

فاز ۱۱- کاربرد نشاسته های اصلاح شده در فرآورده های لبنی

تولید ماست کم چرب همزده با استفاده از نشاسته اصلاح شده

مقدمه:

افزایش اطلاعات و آگاهی از ارتباط بین رژیم غذایی و سلامت عمومی، یکی از عوامل اصلی تاثیر گذار بر ترجیحات مصرف کنندگان در انتخاب محصولات غذایی می باشد. از این رو ماست های با چربی کم یا بدون چربی به دلیل ویژگی های تغذیه ای و کاهش ریسک های بیماری زایی دارای محبوبیت خاصی هستند. ماست یک سیستم ژل-مانند است که در آن پروتئین های سرم تغییر شکل یافته درون ماتریس کازئینی به عنوان عامل اتصال دهنده و پر کننده عمل می کنند و گلبول های چربی شیر نیز در ساختار نهایی جا می گیرند و بر احساس دهانی، سفتی و بافت محصول تاثیر گذار می باشد. بنابراین، ویژگی های ساختاری و مکانیکی ماست ممکن است با کاهش محتوای چربی آن تغییر کند که منجر به ویژگی های حسی و بافتی ناپسند شده و آب اندازی را افزایش دهد. یک جایگزین ساده و موثر برای فرموله کردن ماست های کم چرب، ترکیباتی می باشند که درون فاز پیوسته قرار گرفته و عملکرد چربی شیر حذف شده را در ساختار ژل مانند ماست جبران کنند.

نشاسته اصلاح شده با هدف بهبود ویژگی های نگهداری آب، کاهش سینرسیس و افزایش ویسکوزیته در محصولات غذایی استفاده می شود. نشاسته های اصلاح شده در محصولات نظیر ماست یا پنیر با چربی کم به عنوان بهبوددهنده بافت به دلیل فراوری آسان و هزینه کمتر نسبت به دیگر هیدروکلوئیدها به شکل گسترده تری مورد استفاده قرار می گیرند. به عنوان مثال، کاستیا و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که اضافه کردن نشاسته اصلاح شده تاپوکا به ماست های با چربی کم، منجر به ایجاد ویژگی های بافتی مشابه با نمونه های ماست با چربی کامل می گردد. همچنین، ویلیامز و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که افزودن نشاسته به ماست سینرسیس را کاهش داده، قابلیت نگهداری آب را بهبود بخشیده و نرمی را افزایش می دهد (Abbas, El-Garhi et al. 2017).

جذب کم نشاسته های اصلاح شده در روده کوچک در کنار ویژگی های خاص این ترکیبات، تمایل به استفاده از این ترکیبات را به عنوان پرکننده ها در فرمولاسیون های غذایی با چربی کم افزایش داده است. به طور خاص، نشاسته های اصلاح شده شیمیایی که به عنوان نشاسته های مقاوم (RS) شناخته می شوند، نقش مهمی در سلامتی انسان دارند. از ویژگی های فیزیکی شیمیایی مطلوب نشاسته ها، ویسکوزیته، توانایی تشکیل ژل و ظرفیت جذب آب آنهاست که استفاده از آنها را در انواع محصولات غذایی جذاب می کند. بنابراین در این بخش و در ادامه پروژه

تولید و مشخصه یابی نشاسته های اصلاح شده، کاربرد نشاسته های اصلاح شده در ماست کم چرب مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها :

شیر کم چرب (با چربی ۱/۵٪)، - نشاسته اصلاح شده (شامل نشاسته های بهنیه شده بر اساس آزمون های سنجش کیفیت در فاز قبلی پروژه که شامل آزمون RVA و درصد آب اندازی بود و شامل نشاسته اصلاح شده دو گانه (E1422)- با عامل استیل ۱۰٪ و آدیپیک ۳، ۵ و ۱۰ درصد بود. همچنین نشاسته اصلاح شده دو گانه (E1414) با ۱۰٪ عامل استیل و ۱ درصد عامل اتصال عرضی و نشاسته اصلاح شده دو گانه (E1413) با STMP2%-STPP5% - کشت استارتر ماست

مراحل تولید: ابتدا مرحله استاندارد سازی شیر انجام می شود. میزان چربی شیر را به سطح مطلوب (۱/۵٪) و ماده خشک لبنی با شیر خشک نیز به سطح مطلوب (۱۲٪) تنظیم می گردد. برای اینکار به شیر کم چرب، ۳٪ شیر خشک افزوده می شود. نشاسته اصلاح شده در سطوح (۱، ۱/۵ و ۲٪) به شیر افزوده و با همزدن سریع (۶۰۰ RPM) به مدت ۲ دقیقه، نشاسته و مواد لبنی به خوبی پراکنده می شود (Walstra, Walstra et al. 2005, Chandan and Kilara 2013). مخلوط یکدست شده تا ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده می شود. در ادامه دمای مخلوط پاستوریزه شده تا ۴۲-۴۵ درجه سلسیوس کاهش می یابد و ۳٪ وزنی-وزنی ماست را به مخلوط خنک شده اضافه می گردد و خوب مخلوط می شود. مخلوط تلقیح شده حدوداً به مدت ۴ ساعت در دمای ۴۲-۴۵ درجه سلسیوس انکوبه می گردد تا pH ماست به ۴/۵-۴/۶ برسد. بعد از تخمیر، ماست به آرامی (۳۰۰ RPM به مدت ۲ دقیقه) هم زده شده تا بافتی یکنواخت و نرم به دست آید. دمای ماست همزده سریعاً تا زیر ۱۰ درجه سلسیوس کاهش یافته تا فرآیند تخمیر متوقف شود. ماست خنک شده در ظروف مناسب بسته بندی کرده و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری می شود. سینر سیس در روز ۱ و ۱۰ نگهداری ثبت می گردد. pH در روز ۱ و ۱۰ ثبت می گردد. اسیدیته در روز ۱۰ اندازه گیری می گردد. آزمون بافت و ویسکوزیته در روز ۲-۴ اندازه گیری می گردد.

اندازه گیری شاخص های کیفی ماست

شاخص سینرسیس (SI)

سینرسیس، یا جدا شدن سرم از ژل ماست می باشد. بلافاصله بعد از خروج از انکوبه گذاری با دمای ۴ درجه سلسیوس، نمونه ماست (۲۰ گرم) به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و سپس سوپرناتانت شفاف به دقت تخلیه و وزن آن ثبت می گردد. شاخص سینرسیس به صورت گرم مایع جدا شده به ازای ۱۰۰ گرم ماست (g/100 g) بیان می گردد. $SI = L/W_y$ (Amaya-Llano, Martínez-Alegría et al. 2008) این آزمون در روز ۱ و روز ۱۰ نگهداری، بررسی می شود (Lobato-Calleros, Ramírez-Santiago et al. 2014).

ویسکوزیته ماست

ویسکوزیته ماست، که نشان دهنده مقاومت ماست در برابر جریان یافتن باشد با استفاده از رئومتر آنتن پار R302 با ژئومتری مخروط صفحه به قطر ۵۰ میلی متر، و زاویه مخروط ۱ درجه و فاصله ۰/۰۵ میلی متر اندازه گیری استفاده شد. حدود ۴ گرم از نمونه با دقت توزین و در سیستم اندازه گیری قرار داده می شود و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس به حال خود رها می گردد، تا ساختار آن بازسازی شود. ویسکوزیته نمونه ها بر اساس اسکن سرعت برشی مورد ارزیابی قرار می گیرد. منحنی های جریان ماست در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با تغییر نرخ برش از s^{-1} ۰/۰۳ تا ۲۰۰ به دست می آید.

بافت سنجی ماست

بافت سنجی ماست با استفاده از آزمون نفوذ سنجی با بهره گیری از دستگاه بافت سنج انجام می شود. پروب استوانه ای به قطر ۳ سانتی متر به میزان ۱۰ میلی متر در نمونه نفوذ کرده و نیروی متناظر با این عمق نفوذ ثبت می شود (Saleh, Mohamed et al. 2020).

آزمون حسی

یک ارزیابی حسی برای بررسی ویژگی های کیفی مختلف ماست انجام شد. روش مورد استفاده، هدونیک ۵ نقطه ای بود. در این آزمون از پنل آموزش دیده متشکل از هشت داور استفاده شد. این آزمون اطلاعات جامعی درباره ویژگی های فیزیکی، پایداری شیمیایی و ویژگی های حسی ماست فراهم می کنند که برای کنترل کیفیت و توسعه محصول ضروری است

- ویژگی های ارزیابی شده:

- رنگ: ظاهر بصری و یکنواختی رنگ ماست.

- سفتی: مقاومت ماست در برابر تغییر شکل.

- شدت طعم: قدرت طعم ماست.

