

# تأثیر تیمار فراصوت بر روی رنگ، محتوی فنلی، فلاونوئیدها و پروفایل قند آب لیمو ترش جهرمی

زهرا علائی روزبهرانی\*

پژوهشگاه استاندارد، پژوهشکده صنایع غذایی و فراورده های کشاورزی، گروه پژوهشی مواد غذایی، کرج، ایران

۳۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۵

## چکیده

**مقدمه:** با افزایش دانش مصرف کنندگان در خصوص بحث سلامت و تغذیه، مصرف کنندگان در کنار افزایش ماندگاری فراورده های غذایی خواهان حفظ کیفیت اولیه محصول فراوری شده می باشند. برای رسیدن به این هدف محققان به دنبال فرآیندهای غیر حرارتی هستند یکی از این فرآیندهای غیر حرارتی نو ظهور، تیمار فراصوت است.

**مواد و روش ها:** تأثیر فرآیند حرارتی و تیمار فراصوت بر روی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی (بریکس، pH، اسیدیته، عدد ابری شدن و هدایت الکتریکی)، شاخص های رنگی، ترکیبات آنتی اکسیدانی و فعالیت آنتی اکسیدانی، پروفایل قندها، شاخص قهوه ای شدن و مقدار هیدروکسی متیل فورفورال آب لیمو ترش جهرمی مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که پاستوریزاسیون معمولی و تیمار فراصوت تأثیر معنی داری بر روی اسیدیته، pH، بریکس، قندها و مقدار هیدروکسی متیل فورفورال ندارد. فرآیند حرارتی باعث کاهش قابل ملاحظه ای در میزان ترکیبات آنتی اکسیدانی و فعالیت آنتی اکسیدانی شد. در حالی که در آب لیمو ترش با تیمار فراصوت به مدت ۹۰ دقیقه بیشترین مقدار ترکیبات آنتی اکسیدان در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده شد. همچنین تفاوت معنی داری در مورد شاخص های رنگی بین تیمار فراصوت و فرآیند حرارتی وجود نداشت.

**نتیجه گیری:** فرآیند پاستوریزاسیون معمول منجر به کاهش کیفیت در آب میوه گردید. در صورتی که تیمار فراصوت به مدت ۹۰ دقیقه باعث افزایش قابل ملاحظه ای در مقدار عدد ابری شدن، ترکیبات آنتی اکسیدانی و فعالیت آنتی اکسیدانی این آب میوه شد. بنابراین تیمار فراصوت می تواند به دلیل برتری در حفظ و نگهداری ترکیبات مغذی جایگزین خوبی برای روش پاستوریزاسیون معمول باشد.

**واژه های کلیدی:** آب لیمو ترش، پاستوریزاسیون، پروفایل قندها، فراصوت، فعالیت آنتی اکسیدانی

## مقدمه

مرکبات حاوی میزان بالای ویتامین ث هستند. مهمترین نقش ویتامین ث کاهش خطر ابتلا به بیماری-های مرتبط با تنش‌های اکسیداتیو است. علاوه بر این مرکبات غنی از ترکیبات فنلی است که به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات آب مرکبات نقش مفیدی در سلامت انسان دارد. در حقیقت تمامی مرکبات حاوی اسید سیتریک، ویتامین ث، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، ترکیبات زیست فعال، فلزات کم مقدار، قند و فیبر خوراکی هستند. آنتی‌اکسیدان‌ها در کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن و انواع سرطان نقش مهمی دارند (Khoulood *et al.*, 2018). اخیراً مصرف مرکبات فراوری شده در مقایسه با مصرف به شکل تازه این میوه‌ها رو به افزایش است. امروزه با افزایش دانش مصرف‌کنندگان در خصوص بحث سلامت و تغذیه، مصرف‌کنندگان تنها خواهان افزایش ماندگاری فراورده‌های غذایی نیستند بلکه حفظ کیفیت اولیه محصول فراوری شده از خواسته‌های مصرف‌کنندگان است (Zou & Jiang, 2016). فرآیندهای معمول حرارتی مانند پاستوریزاسیون، خشک کردن، انجماد و سرد کردن اگر چه می‌تواند باعث افزایش ماندگاری محصول شود اما باعث کاهش ارزش تغذیه‌ای خواهند شد (Aadil *et al.*, 2013).

بنابراین به منظور حفظ کیفیت اولیه فراورده محققان به دنبال فرآیندهای غیر حرارتی هستند که علاوه بر حفظ ویژگی‌های اولیه مواد غذایی، کیفیت فراورده را افزایش دهند. یکی از این فرآیندهای غیر حرارتی نو ظهور، فراصوت یا التراسونیک است (Hu *et al.*, 2018). این روش به عنوان یک فناوری موثر جهت رسیدن به الزامات FDA در جهت کاهش ۵ Log از بار میکروبی اولیه در آب میوه شناخته شده است. از طرفی کاربرد این فناوری موجب کاهش زمان و انرژی مورد نیاز خواهد شد و به عنوان روش دوستدار محیط زیست می‌باشد (Aadil *et al.*, 2013; Sattar *et al.*, 2019).

مکانیزمی که امواج فراصوت از آن طریق باعث غیر فعال سازی میکرواورگانیزم‌ها می‌شود مربوط به دیده حفره‌زایی است. حباب‌های گاز تشکیل شده در محیط مایع توسط مکانیسم حفره‌زایی در سرتاسر محیط مایع منتشر می‌شود. این حباب‌ها بزرگ‌تر شده و به فرم ناپایداری

درمی‌آیند و سپس شروع به تخریب می‌کنند. انهدام حباب‌ها منجر به تجمع انرژی در نقاط داغ با دمای بیش از ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار حدود ۲۰۰ مگاپاسکال می‌شود. این عوامل قادرند به غشای سیتوپلاسمی آسیب وارد کنند. فشار بالای ایجاد شده در محیط در اثر در هم فروریزی حباب‌ها دلیل اصلی غیرفعال شدن میکرواورگانیزم‌ها است (Mohideen *et al.*, 2015).

