علمی پژوهشی

تأثیر فراصوت حرارتی بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر نشاسته ذرت–صمغ عربی

عبدالخالق گل کار[1*]، جعفر محمدزاده میلانی[2]، علی معتمدزادگان[2]، رضا اسماعیل زاده کناری[2]

۱ دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(تاریخدریافت: ۹۸/۱۰/۲۳ تاریخپذیرش: ۹۹/۰۴/۲۸)

چکیده

فراصوت به عنوان یک روش فیزیکی جهت اصلاح خصوصیات عملکردی نشاسته به کار می‌رود. در این تحقیق به بررسی اثر فراصوت در دماهای ۲۵، ٤٥ و ٦٥°C در حضور صمغ عربی بر برخی خصوصیات رئولوژیکی خمیر نشاسته ذرت–صمغ عربی پرداخته شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما، خروج آمیلوز افزایش یافته؛ اما در حضور صمغ عربی، خروج آمیلوز کاهش نشان داد. نمونه‌های فراصوت شده میزان شفافیت کمتری نشان دادند. با افزایش دما شفافیت کاهش؛ اما در حضور صمغ عربی شفافیت افزایش یافت. تغییرات شفافیت طی دوره نگهداری، در نمونه‌های دارای صمغ عربی کمتر بود. حداقل غلظت ژل دادن در نمونه‌های فراصوت شده و حاوی صمغ عربی بالاتر بود. فرایند فراصوت حرارتی و صمغ عربی میزان ویسکوزیته حداکثر و پایانی خمیر نشاسته را کاهش دادند. نشاسته ذرت و صمغ عربی فراصوت شده در دمای ٤٥ درجه سانتیگراد، با میزان آمیلوز حداقل، تغییرات کمتر در شفافیت خمیر طی دوره نگهداری، میزان حداقل غلظت ژل دادن بالاتر و حداقل میزان ویسکوزیته نهایی خمیر به عنوان بهترین نمونه انتخاب شد. حضور صمغ عربی و دمای فراصوت از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در اصلاح خصوصیات نشاسته هستند.

کلید واژگان: نشاسته ذرت، صمغ عربی، فراصوت حرارتی، خواص، خمیری

*مسئول مکاتبات: khalegh.golkar@gmail.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

۱- مقدمه

نشاسته در بسیاری از محصولات غذایی و کاربردهای صنعتی به واسطه فراوانی زیاد و قیمت نسبتاً پایین به کار می‌رود. نشاسته قادر به ایجاد خصوصیات عملکردی مختلف در محصولات غذایی و غیر غذایی است. اکثر نشاسته‌ها در شکل معمولی خود دارای محدودیت‌هایی هستند که جهت استفاده در کاربردهای غذایی با مشکلاتی مواجه هستند.از جمله محدودیت‌های رایج در نشاسته‌های معمولی ویسکوزیته بالا در غلظت پایین (اشکال در انتقال و جابه جایی خمیر نشاسته، نداشتن حالت تغلیظ کنندگی مطلوب)، حساسیت بالا به رتروگراداسیون (کدورت ژل، سینرسیس، نداشتن پایداری انجماد-رفع انجماد) و نداشتن تحمل حرارتی در فرایند است[۱]. به همین خاطر، نشاسته‌ها معمولاً به صورت ژنتیکی، شیمیایی، فیزیکی، و یا آنزیمی اصلاح می‌گردد تا خصوصیات جدید یا بهتری بدست آورند[۲].

در سال‌های اخیر، توجهات بسیاری در استفاده از فراصوت فرکانس بالا برای پژوهش‌های اصولی در حوزه غذا و کاربردهای تجاری وجود داشته است. فراصوت فواید بسیاری در فرایند و نگهداری مواد غذایی داشته که عبارتند از: راندمان بالاتر تولید محصول، زمان فرایند کوتاه‌تر، کاهش هزینه‌های فرایند و نگهداری محصول، بهبود پارامترهای کیفی، کاهش پاتوژن‌ها و غیره. این تکنیک، نه تنها کیفیت و ایمنی مواد غذایی را بهبود داده، بلکه فرصتی را جهت تولید محصولات جدید و دارای خصوصیات ویژه فراهم می‌آورد[۳، ٤]. برای مثال، تحقیقاتی در خصوص اثر فراصوت بر بهبود خصوصیات رئولوژیکی و بافتی پنیر خامه‌ای و نیز آیران[1]در دماهای بالاتر صورت گرفته است [۵، ٦]. فراصوت به عنوان یک تکنولوژی سبز می‌تواند جهت اصلاح خصوصیات نشاسته حاصل از منابع گیاهی مختلف به کار رود[۷]. جامبراک و همکاران[2] (۲۰۱۰) اثر فراصوت با استفاده از پروب فراصوت با در شدت‌های مختلف (۳٤، ۵۵ و ۷۳ وات بر متر مربع) و زمان تیمار (۱۵ و ۳۰ دقیقه)، حمام فراصوت با شدت ۲ وات بر متر مربع و زمان‌های تیمار ۱۵ و ۳۰ دقیقه بر نشاسته ذرت را مطالعه کردند.نتایج نشان داد که تیمار فراصوت بی نظمی‌هایی در ناحیه بلورین گرانول‌های نشاسته ایجاد کرد و آنتالپی ژلاتیناسیون راهم کاهش داد. کاهش در ضریب قوام بعد از تیمار فراصوت هم گزارش شده است [۸]. هیمان و همکاران[3] (۲۰۱۳) خصوصیات خمیر نشاسته ذرت مومی و سیب زمینی مومی را در محدوده دمای ژلاتیناسیون (٦۷/۵، ۷۰ و ۷۲/۵ درجه سانتیگراد) بررسی کردند[۹]. محمد امینی و همکاران[4] (۲۰۱۵) با بررسیاثر تیمار فراصوت بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی نشاسته ذرت نشان دادند که فراصوت کردن به میزان قابل ملاحظه‌ای به دما (٦۵-۲۵ درجه سانتیگراد) و زمان تیمار (۱۵-۵ دقیقه) بستگی دارد؛ در حالی که غلظت (۲۰-۱۰ درصد وزنی/وزنی) و شدت فراصوت (۵۰ و ۱۰۰ درصد) اثر اندکی بر خصوصیات رئولوژیکی و عملکردی نشان دادند[۱۰]. سینق و همکاران[5] (۲۰۱٦) خصوصیات رئولوژیکی، حرارتی و عملکردی نشاسته تاپیوکا (۵ درصد) را در حضور صمغ عربی (۰/۱-۱ درصد) بررسی کردند و نتایج نشان داد که صمغ عربی در غلظت پایین می‌تواند به طور مؤثری خصوصیات رئولوژیکی نشاسته تاپیوکا را بهبود دهد. افزودن صمغ‌ها/هیدروکلوئیدها، خصوصیات عملکردی نشاسته را با تغییر خصوصیات ژلاتیناسیون و رئولوژیکی/ساختاری بهبود می‌دهند.این مزیت‌ها منجر به کاربرد گسترده ترکیب نشاسته و صمغ در انواع مختلف محصولات غذایی شده است[۱۱]. علاوه بر آن، تحقیقات دیگری در خصوص اثر فراصوت بر صمغ‌ها انجام گرفته است. برای مثال، ژانگ و همکاران[6] (۲۰۱۳) اثر فراصوت بر سنتیک تخریب، ساختار و خصوصیات رئولوژیکی پکتین را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که وزن مولکولی متوسط پکتین و ویسکوزیته به طور مشخصی بعد از تیمار فراصوت کاهش یافت [۱۲]. پیرس و

