بررسی اثر کاویتاسیون حاصل از امواج فراصوت بر بار میکروبی و خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب‌پرتقال فرآوری شده با امواج فراصوت

ساجد امجدی [۱]، آیناز علیزاده [۲]، لیلا روفه‌گری نژاد [۲*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۵)

چکیده

افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان به محصولات غذایی که با حداقل تغییرات در خصوصیات تغذیه‌ای و حسی، فرآوری شده‌اند، زمینه را برای بررسی روش‌های نوین فرآوری مواد غذایی فراهم کرده است. هدف از این مطالعه بررسی خصوصیات فیزیکی شیمیایی (اسیدیته قابل تیتر، pH، بریکس، درجه‌ی قهوه‌ای شدن و کدورت)، پارامترهای رنگی و بار میکروبی (تعداد میکروارگانیسم کل، کپک و مخمر) آب‌پرتقال فرآوری شده با امواج فراصوت (تحت شدت امواج ۳۷ و ۸۰ کیلوهرتز به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه)هست.نتایج حاصل حاکی از آن بود که فرآوری با امواج فراصوت هیچ تأثیر معنی‌داری بر روی میزان اسیدیته، pH و مواد جامد محلول نمونه‌های آب‌پرتقال نداشته است ($P>$ ۰/۰۵). اختلاف درجه‌ی قهوه‌ای شدن و میزان کدورتبین نمونه‌های آب‌پرتقال معنی‌دار بوده($P<$ ۰/۰۵) و امواج فراصوت باعث کاهش این دو پارامتر در نمونه‌های آب‌پرتقال گردید. بررسی پارامترهای رنگی نمونه‌های آب‌پرتقال نیز نشان دادکه کاهش فرکانس امواج فراصوت و افزایش مدت زمان فرآوری باعث افزایش روشنایی (L^*) و کاهش قرمزی (a^*)نمونه‌ها شده است.همچنین فرآوری با امواج فراصوت به‌طور معنی‌داری باعث کاهش آلودگی میکروبی آب‌پرتقال گردید($P<$ ۰/۰۵). با توجه به این نتایج می‌توان گفت که کاربردامواج فراصوت در فرآوری آب‌میوه علاوه بر کاهش آلودگی میکروبی این محصول غذایی، به‌طور مؤثری باعث حفظ خصوصیات فیزیکی شیمیایی و حسی این محصول نیز می‌گردد.

کلید واژگان: آب‌پرتقال، امواج فراصوت، قابلیت نگهداری، قهوه‌ای شدن، کاویتاسیون

*مسئول مکاتبات: l.roufegari@iaut.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

۱- مقدمه

روش‌های فرآوری نقش مهمی در تعیین کیفیت، ایمنی و عمر ماندگاری محصولات غذایی دارند. روش‌های حرارتی از جمله روش‌های معمول فرآوری هستندکه با کاهش جمعیت میکروبی و آنزیم‌ها باعث افزایش عمرماندگاری محصولات غذایی می‌شوند. ولی به‌رغم این اثرات مطلوب این روش‌ها باعث کاهش کیفیت تغذیه‌ای و حسی محصولات می‌گردند [۱ و ۲]. با توجه به افزایش علاقه مصرف‌کنندگان به مصرف محصولاتی با ارزش تغذیه‌ای بالا و ویژگی‌های حسی مناسب در سال‌های اخیر روش‌های فرآوری نوینی برای جایگزینی روش‌های حرارتی پیشنهاد شده است. از روش‌هایغیرحرارتی می‌توان به اولترافیلتراسیون، میدان الکتریکی پالسی، دهیدراسیون اسمزی، اشعه و امواج فراصوت اشاره کرد [۳ و ٤]. فراصوتبنا به تعریف به امواج صوتی با فرکانس‌های بالاتر از حد آستانه شنوایی انسان گفته می‌شودکه نحوه‌ی استفاده از آن به دو صورت شدت بالا و شدت پایین می‌باشد [٥ و ٦]. دلایل استفاده از این روش، هزینه پایین موردنیاز برای راه‌اندازی، کاهش هدر رفتن انرژی و حفظ پروتئین‌ها، مواد رنگی و مواد مغذی و به طور کلی حفظ ارزش‌های تغذیه‌ای محصول می‌باشد، همچنین این تکنولوژی با ایجاد پدیده‌ی کاویتاسیون[1] موجب پراکندگی[2] ذرات و تخریب دیواره‌ی سلولی میکروارگانیسم‌ها می‌گردد؛ بنابراین می‌توان از این روشبه‌عنوان تکنولوژی مکمل در فرایندهای مختلف استفاده کرد [۷، ۸ و ۹].

