ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب پری‌بیوتیک حاوی اینولین، پلی‌دکستروز و کربوکسی متیل سلولز

سمیه عباسی اصل[a]، زهرا لطیفی[b*]، نفیسه محمدی کرتلایی[c]

[a] دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[b] باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران
[c] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1401.19.3.5.0 DOI: 10.30495/JFTN.2022.63850.11157

چکیده

مقدمه: در طی یک دهه گذشته مصرف محصولات غذایی بدون چربی و کم‌چرب گسترش زیادی پیدا کرده است، به این دلیل که بین مصرف چربی و بیماری‌هایی از جمله چاقی، بیماری‌های قلبی و عروقی مانند تصلب شرائین و سرطان ارتباط وجود دارد. بنابراین صنعت غذا با تقاضای روز افزونی برای کاهش مقدار چربی در محصولات غذایی روبرو است ولی کاهش چربی، ویژگی‌های حسی و رئولوژیکی را به گونه‌ای منفی تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگر فیبرهای پری‌بیوتیک مانند اینولین و پلی‌دکستروز، علاوه بر داشتن خواص چربی‌سوزی دارای مزایای تغذیه‌ای–درمانی بالایی می‌باشند. هدف این پژوهش، بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی ماست کم‌چرب (۱/۵درصد) و تولید یک محصول فراسودمند می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ماست کم چرب پری‌بیوتیک با استفاده از اینولین (صفر، ۲ و ۳ درصد)، پلی‌دکستروز (صفر، ۲ و ۳ درصد) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (صفر و ۰/۵ درصد) به صورت ترکیبی اینولین–کربوکسی‌متیل‌سلولز و پلی‌دکستروز– کربوکسی‌متیل‌سلولز انجام تولید شد.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند میزان آب‌اندازی با افزایش غلظت اینولین و پلی‌دکستروز کاهش پیدا کرد. در این میان، افزودن غلظت ثابتی از کربوکسی‌متیل‌سلولز به نمونه‌های مختلف حاوی اینولین و کربوکسی متیل سلولز باعث کاهش بیشتر آب‌اندازی شد. که بر pH و اسیدیته اثر غیرمعنی داری داشت. بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی نشان داد که افزودن اینولین و پلی‌دکستروز سبب افزایش ویسکوزیته ظاهری، مدول ذخیره و مدول افت ماست کم‌چرب می‌شود و افزودن غلظت ثابتی از کربوکسی‌متیل‌سلولز باعث بهبود هرچه بیشتر ویژگی‌های رئولوژیکی می‌شود. یافته‌های آماری ارزیابی حسی ماست کم‌چرب نشان دادکه افزودن اینولین و پلی‌دکستروز در کنار غلظت ثابتی از کربوکسی‌متیل‌سلولز باعث بهبود پذیرش کلی ماست کم‌چرب می‌شود. تیمار برتر ماست کم چرب حاوی پلی دکستروز ۳ درصد + کربوکسی متیل سلولز ۰/۵ درصد بود.

نتیجه‌گیری: نتایج گویای این مطلب می‌باشد که افزودن غلظت ثابتی از کربوکسی‌متیل‌سلولز به نمونه‌های مختلف ماست کم چرب حاوی اینولین و پلی‌دکستروز سبب بهبود بیشتر ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی ماست کم‌چرب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *آب‌اندازی، ماست کم‌چرب، مدول‌های ویسکوالاستیک، هیدروکلوئیدها*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: yasamin.latifi131@yahoo.com

مقدمه

ماست یک حامل منحصر به فرد برای باکتری‌های پروبیوتیک است و دارای بافت خوب، ویژگی‌های حسی، ارزش تغذیه‌ای بالا و سازگاری عالی می‌باشد. گونه‌های *لاکتوباسیلوس* و *بیفیدوباکتریوم* به‌عنوان رایج‌ترین پروبیوتیک‌های تجاری مورد استفاده در تولید ماست هستند (Alizade *et al*., 2017; Lucatto *et al*., 2019). ماست فرآورده منعقد شده‌ای است که از تخمیر اسید شیر پاستوریزه بوسیله فعالیت باکتری های اختصاصی لاکتیک بویژه استرپتوکوکوس سالیواریوس زیرگونه ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس به میزان معین و در درجه حرارت و زمان مشخص بدست می‌آید (Harvrlentoval *et al*., 2011). این محصول در بین تمام فرآورده‌های شیری تخمیری، شناخته شده‌تر از سایر فرآورده‌ها بوده و مقبولیت بیشتری در دنیا دارد. ماست در کشورهای اطراف دریای مدیترانه، آسیا و اروپای مرکزی مصرف بالایی دارد. این فرآورده از کشورهای ترکی منشأ گرفته و به نام یوگورت نامیده می‌شود. بسیاری از کشورها نام خاصی برای این محصول دارند. در ژاپن، تنها شیر تخمیری که مصرف زیاد دارد، ماست می‌باشد. در سال‌های اخیر، نوشیدنی‌های لاکتیکی شیر، اغلب با آب یا شربت قند، رقیق شده و مصرف آن‌ها در ژاپن و اکثر کشورهای توسعه یافته و همچنین در کشورهای غرب آسیا شروع به گسترش نموده است. در ایران، مصرف ماست و دوغ، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و اغلب مردم، مصرف روزانه این دو فرآورده را به دلیل ارزش تغذیه‌ای و دارویی، لازم می‌دانند (Mortszsvisn *et al*., 2013).

ماست، فرآورده تخمیری لاکتیکی حاصل از فعالیت دو باکتری استارتر به نام *لاکتوباسیلوس دلبروکی* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* بر روی شیر است (Tamim *et al*., 1999). در سال‌های اخیر به دلیل افزایش سطح آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به اثرات مضر چربی بالا در سلامت انسان، تقاضا برای تولید محصولات لبنی بدون چرب یا با چربی پایین افزایش یافته است (Guggisberg *et al*., 2000). کاهش چربی و متعاقب آن، کاهش مقدار ماده خشک، موجب ایجاد شبکه بافتی ضعیف و افزایش آب‌اندازی می‌شود (Lourenset *et al*., 2001). جایگزین‌های چربی ترکیباتی هستند که می‌توانند جایگزین تمام یا بخشی از چربی شده و برخی از خواص کاربردی چربی را تقلید نمایند. جایگزین‌های چربی مناسب، ساختار پروتئینی یا کربوهیدراتی دارند. از انواع این جایگزین‌های چربی می‌توان به اینولین، پلی‌دکستروز و کربوکسی‌متیل-سلولز اشاره نمود. اینولین نوعی کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاهی است که شامل زنجیره‌ای خطی از مولکول‌های فروکتوز می باشد که توسط پیوند بتا فروکتوزیل ۱←۲ به هم متصل شده اند. اینولین به‌طور معمول از ریشه گیاهان و یا از سنتز یک مولکول پایه مثل ساکاروز، استخراج می‌شود (Kelly, 2008). کربوکسی‌متیل‌سلولز، یک پلیمر آنیونی، خطی و محلول در آب است که به‌صورت اسید آزاد، نمک سدیم و یا مخلوط هر دو وجود دارد. تاکنون در خصوص استفاده از انواع هیدروکلوئیدها جهت بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی ماست، مطالعاتی صورت گرفته است. Srisuvor و همکاران (۲۰۱۳)، اثر اینولین و پلی‌دکستروز را در سطوح مختلف (۱، ۲، ۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر شیر) بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که ۲ گرم پلی‌دکستروز نسبت به اینولین باعث ایجاد بافت مناسب‌تر در ماست کم چرب شد. Guggisberg و همکاران (۲۰۰۹)، روی تاثیر افزودن اینولین در غلظت‌های صفر تا چهار درصد را روی ساختار و بافت ماست حاوی سطوح مختلف چربی ۰/۲–۳/۵ درصد مطالعاتی انجام دادند، تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اینولین و چربی، ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و با افزودن درصد بالای اینولین، تنش تسلیم و استحکام و خامه‌ای شدن افزایش یافت ولی بر روی pH تأثیری نداشت. نتایج پژوهش Andiç و همکاران (۲۰۱۳)، بر روی عملکرد کربوکسی‌متیل‌سلولز و ژلاتین گاوی به ترتیب در سطوح ۰/۲۵ درصد و۰/۵۰ درصد (وزنی/وزنی) بر روی خواص فیزیکی _ شیمیایی، بافت و حسی نشان داد که ژلاتین نسبت به کربوکسی‌متیل‌سلولز برای ماست به دلیل ایجاد ساختار ژلی بهبود یافته با سینرژیس پایین و ظرفیت نگهداری آب بالاتر همراه با ویسکوزیته و استحکام بالاتر مناسب می‌باشد، همچنین آسیب حسی هم ایجاد نمی‌کند. با توجه به اینکه اطلاعات قابل دسترسی از کاربرد اینولین بلند زنجیر، پلی‌دکستروز و کربوکسی‌متیل‌سلولز در ماست کم‌چرب وجود ندارد بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی

اثر این سه ترکیب روی ویژگی‌های رئولوژیکی در ماست کم چرب پری‌بیوتیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- **مواد**

کشت آغازگر حاوی ترکیبی از باکتری‌های آغازگر *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* (CHR Hansen، دانمارک)، شیر کم‌چرب (با چربی ۱/۵ درصد و ماده خشک بدون چربی ۹ درصد، شرکت بال سوت ملکان)، اینولین بلند زنجیر Frutafit®TEX (شرکت سنسوس هلند)، پلی‌دکستروز (شرکت دنیسکو دانمارک) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (شرکت سانروز ژاپن) تهیه شد.

