

بررسی تأثیر هیدروکلوئیدها و شیرین کننده‌های پلی‌ال بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، ویژگی‌های حسی و سختی بافت پروتئین‌بار

مریم زرین کفش^۱، سهند سهرابی^۲، محمد مهدی شریفی^۳، مهدی فرهودی^۴، سیده مرضیه حسینی^۵، نرگس شهباز پور^۶

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

۳- فوق لیسانس مهندسی صنایع، شرکت کشت و صنعت فدک، تهران، ایران

۴- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران،
پست الکترونیکی: farhoodi@sbmu.ac.ir

۵- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

۶- دکترای علوم و صنایع غذایی تکنولوژی مواد غذایی، کارشناس پابلوت، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هیدروکلوئیدها (هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و صمغ زانتان) و پلی‌ال‌ها (مالیتول و زایلیتول) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی پروتئین‌بارها انجام شد. هدف اصلی، کاهش سختی بافت، جایگزینی شیرین کننده‌های مرسوم و بهبود پذیرش کلی محصول بود.

مواد و روش‌ها: به منظور بهینه‌سازی درصد و نسبت اجزا از نرم‌افزار Design Expert نسخه ۵، ۷، ۱ و روش سطح پاسخ استفاده شد. متغیر مستقل کیفی، نوع پلی‌ال (مالیتول و زایلیتول) و متغیر کمی شامل صمغ زانتان (در محدوده ۰ تا ۰/۷ درصد) و HPMC (در محدوده ۰ تا ۲ درصد) در پنج سطح بودند. چهارده تیمار خروجی نرم‌افزار برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی در روز صفر و روز سی‌ام مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزودن هیدروکلوئیدها موجب کاهش معنی‌دار فعالیت آبی و بهبود حفظ رطوبت شد؛ در حالی که پلی‌ال‌ها بر pH و بافت تأثیر قابل توجهی داشتند. فرمولاسیون‌های حاوی مالیتول، به‌ویژه تیمار ۱، کمترین سختی را در روز صفر (۱۸۹۳/۳۴ گرم) و روز سی‌ام (۳۱۵۳/۰۷ گرم) نشان دادند. صمغ زانتان بیشترین نقش را در کاهش سختی و بهبود خصوصیات بافتی نشان داد. در ارزیابی حسی، ترکیب مالیتول و زانتان بالاترین پذیرش کلی را داشت؛ تیمار ۱ با امتیاز ۴/۲۰ در روز صفر و ۳/۹۰ در روز سی‌ام برتر بود.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج نشان داد که استفاده‌ی هم‌زمان از هیدروکلوئیدها و پلی‌ال‌ها، به‌ویژه ترکیب مالیتول و صمغ زانتان، نقش مؤثری در بهبود کیفیت کلی پروتئین‌بارها از طریق کاهش سختی بافت، ارتقای ویژگی‌های حسی و افزایش ماندگاری محصول پروتئین‌بار دارد.

واژگان کلیدی: پروتئین بار، مالیتول، زایلیتول، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، زانتان

پیام های اصلی

- افزودن هیدروکلونیدها و پلی ال ها به طور قابل توجهی بر pH تأثیر گذاشت.
- هیدروکلونیدها به طور مؤثر aw را کاهش دادند و پلی ال ها در حفظ رطوبت نقش مؤثری داشتند.
- هیدروکلونیدها به حفظ رطوبت کمک کردند، در حالی که پلی ال ها رطوبت را افزایش دادند.
- صمغ زانتان باعث بهبود پارامترهای بافتی شد، در حالی که ترکیبی از هیدروکلونیدها در بالاترین سطح غلظتی، سختی را افزایش داد.
- ترکیب پلی ال مالتیتول و صمغ زانتان مقبولیت کلی را بهبود بخشیدند.

• مقدمه

افزایش مصرف غذاهای سرشار از قند و چربی از عوامل اصلی بروز بیماری های مزمن غیرواگیر نظیر چاقی، دیابت و بیماری های قلبی-عروقی به شمار می رود (۱). دستیابی به وزن مطلوب و حفظ آن از اهداف کلیدی سلامت عمومی است که از طریق رعایت الگوی تغذیه ای متعادل و مصرف کافی پروتئین تحقق می یابد. پروتئین ها با اثراتی همچون کاهش اشتها، کمک به کنترل وزن، افزایش سطح انرژی، تقویت توده عضلانی و بهبود بازتوانی پس از فعالیت بدنی، به عنوان اجزای اصلی در تغذیه ورزشی اهمیت ویژه ای دارند (۲، ۳). همچنین، این ترکیبات برای سالمندان و بیماران مستعد سارکوپنی سودمند بوده و به عنوان میان وعده ای مغذی برای افراد کم تحرک یا دارای برنامه کاری فشرده توصیه می شوند (۴، ۵). در سال های اخیر، پروتئین بارها به دلیل محتوای بالای پروتئین (۲۰ تا ۵۰ گرم در هر ۱۰۰ گرم)، کربوهیدرات ۱۰ تا ۵۰٪، کالری کم و قابلیت حمل آسان، در میان گروه های مختلف مصرف کننده محبوبیت فزاینده ای یافته اند (۱، ۶، ۷). این محصولات عمده تاً بر پایه پروتئین های لبنی و سویا تولید می شوند؛ به گونه ای که ایزوله پروتئین سویا (با ۸۵ تا ۹۰ درصد پروتئین) و ایزوله پروتئین آب پنیر (بیش از ۹۰ درصد پروتئین) از پرکاربردترین منابع پروتئینی در مکمل های غذایی و نوشیدنی های غنی شده به شمار می روند (۸-۱۰). پروتئین بارها از نظر ماندگاری در گروه مواد غذایی با رطوبت متوسط قرار می گیرند. میزان رطوبت این محصولات معمولاً بین ۱۰ تا ۳۰ درصد و فعالیت آبی آن ها در بازه ۰/۶ تا ۰/۸ متغیر است که مانع رشد بیشتر میکروارگانیسم ها می شود. ماندگاری این محصولات در دمای محیط عموماً بین ۶ تا ۱۲ ماه گزارش شده است (۲، ۱۱، ۱۲).

با این حال، یکی از مهم ترین چالش های تولید و نگهداری پروتئین بارها، افزایش سختی بافت در طول دوره انبارمانی است که می تواند بر پذیرش مصرف کننده و توسعه بازار تأثیر منفی بگذارد (۱۳). عوامل متعددی از جمله مهاجرت رطوبت، جدایش فاز درشت مغذی ها، تشکیل پیوندهای دی سولفیدی، کریستالیزاسیون قند و واکنش های میلارد در این فرآیند نقش دارند (۱، ۱۴). برای کنترل این تغییرات نامطلوب، راهکارهایی همچون استفاده از هیدروکلونیدها، هیدرولیز پروتئین ها و بهره گیری از عوامل ضدکلوخه شدن پیشنهاد شده است (۱۳). هیدروکلونیدها گروهی از بیوپلیمرهای آبدوست هستند که به عنوان قوام دهنده و تثبیت کننده در صنایع غذایی کاربرد دارند (۱۵، ۱۶). در این میان، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) به دلیل ویژگی های منحصر به فرد خود در بهبود کیفیت محصولات پخته شده مورد توجه است؛ این ترکیب با افزایش جذب رطوبت، موجب کاهش سختی بافت و ارتقای کیفیت نهایی محصول می شود (۲). همچنین، صمغ زانتان به عنوان یک پلیمر طبیعی با منشأ میکروبی، به واسطه پایداری بالا در برابر تغییرات دما و pH و دارا بودن خواص رئولوژیکی مطلوب، در صنایع غذایی و دارویی به طور گسترده به کار می رود (۱۷-۱۹). از سوی دیگر، پلی ال ها نیز به عنوان ترکیبات مؤثر در فرمولاسیون پروتئین بارها هستند. این مواد ضمن ایفای نقش به عنوان شیرین کننده های کم کالری، با جلوگیری از وقوع واکنش میلارد، موجب حفظ رنگ و طعم مطلوب، کاهش سختی بافت و افزایش ماندگاری محصول می گردند (۲۰). پلی ال ها به دلیل شیرینی کمتر و ارزش انرژی پایین، گزینه ای مناسب برای تولید محصولات کم کالری هستند؛ با این حال،

برای بهینه‌سازی درصد و نسبت اجزای مختلف پروتئین‌بار از نرم‌افزار Design Expert نسخه ۷,۱,۵ و روش سطح پاسخ استفاده شد. متغیر مستقل کیفی شامل نوع پلی‌ال مورد استفاده (مالتیتول و زایلیتول) و متغیر مستقل کمی شامل صمغ زانتان (در محدوده ۰ تا ۰/۷ درصد) و HPMC (در محدوده ۰ تا ۲ درصد) در ۵ سطح بودند. ۱۴ تیمار خروجی نرم افزار Design Expert برای ارزیابی تغییرات فیزیکوشیمیایی و آنالیز بافتی در روز صفر و در ۳۰ روز بعد از تولید مورد استفاده قرار گرفتند. درصد و نسبت بهینه اجزا در فرمولاسیون تیمارهای انتخابی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. درصد و نسبت بهینه اجزا در فرمولاسیون پروتئین بار

