

### مقاله پژوهشی

## رفتار گرمایش اهمیک آب هویج متأثر از نوع الکتروود و گرادیان ولتاژ

اردشیر کریمیان<sup>۱</sup>، عیسی حزباوی<sup>۲\*</sup>، فیض اله شهبازی<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیو سیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

۲. استادیار، گروه مکانیک بیو سیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

۳. دانشیار، گروه مکانیک بیو سیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۰، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۹/۲۸، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱)

### چکیده

گرمایش اهمیک یک فرایند دمایی پیشرفته است که در آن ماده غذایی به‌عنوان مقاومت الکتریکی عمل می‌کند. هدف این تحقیق بررسی تغییرات زمان فراوری (تغلیظ) و مصرف انرژی آب هویج در اثر تغییرات گرادیان ولتاژ بود. در این تحقیق رفتار گرمایش اهمیک آب هویج در گرادیان‌های مختلف ولتاژ ۱۵، ۲۰ و ۲۵ V/cm با استفاده از الکترودهای مختلف استیل، مس، آلومینیوم و روی بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل جنس الکتروود و گرادیان ولتاژ بر انرژی مصرفی ویژه و مدت زمان فراوری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. با افزایش گرادیان ولتاژ از ۱۵ به ۲۵ V/cm، کمترین و بیشترین زمان حرارت دهی به ترتیب برابر با ۳/۹۵ min برای الکتروود استیل و ۱۳/۰۹ min برای الکتروود آلومینیوم به دست آمد. بیشترین و کمترین انرژی مصرفی ویژه تغلیظ آب هویج نیز به ترتیب در استفاده از الکتروود استیل و در گرادیان ولتاژ ۱۵ V/cm و الکتروود مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ V/cm و به ترتیب برابر با ۳/۸۷ و ۳/۴۵ MJ/kg حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آب هویج، حرارت دهی اهمیک، نوع الکتروود، گرادیان ولتاژ.

## ۱. مقدمه

هویج یکی از سبزیجات متعلق به گروه *apiaceae* است که با نام علمی *Daucus carrot L.* رده‌بندی می‌شود [۱]. هویج سبزی ریشه‌دار یا غده‌ای خوراکی است که می‌توان آن را خام، خرد و یا رنده‌شده در سالاد مصرف نمود و بیشتر در پخت سوپ‌ها و خورش‌ها کاربرد دارد. میزان تولید هویج در کشور، ۴۰۰۰۰ ton، سطح زیرکشت ۱۶۰۰ ha و متوسط عملکرد ۲۵ ton/ha است. استان‌های آذربایجان شرقی، خوزستان، اصفهان و زنجان بیشترین سهم را در تولید هویج کشور دارا می‌باشند. 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 [۲]. هویج دارای مقادیر بالای بتاکارتن به‌عنوان پیش‌ساز ویتامین A است؛ به‌طوری‌که مصرف روزانه ۱۰۰ g از این سبزی، باعث تامین ۱۷ درصد از کل ویتامین A مورد نیاز بدن می‌گردد [۳]. آب هویج یکی از آبمیوه‌های پر مصرف و سلامتی‌زا است و یک منبع غنی از کاروتنوئیدها می‌باشد. مطالعات صورت گرفته نشان داد که مصرف هویج و محصولات آن مانند آب هویج باعث کاهش خطر ابتلاء به بسیاری از بیماریها از جمله بیماری‌های قلبی عروقی و کاهش خطر توسعه انواع سرطانها می‌شود [۴، ۵]. 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 [۶]. گرمایش اهمی یک فرایند 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 [۷]. همچنین گرمایش اهمی به‌عنوان یک روش برای غیر فعال نمودن فعالیت میکروبی از قبیل پاستوریزه کردن، عصاره گیری، آب‌زدایی یا تبدیل جامد به مایع مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. آبمیوه‌ها حاوی حداقل ۷۸٪ آب