- **تهیه نمونه**

به منظور تولید ماست کم‌چرب ۵۰۰ میلی‌لیتر شیر کم‌چرب (۱/۵ درصد چربی) بر روی بن ماری (مدل FaterRizpardaz، ساخت ایران) قرار داده و بعد از رسیدن به دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، پری‌بیوتیک‌های اینولین (۰، ۲، ۳ درصد (وزنی/ وزنی)) و پلی‌دکستروز (۰، ۲، ۳ درصد (وزنی/ وزنی)) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (۰، ۰/۵ درصد (وزنی/ وزنی))، اینولین (۲، ۳ درصد) – کربوکسی‌متیل-سلولز (۰/۵ درصد) و پلی‌دکستروز (۲، ۳ درصد) – کربوکسی‌متیل‌سلولز (۰/۵ درصد) به شیر افزوده شده و تا اختلاط کامل، همزده شدند. هر کدام از تیمارها در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه پاستوریزه شد و بعد از خنک شدن تا دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد استارتر تجاری CHR Hansen (۰/۰۰۳ درصد) به نمونه افروده شد و سپس نمونه‌ها در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری گردید. پس از رسیدن به pH=۴/۶ نمونه‌ها به یخچال ۵ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند. آزمون‌های مورد نظر (pH، اسیدیته، آب‌اندازی، آزمون‌های رئولوژیکی (رئومتری پایا، آزمون رئومتری نوسانی)، ارزیابی حسی (مقبولیت طعم، بافت، رنگ و پذیرش کلی) در روز اول تولید ماست و در فواصل زمانی دوره‌ی نگهداری ماست مورد آنالیز قرار گرفتند (استاندارد ملی، شماره ۶۹۵). نمونه‌های مورد آزمایش در جدول آمده اند:

- **آزمون‌های رئولوژیکی**

- **رئومتری پایا**

خصوصیات رئولوژیک نمونه‌های ماست به وسیله دستگاه رئومتر (Physica Anton paar، مدل MCR301، ساخت اتریش) مجهز به رئومتری استوانه‌های هم مرکز (27cc) انجام شد. رئومتر مجهز به یک سیرکولاتور حرارتی برای انجام آزمون بود. نمونه‌های ماست در سیلندر دستگاه ریخته شد و توسط سیرکولاتور به دمای ۰/۱± ۱۵ درجه سانتی گراد رسید به منظور اندازه‌گیری ویسکوزیته به صورت تابعی از سرعت برشی و همچنین تعیین رفتار جریانی، نمونه‌ها در سرعت برشی ۱۰۰-۱ بر ثانیه اندازه‌گیری آنالیز شدند (Daw & Hart., 2015).

جدول ۱- نمونه‌های ماست کم چرب حاوی هیدروکلوئیدهای مختلف

Table 1- Samples of low fat yogurt containing different Hydrocolloids

sample	Treatment
1	Control
2	CMC 0.5%
3	Inulin 2%
4	Inulin 3%
5	Polydextrose 2%
6	Polydextrose 3 %
7	Inulin 2%+ CMC 0.5%
8	Inulin 2%+ CMC 0.5%
9	Polydextrose 2%+ CMC 0.5%
10	Polydextrose 2%+ CMC 0.5%

- رئومتری نوسانی

خصوصیات رئولوژیک نمونه‌های ماست به وسیله دستگاه رئومتر PhysicaAntonpaar، مدل MCR301، ساخت اتریش) مجهز به رئومتری استوانه‌های هم مرکز (27cc) انجام شد. ۲۰ دقیقه روی رئومتر به حال خود رها شدند تا اثر تنش‌های وارد شده بر آن‌ها از بین برود. گستره‌ی ویسکوالاستیک خطی با انجام آزمون روبش کرنش تعیین شد. برای این منظور فرکانس در ۱۰ هرتز تنظیم شده و درصد کرنش از ۰/۱ تا ۱۰۰ تغییر پیدا کرد. سپس کرنش در گستره‌ی خطی ۰/۱ انتخاب شد. آزمایش تغییر روبش فرکانس انجام گرفت به این ترتیب که کرنش از ۰/۱ تنظیم شده و فرکانس از ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز تغییر یافت. سنجه واره‌های محاسبه شده در این آزمون شامل مدول ذخیره و مدول افت بودند (Karami *et al*., 2015).

- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

pH نمونه‌های مختلف با استفاده از دستگاه دیجیتال pHمتر(مدل827، Metrohm ساخت سوئیس) اندازه‌گیری شد. اسیدیته قابل تیتراسیون نمونه‌ها پس از مخلوط کردن ۱۰ گرم از نمونه‌ها با ۲۰ میلی لیتر آب مقطر و تیتراسیون با استفاده از سود ۰/۱ نرمال و ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فنل فتالئین تا ظاهر شدن رنگ صورتی انجام گرفت (Aziznia *et al*., 2008). همچنین میزان آب‌اندازی نمونه‌ها با وزن کردن حدود ۲۰ گرم از نمونه‌های مختلف ماست و قرار دادن آن در دستگاه سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۵۰ دور در دقیقه به مدت ده دقیقه اندازه‌گیری شد و آب‌اندازی به‌صورت درصد حجم فاز مایع شفاف جدا شده بر وزن اولیه نمونه محاسبه شد (Amaya-LIano *et al*., 2008).

- تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب یک طرح "کاملا تصادفی" و با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۲) به منظور ارزیابی تأثیر نمونه‌های ماست حاوی هیدروکلوئیدهای مختلف (کربوکسی متیل سلولز، اینولین و پلی‌دکستروز) در نسبت‌های مختلف از لحاظ غلظت بر روی ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و برای مقایسه میانگین ویژگی‌های مختلف از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده گردید. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ صورت پذیرفت.

یافته‌ها

- رئومتری پایا (ویسکوزیته ظاهری)

تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مختلف ماست کم‌چرب به موازات افزایش سرعت برشی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته تمامی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. این موضوع نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک یا شل‌شونده با برش[1] ماست است.

- رئومتری نوسانی (پارامترهای ویسکوالاستیک)

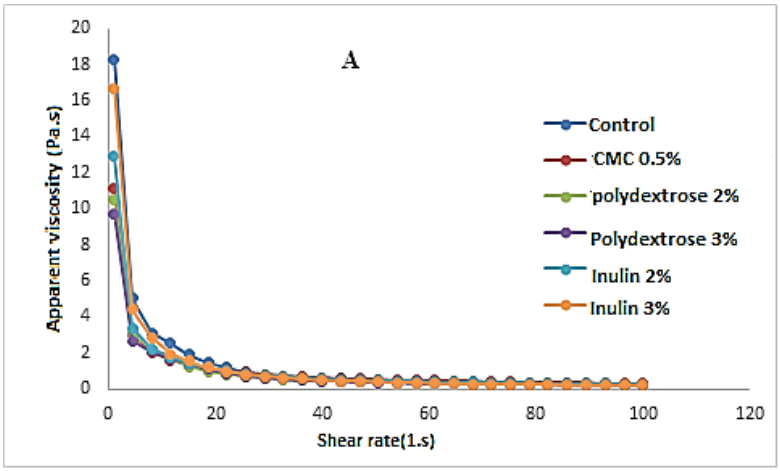
- رفتار جریانی

با توجه به بررسی‌های انجام شده در پژوهش حاضر، بهترین مدل رئولوژیکی فیت شده با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطای استاندارد برای تمامی نمونه‌ها، مدل قانون توان می‌باشد. جدول ۲، پارامترهای قانون توان را برای نمونه‌های مختلف ماست کم‌چرب نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقادیر ضریب قوام به ترتیب برای نمونه های شاهد و با اینولین ۲ درصد + کربوکسی متیل سلولز ۰/۵ درصد به دست آمد. همچنین در مورد شاخص جریان، برای نمونه شاهد و ماست کم‌چرب حاوی اینولین ۲ درصد کمترین مقادیر و نمونه های حاوی کربوکسی متیل سلولز ۰/۵ درصد بیشترین مقادیر گزارش شد.

- ویژگی‌های ویسکوالاستیک

تغییرات مدول ذخیره و مدول افت نمونه‌های مختلف ماست کم‌چرب در فرکانس‌های مختلف در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطور که در شکل‌ها قابل مشاهده می‌باشد، کمترین میزان **G'** و**G''** در تمامی فرکانس‌ها، مربوط به نمونه شاهد کم چرب (۱/۵ درصد چربی بدون افزودن اینولین، پلی‌دکستروز و کربوکسی متیل‌سلولز) بود.

[1] Shear Thinning



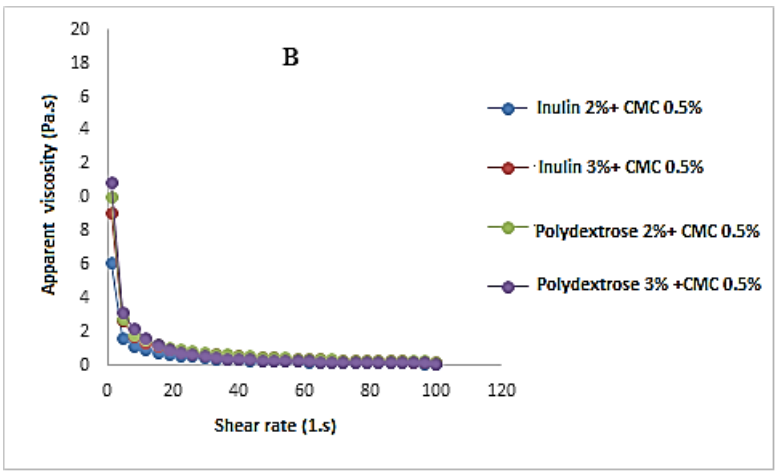


Figure 1- Investigation of the effect of shear speed on the apparent viscosity of different samples of low-fat yogurt.

