

بررسی اثر امواج مایکروویو بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب نارنج

محمد مهدی سیدآبادی^۱، سارا آقاچانزاده سورکی^{۱*}، مهدی کاشانی نژاد^۲، امان محمد ضیائی فر^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- استاد، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۶)

چکیده

آب نارنج به دلیل داشتن طعم مطلوب به عنوان جایگزین آب لیمو در تهیه غذاهای مختلف به کار برده می‌شود. جهت سالم‌سازی و همچنین افزایش مدت‌زمان ماندگاری این محصول، می‌توان از فرآیندهای حرارتی مختلف استفاده نمود. در این بررسی آب نارنج در چهار سطح توان مایکروویو (۱۷۰، ۳۴۰، ۵۱۰ و ۶۸۰ وات) در بازه‌های زمانی مختلف تا رسیدن دمای نهایی محصول به ۷۲ درجه سانتی‌گراد فرآوری شد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر سطوح مختلف فرآیند حرارتی بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب نارنج طی مرحله‌ی افزایش دمای محصول بود. نتایج نشان داد که سطوح مختلف توان به کار برده شده بر میزان ویسکوزیته تأثیر معناداری نداشت. تخریب حرارتی اسید آسکوربیک و آنزیم پکتین‌متیل‌استراز از سینتیک درجه‌ی اول پیروی کرد. با افزایش توان به کار برده شده، سرعت تخریب این دو ترکیب نیز افزایش یافت. با تغییر توان مایکروویو، به دلیل اثر بر محتوای ترکیبات شیمیایی از جمله اسید آسکوربیک، پارامترهای رنگ‌سنجی محصول نیز تغییر یافت. با در نظر گرفتن همبستگی بسیار بالای ($R^2 > 0.97$) میان روش‌های مورد استفاده (طیف‌سنجی و پردازش تصویر) جهت ارزیابی میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌ها طی تیمار حرارتی، استفاده از روش پردازش تصویر پیشنهاد شد.

کلید واژگان: آب نارنج، امواج مایکروویو، اسید آسکوربیک، آنزیم پکتین‌متیل‌استراز، رنگ

*مسئول مکاتبات: saraaghajanzadeh@yahoo.com

۱- مقدمه

نارنج یکی از محصولات باغی و از انواع مرکبات است که در نواحی جنوب غربی آسیا از جمله شمال ایران کشت می‌شود. این میوه که به نام‌های مختلف مانند پرتقال تلخ^۱ و سویل^۲ نیز شهرت دارد، دارای پتانسیل بالایی جهت مصرف در زمینه‌های مختلف می‌باشد. آب نارنج به دلیل دارا بودن عطر و طعمی کم‌نظیر، به عنوان یکی از فراورده‌های پرمصرف در شمال ایران شناخته می‌شود. آب نارنج غنی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله اسید آسکوربیک^۳ (AA) است. آنتی‌اکسیدان‌ها با از بین بردن رادیکال‌های آزاد و اکسیژن فعال موجب جلوگیری از بروز انواع سرطان‌ها و بیماری‌های قلبی-عروقی می‌شوند [۱ و ۲]. مرکبات یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده AA می‌باشند. با توجه به تغییر محتوای این ویتامین تحت شرایط مختلف فرآیند از جمله دما و نوع فراوی به کار برده شده، می‌توان میزان پایداری این ویتامین در فراورده‌های حاصل از مرکبات را به عنوان شاخصی از کیفیت محصول در نظر گرفت [۳ و ۴].

با توجه به طولانی بودن فرآیندهای حرارتی مرسوم، امروزه روش‌های نوین همچون کاربرد امواج مایکروویو پیشنهاد می‌شود. این امواج با افزایش سریع دمای محصول، مانع از افت بیش‌تر AA می‌شوند. آنزیم پکتین‌متیل‌استراز^۴ (PME) که به‌طور طبیعی در آب نارنج وجود دارد، به دلیل دارا بودن مقاومت حرارتی بالاتر نسبت به میکروارگانیزم‌های عامل فساد در آب نارنج، به‌عنوان شاخص فرآیند پاستوریزاسیون این محصول در نظر گرفته می‌شود [۵ و ۶]. این آنزیم قادر به شکستن باندهای $\alpha(1\rightarrow4)$ گلیکوزیدی پکتین است و با هیدرولیز باندهای استری پکتین موجود در آب مرکبات موجب تشکیل ژل یا رسوب پکتات یا کلسیم پکتات می‌شود [۷].

کاهش حالت ابری در آب مرکبات مانند آب نارنج به فعالیت PME بستگی دارد [۸]. با توجه به اهمیت کدورت و حالت ابری ناشی از حضور پکتین در پذیرش این دسته از محصولات و همچنین اثر پکتین بر ویسکوزیته محصول، می‌توان با

تخریب این آنزیم مانع از افت کیفی محصول شد [۹]. یکی از مرسوم‌ترین روش‌های نابودسازی این آنزیم تیمار حرارتی محصول است. تولیدکنندگان مواد غذایی به دنبال روش‌های فرآوری می‌باشند که ضمن سالم‌سازی، حداقل اثر منفی را بر خواص کیفی (مانند طعم، بافت، رنگ) و تغذیه‌ای محصول داشته باشد. فرآوری محصول با استفاده از امواج مایکروویو یکی از روش‌های حرارت‌دهی محصولات می‌باشد که در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. فرآوری مواد غذایی به کمک امواج مایکروویو ضمن سالم‌سازی موجب حفظ طعم، رنگ، بافت و ارزش غذایی محصول در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم فرآوری می‌شود. از طرفی پاستوریزاسیون مواد غذایی با استفاده از امواج مایکروویو روشی مؤثر در نابودسازی پاتوژن‌ها و غیرفعال‌سازی آنزیم‌های طبیعی موجود است. نابودی میکروب‌ها یا آنزیم‌ها به وسیله مایکروویو در زیر دمای کشندگی با تئوری‌های گرمادهی انتخابی، الکتروپوراسیون^۵، پارگی غشای سلولی و اتصال میدان مغناطیسی توصیف می‌شود؛ بر اساس تئوری گرمادهی انتخابی، میکروارگانیزم‌ها به‌صورت انتخابی توسط فرآیند حرارتی مایکروویو گرمادهی شده و به دمایی بالاتر از محیط اطراف می‌رسند، این عوامل موجب نابودی سریع میکروارگانیزم‌ها می‌شود. طبق فرضیه الکتروپوراسیون، پتانسیل الکتریکی موجب ایجاد روزه‌ای در میان غشای سلولی و در نتیجه خروج مواد سیتوپلاسمی و سلولی می‌شود. در تئوری پارگی غشای سلولی نیز علت مرگ میکروارگانیزم تخریب غشای سلولی بر اثر اعمال ولتاژ می‌باشد. در نظریه اتصال میدان مغناطیسی، ترکیبات درون‌سلولی به علت برخورد انرژی الکترومغناطیس با مولکول‌های بحرانی از قبیل پروتئین‌ها یا DNA تخریب می‌شوند [۱۰].