آب‌میوه‌ها توسط همه‌ی رده‌های سنی از کودکان تا بزرگ‌سالان مصرف می‌شوند که با داشتن خواص تغذیه‌ای ارزشمند می‌توانند برای سلامتی انسان مفید باشند [۱۰]. آب‌پرتقال بیشترین سهم را در بازار مصرف آب‌میوه‌ها داردکه دلیل این امر نه‌تنها طعم و مزه‌ی آن، بلکه بیشتر به دلیل خواص تغذیه‌ای و درمانی این آب‌میوه هست. ارزش تغذیه‌ای آب‌پرتقال به میزان بالای ویتامین cدر آن و همچنین به وجود مقادیر قابل‌توجهاسید فولیک، ویتامین B6، فلاونوئیدها، فیبرهای رژیم غذایی و چندین مواد معدنی مربوط می‌شود [۱۱].با توجه به حساسیت بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به شرایط محیطی از جمله دما، محتوای ویتامین C آب‌پرتقال در طی فرآیندهای حرارتی به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته، همچنین خواص فیزیکی آن از جمله اسیدیته، pH، بریکس و رنگ در اثر انجام واکنش‌هایی نظیر قهوه‌ای شدن متحمل تغییراتی می‌شوند [۱۲ و ۱۳]. با این‌حال آب‌میوه‌های بدون فرآوری نیز می‌توانند دارای آلودگی میکروبی مخصوصاً ناشی از رشد کپک‌ها و مخمرها باشند که رشد این میکروارگانیسم‌ها باعث کاهش محتویات تغذیه‌ایآب‌میوه شده و منجر به ایجاد طعم و بویی نامطلوب می‌شوند [١٤ و ١٥].

در سال‌های اخیر در زمینه‌ی کاربرد امواج فراصوت در فرآوری آب‌میوه‌ها مطالعات متعددی انجام‌گرفته و این تکنولوژی را روشی مؤثر در افزایش ماندگاری میکروبی و حفظ خواص تغذیه‌ای و فیزیکی این محصولات غذایی گزارش کرده‌اند [۱۱، ١٦- ۱۹]. با توجه به اینکه اغلب در مطالعات قبلی از امواج فراصوت به‌عنوان روشی تکمیلی همراه با سایر روش‌های فراوری استفاده شده و همچنین رویکرد تأثیر به‌کارگیری این روش جدید در کاهش فعالیت میکروبی و حفظ خواص فیزیکی آب‌پرتقال کم‌تر مورد توجه قرارگرفته است، در این پژوهش، از امواج فراصوت به‌عنوان روشی مستقل و جایگزین برای روش حرارتی معمول در فرآوری آب‌پرتقال استفاده گردیده و میزان تأثیر آن بر خواص کیفی و جمعیت میکروبی آب‌پرتقال موردبررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

پرتقال‌های واریته بیروتی از بازار محلی شهر تبریز خریداری شده و اتانول، سدیم هیدروکسید، معرف فنل فتالئین(Merck، آلمان)،محیط کشت DRBC[3] و محیط کشت PCA[4](Sigma-Aldrich، ایالات متحده آمریکا) تهیه گردید.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه آب‌پرتقال و تیمار آن با امواج فراصوت

پرتقال‌ها پس از خریداری، شستشو و در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. سپس بعد از برش پرتقال‌ها به منظور آب‌گیری از آن‌ها از دستگاه آب میوه‌گیر

1. Cavitation
2. Dispersion
3. Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol Agar
4. Plate Count Agar

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

(مدل Kenwood، ساخت کشور ژاپن) استفاده شده و آب‌پرتقال حاصل با کاغذ صافی و پمپ خلأ (مدل Millipore، ساخت کشور فرانسه) صاف گردید. آب میوه حاصل در داخل ظروف شیشه‌ای استریل در بسته به مقدار مشخص و یکسان (۱۰۰ میلی‌لیتر) ریخته شده و داخل مخزن حمام فراصوت (مدل Elma، ساخت کشور آلمان) تحت دمای یکسان قرار داده شدند. شرایط تیمار روی نمونه‌های مختلف مطابق جدول ۱ انجام گرفت.

Table1 Processing conditions used during ultrasound treatments

Samples	Time (min)	Frequency (kHz)	Temperature (^oC)
Control	-	-	-
HP	5	-	70-75
S37/5	5	37	25
S37/10	10	37	25
S37/15	15	37	25
S80/5	5	80	25
S80/10	10	80	25
S80/15	15	80	25

۲-۲-۲-اندازه‌گیری میزان اسیدیته

اندازه‌گیری اسیدیته در آب‌پرتقال به روش تیتراسیون توسط محلول سود ۰/۱ نرمال (NaOH) به‌عنوان محلول تیترانت و شناساگر فنل‌فتالئین انجام شد. به طوری که ابتدا ۵ میلی‌لیتر آب‌پرتقال با آب‌مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد، سپس عمل تیتراسیون توسط محلول سود تا زمانی که رنگ محلول به صورتی کم‌رنگ پایدار متمایل شود، ادامه یافت. در آخر میزان اسیدیته بر مبنای اسیدسیتریک مطابق معادله زیر محاسبه شد [۱۱].

معادله (۱)

$$\text{درصد اسیدیته قابل تیتر} = \frac{V \times N \times E \times 100}{m}$$

V: مقدار سود (۰/۱ نرمال) مصرفی، N: نرمالیته سود مصرفی، E: اکی‌والان اسیدسیتریک (۰/۰۶۷)،M: مقدار نمونه (گرم)

۲-۲-۳- تعیین مقدار بریکس و pH

مقدار بریکس نمونه‌ها پس از صاف کردن با کاغذ صافی، توسط دستگاه رفراکتومتر(مدل Atago، ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری وpH نمونه‌ها نیز به‌وسیله دستگاه pH متر (مدل Mettler Toledo، ساخت کشور سوئیس) اندازه‌گیری شد.