شکل ۱- بررسی تأثیر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مختلف ماست کم چرب

جدول ۲- پارامترهای قانون توان برای نمونه های مختلف ماست کم چرب

Table 2 - Power law parameters for different samples of low-fat yogurt

Sample	Coefficient of consistency(K) (mPa.s^n)	Flow indicator(n)
Control	22.17 ± 2.78^c	0.03 ± 0.65^c
CMC 0.5%	10.77 ±1.98^a	0.22 ±0.021^c
Polydextrose 2%	12.42±2.03^b	0.11±0.032^a
Polydextrose 3%	12.44±2.05^b	0.1±0.034^a
Inulin 2%	13.22±2.14^b	0.15±0.028^b
Inulin 3%	21.56±2.67^c	0.02±0.074^a
Inulin 2%+ CMC 0.5%	6.18±1.75^a	0.243±0.012^b
Inulin 3%+ CMC 0.5%	9.36±1.92^a	0.243±0.014^b
Polydextrose 2%+ CMC 0.5%	10.14±1.95^a	0.23±0.015^b
Polydextrose 3%+ CMC 0.5%	13.81±2.21^b	0.062±0.47^a

حروف غیر مشابه در هر ستون، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ است (p< ۰/۰۵)

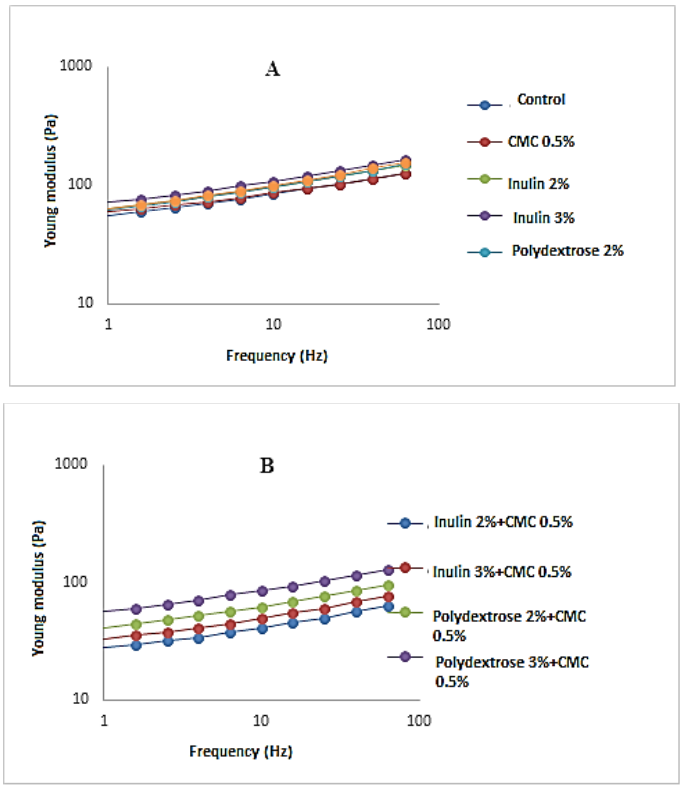


Figure 2- Storage modulus of low-fat yogurt samples containing different concentrations

شکل ۲- مدول ذخیره نمونه‌های ماست کم چرب حاوی غلظت‌های مختلف کربوکسی‌متیل‌سلولز، اینولین و پلی‌دکستروز در فرکانس‌های مختلف

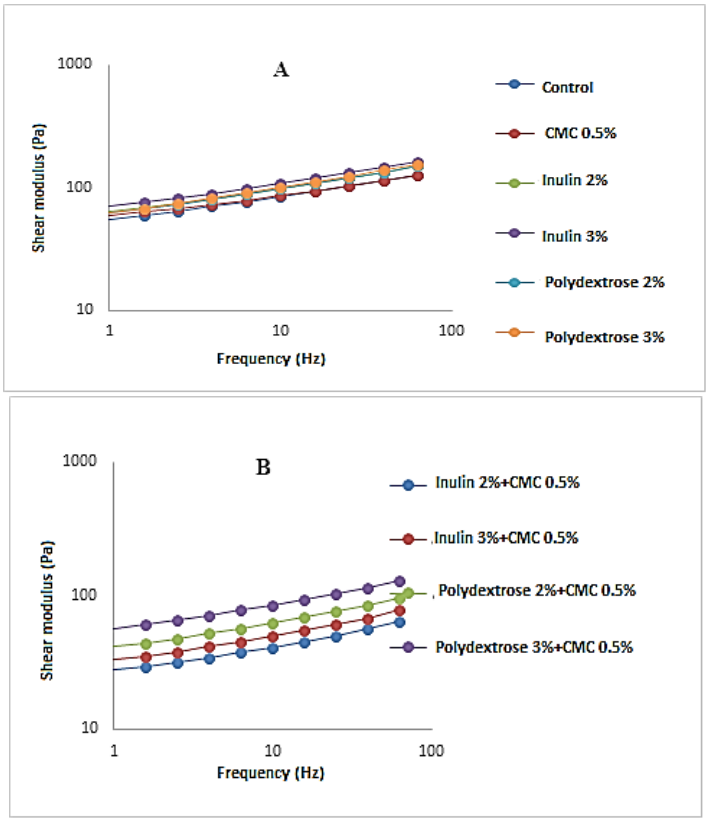


Figure 3- Drop modulus of different samples of low-fat yogurt at different frequencies

شکل ۳ - مدول افت نمونه‌های مختلف ماست کم چرب در فرکانس‌های مختلف

- **ویژگی‌های فیزیکوشمیایی**

pH -

نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH نمونه‌های مختلف ماست در شکل ۴ نشان داده شده است، نگاهی به نتایج نشان می‌دهد که افزودن اینولین (۲، ۳ درصد) یا پلی‌دکستروز (۲، ۳ درصد) به ماست کم‌چرب و ماست کم‌چرب حاوی درصد ثابت کربوکسی متیل سلولز (۰/۵ درصد) تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.05$) بر میزان pH ماست ندارد.

- اسیدیته

براساس نتایج ارائه شده در شکل ۵، افزودن اینولین (۲، ۳ درصد) یا پلی‌دکستروز (۲، ۳ درصد) به ماست کم‌چرب و ماست کم‌چرب حاوی درصد ثابت کربوکسی متیل سلولز (۰/۵ درصد) همانند pH، تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.05$) بر میزان اسیدیته ماست ندارد.

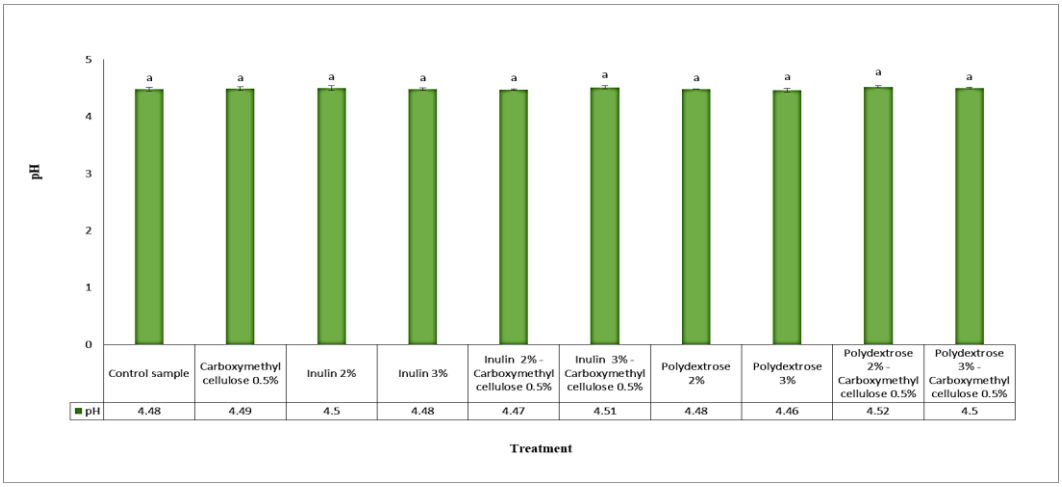


Figure 4- pH of different treatments of low-fat yogurt.

Different lowercase letters indicate a significant difference in the pH of different treatments at the level of significance $p < 0.05$

شکل ٤- pH تیمارهای مختلف ماست کم‌چرب

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میزان pH تیمارهای مختلف در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ می‌باشد.