یکی از فاکتورهای مهم در پذیرش محصول توسط مصرف‌کنندگان خواص کیفی محصول است که متأثر از نوع و شرایط فرآوری محصول نیز می‌باشد. رنگ گرچه به‌طور مستقیم در انعکاس ارزش تغذیه‌ای، طعم و یا خصوصیات کاربردی مؤثر نیست، اما نقش آن در ایجاد ظاهر مطلوب

1. Bitter Orange
2. Seville Orange
3. Ascorbic Acid
4. Pectin Methyltransferase

5. Electroporation

(۲۰۰۶) به ارتباط میان محتوای AA و اندیس قهوه‌ای شدن^۱ (BI) آب مرکبات پرداختند [۱۹ و ۲۱]. هدف از این پژوهش بررسی اثرات امواج مایکروویو (با توان ۱۷۰، ۳۴۰، ۵۱۰ و ۶۸۰ وات) بر برخی از خصوصیات کیفی آب نارنج (رنگ، ویسکوزیته و اندیس قهوه‌ای شدن) و همچنین بررسی سینتیک غیرفعال‌سازی PME و تخریب AA طی مرحله‌ی افزایش دمای محصول^۲ (CUT) بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی آب نارنج

میوه‌ی نارنج از بازار میوه و تره‌بار گرگان خریداری شد. ابتدا نارنج‌ها شسته و سپس عمل آب‌گیری با استفاده از آب‌میوه‌گیری خانگی (Vidas VI-3107) انجام شد. به منظور حذف هسته، لرد و مواد اضافی، نمونه آب نارنج با استفاده از چند صافی با مش مختلف (با مش‌های ۳۰، ۶۰، ۱۰۰) صاف گردید و بلافاصله تحت تیمار مایکروویو قرار گرفت. در صورت وجود فاصله زمانی بین آب‌گیری و اعمال تیمار با مایکروویو، نمونه‌های آب نارنج در یخچال با دمای ۴ °C نگهداری شد.

۲-۲- تیمار مایکروویو

به منظور اعمال امواج مایکروویو به نمونه‌ها از یک مایکروویو خانگی شرکت Daewoo و دارای قابلیت تنظیم روی ۴ توان ۱۷۰، ۳۴۰، ۵۱۰ و ۶۸۰ وات استفاده شد. سطوح زمان برای فرآوری نمونه‌های آب نارنج بر اساس مدت زمان موردنیاز جهت رسیدن دمای نمونه به حدود ۷۲ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید که مقادیر آن در جدول (۱) ذکر شد. در واقع در این تحقیق با توجه به عدم امکان ثابت نگهداشتن دمای محصول در یک توان مشخص در این نوع مایکروویو، به بررسی اثر مرحله‌ی افزایش دمای محصول تا رسیدن به دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد پرداختیم. در واقع در این تحقیق با توجه به عدم امکان ثابت نگهداشتن دمای محصول در یک توان مشخص در

محصول و بازارپسندی آن غیرقابل انکار است [۱۱]. چنانچه ارتباطی بین ترکیبات رنگی موجود در ماده‌ی غذایی و ترکیب شیمیایی آن وجود داشته باشد، می‌توان به جای آنالیز شیمیایی از اندازه‌گیری رنگ استفاده نمود، زیرا اندازه‌گیری رنگ نسبت به آنالیز شیمیایی آسان‌تر و سریع‌تر است [۱۲]. علاوه بر این ممکن است رنگ نشان‌دهنده تغییرات شیمیایی مختلف ایجاد شده در محصول، مانند قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون، طی فرآیند حرارتی نیز باشد. اگرچه ممکن است در خصوصیات فیزیکوشیمیایی بین رنگ، عطر و طعم مواد غذایی ارتباط علمی وجود نداشته باشد، اما نتایج آزمون‌های حسی نشان می‌دهد که در اکثر موارد، رنگ مطلوب بر احساس عطر و طعم ماده غذایی نیز تاثیر مثبت و قابل ملاحظه‌ای دارد [۱۳].

نتایج تحقیقات تاجاکویت و همکاران (۱۹۹۷) نشان‌دهنده‌ی افزایش سرعت غیرفعال‌سازی PME طی حرارت‌دهی با استفاده از امواج مایکروویو در مقایسه با حرارت‌دهی در حمام آب گرم است [۱۴]. ایگوال و همکاران (۲۰۱۰) به حفظ بیش‌تر ارزش غذایی و خواص ارگانولپتیک آب گریپ‌فروت تیمار شده با استفاده از امواج مایکروویو در مقایسه با تیمار حرارتی در حمام آب گرم اشاره کردند [۱۵]. تاجاکویت و رامسوامی (۱۹۹۷) طی تیمار حرارتی به دو روش فرآوری در حمام آب گرم و استفاده از امواج مایکروویو، ورستیج و همکاران (۱۹۸۰) و ویکر و تمیلی (۱۹۸۸) طی فرآوری در حمام آب گرم و همچنین تریس و تادینی (۲۰۰۶) طی تیمار محصول در مبدل حرارتی با بررسی تاثیر فرآیند بر غیرفعال‌سازی PME، ایزوفرم‌های مختلفی از این آنزیم را در آب پرتقال شناسایی کردند [۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۸]. ویکرام و همکاران (۲۰۰۵) طی فرآوری آب پرتقال با روش‌های مختلف حرارت‌دهی (مایکروویو، فرورسرخ، حمام آب گرم و همیک) به تاثیر بیش‌تر امواج مایکروویو بر میزان تخریب AA اشاره کردند، آن‌ها همچنین بیان داشتند امواج مایکروویو کم‌ترین تاثیر را بر میزان رنگ دارد (۱۹). پیکوئوت و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات مؤلفه‌های مختلف رنگ ($L^*a^*b^*$) پوره‌ی سیب را طی فرآوری با استفاده از امواج مایکروویو بررسی نمودند [۲۰]. ویکرام و همکاران (۲۰۰۵) و بوردورلو و همکاران