۲-۲-٤-تعیین میزان قهوه‌ای شدن

۵ میلی‌لیتر از هر نمونه را به مدت ۲۰ دقیقه تحت سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ (مدل PIT320، ساخت کشور ایران) کرده، سپس فاز رویی جدا وبا ۵ میلی‌لیتر اتانول رقیق شده و مجدداً عمل سانتریفوژ کردن به مدت ۳۰ دقیقه تحت همان شرایط (۳۰۰۰ دور در دقیقه) انجام گرفت. در آخر میزان جذب فاز رویی هر نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر نور مرئی (مدلUltrospec 2000ساخت کشور انگلیس) در طول‌موج ٤۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد که این مقادیر میزان قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی آب‌پرتقال را نشان می‌دهند [۱۹].

۲-۲-۵-تعیین میزان کدورت

برای سنجش میزان کدورت، ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از هر نمونه به مدت ۲۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. پس از سانتریفوژ کردن، میزان جذب فاز رویی در طول‌موج ٦٦۰ نانومتر که نشان‌دهنده‌ی میزان کدورت است، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر نور مرئیقرائت شد [۱۱].

۲-۲-٦-تعیین پارامترهای رنگی

به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای رنگی L^*، a^*و b^*نمونه‌های آب پرتقال، هر نمونه در جعبه مخصوص عکس‌برداری قرار داده شد وتصاویر با استفاده از دوربین عکاسی با زاویه ٤۵ درجه عمودی از بالای محفظه جعبه عکس برداری شد، تصاویر با فرمتJPG ذخیره گردیده و مراحل پردازش تصویر با نرم‌افزار فتوشاپ انجام گرفت. همچنین به‌منظور رسم منحنی استاندارد از کارت‌های استاندارد رنگ[5] نیز با همان شرایط ذکرشده عکس‌برداری شد. همچنینΔE شاخص میزان تغییرات رنگ نسبت به رنگ شاهد به صورت زیر محاسبه شد [۹].

معادله (۲)

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_i^*)^2 + (a_0^* - a_i^*)^2 + (b_0^* - b_i^*)^2}$$

۲-۲-۷- آنالیز میکروبی

ابتدا محیط‌های کشت DRBR (برای شمارش کپک و مخمر) و PCA (برای شمارش تعداد کل میکروارگانیسم‌ها) طبق دستورالعمل مربوطه تهیه شد. روش کشت انجام‌گرفته در دو محیط کشت DRBR و PCAبه‌صورت سطحی بودهو ۱۰۰ میکرو لیتر از نمونه میکروبیبر روی سطح پلیت پخش شد. پلیت‌های محیط کشت PCA پس از کشت دادنداخل

5. RAL standard color sheets

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

انکوباتور دردمای ۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و به مدت ۲٤ الی ٤۸ ساعت نگه‌داری شده و پلیت‌های کپک یا مخمر (قارچ‌ها) نیز پس از کشت دادن به مدت ۷-۳ روزدر دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از اتمام زمان انکوباسیون پلیت‌های PCA، پلیت حاوی ۲۵۰-۲۵ کلنی به‌عنوان پلیت استاندارد شمارش کلی میکروارگانیسم انتخاب و شمارش گردیده ولی در پلیت‌های محیط کشت کپک مخمر، پلیت حاوی ۱۵۰-۱۵ کلنی به‌عنوان پلیت استاندارد برای شمارش انتخاب شد [۱۱، ١٤ و ١٥].

۲-۲-۸- تجزیه وتحلیل آماری

تمامی آزمون‌ها در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. تحلیل و ارزیابی (ANOVA) با استفاده از مدل خطی (G.L.M) نرم‌افزار آماری SPSSدر سطح احتمال ۹۵٪ ($P < ۰/۰۵$) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تأیید وجود اختلاف بین میانگین‌ها انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اندازه‌گیری میزان اسیدیته، بریکس و pH

آب‌پرتقال به دلیل وجود اسیدسیتریک و اسیدآسکوربیک در ترکیب شیمیایی خود، دارای اسیدیته نسبتاً بالایی هستکه این میزان اسیدیته بر ماندگاری محصول نیز تأثیر داشته و با اثر ضد میکروبی خود باعث عدم رشد میکروارگانیسم‌ها در آب‌پرتقال می‌گردد، به همین دلیل اسیدیته یک پارامتر مهم در تعیین روش فرآوری آب پرتقال است [۳]. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی میزان اسیدیته، pH و مواد جامد محلول نمونه‌های آب‌پرتقال که در جدول ۲ مشهود است، فرآوری با امواج فراصوت هیچ تأثیر معنی‌داری بر روی میزان اسیدیته، pH و مواد جامد محلول نمونه‌های آب‌پرتقال نداشته است. به‌طوری‌که انرژی حاصل از امواج فراصوت، هیچ تغییری در ساختار مولکولی ترکیبات با وزن مولکولی بالا که در میزان اسیدیته، pH و بریکس محصول ایجاد نکرده است، نتایج حاصل در راستای نتایج پژوهش‌های مشابه قبلی هست، به‌طوری‌که بنا به گزارش‌های ارائه شده در این پژوهش‌ها فرآوری با امواج فراصوت هیچ تأثیر معنی‌داری بر اسیدیته، pH و بریکس آب‌انگور [۱۰]، آب‌زرشک [۲۰]، آب توت‌فرنگی [۲۱] و آب هویج [۲۲] نداشته است.