1. Ayran
2. Jambrak et al.
3. Heyman et al.
4.Mohammad Amini et al.
5. Singh et al.
6.Zhang et al.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]
[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

همکاران[1] (۲۰۱۵) اثر فراصوت را بر کاهش وزن مولکولی آمیلوپکتین مطالعه کردند و آن را به عنوان روشی ارزان قیمت برای کاهش وزن مولکولی گزارش کردند[۱۳]. لی و همکاران[2] (۲۰۱۷) اثر تیمار فراصوت بر وزن مولکولی و خصوصیات رئولوژیکی محلول آبی گالاکتومانان کونجاک را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که تیمار فراصوت بدون تغییرات ساختاری صمغ کونجاک، منجر به تغییرات زنجیرهای صمغ می‌گردد [۱٤]. با توجه به تحقیقات انجام شده، تاکنون اصلاح نشاسته به روش فراصوت کردن در حضور صمغ انجام نشده است. به علاوه، اکثر اصلاحات با روش پروب فراصوت صورت گرفته و تمام مطالعات برای نشاسته منابع مختلف به تنهایی بوده است. مورد دیگری که در این زمینه بسیار حائز اهمیت هستند، استفاده از تیمار دما و زمان فراصوت کردن به طور همزمان است. از اینرو، در این پژوهش قرار است اثر فراصوت کردن با حمام و حرارت به طور همزمان (ترموسونیکاسیون) بر خصوصیات فیزیکوشیمیاییو خمیری مخلوط نشاسته ذرت-صمغ عربی بررسی گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-مواد شیمیایی موردنیاز

نشاسته ذرت معمولی (S4126)از شرکت سیگما-آلدریچ[3] آمریکا و صمغ عربی از شرکت دائیجونگ[4] کره جنوبی خریداری شدند. سایر مواد مصرفی دارای خلوص آزمایشگاهی بودند.

۲-۲-مراحل انجام آزمایش

ابتدا محلول نشاسته ذرت-صمغ عربی با غلظت بیوپلیمر کل ۵ درصد وزنی/وزنی در دو نسبت نشاسته به صمغ عربی(۱۰۰ به صفر و ۹۵ به ۵)تهیه و پس از ۲٤ ساعت نگهداری در یخچال، جهت انجام تیمار فراصوت آماده سازی شدند. دمای حمام فراصوت (۲۵، ٤۵ و٦۵°C) وزمان ٦۰ دقیقهدر نظر گرفته شد. توان حمام فراصوت (Maxwell TECHNOLOGIES®, USA) ۲۷۰ وات بر سانتیمتر مربع و فرکانس ۳۰ کیلوهرتز بود. در نهایت، نمونه‌ها در خشک کن انجمادی (Heto DRYWINNER, Germany)، خشک شدند. کلیه پودر نشاسته‌های تولیدی تا زمان انجام آزمایش در ظروف در بسته و در یخچال نگهداری گردید.در جدول ۱، مشخصات نمونه‌ها ارائه شده است:

Table 1 Thermal-ultrasoundcorn starch-Arabic gumcombinations with coding

Code	Corn starch:Arabic gum ratio	Ultrasonic emperature (°C)
S25	100:0	25
S45		45
S65		65
S-G25	95:5	25
S-G45		45
S-G65		65
S	100:0	-
S-G	95:5	-

۲-۳-اندازه گیری مقدار آمیلوز

۲۰ میلی گرم نشاسته ذرت به ۱۰ سی سی هیدروکسید پتاسیم ۰/۵ نرمال اضافه شد. سوسپانسیون حاصل کاملاً مخلوط گردید و به بالن ۱۰ سی سی منتقل و به حجم رسانده شد. ۱۰ سی سی از محلول تولیدی با پیپت به یک بالن ۵۰ سی سی منتقل و ۵ سی سی اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و سپس ۰/۵ سی‌سی واکنشگر ید دار به آن اضافه گردید. بالن ۵۰ سی سی به حجم رسانده و جذب آن در ٦۲۵ نانومتر قرائت گردید. تعیین مقدار آمیلوز با استفاده از منحنی استاندارد حاصل از آمیلوز محاسبه شد[۱۵].