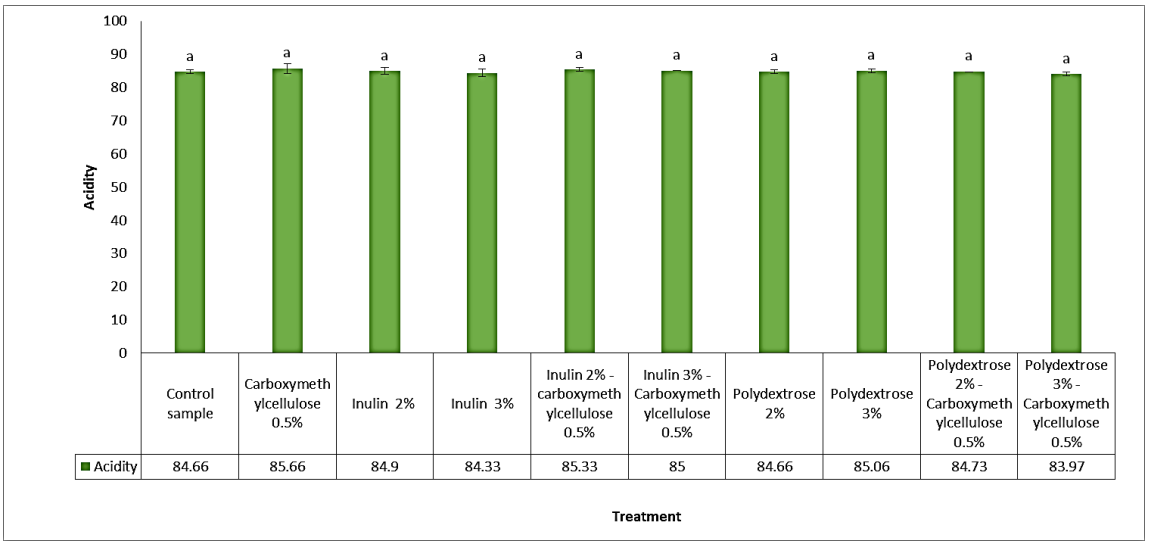


Figure 5- Acidity of different treatments of low-fat yogurt.

Different lowercase letters indicate a significant difference in the acidity of different treatments at the level of significance $p < 0.05$

شکل ٥- اسیدیته تیمارهای مختلف ماست کم‌چرب

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میزان اسیدیته تیمارهای مختلف در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ می‌باشد.

- آب‌اندازی

یافته‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان آب‌اندازی نمونه‌های مختلف ماست، در شکل ۶ ارائه شده است. همانطور که در نمودار قابل مشاهده است، افزودن درصدهای مختلف اینولین (۲ و ۳ درصد) به ماست شاهد کم‌چرب (ماست با ۱/۵ درصد چربی بدون افزودن کربوکسی‌متیل‌سلولز یا اینولین) سبب کاهش آب‌اندازی ماست کم‌چرب می‌شود که این کاهش از لحاظ آماری تنها برای نمونه حاوی ۳ درصد اینولین معنی‌داری ($p \leq 0.05$) بود.

- ارزیابی حسی

- پذیرش بافت

نتایج حاصل از ارزیابی مقبولیت بافت نمونه‌های مختلف ماست کم‌چرب، بوسیله یک گروه ارزیاب ۱۰ نفره مورد ارزیابی قرار گرفتند، که در شکل ۷ ارائه شده است.

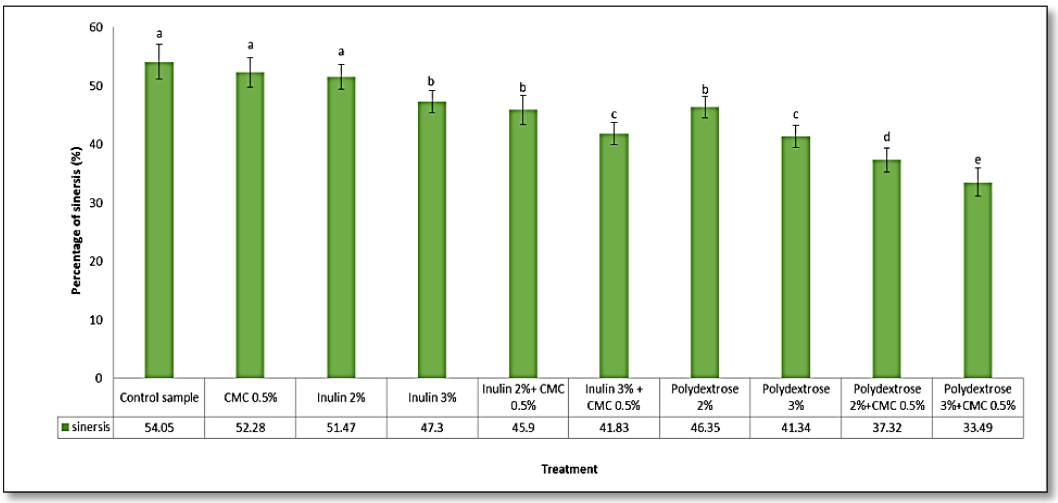


Figure 6- Irrigation of different treatments of low-fat yogurt.

Different lowercase letters indicate a significant difference in the acidity of different treatments at a significant level

شکل ٦- آب‌اندازی تیمارهای مختلف ماست کم‌چرب.

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میزان اسیدیته تیمارهای مختلف در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ می‌باشد.

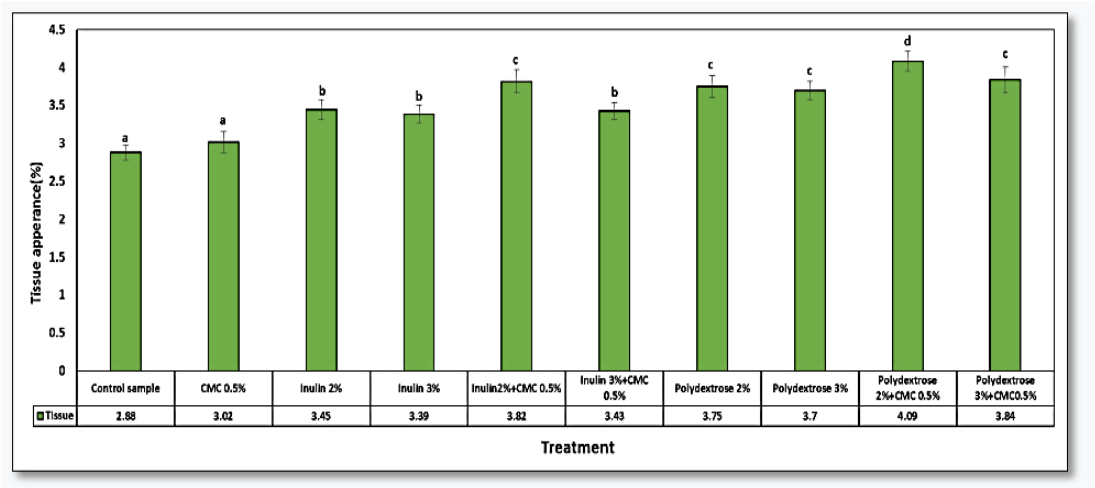


Figure 7– Acceptance of tissue of different treatments of low-fat yogurt.

Different lowercase letters show a significant difference in the acidity of different treatments at a significant level of $p < 0.05$

شکل۷- پذیرش بافت تیمارهای مختلف ماست کم چرب.

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میزان اسیدیته تیمارهای مختلف در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ می باشد.

- **پذیرش طعم**

شکل ۸، قابلیت پذیرش طعم نمونه‌های مختلف ماست (نمونه شاهد کم چرب، کم‌چرب + ۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز، کم چرب حاوی درصدهای مختلف اینولین و پلی‌دکستروز) را که بوسیله یک گروه ارزیاب ۱۰ نفره مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.

- **پذیرش رنگ**

یافته‌های آماری حاصل از ارزیابی پذیرش رنگ نمونه‌های مختلف ماست که بوسیله یک گروه ارزیابی ۱۰ نفره مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، در شکل ۹ ارائه شده است. نگاهی گذرا به نمودار ارائه شده در شکل نشان می‌دهد که افزودن درصدهای مختلف پلی‌دکستروز و اینولین به ماست کم‌چرب سبب افزایش معنی‌دار ($p \leq 0.05$) امتیاز رنگ نسبت به نمونه ماست شاهد کم‌چرب می‌شود، اما افزایش غلظت اینولین و پلی‌دکستروز نتیجه عکس دارد و امتیاز رنگ را کاهش می‌دهد که این کاهش در ارتباط با نمونه حاوی ۳ درصد پلی‌دکستروز و ۳ درصد اینولین از نظر آماری معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). افزودن کربوکسی متیل سلولز به نمونه‌های ماست کم‌چرب سبب افزایش اندک امتیاز رنگ نمونه‌های ماست کم‌چرب شد که البته این افزایش از نقطه نظر آماری معنی دار ($p \leq 0.05$) نبود.

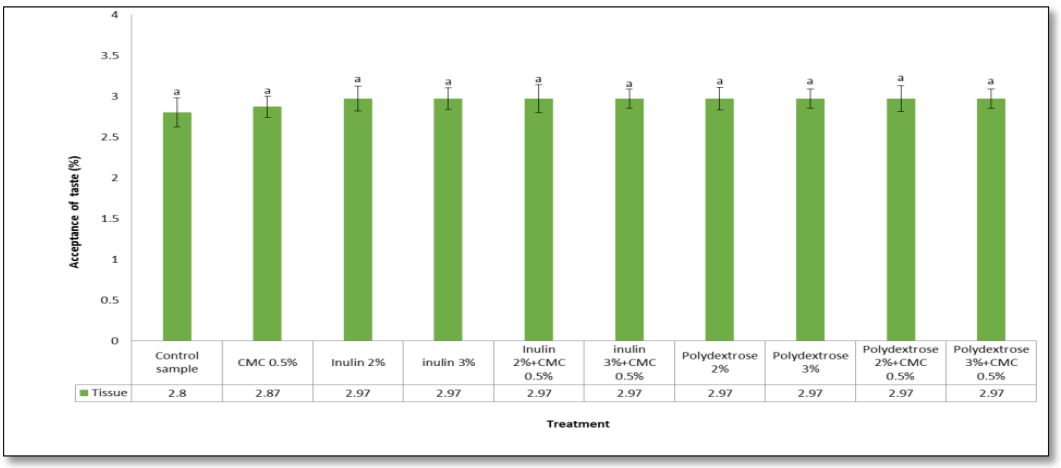


Figure 8- Acceptance of the taste of different treatments of low-fat yogurt.

