



تأثیر ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین بر بافت و ساختار نشاسته تاپوکا قبل و بعد از فراصوت

کیانا پورمحمدی^{۱*}، الهه عابدی^۱، احسان شاد^۲

^۱گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فارس، ایران

^۲گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، فارس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

سابقه و هدف: نشاسته اصلاح نشده (طبیعی) کاربرد وسیعی در صنعت غذا ندارد، و به این منظور باید به‌طور فیزیکی یا شیمیایی اصلاح شود. امروزه تولیدکنندگان مواد غذایی تمایل به استفاده از نشاسته‌های اصلاح شده با ویژگی‌های مطلوب‌تر دارند. اصلاح نشاسته باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب، مقاومت به حرارت، قوام‌دهندگی و کاهش آب‌اندازی می‌شود. فراصوت، یکی از روش‌های اصلاح فیزیکی نشاسته می‌باشد که به دلیل استفاده کمتر از مواد شیمیایی، کاهش زمان فرایند و انتخاب‌پذیری بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نشاسته پری‌ژل نوعی نشاسته‌ی اصلاح شده است که از ژلاتینه شدن و خشک شدن نشاسته طبیعی بدست می‌آید. تیمار با فراصوت می‌تواند منجر به تغییر ساختار، اندازه، شکل، دانسیته، ویژگی‌های جریان‌پذیری، جذب آب و افزایش حلالیت نشاسته شود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، تأثیر نوع پلی‌ال (ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین) و غلظت (۴، ۸ و ۱۲ درصد) بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی (با میکروسکوپ الکترونی روبشی)، بافتی (با دستگاه بافت‌سنج)، مقاومت به ذوب و انجماد (میزان آب‌اندازی) نشاسته‌ی تاپوکا قبل و بعد از تیمار با فراصوت (۴۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه، در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) بررسی شد و آنالیز آماری نمونه‌های نشاسته با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 در ۳ تکرار انجام شد.

یافته‌ها: نتایج مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد تیمار فراصوت با ایجاد حفرات و منافذ در سطح گرانول نشاسته به پلی‌ال‌ها اجازه‌ی نفوذ، اتصالات و برهم‌کنش‌های بیشتر را می‌دهد. در همه‌ی نمونه‌های تیمار شده با فراصوت، به‌دلیل تخریب و باز شدن ساختار نشاسته (آمیلاز و آمیلوپکتین) و در معرض قرار گرفتن گروه‌های هیدروکسیل، پلی‌ال‌های بیشتری می‌توانند با مولکول‌های نشاسته وارد واکنش شوند (نشاسته - پلی‌ال). نتایج مربوط به بافت‌سنجی نشان داد، در همه‌ی نمونه‌ها، با افزایش غلظت پلی‌ال‌ها سفتی، پیوستگی و ارتجاع‌پذیری ژل نشاسته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این حالت مشاهده شد که افزودن پلی‌ال‌ها بعد از تیمار با فراصوت، تأثیر بیشتری نسبت به اضافه شدن آن قبل از تیمار با فراصوت، دارد. همچنین اضافه کردن پلی‌ال‌ها موجب ایجاد اتصال با مولکول‌های نشاسته و محافظت‌کنندگی از آن‌ها در شرایط انجماد می‌شود که این امر باعث کاهش قابل توجه میزان خروج آب از نشاسته تاپوکا خواهد شد. نتایج نشان داد که اضافه شدن پلی‌ال‌ها پس از تیمار با فراصوت تأثیر بیشتری در کاهش خروج آب از نشاسته تاپوکا دارد. در این رابطه، تأثیر غلظت ۱۲ درصد ایزومالت نسبت به سایر غلظت‌ها بیشتر بود.

*مسئول مکاتبه: kpourmohammadi@yahoo.com

نتیجه گیری: افزودن ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین به نشاسته‌ی تاپیوکای پری‌ژلاتینه‌شده با فراصوت، نسبت به نشاسته‌ی طبیعی به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) اثرات بیشتری بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بافتی، مقاومت به ذوب و انجماد نشاسته دارد. میزان تأثیر پلی‌ال‌ها بر این ویژگی‌ها، به‌صورت ایزومالت < ساکارز < مالتودکسترین می‌باشد، که می‌تواند به‌دلیل وجود میزان بیشتر گروه‌های هیدروکسیل محوری در ساختار ایزومالت و یا ساختار باز آن نسبت به ساختار حلقه‌ای سایر قندها باشد. همچنین افزایش غلظت قندها از ۴ تا ۱۲ درصد، بطور معنی‌داری بر ویژگی‌های بافتی و ساختاری نشاسته اثر داشت.

واژه‌های کلیدی: نشاسته تاپیوکا، قندهای پلی‌ال، پری‌ژلاتیناسیون، فراصوت، آب اندازی، حلالیت

مقدمه

نشاسته به‌عنوان پلی‌ساکارید اصلی ذخیره‌ای گیاهان، به‌دلیل ویژگی‌های عملکردی متعدد نقش مهمی در محصولات غذایی و غیر غذایی دارد. شکل‌های طبیعی و اصلاح نشده نشاسته‌ها برای برخی کاربردها نامناسب هستند؛ بنابراین ضروری است با روش‌های فیزیکی یا شیمیایی اصلاح شوند تا ویژگی‌های مطلوب آنها افزایش یابد (۱۷). مشتقات نشاسته در صنایع غذایی به‌عنوان قوام‌دهنده، عامل ژله‌ای‌کننده و عامل کپسوله‌کننده استفاده می‌شود و امروزه تولیدکنندگان مواد غذایی تمایل به استفاده از نشاسته‌های اصلاح شده با ویژگی‌های مطلوب‌تر دارند. هدف اصلی از اصلاح نشاسته افزایش ظرفیت نگهداری آب، مقاومت حرارتی، قوام‌دهندگی و کاهش آب‌اندازی می‌باشد. ویژگی‌های نشاسته‌ها را می‌توان با روش‌های مختلف آنزیمی، فیزیکی یا شیمیایی اصلاح نمود. (۱۵). فراصوت یکی از روش‌های اصلاح فیزیکی نشاسته است که به‌دلیل استفاده کمتر از مواد شیمیایی، کاهش زمان فرایند و انتخاب‌پذیری بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۱۴). به‌دلیل کاربرد گسترده نشاسته در محصولات غذایی، استفاده از نشاسته‌هایی که توانایی تحمل شرایط مختلف فرآیند را دارند و موجب حفظ کیفیت محصول می‌شوند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از انواع نشاسته‌های اصلاح شده، نشاسته پری‌ژل می‌باشد که از ژلاتینه شدن و خشک شدن نشاسته