- پذیرش کلی

نتایج

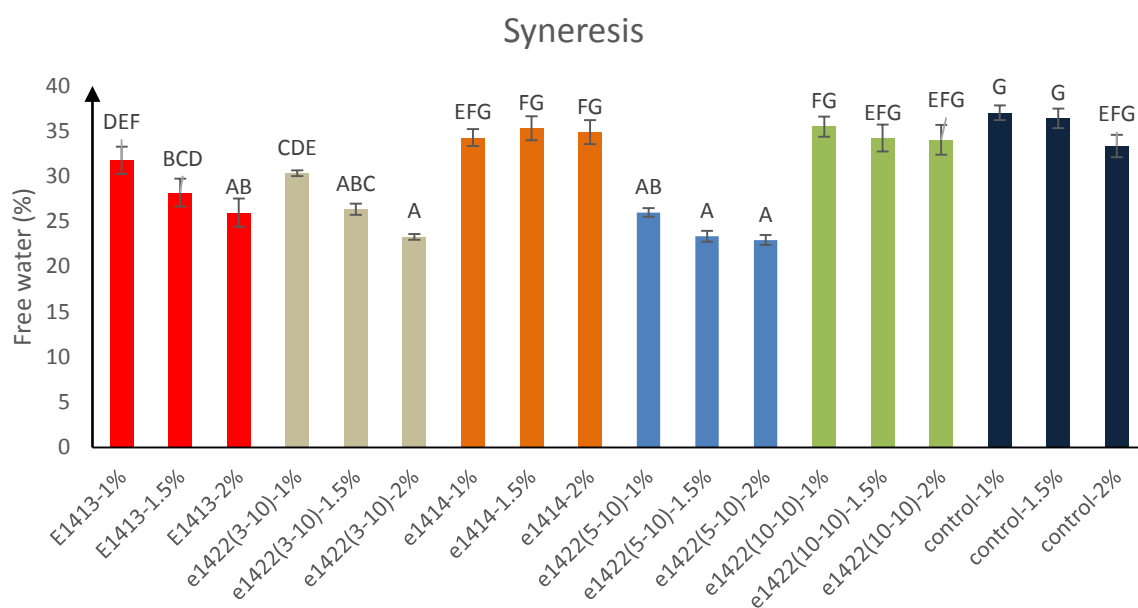
سینرسیس و آب اندازی ماست

سینرسیس نشان از ناپایداری شبکه ژل تشکیل شده دارد که می تواند ناشی از افزایش جابجایی ماتریس ژل باشد این پدیده، تأثیر منفی بر درک مصرف کننده از محصول ماست دارد (Lobato-Calleros, Ramírez-Santiago et al. 2014). معمولاً نشاسته ها با نگه داشتن مقدار قابل توجهی آب در ساختارهای ژل ضعیف ماست، این عیب را برطرف یا اصلاح می کند.

بر اساس نتایج بدست آمده که در نمودار ۱ مشاهده می شود نشاسته های اصلاح شده (E1422 (3-10% یعنی نمونه دارای ۳ درصد آدپیک اسید و ۱۰٪ استیل و همچنین نمونه های نشاسته اصلاح شده (E1422 (5-10% یعنی نمونه دارای ۵ درصد آدپیک اسید و ۱۰٪ استیل و نمونه E1413 (در درصد های ۱/۵ و ۲٪) با نمونه ماست دارای نشاسته اصلاح نشده اختلاف آماری داشته و سینرسیس کاهش یافته است. همچنین از نظر این شاخص، نمونه نشاسته اصلاح شده (E1422 (5-10% در سطح ۱/۵ و ۲ درصد و نمونه نشاسته اصلاح شده (E1422 (3-10% در سطح ۲٪ کمترین میزان سینرسیس را نشان دادند. این مشاهده به دلیل ثبات ساختاری و بافت ماست می باشد که در آزمون های سنجش بافت ویسکوزیته تایید شد. قبلاً مشخص شده است که در مورد ژل های بر پایه شیر، نشاسته E-1422 می تواند در جلوگیری از آب اندازی مفید باشد و نشاسته E-1422 نسبت به نشاسته E-1414 سینرسیس را به میزان بیشتری کاهش می دهد (Bravo-Núñez, Pando et al. 2019).

علل اصلی آب اندازی در محصولات تخمیری شامل استفاده از دماهای بالا در زمان انکوباسیون، محتوای کم مواد جامد یا نگهداری در دماهای نامناسب می باشد (Lucey, 2004). آمیا و همکاران از نشاسته تیمار شده با اسید را در ماست استفاده نموده و نشان دادند که از این نوع نشاسته تاثیر محسوسی در افزایش پایداری به سینرسیس ندارد. این

محققان دلیل آب اندازی در نمونه ها را به دلیل ماهیت رفتار نشاسته های اصلاح شده دانسته و توانایی نشاسته در ایجاد ژل های سفت را عاملی در کنترل این شاخص نامطلوب گزارش کردند. معمولاً تمایل به بازآرایی و آزاد کردن آب دارند و باعث افزایش مقدار آب اندازی می شوند (Amaya-Llano, Martínez-Alegría et al. 2008). کلارو و همکاران از نشاسته اصلاح شده و نشاسته اولیه در ماست هم زده استفاده نمودند. این محققان نشان دادند که نشاسته اصلاح شده و همچنین نشاسته اولیه توانسته است سینرسیس را کاهش دهد و سفتی بافت ماست را افزایش دهد. لباتو و همکاران نشان دادند که استفاده از نشاسته E1442 به میزان ۱٪ کل وزن شیر منجر به کاهش سینرسیس می شود (Lobato-Calleros, Ramírez-Santiago et al. 2014).



شکل ۱ - سینرسیس نمونه های ماست

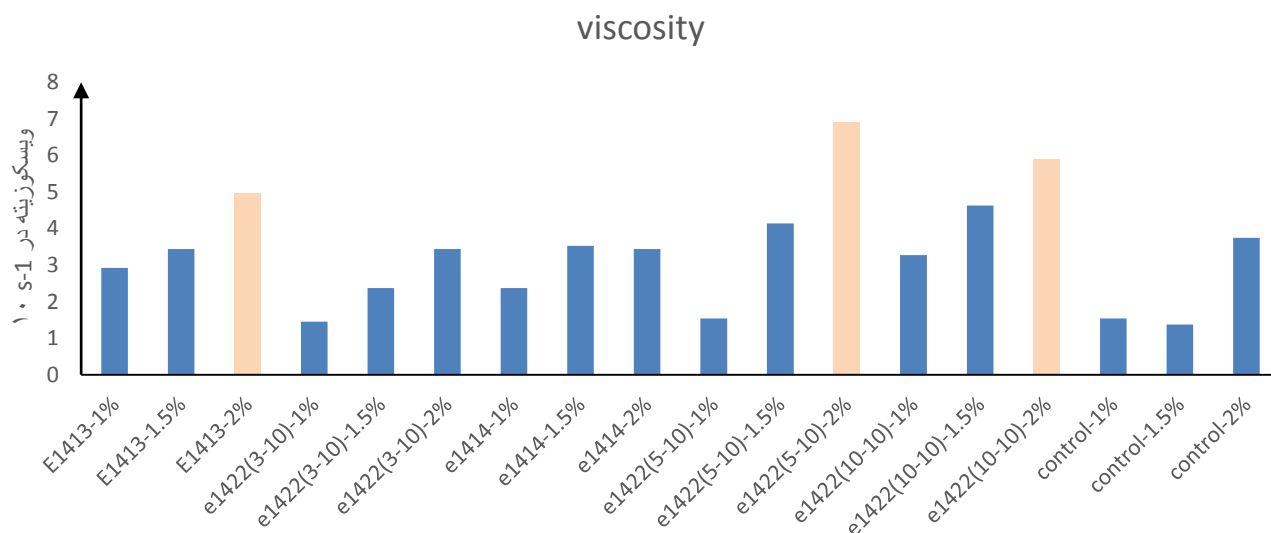
ویسکوزیته یکی از پارامترهای اصلی در محصولات سیال و نیمه جامد است. برخی از محققان نیز معتقدند که نرمی (smoothness) بافت یک ویژگی حسی مطلوب در امولسیون‌های غذایی مانند محصولات لبنی است. نرمی می‌تواند به خامه‌ای بودن و غلظت مرتبط باشد که به ویسکوزیته بستگی دارد (Amaya-Llano, Martínez-). (Alegria et al. 2008). نشاسته‌ها به دلیل توانایی در افزایش غلظت، تشکیل ژل و نگهداشتن آب، در تولید ماست استفاده می‌شوند.