نمونه	نوع شیرین کننده	درصد صمغ زانتان	درصد HPMC
شاهد	گلوکز	-	-
۱	مالتیتول	۰/۷۰	۰/۰۰
۲	زایلیتول	۰/۰۰	۲/۰۰
۳	زایلیتول	۰/۱۷	۰/۵۰
۴	مالتیتول	۰/۳۵	۱/۰۰
۵	زایلیتول	۰/۷۰	۰/۰۰
۶	مالتیتول	۰/۷۰	۲/۰۰
۷	مالتیتول	۰/۰۰	۰/۰۰
۸	مالتیتول	۰/۰۰	۲/۰۰
۹	زایلیتول	۰/۵۲	۱/۵۰
۱۰	زایلیتول	۰/۰۰	۲/۰۰
۱۱	زایلیتول	۰/۷۰	۰/۰۰
۱۲	مالتیتول	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۳	زایلیتول	۰/۰۰	۲/۰۰
۱۴	مالتیتول	۰/۷۰	۲/۰۰

اندازه گیری pH

به منظور ارزیابی تغییرات pH محصول، ۱۰ گرم از نمونه همگن شده با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تازه جوشیده شده در یک ارلن مایر مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه به صورت دوره‌ای تکان داده شد تا نمونه به طور کامل هیدراته شود. سپس، pH سوسپانسیون حاصل با استفاده از pH متر کالیبره (مدل Metrohm pH meter 827) اندازه‌گیری شد (۳).

اندازه گیری فعالیت آبی (aw)

فعالیت آبی نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فعالیت آبی کالیبره شده AWMD-10 اندازه‌گیری شد. هر نمونه در ۵ تکرار اندازه‌گیری شده و میانگین

مصرف بیش از ۱۰ درصد از آن‌ها در فرمولاسیون نیازمند درج هشدار مربوط به اثرات ملین‌زایی بر روی برچسب محصول است (۸، ۲۱، ۲۲). با توجه به نقش مؤثر هیدروکلوئیدها و پلی‌ال‌ها در بهبود ویژگی‌های حسی، رئولوژیکی و ماندگاری پروتئین بارها، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر این ترکیبات در فرمولاسیون نوآورانه پروتئین‌بارها انجام شد.

• مواد و روش‌ها

مواد اولیه

ایزوله پروتئین وی ۹۰ درصد از شرکت کاله و پروتئین ایزوله سویا ۹۰ درصد از شرکت هیلمار تهیه گردید. در ادامه مغز بادام، طعم دهنده فندق و وانیل پودری از شرکت کشت و صنعت فدک و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و زانتان از شرکت سیگما آلدریج، آلمان تهیه شد. پلی‌ال‌های زایلیتول و مالتیتول نیز از شرکت Dalian Future International Co., تهیه شدند.

فرمولاسیون پروتئین بار

پروتئین‌بارهای ۲۰ گرمی حاوی سه منبع کربوهیدرات (گلوکز، زایلیتول و مالتیتول) در مقادیر یکسان و دو منبع هیدروکلوئید، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (در مقادیر ۰ الی ۲ درصد) و صمغ زانتان (۰ الی ۰/۷ درصد) و پروتئین (۳۰٪) تهیه شدند. ابتدا، محلول‌های قندی جداگانه حاوی گلوکز، زایلیتول و مالتیتول با آب و لسیتین (۲۸٪ درصد) مخلوط و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد همگن‌سازی شدند. سپس، مخلوطی از پروتئین‌های ایزوله سویا و آب پنیر به همراه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) یا صمغ زانتان به محلول قندی تهیه شده، اضافه شد. مقادیر HPMC و صمغ زانتان به ترتیب در محدوده ۰ تا ۲ درصد و ۰ تا ۰/۷ درصد تغییر داده شد. سایر اجزای فرمولاسیون شامل پودر نارگیل، مغز بادام، کریسپی، وانیل، عسل، شیر خرم، کره بادام‌زمینی، لسیتین و طعم دهنده بادام بودند. پس از مخلوط شدن کامل اجزا، خمیر نهایی در ابعاد مشخص (۹ سانتیمتر در ۳ سانتیمتر در ۱ سانتیمتر) برش خورده و در بسته بندی‌های متالایز بسته‌بندی شد.

تعیین نسبت بهینه اجزا در فرمولاسیون پروتئین بار

و انحراف استاندارد نتایج گزارش شد. دقت دستگاه ± 0.001 واحد بود (۲۳).

اندازه گیری محتوای رطوبت

حدود ۵ گرم از نمونه خرد شده به دقت در یک بوته چینی از قبل وزن شده، قرار داده شد. بوته حاوی نمونه در آون با دمای 65°C درجه سانتی گراد و فشار ۵۰ میلی متر جیوه به مدت ۲ ساعت خشک شد. پس از هر ۳۰ دقیقه، بوته در دسیکاتور با دمای محیط قرار داده شد تا خنک شود و سپس تا رسیدن به وزن ثابت وزن شد. وزن ثابت زمانی حاصل می شد که اختلاف بین دو توزین متوالی کمتر از ۲ میلی گرم شده باشد. میزان رطوبت موجود در ۱۰۰ گرم از نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100$$

که در آن H: میزان درصد وزنی رطوبت برحسب گرم، m_1 : وزن ظرف توزین با نمونه، پیش از حرارت دادن برحسب گرم، m_2 : ظرف توزین با نمونه، پس از حرارت دادن برحسب گرم و m: وزن نمونه برحسب گرم بود.

اندازه گیری خاکستر نامحلول در اسید

بوته چینی در کوره با دمای 550°C درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شد و سپس در دسیکاتور خنک و وزن شد. این عمل تا رسیدن به وزن ثابت تکرار شد. سپس، ۶ گرم از نمونه آماده شده پروتئین بار به بوته چینی اضافه و به آرامی حرارت داده شد تا مواد آلی کاملاً سوخته و خاکستر سفید رنگی حاصل شود. سپس، ۲۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۵ نرمال به بوته اضافه شده و بعد از بسته شدن درب آن، بر روی شعله تا نزدیک دمای جوش حرارت داده شد. بعد از سرد شدن در محیط، محتویات بوته با آب مقطر داغ شسته شده و روی کاغذ صافی بدون خاکستر فیلتر شد. عمل شستشو تا اطمینان از خروج تمام کلر ادامه یافت. کاغذ صافی و باقیمانده بر روی آن در بوته چینی قرار داده شده و در آون با دمای 550°C درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت حرارت داده شد. پس از خنک شدن در دسیکاتور، بوته وزن شد. مقداری نهایی خاکستر نمونه های پروتئین بار با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$A = \frac{m_1}{m} \times 100$$

که در آن A: میزان درصد وزنی خاکستر نامحلول در اسید بر حسب گرم، m_1 : وزن خاکستر نامحلول در اسید بر حسب گرم و m: وزن نمونه بر حسب گرم می باشد.

آزمون TPA (Textural Profile Analysis)

آزمون TPA با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (TA.XTplus ساخت انگلستان) مجهز به نرم افزار کامپیوتری انجام شد. به منظور شبیه سازی رفتار جویدن انسان، طی آزمون TPA، نمونه ها با استفاده از دستگاه بافت سنج دو مرتبه فشرده شدند. نمونه ها با استفاده از یک پروب استوانه ای ۳۰ میلی متری (P/36 R) با سرعت حرکت ۰/۵ میلی متر بر ثانیه و نیروی ۵۰ گرم فشرده شدند. از پارامترهای بدست آمده از این آزمون برای ارزیابی ویژگی های بافتی نمونه ها مانند سختی استفاده شد (۲۴).

آزمون Cutting

آزمون Cutting برای اندازه گیری نیروی مورد نیاز برای برش نمونه ها با استفاده از دستگاه آنالیز بافت انجام شد. شرایط انجام آزمون شامل سلول بار ۵۰ کیلوگرم، سرعت بازگشت ۲ میلی متر بر ثانیه، نیروی تماس ۱۰ گرم و فاصله برش ۳۰ میلی متر بود (۲۴).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی توسط ۲۰ نفر از پانلیست های آموزش دیده که مصرف کنندگان محصولات پروتئینی بودند، انجام شد. پانلیست ها از یک مقیاس هدونیک ۵ نقطه ای برای ارزیابی ویژگی های حسی مانند طعم، بو، بافت و ظاهر نمونه ها استفاده کردند. نتایج بررسی آماری ارزیابی حسی نمونه ها در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد (۸، ۲۵).

