

تاثیر پیش حرارت‌دهی امواج مادون قرمز و میدان الکتریکی پالسی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب گوجه‌فرنگی

سارا آقاجان‌زاده سورکی¹ - امان محمد ضیائی‌فر^{2*} - مهدی کاشانی‌نژاد³، عباس رضائی اصل⁴

تاریخ دریافت: 1397/05/09

تاریخ پذیرش: 1397/11/08

چکیده

امروزه، میدان الکتریکی پالسی (PEF) به‌عنوان روشی نوین جهت سالم‌سازی و افزایش مدت زمان ماندگاری آب میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنزیم پکتین متیل استراز (PME) به دلیل دارا بودن مقاومت حرارتی بالا به‌عنوان شاخص کفایت فرآوری آب‌میوه‌ها با اسیدیته بالا، مانند آب گوجه‌فرنگی، شناخته می‌شود. با توجه به ساختار پروتئینی این آنزیم، افزایش دمای اولیه آب میوه قبل از فرآوری PEF، به غیرفعال‌سازی بیش‌تر آن و در نتیجه افزایش کارایی این روش کمک می‌کند. روش نوین حرارت‌دهی سریع مواد غذایی با استفاده از امواج مادون قرمز (IR) در کاهش میزان افت مواد مغذی موثر شناخته می‌شود. از این‌رو، در این پژوهش به تاثیر همزمان دو فرایند حرارتی (IR) و غیرحرارتی (PEF) بر برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب گوجه‌فرنگی پرداخته شد. برای این منظور، ابتدا آب گوجه‌فرنگی با استفاده از امواج IR تا دماهای 40، 45 و 50 درجه سانتی‌گراد حرارت‌دهی شد. سپس، نمونه تحت فرایند PEF مداوم (31/82، 27/27، 22/73) و 36/36 کیلوولت بر سانتی‌متر به مدت 3520 میکروثانیه قرار گرفت. میزان تغییرات اسید اسکوربیک، آنزیم پکتین متیل‌استراز (PME)، کدورت و رنگ آب گوجه فرآوری شده به ترتیب با استفاده از روش‌های یدومتری، کیم‌بال، اسپکتوفوتومتری و پردازش تصویر تعیین گردید. نتایج نشان داد که پیش‌حرارت‌دهی آب‌میوه در کنار وقوع پدیده حرارت‌دهی اهمیت طی فرایند PEF، به دلیل افزایش بسیار سریع دمای آب گوجه‌فرنگی موجب کاهش بیش‌تر میزان فعالیت آنزیم و افزایش کدورت محصول شد. همچنین، مشاهده شد که با ترکیب PEF و حرارت‌دهی ملایم و سریع محصول می‌توان موجب کاهش میزان افت محتوای اسید اسکوربیک و جلوگیری از بروز تغییرات نامطلوب رنگ نمونه شد.

واژه‌های کلیدی: امواج مادون قرمز، میدان الکتریکی پالسی، آب گوجه‌فرنگی، اسید اسکوربیک، آنزیم پکتین متیل‌استراز، خصوصیات رنگی

طولانی مدت مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Ling *et al.*)
(2015; Fachin *et al.* 2002).

امواج IR که بخشی از طیف امواج الکترومغناطیس را شامل می‌شوند، دارای طول موجی بین 0/78 تا 1000 میکرومتر می‌باشند (Rastogi, 2012). این امواج پس از برخورد به سطوح منعکس، جذب و یا عبور داده می‌شوند. انرژی جذب شده توسط ماده غذایی مایع، جامد و یا مایع حاوی ذرات جامد به ترتیب به وسیله مکانیسم انتقال حرارت جابجایی، هدایتی و یا ترکیبی از آن دو در داخل ماده غذایی منتقل می‌گردد. جذب IR توسط مواد غذایی به ضخامت، محتوای رطوبتی و ماهیت فیزیکوشیمیایی محصول بستگی دارد. به‌طور کلی، IR تغییراتی در حالت ارتعاشی اتم‌ها و مولکول‌ها ایجاد می‌کند. در واقع، انرژی این امواج توسط پیوند میان هیدروژن - اکسیژن موجود در مولکول آب جذب

مقدمه

تولید محصولات غذایی با کیفیت، مدت زمان ماندگاری و ارزش تغذیه‌ای بالا از اصلی‌ترین دغدغه‌های تولیدکنندگان می‌باشد. فرآوری حرارتی یکی از مرسوم‌ترین روش‌های مورد استفاده در تولید محصولات مختلف غذایی است. با توجه به حساسیت حرارتی بسیاری از ترکیبات مغذی از جمله ترکیبات ضداکسایشی مانند اسید اسکوربیک، استفاده از حرارت‌دهی به‌منظور فرآوری مواد غذایی می‌تواند اثرات منفی بر ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای محصول داشته باشد (Polydera *et al.* 2004). از این رو جهت، امروزه استفاده از روش‌های نوین حرارت‌دهی سریع محصول مانند استفاده از امواج مادون قرمز (IR) و نیز کاربرد روش‌های غیرحرارتی نظیر اعمال میدان الکتریکی پالسی (PEF) به منظور کاهش و یا جلوگیری از افت مواد مغذی ناشی از حرارت‌دهی

* - نویسنده مسئول: (Email: ziaifar@gau.ac.ir)

DOI: 10.22067/iffstrj.v15i2.74437

1، 2 و 3- دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
4- استادیار، گروه مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

ویسکوزیته و پایداری آب میوه‌ها می‌باشد (Kimball, 1999). مقاومت حرارتی این آنزیم بیش‌تر از مقاومت حرارتی میکروارگانسیم‌های عامل فساد در آب میوه‌ها با اسیدیته بالا است (Kimball 1999; Polydera *et al.* 2004). بنابراین، غیرفعال شدن این آنزیم به معنی از بین رفتن میکروارگانسیم‌های هدف موجود در این دسته از محصولات می‌باشد. به طور کلی، تاثیر فرایند PEF بر غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها در آب میوه‌های مختلف به شرایط فرایند، خصوصیات آنزیم، نوع و ویژگی‌های ماده غذایی بستگی زیادی دارد (Aghajanzadeh and Ziaifar 2007; Elez-Martinez *et al.* 2017). با توجه به مقاومت بالاتر PME نسبت به میکروارگانسیم‌های عامل فساد در مواد غذایی با اسیدیته بالا، نیاز به فرایند PEF با شدت بالاتر و یا ترکیب آن با یک فرایند حرارتی ملایم به منظور افزایش میزان غیرفعال‌سازی این آنزیم می‌باشد (Aghajanzadeh and Ziaifar 2017).

