

## تأثیر امواج فراصوت روی اندازه ذرات، رنگ، گرانی و ویژگی‌های حسی شیر کاکائو

محبوبه استاذزاده<sup>۱</sup> - سلیمان عباسی<sup>۲\*</sup> - محمدرضا احسانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۱

### چکیده

از آنجایی که در دهه‌های اخیر فراصوت به عنوان یک ابزار موثر در هموژنیزاسیون و کاهش اندازه ذرات مورد استفاده قرار گرفته است بنابراین، در بررسی حاضر برای نخستین بار تأثیر امواج فراصوت در شدت‌ها، زمان‌ها و دماهای مختلف روی اندازه ذرات کاکائو، ویژگی‌های چشایی، رنگ و گرانی و شیر کاکائو (۰/۲۰ درصد کاپا-کاراگینان، ۷ درصد شکر و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی پودر کاکائو) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت و زمان تیمار، اندازه ذرات کاکائو بیشتر کاهش یافت. اندازه ذرات کاکائو در دمای ۶۵°C کوچک‌تر از دماهای ۲۵°C و ۴۵°C بود. نمونه‌های پایدار شده شیر کاکائو نیز رفتار نیوتنی داشتند. هم‌چنین نمونه شاهد، گرانی پایینی نسبت به نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت داشت و با افزایش شدت و زمان اعمال امواج فراصوت، گرانی کاهش یافت. در ضمن، شاخص  $L^*$  نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت بیشتر از نمونه شاهد بود و با افزایش زمان و شدت، این ضریب افزایش یافت. اگرچه فرایند فراصوت سبب کاهش میزان رسوب در شیر کاکائو شد و نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت از لحاظ طعم، امتیاز کم‌تری نسبت به نمونه شاهد کسب کردند؛ ولی، پذیرش کلی نمونه‌های فرایند شده تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت. با توجه به یافته‌های این بررسی، امواج فراصوت روشی جدید، سریع و کارا است، که قادر به تولید شیر کاکائوی پایدار با ویژگی‌های رنگ، گرانی و حسی قابل رقابت با نمونه‌های تیمار شده با حرارت بوده و به این ترتیب، چشم‌انداز جدیدی در رابطه با کاربرد آن در صنایع شیر مطرح می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شیر کاکائو، فراصوت، رنگ، ویژگی حسی

### مقدمه

امروزه مصرف شیرهای طعم‌دار در حال رشد است که در این میان، شیر کاکائو شناخته شده‌ترین و مورد قبول‌ترین نوع شیرهای طعم‌دار است. شیر کاکائو عموماً از اختلاط شیر (تازه یا بازساخته)، شکر، پودر کاکائو و هیدروکلوئید تهیه می‌شود. جلوگیری از ناپایداری فیزیکی شیر کاکائو یکی از چالش‌های بزرگ در صنایع غذایی (صنایع شیر) است (Speerer & Mixa, 1998). به همین دلیل، در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت تکنولوژی، استفاده از روش‌های نوین در بهبود کیفیت و کاهش زمان فرآیندهای مواد غذایی مورد کاربرد قرار گرفته‌اند. یکی از روش‌های نوین استفاده از فرآیند فراصوت می‌باشد. فرایند فراصوت مزایای اساسی نسبت به سایر روش‌ها دارد. این روش نیاز به آماده‌سازی نمونه نداشته، دقیق و نسبتاً ارزان است و

سبب افزایش راندمان و کاهش هزینه تولید محصول می‌شود (Knoir *et al.*, 2004).

فراصوت در چند سال اخیر به عنوان یک ابزار موثر در تولید امولسیون، هموژنیزاسیون، استخراج، کریستالیزاسیون، پاستوریزاسیون در دمای پایین، ضد کف، غیرفعال‌سازی و فعال‌سازی آنزیم‌ها و میکروب‌ها، کاهش اندازه ذرات و تغییر گرانی، انتقال گرما و فیلتراسیون مورد استفاده بوده است (قبادی و عباسی، ۱۳۸۸: Ptist & Bates, 2008). در ضمن، کارایی امواج فراصوت در هموژنیزاسیون شیر به اثبات رسیده و نتیجه بهتری در مقایسه با هموژنایزهای مرسوم داشته است (Bermudez-Aguirre *et al.*, 2009).

اصولاً امواج فراصوت از طریق پدیده حفره‌گی (کاویتاسیون) با ایجاد حباب در سیال به شکل مکانیکی سبب کوچک‌تر شدن اندازه ذرات می‌شود. در سامانه‌های ناهمگنی مثل شیر، بیشتر تأثیرات مکانیکی امواج فراصوت به حفره‌گی پایدار و ناپایدار نسبت داده می‌شود. در ضمن، از هم پاشیدن حباب‌های حاصل از حفره‌گی گرمای محلی شدید و فشار بالایی تولید می‌کنند که این تنش‌ها و از هم پاشیدن مکرر حباب‌ها به دیواره سلولی آسیب می‌رسانند. این آسیب‌های شدید، تنش‌های مکانی و زودگذری را بر سطح ذرات ایجاد

۱- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد تهران

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تربیت مدرس  
(نویسنده مسئول: Email : sabbasifood@modares.ac.ir)

۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد تهران

شیر کاکائو مورد مطالعه قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

هیدروکلونید مورد استفاده در این پژوهش کاپا-کاراگینان بود که از شرکت مواد شیمیایی فلوکا (Fluka) خریداری شد. پودر کاکائو (Cocoa powder) محصول شرکت کلوگر کشور آلمان (Klüber)، شیر پاستوریزه کم چرب (۱/۵ درصد چربی، ماده خشک با چربی ۹/۵±۰/۲، شکر (صنایع قند و شکر ایران) از سوپر مارکت محلی تهیه شدند. سدیم آزاید نیز از شرکت مواد شیمیایی مرک (Merck Chemical Co. Darmstadt, Germany) تهیه گردید.

### روش‌ها

#### - تهیه‌ی شیر کاکائو

برای این منظور ابتدا ۱۵ درصد وزن شیر در حمام آبگرم تا دمای ۲۰°C گرم شد، سپس مخلوط پودر کاکائو (۱/۵ درصد)، شکر (۷ درصد) و کاپا-کاراگینان (۰/۲۰ درصد) به آرامی به شیر اضافه و توسط همزن مغناطیسی هم‌زده شد. آنگاه مخلوط حاصله تا دمای ۵۰°C به مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس آن را به حجم کل شیر اضافه کرده و به مدت ۲۰ دقیقه با همزن مغناطیسی هم‌زده شد. در ضمن، سدیم آزاید (۰/۰۴ درصد) جهت جلوگیری از رشد میکروبی به نمونه‌ها اضافه شد (Abbasi & Dickinson, 2002; 2004).

جهت انتخاب نمونه‌های پایدار، نمونه‌های شیر کاکائو به لوله‌های آزمایش استریل منتقل و درب آنها با پارافیلیم و فویل آلومینیومی بسته شد و به مدت یک ماه در دمای یخچال نگهداری شدند. هر آزمایش در سه تکرار انجام گردید.

