

## Effect of continuous flow microwave liquid processing system on quality attributes of orange juice

Mohammad Mahdi Seyedabadi<sup>1</sup>, Mahdi Kashaninejad<sup>2\*</sup>, Seyyed Mahdi Jafari<sup>2</sup>,  
Esmaeel Seyedabadi<sup>3</sup>, Mehdi Khojastehpour<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD graduate, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

<sup>2</sup>Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: kashaninejad@yahoo.com

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

<sup>4</sup>Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 2019/12/21  
Revised: 2020/1/28  
Accepted: 2021/2/14

**Keywords:**  
Heating  
Microwave  
Com up Time  
Vitamin C  
PME

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Technological advances in the food industry have led to the development of various processing methods to increase the shelf life of fruit and products derived from fruit to ensure access to them during the year, even for seasonal fruits. The conventional heating method causes undesirable changes in the final product such as color changes, unpleasant taste, and degradation of Ascorbic acid. The aim of this study was to investigate the effect of microwave processing as an alternative to the conventional method on the physicochemical properties of orange juice.

**Materials and Methods:** All chemicals used in this study were purchased with High-Purity from reputable companies. Jaffa orange was purchased from the local market in Gorgan (a city in the north of Iran). Effect of continuous flow microwave treatment (MW) at full power (900 W) and temperature (60, 70 & 80 °C) on physicochemical and qualitative properties of orange juice including vitamin C, browning index (BI), turbidity, cloud value, soluble solids (Brix), acidity, viscosity and pH of orange juice (com up time "CUT" phase) was evaluated. All indices were monitored until the end of the Holding phase (inactivation of PME to 90%).

**Results:** Results of the experiments showed that various temperature treatments at full power microwave (900 W) caused a slight decrease in pH and a slight increase in acidity and Brix during the CUT phase ( $p < 0.05$ ). But no significant change was observed in these parameters at the holding phase ( $p > 0.05$ ). All spectrophotometric parameters of juice including browning index, turbidity, and cloud value were raised after exiting from the microwave (CUT phase) with increasing in temperature ( $p < 0.05$ ). These parameters increased slowly until the end of the Holding phase. Increasing in temperature to the CUT phase; the viscosity was decreased significantly at high temperatures (70 and 80 °C) and no significant change was observed after the CUT phase. Vitamin C raised with increasing in temperature in all thermal treatments. The degradation rate was high (at 80 °C) at the Holding phase. Different thermal treatments caused 70 to 80% decline in PME activity during the CUT phase.

**Conclusion:** Continuous flow microwave heating is an emerging technology that can potentially be used to heating of liquid foods. Microwave aid processing of orange juice is an effective method to inactivate of PME

---

---

enzyme, through a significant increase in degradation rate. The results showed that increases in temperature, enhanced the browning index, turbidity, and cloud value. Different treatments had no significant effect on the Brix, acidity and pH in the holding phase. On the other hand, increasing in temperature, enhanced the rate of vitamin C, and PME degradation.

---

Cite this article: Seyedabadi, M.M., Kashaninejad, M., Jafari, S.M., Seyedabadi, E., Khojastehpour, M. 2022. Effect of continuous flow microwave liquid processing system on quality attributes of orange juice. *Food Processing and Preservation Journal*, 14(2), 89-104.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/FPPJ.2022.17452.1590

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## اثر سامانه پیوسته فرآوری مایعات به روش مایکروویو بر خصوصیات کیفی آب پرتقال

محمد مهدی سیدآبادی<sup>۱</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۲\*</sup>، سید مهدی جعفری<sup>۳</sup>، اسماعیل سیدآبادی<sup>۴</sup>

مهدی خجسته پور<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: kashaninejad@yahoo.com

<sup>۳</sup> استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

<sup>۴</sup> استاد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> پیشرفت‌های تکنولوژیکی در صنایع فرآوری مواد غذایی منجر به توسعه روش‌های مختلف فرآوری برای افزایش ماندگاری میوه و محصولات حاصل از آن شده است تا از دسترسی به آن‌ها در طول سال حتی برای میوه‌های فصلی اطمینان حاصل شود. روش حرارت دهی متداول باعث ایجاد تغییرات نامطلوب بر روی محصول نهایی مانند تغییرات رنگ، طعم ناخوشایند و تخریب اسید آسکوربیک می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر روش مایکروویو به‌عنوان جانشین روش متداول بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب پرتقال می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۳۰ تاریخ ویرایش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۵	<b>مواد و روش‌ها:</b> مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش با خلوص بالا از شرکت‌های معتبر خریداری شد. پرتقال رقم یافا از بازار محلی گرگان خریداری شد. تأثیر تیمار حرارتی مایکروویو (MW) در توان حداکثری به‌صورت مداوم و در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفی آب پرتقال شامل ویتامین ث، اندیس قهوه‌ای شدن (BI)، کدورت، اندیس ابری شدن، مواد جامد محلول (Brix)، اسیدیته، ویسکوزیته و pH آب پرتقال (مرحله افزایش دمای محصول یا CUT) مورد بررسی قرار گرفت. کلیه شاخص‌ها تا آخر مرحله Holding (غیرفعال سازی ۹۰ درصد آنزیم PME) بررسی شد.
واژه‌های کلیدی: حرارت دهی مایکروویو CUT ویتامین ث PME	<b>یافته‌ها:</b> نتایج آزمایشات نشان داد که تیمارهای مختلف دمایی در توان حداکثری مایکروویو (۹۰۰ وات) باعث کاهش اندکی در pH و افزایش اندکی در اسیدیته و Brix طی مرحله CUT شد ( $p < 0/05$ )؛ اما در مرحله Holding تغییر معنی‌داری در این پارامترها مشاهده نشد ( $p > 0/05$ ). با افزایش دما همه پارامترهای اسپکتروفتومتری شامل اندیس قهوه‌ای شدن، کدورت و شاخص ابری شدن بلافاصله پس از خروج از مایکروویو (مرحله CUT) افزایش یافت ( $p < 0/05$ ). این افزایش تا انتهای مرحله Holding به‌صورت آهسته افزایش یافت. با افزایش دما تا مرحله CUT، ویسکوزیته در دماهای بالا (۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت؛ و پس از مرحله CUT تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش دما باعث کاهش ویتامین ث در کلیه تیمارهای دمایی شد. سرعت تخریب در دمای ۸۰ درجه و در مرحله Holding بالاتر بود. تیمارهای مختلف دمایی باعث کاهش ۷۰ تا ۸۰ درصدی فعالیت PME طی

---

مرحله CUT شد.

**نتیجه گیری:** حرارت دهی به صورت پیوسته با امواج مایکروویو یک تکنولوژی نوظهور بوده که می تواند به صورت بالقوه برای تیمار حرارتی غذاهای مایع به کار رود. فرآوری آب پرتقال به کمک مایکروویو روش مؤثری برای غیر فعال سازی آنزیم PME (با توجه به افزایش قابل توجه سرعت تخریب آن) می باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش دما؛ اندیس های قهوه ای شدن، کدورت و ابری شدن افزایش یافت. تیمارهای مختلف تأثیر معنی داری بر پارامترهای Brix، اسیدیته و pH در مرحله Holding نداشت. همچنین با افزایش دما نرخ تخریب ویتامین ث و PME افزایش یافت.