• یافته ها و بحث

روند تغییرات pH

بررسی تغییرات pH نمونه های پروتئین بار در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج تغییرات pH نشان داد که فرمولاسیون های مختلف پروتئین بارها تأثیر قابل توجهی بر pH دارند. در روز صفر، بالاترین مقدار pH به ترتیب در تیمارهای ۳، شاهد و ۴ مشاهده گردید و تیمارهای ۶، ۷، ۱۲ و ۱۴ کمترین مقدار pH را نشان دادند. پلی آل ها می توانند بر ظرفیت بافری و اسیدیته فرمولاسیون ها تأثیر بگذارند و به تغییر سطوح pH منجر شوند. گزارش شده است که پلی آل ها می توانند pH محلول های اسید

کلریدریک و بافرهای فسفات را کاهش دهند. به نظر می‌رسد این توانایی کاهش pH یک محلول بافری مستقیماً با وزن مولکولی پلی‌ال متناسب باشد (۲۶، ۲۷). این موضوع به وضوح در تاثیر کاهندگی بیشتر مالتیتول با جرم مولکولی بیشتر نسبت به زایلیتول قابل مشاهده است. کاهش کلی pH نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد، بیانگر اثر افزودن هیدروکلئیدها و پلی‌ال‌ها بر این پارامتر است. همچنین در نمونه‌های حاوی قند الکلی مالتیتول، کمترین pH در به ترتیب کمترین و بیشترین سطح هیدروکلئیدها (نمونه‌های ۶ و ۷) دیده می‌شود. این بیانگر تاثیر موثر هر دو شیرین کننده در تغییرات معنی دار pH است. Baek و همکاران در مطالعه خود ذکر کردند ترکیبات قندی اثر معنی‌داری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی از جمله pH پروتئین‌بار می‌گذارد (۲۸). در ارتباط با تاثیر هیدروکلئیدها می‌توان مشاهده کرد که بین تیمارهای با کمترین و بیشترین درصد هیدروکلئید HPMC در عدم حضور شیرین کننده‌های زایلیتول و مالتیتول، اختلاف محسوسی مشاهده نمی‌شود. در تایید این مشاهده ناطقی و همکاران بیان کردند که تاثیر ترکیب صمغ‌های کربوکسی متیل سلولز و زانتان بر روند تغییرات pH نان باگت معنی‌دار نبوده است (۱۷). در روز سی‌ام نگهداری، pH تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری نسبت به روز صفر کاهش یافت ($p < 0.05$). این کاهش احتمالاً به فعالیت‌های آنزیمی یا واکنش‌های شیمیایی مانند میلارد و اکسیداسیون مرتبط است. تیمارهای حاوی مالتیتول (مانند تیمار ۱) کاهش کمتری در pH داشتند. در مقابل، تیمارهای ۵ و ۱۱ که فقط حاوی زایلیتول بودند، کاهش معنی‌داری در pH داشتند. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که ترکیب زانتان و مالتیتول می‌تواند به کنترل بهتر pH و حفظ کیفیت محصول در طول دوره نگهداری کمک کند.

فعالیت آبی (aw)

فعالیت آبی یکی از عوامل اصلی موثر بر رشد میکروبی، پایداری غذا، ماندگاری و سمیت مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود (۲۹). در این مطالعه، تمامی نمونه‌ها در ظروف درب بسته و متالایز نگهداری شدند، بنابراین تغییرات در میزان رطوبت اتمسفر و تاثیر آن بر فعالیت آبی ناچیز بود. روند تغییرات فعالیت آبی در طول زمان در شکل ۲ نشان داده شده است. در ابتدا مشاهده می‌شود که افزودن شیرین‌کننده‌های الکلی و هیدروکلئیدها تاثیر معنی‌داری در کاهش فعالیت آبی تمامی

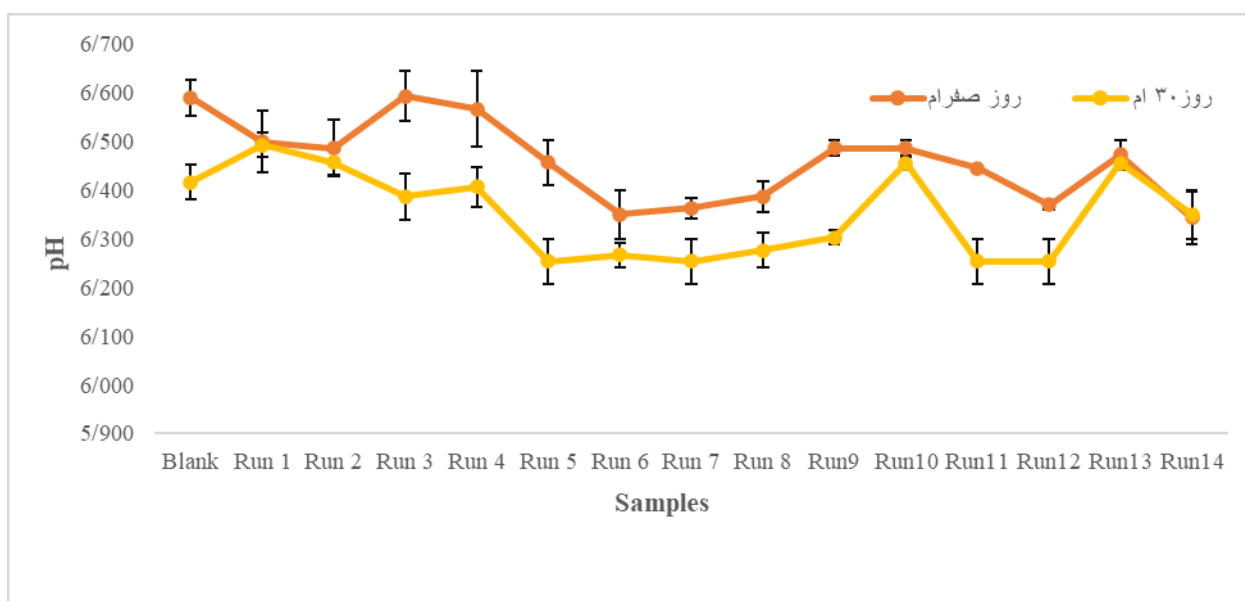
تیمارها در ابتدای تولید در مقایسه با نمونه شاهد داشته است. مطالعات نشان داده‌اند شرایط مناسب تولید سم بوتولینم aw در محدوده ۰/۹۳ تا ۰/۹۴ می‌باشد. علاوه بر این، حد پایین تر برای رشد کپک های مایکوتوکسیژنیک، aw برابر با ۰/۷۸ گزارش شده است و تولید مایکوتوکسین‌ها عموماً از مقادیر حداقل برای رشد بیشتر است. بر این اساس، مواد غذایی با فعالیت آب زیر ۰/۸۵ نسبتاً ایمن هستند (۲۳). لذا مقایسه فعالیت آبی نمونه‌ها نشان می‌دهد که همه تیمارها در محدوده ایمن aw از نظر رشد باکتریایی و کپکی قرار دارند (۲۹). در روز صفر، تیمار ۳ کمترین مقدار فعالیت آبی را داشت که به دلیل بالاترین سطح صمغ زانتان و HPMC بود. در مقابل، تیمار ۱ با مالتیتول بیشترین aw را نشان داد. تیمارهایی با نسبت متعادل هیدروکلئیدها و شیرین‌کننده‌ها به‌خوبی aw را حفظ کردند. در روز ۳۰، تیمارهایی با زانتان و HPMC فعالیت آبی کمتری داشتند و تیمارهای ۵ و ۱۱ بیشترین کاهش aw را تجربه کردند. این یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت زانتان در پایداری محصول از نظر فعالیت آبی هستند. Zhou و همکاران بیان کردند که فعالیت آبی نمونه‌های پروتئین و تغذیه بار حاوی مالتیتول و درصد های متفاوت صمغ HPMC (۰ تا ۲ درصد) تدریجاً در طول ذخیره سازی به مدت ۳۵ روز کاهش می‌یابد. این محققان دلیل این امر را واکنش‌های میلارد یا خود تجمعی پروتئین بیان کردند که باعث می‌شود مولکول‌های آب به شبکه متصل بمانند (۱). در مطالعه Małecki و همکاران که تاثیر سیروپ های مختلف بر خصوصیات و ویژگی های پروتئین‌ها را مورد بررسی قرار داده بود تاکید شد که استفاده از مالتیتول تاثیر خوبی در کاهش aw و پایداری محصول نهایی دارد (۲۳).

