مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۱ شماره ۱/ سال ۱۴۰۰/ صفحات ۳۳ تا ۵۴

DOI: 10.22034/fr.2021.31904.1643

اثر گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر ویژگی‌های کیفی آب هویج در حرارت‌دهی اهمیک

اردشیر کرمیان[۱]، عیسی حزباوی*[۲] و فیض اله شهبازی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۳۰

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیو سیستم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

[۲] به‌ترتیب استادیار و دانشیار گروه مکانیک بیو سیستم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

* مسئول مکاتبه: Email: hazbavi.i@lu.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: حرارت‌دهی اهمیک که به عنوان حرارت‌دهی ژول نیز شناخته می‌شود، یکی از روش‌های حرارت‌دهی محصولات غذایی است. گرمایش اهمیک یک فرآیند حرارت‌دهی پیشرفته است که در آن ماده غذایی بعنوان مقاومت الکتریکی عمل می‌کند .**هدف**: هدف از انجام این تحقیق بررسی ویژگی‌های کیفی آب هویج مانند تغییرات رنگ، pH و همچنین انرژی مصرفی ویژه می‌باشد. **روش کار**: سامانه آزمایشگاهی حرارت‌دهی اهمیک شامل الکترودهایی است که با مواد غذایی تماس داشته و به موجب آن الکتریسیته از طریق ماده غذایی و با استفاده از تغییر ولتاژ منتقل می‌گردد. در این تحقیق از یک سیستم گرمایش اهمیک برای تغلیظ آب هویج استفاده شد و اثر گرمایش اهمیک بر تغییر کلی رنگ (ΔE)، درصد تغییر pH و میزان مصرف انرژی ویژه آب هویج در گرادیان‌های مختلف ولتاژ (۱۵، ۲۰ و ۲۵ ولت بر سانتی‌متر) با استفاده از الکترودهای مختلف (استیل، مس، آلومینیوم و روی) بررسی شد. **نتایج**: نتایج نشان داد که با افزایش گرادیان ولتاژ، انرژی مصرفی ویژه کاهش یافت. الکترود مس بهترین عملکرد را از نظر درصد تغییر pH، مصرف انرژی ویژه و تغییر کلی رنگ (ΔE) داشت. انرژی مصرفی ویژه از ۳/۴۵ تا ۳/۸۷ مگا ژول بر کیلوگرم به ترتیب برای الکترود مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ ولت بر سانتی‌متر و الکترود استیل در گرادیان ولتاژ ۱۵ ولت بر سانتی‌متر تغییر یافت. همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل جنس الکترود و گرادیان ولتاژ بر تغییر کلی رنگ (ΔE)، درصد تغییرات pH و انرژی مصرفی ویژه آب هویج معنی‌دار بود. انرژی مصرفی ویژه از ۳/۴۵ تا ۳/۸۷ مگا ژول بر کیلوگرم به ترتیب برای الکترود مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ ولت بر سانتی‌متر و الکترود استیل در گرادیان ولتاژ ۱۵ ولت بر سانتی‌متر تغییر یافت. **نتیجه‌گیری نهایی**: در این تحقیق بهترین عملکرد سامانه حرارت‌دهی اهمیک با کمترین انرژی مصرفی، کمترین تغییرات کلی رنگ (ΔE) و کمترین تغییرات pH مربوط به الکترود مس و گرادیان ۲۵ ولت بر سانتی‌متر بوده است.

واژگان کلیدی: آب هویج، حرارت‌دهی اهمیک، نوع الکترود، گرادیان ولتاژ، ویژگی‌های کیفی

مقدمه

هویج یک سبزی ریشه‌دار یا غده‌ای خوراکی است که می‌توان آن را خام یا خردشده یا رنده‌شده در سالاد مصرف نمود و بیشتر در پخت سوپ‌ها و خورش‌ها کاربرد دارد. هویج دارای مقادیر بالای بتاکارتن به عنوان پیش‌ساز ویتامین A است؛ به‌طوری‌که مصرف روزانه ۱۰۰ گرم از این سبزی، باعث تامین ۱۷ درصد از کل ویتامین A مورد نیاز بدن می‌گردد (فان ۲۰۰۵).

میزان تولید هویج در کشور، ۴۰ هزار تن، سطح زیرکشت ۱۶۰۰ هکتار و متوسط عملکرد ۲۵ تن در هکتار است. استان‌های آذربایجان شرقی، خوزستان، اصفهان و زنجان بیشترین سهم را در تولید هویج کشور دارا می‌باشند (ایاسه و همکاران ۱۳۹۶). در حال حاضر، بزرگ‌ترین صادرکنندگان هویج در آسیا را کشورهای چین، سوریه و ترکیه و بزرگ‌ترین واردکنندگان را کشورهای تایلند، هنگ‌کنگ، ژاپن، کره، مالزی، عربستان، سنگاپور و امارات متحده عربی تشکیل می‌دهند (ژو و همکاران ۲۰۰۹). آب هویج یکی از آب میوه های پرمصرف و سلامتی‌بخش است و منبع غنی ازکاروتنوئیدها، مانند بتا کاروتن است که مسؤول رنگ نارنجی آن بوده و پیش ساز ویتامین A می‌باشد. مطالعات صورت گرفته نشان داده است مصرف هویج و محصولات آن مانند آب هویج باعث کاهش خطر ابتلاء به بسیاری از بیماری ها از جمله بیماری های قلبی عروقی و کاهش خطر پیشرفت انواع سرطان ها می‌شود (هسیه و کو ۲۰۰۸; ژو و همکاران ۲۰۰۹).