با بررسی ویسکوزیته نمونه‌های دارای نشاسته اصلاح شده مشخص شد که با افزایش نشاسته در فرمولاسیون، میزان ویسکوزیته افزایش می‌یابد. به نحوی که در میزان ۲٪ نشاسته بالاترین میزان ویسکوزیته در تمام دسته‌های نمونه‌ها (از نظر نوع نشاسته بکار برده شده) مشخص است. با مقایسه ویسکوزیته نمونه‌های دارای نشاسته اصلاح شده، مشخص است که نمونه دارای نشاسته اصلاح شده E1422 (5-10%) در سطح ۲٪ و E1422 (10-10%) در سطح ۲٪ نیز بالاترین ویسکوزیته در نرخ برشی ۱۰ بر ثانیه دارا می‌باشد. نشاسته‌های استیل‌ه با اضافه کردن گروه‌های استیل به زنجیره‌های نشاسته، خاصیت تورم‌پذیری و جذب آب بیشتری پیدا می‌کنند. این تغییرات باعث افزایش ویسکوزیته ماست می‌شود. مطالعاتی هم نشان داده‌اند که استفاده از نشاسته‌های استیل‌ه در ماست باعث ایجاد ساختار ژلی قوی‌تری می‌شود که پایداری محصول را در طول ذخیره‌سازی افزایش می‌دهد همچنین این نوع نشاسته باعث کاهش تخریب تحت تنش‌های مکانیکی می‌شود و قوام مطلوب‌تری به ماست می‌بخشد (Subroto, Cahyana et al. 2023). نشاسته‌های اصلاح شده به طور قابل توجهی ویسکوزیته ماست را افزایش می‌دهند. این اثر غلیظ‌کنندگی عمدتاً به دلیل توانایی مولکول‌های نشاسته در جذب آب و تورم، که منجر به تشکیل ساختاری ژل مانند می‌شود، است. نوع و درجه اصلاح در نشاسته بر رفتار ویسکوزیته آن تأثیر می‌گذارد. برای مثال، نشاسته‌های استیل‌ه و دارای پیوند عرضی به طور خاص در افزایش ویسکوزیته ماست با ایجاد شبکه ژلی پایدار که در برابر شکست تحت تنش مقاوم است، موثر هستند (Schmidt, Herald et al. 2001, Wong, Wicklund et al. 2020).

برخی محققان نیز دریافته‌اند که کازئین با برخی انواع نشاسته‌ها برهم‌کنش دارد (Antonov, Lefebvre, & Doublier, 1999) که باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود، اما در برخی موارد نیز ممکن است باعث جدایش فازها هم بشود. ویلیامز و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که اثرات افزودن نشاسته به ماست بستگی به میزان کل مواد جامد لبنی و مقدار جایگزینی پودر شیر خشک با کنسانتره پروتئین آب‌پنیر دارد. این محققان نشان دادند که ناپایداری کازئین در اثر واکنش با نشاسته، تأثیر افزایش ویسکوزیته نشاسته را کاهش می‌دهد. با این حال اما یا لانو و همکاران نشان دادند که مقدار ویسکوزیته نمونه‌های ماست توسط افزودن نشاسته‌های هیدرولیز شده تغییر نکرد.

افزودن نشاسته هیدرولیز شده (۲/۳ گرم در ۱۰۰ گرم از ماده جامد لبنی) به عنوان یک جایگزین چربی در تهیه ماستی مخلوط، ویژگی‌های عملکردی و حسی خوبی داشت. افزودن نشاسته‌های هیدرولیز شده برای فرمولا سیون ماست، مقدار انرژی ماست را تا حدود ۱۷,۷ گرم در ۱۰۰ گرم کاهش داد و نمونه‌ها را با ویژگی‌های عملکردی مشابه نمونه کنترل فراهم کرد (Amaya-Llano, Martínez-Alegría et al. 2008).

ال‌گرهی و همکاران از نشاسته اصلاح شده نشاسته استیله آدیپاته استفاده در ماست کم چرب استفاده نمودند مشخص شد که افزودن نشاسته استیله آدیپاته منجر به افزایش ویسکوزیته شده و سینر سیس را کاهش می‌دهد (Abbas, El-Garhi et al. 2017).



شکل ۲- ویسکوزیته نمونه های ماست

همچنین در این پژوهش بر اساس Carreau-Yasuda model، ویسکوزیته نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت (Quintana Martinez, Torregroza Fuentes et al. 2022).

$$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{[1 + (\gamma\lambda)^{\alpha}]^{n-\frac{1}{\alpha}}}$$

که در آن η ویسکوزیته (Pa.s)، γ نرخ برش (s^{-1})، η_0 ویسکوزیته در نرخ برش کم (Pa.s) که در اینجا این کمیت برابر با ۰/۱ می باشد، η_{∞} ویسکوزیته (Pa.s) در نرخ برش بالا است، λ ثابت زمانی (s) است. α ثابت مدل می

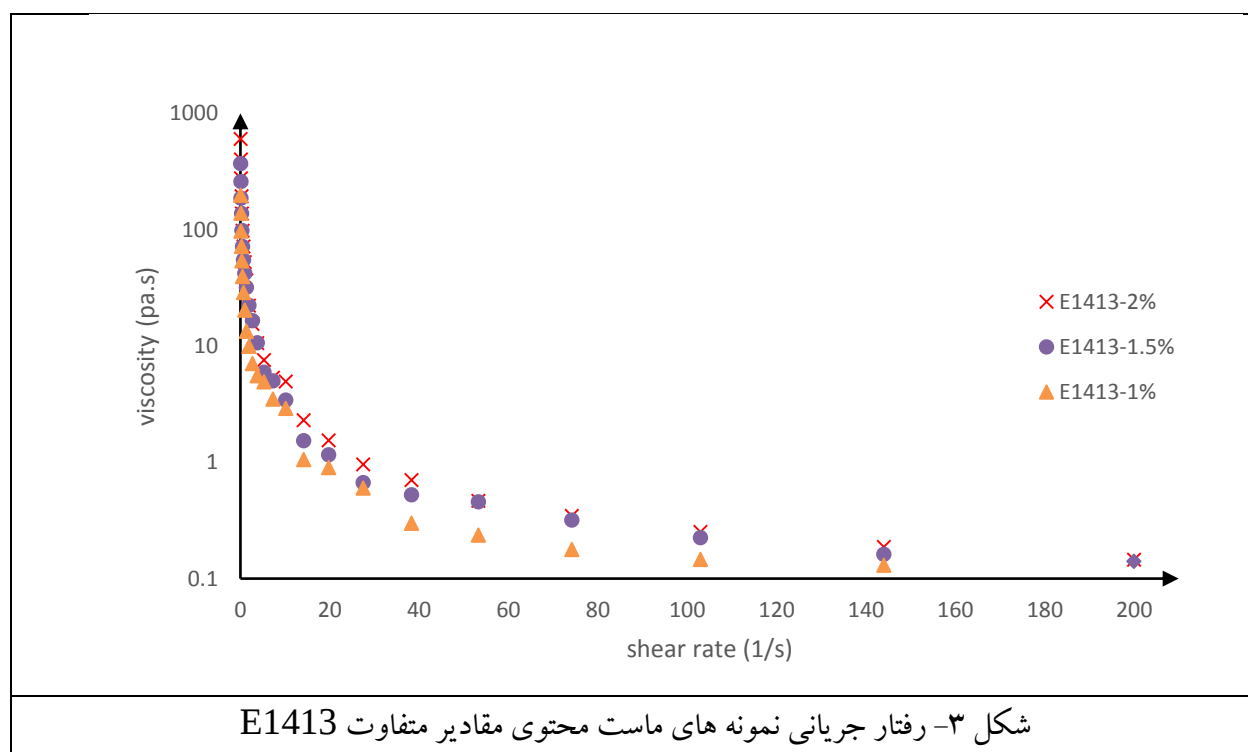
باشد و n شاخص جریان (بدون بعد) است. شاخص جریان، بیانگر نوع رفتار نمونه در مواجهه با اعمال نیرو می باشد. رقیق شدن با برش ($n < 1.0$)، غلیظ شدن با برش ($n < 1.0$) و هر چه که این شاخص کوچکتر باشد نمایانگر رفتار رقیق شوندگی بالاتر می باشد (Quintana Martinez, Torregroza Fuentes et al. 2022). در سیالات رقیق شونده با برش، تغییرات در شاخص رفتار جریان (n) نشان‌دهنده میزان کاهش ویسکوزیته سیال با افزایش نرخ برش است. برای این سیالات، شاخص رفتار جریان (n) کمتر از ۱ است. هرچه مقدار n کمتر باشد، نشان‌دهنده رفتار رقیق شوندگی قوی‌تری است، به این معنی که سیال با افزایش نرخ برش به سرعت بیشتری ویسکوزیته اولیه خود را از دست می دهد. این ویژگی در کاربردهایی که کاهش مقاومت تحت شرایط جریان مورد نیاز است، حائز اهمیت است (Ansari, Rashid et al. 2020). رفتار رقیق شونده با برش در ماست دارای نشاسته اصلاح شده را می توان به بازآرایی مولکول‌های بیوپلیمر با نیروی برشی و اختلال در تعاملات فیزیکی ضعیف در تعاملات بیوپلیمر-بیوپلیمر نسبت داده شود (Lobato-Calleros, Ramírez-Santiago et al. 2014).

