

## بررسی تغییرات خواص کیفی آب نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیک

محمد واحدی ترشیزی<sup>۱</sup>، محسن آزادبخت<sup>۲\*</sup> و مهدی کاشانی نژاد<sup>۳</sup>

۲-۱- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استاد گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۳

### چکیده

فرایندهای الکتریکی در صنعت غذا از اهمیت بالایی برخوردار هستند و روش اهمیک یکی از روش‌های الکتریکی است که با استفاده از عبور جریان الکتریسیته از میان محصول سبب ایجاد حرارت در محصول می‌گردد. در گرمایش اهمیک، دما بدون نیاز به انتقال گرما از سطح جامد-مایع، افزایش می‌یابد. در این تحقیق یک دستگاه گرمایش اهمیک ساخته شد و برای فرایند حرارت دهی در سه گرادیان ولتاژ ورودی (۵، ۷/۵ و ۱۰ وات بر سانتی متر) و سه دمای فرایند (۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه سلسیوس) برای انجام فرایند حرارت دهی انتخاب گردید. طی فرایند حرارتی محتوای فنل کل، فلاونوئید کل، مواد جامد محلول و pH مورد بررسی قرار گرفتند. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار و با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده گرادیان ولتاژ و دمای فرایند بر روی محتوای فنل کل، مقدار فلاونوئید، pH و کل مواد جامد محلول در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین مقدار فنل کل و محتوای فلاونوئید در گرادیان ولتاژ ۵ ولت بر سانتی متر و دمای فرایند ۶۰ درجه سلسیوس و کمترین مقدار در گرادیان ولتاژ ۱۰ ولت بر سانتی متر و دمای فرایند ۹۰ درجه سلسیوس بود. حداکثر pH در گرادیان ولتاژ ۵ ولت بر سانتی متر و دمای فرایند ۹۰ درجه سلسیوس و کمترین مقدار در گرادیان ولتاژ ۱۰ ولت بر سانتی متر و دمای فرایند ۶۰ درجه سلسیوس مشاهده شد. بالاترین میزان تولید در گرادیان ولتاژ ۱۰ وات بر سانتی متر و دمای فرایند ۹۰ درجه سلسیوس و کمترین مقدار در گرادیان ولتاژ ۵ ولت بر سانتی متر و دمای فرایند ۶۰ درجه سلسیوس بود.

### کلمات کلیدی

تیمارهای الکتریکی، فنل کل، فلاونوئید کل، گرادیان ولتاژ

### مقدمه

هزاران سال در زمینه‌های مختلف فرآوری غذا استفاده شده است. با این وجود، فن‌آوری مورد استفاده برای حرارت دادن مواد غذایی به منظور فرآوری

حرارت دادن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های فرآوری مواد غذایی است که توسط بشر به مدت

است که بر مبنای عبور جریان الکتریسیته از طریق یک محصول می‌باشد که محصول به‌عنوان مقاومت الکتریکی عمل می‌کند (Bozkurt *et al.*, 2010). در گرمایش اهمیک، دما بدون نیاز به انتقال گرما از سطح جامد-مایع، افزایش می‌یابد. این تکنولوژی گرمایش، به‌ویژه برای محصولات با ویسکوزیته‌ی بالا (به دلیل سرعت پایین انتقال حرارت همرفتی در ویسکوزیته بالا) یا دارای مواد جامد غیرقابل حل مطلوب است، زیرا فازهای مایع و جامد می‌توانند سرعت گرمایش یکسان داشته باشند، بنابراین از حرارت دیدن بیش از حد فاز مایع و یا سطح مواد جامد، اجتناب می‌شود. روش اهمیک برای مواد غذایی حاوی قطعات جامد نظیر سوپ‌ها، تاس کباب و تکه‌های میوه در شربت مناسب است (Zareifard *et al.*, 2003; Marcotte *et al.*, 2000) همچنین برای مواد غذایی دارای پروتئین که تمایل به دناتوراسیون<sup>۱</sup> و کواگولاسیون<sup>۲</sup> در طی حرارت‌دهی دارند نیز مناسب است (مثل تخم‌مرغ مایع که می‌تواند برای کسری از ثانیه بدون منعقد شدن حرارت ببیند) (Wang *et al.*, 2007). در آب‌میوه‌ها (به‌منظور غیرفعال سازی آنزیم‌ها بدون دست دادن طعم)، پوره‌ها (Icier *et al.*, 2005)، مناسب است.

از این رو تحقیقات فراوانی درباره فرآوری حرارتی مواد غذایی با استفاده از فرایند اهمیک انجام شده است که به چند مورد اشاره می‌شود:

سابانسی و همکاران با استفاده از روش اهمیک به بررسی خصوصیات شیمیایی و کیفی آب انار پرداختند که نتایج این تحقیق نشان داده استفاده از روش اهمیک و افزایش ولتاژ اهمیک سبب افزایش مقدار آنتی‌اکسیدان، محتوای فنل در آب انار شده است (Sabanci *et al.*, 2019).