طبیعی به‌دست می‌آید. این نشاسته به‌عنوان قوام‌دهنده برای محصولاتی که کم‌ترین فرآیند دمایی را می‌بینند، به‌کار می‌رود. تولید نشاسته پری‌ژل توسط فراصوت به‌دلیل تجزیه پیوندهای هیدروژنی و نشت آمیلوز در طی فرایند ژلاتیناسیون منجر به تغییر ساختار، اندازه، شکل، دانسیته، ویژگی‌های جریان‌پذیری، جذب آب و حلالیت نشاسته می‌شود (۳، ۴، ۱۱). در نتیجه می‌تواند روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته مانند قدرت جذب آب، حلالیت، دما - آنتالپی ژلاتیناسیون، پلی‌مریزاسیون-دپلیمریزاسیون و ویژگی‌های خمیری شدن تأثیر مهمی داشته باشد (۵، ۹، ۲۵). در پژوهش‌های متعدد، تأثیر تیمار فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حرارتی نشاسته‌ی منابع مختلف را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تخریب ساختار و شکستن پیوندهای هیدروژنی در اثر فراصوت، باعث افزایش جذب آب و حلالیت نشاسته (۲) و کاهش ویسکوزیته‌ی محلول نشاسته، وزن مولکولی و دمای ژلاتینه شدن آن (۱۰) می‌شود، همچنین ویژگی‌های مورفولوژیکی نشاسته دستخوش تغییر خواهد شد (۲، ۷). بنابراین دانستن تأثیر ترکیبات مختلف بر ویژگی‌های عملکردی نشاسته از اهمیت زیادی برخوردار است و می‌تواند تعیین‌کننده کیفیت محصول نهایی باشد. اگرچه تأثیر برخی ترکیبات مانند پروتئین‌ها، قندها، نمک‌ها، چربی‌ها و افزودنی‌ها بر نشاسته مورد بررسی قرار گرفته است ولی اطلاعات

بررسی ویژگی‌های ساختاری، بافتی و مقاومت به ذوب و انجماد نشاسته تاپوکا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

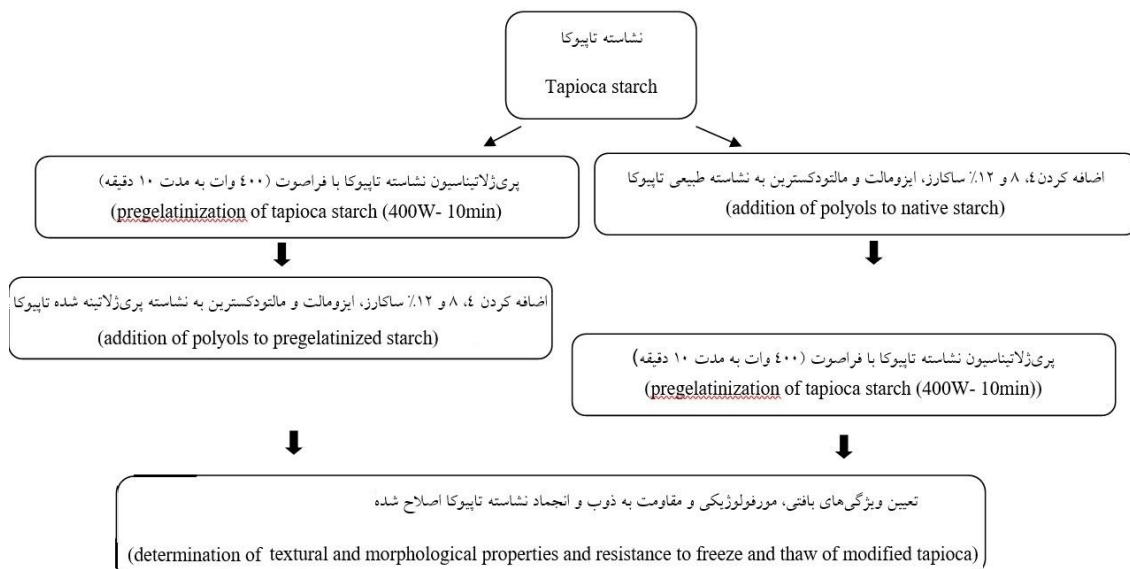
مواد اولیه: نشاسته تاپوکا حاوی ۱۳/۶۴ درصد رطوبت، ۰/۹۴ درصد چربی، ۱۱/۲۶ درصد پروتئین و ۱۸/۷۸ درصد آمیلوز از شرکت فارس خوشه‌پرداز خریداری شد. رطوبت، چربی و پروتئین به ترتیب بر اساس روش انجمن شیمیدانان غلات آمریکا^۱ (۲۰۰۰) به شماره 44-15 A، 30-10 و 46-13 و آمیلوز به روش استف و همکاران (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شدند (۱). مالتودکسترین با DE=12 و ایزومالت از شرکت فارس گلوکوزین (مرودشت، فارس) و شکر از بازار محلی خریداری شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها: مقدار ۵ گرم از نشاسته تاپوکا با ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین در غلظت‌های مختلف (۴، ۸ و ۱۲ درصد بر اساس وزن خشک نشاسته) مخلوط شده، سپس ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر جهت هیدراته شدن نمونه‌ها به مواد اضافه شد و نشاسته با غلظت ۱۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت. در این میان نمونه‌ها به دو دسته تقسیم‌بندی شدند (شکل ۱). تولید نشاسته پری‌ژلاتینه به وسیله فراصوت (هیچر، مدل UP400S، ساخت آلمان)، به روش عابدی و همکاران (۲۰۱۹ الف) انجام شد (۲). در این روش از پروب فراصوت با قطر ۲۰ میلی‌متر در ظرف با قطر ۱۸۰×۱۸۰ میلی‌متر مربع استفاده شد. روش اعمال فراصوت (۲۰ کیلوهرتز، ۴۰۰ وات) به صورت ۵ ثانیه روشن و ۵ ثانیه خاموش و تیمار نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت (شکل ۱).

در مورد اثر جایگزین‌های قند بر نشاسته‌ی پری‌ژل شده به روش فراصوت قبل و بعد از فرایند، محدود می‌باشد. محققان گزارش دادند که وجود گروه‌های هیدروکسیل در قندها، باعث ایجاد رقابت با نشاسته بر سر جذب آب می‌شود و ویژگی‌های نشاسته تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۰، ۱۱، ۲۰). در مطالعه مارتینز و همکاران (۲۰۱۷) ثابت شد که با افزایش میزان ایزومالت، تعداد گروه‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد و به دلیل قابلیت دسترسی زیاد و انعطاف‌پذیری قابل توجهی این گروه‌ها رقابت بیشتری برای جذب آب با نشاسته دارند (۱۸). ایزومالت و مالتودکسترین ترکیباتی هستند که می‌توانند جایگزین قند شوند. ایزومالت یکی از پلی‌ال‌های منحصر به فردی است که از ساکارز بدست می‌آید و کاملاً مورد تایید سازمان‌های جهانی می‌باشد. این ترکیب طی دو مرحله از ساکارز بدست می‌آید. ابتدا ساکارز طی واکنش آنزیمی به ایزومالتولوز که یک دی‌ساکارید احیاء کننده است تبدیل می‌شود، سپس ایزومالتولوز حاصله در حضور عامل احیاء کننده نیکل، هیدروژنه شده و به ایزومالت تبدیل می‌گردد (۱۸).

مالتودکسترین، محصول هیدرولیز اسیدی یا آنزیمی نشاسته است که از الیگومرها یا پلیمرهای دی-گلوکز با پیوندهای آلفا ۴→۱ تشکیل شده است. مالتودکسترین توسط سازمان غذا و داروی امریکا به عنوان چند قندی غیرشیرین مغذی معرفی شده است (۱۹).

هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی تأثیرافزودن ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین در غلظت‌های (۴، ۸ و ۱۲ درصد) به نشاسته تاپوکا قبل و بعد از فرایند پری‌ژلاتینه کردن به روش فراصوت و



شکل ۱- تهیه نمونه‌های نشاسته تاپیوکا حاوی ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین قبل و بعد از تیمار با فراصوت

Figure1- preparation of tapioca starch samples containing sucrose, isomalt and maltodextrin pre and post ultrasound treatments

سرعت ثابت ۵ میلی‌متر بر ثانیه و لودسل ۵ کیلوگرم فشرده شدند. پارامترهایی که تعیین گردید شامل سختی^۱ (بیشترین نیرو در اولین فشردگی)، پیوستگی ژل‌ها^۲ (نسبت کار فعال انجام شده در نمودار جابجایی - نیرو دوم به نمودار فشردگی اولیه، بدون بعد)، چسبندگی ژل‌ها^۳، فنریت^۴ (مسافتی که نمونه بعد از اولین فشردگی برگشت پیدا می‌کند)، صمغیت^۵ (سختی × پیوستگی)، قابلیت جویدن^۶ (سختی × پیوستگی × فنریت) بودند (۲).

میکروسکوپ الکترونی روبشی^۷: بررسی ساختار و تغییرات سطحی گرانول‌های نشاسته حاوی غلظت های ۴، ۸ و ۱۲ درصد از ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین توسط میکروسکوپ الکترونی از نوع نگاره (مدل Leica Cambridge، ساخت کشور

تعیین ویژگی‌های بافتی نشاسته‌های اصلاح شده: آنالیز بافت به کمک روش عابدی و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد (۲). برای آنالیز بافت ژل نمونه‌های نشاسته از دستگاه بافت‌سنج (مدل پلاس استیل میکروسیستم، سوری، انگلستان) استفاده شد. قطعات استوانه‌ای شکل از جنس پلاستیک فشرده با ابعاد یک در یک سانتی‌متر به عنوان قالب جهت ایجاد شکل یکنواخت برای ژل‌ها استفاده شد. نمونه‌های نشاسته حاوی غلظت‌های ۴، ۸ و ۱۲ درصد از ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین تهیه شدند. نمونه‌ها در آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت یک ساعت حرارت دیده و سپس بلافاصله به درون آب سرد ۴ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید و به مدت ۲ ساعت در این شرایط قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها درون این قالب‌ها پر شده و به مدت یک شبانه‌روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگه داشته شدند. در نهایت نمونه‌ها از درون قالب‌ها خارج شده و پس از رسیدن به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مورد آنالیز بافتی قرار گرفتند. نمونه‌ها ۲ بار تا ۳۰ درصد ارتفاع اولیه با

1. Hardness
2. Cohesiveness
3. Adhesiveness
4. Springiness
5. Gumminess
6. Chewiness
7. Scanning Electron Microscopy (SEM)

مراحل، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 22 صورت گرفت و رسم نمودارها توسط اکسل ۲۰۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر پلی‌ال‌ها بر ویژگی‌های ساختاری نشاسته تاپوکا قبل و بعد از فراصوت: تصاویر میکروسکوپ الکترونی در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، نشاسته طبیعی تاپوکا دارای شکل کروی، صاف و تجمع یافته است؛ در حالیکه با اعمال فراصوت، گرانول‌ها کوچک شده و شیار، حفرات، تخریب در سطح گرانول و پراکندگی در ساختار گرانول‌ها مشاهده می‌شود (۲، ۲۵). امواج فراصوت به صورت فیزیکی باعث تخریب و تغییر شکل گرانول‌ها می‌شوند و دلیل آن، فروپاشی حباب‌های کاویتاسیون، القای فشار برشی موضعی در سرعت بالا، توانایی شکستن زنجیره‌های پلیمری و تخریب گرانول‌ها است. ضمن اینکه تحت تأثیر امواج فراصوت، بعضی از مولکول‌های آب موجود در حباب‌های کاویتاسیون به رادیکال‌های هیدروکسیل و هیدروژن تجزیه شده و قادر هستند با مولکول‌های پلیمر نشاسته واکنش داده و باعث تخریب و تجزیه آن شوند (۲). تخریب ساختار و کاهش درجه‌ی کریستالیزاسیون نشاسته، از تأثیر فراصوت بر نشاسته می‌باشد (۸، ۱۲، ۱۶، ۲۵). شکاف‌های بوجود آمده در سطح گرانول، ساختار آن را متخلخل می‌کند و زمینه را برای نفوذ پلی‌ال‌ها به داخل گرانول و برهم‌کنش آن‌ها با ترکیبات موجود در گرانول فراهم می‌سازد (۲۲، ۲۳)؛ به عبارت دیگر، تیمار فراصوت، حفرات و منافذی در سطح گرانول ایجاد می‌کند که به پلی‌ال‌ها اجازه‌ی نفوذ بیشتر و در نتیجه برهم‌کنش‌ها و اتصالات بیشتر را می‌دهند. اندازه گرانول‌های بزرگ تاپوکا به همراه تیمار

انگلیس) صورت گرفت. به این منظور ابتدا مقدار بسیار کمی در حدود ۰/۱ گرم از نمونه با اندازه ۱۲۰-۷۵ میکرومتر بر روی پایه آلومینیومی دایره‌ای شکل چسبانده و سطح نمونه‌ها توسط دستگاه پوشش‌دهی طلا (Instruments Fisons)، ساخت کشور انگلیس) و با عبور جریان گاز آرگون با یک لایه طلا پوشانیده شد. آنگاه نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی با پتانسیل الکتریکی ۲۰ کیلو ولت و بزرگنمایی حدود ۱۰۰۰ برابر مورد مطالعه قرار گرفتند. (۲۱).

پایداری در برابر ذوب-انجماد: آزمون پایداری در برابر ذوب-انجماد با روش عابدی و همکاران (۲۰۱۹) (ب) انجام پذیرفت (۲). ۲۵ گرم از خمیر نشاسته به لوله‌های سانتی‌فیوژ ۵۰ میلی‌لیتری منتقل شدند و در معرض سیکل‌های مختلف انجماد-ذوب قرار گرفتند. نمونه‌ها ابتدا در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و سپس در انکوباتور (شرکت خودساز، ایران) با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت قرار گرفتند و تا ۵ سیکل این فرایند تکرار شد. بعد از هر سیکل لوله‌های سانتی‌فیوژ در سرعت ۱۰۰۰ g به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت و مایع فوقانی وزن گردید و خمیر باقیمانده دوباره به فریزر برگردانده شد تا این سیکل ادامه یابد. میزان سینرسیس (درصد) به‌وسیله رابطه ۱ محاسبه شد:

رابطه ۱. سینرسیس (درصد) = $100 \times (\text{وزن خمیر نشاسته} / \text{وزن مایع خارج شده از خمیر})$

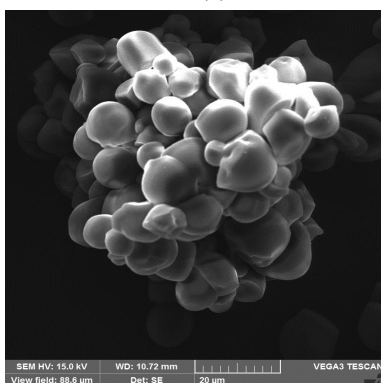
طرح آماری: برای انجام آنالیز داده‌ها و بررسی اطلاعات بدست آمده از آزمون‌های مختلف از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. به‌منظور تعیین اختلاف بین میانگین اعداد (۳ تکرار برای هر آزمایش)، پس از آنالیز واریانس^۱ از آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۲ در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید. در تمام