Table 2 Titratable acidity, pH, and total soluble solids of orange juices

Samples	TA	pH	TSS (^{o}Brix)
Control	0.85 ± 0.04^{a}	3.70 ± 0.02^{a}	11.03 ± 0.06^{a}
HP	0.90 ± 0.01^{a}	3.76 ± 0.01^{a}	11.10 ± 0.10^{a}
S37/5	0.94 ± 0.07^{a}	3.72 ± 0.03^{a}	11.00 ± 0.10^{a}
S37/10	0.92 ± 0.10^{a}	3.75 ± 0.02^{a}	11.17 ± 0.15^{a}
S37/15	0.93 ± 0.14^{a}	3.71 ± 0.01^{a}	11.13 ± 0.15^{a}
S80/5	0.89 ± 0.09^{a}	3.75 ± 0.01^{a}	11.17 ± 0.25^{a}
S80/10	0.89 ± 0.03^{a}	3.72 ± 0.04^{a}	11.13 ± 0.15^{a}
S80/15	0.87 ± 0.04^{a}	3.74 ± 0.04^{a}	11.13 ± 0.12^{a}

All of the results are presented as mean ± standard deviation of the means. Points labeled with different subscript letters in the same group are significantly different ($p<0.05$).Control (no treatment); HP (heat pasteurization); S37/5 (sonication at 37 Hz for 5 min); S37/10 (sonication at 37 Hz for10 min); S37/15 (sonication at 37 Hz for 15 min); S80/5 (sonication at 80 Hz for 5 min); S80/10 (sonication at 80 Hz for 10 min); S80/15 (sonication at 80 Hz for 15 min). TA: titratable acidity: grams of citric acid per 100 mL of juice; TSS: total soluble solids.

۳-۲- تعیین میزان قهوه‌ای شدن

نتایج حاصل از ارزیابی میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های آب‌پرتقال در نمودار a شکل ۱ قابل مشاهده هست. با توجه به این نتایج میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌ها با افزایش فرکانس امواج فراصوت افزایش یافته ولی با افزایش مدت‌زمان فرآوری با امواج فراصوت کاهش یافته است. با این‌حال میان میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌ی شاهد و نمونه‌ی S37/15 هیچ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده و همچنین میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های فرآوری شده با امواج فراصوت به طور معنی‌داری کمتر از نمونه‌ی فرآوری شده با روش حرارتی بود. فرایند قهوه‌ای شدن آب مرکبات که اکسیداسیون ویتامین c نیز گفته می‌شود بااینکه در کل یک فرآیند غیر آنزیمی است، ولی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

مرحله‌ی اکسید شدن L آسکوربیک اسید می‌تواند تحت اثر آنزیم اسکوربیک اکسیداز رخ دهد همچنین حرارت نیز عامل مهمی دیگر در انجام این واکنش نامطلوب است [۱۱]. با توجه به این نکات در اثر برخورد امواج فراصوت و ایجاد پدیده کاویتاسیون در نمونه‌های آب‌پرتقال، این آنزیم اکسیدکننده‌ی ویتامین C کاهش‌یافته و همچنین با توجه به نبودن حرارت در این روش فراوری میزان قهوه‌ای شدن کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان فراوری با امواج فراصوت اثر تخریبی این امواج بر روی آنزیم اکسیدکننده‌ی آسکوربیک اسید بیشتر شده در نتیجه کاهش بیشتری در میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌ها مشاهده شد، ولی با افزایش فرکانس امواج کاروتنوئیدها نیز تخریب گردیده و میزان قهوه‌ای شدن افزایش یافت. نتایج حاصل از پژوهش Guerrouj و همکاران (۲۰۱٦) نیز نشان دادکه با افزایش مدت‌زمان تیمار آب‌پرتقال با امواج فراصوت میزان قهوه‌ای شدن کاهش‌یافته و با افزایش فرکانس امواج میزان آن افزایش می‌یابد [۱۱]. Valdramidis و همکاران (۲۰۱۰) نیز با بررسی میزان اسیدآسکوربیک و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی آب‌پرتقال فرآوری شده با امواج فراصوت، این روش را در کاهش میزان قهوه‌ای شدن مؤثر دانستند [۲۳].

۳-۳- تعیین میزان کدورت

نمودار b شکل ۱ میزان کدورت در نمونه‌های آب‌پرتقال را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، فرکانس امواج و زمان فراصوت بر روی میزان کدورت نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری داشته است($p<۰/۰۵$). به‌طوری‌که میزان کدورت با کاهش فرکانس امواج و افزایش مدت زمان فرآوری با امواج فراصوت کاهش‌یافته است. با توجه به این که علت بی‌ثباتی حالت ابری در آب مرکبات، هیدرولیز گروه‌های متیل است رازپوتین و تشکیل ژل پکتات کلسیم هست، تیمار توسط امواج فراصوت نیزمی‌تواند، با غیرفعال کردن آنزیم پوتین متیل است رازو افزایش وزن مولکولی ذرات معلق که موجبرسوب آن‌ها می‌گردد، باعث کاهش میزان حالت ابری نمونه‌های آب پرتقال گردد. در پژوهش‌هایی که باهدف بررسی تأثیر فرآوری با امواج فراصوت بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب‌میوه‌ها ازجمله‌آب سیب و آب هویج انجام‌گرفته فرکانس امواج و مدت‌زمان فرآوری را دو عامل مؤثر بر میزان کدورت آب میوه‌ها دانسته‌اند.Jabbar و همکاران (۲۰۱٤) در گزارشی که از بررسی میزان کدورت آب هویج فرآوری شده با دو روش همزمان آنزیم‌بری و سونیکاسیون ارائه دادند، علت کاهش کدورت نمونه‌های آب هویج را کاهش پیگمان‌های قهوه‌ای و غیرفعال شدن آنزیم‌های عامل ایجاد کدورت مثل پکتین متیل است را دانستند [۲۲]. Vasantha وYu(۲۰۱۲) نیز کاهش فرکانس امواج فراصوت و افزایش زمان فرآوری را عاملی مؤثر در کاهش کدورت آب‌میوه‌های سیب و هویج فرآوری شده با روش فراصوت گزارش کردند [۲٤].