---

استناد: سیدآبادی، م.م. کاشانی نژاد، م.، جعفری، س.م.، سیدآبادی، ا.، خجسته پور، م. (۱۴۰۱). اثر سامانه پیوسته فرآوری مایعات به روش مایکروویو بر خصوصیات کیفی آب پرتقال. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۴ (۲)، ۸۹-۱۰۴.

DOI: 10.22069/FPPJ.2022.17452.1590



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

تولیدکنندگان مواد غذایی نیز به دنبال فناوری‌هایی هستند که حداقل آسیب وارده را به خصوصیات کیفی محصول نظیر تازگی، خواص تغذیه‌ای و سلامت محصول وارد نمایند. حرارت‌دهی از مهم‌ترین روش‌های متداول در فرآیند مواد غذایی است که به دلیل تأثیر مطلوبی که بر روی کیفیت فرآورده غذایی و همچنین اثر افزایش ماندگاری که بر روی غذا دارند، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این فرآیندها استفاده از امواج مایکروویو می‌باشد. امواج مایکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیسی هستند که طیف وسیعی از فرکانس‌ها در محدوده ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰ گیگاهرتز را در بر می‌گیرد. این طیف در محدوده بین دی‌الکتریک و مادون‌قرمز واقع شده است. به دلیل احتمال تداخل این امواج با سایر وسایل ارتباطی، استفاده از آن به فرکانس‌های خاصی محدود می‌شود. فرکانس مورد استفاده در مایکروویوهای خانگی ۲۴۵۰ مگاهرتز و برای کاربردهای صنعتی ۹۱۵ مگاهرتز است (۱ و ۲). در روش‌های متداول حرارت‌دهی، حرارت از منبع حرارتی خارجی به ماده غذایی اعمال می‌شود. ولی در سیستم مایکروویو حرارت در داخل ماده غذایی تولید می‌گردد. کاهش شدید زمان رسیدن به دمای موردنظر جاذبه اصلی کاربرد این روش را در صنایع غذایی موجب می‌شود (۳). این جنبه انتقال حرارت در سیستم مایکروویو به‌عنوان منبع انرژی غیر تماسی باعث می‌شود که برای مواد توده‌ای مناسب باشد چراکه باعث کاهش گرادیان حرارتی و افزایش جذب انرژی می‌شود؛ بنابراین می‌توان این روش را به‌عنوان یک روش قابل اطمینان برای فرآوری در صنایع غذایی با کمترین آسیب به اجزای فعال زیستی محسوب کرد (۴). گرم شدن سریع و کاهش قابل توجه زمان قرار گرفتن در معرض حرارت باعث کاهش از دست دادن کیفیت

ارگانولپتیکی و میزان از بین رفتن مواد مغذی حساس به حرارت و ترکیبات زیست فعال می‌شود (۵). فرآیند حرارتی مایکروویو کاربردهای گسترده‌ای در زمینه فرآوری مواد غذایی شامل خشک‌کردن، پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون، انجماد زدایی، پختن مواد غذایی و غیره در طول چندین دهه داشته است. در روش‌های معمول گرم کردن، جریان آرام گرما، به دلیل تفاوت دما بین سطح و مرکز جسم، از ناحیه گرم بیرونی به ناحیه سردتر داخلی منتقل می‌شود. اما در گرمایش مایکروویو، گرما در داخل ماده و توسط ذرات باردار و یا مولکول‌های دوقطبی که در معرض برخورد با امواج میدان الکترومغناطیسی هستند، تولید می‌شود (۶). انتقال حرارت ماکروویو در صنایع غذایی به‌خاطر قابلیت دستیابی به‌میزان حرارت بالا، کاهش قابل توجه در زمان پخت، یکنواختی حرارت، کنترل مطمئن، سهولت در کاربرد و نگهداری کم، مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این انتقال حرارت ماکروویو به میزان کمتری نسبت به سایر روش‌های معمول پخت و یا فرآیندهای پیش گرمایش باعث تغییر در طعم و کیفیت مواد غذایی می‌شود. میوه‌ها و فرآورده‌های آن‌ها، جزء کالاهای عمده‌ی تجارت جهانی هستند و بخشی از شریان حیات اقتصادی اغلب کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه به شمار می‌آیند. آب پرتقال یکی از آبمیوه‌هایی است که به‌طور گسترده در سراسر جهان مصرف می‌شود. این میوه منبع خوبی از ترکیبات مهم غذایی مانند کاروتنوئیدها، ویتامین ث و فلاونوئیدها است. فساد آب مرکبات در اثر آنزیم‌ها، باکتری‌های رویشی، مخمرها و قارچ‌ها ایجاد می‌شود. از آنجا که آنزیم‌ها مقاومت حرارتی بالاتری نسبت به باکتری‌ها و مخمرها دارند، فرآیند پاستوریزاسیون معمولاً براساس غیرفعال کردن آنزیم‌های مقاوم در برابر حرارت انجام

بود. شاخص<sup>۲</sup> ABTS، برای آب گوجه پاستوریزه شده با مایکروویو در روز اول نسبت به روش رایج بیشتر بود، اما اختلاف معنی داری بین آب میوه‌ها در طول نگهداری مشاهده نشد (۱۱). ستار و همکاران (۲۰۱۹) اثر دو روش متداول و مایکروویو بر پاستوریزاسیون فرمولاسیون نوشیدنی تهیه شده از هلو-آلو مورد بررسی قرار دادند. تیمار مایکروویو (به صورت غیرپیوسته) به مدت ۱/۵ دقیقه در توان ۸۵۰ وات و دمای ۶۰ درجه با کمترین تأثیر بر روی خصوصیات کیفی نوشیدنی به عنوان بهترین تیمار انتخاب شد (۱۲). هدف از این پژوهش بررسی اثر سامانه پیوسته فرآوری مایعات به روش مایکروویو بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب پرتقال شامل pH، اسیدیته، مواد جامد محلول، شاخص قهوه‌ای شدن، کدورت، شاخص ابری شدن، ویتامین ث و تغییرات آنزیم پکتین متیل استراز و همچنین ویسکوزیته آب پرتقال بود.

### مواد و روش‌ها

**مواد اولیه:** مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل اسیدسیتریک، هیدروکسید سدیم، سدیم کلرید، پتاسیم یدید، پتاسیم یدات، سولفوریک اسید، نشاسته، پکتین متوکسیل بالا (DE 70%)، با خلوص بالا از شرکت‌های معتبر داخلی (دکتر مجللی) و اروپایی (مرک و سیگما) تهیه شد.

**آماده‌سازی آبمیوه:** میوه پرتقال یافا با نام علمی (*Citrus sinensis 'Jaffa'*) از بازار محلی گرگان خریداری شد. ابتدا پرتقال‌ها را شسته و عمل آب‌گیری توسط اکستراکتور (MJ- Panasonic M176- JAPAN) انجام شد. به منظور حذف هسته، لرد و مواد اضافی نمونه آب پرتقال با استفاده از یک

می‌شود (۷). پکتین متیل استراز (PME<sup>۱</sup>) یک آنزیم نامطلوب در آب پرتقال است که باعث کاهش حالت ابری در هنگام نگهداری می‌شود و مقاومت حرارتی بیشتری نسبت به میکروارگانیزم‌های عامل فاسد دارد و مقاوم‌ترین آنزیم در برابر حرارت در آب پرتقال است و از این رو، به عنوان شاخص کفایت پاستوریزاسیون در نظر گرفته می‌شود (۸ و ۹).