با توجه به زمان بسیار کوتاه فرآوری محصولات به روش PEF، از تاثیر افزایش دمای ناشی از حرارت‌دهی اهمیت بر غیرفعال‌سازی میکروارگانسیم‌ها و تخریب ترکیبات شیمیایی در تحقیقات انجام شده پیشین چشم‌پوشی شد. اما با توجه به ساختار پروتئینی آنزیم PME، افزایش دما می‌تواند موجب غیرفعال‌سازی بیش‌تر آن و در نتیجه افزایش کارایی تولید آب میوه‌هایی مانند آب گوجه‌فرنگی طی فرآوری PEF گردد. در این مطالعه، جهت افزایش کارایی این فرایند غیرحرارتی بر غیرفعال‌سازی آنزیم PME، از حرارت‌دهی سریع آب گوجه‌فرنگی با استفاده از IR استفاده گردید. همچنین طی فرآوری، تغییرات برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محصول نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی آب گوجه‌فرنگی

گوجه‌فرنگی وارپته (Red cloud) بازار محلی شهرستان گرگان خریداری شد. پس از شست‌وشو، پوره گوجه‌فرنگی تهیه شده با استفاده از صافی (مش 170) صاف گردید. آب گوجه‌فرنگی تهیه شده بلافاصله جهت انجام آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی فرآوری شد.

طراحی و ساخت دستگاه مداوم PEF مجهز به امواج IR

شکل 1 سیستم مداوم پیش‌حرارت‌دهی ماده غذایی مایع با استفاده از امواج IR و میدان الکتریکی پالسی را نشان می‌دهد. پمپ پیستونی مجهز به چهار سرنگ (حجم 60 میلی‌لیتر) و با قابلیت تنظیم دبی جهت انتقال آب میوه به محفظه اصلی فرایند طراحی و ساخته شد. جهت ساخت پمپ از یک موتور با توان 12 وات (با توان نامی 60 وات)

شده و سپس آب با بسامد مشابه با پرتو، شروع به ارتعاش می‌کند که نتیجه آن تبخیر آب است (Decareau 1985; Fu and Lien 1998). این امر بدون تاثیر بر سایر اجزای مواد غذایی، موجب افزایش کارایی استفاده از IR با هدف حرارت‌دهی انتخابی آب می‌گردد. همچنین استفاده از این امواج نسبت به روش‌های مرسوم حرارتی دارای مزایایی از جمله نفوذ مستقیم حرارت، عدم تماس مستقیم منبع حرارتی و ماده غذایی، کوتاه‌تر بودن زمان فرایند، عدم آلودگی زیست محیطی و حفظ بیش‌تر ترکیبات مغذی و خواص فیزیکی محصول می‌باشد (Rastogi 2012).

استفاده از حرارت‌دهی IR به صورت غیرمداوم جهت پاستوریزاسیون آب میوه‌ها (Aghajanzadeh *et al.* 2016; Vikram *et al.* 2005) به صورت محدودی مورد مطالعه قرار گرفته است. در بررسی انجام شده توسط آقاجانزاده و همکاران (2016)، مشاهده شد که در مقایسه با فرآوری آب لیمو ترش در حمام آب گرم¹، استفاده از این امواج موجب کاهش زمان مرحله افزایش دمای محصول² (CUT) گردید. Vikram و همکاران (2005) نیز طی مقایسه تاثیر این دو روش حرارت‌دهی در فرآوری آب پرتقال به نتایجی مشابه دست یافتند.

امروزه از PEF به تنهایی و یا در کنار سایر روش‌های فرآوری به عنوان روشی موثر جهت پاستوریزاسیون محصولات لبنی و آب میوه‌ها استفاده می‌شود. این روش تنها قادر به از بین بردن فرم روبشی باکتری‌ها می‌باشد و در غیرفعال‌سازی اسپورها ناکارآمد است؛ بنابراین، قابلیت جایگزینی و یا همراه شدن با روش‌های حرارتی جهت پاستوریزاسیون مواد غذایی با اسیدیته بالا را داراست (Mastwijk and Bartels 2005). در سیستم مداوم و یا غیرمداوم PEF، ماده غذایی مایع به ترتیب بین دو الکترود قرار گرفته یا به کمک پمپ از میان آن دو عبور داده می‌شود. در این شرایط محصول، برای مدت زمان کوتاهی در معرض یک میدان الکتریکی پالسی کنترل‌شده با ولتاژ بالا قرار داده می‌شود (Buckow *et al.* 2011). در واقع، انتقال میدان الکتریکی پالسی از طریق دو الکترود در تماس مستقیم با محصول غذایی انجام می‌گیرد که نتیجه آن وقوع پدیده الکتروپوراسیون³ و افزایش سریع دمای ماده غذایی ناشی از حرارت‌دهی اهمیت⁴ است. در PEF، بر اثر وقوع پدیده الکتروپوراسیون طی زمان بسیار کوتاهی، در دامنه چند میکروثانیه تا چند میلی‌ثانیه، تخریب سلول‌ها و نیز تغییر در ساختار آنزیم‌ها مانند پکتین‌متیل‌استراز⁵ (PME) رخ می‌دهد (Kaur and Aggarwal 2015; Raso *et al.* 2016).

PME آنزیمی است که به طور طبیعی در بسیاری از میوه‌ها و سبزیجات مانند گوجه‌فرنگی یافت می‌شود. طی فعالیت این آنزیم، ساختار پکتین دستخوش تغییر می‌گردد که نتیجه آن تغییر حالت ابری،

4 Ohmic Heating
5 Pectin Methyltransferase
6 Nominal Power

1 Water Bath
2 Come Up Time
3 Electroporation

میلی‌متر روبه‌روی هم قرار داده شدند. شدت میدان الکتریکی با استفاده از معادله 1 تعیین شد (Giner et al. 2000):

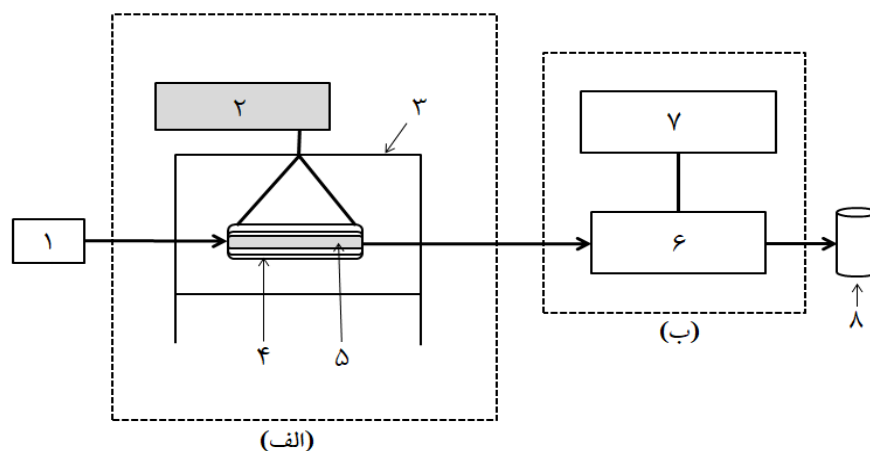
$$E = \frac{V}{d} \quad (1)$$

در این معادله E، V و d به ترتیب نشان‌دهنده شدت میدان الکتریکی (kV/cm)، پتانسیل الکتریکی (kV) و فاصله بین دو الکترود (cm) است. از این جهت با تنظیم ولتاژ خروجی دستگاه، میدان الکتریکی پالسی با شدت‌های 22/73، 27/27، 31/82 و 36/36 کیلوولت بر سانتی‌متر به محصول اعمال شد.