در سال ۲۰۱۸ اثر فرآیند فراصوت بر روی ویژگی‌های شیمیایی، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و خواص آنتی‌اکسیدانی مخلوط آب انگور و هویج بررسی و نشان داده شده که فرآیند فراصوت تاثیر مثبتی بر روی ارزش تغذیه‌ای این فراورده دارد که این تاثیر مثبت به دلیل افزایش میزان ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها در اثر این فرآیند است همچنین فرآیند فراصوت باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در این آب میوه شده است (Nadeem *et al.*, 2018). محققین تاثیر این فرآیند را بر روی خواص کیفی آب هلو بررسی کردند نتایج نشان داد که تیمار فراصوت در مقایسه با فرآیندهای معمول حرارتی باعث افزایش ترکیبات زیست فعال و اسیدهای آلی در این آب میوه شد درحالی که فرآیند حرارتی باعث کاهش این ترکیبات شده است (Sattar *et al.*, 2019). تاثیر این فرآیند بر روی خواص کیفی آب گریپ فروت نشان داد تیمار فراصوت تاثیر قابل ملاحظه‌ای در بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ارزش ابری شدن، ترکیبات فنلی و ویتامین ث خواهد شد. تاثیر معنی‌داری بر روی رنگ نداشت اما به طور کلی باعث بهبود خواص کیفی این فراورده شد (Aadil *et al.*, 2013). محققین تاثیر این فرآیند را بر روی فاکتورهای شیمیایی و ظاهری آب پرتقال بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد این فرآیند بر روی اسیدیت، بریکس و pH اثری ندارد اما بر روی رنگ، فاکتور قهوه‌ای شدن و ارزش ابری شدن موثر است (B. Tiwari *et al.*, 2008). اثر این فرآیند بر روی ویژگی‌های شیمیایی و ترکیبات زیست فعال آب توت فرنگی آبگیری شده به صورت دستی نشان داد این فرآیند روی خواص شیمیایی اثری ندارد اما باعث بهبود ترکیبات زیست فعال شده است (Bhat & Goh, 2017). همچنین تحقیقاتی در خصوص تاثیر فرآیند فراصوت بر روی آب بلک بری (B. Tiwari *et al.*, 2009)، آب سیب (Abid *et al.*, 2014)، آب توت فرنگی

۱۸- درجه سانتی‌گراد تا انجام آزمون‌های مورد نظر نگهداری شد (Sattar et al., 2019).

#### - تیمار فراصوت

از حمام فراصوت (مدل Transsonic Digital S، شرکت Elma آلمان) با سرعت ۴۰ کیلوهرتز و قدرت ۲۷۵ وات استفاده شد. زمان‌های سونیک کردن ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه با دما ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد اعمال شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا انجام آزمون‌های مورد نظر نگهداری شد (Nguyen & Nguyen, 2018).

#### - ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

بریکس یا مواد جامد قابل حل در آب با استفاده از رفاکتومتر دیجیتال (مدل AbbeMMat300، شرکت Anton Paar آلمان) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. میزان مواد جامد محلول بر حسب درجه بریکس بیان شد. مطابق با روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۸۵ تعیین شد.

مقدار pH آبمیوه با pH متر دیجیتال (مدل Lab 827، شرکت Metrohm سوئیس) مطابق با روش ارائه شده در استاندارد ملی ۲۶۸۵ انجام شد. برای تعیین میزان اسیدیته کل آلیموترش از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد بر اساس میزان سود مصرفی مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون بر اساس اسید غالب (سیتریک) مطابق با روش مندرج در استاندارد ملی ۲۶۸۵ محاسبه شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (مدل CDM 500، شرکت WPA انگلیس) استفاده شد و برای اندازه‌گیری عدد ابری (Cloud Value) آب میوه با کمک یک سانتیفریوژ ۵ میلی‌لیتر آب میوه به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ rpm سانتیفریوژ شد. میزان جذب آن با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل lambda 25، شرکت Perkin Elmer آمریکا) در طول موج ۶۲۰ نانومتر در مقابل نمونه کنترل (آب مقطر) اندازه‌گیری شد (Aadil et al., 2013).

#### - اندازه‌گیری رنگ به روش اسپکتروسکوپی

آب میوه‌ها با سانتیفریوژ (مدل Labofuge400، شرکت Heraeus آلمان) ۱۲۵۰۰ g به مدت ۱۰ دقیقه سانتیفریوژ

(B. Tiwari et al., 2008)، کاستوری لایم (پرتقال ترش) (Bhat et al., 2011) انجام شده است.

آب لیموترش (لایم) به عنوان چاشنی غذایی مصرف می‌شود یا در تهیه نوشیدنی لیموناد مورد مصرف قرار می‌گیرد. ایران یکی از مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده لیمو ترش در دنیاست. و یکی از ارقام مهم کشت شده در ایران key lime است که به نام‌های آب شیراز، لیمو شیشه، لیمو عمانی، لیمو شیرازی و لیمو جهرمی معروف است (Movahednejad et al., 2011). از آنجا که تاکنون اطلاعاتی در خصوص اثر این فرآیند بر روی رنگ، شاخص قهوه‌ای شدن، عدد ابری، ویتامین ث، محتوی فنلی، فلاونوئیدها، خواص آنتی‌اکسیدانی و پروفایل قندهای لیمو جهرمی در دسترس نیست در این تحقیق به بررسی این فاکتورها پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

### - مواد

میوه لیموترش (لیمو جهرمی<sup>۱</sup>) مورد نیاز از یک فروشگاه محلی در شهرستان جهرم تهیه شد. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق نیز از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

### - تهیه آب لیموترش

فرآیند آب میوه‌گیری پس از شستشو جدا کردن میوه‌های خراب و آسیب دیده، توسط یک دستگاه آب میوه گیر با توان 2 اسب بخار، ساخت شرکت البرز ماشین ایران صورت پذیرفت. آب میوه سریعاً صاف و تحت تیمارهای مورد نظر قرار گرفت. آب میوه صاف ده به عنوان نمونه شاهد (بدون تیمار حرارتی و فراصوت) در نظر گرفته شد.

### - تیمار پاستوریزاسیون

برای بررسی تأثیر پاستوریزاسیون، نمونه‌ها به مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر در ارلن شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری با درپوش آلومینیومی در دمای ۸۳ درجه سانتی‌گراد (دمای بهینه پاستوریزاسیون مورد استفاده در کارخانه) به مدت ۱/۵ دقیقه در حمام آب گرم (شرکت Memmert آلمان) قرار داده شدند و به سرعت خنک شدند. سپس نمونه‌ها در دمای

<sup>1</sup> Key Lime

شده سپس با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر صاف شد. مقدار جذب نمونه‌های آب لیموترش به صورت مستقیم در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و بر اساس نتایج جذب طول موج‌های اشاره شده شاخص‌های رنگی محاسبه گردید به نحوی که مجموع جذب این سه طول موج نشان دهنده شدت رنگ است. برای محاسبه نسبت رنگ زرد، قرمز و آبی به ترتیب از تقسیم میزان طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۶۲۰ به میزان شدت رنگ استفاده شد (Aadil et al., 2013; Kelebek et al., 2008).

شده سپس با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر صاف شد. مقدار جذب نمونه‌های آب لیموترش به صورت مستقیم در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و بر اساس نتایج جذب طول موج‌های اشاره شده شاخص‌های رنگی محاسبه گردید به نحوی که مجموع جذب این سه طول موج نشان دهنده شدت رنگ است. برای محاسبه نسبت رنگ زرد، قرمز و آبی به ترتیب از تقسیم میزان طول موج‌های ۴۲۰، ۵۲۰ و ۶۲۰ به میزان شدت رنگ استفاده شد (Aadil et al., 2013; Kelebek et al., 2008).

