Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2423-3544
Online ISSN: 2423-3803

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Effect of Aloe Vera gel and Beta-glucan on Physicochemical and Sensory Properties of Low-fat Yogurt: A Multivariate Analysis Approach

Mohsen Ghods Rohani[1], Masoud Najaf Najafi[1], Morteza Kashaninejad[2]*, Soheyl Samiei[3]

[1] Associate Professor of Department of Food Science and Technology, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
[2] Assistant Professor, Department of Green Technologies in Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran
[3] MSc of Novel Dairy Products Manufacture, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-04-25
Revised: 2025-08-29
Accepted: 2025-09-15

Keywords:
Low-fat yogurt
Aloe vera
Beta-glucan
Principal Component Analysis
Multivariate Analysis

ABSTRACT

Background and Objectives: In recent years, with increasing consumer awareness of the relationship between diet and health, demand for low-fat dairy products, particularly yogurt, has significantly increased. Low-fat yogurt is crucial in preventing obesity and cardiovascular diseases due to its low caloric content and favorable nutritional properties. However, reducing fat content in yogurt leads to challenges in texture, flavor, and overall acceptability. The use of functional compounds and fat replacers could provide an appropriate solution to overcome these challenges. Therefore, this study aimed to investigate the potential improvement of physicochemical and sensory properties of low-fat yogurt through the simultaneous incorporation of Aloe vera and beta-glucan as functional ingredients and fat replacers.

Materials and Methods: In this study, low-fat yogurt (1% fat) was produced with varying levels of Aloe vera (0, 0.5, and 1%) and beta-glucan (0, 0.5, and 1%) using a central composite design. The resulting samples were evaluated for physicochemical properties, including acidity, pH, syneresis, and viscosity. Sensory evaluation of the samples, including texture, flavor, and overall acceptance, was performed by nine trained panelists using a 5-point hedonic scale. The data were analyzed using response surface methodology and principal component analysis (PCA).

Results: Results indicated that the addition of Aloe vera gel and beta-glucan significantly decreased the acidity of samples from 0.843% to 0.820% lactic acid and increased pH from 4.65 to 4.72 ($p < 0.01$). Syneresis values ranged from 38.99% to 40.19%, and increasing the levels of these compounds significantly reduced syneresis, indicating an enhanced water holding capacity. Viscosity increased from 2284 to 3136 cP with higher concentrations of both compounds, attributable to their hydrocolloid nature and ability to form three-dimensional gel networks. In sensory evaluation, increasing beta-glucan up to 1% significantly improved texture and flavor scores and overall acceptance, while increasing Aloe vera

improved texture scores but negatively impacted flavor and overall acceptance. PCA analysis revealed that the first two principal components explained 74.7% of the total variation. Significant positive correlations were observed between texture, acidity, flavor, and overall acceptance, while negative correlations were found between viscosity and syneresis.

Conclusion: This research demonstrated that the simultaneous use of Aloe vera and beta-glucan could be an effective approach for improving the physicochemical and sensory properties of low-fat yogurt. Numerical optimization showed that formulation containing 0.94% Aloe vera and 0.99% beta-glucan yielded the best characteristics with a desirability of 0.72. This formulation could be introduced to the dairy industry as a functional product with appropriate nutritional and functional properties, offering not only reduced fat content but also the health benefits of Aloe vera and beta-glucan. This product could meet the needs of consumers seeking healthy, low-calorie dairy products with desirable sensory characteristics.

Cite this article: Ghods Rohani, M., Najaf Najafi, M., Kashaninejad, M., Samiei, S. 2025. Effect of Aloe Vera gel and Beta-glucan on Physicochemical and Sensory Properties of Low-fat Yogurt: A Multivariate Analysis Approach. *Food Processing and Preservation Journal*, 17(3), 23-42.

© The Author(s)

10.22069/fppj.2025.23553.1877

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵٤٤-۲٤۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲٤۲۳

بررسی اثر ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب: رویکرد تحلیل چندمتغیره

محسن قدس روحانی[۱]، مسعود نجف‌نجفی[۱]، مرتضی کاشانی‌نژاد[۲*]، سهیل سمیعی[۳]

[۱] دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
[۲] استادیار، گروه فناوری‌های سبز مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران. رایانامه: Mortazakashaninejad@gmail.com
[۳] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تکنولوژی تولید فراورده‌های نوین لبنی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰۲/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱٤۰٤/۰٦/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰٦/۲٤