به‌منظور مطالعه تأثیر دما بر خواص فیزیکی‌شیمیایی محصول طی فرآوری با استفاده از PEF، حرارت‌دهی مقدماتی آب گوجه‌فرنگی با عبور نمونه از محفظه لامپ مادون قرمز انجام گرفت. با استفاده از دستگاه کنترل‌کننده دما، دمای آب گوجه‌فرنگی از دمای اولیه 30 به 40، 45 و 50 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. سپس، نمونه‌های پیش‌حرارت‌دهی شده در معرض PEF با شدت‌های مختلف قرار گرفتند. به‌منظور کاهش میزان ورود هوا، آب گوجه‌فرنگی از قسمت پایین محفظه به فضای بین دو الکترود وارد تزریق شد. اندازه‌گیری دمای نمونه با قرار دادن ترموکوپل نوع K با ضخامت یک میلی‌متر در نقطه خروجی نمونه از میان الکترودها انجام گرفت. نمونه‌ها بلافاصله پس از فرایند حرارتی، در حمام آب یخ تا رسیدن به دمای محیط خنک شدند.

به‌منظور تأمین نیروی محرکه سیستم استفاده شد. انرژی الکتریکی مورد نیاز سیستم نیز توسط یک منبع تغذیه صنعتی با ولتاژ 12 ولت و شدت جریان 10 آمپر تأمین شد. جهت افزایش دمای آب میوه از لامپ مادون قرمز با قطر خارجی 10 میلی‌متر استفاده شد. شدت انتقال حرارت از لامپ به نمونه معادل 796/18 کیلووات در واحد سطح تخمین زده شد. این لامپ در محفظه شیشه‌ای دو لوله‌ای قرار داده شد. جهت کنترل دمای نمونه و دستیابی به دماهای مورد نظر از دستگاه کنترل‌کننده دما مجهز به ترموکوپل نوع k استفاده شد.

مولد پالسی به گونه‌ای طراحی شد که قابلیت تولید پالس‌هایی با ولتاژ بالا را با استفاده از برق شهری (ولتاژ معمولی 220 ولت) داشت. در این پژوهش، موج مربعی شکل - دوقطبی به عرض 1 میلی‌ثانیه و فرکانس¹ ثابت 32 هرتز مورد استفاده قرار گرفت. تعداد پالس (n) اعمال شده به نمونه در شدت جریان 0/5 میلی‌لیتر در هر ثانیه معادل 3/52 محاسبه شد. زمان فرایند معادل حاصل ضرب تعداد پالس در عرض پالس می‌باشد (Elez-Martinez et al. 2007). بنابراین زمان فرآوری آب گوجه‌فرنگی با استفاده از PEF، در این شدت جریان 3520 میکروثانیه بود. استفاده از الکترود از جنس طلا، پلاتین و کربن نیز جهت ساخت محفظه فرآوری PEF گزارش شده است؛ اما الکترود از جنس استیل ضد زنگ به‌عنوان متداول‌ترین و مناسب‌ترین نوع از نظر مقاومت در برابر خوردگی و قیمت در نظر گرفته می‌شود (Bushnell et al. 1996). در محفظه فرآوری این دستگاه از دو الکترود از جنس استیل ضد زنگ (316) به طول و ضخامت به ترتیب 10 و 0/5 میلی‌متر استفاده شد. دو الکترود به صورت موازی با فاصله مشخص 0/55



شکل 1- نمای شماتیک (الف) دستگاه پیش‌حرارت‌دهی با استفاده از امواج مادون قرمز و (ب) PEF جهت فرآوری آب میوه: 1- پمپ، 2- کنترل‌کننده دما، 3- محفظه فلزی، 4- محفظه شیشه‌ای، 5- لامپ مادون قرمز، 6- محفظه فرآوری PEF، 7- دی‌تالاکر و 8- نمونه فرآوری شده

آزمون‌های شیمیایی و فیزیکی فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز

در این روش، میزان اسید تولید شده به‌عنوان معیاری جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم در نظر گرفته شد (Kimball, 1999). برای این منظور، 20 میلی‌لیتر محلول نمکی پکتین (محلول یک لیتری حاوی 10 گرم پکتین و 15/3 گرم نمک سدیم کلرید) به 5 میلی‌لیتر آب میوه موجود در یک بشر 100 میلی‌لیتری اضافه شد. با توجه به تاثیر دما بر تعیین فعالیت این آنزیم، دمای نمونه با استفاده از همزن مغناطیسی به‌صورت یکنواخت روی 30 درجه سانتی‌گراد تنظیم و حفظ گردید. جهت افزایش دقت انجام آزمایش نیاز است با استفاده از یک محلول قلیایی (سدیم هیدروکسید) pH نمونه به محدوده خنثی رسانده شود. پس از رساندن pH محلول با استفاده از سود 2 نرمال به حدود 7، با کمک سود رقیق‌تر (0/05 نرمال) pH محلول در 7/7 تنظیم شد. پس از آن 0/1 میلی‌لیتر سود 0/05 نرمال به‌صورت یکباره به نمونه اضافه شد. زمان مورد نیاز جهت تولید اسید ناشی از فعالیت آنزیم و خنثی کردن قلیائیت 0/1 میلی‌لیتر سود افزوده شده ثبت شد. با جای‌گذاری زمان برگشت pH به میزان 7/7 در معادله 2 میزان فعالیت این آنزیم بر حسب (unit/ml) محاسبه شد.

$$(2) \quad \text{میزان فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز}^1 = \frac{(0/1 \text{ میلی‌لیتر سود}) \times (سود 0/05 \text{ نرمال})}{(\text{زمان بازگشت بر حسب دقیقه}) \times (5 \text{ میلی‌لیتر نمونه})}$$

میزان اسید اسکوربیک

جهت اندازه‌گیری میزان اسیداسکوربیک از روش تیتراسیون ید (یدومتری) استفاده شد (Kashyap and Gautam 2012). در این روش، اندازه‌گیری این ویتامین ($C_6H_8O_6$) بر پایه واکنش‌های اکسایش-کاهش انجام گرفت چرا که یک اسید ضعیف و یک عامل کاهنده خوب است. برای این منظور، ابتدا 20 میلی‌لیتر نمونه به یک بالن حجمی 250 میلی‌لیتری انتقال داده و با 150 میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. محلول حاصل پس از افزودن یک میلی‌لیتر محلول شاخص نشاسته یک درصد، با محلول ید تا ظهور رنگ آبی سیاه تیترا شد. میزان میلی‌گرم اسیداسکوربیک در 100 میلی‌لیتر نمونه بر اساس معادله 3 محاسبه شد (Bessey and King 1933; Behera et al. 2010).

