مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال بیست و یکم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۶۹-۵۷

بررسی تأثیر هیدروکلوئیدها و شیرین‌کننده‌های 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 پایلوت، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳

چکیده

سابقه و هدف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هیدروکلوئیدها (هیدروکسی‌پروپیل متیل‌سلولز و صمغ زانتان) و پلی‌ال‌ها (مالتیتول و زایلیتول) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی پروتئین‌بارها انجام شد. هدف اصلی، کاهش سختی بافت، جایگزینی شیرین‌کننده‌های مرسوم و بهبود پذیرش کلی محصول بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بهینه‌سازی درصد و نسبت اجزا از نرم‌افزار Design Expert نسخه ۷,۱,۵ و روش سطح پاسخ استفاده شد. متغیر مستقل کیفی، نوع پلی‌ال (مالتیتول 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 حالی‌که پلی‌ال‌ها بر pH و بافت تأثیر قابل‌توجهی داشتند. فرمولاسیون‌های حاوی مالتیتول، 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 مالتیتول و زانتان بالاترین پذیرش کلی را داشت؛ تیمار ۱ با امتیاز ۴/۲۰در روز صفر و۳/۹۰ در روز سی‌ام برتر بود.

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

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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

پیام‌های اصلی

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

• مقدمه

افزایش مصرف غذاهای سرشار از قند و چربی از عوامل اصلی بروز بیماری‌های مزمن غیرواگیر نظیر چاقی، دیابت و بیماری‌های قلبی-عروقی به شمار می‌رود (۱). دستیابی به وزن مطلوب و حفظ آن از اهداف کلیدی سلامت عمومی است که از طریق رعایت الگوی تغذیه‌ای متعادل و مصرف کافی پروتئین تحقق می‌یابد. پروتئین‌ها با اثراتی همچون کاهش اشتها، کمک به کنترل وزن، افزایش سطح انرژی، تقویت توده عضلانی و بهبود بازتوانی پس از فعالیت بدنی، به‌عنوان اجزای اصلی در تغذیه ورزشی اهمیت ویژه‌ای دارند (۲, ۳). همچنین، این ترکیبات برای سالمندان و بیماران مستعد سارکوپنی سودمند بوده و به‌عنوان میان‌وعده‌ای مغذی برای افراد کم‌تحرک یا دارای برنامه کاری فشرده توصیه می‌شوند (۴, ۵). در سال‌های اخیر، پروتئین بارها به دلیل محتوای بالای پروتئین (۲۰ تا ۵۰ گرم در هر ۱۰۰ گرم)، کربوهیدرات ۱۰تا۵۰٪، کالری کم و قابلیت حمل آسان، در میان گروه‌های مختلف مصرف‌کننده محبوبیت فزاینده‌ای یافته‌اند (۱, ۶, ۷). این محصولات عمدتاً بر پایه پروتئین‌های لبنی و سویا تولید می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که ایزوله پروتئین سویا (با ۸۵ تا ۹۰ درصد پروتئین) و ایزوله پروتئین آب‌پنیر (بیش از ۹۰ درصد پروتئین) از پرکاربردترین منابع پروتئینی در مکمل‌های غذایی و نوشیدنی‌های غنی‌شده به شمار می‌روند (۸-۱۰). پروتئین بارها از نظر ماندگاری در گروه مواد غذایی با رطوبت متوسط قرار می‌گیرند. میزان رطوبت این محصولات معمولاً بین ۱۰ تا ۳۰ درصد و فعالیت آبی آن‌ها در بازه ۰/۶ تا ۰/۸ متغیر است که مانع رشد بیشتر میکروارگانیسم‌ها می‌شود. ماندگاری این محصولات در دمای محیط عموماً بین ۶ تا ۱۲ ماه گزارش شده است (۲, ۱۱, ۱۲).