#### - تاثیر تیمار فراصوت

به منظور بررسی تاثیر تیمار فراصوت از دستگاه سونیکاتور Misonix مدل ۴۰۰۰ ساخت کشور آمریکا (توان اسمی ۶۰۰ وات و بسامد ۲۰ کیلوهرتز) با پروب High gain horns و ضخامت ۱۹ میلی‌متر استفاده شد. برای اعمال فراصوت مقدار ۱۵۰ میلی‌لیتر از شیر کاکائو به بشر شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل و پروب در عمق ۲ سانتی‌متری از سطح شیر کاکائو قرار داده شد. سپس، نمونه‌ها در معرض توان‌های مختلف ۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد در زمان‌های ۲، ۶ و ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. توان اسمی ۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد تقریباً معادل ۲۴، ۷۲ و ۱۲۰ وات عملی بود. جهت بررسی تاثیر حرارت بر اندازه ذرات کاکائو از دماهای مختلف ۲۵°C، ۴۵°C و ۶۵°C هنگام اعمال امواج فراصوت استفاده شد. همزمان با اعمال امواج فراصوت

می‌کنند که به قطعه قطعه شدن ذرات می‌انجامد (قبادی و عباسی، ۱۳۸۸: Ahmed et al., 2010). هم‌چنین، عنوان شده که با اعمال نیروی فراصوت در مخلوطی از ذرات مایع، حباب‌ها در نزدیکی سطح جامد می‌ترکند و یک جریان با سرعت بالای مایع به سمت ذرات رانده می‌شود و این جریان سریع می‌تواند سطوح را بزدايد و به مواد سلولی آسیب برساند و در نتیجه سبب شکستن پیوندهای شیمیایی شود. به عبارت دیگر اثر فراصوت در هموژناسیون گویچه‌های چرب از نوع مکانیکی است (Ertugay & Sengul, 2004). اساساً، با توجه به توضیحات بالا به نظر می‌رسد که شاید یک راه کار اصلی برای افزایش پایداری شیر کاکائو و کاهش میزان رسوب کاکائو به کاهش اندازه ذرات کاکائو مربوط می‌باشد.

استفاده از امواج فراصوت در صنایع لبنی در مقالات زیادی بحث شده است، ولی تاکنون مطالعه‌ای روی تاثیر امواج فراصوت بر ذرات کاکائو در شیر و ویژگی‌های حسی و فیزیکی انجام نشده است و عمده تحقیقات روی ساختار و ترکیبات شیر بوده است. اولین کاربرد فراصوت در هموژناسیون توسط Chambers (۱۹۳۷) انجام شد. وی این روش را روشی موثر برای کاهش اندازه گویچه‌های چرب بیان کرد. طبق نظر Lundh و Tornberg (۱۹۷۸) نیز دلیل اصلی شکستن گویچه‌های چرب بوسیله امواج فراصوت پدیده کاویتاسیون است. Ertugay و Sengul (۲۰۰۴) نیز تاثیر هموژناسیون با امواج فراصوت در ۲۰ kHz را مطالعه و نتایج را با هموژنایزهای مرسوم مقایسه نمودند. اندازه ذرات چربی بعد از هموژنایز مرسوم ۵-۲ μm بود. آن‌ها نتیجه گرفتند که فراصوت نتیجه بهتری در هموژناسیون شیر در مقایسه با هموژنایزهای مرسوم دارد و با افزایش زمان، تاثیر آن افزایش می‌یابد (Ertugay & Sengul, 2004). هم‌چنین، براساس برخی گزارش‌ها، امواج فراصوت در شدت و بسامدهای مختلف سبب تغییرات ناخواسته (برای مثال دناتوراسیون پروتئین‌های سرمی و ایجاد رادیکال‌های آزاد) در شیر می‌شود که با طراحی مناسب فرایند و استفاده از سردکننده در طول فراوری می‌توان تا حدودی اثرات غیرعدمی دمای بالا را کاهش داد (Herceg et al., 2009). البته، نسبت به روش فراوری حرارتی، میزان دناتوراسیون پروتئین‌های سرمی در این روش کمتر می‌باشد (Riener et al., 2009a). اخیراً فرایندهای شیمیایی که در طی پدیده کاویتاسیون رخ می‌دهند هم توسط محققین مورد بحث و بررسی قرار گرفته و گزارش شده که امواج فراصوت می‌توانند با تولید ترکیبات بنزن، تولوئن، ۵-متیل ۱ و ۳-سیکلوپنتادین و ۱ و ۳- بوتادین موجب ایجاد طعم لاستیکی در شیر شوند (Riener et al., 2009b).

با توجه به مطالب گفته شده و با توجه به نبود هرگونه سندی در ارتباط با تاثیر امواج فراصوت روی شیر کاکائو، در بررسی حاضر سعی شد تا تاثیر ترکیبی شدت، دما و زمان‌های مختلف اعمال امواج فراصوت روی اندازه ذرات کاکائو، ویژگی چسبایی، رنگ و گرانیروی

استفاده از مقدار گشتاور و گرانبوی مربوط به هر سرعت چرخشی و با کمک فرمول‌های ریاضی، مقادیر تنش برشی و سرعت برشی برای ترسیم نمودار جریان محاسبه شد (Mitscka, 1982; Sun, 2005).

$$\tau_i = k_{at} \alpha_i \quad (2)$$

$$\gamma_i = k_{Ny} \eta N_i \quad (3)$$

$$\eta = \log \tau_i - \log N_i \quad (4)$$

در اینجا،  $\tau_i$  = تنش برشی،  $\gamma_i$  = سرعت برشی،  $\alpha_i$  = گشتاور و  $k_{at}$  و  $k_{Ny}$  مقادیر ثابت هستند (Mitscka, 1982).

#### ارزیابی حسی

برخی ویژگی‌های حسی نمونه‌ها (شامل طعم و مزه، قوام، رنگ و پذیرش کلی) در چهارچوب آزمون هدونیک پنج نقطه‌ای (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب معادل خیلی بد، بد، متوسط، خوب و خیلی خوب) توسط ۲۰ ارزیاب (در محدوده سنی ۴۸-۲۳ سال) ارزیابی شد. بنابراین، حداقل امتیاز کسب شده برای هر صفت حسی ۱ و حداکثر امتیاز ۵ بود. نمونه‌های تهیه شده پس از بسته‌بندی و کدگذاری (به صورت شماره‌های سه رقمی تصادفی) در یخچال نگهداری شدند. روز بعد، نمونه‌ها پس از خروج از یخچال (۵ درجه سانتی‌گراد) در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند تا مطابق برگه نظرخواهی نمونه‌های شیرکاکائو را از لحاظ ویژگی‌های حسی مورد نظر مورد ارزیابی قرار دهند. سپس میانگین امتیازات حاصل برای هر یک از صفات حسی محاسبه و با استفاده از روش مقایسه‌ی چند دامنه‌ای دانکن میزان معنی‌دار بودن اختلاف بین نمونه‌ها تعیین شد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ Clark, 2009; Azarikia & Abbasi, 2010).

#### تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به طراحی پژوهش (فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی)، برای ارزیابی آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS 16.0 (SPSS Inc.) استفاده گردید. در رابطه با اندازه‌گیری اندازه ذرات کاکائو، با انتخاب ۳۰ ذره کاکائو به‌طور تصادفی برای هر یک از حالت‌های مختلف شدت، زمان و دما و محاسبه میانگین اندازه ذرات، با استفاده از روش مقایسه‌ی چند دامنه‌ای دانکن میزان معنی‌دار بودن اختلاف بین نمونه‌ها تعیین شد. به علاوه رسم نمودار با نرم افزار S-PLUS انجام گرفت. در ضمن، اغلب آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردیدند.