آن‌ها، در طول قرن بیستم تحول شگرف یافت و تا زمان حال نیز ادامه دارد. به‌ویژه اینکه در روش‌های سنتی حرارت دهی مواد غذایی، انتقال حرارت از محیط مایع به جامد باعث افت کیفیت محصول می‌شد؛ بنابراین محققین باید به دنبال روش‌هایی بودند که باعث تولید حرارت در داخل ماده غذایی می‌شد. فناوری‌هایی نظیر حرارت دهی اهمی، دی‌الکتریک (که شامل حرارت دهی ماکروویو و حرارت دهی فرکانس رادیویی) و حرارت دهی القایی، توسعه یافته‌اند که می‌توانند حداقل به‌طور جزئی جایگزین روش‌های حرارتی سنتی شده که اصولاً بر پایه انتقال حرارت به روش هدایت، جابجایی و تشعشع هستند (Imani *et al.*, 2007). فرآیندهای متعارف، ایمنی مواد غذایی را تضمین می‌کند، اما دمای بالا در فرایندهای حرارتی منجر به از دست دادن مواد مغذی و تغییرات ارگانیک می‌شود. در حال حاضر، روش‌های الکتریکی و غیرحرارتی توجه صنایع غذایی به‌عنوان یک روش جایگزین حرارتی جهت نگهداری محصولات غذایی به دست آورده‌اند (Mercali *et al.*, 2014). با توجه به اینکه فرایند محصولات غذایی ضروری است، در سال‌های اخیر، فناوری‌های جایگزین از جنبه‌های صنعتی و فرایند مواد غذایی در سراسر جهان اهمیت یافته‌اند. با کاهش انرژی مصرفی در صنعت، برخی از مشکلات مانند کمبود منابع انرژی و مشکلات زیست‌محیطی برطرف می‌شود؛ ارزش اقتصادی بیشتری برای آن کشور فراهم خواهد کرد (Bozkurt *et al.*, 2010). از این رو محققان جهت غلبه بر این مشکلات، بر فناوری‌های جایگزین در فرایندهای صنعتی متمرکز شده‌اند. تیمارهای الکتریکی نقش مهمی در روش‌های متداول در تکنولوژی مواد غذایی بازی می‌کنند. فرایند اهمیک یک روش الکتریکی حرارتی

(2006).

با توجه به اینکه فرایندهای حرارتی جز اصلی فرآوری محصولات غذایی هستند و با توجه به اینکه بعد از فرایند حرارتی باید مقادیر مهم محتوای هر محصول تغییر چندانی نکند از این رو هدف از این تحقیق بررسی تأثیر فرایند حرارتی اهمیت بر روی میزان تغییرات محتوای آب نارنج است. در این تحقیق به بررسی تغییرات خصوصیات شیمیایی این ماده طی فرایند حرارت دهی پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

#### آماده‌سازی نمونه

نارنج‌ها از یک باغ واقع در شهرستان گرگان، استان گلستان خریداری شدند. نارنج‌های تهیه‌شده بعد از شست شو از وسط به دونیم تقسیم‌شده و بلافاصله در یک شرایط یکسان و با استفاده از یک آب میوه گیری دستی از تمام نمونه‌ها آب گیری انجام شد. نمونه‌ها برای انجام آزمایش طی فرایند اهمیت با گرادیان‌های ولتاژ و دمای مختلف فرایند شدند و پس از انجام فرایند حرارت دهی اهمیت میزان محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل، pH و مواد جامد محلول مورد بررسی قرار گرفت.

#### روش انجام آزمایش

برای انجام این فرایند یک مخزن از جنس پلاستیک‌های ترموست در نظر گرفته شد. نمونه‌ها درون این مخزن و بین دو الکترود ریخته شده و دمای اولیه آن‌ها پس از ثابت شدن ثبت گردید و بعد از ثبت دمایی ولتاژ به مجموعه وارد شده و نمونه‌ها گرم شدند. برای انجام فرایند حرارت دهی سه گرادیان ولتاژ ۵، ۷/۵ و ۱۰ (ولت بر سانتی متر انتخاب

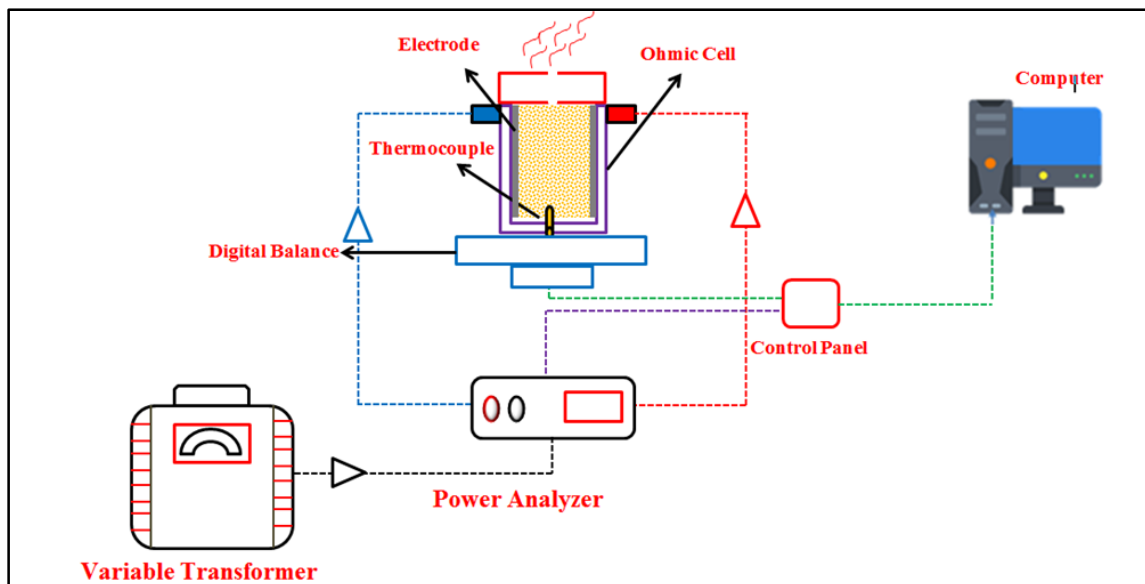
درویشی و همکاران بر روی تغییرات خصوصیات آب میوه شاه توت با استفاده از فرایند اهمیت گزارش کردند که افزایش گرادیان ولتاژ سبب افزایش معنی دار مقدار محتوای فنل کل، ویتامین سی شده و مقدار pH نمونه‌ها طی فرایند اهمیت کاهش پیدا کرده است (Darvishi *et al.*, 2020)

آصفی و همکاران بر روی بررسی اثر تیمارهای مختلف حرارتی بر خصوصیات کیفی و شیمیایی آب انگور تحقیقی را صورت دادند که نتایج این تحقیق نشان داد افزایش راندمان تولید آب انگور در نمونه های تیمار شده با فرایند اهمیت ۸٪ بیشتر از روش سنتی حرارت دهی میباشد. میزان محتوای فنولیک و آنتوسیانین در نمونه های پیش تیمار شده با فرآیند اهمیت در مقایسه با نمونه های کنترل تفاوت معنی داری را نشان داد و در مقدار این پارامترها افزایش قابل توجهی مشاهده شد (Asefi & Jafarian., 2018)

بایسل و همکاران گزارش کردند که میزان محتوای فنل آب انگور با استفاده از فرایند اهمیت بیشتر از فرایند ماکروویو کاهش یافت ولی میزان pH طی فرایند اهمیت افزایش یافت (Baysal *et al.*, 2011). آکین و همکاران تأثیر روش اهمیت را بر روی میزان خواص فیزیکی و شیمیایی آب هویج بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد که میزان PH، مواد جامد محلول و اسیدیته تغییر معنی داری طی فرایند نداشته است (Akin *et al.*, 2009).