1. Browning Index

2. Come Up Time

۲-۵- اندازه‌گیری اسید آسکوربیک (AA)

در این بررسی جهت اندازه‌گیری میزان AA از روش تیتراسیون با ید استفاده شد [۲۴]. به‌منظور انجام این آزمون ابتدا ۲۰ میلی‌لیتر از آب نارنج به یک فلاسک حجمی ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل و با ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. نمونه پس از افزودن ۱ میلی‌لیتر معرف نشاسته ۱٪ تا ظهور رنگ آبی سیاه با استفاده از محلول ید تیترا شد. با توجه به این‌که هر میلی‌لیتر محلول ید ۰/۰۱ نرمال، حاوی ۰/۸۸ میلی‌گرم اسید آسکوربیک است [۲۵]؛ میزان میلی‌گرم AA در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه طبق معادله‌ی (۱) محاسبه شد:

$$(1) \text{ میزان معرف مصرفی} \times 0/88 = \text{میزان اسید آسکوربیک}$$

جهت آماده کردن محلول ید ابتدا ۵ گرم پتاسیم یدید و ۰/۲۶۸ گرم پتاسیم یدیت در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌خوبی حل شد. پس از افزودن ۳۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۳ مولار، محلول تهیه‌شده با آب مقطر به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

۲-۶- اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم پکتین

متیل استراز (PME)

جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم PME از روش کیم‌بال استفاده شد [۲۶]. بر اساس این روش، ابتدا ۵ میلی‌لیتر آب نارنج به بشر با ظرفیت ۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده و به آن ۲۰ میلی‌لیتر محلول نمکی پکتین افزوده شد. جهت تهیه محلول نمکی پکتین، ۱۰ گرم پکتین به همراه ۱۵/۳ گرم نمک سدیم کلرید (برای انحلال بهتر پکتین) با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده و به‌منظور حل شدن کامل پکتین در محلول حاصل، از حرارت‌دهی همراه با هم زدن مداوم روی همزن مغناطیسی^۲ استفاده شد. بشر ۵۰ میلی‌لیتری حاوی نمونه داخل یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی آب قرار داده شد. سطح آب در داخل بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری به میزانی بود که نمونه‌ی داخل بشر ۵۰

این نوع مایکروویو، به بررسی اثر مرحله‌ی افزایش دمای محصول تا رسیدن به دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد پرداختیم.

جدول ۱ سطوح تیمارهای مایکروویو در فرآوری آب نارنج

توان (وات)	زمان (دقیقه)
۱۷۰	۱۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵
۳۴۰	۱، ۲، ۳، ۴، ۵
۵۱۰	۰/۶۶، ۱/۵، ۲/۳۳، ۳، ۴
۶۸۰	۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵

۲-۳- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

آزمون اسیدیته به روش عیارسنجی انجام شد و میزان اسیدیته بر حسب گرم اسید غالب موجود در آب نارنج (اسیدسیتریک) در ۱۰۰ گرم آب میوه بیان گردید (۲۲). طبق استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۲۶۸۵، pH نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد توسط pH متر دیجیتال PHS-3BW (MICROPROCESSOR) PH/Mv pH meter ساخت کشور ایتالیا قبل و بعد از فرآیند اندازه‌گیری شد [۲۲]. مواد جامد محلول^۱ با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی (CETI, ABBE, Belgium) ساخت ژاپن اندازه‌گیری و بر حسب درجه بریکس بیان شد [۲۲]. چگالی با استفاده از پیکنومتر دماسنج دار ۵۰ ml در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد [۲۲].

۲-۴- اندیس قهوه‌ای شدن

ترکیبات قهوه‌ای بیش‌ترین جذب را در طول‌موج ۴۲۰ nm دارند. BI آب‌میوه در طول‌موج ۴۲۰nm با استفاده از اسپکتروفوتومتر دو پرتویی (T80 + UV/VIS) ساخت آمریکا بر اساس جذب نوری (Abs) اندازه‌گیری شد. قبل از اندازه‌گیری BI، نمونه‌ها در ۴۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شدند [۲۳].

2- Magnetic Stirrer

1. Brix

رایانه، مختصات رنگی آن‌ها در فضای رنگی Lab با نرم‌افزار ImageJ ورژن ۱/۴۷ استخراج شد. این فضای رنگی از سه مؤلفه L^* معادل روشنایی تصویر که بین ۰ معادل مشکی و ۱۰۰ معادل انعکاس کامل نور است. مقادیر مؤلفه a^* نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز است. b^* مقادیر نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی است. این سیستم رنگی عملکرد مشابه چشم انسان دارد. برخلاف فضاهای RGB و HIS متأثر از وسیله عکس برداری نیست. برای توصیف تغییرات کلی رنگ^۱ (TCD) طی حرارت‌دهی میکروویو از شاخص‌های کروما (C)، اختلاف کل رنگ (TCD) استفاده شد. شاخص کروما نشان‌دهنده‌ی اشباعیت رنگ است. "C" و "TCD" به ترتیب از طریق معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد (۲۷).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (۳)$$

(۴)

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

در معادله‌ی (۴) اندیس 0 مربوط به مقادیر خوانده شده از نمونه‌ی اولیه است.

شاخص قهوه‌ای شدن که خلوص رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد، یک شاخص مهم در فرآیند حرارتی در نظر گرفته می‌شود. از معادلات (۵) و (۶) جهت محاسبه‌ی این اندیس استفاده شد [۲۷].