تغییرات محتوای رطوبتی

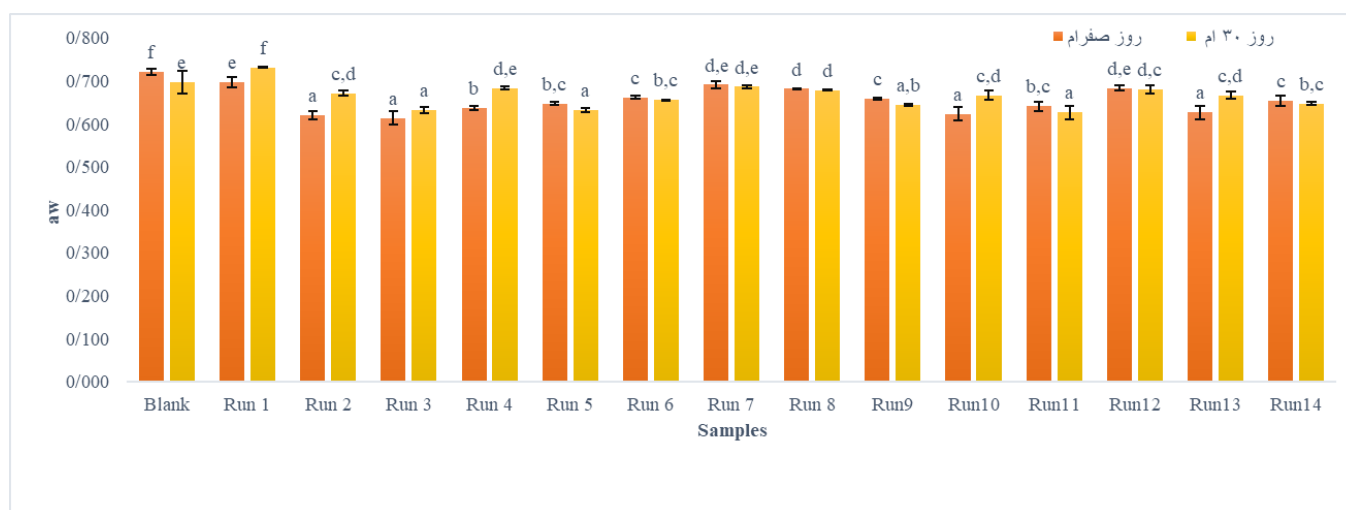
محتوای رطوبتی، عامل مهمی است که بر پارامترهای کیفی مختلف از جمله طعم، بافت، ظاهر و ماندگاری پروتئین‌ها را تاثیر می‌گذارد (۲۸). نتایج محتوای رطوبتی در شکل ۳، نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجهی بین تیمارها است. در روز صفر، تیمار ۶ و ۱۴ کمترین رطوبت را به دلیل بالاترین سطح هیدروکلئیدها داشت. تیمار ۴ (حاوی مالتیتول) بیشترین میزان رطوبت را به خود اختصاص داده بود. ناطقی و همکاران نشان دادند که استفاده همزمان و مستقل از هم هیدروکلئیدهای کربوکسی متیل سلولز و زانتان، افزایش معنی‌داری را در درصد رطوبت نمونه‌های نان باگت سبب

درصد بالاتری از هیدروکلوئیدهای HPMC یا زانتان بودند، کمتر بود؛ زیرا این ترکیبات به واسطه‌ی توانایی بالای خود در جذب و نگهداری آب، موجب حفظ رطوبت در ماتریکس پروتئین‌بار می‌شوند. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از هیدروکلوئیدها نقش مؤثری در حفظ رطوبت و بهبود کیفیت محصول در طول دوره نگهداری دارد.

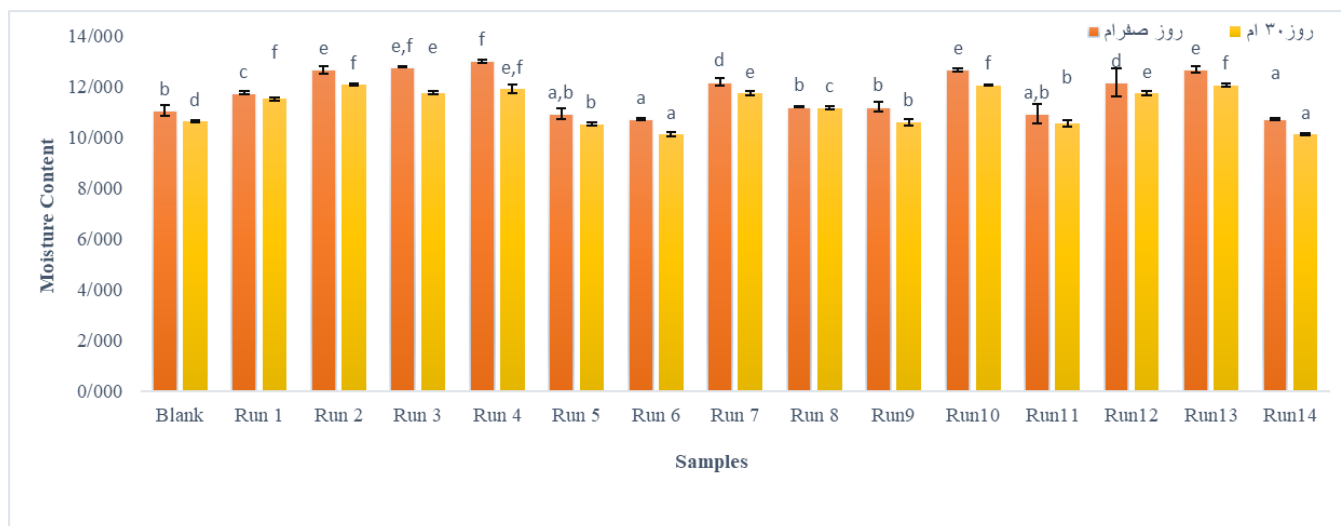
می‌شود. این محققان به اثر موثر تر صمغ کربوکسی متیل سلولز در جذب رطوبت به واسطه دارا بودن زنجیره‌های شامل گروه عاملی هیدروکسیل در نتیجه پیوندهای هیدروژنی بیشتر با آب، در مقایسه با صمغ زانتان اشاره نمودند (۱۷). در روز سی‌ام دوره نگهداری، کاهش معنی‌داری در میزان رطوبت تمامی تیمارها مشاهده شد. این کاهش در تیمارهای ۶، ۹ و ۱۴ که دارای



شکل ۱. روند تغییرات pH تیمارهای مختلف پروتئین‌بار در روز صفر و سی‌ام.



شکل ۲. تغییرات aw در طول دوره نگهداری سی‌روزه.



شکل ۳. تغییرات محتوای رطوبتی پروتئین‌بارها در طول دوره نگهداری سی روزه.

اندازه‌گیری خاکستر نامحلول در اسید

مقدار خاکستر نامحلول در اسید نشان‌دهنده پایداری معدنی محصول است. جدول ۲ میزان خاکستر نامحلول در اسید تیمارهای مختلف پروتئین‌بارها را در بدو تولید نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که محتوای خاکستر نامحلول در اسید تیمارهای مختلف پروتئین‌بار با افزودن هیدروکلوئیدها و پلی‌ال نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری یافته‌است. تیمارهای حاوی زانتان و HPMC (مانند تیمارهای ۹ و ۱۲) کمترین مقدار خاکستر را نشان دادند که احتمالاً به دلیل کاهش رسوب مواد معدنی در حضور این هیدروکلوئیدها بوده‌است. در مقابل، تیمار شاهد و تیمارهای حاوی مالتیتول خاکستر بیشتری داشتند که نشان‌دهنده تأثیر ترکیبات اولیه بر این شاخص است.

خصوصیات بافتی نمونه‌ها

ویژگی‌های بافتی تیمارهای پروتئین‌بار مانند سختی (Hardness) و نیروی برش (Shear Force) به‌عنوان شاخص‌های کلیدی برای ارزیابی کیفیت مکانیکی محصول که در جدول ۳ نشان داده شده است، مورد بررسی قرار گرفتند.

سختی ارزیابی‌شده توسط روش‌های ابزاری را می‌توان به عنوان نیروی مورد نیاز برای فشرده‌کردن پروتئین‌بارها بین انگشت شست و سبابه مصرف‌کننده یا به عنوان نیروی مورد نیاز برای گاز گرفتن این محصول توسط دندان‌های آسیاب درک کرد (۸). سختی پروتئین‌بارها معمولاً به دلیل غلظت زیاد پروتئین‌های موجود در آن‌ها است که به دلیل عواملی مانند واکنش‌های میلارد، مهاجرت آب، تجمع پروتئین یا

کریستالیزاسیون قند، ممکن است در طول مدت نگهداری در آن‌ها ایجاد شود (۸، ۱۱).