آسیری و همکاران تأثیر دما و ضریب هدایت الکتریکی بر روی میزان pH در فرایند حرارتی اهمیت را با استفاده از الکترود استیل ضدزنگ گزارش کردند نتایج آن‌ها نشان داد میزان pH در طی فرایند اهمیت افزایش می‌یابد (Assiry *et al.*,

شد و سعی شد با استفاده از این گرادیان ولتاژها نمونه‌ها به سه دمای ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه سلسیوس برسد. در شکل ۱ طرح کلی فرایند حرارت‌دهی و اجزای سیستم اهمیک نشان داده شده است.



شکل ۱- طرح کلی تجهیزات استفاده شده برای فرایند حرارت دهی اهمیک آب نارنج

Figure 1- Outline of the equipment used for the ohmic heating process of orange juice

فرایند استفاده شد. تمامی آزمایشات در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد.

#### اندازه‌گیری فنل کل آب نارنج

برای اندازه‌گیری محتوای فنلی از روش فولین سیو کالتو استفاده شده در این روش ۱ سی‌سی از آب‌میوه را در استوانه‌ای به حجم ۱۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. سپس یک میکرو لیتر از عصاره رقیق‌شده را با آب مقطر مخلوط و فولین به محلول فوق اضافه شد. محلول دقیایقی هم زده شد و پس از ۵ دقیقه محلول سدیم کربنات ۲۰ درصد (۱۰ گرم در ۵۰ سی‌سی آب مقطر) به محلول اضافه و نمونه‌ها پس از هم زدن در بن ماری در دمای ۲۰ درجه

آزمایش‌ها در یک سیستم گرمایش اهمیک ساکن انجام شد. سیستم استفاده‌شده شامل یک سلول از جنس پلاستیک فشرده و شفاف (طول ۶ سانتی متر، عرض ۶ سانتی متر، ارتفاع ۳ سانتی متر ضخامت دیواره سلول ۰/۳ سانتی متر)، الکتروود از جنس استیل ضدزنگ (ضخامت ۰/۱ سانتی متر) و فاصله بین دو الکتروود ۶ سانتی متر و از یک Variable Transformer که وظیفه ایجاد ولتاژهای مختلف را داشت استفاده شد. پاور انالیزار (Lutron DW-6090) نیز که وظیفه بررسی و کنترل نحوه رفتار انرژی سیستم را نشان می‌داد. از یک کامپیوتر برای ذخیره داده‌ها استفاده شد. یک ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم جهت اندازه‌گیری میزان جرم در طی

بررسی تغییرات خواص کیفی آب نارنج طی فرایند حرارت دهی...

pH متر دیجیتال PHS-3BW  
pH meter (MICROPROCESSOR) pH/Mv  
ساخت کشور ایتالیا اندازه‌گیری شد  
(Seyedabadi *et al.*, 2017).

#### اندازه‌گیری مواد جامد محلول آب نارنج

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از دستگاه  
رفرکتومتر دیجیتالی (CETI, ABBE, Belgium)  
ساخت کشور ژاپن استفاده شد و برحسب  
درجه بریکس بیان گردید (Seyedabadi *et al.*,  
2017).

#### آنالیز آماری

در این آزمایش متغیرهای مستقل شامل  
گرادیان ولتاژ و دمای نمونه بود که این آزمایش در  
سه گرادیان ولتاژ ۵، ۷٫۵ و ۱۰ ولت بر سانتی متر  
تحت تیمار قرار گرفت و دمای ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه  
سلسیوس رسید، پس از رسیدن به دمای مدنظر  
متغیرهای وابسته شامل محتوای فنل کل، فلاونوئید  
کل، pH و مواد جامد محلول نمونه‌های اندازه‌گیری  
شدند و تمامی آزمایشات در سه تکرار انجام شد.  
مقادیر آزمایشات با استفاده از طرح فاکتوریل در  
قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری  
SAS 9.2 تحلیل شدند.

#### نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس تأثیر گرادیان  
ولتاژ و دمای فرایند بر روی میزان محتوای فنل کل،  
فلاونوئید کل، pH و مواد جامد محلول نشان  
داده شده است.

سلسیوس قرار گرفت. سپس جذب نمونه‌ها با  
استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری در طول موج ۷۶۰  
نانومتر خوانده شد. نتایج برحسب میلی گرم اسید  
گالیک در ۱۰۰ گرم نمونه محاسبه شد (برای رسم  
منحنی - کالیبراسیون از اسید گالیک به عنوان  
استاندارد استفاده شد) و نتایج برحسب میلی گرم  
اسید گالیک در ۱۰۰ میلی لیتر جرم نمونه محاسبه  
شد. منحنی با نرم افزار Excel رسم گردید، سپس  
معادله خط  $y=bx+a$  بدست آمد. جذب‌های خوانده  
شده از نمونه‌ها به جای  $y$  قرار داده شد و  $x$  یا  
همان غلظت بدست آمد. (Jaramillo-Flore *et al.*,  
2003).