در روش‌های مرسوم حرارت‌دهی مواد غذایی به علت انتقال گرما به روش هدایت و وجود سطح داغ در تماس با ماده غذایی، ذرات نزدیک به سطح نسبت به ذرات دورتر بیشتر در معرض حرارت قرار می‌گیرند؛ بنابراین در ترکیبات غذایی تخریب ایجاد شده و احتمال سوختن بخشی از غذا وجود دارد (کمالی و فرهناکی ۲۰۱۵). گرمایش اهمیک یک فرآیند حرارتی است که با عبور جریان متناوب از میان ماده غذایی، منجر به تولید گرما می‌گردد. این سیستم گرمایشی از لحاظ تولید گرما و انتقال حرارت و همچنین از لحاظ توزیع دما که در طول گرمایش اتفاق می‌افتد، با روش‌های مرسوم گرمایش متفاوت است. مطالعات نشان می‌دهند که این روش دارای یکنواختی حرارتی بسیار بالا، دوستدار محیط زیست، راندمان بالا و کنترل آسان نسبت به دیگر تکنیک‌های حرارتی رایج است (درویشی و همکاران ۲۰۱۵). همچنین گرمایش اهمیک به عنوان یک روش برای غیر فعال نمودن فعالیت میکروبی از قبیل پاستوریزه کردن، عصاره‌گیری، آب‌زدایی یا تبدیل جامد به مایع (ذوب) مورد استفاده قرار می‌گیرد (پریرا ۲۰۰۷). آبمیوه‌ها حاوی حداقل ۷۸ درصد آب می‌باشند. فرآیند تغلیظ این مواد معمولاً توسط تبخیر و جداسازی آب صورت می‌گیرد. بسیاری از محصولات کشاورزی به دلیل رطوبت بالا بسیار سریع فاسد شده، که این امر انبارداری آنها را با مشکلات خاصی مواجه می‌سازد. همچنین با توجه به فصلی بودن این محصولات و از طرفی تقاضا برای مصرف آن در فصول دیگر، نیاز به فرآوری این محصولات (مانند خشک‌کردن و تغلیظ-کردن عصاره آن) امری ضروری به نظر می‌رسد (درویشی و همکاران ۲۰۱۳). استفاده از تکنولوژی گرمایش اهمیک به قرن نوزدهم بر می¬گردد. ولی کاربردهای تجاری بسیار موفق آن در فرآیند حرارتی مواد غذایی در دهه ۱۹۹۰ به بعد شکل گرفت. مقدار گرمای تولید شده در گرمایش اهمیک به طور مستقیم به میزان مقاومت الکتریکی ماده غذایی و گرادیان ولتاژ اعمال شده بستگی دارد (مارکوس ۲۰۱۰). گرمایش اهمیک نام خود را از قانون اهم که رابطه شناخته شده بین جریان، ولتاژ و مقاومت الکتریکی است، گرفته است. در گرمایش اهمیک ماده غذایی که بین الکترودها قرار می‌گیرد، نقش یک مقاومت در مدار الکتریکی را ایفا می-کند. این ماده غذایی باید از لحاظ فیزیکی قادر به انتقال جریان الکتریسته باشد (سکر و لی ۲۰۱۴). مطالعات گسترده محققین در زمینه گرمایش اهمیک و استفاده از آن به عنوان تکنیک جدید در صنایع غذایی در سالیان اخیر نشانگر کارآمدی این روش می‌باشد. متاسفانه در کشور ما هنوز مطالعه کاملی بر روی این روش صورت نگرفته است. گزارشی نشان داده است که زمان فرآیند تولید رب گوجه‌فرنگی به روش گرمایش اهمیک ۳۶ برابر کمتر از روش هدایت حرارتی (دیگ بخار) می-باشد. در این حالت راندمان حرارتی سیستم اهمیک (۶۷ الی ۸۳ درصد) تقریبا ۷ الی ۲۱ برابر بیشتر از دیگ بخار (۴ الی ۱۰ درصد) می‌باشد. همچنین بیان شده است که اختلاف دمای نقاط مختلف ماده غذایی طی گرمایش اهمیک از۱ الی ۳ درجه سانتی‌گراد متغیر است (حسین‌پور و همکاران ۲۰۱۴). در گزارشی دیگر نشان داده شده است که به‌کارگیری روش حرارت‌دهی اهمیک سبب افزایش کیفیت و کاهش انرژی مصرفی برای

تغلیظ آب انار می¬گردد (درویشی و همکاران ۲۰۱۳). در تحقیقی بیان شده است که با افزایش میزان مواد محلول در آب پرتقال هدایت الکتریکی افزایش و زمان فرآیند به طور معنی‌دار کاهش یافته است (آیسر و ایلیکالی ۲۰۰۵). در تحقیقی دیگر گزارش شده است که به‌کارگیری فرآیند گرمایش اهمیک برای تغلیظ آب انگور در مقایسه با دیگر روش‌های حرارتی سبب افزایش کیفیت محصول می‌گردد (آیسر و همکاران ۲۰۰۸). در تحقیقی به بررسی پارامترهایی همچون pH، درجه بریکس، اسیدیته، هدایت الکتریکی، رنگ، اسید آسکوربیک، محتوای آنتوسیانین و همچنین تاثیر این فرآیند بر غیرفعال‌سازی میکروبی آب آلبالو به روش گرمایش اهمیک پرداخته شده است. در گزارشی، نتایج بیانگر این مطلب بوده است که روش ذکر شده به عنوان یک روش مناسب برای فرآوری آب آلبالو با تاثیر زیاد در غیرفعال کردن میکروب‌ها بدون تأثیر منفی بر پارامترهای مهم کیفی و فیزیکی معرفی شده است (آلتونتاس ۲۰۱۰). در گزارشاتی بیان شده است که جنس الکترود اثر زیادی بر راندمان حرارتی، انرژی مصرفی و مدت زمان فرآیند گرمایش اهمیک دارد (ذل و همکاران ۲۰۱۰; سامارانایک و ساستری ۲۰۰۵). تاکنون تحقیقی در زمینه بررسی گرمایش اهمیک آب هویج گزارش نشده است لذا هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی خواص کیفی آب هویج در فرآیند گرمایش اهمیک می باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و دستگاه‌ها