#### - اندازه‌گیری فنل کل

پلی‌فنل‌های موجود در آب لیموترش به روش رنگ‌سنجی با معرف فولین سیوکالتیو به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد فسفوتنگستیک موجود در معرف که اسید به فرمول شیمیایی  $H_3PW_{12}O_{40}$  احیاکننده است، گروه هیدروکسی فنل اکسید شده را سریعاً احیا کرده و در پایان رنگ آبی ایجاد شد که حد اکثر جذب آن در طول موج ۷۸۰ نانومتر می‌باشد. در این آزمون، گالیک اسید به عنوان ترکیبی برای اندازه‌گیری پلی‌فنل‌ها در آب لیمو، در تهیه منحنی استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. روش اندازه‌گیری براساس روش مندرج در استاندارد ملی شماره ۱۱۷ می‌باشد.

#### - شاخص قهوه ای شدن به روش اسپکتروسکوپی

آب میوه‌ها با سانتریفوژ ۱۲۵۰۰ g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شده سپس با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر صاف شد. مقدار جذب نمونه‌های آب لیموترش به صورت مستقیم در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. شاخص قهوه‌ای شدن برابر با میزان جذب آب میوه‌ها در این طول موج است (Aadil et al., 2013; Kelebek et al., 2008).

#### - اندازه‌گیری قند

قندهای موجود در آب میوه لیموترش با دستگاه کروماتوگرافی مایع (مدل 9010، شرکت Varian آمریکا) اندازه‌گیری شد و مطابق با روش مندرج در استاندارد ملی شماره ۲۰۸۰۳ تعیین گردید. در این روش از دستگاه کروماتوگرافی مجهز به آشکارساز RI (مدل RI4، شرکت Varian آمریکا) و ستون NH2 به طول ۲۴۵ سانتی‌متر و قطر ۴/۶ میلی‌متر دارای سیلیکاژل اصلاح شده با قطر ۵ تا ۷ میکرومتر استفاده شد.

#### - فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی آب لیموترش بر اساس مهار رادیکال‌های DPPH (۲ و ۲ دی - فنیل ۱ پیکریل هیدرازیل) با روش اسپکتروفوتومتری انجام شد. برای این منظور یک محلول ۲ میلی لیتر آب میوه با ۲ میلی لیتر از محلول ۰/۲ میلی مول DPPH در محلول اتانولی مخلوط شد و این مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق نگه داشته شد. هم‌چنین برای نمونه کنترل روند مذکور انجام با این تفاوت که به جای آب میوه از اتانول استفاده شد. سپس کاهش جذب به دلیل فعالیت پروتون‌دهی در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت فعالیت بازدارندگی رادیکال طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$I(\%) = 100 \times (A_0 - A_s) / A_0$$

که در این رابطه (I) درصد ممانعت‌کنندگی،  $A_0$  جذب نمونه کنترل و  $A_s$  جذب نمونه پس از ۵۰ دقیقه است.

#### - اندازه‌گیری هیدروکسی متیل فورفورال

روش اندازه‌گیری براساس روش مندرج در استاندارد ملی شماره ۲۶۸۵ می‌باشد. و به روش اسپکتروسکوپی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

#### - اندازه‌گیری ویتامین ث

میزان ویتامین ث موجود در آب میوه لیموترش با دستگاه کروماتوگرافی مایع اندازه‌گیری شد و مطابق با روش مندرج در استاندارد ملی شماره ۱۱۲۴۳ تعیین گردید. ویتامین ث موجود نمونه با استفاده از محلول متاسفریک

نمونه شاهد شده است. و کمترین میزان عدد ابری مربوط به نمونه شاهد بود نمونه‌های فراصوت شده نسبت به نمونه پاستوریزه شده دارای عدد ابری بالاتری بودند. تاثیر تیمار فراصوت بر روی فاکتور هدایت الکتریکی در سطح  $(p < 0.05)$  معنی‌دار بود به نحوی که در نمونه‌های فراصوت شده هدایت الکتریکی نسبت به نمونه شاهد و پاستوریزه افزایش داشت.

#### - شاخص قهوه‌ای شدن، هیدروکسی متیل فورفورال و مقدار قندها

جدول ۲ مربوط به مقدار هیدروکسی متیل فورفورال، شاخص قهوه‌ای شدن و مقدار قندها است. نتایج نشان می‌دهد مقدار شاخص قهوه‌ای شدن به طور قابل ملاحظه‌ای  $(p < 0.05)$  در نمونه پاستوریزه شده نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است اما اختلاف معنی‌داری بین مقدار شاخص قهوه‌ای شدن در نمونه شاهد با نمونه‌های تیمار شده با فراصوت مشاهده نشد. افزایش مقدار هیدروکسی متیل فورفورال و میزان قندها معنی‌دار  $(p > 0.05)$  نیست. در این تحقیق تاثیر فرآیند حرارتی بر مقدار قندهای اصلی (گلوکز، فروکتوز و ساکارز) در نمونه آب لیموترش بررسی شد. نتایج این بررسی در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد مقدار قند گلوکز و فروکتوز طی تیمار فراصوت نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری نداشته است. و به طور کلی میزان قند ساکارز در نمونه‌ها صفر بود. که در شکل ۱ کروماتوگرام مربوط به پروفایل قندهای موجود در آب لیمو ترش آورده شده است. بر اساس شکل ۱ قندهای اصلی لیموترش چهرمی گلوکز و فروکتوز است.

#### - اندازه گیری فلاونوئیدها: هسپریدین

محتوی فلاونوئیدها نمونه‌های آب لیمو بر اساس روش استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۸۰۴ و با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا مجهز به ستون  $C_8$  با فاز متحرک مخلوط آب، استون نیتریل و اسید استیک (نسبت‌های ۷۸ حجم آب، ۲۱ حجم استون نیتریل و ۱ حجم اسید استیک) و آشکار ساز فرابنفش - مرئی تنظیم شده در طول موج ۲۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. در این آزمون، محلول‌های استاندارد ذخیره شاخص فلاونوئیدی برای کروماتوگرافی مایع با استفاده از استاندارد هسپریدین تهیه شد.

#### - تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر فرآیند حرارتی و تیمار فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب لیموترش چهرمی از یک طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هم چنین برای مقایسه میانگین‌ها آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار minitab2013 انجام شد.