با این حال، یکی از مهم‌ترین چالش‌های تولید و نگهداری پروتئین‌بارها، افزایش سختی بافت در طول دوره انبارمانی است که می‌تواند بر پذیرش مصرف‌کننده و توسعه بازار تأثیر منفی بگذارد (۱۳). عوامل متعددی از جمله مهاجرت رطوبت، جدایش فاز درشت‌مغذی‌ها، تشکیل پیوندهای دی‌سولفیدی، کریستالیزاسیون قند و واکنش‌های میلارد در این فرآیند نقش دارند (۱, ۱۴). برای کنترل این تغییرات نامطلوب، راهکارهایی همچون استفاده از هیدروکلوئیدها، هیدرولیز پروتئین‌ها و بهره‌گیری از عوامل ضدکلوخه‌شدن پیشنهاد شده است (۱۳). هیدروکلوئیدها گروهی از بیوپلیمرهای آبدوست هستند که به عنوان قوام‌دهنده و تثبیت‌کننده در صنایع غذایی کاربرد دارند (۱۵, ۱۶). در این میان، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد خود در بهبود کیفیت محصولات پخته‌شده مورد توجه است؛ این ترکیب با افزایش جذب رطوبت، موجب کاهش سختی بافت و ارتقای کیفیت نهایی محصول می‌شود (۲). همچنین، صمغ زانتان به‌عنوان یک پلیمر طبیعی با منشأ میکروبی، به‌واسطه پایداری بالا در برابر تغییرات دما و pH و دارا بودن خواص رئولوژیکی مطلوب، در صنایع غذایی و دارویی به‌طور گسترده به‌کار می‌رود (۱۷-۱۹). از سوی دیگر، پلی‌ال‌ها نیز به‌عنوان ترکیبات مؤثر در فرمولاسیون پروتئین بارها هستند. این مواد ضمن ایفای نقش به‌عنوان شیرین‌کننده‌های کم‌کالری، با جلوگیری از وقوع واکنش میلارد، موجب حفظ رنگ و طعم مطلوب، کاهش سختی بافت و افزایش ماندگاری محصول می‌گردند (۲۰). پلی‌ال‌ها به‌دلیل شیرینی کمتر و ارزش انرژی پایین، گزینه‌ای مناسب برای تولید محصولات کم‌کالری هستند. ؛ با این حال،

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

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 آلدریچ، 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 (۰/۲۸ 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، شیره خرما، 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

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 تیمار های 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

و انحراف استاندارد نتایج گزارش شد. دقت دستگاه ۰/۰۰۰۱± 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 ۶۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۵۰ میلی‌متر 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 می‌شد که اختلاف بین دو توزین متوالی کمتر از ۲ میلی‌گرم شده باشد. میزان رطوبت موجود در ۱۰۰ گرم از نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m} \times ۱۰۰$$

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

اندازه‌گیری خاکستر نامحلول در اسید

بوته چینی در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد 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 میلی‌لیتر 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 ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد 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:

$$A = \frac{m_1}{m} \times ۱۰۰$$

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 می‌باشد.

آزمون TPA (Textural Profile Analysis)

آزمون TPA با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (TA.XTplus ساخت انگلستان) مجهز به نرم‌افزار کامپیوتری انجام شد. به منظور شبیه سازی رفتار جویدن انسان، طی آزمون TPA، نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بافت سنج دو مرتبه فشرده شدند. نمونه‌ها با استفاده از یک پروب استوانه‌ای ۳۰ میلی‌متری (P/36 R) با سرعت حرکت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه و نیروی ۵۰ گرم فشرده شدند. از پارامترهای بدست آمده از این آزمون برای ارزیابی ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها مانند سختی استفاده شد (۲۴).

آزمون Cutting

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

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی توسط ۲۰ نفر از پانلیست‌های آموزش دیده که مصرف‌کنندگان محصولات پروتئینی بودند، انجام شد. پانلیست‌ها از یک مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای برای ارزیابی ویژگی‌های حسی مانند طعم، بو، بافت و ظاهر نمونه‌ها استفاده کردند. نتایج بررسی آماری ارزیابی حسی نمونه‌ها در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد(۸, ۲۵) .

• یافته‌ها و بحث

روند تغییرات pH

بررسی تغییرات pH نمونه‌های پروتئین‌بار در **شکل ۱** نشان داده شده‌است. نتایج تغییرات pH نشان داد که فرمولاسیون‌های 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. پلی‌ال‌ها می‌توانند بر ظرفیت بافری و اسیدیته فرمولاسیون‌ها تأثیر بگذارند و به تغییر سطوح pH منجر شوند. گزارش شده‌است که پلی‌ال‌ها می‌توانند pH محلول‌های اسید