آیگوال و همکاران (۲۰۱۰) اثر پاستوریزاسیون معمولی و مایکروویو را بر ترکیبات زیست فعال اصلی و فعالیت آنزیمی آب گریپ‌فروت مورد بررسی قرار دادند. پژوهش آنها حاکی از آن بود که تیمار مایکروویو نسبت به تیمار شاهد باعث کاهش بهتر و سریع‌تر فعالیت آنزیمی شد. روش معمولی باعث کاهش معنی دار اسیدسیتریک و اسید آسکوربیک شد؛ در حالی که پاستوریزه کردن مایکروویو این ترکیبات را بهتر حفظ کرد. همچنین نتایج تیمار انجماد نشان داد که فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه منجمد پاستوریزه شده با مایکروویو نسبت به نمونه‌های منجمد پاستوریزه شده با تیمار معمولی بهتر حفظ شده است. بنابراین، مزیت گرمایش مایکروویو نسبت به تیمار رایج حرارت‌دهی، نگهداری بیشتر ترکیبات فیتوشیمیایی بود که در حال حاضر مورد توجه صنعت مواد غذایی می‌باشد (۱۰). استراتاکوس و همکاران (۲۰۱۶) اثر سیستم گرمایش حجمی مایکروویو و پاستوریزاسیون تجاری معمولی در مقیاس صنعتی را برای فرآوری آب گوجه‌فرنگی از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بررسی و مورد مقایسه قرار دادند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رنگی آب گوجه تیمار شده با هر دو سامانه بلافاصله پس از فرآیند و هنگام نگهداری بسیار مشابه

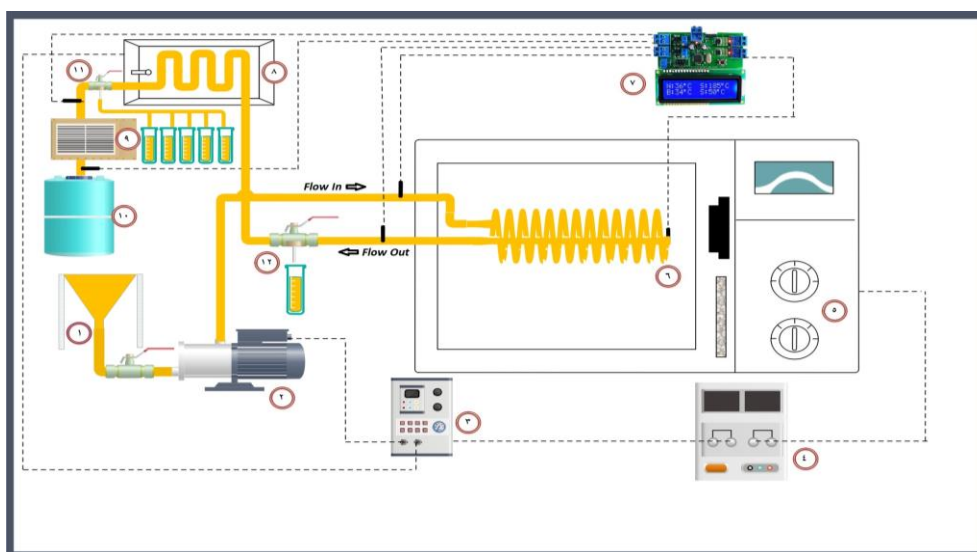
2,2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

۱. Pectin Methyl Esterase

TC-502) بود. کنترل سامانه به صورت کاملاً هوشمند و اتوماتیک و با استفاده از میکروکنترلر برنامه ریزی شده انجام شد. برنامه لازم برای میکروکنترلر در محیط نرم افزار Arduino نوشته شده بود. برنامه نوشته شده از تلفیق و استفاده هم زمان از تکنیک های تناسب، مشتق گیری و انتگرال (به اختصار PID) برای کنترل سامانه طراحی شده استفاده می کرد. راکتور تعبیه شده (لوله ماریچوار) درون محفظه تیمار از شیشه Pyrex به قطر خارجی ۹ میلی متر و ضخامت ۱ میلی متر و طول ۲۰۰ میلی متر ساخته شده بود. گام ماریچ و قطر سطح رویه ماریچ به ترتیب ۱۰ میلی متر و ۳۰ میلی متر بود. از لوله ماریچی استیل با همان ابعاد استفاده شده در مایکروویو و به صورت غوطه ور در بن ماری دیجیتال با دقت بالا به عنوان شاهد استفاده شد. سرعت جریان و دمای بن ماری هم راستا با خروجی های مایکروویو تنظیم شد (۱۳).

سری الک (با مش های ۳۰، ۶۰، ۱۰۰)، صاف شده و آبمیوه حاصل بلافاصله وارد فرآیند شد. در صورت ایجاد فاصله زمانی در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد.

تیمار حرارتی با مایکروویو با جریان مداوم: از سامانه فرآوری مواد غذایی مایع با استفاده از امواج مایکروویو طراحی شده توسط سیدآبادی و همکاران (۱۳۹۸) برای فرآوری آب پرتقال استفاده شد (شکل ۱). سامانه مذکور از اجزای مختلفی تشکیل شده است که شامل منبع انرژی، مگنترون (تولیدکننده امواج مایکروویو) با فرکانس ۲۴۵۰ MHz، ترانس High Voltage، محفظه تیمار (با تعبیه لوله ماریچوار از جنس پیرکس شفاف درون آن)، مخازن خوراک و محصول، سنسورهای دمایی (NTC) با پوشش استیل، پمپ دوزینگ پرستالتیک (Grothen, DC 12V)، مخزن Holding (Memert Water Bath) و سیستم چیلر (Brookfield)



شکل ۱- شماتیک دستگاه فرآوری مایعات به صورت پیوسته با فناوری مایکروویو

Figure 1. Schematic of continuous flow Microwave System for Processing of liquid

توسط pH متر دیجیتال در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) قبل و بعد از فرآیند اندازه گیری شد (۱۴). اندازه گیری مواد جامد محلول (Brix): مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی

اندازه گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی محصول اندازه گیری pH و اسیدیته: آزمون اسیدیته به روش عیارسنجی انجام شد و میزان اسیدیته برحسب گرم اسیدسیتریک در ۱۰۰ گرم آب میوه بیان شد. pH نمونه ها

(mg در ml ۱۰۰ آبمیوه)

فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز (PME): برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز از روش کیمبال با اندکی اصلاح استفاده شد. طبق این روش ۲۰ میلی‌لیتر محلول نمکی پکتین (محلول یک لیتری حاوی ۱۰ گرم پکتین متوکسیل بالا و ۱۵ گرم نمک سدیم کلرید) به ۵ میلی‌لیتر آب پرتقال موجود در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری اضافه شد. پس از رساندن pH محلول با استفاده از سود ۲ نرمال به حدود ۷، با کمک سود رقیق‌تر (۰/۰۵ نرمال) pH محلول روی ۷/۷۰ تنظیم شد. پس از آن ۵۰ میکرولیتر سود ۰/۰۵ نرمال به صورت یک‌باره به نمونه اضافه شد. دمای نمونه با استفاده از یک همزن مغناطیسی روی ۳۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و در طول آزمایش ثابت نگه‌داشته شد. با جایگذاری زمان برگشت pH، به میزان قبل از افزودن ۵۰ میکرولیتر سود ۰/۰۵ نرمال، در رابطه (۴) میزان فعالیت این آنزیم (PEU<sup>۲</sup>) برحسب واحد در هر میلی‌لیتر نمونه محاسبه شد (۱۹ و ۲۰).  
رابطه ۴.

$$PME \text{ activity } (PEU \cdot ml^{-1}) = \frac{(0.05N [NaOH]) \times (50 \mu L [NaOH])}{(5ml [sample]) \times (...minutes)}$$

اندازه‌گیری ویسکوزیته دینامیکی: برای اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌های آب پرتقال از دستگاه ویسکومتر چرخشی (LV DV-II Brookfield, USA) استفاده شد. نمونه‌های آب پرتقال به درون محفظه استوانه‌ای انتقال داده شد و ویسکوزیته با استفاده اسپیندل شماره S00 (ULA-15) در ۸۰ دور بر دقیقه و در دمای ۲۵ درجه اندازه‌گیری شده و برحسب واحد سانتی پواز (cp) گزارش شد (۱۸).

(CETI, ABBE.Belgium) اندازه‌گیری و با درجه بریکس بیان شد (۱۴).

اندازه‌گیری اندیس قهوه‌ای شدن<sup>۱</sup> (BI): شاخص قهوه‌ای شدن آبمیوه در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر تک پرتویی (7130 VIS Jenway Spectrophotometer) بر اساس جذب نوری (Abs) اندازه‌گیری شد. قبل از اندازه‌گیری BI، نمونه‌ها در ۴۰۰۰ rpm به مدت ۵ دقیقه سانتی‌فوژ شدند (۱۵).

اندازه‌گیری اندیس ابری شدن: برای این منظور نمونه‌های آب پرتقال به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ rpm سانتی‌فوژ شدند. سپس جذب نمونه در اسپکتروفوتومتر (7130 VIS Spectrophotometer Jenway) در طول موج ۶۶۰ نانومتر خوانده شد (۱۶).  
اندازه‌گیری کدورت: این پارامتر با اندازه‌گیری جذب نمونه (abs) در طول موج ۶۱۰ با اسپکتروفوتومتر (Jenway 7130 VIS Spectrophotometer) و از طریق رابطه‌های زیر به دست آمد. قبل از اندازه‌گیری کدورت، نمونه‌ها در ۵۰۰۰ rpm به مدت ۵ دقیقه سانتی‌فوژ شدند (۱۷).

رابطه ۱.

$$transmittance = 100 \times 10^{-abs}$$

رابطه ۲.

$$Turbidity (\%) = 100 - transmittance$$

اندازه‌گیری ویتامین ث: جهت اندازه‌گیری میزان ویتامین ث از روش تیتراسیون با محلول ید در حضور معرف نشاسته استفاده شد. میزان میلی‌گرم ویتامین C در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه آب پرتقال بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد (۱۸).

رابطه ۳.

$$\text{حجم معرف مصرفی} \times 0/88 = \text{میزان ویتامین ث}$$



مایکروویو) و همچنین برای زمان های مختلف Holding برای هر دما به صورت جداگانه با استفاده از روش دانکن و در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد.

### نتایج و بحث

خصوصیات آب پرتقال تازه مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است.

آنالیز آماری: در این بررسی اثر دمای آبمیوه خروجی (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد) از مایکروویو (مرحله CUT) در توان حداکثری آن (۹۰۰ وات) و زمان Holding بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب پرتقال در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. برای آنالیز داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه 16 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها برای دماهای مختلف (پس از خروج نمونه آب پرتقال از

جدول ۱- خواص فیزیکوشیمیایی آب پرتقال تازه

Table 1. Physicochemical properties of fresh orange juice

مقدار Value	پارامتر Parameter	مقدار Value	پارامتر Parameter
3.21	پی هاش pH	1043	دانسیته (kg/m <sup>3</sup> ) Density (kg/m <sup>3</sup> )
5.88	اسیدیته (گرم اسید بر ۱۰۰ گرم آبمیوه) Acidity (gr Acid/100gr juice)	88.06	رطوبت (%) Moisture (%)
0.265	شاخص قهوه ای شدن Browning Index	10.8	بریکس Brix
6.242	کدورت Turbidity	31.8	ویتامین ث (میلی گرم در ۱۰۰ گرم آبمیوه) Vitamin C (mg/100cc juice)
0.067	اندیس ابری شدن Cloud Value	8.5	پالپ (%) Pulp (%)
1.65	ویسکوزیته (cp) Viscosity (cp)	5.86×10 <sup>-3</sup>	فعالیت آنزیمی (PEU) Enzyme activity (PEU)

ذکر شود. امجدی و همکاران (۲۰۱۸) در تیمار حرارتی و تیمار فراصوت آب پرتقال کاهش اندکی در pH و افزایش اندکی در اسیدیته نسبت به نمونه شاهد مشاهده نمودند ولی از لحاظ آماری معنی دار نبود (۲۱). ریواس و همکاران (۲۰۰۶) در تیمار حرارتی مخلوط آب هویج-پرتقال؛ شای و همکاران (۲۰۱۱) در تیمار ملایم حرارتی- پلاسما آب پرتقال به ترتیب افزایش در اسیدیته و کاهش در pH را گزارش نمودند با پژوهش حاضر همسو بود یا ناهمسو (۲۲ و ۲۳). تیمارهای مختلف دمایی تأثیر معنی داری بر پارامتر Brix در مرحله CUT نداشت. این پارامتر دچار تغییرات کمی (اندکی افزایش) در انتهای فرآیند (بعد از Holding) طی تیمارهای مختلف دمایی شد. نتایج

با توجه به نتایج پژوهش قبلی سیدآبادی و همکاران (۱۳۹۸) (چاپ نشده) استفاده از توان حداکثر (۹۰۰ وات) باعث توزیع یکنواخت دمایی به دلیل روشن بودن دائم مگنترون، به صورت پایا می شود و بهترین نتایج را برای تیمار مایعات دارد. لذا در این مقاله به تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب پرتقال در سامانه مذکور و در توان حداکثری پرداخته شد.

**pH، اسیدیته و مواد جامد محلول:** جدول ۲ اثر سطوح مختلف دمایی را بر پارامترهای اسیدیته، pH و Brix نشان می دهد. تیمارهای مختلف باعث تغییرات اندکی در پارامترهای pH و اسیدیته در مرحله CUT شدند؛ اختلاف معنی داری بین زمان های مختلف Holding در مقدار pH مشاهده نشد محدود معنی داری

مشابهی در مورد تغییرات Brix با اعمال تیمار حرارتی توسط سایر محققان گزارش شده است (۱۰ و ۲۴).