می‌باشند. فرایند تغلیظ این مواد به‌طور معمول 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 فراوری این محصول مانند خشک‌کردن و تغلیظ کردن عصاره آن، امری ضروری به نظر می‌رسد [۹]. استفاده از تکنولوژی گرمایش اهمی به قرن نوزدهم بر می‌گردد. ولی کاربردهای تجاری بسیار موفق آن در فرایند حرارتی مواد غذایی در دهه ۱۹۹۰ به بعد شکل گرفت. مقدار گرمای تولید شده در گرمایش اهمی به‌طور مستقیم به میزان مقاومت الکتریکی ماده و گرادیان ولتاژ اعمالی بستگی دارد [۱۰]. گرمایش اهمی نام خود را از قانون اهم، رابطه شناخته شده بین جریان، ولتاژ و مقاومت الکتریکی، گرفته است. در گرمایش اهمی ماده غذایی که بین الکترودها قرار می‌گیرد، نقش یک مقاومت در مدار الکتریکی را ایفا می‌کند. این ماده غذایی باید از لحاظ فیزیکی قادر به انتقال جریان الکتریسته باشد [۱۱]. مطالعات گسترده محققین در زمینه گرمایش اهمی و استفاده از آن به‌عنوان تکنیک جدید در صنایع غذایی در سالیان اخیر نشانگر کارآمدی این روش می‌باشد. متأسفانه در کشور ما هنوز مطالعه کاملی بر روی این روش صورت نگرفته است. طبق تحقیقات صورت گرفته، زمان فرایند رب گوجه فرنگی به روش گرمایش اهمی ۳۶ برابر کمتر از روش هدایت حرارتی به روش دیگ بخار می‌باشد. در این حالت راندمان حرارتی سیستم اهمی برابر با ۶۷ الی ۸۳٪ و تقریباً ۷ الی ۲۱ برابر بیشتر از دیگ بخار با راندمان ۴ الی ۱۰٪ می‌باشد. همچنین بیان شده که اختلاف دمای نقاط مختلف ماده طی گرمایش اهمی از ۱ الی ۳ °C متغیر است [۱۲]. نتایج نشان داده است که به‌کارگیری روش حرارت دهی اهمی سبب افزایش کیفیت و کاهش انرژی مصرفی برای تغلیظ آب انار می‌گردد [۹]. در تحقیقی بیان شده که با افزایش میزان مواد محلول در آب پرتقال هدایت الکتریکی افزایش و زمان فرایند به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است [۱۳]. گزارش شده است که به‌کارگیری فرایند گرمایش اهمی برای تغلیظ آب انگور در مقایسه با دیگر روش‌های حرارتی سبب افزایش کیفیت محصول می‌گردد [۱۴]. در تحقیقی به بررسی پارامترهایی همچون pH، درجه بریکس، اسیدیته، هدایت الکتریکی، رنگ، آسکوربیک اسید، محتوای آنتوسیانین و

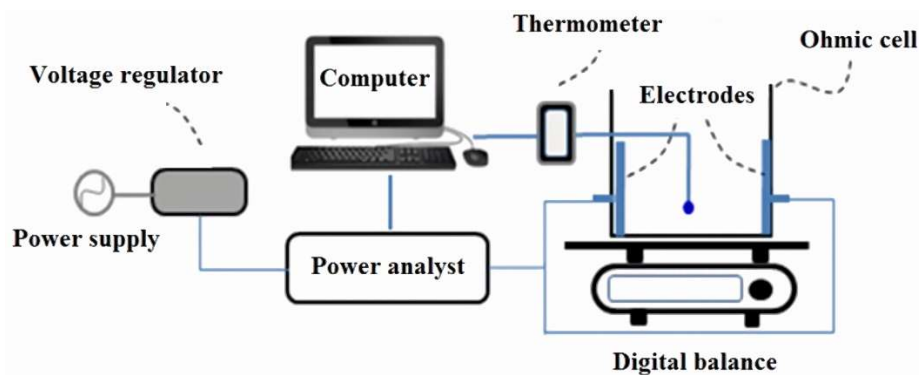
آزمایشات، نمونه‌ها به مدت ۱۰ min در محیط آزمایشگاه قرار داده شد تا با محیط همدمای شوند. شماتیک سامانه گرمایش اهمی استفاده شده در شکل (۱) نشان داده شده است. این سامانه شامل حسگر دما، ترازوی دیجیتالی، تحلیل گر توان، رگلاتور ولتاژ، سلول اهمی، رایانه و شاسی می‌باشد.

به منظور اندازه‌گیری دمای محصول طی فرایند گرمایش از حسگر دمای نوع K با پوششی از تفلون نازک استفاده شد. حسگر دما در داخل سلول قرار می‌گیرد. تغییرات دمایی محصول طی فرایند حرارت دهی با دقت  $0.1^{\circ}\text{C}$  از طریق ترمومتر دیجیتالی مدل TM-917 شرکت Lutron ساخت کشور تایوان 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 فرایند حرارت‌دهی از یک تحلیل گر توان دیجیتالی مدل DW-6090A شرکت Lutron ساخت کشور تایوان 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 اهمی از یک عدد دستگاه رگلاتور ولتاژ مدل TDGC<sub>2</sub>-1KVA شرکت Omega ساخت کشور کره با محدوده کاری ۰ الی ۳۳۰ ولت استفاده شد. سلول گرمایش اهمی از یک مخزن مکعب مستطیلی از جنس شیشه‌ای با ضخامت ۴ mm و ارتفاع ۱۳cm بفرم یک تکه با یک درب آب‌بندی شده تشکیل شده است. دو عدد الکتروود از جنس‌های مختلف استیل ضدزنگ، روی، مس و آلومینیوم با سطح الکتروود به ابعاد ۱۰ در ۱۱ cm و با ضخامت ۲ mm بصورت عمودی به جداره‌های داخلی محفظه با پیچ استیل به بدنه داخلی سلول متصل شده‌اند. فاصله بین الکتروودها ۹/۵ cm می‌باشد.