نمونه‌های هویج مورد استفاده در این تحقیق از شهر خرم‌آباد در اوایل سال ۱۳۹۷ تهیه شد. پس از شستشوی میوه‌ها با آب شهری، آب سطحی میوه‌ها توسط کاغذ جاذب گرفته شد. آب میوه‌ها توسط دستگاه آب میوه‌گیر صنعتی (پارس خزر، ساخت ایران) استخراج شد. پس از استخراج آب هویج، محصول سریعا به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی-گراد نگهداری شد (حدود نیم ساعت). قابل ذکر است که هیچ عمل فیلتراسیون بر روی آب میوه¬های استخراج شده صورت نگرفت چراکه نرخ گرمایش یک ماده در روش گرمایش اهمیک به شدت وابسته به اندازه ذرات ماده می‌باشد. وجود پالپ سبب افزایش نرخ حرارت¬دهی (کاهش زمان گرمایش) و در نتیجه افزایش کیفیت نهایی محصول می¬گردد (شیبی و همکاران ۲۰۱۴). علاوه بر آن، پالپ میوه¬ها دارای درصد بسیار بالایی از ویتامین ها و مواد معدنی می باشد (فتاحی‌مقدم، ۱۳۹۰). مقدار پالپ میوه حدود ۱۲ درصد وزنی بود. رطوبت اولیه هویج با استفاده از استاندارد AOAC (۲۰۰۰) حرارت‌دهی آون (۲۴ ساعت حرارت‌دهی در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد) برابر با ۸۹/۷ درصد محاسبه شد. آزمایشات گرمایش اهمیک به روش حرارت‌دهی در فشار اتمسفر انجام شد. در تمامی آزمایشات وزن نمونه آب هویج ثابت و برابر با ۱۰۰ گرم در نظر گرفته شد. شماتیک سامانه گرمایش اهمیک استفاده شده در این تحقیق در شکل (۱) آمده است. این سامانه شامل حسگر دما، ترازوی دیجیتال، تحلیل‌گر توان، واریابل ولتاژ[1](تنظیم کننده ولتاژ-برای انتخاب ولتاژ مورد نیاز)، سلول اهمیک[2](ظرف اهمیک) و رایانه می‌باشد. ظرف اهمیک از یک مخزن مکعب مستطیلی از جنس شیشه‌ای با ضخامت ۴ میلی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر به‌فرم یک تکه می‌باشد. دو عدد الکترود (از جنس استیل ضد زنگ، آلومینیوم، روی و مس) با ابعاد ۱۰×۱۱ سانتی‌متر (سطح الکترود) و با ضخامت ۱ میلیمتر بصورت عمودی به جداره‌های داخلی محفظه با پیچ استیل به بدنه داخلی ظرف اهمیک متصل شده‌اند. فاصله میان الکترودها ۹/۵ سانتی‌متر می‌باشد. ضریب هدایت الکتریکی و حرارتی الکترودهای بکار برده شده، در جدول (۱) آمده است (بی‌نام ۲۰۱۹). آزمایشات حرارت‌دهی در سطوح گرادیان ولتاژ ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ولت بر سانتیمتر تا رسیدن وزن ماده به۶۰ گرم (۴۰ درصد تغلیظ) و خاموش نمودن واریابل ولتاژ انجام شد. درصد تغلیظ و سطوح انتخابی گرادیان ولتاژ در

[1] Voltage regulator
[2] Ohmic cell

محدوده مورد استفاده جهت گرمایش اهمیک مایعات می‌باشد (آیسر و ایلیکالی ۲۰۰۴; درویشی و همکاران ۲۰۱۳). قبل از شروع آزمایشات، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در محیط آزمایشگاه قرار داده شد تا با محیط هم‌دما شوند. پس از شروع گرمایش، پارامترهای دما، وزن، جریان الکتریکی و ولتاژ عبوری از ماده اندازه-گیری و ثبت شد.

به منظور اندازه‌گیری دمای محصول طی فرآیند گرمایش از حسگر دمای نوع K با پوششی از تفلون نازک استفاده شد. حسگر دما در داخل ظرف اهمیک و وسط نمونه قرار می‌گیرد. تغییرات دمایی محصول طی فرایند حرارت‌دهی با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد از طریق ترمومتر دیجیتالی مدل (TM-917, Lutron, Tiwan) با فواصل زمانی یک ثانیه به محیط رایانه منتقل، ثبت و ذخیره می‌شود. برای اندازه‌گیری تغییرات میزان ولتاژ، جریان الکتریکی و میزان انرژی مصرفی در طی فرآیند حرارت‌دهی از یک تحلیل‌گر توان دیجیتالی (Model DW-6090A, Luron,Tiwan) استفاده شد. برای ثبت داده در رایانه از نرم افزار لب ویو ۲۰۱۶ استفاده گردید. به منظور ایجاد تغییرات در ولتاژ ورودی به سیستم گرمایش اهمیک از یک عدد دستگاه واریابل ولتاژ (Omega, TDGC$_2$-1KVA, Korea) با محدوده کاری ۰ الی ۳۳۰ ولت استفاده شد.

به منظور اندازه‌گیری تغییرات وزن نمونه طی فرایند حرارت‌دهی، سلول اهمیک روی یک ترازوی دیجیتال مدل AND GF-6000 ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۱ گرم قرار گرفت.

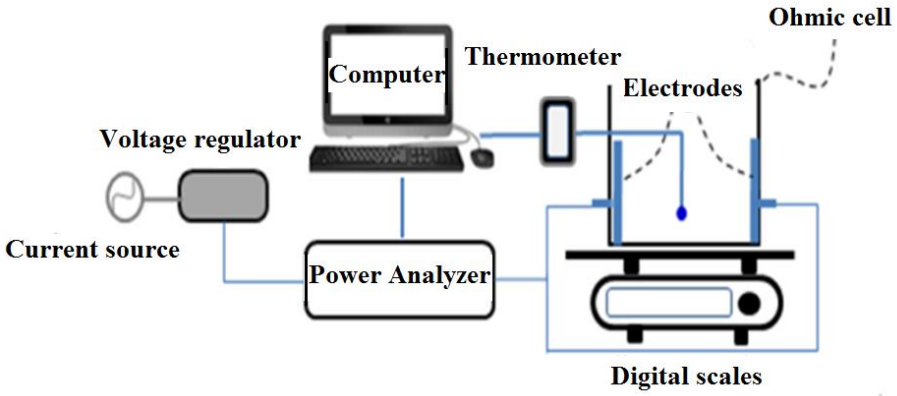
اندازه گیری تغییرات pH

مقدار pH نمونه‌های آب هویج قبل و بعد از حرارت‌دهی اهمیک بوسیله دستگاه pH متر مدل ATRON ساخت کشور ایران اندازه‌گیری و ثبت شد. قابل ذکر است که pH نمونه‌های حرارت داده شده پس از همدما شدن با محیط اندازه‌گیری شد. میزان تغییرات pH نمونه‌ها از رابطه (۱) محاسبه شد (درویشی و همکاران ۲۰۱۵).