جدول ۲. محتوای خاکستر فرمولاسیون مختلف پروتئین‌بارها

تیمارها	مقدار خاکستر نامحلول در اسید
شاهد	0.200 ± 0.00^d
۱	0.100 ± 0.00^b
۲	0.122 ± 0.00^d
۳	0.199 ± 0.00^d
۴	0.199 ± 0.00^d
۵	0.171 ± 0.00^c
۶	0.113 ± 0.00^b
۷	0.064 ± 0.00^a
۸	0.104 ± 0.00^b
۹	0.072 ± 0.00^a
۱۰	0.135 ± 0.00^d
۱۱	0.167 ± 0.00^c
۱۲	0.081 ± 0.00^a
۱۳	0.119 ± 0.00^d
۱۴	0.110 ± 0.00^b

نتایج به شکل میانگین $\pm$ انحراف از معیار نشان داده شده است. حروف کوچک متفاوت نمایش داده شده در جدول، نشان‌گر وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین داده‌های هر ستون می‌باشد.

نتایج نشان داد که سختی نمونه‌ها در طول زمان افزایش یافته است که یک ویژگی معمول در محصولات پروتئینی با رطوبت متوسط است. با این حال، تیمارهای حاوی هیدروکلوئید HPMC و زانتان در بالاترین سطوح مورد استفاده خود (مانند تیمارهای ۶ و ۱۴) و همچنین تیمارهای ۵ و ۱۱ که بالاترین غلظت زانتان را داشتند، این افزایش سختی در طول زمان

نگهداری را به طور قابل توجهی نشان دادند. این موضوع نشان می دهد که ترکیب هر دو هیدروکلوئید در بالاترین سطح خود تأثیر منفی بر پارامتر سختی بافت در طول زمان دارد. در روز صفر، کمترین سختی بافت متعلق به نمونه ۱ بود که ترکیب زانتان در بالاترین سطح و شیرین کننده مالتیتول بود. علت کمتر بودن افزایش سختی در تیمار ۱، توانایی هیدروکلوئید زانتان و پلی ال مالتیتول در نگهداری رطوبت و کاهش تشکیل کریستال های قند محصول بوده است. نکته قابل توجه، کمتر بودن سختی نمونه در تیمارهای ۷ و ۱۲ است که صرفاً پلی ال مالتیتول بدون هیچ سطحی از هیدروکلوئیدها بودند. این موضوع نشان دهنده تأثیر قابل توجه مالتیتول در کاهش سختی نمونه نسبت به نمونه شاهد است. تیمارهای ۶، ۸ و ۱۴ بیشترین

سختی را در روز صفر نشان دادند. این موضوع تأثیر معنی دار هیدروکلوئید HPMC در افزایش سختی نمونه را نشان می دهد. در مجموع می توان این چنین برداشت کرد که هیدروکلوئید زانتان در کاهش سختی نمونه مؤثر تر از HPMC عمل می کند ولی ترکیب هر دو هیدروکلوئید به خصوص در بالاترین سطوح غلظتی، بیشترین سختی بافت را در روز صفر و در طول زمان نگهداری ایجاد می کند. در میان شیرین کننده های پلی ال، تأثیر مالتیتول در کاهش سختی نمونه و ممانعت از افزایش سختی در طول زمان شاخص بود. در بین تیمارهای مختلف تأثیر پلی ال ها در کاهش سختی نمونه و افزایش مطلوبیت بافتی آن تا حدودی هم راستا با هیدروکلوئید زانتان است.

جدول ۳. تجزیه و تحلیل پروفایل بافت نمونه های پروتئین بار

تیمارها	سختی (gr)		استحکام برش (gr)	
	روز صفر	روز ۳۰	روز صفر	روز ۳۰
شاهد	۳۸۴۵/۱۵ ± ۵۱/۹۷ ^{d, e}	۶۲۹۸/۹۰ ± ۲۸۵/۸۹ ^d	۹۲۰۵/۱۰ ± ۳۶۷/۴۷ ^{c, d}	۱۲۰۷۲/۵۶ ± ۱۲۹/۱۸۱ ^e
۱	۱۸۹۳/۳۴ ± ۱۴۰/۸۲ ^a	۳۱۵۳/۰۷ ± ۳۹/۱۲ ^a	۶۰۱۵/۶۴ ± ۷۲/۸۴ ^a	۹۴۴۳/۴۷ ± ۹۱/۷۸ ^{b, c}
۲	۳۲۵۹/۶۷ ± ۷۶/۲۵ ^{c, d}	۴۸۹۰/۴۵ ± ۲۶۲/۰۳ ^c	۷۸۶۹/۷۲ ± ۶۴۴/۵۲ ^b	۱۰۴۷۷/۰۴ ± ۱۴۲/۱۰ ^d
۳	۲۶۳۷/۷۴ ± ۶/۲۵ ^{b, c}	۴۰۲۲/۴۱ ± ۸۹/۷۶ ^b	۱۰۱۹۶/۱۶ ± ۵۲۷/۱۵ ^{d, e}	۱۱۴۹۰/۴۴ ± ۱۱۰/۸۱ ^e
۴	۲۶۵۴/۱۴ ± ۵۳/۴۷ ^{b, c}	۵۱۳۲/۱۹ ± ۳۲۰/۴۳ ^c	۸۴۵۵/۵۱ ± ۳۹۵/۶۹ ^{b, c}	۱۱۴۴۴/۰۰ ± ۳۹۲/۴۳ ^e
۵	۳۹۹۵/۵۱ ± ۳۲۵/۵۲ ^{e, f}	۸۳۸۸/۹۲ ± ۲۲۵/۹۹ ^e	۹۴۹۵/۴۰ ± ۵۵۶/۹۰ ^{d, e}	۱۲۰۴۷/۸۵ ± ۲۸۸/۱۳ ^e
۶	۴۵۹۹/۷۵ ± ۴۹۰/۷۸ ^f	۸۹۴۵/۰۲ ± ۵۱/۰۵ ^{e, f}	۹۱۴۱/۹۰ ± ۳۰۶/۸۳ ^{c, d}	۹۹۰۸/۰۱ ± ۹۲/۲۰ ^{c, d}
۷	۲۲۵۹/۱۴ ± ۳۹۲/۱۷ ^{a, b}	۳۶۴۶/۷۶ ± ۶۸۱/۹۱ ^{a, b}	۵۷۴۱/۶۸۰ ± ۷۱۳/۹۵ ^a	۸۳۴۲/۰۵ ± ۱۲۸/۰۹ ^a
۸	۴۵۵۵/۷۴ ± ۳۸۶/۱۷ ^{e, f}	۶۱۶۲/۴۰ ± ۵۳/۸۰ ^d	۵۶۶۸/۴۶ ± ۱۲۵/۷۵ ^a	۹۰۷۸/۱۲ ± ۶۲۹/۸۳ ^b
۹	۵۴۸۰/۱۸ ± ۵۲۰/۵۶ ^g	۹۳۸۳/۲۴ ± ۱۴۴/۹۳ ^f	۱۰۳۱۶/۷۳ ± ۴۹۲/۸۱ ^e	۱۴۱۷۲/۴۱ ± ۴۷۹/۶۳ ^f
۱۰	۳۲۵۰/۶۱ ± ۶۶/۲۵ ^{c, d}	۴۷۹۰/۴۱ ± ۲۵۲/۰۳ ^c	۷۷۶۹/۷۲ ± ۵۴۴/۵۲ ^b	۱۰۳۷۶/۰۴ ± ۱۴۵/۱۰ ^d
۱۱	۳۸۹۵/۵۱ ± ۳۱۵/۵۲ ^{e, f}	۸۴۱۸/۹۲ ± ۲۳۵/۹۳ ^e	۹۳۹۱/۴۰ ± ۴۶۵/۹۰ ^{d, e}	۱۲۰۴۷/۸۵ ± ۲۸۸/۱۳ ^e
۱۲	۲۲۶۵/۱۴ ± ۲۹۲/۱۶ ^{a, b}	۳۵۸۶/۷۶ ± ۵۴۱/۹۱ ^{a, b}	۵۶۴۲/۶۸۰ ± ۶۳۷/۹۵ ^a	۸۲۲۲/۰۵ ± ۱۴۹/۰۹ ^a
۱۳	۳۲۴۹/۶۷ ± ۷۲/۲۵ ^{c, d}	۴۵۹۰/۳۹ ± ۲۲۹/۰۳ ^c	۷۶۹۸/۷۲ ± ۵۹۹/۵۲ ^b	۱۰۵۵۵/۰۴ ± ۱۵۰/۱۰ ^d
۱۴	۴۴۹۸/۷۵ ± ۴۱۰/۷۶ ^f	۸۸۴۵/۰۲ ± ۶۱/۰۵ ^{e, f}	۹۱۸۹/۹۰ ± ۲۰۵/۸۳ ^{c, d}	۹۸۹۹/۰۱ ± ۱۰۲/۲۰ ^{c, d}

نتایج به شکل میانگین ± انحراف از معیار نشان داده شده است.

حروف کوچک متفاوت نمایش داده شده در جدول، نشان گر وجود اختلاف آماری معنی دار بین داده های هر ستون می باشد.