واژه‌های کلیدی:
ماست کم‌چرب
ژل آلوئه‌ورا
بتاگلوکان
تحلیل مؤلفه‌های اصلی
تحلیل چند متغیره

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به ارتباط بین رژیم غذایی و سلامت، تقاضا برای محصولات لبنی کم‌چرب به‌ویژه ماست به طور قابل توجهی افزایش یافته است. ماست کم‌چرب به دلیل محتوای کالری پایین و خواص تغذیه‌ای مطلوب، نقش مهمی در پیشگیری از چاقی و بیماری‌های قلبی-عروقی دارد. بااین‌حال، کاهش میزان چربی در ماست منجر به بروز مشکلاتی در بافت، طعم و پذیرش کلی محصول می‌شود. استفاده از ترکیبات عملگرا و جایگزین‌های چربی می‌تواند راهکار مناسبی برای غلبه بر این چالش‌ها باشد. در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی امکان بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب با استفاده همزمان از ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان به‌عنوان ترکیبات عملگرا و جایگزین چربی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، نمونه‌های ماست کم‌چرب (۱٪ چربی) با سطوح مختلف ژل آلوئه‌ورا (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) و بتاگلوکان (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) با استفاده از طرح مرکب مرکزی تولید شدند. نمونه‌های تولیدی از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل اسیدیته، pH، آب‌اندازی و ویسکوزیته مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی حسی نمونه‌ها شامل بررسی ویژگی‌های بافت، طعم و پذیرش کلی توسط ۹ ارزیاب آموزش‌دیده با استفاده از آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای انجام شد. داده‌های حاصل با استفاده از روش سطح پاسخ و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزودن ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان موجب کاهش اسیدیته نمونه‌ها از ۰/۸٤۳ به ۰/۸۲۰ درصد اسیدلاکتیک و افزایش pH از ٤/٦۵ به ٤/۷۲ گردید ($p<0.01$). همچنین درصد آب‌اندازی در بازه ۳۸/۹۹ و ٤۰/۱۹ درصد اندازه‌گیری شد که با افزایش غلظت این ترکیبات به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، نشان‌دهنده افزایش ظرفیت نگهداری آب محصول.

ویسکوزیته نمونه‌ها از ۲۲۸٤ تا ۳۱۳٦ سانتی پویز افزایش یافت که ناشی از خواص هیدروکلوئیدی و توانایی تشکیل شبکه‌های سه‌بعدی این ترکیبات بود. در ارزیابی حسی، افزایش بتاگلوکان تا سطح ۱ درصد موجب بهبود معنی‌دار امتیاز بافت، طعم و پذیرش کلی شد. درحالی‌که افزایش ژل آلوئه‌ورا باعث بهبود امتیاز بافت گردید ولی تأثیر منفی بر طعم و پذیرش کلی داشت. تأثیر منفی آلوئه ورا بر طعم، در مقادیر بالای بتاگلوکان تعدیل می‌گردید. تحلیل PCA نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم مجموعاً ۷٤/۷ درصد از تغییرات را توجیه می‌کنند. همبستگی مثبت معنی‌داری بین بافت، اسیدیته، طعم و پذیرش کلی، و همبستگی منفی بین ویسکوزیته و آب‌اندازی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده همزمان از ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌تواند راهکار مؤثری برای بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب باشد. بهینه‌یابی عددی نشان داد که فرمولاسیون حاوی ۰/۹٤ درصد ژل آلوئه‌ورا و ۰/۹۹ درصد بتاگلوکان، بهترین خصوصیات را با میزان مطلوبیت ۰/۷۲ ایجاد می‌کند. این فرمولاسیون می‌تواند به‌عنوان یک محصول فراسودمند با خواص تغذیه‌ای و عملکردی مناسب به صنعت لبنیات معرفی شود که علاوه بر داشتن چربی کمتر، از مزایای سلامت‌بخش ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان نیز برخوردار است. این محصول می‌تواند پاسخگوی نیاز مصرف‌کنندگانی باشد که به دنبال محصولات لبنی سالم و کم‌کالری با خصوصیات حسی مطلوب هستند.

استناد: قدس روحانی، محسن؛ نجف‌نجفی، مسعود؛ کاشانی‌نژاد، مرتضی؛ سمیعی، سهیل. (۱٤۰٤). بررسی اثر ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب: رویکرد تحلیل چند متغیره. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۷(۳)، ٤۲-۲۳.