هم‌چنین تاثیر این فرایند بر غیرفعال‌سازی میکروبی آب آلبالو به روش گرمایش اهمی پرداخته شده است. نتایج بیانگر این است که روش ذکر شده به‌عنوان یک روش مناسب برای فراوری آب آلبالو با تاثیر زیاد در غیرفعال کردن میکروب‌ها بدون تاثیر منفی بر پارامترهای مهم کیفی و فیزیکی معرفی شده است [۱۵]. تاکنون تحقیقی در زمینه بررسی گرمایش اهمیک آب هویج گزارش نشده است لذا هدف از انجام این تحقیق بررسی فرایند گرمایش اهمیک آب هویج به منظور بررسی زمان تغلیظ و انرژی مصرفی می‌باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

نمونه‌های هویج از بازار میوه و تره‌بار خرم آباد در تابستان سال ۱۳۹۷ تهیه شد. پس از شست و شوی میوه‌ها با آب شهری، آب سطحی میوه‌ها توسط کاغذ جاذب گرفته شد. آب میوه‌ها توسط دستگاه آب میوه‌گیر صنعتی استخراج شد. پس از استخراج آب هویج، محصول سریعاً به آزمایشگاه منتقل و در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  نگهداری شد. رطوبت اولیه هویج با استفاده از استاندارد حرارت-دهی آون، ۲۴ ساعت حرارت دهی در دمای  $103^{\circ}\text{C}$ ، برابر با ۸۹/۷٪ محاسبه شد [۶]. آزمایشات گرمایش اهمی به روش حرارت‌دهی تحت فشار اتمسفر انجام شد. در تمامی آزمایشات جرم نمونه آب هویج ثابت و برابر با ۱۵۰ g در نظر گرفته شد. پس از شروع گرمایش، پارامترهای دما، جرم، جریان الکتریکی و ولتاژ عبوری از ماده اندازه‌گیری و ثبت شد. آزمایشات حرارت-دهیدر سطوح گرادیان ولتاژ ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ولت بر سانتیمتر تا رسیدن جرم ماده با ۵۰٪ تغلیظ به ۷۵ g در سه تکرار انجام گرفت. سطوح انتخابی گرادیان ولتاژ در محدوده مورد استفاده جهت گرمایش اهمی مایعات می‌باشد [۱۶]. قبل از شروع



شکل (۱) شماتیک سامانه گرمایش اهمیک

Fig. 1. Schematic of ohmic heating system

که در آن،  $V$  ولتاژ بر حسب  $V$ ،  $I$  بیانگر جریان الکتریکی بر حسب  $A$  و  $\Delta t$  گام زمانی، برابر با ۱ ثانیه در حین اندازه‌گیری پارامترهای جریان الکتریکی و ولتاژ می‌باشد.

در این پژوهش با انجام آزمون پایه در قالب طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار اثر تغییر گرادیان ولتاژ و نوع جنس الکتروود بر خواص کیفی آب هویج مورد مطالعه قرار گرفت. متغیرهای مستقل شامل گرادیان ولتاژ ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و  $V/cm$  و ۳۰ و نوع جنس الکتروودها استیل، مس، روی و آلومینیوم و متغیرهای وابسته شامل مدت زمان تغلیظ، انرژی مصرفی و هدایت الکتریکی آن بود. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS ۱۶ انجام شد و کلیه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. زمان فراوری (تغلیظ)

اثر متقابل نوع الکتروود و گرادیان ولتاژ بر زمان لازم برای تغلیظ ۵۰٪ از آب هویج در سطح احتمال ۰.۱/معنی‌دار بود،  $p < 0.01$ . تاثیر دو پارامتر گرادیان ولتاژ و نوع الکتروود بر میانگین زمان لازم برای تغلیظ آب هویج در سامانه گرمایش اهمی در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش گرادیان ولتاژ اعمالی از ۱۵ به ۲۵  $V/cm$ ، زمان حرارت دهی به ترتیب از

به منظور اندازه‌گیری تغییرات جرم نمونه طی فرایند حرارت دهی از یک ترازوی دیجیتال مدل AND GF-6000 ساخت کشور ژاپن با دقت  $0.1 g$  استفاده شد.

رابطه بین هدایت الکتریکی و ولتاژ و شدت جریان بر اساس مقاومت مورد مطالعه به شرح رابطه (۱) است [۱۳]:

