلومینیوم و سه غلظت نمونه‌های نمک اضافه‌شده به فرایند بوده است. فاکتورهای وابسته شامل ویژگی‌های شیمیایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل، فلاونوئید، ویتامین C، pH و مواد جامد محلول و ویژگی‌های فیزیکی که شامل شاخص‌های رنگی در فضای $L^*a^*b^*$ مستقل مورد بررسی

جدول (۲) آنالیز واریانس اثر فاکتورهای گرادیان ولتاژ و نوع الکترو بر میزان L^* ، a^* ، b^* ، شاخص قهوه‌ایی شدن و میزان تغییرات رنگ روی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای

Table 2. Analysis of variance of the effect of voltage gradient factors and electrode type on the amount of L^* ، a^* ، b^* ، browning index and the amount of total color difference on mushroom samples

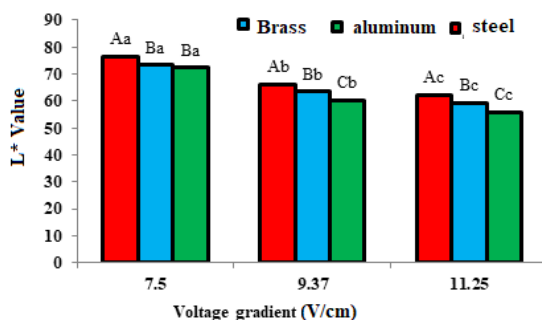
	L^*		a^*		b^*	
	Mean Square	F value	Mean Square	F value	Mean Square	F value
Voltage gradient	139.21**	652.11	10.12**	25.94	2.52ns	71.03
گرادیان ولتاژ						
Electrode type	23.21**	112.09	18.22**	46.68	8.4**	251.91
نوع الکترو						
solution concentration	7.21**	26.36	0.29ns	0.74	2.31ns	69.05
غلظت محلول						
Voltage gradient × Electrode type	4.81*	5.34	0.51ns	1.15	2.91ns	83.21
گرادیان ولتاژ × نوع الکترو						
Voltage gradient × solution concentration	1.51ns	1.32	0.62ns	1.23	1.58ns	46.58
گرادیان ولتاژ × غلظت محلول						
solution concentration × Electrode type	2.21ns	2.29	0.31ns	0.79	0.15ns	4.30
غلظت محلول × نوع الکترو						
	Total different color		Brown index			
Voltage gradient	15.63**	329.44	32.85**	12168.24		
گرادیان ولتاژ						
Electrode type	3.32ns	296.29	29.29**	10850.25		
نوع الکترو						
solution concentration	0.91ns	89.81	3.39ns	231.33		
غلظت محلول						
Voltage gradient × Electrode type	0.81ns	23.21	4.46*	1726.73		
گرادیان ولتاژ × نوع الکترو						
Voltage gradient × solution concentration	0.24ns	14.35	3.20ns	1315.12		
گرادیان ولتاژ × غلظت محلول						
solution concentration × Electrode type	0.38ns	4.47	2.91ns	1012.31		
غلظت محلول × نوع الکترو						

ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری - * نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد - ** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪
ns indicates non-significance - * indicates significance at the 5% level - ** indicates significance at the 1% level

کاهش یافته است. همچنین بیشترین و کمترین مقدار L^* ۷۶/۴۲ (گرادیان ولتاژ ۷/۵ V/cm-الکترو استیل) و ۵۵/۹ (گرادیان ولتاژ ۱۱/۲۵ V/cm-الکترو آلومینیوم) نتیجه شد. کاهش روشنائی نمونه‌ها عمدتاً به دلیل فعال شدن آنزیم‌هایی بود که برای شکل‌گیری رنگ تیره در محصول موردنظر استفاده می‌شوند. این آنزیم‌ها در حین انجام فرآیند حرارت‌دهی فعال شده‌اند و باعث کاهش مقدار روشنائی شده‌اند. به عبارت دیگر، فعالیت آنزیم‌ها باعث تولید رنگ تیره و کاهش روشنائی در محصول می‌شود. از این رو، کاهش مقدار L^* می‌تواند به علت فعالیت آنزیم‌هایی باشد که در فرآیند شکل‌گیری رنگ تیره و قهوه‌ای محصول نقش دارند. نتایج به دست آمده در این قسمت، مشابه نتایج ابیلاشا و همکاران، (۲۰۱۸) بر روی آب‌میوه نیشکر [۱۷] و چاکرپورتی و همکاران، (۲۰۱۴) بر روی میوه گویا با استفاده از روش اهمیک بوده است [۱۸].

۱.۱.۳ بررسی میزان L^*

در جدول (۲) آنالیز واریانس اثر فاکتورهای مستقل بر شاخص رنگی L^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای آورده شده است. بر اساس نتایج مشاهده شد که فاکتورهای مستقل انتخاب‌شده شامل گرادیان ولتاژ، نوع الکترو و غلظت محلول در سطح ۱٪ و گرادیان ولتاژ در نوع الکترو در سطح ۵٪ دارای اثر معنی‌داری بر مقدار L^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای بوده است. همچنین مشاهده شد که اثرات متقابل گرادیان ولتاژ در غلظت محلول و غلظت محلول در نوع الکترو نیز اثر معنی‌داری بر مقدار L^* نمونه‌ها نداشته است. در شکل (۲) اثر گرادیان ولتاژ و نوع الکترو بر مقدار L^* نشان داده شده است. بر طبق شکل (۲) نتیجه شد که مقدار L^* با افزایش گرادیان ولتاژ کاهش معنی‌داری داشته است. همچنین در مقادیر گرادیان ولتاژ ثابت، الکترو استیل دارای بیشترین مقدار L^* بوده است. لازم به ذکر است که مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده به ترتیب در الکترو برنجی و آلومینیومی



شکل (۲) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکترو بر مقدار L^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای

عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکترو ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است.

Fig 2. mutual effect of voltage gradient value and electrode type on L^* value of mushroom samples

Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.