نمودارها و جداول Carreau-Yasuda model در زیر آورده شده است. همانگونه که مشخص است تمام نمونه ها دارای رفتار رقیق شوندگی با برش دارند و با افزایش غلظت نشاسته رفتار رقیق شوندگی کاهش می یابد چراکه ضریب جریان n افزایش می یابد و به عبارت دیگری مقاومت نسبت به برش افزایش می یابد. با افزایش غلظت نشاسته از یک سو ویسکوزیته افزایش می یابد و از سویی دیگر بر همکنش های بیشتری به واسطه حضور بیشتر نشاسته در کنار کازئین شیر اتفاق می افتد و این امر ثبات بیشتری به بافت نمونه ایجاد کرده و به عبارتی مقاومت آنها را نسبت به برش افزایش داده است. همچنین بالاترین ضریب جریان n مربوط به نمونه نشاسته اصلاح شده E1422 (5-10%) یعنی نمونه دارای ۵ درصد آدپیک اسید و ۱۰٪ استیل می باشد. این نتیجه مقاومت بیشتر این نمونه را نسبت به تنش های محیطی نشان می دهد و به عبارتی، این نمونه پایداری بافتی بیشتری دارد. قبلا نیز در بررسی ویسکوزیته ماست دارای نشاسته اصلاح شده E-1422 و E-1414 توسط ناز و همکاران نشان داده شد که افزودن نشاسته ها به ماست منجر به افزایش ضریب رفتار جریان n می شود. همچنین گزارش نمودند که در بین نشاسته ها، ژل های تهیه شده با E-1422 بالاترین مقدار n را داشتند که از این شاخص در نمونه دارای E-1414 نیز بیشتر بود (Bravo-Núñez, Pando et al. 2019).

تنش تسلیم به میزان تنش اعمال شده ای اطلاق می شود که در آن اولین تغییر شکل غیرقابل برگشت در نمونه مشاهده می شود. مطالعه تنش تسلیم برای ارزیابی عملکرد و قابلیت فرآوری محصول بسیار مهم است و می تواند به پیش بینی ثبات و عمر مفید بلندمدت محصول کمک کند. بر اساس Carreau-Yasuda model مشخص است که تنش تسلیم با افزایش غلظت نشاسته افزایش یافته است که می تواند به ثبات بیشتر بافتی نمونه مربوط باشد.

تنش تسلیم بالاتر، مانع از جداسازی فازی یا تخریب نمونه در حین حمل و نقل می‌شود. بنابراین بالاترین تنش تسلیم در نمونه‌ها نشان‌دهنده ثبات ساختاری بالاتر ژل در این نمونه می‌باشد. مشخص است که با افزایش غلظت تنش تسلیم بیشتر می‌شود و در بین نمونه‌ها نیز نمونه دارای نشاسته اصلاح شده (5-10%) E1422 یعنی نمونه دارای ۵ درصد آدپیک اسید و ۱۰٪ استیل بالاترین تنش تسلیم را دارد که به معنی بالاترین ثبات می‌باشد.

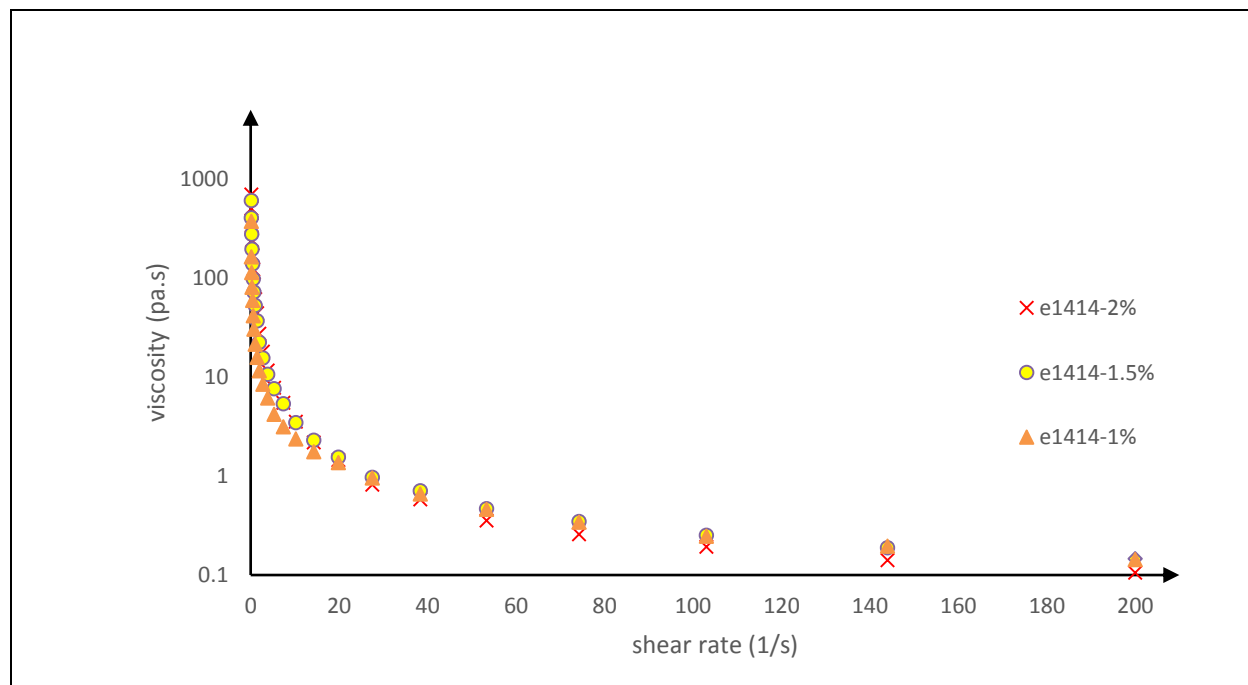
صالح و همکاران بیان نمودند که تفاوت در نوع نشاسته می‌تواند به تفاوت در تنش تسلیم در نمونه منجر گردد تفاوت در نمونه منجر به تفاوت در تورم پذیری نشاسته و جذب آب می‌باشد و همچنین خروج آمیلوز از گرانول‌ها و واسرشت نشاسته که در نمونه‌ها متفاوت است نیز به نوبه خود می‌تواند بر تنش تسلیم اثرگذار باشند و آنرا کاهش دهند (Saleh, Mohamed et al. 2020).



جدول ۱- شاخص‌های ویسکوزیته نمونه‌های ماست محتوی مقادیر متفاوت E1413

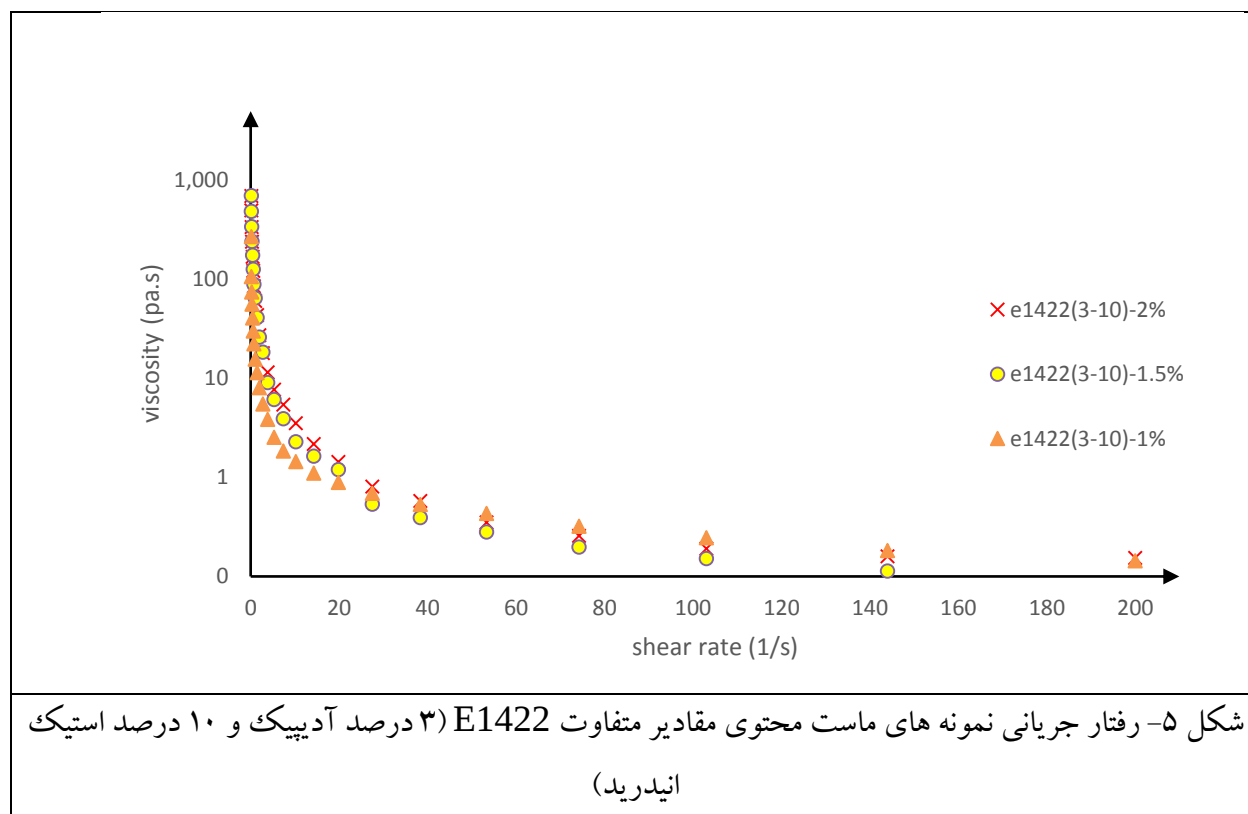
نمونه	n	α	λ	η_0	R^2
E1413-1%	0.36	5.62	61.89	1210	0.99
E1413-1.5%	0.47	4.49	95.19	7330	0.99