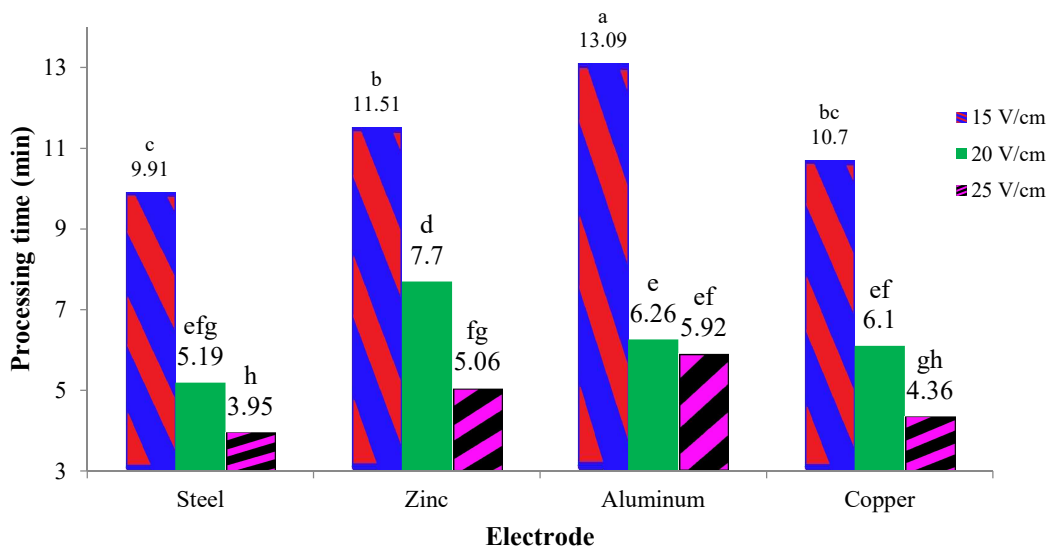
$$\sigma = \frac{LI}{VA} \quad (1)$$

که در آن،  $\sigma$  هدایت الکتریکی بر حسب  $S/m$ ،  $L$  فاصله بین الکتروودها بر حسب  $m$ ،  $A$  سطح مقطع الکتروود بر حسب  $m^2$ ،  $I$  جریان الکتریکی بر حسب  $A$  و ولتاژ بر حسب  $V$  می‌باشند. مقدار انرژی مصرفی ویژه برای تغلیظ نمودن آب هویج از رابطه (۲) محاسبه شد [۱۶]:

$$E_{sc} = \frac{E_{elect}}{m_w} \quad (2)$$

که در آن،  $E_{sc}$  انرژی مصرفی ویژه بر حسب  $J/kg$  water، جرم آب تبخیر شده بر حسب  $kg$  و  $E_{elect}$  انرژی الکتریکی ورودی به سیستم بر حسب  $J$  می‌باشد. انرژی الکتریکی ورودی به سلول از رابطه (۳) محاسبه شد [۱۶]:

$$E_{elect} = \sum(VI \times \Delta t) \quad (3)$$



شکل (۲) زمان فراوری آب هویج متاثر از گرادیان ولتاژ و نوع الکتروود

Fig. 2. Processing time of carrot juice affected by voltage gradient and electrode

گذشت زمان فراوری یا تغلیظ، تا  $1/86$  S/m در استفاده از الکتروود استیل در دمای  $85^{\circ}\text{C}$  افزایش یافت. با تبخیر آب در داخل ماده غذایی درصد قند در داخل آن زیاد می‌شود. افزایش درصد قند، درصد وجود یون به جرم را افزایش داده لذا هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. بیان گردیده که با افزایش دما هدایت الکتریکی برای همه گرادیان‌های ولتاژی افزایش می‌یابد ولی با افزایش گرادیان ولتاژ هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد [۱۴]. هدایت الکتریکی شش میوه به کمک سیستم گرمایش اهمی اندازه‌گیری شده و بیان شده است که با افزایش دما برای هر شش میوه هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد [۱۹]. همچنین نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی آب دریا با افزایش دما افزایش می‌یابد و با افزایش گرادیان ولتاژ هدایت الکتریکی آن کاهش می‌یابد [۲۰].

#### ۴.۲. انرژی مصرفی ویژه

اثر متقابل نوع الکتروود و گرادیان ولتاژ بر انرژی مصرفی ویژه فرایند تغلیظ آب هویج در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود،  $p < 0/01$ . تغییرات انرژی مصرفی ویژه برای تغلیظ آب هویج به روش گرمایش اهمی تحت شرایط مختلف حرارت دهی در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق این شکل، در هر گرادیان ولتاژی، مقدار انرژی مصرفی ویژه تغلیظ آب هویج در استفاده از الکتروود استیل بیشترین و برای الکتروود مس کمترین است. برای هر الکتروودی نیز با افزایش گرادیان ولتاژ، مقدار انرژی مصرفی ویژه به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است  $p < 0/05$ . بیشترین و کمترین انرژی مصرفی ویژه تغلیظ آب هویج به‌ترتیب در استفاده از الکتروود استیل و در گرادیان ولتاژ  $15$  V/cm برابر با  $3/87$  MJ/kg و الکتروود مس در گرادیان ولتاژ  $25$  V/cm برابر با  $3/45$  MJ/kg بوده است. انرژی مصرفی در فرایند گرمایش اهمی تابع زمان فرایند و توان ورودی به سلول گرمایش می‌باشد. با افزایش توان ورودی، زمان فراوری کاهش می‌یابد. روند این نتایج با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد [۱۸].

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر گرادیان‌های مختلف و نوع الکتروود بر رفتار گرمایش اهمیک آب هویج بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل جنس الکتروود مس، استیل، آلومینیوم و روی و گرادیان ولتاژ  $15$ ،  $20$  و  $25$  V/cm بر مدت زمان فراوری یا تغلیظ آب