#### نتایج و بحث

##### تأثیر تیمارهای مختلف روی اندازه ذرات کاکائو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه شدت، زمان و دما در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. بنابراین، در ادامه این

دمای نمونه‌ها با حس گر حرارتی کنترل و جهت تنظیم دما از حمام آب سرد و یخ استفاده شد. پس از اتمام تیمار، نمونه‌ها تا  $8^{\circ}\text{C}$  سرد شدند.

#### بررسی‌های میکروسکوپی

به منظور بررسی ریزساختار نمونه‌های شیر کاکائو و تهیه عکس‌های میکروسکوپی از میکروسکوپ نوری Olympus (مدل Provis) مجهز به دوربین دیجیتالی Olympus (مدل DP12) ساخت کشور آمریکا استفاده شد. این دستگاه با استفاده از نرم افزار Olysia bioreport امکان بزرگنمایی ذره تا ۲۰۰۰ برابر را دارد. پس از ریختن ۱۰ میکرولیتر از نمونه روی لام و قرار دادن لام روی نمونه، از بزرگنمایی ۱۰۰۰ ( $\times 100$  عدسی شیئی) برای بررسی اندازه ذرات کاکائو استفاده شد (Ertugay & Sengul, 2004).

#### اندازه‌گیری رنگ

رنگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج Hunter Lab مدل Colorflex 4510 ساخت آمریکا ارزیابی شد. بعد از کالیبره کردن دستگاه، نمونه‌های شیرکاکائو در ظرف مخصوص دستگاه ریخته شد به گونه‌ای که کمی بالاتر از واشر داخل ظرف قرارگیرد و پس از قرار دادن درب‌پوش ظرف، سه شاخص  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  از روی صفحه نمایش گر دستگاه خوانده شد. در این روش، شاخص  $L^*$  عددی بین ۰ تا ۱۰۰ (نشان‌گر سیاهی تا سفیدی نمونه)، شاخص  $a^*$  عددی بین ۱۰۰- تا ۱۰۰+ (قرمز، -؛ سبز، +) و شاخص  $b^*$  عددی بین ۱۰۰- تا ۱۰۰+ (زرد، -؛ آبی، +) بود. تغییرات کلی رنگ ( $\Delta E^*$ ) نیز به کمک فرمول زیر محاسبه شد (آذری و همکاران، ۱۳۸۷).

(۱)

$$\Delta E^* = \left[ \left( \frac{L^*_{\text{نمونه}} - L^*_{\text{استاندارد}}}{L^*_{\text{استاندارد}}} \right)^2 + \left( \frac{a^*_{\text{نمونه}} - a^*_{\text{استاندارد}}}{a^*_{\text{استاندارد}}} \right)^2 + \left( \frac{b^*_{\text{نمونه}} - b^*_{\text{استاندارد}}}{b^*_{\text{استاندارد}}} \right)^2 \right]^{1/5}$$

$$L^*_{\text{استاندارد}}: 92/23 \quad a^*_{\text{استاندارد}}: -1/29 \quad b^*_{\text{استاندارد}}: 1/19$$

#### اندازه‌گیری گرانبوی

گرانبوی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه گرانبوی‌سنج برنامه‌پذیر بروکفیلد مدل Brookfield Engineering RVDV-II+ (Laboratories. Inc. USA) و دوک شماره ۲ اندازه‌گیری شد. در ابتدا مقداری نمونه، تا رسیدن به خط نشانه دوک، درون بشر ۶۰۰ میلی‌لیتری (DURAN (Schott)) منتقل شد. سپس گرانبوی هر یک از نمونه‌ها در شرایط دمایی  $1 \pm 20$  درجه سانتی‌گراد و سرعت‌های چرخشی مختلف (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۳۵، ۱۴۰، ۱۵۰، ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰) بر حسب mPa.s اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری گرانبوی در کلیه تیمارها ۳ بار تکرار شدند و میانگین داده‌ها مبنای بررسی و گزارش‌ها قرار گرفتند (عباسی و رحیمی، ۱۳۸۴؛ فروغی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۶). در ضمن، با

جدول ۱- تجزیه واریانس اندازه ذرات کاکائو بر اساس عامل‌های شدت، زمان و دما

میانگین مربعات		
شاخص‌ها	درجه آزادی	اندازه ذرات کاکائو (میلی‌متر)
شدت	۲	۲۰۲/۵۷**
زمان	۲	۴۸/۹۱**
دما	۲	۱۱۹/۸۱**
شدت* زمان	۴	۳/۹۲**
شدت* دما	۴	۲/۵۰*
زمان* دما	۴	۰/۶۵ <sup>ns</sup>
شدت* زمان* دما	۸	۱/۹۲*

علائم \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح ۵ ( $p < 0.05$ ) و ۱ درصد ( $p < 0.01$ ) می‌باشند. ns یعنی در اختلاف‌ها در سطح ۵ درصد نیز معنادار نیست.

نسبت به زمان‌های ۲ و ۶ دقیقه دارد و در این مدت زمان (منظور ۱۰ دقیقه) اندازه ذرات کاکائو کوچکتر از زمان‌های دیگر است. در بررسی شدت‌های دیگر نیز همین نتیجه مشاهده شد (جدول ۲). در بررسی اثر ساده زمان در سطوح مختلف نیز مشاهده شد که با افزایش مدت زمان تیمار با فراصوت، اندازه ذرات کاکائو کاهش یافت. دلیل این امر، شاید مشابه اثر شدت باشد. با این توضیح که با افزایش زمان به علت افزایش طول مدت اثرات گفته شده، کاهش بیشتری در اندازه ذرات کاکائو دیده شد.

ج- بررسی اثر ساده دما در سطوح مختلف شدت و زمان: با افزایش دما در زمان ثابت ۱۰ دقیقه و غلظت ۰/۰۲۰ درصد کاراگینان، اندازه ذرات کاکائو کاهش یافت. به طوری که اندازه ذرات کاکائو از ۴/۳۱ میلی‌متر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ۲/۹۸ میلی‌متر در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد رسید. این روند در زمان‌های دیگر نیز مشاهده شد (جدول ۲). در رابطه با اثر ساده دما در سطوح مختلف هم مشاهده می‌شود که اندازه ذرات کاکائو با افزایش دما کوچک‌تر شد که این امر احتمالاً بخشی به خاطر کاهش گرانیروی شیر کاکائو در دماهای بالاتر و بخشی مربوط به اثر دما روی نرم‌تر شدن پودر کاکائو و در نهایت شکسته شدن آسان‌تر آن‌ها باشد.

شکل ۱ تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های شیر کاکائوی تیمار شده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد را در شدت و زمان‌های مختلف در غلظت ۰/۰۲ درصد کاپا-کاراگینان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش شدت و زمان تیمار با فراصوت، اندازه ذرات کاکائو کوچک‌تر می‌شود.