جدول ۲- اثر تیمارهای دمایی مختلف و زمان بر پارامترهای pH، اسیدیته و Brix آب پرتقال.

Table 2. The effect of heat treatment and time on pH, Acidity & Brix of orange juice.

دما (°C)	زمان (S)	بی هاش	اسیدیته (گرم اسید بر ۱۰۰ گرم آبمیوه)	بریکس
Temperature (°C)	Time (S)	pH	Acidity (gr Acid/100gr juice)	Brix
60	After exit from MW	3.18 <sup>Aa</sup> ±0.00	5.941±0.008 <sup>Aab</sup>	10.83 ±0.05 <sup>Aa</sup>
	219	3.19±0.0 <sup>a</sup>	5.941±0.016 <sup>ab</sup>	10.83 ±0.05 <sup>a</sup>
	399	3.19±0.0 <sup>a</sup>	5.941±0.016 <sup>ab</sup>	10.83 ±0.06 <sup>a</sup>
	519	3.18±0.0 <sup>a</sup>	5.925±0.009 <sup>a</sup>	10.83 ±0.05 <sup>a</sup>
	639	3.18±0.0 <sup>a</sup>	5.920±0.016 <sup>ab</sup>	10.86 ±0.06 <sup>a</sup>
	759	3.18±0.0 <sup>a</sup>	5.936±0.018 <sup>b</sup>	10.93 ±0.05 <sup>a</sup>
70	After exit from MW	3.17±0.01 <sup>Bb</sup>	5.968±0.001 <sup>Bb</sup>	10.93 ±0.00 <sup>Aa</sup>
	111	3.17 ±0.00 <sup>b</sup>	5.952 ±0.000 <sup>ab</sup>	10.96±0.05 <sup>ab</sup>
	171	3.17 ±0.0 <sup>b</sup>	5.962 ±0.000 <sup>ab</sup>	10.93 ±0.05 <sup>a</sup>
	231	3.16 ±0.00 <sup>b</sup>	5.962 ±0.009 <sup>ab</sup>	10.93 ±0.03 <sup>a</sup>
	291	3.16 ±0.00 <sup>b</sup>	5.941 ±0.009 <sup>a</sup>	10.96±0.05 <sup>ab</sup>
	351	3.17 ±0.00 <sup>b</sup>	5.957 ±0.009 <sup>ab</sup>	11.06±0.05 <sup>b</sup>
80	After exit from MW	3.15±0.01 <sup>Bc</sup>	6.000 ±0.001 <sup>Ca</sup>	10.93 ±0.05 <sup>Aa</sup>
	97	3.16±0.00 <sup>c</sup>	5.989±0.009 <sup>a</sup>	10.93±0.00 <sup>a</sup>
	117	3.15 ±0.00 <sup>c</sup>	5.994±0.009 <sup>a</sup>	11.06±0.10 <sup>b</sup>
	137	3.15 ±0.00 <sup>c</sup>	5.989±0.018 <sup>a</sup>	10.93±0.05 <sup>a</sup>
	197	3.16 ±0.01 <sup>c</sup>	5.989±0.009 <sup>a</sup>	11.06±0.05 <sup>b</sup>
	257	3.15 ±0.00 <sup>c</sup>	5.984±0.000 <sup>a</sup>	11.10±0.05 <sup>b</sup>

حروف بزرگ برای مقایسه اثر سطوح مختلف دمایی بر پاسخ مورد نظر بلافاصله پس از خروج از مایکروویو؛ حروف کوچک برای مقایسه اثر هر دما بر روی پاسخ در مرحله Holding به صورت جداگانه می باشد.

The large letters represent the statistical difference of the responses at different temperature levels immediately after exit from microwave; the small letters represent the comparison of the effect of each temperature individually on the responses, in the Holding phase.

حاضر می توان دریافت که تخریب ویتامین ث با اعمال فرآیند حرارتی مایکروویو؛ هم‌راستا با افزایش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در نمونه‌های آب پرتقال بوده است. حالت ابری آب پرتقال برگرفته از ترکیبات پکتین، سلولز، همی سلولز، پروتئین‌ها و لیپیدها به‌صورت سوسپانسیون بوده که یک ویژگی مطلوب برای آب پرتقال محسوب می‌شود. پایداری حالت ابری تحت تأثیر آنزیم‌های پکتولیتیکی، به‌ویژه پکتین متیل استراز دچار تغییراتی می‌شود (۲۶). تیمارهای مختلف دمایی باعث افزایش اندیس ابری شدن نسبت به نمونه شاهد شد. این تغییرات را می‌توان به غیرفعال سازی PME با اعمال تیمار حرارتی مایکروویو نسبت

اندیس قهوه‌ای شدن (BI)، اندیس ابری شدن و کدورت: سطوح مختلف دمایی باعث افزایش اندیس قهوه‌ای شدن، ابری شدن و کدورت آب پرتقال پس از مراحل CUT و Holding شد. تخریب ویتامین ث یکی از عوامل ایجاد رنگ قهوه‌ای در آبمیوه‌ها هست (۲۴). قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی با اعمال تیمار حرارتی؛ می‌تواند ناشی از ایجاد پیش‌سازهای واکنش قهوه‌ای شدن مانند واکنش میلارد، کاراملیزه شدن و تخریب ویتامین ث باشد که به‌نوبه خود باعث تولید رنگ‌دانه‌های قهوه‌ای می‌شود که این تغییرات با تعیین این شاخص، بیان می‌شود (۲۵). با مقایسه نتایج BI در جدول ۳ با نمودار تغییرات ویتامین ث در پژوهش

داد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان در مورد تیمار حرارتی آب نارنج در بن ماری گزارش شده است (۲۷). با اعمال تیمارهای مختلف دمایی کدورت نمونه‌های آب پرتقال افزایش یافت. ریواس و همکاران (۲۰۰۶) علت این افزایش کدورت را مربوط به تغییرات فعالیت آنزیم PME گزارش نمودند (۲۲). شی و همکاران (۲۰۱۱) در تیمار ملایم حرارتی آب پرتقال به همراه پلاسما به نتایج مشابهی دست یافتند (۲۳).

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف دمایی و زمان بر شاخص‌های اندیس قهوه‌ای شدن، کدورت و ابری شدن آب پرتقال.

Table 3. The effect of heat treatment and time on Browning Index, Turbidity & Cloud Value of orange juice.