#### اندازه‌گیری فلاونوئید کل آب نارنج

برای تعیین مقدار فلاونوئید، عصاره متانولی با  
متانول، آلومینیم کلرید ۱۰ درصد (۱۰ گرم آلومینیم  
کلرید در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر)، استات پتاسیم  
یک مولار (۲/۴۱ گرم در ۱۰ میلی لیتر 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 با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۳۰  
نانومتر قرار داده شده و عدد خروجی دستگاه قرائت  
گردید. اعداد به دست آمده برای فلاونوئید با رجوع به  
منحنی استاندارد، واقعی شدند (Huang *et al.*,  
2004).

#### اندازه‌گیری pH آب نارنج

طبق استاندارد ایران به شماره ۲۶۸۵، pH  
تمامی نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سلسیوس توسط

جدول ۱- آنالیز واریانس گرادیان ولتاژ و دمای فرایند بر روی محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید، pH و مواد جامد محلول آب نارنج  
**Table 1- Variance analysis of Voltage gradient and process temperature on total phenol content, total flavonoid, pH and total soluble solid**

| میانگین مربعات<br>Mean square                |          |  |  |                                 |
|--|----------|--|--|---------------------------------|
| مواد جلمد<br>محلول<br>Total soluble<br>solid | pH       | محتوای فلاونوئید<br>Flavonoid<br>content | محتوای فنل کل<br>Total phenol<br>content | درجه<br>آزادی<br>Degree<br>Free |
| 1.34**                                       | 0.039**  | 2.28**                                   | 128.22**                                 | 2                               |
| 0.414**                                      | 0.022**  | 1.61*                                    | 376.70**                                 | 2                               |
| 0.021*                                       | 0.0014** | 0.085 ns                                 | 6.79*                                    | 4                               |
| 0.0049                                       | 0.00017  | 0.0935                                   | 2.22                                     | 18                              |

\*\* معنی داری در سطح ۱ درصد، \* معنی داری در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی داری  
 Significance at 1% level, \* Significance at 5% level, ns non-significance \*\*

در یک ولتاژ ثابت برای هر سه ولتاژ؛ مشاهده شد اما برای دماهای فرایند در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد تفاوت معنی داری بین گرادیان ولتاژ ۷/۵ و ۱۰ ولت بر سانتی متر وجود نداشت اما این دو گرادیان ولتاژ تفاوت معنی داری با گرادیان ولتاژ ۵ داشتند. برای دمای فرایند ۷۵ درجه سانتی گراد هر سه گرادیان ولتاژ تفاوت معنی داری با یکدیگر داشتند و در نهایت برای دمای ۹۰ درجه تفاوت معنی داری بین گرادیان ولتاژ ۵ و ۷/۵ ولتاژ بر سانتی متر مشاهده نشد اما این دو گرادیان ولتاژ با گرادیان ولتاژ ۱۰ ولت بر سانتی متر تفاوت معنی دار داشتند. نتایج به دست آمده از این پژوهش مشابه نتایج ماکرو و همکاران طی فرایند حرارت دهی اهمیت آب لیمو بود که میزان محتوای فنلی آب لیمو نیز کاهش پیدا کرد (Makroo et al., 2017). در طی فرایند حرارت دهی، فعال شدن آنزیم‌های اکسیداتیو مانند پلی فنل

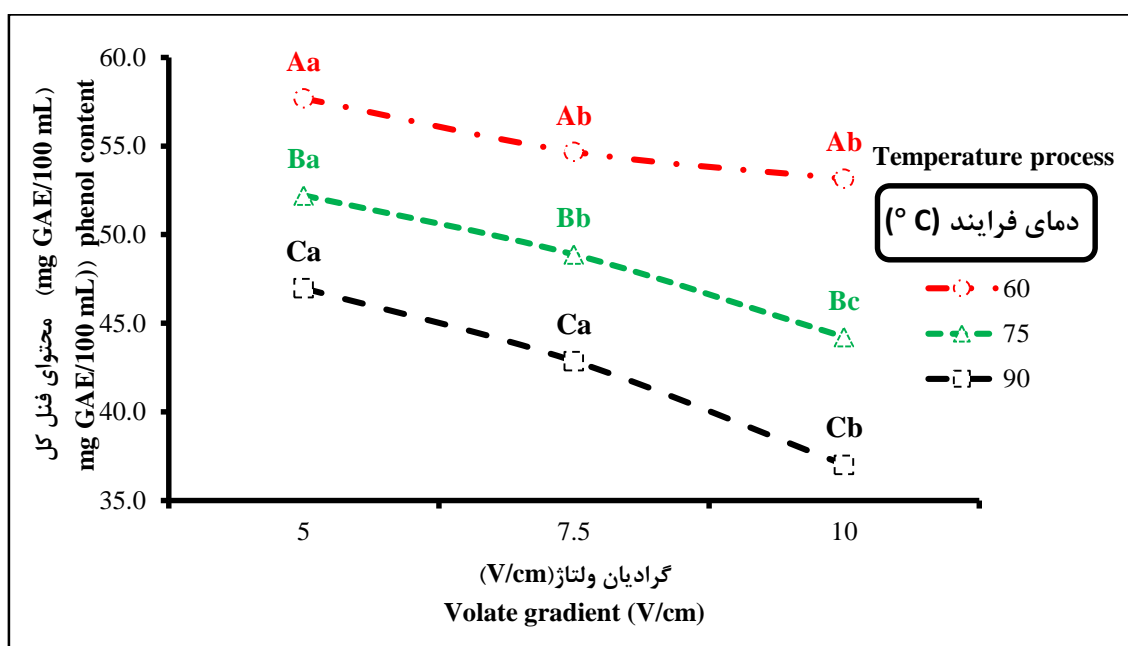
### تغییرات محتوای فنلی آب نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیت

در جدول 1 نتایج آنالیز واریانس محتوای فنلی آب نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیت نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده گرادیان ولتاژ و دمای فرایند هر دو در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی داری بر محتوای فنلی آب نارنج داشتند. همچنین اثر متقابل این دو فاکتور نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل‌ها از آزمون LSD جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد که نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ با افزایش گرادیان ولتاژ میزان محتوای فنلی کاهش یافت و همچنین در یک گرادیان ولتاژ ثابت با افزایش دمای فرایند میزان محتوای فنلی نمونه‌ها کاهش پیدا کرده است. از لحاظ آماری تفاوت معنی داری بین دماهای فرایند

بررسی تغییرات خواص کیفی آب نارنج طی فرایند حرارت دهی...