#### یافته‌ها

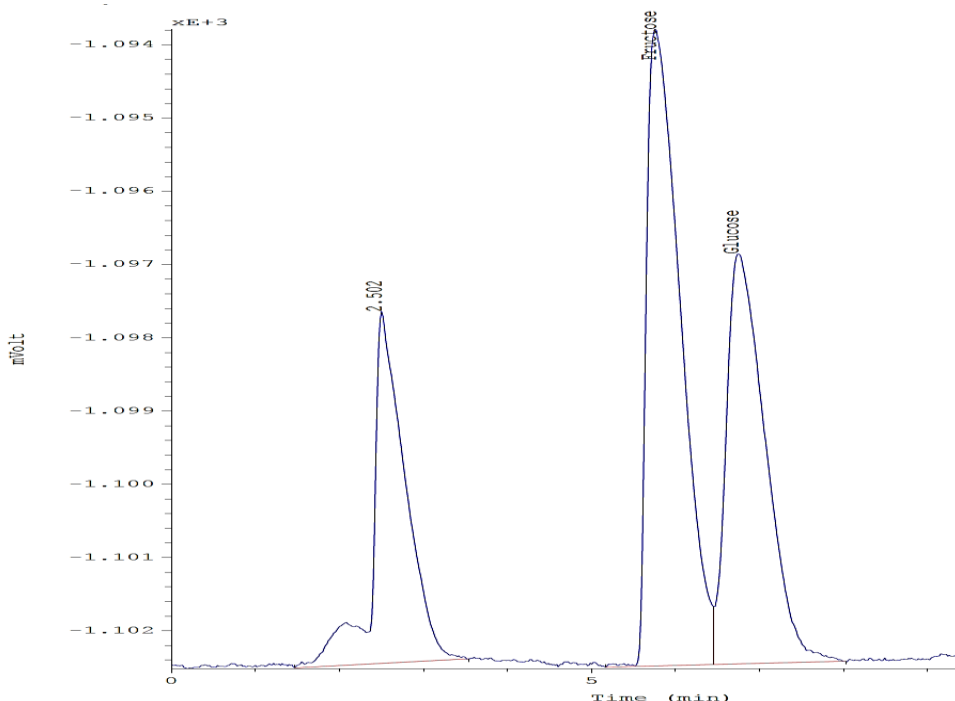
##### - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

نتایج بررسی ویژگی‌های شیمیایی pH، اسیدیته و بریکس (جدول ۱) نشان داد که فرآیند حرارتی و تیمار فراصوت اثر معنی‌داری  $(p > 0.05)$  بر روی این فاکتورها در مقایسه با نمونه شاهد نداشت. نتایج بررسی فاکتور ابری شدن در جدول ۱ نشان داده شده است. فرآیند حرارتی و تیمار فراصوت باعث افزایش معنی‌دار عدد ابری نسبت به

جدول ۱- تاثیر تیمار فراصوت بر روی بریکس، pH، اسیدیته، عدد ابری شدن و هدایت الکتریکی آب لیموترش چهرمی

تیمار	pH	اسیدیته (درصد اسید سیتریک)	مواد جامد محلول در آب (بریکس)	عدد ابری شدن	هدایت الکتریکی
شاهد (بدون تیمار)	$2/5 \pm 0/03^a$	$5/3 \pm 0/03^a$	$8/57 \pm 0/02^a$	$1/37 \pm 0/07^d$	$2/97 \pm 0/01^c$
پاستوریزاسیون معمولی	$2/46 \pm 0/07^a$	$5/4 \pm 0/01^a$	$8/66 \pm 0/02^a$	$2/25 \pm 0/03^c$	$2/98 \pm 0/02^c$
تیمار فراصوت ۳۰ دقیقه‌ای	$2/48 \pm 0/02^a$	$5/4 \pm 0/05^a$	$8/68 \pm 0/01^a$	$2/71 \pm 0/06^b$	$3/39 \pm 0/03^b$
تیمار فراصوت ۶۰ دقیقه‌ای	$2/46 \pm 0/01^a$	$5/4 \pm 0/02^a$	$8/69 \pm 0/007^a$	$2/84 \pm 0/04^{ab}$	$3/46 \pm 0/03^a$
تیمار فراصوت ۹۰ دقیقه‌ای	$2/47 \pm 0/007^a$	$5/4 \pm 0/02^a$	$8/69 \pm 0/02^a$	$2/87 \pm 0/05^a$	$3/47 \pm 0/01^a$

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۹۵٪ می‌باشد.



شکل ۱- کروماتوگرام مربوط به پروپایل قند (گلوکز و فروکتوز) نمونه آب لیموترش جهرمی

جدول ۲- تاثیر تیمار فراصوت بر روی هیدروکسی متیل فورفورال، شاخص قهوه‌ای شدن، فروکتوز، گلوکز، ساکارز و قند کل آب لیموترش جهرمی

تیما	هیدروکسی متیل فورفورال (mg/l)	شاخص قهوه‌ای شدن	فروکتوز (gr/l)	گلوکز (gr/l)	ساکارز (gr/l)	قند کل (gr/l)
شاهد (بدون تیمار)	3/1 ± 0/12 <sup>a</sup>	1/225 ± 0/07 <sup>b</sup>	5/2 ± 0/28 <sup>a</sup>	4/9 ± 0/28 <sup>a</sup>	0	10/1 ± 0/56 <sup>a</sup>
پاستوریزاسیون معمولی	3/4 ± 0/14 <sup>a</sup>	1/365 ± 0/02 <sup>a</sup>	5/4 ± 0/14 <sup>a</sup>	5/15 ± 0/49 <sup>a</sup>	0	10/55 ± 0/61 <sup>a</sup>
تیمار فراصوت 30 دقیقه‌ای	3/2 ± 0/28 <sup>a</sup>	1/310 ± 0/01 <sup>ab</sup>	5/5 ± 0/1 <sup>a</sup>	5/25 ± 0/5 <sup>a</sup>	0	10/75 ± 0/21 <sup>a</sup>
تیمار فراصوت 60 دقیقه‌ای	3/25 ± 0/35 <sup>a</sup>	1/310 ± 0/03 <sup>ab</sup>	5/5 ± 0/42 <sup>a</sup>	5/1 ± 0/14 <sup>a</sup>	0	10/6 ± 0/56 <sup>a</sup>
تیمار فراصوت 90 دقیقه‌ای	3/2 ± 0/14 <sup>a</sup>	1/31 ± 0/028 <sup>ab</sup>	5/4 ± 0/56 <sup>a</sup>	5/3 ± 0/28 <sup>a</sup>	0	10/65 ± 0/63 <sup>a</sup>

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی داری در سطح 95٪ می باشد.

۴۲

شاخص‌های رنگی

در جدول ۳ نتایج مربوط به تاثیر فرآیند حرارتی و فراصوت بر روی شاخص‌های رنگی نشان داده شده است. بر اساس نتایج بیشترین درصد رنگی در آب لیمو مربوط به رنگ آبی و بعد از آن رنگ زرد است و کمترین درصد مربوط به رنگ قرمز بود. از طرفی فرآیند حرارتی و فراصوت باعث تغییر معنی داری (p<0.05) در میزان درصد رنگ آبی نسبت به نمونه شاهد شد. میزان درصد رنگ قرمز و زرد در تمامی نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی داری داشته (p<0.05) اما این افزایش در بین تیمار شده معنی دار

نیست. از طرفی مقدار درصد رنگ آبی در تمامی نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد کاهش معنی داری داشت (p<0.05) اما این کاهش در بین نمونه‌های تیمار شده معنی دار نبود.