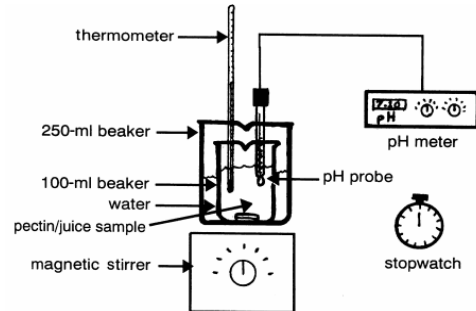
$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (۵)$$

$$x = \frac{a^* + 1.75 \times L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (۶)$$

۲-۸- اندازه‌گیری ویسکوزیته

در این بررسی برای اندازه‌گیری ویسکوزیته از دستگاه ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (Model LVDV-II Engineering Laboratories, Inc. Brookfield USA) استفاده شد. برای تعیین ویسکوزیته نمونه‌های آب نارنج قبل و بعد از فرآوری، ۱۶ میلی‌لیتر از نمونه موردنظر را

میلی‌لیتری را به‌طور کامل احاطه کند. سپس بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری روی یک همزن مغناطیسی قرار داده شد (شکل ۱).



شکل ۱ نحوه‌ی قرارگیری تجهیزات به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پکتین‌متیل‌استراز

با توجه به اثر دما روی فعالیت آنزیم، نیاز به حفظ دمای یکنواخت نمونه در طول آزمون است. از این جهت دمای محلول حاوی نمونه روی ۳۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و در طول آزمون به‌صورت ثابت حفظ شد. سپس با سود ۲ نرمال pH محلول به حدود ۷ رسانده شد. در ادامه جهت کنترل بهتر فرآیند افزایش pH، سود رقیق‌تر (۰/۰۵ نرمال) برای افزایش pH به ۷/۶ تا ۷/۸ مورد استفاده قرار گرفت. پس از رسانیدن pH به میزان موردنظر با استفاده از سمپلر، ۱۰۰ میکرولیتر سود ۰/۰۵ نرمال به نمونه اضافه گشت. این میزان سود موجب افزایش سریع pH نمونه شد. زمان برگشت pH به میزان قبل از افزودن ۰/۱ میلی‌لیتر سود ۰/۰۵ نرمال ثبت و با استفاده از معادله‌ی (۲) میزان فعالیت PME محاسبه شد:

$$(۲) \quad \text{میزان فعالیت آنزیم (PEU)} =$$

$$\frac{(۰/۱ \text{ میلی‌لیتر سود}) \times (سود ۰/۰۵ \text{ نرمال})}{(زمان بازگشت بر حسب دقیقه) \times (۵ \text{ میلی‌لیتر نمونه})}$$

$$(۲) \quad \text{میزان فعالیت آنزیم (PEU)} =$$

۲-۷- ارزیابی رنگ

۱۵ml نمونه‌ی آب نارنج داخل پلیت ریخته و تصویر آن به کمک اسکنر (HP Scanjet, G2710) ثبت شد. به‌منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور جانبی، سطح اسکنر با پارچه کاملاً سیاه و ضخیم پوشانیده شد. تصاویر با وضوح ۶۰۰ dpi و با فرمت JPEG ذخیره گردید. پس از انتقال تصاویر به

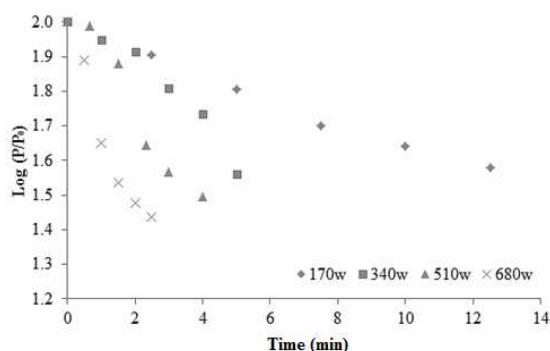
جدول ۲ درصد ترکیبات شیمیایی آب نارنج

ترکیبات	درصد
رطوبت	۸۸/۳ ± ۰/۰۶۲
ماده جامد محلول	۱۰/۷ ± ۰/۰۰
اسیدیته	۵/۳۲ ± ۰/۰۴
pH	۳/۰۱ ± ۰/۰۰
دانسیته	۱/۰۴۵ ± ۰/۰۰
خاکستر	۰/۳۷ ± ۰/۰۳۴

۳-۱- سینتیک تخریب حرارتی آنزیم پکتین-

متیل استراز آب نارنج

آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه‌ی میانگین محتوای PME تیمارهای مختلف نشان داد که سطوح متفاوت توان و زمان طی حرارت‌دهی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو، تأثیر معناداری ($p < 0.05$) در مقدار این آنزیم داشت. با توجه به شکل (۲) در این آزمون تخریب حرارتی PME آب نارنج طی فرآوری با استفاده از امواج مایکروویو از سینتیک درجه اول با ضریب همبستگی بالا ($R^2 > 0.91$) پیروی کرد.



شکل ۲ غیرفعال‌سازی حرارتی آنزیم پکتین متیل استراز طی فرآوری حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف

بر اساس شیب خط در نمودار غیرفعال‌سازی این آنزیم، ثابت سرعت واکنش، نیمه‌عمر و زمان کاهش اعشاری این آنزیم مطابق معادلات (۷)، (۸) و (۹) در جدول (۳) ذکر شده است.

درون محفظه استوانه‌ای ریخته و با استفاده اسپندل شماره S00 در دور ۸۰ و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، ویسکوزیته برحسب واحد سانتی پواز اندازه‌گیری و گزارش شد [۲۸].

۲-۹- محاسبه‌ی نیمه‌عمر

غیرفعال‌سازی حرارتی ترکیبات شیمیایی از معادله‌ی درجه اول لگاریتمی (۷) تبعیت می‌کند:

$$\ln(A/A_0) = -kt \quad (7)$$

در معادله‌ی فوق، A بیان‌گر غلظت ترکیب موردنظر پس از فرآیند حرارتی، A_0 غلظت اولیه‌ی ترکیب، t زمان حرارت‌دهی (min^{-1}) و k ثابت سرعت واکنش می‌باشد. میزان ثابت سرعت واکنش برابر قرینه شیب رگرسیون منحنی $\ln(A/A_0)$ در برابر زمان است. بر اساس مقادیر ثابت سرعت واکنش به دست آمده می‌توان با استفاده از معادله‌ی (۸) نیمه‌عمر تخریب ترکیب شیمیایی را محاسبه نمود:

$$t_{1/2} = -\ln(1/2) \cdot K^{-1} \quad (8)$$

زمان کاهش اعشاری عبارت است از مدت‌زمان لازم برحسب دقیقه جهت کاهش ۹۰٪ فعالیت ترکیب موردنظر در دمای معین که با استفاده از معادله‌ی (۹) محاسبه می‌شود:

$$D = 2.303/k \quad (9)$$

۲-۱۰- تحلیل آماری

در این بررسی اثر دما و زمان حرارت‌دهی به کمک مایکروویو بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب نارنج در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SAS ورژن ۹ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن و در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