0.97	11480	335.8	2.97	0.66	E1413-2%
------	-------	-------	------	------	----------



شکل ۴- رفتار جریانی نمونه های ماست محتوی مقادیر متفاوت E1414

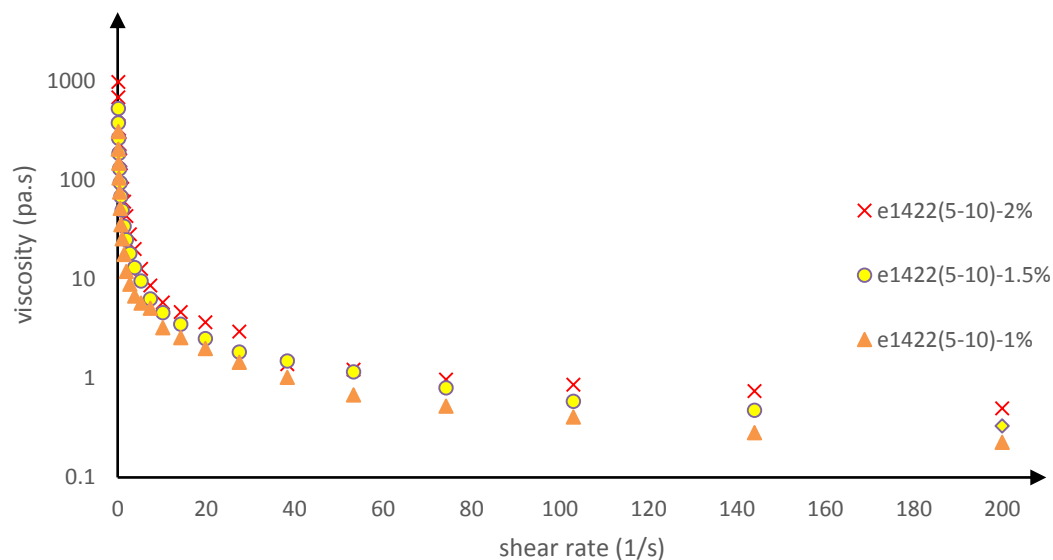
جدول ۲- شاخص های ویسکوزیته نمونه های ماست محتوی مقادیر متفاوت E1414					
R^2	η_0	λ	α	n	نمونه
0.96	1996	29.66	4.38	0.435	e1414-1%
0.99	1211	16.38	4.93	0.481	e1414-1.5%
0.99	8895	73.55	4.88	0.422	e1414-2%



جدول ۳- شاخص‌های ویسکوزیته نمونه‌های ماست محتوی مقادیر متفاوت E1422 (۳ درصد آدیپیک و ۱۰

درصد استیک انیدرید)

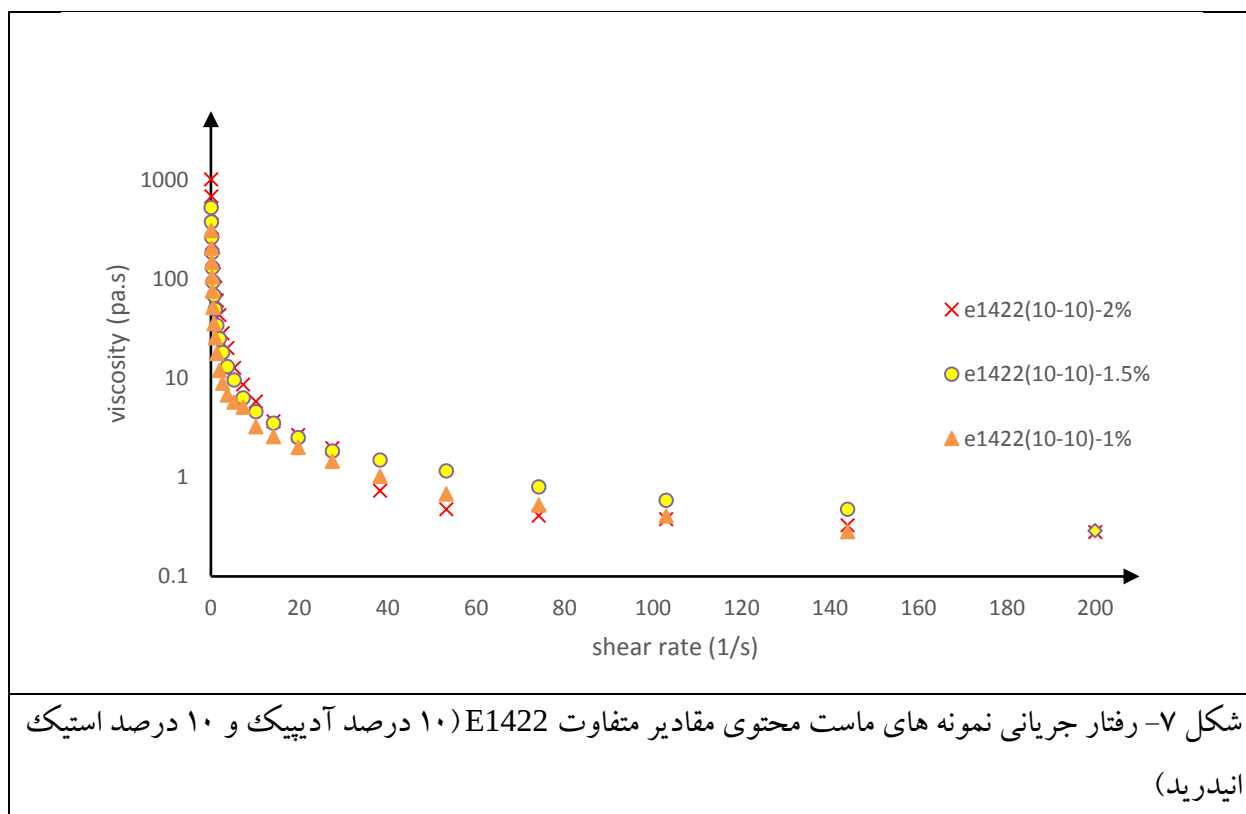
نمونه	n	α	λ	η_0	R^2
e1422(3-10)-1%	0.11	25.64	14.83	517	0.96
e1422(3-10)-1.5%	0.43	4.807	62.58	893	0.99
e1422(3-10)-2%	0.55	3.788	20.29	1528	0.99



شکل ۶- رفتار جریان‌ی نمونه های ماست محتوی مقادیر متفاوت E1422 (۵ درصد آدیپیک و ۱۰ درصد استیک انیدرید)

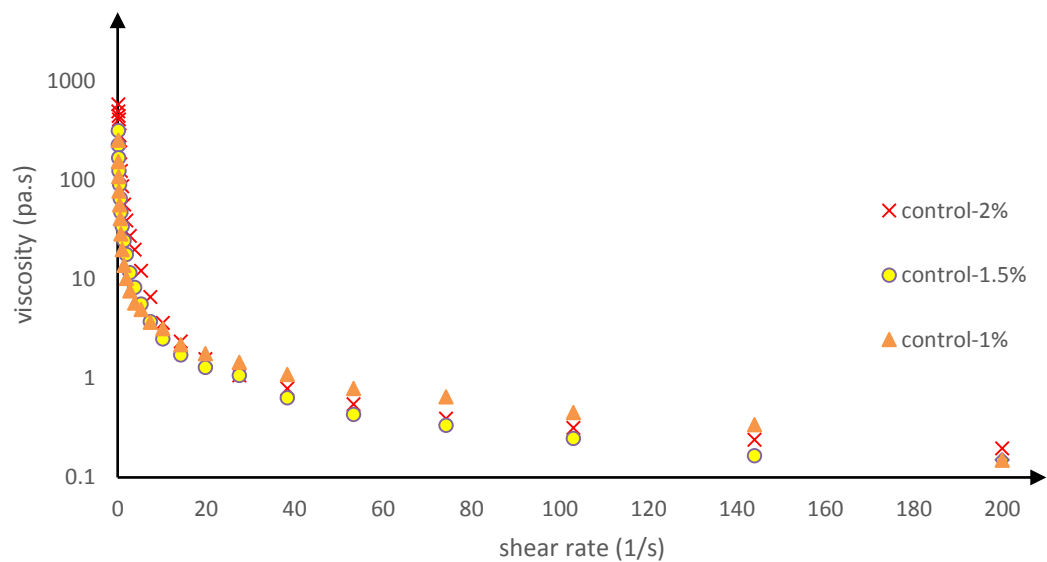
جدول ۴- شاخص های ویسکوزیته نمونه های ماست محتوی مقادیر متفاوت E1422 (۵ درصد آدیپیک و ۱۰ درصد استیک انیدرید)

نمونه	n	α	λ	η_0	R^2
e1422(5-10)-1%	0.52	4.88	73.55	8895	0.97
e1422(5-10)-1.5%	0.49	4.88	90.23	11720	0.98
e1422(5-10)-2%	0.88	2.15	900.4	47500	0.99