ویتامین ث، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و فعالیت آنتی-اکسیدانی

جدول ۴ مربوط به نتایج تاثیر فرآیند حرارتی و فراصوت بر روی میزان ویتامین ث، میزان ترکیبات پلی فنلی، میزان فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی است. بر اساس نتایج به

بررسی این فاکتورها در جدول ۱ نشان داد که فرآیند حرارتی و تیمار فراصوت اثر معنی‌داری ( $p > 0.05$ ) بر روی این فاکتورها در مقایسه با نمونه شاهد نداشت. در تطابق با نتایج این پژوهش محققین گزارش کردند که فرآیند حرارتی و تیمار فراصوت تاثیر معنی‌داری بر روی این فاکتورها برای میوه‌هایی مثل آب توت‌فرنگی، آب پرتقال، آب گوجه‌فرنگی، آب گریپ فروت، آب بلوبری و آب گواوا نداشت (Aadil *et al.*, 2013; Ordóñez-Santos *et al.*, 2017; Tiwari *et al.*, 2008). اگر چه برای آب بلوبری و هلو محققین افزایش معنی‌دار بریکس را طی فرآیند فراصوت گزارش کردند و علت آن را تاثیر فرآیند فراصوت در تخریب بافت میوه و دیواره سلولی بیان کردند که این تخریب باعث شده آب بیشتری به درون سلول‌های میوه نفوذ کند و باعث خروج بیشتر مواد محلول از غشاء سلولی شود (Zou & Hou, 2017b). این تفاوت در نتایج می‌تواند به دلیل اختلاف در نوع بافت میوه و میزان مواد محلول در این میوه‌ها باشد.

دست آمده فرآیند حرارتی باعث کاهش معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) در مقدار این ترکیبات در این آب میوه در مقایسه با نمونه شاهد شد. از طرفی بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۴ تیمار فراصوت باعث افزایش معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) در مقدار این فاکتورها شده است. و بیشترین مقدار برای این فاکتورهای مربوط به نمونه‌های آب لیمو ترش فراصوت شده به مدت ۹۰ دقیقه است.

## بحث

### - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی آب میوه مرکبات pH، اسیدیته و بریکس است. بریکس فاکتوری است که تحت تاثیر وارپته، فاکتور رسیدگی و منطقه جغرافیایی میوه است. PH و اسیدیته میزان اسید موجود در آب میوه را نشان می‌دهند که آب میوه‌هایی با pH کمتر از ۴/۶ نیاز به فرآیندهای حرارتی شدید ندارند. آرومای آب میوه و ثبات ترکیبات زیست فعال به pH و اسیدیته مرتبط هستند. نتایج

جدول ۳- تاثیر تیمار فراصوت بر روی شاخص‌های رنگی آب لیموترش جهرمی

تیمار	رنگ زرد (درصد)	رنگ آبی (درصد)	رنگ قرمز (درصد)
شاهد (بدون تیمار)	$2/6 \pm 0/42^b$	$96/35 \pm 0/77^a$	$0/97 \pm 0/35^b$
پاستوریزاسیون معمولی	$4/79 \pm 0/7^a$	$92/85 \pm 0/9^b$	$2/27 \pm 0/34^a$
تیمار فراصوت ۳۰ دقیقه‌ای	$5/46 \pm 0/21^a$	$91/75 \pm 0/36^b$	$2/77 \pm 0/13^a$
تیمار فراصوت ۶۰ دقیقه‌ای	$4/92 \pm 0/31^a$	$92/86 \pm 0/38^b$	$2/21 \pm 0/18^a$
تیمار فراصوت ۹۰ دقیقه‌ای	$5/18 \pm 0/99^a$	$92/02 \pm 0/98^b$	$2/8 \pm 0/24^a$

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۹۵٪ می‌باشد.

جدول ۴- تاثیر تیمار فراصوت بر روی ترکیبات آنتی‌اکسیدان و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آب لیموترش جهرمی

تیمار	ویتامین ث (ppm)	فنل کل (mg/l)	فلاونوئیدها هیسپیریدين (mg/g)	قدرت آنتی‌اکسیدانی Percentage (DPPH)
شاهد (بدون تیمار)	$245 \pm 5^c$	$208/5 \pm 4/2^c$	$18/7 \pm 0/28^c$	$29/5 \pm 0/42^c$
پاستوریزاسیون معمولی	$215 \pm 4^d$	$174/0 \pm 5/6^d$	$15/1 \pm 0/34^d$	$25/9 \pm 0/50^d$
تیمار فراصوت ۳۰ دقیقه‌ای	$271/5 \pm 3^b$	$241/5 \pm 7/7^b$	$21/2 \pm 0/49^b$	$35/7 \pm 0/49^b$
تیمار فراصوت ۶۰ دقیقه‌ای	$308 \pm 2^a$	$256/0 \pm 5/6^b$	$23/1 \pm 0/52^a$	$37/6 \pm 0/42^b$
تیمار فراصوت ۹۰ دقیقه‌ای	$325 \pm 6^a$	$287/5 \pm 3/5^a$	$24/4 \pm 0/36^a$	$41/5 \pm 0/52^a$

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۹۵٪ می‌باشد.

### - شاخص قهوه ای شدن، هیدروکسی متیل فورفورال و مقدار قندها

قهوه‌ای شدن نقش مهمی در تغییر رنگ فراورده های تازه ای که تحت فرآیند قرار گرفته دارد. در آب مرکبات تجزیه ویتامین ث باعث قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی خواهد شد (Aadil et al., 2013). به طور کلی هیدروکسی متیل فورفورال و جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر که نشان دهنده میزان واکنش مایلارد (قهوه ای شدن) و غلظت ملانوئیدین در آب میوه است (Simsek et al., 2007) که نتایج نشان می‌دهد با فرآیند حرارتی (پاستوریزاسیون معمولی) و فراصوت به طور قابل ملاحظه ای نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد (del Socorro et al., 2015). یکی از دلایل افزایش قابل ملاحظه در مقدار این دو فاکتور در اثر فرآیند فراصوت در آب مرکبات تجزیه ترکیبات رنگی در اثر فرآیند فراصوت است (Aadil et al., 2013) و یا افزایش فرآیند قهوه‌ای شدن در یک سیستم آبی است که در آن بتالاکتوگلوبین و چندین کربوهیدرات باشد و این واکنش در دمای زیر ۴۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد (Stanic-Vucinic et al., 2013).

یکی از فاکتورهای موثر در قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی قند ها هستند. در جدول ۲ میزان قندهای موجود در آب لیموترش آورده شده است. بر اساس نتایج مهمترین قندهای موجود در این آب میوه قندهای احیا هستند کمترین میزان مربوط به قند ساکارز است که میزان بالای قند احیا می‌تواند دلیل واکنش قهوه‌ای شدن باشد. قندهای اصلی موجود در آب لیموترش بر اساس شکل ۱ قند گلوکز و فروکتوز است که نتایج به دست آمده در این تحقیق در خصوص نوع قندها در آب لیموترش جهرمی با تحقیق انجام شده توسط محققین در باره بررسی پارامترهای شیمیایی آب لیموترش مطابقت دارد (Lorente et al., 2014). فرآیند پاستوریزاسیون و تیمار فراصوت تاثیر قابل ملاحظه ای بر میزان قند این آب میوه نداشته است. اما به طور کلی هم فرآیند پاستوریزاسیون وهم فراصوت باعث افزایش جزیی در مقدار این قندها شده است که دلیل این افزایش می‌تواند شکسته شدن دیواره های سلولی باقیمانده طی این فرآیندها باشد (Liao et al., 2020). پروفایل قندهای آب لیموترش که شامل گلوکز، فروکتوز و ساکارز است در شکل ۱ نشان داده شده است که این پروفایل در