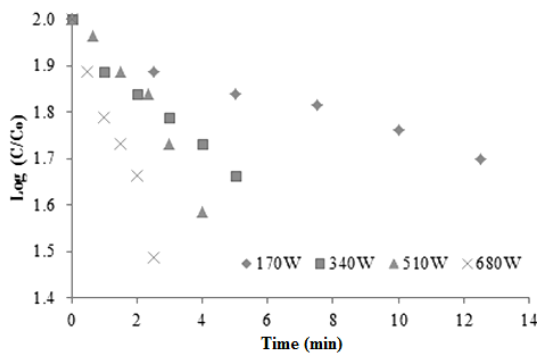
ویژگی‌های شیمیایی آب نارنج تازه مورد استفاده در این بررسی در جدول (۲) ذکر شده است.

جدول ۳ ثابت سرعت واکنش، نیمه عمر تخریب و زمان کاهش اعشاری آنزیم پکتین متیل استراز طی فرآوری حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف

توان (وات)	ثابت سرعت واکنش (min^{-1})	ضریب همبستگی (R^2)	نیمه عمر (ساعت)	زمان کاهش اعشاری
۱۷۰	۰/۰۳۵۷	۰/۹۸	۲۲/۵۸	۶۴/۵۱
۳۴۰	۰/۰۷۳۷	۰/۹۲	۹/۹۷	۳۱/۲۵
۵۱۰	۰/۱۳۰۸	۰/۹۳	۷/۵۷	۱۷/۶۱
۶۸۰	۰/۲۵۸۴	۰/۹۲	۳/۶۳	۲/۴۶

۳-۳- سیتیک تخریب حرارتی محتوای اسید آسکوربیک آب نارنج

آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه میانگین محتوای AA تیمارهای مختلف نشان داد که سطوح متفاوت زمان برخلاف سطوح متفاوت توان طی حرارت‌دهی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو، تأثیر معناداری ($p < 0/05$) در مقدار این ویتامین داشت. در این بررسی میزان AA برابر ۲۲/۸۸ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره آب نارنج تازه بود. با توجه به شکل (۳) می‌توان مشاهده نمود که تخریب حرارتی AA در توان‌ها و زمان‌های مختلف مشابه نتایج به‌دست‌آمده توسط ویکرام و همکاران (۲۰۰۵) با ضریب همبستگی بالا ($R^2 > 0/92$) از سیتیک درجه اول پیروی کرد [۱۹].



شکل ۳ پروفایل تخریب حرارتی اسید آسکوربیک طی فرآوری حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف

میزان ثابت سرعت واکنش تخریب محتوای AA آب نارنج طی فرآوری با توجه به شیب هر خط در شکل (۳) محاسبه شد. میزان زمان کاهش اعشاری و نیمه عمر تخریب AA در

در بررسی‌های انجام‌گرفته در زمینه نابودسازی حرارتی PME آب مرکبات، ایزوفرمل‌های مختلفی از این آنزیم با مقاومت‌های حرارتی متفاوت شناسایی شده است. ویکر و تمیلی (۱۹۸۸) و تریس و تادینی (۲۰۰۶) دو ایزوفرمل از PME را در آب پرتقال شناسایی کردند [۱۷ و ۱۸]. ورستیج و همکاران (۱۹۸۰) سه ایزوفرمل با مقاومت‌های حرارتی مختلف از این آنزیم را در آب پرتقال وارینه ناول شناسایی کردند [۱۶]. تاجکاکویت و رامسوامی (۱۹۹۷) در حین فرآوری آب پرتقال به روش حرارتی در حمام آب گرم دو ایزوآنزیم با استفاده از امواج مایکروویو یک ایزوآنزیم از PME را شناسایی کردند [۱۴]. در این تحقیق نیز طی فرآوری آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو یک ایزوآنزیم از PME شناسایی شد.

۳-۲- تغییرات ویسکوزیته

ویسکوزیته معیار اندازه‌گیری شدت جریان است. به‌طورکلی ویسکوزیته در انتخاب پمپ، مبدل حرارتی و سایر تجهیزات مورد استفاده جهت انتقال سیال تأثیرگذار است. آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه میانگین ویسکوزیته تیمارهای مختلف نشان داد که سطوح متفاوت توان و زمان طی حرارت‌دهی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو، تأثیر معناداری در مقدار ویسکوزیته نداشت ($p > 0/05$). با توجه به اثر محتوای پکتین بر ویسکوزیته [۹] می‌توان بیان کرد که در این تحقیق، افزایش میزان غیرفعال‌سازی آنزیم پکتین متیل استراز طی فرآوری حرارتی آب نارنج و در نتیجه کاهش افت محتوای پکتین نمونه، تأثیر قابل‌توجهی بر ویسکوزیته این محصول نداشت.

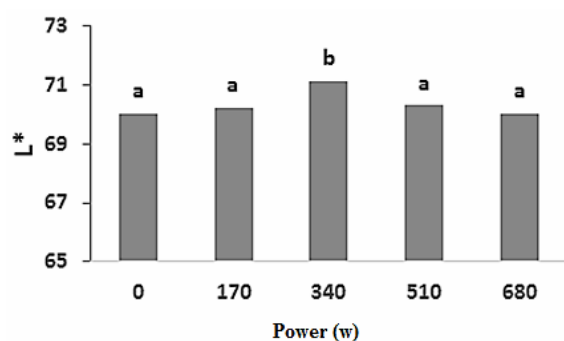
تیمار با روش‌های مختلف شامل استفاده از امواج مایکروویو، حمام آب گرم، همیک و فرسرخ بیان کردند که بیش‌ترین میزان تخریب AA در کلیه روش‌های به‌کاربرده شده به میزان زیادی به دمای فرآیند بستگی دارد به طوری که با افزایش دما، سرعت تخریب این ویتامین افزایش یافت [۱۹].