Different lowercase letters show a significant difference in the acidity of different treatments at a significant level of p<0.05

شکل ۸- پذیرش طعم تیمارهای مختلف ماست کم چرب

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میزان اسیدیته تیمارهای مختلف در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ می‌باشد

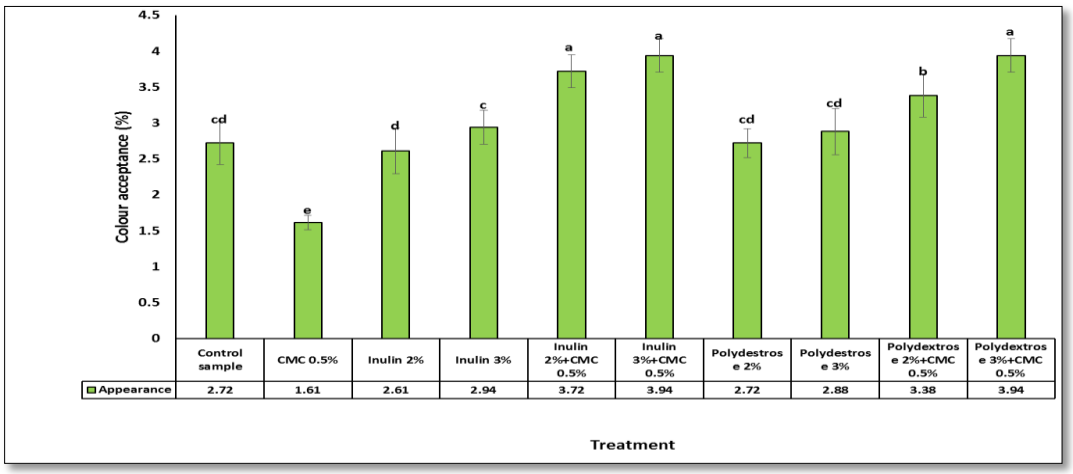


Figure 9- Acceptance of colour of different treatments of low-fat yogurt

Different lowercase letters show a significant difference in the acidity of different treatments at a significant level of p <0.05

شکل ۹- پذیرش رنگ تیمارهای مختلف ماست کم چرب

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میزان اسیدیته تیمارهای مختلف در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ می‌باشد.

- پذیرش کلی

نتایج حاصل از بررسی پذیرش کلی نمونه‌های مختلف ماست کم چرب، که بوسیله یک گروه ارزیاب ۱۰ نفره مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، در شکل ۱۰ ارائه شده است.

بحث

- رئومتری پایا (ویسکوزیته ظاهری)

تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مختلف ماست کم‌چرب در اثر افزودن اینولین (۲ و ۳ درصد)، پلی‌دکستروز (۲ و ۳ درصد) و درصد ثابت کربوکسی‌متیل‌سلولز (۰/۵ درصد) نشان داد که با وجود رفتار جریانی مشابه تمامی نمونه‌ها، نمونه شاهد کم‌چرب در تمام سرعت‌های برشی، کمترین میزان ویسکوزیته را دارا بود و با افزودن اینولین و پلی‌دکستروز ویسکوزیته ظاهری افزایش پیدا کرد که البته تاثیر پلی‌دکستروز در افزایش ویسکوزیته ماست کم‌چرب بیشتر بود. بررسی نتایج نشان می‌دهد افزودن کربوکسی-متیل‌سلولز (۰/۵ درصد) به نمونه‌های مختلف موجب افزایش بیشتر ویسکوزیته نسبت به نمونه‌های عاری از کربوکسی متیل سلولز می‌شود. لازم به ذکر است که میزان ویسکوزیته مربوط به نمونه ۳ درصد پلی‌دکستروز+ ۰/۵ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان ویسکوزیته نشان داد که نمونه‌های دارای اینولین تجاری ویسکوزیته بالاتری نسبت به نمونه شاهد داشتند، که این افزایش ویسکوزیته با افزایش غلظت اینولین رابطه مستقیم داشت (Taybi Moghaddam and Ehsani, 2020). افزایش غلظت اینولین مقدار ویسکوزیته افزایش یافت؛ که این امر را برقابلیت اینولین در تشکیل ساختار ژلی نسبت دارد؛ به‌طوریکه مولکول‌های اینولین در داخل مخلوط شیر پراکنده شده و متعاقب سرد شدن شروع به تشکیل ساختار ژلی می‌نمایند که بافت ژل تولیدی بسته به غلظت به کار رفته می‌تواند مشابه کره یا ماست باشد (Soofi *et al*., 2019). نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اگرچه با افزودن اینولین، ویسکوزیته به طور معنی‌داری نسبت به نمونه کنترل افزایش یافته است (Rezaei *et al*., 2013) مطابق گزارشات بدست آمده توسط Hemmati و همکاران (۲۰۱۹)، نمونه‌های ماست همزده کم‌چرب حاوی اینولین ۱/۵ درصد و نشاسته ۰/۵ درصد بیشترین ویسکوزیته را دارد. نتایج بدست آمده از تحقیق Basiri و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که افزودن موسیلاژ رازیانه و کربوکسی‌متیل‌سلولز به ماست ویسکوزیته را افزایش داد. افزدون کربوکسی متیل سلولز و اینولین به ماست منجمد میوه‌ای باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود

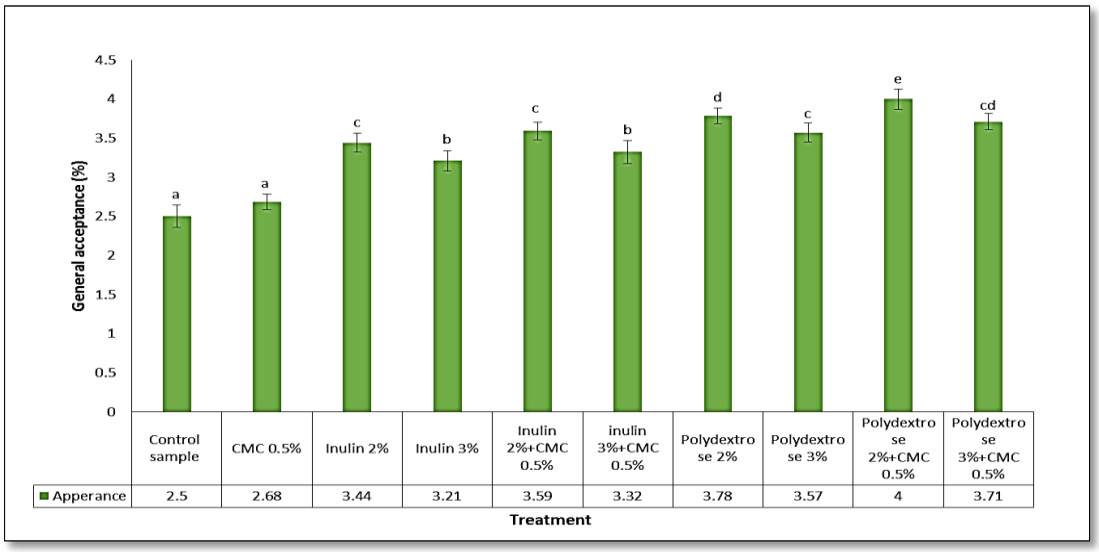


Figure 10–General acceptance of different treatments of low-fat yogurt

Different lowercase letters indicate a significant difference in the acidity of different treatments at the significance level of $p < 0.05$.

شکل ۱۰- پذیرش کلی تیمارهای مختلف ماست کم چرب

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میزان اسیدیته تیمارهای مختلف در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ می باشد

(Zomorodi *et al*., 2021). Karimi و همکاران (۲۰۱۸) و Helal و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی‌های خود اعلام کردند که افزودن اینولین به ماست کم‌چرب باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود. علت بروز رفتار سودوپلاستیک، هم راستا شدن مولکول‌ها و کاهش اصطکاک داخلی با افزایش سرعت برشی می‌باشد (Goff *et al*.,1994). نتایج حاکی از آن بود که با وجود رفتار جریانی مشابه تمامی نمونه‌ها، نمونه شاهد کم‌چرب در تمام سرعت‌های برشی، کمترین میزان ویسکوزیته را دارا بود و با افزودن اینولین و پلی-دکستروز ویسکوزیته ظاهری افزایش پیدا کرد که البته تاثیر پلی‌دکستروز در افزایش ویسکوزیته ماست کم‌چرب بیشتر بود. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزودن کربوکسی-متیل‌سلولز (۰/۵ درصد) به نمونه‌های مختلف موجب افزایش بیشتر ویسکوزیته نسبت به نمونه‌های عاری از کربوکسی‌متیل‌سلولز می‌شود. لازم به ذکر است که بیشترین میزان ویسکوزیته مربوط به نمونه ۳ درصد پلی‌دکستروز+ ۰/۵ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز بود. نتاج نشان داد که نمونه‌های حاوی پلی‌دکستروز و اینولین ویسکوزیته بالاتری نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب دارند، که این افزایش ویسکوزیته با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها رابطه مستقیم داشت، به این دلیل که هیدروکلوئیدها با باند کردن آب آزاد موجود در نمونه ماست کم‌چرب باعث افزایش ویسکوزیته می‌گردند (Sahan *et al*.,2008). به‌طور کلی افزودن هیدروکلوئیدها باعث افزایش قابلیت جذب آب می‌شود که موجب دو اثر فیزیکی مهم می‌شود یکی کاهش آب‌اندازی و دیگری افزایش ویسکوزیته ظاهری (Torres *et al*., 2012). در تطابق با نتایج این پژوهش، Akın و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که افزایش اینولین در ماست کم‌چرب سبب افزایش ویسکوزیته می‌شود. Kip و همکاران (۲۰۰۶)، نیز گزارش کردند که با افزایش اینولین، ویسکویته ظاهری ماست کم‌چرب نسبت به نمونه‌های دیگر افزایش یافته و از اینولین به عنوان قوام دهنده نام بردند، که توانایی باند شدن با پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی و پروتئین‌ها را داراست و منجر به ایجاد بافت سفت‌تر می‌شود. در همین راستا Srisuvor و همکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند که افزودن پلی‌دکستروز سبب افزایش ویسکوزیته ظاهری ماست کم‌چرب می‌شود. Tamime و Robinson (۲۰۰۷)، گزارش کردند که هیدروکلوئیدها با اتصال به آب آزاد موجود در نمونه باعث افزایش ویسکوزیته می‌گردند. برابر یافته‌های Syrbe و همکاران (۱۹۹۸)، با افزایش غلظت هیدروکلوئیدهای جذبی، مکانیسم انبوهش با اتصالات بین مولکول‌های هیدروکلوئید، به تثبیت استریک می‌انجامد که در نتیجه آن موجب کاهش آب اندازی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در ماست میوه‌ای می‌شود و در نهایت ویسکوزیته افزایش می‌یابد.