دما (°C)	زمان (S)	اندیس قهوه‌ای شدن	کدورت	اندیس ابری شدن
Temperature (°C)	Time (S)	Browning index	Turbidity	Cloud Value
60	After exit from MW	0.281±0.002 <sup>Aa</sup>	6.412±0.13 <sup>Aa</sup>	0.078±0.005 <sup>Aa</sup>
	219	0.279±0.001 <sup>a</sup>	7.868±0.11 <sup>bc</sup>	0.079±0.002 <sup>a</sup>
	399	0.289±0.002 <sup>b</sup>	7.897±0.13 <sup>c</sup>	0.081±0.005 <sup>a</sup>
	519	0.290±0.002 <sup>b</sup>	7.854±0.12 <sup>b</sup>	0.079±0.002 <sup>a</sup>
	639	0.294±0.001 <sup>c</sup>	7.858±0.14 <sup>b</sup>	0.076±0.001 <sup>a</sup>
	759	0.295±0.001 <sup>c</sup>	7.869±0.15 <sup>bc</sup>	0.082±0.005 <sup>a</sup>
70	After exit from MW	0.286±0.002 <sup>Ba</sup>	7.894±0.12 <sup>Ba</sup>	0.077±0.001 <sup>A</sup>
	111	0.289±0.001 <sup>b</sup>	7.887±0.15 <sup>bc</sup>	0.084±0.002 <sup>ab</sup>
	171	0.289±0.002 <sup>ab</sup>	7.899±0.14 <sup>c</sup>	0.084±0.001 <sup>ab</sup>
	231	0.293±0.002 <sup>c</sup>	8.896±0.12 <sup>c</sup>	0.09±0.005 <sup>c</sup>
	291	0.296±0.002 <sup>cd</sup>	8.854±0.12 <sup>b</sup>	0.087±0.001 <sup>bc</sup>
	351	0.297±0.001 <sup>d</sup>	8.892±0.16 <sup>c</sup>	0.093±0.005 <sup>c</sup>
80	After exit from MW	0.289±0.002 <sup>Bab</sup>	7.841±0.15 <sup>Ca</sup>	0.089±0.002 <sup>Ba</sup>
	97	0.288±0.002 <sup>a</sup>	8.852±0.15 <sup>a</sup>	0.095±0.005 <sup>ab</sup>
	117	0.291±0.001 <sup>bc</sup>	8.915±0.10 <sup>b</sup>	0.098±0.005 <sup>bc</sup>
	137	0.293±0.001 <sup>cd</sup>	8.864±0.12 <sup>a</sup>	0.096±0.001 <sup>ab</sup>
	197	0.296±0.002 <sup>d</sup>	8.866±0.12 <sup>a</sup>	0.105±0.005 <sup>c</sup>
	257	0.302±0.002 <sup>e</sup>	8.917±0.17 <sup>b</sup>	0.101±0.002 <sup>bc</sup>

حروف بزرگ برای مقایسه اثر سطوح مختلف دمایی بر پاسخ مورد نظر بلافاصله پس از خروج از مایکروویو؛ حروف انگلیسی کوچک برای مقایسه اثر هر دما بر روی پاسخ در مرحله Holding به صورت جداگانه می باشد.

The large letters represent the statistical difference of the responses at different temperature levels immediately after exit from microwave; the small letters represent the comparison of the effect of each temperature individually on the responses, in the Holding phase.

اثر محتوای پکتین بر مقدار ویسکوزیته و همچنین غیرفعال سازی بخش اعظمی از PME در مرحله CUT می‌توان اظهار داشت که در مرحله Holding با کاهش محتوای پکتین نمونه ناشی از فعالیت پایین PME، تغییر محسوسی در ویسکوزیته محصول نخواهیم داشت (جدول ۴).

ویسکوزیته: تیمارهای مختلف دمایی باعث کاهش اندکی در ویسکوزیته پس از مرحله CUT نسبت به شاهد شدند. ویسکوزیته معیار اندازه‌گیری شدت جریان است. این پارامتر در انتخاب پمپ، مبدل حرارتی و سایر تجهیزات مورد استفاده جهت انتقال سیال تأثیرگذار است. مرحله Holding تأثیر معناداری در مقدار ویسکوزیته نداشت ( $P > 0.05$ ). با توجه به

جدول ۴- اثر تیمارهای مختلف دمایی بر ویسکوزیته آب پرتقال

Table 4. The effect of heat treatment and time on Viscosity of orange juice (holding time)

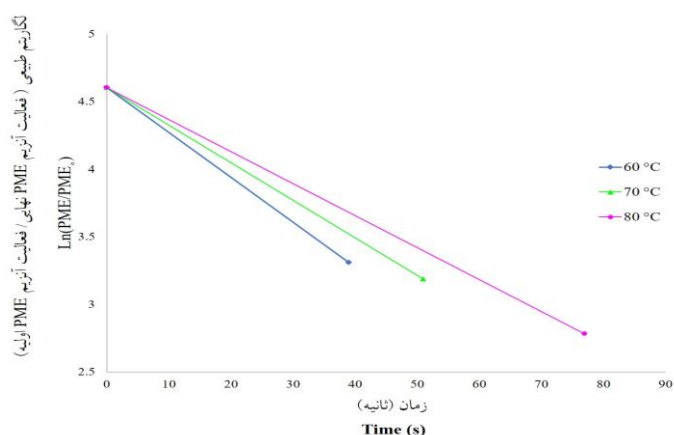
پارامتر	زمان (S)	دما (°C)	زمان (S)	دما (°C)	زمان (S)	دما (°C)
parameter	Time (S)	60 (°C)	Time (S)	70 (°C)	Time (S)	80 (°C)
	0 (control)	1.65±0.01	0 (control)	1.65±0.01	0 (control)	1.65±0.01
	After exit from MW	1.62±0.01 <sup>Aa</sup>	After exit from MW	1.57±0.01 <sup>Bb</sup>	After exit from MW	1.49±0.01 <sup>Cc</sup>
ویسکوزیته (cp)	219	1.61±0.01 <sup>a</sup>	111	1.56±0.01 <sup>b</sup>	97	1.48±0.00 <sup>c</sup>
	399	1.62±0.00 <sup>a</sup>	171	1.56±0.01 <sup>b</sup>	117	1.48±0.01 <sup>c</sup>
Viscosity (cp)	519	1.61±0.01 <sup>a</sup>	231	1.57±0.00 <sup>b</sup>	137	1.49±0.01 <sup>c</sup>
	639	1.61±0.00 <sup>a</sup>	291	1.55±0.01 <sup>b</sup>	197	1.49±0.00 <sup>c</sup>
	759	1.60±0.01 <sup>a</sup>	351	1.56±0.01 <sup>b</sup>	257	1.48±0.0 <sup>c</sup>

حروف بزرگ برای مقایسه اثر سطوح مختلف دمایی بر پاسخ مورد نظر بلافاصله پس از خروج از مایکروویو؛ حروف کوچک برای مقایسه اثر هر دما بر روی پاسخ در مرحله Holding به صورت جداگانه می باشد.