Ramandeep K & Savage Geoffrey *et al.*, 2006). علاوه بر این، دلیل دیگری برای کاهش محتوای فنلی می‌تواند به دلیل اتصال فنل به پروتئین، تغییرات در ساختار شیمیایی، یا عدم امکان استخراج توسط روش حاضر در دسترس باشد (Miranda *et al.*, 2010; Martín-cabrejas *et al.*, 2009).

اکسیداز<sup>۱</sup> و پراکسیداز<sup>۲</sup> ممکن است منجر به از دست دادن محتوای فنلی شود. علاوه بر این، محتوای درونی تشکیل‌دهنده‌ی آب‌نارنج در طول فرایند حرارتی مختل می‌شود و ممکن است باعث آزاد شدن آنزیم‌های پراکسیداسیون و هیدرولیتیکی شوند که سبب کاهش محتوای فنلی می‌شوند (Toor



شکل ۲- اثر متقابل دمای فرایند و گرادیان ولتاژ بر میزان محتوای فنلی آب‌نارنج

حروف کوچک مشابه نشان دهنده عدم معنی داری در یک دمای فرایند ثابت و حروف بزرگ مشابه نشانه عدم معنی داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت

Figure 2- The interaction effect of process temperature and voltage gradient on the amount of phenolic content of sour orange juice

Similar lowercase letters indicate non-significance at a fixed process temperature and similar uppercase letters indicate non-significance at a fixed voltage gradient.

نمونه‌ها داشتند ولی اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نبود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش گرادیان ولتاژ میزان فلاونوئید کل کاهش پیدا کرد و با افزایش دمای فرایند از ۶۰ به ۹۰ درجه سانتی‌گراد نیز نتایج مشابه بود. از لحاظ آماری تفاوت

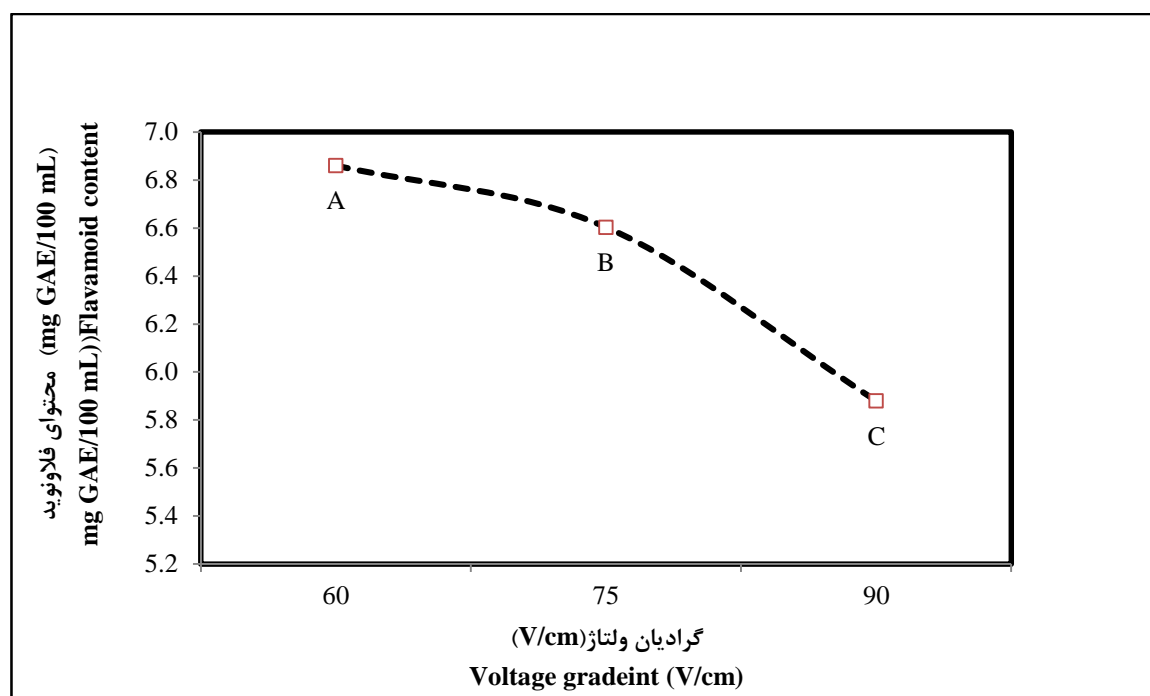
تغییرات محتوای فلاونوئید کل آب‌نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیت

در جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس محتوای فلاونوئید آب‌نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیت نشان داده شده است با توجه به نتایج به دست آمده گرادیان ولتاژ و دمای فرایند هر دو در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری روی محتوای فلاونوئیدی

با افزایش مدت زمان فرایند میزان فلاونوئید کاهش پیدا کرد (Lee Hyeon *et al.*, 2008). از طرفی زمانی که بخواهیم دما را از ۶۰ درجه سلسیوس به ۹۰ درجه سلسیوس افزایش دهیم مدت زمان فرایند حرارت دهی نیز افزایش پیدا خواهد که همین امر سبب کاهش میزان فلاونوئید می گردد. نتایج به دست آمده مشابه گزارشات کابررا و همکاران بر روی زمان فرایند و دمای فرایند حرارت دهی بر روی آب انگور بود که گزارش کردند با افزایش زمان فرایند میزان فلاونوئید کاهش یافت (Cabrera Shirley *et al.*, 2009).

معنی داری بین گرادیان ولتاژ ۵ و ۷/۵ ولت بر سانتی متر با یکدیگر مشاهده نشد اما این دو گرادیان تفاوت معنی داری با گرادیان ۱۰ ولت بر سانتی متر داشتند.