نیروی برشی ارتباط نزدیکی با نیروی مورد نیاز برای برش نمونه توسط دندان های پیشین مصرف کننده در حین خوردن اولین لقمه را دارد (۸). نتایج نشان می دهد که تیمارهای ۱، ۷، ۸ و ۱۲ کمترین میزان نیروی مورد نیاز برای برش را داشتند. این موضوع میتواند بیان کننده سختی و انسجام بافتی کمتر این

نمونه ها باشد. این موضوع در تایید نتایج ارزیابی سختی این نمونه ها است. نتایج آزمون نیروی برشی نشان داد که نمونه های دارای هیدروکلوئیدهای HPMC و زانتان در بالاترین سطح خود، بیشترین نیروی برشی را داشتند که این موضوع تایید کننده اثر سخت شوندگی بافتی این دو هیدروکلوئید در کنار

بافتی را کاهش داده و انسجام و یکنواختی بافتی را بهبود بخشیده است. این ترکیبات می‌توانند با کنترل خواص بافتی محصول، مطلوبیت آن را افزایش دهند و از مشکلاتی مانند سخت شدن بافت طی نگهداری جلوگیری کنند. انتخاب بهینه این ترکیبات می‌تواند کیفیت و پذیرش محصول را به طور چشمگیری ارتقا دهد.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی یکی از مهم‌ترین بخش‌ها برای تعیین پذیرش محصول توسط مصرف‌کنندگان است. نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های مختلف پروتئین‌بار در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تفاوت آماری معناداری در پارامتر طعم بین تیمارهای مختلف پروتئین‌بار در روزهای صفر و ۳۰ وجود نداشت. این امر نشان‌دهنده حفظ موثر ترکیبات طعمی و عدم تغییر آن‌ها در طول زمان نگهداری بود. شیرین‌کننده‌های جایگزین مانند مالتیتول و زایلپیتول توانستند به خوبی اثر شیرینی مطلوب را حفظ کنند.

یکدیگر بر روی پروتئین‌بارها است. Małeckی و همکاران و Hogan و همکاران در مطالعات خود بیان کردند، تفاوت در پارامترهای بافتی و مقاومت در برابر برش انواع مختلف پروتئین‌بارها می‌تواند به اندازه منافذ و درجه تکه تکه شدن مولکول‌های پروتئین مربوط باشد که درجه مهاجرت رطوبت را در محصولات چندجزئی تغییر می‌دهد. پروتئین‌هایی با اندازه منافذ کوچکتر، فرآیندهای سخت شدن را کند می‌کند، مقاومت برشی را کاهش و تمایل به چسبیدن به سطح را افزایش می‌دهند (۵، ۳۰). Małeckی و همکاران اشاره کردند، شربت‌های مورد استفاده در فرمولاسیون پروتئین‌بار از جمله مالتیتول، تأثیر قابل توجهی بر کاهش پارامترهای مربوط به تحلیل بافت و کاهش مقاومت در برابر برش داشتند (۲۳). در مطالعه حسن و همکاران اشاره شد که استفاده از جایگزین‌های قند از جمله مالتیتول می‌تواند درجه سختی محصولات پروتئینی را با کاهش فعل و انفعالات سطح و حلال از جمله فعل و انفعالات کووالانسی بین پروتئین‌ها و شربت‌ها که شامل پیوندهای هیدروژنی، واندروالس یا نیروهای یونی است، کاهش دهد (۳۱). به طور کلی می‌توان گفت که استفاده از ترکیبات مالتیتول و زانتان به طور قابل توجهی سختی

جدول ۴. ارزیابی حسی و پارامترهای مرتبط انواع مختلف فرمولاسیون پروتئین‌بارها

تیمارها	طعم		سفتی		بافت		پذیرش کلی	
	روز صفر	روز ۳۰	روز صفر	روز ۳۰	روز صفر	روز ۳۰	روز صفر	روز ۳۰
شاهد	۳/۰۰ ± ۱/۳۳ ^a	۲/۴۰ ± ۰/۸۴ ^a	۲/۴۰ ± ۰/۸۴ ^{a,b,c}	۱/۸۰ ± ۰/۹۱ ^a	۲/۶۰ ± ۱/۰۷ ^a	۲/۷۰ ± ۱/۰۵ ^a	۲/۸۰ ± ۰/۹۱ ^a	۲/۷۰ ± ۰/۶۷ ^a
۱	۳/۸۰ ± ۰/۷۸ ^a	۳/۵۰ ± ۰/۵۲ ^a	۴/۳۰ ± ۰/۴۸ ^d	۴/۱۰ ± ۰/۸۷ ^c	۳/۶۰ ± ۰/۶۹ ^b	۳/۹۰ ± ۰/۳۱ ^b	۴/۲۰ ± ۰/۶۳ ^c	۳/۹۰ ± ۰/۸۷ ^b
۲	۲/۸۰ ± ۰/۷۸ ^a	۲/۹۰ ± ۰/۷۳ ^a	۳/۱۰ ± ۰/۸۷ ^{b,c}	۳/۰۰ ± ۰/۶۶ ^b	۳/۳۰ ± ۰/۶۷ ^a	۳/۲۰ ± ۰/۷۸ ^{a,b}	۳/۶۰ ± ۰/۵۱ ^{a,b,c}	۳/۴۰ ± ۰/۶۹ ^{a,b}
۳	۲/۲۰ ± ۰/۷۸ ^a	۳/۴۰ ± ۰/۶۹ ^a	۳/۲۰ ± ۰/۹۱ ^c	۲/۶۰ ± ۰/۶۹ ^b	۳/۰۰ ± ۰/۶۶ ^{a,b}	۳/۱۰ ± ۰/۸۷ ^{a,b}	۳/۵۰ ± ۱/۰۸ ^{a,b,c}	۳/۴۰ ± ۰/۹۶ ^{a,b}
۴	۲/۳۰ ± ۰/۹۴ ^a	۳/۱۰ ± ۱/۳۷ ^a	۲/۹۰ ± ۰/۷۳ ^{a,b,c}	۲/۶۰ ± ۰/۵۱ ^b	۳/۲۰ ± ۰/۶۳ ^{a,b}	۳/۰۰ ± ۱/۰۵ ^{a,b}	۳/۱۰ ± ۱/۱۰ ^{a,b}	۳/۲۰ ± ۰/۷۸ ^{a,b}
۵	۳/۴۰ ± ۰/۹۶ ^a	۳/۳۰ ± ۱/۱۵ ^a	۲/۳۰ ± ۰/۸۲ ^{a,b}	۲/۵۰ ± ۰/۷۰ ^b	۲/۸۰ ± ۰/۷۸ ^{a,b}	۲/۹۰ ± ۰/۷۳ ^{a,b}	۳/۲۰ ± ۱/۳۱ ^{a,b}	۲/۹۰ ± ۱/۱۰ ^{a,b}
۶	۲/۷۰ ± ۱/۵۶ ^a	۲/۸۰ ± ۱/۳۹ ^a	۲/۲۰ ± ۰/۹۱ ^a	۱/۵۰ ± ۰/۷۰ ^a	۳/۳۰ ± ۱/۲۵ ^{a,b}	۳/۴۰ ± ۰/۷۳ ^{a,b}	۳/۰۰ ± ۱/۰۵ ^{a,b}	۲/۵۰ ± ۱/۵۰ ^a
۷	۲/۴۰ ± ۱/۲۶ ^a	۳/۲۰ ± ۱/۳۱ ^a	۴/۱۰ ± ۰/۷۳ ^d	۳/۷۰ ± ۰/۶۷ ^c	۳/۲۰ ± ۱/۲۳ ^{a,b}	۳/۴۰ ± ۱/۵۷ ^{a,b}	۳/۸۰ ± ۰/۹۱ ^{b,c}	۳/۳۰ ± ۱/۴۱ ^{a,b}
۸	۳/۲۰ ± ۰/۶۳ ^a	۳/۳۰ ± ۱/۵۶ ^a	۲/۱۰ ± ۰/۹۴ ^{a,b,c}	۲/۶۰ ± ۱/۱۷ ^b	۳/۱۰ ± ۰/۷۳ ^{a,b}	۳/۳۰ ± ۱/۱۵ ^{a,b}	۳/۱۰ ± ۰/۸۷ ^{a,b}	۳/۳۰ ± ۰/۹۴ ^{a,b}
۹	۳/۳۰ ± ۱/۰۵ ^a	۳/۱۰ ± ۰/۹۹ ^a	۲/۱۰ ± ۰/۸۷ ^a	۱/۴۰ ± ۰/۵۱ ^a	۲/۷۰ ± ۰/۹۴ ^{a,b}	۲/۶۰ ± ۰/۸۴ ^a	۲/۸۰ ± ۰/۷۸ ^a	۲/۸۰ ± ۰/۶۳ ^a
۱۰	۲/۷۵ ± ۰/۷۰ ^a	۲/۹۸ ± ۰/۶۸ ^a	۳/۱۱ ± ۰/۸۷ ^{b,c}	۳/۰۵ ± ۰/۷۶ ^a	۳/۲۸ ± ۰/۶۱ ^a	۳/۲۱ ± ۰/۷۹ ^{a,b}	۳/۶۶ ± ۰/۵۵ ^{a,b,c}	۳/۴۰ ± ۰/۶۹ ^{a,b}
۱۱	۳/۳۶ ± ۰/۸۹ ^a	۳/۲۷ ± ۱/۱۷ ^a	۲/۳۴ ± ۰/۸۰ ^{a,b}	۲/۴۸ ± ۰/۶۹ ^b	۲/۷۷ ± ۰/۷۰ ^{a,b}	۲/۸۸ ± ۰/۶۸ ^{a,b}	۳/۱۸ ± ۱/۲۹ ^{a,b}	۲/۸۷ ± ۱/۱۲ ^{a,b}
۱۲	۳/۵۰ ± ۱/۳۷ ^a	۳/۳۶ ± ۱/۳۷ ^a	۴/۱۵ ± ۰/۶۹ ^d	۳/۶۲ ± ۰/۷۰ ^c	۳/۱۵ ± ۱/۱۸ ^{a,b}	۳/۳۱ ± ۱/۴۹ ^{a,b}	۳/۷۱ ± ۰/۸۲ ^{a,b}	۳/۲۶ ± ۱/۳۹ ^{a,b}
۱۳	۲/۸۲ ± ۰/۶۸ ^a	۲/۸۸ ± ۰/۸۶ ^a	۳/۱۲ ± ۰/۸۱ ^{b,c}	۳/۰۲ ± ۰/۵۶ ^b	۳/۲۶ ± ۰/۶۴ ^a	۳/۲۵ ± ۰/۶۹ ^{a,b}	۳/۵۹ ± ۰/۴۹ ^{a,b,c}	۳/۳۸ ± ۰/۶۱ ^{a,b}
۱۴	۲/۶۱ ± ۱/۵۰ ^a	۲/۷۹ ± ۱/۳۰ ^a	۲/۱۶ ± ۰/۸۹ ^a	۱/۴۷ ± ۰/۶۹ ^a	۳/۲۴ ± ۱/۲۰ ^{a,b}	۳/۲۶ ± ۰/۷۶ ^{a,b}	۳/۰۹ ± ۱/۱۰ ^{a,b}	۲/۶۹ ± ۱/۴۳ ^a