بررسی به دلیل معنی‌دار بودن اثرات متقابل، اثرات اصلی شدت، زمان و دما مورد بحث قرار نگرفت (جدول ۱).

الف- بررسی اثر ساده شدت در سطوح مختلف زمان و دما: همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول ۲) با افزایش شدت، اندازه ذرات کاکائو کاهش می‌یابد و در شدت ۱۰۰ درصد کوچکتر از شدت‌های ۲۰ و ۶۰ درصد می‌باشد. در بررسی اثر ساده شدت فراصوت در سطوح مختلف ملاحظه شد که با افزایش شدت فراصوت، اندازه ذرات کاکائو کاهش یافت. دلیل این تاثیر همان‌گونه که در مقدمه نیز گفته شد پدیده حفره‌گی و گرمای موضعی شدید و فشار بالای حاصل از متلاشی شدن حباب‌های کواپتاسیون است که این تنش‌ها و از هم پاشیدن مکرر حباب‌ها موجب حرکت سریع جریان مایع به سمت ذرات پودر کاکائو شده و مقاومت آن‌ها در برابر جریان مایع، منجر به آسیب به دیوار ذرات می‌شود. در نتیجه، این آسیب‌های شدید تنش‌های مکانی و زودگذری را بر سطح ذرات جامد کاکائو تولید و به قطعه قطعه شدن ذرات می‌انجامد (Sun, 2005). در ضمن، طبق قانون Stokes ذرات کوچک‌تر مدت زمان طولانی‌تری قادر به معلق ماندن در شیر می‌باشند. به همین دلیل، اعمال تیمار فراصوت باعث افزایش پایداری و یا به عبارت دیگر کاهش میزان رسوب و دو فاز شدن در شیر کاکائو شد. نتایج این تحقیق موید مطالعات قبلی در رابطه با اثر فراصوت روی اندازه گویچه‌های چربی در شیر گاو و شیر سویا می‌باشد (Ertugay & Sengul, 2004; Bosiljkov et al., 2009).

ب- بررسی اثر ساده زمان در سطوح مختلف شدت و دما: با توجه به مقایسه میانگین اندازه ذرات کاکائو در شدت ۱۰۰ درصد و ۰/۰۲۰ درصد کاراگینان، مشاهده می‌شود که زمان ۱۰ دقیقه تاثیر بیشتری

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل دما، زمان و شدت در غلظت ثابت ۰/۰۲۰ درصد کاراگینان بر اندازه ذرات کاکائو در شیر کاکائوی کم چرب

اندازه ذرات کاکائو (میکرون) (میلی‌متر)	شدت (درصد)	زمان (دقیقه) (دقیقه)	دما (°C)
۶/۳۲ ± ۱/۰۵ <sup>b</sup>	۲۰		
۶/۲۴ ± ۱/۱۰ <sup>b</sup>	۶۰	۲	
۵/۰۹ ± ۰/۹۲ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۶/۲۳ ± ۱/۰۲ <sup>c</sup>	۲۰		۲۵
۵/۳۸ ± ۰/۹۰ <sup>b</sup>	۶۰	۶	
۴/۲۶ ± ۰/۹۹ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۶/۱۷ ± ۰/۶۹ <sup>c</sup>	۲۰		۴۵
۴/۹۳ ± ۰/۹۴ <sup>b</sup>	۶۰	۱۰	
۴/۳۱ ± ۰/۸۱ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۶/۱۹ ± ۱/۱۸ <sup>b</sup>	۲۰		۶۵
۵/۸۴ ± ۰/۹۳ <sup>b</sup>	۶۰	۲	
۴/۵۵ ± ۰/۸۰ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۶/۱۰ ± ۱/۱۹ <sup>b</sup>	۲۰		۶۵
۴/۳۸ ± ۱/۰۴ <sup>a</sup>	۶۰	۶	
۴/۰۳ ± ۰/۸۴ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۵/۹۰ ± ۰/۷۱ <sup>c</sup>	۲۰		۶۵
۴/۳۵ ± ۰/۸۸ <sup>b</sup>	۶۰	۱۰	
۳/۵۰ ± ۰/۷۵ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۵/۳۱ ± ۱/۰۱ <sup>c</sup>	۲۰		۶۵
۴/۵۵ ± ۰/۷۲ <sup>b</sup>	۶۰	۲	
۳/۷۵ ± ۰/۵۵ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۴/۹۰ ± ۰/۷۶ <sup>c</sup>	۲۰		۶۵
۴/۰۶ ± ۰/۶۷ <sup>b</sup>	۶۰	۶	
۳/۳۷ ± ۰/۷۳ <sup>a</sup>	۱۰۰		
۴/۳۶ ± ۰/۵۷ <sup>b</sup>	۲۰		۶۵
۳/۸۲ ± ۱/۱۳ <sup>b</sup>	۶۰	۱۰	
۲/۹۸ ± ۱/۲۸ <sup>a</sup>	۱۰۰		

حروف مختلف در هر بخش نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح (p < ۰/۰۵) می‌باشد

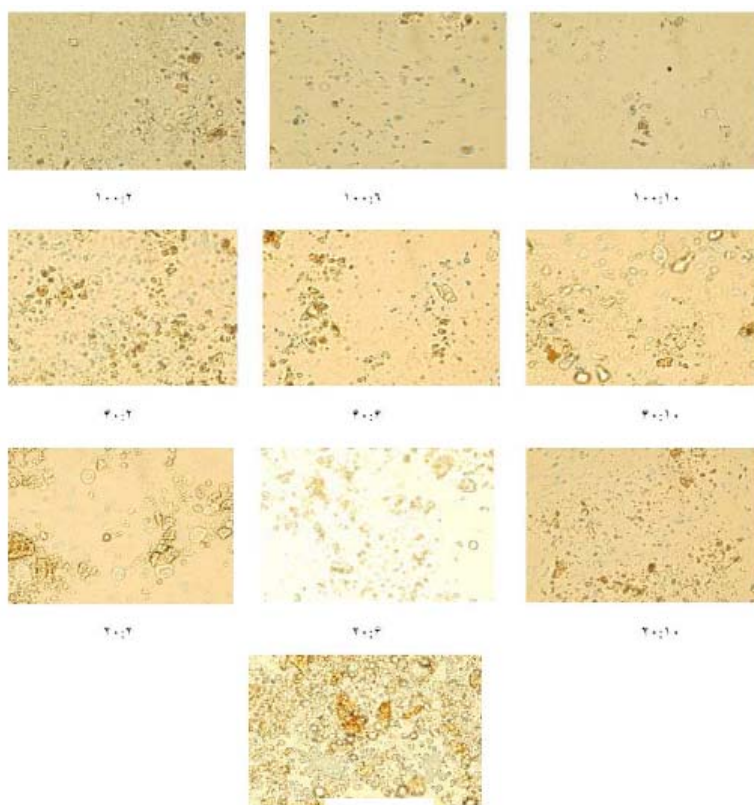
است که علاوه بر آن، در بازه‌ی کوچک‌تر و نرمال‌تری قرار دارند. نتایج این مدل با تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ نوری (شکل ۲) مطابقت دارند.

#### تاثیر ترکیبی تیمارها روی شاخص‌های رنگ شیر کاکائو

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت ضریب  $L^*$  بالاتری نسبت به نمونه شاهد دارند و با افزایش زمان و شدت این ضریب افزایش می‌یابد.