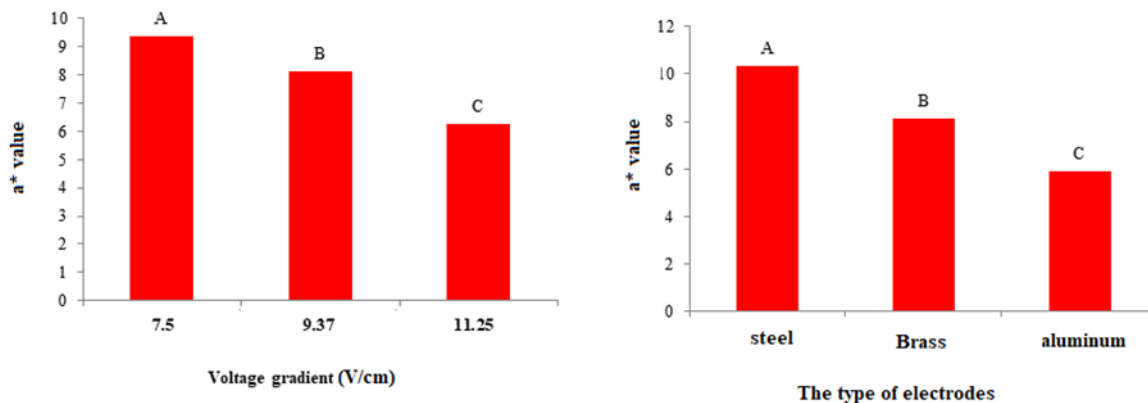
۱٪ داشته است. همچنین فاکتور مستقل غلظت محلول و اثر متقابل گرادیان ولتاژ در نوع الکترو، گرادیان ولتاژ در غلظت محلول و غلظت محلول در نوع الکترو نتوانست اثر معنی‌داری بر مقدار a^* نمونه‌ها داشته باشد. در شکل (۳) اثر گرادیان ولتاژ و نوع الکترو به صورت جداگانه بر مقدار a^* نشان داده شده است. بر طبق شکل (۳) نتیجه شد که مقدار

۲.۱.۳ بررسی میزان a^*

جدول (۲) مقدار آنالیز واریانس اثر فاکتورهای مستقل شامل گرادیان ولتاژ، نوع الکترو و غلظت محلول بر میزان a^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده شد که فاکتورهای مستقل انتخاب‌شده شامل گرادیان ولتاژ و نوع الکترو اثر معنی‌داری در سطح

باعث افزایش دمای آن شود. افزایش دما ممکن است باعث جلوگیری از سنتز رنگ‌دانه‌ها شود و در نتیجه باعث کم‌رنگ شدن محصول شود. همچنین، دمای بالا می‌تواند باعث تخریب آنزیم‌های موجود در محصول شود و در نتیجه به کاهش روشنایی نمونه‌ها منجر شود؛ بنابراین، افزایش گرادیان ولتاژ می‌تواند باعث افزایش دمای نمونه شود و در نتیجه به کاهش میزان روشنایی آن منجر شود. از این رو، برای حفظ کیفیت محصولات کشاورزی در آزمایش‌های اهمیت، باید به‌دقت به تنظیم گرادیان ولتاژ و دمای مناسب توجه شود. مگرو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی آب هندوانه طی فرایند حرارت‌دهی اهمیت به این نتیجه رسیدند که مقدار a^* کاهش یافته است [۱۹].

a^* با افزایش گرادیان ولتاژ کاهش معنی‌داری داشته است. همچنین در مقادیر گرادیان ولتاژ ثابت، الکتروستیل دارای بیشترین مقدار a^* بوده است. لازم به ذکر است که مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده به ترتیب در الکتروستیل و آلومینیومی کاهش یافته است. همچنین بیشترین و کمترین مقدار a^* (گرادیان ولتاژ $7/5$ V/cm - الکتروستیل) و $6/25$ (گرادیان ولتاژ $11/25$ V/cm - الکتروستیل) نتیجه شد. با توجه به اینکه دمای زیاد در محصولات کشاورزی می‌تواند باعث جلوگیری از سنتز رنگ‌دانه‌ها، کم‌رنگ شدن محصول و تخریب آن شود، می‌توان دلیل کاهش میزان روشنایی نمونه‌ها در اثر افزایش گرادیان ولتاژ را به دمای ناشی از آن نسبت داد. با افزایش گرادیان ولتاژ، جریان الکتریکی در محصول افزایش می‌یابد که می‌تواند



شکل (۳) اثر مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکتروستیل بر مقدار a^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

Fig (3) Effect of voltage gradient value and electrode type on a^* value of mushroom samples
Similar letters indicate no significant difference.

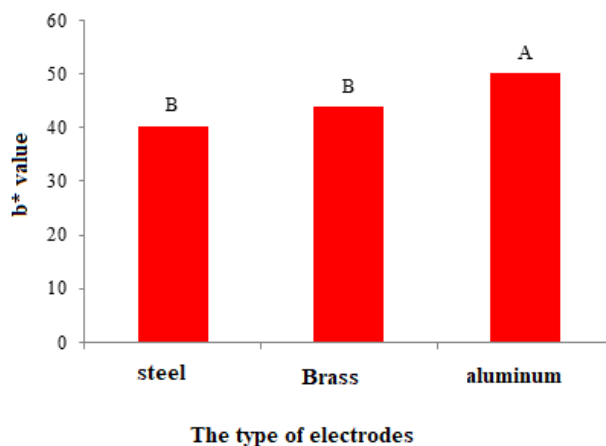
نمونه‌ها نداشته است. همچنین با توجه به مقدار میانگین مربعات ($MS=251.91$) می‌توان نتیجه گرفت فاکتور مستقل دارای بیشترین اثر بر روی مقدار b^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای بوده است. در شکل (۴) اثر نوع الکتروستیل بر مقدار b^* نشان داده شده است بر طبق شکل (۴) نتیجه شد که مقدار b^* به ترتیب در الکتروستیل و برنج با آلومینیوم اختلاف معنی‌داری داشته است. همچنین بیشترین و کمترین مقدار b^* (الکتروستیل) $22/50$ و $40/31$ (الکتروستیل) نتیجه شد. آیشیتا و همکاران در تحقیق خود در سال ۲۰۱۷