۲-٤-شفافیت خمیر

محلول ۱ درصد وزنی/وزنی از نمونه‌ها تهیه و بعد از حرارت دهی به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد، تا دمای اتاق سرد شدند و میزان نور عبوری از سوسپانسیون نشاسته در

1. Peres et al.
2. Li et al.
3.Sigma-Aldrich
4.Daejung

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

۶۵۰ نانومتر با اسپکتروفتومتری (UV2100, Unico, England) اندازه‌گیری شد. میزان نور عبوری از نمونه‌ها طی ٤ روز متوالی در دمای٤°C درجه سانتیگراد اندازه گیری گردید. میزان جذب قرائت شده، نشان دهنده شفافیت خمیر نشاسته است [١٦].

۲-۵- حداقل غلظت ژل دادن (LGC)

سوسپانسیون نشاسته (۵-۱۰ درصد) تهیه و بعد از حرارت دهی یک ساعته در آب جوش، تا دمای ٤ درجه سانتیگراد سرد گردید و به مدت ۲ ساعت در دمای یخچال نگهداری شدند. با وارونه کردن لوله‌ها و عدم جریان یافتن خمیر نشاسته، حداقل غلظت ژل دادن نشاسته تعیین شد[۱۷، ۱۸].

۲-٦- بررسی خصوصیات خمیری نشاسته

خصوصیات خمیری با دستگاه رئومتر (Anton-Paar, Physica MCR 301, Austria) و با استفاده از پروب مخروط و صفحه (5 cm diameter, 2° angle, 206 μ gap size) انجام شد. دمای نمونه‌ها با دقت ۰/۰۱°C و با سیستم Peltier-plate و با سیرکولاسیون فیزیکی حمام آب کنترل شد. سوسپانسیون نشاسته با غلظت ۵ درصد وزنی/وزنی تهیه شد. خصوصیات ویسکوالاستیک نمونه‌ها در مقابل دما و در روبش ۰/۵ درصد و فرکانس یک هرتز برنامه ریزی شد. ابتدا نمونه به مدت ۱ دقیقه در ۵۰°C نگه داشته شد و سپس از ۵۰ تا ۹۵°C با سرعت ۵°C/min، گرم شد و یک دقیقه در دمای ۹۵°C نگه داشته شد. در نهایت از ۹۵ تا ۵۰°C با سرعت ۵°C/min سرد شد. به منظور جلوگیری از تبخیر آب در ۹۵°C، از لایه نازکی روغن معدنی در اطراف پروب استفاده شد [۱۰، ۱۱].

۲-۷- آنالیز آماری

کلیه آزمایشات به صورت فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شده و جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آنالیز تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ با نرم افزار SAS 9.0انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اندازه گیری مقدار آمیلوز

مقدار آمیلوز نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. نشاسته ذرت معمولی دارای ۰/۲۵±۲۲/۹۲ درصد آمیلوز است؛ اما مقدار آن در حضور صمغ عربی اندکی کاهش یافت (۰/۰۰±۲۲/۵۵ درصد) و اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با نشاسته ذرت معمولی نداشت. در خصوص اثر درجه حرارت بر نشاسته ذرت تنها، نتایج نشان داد که با افزایش دما (۲۵، ٤۵ و ٦۵°C)، میزان آمیلوز افزایش معنی‌داری داشته که نمونه S45با ۰/۲۵±۲٦/۰۷ درصد بالاترین میزان آمیلوز را داشت. در خصوص نمونه‌های نشاسته حاوی صمغ عربی در تمامی دماها، میزان آمیلوز پایین‌تری از نمونه نشاسته-صمغ عربی شاهد گزارش شد و هر نمونه میزان آمیلوز پایین‌تری در مقایسه با همتای خود نشان داد (S25و S-G25به ترتیب ۰/۲۵±۲۳/۹۷ و ۰/۲۵±۲۱/٦۷ درصد). با افزایش دما در نمونه‌های حاوی صمغ عربی، میزان آمیلوز ابتدا روند کاهشی و سپس افزایش یافت. نمونه S-G45 با ۰/۷۵±۱۹/۵۷ درصد کمترین مقدار معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) را در مقایسه با سایر نمونه‌ها نشان داد. مقایسه اثر نمونه نشاسته شاهد با نمونه نشاسته‌های فراصوت شده در دماهای مختلف نشان داد که به طور کلی فراصوت در دماهای مختلف منجر به افزایش میزان آمیلوز شده است؛ اما در حضور صمغ عربی، فراصوت منجر به کاهش میزان آمیلوز در مقایسه با نمونه نشاسته ذرت-صمغ عربی شاهد شده است.

در خصوص میزان آمیلوز نمونه‌ها می‌توان بیان کرد که درجه حرارت و فراصوت به صورت ترکیبی، اثر متفاوتی بر نمونه‌های نشاسته ذرت تنها و ترکیب آن با صمغ عربی داشته است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

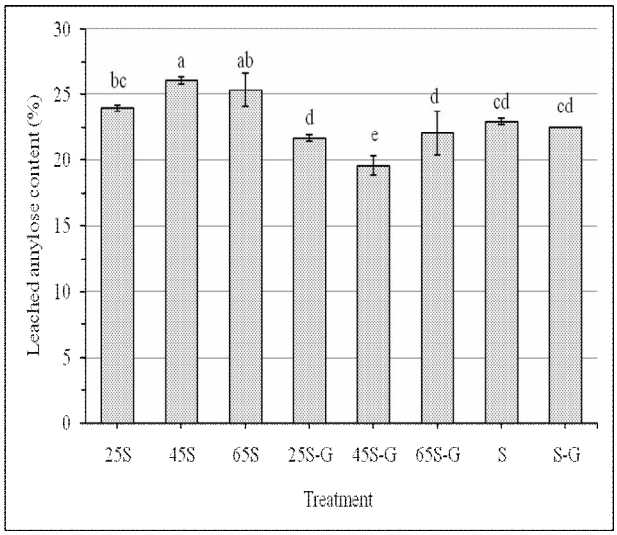

Fig 1 Leached amylose content of thermal-ultrasoundcorn starch-Arabic gum combinations
- Results are reported as mean±SD of three replications.
- Each column with the different codes indicates statistical significances at p<0.05.