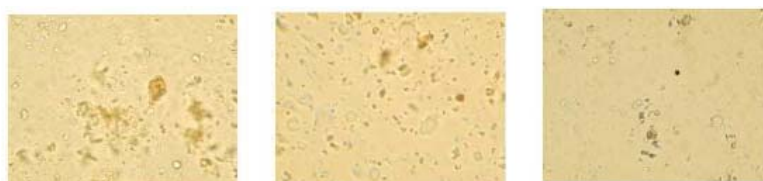
بررسی تاثیر دماهای مختلف اعمال امواج فراصوت بر اندازه ذرات کاکائو در شدت ۱۰۰ درصد، مدت زمان ۱۰ دقیقه و ۰/۰۲ درصد کاپا-کاراگینان، در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود با افزایش دما از ۲۵ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد، اندازه ذرات کاکائو کوچک‌تر شده و به صورت همگن‌تری در شیر کاکائو پراکنده شده‌اند (شکل ۲).

همان‌طور که در شکل ۳ نیز ملاحظه می‌شود، تعداد بیشتری از ذرات کاکائو تیمار شده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد، در محدوده ۰-۶ میکرومتر (میکرون) قرار دارند. یعنی دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دو دمای دیگر، ذرات کوچک‌تری از کاکائو را ایجاد کرده



شاهد

شکل ۱- تصاویر ریزساختاری (بزرگنمایی چشمی: ۱۰۰\*) نمونه‌های شیر کاکائو تیمار شده در شدت و زمان‌های مختلف (نقاط قهوه‌ای نشان‌دهنده ذرات کاکائو می‌باشند)



الف

ب

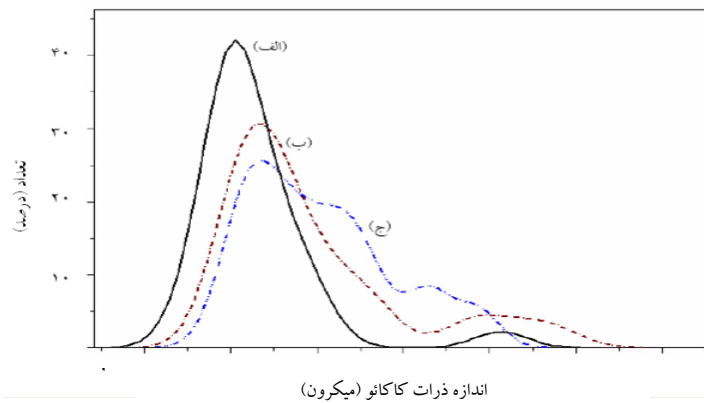
ج

شکل ۲- تاثیر دماهای مختلف (الف) ۲۵ درجه سانتی‌گراد، (ب) ۴۵ درجه سانتی‌گراد و (ج) ۶۵ درجه سانتی‌گراد. روی اندازه ذرات پودر کاکائو در شیر کاکائوی تیمار شده با فراصوت در شدت ۱۰۰ درصد، مدت زمان ۱۰ دقیقه.

ساختار گویچه‌های چربی در شیر پس از تیمار حرارت-فراصوت گزارش کردند که ضریب  $L^*$  (روشنی رنگ) بعد از تیمار حرارت-فراصوت به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه بدون اعمال حرارت و امواج فراصوت بود.

هم‌چنین،  $\Delta E^*$  (تغییرات کلی رنگ) در نمونه تیمار شده با امواج فراصوت بالاتر از نمونه شیر خام و شیر حرارت دیده بود. ایشان همگن‌سازی بهتر گویچه‌های چرب توسط امواج فراصوت را دلیل افزایش این ضریب عنوان کردند.

به همین دلیل در نگاه اول، نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت نسبت به نمونه شاهد سفیدتر به نظر می‌رسیدند. دلیل آن را احتمالاً می‌توان به همگن‌سازی بهتر نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت و شکسته شدن گویچه‌های چربی و ذرات کاکائو نسبت داد. چرا که در رابطه با شیر عنوان شده که اندازه گویچه‌های چربی، توزیع اندازه پروتئین‌های شیر، بروز واکنش مایلارد، دنا تورا سیون و انعقاد پروتئین‌های سرمی از جمله عوامل موثر در رنگ شیر می‌باشند. در همین ارتباط، Bermudez-Aguiarre و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی



شکل ۳- تاثیر دماهای مختلف (الف) ۶۵ ، (ب) ۴۵ و (ج) ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی توزیع اندازه ذرات کاکائو در شیر کاکائو تیمار شده با فراصوت (شدت ۱۰۰ درصد و مدت زمان ۱۰ دقیقه).

نمونه با شدت ۱۰۰ درصد و زمان ۱۰ دقیقه دیده می‌شود (جدول ۳). همانطور که مشاهده شد نمونه شاهد دارای ضریب  $a^*$  بالاتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت بود که دلیل آن احتمالاً به اندازه ذرات کاکائو مربوط می‌باشد. احتمالاً این ذرات به علت چگالی بالاتر در حین اندازه‌گیری رنگ رسوب کرده و سبب افزایش رنگ قرمز در نمونه شاهد شده‌اند. در نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت، با افزایش شدت و زمان، به دلیل کوچک‌تر شدن و پراکندگی بهتر ذرات کاکائو در شیر کاکائو، این ضریب افزایش می‌یابد.

#### تاثیر ترکیبی تیمارها بر گرانی و شیر کاکائو

تاثیر سرعت چرخشی (۰/۲ تا ۲۰۰ دور بر دقیقه) بر گرانی و پنج نمونه نهایی در شکل ۴ الف نشان داده شده است.

زیرا با کوچک‌تر شدن ذرات چربی پراکنش نور افزایش می‌یابد و این تغییر منجر به افزایش ضریب  $L^*$  و  $\Delta E^*$  می‌گردد (۲۴). در تحقیقی دیگر که توسط Riener و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد ماست فراوری شده با امواج فراصوت ضریب  $L^*$  بالاتر و ضریب  $a^*$  پایین‌تری نسبت به ماست تولیدی با روش حرارتی داشت. ایشان بیان کردند که چون با فراوری شیر توسط امواج فراصوت در دمای پایین‌تر، واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی کمتر ایجاد می‌شود از این رو ضریب  $L^*$  افزایش می‌یابد.