۳.۱.۳ بررسی میزان b^*

جدول (۲) آنالیز واریانس اثر فاکتورهای مستقل گرادیان ولتاژ، نوع الکتروستیل و غلظت محلول و بر روی مقدار b^* در نمونه‌های قارچ دکمه‌ای است. براساس نتایج مشاهده شد که فاکتور مستقل نوع الکتروستیل در سطح ۱٪ بر مقدار b^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای بوده است. همچنین نتیجه شد که گرادیان ولتاژ و غلظت محلول و اثرات متقابل گرادیان ولتاژ در نوع الکتروستیل، گرادیان ولتاژ در غلظت محلول و غلظت محلول در نوع الکتروستیل دارای اثر معنی‌داری بر مقدار b^*

حرارت‌دهی اهمیتیک میزان b^* را نسبت به حالت b^* نمونه‌های شاهد افزایش داده است [۲۰].

به این نتیجه رسیدند که در طی فرایند حرارت‌دهی اهمیتیک، تغییرات رنگ آب‌میوه لیمو افزایش خواهد یافت [۱۱].
به‌علاوه آگونیلو-آگویو و همکاران، (۲۰۱۰) در تحقیقی بر روی محصول رب گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که



شکل (۴) اثر نوع الکترود بر مقدار b^*

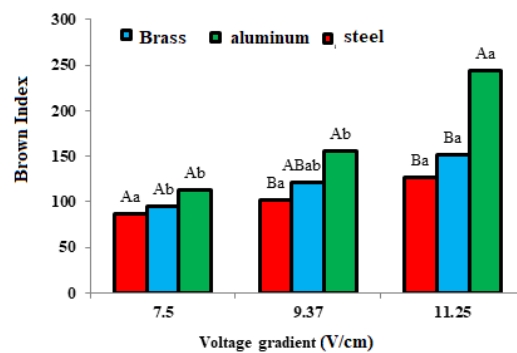
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

Fig 4. Effect of electrode type on b^* value
Similar letters indicate no significant difference.

نشان داده‌شده است بر طبق شکل (۵) نتیجه شد که مقدار شاخص قهوه‌ای شدن با افزایش گرادیان ولتاژ افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین در مقادیر گرادیان ولتاژ ثابت، الکترود آلومینیوم دارای بیشترین مقدار شاخص قهوه‌ای شدن بوده است. لازم به ذکر است که مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده به ترتیب در الکترود برنجی و استیل کاهش یافته است. همچنین بیشترین و کمترین مقدار شاخص قهوه‌ای شدن ۲۴۴/۳۹ (گرادیان ولتاژ ۱۱/۲۵ V/cm -الکترود آلومینیوم) و ۸۶/۳۹ (گرادیان ولتاژ ۷/۵ V/cm -الکترود استیل) نتیجه شد. نگهداری مناسب می‌تواند در پیشگیری از قهوه‌ای شدن مواد غذایی نقش مهمی ایفا کند. علاوه بر اکسیژن و فلزات، آنزیم‌های اکسیداتیو مانند POD نیز می‌توانند باعث تغییر رنگ و شکل مواد غذایی شوند یا بر روی خواص آن‌ها تأثیرگذار باشند؛ که مشابه گزارشت Grimi و همکاران (۲۰۱۱) بوده که به این نتیجه رسیدند، قهوه‌ای شدن با استفاده از اهمیتیک افزایش یافته است [۲۱].

۴.۱.۳ بررسی میزان شاخص قهوه‌ای شدن

بر اساس جدول (۲) آنالیز واریانس اثر فاکتورهای مستقل گرادیان ولتاژ، نوع الکترود و غلظت محلول بر مقدار شاخص قهوه‌ای شدن در نمونه‌های قارچ دکمه‌ای بیان شده است. بر اساس نتایج مشاهده شد که فاکتور مستقل گرادیان ولتاژ و نوع الکترود در سطح ۱٪ بر مقدار شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌های قارچ دکمه‌ای بوده است. همچنین گرادیان ولتاژ در نوع الکترود در سطح ۵٪ دارای اثر معنی‌داری بر پارامتر موردنظر بوده است. در ادامه نتیجه شد که غلظت محلول و اثرات متقابل گرادیان ولتاژ در نوع الکترود، گرادیان ولتاژ در غلظت محلول و غلظت محلول در نوع الکترود دارای اثر معنی‌داری بر مقدار شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها نداشته است. همچنین با توجه به مقدار میانگین مربعات ($MS=12168.24$) می‌توان نتیجه گرفت فاکتور مستقل گرادیان ولتاژ دارای بیشترین اثر بر مقدار شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌های قارچ دکمه‌ای بوده است. در شکل ۵ اثر گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر مقدار شاخص قهوه‌ای شدن



شکل (۵) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر شاخص قهوه‌ای شدن

عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکترود ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است

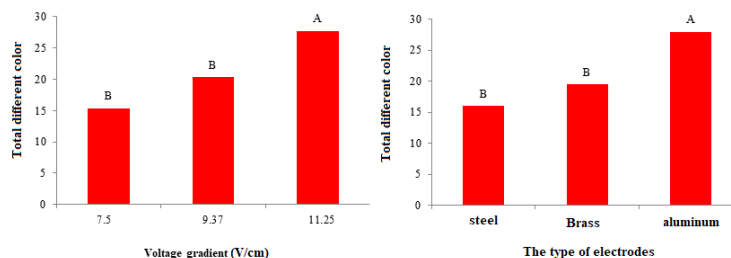
Fig 5. mutual effect of voltage gradient value and electrode type on browning index

Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.