هر توان با توجه به میزان ثابت سرعت واکنش تخریب در جدول (۴) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش توان از ۱۷۰ به ۶۸۰ وات، نیمه‌عمر تخریب AA به میزان حدود ۷/۵ برابر کاهش یافت که این موضوع نشان‌دهنده تأثیر چشمگیر توان مورد استفاده بر تخریب AA است. ویکرام و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی تخریب AA طی

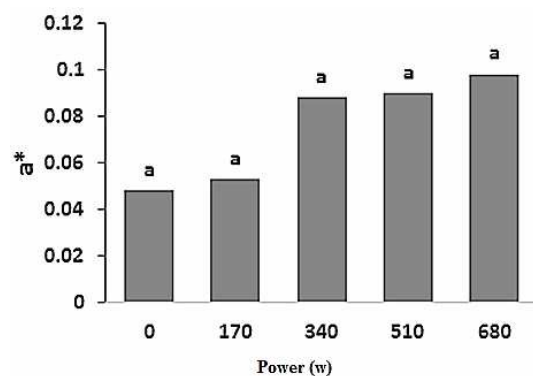
جدول ۴ ثابت سرعت واکنش، نیمه‌عمر تخریب و زمان کاهش اعشاری اسید آسکوربیک طی فرآوری حرارتی آب نارنج با استفاده از

امواج مایکروویو در توان‌های مختلف

توان (وات)	ثابت سرعت واکنش (min^{-1})	ضریب همبستگی (R^2)	نیمه‌عمر (ساعت)	زمان کاهش اعشاری (دقیقه)
۱۷۰	۰/۰۲۵۱	۰/۹۲	۲۷/۶۱	۹۱/۷۵
۳۴۰	۰/۰۶۹۵	۰/۹۶	۹/۹۷	۳۳/۱۴
۵۱۰	۰/۰۹۱۶	۰/۹۴	۷/۵۷	۲۵/۱۴
۶۸۰	۰/۱۹۰۷	۰/۹۷	۳/۶۳	۱۲/۰۸



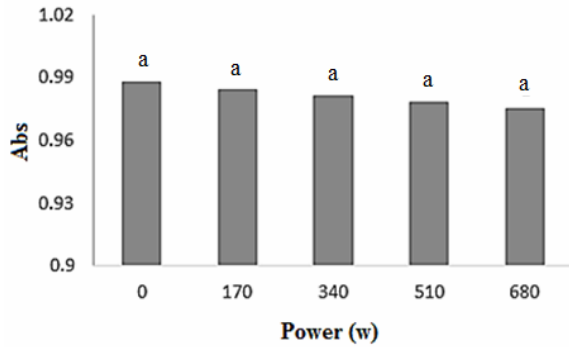
شکل ۴ روند تغییر مؤلفه L^* پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف



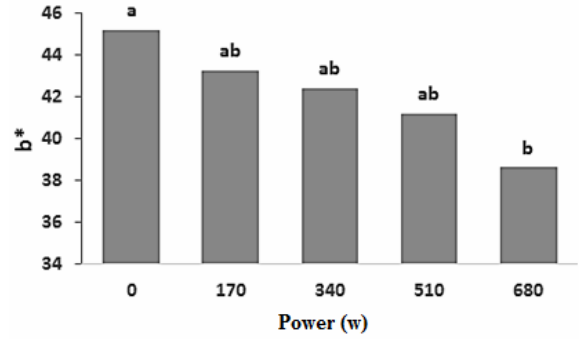
شکل ۵ روند تغییر مؤلفه a^* پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌ها مختلف

۳-۴- تأثیر فرآیند حرارتی بر رنگ آب نارنج

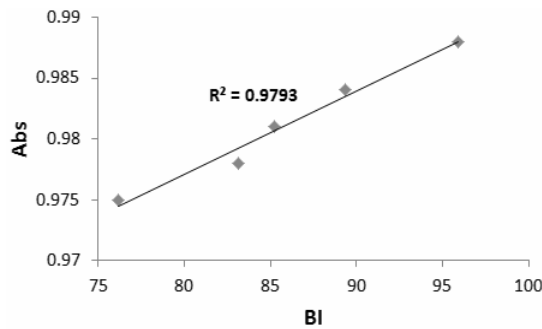
تأثیر توان مایکروویو بر مؤلفه‌های a^* و b^* رنگ آب نارنج پس از تیمار حرارتی به ترتیب در شکل‌های (۴، ۵ و ۶) نشان داده شده است. با توجه به روند تغییرات میزان روشنایی می‌توان بیان کرد که با افزایش توان مایکروویو، مؤلفه L^* با شیب ملایم ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت که مشابه نتیجه به‌دست‌آمده توسط بروور و بگوم (۲۰۰۳) روی بافت سبزیجات است [۲۹]. با افزایش دما و زمان فرآیند حرارتی، تجزیه‌ی پکتین موجود در آب نارنج به علت غیرفعال‌سازی بیش‌تر PME، کاهش یافت و در نتیجه کدورت و حالت مطلوب ابری آب نارنج بیش‌تر حفظ شد؛ از این‌رو کاهش اندیس L^* آب نارنج را می‌توان ناشی از افزایش کدورت و حالت ابری محصول طی فرآوری حرارتی دانست [۱۸، ۳۰ و ۳۱]. مؤلفه‌های a^* و b^* با افزایش توان مورد استفاده با شیب ملایم به ترتیب افزایش و کاهش یافتند ($p > 0/05$). پیکوئوت و همکاران (۲۰۰۹) پس از تیمار حرارتی پوره‌ی سیب با استفاده از امواج مایکروویو، کاهش در مؤلفه‌های L^* و b^* و افزایش در مؤلفه a^* را مشاهده کردند [۲۰].