- ویژگی‌های ویسکوالاستیک (رئومتری نوسانی)

آزمون نوسانی به منظور تعیین رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های ماست کم‌چرب انجام شد. این آزمون متداولترین آزمون نوسانی است که رفتار ویسکوالاستیک مواد را در تنش یا کرنش‌های مختلف نشان می‌دهد (Karami *et al*., 2009) آزمون رئومتری پویا اطلاعات مفیدی در ارتباط با ویژگی‌های ویسکوالاستیک، شامل مدول ذخیره (G') و مدول افت (G") در اختیار ما می‌گذارد که به ترتیب نشان دهنده خواص الاستیک و ویسکوز مواد غذایی می‌باشد (Paseephol *et al*., 2008). بررسی نتایج نشان می دهد که افزودن درصد ثابتی از کربوکسی متیل سلولز به نمونه‌های مختلف موجب افزایش جزئی مدول ذخیره و مدول افت نمونه‌های مختلف ماست شده است. افزایش مدول‌های ویسکوالاستیک را در نتیجه افزودن اینولین و پلی‌دکستروز به ماست کم‌چرب را می‌توان به مکانیسم‌های مختلفی مانند بی‌تحرک کردن آب و تقویت شبکه سه بعدی ژلی مربوط دانست که در نهایت مدول‌های ویسکوالاستیک را افزایش می‌دهد (Zamani *et al*., 2016). با افزودن اینولین به ماست شیر نارگیل مدول ویسکوز و مدول الاستیسیته افزایش یافت (Adegok *et al*., 2018). نتایج یافته‌های Costa و همکاران (۲۰۱۹)، نشان می‌دهد افزودن اینولین و پلی‌دکستروز به ماست یونانی باعث افزایش رفتار ویسکوز و الاستیک می‌شود. نتایج بررسی افزودن اینولین به دوغ آلوئه ورای ریزپوشانی شده حاوی باکتری‌های پروبیوتیک ریز پوشانی شده، افزایش مدول افت را نشان داد (Dezyani *et al*., 2020). بررسی ویژگی‌های خامه چرب نشان داد که با افزایش مقدار اینولین و پلی‌دکستروز در فرمولاسیون مدول ذخیره و مدول افت افزایش معنی‌داری کرد (Orouji *et al*.,

2017). افزایش مدول‌های ویسکوالاستیک را در نتیجه افزودن اینولین و پلی‌دکستروز به ماست کم‌چرب را می‌توان به مکانیسم هیدروکلوئیدها در جذب آب و افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته نسبت داد که منجر به حفظ شبکه سه‌بعدی ژلی می‌شود و در نهایت مدول‌های ویسکوالاستیک را افزایش می‌دهد (Zamani *et al.*, 2018). با افزایش نسبت اینولین و پلی‌دکستروز در ماست کم‌چرب، مدول افت و مدول ذخیره افزایش پیدا کرد که می‌توان آن را به تشکیل شبکه ژل مستحکم ایجاد شده در نتیجه افزودن هیدروکلوئیدهای پری‌بیوتیک نسبت داد (Paseephole *et al.*, 2008). همچنین با افزایش هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون ماست کم‌چرب، ماده خشک افزایش پیدا می‌کند و متناسب با آن برهمکنش بیشتری با پروتیئن‌های ماست کم‌چرب دارند که موجب افزایش مدول‌های ویسکوالاستیک ماست کم‌چرب می‌شود (Kahyaoglu *et al.*, 2008). شایان ذکر است که در تمامی نمونه‌ها و در فرکانس‌های مختلف مدول ذخیره برتری محسوسی بر مدول افت داشت که نشان دهنده برتری رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز می‌باشد که می‌توان آن را به تشکیل شبکه ژل مستحکم ایجاد شده در نتیجه افزودن هیدروکلوئیدهای مربوطه نسبت داد. همچنین با افزایش فرکانس مقادیر'G و"G در تمامی نمونه‌ها روند افزایشی داشت که این امر می‌تواند به نوعی نشان دهنده بازآرایی پیوندهای شبکه ماست به موازات افزایش زمان اعمال تنش باشد (Sayadi *et al.*, 2013).

- pH و اسیدیته

افزودن اینولین (۲، ۳ درصد) یا پلی‌دکستروز (۲، ۳ درصد) و درصد ثابتی از کربوکسی متیل سلولز (۰/۵) به ماست کم‌چرب و ماست کم‌چرب حاوی درصد ثابت کربوکسی‌متیل‌سلولز (۰/۵درصد) تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.05$) بر میزان pH ماست ندارد.

امطابق با این نتایج، پژوهش‌های بسیاری از تاثیر غیر معنی‌دار هیدروکلوئیدهای مختلف بر pH ماست خبر داده‌اند. در یکی از این پژوهش‌ها Srisuvor و همکاران (۲۰۱۳)، بیان کردند که غلظت‌های مختلف اینولین و پلی‌دکستروز تأثیر معنی‌داری بر pH ماست کم‌چرب ندارند. در پژوهشی دیگر Guven و همکاران (۲۰۰۵)، با افزودن سطوح مختلف اینولین به ماست قالبی کم‌چرب گزارش کردند که اینولین تأثیری بر pH و اسیدیته ماست کم‌چرب ندارد و دلیل این مشاهدات را عدم‌تغییر در فعالیت باکتری-های استارتر ماست نسبت دادند. همچنین Guggisberg و همکاران (۲۰۰۹)، با بررسی تأثیر سطوح مختلف اینولین بر ماست کم‌چرب گزارش کردند که افزودن اینولین تأثیر معنی‌داری بر pH ندارد. همچنین Amiri و همکاران (۲۰۱۰)، با بررسی تأثیر صمغ اسفرزه بر ماست کم چرب گزارش کردند که این صمغ تأثیری در pH و اسیدیته ندارد.

- آب‌اندازی

یکی از معایب عمده ماست، آب‌اندازی است که در واقع به ظهور سرم یا آب پنیر در سطح ماست اطلاق می‌شود. آب‌اندازی در ماست به‌دلیل چروکیدگی ساختار سه بعدی شبکه پروتئینی رخ می‌دهد که منجر به کاهش اتصال قدرت پروتئین‌های آب پنیر و خروج آن از ماست می‌گردد (Hekmat & Reid., 2006). با کاهش چربی ساختار شبکه ژل کازئینی تضعیف شده و مستعد آب‌اندازی می‌شود. لذا ماست تولید شده دارای آب‌اندازی بالا خواهد بود که در نتیجه مشکلات حسی و بافتی را بوجود می‌آورد (Baig & Prasad., 1996; Jaros & Roham., 2003). یافته‌های حاصل از اندازه‌گیری آب‌اندازی نمونه‌های مختلف ماست نشان داد که افزودن درصدهای مختلف اینولین (۲ و۳ درصد)، به ماست شاهد کم‌چرب باعث کاهش آب‌اندازی می‌شود که این کاهش تنها برای نمونه حاوی ۳ درصد اینولین معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که افزودن غلظت ثابتی از کربوکسی‌متیل‌سلولز به نمونه‌های مختلف ماست حاوی اینولین و ماست کم‌چرب شاهد باعث ماهش بیشتر آب‌اندازی می‌شود. در ارتباط با استفاده از پلی‌دکستروز به‌عنوان جایگزین چربی، نتایج آماری نشان داد که با افزودن پلی‌دکستروز میزان آب‌اندازی نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند.

براساس بخش دیگری از نتایج آماری افزودن غلظتی از کربوکسی‌متیل‌سلولز به نمونه‌های مختلف ماست حاوی پلی‌دکستروز باعث کاهش بیشتر آب اندازی نسبت به نمونه های حاوی پلی دکستروز تنها شد. شایان ذکر است که کمترین میزان آب‌اندازی مربوط به نمونه‌های حاوی ۳ درصد پلی‌دکستروز + ۵ درصد کربوکسی متیل سلولز بود.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که پلی‌دکستروز تأثیر بیشتری بر کاهش آب‌اندازی ماست کم چرب نسبت به اینولین داشت و با افزودن غلظت ثابتی از کربوکسی متیل سلولز به نمونه‌های مختلف ماست کم‌چرب آب‌اندازی کاهش بیشتری می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده افزودن اینولین تجاری به ماست باعث کاهش میزان آب‌اندازی نمونه‌ها شد و با افزایش غلظت اینولین از ۱ تا ۳ درصد در نمونه‌های ماست، میزان آب‌اندازی نیز روندی نزولی داشت (Tayyebi Moghadam *et al*., 2020). افزودن اینولین و کربوکسی متیل سلولز به ماست باعث افزایش قوام و کاهش آب‌اندازی نمونه‌ها می‌شود (Karim *et al*., 2016). افزودن موسیلاژ رازیانه به ماست همزده آب‌اندازی را کاهش می‌دهد (Basiri *et al*., 2018). نتایج بدست آمده از افزودن پودر صمغ دانه به و اینولین به ماست کم چرب کاهش میزان آب‌اندازی را نشان داد (Gheibi & Ashrafi., 2019).