در آب مرکبات کدورت و ابری شدن ویژگیهای ظاهری مطلوبی است که روی رنگ و خصوصیات ارگانولپتیک فراورده موثر است. این فاکتور متاثر از ترکیباتی از قبیل سلولز، همی سلولز، پروتئین، لیپید، پکتین و سایر ترکیبات جزیی که نقش مهمی در کدورت ویسکوزیته و ثبات آب مرکبات دارد (Aghajanzadeh et al., 2016). نتایج بررسی فاکتور ابری شدن در جدول ۱ نشان داده شده است. فرآیند حرارتی و فراصوت باعث افزایش عدد ابری شدن نسبت به نمونه شاهد شده است. حرارت با از بین بردن آنزیم پکتیناز باعث افزایش عدد ابری شد. که این نتایج با بررسی تاثیر حرارت بر روی آب لیمو ترش طی فرآیند مادون قرمز مطابقت داشت (Aghajanzadeh et al., 2016). همچنین مشابه این نتایج در خصوص اثر فراصوت برای آب میوه گریپ فروت و پرتقال قرمز بدست آمده است. که دلیل افزایش آن در اثر فراصوت می‌تواند شکسته شدن ملکول‌های بزرگ به ملکول‌های کوچکتر در نتیجه فشار کاویتاسیون است که کوچک شدن ملکول ها باعث افزایش تعداد ذرات سوسپانسیون شده است (Aadil et al., 2013).

هدایت الکتریکی مواد غذایی مایع مربوط به ترکیبات مغذی مثل مواد معدنی، ویتامین‌ها، اسیدهای چرب و ویتامین‌ها است. که نتایج بررسی هدایت الکتریکی در آب لیمو ترش نشان می‌دهد این فاکتور در نمونه های تیمار شده با فراصوت افزایش داشته است. نتایج حاصله با بررسی‌های انجام شده توسط محققین بر روی میزان تغییرات هدایت الکتریکی در آب گریپ فروت مطابقت دارد در این تحقیق هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب گریپ فروت تیمار شده با فراصوت به صورت معنی داری افزایش داشته است (Aadil et al., 2013). همچنین در تطابق با این نتایج محققین افزایش میزان هدایت الکتریکی برای آب بلوبری تیمار شده با فراصوت را گزارش کردند. این تحقیق نشان داد علت افزایش میزان هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب میوه بلوبری تیمار شده با فراصوت ناشی از آزدسازی بهتر مواد معدنی و ویتامین ها از ذرات کلئیدی و سلول‌های میوه است که منجر به افزایش میزان این ترکیبات در محلول کلئیدی شده است که نتیجه آن افزایش میزان هدایت الکتریکی در این آب میوه است (ZOU & HOU, 2017a).



### - ویتامین ث، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و فعالیت آنتی اکسیدانی

ویتامین ث به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی به عنوان یکی از ترکیبات موثر در جلوگیری از بیماری‌های مزمن مورد توجه است (Marín *et al.*, 2002). تحقیقات نشان می‌دهد افزایش دما و اکسیژن باعث تجزیه این ترکیب خواهد شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در نمونه پاستوریزه شده به طور قابل ملاحظه‌ای مقدار این ترکیب کاهش یافته است. اما مقدار آن با افزایش زمان فرآیند فراصوت افزایش داشته است. اگر چه تحقیقات پیشین بر روی برخی آب میوه‌ها نشان داد که تیمار فراصوت باعث کاهش میزان ویتامین ث در آب میوه‌ها شده است اما این تحقیق در تطابق با نتایج بررسی انجام شده بر روی آب میوه گواوا (Cheng *et al.*, 2007)، آب گریپ فروت (Aadil *et al.*, 2013) و آب لیموکاستوری (Bhat *et al.*, 2011) است در این تحقیقات محققین نشان دادند که تیمار فراصوت باعث افزایش معنی‌داری در مقدار ویتامین ث این میوه‌ها شده است. که با توجه به اینکه یکی از فاکتورهای تجزیه کننده ویتامین ث اکسیژن است حذف اکسیژن و آزاد سازی بهتر این ویتامین از ذرات کلوئیدی به دورن محلول کلوئیدی آب میوه در اثر فرآیند کاویتاسیون می‌تواند دلیل این افزایش باشد (Aadil *et al.*, 2013). نتایج نشان می‌دهد که تیمار فراصوت به دلیل حفظ و افزایش این ترکیب می‌تواند باعث افزایش خواص تغذیه‌ای آب میوه شود.

ترکیبات فنلی به دلیل نقش قابل ملاحظه‌ای که در کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های فیزیولوژی در انسان دارد برای سلامت انسان مهم و مفید هستند. این ترکیبات به دماهای بالا حساس هستند (Apak *et al.*, 2016). فرآیند پاستوریزاسیون به طور قابل ملاحظه‌ای ( $p < 0.05$ ) باعث کاهش و تیمار فراصوت باعث افزایش این ترکیبات در آب لیموترش شده است. نتایج مشابهی از تاثیر حرارت بر روی ترکیبات فنلی آب بائوباب (Tembo *et al.*, 2017) و سایر مرکبات (Brasili *et al.*, 2017) توسط محققین بدست آمده است. همچنین افزایش ترکیبات فنل و فلاونوئیدها طی فرآیند فراصوت برای میوه‌های مانند بلوبری، انبه و آب هندوانه مشاهده شده است (Sattar *et al.*, 2019). که دلیل آن شکستن دیواره‌های سلولی در اثر پدیده کاویتاسیون و افزایش آزاد سازی ترکیبات فنلی باند شده

بررسی قندها توسط محققین برای آب لیموترش بدست آمده است (Lorente *et al.*, 2014). مقداری از قندهای احیا در فرآیند مایلارد مصرف می‌شوند اما افزایش این قندها در اثر فرآیندهای اعمال شده باعث ایجاد تعادل در مقدار قندها و افزایش جزئی شد (Liao *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای تاثیر فرآیند فراصوت بر روی مقدار قندها در آب میوه پیتا قرمز مشخص شد که این فرآیند باعث افزایش میزان قند کل و قند احیا در این آب میوه شده است.