شکل ۸ اثر توان بر اندیس قهوه‌ای شدن (به روش اسپکتوفتومتری) پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌ها مختلف



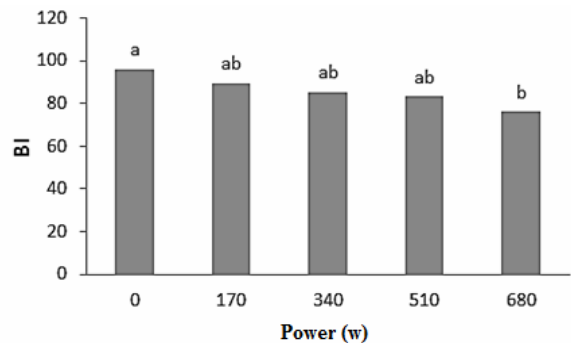
شکل ۶ روند تغییر مؤلفه b^* پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف



شکل ۹ همبستگی میان میزان اندیس قهوه‌ای شدن بر اساس دو روش اندازه‌گیری اسپکتوفتومتری و پردازش تصویر پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف

شاخص کروما تعیین‌کننده‌ی شدت رنگ محصول است. همان‌گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود با افزایش توان، شدت رنگ محصول نیز افزایش یافت. سطوح مختلف توان بر شاخص کروما تأثیر معناداری داشت ($p < 0.05$) که دلیل آن، افزایش بیش‌تر میزان قرمزی رنگ محصول (a^*) پس از تیمار حرارتی در سطوح مختلف توان نسبت به کاهش میزان زردی (b^*) است. شکل (۱۱) نشان‌دهنده‌ی اثر معنی‌دار توان بر TCD است ($p < 0.05$). با هر بار افزایش توان به میزان ۱۷۰ وات، میزان تغییرات کلی رنگ در حدود ۱/۵ برابر افزایش یافت. بیش‌ترین TCD در توان ۶۸۰ وات مشاهده شد که دلیل آن تخریب بیش‌تر ترکیبات شیمیایی آب نارنج تیمار شده در این توان نسبت به سایر توان‌های مورد استفاده است.

در این بررسی، BI به دو روش اسپکتوفتومتری و رنگ‌سنجی ارزیابی شد. همان‌گونه که در شکل‌های (۷ و ۸) مشاهده می‌شود سطوح مختلف توان بر میزان این اندیس تأثیر معناداری نداشت ($p > 0.05$) که می‌توان آن را در ارتباط با معنادار نبودن اثر سطوح مختلف توان بر میزان تخریب AA دانست. با توجه به شکل (۹) همبستگی بالایی میان مقدار BI به دو روش مورد استفاده مشاهده شد ($R^2 > 0.97$). نتایج گزارش شده توسط ویکرام و همکاران (۲۰۰۵) و بوردورلو و همکاران (۲۰۰۶) نیز وجود ارتباطی میان محتوای AA و اندیس قهوه‌ای شدن (BI) در آب مرکبات را تأیید می‌کند (۱۹ و ۲۱).

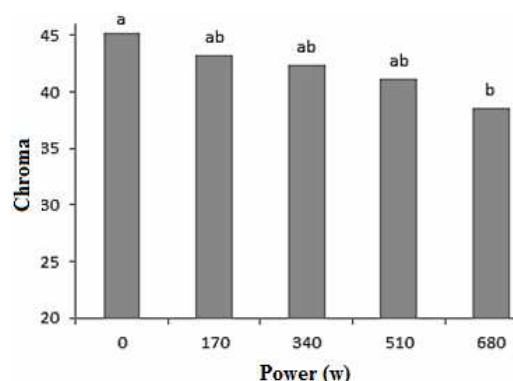


شکل ۷ اثر توان بر اندیس قهوه‌ای شدن (به روش رنگ‌سنجی) پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف

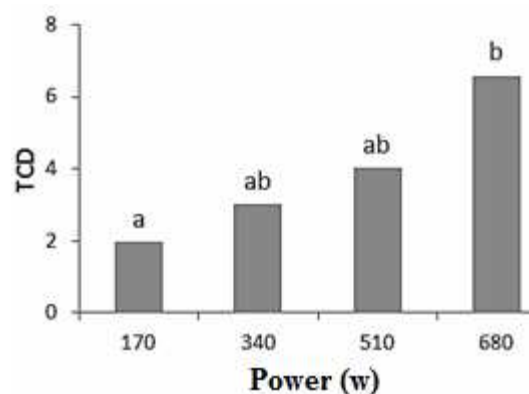
توان مصرفی، تخریب AA و PME با سرعت بیش‌تری انجام می‌گیرد. همچنین افزایش توان مایکروویو باعث تغییر در پارامترهای رنگ‌سنجی شد به طوری که میزان قرمزی رنگ نمونه‌های فرآوری شده افزایش و میزان زردی رنگ آن‌ها کاهش یافت. با توجه به روند تغییرات TCD می‌توان بیان کرد که با افزایش توان، میزان تغییرات کلی رنگ افزایش یافت. همچنین با در نظر گرفتن همبستگی بسیار بالای میان روش‌های مورد استفاده (طیف‌سنجی و پردازش تصویر) جهت ارزیابی میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌ها طی تیمار حرارتی و با توجه به سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر بودن روش پردازش تصویر و همچنین عدم تخریب نمونه طی آزمون، استفاده از این روش به جای آنالیز شیمیایی در تعیین BI پیشنهاد می‌شود.

۵- منابع

- [1] Byers, T. and Perry, G. 1992. Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. *Annual Review of Nutrition*, 12(1), 139-159.
- [2] Wittes, R. E. 1985. Vitamin C and cancer. *The New England journal of medicine*, 312(3), 178.
- [3] Erdman, J. W. and Klein, B. P. 1982. Ascorbic acid: Chemistry, metabolism and uses. In P. A. Seib and B. M. Tolbert (Eds.). *Advances in chemistry series*, New York: ACS Press, 200, 501-503.
- [4] Lee, H. S. and Chen, C. S. 1998. Rates of vitamin C loss and discoloration in clear orange juice concentrate during storage at temperatures of 4-24 C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4723-4727.
- [5] Snir, R., Koehler, P. E., Sims, K. A. and Wicker, L. 1996. Total and thermostable pectinesterases in citrus juices. *Journal of Food Science*, 61(2), 379-382.
- [6] NATH, N. and Ranganna, S. 1977. Time/temperature relationship for thermal inactivation of pectinesterase in mandarin orange (*Citrus reticulata* Blanco) juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 12(4), 411-419.
- [7] Rouse, A. H. and Atkins, C. D. 1955. Pectinesterase and pectin in commercial



شکل ۱۰ اثر سطوح مختلف توان بر شاخص کروما پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو



شکل ۱۱ تغییرات کلی رنگ پس از تیمار حرارتی آب نارنج با استفاده از امواج مایکروویو در توان‌های مختلف