کاهش میزان آمیلوز در نمونه‌های حاوی صمغ عربی در مقایسه با نمونه‌های بدون صمغ می‌تواند ناشی از اثر پوشانندگی صمغ عربی روی گرانول‌های نشاسته و همچنین برهمکنش صمغ عربی و آمیلوز باشد که منجر به کاهش میزان نشت آمیلوز شده است. همچنین، صمغ عربی ممکن است اثر تداخل کننده در اتصال محلول دارای ید با آمیلوز و کاهش اندازه گیری آن داشته باشد [۱۱].

۳-۲- شفافیت خمیر

شفافیت خمیر نشاسته به عنوان یکی از مهمترین خصوصیات عملکردی در محصولات غذایی است. نتایج شفافیت خمیرهای نشاسته در دمای ٤°C و در زمان‌های صفر، ٢٤، ٤٨ و ٩٦ ساعت در جدول ۲ نشان داده شده است. در یک بررسی کلی و با مقایسه شفافیت خمیرهای نشاسته در زمان صفر و ٩٦ ساعت می‌توان بیان کرد که در تمامی نمونه‌ها روند کاهش معنی‌دار (p<۰/۰۵) مشاهده شد؛ اما شیب این روند کاهشی در نمونه‌های مختلف متفاوت است. شفافیت در تمامی نمونه‌های نشاسته ذرت تنها و در ترکیب با صمغ عربی فراصوت شده (به جز S45) با افزایش دما، افزایش یافت. در نمونه‌های نشاسته ذرت فراصوت شده مشاهده شد که شفافیت طی زمان تا ٢٤ ساعت روند کاهشی و سپس در زمان ٤٨ ساعت روند افزایشی داشته و مجدداً کاهش یافت. در خصوص نمونه‌های حاوی نشاسته ذرت و صمغ عربی فراصوت شده، در تمامی دماها روند کاهشی مشاهده شد. مقایسه نمونه‌های نشاسته ذرت فراصوت شده با نمونه نشاسته بدون تیمار (S)، شفافیت به طور معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد کاهش یافت. در مورد نمونه‌های نشاسته ذرت حاوی صمغ عربی فراصوت شده و مقایسه آن با نمونه S-G گزارش شد که تنها در زمان صفر، نمونه S-G65 میزان شفافیت بالاتری دارد. شفافیت در نمونه‌های نشاسته ذرت حاوی صمغ عربی به مراتب در مقایسه با نشاسته تنها کمتر است.

محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که شفافیت خمیر با افزایش زمان فراصوت به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه‌های بدون تیمار شفاف‌تر هستند. به علاوه، دمای فراصوت پایین (٢٥-٤٥°C) میزان شفافیت را کمتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، روند افزایش شفافیت طی زمان برای نمونه‌های فراصوت شده با سرعت کمتری گزارش گردید [۸، ۱۷، ۱۹]. چنین روندی را جامبراک و همکاران (۲۰۱۰)، سوجکا و جامروز[1] (۲۰۱۳) و فلسفی و همکاران[2] (۲۰۱۸) هم مشاهده کردند [۱۷]. شفافیت با کاهش درجه پلیمریزاسیون نشاسته و در نتیجه شکست بخشی پیوندهای گلیکوسیدی بین واحدهای گلوکز و در نتیجه رهایش آمیلوز در ارتباط است. تعدادی از محققین این اتفاق را تأیید نموده؛ اما برخی دیگر آن را رد کرده‌اند [۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ٢٤]. افزایش شفافیت خمیر نشاسته فراصوت شده می‌تواند با افزایش حلالیت نشاسته در ارتباط باشد [۷].

1. Sujkaand Jamroz
2. Falsafi et al.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]
[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

Table2 Pasteclarity of thermal-ultrasound corn starch-Arabic gum combinations during storage

Sample	Paste clarity			
	0 h	24 h	48 h	96 h
S25	1.22±0.27^{cC}	2.42±0.03^{abA}	1.92±0.01^{cdB}	2.53±0.04^{abA}
S45	1.54±0.40^{bcB}	2.41±0.03^{abA}	2.19±0.13^{bcA}	2.53±0.01^{aA}
S65	0.37±0.05^{dC}	2.12±0.02^{efA}	1.63±0.06^{dB}	2.19±0.03^{eA}
S-G25	2.15±0.01^{aC}	2.21±0.05^{deC}	2.40±0.01^{abB}	2.51±0.01^{abcA}
S-G45	2.15±0.01^{aB}	2.06±0.02^{fC}	2.47±0.04^{abA}	2.46±0.01^{abcA}
S-G65	1.96±0.15^{abB}	2.06±0.05^{fB}	2.58±0.04^{aA}	2.35±0.07^{dA}
S	2.15±0.01^{aB}	2.25±0.09^{cdeAB}	2.31±0.20^{abAB}	2.52±0.01^{abA}
S-G	2.11±0.01^{aC}	2.23±0.09^{deBC}	2.35±0.10^{abAB}	2.50±0.01^{abcA}

- Results are reported as mean±SD of three replications.
- Each column with the different small codes and each row with large different codes indicates statistical significances at p<0.05.