رابطه (۱)

$$\Delta pH = 100 \times \left(\frac{pH_0 - pH_h}{pH_0}\right)$$

که در آن، اندیس های 0 و h به ترتیب بیانگر آب‌هویج تازه و حرارت داده شده می‌باشد.



شکل ۱- شماتیک سامانه گرمایش اهمیک

Figure 1- Schematic of ohmic heating system

جدول ۱- ضریب هدایت الکتریکی و حرارتی جنس الکترودهای بکار رفته

Table 1- Electrical and thermal conductivity of the electrodes used

Thermal conductivity (W/mK)	Electrical conductivity ($\times 10^7$ S/m)	Material
385	5.9	Copper
112	1.69	Zinc
205	3.45	Aluminum
50.2	0.15	Steel

اندازه‌گیری تغییرات رنگ

پارامتر رنگ یکی از ویژگی‌های مهم در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. برای بدست آوردن رنگ محصول و همچنین مقایسه محصول بدست آمده از تیمارهای مختلف با یکدیگر، از فضای رنگی Lab استفاده گردید. برای بدست آوردن پارامترهای L (روشنایی)، a (میزان قرمزی – سبزی) و b (میزان زردی – آبی) روش‌های مختلفی مانند استفاده از هانتر لب یا نرم افزار فتوشاپ استفاده می‌شود که در این تحقیق از نرم افزار فتوشاپ استفاده شد (افشاری و فرحناکی ۱۳۸۸).

برای اینکه شرایط محیطی برای تمامی نمونه‌ها یکسان باشد از یک اتاقک به ابعاد ۳۰×۵۰×۵۰ استفاده و دیواره داخلی آن با رنگ سفید به منظور بازتاب کامل نور پوشانده شد.

از ۴ لامپ ۶۰ واتی با نور سفید جهت ایجاد روشنایی در داخل جعبه استفاده گردید. از یک دوربین دیجیتالی مدلFujifilm FinePix Ax50 با دقت 16MP جهت عکس برداری از نمونه‌ها استفاده شد. فاصله لنز دوربین تا سطح نمونه برابر با ۲۵ سانتی متر انتخاب گردید. عکس‌های گرفته شد از نمونه‌ها به داخل کامپیوتر منتقل شده و به کمک نرم افزار فتوشاپ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. بدین منظور ابتدا از طریق دستور Image-mode-Lab فضای رنگی Lab انتخاب گردید. سپس ده نقطه از سطح نمونه انتخاب و اطلاعات L، a و b از طریق پنجره Information نرم افزار قرائت شد. سپس میانگین داده‌های ثبت شده از ده نقطه از محصول محاسبه و به عنوان داده‌های رنگی نمونه ثبت گردید.

در آنالیز رنگی یک محصول معمولا از شاخصه کلی تغییرات رنگ یعنی $E\Delta$ استفاده می‌شود که بیانگر تغییرات کلی رنگ محصول نسبت به ماده اولیه می باشد و از رابطه (۲) استفاده شد (افشاری و فرحناکی ۱۳۸۸):

رابطه (۲)

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

که در آن، a_0، b_0 و L_0: مشخصات رنگی ماده اولیه و a، b و L : مشخصات رنگی محصول نهایی می‌باشند.

محاسبه انرژی مصرفی ویژه

مقدار انرژی مصرفی ویژه برای تغلیظ نمودن آب هویج از رابطه (۳) محاسبه شد (آیسر و ایلیکالی ۲۰۰۴):

رابطه (۳)

$$E_{sc} = \frac{E_{elect}}{m_w}$$

که در آن، E_{sc}: انرژی مصرفی ویژه (ژول بر کیلوگرم آب)، m_w: وزن آب تبخیر شده (کیلوگرم) وE_{elect} : انرژی الکتریکی ورودی به سیستم (ژول) می‌باشد.

انرژی الکتریکی ورودی به دستگاه اهمیک از رابطه (۴) محاسبه شد (آیسر و ایلیکالی ۲۰۰۴):

رابطه (۴)

$$E_{elect} = \sum (VI \times \Delta t)$$

که در آن، V: ولتاژ (ولت)، I: جریان الکتریکی (آمپر) و Δt: گام زمانی (برابر با ۱ ثانیه) در حین اندازه‌گیری پارامترهای خروجی سامانه اهمیک می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش با انجام آزمون پایه در قالب طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار اثر تغییر گرادیان ولتاژ و نوع جنس الکترود بر خواص کیفی آب هویج مورد مطالعه قرار گرفت. متغیرهای مستقل شامل گرادیان ولتاژ (۱۵، ۲۰ و ۲۵ ولت بر سانتی‌متر) و نوع جنس الکترودها (استیل، مس، روی و آلومینیوم) و متغیرهای وابسته نیز شامل خواص کیفی محصول قبل و بعد از فرآیند گرمایش اهمیک شامل تغییرات رنگ و pH و همچنین انرژی مصرفی ویژه بود. تجزیه واریانس داده-ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام شد و کلیه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح ۹۵ درصد (α=۰/۰۵) با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

انرژی مصرفی ویژه

اثرات اصلی نوع الکترود و گرادیان ولتاژ و همچنین اثر متقابل آنها بر انرژی مصرفی ویژه فرآیند تغلیظ آب هویج در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (P<۰/۰۱).