در ضمن نمونه شاهد دارای ضریب  $a^*$  بالاتری بود و با افزایش شدت، زمان و غلظت کاراگینان این مقدار افزایش یافت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در سطح ۹۵ درصد نیز اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها در ضریب  $b^*$  نشان نداد. همچنین، همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان و شدت تیمار با فراصوت، اختلاف رنگ افزایش می‌یابد و بیشترین اختلاف رنگ ( $\Delta E^*$ ) بین نمونه شاهد و

جدول ۳- تاثیر شرایط مختلف تیمار با امواج فراصوت بر برخی شاخص‌های رنگ شیر کاکائو کم چرب

$\Delta E^*$	$b^*$	$a^*$	$L^*$	پارامتر
				شماره نمونه
---	۱۰/۳۷ <sup>a</sup>	۹/۸۵ <sup>c</sup>	۴۲/۶۷ <sup>a</sup>	شاهد (۰/۰۲۰)
۳/۷۹ <sup>a</sup>	۱۰/۲۴ <sup>a</sup>	۹/۳۰ <sup>ab</sup>	۴۶/۴۶ <sup>bc</sup>	۱۰۰:۰۶:۰/۰۲۰
۵/۸۲ <sup>b</sup>	۹/۸۳ <sup>a</sup>	۹/۶۵ <sup>bc</sup>	۴۸/۵۹ <sup>bc</sup>	۱۰۰:۱۰:۰/۰۲۰
۳/۴۲ <sup>a</sup>	۹/۹۷ <sup>a</sup>	۹/۲۶ <sup>a</sup>	۴۶/۰۱ <sup>b</sup>	۶۰:۱۰:۰/۰۲۰
۶/۵۱ <sup>c</sup>	۹/۷۴ <sup>a</sup>	۹/۴۴ <sup>ab</sup>	۴۹/۲۴ <sup>c</sup>	۱۰۰:۱۰:۰/۰۱۵

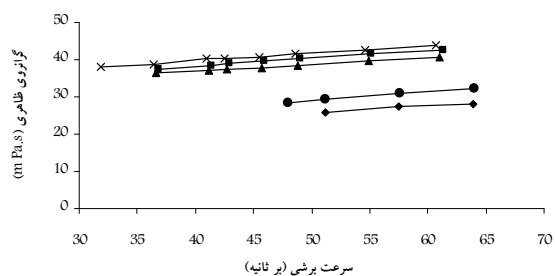
حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند.

(۲۰۰۹a) نیز افزایش گرانبوی ماست تولیدی با شیر تیمار شده با امواج فراصوت را گزارش کردند. در رابطه با تاثیر امواج فراصوت روی افزایش گرانبوی ایزوله پروتئین آب پنیر (WPI) و کنسانتره پروتئین آب پنیر (WPC) نیز گفته شده که احتمالا تغییر ساختار پروتئین، قرارگیری گروه‌های آب دوست در سطح، افزایش قابلیت انحلال، دناتوراسیون پروتئین‌های سرمی شیر، و برهم‌کنش بهتر بین این ذرات منجر به افزایش گرانبوی می‌شود (Ahmed et al., 2010).

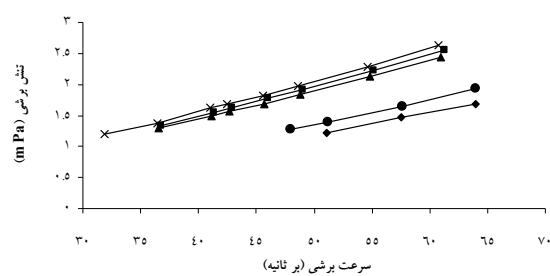
اصولا با در دست داشتن مقدار گشتاور و گرانبوی مربوط به هر سرعت چرخشی، می‌توان با کمک فرمول‌های ریاضی مقادیر تنش برشی و سرعت برشی را محاسبه کرد (Mitschka, 1982). که نتایج آن در شکل ۴ ب نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این نمودارها از معادله درجه اول تبعیت می‌کنند.

تاثیر سرعت چرخشی بر گرانبوی نمونه تیمار شده با امواج فراصوت در شدت ۱۰۰ درصد، زمان ۱۰ دقیقه و غلظت کاراگینان ۰/۰۲۰ درصد، در سه دمای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه تیمار شده در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد گرانبوی بالاتری در تمام سطوح سرعت چرخشی نسبت به دو دمای دیگر دارد. احتمالا دلیل این رفتار متفاوت در دامنه‌های دمایی مختلف، تشکیل ریز ساختار نسبتا پیوسته و مستحکم در دمای ۴۵ درجه نسبت به دمای ۲۵ درجه و شاید سستی بیش از حد این ساختار در دمای ۶۵ درجه حتی نسبت به دماهای ۲۵ و ۴۵ درجه باشد. همان‌طور که در نتایج این بررسی مشاهده شد، نمونه‌های تیمار شده در دمای ثابت ۴۵ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب نمونه‌های ۱۰۰:۱۰، ۶۰:۱۰ و ۱۰۰:۶۰ گرانبوی بالاتری داشتند در حالی که بعد از اندازه‌گیری حجم فازهای شیری و کاکائویی بعد از ۳۰ روز نگهداری در دمای یخچال، نمونه ۱۰۰:۱۰ فاز شیری کمتر و فاز کاکائویی بیشتری داشت.

میزان گرانبوی تمام نمونه‌ها با افزایش سرعت چرخشی، افزایش محسوسی نیافت و نمونه‌ها رفتار نیوتنی داشتند. در پژوهش‌های گذشته نیز به افزایش گرانبوی در اثر افزودن هیدروکلوئیدها و رفتار نیوتنی در شیر کاکائو اشاره شده است (Yanes et al., 2002). همچنین، گرانبوی نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت بالاتر از نمونه شاهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های حاوی ۰/۰۲۰ درصد کاراگینان تیمار شده با امواج فراصوت گرانبوی بالاتری نسبت به نمونه تیمار شده با امواج فراصوت در غلظت ۰/۰۱۵ درصد کاراگینان دارند و بین نمونه‌ها با غلظت ۰/۰۲۰ درصد کاراگینان، به ترتیب نمونه‌های تیمار شده در شرایط ۶۰:۱۰، ۱۰۰:۱۰ و ۱۰۰:۶۰ گرانبوی بالاتری داشتند. احتمالا، دلیل پایین‌تر بودن گرانبوی شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت کوچک شدن ذرات کاکائو و زنجیره پلی‌ساکاریدی کاپا-کاراگینان توسط امواج فراصوت می‌باشد، که منجر به برهم‌کنش بهتر کاراگینان، ذرات کاکائو و میسل‌های کازئین شده است. علاوه بر این، با کوچک‌تر شدن ذرات کاکائو توسط امواج فراصوت، این ذرات به طور بهتری در شبکه کاراگینان پراکنده می‌شوند از این رو نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت گرانبوی بالاتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. اصولا در مایعات بسیار غلیظ، گرچه امواج فراصوت بسته به شدت سبب کاهش گرانبوی می‌شود ولی اندازه ذرات و اثر متقابل ذرات نیز نقش مهمی در گرانبوی دارند. به‌طوری که معمولا با کاهش اندازه ذرات گرانبوی کاهش ولی با رسیدن به اندازه مشخصی، به دلیل افزایش ذرات کوچک و یا افزایش برهم‌کنش بین این ذرات، گرانبوی شروع به افزایش می‌کند (Soria & Villamiel, 2010). Wu و همکاران (۲۰۰۱) نیز در بررسی خود مشاهده کردند که افزایش شدت و زمان اعمال امواج فراصوت بر شیر، به دلیل ایجاد اختلال در ساختار سوم و چهارم میسل کازئین، افزایش کازئین در دسترس و ایجاد شبکه قویتر منجر به افزایش گرانبوی در ماست گردید. Riener و همکاران



الف



ب

شکل ۴- نمایش ارتباط الف) سرعت چرخشی و تنش برشی نمونه‌های شیر کاکائو (♦ نمونه شاهد، ۱۰۰:۲۰؛