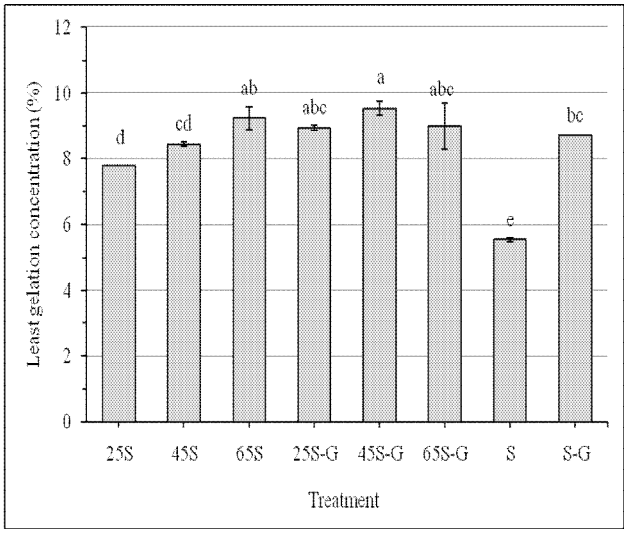

Fig 2 LGC of thermal-ultrasound corn starch-Arabic gum combinations
- Results are reported as mean±SD of three replications.
- Each column with the different codes indicates statistical significances at p<0.05.

۳-۳- حداقل غلظت ژل دادن (LGC)

مقادیر موردنیاز برای ژل دادن نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق شکل ۲، مشاهده شد که در تمامی نمونه‌های فراصوت شده (نشاسته ذرت و نشاسته ذرت صمغ- عربی) و در تمامی دماها، میزان حداقل غلظت نشاسته جهت ژل دادن افزایش یافته است. حداقل غلظت ژل دادن در نمونه‌های نشاسته ذرت فراصوت شده در مقایسه با نمونه Sبه طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) افزایش یافت؛ اما میزان افزایش در نمونه‌های نشاسته ذرت- صمغ عربی فراصوت شده، اختلاف معنی‌داری نشان نداد (بجز نمونه S-G45). مقایسه میزان حداقل غلظت ژل دادن نمونه S(۵/۵۵±۰/۰۷) و S-G (۸/۷۰±۰) نشان داد که حضور صمغ عربی باعث افزایش میزان حداقل غلظت ژل دادن شده است و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود دارد. در نمونه‌های نشاسته ذرت تنها و فراصوت شده با افزایش دما از ۲۵ به ۶۵°C، میزان حداقل غلظت ژل دادن به طور پیوسته افزایش یافت؛ اما در نمونه حاوی صمغ عربی، تا ۴۵°C افزایش و مجدداً در ۶۵°C کاهش یافت. به طور کلی، افزایش حداقل غلظت ژل دادن به معنی افزایش میزان نشاسته موردنیاز جهت تشکیل یک بافت ژله‌ای بوده که حالت جریان پذیری در ظرف نداشته باشد. سوجکا و جامروز (۲۰۱۳) گزارش کردند که حداقل غلظت ژل دادن نشاسته ذرت فراصوت شده در مقایسه با نمونه بدون فرایند بالاتر است [۱۷].

۳-۴- بررسی خصوصیات خمیری نشاسته

معمولاً خصوصیات رئولوژیکی سوسپانسیون‌های نشاسته را در برابر فرایند حرارتی بررسی می‌کنند که روبش دما دینامیک[1] نامیده می‌شود. نتایج حاصل نمودار خمیری شدن یا نمودار ویسکوزیته-دما نامیده شده است که از آن پارامترهای متعددی محاسبه می‌گردد. روند تغییرات افزایش ویسکوزیته نمونه‌ها در

1. Dynamic temperature sweep

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]
[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

شکل ۳ نشان داده شده است. در تمامی نمونه‌ها با افزایش دما، ویسکوزیته افزایش یافته و در دمای حدود ۷۵°C-۷۰ بالاترین میزان ویسکوزیته مشاهده شده است. در ادامه با افزایش دما تا ۹۵°C، ویسکوزیته اندکی کاهش یافت و سپس بعد از سرد شدن خمیر نشاسته تا ۵۰°C، مجدداً ویسکوزیته افزایش نشان داد.

این نمودار بیانگر ژلاتیناسیون نشاسته است که در مراحل ابتدایی، گرانول‌ها آب جذب می‌کنند و به حداکثر قوام می‌رسند. بعد از پارگی گرانول‌ها و خروج آمیلوز و آمیلوپکتین، کاهش ویسکوزیته مشاهده شد و در نهایت با رتروگراداسیون آمیلوز و آمیلوپکتین، مقداری از ویسکوزیته افزایش می‌یابد. بر طبق شکل ٤، مشاهده شد که نمودارهای خمیری نشاسته در نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه شاهد در ویسکوزیته پایین‌تر قرار دارد و با افزایش دما، کاهش ویسکوزیته بیشتر است. همچنین، لازم به ذکر است که کاهش ویسکوزیته در نمونه‌های نشاسته ذرت-صمغ عربی، بیشتر بود. چنین روندی در مطالعه ژو و همکاران (۲۰۰۹) برای نشاسته برنج مومی گزارش شد [۲۱]. احتمالاً صمغ عربی روی گرانول‌های نشاسته قرار گرفته و مانع تورم گرانول‌ها شده است و در نتیجه افزایش ویسکوزیته طی فرایند حرارتی را کاهش می‌دهد [۱۱].