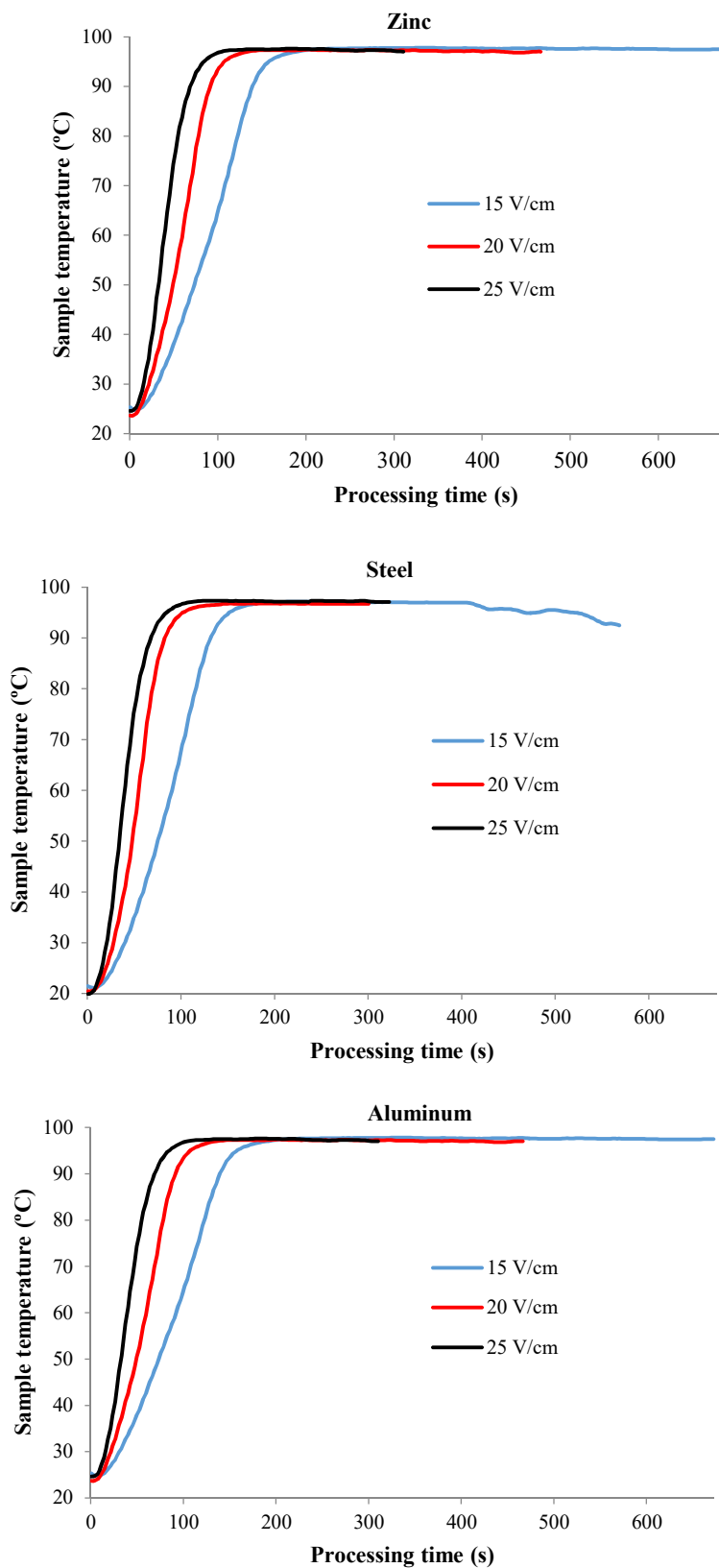
برای الکتروود استیل تا  $13/09$  min برای الکتروود آلومینیوم تغییر یافت. با افزایش گرادیان ولتاژ، حجم انرژی ورودی به داخل سلول اهمی افزایش می‌یابد. نتیجه این افزایش انرژی ورودی، زیاد شدن نرخ تبخیر و در نتیجه کاهش زمان فراوری به‌صورت معنی‌دار است. همچنین زمان فراوری در تمامی سطوح گرادیان ولتاژ برای الکتروود مس از لحاظ آماری کمتر می‌باشد،  $p < 0/05$ . علت این نتیجه شاید به دلیل رساناتر بودن فلز مس در مقایسه با الکتروودهای دیگر است. این اختلاف در زمان فراوری با الکتروودهای مختلف در گزارش محققان دیگر نیز بیان شده است [۱۷، ۱۸].

#### ۲.۲. تغییرات دما-زمان

روند تغییرات دمای محصول در طی فرایند حرارت دهی برای هر یک از سطوح آزمایشی در شکل (۳) نشان داده شده است. مطابق با این نتایج، با افزایش گرادیان ولتاژ، نمونه‌های آب هویج زودتر به دمای حداکثر، تبخیر در دمای تقریباً  $95^{\circ}\text{C}$  رسیده است یا به عبارتی با افزایش گرادیان ولتاژ، شیب ابتدای نمودارها افزایش یافته است. در ادامه فرایند، دمای نمونه‌ها ثابت مانده است. در همه گرادیان‌های ولتاژ نیز، فراوری با الکتروود مس نسبت به الکتروودهای دیگر زودتر انجام شده است. افزایش دما تا رسیدن به دمای نقطه جوش و به‌دنبال آن رسیدن به یک حالت پایا در دمای ثابت توسط سایر محققین نیز گزارش شده است [۱۲، ۱۳].