بوده است. در شکل (۶) اثر گرادیان ولتاژ و نوع الکترود به صورت مستقل بر تغییرات میزان رنگ کل نشان داده شده است. بر طبق شکل (۶) نتیجه شد که مقدار تغییرات میزان رنگ کل با افزایش گرادیان ولتاژ افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین در مقادیر گرادیان ولتاژ ثابت، الکترود آلومینیوم دارای بیشترین تغییرات میزان رنگ کل بوده است. لازم به ذکر است که مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده به ترتیب در الکترود برنجی و استیل کاهش یافته است. همچنین بیشترین و کمترین مقدار تغییرات میزان رنگ کل ۲۷/۹۸ (الکترود آلومینیوم) و ۱۶/۰۱ (الکترود استیل) نتیجه شد نتایج به دست آمده مشابه نتایج Bhat روی تغییر رنگ آب میوه bottle gourd در روش گرمادهی اهمیتیک بوده است که با افزایش دما میزان تغییرات رنگ افزایش یافته است [۱۰].

۵.۱.۳ بررسی میزان تغییرات رنگ

بر اساس جدول (۲) مقادیر آنالیز واریانس اثر فاکتورهای مستقل گرادیان ولتاژ، نوع الکترود و غلظت محلول بر مقدار تغییرات رنگ در نمونه‌های قارچ دکمه‌ای بیان شده است. بر اساس نتایج مشاهده شده است که فاکتور مستقل گرادیان ولتاژ و نوع الکترود در سطح ۱٪ بر مقدار تغییرات رنگ نمونه‌های قارچ دکمه‌ای تأثیرگذار بوده است. همچنین مقادیر غلظت محلول و گرادیان ولتاژ در نوع الکترود، گرادیان ولتاژ در غلظت محلول و غلظت محلول در نوع الکترود دارای اثر معنی‌داری بر مقدار تغییرات رنگ نمونه‌ها نبوده است. همچنین با توجه به مقدار میانگین مربعات (MS=329.44) می‌توان نتیجه گرفت فاکتور مستقل گرادیان ولتاژ دارای بیشترین اثر بر مقدار تغییرات رنگ نمونه‌های قارچ دکمه‌ای



شکل (۶) اثر مقدار گرادیان ولتاژ (الف) و نوع الکترود (ب) بر تغییرات کلی رنگ

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

Fig 6. The effect of voltage gradient value (a) and electrode type (b) on changes in total color. Similar letters indicate no significant difference.

۲.۳ خواص شیمیایی

همچنین برای اثر متقابل نیز برای اثر متقابل گرادیان ولتاژ و نوع الکترود نسبت به هم برای میزان کل فنول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح آماری یک درصد و برای محتوای فلاونوئید، ویتامین ث و بریکس در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار شده است که با توجه به معنی‌دار شدن موارد آزمون LSD انجام شد. همچنین اثر متقابل غلظت محلول در گرادیان ولتاژ و نوع الکترود معنی‌دار نشده است.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های کیفی قارچ دکمه‌ای طی فرایند اهمیتیک در جدول (۳) نشان داده شده است که با توجه به جدول (۳) تمامی فاکتورهای مستقل مورد اندازه‌گیری در تمامی فاکتورها به جز غلظت محلول در محتوای فنول کل معنی‌دار شده‌اند. در این بین فقط نوع الکترود برای محتوای فلاونوئید در سطح ۵٪ معنی‌دار شده است و مابقی موارد در سطح ۱٪ آماری معنی‌دار شده‌اند.

جدول (۳) نتایج حاصل از آنالیز واریانس اثر فاکتورهای گرادیان ولتاژ، نوع الکترود و غلظت محلول بر روی خصوصیات کیفی قارچ دکمه‌ای طی فرایند اهمیتیک

Table 3. the results of variance analysis of the effect of voltage gradient factors, electrode type and solution concentration on the quality characteristics of mushrooms during the ohmic process

	Antioxidant		Phenol		Flavonoid	
	Mean Square	F value	Mean Square	F value	Mean Square	F value
Voltage gradient گرادیان ولتاژ	1168.02	327.15**	0.581	171.34**	0.033	174.09**
Electrode type نوع الکترود	583.39	163.40**	0.606	178.8**	0.012	6.67*
solution concentration غلظت محلول	374.52	104.90**	0.004	1.23	0.0092	47.44**
Voltage gradient × Electrode type گرادیان ولتاژ × نوع الکترود	23.0	6.45**	0.0062	18.45**	0.0012	6.50*
Voltage gradient × solution concentration گرادیان ولتاژ × غلظت محلول	2.56	0.72 ns	0.0008	1.88 ns	0.0000007	0.000001 ns
solution concentration × Electrode type غلظت محلول × نوع الکترود	1.806	0.51 ns	0.0006	2.60 ns	0.00000008	0.0000002 ns
	Vitamin C		pH		Brix	
Voltage gradient گرادیان ولتاژ	866.32	60.25**	2.13	194.44**	5.24	108.61**
Electrode type نوع الکترود	261.11	18.16**	1.149	89.67**	1.92	39.85**
solution concentration غلظت محلول	154.13	10.72**	0.19	3.3*	0.73	15.24**
Voltage gradient × Electrode type گرادیان ولتاژ × نوع الکترود	44.16	3.07*	0.18	3.18*	0.14	3.05*
Voltage gradient × solution concentration گرادیان ولتاژ × غلظت محلول	32.22	2.24 ns	0.08	1.19 ns	0.098	2.03 ns
solution concentration × Electrode type غلظت محلول × نوع الکترود	2.65	0.18 ns	0.06	0.98 ns	0.021	0.44ns

ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری - * نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد - ** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪
ns indicates non-significance - * indicates significance at the 5% level - ** indicates significance at the 1% level