1. Analysis of variance
2. Test Multiple Range Duncans

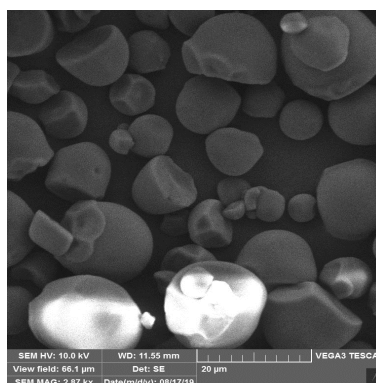
پری ژلاتینه شده با فراصوت، نسبت به نشاسته‌ی طبیعی، اثرات بیشتری بر مورفولوژی نشاسته دارد. میزان تأثیر پلی‌ال‌ها بر ساختار نشاسته بصورت ایزومالت < ساکارز > مالتودکسترین است که می‌تواند به دلیل وجود میزان بیشتری گروه‌های هیدروکسیل محوری در ساختار ایزومالت و یا ساختار باز آن نسبت به ساختار حلقه‌ای سایر قندها باشد (۲۰).

فراصوت منجر به نفوذ بهتر پلی‌ال‌ها خواهند شد (۲۴). در اثر فرایند فراصوت، ساختار نشاسته باز می‌شود و گروه‌های هیدروکسیل بیشتری در معرض واکنش قرار می‌گیرند. بنابراین پلی‌ال‌های بیشتری می‌توانند با مولکول‌های نشاسته وارد واکنش (نشاسته-پلی‌ال) شوند. بنابراین افزودن ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین به نشاسته‌ی تاپوکای

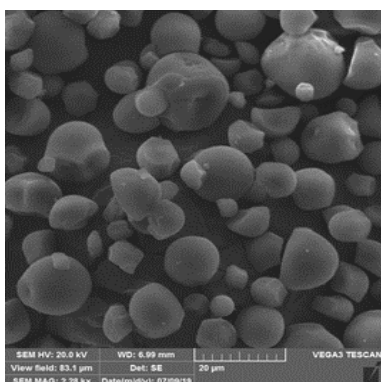
(الف)



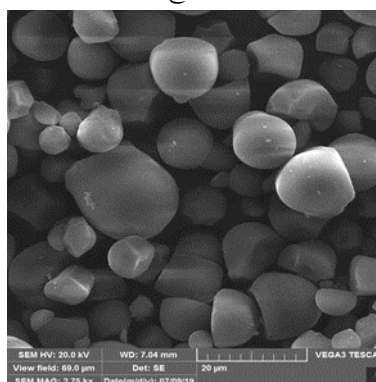
(ب)



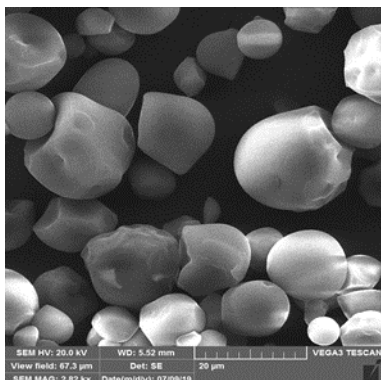
(د)



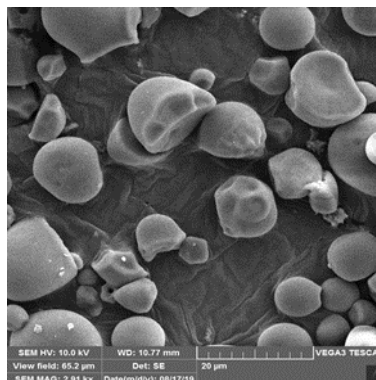
(ج)



(و)

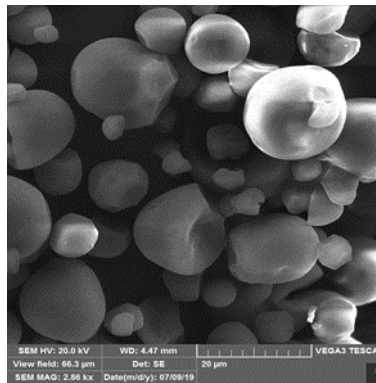
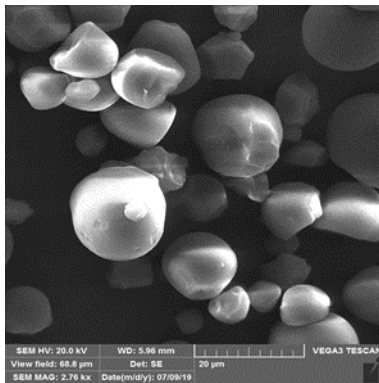


(ه)



(ح)

(ز)



شکل ۲- ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی، الف) NS: نشاسته طبیعی تاپوکا، ب) PS: نشاسته پری ژلاتینه شده تاپوکا ج) SB8%: نشاسته تیمار شده با ۸٪ ساکارز قبل از پری ژلاتینه شدن با فراصوت، د) SA8%: نشاسته تیمار شده با ۸٪ ساکارز بعد از پری ژلاتینه شدن با فراصوت، ه) IB8%: نشاسته تیمار شده با ۸٪ ایزومالت قبل از پری ژلاتینه شدن با فراصوت، و) IA8%: نشاسته تیمار شده با ۸٪ ایزومالت بعد از پری ژلاتینه شدن با فراصوت، ز) MB8%: نشاسته تیمار شده با ۸٪ مالتودکسترین قبل از پری ژلاتینه شدن با فراصوت، ح) MA8%: نشاسته تیمار شده با ۸٪ مالتودکسترین بعد از پری ژلاتینه شدن با فراصوت.

Figure 2. SEM pictures. A) NS: Native starch, B) PS: pregelatinized starch, C) SA8% starch contains 8% sucrose, after sonication, D) SB8%: starch contains 8% sucrose, before sonication, E) IA8%: starch contains 8% isomalt, after sonication, F) IB8%: starch contains 8% isomalt, before sonication, G) MA8%: starch contains 8% maltodextrin, after sonication, H) MB8%: starch contains 8% maltodextrin, before sonication.

ذوب می‌شوند. در نتیجه مقداری از مولکول‌های کوچک نشاسته شامل آمیلوز به بیرون نشت پیدا کرده و در اثر سرد شدن، تحرک زنجیره‌های نشاسته کاهش یافته و با افزایش اتصالات بین رشته‌ها، ساختار ژل تشکیل می‌شود (۱۳، ۲۵). هر چه محتوای آمیلوز بیشتر باشد، ژل حاصله سختی بیشتری خواهد داشت. اما با توجه به نتایج ژو (۲۰۱۵)، امواج فراصوت عمدتاً آمیلوز خطی را بسیار راحت‌تر از آمیلوپکتین منشعب مورد حمله قرار می‌دهند. کاهش آمیلوز باعث کاهش استحکام و سختی ژل می‌گردد. دلیل دیگر در مورد کاهش سختی بافت، شکست باندهای بین آمیلوز و آمیلوپکتین است که منجر به تغییرات در ساختار گرانول، کاهش بهم فشردگی بین گرانول‌ها و کاهش وزن مولکولی نشاسته خواهد شد (۲، ۸، ۱۵، ۲۵). در تمام نمونه‌ها، با افزایش غلظت ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین از ۴ به ۱۲ درصد، سختی، پیوستگی (معیاری از مقاومت ساختار داخلی ژل در مقابل شکستن)، ارتجاع‌پذیری (میزان بازگشت ژل