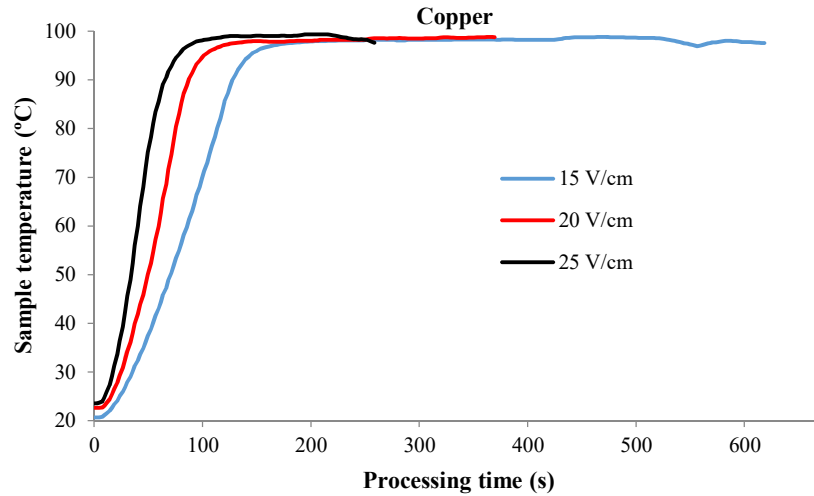
#### ۳.۳. هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب هویج تحت تاثیر جنس الکتروود و گرادیان‌های مختلف ولتاژ در شکل (۴) آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر گرادیان ولتاژی، هدایت الکتریکی آب هویج در استفاده از الکتروود استیل بیشترین و در استفاده از الکتروود روی کمترین است. با افزایش زمان فرایند یا افزایش دما برای هر الکتروود، هدایت الکتریکی آب هویج روند افزایشی دارد. با ادامه فرایند، ضریب هدایت حرارتی کاهش می‌یابد. این کاهش هم می‌تواند به دلیل کاهش مقدار جزئی دما باشد و هم می‌تواند به دلیل افزایش غلظت ماده که اجازه حرکت آزاد را به یون‌های حامل بار الکتریکی نمی‌دهد. اثر گرادیان ولتاژ بر روی هدایت الکتریکی در شکل (۴) معکوس ارزیابی گردید. هدایت الکتریکی آب هویج تقریباً از  $0/6$  S/m در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  شروع شده و با

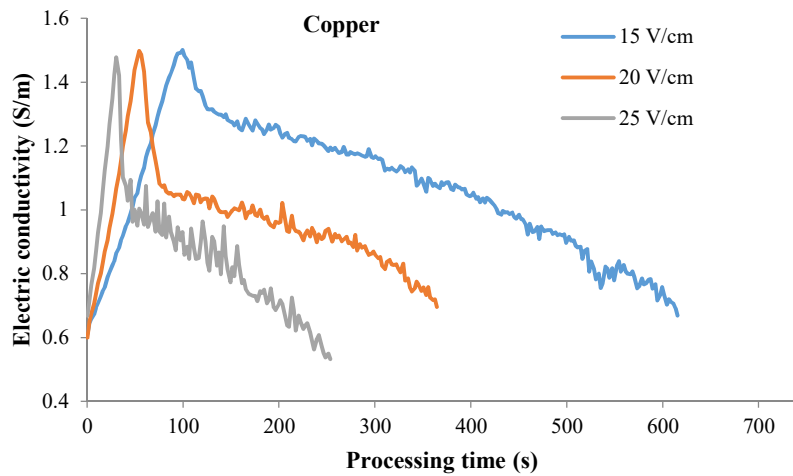
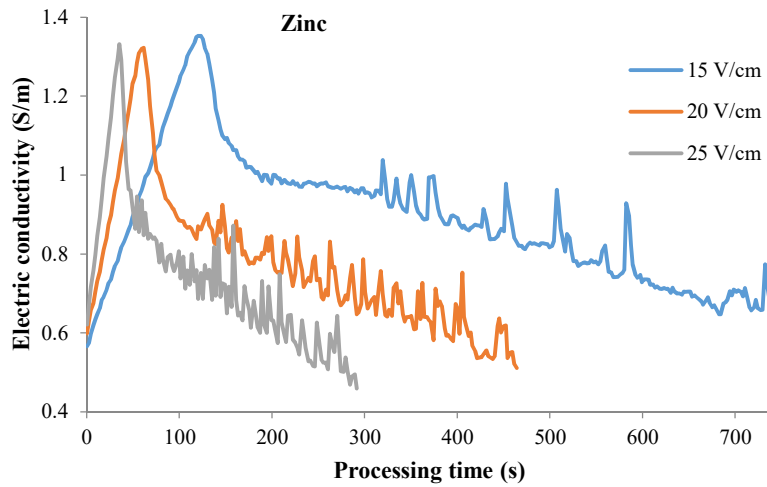