برای دمای فرایند نیز بین هر سه دما تفاوت معنی دار آماری مشاهده شد و بیشترین میزان فلاونوئید در گرادیان ۵ ولت بر سانتی متر و دمای فرایند ۶۰ درجه و کمترین مقدار در گرادیان ۱۰ ولت بر سانتی متر و دمای فرایند ۹۰ مشاهده شد. نتایج به دست آمده برای دمای فرایند مشابه نتایج لی و همکاران روی محتوای انگور بود که گزارش کردند



شکل ۳- مقایسه میانگین دمای فرایند و گرادیان ولتاژ بر میزان محتوای فلاونوئیدی آب نارنج

حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری

Figure 3- Comparison of average process temperature and voltage gradient on the flavonoid content of sour orange juice

Similar letters indicate lack of meaning

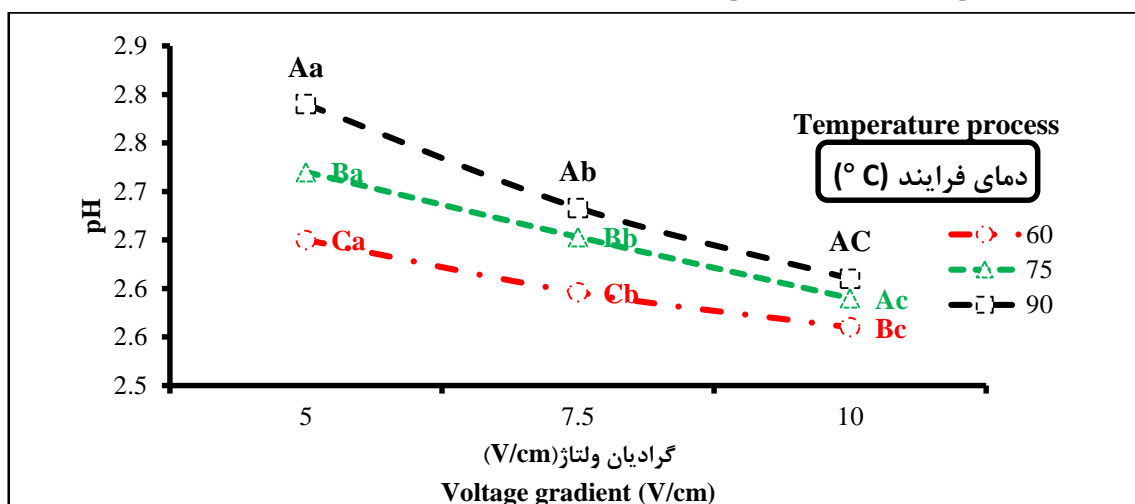


افزایش دمای فرایند افزایش یافت (Ishita *et al.*, 2017). همچنین با افزایش دمای فرایند میزان pH افزایش پیدا کرد و از لحاظ آماری برای گرادیان ولتاژ ۵ و ۷/۵ ولت بر سانتی متر تفاوت معنی داری بین دماهای فرایند در تغییرات pH مشاهده شد ولی در گرادیان ولتاژ ۱۰ ولت بر سانتی متر تفاوت معنی داری بین دمای فرایند ۷۵ و ۹۰ درجه سلسیوس نبود. نتایج به دست آمده مشابه گزارشات درویشی و همکاران بر روی آب انار طی فرایند حرارت دهی اهمیت بود که میزان pH نمونه‌ها افزایش یافته بود (Darvishi *et al.*, 2013). الکترولیز شدن یا فعل و انفعالات الکتروشیمیایی طی فرایند سبب تغییرات ایجاد شده در آب نارنج شده است، همچنین در زمان‌های اولیه جریان عبوری فقط صرف بالا بردن دما تا رسیدن به دمای تعادل می‌شود و پس از رسیدن به این دما سبب تغییرات pH نمونه می‌گردد (Makroo *et al.*, 2017; Ishita *et al.*, 2017).

## تغییرات pH آب نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیت

نتایج حاصل از آنالیز واریانس pH آب نارنج در جدول ۱ نشان داده شده است با توجه به جدول گرادیان ولتاژ، دمای فرایند و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور بر روی pH نمونه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد که نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش گرادیان ولتاژ میزان pH کاهش یافت و از لحاظ آماری برای هر سه دمای فرایند تفاوت معنی داری بین گرادیان‌های ولتاژ مشاهده شد. نتایج حاصل مشابه نتایج چاکرابورتی و همکاران بر روی آب میوه گواوا طی فرایند اهمیت بود (Chakraborty *et al.*, 2014) و ایشیتا و همکاران گزارش کردند که تغییرات pH طی فرایند حرارت دهی اهمیت با



شکل ۴- اثر متقابل دمای فرایند و گرادیان ولتاژ بر میزان pH آب نارنج

حروف کوچک مشابه نشان دهنده عدم معنی داری در یک دمای فرایند ثابت و حروف بزرگ مشابه نشانه عدم معنی داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت

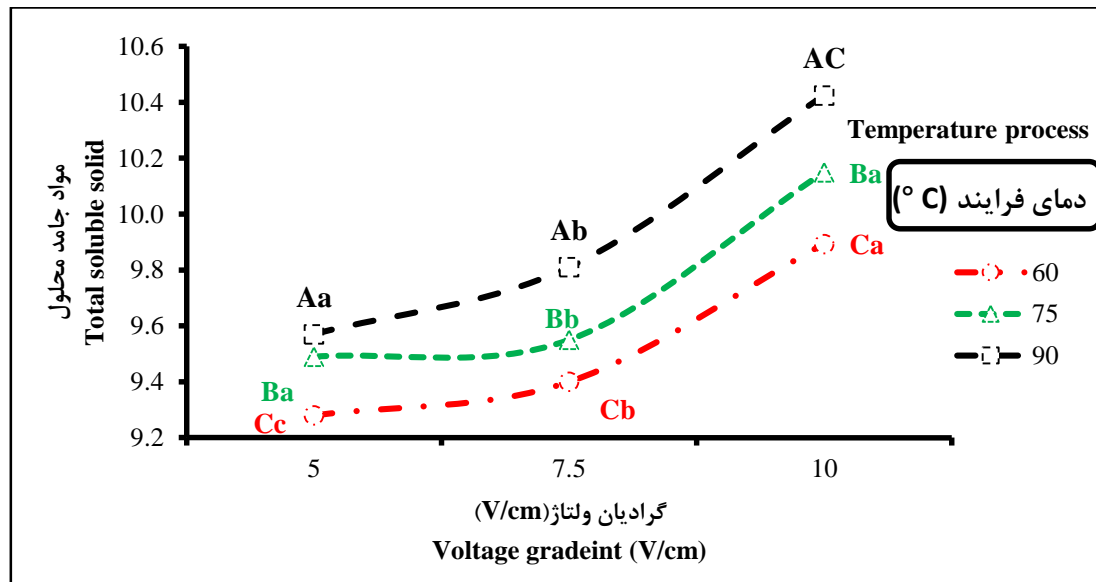
Figure 4- The interaction effect of process temperature and voltage gradient on the pH of sour orange juice. Similar lowercase letters indicate non-significance at a fixed process temperature and similar uppercase letters indicate non-significance at a fixed voltage gradient.