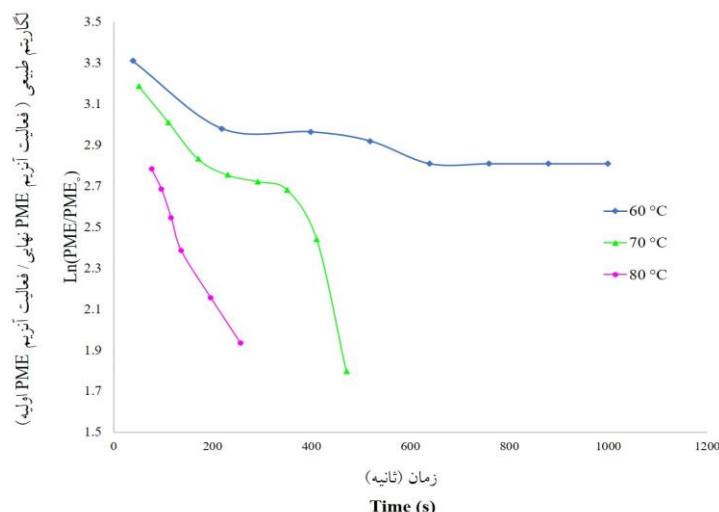
The large letters represent the statistical difference of the responses at different temperature levels immediately after exit from microwave; The small letters represent the comparison of the effect of each temperature individually on the responses, in the Holding phase

آبمیوه از محفظه تیمار مایکروویو می گذرد؛ باعث کاهش ۷۰ تا ۸۰ درصدی فعالیت آنزیمی شد. بقیه مراحل غیرفعال سازی تا حداقل ۹۰ درصد مقدار اولیه در مرحله Holding انجام شد. در این پژوهش در دماهای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد سه ایزوفرم و در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد یک ایزوفرم از این آنزیم با مقاومت های حرارتی متفاوت شناسایی شد. دمیردون و همکاران (۲۰۱۶) در مقایسه روش متداول با روش مایکروویو، اظهار نمودند که روش مایکروویو آنزیم PME را در دمای کمتری غیرفعال می کند (۲۸).

سینتیک تغییرات PME: در مرحله CUT مطابق شکل ۲ روند غیرفعال سازی آنزیم PME به صورت خطی بوده و در مرحله Holding براساس شکل ۳، روند غیرفعال سازی حرارتی آنزیم PME در دماهای مختلف به صورت غیرخطی می باشد؛ این مقوله را می توان به وجود ایزوفرم های مختلف از این آنزیم و با مقاومت های حرارتی متفاوت نسبت داد. مطالعات متعدد محققان در زمینه نابودسازی حرارتی آنزیم PME آب مرکبات، وجود ایزوفرم های مختلف از این آنزیم با مقاومت های حرارتی متفاوت را به اثبات رسانده اند (۲۷ و ۲۶). در حقیقت مرحله CUT که



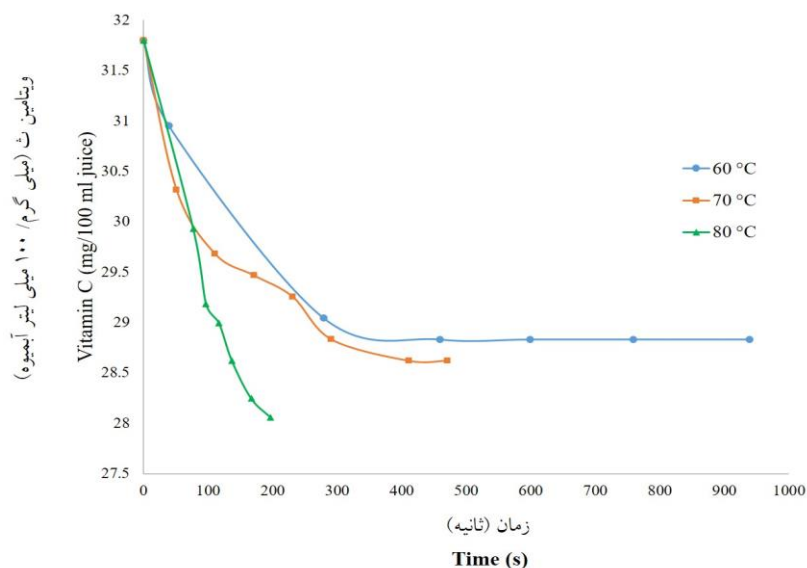
شکل ۲- تغییرات فعالیت آنزیم PME در مرحله CUT  
Figure 2. Changes in PME Enzyme Activity at CUT Phase



شکل ۳- تغییرات فعالیت آنزیم PME در مرحله Holding  
Figure 3. Changes in PME Enzyme Activity at Holding Phase

۱۰ و ۲۴). مطابق مطالعه ویکرام و همکاران (۲۰۰۵) کاهش اولیه ویتامین ث در محفظه مایکروویو را می‌توان به تولید حرارت لحظه‌ای سریع درون آبمیوه به وسیله امواج مایکروویو نسبت داد (۲۹). سینکواتنا و همکاران (۲۰۱۰) کاهش مقدار ویتامین ث بعد از فرآوری آب پرتقال در سیستم پاستوریزاسیون مایکروویو به روش batch گزارش نمودند (۳). شکل ۴ روند تغییرات ویتامین ث را بلافاصله پس از تیمار مایکروویو و در ادامه در مرحله holding نشان می‌دهد. ویتامین ث ترکیبی ناپایدار و حساس در برابر حرارت می‌باشد. مطالعات مختلف درباره روند تغییرات ویتامین ث در تیمارهای مختلف حرارتی و غیرحرارتی رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهد. این تغییرات را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که تخریب مواد مغذی یک عمل پیچیده‌ای بوده که ناشی از بسیاری از متغیرها از قبیل pH، اکسیژن، نمک، قند، وجود آنزیم‌ها، اسیدهای آمینه و غیره می‌باشد (۳).

ویتامین ث: مرحله CUT در روش متداول باعث کاهش ۱۸ تا ۲۲ درصدی ویتامین ث نسبت به نمونه تازه آب پرتقال شد. مقدار ویتامین ث پس از مرحله CUT در تیمار مایکروویو در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ به ترتیب ۳۰/۹۵، ۳۰/۳۱ و ۳۰/۱۱ (میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب پرتقال) بود. لازم به ذکر هست زمان‌های انتخابی برای اندازه‌گیری ویتامین ث مطابق با زمان‌های اندازه‌گیری PME بوده و در نقطه نهایی انتخابی، حداقل ۹۰ درصد آنزیم PME غیرفعال شده است. دمیردون و همکاران کاهش ۲۶ درصدی ویتامین ث در روش متداول و کاهش ۹ درصدی در روش مایکروویو را در محصول نهایی شاهد بودند (۲۸). ایگوال و همکاران (۲۰۱۰) در مورد آب گریپ‌فروت؛ دمیردون و همکاران (۲۰۱۶)، خلیل (۲۰۱۹) در مورد آب پرتقال به ترتیب به حفظ بهتر ترکیبات حساس به حرارت (ویتامین ث) در سیستم مایکروویو نسبت به روش متداول اشاره نمودند (۲۸).



شکل ۴- روند تغییرات (تخریب) ویتامین ث در مراحل CUT و Holding  
Figure 4. Changes in Vitamin C (Destruction) at CUT and Holding Phase

حداکثری (۹۰۰ وات) مایکروویو (کنترل شده با میکروکنترلر PID) بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و کیفی آب پرتقال پس از مرحله CUT و طی مرحله Holding مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش دما، اندیس‌های قهوه‌ای شدن، کدورت و ابری شدن افزایش یافت. تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای مواد جامد محلول، اسیدیته و pH در مرحله Holding نداشت. همچنین با افزایش دما نرخ تخریب ویتامین ث و پکتین متیل استراز افزایش یافت. تیمارهای مختلف دمایی باعث کاهش ویسکوزیته بلافاصله پس از خروج از مایکروویو شده و در مرحله Holding تغییر محسوس در ویسکوزیته مشاهده نشد.