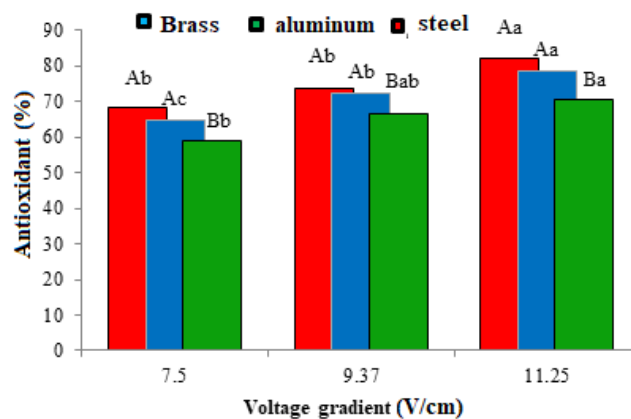
۱.۲.۳ آنتی‌اکسیدان

استیل توانسته بیشترین مقدار آنتی‌اکسیدان را در نتایج نشان دهد. همچنین در سه گرادیان ولتاژ تفاوت معنی‌داری بین الکترود استیل و آلومینیوم مشاهده نشده است اما این دو با الکترود برنج تفاوت معنی‌داری را داشته‌اند. همچنین تفاوت گرادیان ولتاژ در یک نوع الکترود نیز برای گرادیان‌های ۷/۵ V/cm و ۹/۳۷ V/cm تفاوت معنی‌داری را

برای فعالیت آنتی‌اکسیدان که در شکل ۷ نشان داده شده است افزایش گرادیان ولتاژ سبب شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در نمونه‌ها باقی بماند و از این رو در گرادیان ولتاژ ۱۱/۲۵ V/cm بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شده است و در میان الکترودها نیز الکترود نوع

بسیار بیشتر زمان فرآیند حرارتی نسبت به ولتاژ، استفاده از زمان‌های کمتر (ولتاژهای بالاتر) منجر به حفظ بیشتر مقدار محتوای آنتی‌اکسیدان خواهد شد. کاهش محتوای آنتی‌اکسیدان می‌تواند به دلیل آسیب‌دیدگی بیشتر سلول در زمان‌های بیشتر و ولتاژهای کمتر و در نتیجه تخریب ترکیبات آنتی‌اکسیدانی اتفاق بیافتد. [۲۲].

در محتوای آنتی‌اکسیدان نشان نداده است باینکه مقدار آن اندکی با افزایش گرادیان ولتاژ افزایش پیدا کرده است اما همین مقدار تفاوت معنی‌داری را با گرادیان ولتاژ V/cm ۱۱/۲۵ در یک نوع الکترود داشته‌اند. در این بخش، افزایش ولتاژ که به دستگاه مورد استفاده اعمال می‌شود، باعث کاهش زمان لازم برای فرآیند حرارتی می‌شود. با توجه به تأثیر



شکل (۷) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر محتوای آنتی‌اکسیدان

عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکترود ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است

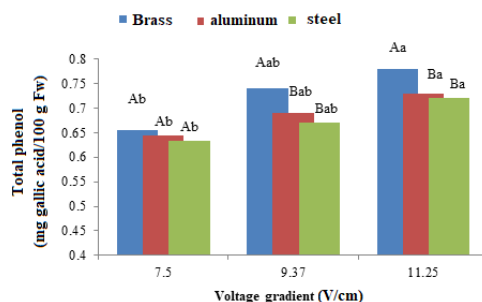
Fig 7. mutual effect of voltage gradient value and electrode type on antioxidant content

Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.

پیدا کند. این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش شدت عملیات حرارتی در این پیش‌تیمار باشد که منجر به تأثیر بر تمامیت ساختار سلول و در نتیجه مهاجرت و تلفات اجزا توسط نشت یا تجزیه واکنش‌های مختلف شیمیایی شامل آنزیم‌ها، نور و اکسیژن می‌شود. این تجزیه واکنش‌ها ممکن است منجر به کاهش معنی‌داری در خواص بیوشیمیایی مورد بررسی شود [۲۳]. نتایج حاصل‌شده از این تحقیق مشابه با نتایج تحقیقاتی است که توسط ماکرو و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی محصول آب‌لیمو در طی فرآیند حرارت‌دهی انجام‌شده است. در این تحقیق نیز مشاهده شده است که میزان ترکیبات فنولی آب‌لیمو کاهش پیدا کرده است [۱۹].

۲.۲.۳ محتوای فنول

شکل (۸) نشان اثر گرادیان ولتاژ و نوع الکترود در شکل (۸) نشان داده شده که با توجه به موارد فوق سبب شده است که مقدار محتوای فنول کل بیشتری در نمونه‌های قارچ دکمه‌ای پخته شده مشاهده گردد که در این بین تفاوت معنی‌داری نیز بین الکترود با جنس‌های مختلف وجود داشته است و این تفاوت در گرادیان ولتاژ V/cm ۱۱/۲۵ و V/cm ۹/۳۷ بین الکترود استیل با دو نوع الکترود دیگر بوده است؛ اما در گرادیان ولتاژ V/cm ۷/۵ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است و نتوانسته تفاوت معنی‌داری را ایجاد کند. در ولتاژهای کمتر که زمان بیشتری در فرآیند حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ممکن است محتوای خواص بیوشیمیایی کاهش



شکل (۸) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر محتوای فنول کل

عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکترود ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است

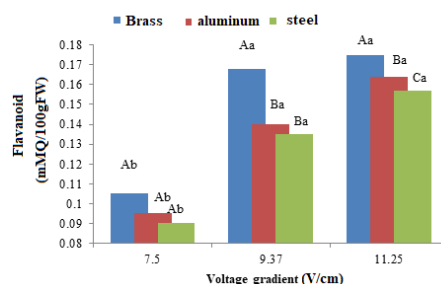
Fig 8. mutual effect of voltage gradient value and electrode type on total phenol content

Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.