## تغییرات مواد جامد محلول آب‌نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیک

نتایج آنالیز واریانس مواد جامد محلول آب‌نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیک در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده گرادیان ولتاژ و دمای فرایند در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد روی مواد جامد محلول نمونه‌ها تأثیر معنی‌دار داشت. از آزمون LSD جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۵ با افزایش گرادیان ولتاژ میزان مواد جامد محلول افزایش یافت و برای هر سه دمای فرایند تفاوت معنی‌داری با افزایش ولتاژ مشاهده شد. همچنین در یک ولتاژ ثابت تفاوت

معنی‌داری بین دماهای فرایند وجود داشت؛ که دلیل آن افزایش میزان آب خارج شده از نمونه یا پیوندها آبی در حال شکستن جهت خارج شدن از نمونه می‌باشد که همین امر سبب افزایش غلظت مواد جامد محلول نمونه‌ها گردید. همچنین دلایل احتمالی برای افزایش مواد جامد محلول می‌تواند تبدیل اسیدهای ارگانیک به قندها از طریق گلوکونوزنیز<sup>۱</sup> باشد. از طرفی فرایند حرارت دهی تخریب سلولز، همی سلولز و پکتین، اجزای محلول را آزاد می‌کند که بر مواد جامد محلول تأثیر می‌گذارد (Chakraborty *et al.*, 2014). آلتوناس و همکاران (۲۰۱۰) بر روی آب‌میوه گیل‌اس نتایج مشابهی را گزارش کردند که با روش حرارتی پالس الکتریک میزان مواد جامد محلول نمونه افزایش یافته بود (Altuntas *et al.*, 2010).



شکل ۵- اثر متقابل دمای فرایند و گرادیان ولتاژ بر میزان مواد جامد محلول آب‌نارنج

حروف کوچک مشابه نشان دهنده عدم معنی‌داری در یک دمای فرایند ثابت و حروف بزرگ مشابه نشانه عدم معنی‌داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت

Figure 5- The interaction effect of process temperature and voltage gradient on the Total soluble solid in sour orange juice solution

Similar lowercase letters indicate non-significance at a fixed process temperature and similar uppercase letters indicate non-significance at a fixed voltage gradient.

## نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحلیل داده ها از نظر آماری این را نشان داده است که استفاده از گرادیان ولتاژ بالا سبب کاهش محتوای فنل و فلاونوئید شده و افزایش دمای فرایند نیز چنین نتیجه ایی را نشان داده است. همچنین افزایش گرادیان ولتاژ سبب کاهش مقدار pH و افزایش دمای فرایند سبب این شده که این

فاکتور افزایش پیدا کند. در نهایت برای فاکتور مواد جامد محلول نیز افزایش دمای فرایند و گرادیان ولتاژ سبب افزایش این مقدار گردیده است. در مجموع می توان بیان کرد که با توجه به اهمیت ترکیبات فنلی استفاده از گرادیان ولتاژ ۵ ولت بر سانتی-متر و دمای فرایند ۶۰ درجه سلسیوس برای فرایند حرارت دهی پیشنهاد می شود.

## تشکر و قدردانی

با تشکر از گروه مهندسی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به دلیل ارائه تجهیزات این آزمایشگاه جهت انجام پژوهش.

## تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

## مراجع

- Akin, E. and Evrendilek, G. A. 2009. Effect of pulsed electric fields on physical, chemical, and microbiological properties of formulated carrot juice. *Food Science and Technology International*. 15 (3): 275–82.
- Altuntas, J., Evrendilek, G.A., Sangun Mustafa, K. and Zhang Howard, Q. 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 (5): 899–905.
- Asefi, N. and Jafarian, P. 2018. Evaluation of the effect of different heat pretreatment on chemical properties of grape juice. *Journal of Food Technology and Nutrition*. 15(3): 65-72.
- Assiry Alhusein, M., Sastry Sudhir, K. and Samaranayake Chaminda, P. 2006. Influence of temperature, electrical conductivity, power and ph on ascorbic acid degradation kinetics during ohmic heating using stainless steel electrodes. *Bio electrochemistry*. 68, 7–13.
- Baysal, T. and Rayman, A. 2011. Effects of electrical pre-treatment applications on yield and quality of grape juice. *The Journal of Food*. 36, 145–52.
- Bozkurt, H. and Icier, F. 2010. Exergetic performance analysis of ohmic cooking process. *Journal of Food Engineering*. 100 (4): 688–95.
- Cabrera Shirley, G., Jang Ji, H., Kim Sang, T., Lee Yun, R., Lee Hyeon, J., Chung Hun, S. and Moon Kwang, D. 2009. Effects of processing time and temperature on the quality components of campbell grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 33 (3): 347–60.
- Chakrabortya, I. and Athmaselvi, K.A. 2014. Changes in physicochemical properties of guava juice during ohmic heating. *Journal of Ready to Eat Food*. 1 (4): 152–57.
- Darvishi, H., Khostaghaza, M.H. and Najafi, Gh. 2013. Ohmic Heating of Pomegranate Juice: Electrical conductivity and ph change. *Journal of the Saudi Society of Agricultural*