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

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 مشاهده‌است. کاهش کلی pH نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد، بیانگر اثر افزودن هیدروکلوئیدها و پلی‌ال‌ها بر این پارامتر است. همچنین در نمونه‌های حاوی قند الکلی مالتیتول، کمترین pH در به ترتیب کمترین و بیشترین سطح هیدروکلوئیدها (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 هیدروکلوئیدها می‌توان مشاهده کرد که بین تیمارهای با کمترین و بیشترین درصد هیدروکلوئید HPMC در عدم حضور شیرین کننده‌های زایلیتول و مالتیتول، اختلاف محسوسی مشاهده نمی‌شود. در تایید این مشاهده ناطقی و همکاران بیان‌کردند که تاثیر ترکیب صمغ‌های کربوکسی متیل سلولز و زانتان بر روند تغییرات pH نان باگت معنی‌دار نبوده‌است (۱۷). در روز سی‌ام نگهداری ، pH تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری نسبت به روز صفر کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). 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 می شود (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 شده‌است. در ابتدا مشاهده می شود که افزودن شیرین‌کننده‌های الکلی و هیدروکلوئیدها تاثیر معنی‌داری در کاهش فعالیت آبی تمامی تیمارها در ابتدای تولید در مقایسه با نمونه شاهد داشته‌است. مطالعات نشان داده‌اند شرایط مناسب تولید سم بوتولینم aw در محدوده ۰/۹۳ تا ۰/۹۴ می باشد. 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 هیدروکلوئیدها 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 نمونه های پروتئین و تغذیه بار حاوی مالتیتول و درصد های متفاوت صمغ HPMC (۰ تا ۲ درصد) تدریجا در طول ذخیره سازی به مدت ۳۵ روز کاهش می یابد. 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 پروتئین‌بار ها را مورد بررسی قرار داده بود تاکید شد که استفاده از مالتیتول تاثیر خوبی در کاهش aw و پایداری محصول نهایی دارد (۲۳).

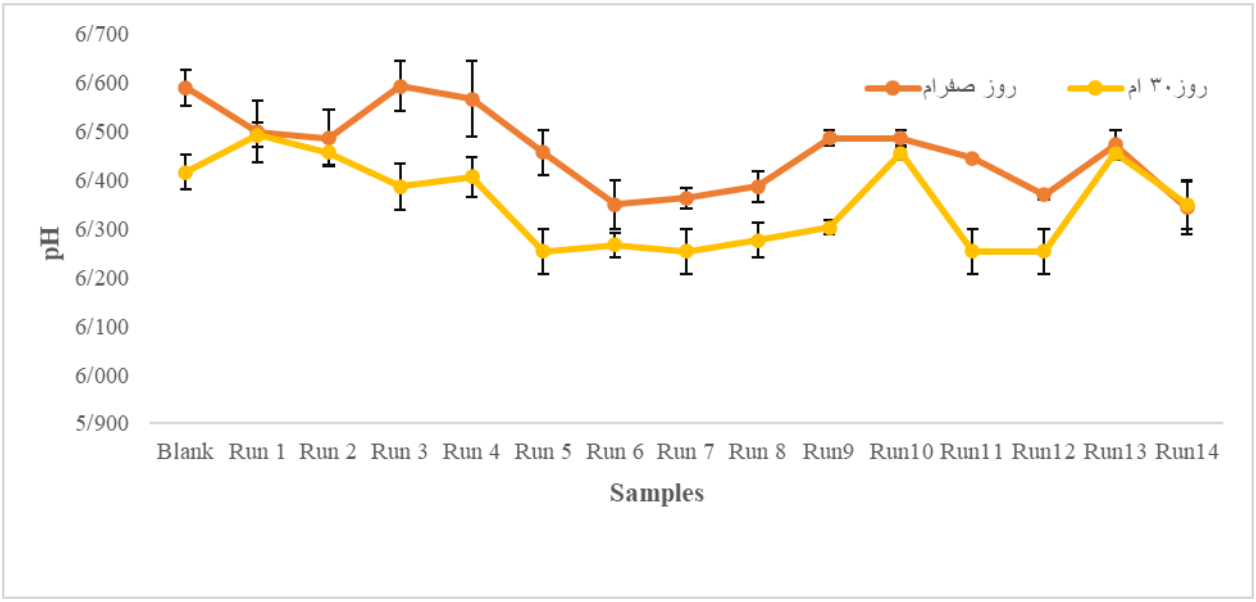
تغییرات محتوای رطوبتی

محتوای رطوبتی، عامل مهمی است که بر پارامترهای کیفی مختلف از جمله طعم، بافت، ظاهر و ماندگاری پروتئین‌بارها تأثیر 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 هیدروکلوئیدها 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 هیدروکلوئیدهای کربوکسی متیل سلولز و زانتان، افزایش معنی‌داری را در درصد رطوبت نمونه‌های نان باگت سبب