جدول ۵- شاخص‌های ویسکوزیته نمونه‌های ماست محتوی مقادیر متفاوت E1422 (۱۰ درصد آدیپیک و ۱۰ درصد استیک انیدرید)

نمونه	n	α	λ	η_0	R^2
e1422(10-10)-1%	0.55	3.75	185.4	7350	0.97
e1422(10-10)-1.5%	0.69	2.92	56.8	3261	0.99
e1422(10-10)-2%	0.70	3.01	207.6	31160	0.99



شکل ۸- رفتار جریان‌ی نمونه‌های ماست محتوی مقادیر متفاوت نشاسته عادی

جدول ۶- شاخص‌های ویسکوزیته نمونه‌های ماست محتوی مقادیر متفاوت نشاسته عادی

نمونه	n	α	λ	η_0	R^2
control-1%	0.42	5.21	35.2	1387	0.99
control-1.5%	0.35	5.58	54.72	1936	0.99
control-2%	0.58	2.21	125.2	4925	0.98

سفتی بافت

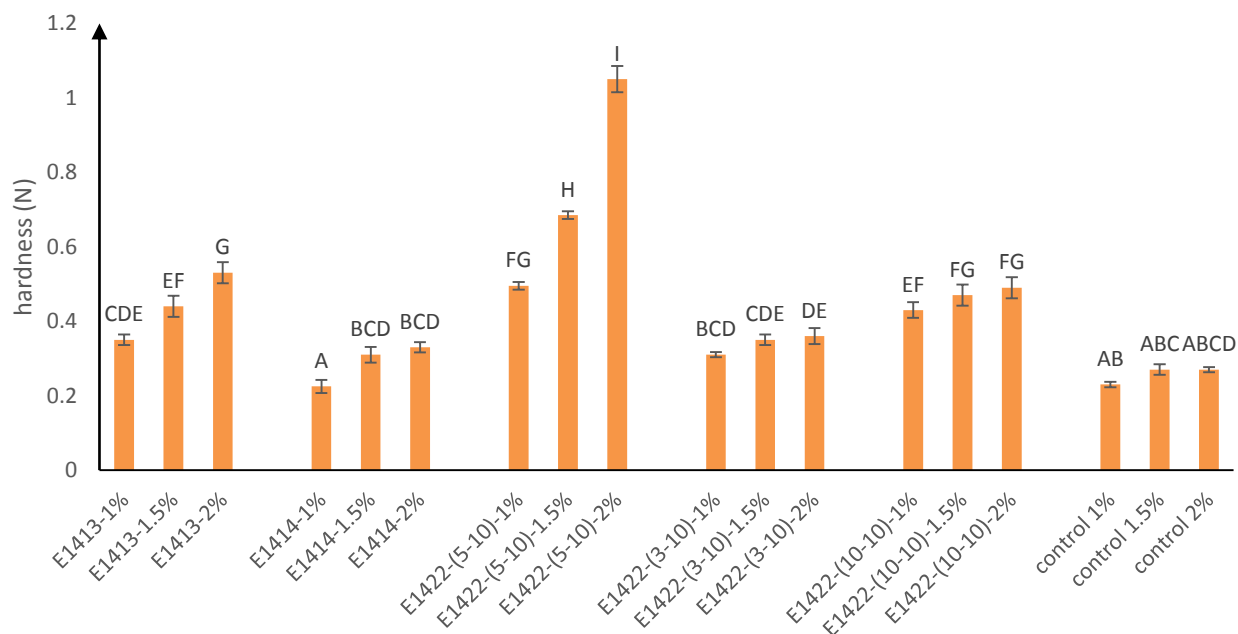
مطالعات نشان داده‌اند که نشاسته‌های اصلاح شده می‌توانند که بافت ماست را خامه‌ای‌تر و صاف‌تر می‌کند. این امر با تشکیل ماتریکس ژلی الاستیک‌تر حاصل می‌شود که به حفظ ساختار ماست در طول ذخیره‌سازی و حمل و نقل کمک می‌کند (Wong, Wicklund et al. 2020). بررسی سفتی بافت ماست بر اساس آزمون نفوذ سنجی انجام شد. نشاسته با هدف اصلاح بافت و تثبیت محصول نهایی در ماست می‌توان استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت نشاسته (۱٪، ۵٪، ۱۰٪) با افزایش قابل توجهی در سفتی بافت ماست در تمامی نمونه‌ها همراه بوده است. این مشاهده با یافته‌های مطالعات مختلفی که بر نقش نشاسته به عنوان یک عامل ژل‌ساز تأکید دارند، هماهنگی دارد و به بهبود بافت و حس دهانی محصولات لبنی کمک می‌کند (Saleh, Mohamed et al. 2020).

مشخص شد که با افزایش نشاسته میزان نیروی لازم برای نفوذ در بافت ماست افزایش می‌یابد. به نحوی که با استفاده از میزان ۲٪ نشاسته، بالاترین میزان سفتی نمونه‌ها مشخص است. افزایش سفتی با افزایش غلظت نشاسته مشخص می‌کند که محتوای بالاتر نشاسته نقاط پیوند بیشتری برای تعامل آب و چربی فراهم می‌کند که به سفتی کلی ساختار ماست کمک می‌کند (Cui, Lu et al. 2014). با مقایسه سفتی نمونه‌های دارای نشاسته اصلاح شده، مشخص است که نمونه دارای نشاسته اصلاح شده (E1422 (5-10% در سطح ۲٪ و -10% E1422 (10% در سطح ۲٪ نیز بالاترین سفتی را دارا می‌باشد که با نتایج آزمون ویسکوزیته نیز مطابقت دارد. نشاسته‌های دارای اتصالات عرضی با ایجاد پیوندهای عرضی بین زنجیره‌های نشاسته، مقاومت بیشتری در برابر گرما و اسید نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که نشاسته‌های دارای اتصالات عرضی در فرآورده‌هایی مانند ماست که تحت فرآیندهای حرارتی و تخمیری قرار می‌گیرند، عملکرد بهتری داشته باشند. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از نشاسته‌های دارای پیوند عرضی در ماست باعث افزایش ویسکوزیته و بهبود پایداری ژل می‌شود (Majzoubi, Beparva et al. 2014). نشاسته‌های فسفات‌دار با اضافه کردن گروه‌های فسفات، توانایی تورم و جذب آب بیشتری پیدا می‌کنند. این ویژگی‌ها باعث افزایش ویسکوزیته و بهبود پایداری محصول می‌گردد که دارای این نوع از نشاسته می‌باشد. نشاسته‌های فسفات‌دار همچنین مقاومت بیشتری در برابر آنزیم‌های تجزیه‌کننده نشاسته نشان می‌دهند که باعث افزایش ماندگاری محصول می‌شود (Punia Bangar, Sunooj et al. 2024). کاستیلا و همکاران نشان دادند که استفاده از نشاسته اصلاح شده ذرت به میزان ۱٪ در ماست کم چرب منجر به افزایش پارامتر سفتی ماست نسبت به نمونه شاهد می‌شود (Sandoval-Castilla, Lobato-Calleros et al. 2004). ال‌گرهی و همکاران از نشاسته اصلاح شده نشاسته استیله آدیپاته استفاده در ماست کم چرب استفاده نمودند این محققان نشان دادند که افزودن ۲٪ نشاسته اصلاح شده می‌تواند سفتی ماست را حتی نسبت به ماست پرچرب افزایش

دهد. هرچند در درصدهای ۱/۵ و ۱٪ این افزایش معنی دار نبود. با این حال در این درصد از نشاسته، طعم نشاسته از نظر مصرف کنندگان مطلوب نبود (Abbas, El-Garhi et al. 2017).

بر اساس نتایج، نمونه دارای نشاسته E1422 با ۵٪ آدپیک اسید و ۱۰٪ استیل سفتی بالاتری نسبت به درصد های کمتر و بیشتر آدپیک اسید در نشاسته اصلاح شده E1422 را نشان می دهد. این نتیجه بر اساس مشاهده نتایج قابلیت تورم نشاسته اصلاح شده نیز قابل توجیه و بررسی است چرا که عامل ایجاد کننده اتصال عرضی در نسبت های کم می تواند به یکپارچگی گرانول ها کمک کند و ثبات و پایداری آنها را طی اعمال فرآیند حرارتی و نیروی برشی افزایش دهد. در بالاترین سطوح میزان برهمکنش آنقدر زیاد شده است که قابلیت تورم کاهش یافته و امکان افزایش ویسکوزیته و به دنبال آن برهمکنش های آمیلوز کازئین به میزان کمتری فراهم می شود و بنابراین ویسکوزیته به میزان کمتری افزایش یافته و سفتی بافت نمونه ها نیز به میزان کمتری افزایش می یابد. همچنین در جهت مقایسه نوع نشاسته مورد استفاده مشخص شد که بالاترین سفتی و ویسکوزیته مربوط به نمونه دارای نشاسته E1422 با ۵٪ آدپیک اسید و ۱۰٪ استیل را نشان داد و پس از آن E1413 و سپس E1414 قرار گرفت. این روند می تواند به ساختار مولکولی و ویژگی های عملکردی هر نوع نشاسته نسبت داده شود. نتایج این بخش با نتایج نانز و همکاران همکارن مطابقت داشت. این محققان ژلهای تهیه شده بر پایه شیر و با استفاده از نشاسته های اصلاح شده را بررسی و مقایسه نمودند. این پژوهشگران گزارش نمودند که هنگام مقایسه ژلهای شیر با نشاسته های E-1422 و E-1414، که هر دو استیل شده هستند و تنها در روش ایجاد پیوند پیوند عرضی متفاوت اند، مشخص شد ژل تهیه شده با E-1422 دارای مقدار مقاومت مکانیکی بالاتری است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که اگر پیوند متقاطع با آدیپات انجام شود، ثبات ژل ها بیشتر از حالتی است که این پیوند با فسفات ایجاد می شود (Bravo-Núñez, Pando et al. 2019).