### - شاخص‌های رنگی

رنگ سبز آب لیموترش و فراورده‌های تهیه شده از این آب میوه بر روی رفتار مشتری جهت خرید و افزایش بازار پسندی این فراورده موثر است. رنگ آب میوه معیار اصلی در خصوص برداشت مشتری از کیفیت محصول است. تغییر رنگ می‌تواند ناشی از فرآیندهای اعمال شده بر روی فراورده باشد یا در اثر رشد میکرواورگانیزم‌ها ایجاد شود (Bhat & Goh, 2017). افزایش درصد رنگ قرمز و زرد در نمونه‌های تیمار شده با حرارت و فراصوت نسبت به نمونه بدون تیمار می‌تواند به دلیل واکنش قهوه‌ای شدن در اثر این فرآیندها باشد (Aadil *et al.*, 2013). تحقیقات مشابهی در خصوص تغییرات رنگ سایر آب میوه‌ها از قبیل گریپ فروت، توت فرنگی و آب پرتقال انجام شده است (Aadil *et al.*, 2013; Ordóñez-Santos *et al.*, 2008; Tiwari *et al.*, 2017). نتایج بررسی بر روی آب لیمو کاستوری در تطابق با این تحقیق نشان داد بیشترین مقدار برای نسبت رنگ زرد به رنگ آبی ( $b = \frac{\text{رنگ زرد}}{\text{رنگ آبی}}$ ) در تیمار فراصوت شده آب لیمو کاستوری مشاهده شده است و کمترین مقدار برای این نسبت در نمونه شاهد این آب میوه گزارش شده است. (Aadil *et al.*, 2013; Liao *et al.*, 2020; Nguyen & Nguyen, 2018; Zou & Hou, 2017b) اما به طور کلی این تحقیق نشان داد تغییرات رنگ در تمامی نمونه‌ها به اندازه‌ای بود که از لحاظ ظاهری با چشم قابل رویت نیست. که نتایج کلی بدست آمده از لحاظ غیر قابل تشخیص بودن تغییرات رنگ ظاهری با چشم در تطابق با نتایج بدست آمده در بررسی شاخص‌های رنگی آب گریپ فروت، لیمو کاستوری و پرتقال بود (Aadil *et al.*, 2013; Bhat *et al.*, 2011).

فرآیند پاستوریزاسیون را حساس بودن ترکیبات پلی فنلی و ویتامین ث به حرارت عنوان کردند. این نتایج نیز با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابق است.

### نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر روش معمول پاستوریزاسیون و تیمار فراصوت بر روی فاکتورهای کیفی آلبیوموترش جهرمی در مقایسه با نمونه آب لیمو تازه مورد بررسی قرار گرفت به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد تیمار حرارتی و تیمار فراصوت تاثیری بر روی اسیدیته، بریکس و pH ندارند. اما در خصوص عدد ابری شدن و هدایت الکتریکی فراصوت باعث افزایش مقدار این دو فاکتور شد. همچنین نتایج نشان داد فرآیند حرارتی باعث کاهش ترکیبات آنتی اکسیدانی و خاصیت آنتی اکسیدان آب لیموترش در مقایسه با آب لیمو ترش تازه شد. اما تیمار فراصوت باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار این ترکیبات شد. این تحقیق نشان داد فراصوت می تواند به دلیل برتری در حفظ و نگهداری ترکیبات مغذی جایگزین خوبی برای روش پاستوریزاسیون معمول باشد. با توجه به این برتری پیشنهاد می‌گردد تاثیر این فرآیند در کاهش بار میکروبی این فراورده نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

### منابع

- Aadil, R. M., Zeng, X. A., Han, Z. & Sun, D. W. (2013). Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 141(3), 3201-3206.
- Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Hashim, M. M., Wu, T., Lei, S. & Zeng, X. (2014). Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(3), 984-990.
- 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.
- Anon. (2007). Fruit juices – Test methods. Institute of standard and industrial research of Iran. No 2685 [In Persian].
- Anon. (2008). Foodstuffs – Determination of vitamin C by HPLC. Institute of standard and industrial research of Iran. No 11243 [In Persian].

است (Chen *et al.*, 2013). پلی فنل‌ها یکی از مهم‌ترین ترکیبات در حفظ کیفیت آب میوه‌ها است بنابراین فرآیندی که بیشترین مقدار این ترکیبات را در آب میوه حفظ کند به عنوان روش فرآوری مناسب پیشنهاد می‌شود (Sattar *et al.*, 2019) که در این مطالعه استفاده از روش فراصوت جهت حفظ و افزایش این ترکیبات پیشنهاد می‌گردد.

در میوه‌ها و سبزیجات بخصوص آب مرکبات ترکیبات فنلی و ویتامین ث از ترکیبات اصلی موثر در میزان درصد مهار کنندگی رادیکال‌های آزاد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی هستند. ترکیبات آنتی‌اکسیدان ظرفیت به‌دام انداختن رادیکال‌های آزادی که باعث آسیب به بدن می‌شود را دارد و باعث کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های ناشی از فشار اکسیداتیو می‌شوند (ZOU & HOU, 2017a). نتایج بررسی تاثیر فرآیند حرارتی و تیمار فراصوت بر روی ظرفیت به دام انداختن رادیکال‌های آزاد آب لیمو ترش نشان می‌دهد که فرآیند حرارتی باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای این فاکتورها شده از طرفی تیمار فراصوت منجر به افزایش مقدار این فاکتور شده است. از آنجا که محققین نشان دادند که مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی رابطه مستقیم با میزان پلی فنل در آب میوه و سبزیجات دارد از طرفی تیمار فراصوت طی فرآیند کاویتاسیون منجر به شکسته شدن دیواره سلولی و آزاد سازی بهتر ترکیبات پلی فنلی می‌شود و باعث افزایش میزان پلی فنل در این آب میوه شده است. بنابراین این افزایش در میزان پلی فنل‌ها در آب میوه‌های تیمار شده با فراصوت در تطابق با افزایش معنی‌دار میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آب لیموترش بود (Bhat *et al.*, 2011). نتایج تحقیقات بر روی آب گریپ فروت (Aadil *et al.*, 2013)، بلوبری (Mohideen *et al.*, 2015) و هلو نشان داد که افزایش زمان تیمار فراصوت باعث افزایش معنی‌داری در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی این آب میوه‌ها شده است این تحقیقات نشان دادند که افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی یکی از مهمترین مزایای تیمار فراصوت است. (Sattar *et al.*, 2019). نتایج بدست آمده در خصوص تاثیر تیمار فراصوت بر آب لیمو ترش در تطابق با این تحقیقات است همچنین محققین تاثیر فرآیند پاستوریزاسیون و تیمار فراصوت را بر روی فعالیت آنتی-اکسیدانی آب هلو مقایسه کردند (Sattar *et al.*, 2019). و علت کاهش معنی‌دار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آب هلو طی

Anon. (2014). Lime/Lemon Juice-Specifications and test methods. Institute of standard and industrial research of Iran. No 117 [In Persian].

Anon. (2016). Juice and its products - Determination of Hesperidin by high performance liquid chromatography -Test method. Institute of standard and industrial research of Iran. No 20804 [In Persian].

Anon. (2016). J Fruit juices and vegetable juices - Determination of glucose, fructose and sucrose by high performance liquid chromatography -Test method. No 20803 [In Persian].

Apak, R. A., Ozyürek, M., Güçlü, K. & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 997-1027.

Bhat, R. & Goh, K. M. (2017). Sonication treatment convalesce the overall quality of hand-pressed strawberry juice. *Food Chemistry*, 215, 470-476.

Bhat, R., Kamaruddin, N. S. B. C., Min-Tze, L. & Karim, A. A. (2011). Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(6), 1295-1300.

Brasili, E., Chaves, D. F. S., Xavier, A. A. O., Mercadante, A. Z., Hassimotto, N. M. & Lajolo, F. M. (2017). Effect of pasteurization on flavonoids and carotenoids in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. 'Cara Cara' and 'Bahia' juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(7), 1371-1377.