▲، ۱۰۰:۶۰؛ ۱۰۰:۱۰؛ ● ۱۰۰:۱۰ و ○ ۱۰۰:۱۵)



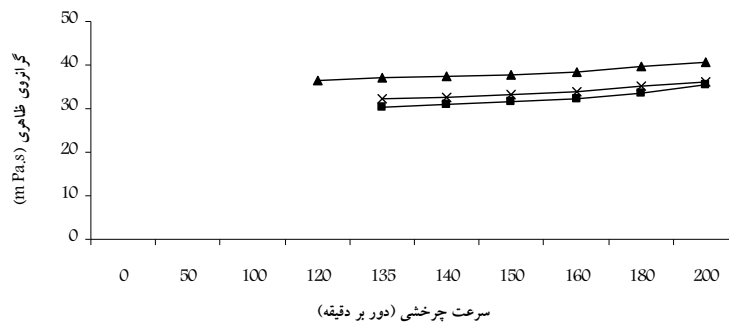
مختلف به همراه نمونه شاهد (تیمار نشده) مورد آزمون حسی قرار گرفت، که نتایج حاصل از ارزیابی حسی در جدول ۴ آورده شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود مقایسه‌ی میانگین امتیازات کسب شده برای صفات طعم و مزه، قوام، رنگ و پذیرش کلی حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌ها و نمونه شاهد است ( $p < 0.05$ ).

در ارزیابی نمونه‌های شیر کاکائو توسط ارزیاب‌ها، وجود طعم لاستیکی در نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت گزارش شد و همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود نمونه شاهد بالاترین امتیاز را داراست و بعد از آن نمونه ۶۰:۱۰ قرار دارد و کمترین امتیاز مربوط به نمونه ۱۰۰:۱۰ می‌باشد. در ارتباط با دلیل ایجاد طعم لاستیکی در شیر فراوری شده با فراصوت، Riener و همکاران (۲۰۰۹b) با استفاده از کروماتوگرافی گازی، ترکیبات فرار شیر فرآوری شده با امواج فراصوت را بررسی کردند. نتایج کروماتوگرافی گازی وجود ترکیبات بنزن، تولوئن، ۵-متیل ۱ و ۳ سیکلوپنتادین و ۱ و ۳-بوتادین را نشان داد. به گفته این محققین وجود این ترکیبات سبب ایجاد طعم لاستیکی در شیر می‌شود. احتمالاً به همین دلیل در شیر کاکائوهای تولید شده در بررسی حاضر نیز طعم لاستیکی توسط ارزیاب‌ها گزارش شد که این موضوع یکی از محدودیت‌های استفاده از این روش برای فراوری چنین فرآورده‌هایی می‌باشد.

به عبارت دیگر، نمونه ۱۰۰:۱۰ پایدارتر از نمونه‌های دیگر بود. احتمالاً دلیل این تفاوت این بود که نمونه تیمار شده در شدت ۶۰ درصد نسبت به نمونه تیمار شده در شدت ۱۰۰ درصد تحت تاثیر امواج فراصوت با شدت کمتر قرار گرفته بود، از این رو به دلیل بزرگتر بودن زنجیره پلیمری کاپا-کاراگینان و هم‌چنین ذرات چربی و کاکائو، گرانبوی بالاتری داشت. در بررسی اندازه ذرات کاکائو با میکروسکوپ نوری نیز مشخص شد که اندازه ذرات کاکائو در شدت ۶۰ درصد بزرگتر از شدت ۱۰۰ درصد می‌باشد. احتمالاً به دلیل بزرگتر بودن ذرات کاکائو در این شدت، با وجود گرانبوی بالاتر، بعد از ۳۰ روز نگهداری در دمای یخچال، پایداری کمتری داشت. در این ارتباط گزارش شده است که هرگاه اندازه ذرات از منافذ موجود در شبکه کوچک‌تر باشند به راحتی در داخل شبکه جای می‌گیرند، بدون اینکه در شبکه پارگی ایجاد کنند. اما اگر اندازه ذرات از اندازه‌ی منافذ شبکه بزرگتر باشند، شبکه را پاره کرده و سبب کاهش پایداری می‌شوند (Syrbe et al., 1998).

### تاثیر ترکیبی تیمارها روی برخی ویژگی‌های حسی شیر کاکائو

در این بخش نمونه‌های شیر کاکائو پایدار شده توسط تیمارهای



شکل ۵- تاثیر دماهای مختلف (× ۲۵ درجه سانتی‌گراد، ▲ ۴۵ درجه سانتی‌گراد و ■ ۶۵ درجه سانتی‌گراد) روی گرانبوی شیر کاکائو (۱۰۰:۱۰) در سرعت‌های چرخشی مختلف

جدول ۴- تاثیر تیمارهای مختلف فراصوت روی برخی ویژگی‌های حسی شیر کاکائو پایدار شده

ویژگی حسی	شماره نمونه	طعم و مزه (۵)	قوام (۵)	رنگ (۵)	پذیرش کلی (۵)
شاهد		۳/۶۰ <sup>b</sup>	۳/۱۵ <sup>a</sup>	۲/۶۵ <sup>a</sup>	۳/۴۵ <sup>a</sup>
۱۰۰:۶:۴۵		۲/۶۵ <sup>a</sup>	۳/۴۵ <sup>a</sup>	۴/۰۰ <sup>b</sup>	۲/۹۵ <sup>a</sup>
۱۰۰:۱۰:۴۵		۲/۵۵ <sup>a</sup>	۳/۵۰ <sup>a</sup>	۳/۹۰ <sup>b</sup>	۲/۹۰ <sup>a</sup>
۶۰:۱۰:۴۵		۳/۲۰ <sup>ab</sup>	۳/۴۰ <sup>a</sup>	۳/۴۵ <sup>ab</sup>	۳/۰۰ <sup>a</sup>
۱۰۰:۱۰:۶۵		۲/۵۰ <sup>a</sup>	۳/۲۰ <sup>a</sup>	۳/۶۵ <sup>b</sup>	۲/۹۵ <sup>a</sup>

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح ( $p < 0.05$ ) می‌باشد

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی تاثیر تیمار فراصوت بر پایداری فیزیکی، اندازه ذرات کاکائو و ویژگی‌های حسی شیرکاکائو نشان داد که با افزایش شدت و زمان اعمال امواج فراصوت، اندازه ذرات کاکائو بیشتر کاهش یافتند. اگرچه فرایند فراصوت سبب کاهش میزان رسوب در شیر کاکائو شد، اما نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت از لحاظ طعم به دلیل احساس طعم لاستیکی امتیاز کمتری نسبت به نمونه شاهد کسب کردند؛ ولی، پذیرش کلی نمونه‌های فرایند شده تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت. بهترین نمونه، شیرکاکائوی تیمار شده با امواج فراصوت در شدت ۱۰۰ درصد فراصوت، مدت زمان ۱۰ دقیقه، دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۰/۰۲ درصد کاراگینان بود که بعد از ۳۰ روز نگهداری در دمای یخچال کاملاً پایدار بود. در ضمن، نتایج این بررسی برای نخستین بار نشان داد که از توانایی انرژی فراصوت می‌توان برای کاهش اندازه ذرات بسیار سخت مانند ذرات کاکائو به‌منظور تولید شیرکاکائوی پایدار استفاده نمود. البته به‌کارگیری این روش مشکلاتی نیز داشت که به برخی از آن‌ها در متن مقاله اشاره شد.