افزودن پلی‌دکستروز تأثیر بیشتری بر کاهش آب‌اندازی نمونه‌های ماست داشت که این موضوع احتمالا به دلیل ساختار و ترکیبی شیمیایی متفاوت این پروبیوتیک‌ها می‌باشد. پلی‌دکستروز (با درجه پلیمریزاسیون ۱۲) عمدتاً شامل گلوکز و مقدار کمی سوربیتول و اسید سیتریک است که به صورت تصادفی توزیع شده‌اند، در حالی که اینولین (با درجه پلیمریزاسیون ۲۳) به‌طور عمده شامل فروکتوز و احتمالا بخش کوچکی گلوکز در ساختار خود می‌باشد (Roberfroid *et al*., 2002). بنابراین پلی‌دکستروز به علت کوتاه زنجیر بودن، ممکن است ساختار منشعب خود را به طور مساوی به داخل کازئین گسترش دهد که موجب برهمکنش گسترده‌تر پروتئین و کربوهیدرات می‌شود و در نتیجه این موضوع منجر به ثبات بیشتر ژل و آب‌اندازی کمتر می‌شود (Srisuyor *et al*., 2013).

- **ارزیابی حسی**

- **پذیرش بافت**

نگاهی به نتایج نشان می‌دهد که افزودن اینولین به نمونه شاهد کم‌چرب ماست موجب افزایش امتیاز پذیرش بافت ماست کم‌چرب می‌شود که این افزایش از نظر آماری در ارتباط با هر دو نمونه حاوی ۲ درصد و ۳ درصد اینولین معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$)، اما بین نمونه حاوی ۲ درصد و نمونه حاوی ۳ درصد اینولین تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد که افزودن غلظت ثابتی کربوکسی‌متیل‌سلولز(۰/۵ درصد) به نمونه‌های حاوی درصدهای مختلف اینولین سبب افزایش بیشتر امتیاز بافت نمونه‌های ماست کم‌چرب نسبت به نمونه‌های عاری از کربوکسی‌متیل‌سلولز در بین ارزیاب‌ها می‌شود. شایان ذکر است که نمونه ۳ درصد اینولین+ ۰/۵ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز به صورت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) امتیاز بافت کمتری نسبت به نمونه ۲ درصد اینولین+۰/۵ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز کسب کرد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تغییرات امتیاز بافت نمونه‌های ماست کم‌چرب در نتیجه افزودن پلی‌دکستروز از الگوی مشابهی به مانند آنچه که در ارتباط با افزودن اینولین به ماست کم‌چرب ذکر شد، پیروی می‌کند. قابل ذکر است که نمونه حاوی ۲ درصد اینولین+۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز و نمونه حاوی ۲ درصد پلی‌دکستروز+۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز بیشترین امتیاز بافت را در بین پانلیست‌ها به خود اختصاص دادند. در نهایت در مقایسه بین نمونه شاهد کم‌چرب و نمونه شاهد حاوی ۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز برتری امتیاز بافت از آن نمونه شاهد حاوی ۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز بود. این نتایج بیانگر تاثیر مطلوب پروبیوتیک‌ها اینولین و پلی‌دکستروز بر افزایش پذیرش بافت ماست کم‌چرب در بین مصرف‌کنندگان می‌باشد و این برتری امتیاز بافت نمونه‌های ماست کم‌چرب حاوی اینولین و پلی‌دکستروز با افزودن درصد ثابتی از کربوکسی متیل سلولز بهبود پیدا کرد. در یک بررسی مشابه پیرامون ماست حاوی اینولین، امتیاز تمام شاخص‌ها (بافت، اینولین امتیاز بالاتر بود (Hemmati *et al*., 2019). Rezaei و همکاران (۲۰۱۴)، اثر افزودن اینولین در سطوح (۰، ۱ و ۲ درصد) را بر روی خصوصیات حسی ماست منجمد مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که نمونه‌های ماست منجمد حاوی ۲ درصد اینولین بهترین ویژگی‌های حسی را دارا بودند. ماست کم‌چرب بهینه شده با پودر صمغ دانه به و اینولین امتیاز حسی بالاتری نسبت به ماست شاهد کسب کرد (Gheibi *et al*., 2019).

- **پذیرش طعم**

نگاهی به نتایج، نشان می‌دهد که افزودن درصدهای مختلف اینولین و پلی‌دکستروز به ماست کم‌چرب سبب افزایش امتیاز طعم ماست کم‌چرب نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب می‌شود که البته این افزایش در هیچکدام از نمونه‌ها از نقطه نظر آماری معنی‌دار نبود ($p \leq 0.05$). نتایج نشان می‌دهد که افزودن درصد ثابتی از کربوکسی-متیل‌سلولز تأثیر قابل توجهی بر امتیاز طعم نمونه‌های مختلف ندارد. در تطابق با این نتایج Srisuvor و همکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند که اینولین و پلی‌دکستروز تNثیر معنی‌داری بر طعم ماست کم‌چرب ندارند.

- **پذیرش رنگ**

به‌طور کلی نتایج نشان داد که نمونه‌های حاوی پلی‌دکستروز نسبت به نمونه‌های حاوی اینولین امتیاز پذیرش رنگ بالاتری در بین پانلیست‌ها کسب کردند.

- **پذیرش کلی**

نتایج آنالیز آماری نشان داد که افزودن درصدهای مختلف اینولین و پلی‌دکستروز به ماست کم‌چرب موجب افزایش امتیاز پذیرش کلی ماست کم‌چرب نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب می‌شود. براساس نتایج آماری افزودن اینولین و پلی‌دکستروز تا مقادیر میانی (۲ درصد) سبب بهبود پذیرش کلی شد اما افزودن ۳ درصد اینولین و پلی‌دکستروز به نمونه کم‌چرب سبب کاهش معنی‌دار ($p \leq 0.05$) امتیاز پذیرش کلی شد، اما کماکان امتیاز این نمونه‌ها بر نمونه شاهد کم‌چرب برتری قابل توجهی داشت. براساس بخش دیگری از نتایج آنالیز آماری افزودن کربوکسی‌متیل‌سلولز به نمونه‌های مختلف ماست حاوی اینولین یا پلی‌دکستروز سبب بهبود امتیاز پذیرش کلی شد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزودن اینولین و پلی-دکستروز به لحاظ کاهش آب‌اندازی و بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و پذیرش حسی کلی می‌تواند اثرات مثبتی در ماست کم‌چرب داشته باشد، براساس بخش دیگری از نتایج این پژوهش، افزودن کربوکسی‌متیل‌سلولز در کنار درصدهای مختلف اینولین و پلی‌دکستروز منجر به بهبود بیشتر این ویژگی‌ها می‌شود. در بین نمونه‌ها، ماست حاوی ۲ درصد پلی‌دکستروز +۰/۵ درصد کربوکسی‌متیل‌سلولز از لحاظ کاهش آب‌اندازی و بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی تأثیر بیشتری داشت. همچنین بر اساس برازش مدل‌های رئولوژیکی، تمامی نمونه‌ها از رفتار جریانی قانون توان تبعیت می‌کردند.

منابع

Adegok, S. C., Thongraung, Ch. & Takahashi Yupanqui, C. (2018). Effect of short-chain inulin on the rheological and sensory characteristics of reduced fat set coconut milk yoghurt. Journal of Texture Studies.

Akın, M. B., Akın, M. S. & Kırmacı, Z . (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food chemistry*, *104*(1), 93-99.

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

Amiri, S., Alami, M. & Rezaei, R. (2010). Investigation of the effect of Pseudomonas aeruginosa on physicochemical and jealous properties of Masdat code Fat, Iranian Journal of Food Science and Technology Research. [In Persian].

Anon. (2008). Iranian National Standard No. 695. Yogurt - Features and Test Methods. [In Persian].

Andiç, S., Boran, G. & Tuncturk, Y. (2013). Effects of carboxyl methyl cellulose and edible cow gelatin on physico-chemical, textural and sensory properties of yoghurt. *International Journal of Agriculture and Biology*, *15*(2).

Aziznia, S., Khosrowshahi, A., Madadlou, A. & Rahimi, J. (2008). Whey protein concentrate and gum tragacanth as fat replacers in nonfat yogurt: chemical, physical, and microstructural properties. *Journal of dairy science*, *91*(7), 2545-2552.

Baig, M. I. & Prasad, V. (1996). Effect of incorporation of cottage cheese whey solids and Bifidobacterium bifidum in freshly made yogurt. *Journal of Dairy Research*, *63*(3), 467-473.

Basiri, S., Haidary, N., Shekarforoush, S.S. & Niakousari, M. (2018). Flaxseed mucilage: A natural stabilizer in stirred yogurt. *Carbohydrate Polymers*, *187*, 59-65.