نشاسته های دارای اتصال عرضی، تمایل به تشکیل ژلهای قوی تر و پایداری دارند زیرا ساختار اصلاح شده آنها باعث بهبود نگهداری آب و قابلیت غلیظ سازی می شود (Abbas, Khalil et al. 2010). به علاوه، نشاسته های E1413 و E1414 که عامل ایجاد کننده کراس لینک در آنها متفاوت است ساختار ژل نرم تری را ایجاد کنند، که منجر به سفتی کمتر در فرمولاسیون های ماست می شود. این یافته ها با تحقیقات قبلی که بیان می کنند رفتار ژلی نشاسته های اصلاح شده می تواند به طور قابل توجهی بر خواص بافت ماست تأثیر بگذارد، تأیید می شود (Lobato-Calleros, Ramírez-Santiago et al. 2014).



شکل ۹- سفتی نمونه های ماست حاوی نشاسته های اصلاح شده و معمولی در غلظت های مختلف ۱-۲٪

آزمون حسی:

با انجام آزمون هدونیک ۵ نقطه ای لذت نظر مصرف کنندگان در مورد کیفیت نمونه های دارای نشاسته اصلاح شده E1422 (5-10%) در سطح ۲ درصد و نشاسته اصلاح نشده مورد بررسی قرار گرفت با توجه به بررسی نظر مصرف کننده در مورد تک محصول در هر بار ارزیابی این آزمون دید مناسبی در مورد نمونه های تایید شده در آزمون های سنجش کیفیت فراهم می آورد.

جدول ۷- مقایسه ارزیابی حسی نمونه های ماست همزده حاوی نشاسته اصلاح شده و معمولی

شاخص	میانگین نمرات A	میانگین نمرات C	معنی داری
رنگ	4.55±0.70	4.330±0.77	-
طعم	4.1±0.70	3.44±0.66	-

بافت	4.11±0.60	2.89±0.66	*
پذیرش کلی	4.22±0.66	3.11±1.05	*

نمونه A: نمونه دارای نشاسته (5-10%) E1422 و نمونه C: نمونه دارای نشاسته شاهد

در این بخش مشخص است که مصرف کنندگان نمونه دارای نشاسته اصلاح شده (5-10%) E1422 را مطلوب ارزیابی نموده اند.

اسیدیته

افزودن نشاسته اصلاح شده به فرمولا سیون ماست می تواند بر اسیدیته آن نیز تأثیر بگذارد. اگرچه عملکرد اصلی نشاسته اصلاح شده تغییر pH نیست، اما می تواند به طور غیر مستقیم بر اسیدیته تأثیر بگذارد با تأثیر بر فرآیند تخمیر. برخی از نشاسته های اصلاح شده می توانند به عنوان پری بیوتیک عمل کنند و رشد باکتری های لاکتیک اسید مفید را ترویج دهند، که می تواند فرآیند اسیدی کردن را افزایش دهد. با این حال، میزان این اثر بستگی به نوع نشاسته اصلاح شده مورد استفاده و تعامل آن با سایر مواد تشکیل دهنده ماست دارد (Lobato-Calleros, Ramírez- (Santiago et al. 2014, Khalifa and Ibrahim 2015).

اسیدیته و pH نمونه ها بعد از تخمیر و یک روز بعد از نگهداری اندازه گیری شد و تفاوتی در بین نتایج دیده نشد.

نتیجه گیری:

بر اساس نتایج مشخص است که امکان استفاده از نشاسته E1422 به عنوان یک ماده با ارزش در بهبود ویسکوزیته و بافت ماست وجود دارد. غلظت بهینه E1422 به نظر می رسد عامل کلیدی در دستیابی به ویژگی های حسی مطلوب باشد. نمونه دارای نشاسته اصلاح شده (5-10%) E1422 در سطح ۲٪ دارای بهترین ویژگی های مورد انتظار در نمونه می باشد.

Abbas, K., S. K. Khalil and A. S. M. Hussin (2010). "Modified starches and their usages in selected food products: A review study." Journal of Agricultural Science **2**(2): 90.

Abbas, K. A., H. El-Garhi and S. M. Hamdy (2017). "The Influence of Modified Waxy Maize Starch on The Quality of Low-Fat Yogurt." Egyptian Journal of Food Science: 171-177.

Amaya-Llano, S., A. Martínez-Alegría, J. Zazueta-Morales and F. Martínez-Bustos (2008). "Acid thinned jicama and maize starches as fat substitute in stirred yogurt." LWT-Food Science and Technology **41**(7): 1274-1281.

Ansari, S., M. A. I. Rashid, P. R. Waghmare and D. S. Nobes (2020). "Measurement of the flow behavior index of Newtonian and shear-thinning fluids via analysis of the flow velocity characteristics in a mini-channel." SN Applied Sciences **2**(11): 1787.

Bravo-Núñez, Á., V. Pando and M. Gómez (2019). "Physically and chemically modified starches as texturisers of low-fat milk gels." International Dairy Journal **92**: 21-27.

Chandan, R. C. and A. Kilara (2013). Manufacturing yogurt and fermented milks, Wiley Online Library.

Cui, B., Y.-m. Lu, C.-p. Tan, G.-q. Wang and G.-H. Li (2014). "Effect of cross-linked acetylated starch content on the structure and stability of set yoghurt." Food Hydrocolloids **35**: 576-582.

Khalifa, S. A. and A. H. Ibrahim (2015). "Influence of addition modified starches as stabilizer on physicochemical and textural properties of camel's milk yoghurt." Zagazig J. Agric. Res **42**(2): 295-307.

Lobato-Calleros, C., C. Ramírez-Santiago, E. Vernon-Carter and J. Alvarez-Ramirez (2014). "Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt." Journal of Food Engineering **131**: 110-115.

Majzoobi, M., P. Beparva, A. Farahnaky and F. Badii (2014). "Physicochemical properties of cross-linked wheat starch affected by L-ascorbic acid." Journal of Agricultural Science and Technology **16**(2): 355-364.

Punia Bangar, S., K. Sunooj, M. Navaf, Y. Phimolsiripol and W. S. Whiteside (2024). "Recent advancements in cross-linked starches for food applications-a review." International Journal of Food Properties **27**(1): 411-430.

Quintana Martinez, S. E., E. E. Torregroza Fuentes and L. A. García-Zapateiro (2022). "Rheological and Microstructural Properties of Acidified Milk Drink Stabilized with Butternut Squash Pulp Hydrocolloids (BSPHs)." ACS omega **7**(23): 19235-19242.

Saleh, A., A. A. Mohamed, M. S. Alamri, S. Hussain, A. A. Qasem and M. A. Ibraheem (2020). "Effect of different starches on the rheological, sensory and storage attributes of non-fat set yogurt." Foods **9**(1): 61.

Sandoval-Castilla, O., C. Lobato-Calleros, E. Aguirre-Mandujano and E. Vernon-Carter (2004). "Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers." International dairy journal **14**(2): 151-159.

Schmidt, K., T. Herald and K. Khatib (2001). "Modified wheat starches used as stabilizers in set-style yogurt." Journal of food quality **24**(5): 421-434.

Subroto, E., Y. Cahyana, R. Indiarso and T. A. Rahmah (2023). "Modification of starches and flours by acetylation and its dual modifications: A review of impact on physicochemical properties and their applications." Polymers **15**(14): 2990.

Walstra, P., P. Walstra, J. T. Wouters and T. J. Geurts (2005). Dairy science and technology, CRC press.

Wong, S.-S., R. Wicklund, J. Bridges, J. Whaley and Y. B. Koh (2020). "Starch swelling behavior and texture development in stirred yogurt." Food Hydrocolloids **98**: 105274.