Chen, Y., Yu, L. J. & Rupasinghe, H. V. (2013). Effect of thermal and non-thermal pasteurisation on the microbial inactivation and phenolic degradation in fruit juice: A mini-review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(5), 981-986.

Cheng, L. H., Soh, C. Y., Liew, S. C., & Teh, F. F. (2007). Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chemistry*, 104(4), 1396-1401.

del Socorro Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., León-Rivera, J. E., Delgado-Olivares, L., Alanís-García, E., Ariza-Ortega, J. A. & Jaramillo-Bustos, D. P. (2015). Shelf life, physicochemical, microbiological and antioxidant properties of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) juice after

thermoultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 277-286.

Hu, J., Ge, S., Huang, C., Cheung, P. C., Lin, L., Zhang, Y. & Huang, X. (2018). Tenderization effect of whelk meat using ultrasonic treatment. *Food science & nutrition*, 6(7), 1848-1857.

Kelebek, H., Canbas, A. & Selli, S. (2008). Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of blood orange juices obtained from cvs. Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown in Turkey. *Food Chemistry*, 107(4), 1710-1716.

Khoulood, A., Abedelmalek, S., Chtourou, H. & Souissi, N. (2018). The effect of *Opuntia ficus-indica* juice supplementation on oxidative stress, cardiovascular parameters, and biochemical markers following yo-yo Intermittent recovery test. *Food Science & Nutrition*, 6(2), 259-268.

Liao, H., Zhu, W., Zhong, K. & Liu, Y. (2020). Evaluation of colour stability of clear red pitaya juice treated by thermosonication. *LWT-Food Science and Technology*, 121, 108997.

Lorente, J., Vegara, S., Martí, N., Ibarz, A., Coll, L., Hernández, J. & Saura, D. (2014). Chemical guide parameters for Spanish lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.) juices. *Food Chemistry*, 162, 186-191.

Marín, F. R., Martínez, M., Uribealago, T., Castillo, S. & Frutos, M. J. (2002). Changes in nutraceutical composition of lemon juices according to different industrial extraction systems. *Food Chemistry*, 78(3), 319-324. d

Mohideen, F. W., Solval, K. M., Li, J., Zhang, J., Chouljenko, A., Chotiko, A. & Sathivel, S. (2015). Effect of continuous ultrasonication on microbial counts and physicochemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 563-570.

Movahednejad, M. H. & Khoshtaghaza, M. H. (2011). Evaluation of some physical properties of jahromi lime. *Food Science and Technology*, 8(33), 61-68 [In Persian].

Nadeem, M., Ubaid, N., Qureshi, T. M., Munir, M. & Mehmood, A. (2018). Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant properties on carrot-grape juice blend during storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 45, 1-6.

- Nguyen, C. L. & Nguyen, H. V. (2018). Ultrasonic Effects on the Quality of Mulberry Juice. *Beverages*, 4(3), 56.
- Ordóñez-Santos, L. E., Martínez-Girón, J. & Arias-Jaramillo, M. E. (2017). Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. *Food Chemistry*, 233, 96-100.
- Sattar, S., Imran, M., Mushtaq, Z., Ahmad, M. H., Holmes, M., Maycock, J. & Muhammad, N. (2019). Functional quality of optimized peach-based beverage developed by application of ultrasonic processing. *Food science & nutrition*, 7(11), 3692-3699.
- Simsek, A., Poyrazoglu, E. S., Karacan, S. & Velioglu, Y. S. (2007). Response surface methodological study on HMF and fluorescent accumulation in red and white grape juices and concentrates. *Food Chemistry*, 101(3), 987-994.
- Stanic-Vucinic, D., Prodic, I., Apostolovic, D., Nikolic, M. & Cirkovic Velickovic, T. (2013). Structure and antioxidant activity of  $\beta$ -lactoglobulin-glycoconjugates obtained by high-intensity-ultrasound-induced Maillard reaction in aqueous model systems under neutral conditions. *Food Chemistry*, 138(1), 590-599.
- Tembo, D. T., Holmes, M. J. & Marshall, L. J. (2017). Effect of thermal treatment and storage on bioactive compounds, organic acids and antioxidant activity of baobab fruit (*Adansonia digitata*) pulp from Malawi. *Journal of Food Composition and Analysis*, 58, 40-51.
- Tiwari, B., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. & Cullen, P. (2008). Effects of sonication on the kinetics of orange juice quality parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(7), 2423-2428.
- Tiwari, B., O'Donnell, C. & Cullen, P. (2009). Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering*, 93(2), 166-171.
- Tiwari, B., O'Donnell, C., Patras, A. & Cullen, P. (2008). Anthocyanin and ascorbic acid degradation in sonicated strawberry juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 10071-10077.
- Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P. & Cullen, P. J. (2008). Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1876-1883.
- Zou, Y. & Hou, X. (2017a). Sonication enhances quality and antioxidant activity of blueberry juice. *Food Science and Technology*, 37, 599-603.
- Zou, Y. & Hou, X. (2017b). Sonication enhances quality and antioxidant activity of blueberry juice. *Food Science and Technology*, 37(4), 599-603.
- Zou, Y. & Jiang, A. (2016). Effect of ultrasound treatment on quality and microbial load of carrot juice. *Food Science and Technology*, 36(1), 111-115.

# Effects of Ultrasound Treatments on Color, Antioxidant Compounds, Sugar Profile of Jahrom Lime Juice

Z. Alaei Roozbahani

Department of Food Science and Technology, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

Received: 6 October 2020

Accepted: 10 November 2020

## Abstract

∞

**Introduction:** Concerning the increase of consumers' knowledge about health and nutrition, consumers, along with increasing the shelf life of food products, want to maintain the original quality of the processed product. Sonication might be recognized as a potential technique to improve improvement in the quality of fruit juices.

**Materials and Methods:** The influence of thermal treatment and sonication on Physicochemical properties ( $^{\circ}$ Brix, pH, electrical conductivity, cloud value and acidity), colour values, antioxidant compounds and activity (total phenolics, ascorbic acid, flavonoids, free radical scavenging activity), sugar profile, browning index and 5-hydroxymethylfurfural content were investigated.

**Results:** The results indicated that conventional pasteurization and sonication treatment did not show any significant changes in pH, acidity value, Brix, sugar and 5-HMF contents of juice, and however, a rise in cloud value and electrical conductivity and browning index were observed under all processing conditions. The thermal treatment caused the decrement in the bioactive compounds and antioxidants activity whereas sonication treatment for 90 min increased the maximum activity of bioactive compounds and antioxidants as compared to other treatment conditions and control. Some differences in all the colour values were also observed.

**Conclusion:** thermal treatment causes decline in quality parameters of lime juice, whereas the significant increment in bioactive compounds and antioxidant activity was observed in juice samples after being exposed to sonication treatment. Therefore, ultrasound treatment might be considered as a good alternative to the thermal treatment in beverage industry.

**Keywords:** Antioxidant Activity, Lime Juice, Pasteurization, Sugar Profile, Ultrasonic.

\* Corresponding Author: z.alaei@standrd.ac.ir