(3) حجم معرف مصرفی $\times 0/88 =$ میزان اسید اسکوربیک (میلی‌گرم در 100 میلی‌لیتر نمونه)

جهت آماده‌سازی محلول ید، ابتدا 5 گرم پتاسیم یدید و 0/268 گرم پتاسیم یدات در بالن 500 میلی‌لیتری با 200 میلی‌لیتر آب مقطر

به‌خوبی حل شد و سپس به محلول حاصل 30 میلی‌لیتر اسید سولفوریک 3 مولار اضافه گردید. در انتها حجم محلول با آب مقطر به 500 میلی‌لیتر رسانده شد.

میزان کدورت

به‌منظور اندازه‌گیری میزان کدورت، 5 میلی‌لیتر آب گوجه‌فرنگی با دور 3000 rpm در دمای محیط (25 درجه سانتی‌گراد) سانتریفوژ شد. سپس جذب نمونه در اسپکتوفوتومتر در طول موج 660 نانومتر خوانده شد (Versteeg et al. 1980).

تغییرات رنگ

جهت مطالعه تاثیر فرآوری حرارتی بر رنگ محصول، 15 میلی‌لیتر آب میوه به یک پلیت (با ارتفاع یک و قطر نه سانتی‌متر) انتقال یافت و تصویر آن به کمک اسکنر، پوشانیده شده با یک پارچه کاملاً سیاه و ضخیم به‌منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور از محیط خارج، اسکن شد. تصاویر با وضوح 1200dpi و با فرمت JPEG ذخیره شدند. پس از انتقال تصاویر به کامپیوتر مقادیر L^* ، a^* و b^* نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ (نسخه 1/47) استخراج گردید. شاخص قهوه‌ای شدن BI^2 و اختلاف کل رنگ TCD^3 به ترتیب بر اساس مولفه‌های رنگی به‌دست آمده و با استفاده از معادلات 4 تا 6 محاسبه شد (Aghajanzadeh et al. 2016).

$$(4) \quad x = \frac{a^* + 1.75 \times L^*}{5.64 L^* + a^* - 3.012 b^*}$$

$$(5) \quad BI = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17}$$

$$(6) \quad TCD = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

مولفه L^* (معادل روشنایی تصویر که بین صفر معادل مشکی و 100 معادل انعکاس کامل نور)، مقادیر مولفه a^* (مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز) و مولفه b^* (مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی) است. اندیس‌ها با زیروند صفر مربوط به مقادیر خوانده شده از نمونه شاهد (آب میوه تازه) است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این بررسی اثر تیمار حرارتی آب گوجه‌فرنگی با استفاده از امواج مادون قرمز در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی بررسی شد. جهت

روش‌های آزمون (1386) مطابقت داشت. با توجه به pH، آب گوجه‌فرنگی محصولی با اسیدیته بالا (pH<4/6) به شمار می‌رود؛ از این‌رو، اعمال فرایند حرارتی ملایم‌تر (دمای زیر 100 درجه سانتی‌گراد) جهت سالم‌سازی این محصول توصیه می‌گردد (McGlynn, 2003). بنابراین در این پژوهش، شرایط فرآوری این محصول به گونه‌ای تنظیم شد که دمای نهایی محصول به بیش از 100 درجه سانتی‌گراد افزایش نیابد.

آنالیز نتایج به دست‌آمده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 استفاده شد. میانگین‌ها به روش دانکن در سطح اطمینان 95 درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تغییرات دمای محصول

خصوصیات آب گوجه‌فرنگی تهیه شده (جدول 1) با استاندارد ملی ایران به شماره 1112 تحت عنوان آب گوجه‌فرنگی ویژگی‌ها و

جدول 1- درصد ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی آب گوجه‌فرنگی تازه

میزان	ترکیبات
4/23 ± 0/04	pH
1/02 ± 0/ 01	دانسیته (g/cm ³)
96/04 ± 1/77%	رطوبت
4/83 ± 0/04	ماده جامد محلول
0/51 ± 0/00%	اسیدیته (بر حسب اسید)
0/19 ± 0/04%	خاکستر (بر حسب وزن خشک)

اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار می‌باشند

جدول 2- تاثیر شرایط مختلف فرآوری بر دمای خروجی آب گوجه‌فرنگی و محتوای اسید اسکوربیک و آنزیم PME موجود در آن

دما ورودی (°C)	شدت میدانی الکتریکی (kV/cm)	دمای خروجی محصول (°C)	محتوای اسید اسکوربیک (%)	فعالیت آنزیم PME (%)
30	22/73	41/0 ± 1/4 ^k	97/2 ± 3/9 ^a	70/7 ± 5/5 ^a
	27/27	49/5 ± 0/7 ⁱ	86/5 ± 4/4 ^{ab}	69/7 ± 3/1 ^a
	31/81	64/0 ± 0/0 ^g	85/2 ± 5/2 ^{ab}	68/0 ± 0/9 ^a
	36/36	74/0 ± 0/0 ^e	83/8 ± 3/5 ^{abc}	66/9 ± 5/7 ^a
40	22/73	52/0 ± 0/7 ^j	63/7 ± 3/3 ^{bcd}	27/4 ± 0/6 ^b
	27/27	60/0 ± 1/5 ^{hi}	59/8 ± 3/8 ^{cd}	21/1 ± 1/6 ^b
	31/81	74/0 ± 1/4 ^e	57/9 ± 2/4 ^d	25/0 ± 4/2 ^b
	36/36	82/0 ± 1/4 ^c	51/7 ± 1/5 ^d	20/4 ± 0/9 ^b
45	22/73	57/0 ± 0/0 ⁱ	64/9 ± 3/1 ^{bcd}	24/8 ± 2/6 ^b
	27/27	62/0 ± 0/0 ^{gh}	60/3 ± 4/2 ^{cd}	25/2 ± 3/9 ^b
	31/81	78/5 ± 0/7 ^d	58/8 ± 3/1 ^d	23/9 ± 3/9 ^b
	36/36	88/0 ± 1/4 ^b	56/8 ± 3/7 ^d	22/4 ± 4/3 ^b
50	22/73	64/0 ± 1/4 ^g	63/0 ± 1/1 ^{bcd}	27/5 ± 5/6 ^b
	27/27	69/0 ± 1/5 ^f	59/0 ± 3/7 ^d	23/3 ± 2/8 ^b
	31/81	84/0 ± 1/4 ^e	57/5 ± 3/4 ^d	20/7 ± 0/2 ^b
	36/36	93/0 ± 1/1 ^a	5/56 ± 1/3 ^d	19/0 ± 0/5 ^b