فاز ۱۳- تولید نشاسته پری ژلاتینه در مقیاس نیمه صنعتی و ارزیابی ویژگی های کیفی آن

گزارش تولید نیمه صنعتی نشاسته سیب زمینی پری ژل به روش اکستروژن

روش تولید

به منظور فرایند نشاسته سیب زمینی از دستگاه اکسترودر دو ماردون پیلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی مستقر در شهرک صنعتی چناران (مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin چین) استفاده گردید. طول ماردون و قطر سیلندر به ترتیب ۸۰ و ۸ سانتی متر بود. دمای فرایند معادل ۱۱۰ درجه سانتیگراد تعیین شد. میزان اضافه کردن آب در ورودی خوراک در حدی تنظیم شد تا بر اثر اختلاط با نشاسته، میزان رطوبت نهایی معادل سی درصد به دست آید. میزان خوراک ورودی معادل بیست و پنج کیلوگرم در ساعت تنظیم شد. قطر دای (قالب) هشت میلی متر بود. ماده حاصل از فرایند، از تونل خشک کن با دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد عبور داده شد. در نهایت محصول توسط آسیباب صنعتی به پودر تبدیل گردید. برای انجام آزمون ها، نمونه از الک با مش ۸۰ عبور داده شد.

برآورد تعیین میزان ژلاتینه شدن

برای تعیین میزان ژلاتینه شدن نمونه ها از روش بیرچ و پریستلی (۱۹۷۳) ارائه شده توسط لیو و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شد. به این منظور ۵۰ میلی گرم نمونه با محلول ۰/۰۵ مولار پتاس مخلوط و حاصل به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. مخلوط به مدت ده دقیقه در ۴۰۰۰ جی سانتریفیوژ گردید. یک میلی لیتر از مایع رویی با یک میلی لیتر محلول اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار و ۸ میلی لیتر آب مقطر مخلوط گردید. پس از افزودن یک دهم میلی لیتر محلول ید (یک گرم ید و چهار گرم یدید پتاسیم در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر) جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید. در گروه کنترل به جای یک میلی لیتر اسید کلریدریک، نیم میلی لیتر اسید کلریدریک و نیم میلی لیتر محلول پتاس استفاده شد. نسبت جذب نمونه به کنترل به عنوان میزان ژلاتینه شدن گزارش

گردید. اساس این روش پیدایش رنگ آبی بر اثر واکنش ید با آمیلوز آزاد شده در ژلاتینه شدن نشاسته استوار است (لیو و همکاران ۲۰۱۷).

نتیجه آزمون: میزان ژلاتینه شدن نمونه حاصل ۵۸ درصد برآورد گردید. شایان ذکر است در منابع این ضریب بیشتر از ۹۷ درصد هم مشاهده شده است (لیو و همکاران ۲۰۱۷). شرایط شدیدتر اکستروژن از جمله افزایش دما می تواند در صورت نیاز اعمال گردد که البته پیدایش رنگ تیره ملاحظات ایجاد می کند.

برآورد ضرایب جذب آب و انحلال

برای تعیین ضرایب جذب آب و انحلال در آب مقدار ۲/۵ گرم نمونه آسیاب با سی میلی لیتر آب مقطر مخلوط گردید. نمونه به مدت دو دقیقه توسط شیکر همزده شد و سپس به مدت ده دقیقه در ۳۰۰۰ جی سانتریفیوژ گردید. مایع رویی به دقت جداسازی گردید و ماده خشک آن از طریق خشک کردن در آون تعیین شد. وزن رسوب باقی مانده نیز تعیین گردید. نسبت ماده خشک مایع رویی به وزن نمونه اولیه و نسبت وزن رسوب به وزن نمونه اولیه به ترتیب به عنوان ضریب انحلال و ضریب جذب آب گزارش گردید (سوتلو دیاز و همکاران ۲۰۲۳)

نتیجه آزمون: در حالی که ضریب جذب آب و انحلال نمونه نشاسته خام به ترتیب ۲۵۹ و ۰/۷۸ درصد بود این مقادیر در محصول اکستروژده به ترتیب به ۷۴۸ و ۳۳/۷۴ درصد رسید. افزایش ضریب انحلال ناشی از تخریب گرانول های نشاسته است. به این ترتیب تا حدی دکسترینه شدن نشاسته روی داده است.

بررسی رفتار در محیط آبی

برای بررسی رفتار نمونه نشاسته به دست آمده ابتدا مخلوط از نشاسته و آب با نسبت یک به چهار تهیه و قوام آن به روش بوستویک تعیین گردید. در این آزمون مسافت طی شده در زمان ۳۰ ثانیه ثبت گردید (کارسلی و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به عدم ایجاد قوام در نشاسته خام، انجام این آزمون برای نمونه اولیه مقدور نشد.

نتیجه آزمون: میزان حرکت مخلوط ۲۰ درصد با آب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد طی سی ثانیه معادل ۲/۸ سانتیمتر برآورد گردید.

ارزیابی خصوصیات رنگی

رنگ نمونه تولید شده توسط دستگاه‌انترلب و به روشی که توسط اوباتولو ورونیکا و همکاران (۲۰۰۶) تشریح شده است اندازه‌گیری شد. به این منظور ابتدا پودر نمونه در کاپ مخصوص ریخته شد تا سطح آن کاملاً پوشانده شود. در این آزمون مقادیر L ، a ، b تعیین گردید. مقادیر L که بین صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است شاخص روشنی، مقادیر مثبت a شاخص قرمزی و مقادیر منفی آن شاخص سبزی محصول می‌باشد. همچنین مقادیر مثبت b شاخص زردی و مقادیر منفی آن شاخص میزان آبی بودن محصول است.

نتیجه آزمون: مقادیر L ، a ، b نمونه اولیه و محصول نهایی در جدول زیر آورده شده است. همانطور که مشخص است شاخص روشنایی پس از اکستروژن کاهش پیدا کرده است. این موضوع پیامد واکنش‌های کاراملیزاسیون شناخته می‌شود. این موضوع تا حدی می‌تواند بر پذیرش مصرف کننده در برخی محصولات و در غلظت بالا تاثیر منفی گذارد.

خصوصیات رنگی نشاسته خام و پری‌ژل

مولفه رنگی	نشاسته خام	نشاسته پری‌ژل اکستروژده
L	۹۷/۵۴	۸۷/۵۵
a	-۰/۳۲	۰/۷۳
b	۲/۲	۸,۲۳

میزان رطوبت و فعالیت آبی

برای اندازه‌گیری رطوبت و فعالیت آبی به ترکیب از دستگاه ترازوی رطوبت سنجش سارتریوس مدل MA35 و دستگاه aw متر Novasina LabMaster استفاده گردید.

نتیجه آزمون: رطوبت و فعالیت آبی نشاسته تولید شده به ترتیب معادل ۷/۸۹ و ۰/۱۹۳ برآورد گردید.

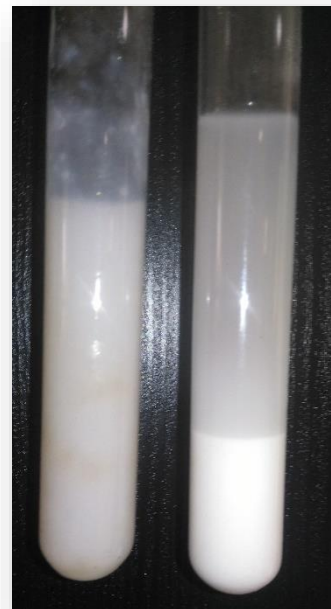
تصویر نمونه در لوله آزمایش

نشاسته خام و محصول اکستروودشده در لوله آزمایش به میزان بیست درصد ماده خشک با آب مخلوط گردید. تصاویر زیر وضعیت آنها را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است در محصول پریژل برخلاف نشاسته خام هیچگونه رسوبی مشاهده نشد. در حالت افقی نیز جریانی مشاهده نشد.



نمونه‌های بیست درصد نشاسته خام و اکستروودشده بلافاصله پس از اختلاط در حال افقی. بالا نشاسته اکستروودشده و پایین نشاسته خام

نمونه‌های بیست درصد نشاسته خام و اکستروود شده بلافاصله پس از سی دقیقه نگهداری در حالت عمودی. چپ نشاسته اکستروود شده و راست نشاسته خام



تصویر نمونه تولید شده قبل از آسیاب





اکسترودر مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin چین



دستگاه در حال شروع فرایند اکستروژن نشاسته

جمع بندی

در مجموع بیست کیلو گرم محصول نشاسته پری ژل به طور مداوم تولید و تحویل یک واحد لبنی گردید که رضایت نسبی از عملکرد آن اعلام گردید.

منابع

- Carcelli, A., Masuelli, E., Diantom, A., Vittadini, E., & Carini, E. (2020). Probing the functionality of physically modified corn flour as clean label thickening agent with a multiscale characterization. *Foods*, 9(8), 1105.
- Liu, Y., Chen, J., Luo, S., Li, C., Ye, J., Liu, C., & Gilbert, R. G. (2017). Physicochemical and structural properties of pregelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Carbohydrate Polymers*, 175, 265-272.
- Obatolu Veronica, A., Omuetti Olusola, O., & Adebawale, E. A. (2006). Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of food process engineering*, 29(2), 149-161.
- Sotelo-Díaz, L. I., Igual, M., Martínez-Monzó, J., & García-Segovia, P. (2023). Techno-functional properties of corn flour with Cowpea (*Vigna unguilata*) powders obtained by extrusion. *Foods*, 12(2), 298.