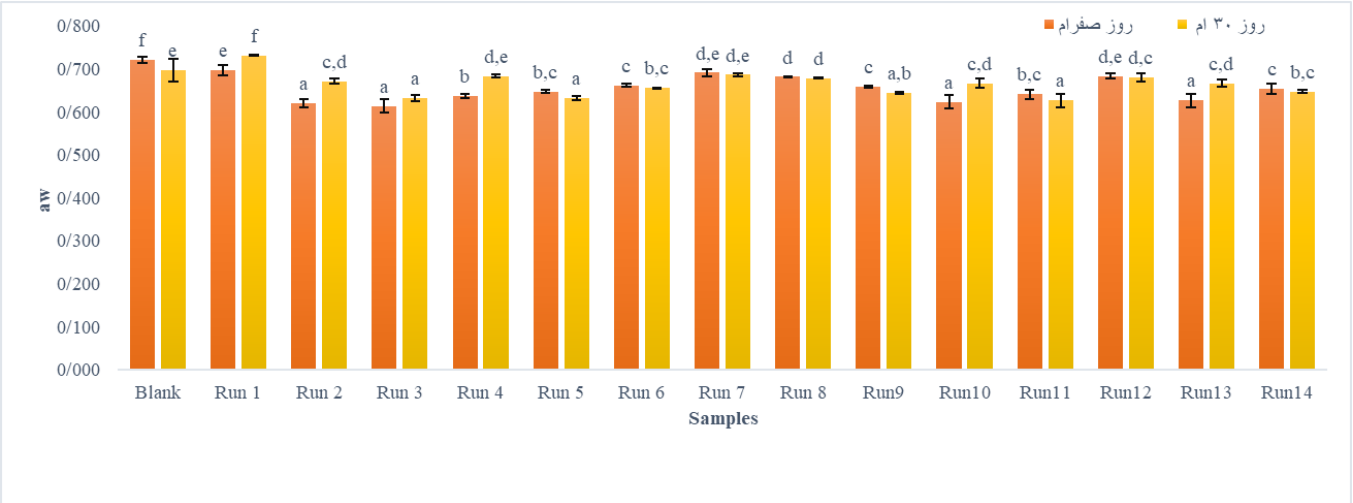
[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

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 درصد بالاتری از هیدروکلوئیدهای HPMC یا زانتان بودند، کمتر بود؛ زیرا این ترکیبات به‌واسطه‌ی 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.



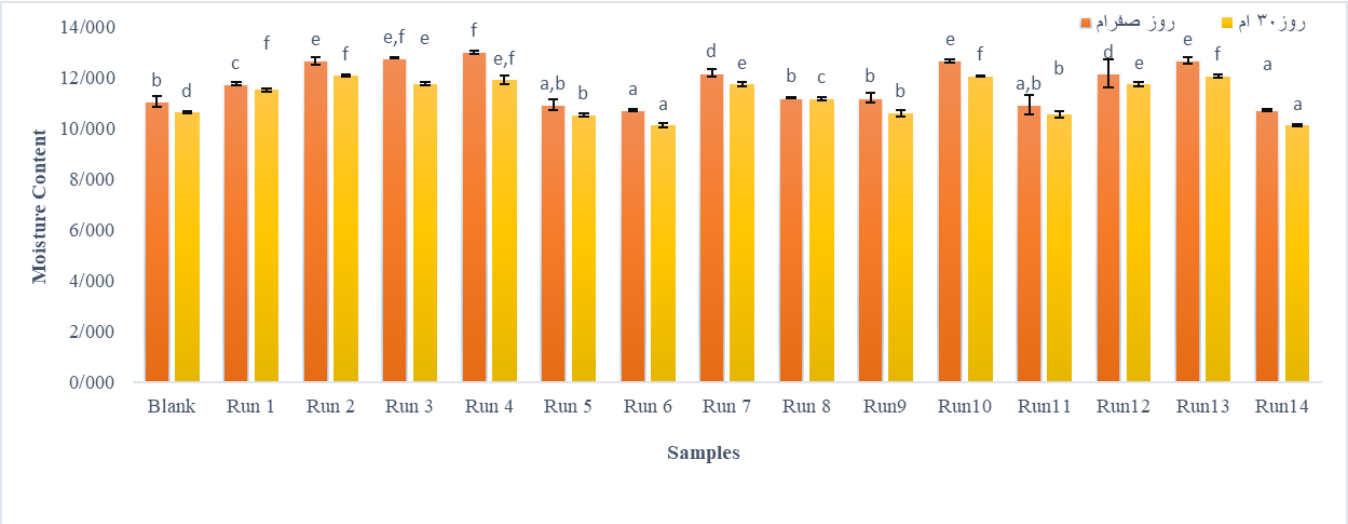
شکل ۱. روند تغییرات pH تیمارهای مختلف پروتئین‌بار در روز صفر و سی ام.