تغییرات انرژی مصرفی ویژه برای تغلیظ آب هویج به روش گرمایش اهمیک تحت شرایط مختلف حرارت‌دهی در جدول (۲) نشان داده شده است. مطابق این جدول، در هر گرادیان ولتاژی، مقدار انرژی مصرفی ویژه تغلیظ آب هویج در استفاده از الکترود استیل بیشترین و برای الکترود مس کمترین است. این اختلاف در انرژی مصرفی ویژه الکترودها می‌تواند مربوط به اختلاف ضرایب هدایت الکتریکی و حرارتی جنس الکترودها باشد (جدول ۱). برای هر الکترودی نیز با افزایش گرادیان ولتاژ، مقدار انرژی مصرفی ویژه به طور معنی‌دار کاهش یافته است ($P<۰/۰۵$). بیشترین (۳/۸۷ مگاژول بر کیلوگرم) و کمترین (۳/۴۵ مگاژول بر کیلوگرم) انرژی مصرفی ویژه تغلیظ آب هویج به ترتیب در استفاده از الکترود استیل و در گرادیان ولتاژ ۱۵ ولت بر سانتی‌متر و الکترود مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ ولت بر سانتی‌متر بوده است. انرژی مصرفی در فرایند گرمایش اهمیک تابع زمان فرایند و توان ورودی به دستگاه اهمیک می‌باشد. با افزایش توان ورودی، زمان فرآوری کاهش می‌یابد. روند این نتایج با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد (سامارانایک و ساستری ۲۰۰۵). کمترین و بیشترین زمان فرایند (رسیدن به ۴۰ درصد تغلیظ) حدودا به ترتیب برابر با ۴ و ۱۳ دقیقه بوده است.

جدول ۲- انرژی مصرفی ویژه تغلیظ آب هویج متاثر از گرادیان ولتاژ و نوع الکترود

Table 2 - Specific energy consumption of carrot juice concentrate affected by voltage gradient and electrode type

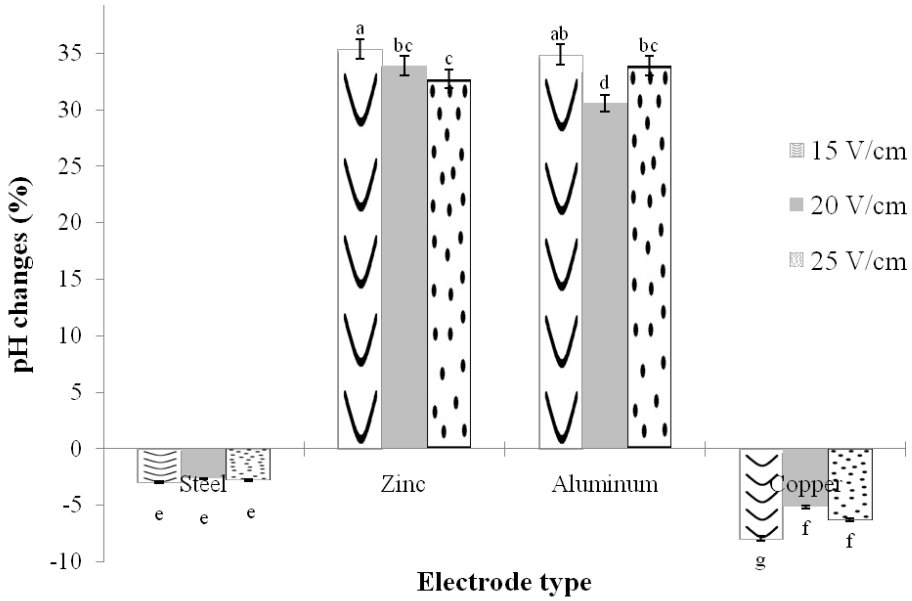
Specific energy consumption (MJ/kg)	Voltage gradient (V/cm)	Electrode type
$3.87^{a}\pm0.19$	15	
$3.67^{c}\pm0.12$	20	Steel
$3.59^{e}\pm0.08$	25	
$3.77^{b}\pm0.15$	15	
$3.66^{cd}\pm0.11$	20	Zinc
$3.47^{f}\pm0.06$	25	
$3.79^{b}\pm0.17$	15	
$3.67^{c}\pm0.14$	20	Aluminum
$3.47^{c}\pm0.16$	25	
$3.6^{de}\pm0.19$	15	
$3.57^{e}\pm0.17$	20	Copper
$3.45^{f}\pm0.11$	25	

Mismatched English letters indicate a significant difference at the 95% level

درصد تغییرات pH

اثرات اصلی نوع الکترود و گرادیان ولتاژ و همچنین اثر متقابل آنها بر درصد تغییرات pH آب هویج در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). مقایسه میانگین درصد تغییرات pH آب هویج تحت تاثیر گرادیان ولتاژ و نوع الکترود در شکل (۲) آمده است. برای اینکه اسیدی شدن یا بازی شدن بهتر روی نمودار نشان داده شود نتایج در یک منفی ضرب شده‌اند (مثبت به معنای بالا رفتن و منفی به معنای پایین آمدن pH). همانطور که مشاهده می‌شود در استفاده از الکترودهای مختلف، با افزایش گرادیان ولتاژ از ۱۵ تا ۲۵ ولت بر سانتی‌متر، درصد تغییرات pH آب هویج تقریبا معنی‌دار بوده است. الکترودهای مس و استیل باعث کاهش pH آب هویج شدند (مقادیر منفی) و آب هویج فرآوری شده را اسیدی‌تر نمودند. pH آب هویج تازه برابر با ۶/۰۲ بوده است. الکترودهای آلومینیوم و روی باعث افزایش pH آب هویج در فرآیند تغلیظ شدند (مقادیر مثبت). درصد تغییرات pH در استفاده از الکترود روی، بیشترین و در استفاده از الکترود استیل، کمترین بوده