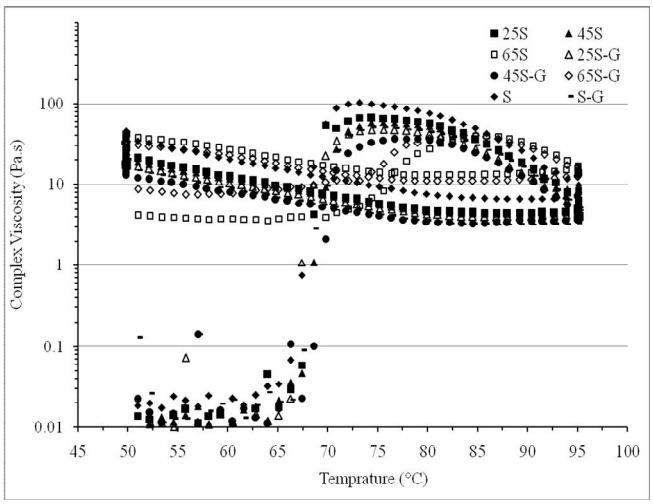

Fig 3 Pasting properties of thermal-ultrasound corn starch-Arabic gum combinations

چنین روندی برای نشاسته تاپیوکا در حضور صمغ عربی و زانتان گزارش شده است [۱۱، ۲۵]. همچنین، دلیل دیگری که در این مورد مطرح است مربوط به برهمکنش بین آمیلوزهای نشت کرده از گرانول‌ها طی فرایند حرارتی با صمغ است [۲٦]. به منظور مطالعه دقیق‌تر خصوصیات خمیری نشاسته، پارامترهای استخراج شده از نمودار برای هر یک از نمونه‌ها در جدول ۳ گزارش شده است. اثر فراصوت بر نشاسته ذرت تنها نشان داد که با افزایش دما، میزان این پارامتر هم افزایش یافت (بجز S45). چنین روندی برای نمونه‌های نشاسته ذرت-صمغ عربی هم گزارش شده است؛ اما مقدار آن در حضور صمغ عربی بالاتر از نشاسته ذرت تنها است. حضور صمغ عربی منجر به بالا بردن میزان Tsشده است؛ اما اختلاف معنی‌داری ($p>۰/۰۵$) ندارند (S و S-G). به طور کلی، میزان Tsدر نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه‌های بدون تیمار بالاتر است و با افزایش دما، هم روند افزایشی نشان داد. همچنین، در مطالعه دیگری گزارش شد که نمونه‌های فراصوت شده در ٦٥°C میزان Tsبالاتری در مقایسه با سایر نمونه‌ها دارند [۱۰].

مقایسه Tmaxنمونه‌ها نشان داد که مشابه Ts، فراصوت و صمغ عربی اثر افزایشی بر میزان این پارامتر دارند. حضور صمغ عربی در کنار نشاسته ذرت، Tmaxرا افزایش داد. در خصوص نمونه‌های حاوی نشاسته ذرت تنها و در ترکیب با صمغ عربی، با افزایش دما، میزان Tmax افزایش می‌یابد. بالارفتن این پارامتر به معنی افزایش دمای لازم برای حداکثر ویسکوزیته است. چنین روندی توسط محققین دیگری از جمله محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) برای نشاسته ذرت گزارش شد. افزایش دمای فرایند فراصوت در محدوده ۲۵ تا ۵۵°C تغییر قابل ملاحظه‌ای در Tmaxنشان نداد؛ اما نمونه‌های تیمار شده در ٦٥°C، افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان دادند.

مقایسه ویسکوزیته حداکثر نمونه‌ها نشان داد که بالاترین ویسکوزیته مربوط به نمونه نشاسته ذرت تنها با ۱۲/۰۹±۱۰۲/٤٥ پاسکال.ثانیه است و اختلاف معنی‌دار با سایر نمونه‌ها دارد. حضور صمغ عربی در کنار نشاسته ذرت و بدون تیمار باعث کاهش بیش از ۵۰ درصد ویسکوزیته خمیر نشاسته شده است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

Table 3 Pasting parameters of thermal-ultrasound corn starch-Arabic gum combinationsafter heating at 50-90 ºC

Pasting parameters					Sample
η^*_f (Pa.s)	B (Pa.s)	η^*_{max} (Pa.s)	T_{max} (ºC)	Ts (ºC)	
25.95±1.06^{cd}	61.73±7.29^{b}	67.15±7.57^{b}	73.80±0.85^{cd}	66.27±0.01^{c}	S25
23.20±2.40^{de}	51.92±1.73^{bc}	57.15±2.19^{bc}	74.36±1.63^{cd}	65.69±0.83^{c}	S45
40.75±3.75^{ab}	23.53±2.41^{f}	39.73±3.54^{cd}	85.33±0.82^{a}	70.90±0.01^{b}	S65
19.65±5.59^{de}	43.23±13.68^{cde}	48.05±14.49^{bcd}	76.10±2.40^{bc}	66.26±0.01^{c}	S-G25
14.90±3.39^{e}	32.04±6.40^{def}	36.08±7.05^{d}	77.83±0.00^{b}	67.73±0.01^{c}	S-G45
32.80±5.37^{bc}	26.77±5.20^{ef}	40.17±7.88^{cd}	84.17±0.81^{a}	73.79±0.80^{a}	S-G65
41.60±4.38^{a}	94.50±11.81^{a}	102.45±12.09^{a}	73.22±0.01^{d}	66.29±1.62^{c}	S
18.65±1.20^{de}	46.22±4.80^{bcd}	50.20±4.89^{bcd}	75.51±0.02^{bcd}	66.85±0.81^{c}	S-G

Results are reported as mean±SD of three replications.

- Each column with the different codes indicates statistical significances at $p<0.05$.

(Ts: the temperature at which complex viscosity (η*) starts toincrease suddenly; T_{max}: the temperature corresponding to maximum η^*; η^*_{max}: the value of maximum η^*; Breakdown (B): the difference between maximum and minimumη^*; η^*_f: the value of η^*at the end of test (50 ºC).)