از آنجائی که با اعمال امواج فراصوت، پلی‌ساکاریدهای جدیدی ایجاد می‌شوند که با گذشت زمان، این پلی‌ساکاریدها نیز شکسته و به دلیل کاهش وزن مولکولی میزان گرانبوی محلول کاهش می‌یابد (۳۱). لذا انتظار می‌رفت که با اعمال امواج فراصوت، با افزایش زمان و شدت، قوام نمونه‌ها تغییر یابد با این وجود، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری از لحاظ قوام توسط ارزیاب‌ها مشخص نشد. احتمالاً هر چند امواج فراصوت سبب تغییر قوام و گرانبوی نمونه‌ها شد ولی اثر آن در نمونه‌های تیمار شده به قدری کم بود (شکل ۵) که ارزیاب‌ها قادر به تشخیص این تفاوت‌ها نبودند.

از لحاظ ویژگی رنگ نیز در این تحقیق نمونه‌های شیرکاکائو تیمار شده با امواج فراصوت کم رنگ‌تر از نمونه شاهد و امتیاز بالاتری نسبت به نمونه شاهد کسب کرده بودند. همانطور که قبلاً نیز بیان شد دلیل آن احتمالاً کوچک‌تر شدن ذرات چربی و کاکائو توسط امواج فراصوت می‌باشد. با کوچک‌تر شدن ذرات چربی و کاکائو پراکنش نور افزایش می‌یابد و این تغییر منجر به افزایش ضریب  $L^*$  می‌گردد.

### منابع

- محمدی، س.، عباسی، س.، حمیدی، ز.، ۱۳۸۹، تاثیر برخی هیدروکلوئیدها روی پایداری فیزیکی، ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی مخلوط شیر-آب پرتقال، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، جلد ۵، شماره ۴، ص ۱ تا ۱۲.
- قبادی، ز.، عباسی، س.، ۱۳۸۸، امواج فراصوت: ویژگی‌ها، روش تولید و کاربردها در فرآوری مواد غذایی، فصل‌نامه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۶، شماره ۲۴، ص ۱۲ تا ۱۸.
- آذری، س.، عباسی، س.، عزیزی، م.ح.، ۱۳۸۷، تعیین کارایی دو روش تولید ریزکپسول‌های آهن و ارزیابی اثرات افزودن آن‌ها روی برخی ویژگی‌های شیر پاستوریزه، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، جلد ۴، شماره ۴، ص ۵۷ تا ۶۹.
- فروغی‌نیا، س.، عباسی، س.، حمیدی، ز.، ۱۳۸۶، تاثیر افزودن تکی و ترکیبی صوغ‌های کتیرا، ثعلب و گوار در پایداری‌سازی دوغ، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، جلد ۲، شماره ۲، ص ۱۵ تا ۲۵.
- عباسی، س.، رحیمی، س.، ۱۳۸۴، بررسی تاثیر غلظت، دما، پ هاش و سرعت چرخشی روی رفتار جریان محلول صمغ کتیرای ایرانی، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۲، شماره ۴، ص ۲۹ تا ۴۲.
- Abbasi, S., and Dickinson, E., 2004. Gelation of i-carrageenan and micellar casein mixtures under high hydrostatic pressure. *J Agric Food Chem*, 52, 1705–1714.
- Abbasi, S., and Dickinson, E., 2002. Influence of high-pressure treatment on gelation of skim milk powder + low methoxyl pectin dispersions. *High Pressure Research*, 22, 643–647.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H., Kasapis, S., and Boye, J., 2010. Novel Food Processing Effects on Rheological and Functional Properties. Taylor and Francis Group; pp. 65–98.
- Azarikia, F., and Abbasi, S., 2010. Investigation of the efficiency and mechanisms of some hydrocolloids on the stabilization of Doogh. *Food Hydrocoll*, 24, 358–363.
- Bermudez-Aguirre, D., Mawson, R., Versteeg, C., Barbosa-Canovas, G., 2009. Composition properties, physicochemical characteristics and shelf life of whole milk after thermal and thermo-sonication treatments. *J Food Quality*, 32, 283–302.
- Bermudez-Aguirre, D., Mawson, R., Barbosa, G.V., 2008. Microstructure of fat globules in whole milk after thermosonication treatment. *J Food Sci*, 73, 325–332.
- Bosiljkov, T., Brnčić, M., Tripalo, B., Karlović, S., Ukrainczyk, M., Ježek, D., 2009. Impact of ultrasound-enhanced homogenization on physical properties of soy bean milk. *Chem Eng Transaction*, 17, 1–6.

- Chambers, L.A., 1937. Sonic homogenization of milk and ice cream. *J Dairy Sci*, 20, 450–451.
- Clark, S. 2009. *The Sensory Evaluation of Dairy Products*. Springer; pp. 119–120.
- Ertugay, M.F., and Sengul, M., 2004. Effect of ultrasound treatment on milk homogenisation and particle size distribution of fat. *Turk J Vet Anim Sci*, 28, 303–308.
- Herceg, Z., Lelas, V., Jambrak, A., Muža, M., Batur, V., and Badanjak M., 2009. Mogućnost primjene ultrazvuka visokog snage u mljekarskoj industriji. *Mljekarstvo*, 59, 65–69.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., and Lee, D., 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci Technol*, 15, 261–266.
- Mazzoccoli, J.P., 2010. *Ultrasonication of polysaccharide materials [PhD dissertation]*. USA: Ohio, Case Western Reserve University.
- Mitschka, P. 1982. Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. *Rheologica Acta*, 21, 207–209.
- Patist, A., and Bates, D., 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: from the laboratory to commercial production. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 9, 147–154.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D.A., Morgan, D.J., Lyng, G.J., 2009a. The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation. *Food Chem*, 114, 905–911.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D.A., Morgan, D.J., and Lyng, G.J., 2009b. Characterization of volatile compounds generated in milk by high intensity ultrasound. *Intl Dairy J*, 19, 269–272.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D.A., Morgan, D.J., and Lyng, G.J., 2010. A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. *Food Chem*, 119, 1108–1113.
- Soria, A.C., and Villamiel, M., 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci Technol*, 21, 323–331.
- Spreer, E., and Mixa, A., 1998. *Milk and Dairy Product Technology*. Marcel Dekker, pp. 182–189.
- Sun, D.W., 2005. *Emerging Technologies for Food Processing*. Elsevier Academic Press; pp. 323–344.
- Syrbe, A., Bauer, W.J., and Klostermeyer, H., 1998. Polymer science concepts in dairy systems: an overview of milk protein and food hydrocolloid interaction. *Intl Dairy J*, 8, 179–193.
- Tornberg, E., and Lundh, G., 1978. Functional characterization of protein stabilized emulsions: standardized emulsifying procedure. *J Food Sci*, 43, 1553–1558.
- Wu, H., Hulbert, G.J., and Mount, J., 2001. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 1, 211–218.
- Yanes, M., Duran, L., and Costell, E., 2002. Rheological and optical properties of commercial chocolate milk beverages. *J Food Eng*, 51, 229–234.