است. نرخ گرمایش، زمان فرآوری و میزان خوردگی الکترود همراه با هیدرولیز شدن نمونه‌ها طی فرایند حرارت‌دهی از جمله پارامترهای تاثیرگذار بر درصد تغییرات pH نمونه‌ها در روش گرمایش اهمیک می‌باشند. با افزایش گرادیان ولتاژ هر چند نرخ گرمایش اهمیک افزایش و زمان فراوری محصول کاهش می‌یابد، اما میزان خوردگی الکترودها و هیدرولیز شدن نمونه نیز افزایش می‌یابد که باعث افزایش درصد تغییرات pH نمونه می‌گردد. با توجه به مطالب گفته شده، علت تغییرات فوق را می‌توان اینگونه بیان داشت که در ابتدا تاثیر افزایش نرخ گرمایش و کاهش زمان فرآوری (با افزایش گرادیان ولتاژ) در کاهش درصد تغییرات pH بیشتر از تاثیر خوردگی الکترودها و هیدرولیز شدن نمونه می‌باشد. با این حال در گرادیان ولتاژ های بالا این روند برعکس شده و در نتیجه درصد تغییرات pH نمونه نیز افزایش یافته است. میزان pH پالپ موز قبل و بعد از اعمال ولتاژهای مختلف گرمایش اهمیک به منظور افزایش ماندگاری و دوره نگهداری پالپ موز مطالعه شد و گزارش شده است که با افزایش گرادیان ولتاژ میزان pH نمونه‌های پالپ موز افزایش یافته است (پوجیتا و آتماسلوی ۲۰۱۶).



شکل ۲- اثر گرادیان ولتاژ و نوع الکترود بر درصد تغییرات pH آب هویج

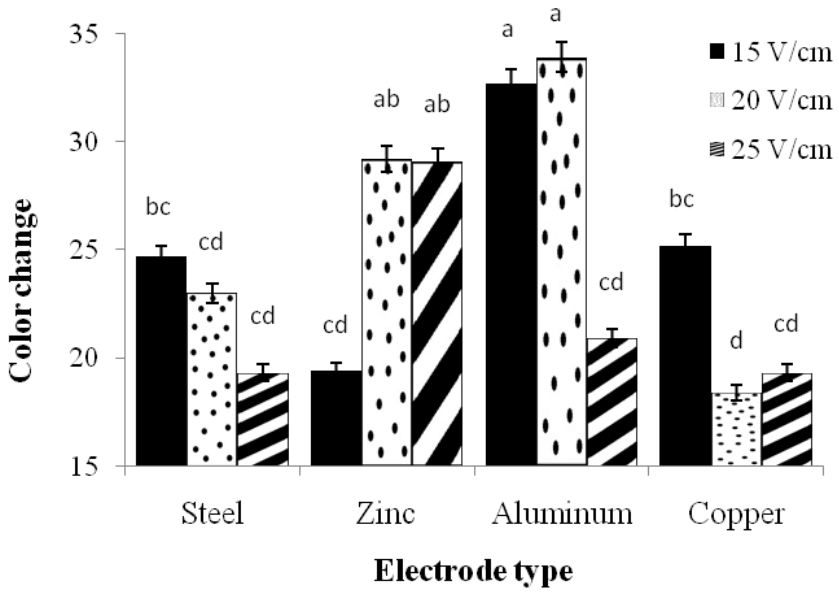
Figure 2- Effect of voltage gradient and electrode type on the percentage of pH changes in carrot juice

تغییر کلی رنگ (ΔE)

اثرات اصلی نوع الکترود و گرادیان ولتاژ و همچنین اثر متقابل آنها بر تغییر کلی رنگ آب هویج در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). مقایسه میانگین تغییر کلی رنگ (ΔE) آب هویج تحت تاثیر نوع الکترود و گرادیان ولتاژ در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات کلی رنگ در استفاده از الکترود آلومینیوم بیشترین و در استفاده از الکترود مس کمترین بوده است. با افزایش گرادیان ولتاژ از ۱۵ تا ۲۵ ولت بر سانتی‌متر ، تغییرات کلی رنگ آب هویج در این فرایند تغلیظ در استفاده از الکترودهای مختلف، کاهش یافته است بجز الکترود روی که روند معکوسی داشته است که در بازارپسندی محصول اثر نامطلوب دارد. حداقل تغییرات شاخص ΔE، یعنی اینکه ماده غذایی از نظر کیفیت وضعیت بهتری دارد. در این حالت الکترود مس بهترین عملکرد و الکترود آلومینیوم بدترین عملکرد را داشته است. این نتیجه به این دلیل است که انجام فرآیند با الکترود آلومینیوم مدت زمان طولانی‌تری نسبت به سه نوع الکترودهای دیگر به خود اختصاص داده بود. وقتی مدت زمان فرآیند کاهش پیدا

می‌کند تغییرات بافتی و واکنش‌های شیمیایی کمتری در ماده غذایی رخ داده لذا تغییرات رنگ کمتر شده و کیفیت بافت و رنگ ماده غذایی حفظ می‌گردد. در گزارشی بیان شده است که با افزایش مدت زمانی پاستوریزه کردن رب گوجه‌فرنگی در هر یک از دماهای ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد شاخص رنگی ΔE افزایش یافته است به طوریکه افزایش مدت زمان ۵ دقیقه گرمایش رب گوجه‌فرنگی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش شاخص رنگی ΔE به میزان ۱/۲ برابر شده است (زانونی و همکاران ۲۰۰۳).

در فرآوری شیره نیشکر به روش گرمایش اهمیک بیان شده است که با افزایش مدت زمان گرمایش، شاخص ΔE افزایش معنی‌داری داشته است (مرکالی و همکاران ۲۰۱۴). در کل می‌توان گفت که با توجه به تغییرات اندک شاخص ΔE و pH و همچنین کم بودن انرژی مصرفی ویژه در استفاده از الکترود مس در تغلیظ آب هویج، بهترین عملکرد را این الکترود داشته است. الکترود استیل بعد از الکترود مس، دارای بیشترین عملکرد بوده البته با انرژی مصرفی نسبتا بالا. همچنین در بین گرادیان‌های مورد بررسی شده، گرادیان ۲۵ ولت بر سانتی‌متر بهترین عملکرد را در این زمینه داشته است.



شکل ۳- تغییر رنگ (ΔE) آب هویج متاثر از گرادیان ولتاژ و نوع الکترود

Figure 3- Color change (ΔE) of carrot juice affected by voltage gradient and electrode type

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر گرادیان‌های مختلف و نوع الکترود بر خواص کیفی آب هویج بررسی شد.