- Sciences. 12 (2): 101–8.
- Darvishi, H., Salami, P., Fadavi, A. and Saba, M. K. 2020. Processing kinetics, quality and thermodynamic evaluation of mulberry juice concentration process using ohmic heating. *Food and Bioproducts Processing*. 123, 102-110.
- Huang, D.J., Chun-Der, L.I.N., Hsien-Jung, C.H.E.N. and Yaw-Huei, L.I.N., 2004. Antioxidant and antiproliferative activities of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] LamTainong 57') constituents. *Botanical Bulletin of Academia Sinica Journal*. 45, 179-186.
- Icier, F. and Ilicali, C. 2005. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International*. 38(10): 135–1142.
- Imai, t., uemura, k.,ishida, N.,yoshizaki, sh. and noguchi, a. 2007. Ohmic heating of japanese white radish *Rhaphanus sativus* L. *International Journal of Food Science & Technology*. 30 (4): 461–72.
- Ishita, C. and Athmaselvi, K. A. 2017. Changes in ph and colour of watermelon juice during ohmic heating. *International Food Research Journal*. 24 (2): 741–46.
- Jaramillo-Flores, ME., González-Cruz, L., Cornejo-Mazón, M., Dorantes-álvarez, L., Gutiérrez-López, G.F and Hernández-Sánchez, H. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia Ficus-Indica*). *Food Science and Technology International*. 9 (4): 271–78.
- Lee Hyeon, J., Chung, H. and Moon Kwang, D. 2008. Effects of processing time and temperature on the quality components of campbell grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 33(3): 347–60.
- Makroo, H.A., Saxena, J., Rastogi, N.K. and 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. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41 (6): 1–9.
- Marcotte, M. and Trigui, M. 2000. Conductivities and ohmic heating of viscous. *Journal of Food Processing and Preservation*. 24, 389–406.
- Martín-cabrejas, A., Aguilera, Y., Pedrosa, M., Cuadrado, C., Hernández, T., Díaz, S. and Esteban, R. 2009. The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry*. 114 (3): 1063–68.
- Mercali, G.D., Schwartz, S., Marczak, L.D.F., Tessaro, I.C. 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 (February): 1–7.
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., López, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., Uribe, E. and Di Scala, K. 2010. Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium Quinoa Willd*). *Industrial Crops & Products*. 32 (3): 258–63.
- Seyedabadi, M.M., Aghajanzadeh, S., Kashaninejad, M., and Ziiaifar, A.m. 2017. Investigation of the effect of microwave on some physicochemical properties of sour orange juice. *Journal of Food Science and Technology*. 14 (62): 17–29.
- Sabancı, S., Cevik, M., Cokgezme, O.F., Yildiz, H. and Icier, F., 2019. Quality characteristics of pomegranate juice concentrates produced by ohmic heating assisted vacuum evaporation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 99(5): 589-2595.
- Toor Ramandeep, K., and Savage Geoffrey, P. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry*. 94(1): 90–97.
- Vahedi Torshizi, M. and Hosseini Mighani, A. 2017. The application of solar energy in agricultural systems. *Journal of Renewable Energy and Sustainable Development (RES D)*. 3 (2): 234–40.

- Valizadeh, H., Shomali, A., Ghorbani, J., and Noorshargh, S. 2015. Synthesis of a nitrite functionalized star-like poly ionic compound as a highly efficient nitrosonium source and catalyst for the diazotization of anilines and subsequent facile synthesis of azo dyes under solvent-free conditions. *Dyes and Pigments*. 117, 64–71.
- Vikram, VB., Ramesh, MN. and Prapulla, SG. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*. 69(1): 31–40.
- Wang, L. J., Li, D., Tatsumi, E., Liu Zhi, S., Chen Xiao, D. and Li, L. T. 2007. Application of two-stage ohmic heating to tofu processing. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 46 (5): 486–90.
- Zareifard, M. R., Ramaswamy, HS., Trigui M., and Marcotte, M. 2003. Ohmic heating behaviour and electrical conductivity of two-phase food systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 4 (1): 45–55.



Original Research

## **Investigation of Changes in the Qualitative Properties of Sour Orange Juice during the Ohmic Heating Process**

**M. Vahedi Torshizi, M. Azadbakht\* and M. Kashaninejad**

\* Corresponding Author Associate Professor of Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: azadbakht@gau.ac.ir

Received: 4 March 2021, Accepted: 14 July 2021

<http://doi: 10.22092/fooder.2022.353850.1297>

### **Abstract**

Electrical treatments play an important role in conventional methods of food technology. Ohmic processing is an electrical and thermal method based on the passage of electricity through a product that acts as an electrical resistor. In ohmic heating, the temperature rises without the need for heat transfer from the solid-liquid surface. In this research, an ohmic heating device was constructed, and for the heating process, three input voltage gradients (5, 7.5, and 10 V/cm) and three process temperatures (60, 75, and 90 °C) were selected. During the thermal process, the content of total phenol, total flavonoids, and soluble solids (Brix and PH) was examined. All experiments were performed in three replications using a factorial experiment in a completely randomized design. The results were analyzed using SAS software. According to the obtained results, the voltage and temperature gradients of the process on the total phenol content, the amount of flavonoids, pH, and total soluble solids were significant at the level of 1%. The highest amount of total phenol and flavonoid content was at the voltage gradient of 5 V/cm and process temperature of 60 °C and the lowest value was at the voltage gradient of 10 V/cm and process temperature of 90 °C. The maximum pH was observed at a voltage gradient of 5 V/cm and a process temperature of 90 °C and the lowest value was observed at a voltage gradient of 10 V/cm and a process temperature of 60 °C. The highest output was at a voltage gradient of 10 V/cm and the process temperature was 90 °C; the lowest value was at a voltage gradient of 5 V/cm and the process temperature was 60 °C.

**Keywords:** Electrical treatments, Total Phenol, Total Flavonoids, Voltage gradient.