در تمامی نمونه‌ها فراصوت حرارتی ویسکوزیته را به طور چشمگیری کاهش داده است؛ اما در نمونه‌های نشاسته ذرت تنها، ویسکوزیته به طور پیوسته و معنی‌دار کاهش یافته است. با افزایش دما از ۲۵ به ۶۵°C هم، ویسکوزیته کاهش یافت. در خصوص نمونه‌های حاوی صمغ عربی، با افزایش دما، ویسکوزیته کاهش یافت؛ اما در نمونه S-G65 مجدداً افزایش ویسکوزیته مشاهده شد. روند تغییرات ویسکوزیته نمونه‌ها طی فراصوت حرارتی در دماهای مختلف نشان می‌دهد که حضور صمغ عربی در کنار نشاسته ذرت، ویسکوزیته را به طرز متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌دهد. چنین روندی توسط محققین دیگری هم گزارش شده است [۱۰]. ژو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که ویسکوزیته حداکثر در خمیر نشاسته برنج مومی با افزایش دما تا ۶۰°C، کاهش یافته و در مقایسه با نمونه بدون فراصوت، کمتر است [۲۱]. اگرچه در مطالعه دیگری توسط یوریس و همکاران[1] (۲۰۱۷) دریافتند که ویسکوزیته نهایی خمیری نشاسته گندم در حضور پلی ساکارید *Mesonachinensis* افزایش یافت [۲۷]. ژانگ و همکاران[2] (۲۰۱۸) گزارش کردند که ویسکوزیته حداکثر نشاسته ذرت در حضور صمغ عربی، گوار و زانتان کاهش می‌یابد [۲۳]. چنین روندی برای نشاسته ذرت و صمغ دانه خرنوب هم گزارش شده است [۲۸].

مقایسه تغییرات ویسکوزیته حداکثر و حداقل خمیرهای نشاسته ذرت بعد از فراصوت حرارتی نشان داد که بالاترین اختلاف مربوط به نمونه S می‌باشد و حضور صمغ عربی این اختلاف را کاهش داده است. فراصوت حرارتی منجر به کاهش اختلاف ویسکوزیته شده است. با افزایش دما، در نمونه‌های نشاسته ذرت تنها و در حضور صمغ عربی، اختلاف ویسکوزیته حداقل و حداکثر، کاهش یافته است. همچنین، این اختلاف در نمونه‌های نشاسته حاوی صمغ عربی در مقایسه با نشاسته تنها کمتر است.

ویسکوزیته خمیرهای نشاسته در انتهای آزمون، نشان دهنده رفتار رتروگراداسیون خمیر نشاسته می‌باشد. صمغ عربی به طور معنی‌داری ($p<0.05$) تمایل به رتروگراداسیون را کاهش داده است که می‌توان از میزان کمتر ویسکوزیته خمیر نشاسته ذرت-صمغ عربی در انتهای آزمون در مقایسه با نشاسته ذرت تنها مشاهده کرد. همچنین، فراصوت حرارتی روند متفاوتی بر این پارامتر نشان داده است به گونه‌ای که تا دمای ۴۵°C روند کاهش داشته است و منجر به تأخیر در رتروگراداسیون شده است؛ اما در دمای بالاتر ۶۵°C مجدد این اتفاق تشدید شده است به گونه‌ای که در نمونه S-G65 شدیدتر هست. این در حالی است که محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) روند کاملاً نزولی در کاهش ویسکوزیته نهایی خمیر نشاسته ذرت بعد از فراصوت در دماهای مختلف گزارش کردند [۱۰]. ژو و همکاران (۲۰۰۹) روند نزولی در کاهش ویسکوزیته خمیر نشاسته برنج مومی در دمای ۶۰°C و بالاتر گزارش کردند [۲۱]. بررسی پارامترهای خمیری نشاسته نشان داد که حضور صمغ عربی و دما از جمله پارامترهای مهم و

1. Yuris et al.
2. Zhang et al.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

تأثیرگذار در خصوصیات رئولوژیکی نشاسته بعد از فراصوت می‌باشد.

٤- نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که افزایش دما منجر به افزایش خروج آمیلوز نشاسته شد؛ اما صمغ عربی اثر ممانعت کنندگی در خروج آمیلوز نشان داد. چنین روند مخالفی برای شفافیت خمیر گزارش شد به گونه‌ای که فراصوت شفافیت خمیر را کاهش داده و حضور صمغ عربی منجر به افزایش آن شد. بررسی شفافیت خمیر طی دوره نگهداری هم به اثر بازدارندگی صمغ عربی در افزایش شفافیت اشاره داشت. حداقل غلظت ژل دادن در نمونه‌های فراصوت شده در دمای بالا و در حضور صمغ عربی بیشتر بود. در مورد خصوصیات خمیر نشاسته هم به اثر قابل ملاحظه دما و حضور صمغ عربی اشاره دارد. نمونه S-G45 با میزان خروج آمیلوز حداقل، کمترین تغییرات در شفافیت خمیر طی دوره نگهداری، بالاترین میزان حداقل غلظت ژل دادنو خصوصیات خمیری نشاسته با حداقل میزان ویسکوزیته نهایی خمیر، به عنوان بهترین نمونه از بین تمامی تیمارها انتخاب شد. بررسی خصوصیات عملکردی کمپلکس‌های نشاسته ذرت-صمغ عربی، در فرمولاسیون محصولاتی که طی دوره نگهداری بیات می‌شوند از جمله کیک، نان و سایر محصولات غلاتی پیشنهاد می‌گردد. به طور کلی، خصوصیات خمیرهای نشاسته بعد از فراصوت حرارتی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و خمیری آنها در ارتباط است. در حقیقت، حضور صمغ عربی و دمای فرایند طی فراصوت از جمله پارامترهای مهم و تأثیرگذار هستند.

٥- قدردانی

بدینوسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی ساری و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به جهت حمایت‌های مالی این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

٦- منابع

[1] Bertolini A. 2010. Starch: Characterization, Properties and Applications, CRC press, New York, pp: 145-204.

[٢] Hoover R. 2010. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 50: 835–847.

[3] Patist A, Bates D. 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 9: 147–154.