شکل (۳) تغییرات دما-زمان آب هویج برای الکترودهای مختلف

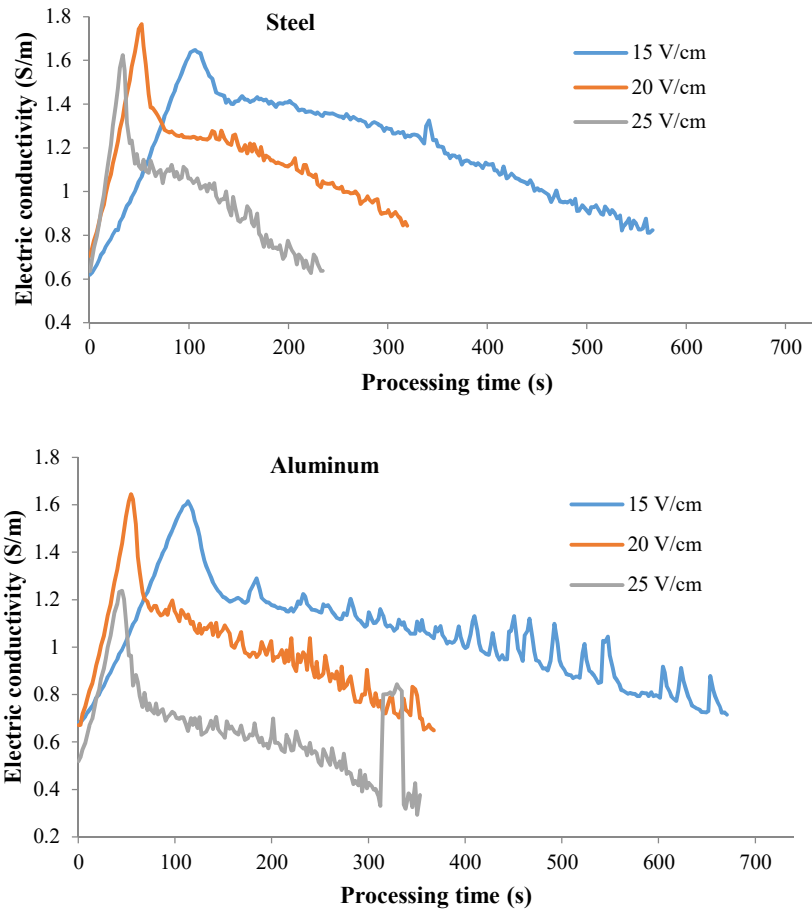
Fig. 3. Temperature-Time variation of carrot juice for various electrodes



ادامه شکل (۳) تغییرات دما-زمان آب هویج برای الکترودهای مختلف  
**Fig. 3.** Temperature-Time variation of carrot juice for various electrodes

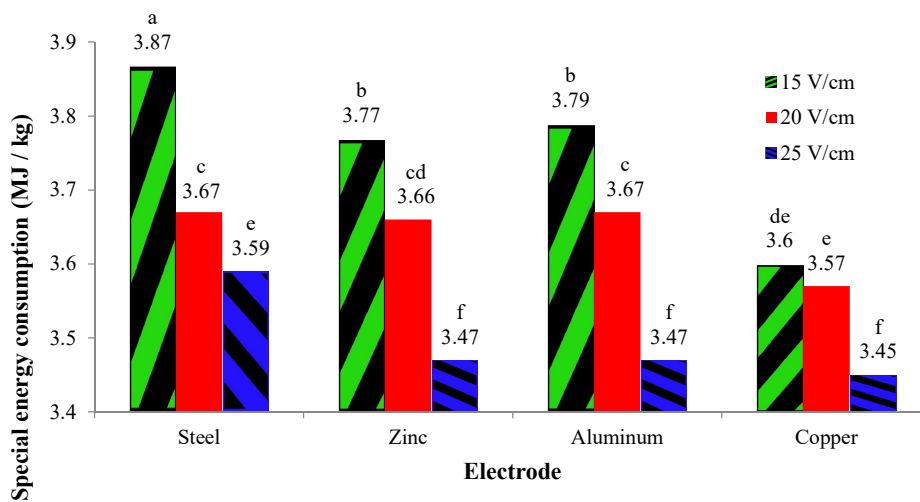


شکل (۴) هدایت الکتریکی آب هویج در الکترودهای مختلف  
**Fig. 4.** Electric conductivity of carrot juice in various electrodes



ادامه شکل (۴) هدایت الکتریکی آب هویج در الکترودهای مختلف

Fig. 4. Electric conductivity of carrot juice in various electrodes



شکل (۵) انرژی مصرفی ویژه تغلیظ آب هویج متأثر از گرادیان ولتاژ و نوع الکترود

Fig. 5. Specific energy consumption of carrot juice affected by electrode and voltage gradient



بهترین عملکرد با کمترین زمان فراوری را داشتند. اثر متقابل جنس الکتروود و گرادیان ولتاژ بر انرژی مصرفی ویژه آب هویج معنی‌دار بود و بهترین عملکرد با کمترین انرژی مصرفی مربوط به استفاده از الکتروود مس در گرادیان ولتاژ ۲۵ V/cm بود.