10.22069/fppj.2025.23553.1877

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

ماست کم‌چرب به دلیل خواص تغذیه‌ای و سلامتی‌بخش، توجه قابل ملاحظه‌ای را در بین مصرف‌کنندگان آگاه و سلامت‌محور به خود جلب کرده است. این محصول به عنوان منبع غنی پروتئین، کلسیم و باکتری‌های پروبیوتیک، نقش مهمی در کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت و چاقی ایفامی‌کند (۱). بااین‌حال، کاهش میزان چربی در ماست معمولاً منجر به نقایص قابل توجهی در خصوصیات بافتی، ظاهری و حسی محصول می‌شود. ماست کم‌چرب معمولاً از نظر طعمِ ضعیف‌تر، بافت نامطلوب، افزایش سینرزیس (آب‌اندازی) و کاهش ویسکوزیته، نسبت به ماست پرچرب دارای محدودیت‌های کیفی است که پذیرش آن را توسط مصرف‌کنندگان با چالش مواجه می سازد (۲).

استفاده از ترکیبات مختلف به عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون ماست کم‌چرب، راهکاری مؤثر برای بهبود نقایص ناشی از کاهش چربی است. هیدروکلوئیدها، پروتئین‌ها، فیبرهای رژیمی و پری‌بیوتیک‌ها به دلیل توانایی در جذب آب، افزایش ویسکوزیته، ایجاد بافت مناسب و بهبود خصوصیات حسی، کاربرد گسترده‌ای در صنایع لبنی پیداکرده‌اند(۳). این ترکیبات نه‌تنها می‌توانند نقش چربی را در ایجاد بافت و طعم مطلوب تقلید کنند بلکه می‌توانند با افزودن خواص عملکردی و سلامتی‌بخش، ارزش تغذیه‌ای محصول را نیز ارتقا دهند(٤).

آلوئه‌ورا (Aloe vera) و بتاگلوکان (β-glucan) دو ترکیب طبیعی با خواص عملکردی، تغذیه‌ای و دارویی قابل‌توجه هستند که می‌توانند در فرمولاسیون ماست کم‌چرب مورد استفاده قرار گیرند. آلوئه‌ورا گیاهی دارویی با خواص ضدالتهابی(5) ، ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی است که حاوی پلی‌ساکاریدهای متعدد، ویتامین‌ها، مواد معدنی و آمینواسیدهامی باشد (٦). بتاگلوکان نیز یک پلی‌ساکارید غیرنشاسته‌ای موجود در دیواره سلولی جو و یولاف است که خواص کاهش‌دهنده کلسترول و قند خون داشته و به عنوان یک فیبر محلول توانایی بالایی در جذب آب و ایجاد ژل دارد (۷). هر دو ترکیب، علاوه بر خواص عملکردی مطلوب برای بهبود بافت و ساختار ماست کم‌چرب دارای فواید سلامتی‌بخش متعددی هستند که می‌توانند ارزش‌افزوده قابل توجهی به محصول نهایی ببخشند.

مطالعات متعددی در زمینه استفاده از آلوئه‌ورا در محصولات لبنی انجام شده است. Azari-Anpar et al (۸) تأثیر افزودن ژل آلوئه‌ورا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی ماست پروبیوتیک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن ژل آلوئه‌ورا (۱-۳ درصد) باعث افزایش معنی‌دار ویسکوزیته کاهش آب اندازی و بهبود زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در طول دوره نگهداری می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، Basannavar, Pothuraju and Sharma (۹) گزارش کردند که استفاده از ژل آلوئه‌ورا در فرمولاسیون ماست منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب، بهبود بافت و کاهش معنی‌دار آب اندازی می‌شود. همچنین، طعم اسیدی ماست با افزودن آلوئه‌ورا تعدیل شده و پذیرش کلی محصول افزایش می‌یابد. در مورد بتاگلوکان، Sahan, Yasar and Hayaloglu (۱۰) اثر افزودن بتاگلوکان جو (۰,۲۵-۱ درصد) را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بافتی ماست کم‌چرب بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت بتاگلوکان، سفتی بافت و ویسکوزیته به طور معنی‌داری افزایش و میزان آب اندازی کاهش می‌یابد. (۱۱) مکانیسم عملکرد بتاگلوکان در محصولات لبنی را بررسی کرده و گزارش دادند که این پلی‌ساکارید با تشکیل کمپلکس

با پروتئین‌های شیر، منجر به افزایش پایداری شبکه پروتئینی و بهبود ساختار ژلی محصول می‌شود . Vasiljevic, Kealy and Mishra (۱۲) نیز نشان دادند که بتاگلوکان علاوه بر بهبود خصوصیات بافتی ماست، می‌تواند رشد و فعالیت باکتری‌های آغازگر را تحریک کرده و فرآیند اسیدی شدن را تسریع کند.