شکل ۲. تغییرات aw در طول دوره نگهداری سی روزه.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]



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 محتوی خاکستر نامحلول در اسید تیمارهای مختلف پروتئین‌بار با افزودن هیدروکلوئیدها و پلی‌ال نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی داری یافته‌است. تیمارهای حاوی زانتان و HPMC (مانند تیمارهای ۷ 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 می توان 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	۰/۲۰۰ ± ۰/۰۰^{d}
۱	۰/۱۰۰ ± ۰/۰۰^{b}
۲	۰/۱۲۲ ± ۰/۰۰^{d}
۳	۰/۱۹۹ ± ۰/۰۰^{d}
۴	۰/۱۹۹ ± ۰/۰۰^{d}
۵	۰/۱۷۱ ± ۰/۰۰^{c}
۶	۰/۱۱۳ ± ۰/۰۰^{b}
۷	۰/۰۶۴ ± ۰/۰۲^{a}
۸	۰/۱۰۴ ± ۰/۰۰^{b}
۹	۰/۰۷۲ ± ۰/۰۱^{a}
۱۰	۰/۱۳۵ ± ۰/۰۰^{d}
۱۱	۰/۱۶۷ ± ۰/۰۰^{c}
۱۲	۰/۰۸۱ ± ۰/۰۲^{a}
۱۳	۰/۱۱۹ ± ۰/۰۰^{d}
۱۴	۰/۱۱۰ ± ۰/۰۰^{b}

نتایج به شکل میانگین ± انحراف از معیار نشان داده‌شده است.
حروف کوچک متفاوت نمایش داده شده در جدول، نشان‌گر وجود اختلاف آماری معنی دار بین داده‌های هر ستون می باشد.

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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]
[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

نگهداری را به طور قابل‌توجهی نشان‌دادند. این موضوع نشان می‌دهد که ترکیب هر دو هیدروکلوئید در بالاترین سطح خود تاثیر 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 پلی‌ال مالتیتول در نگهداری رطوبت و کاهش تشکیل کریستال‌های قند محصول بوده است. نکته قابل توجه، کمتر بودن سختی نمونه در تیمارهای ۷ و ۱۲ است که صرفا پلی‌ال مالتیتول بدون هیچ سطحی از هیدروکلوئیدها بودند. این موضوع نشان‌دهنده تاثیر قابل‌توجه 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 تاثیر معنی‌دار هیدروکلوئید HPMC در افزایش سختی نمونه را نشان می‌دهد. در مجموع می توان این چنین برداشت‌کرد که هیدروکلوئید زانتان در کاهش سختی نمونه مؤثر تر از HPMC عمل می‌کند ولی ترکیب هر دو هیدروکلوئید به خصوص در بالاترین سطوح غلظتی، بیشترین سختی بافت را در روز صفر و در طول زمان نگهداری ایجاد می‌کند. در میان شیرین کننده‌های پلی‌ال، تاثیر مالتیتول در کاهش سختی نمونه و ممانعت از افزایش سختی در طول زمان شاخص بود. در بین تیمارهای مختلف تاثیر پلی‌ال‌ها در کاهش سختی نمونه و افزایش مطلوبیت بافتی آن تا حدودی هم‌راستا با هیدروکلوئید زانتان است.