هویج در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. با افزایش گرادیان ولتاژ، زمان لازم برای تغلیظ آب هویج و هم‌چنین انرژی مصرفی ویژه، کاهش یافت. هم‌چنین هدایت الکتریکی آب هویج با افزایش دما افزایش یافت. الکتروود مس و استیل در گرادیان ولتاژ ۲۵ V/cm

## منابع

- [13] Icier, F., Ilicali, C. (2005). The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. *Eur. Food Res. Technol.*, 220: 406-414.
- [14] Icier, F., Yildiz, H., Baysal, T. 2008. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. *J. Food Eng.*, 85: 410-417.
- [15] Altuntas, J., Evrendilek, G. A., Sangun, M. K., and Zhang, H. Q. (2010). Effects of pulsed electric field processing on the quality and microbial inactivation of sour cherry juice. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 45(5): 899-905.
- [16] Icier, F., Ilicali, C. (2004). Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *J. Food Proc. Eng.*, 27(3): 159-180.
- [17] Amatore, C., Berthou, M., and Hebert, S. (1998). Fundamental principles of electrochemical ohmic heating of solutions. *J. Electroanal Chem.*, 457(1), 191-203.
- [18] Samaranayake, C. P., and Sastry, S. K. (2005). Electrode and pH effects on electrochemical reactions during ohmic heating. *J. Electroanal Chem.*, 577(1), 125-135.
- [19] Sanjay, S., Sastry, S. K., Knipe, L. (2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *J. Food Eng.*, 87(3), 351-356.
- [20] Assiry, A.M., Sastry, S.K., Samaranayake, C. (2006). Influence of temperature, electrical conductivity, power and pH on ascorbic acid degradation kinetics during heating using stainless steel electrodes. *Bioelectrochem.* 68,7-13.
- [1] Koley, T., Singh, S., Khemariya, P., Sarkar, A., Kaur, C., Chaurasia, S., Naik, P. (2014). Evaluation of bioactive properties of Indian carrot (*Daucus carota* L.): Achemometric approach. *Food Res. Int.*, 60, 76-85.
- [۲] باقرپور، ح، محمدی منور، ح. ۱۳۹۶. تشخیص رطوبت و درجه بریکس هویج با استفاده از طیف سنجی فرسوخ نزدیک. *مجله مهندسی بیوسیستم/ایران*، ۴۸ (۱): ۷-۱.
- [3] Fan, L., Zhang, M., Xiao, G., Sun, J., Tao, G. (2005). The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. *Int. Food Sci. Tech.*, 40, 911-919.
- [4] Hsieh, C.W., Ko, W.C. (2008). Effect of high-voltage electrostatic field on quality of carrot juice during refrigeration. *LWT-Food Sci. Tech.*, 41, 1752-1757.
- [5] Zhou, L., Wang, W., Hu, X., Wu, J., Liao, X. (2009). Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice. *J. Innov. Food Sci. Emerg. Tech.*, 10 (3), 321-327.
- [6] Kamali, L., and Farahnaky, A. (2015). Ohmic-assisted texture softening of cabbage, turnip, potato and radish in comparison with microwave and conventional heating. *J. Texture Stud.*, 46(1), 12-21.
- [7] Darvishi, H., Hosainpour, 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. *Innov. Food Sci. Emerg. Tech.*, 31, 73-82.
- [8] Pereira, R., Pereira M., Teixeira J.A., and Vicente A.A. 2007. Comparison of Chemical Properties of Food Processed by Conventional and Ohmic Heating. *Institute of Chemistry, Slovak Acad. Sci. Chem.*, 61 (1), 30-35.
- [9] Darvishi, H., Khostaghaza, H.K., Gholamhassan, N. (2013). Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. *J. Saudi Soc. Agr. Sci.*, 12: 101-108.
- [10] Marcos C.K., Carolina A.S., Antonio A.M., Thereza C.V.P. (2010). Ohmic heating a review. *Trends Food Sci. Tech.*, 21: 436-441.
- [11] Sakr, M., and Liu, S. (2014). A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 39, 262-269.
- [12] Hosainpour, A., Darvishi, H., and Nargesi, F. (2014). Ohmic pre-drying of tomato paste. *Food Sci. Technol. Int.*, 20: 193-204.

*Research Article***Behavior of Ohmic Heating of Carrot Juice Affected by Electrode and Voltage Gradient****Ardeshir Karamian<sup>1</sup>, Isa Hazbavi<sup>2\*</sup>, Feizollah Shahbazi<sup>3</sup>**

1. MSc Graduate, Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.
2. Assistant professor, Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.
3. Associate professor, Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.

**Abstract**

Ohmic Heating is an advanced temperature process in which foods act as electrical resistances. The purpose of this study was to investigate the changes in the processing time or concentration and energy consumption of carrot juice due to voltage gradient changes. In this study, the behavior of the ohmic heating of the carrot juice in different gradients of voltage 15, 20 and 25 V/cm using different electrodes steel, copper, aluminum and zinc were investigated. The results showed that the interaction between the electrode and the voltage gradient on the specific energy consumption and the processing time was significant with  $P < 0.01$ . By increasing the voltage gradient from 15 to 25 V/cm, the minimum and maximum of heating time were 3.95 min for the steel electrode and 13.09 min for the aluminum electrode, respectively. The highest with 3.87 MJ/kg and the lowest with 3.45 MJ/kg of the specific energy of carrot juice were also obtained using a stainless steel electrode on the gradient of 15 V/cm and a copper electrode on the gradient voltage of 25 V/cm, respectively.

**Keywords: Carrot juice, Ohmic heating, Electrode type, Voltage gradients.**

---

\* Corresponding author: [hazbavi.i@lu.ac.ir](mailto:hazbavi.i@lu.ac.ir)