Costa, M. F., Pimentel, T. C., Guimaraes, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Raices, R. S., Silva, M. C. & Cruz, A. G. (2019). Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. *LWT*, *105*, 371-376.

Daw, E. & Hartel, R.W. (2015). Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. *International Dairy Journal*, *43*, 33-41.

Dezyani, M., Shahdadi, F. & Ezzati, R. (2020). Effect of Different Concentrations of Inulin and Whey on the Qualitative and Rheological Properties of Aloe vera Doogh Containing Microencapsulated probiotic bacteria. JFST, 17 (103) [In Persian].

Goff, H. D., Davidson, V. J. & Cappi, E. (1994). Viscosity of ice cream mix at pasteurization temperatures. *Journal of dairy science*, *77*(8), 2207-2213.

Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinali, P., Bütikofer, U. & Eberhard, P. (2009). Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, *19*(2), 107-115.

Gustaw, W., Kordowska-Wiater, M. & Kozioł, J. (2011). The influence of selected prebiotics on the growth of lactic acid bacteria for bio-yoghurt production. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, *10*(4).

Guven, M., Yasar, K., Karaca, O. B. & Hayaloglu, A. A. (2005). The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, *58*(3), 180-184.

Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinali, P., Bütikofer, U. & Eberhard, P. (2009). Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yogurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, *19*(2), 107-115.

Gheibi, N. & Ashrafi, Y. (2020). The effect of inulin and seed gum powder on physicochemical and qualitative properties of low-fat yogurt. *Iranian Biosystem Engineering*, *50*(4), 963-975. [In Persian].

Hemmati Chori, B., Rahati Noiri, M. & Hatami, M. (2019). The effect of adding inulin and corn starch on sensory and physicochemical properties of low fat yogurt. The 3rd International Congress and the 26th National Congress of Food Science and Technology of Iran. [In Persian].

Havrlentova1, M., Petrulakova, Z., Burgaarova, A., Gago, F., Hlinkova, A. & Sturdik, E. (2011). Creal B-glucans and their significance of the preparation of functional, foods-review. *Czech Journal of food Science*, *29*, 1-14.

Hekmat, S. & Reid, G. (2006). Sensory properties of probiotic yogurt is comparable to standard yogurt. *Nutrition research*, *26*(4), 163-166.

Jaros, D. & Rohm, H. (2003). The rheology and textural properties of yoghurt. *Texture in food*, *1*, 321-349.

Helal, A., Rashid, N., Dyab, M., Otaibi, M. & Alnemr, T. (2018). Enhanced Functional, Sensory, Microbial and Texture Properties of Low-Fat Set Yogurt Supplemented With High-Density Inulin. *Journal of Food Processing &Beverages*, 6, 1-11.

Jaros, D. & Rohm, H. (2003). The rheology and textural properties of yoghurt. Texture in food, 1, 321-349.

Karim, M., Naderi, B., Mirzaei, M. & Sanjabi, N. (2018). Investigation of physicochemical and sensory properties of low fat yogurt containing inulinLong chains and carboxymethylcellulose. *Food Technology & Nutrition.* [In Persian].

Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M., Rezaei, K. & Safari, M. (2009). Changes in the rheological properties of Iranian UF-Feta cheese during ripening. *Food Chemistry*, *112*(3), 539-544.

Karim, M., Naderi, B., Mirzaie, M. & Sanjabi, N. (2018). Investigating the Physicochemical and Sensory Characteristics of Low-fat Yoghurt containing Long-chain Inulin and CarboxyMethyl Cellulose. *Food Technology & Nutrition*, 15, 85-98.

Kahyaoglu, T. & Kaya, S. (2003). Effects of heat treatment and fat reduction on the rheological and functional properties of Gaziantep cheese. *International Dairy Journal*, *13*(11), 867-875.

Kelly, G. (2008). Inulin-type prebiotics--a review: part 1. *Alternative Medicine Review*, *13*(4).

Kip, P., Meyer, D. & Jellema, R. H. (2006). Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, *16*(9), 1098-1103.

Lourens-Hattingh, A. & Viljoen, B. C. (2001). Yogurt as probiotic carrier food. *International dairy journal*, *11*(1-2), 1-17

Mortazavian, A. & Sohrab Wandi, S. (2013). A review of yogurt sense characteristics, published by Ata, 140-123.

Moghadam, T. & Ehsani, M. R. (2020). Comparison of the effect of inulin extracted from native chicory root with commercial inulin on the survival of probiotics and physicochemical, rheological and sensory properties of synbiotic yogurt. *Iranian Food Science and Technology*, *17*(99), 91-109. [In Persian].

Orouji, I., Dhanbarzadeh, B. & Danesh, E. (2017). Study of texture and sensory properties of prebiotic cream containing inulin and polydextrose by using response surface methodology. *Journal of Food Research*, *27*(4), 193-207. [In Persian]

Paseephol, T., Small, D. M. & Sherkat, F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, *39*(6), 617-634.

Roberfroid, M. (2002). Functional food concept and its application to prebiotics. *Digestive and Liver Disease*, *34*, S105-S110.

Rezaei, R., Khomeiri, M., Aalami M. & Kashaninejad, M. (2014). Effect of inulin on the physicochemical properties, flow behavior and probiotic survival of frozen yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2809–2814.

Sayadi, A., Madadlou, A. & Khosrowshahi, A. (2013). Enzymatic cross-linking of whey proteins in low fat Iranian white cheese. *International Dairy Journal*, *29*(2), 88-92.

Sahan, N., Yasar, K. & Hayaloglu, A. A. (2008). Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β-glucan hydrocolloidal composite during storage. *Food Hydrocolloids*, *22*(7), 1291-1297.

Soofi, M. Alizadeh, A. & Mousavi, E. (2019). Optimization of processing of low fat prebiotic yogurt containing inulin under the influence of different temperature and shear force. *Journal of Food Science & Technology* (2008-8787), *16*(86). [In Persian]

Srisuvor, N., Chinprahast, N., Prakitchaiwattana, C. & Subhimaros, S. (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. *LWT-Food science and Technology*, *51*(1), 30-36.

Syrbe, A., Bauer, W. J. & Klostermeyer, H. J. I. D. J. (1998). Polymer science concepts in dairy systems—an overview of milk protein and food hydrocolloid interaction. *International Dairy Journal*, *8*(3), 179-193.

Tamime, A. Y. & Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt: science and technology*. Woodhead Publishing.

Tamime, A. Y. & Robinson, R. K. (2007). *Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology*. Elsevier.

Torres, I. C., Rubio, J. M. A. & Ipsen, R. (2012). Using fractal image analysis to characterize microstructure of low-fat stirred yoghurt manufactured with microparticulated whey protein. *Journal of Food Engineering*, *109*(4), 721-729.

Zamani, A., Almasi, H. & Ghanbarzadeh, B. (2016). The effect of guar and carboxymethylcellulose thickeners on the rheological and physical properties of moldy fruit yogurt, *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, No. 1, 66-57. [In Persian]

Zomorodi, Sh., Khairkhah Faqra, R. & Jafarian, M. (2021). Comparison of the effect of zedo gum with carboxymethylcellulose and inulin on the quality, viscosity and sensory properties of frozen fruit yogurt. *Food Industry Engineering Research*. [In Persian]

Rheological, Physicochemical and Sensory Properties of Low-Fat Prebiotic Yogurt Containing Inulin, Polydextrose and Carboxymethylcellulose

S. Abbasi Asl [a], Z. Latifi [b *], N. Mohammadi Kartalaei [c]

[a] PhD Student of the Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.
[b] Young and Elite Researchers Club of Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.
[c] MSc Graduated of the Department of Food Science and Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 26 October 2021 Accepted: 18 February 2022

Abstract

Introduction: Over the past decade, the consumption of low-fat foods has expanded significantly, as there is a link between fat consumption and many diseases, including obesity, cardiovascular disease such as atherosclerosis and cancer. Therefore, the food industry is facing increasing demand for reducing the amount of fat in food products. Yogurt is one of the most popular dairy products that has a special place in the diet of consumers. Because fat reduction reduces the sensory properties of yogurt, researchers are looking to use suitable fat substitutes to improve the properties of food. The aim of this study was to achieve the optimal formulation of low-fat yogurt and to improve its rheological and sensory properties of low-fat yogurt.

Materials and Methods: In this study inulin (0, 2 and 3%), poly dextrose (zero, 2 and 3%) and carboxy methyl cellulose (0 and 0.5%) were employed to produce law fat probiotic yogurt.

Results: The results showed that the amount of syneresis decreased by increasing the concentrations of inulin and poly dextrose. Meanwhile, adding a constant concentration of carboxy methyl cellulose to different samples containing inulin and carboxy methyl cellulose further reduced the syneresis that Which had a non-significant effect on pH and acidity .Examination of rheological properties showed that the additions of inulin and poly dextrose increases the apparent viscosity, storage modulus and modulus of loss of low-fat yogurt, and the addition of a constant concentration of carboxy methyl cellulose improves the rheological properties of product. Statistical findings of sensory evaluation of low-fat yogurt showed that the addition of inulin and poly dextrose along with a constant concentration of carboxy methyl cellulose improves overall acceptance of low-fat yogurt. The superior treatment of Low fat yogurt contained 3% polydextrose + 0.5% carboxymethylcellulose.

Conclusion: The results indicated that the addition of a constant concentration of carboxy methyl cellulose to various samples of low-fat yogurt containing inulin and poly dextrose further improves the rheological and sensory properties of low-fat yogurt.

***Keywords*:** *Hydrocolloids, Low-fat yogurt, Syneresis, Viscoelastic modules.*

* Corresponding Author: yasamin.latifi131@yahoo.com