مشاهده شده است. همان‌طور که بیان شده است در این تحقیق رابطه معکوسی بین ولتاژ و زمان فرآیند حرارتی وجود دارد. در نتیجه با در نظر گرفتن ولتاژهای کمتر (زمان بیشتر در اعمال فرآیند حرارتی) به‌عنوان حالتی که سبب ایجاد اختلال، پارگی و آسیب بیشتر به سلول و در نتیجه آزادی ترکیبات مربوط به خواص فلاونوئید مختلفی نظیر هسپرتین، هسپریدین، اریودیکتیول، کوئرستین، کوئرستین و روتین در قارچ دکمه‌ای شده است؛ دلیل این نتایج این‌گونه بیان شده است. در برخی از مطالعات نیز کاهش محتوای فنولی بر اثر زمان بیشتر اعمال فرآیند حرارتی در نمونه‌های مختلف مانند کشمش خشک، زردآلو و پرتقال پوست شده گزارش شده است [۲۴-۲۷].

۳.۲.۳ محتوای فلاونوئید

در شکل (۹) نتایج اثر متقابل برای محتوای فلاونوئید آورده شده است. با توجه به شکل (۹) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از گرادیان ولتاژ بالاتر سبب بالاتر بودن محتوای فلاونوئید در قارچ‌های دکمه‌ای شده است و همین امر سبب شده است که مقدار کمتری محتوای فلاونوئید طی پخته شدن کاسته شود. همچنین این مورد برای الکترود نوع استیل نسبت به بقیه الکترودها بیشتر بوده است و در الکترود نوع استیل بیشترین مقدار محتوای فلاونوئید به دست آمده است. همچنین با توجه به شکل (۹) در گرادیان ۷/۵ V/cm تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین الکترودها نبوده است اما این مورد برای گرادیان‌های ۹/۳۷ V/cm و ۱۱/۲۵ V/cm بوده است و تفاوت معنی‌داری بین الکترودهای مورد استفاده



شکل (۹) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر فلاونوئید

عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکترود ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است

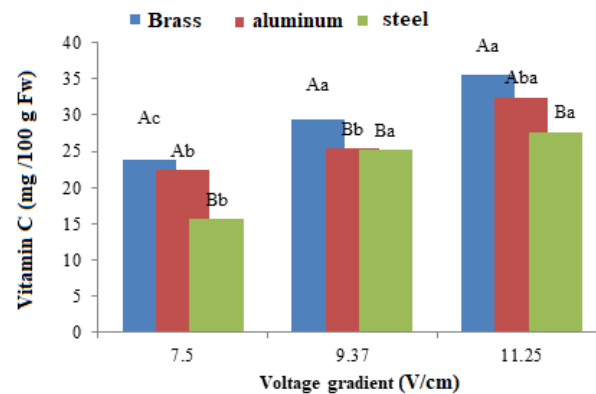
Fig 9. mutual effect of voltage gradient value and electrode type on flavanoid

Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.

اینکه اثر زمان در فرآیندهای حرارتی بسیار بیشتر از اثر ولتاژ بر خواص بیوشیمیایی است، می‌توان دلیل مشاهده کاهش زمان فرآیند حرارتی با افزایش ولتاژ را این‌گونه بیان کرد که با افزایش ولتاژ اهمیت، زمان لازم برای فرآیند حرارتی کاهش می‌یابد و در نتیجه خواص بیوشیمیایی بهتری برای نمونه‌های قارچ دکمه‌ای به دست می‌آید. در طراحی آزمایش‌ها نیز، با توجه به این موضوع که اثر زمان بر خواص بیوشیمیایی بیشتر است، زمان فرآیند حرارتی را با افزایش ولتاژ کاهش داده و به این شکل خواص بیوشیمیایی بهبود یافته است.

۴.۲.۳ ویتامین C

نتایج حاصل برای ویتامین C در گرادیان ولتاژ و نوع الکتروود در شکل (۱۰) نشان داده شده که با توجه به نتایج به دست آمده مقدار محتوای ویتامین C بیشتری در نمونه‌های قارچ دکمه‌ای پخته شده در گرادیان ولتاژ بالا مشاهده گردد که در این بین تفاوت معنی‌داری نیز بین الکتروود با جنس‌های مختلف وجود داشته است و این تفاوت در گرادیان ولتاژ ۹/۳۷ V/cm بین الکتروود استیل با دو نوع الکتروود دیگر بوده است. همچنین در یک گرادیان ولتاژ ثابت نیز استفاده از الکتروود نوع استیل سبب باقی ماندن بیشتر ویتامین C در قارچ‌های دکمه‌ای پخته شده را نشان داده است. با توجه به



شکل (۱۰) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکتروود بر میزان ویتامین C

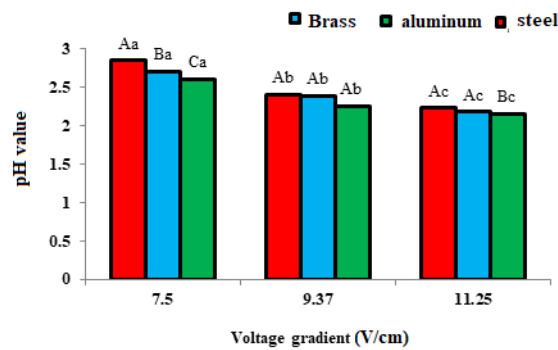
عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکتروود ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است

Fig 10. The mutual effect of the amount of voltage gradient and the type of electrode on the amount of vitamin C. Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.

ولتاژ ۳۷/۹ V/cm، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف نوع الکتروود مشاهده نشده است. همچنین، در یک نوع الکتروود ثابت تمامی مقادیر گرادیان ولتاژ دارای اثر معنی‌داری بر مقدار pH در قارچ‌های دکمه‌ای پخته شده بوده است. باید توجه داشت که مقدار pH در قارچ دکمه‌ای ناشی از اسیدهای آلی متعددی است که طی مراحل مختلف متابولیسم محصول بیوسنتز شده و دائماً در حال تبدیل است.