[4] Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Youssef MM. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review.Food Research International. 48: 410–427.

[5] Erkaya T, Baslar M, Sengul M, Ertugay MF. 2014. Effect of thermosonication on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of ayran during storage. UltrasonicsSonochemistry. 23: 406-412.

[6] Almanza-Rubio JL, Gutierrez-Mendez N, Leal-Ramos MY, Sepulveda D, Salmeron I. 2015. Modification of the thermal and rheological properties of cream cheese using thermosonication. Journal of Food Engineering. 268: 223-230.

[7] Zhu F. 2015. Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and application of starch. Trends in Food Science and Technology. Accepted.

[8] Jambrak AR, Herceg Z, Subaric D, Babic J, Brncic M, Brncic SR, Bosiljkov T, Cvekek D, Tripalo B, Gelo J. 2010.Ultraound effect on physical properties of corn starch. Carbohydrate Polymers. 79: 91-100.

[9] Heyman B, Depypere F, Van der Meeren P, Dewettinck K. 2013. Processing of waxy starch/xantan gum mixtures within the gelatinization temperature range. Carbohydrate Polymers. 96: 560-567.

[10] Mohammad Amini A, Razavi SMA, Mortazavi SA. 2015. Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

sonicated corn starch. Carbohydrate polymers. 122: 282-292.

[11] Singh A, Gevekea DJ, Yadav MP. 2015. Improvement of rheological, thermal and functional properties of tapioca starch by using gum Arabic. LWT-Food Science and Technology. Accepted.

[12] Zhang B, Chi YJ, Li B. 2013. Effect of ultrasound treatment on the wet heating Maillard reaction between β-conglycinin and maltodextrin and on the emulsifying properties of conjugates. European Food Research and Technology. 1-10.

[13] Peres GL, Leite DC, Silveira NPD. 2015. Ultrasound effect on molecular weight reduction of amylopectin. Starch Stärke. 67: 407-414.

[14] Li J, Li B, Geng P, Song AX, Wu JY. 2017. Ultrasonic degradation kinetics and rheological profiles of a food polysaccharide (konjacglucomannan) in water. Food Hydrocolloids. 70: 14-19.

[15] Sodhi NS, Singh N. 2005. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. Journal of Food Engineering. 70: 117-127.

[16] Craig SAS, Maningar CC, Seib PA, Hoseney RC. 1989. Starch paste clarity. Cereal Chemistry. 66: 173-182.

[17] Sujka M,Jamroz J. 2013. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional properties. Food Hydrocolloids. 31: 413-419.

[18] Mirmoghtadaie L, Kadivar M, Shahedi M. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. Food Chemistry. 116: 709-713.

[19] Falsafi SR, Maghsoudlou Y, Rostamabadi H, Rostamabadi MM, Hamedi H, Hosseini SMH. 2018. Preparation of physically modified oat starch with different sonication treatments. Food Hydrocolloids. Accepted.

[20] Wu Y, Du X, Ge H, Lv Z. 2011. Preparation of microporous starch by glucoamylase and ultrasound. Starch/Starke. 63: 217–225.

[21] Zuo JY, Knoerzer K, Mawson R, Kentish S, Ashokkumar M. 2009. The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions. UltrasonicsSonochemistry. 16: 462-468.

[22] Huang Q, Li L, Fu X. 2007. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. Starch/Stärke. 59: 371–378.

[23] Zhang Y, Gu Z, Zhu L, Hong Y. 2018. Comparative study on the interaction between native corn starch and different hydrocolloids during gelatinization. International Journal of Biological Macromolecules. Accepted.

[24] Zuo YYJ, Hebraud P, Hemar Y, Ashokkumar M. 2012. Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy. UltrasonicsSonochemistry. 19: 421–426.

[25] Chaisawang M, Suphantharika M. 2006. Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. Food Hydrocolloids. 20: 641-649.

[26] Shi X, Kayacier JN. 2002. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. Carbohydrate Polymers. 50: 7-18.

[27] Yuris A, Goh KKT, Hardacre AK, Matia-Merino L. 2017. Understanding the interaction between wheat starch and Mesonachinensis polysaccharide. LWT - Food Science and Technology. Accepted.

[28] Hussain R, Singh A. Vatankhah H, Ramaswamy HS. 2017. Effects of locust bean gum on the structural and rheological properties of resistant corn starch. Journal of Food Science and Technology. 54: 650–658.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]

Effect of thermal-ultrasound on the rheological properties of corn starch-Arabic gum paste

Golkar, A. [1*], Mohammadzadeh Milani, j. [2], Motamedzadegan, A. [2], Esmaeilzadeh Kenari, R.[2]

1. PhD student of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Associate Professor of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(Received: 2020/01/13 Accepted: 2020/07/18)

Ultrasound is used as a physical method to modify the functional properties of starch. In this study, the effect of ultrasound at 25, 45 and 65°C on the some rheological properties corn starch paste in the presence of Arabic gumwas investigated. Results showed that the amylose leakage increased with increasing temperature; but in the presence of Arabic gum, amylose leakage decreased. Sonicated samples showed lower paste clarity. Clarity decreased with increasing temperature; but in the presence of gum arabic the clarity was increased. Clarity changes were lower in the presence of Arabic gum. The least gelling concentration (LGC) was higher in ultrasonic samples and also LGC was higher in the Arabic gum contained samples. Ultrasonication and Arabic gum reduced the maximum and final viscosity of starch paste. Sample sonicated at 45ºC was selected the best sample with minimum amylose content and showed the less changes clarity, higher LGC, minimum final viscosity. The presence of Arabic gum and the ultrasonic temperature are the important parameters that influenced the modification of starch properties.

Keywords: Corn starch, Arabic gum, Thermal-ultrasound, Properties, Pasting

*Corresponding Author E-Mail Address: khalegh.golkar@gmail.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.133]