نتایج به شکل میانگین ± انحراف از معیار نشان داده شده است.

حروف کوچک متفاوت نمایش داده شده در جدول، نشان‌گر وجود اختلاف آماری معنی دار بین داده‌های هر ستون می‌باشد.

ناطقى و همکاران اشاره کردند که استفاده از هیدروکلوئیدهای کربوکسی متیل سلولز و زانتان تأثیر معنی داری بر خصوصیات عطر و بوی نان های باگت نداشته است (۱۷). سفتی بافت به عنوان یکی از عوامل کلیدی در پذیرش محصول نیز بررسی شد. یکی از مشکلات رایج پروتئین بارها سفتی بافت در هنگام مصرف است. معمولاً مصرف کنندگان طعم های شیرین با بافت متعادل و آسان جویدنی را برای انواع پروتئین بارها ترجیح می دهند (۸). یکی از چالش های اصلی پروتئین بارها، سفتی بافت در هنگام مصرف است. نتایج نشان داد که تیمارهای ۹، ۶ و ۱۴ بیشترین میزان سختی و تیمارهای ۱، ۷ و ۱۲ کمترین سختی را داشتند. تیمارهای ۶ و ۱۴ که شامل بالاترین سطح زانتان و HPMC بودند، سخت ترین بافت را نشان دادند. این در حالی است که تیمارهای ۱، ۷ و ۱۲ به دلیل استفاده از زانتان یا عدم استفاده از هیدروکلوئیدها بافتی نرم تر و مطلوب تر داشتند. توانایی زانتان در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود توزیع آن باعث کاهش سفتی بافت شده است. همچنین مالتیتول به عنوان عامل بهبوددهنده بافتی نقش مؤثری داشت. در روز ۳۰، سختی بافت در تمام تیمارها افزایش یافت که می تواند به فرآیندهایی مانند کریستالیزاسیون قند، مهاجرت آب، تجمع پروتئین ها و واکنش های مایلارد مرتبط باشد. با این حال، تیمارهای ۱، ۷ و ۱۲ همچنان کمترین سفتی را داشتند. این موضوع نشان داد که استفاده از زانتان در بالاترین سطح باعث کاهش تغییرات سفتی بافت طی نگهداری می شود. بافت مطلوب پروتئین بارها با یکنواختی و عدم چسبندگی به دندان و کام تعریف می شود. تیمار ۱ که شامل بالاترین سطح زانتان و مالتیتول بود، بیشترین امتیاز بافتی را به دست آورد. تیمارهای حاوی HPMC نیز بافت مناسبی داشتند، اما به دلیل ویژگی ژل کنندگی، کمی چسبندگی در آن ها مشاهده شد. در ارزیابی پذیرش کلی، تیمارهای ۱، ۷ و ۱۲ بالاترین امتیاز را در روز صفر به دلیل طعم مناسب، سفتی کمتر و بافت نرم تر به دست آوردند. در مقابل، تیمارهای شاهد، ۶، ۹ و ۱۴ کمترین امتیاز را کسب کردند. در روز ۳۰، تیمار ۶ به دلیل سفتی بالا و پذیرش کمتر نسبت به سایرین، نیاز به بازنگری در غلظت هیدروکلوئیدها داشت. استفاده از زانتان و مالتیتول تأثیر قابل توجهی در بهبود ویژگی های حسی و افزایش پذیرش کلی

محصول نشان داد. ناطقی و همکاران ذکر کردند که استفاده از هیدروکلوئیدهای زانتان و کربوکسی متیل سلولز در غلظت های بالا منجر به کاهش مطلوبیت بافتی و خواص حسی محصول نان باگت گردیده است (۱۷). Małeckی و همکاران اشاره کردند که بیشترین امتیاز کلی ارزیابی حسی برای پروتئین بارهای ساخته شده با شربت های اولیگوفروکتوز، مالتیتول و گلوکز بوده است. این محققان به اثر موثر شیرین کننده پلی ال مالتیتول در بهبود پارامترهای بافتی پروتئین بارها نیز اشاره کردند (۲۳). تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین که در مورد استفاده از پلی ال ها در شکل دادن به خواص فیزیکی شیمیایی پروتئین بارهای بر پایه پروتئین ایزوله سویا بود، نشان داد که امتیاز بالای بارهای ساخته شده از شربت مالتیتول ممکن است به تأثیر پلی ال ها بر خواص ساختاری و سطحی پروتئین بارها مربوط باشد. این موضوع می تواند به اثر میانکنش پروتئین ها با پلی ال ها مربوط باشد که منجر به افزایش نظم ساختاری مولکول های پروتئین می شود (۳۲). بعد از ۳۰ روز نگهداری، تمامی تیمارها کاهش مقبولیت کلی را تجربه کردند، با این حال، بیشترین مقبولیت متعلق به تیمار ۱ و پس از آن تیمارهای ۷ و ۱۴ بود. استفاده از ترکیب زانتان و مالتیتول به طور مؤثری ویژگی های حسی و پذیرش کلی پروتئین بارها را بهبود بخشید و می تواند به افزایش رضایت مصرف کنندگان و گسترش بازار این محصول کمک کند.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات هیدروکلوئیدها و پلی ال ها بر خواص فیزیکی شیمیایی و حسی پروتئین بارها انجام شد. نتایج نشان داد که این افزودنی ها تأثیر قابل توجهی بر بهبود پارامترهای مختلف محصول دارند. صمغ زانتان به طور مؤثر باعث کاهش فعالیت آبی، حفظ بهتر رطوبت، بهبود بافت و کاهش سختی محصول شد. مالتیتول نیز به بافت نرم تر و بهبود ویژگی های حسی و پذیرش کلی کمک کرد. یافته ها حاکی از آن است که ترکیب بهینه این مواد می تواند فرمولاسیون پروتئین بارها را ارتقا دهد. برای تحقیقات آینده، بررسی تکنیک های پردازش، برهمکنش مواد و پایداری طولانی مدت فرمول ها تحت شرایط مختلف ذخیره سازی ضروری است. همچنین مطالعات مصرف کننده محور برای درک بهتر ترجیحات

و ادراکات مصرف‌کنندگان از طعم، بافت و مقبولیت پروتئین‌بارهای حاوی این افزودنی‌ها پیشنهاد می‌شود.