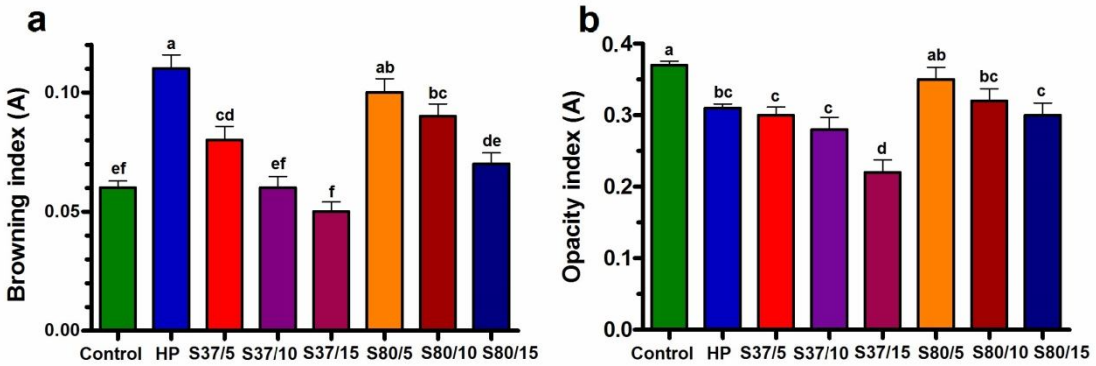

Fig 1 Effects of ultrasound on the browning index (a) and opacity index (b) of orange juices. All of the results are presented as mean ± standard deviation of the means. Points labeled with different subscript letters in the same group are significantly different ($p<0.05$).Control (no treatment); HP (heat pasteurization); S37/5 (sonication at 37 Hz for 5 min); S37/10 (sonication at 37 Hz for 10 min); S37/15 (sonication at 37 Hz for 15 min); S80/5 (sonication at 80 Hz for 5 min); S80/10 (sonication at 80 Hz for 10 min); S80/15 (sonication at 80 Hz for 15 min).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

۳-٤- تعیین پارامترهای رنگی

جدول ۲ نتایج حاصل از آنالیز پارامترهای رنگی نمونه‌های آب‌پرتقال را نشان می‌دهد. پارامتر رنگی L^*، معادل میزان روشنایی بوده و بین صفر (مشکی) تا صد (انعکاس نور کامل) هست. افزایش فرکانس امواج فراصوت باعث کاهش میزان L^* نمونه‌های آب‌پرتقال شده و افزایش مدت زمان فرآوری نیز باعث افزایش میزان L^* شده است، به طوری که بیشترین میزان این پارامتر رنگی مربوط به نمونه‌ی S37/15 هست و به طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر این پارامتر در نمونه‌های شاهد و فرآوری شده با فرآیند حرارتی است. با توجه به این‌که میزان L^* نشان‌دهنده‌ی شفافیت آب‌میوه بوده و با میزان کدورت آن رابطه‌ی عکس دارد، بنابراین این نتایج می‌تواند تصدیق کننده‌ی نتایج حاصل از ارزیابی کدورت آب‌میوه‌ها باشد و علت تغییرات L^* در نتیجه تغییر فرکانس و زمان را می‌توان نظیر آنچه در بحث کدورت ذکر شد، مربوط به غیرفعال شدن آنزیم‌ها دانستکه با کاهش میزان کدورت موجب افزایش شفافیت و پارامتر L^* گردیده است. مقادیر پارامتر رنگی a^* نامحدود بوده و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز هست. نتایج حاصل از بررسی این پارامتر رنگی در نمونه‌های آب‌پرتقال نشان داد که افزایش مدت زمان فرآوری با امواج فراصوت باعث کاهش میزان پارامتر a^*شده و با افزایش فرکانس امواج فراصوت میزان این پارامتر رنگی افزایش‌یافته است. بیشترین میزان پارامتر رنگی a^* مربوط به نمونه‌ی فرآوری شده با فرآیند حرارتی بوده و کمترین نیز مربوط به نمونه‌ی S37/15 بود. با توجه به این‌کهبین پارامتر رنگیa^* (رنگ قرمز) و میزان قهوه‌ای شدن آب‌پرتقال رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد، بنابراین این نتایج تصدیق‌کننده‌ی نتایج حاصل از تعیین میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های آب‌پرتقال است. نتایج حاصل از ارزیابی میزان پارامترb^* که مقادیر مثبت آن معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی هست،نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های آب‌پرتقالنبوده و فرآوری با امواج فراصوت هیچ تأثیر معنی‌داری روی میزان این پارامتر نداشته است. همچنین با محاسبه‌ی ΔE که میزان اختلاف بین پارامترهای رنگی نمونه‌های فرآوری شده با نمونه‌ی شاهد (آب‌پرتقال تازه) هست، هیچ اختلافی معنی‌داری بین نمونه‌های آب‌پرتقال از نظر این شاخص مشاهده نشد.