۵.۲.۳ pH

نتایج حاصل برای مقدار pH در گرادیان ولتاژ و نوع الکتروود در شکل (۱۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داده‌اند که با افزایش ولتاژ در گرادیان، مقدار pH کاهش یافته و در نمونه‌های قارچ دکمه‌ای پخته شده در گرادیان ولتاژ بالا، مقادیر pH کمتری نسبت به گرادیان‌های ولتاژ پایین‌تر مشاهده شده است. همچنین، در سطوح مختلف نوع الکتروود در گرادیان ولتاژ ۵/۷ V/cm و ۲۵/۱۱ V/cm، تفاوت معنی‌داری در مقادیر pH دیده شده است؛ اما در گرادیان



شکل (۱۱) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر مقدار پی اچ

عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکترود ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است

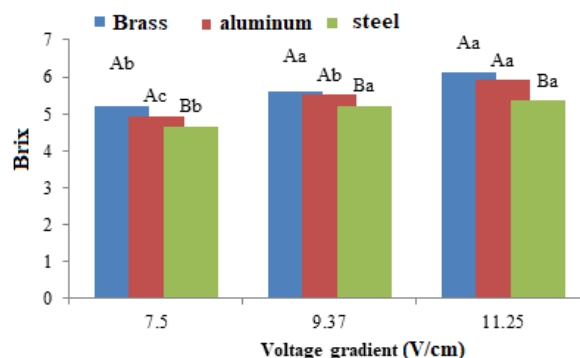
Fig 11. mutual effect of voltage gradient value and electrode type on pH value

Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.

۱۱/۲۵ مشاهده نشده است اما این دو گرادیان تفاوت معنی‌داری را با گرادیان ولتاژ ۷/۵ V/cm داشته است. نمونه‌های دارای گرادیان ولتاژ بالاتر، مواد جامد محلول بالاتری نسبت به مقادیر گرادیان ولتاژ کمتر داشتند که احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز در محدوده دمایی بالاتر [۲۸] و یا به دلیل افزایش موقتی تنفس و تبدیل مواد نشاسته‌ای به قند در دماهای بالاتر باشد [۲۹]. این نتایج در محصول گوجه‌فرنگی [۳۰] و میوه توت‌فرنگی [۳۱] نیز گزارش شده است.

۶.۲.۳ مواد جامد محلول

برای مواد جامد محلول در شکل (۱۲) با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه اثر متقابل می‌توان بیان کرد افزایش گرادیان ولتاژ سبب افزایش مواد جامد محلول شده است و همچنین در مجموع در هر گرادیان ولتاژ می‌توان مشاهده کرد که تفاوت معنی‌دار بین الکترود نوع استیل و آلومینیوم به دست نیامده است اما این موارد با الکترود نوع برنج تفاوت معنی‌داری داشته است. همچنین در یک نوع الکترود ثابت تفاوت معنی‌داری بین گرادیان ولتاژ ۹/۳۷ V/cm و ۷/۵ V/cm



شکل (۱۲) اثر متقابل مقدار گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر مواد جامد محلول

عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت با حروف مشابه بزرگ و عدم معنی‌داری در یک نوع الکترود ثابت با حروف کوچک مشابه نشان داده شده است

Fig 12. mutual effect of voltage gradient value and electrode type on dissolved solids

Non-significance in a fixed voltage gradient is indicated by similar capital letters and non-significance in a fixed electrode type is indicated by similar lower-case letters.



به ترتیب در الکترودهای استیل، برنج و آلومینیوم مشاهده شد. در بخش خواص شیمیایی در پارامترهای فعالیت آنتی-اکسیدانی، محتوای فنول کل، فلاونوئید، ویتامین ث و مواد جامد محلول نتایج مشابهی به دست آمد؛ به طوری که با افزایش مقدار گرادیان ولتاژ مقدار این پارامترها افزایش معنی داری داشته است. همچنین به ترتیب در الکترودهای استیل، برنج و آلومینیوم کاهش معنی داری مشاهده شد. در پارامتر pH با افزایش مقدار گرادیان ولتاژ مقدار این پارامتر کاهش معنی داری داشت. همچنین به ترتیب در الکترودهای استیل، برنج و آلومینیوم افزایش معنی داری مشاهده شد.

۴. نتیجه گیری

در بررسی خواص فیزیکی نمونه های قارچ دکمه ای نتیجه شد که با افزایش مقدار گرادیان ولتاژ، مقدار L^* و a^* کاهش معنی داری داشته است. همچنین کاهش معنی داری در مقدار L^* و a^* به ترتیب در نوع الکترودهای استیل، برنج و آلومینیوم مشاهده شد. در بررسی مقدار b^* نیز افزایش معنی داری در این پارامتر به ترتیب در الکترودهای استیل، برنج و آلومینیوم مشاهده شد. با افزایش گرادیان ولتاژ مقدار شاخص قهوه ای شدن و تغییرات رنگ کل افزایش معنی داری داشته است. همچنین افزایش شاخص قهوه ای شدن و تغییرات رنگ کل