تأثیر پلی‌ال‌ها بر ویژگی‌های بافتی نشاسته تاپوکا قبل و بعد از فراصوت: جدول ۱ ویژگی‌های بافتی نمونه‌های نشاسته‌ی حاوی ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین را پیش و پس از تیمار فراصوت نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های نشاسته طبیعی، پری ژلاتینه به وسیله فراصوت و نشاسته حاوی پلی‌ال‌ها دیده می‌شود ($P < 0.05$). با اعمال فراصوت سختی بافت از 21 ± 196 به 15 ± 157 نیوتن، و پیوستگی بافت از 0.03 ± 0.51 به 0.02 ± 0.48 کاهش پیدا کرد (جدول ۱). امواج فراصوت با تخریب بافت و ایجاد شکاف و ترک (شکل ۱) و حفرات در ساختار گرانول نشاسته منجر به نفوذ و افزایش جذب آب گرانول‌ها می‌شود. فاکتور اصلی در استحکام ژل، توانایی تشکیل شبکه ژل توسط مولکول‌های خطی آمیلوز و عدم تغییر شکل گرانول‌های متورم می‌باشند. در طی فرایند ژلاتیناسیون، گرانول‌ها با جذب آب متورم شده و ساختار کریستالی در داخل گرانول‌ها

یا ساختار باز آن نسبت به ساختار حلقه‌ای سایر قندها باشد (۲۰، ۲۲).

تأثیر پلی‌ال‌ها بر ویژگی‌های مقاومتی انجماد و ذوب: شکل ۳، ۴ و ۵ مقاومت به خروج آب در ۵ سیکل انجماد و ذوب نشاسته طبیعی، تیمار شده با فراصوت و نشاسته پری‌ژلاتینه حاوی غلظت‌های مختلف ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین (۴، ۸ و ۱۲ درصد) قبل و بعد از تیمار با فراصوت را نشان می‌دهد. نتایج با داده‌های حاصل از بافت‌سنجی (جدول ۱) و شکل‌های حاصل از ریخت‌شناسی (شکل ۱) مطابقت دارد. میزان خروج آب نشاسته تاپوکای پری‌ژلاتینه شده توسط فراصوت نسبت به نمونه طبیعی نشاسته، کاهش معنی‌داری پیدا کرد ($P < 0/05$) و دلیل آن تغییرات قابل توجهی است که امواج فراصوت بر ملکول‌های آمیلوز ایجاد کرده است (۲۵) و زمینه را برای رتروگراداسیون و بهم پیوستن مولکول‌های آمیلوز کاهش داده است. اضافه کردن ساکارز، ایزومالت و مالتودکسترین، به‌طور قابل توجهی میزان خروج آب را کاهش داده و در این میان اضافه شدن پلی‌ال‌ها پس از فراصوت تأثیر قابل توجه و معنی‌دارتری در کاهش خروج آب از نشاسته تاپوکا نشان داده است؛ به‌عنوان مثال بعد از سیکل پنجم، میزان آب‌اندازی نشاسته‌ی حاوی قند ایزومالت بعد از اعمال فراصوت، ۲۵ درصد است.

پس از کمپرس به حالت اول) ژل نشاسته افزایش یافت و این تأثیر در مورد اضافه شدن پلی‌ال‌ها بعد از فراصوت بیش از اضافه شدن آن قبل از تیمار فراصوت بود. چن و همکاران (۲۰۱۴)، افزایش سفتی بافت ژل نشاسته‌ی ساگو را در اثر افزودن قندهای ساکارز و گلوکز گزارش کردند (۶). در تطبیق با نتایج تحقیق ژو و همکاران (۲۰۱۵) پلی‌ال‌ها به‌دلیل دارا بودن گروه‌های هیدروکسیل زیاد و به‌دنبال آن، توانایی بیشتر در جذب آب، می‌توانند با ایجاد برهم‌کنش‌ها و اتصالات بیشتری با مولکول‌های نشاسته به بهبود ویژگی‌های مکانیکی و بافت سفت‌تر کمک کنند (۲۵). افزودن پلی‌ال‌ها به نشاسته‌ی پری‌ژلاتینه شده با فراصوت، منجر به افزایش معنی‌داری در ویژگی‌های سفتی، پیوستگی، ارتجاع‌پذیری و صمغیت نشاسته در مقایسه با افزودن پلی‌ال‌ها به نشاسته‌ی طبیعی شد ($P < 0/05$). در اثر فرایند فراصوت و تخریب و شکستن پیوندهای درون‌مولکولی گرانول و باز شدن ساختار نشاسته و در معرض قرار گرفتن گروه‌های هیدروکسیل، احتمال ایجاد اتصالات و برهم‌کنش‌های نشاسته-پلی‌ال و نشاسته-آب افزایش می‌یابد و این اتصالات منجر به فشردگی و افزایش سفتی، پیوستگی و ارتجاع‌پذیری بافت نشاسته می‌شود. ترتیب این افزایش بصورت ایزومالت < ساکارز < مالتودکسترین است که می‌تواند به‌دلیل وجود میزان بیشتری گروه‌های هیدروکسیل محوری در ساختار ایزومالت و

جدول ۱- ویژگی های بافتی نمونه های نشاسته حاوی ساکارز، ایزومالت و مالتو دکسترین قبل و بعد از تیمار با فراصوت

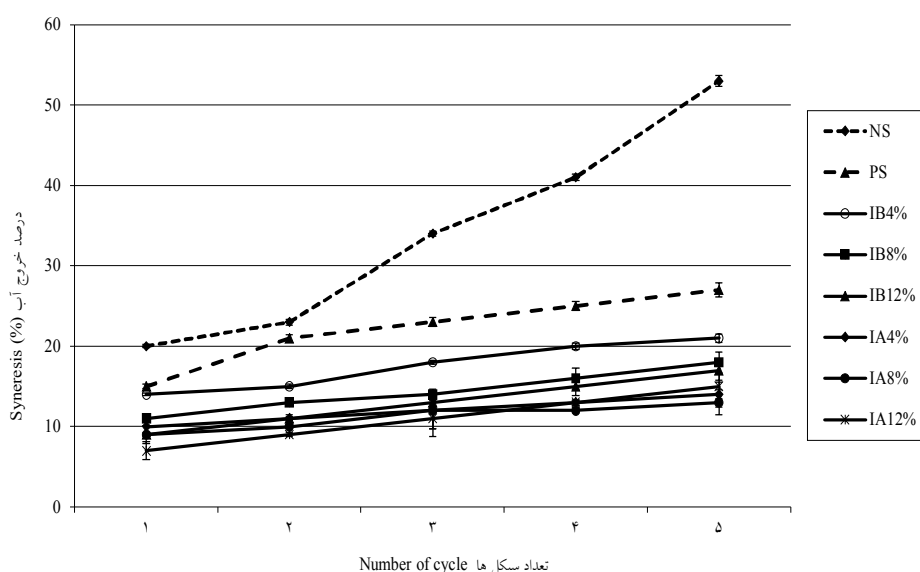
Table 1- Textural properties of tapioca starch at different concentrations (% w/w starch basis) of sucrose, isomalt and maltodextrin before and after sonication determined by TA