همان‌گونه که در جدول 2 مشاهده می‌شود، دمای آب گوجه‌فرنگی پیش‌حرارت‌دهی شده پس از عبور از میان الکترودها به میزان قابل توجهی افزایش یافت (P<0/05). بدون در نظر گرفتن دمای ورودی نمونه، نرخ افزایش دمای نمونه خروجی از محفظه PEF در هر شدت میدان الکتریکی، مشابه و ثابت بود. میزان افزایش دمای محصول پس از اعمال میدان الکتریکی با شدت 22/73، 27/27، 31/81 و 36/36 کیلوولت بر سانتی‌متر به ترتیب معادل 12/38 ± 1/25، 18/88 ± 1/31،

33/88 ± 0/25 و 43/13 ± 0/85 درجه سانتی‌گراد بود. دمای مواد غذایی، به دلیل دارا بودن غلظت بالای یون‌ها، پس از قرارگیری در معرض میدان الکتریکی افزایش می‌یابد (Demirdöven and Baysal 2014). در واقع، افزایش ناگهانی دمای محصول غذایی طی فرآوری با استفاده از PEF که به حرارت‌دهی اهمیت نسبت داده می‌شود، به‌عنوان عاملی مهم در نابودسازی میکروارگانیسم‌ها و غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها معرفی می‌گردد. میزان این افزایش دما به عوامل

حجم نمونه بستگی دارد (Ball, 1923). برای مثال طی حرارت‌دهی آب پرتقال در حمام آب گرم (در دماهای 60 تا 90 درجه سانتی‌گراد)، میزان اثر مرحله CUT بر غیرفعال‌سازی PME معادل 46 تا 58 درصد گزارش شد. علی‌رغم کوتاه بودن مرحله CUT در فرآوری حرارتی با استفاده از امواج IR، تاثیر آن بر غیرفعال‌سازی این آنزیم نیز مشاهده شد (Tajchakavit & Ramaswamy, 1997)؛ به طوری که میزان فعالیت این آنزیم پس از اتمام مرحله پیش‌حرارت‌دهی و رسیدن دمای نمونه به 40، 45 و 50 درجه سانتی‌گراد به ترتیب $1/55 \pm 12/09$ ، $4/06 \pm 17/43$ و $1/32 \pm 22/54$ درصد کاهش یافت. همان‌گونه که در جدول 2 نشان داده شد، پیش‌حرارت‌دهی محصول و به دنبال آن اعمال میدان الکتریکی با شدت‌های متفاوت موجب کاهش زیادی در فعالیت آنزیم نسبت به آب میوه تازه شد ($P < 0/05$).

به‌طور کلی، تاثیر پیش‌حرارت‌دهی آب گوجه‌فرنگی بر کاهش فعالیت PME به میزان قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از اثر فرآوری با استفاده از PEF بود. این امر به پروتئینی بودن ساختار آنزیم و در نتیجه حساسیت بالاتر آن نسبت به تغییرات دمایی نسبت داده می‌شود. افزایش ناگهانی دما در محصول و یا تشکیل نقاط گرم در محفظه فرآوری PEF که ناشی از حرارت‌دهی اهمیک است، می‌تواند موجب بروز تغییراتی در ساختار پروتئینی آنزیم گردد (Jaeger et al. 2009; Schilling et al. 2008). در کنار افزایش دمای محصول، بر اثر وقوع پدیده غیرحرارتی الکتروپوراسیون، آنزیم موجود در پالپ به درون عصاره آزاد می‌شود. PME همانند سایر آنزیم‌ها دارای ساختار پروتئینی است بنابراین دارای بار سطحی و حرکات قطبی در محیط مایع مانند آب میوه می‌باشد. حضور یون‌ها باعث افزایش هدایت جریان الکتریکی می‌گردد (Zhang et al. 1995). همچنین به دلیل وجود میدان الکتریکی پالسی با ولتاژ بالا، آرایش فضایی ساختار پروتئینی آنزیم و یونیزه شدن ذرات موجود در عصاره رخ می‌دهد که نتیجه آن غیرفعال‌سازی آنزیم خواهد بود (Samaranayake and Sastry 2016). بنابراین تاثیرات الکتروشیمیایی و نیز تغییرات دمایی حین این فرایند باعث بروز تغییر در ساختار دوم و چهارم پروتئینی آنزیم و در نتیجه غیرفعال‌سازی آن شد (Terefe et al. 2013)؛ چرا که به دلیل تغییر در ساختار فضایی طبیعی آنزیم‌ها و یا گروه‌های عاملی آن‌ها، سوبسترا نمی‌تواند با جایگاه فعال آنزیم پیوند دهد (Hendrickx et al. 1998).

کاهش 81/4٪ در فعالیت PME موجود در آب هویج - پرتقال پس از فرآوری در میدان الکتریکی پالسی با شدت 25 kV/cm طی زمان $340 \mu s$ در دمای 63 درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Rodrigo et al. 2003). مطالعات نشان می‌دهد که ترکیب PEF با حرارت‌دهی ملایم (دمای 55 تا 65 درجه سانتی‌گراد) موجب افزایش نرخ تخریب این آنزیم گردید (Espachs-Barroso et al. 2006). رینر و همکاران (2009)

مختلفی مانند هدایت الکتریکی محصول، اندازه ذرات، شدت میدان الکتریکی و خصوصیات الکترودها بستگی دارد (Kaur and Singh 2015).

محتوای اسید اسکوربیک موجود در آب گوجه‌فرنگی فرآوری

شده

میزان اسیداسکوربیک در آب گوجه‌فرنگی تازه معادل 22/08 میلی‌گرم در 100 میلی‌لیتر نمونه تعیین شد. در مقایسه با آبمیوه تازه، محتوای این ویتامین در نمونه‌های فرآوری شده با استفاده از امواج IR و PEF کاهش یافت ($P < 0/05$). مطابق جدول 2، مشاهده شد که محتوای اسید اسکوربیک نمونه‌ها با افزایش دمای ورودی آبمیوه به محفظه PEF به میزان قابل توجهی کاهش یافت ($P < 0/05$). این موضوع حساسیت حرارتی بالای این ویتامین و اهمیت کنترل فرآوری حرارتی حین تولید محصولات غذایی را نشان می‌دهد. از طرفی، مطالعات نشان داد که افزایش سریع دمای آب میوه طی حرارت‌دهی با استفاده از IR موجب حفظ بیش‌تر محتوای اسید اسکوربیک در مقایسه با محصول فرآوری شده در حمام آب گرم گردید (Aghajanzadeh et al. 2016; Vikram et al. 2005).