جدول ۳. تجزیه و تحلیل پروفایل بافت نمونه های پروتئین‌بار

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 ± ۳۰۶/۸۲$^{c, d}$	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 ± ۱۴۴/۹۲^{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 ± ۲۰۵/۸۲$^{c, d}$	۹۸۹۹/۰۱ ± ۱۰۲/۲۰$^{c, d}$

نتایج به شکل میانگین ± انحراف از معیار نشان داده‌شده است.

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

نیروی برشی ارتباط نزدیکی با نیروی مورد نیاز برای برش نمونه توسط دندان‌های پیشین مصرف‌کننده 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 بیان‌کننده سختی و انسجام بافتی کمتر این نمونه‌ها باشد. این موضوع در تایید نتایج ارزیابی سختی این نمونه‌ها است. نتایج آزمون نیروی برشی نشان‌داد که نمونه‌های 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

یکدیگر بر روی پروتئین‌بارها است. Małecki و همکاران و Hogan و همکاران در مطالعات خود بیان‌کردند، تفاوت در پارامترهای بافتی و مقاومت در برابر برش انواع مختلف پروتئین بارها 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). Małecki و همکاران اشاره کردند، شربت‌های مورد استفاده در فرمولاسیون پروتئین‌بار از جمله مالتیتول، تأثیر قابل‌توجهی 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 قابل‌توجهی سختی بافتی را کاهش داده و انسجام و یکنواختی بافتی را بهبود بخشیده‌است. 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 شده‌است. 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 زایلیتول توانستند به خوبی اثر شیرینی مطلوب را حفظ کنند.

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	۳/۲۰± 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	۳/۳۰± 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	۳/۴۰± ۱/۲۶^{a}	۳/۲۰± ۱/۳۱^{a}	۴/۱۰± ۰/۷۳^{d}	۳/۷۰± ۰/۶۷^{c}	۳/۲۰± ۱/۲۲^{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}	۳/۳۶ ± ۰/۷۶^{a,b}	۳/۰۹ ± ۱/۱۰^{a,b}	۲/۶۹ ± ۱/۴۳^{a}

نتایج به شکل میانگین ± انحراف از معیار نشان داده‌شده است.

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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