| بعد از تیمار با فراصوت | ارتجاع پذیری (میلی متر) | | پیوستگی | | سفتی (نیوتن) | | نشاسته طبیعی (Native starch) |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | قبل از تیمار با فراصوت | بعد از تیمار با فراصوت | قبل از تیمار با فراصوت | بعد از تیمار با فراصوت | قبل از تیمار با فراصوت | بعد از تیمار با فراصوت | |
| 0.57±0.03 ^{fb} | 0.57±0.03 ^{gb} | 0.48±0.02 ^{hb} | 0.48±0.02 ^{fb} | 157±15 ^{fa} | 157±15 ^{gb} | 196±21 ^{fb} | (Pregelatinized starch) |
| 0.59±0.03 ^{fb} | 0.59±0.03 ^{gb} | 0.51±0.03 ^{gh} | 0.51±0.03 ^{ef} | 196±21 ^{ba} | 196±21 ^{fb} | 189±13 ^{fb} | (Sucrose 4%) |
| 0.77±0.02 ^{eb} | 0.76±0.03 ^{fb} | 0.54±0.02 ^{fga} | 0.52±0.02 ^{dca} | 220±8 ^{ga} | 218±14 ^{deb} | 255±16 ^{eb} | (Sucrose 8%) |
| 0.81±0.02 ^{db} | 0.78±0.01 ^{eb} | 0.57±0.02 ^{efa} | 0.53±0.04 ^{dca} | 253±14 ^{fa} | 274±16 ^{da} | 213±10 ^{deb} | (Isomalt 4%) |
| 0.83±0.03 ^{cdB} | 0.80±0.02 ^{deB} | 0.60±0.04 ^{cdB} | 0.55±0.04 ^{cdB} | 274±16 ^{da} | 276±11 ^{da} | 241±15 ^{cdB} | (Isomalt 8%) |
| 0.83±0.01 ^{cdB} | 0.79±0.02 ^{eb} | 0.55±0.02 ^{fga} | 0.53±0.02 ^{dca} | 251±10 ^{fa} | 270±24 ^{bb} | 231±15 ^{deb} | (Maltodextrin 4%) |
| 0.84±0.01 ^{cdB} | 0.81±0.02 ^{deB} | 0.59±0.03 ^{dca} | 0.56±0.03 ^{dca} | 276±11 ^{da} | 309±17 ^{ca} | 323±20 ^{ab} | (Maltodextrin 8%) |
| 0.88±0.02 ^{bcB} | 0.85±0.01 ^{eb} | 0.63±0.02 ^{bca} | 0.58±0.02 ^{bcb} | 333±8 ^{ba} | 379±32 ^{da} | | (Maltodextrin 12%) |
| 0.93±0.02 ^{abA} | 0.90±0.02 ^{ba} | 0.60±0.02 ^{cdA} | 0.57±0.02 ^{bca} | 266±21 ^{ca} | | | |
| 0.93±0.04 ^{abA} | 0.91±0.04 ^{abA} | 0.65±0.03 ^{abA} | 0.60±0.03 ^{abA} | 309±17 ^{ca} | | | |
| 0.95±0.03 ^{abA} | 0.94±0.03 ^{abA} | 0.69±0.02 ^{aA} | 0.63±0.02 ^{ab} | 379±32 ^{da} | | | |

*Means with the same letters are not significantly different. Different small and capital letters in each column and row indicate statistical difference between the values (P < 0.05).

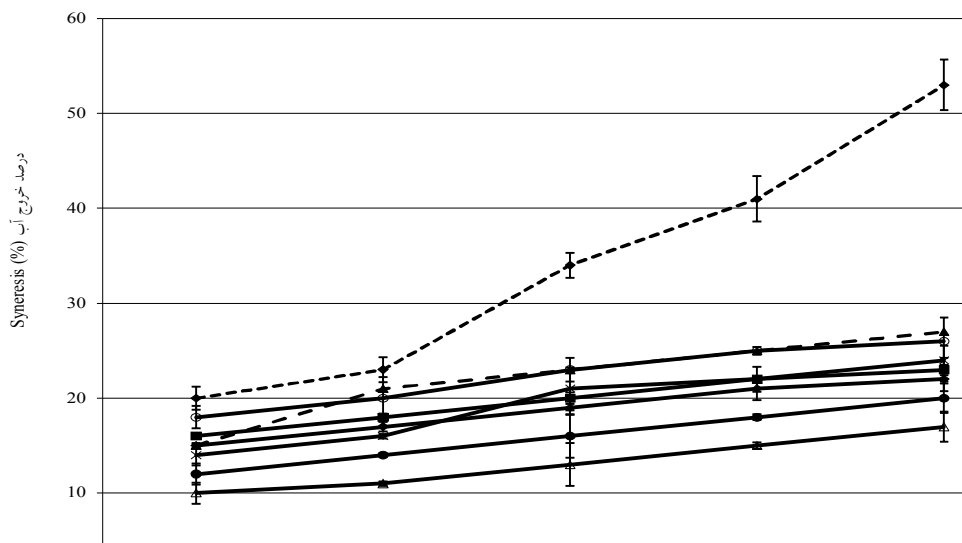
(۲۰۱۶) کاهش سینرسیس و افزایش مقاومت ژل نشاسته به سیکل‌های انجماد-ذوب را در حضور قندهای ساکارز و گلوکز گزارش کردند و علت این پدیده را به نقش قندها به‌عنوان کرایوپروتکتانت (محافظت از محصول در شرایط انجماد) به‌واسطه وجود گروه‌های هیدروکسیل، محدودسازی کریستالیزاسیون یخ و افزایش مقاومت به ذوب و انجماد دانستند (۱۰). همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، ایزومالت با غلظت ۱۲ درصد، سینرسیس را بیشتر از سایر قندها کاهش داده است. این پدیده می‌تواند به‌علت وجود تعداد زیادی از گروه‌های هیدروکسیل محوری و ساختار باز این قند نسبت به دیگر پلی‌ال‌ها باشد (۲۰، ۲۲).

اعمال فراصوت، با ایجاد شکاف و ترک (مطابق با شکل ریخت‌شناسی نشاسته) زمینه را برای جذب پلی‌ال‌ها مستعد نموده و پلی‌ال‌ها با ایجاد اتصالات با آمیلوزها، مانع از به هم پیوستن آمیلوزها (آمیلوز-آمیلوز یا آمیلوز-آمیلوپکتین) و کاهش آب‌اندازی می‌شوند. بعد از تیمار با فراصوت به‌دلیل تخریب و باز شدن ساختار گرانول نشاسته و در معرض قرار گرفتن گروه‌های هیدروکسیل، اضافه کردن پلی‌ال‌ها منجر به افزایش اتصالات و برهم‌کنش‌ها بین پلی‌ال-نشاسته و مانع از اتصال مجدد مولکول‌های آمیلوز می‌گردد. در نتیجه رترোগراداسیون کاهش می‌یابد و زمینه برای بیاتی و خروج آب طی سیکل‌های مداوم ذوب-انجماد فراهم نمی‌شود (۴). هدایتی و همکاران