اثر متقابل جنس الکترود و گرادیان ولتاژ بر تغییر کلی رنگ (ΔE) آب هویج معنی‌دار بود و بهترین عملکردها (کمترین شاخص ΔE) مربوط به استفاده از الکترودهای مس و استیل و همچنین گرادیان ولتاژ ۲۵ ولت بر سانتی‌متر بود. اثر متقابل جنس الکترود و گرادیان ولتاژ بر انرژی مصرفی ویژه آب هویج معنی‌دار بود، همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل جنس الکترود و گرادیان ولتاژ بر درصد تغییرات pH آب هویج معنی‌دار بود و کمترین درصد تغییرات pH آب هویج به ترتیب مربوط به الکترود استیل و مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ ولت بر سانتی‌متر بوده است. بهترین عملکرد (کمترین انرژی مصرفی) مربوط به استفاده از الکترود مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ ولت بر سانتی‌متر بود. با افزایش گرادیان ولتاژ، انرژی مصرفی ویژه، کاهش یافت. انرژی مصرفی ویژه از ۳/۴۵ تا ۳/۸۷ مگا ژول بر کیلوگرم به ترتیب برای الکترود مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ ولت بر سانتی‌متر و

الکترود استیل در گرادیان ولتاژ ۱۵ ولت بر سانتی‌متر تغییر یافت.

منابع مورد استفاده

افشاری ح و فرحناکی ع، ۱۳۸۸. امکان استفاده از نرم افزار فتوشاپ برای اندازه‌گیری رنگ مواد غذایی: بررسی تغییرات رنگ خرمای مضافتی بم در طی رساندن مصنوعی. نشریه پژوهشهای صنایع غذایی ایران، ۵ (۱)، ۳۷-۴۶.

ایاسه ع، تابان ح، یاری خسروشاهی ا، ۱۳۹۶. تولید آب هویج پروبیوتیک با استفاده از باکتری لاکتوکوکوس لاکتیس. نشریه پژوهشهای صنایع غذایی، ۲۷ (۴)، ۱۸۳ – ۱۹۱.

فتاحی‌مقدم ج، ۱۳۹۰. بهینه‌سازی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت میوه ارقام مختلف مرکبات. پایان‌نامه دکترای باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان.

Altuntas J, Evrendilek GA, Sangun MK and Zhang HQ, 2010. Effects of pulsed electric field processing on the quality and microbial inactivation of sour cherry juice. International journal of food science and technology 45: 899-905.

A O A C 2000. Official Method of Analysis. (17 thd). Washington, DC, Association of Official Analytical Chemists.

Anonymous, 2019. Table of Electrical Resistivity and Conductivity. Available at: https://www.thoughtco.com

Darvishi H, Hosianpour A, Nargesi F and Fadavi A, 2015. Exergy and energy analyses of liquid food in an Ohmic heating process: A case study of tomato production. Innovative Food Science and Emerging Technologies 31: 73–82.

Darvishi H, Khostaghaza HK and Gholamhassan N, 2013. Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 12: 101–108.

Fan L, Zhang M, Xiao G, Sun J and Tao G, 2005. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. International journal of food science and technology 40: 911-919.

Hosainpour A, Darvishi H and Nargesi F, 2014. Ohmic pre-drying of tomato paste. Food Science and Technology International 20: 193-204.

Hsieh CW and Ko W, 2008. Effect of high-voltage electrostatic field on quality of carrot juice during refrigeration LTW - Food Science and Technology 41: 1752-1757.

Icier F and Ilicali C, 2004. Electrical conductivity of apple and sour cherry juice concentrates during ohmic heating. Journal of food process engineering 27: 159-180.

Icier F and Ilicali C, 2005. The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. European Food Research and Technology 220: 406-414.

Icier F, Yildiz H and Baysal T, 2008. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. Journal of Food Engineering 85: 410–417.

Kamali L and Farahnaky A, 2015. Ohmic-assisted texture softening of cabbage, turnip, potato and radish in comparison with microwave and conventional heating. Journal of Texture Studies 46: 12–21.

Marcos CK, Carolina AS, Antonio AM and Thereza CVP, 2010. Ohmic heating a review. Trends in Food Science and Technology 21: 436-441.

Mercali GD, Schwartz S, Marczak LDF, Tessaro IS and Sastry S, 2014. Ascorbic acid degradation and color changes in acerola pulp during ohmic heating: Effect of electric field frequency. Journal of Food Engineering 123:1–7.

Pereira R, Pereira M, Teixeira, JA and Vicente AA, 2007. Comparison of Chemical Properties of Food Processed by Conventional and Ohmic Heating. Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences Chemistry 61: 30-35.

Poojitha P and Athmaselvi KA, 2016. Stability and Storage Studies on Banana Pulp by Ohmic Heating and Conventional Heating. Biosciences Biotechnology Research Asia 13: 1231-1238.

Sakr M and Liu S, 2014. A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). Renewable and Sustainable Energy Reviews 39: 262-269.

Samaranayake CP and Sastry SK, 2005. Electrode and pH effects on electrochemical reactions during ohmic heating. Journal of Electroanalytical Chemistry 5: 125-135.

Shiby VK, Pandey MC, Radhakrishna K and Bawa AC, 2014. Technology, applications and modeling of ohmic heating: a review. Journal of Food Science and Technology 51: 2304-2317.

Zanoni B, Pagliarini E, Giovanelli G and Lavelli V, 2003. Modeling the effects of thermal sterilization on the quality of tomato puree, Journal of Food Engineering 56: 203–206.

Zell M, Lyng JG, Cronin DA and Morgan DJ, 2010. Ohmic cooking of whole beef muscle—evaluation of the impact of a novel rapid ohmic cooking method on product quality. Meat science 86: 258-263.

Zhou l, Wang W, Hu X, Wu J and Liao X, 2009. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice. Journal of Innovation Food Science and Emerging Technology 10 : 321-327.