۴- نتیجه گیری

فرآوری مواد غذایی با استفاده از امواج مایکروویو در چند سال گذشته پیشرفتی فراوان داشته است. در فرآیند پاستوریزاسیون، معمولاً به حرارتی حدود ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد نیاز است که با استفاده از امواج مایکروویو می‌توان این حرارت را به‌طور سریع، یکنواخت و بدون ایجاد آسیب حرارتی در ماده فراهم نمود. از این‌رو فرآوری مواد غذایی به این روش موجب حفظ طعم، رنگ و ارزش غذایی در مقایسه با محصولات فرآوری شده با کمک سایر روش‌های مرسوم می‌شود. در این تحقیق تأثیر سطوح مختلف توان مایکروویو بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب نارنج طی مرحله‌ی CUT مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل مشخص شد؛ با افزایش

- [17] Wicker, L. and Temelli, F. 1988. Heat inactivation of pectinesterase in orange juice pulp. *Journal of Food Science*, 53,162-164.
- [18] 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, 1328-1335.
- [19] Vikram, V. B., Ramesh, M. N. and Prapulla, S. G. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*, 69(1), 31-40.
- [20] Picouet, P. A., Landl, A., Abadias, M., Castellari, M. and Viñas, I. 2009. Minimal processing of a Granny Smith apple purée by microwave heating. *Innovative food science and emerging technologies*, 10(4), 545-550.
- [21] Burdurlu, H. S., Koca, N. and Karadeniz, F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 211-216.
- [22] Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2007. Juice and experimental method, ISIRI 2685, 1st.revision.
- [23] Cassano, A., Mecchia, A. and Drioli, E. 2008. Analyses of hydrodynamic resistance and operating parameters in the ultrafiltration of grape must. *Journal of Food Engineering*, 89, 171-177.
- [24] Kashyap, G. and Gautam, M. D. 2012. Analysis of vitamin c in commercial and natural substances by iodometric titration found in nimar and malwaregeion. *Scientific Research in Pharmacy*. 1(2), 77-78.
- [25] Behera, K. K., Sahoo, S. and 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.
- [26] Kimball, D. A. 1999. *Citrus Processing. A complete Guide*, 2nd Ed. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 259-264.
- [27] Dadalı, G., KılıçApar, D. and Özbek, B. 2007. Color change kinetics of okra citrus juices as determined by methods used at the Citrus Experiment Station.
- [8] Cameron, R. G., Baker, R. A. and Grohmann, K. 1998. Multiple forms of pectin methylesterase from citrus peel and their effects on juice cloud stability. *Journal of Food Science*, 63, 253-256.
- [9] Polydera, A. C., Stoforos, N. G. and Taoukis, P. S. 2005. Quality degradation kinetics of pasteurized and high pressured fresh Navel orange juice: Nutritional parameters and shelf life. *Innovative food science and emerging technologies*, 6, 1-9.
- [10] Kozempel, M. F., Annous, B. A., Cook, R. D., Scullen, O. J. and Whiting, R. C. 1998. Inactivation of microorganisms with microwaves at reduced temperatures. *Food Protection®*, 61(5), 582-585.
- [11] DeMan, J. M. 2008. *Principles of food chemistry*. Translated by Ghanbarzadeh, B. Tehran: Ayiizh press, 33.
- [12] Sahin, S. and Sumnu, S. G. 2010. *Physical properties of foods*. Translated by Jafari, S. M. and Kashaninejad, M. gorgan: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources and Makhtumgholifaraghi Press, 236.
- [13] Bolourian, Sh., Hosseini, F., Rahimizadeh, M., FazliBazzaz, B.S., Karimi, M. and Najafi, M. N. 2011. *Natural edible colorants*. Mashhad JihadDaneshgahi Press, 110.
- [14] Tajchakavit, S. and Ramaswamy, H. S. 1997. Thermal vs Microwave Inactivation Kinetics of Pectin Methylesterase in Orange Juice under Batch Mode Heating Conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 30(1), 85-93.
- [15] Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. 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.
- [16] Versteeg, C., Rombouts, F. M., Spaansen, C. H. and Pilnik, W. 1980. Thermostability and orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange. *Journal of Food Science*, 45, 969-971.

- ascorbic acid content, peroxidase activity and color of selected vegetables. *Food processing and preservation*, 27(6), 411-426.
- [30] Rouse, A. H. and Atkins, C. D. 1952. Heat inactivation of pectinesterase in citrus juices. *Food Technology*, 6 (8), 291-294.
- [31] Wong, D. W. S. 1995. *Food enzymes: structure and mechanism*, New York, Springer press, 212-236.
- undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5), 925-936.
- [28] Bodbodak, S., Kashaninejad, M., Hesari, J. and Razavi, S. M. A. 2013. Modeling of Rheological Characteristics of “MalasYazdi” (*Puniciagranatum L.*) Pomegranate Juice. *Agricultural Science and Technology*, 15(5), 961-971.
- [29] Brewer, M. S. and Begum, S. 2003. Effect of microwave power level and time on

Investigation of the effect of microwave on some physicochemical properties of sour orange juice

Seyedabadi, M. M. ¹, Aghajanzadeh Suraki, S. ^{1*} Kashaninejad, M. ², Ziaifar, A. M. ³

1. Ph. D. Student, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Assistant Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 93/4/8 Accepted: 94/2/16)

Sour orange juice has found application in various foods as alternative of lime juice, due to its desirable taste. Different thermal processes could be performed to improve safety and shelf life of this product. In this study, the sour orange juice was processed at four microwave power levels (170, 340, 510 & 680 W) in a various periods of time to reach the product temperature to 72°C. The aim of this study was to investigate the effect of heating processes on the some physicochemical properties of sour orange juice during come up time. Based on the results, different power levels of microwave have no significant effects on viscosity. The thermal destruction of Ascorbic acid and Pectin methyl esterase were found to follow first order kinetics. Destruction rate of these two compounds were also increased by increasing microwave power. Because of the effect of microwave power on chemicals especially ascorbic acid, the colorimetric parameters of the product changed as a result of changing in microwave power. By considering the high regression ($R^2 > 0.97$) between two measuring methods (spectroscopy and image processing), the image processing method is suggested as browning index during thermal processing.

Keywords: Sour Orange Juice, Microwave, Ascorbic Acid, Pectin Methyl esterase, Color

* Corresponding Author E-Mail Address: saraaghajanzadeh@yahoo.com