همچنین مشاهده شد که اعمال شدت‌های مختلف PEF در یک زمان مشخص تغییری بر محتوای این ویتامین در آب گوجه‌فرنگی نداشت ($P > 0/05$) که این نتیجه، کارایی فرآوری PEF در حفظ ارزش غذایی محصول را نشان می‌دهد. تیمار حرارتی آب گوجه‌فرنگی در مبدل حرارتی لوله‌ای¹ (90 درجه سانتی‌گراد به مدت 60 ثانیه) موجب کاهش 20/8 درصدی میزان اسید اسکوربیک شد. این در حالی است که میزان کاهش این ویتامین در نمونه فرآوری شده به روش PEF (35kV/cm به مدت 1500 μs) میزان 13/5 درصد گزارش شد (Odriozola-Serrano et al. 2008). همچنین طی فرآوری این محصول با استفاده از PEF (40kV/cm به مدت 57 μs) و نیز فرآوری آن در مبدل حرارتی (92 درجه سانتی‌گراد به مدت 90 ثانیه) مشاهده شد که محتوای اسید اسکوربیک محصول حرارت‌دهی شده، نسبت به آب میوه تازه، به میزان 10 درصد کاهش یافت. این در حالی بود که تغییر چشمگیری در میزان این ویتامین در نمونه تیمار شده با استفاده از PEF مشاهده نشد (Min et al. 2003).

غیرفعال‌سازی آنزیم

میزان فعالیت آنزیم PME موجود در آب گوجه‌فرنگی تازه معادل $0/0001 \pm 0/0053$ PEU بود. بخشی از مرحله CUT دارای اثر کشندگی بر میکروارگانیزم‌ها و همچنین غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها است که به میزان زیادی به شرایط محیط حرارتی، جنس و ابعاد ظرف و

مشاهده کردند که قبل از شروع فرآوری با استفاده از PEF، پیش‌حرارت‌دهی آب میوه در حمام آب گرم موجب کاهش مدت زمان لازم جهت کاهش 90% فعالیت این آنزیم شد (Riener et al. 2009). همچنین گزارش شد که پیش‌حرارت‌دهی آب گوجه‌فرنگی پیش از استفاده از PEF غیرمداوم (20، 80kV/cm پالس) موجب کاهش 55 درصدی در فعالیت این آنزیم گردید (Nguyen and Mittal 2007).

تغییرات خصوصیات ظاهری محصول

پکتین نقش بسزایی در بروز کدورت و حالت ابری مطلوب بسیاری از آبمیوه‌ها مانند آب مرکبات و آب گوجه‌فرنگی دارد. بر اثر تجزیه پکتین ناشی از فعالیت PME، پایداری و کدورت محصول کاهش می‌یابد که نتیجه آن افت کیفیت و بازارپسندی محصول خواهد بود. در این مطالعه مشاهده شد که به طور کلی میزان کدورت نمونه‌های فرآوری شده حدود 35/41 درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت ($P < 0/05$) که علت آن به غیرفعال‌سازی آنزیم PME و وقوع پدیده الکتروپوراسیون نسبت داده می‌شود. این درحالی است که پیش-حرارت‌دهی آب میوه و نیز استفاده از شدت‌های مختلف میدان الکتریکی پالسی تاثیر چشمگیری بر میزان این اندیس نداشته است ($P > 0/05$). در مطالعه انجام شده در این زمینه گزارش شد که طی حرارت‌دهی آب لیموترش با استفاده از IR، میزان اندیس ابری شدن به ازای افزایش دمای محصول به میزان 10 درجه سانتی‌گراد، حدود 1/44 برابر افزایش یافت (Aghajanzadeh et al. 2016). همچنین به دلیل بروز الکتروپوراسیون طی PEF، محتوای پکتین موجود در آب پرتقال و آب هویج به ترتیب به میزان 2 و 14/78 درصد افزایش یافت. نتایج این بررسی نشان داد که با توجه به نقش پکتین به‌عنوان عامل کلیدی در بروز حالت ابری آب میوه‌ها و سبزی‌های مختلف به همراه کاهش میزان فعالیت PME، میزان کدورت این دسته از محصولات طی فرآوری با استفاده از PEF افزایش یافت (Demirdöven and Baysal 2014; Rayman et al. 2011).

میزان اندیس قهوه‌ای شدن آب گوجه‌فرنگی تازه $304/82 \pm 23/76$ محاسبه شد که حرارت‌دهی محصول در محفظه امواج IR موجب افزایش 1/7 برابری این اندیس نسبت به نمونه شاهد شد ($P < 0/05$). همچنین پس از اعمال PEF افزایش جزئی در میزان قهوه‌ای شدن رنگ نمونه‌ها مشاهده شد ($P > 0/05$). از این رو، می‌توان بیان نمود که افزایش دمای محصول به دلیل تاثیر بر روند تخریب اسید اسکوربیک موجب بروز تغییر چشمگیری در میزان این اندیس شد. بنابراین می‌توان بیان نمود که رابطه‌ای معکوس میان محتوای اسید اسکوربیک و اندیس قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی آب میوه طی فرآوری مشاهده شد. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام گرفته توسط محققین نیز تاییدی بر وجود چنین رابطه‌ای میان محتوای اسید اسکوربیک و BI است (Roig et al. 2011).

در بررسی انجام شده توسط آقاچان‌زاده و همکاران (2016)، آب لیموترش در دماهای 60 تا 90 درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم و با استفاده از امواج مادون قرمز حرارت‌دهی شد (Aghajanzadeh et al. 2016). به دلیل تخریب کم‌تر این ویتامین، میزان اندیس قهوه‌ای شدن در آب لیموترش حرارت‌دهی شده با استفاده از IR به میزان اندکی پایین‌تر از نمونه‌های فرآوری شده در حمام آب گرم بود. مین و همکاران (2003) گزارش کردند که به دلیل محتوای بالاتر اسید اسکوربیک در نمونه فرآوری شده به روش PEF (40kV/cm به مدت 57 μ s)، میزان اندیس قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در این نمونه کم‌تر از آب گوجه‌فرنگی شده حرارت‌دهی به روش مرسوم (92 درجه سانتی‌گراد به مدت 90 ثانیه) بود (Min and Zhang 2003).