Journal of Food Researches/vol.31 No.1, 2021/pp 33-44
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir
DOI: 10.22034/fr.2021.31904.1643

Effect of voltage gradient and electrode type on qualitative properties of carrot juice in ohmic heating

A Karamian[1], I Hazbavi[2*] and F Shahbazi[2]

Received: February 6, 2019 Accepted: February 19, 2020
[1]Graduated MSc Student, Department of Biosystem Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran
[2]Assistant Professor and Associate Professor, respectively, Department of Biosystem Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran
[*]Corresponding author Email: hazbavi.i@lu.ac.ir

Introduction: Carrot juice is one of the most consumed and healthy fruit juices and is a rich source of carotenoids, such as beta-carotene, which is responsible for its orange color and is a precursor of vitamin A (Zhou et al., 2009). In conventional methods of food heating, due to the transfer of heat by the conduction method and the presence of a hot surface in contact with the food, particles near the surface are exposed to heat more than distant particles; therefore, food compounds are damaged and there is a possibility of burning of surface part of the food (Kamali and Farahnak 2015). Ohmic heating is a thermal process that produces heat by passing an alternating current through the food. This heating system differs from conventional heating methods in terms of heat generation and heat transfer, as well as in terms of temperature distribution that occurs during heating. Studies show that this method has a very high thermal uniformity, environmentally friendly, high efficiency and easy control over other common thermal techniques. Ohmic heating is also used as a method to inactivate microbial activity (such as pasteurization), extraction, dehydration or solid to liquid transformation (Pereira et al., 2007). Many agricultural products spoil very quickly due to high humidity, which makes them particularly difficult to store. In addition, due to the seasonality of these products and on the other hand the demand for its consumption in other seasons, the need to processing of these products (such as drying and concentrating of its extract) seems necessary (Darvishi et al., 2013). The amount of heat generated by ohmic heating directly depends on the electrical resistance of the food and the voltage gradient applied (Marcos et al., 2010). Ohmic heating derives its name from Ohm's law, which is the known relationship between current, voltage and electrical resistance. In ohmic heating, the food placed between the electrodes acts as a resistor in the electrical circuit. This food must be physically able to conduct electricity (Sakr and Liu 2014). The purpose of this study was to investigate the quality characteristics of carrot juice such as color changes, pH and specific energy consumption.

Materials and methods: Carrot samples used in this study were prepared from the city of Khorramabad in 2018. After washing the fruits with water, the surface water of the fruits was taken with absorbent paper. An industrial juicer extracted the juices. It should be noted that no filtration was performed on the extracted fruit juices because the heating rate of a substance in the ohmic heating method is strongly dependent on the particle size of the substance. The presence of pulp increases the heating rate and thus increases the final quality of the product (Shiby et al., 2014). In addition, fruit pulp has a very high percentage of vitamins and minerals. The amount of fruit pulp was about 12% by weight. The initial humidity of carrot was calculated using AOAC (2002) standard of oven heating (24 hours heating at 103°C) equal to 89.7%. In all experiments, the weight of the carrot juice sample was considered constant and equal to 100 g. Ohmic heating system used include temperature sensor, digital scale, power analyzer, voltage variable (voltage regulator- to

select the required voltage), ohmic cell (ohmic container) and computer. The ohmic container is a rectangular cubic tank made of glass with a thickness of 4 mm and a height of 18 cm in the form of a piece. Two electrodes (made of stainless steel, aluminum, zinc and copper) with dimensions of 10 × 11 cm (electrode surface) and with a thickness of 1 mm are connected vertically to the inner walls of the chamber with steel screws to the inner body of the ohmic container. The distance between the electrodes is 9.5 cm. Heating tests were performed at voltage gradient levels of 15, 20 and 25 V/cm until the weight of the material reached 60 g (40% concentration) and the variable voltage was switched off. Prior to testing, the samples were placed in the laboratory for 10 minutes to be at the same temperature as the environment. After heating, the parameters of temperature, weight, electric current and voltage passing through the food material were measured and recorded. A digital power analyzer was used to measure changes in voltage, current and energy consumption during the heating process. In order to make changes in the input voltage to the ohmic heating system, a number of voltage variable devices with a working range of 0 to 330 volts were used. The pH of carrot juice samples before and after ohmic heating was measured and recorded by a pH meter. It is noteworthy that the pH of the heated samples was measured after isothermal exposure to the Environment. Lab color space was used to obtain the color of the product and also to compare the product obtained from different treatments with each other. Photoshop software was used for this purpose. In this study, the effect of changing the voltage gradient and the type of electrode material on the quality characteristics of carrot juice was studied by performing a basic test in a completely randomized design with three replications. Independent variables include voltage gradient (15, 20 and 25 V/cm) and type of electrodes (steel, copper, zinc and aluminum) and dependent variables include product quality characteristics before and after the ohmic heating process including color changes, pH and special energy consumption. Data analysis of variance was performed using SPSS 16 software.

Results and discussion: The results showed that the interaction of electrode material and voltage gradient on the total color change (ΔE) of carrot juice was significant (P<0.05) and the best performance (lowest ΔE index) was related to the use of copper and steel electrodes and voltage gradient of 25 V/cm. The interaction of electrode material and voltage gradient on the specific energy consumption of carrot juice was significant (P<0.05). The results also showed that the interaction of electrode material and voltage gradient on the percentage of pH changes in carrot juice was significant and the lowest percentage changes in pH of carrot juice were related to steel and copper electrodes in the voltage gradient of 25 V/cm, respectively. As the voltage gradient increased, the specific energy consumption decreased. Specific energy consumption was changed from 3.45 to 3.87 MJ/kg for copper electrode in voltage gradient of 25 V/cm and steel electrode in voltage gradient of 15 V/cm, respectively.

Conclusion: The interaction of electrode material and voltage gradient on the percentage of pH changes, total color change (ΔE) and specific energy consumption of carrot juice was significant. In this research, the best performance of the ohmic heating system with the least energy consumption, the least changes and the least changes were related to the copper electrode and voltage gradient of 25 V/cm.

Keywords: Carrot juice, Electrodes, Ohmic heating, Quality properties, Voltage gradients