• References

- Zhou X, Wang M, Zhang L, Liu Z, Su C, Wu M, et al. Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) reduces the hardening of fructose-containing and maltitol-containing high-protein nutrition bars during storage. *LWT*. 2022;163:113607.
- Trzaskowska M, Neffe-Skocińska K, Okoń A, Zielińska D, Szydłowska A, Łepecka A, et al. Safety Assessment of Organic High-Protein Bars during Storage at Ambient and Refrigerated Temperatures. *Applied Sciences*. 2022;12(17):8454.
- Diaz JT, Foegeding EA, Lila MA. Whey protein-polyphenol aggregate particles mitigate bar hardening reactions in high protein bars. *Lwt*. 2021;138:110747.
- Ayatti A, Joshi N, Jamuna KV, Suresha KB. Effect of Chocolate Coating and Essential Oil Incorporation on the Sensory Acceptability of Protein Bars. *IntJCurrMicrobiolAppSci*. 2021;10(7).
- Małecki J, Tomasevic I, Djekic I, Sołowiej BG. The effect of protein source on the physicochemical, nutritional properties and microstructure of high-protein bars intended for physically active people. *Foods*. 2020;9(10):1467.
- Loveday SM, Hindmarsh JP, Creamer LK, Singh H. Physicochemical changes in a model protein bar during storage. *Food Research International*. 2009;42(7):798-806.
- Banach J, Clark S, Lamsal B. Texture and other changes during storage in model high-protein nutrition bars formulated with modified milk protein concentrates. *LWT-Food Science and Technology*. 2014;56(1):77-86.
- Małecki J, Terpiłowski K, Nastaj M, Sołowiej BG. Physicochemical, Nutritional, Microstructural, Surface and Sensory Properties of a Model High-Protein Bars Intended for Athletes Depending on the Type of Protein and Syrup Used. *International journal of environmental research and public health*. 2022;19(7):3923.
- Tang C. Nanostructures of soy proteins for encapsulation of food bioactive ingredients. *Biopolymer nanostructures for food encapsulation purposes*: Elsevier; 2019. p. 247-85.
- Fuquay JW, McSweeney PL, Fox PF. *Encyclopedia of dairy sciences*: Academic Press; 2011.
- Jiang Z, Wang K, Zhao X, Li J, Yu R, Fu R, et al. High-protein nutrition bars: Hardening mechanisms and anti-hardening methods during storage. *Food Control*. 2021;127:108127.
- Małecki J, Tomasevic I, Sołowiej BG. The Influence of the Syrup Type on Rheology, Color Differences, Water Activity, and Nutritional and Sensory Aspects of High-Protein Bars for Sportsmen. *Journal of Food Quality*. 2022;2022.
- Keefer H, Nishku S, Gerard P, Drake M. Role of sweeteners on temporality and bar hardening of protein bars. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(7):6032-53.
- Szydłowska A, Zielińska D, Łepecka A, Trzaskowska M, Neffe-Skocińska K, Kołożyn-Krajewska D. Development of functional high-protein organic bars with the addition of whey protein concentrate and bioactive ingredients. *Agriculture*. 2020;10(9):390.
- Pirsa S, Hafezi K. Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*. 2022;133967.
- McArdle R, Hamill R. Utilisation of hydrocolloids in processed meat systems. *Processed meats*: Elsevier; 2011. p. 243-69.
- Nateghi I. Effect of xanthan gum and carboxymethyl cellulose gum on physicochemical properties and sensory of Baguette bread. *Journal of food science and technology(Iran)*. 2021;18(113):1-17.
- Iakzadeh I, Nasr Esfahani S. Application of the xanthan gum, carboxymethyl cellulose and whey protein concentrate in the formulation and improvement of low fat whipped cream properties. *Journal of food science and technology(Iran)*. 2021;18(113):273-87.
- Hager A-S, Arendt EK. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids*. 2013;32(1):195-203.
- Embuscado ME. *Polyols, Optimising Sweet Taste In Foods*. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK; 2006.
- Embuscado M. *Polyols. Optimising sweet taste in foods*. 2006:153-74.
- Spillane WJ. *Optimising sweet taste in foods*: Woodhead Publishing; 2006.
- Małecki J, Tomasevic I, Sołowiej BG. The Influence of the Syrup Type on Rheology, Color Differences, Water Activity, and Nutritional and Sensory Aspects of High-Protein Bars for Sportsmen. *Journal of Food Quality*. 2022;2022(1):2317676.
- Zhu S, Ruiz de Azua IV, Feijen S, van der Goot AJ, Schutyser M, Stieger M. How macroscopic structure of 3D printed protein bars filled with chocolate influences instrumental and sensory texture. *LWT*. 2021;151:112155.
- Shirani K, Falah F, Vasiee A, Yazdi FT, Behbahani BA, Zanganeh H. Effects of incorporation of Echinops setifer extract on quality, functionality, and viability of strains in probiotic yogurt. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2022;16(4):2899-907.
- Chuy S, Bell LN. Buffer pH and pKa values as affected by added glycerol and sucrose. *Food Research International*. 2006;39(3):342-8.
- Bell L, Labuza T. Compositional Influence on the pH of Reduced-Moisture Solutions. *Journal of Food Science*. 2006;57:732-4.
- Baek IH, Cho HS, Said NS, Olawuyi IF, Kim KR, Lee WY. Physicochemical and nutritional characteristics of vegan protein bars formulated with sweet potato and rice protein. *International Journal of Food Science & Technology*. 2024;59(8):5664-74.

29. AlJaloudi R, Al-Dabbas MM, Hamad HJ, Amara RA, Al-Bashabsheh Z, Abughoush M, et al. Development and Characterization of High-Energy Protein Bars with Enhanced Antioxidant, Chemical, Nutritional, Physical, and Sensory Properties. *Foods*. 2024;13(2):259.
30. Hogan SA, Chaurin V, O'Kennedy BT, Kelly PM. Influence of dairy proteins on textural changes in high-protein bars. *International Dairy Journal*. 2012;26(1):58-65.
31. Hassan S. Quantitative and qualitative effects of proteins and natural sugars on hardening and color of high-protein nutrition bars during storage Practical Application. 2020;14:915-32.
32. Mingzhe P, Xianjun M, Lianzhou J, Dianyu Y, Tianyi L. Effect of cosolvents (polyols) on structural and foaming properties of soy protein isolate. *Czech Journal of Food Sciences*. 2017;35(1):57-66.

Evaluation of the Effects of Hydrocolloids and Polyol Sweeteners on the Physicochemical Properties, Sensory Attributes, and Texture Hardness of Protein Bars

Zarrin Kafsh ^{M¹}, Sohrabi ^{S²}, Sharifi ^{MH³}, Farhoodi ^{M^{*4}}, Hosseini ^{M⁵}, Shahbazpour ^{N⁶}

1- MSc Student in Food Science and Technology, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- PhD Student in Food Science and Technology, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- MSc in Industrial Engineering, Fadak Agro-Industrial Company, Tehran, Iran.

4- Prof, Department of Food Sciences & Technology, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: farhoodi@sbmu.ac.ir

5- Prof, Department of Food Sciences & Technology, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

6- PhD in Food Science and Technology (Food Technology), Pilot Plant Expert, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received 12 Oct, 2025

Accepted 23 Dec, 2025

Background and Objective: This study aimed to investigate the effects of hydrocolloids (hydroxypropyl methylcellulose and xanthan gum) and polyols (maltitol and xylitol) on the physicochemical, rheological, and sensory properties of protein bars. The main objective was to reduce texture hardness, substitute conventional sweeteners, and improve overall product acceptability.

Materials and Methods: To optimize the concentration and ratio of ingredients, the Design Expert software (version 7.1.5) and the response surface methodology (RSM) were employed. The qualitative independent variable was the type of polyol (maltitol or xylitol), while the quantitative variables included xanthan gum (ranging from 0 to 0.7%) and HPMC (ranging from 0 to 2%), each tested at five levels. Fourteen experimental formulations generated by the software were evaluated for their physicochemical and textural properties on day 0 and day 30 of storage.

Results: The results indicated that the addition of hydrocolloids significantly decreased water activity and improved moisture retention, whereas polyols had a notable effect on pH and texture. Formulations containing maltitol particularly treatment 1 exhibited the lowest hardness values on day 0 (1893.34 g) and day 30 (3153.07 g). Xanthan gum played the most prominent role in reducing hardness and improving textural characteristics. In the sensory evaluation, the combination of maltitol and xanthan gum achieved the highest overall acceptance scores; treatment 1 received scores of 4.20 on day 0 and 3.90 on day 30.

Conclusion: Overall, simultaneous incorporation of hydrocolloids and polyols, particularly the combination of maltitol and xanthan gum, effectively improved the overall quality of protein bars by reducing texture hardness, enhancing sensory properties, and extending product shelf life.

Keywords: Protein bar, Maltitol, Xylitol, Hydroxypropyl methylcellulose, Xanthan gum