ناطقی و همکاران اشاره کردند که استفاده از هیدروکلوئیدهای کربوکسی متیل سلولز و زانتان تاثیر معنی‌داری بر خصوصیات عطر و بوی نان‌های باگت نداشته است (۱۷). سفتی بافت به عنوان یکی از عوامل کلیدی در پذیرش محصول نیز بررسی شد. یکی از مشکلات رایج پروتئین‌بارها سفتی بافت در هنگام مصرف است. معمولا مصرف‌کنندگان طعم‌های شیرین با بافت متعادل و آسان جویدنی را برای انواع پروتئین بارها ترجیح می‌دهند (۸). یکی از چالش‌های اصلی پروتئین‌بارها، سفتی بافت در هنگام مصرف است. نتایج نشان داد که تیمارهای ۶، ۹ و ۱۴ بیشترین میزان سختی و تیمارهای ۱، ۷ و ۱۲ کمترین سختی را داشتند. تیمارهای۶ و ۱۴ که شامل بالاترین سطح زانتان و HPMC بودند، سخت‌ترین 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 نرم‌تر و مطلوب‌تر داشتند. توانایی زانتان در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود توزیع آن باعث کاهش سفتی بافت شده است. همچنین مالتیتول به‌عنوان عامل بهبوددهنده بافتی نقش مؤثری داشت. در روز ۳۰، سختی بافت در تمام تیمارها افزایش یافت که می‌تواند به فرآیندهایی مانند کریستالیزاسیون قند، مهاجرت آب، تجمع پروتئین‌ها و واکنش‌های 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 می‌شود. بافت مطلوب پروتئین‌بارها با یکنواختی و عدم چسبندگی به دندان و کام تعریف می‌شود. 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 ژل‌کنندگی، کمی چسبندگی در آن‌ها 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 نرم‌تر 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 قابل‌توجهی در بهبود ویژگی‌های حسی و افزایش پذیرش کلی محصول نشان داد. ناطقی و همکاران ذکرکردند که استفاده از هیدروکلوئیدهای زانتان و کربوکسی متیل سلولز در غلظت‌های بالا منجر به کاهش مطلوبیت بافتی و خواص حسی محصول نان باگت گردیده‌است (۱۷). Małecki و همکاران اشاره‌کردند که بیشترین امتیاز کلی ارزیابی حسی برای پروتئین‌بارهای ساخته‌شده با شربت‌های اولیگوفروکتوز، مالتیتول و گلوکز بوده‌است. این محققان به اثر موثر شیرین‌کننده پلی‌ال مالتیتول در بهبود پارامترهای بافتی پروتئین‌بارها نیز اشاره کردند (۲۳). تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین که در مورد استفاده از پلی‌ال‌ها در شکل دادن به خواص فیزیکوشیمیایی پروتئین‌بارهای بر پایه پروتئین ایزوله سویا بود، نشان داد که امتیاز بالای بارهای ساخته شده از شربت مالتیتول ممکن است به تأثیر پلی‌ال‌ها بر خواص ساختاری و سطحی پروتئین‌بارها مربوط باشد. این موضوع می‌تواند به اثر میانکنش پروتئین‌ها با پلی‌ال‌ها مربوط باشد که منجر به افزایش نظم ساختاری مولکول‌های پروتئین می‌شود (۳۲). بعد از ۳۰ روز نگهداری، تمامی تیمارها کاهش مقبولیت کلی را تجربه کردند، بااین‌حال، بیشترین مقبولیت متعلق به تیمار ۱ و پس از آن تیمارهای ۷ و ۱۴ بود. استفاده از ترکیب زانتان و مالتیتول به‌طور مؤثری ویژگی‌های حسی و پذیرش کلی پروتئین‌بارها را بهبود بخشید و می‌تواند به افزایش رضایت مصرف‌کنندگان و گسترش بازار این محصول کمک کند.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات هیدروکلوئیدها و پلی‌ال‌ها بر خواص فیزیکوشیمیایی و حسی پروتئین‌بارها انجام شد. نتایج نشان داد که این افزودنی‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود پارامترهای مختلف محصول دارند. صمغ زانتان به‌طور مؤثر باعث کاهش فعالیت آبی، حفظ بهتر رطوبت، بهبود بافت و کاهش سختی محصول شد. مالتیتول نیز به بافت نرم‌تر و بهبود ویژگی‌های حسی و پذیرش کلی کمک کرد. یافته‌ها حاکی از آن است که ترکیب بهینه این مواد می‌تواند فرمولاسیون پروتئین‌بارها را ارتقا دهد. برای تحقیقات آینده، بررسی تکنیک‌های پردازش، برهمکنش مواد و پایداری طولانی‌مدت فرمول‌ها تحت شرایط مختلف ذخیره‌سازی ضروری است. همچنین مطالعات مصرف‌کننده‌محور برای درک بهتر ترجیحات

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

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

References

1. 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.
2. Trząskowska 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.
3. Diaz JT, Foegeding EA, Lila MA. Whey protein-polyphenol aggregate particles mitigate bar hardening reactions in high protein bars. Lwt. 2021;138:110747.
4. 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).
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Tang C. Nanostructures of soy proteins for encapsulation of food bioactive ingredients. Biopolymer nanostructures for food encapsulation purposes: Elsevier; 2019. p. 247-85.
10. Fuquay JW, McSweeney PL, Fox PF. Encyclopedia of dairy sciences: Academic Press; 2011.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Szydłowska A, Zielińska D, Łepecka A, Trząskowska 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.
15. Pirsa S, Hafezi K. Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. Food Chemistry. 2022:133967.
16. McArdle R, Hamill R. Utilisation of hydrocolloids in processed meat systems. Processed meats: Elsevier; 2011. p. 243-69.
17. Nateghi l. 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.
18. lakzadeh l, 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.
19. 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.
20. Embuscado ME. Polyols, Optimising Sweet Taste In Foods. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK; 2006.
21. Embuscado M. Polyols. Optimising sweet taste in foods. 2006:153-74.
22. Spillane WJ. Optimising sweet taste in foods: Woodhead Publishing; 2006.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Chuy S, Bell LN. Buffer pH and pKa values as affected by added glycerol and sucrose. Food Research International. 2006;39(3):342-8.
27. Bell L, Labuza T. Compositional Influence on the pH of Reduced-Moisture Solutions. Journal of Food Science. 2006;57:732-4.
28. 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]

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

*Zarrin Kafsh M[1], Sohrabi S[2], Sharifi MH[3], Farhoodi M[*4],Hosseini M[5], Shahbazpour N[6]*

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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

[DOI: 10.66224/nsft.21.1.57]