TCD را می‌توان به‌عنوان شاخصی مناسب جهت بررسی میزان تغییرات رنگ محصول در نظر گرفت (Avila & Silva, 1999). نتایج به‌دست آمده از بررسی میزان تغییرات کلی رنگ آب گوجه‌فرنگی نشان داد که میزان این اندیس در نمونه‌های پیش‌حرارت‌دهی شده تا دماهای 40، 45 و 50 درجه سانتی‌گراد می‌شود، به دلیل افزایش میزان تغییرات ترکیبات شیمیایی موجود در محصول، به ترتیب به میزان $0/00 \pm 0/36$ و $0/00 \pm 0/37$ افزایش یافت ($P < 0/05$). اگرچه اعمال PEF با شدت‌های مختلف اختلاف معناداری بر میزان TCD نداشت ($P > 0/05$) اما پیش‌حرارت‌دهی آب میوه در کنار استفاده از این روش فرآوری موجب افزایش میزان این اندیس به میزان $0/31 \pm 2/30$ گردید. محققین گزارش کردند که تغییر چشمگیری در میزان رنگ آب مرکبات (گریپ فروت، لیمو، پرتقال) فرآوری شده با استفاده از روش PEF (28kV/cm به مدت 100 μ s) و آب میوه تازه مشاهده نشد به طوری که میزان اختلاف کلی رنگ آب پرتقال، لیمو و گریپ فروت به ترتیب برابر 0/47، 0/59 و 0/45 بود. اما به دلیل کاهش میزان روشنایی رنگ، میزان این اندیس در آب نارنگی معادل 2/44 گزارش شد (Cserhalmi et al. 2006). به‌طور کلی به دلیل وقوع تغییرات شیمیایی کم‌تر طی استفاده از PEF، محصول تولیدی دارای خصوصیات حسی مشابه آب میوه تازه بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به تاثیر همزمان فرایندهای حرارتی (استفاده از امواج IR) و غیرحرارتی (PEF) بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی آب گوجه‌فرنگی پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از امواج IR و نیز افزایش شدت میدان الکتریکی اعمال شده موجب افزایش بسیار سریع دمای آب گوجه‌فرنگی می‌شود. از طرفی، با توجه به ساختار پروتئینی PME، پیش‌حرارت‌دهی آب میوه و نیز افزایش دمای نمونه طی فرایند PEF موجب افزایش میزان غیرفعال‌سازی این آنزیم گشت. کاهش فعالیت PME و افزایش محتوای پکتین موجود در آب گوجه‌فرنگی بر اثر وقوع پدیده الکتروپوراسیون طی PEF موجب

مرحله CUT و در نتیجه جلوگیری از افت کیفیت ماده غذایی پیشنهاد می‌شود.

افزایش کدورت نمونه شد. با افزایش دمای محصول به دلیل تخریب بیش‌تر اسید اسکوربیک، میزان اندیس قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی افزایش یافت. تغییرات کلی رنگ نمونه فرآوری شده با PEF مشابه آن در آب میوه تازه بود که نشانگر کارایی بالای این روش در حفظ ظاهر مطلوب آب میوه تازه است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از روش‌های نوین حرارت‌دهی سریع مانند IR به‌منظور کاهش زمان

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از تلاش‌ها و راهنمایی‌های آقای مهندس پیمان اصغرتابار کاشی جهت طراحی و ساخت این دستگاه قدردانی می‌گردد.

منابع

- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (1386). آب گوجه‌فرنگی - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، استاندارد شماره 1112.
- Aghajanzadeh, S., Kashaninejad, M., & Ziaifar, A. M., 2016, Effect of infrared heating on degradation kinetics of key lime juice physicochemical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 139-148.
- Aghajanzadeh, S., & Ziaifar, A. M., 2017, A review of pectin methylesterase inactivation in citrus juice during pasteurization. *Trends in Food Science & Technology*.
- Avila, I. M. L. B., & Silva, C. L. M. 1999, Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Food Engineering*, 39, 161-166.
- Ball, C. O. 1923, *Thermal process time for canned food*. Bulletin of the National Research Council No. 37, 7, Part 1 Natl Res Council, Washington, DC.76.
- Behera, K., Sahoo, S., & Prusti, A., 2010, Biochemical quantification of diosgenin and ascorbic acid from the tubers of different dioscorea species found in Orissa. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, 1(2), 123-127.
- Bessey, O. A., & King, C., 1933, The distribution of vitamin C in plant and animal tissues, and its determination. *Journal of Biological Chemistry*, 103, 687-698.
- Buckow, R., Baumann, P., Schroeder, S., & Knoerzer, K., 2011, Effect of dimensions and geometry of co-field and co-linear pulsed electric field treatment chambers on electric field strength and energy utilisation. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 545-556.
- Bushnell, A. H., Clark, R. W., Dunn, J. E., & Lloyd, S.W. 1996. *Process for reducing levels of microorganisms in pumpable food products using a high pulsed voltage system*. US Patent, 5,514,391.
- Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, A., Tóth-Markus, M., & Lechner, N. 2006, Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1-2), 49-54.
- Decareau, R. V., 1985, *Microwaves in the food processing industry*: Academic Press.
- Demirdöven, A., & Baysal, T., 2014, Optimization of ohmic heating applications for pectin methylesterase inactivation in orange juice. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1817-1826.
- Elez-Martinez, P., Suarez-Recio, M., & Martin-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.
- Espachs-Barroso, A., Van Loey, A., Hendrickx, M., & Martín-Belloso, O., 2006, Inactivation of plant pectin methylesterase by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1), 40-48.
- Fachin, D., Van Loey, A. M., Nguyen, B. L., Verlent, I., & Hendrickx, M. E., 2002, Comparative study of the inactivation kinetics of pectinmethylesterase in tomato juice and purified form. *Biotechnology progress*, 18(4), 739-744.
- Fu, W.-R., & Lien, W.-R., 1998, Optimization of far infrared heat dehydration of shrimp using RSM. *Journal of Food Science*, 63(1), 80-83.
- Giner, J. n., Gimeno, V., Espachs, A., Elez, P., Barbosa-Cánovas, G. V., & Martín, O. 2000. Inhibition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pectin methylesterase by pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(1), 57-67.
- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., & Weemaes, C., 1998, Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), 197-203.