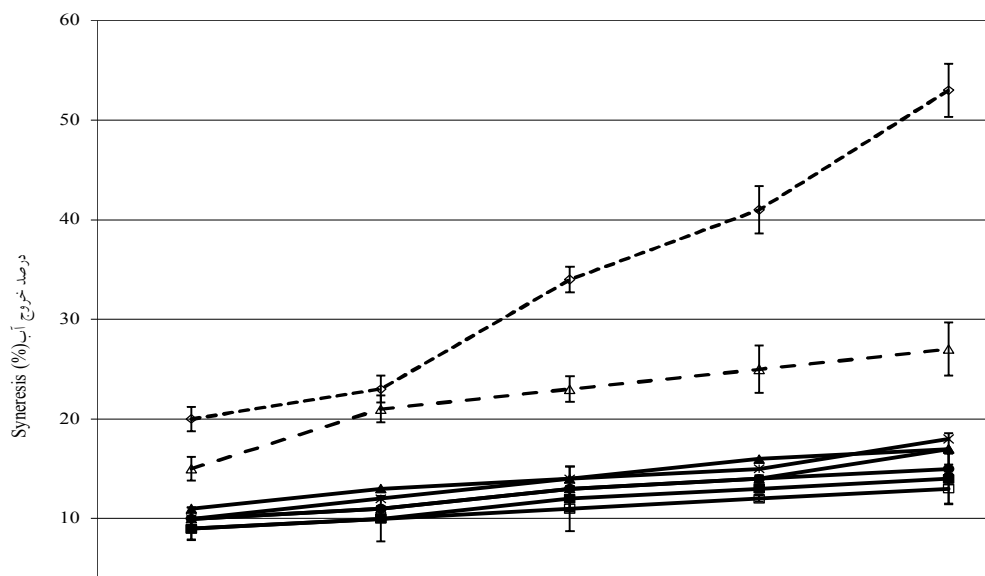
شکل ۳- درصد خروج آب یا سینرسیس: NS (نشاسته طبیعی تاپوکا)، PS (نشاسته تاپوکای پری‌ژلاتینه شده با فراصوت)، IB4% (نشاسته حاوی ۴٪ ایزومالت قبل از فراصوت)، IB8% (نشاسته حاوی ۸٪ ایزومالت قبل از فراصوت)، IB12% (نشاسته حاوی ۱۲٪ ایزومالت قبل از فراصوت)، IA4% (نشاسته حاوی ۴٪ ایزومالت بعد از فراصوت)، IA8% (نشاسته حاوی ۸٪ ایزومالت بعد از فراصوت)، IA12% (نشاسته حاوی ۱۲٪ ایزومالت بعد از فراصوت).

Figure 3. Syneresis. NS: Native starch, PS: pregelatinized starch, after sonication. IB4%: starch contains 4% isomalt, before sonication, IB8%: starch contains 8% isomalt, before sonication, IB12%: starch contains 12% isomalt, after sonication, IA4%: starch contains 4% isomalt, after sonication, IA8%: starch contains 8% isomalt, after sonication, IA12%: starch contains 12% isomalt, after sonication



شکل ۴- درصد خروج آب یا سینرسیس: NS (نشاسته طبیعی تاپوکا)، PS (نشاسته تاپوکای پری‌ژلاتینه شده با فراصوت)، SB4% (نشاسته حاوی ۴٪ ساکارز قبل از فراصوت)، SB8% (نشاسته حاوی ۸٪ ساکارز قبل از فراصوت)، SB12% (نشاسته حاوی ۱۲٪ ساکارز قبل از فراصوت)، SA4% (نشاسته حاوی ۴٪ ساکارز بعد از فراصوت)، SA8% (نشاسته حاوی ۸٪ ساکارز بعد از فراصوت)، SA12% (نشاسته حاوی ۱۲٪ ساکارز بعد از فراصوت)

Figure 4. Syneresis. NS: Native starch, PS: pregelatinized starch, SB4% starch contains 4% sucrose, before sonication, SB8%: starch contains 8% sucrose, before sonication, SB12%: starch contains 12% sucrose, before sonication, SA4% starch contains 4% sucrose, after sonication, SA8%: starch contains 8% sucrose, after sonication, SA12%: starch contains 12% sucrose, after sonication



شکل ۵- درصد خروج آب یا سینرسیس: NS (نشاسته طبیعی تاپوکا)، PS (نشاسته تاپوکای پری‌ژلاتینه شده با فراصوت)، MB4% (نشاسته حاوی ۴٪ مالتودکسترین قبل از فراصوت)، MB8% (نشاسته حاوی ۸٪ مالتودکسترین قبل از فراصوت)، MB12% (نشاسته حاوی ۱۲٪ مالتودکسترین قبل از فراصوت)، MA4% (نشاسته حاوی ۴٪ مالتودکسترین بعد از فراصوت)، MA8% (نشاسته حاوی ۸٪ مالتودکسترین بعد از فراصوت)، MA12% (نشاسته حاوی ۱۲٪ مالتودکسترین بعد از فراصوت)

Figure 5. Syneresis. NS: Native starch, PS: pregelatinized starch, MB4%: starch contains 4% maltodextrin, before sonication, MB8%: starch contains 8% maltodextrin, before sonication, MB12%: starch contains 12% maltodextrin, before sonication, MA4%: starch contains 4% maltodextrin, after sonication, MA8%: starch contains 8% maltodextrin, after sonication, MA12%: starch contains 12% maltodextrin, after sonication.

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر افزودن قندها و پلی‌ال‌ها بسته به نوع آن‌ها و نحوه تأثیر بر ساختار نشاسته منجر به تغییر قابل ملاحظه‌ای در جذب آب، ویژگی‌های بافتی و خمیری نشاسته شد. ترکیب تیمار فراصوت و غلظت‌های مختلف قندها و پلی‌ال‌ها در این تحقیق نشان داد که قندها و پلی‌ال‌ها باعث افزایش سفتی و پیوستگی بافت گردیده و این تأثیر پس از تیمار فراصوت افزایش یافت. در واقع تیمار فراصوت منجر

به آسیب فیزیکی گرانول‌های نشاسته گردیده و زمینه را برای ورود قندها و پلی‌ال‌ها و تأثیرات آن روی گرانول نشاسته افزایش داد. کاهش سینرسیس نشاسته در حضور قندها را می‌توان مربوط به برهم‌کنش‌های نشاسته و قندها دانست که انجام آزمایشات تکمیلی برای نشان دادن اتصالات و برهم‌کنش‌های نشاسته-پلی‌ال، کاهش اتصال نشاسته-نشاسته، کاهش کریستالیزاسیون مجدد آمیلوز و آمیلوپکتین و کاهش رتروگراداسیون و سینرسیس نشاسته پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. AACC, 2000. Approved Methods of the AACC, tenth ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. Methods 46-12, 44-15A, 30-10, 08-01 and 46-13.
2. Abedi, E., Pourmohammadi, K., Jahromi, M., Niakousari, M., and Torri, L. 2019. The effect of ultrasonic probe size for effective ultrasound-assisted pregelatinized starch. Food and Bioprocess Technology. In Press.
3. Alcázar-Alay, S.C., and Meireles M.A.A. 2015. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. Food Science and Technology. 35: 215-236.
4. Beck M, Jekle M., and Becker T. 2011. Starch re-crystallization kinetics as a function of various cations. Starch/Stärke. 63: 12.792-800.
5. Chan, H.T., Bhat, R., and Karim, A.A. 2010. Effects of sodium dodecyl sulphate and sonication treatment on physicochemical properties of starch. Food Chemistry. 120: 3.703-709.
6. Chen, H., Wang, Y., Leng, Y., Zhao, X., and Zhao, X. 2014. Effect of NaCl and sugar on physicochemical properties of flaxseed polysaccharide-potato starch complexes. Science Asia. 40: 1.60-68.
7. Chung, K.M., Moon, T.W., Kim, H., and Chun, J.K. 2002. Physicochemical properties of sonicated mung bean, potato, and rice starches. Cereal Chemistry. 79: 5.631-633.
8. Cui, L., Pan, Zh., Yue, T., and Atungulu, G. 2010. Effect of ultrasonic treatment of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality. Cereal chemistry. 87: 5.641-647.
9. Degrois, M., Gallant, D., Baldo, P., and Guilbot, A. 1974. The effects of ultrasound on starch grains. Ultrasonics Sonochemistry. 12: 3.129-131.
10. Hedayati, S., Majzoobi, M., Shahidi, F., Koocheki, A., and Farahnaky, A. 2016. Effects of NaCl and CaCl₂ on physicochemical properties of pregelatinized and granular cold-water swelling corn starches. Food Chemistry. 213: 602-608.
11. Herceg, I.L., Režek Jambrak, A., and Subarić, D. 2010. Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch. Journal of Food Science. 28: 2.83-93.
12. Huang, Q., Li, L., and Fu, X. 2007. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. Starch/Stärke. 59: 8.371-378.
13. Iida, Y., Tuziuti, T., Yasui, K., Towata, A., and Kozuka, T. 2008. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 9: 2.140-146.
14. Jambrak, A.R., Herceg, Z., Subarić, D., and Babić, J. 2010. Ultrasound effect on

- physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymer*. 79: 1.91–100.
15. Li, S., Zhang, Y., Wei, Y., Zhang, W., and Zhang, B. 2014. Thermal, pasting and gel textural properties of commercial starches from different botanical sources. *Journal of Bioprocess and Biotechnology*. 4:4.1.
 16. Luo, Z.G., Fu, X., and Luo, F.X. 2008. Properties of high-amylose maize starch paste treated with ultrasonic in water system. *Journal of South China University Technology*. 36: 11.74–78.
 17. Majzoobi, M., Beparva, P., Farahnaky, A., and Badii, F. 2014. Physicochemical properties of cross-linked wheat starch affected by L-ascorbic acid. *Journal of Agriculture and Science Technology*. 16: 2. 355–364.
 18. Martinez-Saez, N., Hochkogler, C.M., Somoza, V., and del Castillo, M.D. 2017. Biscuits with no added sugar containing stevia, coffee fibre and fructooligosaccharides modifies α -glucosidase activity and the release of GLP-1 from HuTu-80 cells and serotonin from Caco-2 cells after in vitro digestion. *Nutrients*. 9: 7.694.
 19. Perry, P.A., and Donald, A. 2002. The effect of sugars on the gelatinization and retrogradation of starch. *Carbohydrate Polymer*. 49: 2.155–165.
 20. Pourmohammadi, K., Abedi, E., Hashemi, S.M.B., and Torri, L. 2018. Effects of sucrose, isomalt and maltodextrin on microstructural, thermal, pasting and textural properties of wheat and cassava starch gel. *International Journal of Biological Macromolecules*. 120: 1935-1943.
 21. Sujka, M., and Jamroz, J. 2013. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. *Food Hydrocolloids*. 31: 2.413-419.
 22. Sun, Q., Nan, C., Dai, L., and Xiong, L. 2014. Effect of sugar alcohol on physicochemical properties of wheat starch. *Starch/Stärke*. 66: 9-10.788–794.
 23. Yoon, J., Jung, J., Chung, H., Kim, M., Kim, C., and Lim, S. 2010. Identification of botanical origin of starches by SDS-PAGE analysis of starch granule-associated proteins. *Journal of Cereal Science*. 52: 2.321–326.
 24. Zheng, J., Li, Q., Hu, A., Yang, L., Lu, J., Zhang, X., and Lin, Q. 2013. Dual-frequency ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. *Starch / Stärke*. 65: 7-8.621– 627.
 25. Zhu F. 2015. Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch. *Trends in Food Science and Technology*. 43: 1.1–17.

Effect of sucrose, isomalt, and maltodextrin on texture and morphology of tapioca starch before and after ultrasound treatment

Kiana Pourmohammadi^{1*}, Elahe Abedi¹, Ehsan Shad²

¹Department of Food Science and Technology, School of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.

²Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz, Iran

Received: 2019/11/09; Accepted: 2020/06/20

Abstract

Background and objectives: Unmodified (natural) starch is not widely used in the food industry; therefore, it should be modified physically or chemically. Food producers tend to use modified starch with desirable properties. Pregel starch is regarded as a modified starch, which is produced by gelatinization and drying of native starch. Modified starch is resistance to heat and may increase water-holding capacity, modify viscosity and decrease the syneresis in food systems. Ultrasound treatment is one of the starch physical modifications, which is more appropriate due to its low chemical application, low time-consuming and high selectivity. Fractures, rupture of the polymer chains and mechanical damage occur in starch following ultrasound treatment. These are due to the disintegration of bubbles, existing high velocities of liquid layers near the starch granules, and shear forces, which lead to rearrangement of intra- and inter-molecular hydrogen bonding between water and starch molecules, and therefore starch structure, size, shape, water absorption and solubility will change.

Materials and methods: In this research, the effect of different levels (4, 8 and 12%) of sucrose, isomalt and maltodextrin on the microstructure (by scanning electron microscopy (SEM)), textural properties (by texture analyzer (TA)) and freeze –thaw stability (syneresis) of tapioca starch was evaluated prior to and following ultrasonic-assisted pregelatinization (400 W, 10 min at 60 °C). In a completely randomized design, the experimental data were obtained and Duncan's new multiple range test was applied ($p \leq 0.05$). All statistical computations and analyses were carried out by SAS software Version 22 in triplicate.

Results: According to SEM analysis, the ultrasonic treatment creates cavities and pores on the surface of the starch granules, which allow the polyols more permeability, resulting in more interactions and connections. Ultrasonic treatment created open structures and exposed hydroxyl groups, as well as facilitated cross-linking of starches and sugars, interactions, and bindings. By destroying the structure of starch (amylose and amylopectin) and opening its structure, more polyols can react with starch molecules (starch-polyol). Results from texture analysis revealed that by increasing the amount of sucrose, isomalt and maltodextrin from 4% to 12%, tapioca gel starch hardness and cohesiveness increased, significantly and this effect is more obvious after ultrasound assisted pregelatinization. At all sugar levels, syneresis decreased, due to the cross-linking of polyol-starch, and less amylose reassociation. On the other hand, by using polyols and ultrasonic treatment, freeze-thaw stability increased. The rearrangement of intra- and inter-molecular hydrogen bonding between water and starch molecules resulted in the disruption of molecular orders, hence more accessibility of hydroxyl groups occurs.

Conclusions: The presence of polyols significantly affected the properties of starch granule. Polyol addition to tapioca starch following pregelatinization via ultrasonic process, created more

*Corresponding author: kpourmohammadi@yahoo.com

obvious changes in microstructure, textural properties and freeze-thaw stability of starch gel due to the higher accessibility of hydroxyl groups, and more cross-linking and connections. Isomalt was more efficient than sucrose and maltodextrin in manipulating all the starch properties.

Keywords: Tapioca starch, Polyol sugar, Pregelatinization, Ultrasound, Syneresis, Solubility.