Table 3 Color parameters of orange juices

Samples	L^*	a^*	b^*	ΔE
Control	58.96 ± 1.28^{a}	8.31 ± 1.32^{b}	59.17 ± 0.77^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
HP	58.57 ± 0.49^{a}	10.58 ± 0.66^{a}	58.01 ± 1.93^{a}	3.27 ± 0.79^{a}
S37/5	57.89 ± 0.13^{b}	8.59 ± 1.13^{a}	59.04 ± 0.64^{a}	3.26 ± 0.97^{a}
S37/10	58.77 ± 0.10^{ab}	6.33 ± 0.09^{bc}	59.82 ± 0.39^{a}	2.39 ± 0.85^{a}
S37/15	59.06 ± 0.20^{a}	5.20 ± 0.47^{c}	59.04 ± 0.13^{a}	2.44 ± 1.17^{a}
S80/5	57.98 ± 0.69^{b}	8.31 ± 0.09^{ab}	59.17 ± 0.52^{a}	1.96 ± 0.32^{a}
S80/10	58.38 ± 0.28^{ab}	6.61 ± 0.32^{abc}	59.56 ± 0.39^{a}	1.67 ± 0.51^{a}
S80/15	58.77 ± 0.49^{ab}	6.43 ± 0.09^{bc}	58.66 ± 1.29^{a}	2.12 ± 1.05^{a}

All of the results are presented as mean ± standard deviation of the means. Points labeled with different subscript letters in the same group are significantly different ($p<0.05$).Control (no treatment); HP (heat pasteurization); S37/5 (sonication at 37 Hz for 5 min); S37/10 (sonication at 37 Hz for 10 min); S37/15 (sonication at 37 Hz for 15 min); S80/5 (sonication at 80 Hz for 5 min); S80/10 (sonication at 80 Hz for 10 min); S80/15 (sonication at 80 Hz for 15 min).

۳-۵- آنالیز میکروبی

نمودارهای شکل ۲ نتایج حاصل از آنالیز میکروبی نمونه‌های آب‌پرتقال را نشان می‌دهد. طبق استاندارد اعلام شده توسط سازمان غذا و داروی آمریکا میزان مجاز تعداد کل میکروارگانیسم‌ها در آب‌پرتقالCfu/ml ۵هست [۱۹] که این استاندارد در تمامی نمونه‌های آب‌پرتقال رعایت شده و تعداد کل میکروارگانیسم‌ها در همه‌ی نمونه‌ها کمتر از Cfu/ml ۵ هست. این نتیجه نشان‌دهنده‌ی کفایت فرآوری با امواج فراصوت در کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌ها آب‌پرتقال هست، به طوری که حتی تعداد کل میکروارگانیسم‌ها در نمونه‌های فرآوری شده با امواج فراصوت کمتر از نمونه‌ی فرآوری شده با فرآیند حرارتی بوده و کمترین تعداد کل میکروارگانیسم مربوط به نمونه‌ی S37/15 بود. با وجود اینکه

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

بین نمونه‌های فرآوری شده با امواج فراصوت از نظر تعداد کل میکروارگانیسم‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی قابل‌توجه است که هر چه قدر فرکانس امواج فراصوت کم و زمان فرآوری بیشتر بوده موجب کاهش بیشتر تعداد کل میکروارگانیسم‌ها در نمونه‌های آب‌پرتقال شده است. نتایج حاصل از شمارش کپک و مخمر در نمونه‌های آب‌پرتقال نیز حاکی از آن بود که فرآوری با امواج فراصوت به طور معنی‌داری باعث کاهش این میکروارگانیسم‌ها شده و همانند نتایج حاصل از شمارش تعداد کل میکروارگانیسم‌ها افزایش زمان فرآوری موجب کاهش بیشتر تعداد کپک و مخمر در نمونه‌های آب‌پرتقال شده است. به‌طوری که کمترین تعداد کپک و مخمر در نمونه‌ی S37/15 مشاهده شد. کاویتاسیون ناشی از امواج فراصوت باعث تشکیل، رشد و متلاشی شدن حباب‌های کوچک در آب‌پرتقال می‌شودکه انتشار سریع این حباب‌های کوچک و برخوردشان با غشای سلولی میکروارگانیسم‌ها باعث ایجاد سوراخ‌هایی ریز در سطح دیواره و نشت محتویات سلولی به بیرون شده و در نتیجه این پدیده، مرگ سلولی اتفاق می‌افتد که با افزایش مدت‌زمان فراوری این پدید تشدید شده و میزان مرگ سلولی افزایش می‌یابد. پژوهش‌های متعددی کاربرد امواج فراصوت را روشی مؤثر در کاهش بار میکروبی و افزایش قابلیت نگه‌داری آب‌میوه‌هایی نظیرآب زغال اخته [۹]، آب‌پرتقال [۱۱]، آب هویج [۱۶]، آب‌توت‌فرنگی [۱۸] گزارش کرده‌اند، به طوری که کاویتاسیون ایجاد شده توسط این امواج با تخریب دیواره‌ی سلولی باکتری‌ها، حساسیت این میکروارگانیسم‌ها را به حرارت، دما، فعالیت آبی، فشار اسمزی افزایش می‌دهد.