- Jaeger, H., Meneses, N., & Knorr, D., 2009, Impact of PEF treatment inhomogeneity such as electric field distribution, flow characteristics and temperature effects on the inactivation of E .coli and milk alkaline phosphatase. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 470-480.
- Kashyap, G., & Gautam, M., 2012, Analysis of vitamin c in commercial and natural substances by iodometric titration found in nimar and malwa region. *Journal of Scientific Research in Pharmacy*, 1(2), 77-78.
- Kaur, G., & Aggarwal, P., 2015, Effect of chemical preservation over thermal processing on storage stability of tomato juice. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 34(1), 49-53.
- Kaur, N., & Singh, A., 2015, Ohmic Heating: Concept and Applications-A Review. *Critical reviews in food science and nutrition*(just-accepted), 00-00.
- Kimball, D. A., 1999, Citrus processing. A complete guide, 2nd edn. *Aspen Publishers, Inc., aithersburg, Maryland*, 257-264.
- Ling, B., Tang, J., Kong, F., Mitcham, E., & Wang, S., 2015, Kinetics of Food Quality Changes During Thermal Processing: a Review. *Food and bioprocess technology*, 8(2), 343-358.
- McGlynn, W. G. 2003, *The importance of food pH in commercial canning operations*. Oklahoma Cooperative Extension Service. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University.
- Mastwijk, H., & Bartels, P., 2005, Pulsed electric Field (PEF) processing in the fruit juice and dairy industry. *The International Review of Food Science and Technology*, 2004, 106-108.
- Min, S., Jin, Z. T., & Zhang, Q. H., 2003, Commercial scale pulsed electric field processing of tomato juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(11), 3338-3344.
- Min, S., & Zhang, Q., 2003, Effects of Commercial-scale pulsed electric field processing on flavor and color of tomato juice. *Journal of Food Science*, 68(5), 1600-1606.
- Nguyen, P., & Mittal, G., 2007, Inactivation of naturally occurring microorganisms in tomato juice using pulsed electric field (PEF) with and without antimicrobials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(4), 360-365.
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O., 2008, Changes of health-related compounds throughout cold storage of tomato juice stabilized by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 272-279.
- Polydera, A., Galanou, E., Stoforos, N., & Taoukis, P., 2004, Inactivation kinetics of pectin methylesterase of greek Navel orange juice as a function of high hydrostatic pressure and temperature process conditions. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 291-298.
- Raso, J., Frey, W., Ferrari, G., Pataro, G., Knorr, D., Teissie, J., & Miklavčič, D., 2016, Recommendations guidelines on the key information to be reported in studies of application of PEF technology in food and biotechnological processes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 312-321.
- Rastogi, N. K., 2012, Recent trends and developments in infrared heating in food processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(9), 737-760.
- Rayman, A., Baysal, T., & Demirdöven, A., 2011, Optimisation of electroplasmolysis application for increased juice yield in carrot juice production. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(4), 781-786.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., & Lyng, J. G., 2009, Combined effect of temperature and pulsed electric fields on pectin methyl esterase inactivation in red grapefruit juice (*Citrus paradisi*). *European Food Research and Technology*, 228(3), 373-379.
- Rodrigo, D., Barbosa-Cánovas, G., Martinez, A., & Rodrigo, M., 2003, Pectin methyl esterase and natural microflora of fresh mixed orange and carrot juice treated with pulsed electric fields. *Journal of Food Protection*, 66(12), 2336-2342.
- Roig, M. G., Bello, J. F., Rivera, Z. S., & Kennedy, J. F. 1999. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice. *Food Research International*, 32, 609-619.
- Samaranayake, C. P., & Sastry, S. K., 2016, Effects of controlled-frequency moderate electric fields on pectin methylesterase and polygalacturonase activities in tomato homogenate. *Food Chemistry*, 199, 265-272.
- Schilling, S., Schmid, S., Jager, H., Ludwig, M., Dietrich, H., Toepfl, S., Knorr, D., Neidhart, S., Schieber, A., & Carle, R., 2008, Comparative study of pulsed electric field and thermal processing of apple juice with particular consideration of juice quality and enzyme deactivation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4545-4554.

- Tajchakavit, S., & Ramaswamy, H. 1997, Continuous-flow microwave inactivation kinetics of pectin methyl esterase in orange juice. *Journal of food processing and preservation*, 21(5), 365-378.
- Terefe, N. S., Kleintschek, T., Gamage, T., Fanning, K. J., Netzel, G., Versteeg, C., & Netzel, M., 2013, Comparative effects of thermal and high pressure processing on phenolic phytochemicals in different strawberry cultivars. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 57-65.
- Versteeg, C., Rombouts, F., Spaansen, C., & Pilnik, W., 1980, Thermostability and orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange. *Journal of Food Science*, 45(4), 969-971.
- Vikram, V., Ramesh, M., & 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.
- Zhang, Q., Barbosa-Cánovas, G. V., & Swanson, B. G., 1995, Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal of Food Engineering*, 25(2), 261-281.

The effect of infrared pre-heating and pulsed electric field on physicochemical properties of tomato juice

S. Aghajanzadeh Suraki¹, A. M. Ziaifar^{2*}, M. Kashaninejad³, A. Rezaie Asl⁴

Received: 2018.07.31

Accepted: 2019.01.28

Introduction: Tomato consumption is recommended due to its brilliant color, amazing taste, high antioxidants and vitamins content. Pectin methylesterase (PME) is known as a pasteurization index in tomato juice. This enzyme plays important roles in cloud stability, color, viscosity and organoleptic properties of the juice. PME induces the cloud loss in the juice due to the formation of the insoluble calcium pectate; its inactivation is therefore needed to maintain the juice stability. Degradation of ascorbic acid (AA) in the juice is considered as a major challenge during thermal food processing procedures. Furthermore, during its degradation non enzymatic browning occurs, affecting the taste and color. Novel juice processing methods such as infrared (IR) heating and pulsed electric field (PEF) reduce the adverse effects of the conventional thermal method. Quick IR heating produces a juice having higher nutritional value and better quality. During PEF processing, the juice is subjected to high voltage electric pulses for a few microseconds to inactivate target microorganisms and enzymes. Considering the protein structure of the PME, PEF processing at a higher temperature can be effective in this enzyme inactivation. A quick pre-heating of the juice using IR heating was therefore applied in this study. Furthermore, the ohmic heating, occurring during PEF treatment, was not prevented. The synergistic effect of thermal treatment and a non-thermal one (continuous PEF system) on some physicochemical properties of tomato juice were investigated.

Materials and methods: Tomato juice, with an initial temperature of 30°C, was firstly preheated using a continuous IR heating system. During the IR treatment, a temperature controller was applied to set the outlet temperature of the juice to 40, 45 and 50°C. The preheated juice was then passed through a continuous PEF system. The process chamber of the PEF system consists of two parallel stainless steel electrodes with 0.55 mm distance. The length and width of the exposed electrode surface were 10 mm and 0.5 mm, respectively. A square-wave bipolar pulse with a width of 1 ms was selected to perform the treatment within the range of 22.73 to 36.36 kV/cm at 32 Hz. The outlet temperature of the juice was recorded using a data acquisition system during 3.52 s PEF treatment. The treated juice was cooled in an ice-water bath to minimize the effect of cooling period on PME inactivation. AA content, PME activity, cloud value and color of the juice were measured using iodine titration, Kimball, spectroscopy and image processing, respectively.

Results and discussion: Results showed that higher PME inactivation was observed in the juices treated at higher IR pre-heating temperature in combination to higher PEF intensity, resulting in higher cloud stability of the juice. While preheating of the juice decreased the AA content, PEF treatment has no significant effect reflecting the heat sensitivity of this vitamin. Furthermore, color aspects of the juice were more affected by heating treatment in comparison to the PEF processing. Browning index (BI) increased as the AA content decreased. By measuring the total color difference (TCD) it was shown that the PEF had no impact on color properties of the juice. Therefore, the synergistic effect between the IR heating and PEF treatment was also effective in producing the juice having the high nutritional value and better appearance.

Keywords: Infrared, Pulsed electric field, Tomato juice, Ascorbic acid, Pectin methylesterase, Color aspects

1, 2 and 3. Ph. D. Candidate, Associate Professor and Professor , Department of Food Processing Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

4. Assistant Professor, Faculty of Biosystem, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(*Corresponding Author Email: ziaifar@gau.ac.ir)