### نتیجه گیری

فرآوری مایکروویو در حیطه حفظ مواد غذایی در چند سال گذشته پیشرفت فراوان داشته است ولی هنوز به نقطه عطف لازم، نرسیده است. حرارت‌دهی به صورت پیوسته با امواج مایکروویو یک تکنولوژی نوظهور بوده که می‌تواند به صورت بالقوه برای تیمار حرارتی غذاهای مایع به کار رود. فرآوری مواد غذایی به کمک مایکروویو باعث حفظ کیفیت محصول در مقایسه با محصولات فرآوری شده با روش‌های مرسوم می‌شود. پاستوریزاسیون به کمک مایکروویو روش مؤثرتری برای غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها (با توجه به افزایش قابل توجه سرعت تخریب آن) می‌باشد. در این تحقیق تأثیر سطوح مختلف دمایی در توان

### References

01. Jafari, S.M., and Kashaninejad, M. 2010. Physical properties of food. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources & Makhtumgholi faraghi Press, 1th Edition. 236-237. (Translated in Persian).
02. Mirnezami Saberi, S.H., Amidi Esfahani, Z., and Faez, M. 1997. Microwave in the food industries and homes. adabestan press. 01-15, 89. (In Persian).
03. Cinquanta, L., Albanese, D., Cuccurullo, G., and Di Matteo, M. 2010. Effect on orange juice of batch pasteurization in an improved pilot-scale microwave oven. Journal of food science. 75:1. E46-E50.
04. Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier,

- A.-S., and Abert-Vian, M. 2017. Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 41. 357-377.
05. Igual, M., Contreras, C., Camacho, M., & Martínez-Navarrete, N. 2014. Effect of thermal treatment and storage conditions on the physical and sensory properties of grapefruit juice. *Food and bioprocess technology*. 7:1. 191-203.
06. Kappe, C.O., Stadler, A., and Dallinger, D. 2012. *Microwaves in organic and medicinal chemistry*. John Wiley & Sons. 9-28.
07. Silva, F.V., and Gibbs, P. 2004. Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high-acid fruit products. *Critical reviews in food science and nutrition*. 44:5. 353-360.
08. Elez-Martínez, P., Suárez-Recio, M., and Martín-Belloso, O. 2007. Modeling the reduction of pectin methyl esterase activity in orange juice by high intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*. 78:1. 184-193.
09. Yeom, H., Zhang, Q., and Chism, G. 2002. Inactivation of pectin methyl esterase in orange juice by pulsed electric fields. *Journal of food science*. 67: 6. 2154-2159.
10. Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M., and Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. *Food Chemistry*. 118: 2. 291-299.
11. Stratakis, A.C., Delgado-Pando, G., Linton, M., Patterson, M.F., and Koidis, A. 2016. Industrial scale microwave processing of tomato juice using a novel continuous microwave system. *Food Chemistry*. 190: 622-628.
12. Sattar, S., Ahmad, T., Nisa, M.U., Imran, M., Holmes, M., Maycock, J., and Khan, M.K. 2019. Microwave processing impact on physicochemical and bioactive attributes of optimized peach functional beverage. *Journal of food processing and preservation*, e13952.
13. Lopez-Fandino, R., Villamiel, M., Corzo, N., and Olano, A. 1996. Assessment of the thermal treatment of milk during continuous microwave and conventional heating. *Journal of food protection*. 59:8. 889-892.
14. ISIRI2685. 2007. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Juice and experimental method. 1st.revision. (In Persian).
15. Seyedabadi, M., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahunak, A., and Maghsood Lou, Y. 2018. Effect of ultrafiltration process on rheology and color indices of sour orange juice. *Electronic Journal of Food Processing and Preservation*. 10:2. 105-120. (In Persian).
16. Tiwari, B., Muthukumarappan, K., O'donnell, C., and Cullen, P. 2009. Inactivation kinetics of pectin methylesterase and cloud retention in sonicated orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 10:2. 166-171.
17. Franco, A.P., Yamamoto, L.Y., Tadini, C.C., and Gut, J.A. 2015. Dielectric properties of green coconut water relevant to microwave processing: Effect of temperature and field frequency. *Journal of Food Engineering*. 155. 69-78.
18. Seyedabadi, M.M., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahunak, A.R., and Maghsood Lou, Y. 2015. Effect of ultrafiltration process on quality characteristics of sour orange juice. *Food Science and Technology*. 13:3. 121-129. (In Persian).
19. Seyedabadi, M.M., Aghajanzadeh Suraki, S., Kashaninejad, M., and Ziaifar, A.M. 2017. Investigation of the effect of microwave on some physicochemical properties of sour orange juice. *Food Science and Technology*. 14:1. 17-29. (In Persian).
20. Siguemoto, É.S., Pereira, L.J., and Gut, J.A.W. 2018. Inactivation kinetics of pectin methylesterase, polyphenol oxidase, and peroxidase in cloudy apple juice under microwave and conventional heating to evaluate non-thermal microwave effects. *Food and bioprocess technology*. 11:7. 1359-136.
21. Amjadi, S., Alizadeh, A., and Roufegarinejad, L. 2018. Cavitation effects of sonication on microbial load and physicochemical properties of orange

- juice. *Food Science and Technology*. 15:10. 217-226. (in persian).
22. Rivas, A., Rodrigo, D., Martinez, A., Barbosa-Cánovas, G., and Rodrigo, M. 2006. Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *LWT-Food Science and Technology*. 39:10. 1163-1170.
  23. Shi, X.-M., Zhang, G.-J., Wu, X.-L., Li, Y.-X., Ma, Y., and Shao, X.-J. 2011. Effect of low-temperature plasma on microorganism inactivation and quality of freshly squeezed orange juice. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 39:7. 1591-1597.
  24. Khalil, T.A.K. 2019. The effect of heat and microwave treatments on orange juice quality during storage. *Mesopotamia Journal of Agriculture*. 45:3. 299-312.
  25. Shinoda, Y., Murata, M., Homma, S., and Komura, H. 2004. Browning and decomposed products of model orange juice. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*. 68:3. 529-536.
  26. Tribess, T.B., and Tadini, C.C. 2006. Inactivation kinetics of pectin methylesterase in orange juice as a function of pH and temperature/time process conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86:9. 1328-1335.
  27. Aghajanzadeh, S., Ziaififar, A.M., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., and Esmailzadeh, E. 2016. Thermal inactivation kinetic of pectin methylesterase and cloud stability in sour orange juice. *Journal of Food Engineering*. 185. 72-77.
  28. Demirdoven, A., and Baysal, T. 2016. Inactivation effect of microwave heating on pectin methylesterase in orange juice. *Ukrainian food journal*. 5:2. 248-261.
  29. Vikram, V., Ramesh, M., and Prapulla, S. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*. 69:1. 31-40.
  30. Chemat, F., Fabiano-Tixier, A.S., Vian, M.A., Allaf, T., and Vorobiev, E. 2015. Solvent-free extraction of food and natural products. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 71. 157-168.