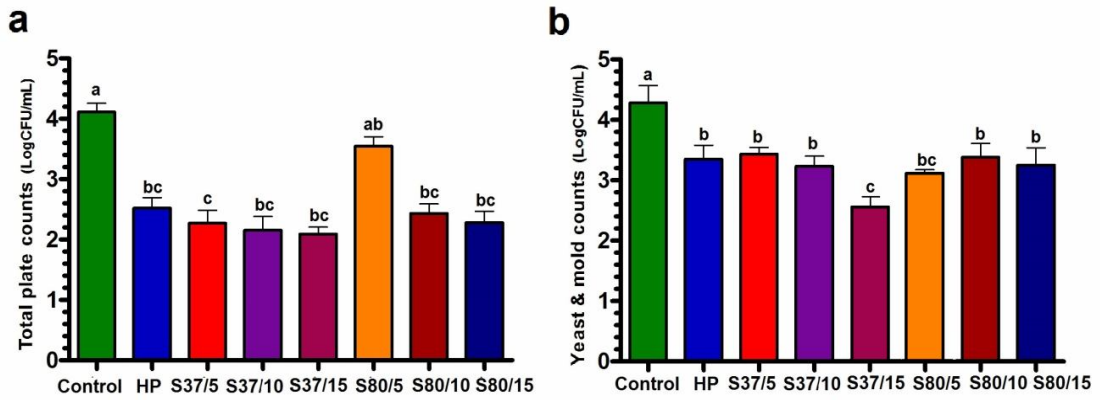

Fig 2 Survival of total plate counts (a) and fungi (b) of orange juices.All of the results are presented as mean ± standard deviation of the means. Points labeled with different subscript letters in the same group are significantly different ($p<0.05$). Control (no treatment); HP (heat pasteurization); S37/5 (sonication at 37 Hz for 5 min); S37/10 (sonication at 37 Hz for 10 min); S37/15 (sonication at 37 Hz for 15 min); S80/5 (sonication at 80 Hz for 5 min); S80/10 (sonication at 80 Hz for 10 min); S80/15 (sonication at 80 Hz for 15 min).

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای بررسی تأثیر فرآوری با امواج فراصوت در کاهش فلور میکروبی آب‌پرتقال، تعداد کل میکروارگانیسم-ها و میزان کپک و مخمر نمونه‌های آب‌پرتقال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل حاکی از آن بودکه امواج فراصوت بیشتر از فرآیند حرارتی معمول باعث کاهش آلودگی میکروبی آب‌پرتقال می‌گردد. همچنین بررسی میزان قهوه‌ای شدن و کدورت نمونه‌های آب‌پرتقال نشان دادکه با کاهش فرکانس امواج و افزایش مدت زمان فرآوری با امواج فراصوت این دو پارامتر در نمونه‌های آب‌پرتقال کاهش یافته است، به‌طوری که میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های فرآوری شده با امواج فراصوت به طور معنی‌داری کمتر از نمونه‌ی فرآوری شده با روش حرارتی بود. ارزیابی پارامترهای رنگی نمونه‌های آب‌پرتقال نیز حاکی از آن بودکه افزایش فرکانس امواج فراصوت باعث کاهش میزان L^* و افزایش میزان a^* نمونه‌های آب‌پرتقال شده و افزایش مدت زمان فرآوری نیز باعث افزایش میزان L^* و کاهش میزان a^* شده است. همچنین فرآوری با امواج فراصوت هیچ تأثیر معنی‌داری بر روی میزان اسیدیته، pH و مواد جامد محلول نمونه‌های آب‌پرتقال نداشت ($P>$ ۰/۰۵).با توجه به نتایج حاصل از همه‌ی آزمون‌های انجام‌گرفته، نمونه‌ی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

S37/15 با داشتن کم‌ترین تغییر در خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی طبیعی و کم‌ترین بار میکروبی نمونه‌ی بهینه بین نمونه‌های فراوری‌شده با امواج فراصوت هست. در آخر می‌توان گفت که کاربرد امواج فراصوت در فرآوری آب‌میوه علاوه بر کاهش آلودگی میکروبی این محصول غذایی، به‌طور مؤثری باعث حفظ خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی و حسی این محصول نیز می‌گردد که نشان‌دهنده‌ی پتانسیل بالای این فنّاوری برای جایگزینی فرآیندهای معمول حرارتی هست.

۵- منابع

[1] Irkilmez, M. U., Başlar, M., Sağdiç, O., Arici, M., &Ertugay, M. F. (2017). The effect of ultrasonic treatments on turbidity, microbial load, and polyphenol oxidase (PPO) activity of plum nectar.Journal of Food Measurement and Characterization. 11(2): 380-387.

[2] Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J., Barba, F. J. (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. Food Research International. 77: 743-752.

[3] Dabir, M. P., &Ananthanarayan, L. (2017). Effect of thermosonication on peroxidase, pectin methylesterase activities and on bioactive compounds in custard apple juice.Journal of Food Measurement and Characterization.11(4): 1623–1629.

[4] Samani, B. H., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S., Zareifourosh, H., Eshtiaghi, M. N., &Rostami, S. (2016). Design, development and evaluation of an automatic fruit-juice pasteurization system using microwave–ultrasonic waves.Journal of food science and technology. 53(1): 88-103.

[5] Bora, S. J., Handique, J., & Sit, N. (2017). Effect of ultrasound and enzymatic pre-treatment on yield and properties of banana juice.UltrasonicsSonochemistry. 37: 445-451.

[6] Rojas, M. L., Leite, T. S., Cristianini, M., Alvim, I. D., & Augusto, P. E. (2016). Peach juice processed by the ultrasound technology: Changes in its microstructure improve its physical properties and stability. Food Research International. 82: 22-33.

[7] Anaya-Esparza, L. M., Velázquez-Estrada, R. M., Roig, A. X., García, H. S., Sayago-Ayerdi, S. G., &Montalvo-González, E. (2017). Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices. Trends in food science & technology.61: 26-37.