منابع

- [1] Yildiz-Turp, G., Sengun, I., Kendirci, P., & Icier, F. (2013). Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Sci*, 93(3), 441–448. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.10.013
- [2] Vahedi Torshizi, M., & Kashaninejad, M. (2022). Investigation of Changes in the Qualitative Properties of Sour Orange Juice during the Ohmic Heating Process. *Food Engineering Research*, 21(2), 1–14.
- [3] Srivastav, S., & Roy, S. (2014). Changes in electrical conductivity of liquid foods during ohmic heating. *Int J Agric Biol Eng*, 7(5), 133–138. doi: 10.3965/j.ijabe.20140705.015
- [4] Vahedi Torshizi, M., Azadbakht, M., & Kashaninejad, M. (2020). Application of response surface method to energy and exergy analyses of the ohmic heating dryer for sour orange juice. *Fuel*, 278, 118261.
- [5] Darvishi, H., Koushesh Saba, M., Behroozi-Khazaei, N., & Nourbakhsh, H. (2020). Improving quality and quantity attributes of grape juice concentrate (molasses) using ohmic heating. *J Food Sci Technol*, 57(4), 1362–1370.
- [6] Vahedi Torshizi, M., Azadbakht, M., & Kashaninejad, M. (2020). A study on the energy and exergy of Ohmic heating (OH) process of sour orange juice using an artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM). *Food Sci & Nutri*, 8(8), 4432–4445. doi: 10.1002/fsn3.1741
- [7] Bozkurt, H., & Icier, F. (2010). Exergetic performance analysis of ohmic cooking process. *J Food Eng*, 100(4), 688–695. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.05.020
- [8] Azadbakht, M., Torshizi, M. V., & Kashaninejad, M. (2020). Application of the response surface method in the analysis of ohmic heating process performance in sour orange juice processing. *Agri Eng Inte: CIGR Journal*, 22(3), 250–261.
- [9] Avila, I. M. L. B., & Silva, C. L. . (1999). Modeling kinetics of thermal degradation of color in peach puree. *J Food Eng*, 39, 161–166.
- [10] Bhat, S., Saini, C. S., & Sharma, H. K. (2017). Changes in total phenolic content and color of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) juice upon conventional and ohmic blanching. *Food Sci Biotech*, 26(1), 29–36. doi: 10.1007/s10068-017-0004-7
- [11] Ishita, C., & Athmaselvi, K. A. (2017). Changes in pH and colour of watermelon juice during ohmic heating. *Inte Food Res J*, 24(2), 741–746.
- [12] Jafarzadeh, S., Azadbakht, M., Varasteh, F., & Vahedi Torshizi, M. (2022). Effects of various coatings and packing materials on persimmon fruit color indexes during quasi-static loading. *Iran Food Sci and Tech Res J*, 18(3), 1–14. doi: 10.22067/IFSTRJ.2021.72937.1098
- [13] Azadbakht, M., & Vahedi Torshizi, M. (2020). The Antioxidant Activity Components Change of Pears Subject to Static and Dynamic Loads. *Inter J Fruit Sci*, 00(00), 1–21. doi: 10.1080/15538362.2020.1718053
- [14] Azadbakht, M., Rezaeiasl, A., Mahmoodi, M. J., Vahedi Torshizi, M., & Hashemi Shabankareh, S. (2021). Evaluation of ambient light and moisture, and edible coatings in different storage period, on pressurized kiwifruit antioxidant properties. *J of Food Measur Char*, 15(1), 697–706. doi: 10.1007/s11694-020-00674-z
- [15] S Jafarzadeh, Sajad, Azadbakht, M., Varasteh, F., & Torshizi, M. V. (2022). The antioxidant properties of compressed persimmon fruit using putrescine coatings and polyamine films. *Agri Eng*



Inte: CIGR Journal, 24(2), 207–226.

[16] Hashemi, M., Ramezani, V., Seyedabadi, M., Ranjbar, A. M., Jafari, H., Honarvar, M., & Fanaei, H. (2017). Formulation and optimization of oral mucoadhesive patches of myrtus communis by box behnken design. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 7(3), 441.

[17] Abhilasha, P., & Pal, U. S. (2018). Effect of Ohmic Heating on Quality and Storability of Sugarcane Juice. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 2856–2868. doi: 10.20546/ijcmas.2018.701.340

[18] Chakraborty, I., & Athmaselvi, K. A. (2014). Changes in Physicochemical Properties of Guava Juice during Ohmic Heating. *J Ready To Eat Food*, 1(4), 152–157.

[19] Makroo, H. A., Saxena, J., Rastogi, N. K., & Srivastava, B. (2017). Ohmic heating assisted polyphenol oxidase inactivation of watermelon juice: Effects of the treatment on pH, lycopene, total phenolic content, and color of the juice. *J Food Proc Preser*, 41(6), 1–9. doi: 10.1111/jfpp.13271

[20] Aguiló-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2010). Color and viscosity of watermelon juice treated by high-intensity pulsed electric fields or heat. *Innovative Food Sci Emerging Technol*, 11(2), 299–305. doi: 10.1016/j.ifset.2009.12.004

[21] Grimi, N., Mamouni, F., Lebovka, N., Vorobiev, E., & Vaxelaire, J. (2011). Impact of apple processing modes on extracted juice quality: Pressing assisted by pulsed electric fields. *J Food Eng*, 103(1), 52–61. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.09.019

[22] Gavahian, M., & Chu, R. (2022). Ohmic Heating Extraction at Different Times, Temperatures, Voltages, and Frequencies: A New Energy-Saving Technique for Pineapple Core Valorization. *Foods*,

11(14), 2015.

[23] Youssef, K. M., & Mokhtar, S. M. (2014). Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of Portulaca oleracea L. leaves. *J Nutr Food Sci*, 4(6), 1.

[24] Izli, N., İzli, G., & Taskin, O. (2017). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*, 37, 604–612.

[25] Carranza-Concha, J., Benlloch, M., Camacho, M. M., & Martínez-Navarrete, N. (2012). Effects of drying and pretreatment on the nutritional and functional quality of raisins. *Food Biopr Proc*, 90(2), 243–248.

[26] Bushra, S., Farooq, A., Muhammad, A., & Nazamid, S. (2012). Effect of drying techniques on the total phenolic contents and antioxidant activity of selected fruits. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(1), 161–167.

[27] Chen, M., Yang, D., & Liu, S. (2011). Effects of drying temperature on the flavonoid, phenolic acid and antioxidative capacities of the methanol extract of citrus fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) peels. *Inte J oFood Scie & Tech*, 46(6), 1179–1185.

[28] Ranwala, A. P., Suematsu, C., & Msuda, H. (1992). Soluble and wall-bound invertases in strawberry fruit. *Pla Scie*, 84(1), 59–64.

[29] Klein, B. P., & Perry, A. K. (1982). Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographical areas of the United States. *J Food Scie*, 47(3), 941–945.

[30] Lurie, S., & Klein, J. D. (1992). Calcium and Heat Treatments to Improve Storability of Anna Apples. *HortScience*, 27(1), 36–39.

[31] Garcia, J. M., Aguilera, C., & Albi, M. A. (1995). Postharvest heat treatment on Spanish strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Tudla). *J Agric Food Chem*. 43(6), 1489–1492.