[8] Aguilar, K., Garvín, A., Ibarz, A., & Augusto, P. E. (2017). Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication.UltrasonicsSonochemistry. 37: 375-381.

[9] Mohideen, F. W., Solval, K. M., Li, J., Zhang, J., Chouljenko, A., Chotiko, A., . . .Sathivel, S. (2015). Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vacciniumcorymbosum*) juice.LWT-Food Science and Technology. 60(1): 563-570.

[10] 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(Supplement C): 96-100.

[11] Guerrouj, K., Sánchez-Rubio, M., Taboada-Rodríguez, A., Cava-Roda, R. M., &Marín-Iniesta, F. (2016). Sonication at mild temperatures enhances bioactive compounds and microbiological quality of orange juice. Food and Bioproducts Processing. 99(Supplement C): 20-28.

[12] Khandpur, P., &Gogate, P. R. (2015). Understanding the effect of novel approaches based on ultrasound on sensory profile of orange juice. UltrasonicsSonochemistry. 27(Supplement C): 87-95.

[13] Samani, B. H., Khoshtaghaza, M. H., Lorigooini, Z., Minaei, S., &Zareiforoush, H. (2015). Analysis of the combinative effect of ultrasound and microwave power on *Saccharomyces cerevisiae* in orange juice processing.Innovative Food Science & Emerging Technologies. 32(Supplement C): 110-115.

[14] Elvira, L., Durán, C. M., Urréjola, J., & de Espinosa, F. R. M. (2014). Detection of microbial contamination in fruit juices using non-invasive ultrasound. Food Control. 40: 145-150.

[15] Ortuño, C., Balaban, M., &Benedito, J. (2014). Modelling of the inactivation kinetics of Escherichia coli, Saccharomyces cerevisiae and pectin methylesterase in orange juice treated with ultrasonic-assisted supercritical carbon dioxide. The Journal of

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

Supercritical Fluids. 90(Supplement C): 18-26.

[16] Adiamo, O. Q., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F., Babiker, E. E., & Ahmed, I. A. M. (2018). Thermosonication process for optimal functional properties in carrot juice containing orange peel and pulp extracts. Food Chemistry. 245: 79-88.

[17] Antonio-Gutiérrez, O., López-Malo, A., Ramírez-Corona, N., & Palou, E. (2017). Enhancement of UVC-light treatment of tangerine and grapefruit juices through ultrasonic atomization. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 39: 7-12.

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

[19] Evelyn, & Silva, F. V. M. (2016). High pressure processing pretreatment enhanced the thermosonication inactivation of *Alicyclobacillus* acidoterrestris spores in orange juice. Food Control. 62(Supplement C): 365-372.

[20] Gomes, W. F., Tiwari, B. K., Rodriguez, Ó., de Brito, E. S., Fernandes, F. A. N., & Rodrigues, S. (2017). Effect of ultrasound followed by high pressure processing on prebiotic cranberry juice. Food Chemistry. 218: 261-268.

[21] Tomadoni, B., Cassani, L., Viacava, G., Moreira, M. D. R., & Ponce, A. (2017). Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. Journal of Food Process Engineering. 40(5): e12533.

[22] Jabbar, S., Abid, M., Wu, T., Muhammad Hashim, M., Hu, B., Lei, S., . . . Zeng, X. (2014). Study on combined effects of blanching and sonication on different quality parameters of carrot juice. International journal of food sciences and nutrition. 65(1): 28-33.

[23] Valdramidis, V., Cullen, P. J., Tiwari, B., & O'Donnell, C. (2010). Quantitative modelling approaches for ascorbic acid degradation and non-enzymatic browning of orange juice during ultrasound processing. Journal of food engineering. 96(3): 449-454.

[24] Vasantha Rupasinghe, H., & Yu, L. (2012). Emerging preservation methods for fruit juices and beverages. Food additive.10: 32-48.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

Cavitation effects of sonication on microbial load and physicochemical properties of orange juice

Amjadi, S. [1], Alizadeh, A. [2], Roufegarinejad, L. [2*]

1. M.Sc., Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Food Sciences, Tabriz branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

(Received: 2017/12/25 Accepted:2018/02/04)

Strong interest of consumers in acquiring minimally processed foods that conserve the different micronutrients has raised the need to study the effect of food processing methods on quality attributes. The aim of thisstudy was to determine the effect ultrasound treatment (for 5, 10, 15 min at 37 and 80 kHz frequency) on physicochemical properties (titratable acidity, pH, ^{o}Brix, browning index, opacity), color attributes and microbial load (total microbial population, yeast and mold, and coliforms) of orange juice. Results showed non-significant changes for titratable acidity, °Brix, and pH in sonicated samples compared to control ($p>0.05$). The difference between browning and opacity indexes of the sonicated samples and heating treatment sample was significant ($p<0.05$) and the sonication caused to decrease thebrowning and opacity indexes of orange juices. The color parameters investigation of orange juice samples showed that the decreasing of frequency sonication and increasing the time of treatment leads to increase the lightness (L*), and decrease of the redness (a*) of orange juice samples. Significant reductions in the microbial load corresponding to sonication time were also recorded ($p<0.05$). Results of the present study indicate that sonication coupled with mild temperatures may be employed as a suitable technique for orange juice processing, and may be applied to improve its safety, sensorial and nutritional quality.

Keywords: Browning degree, Cavitation, Orange juice, Shelf life, Sonication

* Corresponding Author E-Mail Address: l.roufegari@iaut.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]