با وجود مطالعات متعدد در زمینه استفاده جداگانه از آلوئه‌ورا و بتاگلوکان در فرمولاسیون محصولات لبنی، تاکنون پژوهشی درباره اثرات همزمان و برهم‌کنش این دو ترکیب در ماست کم‌چرب انجام نشده است. آلوئه‌ورا و بتاگلوکان به‌دلیل ترکیب منحصربه‌فردی از خواص عملکردی، تغذیه‌ای و اثرات سلامت‌بخش، مزایای قابل‌توجهی نسبت به دیگر جایگزین‌های متداول چربی در فرآورده‌های لبنی دارند. ژل آلوئه‌ورا حاوی پلی‌ساکاریدهای زیست‌فعال مانند آسمانان است که علاوه بر افزایش ویسکوزیته و بهبود قوام بافت، دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و تقویت‌کننده سیستم ایمنی است (۸)؛ مزیتی که در بسیاری از هیدروکلوئیدهای رایج مانند پکتین یا نشاسته اصلاح‌شده مشاهده نمی‌شود. بتاگلوکان، به‌ویژه نوع استخراج‌شده از جو و یولاف، افزون بر نقش بهبوددهنده بافت و افزایش ظرفیت نگهداری آب، اثرات اثبات‌شده‌ای بر کاهش کلسترول سرم و بهبود پاسخ گلیسمی دارد که آن را از فیبرهای محلول دیگر مانند اینولین متمایز می‌کند (۲۰). استفاده همزمان این دو ترکیب می‌تواند اثرات هم‌افزایی ایجاد نماید؛ به‌طوریکه پلی‌ساکاریدهای آلوئه‌ورا کمبودهای حسی احتمالی ناشی از فیبر را تعدیل کرده و بتاگلوکان نیز قوام و پایداری ژل را تقویت کند. با توجه به این طیف وسیع ویژگی‌های عملکردی و سلامت‌بخش، کاربرد همزمان آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌تواند اثرات قابل‌توجهی در بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ماست کم‌چرب ایجاد کرده و ارزش تغذیه‌ای و بازارپسندی آن را ارتقا دهد. هرچند بررسی پارامترهای میکروبی ازجمله قابلیت زنده‌مانی باکتری‌های مفید نیز می‌تواند تا حدی اهمیت داشته باشد، اما در پژوهش حاضر تمرکز اصلی بر ارزیابی پارامترهای کلیدی کیفیت شامل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی بوده است و این مطالعه با محوریت این موارد طراحی و اجرا شد.

نوآوری اصلی این پژوهش، بررسی جامع اثرات متقابل و همزمان آلوئه‌ورا و بتاگلوکان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ماست کم‌چرب است. استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای تحلیل روابط بین پارامترهای مختلف و شناسایی الگوهای پنهان در داده‌ها، از دیگر جنبه‌های نوآورانه این پژوهش است.

بنابراین به‌طورکلی هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثرات افزودن آلوئه‌ورا (۰-۱ درصد) و بتاگلوکان (۰-۱ درصد) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی (اسیدیته، pH، آب اندازی و ویسکوزیته) و حسی (بافت، طعم و پذیرش کلی) ماست کم‌چرب و همچنین تحلیل روابط بین این پارامترها با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره است. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای تولید ماست کم‌چرب با خصوصیات بافتی و حسی مطلوب و خواص سلامتی‌بخش ارتقایافته فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

مواد: شیر پاستوریزه کم‌چرب (۱٪ چربی)، شیر خشک (شرکت گلشاد مشهد)، ژل آلوئه‌ورا، (Aloe vera barbadensis Miller)، پودر بتاگلوکان (شرکت DSM) و کشت آغازگر ماست (Streptococcus thermophilus و *Lactobacillus delbrueckii* ssp.

bulgaricus) (شرکت کرستین هانسن دانمارک)

تهیه ماست: روش تهیه ماست در این پژوهش بر اساس روش تولید ماست آزمایشگاهی (Tamime & Robinson, 2007) انجام شد، با این تفاوت که ژل آلوئه‌ورا و پودر بتاگلوکان به‌منظور جلوگیری از تخریب حرارتی ترکیبات فعال، پس از فرآیند پاستوریزاسیون به شیر اضافه گردید. بدین منظور تیمارهای مورد نظر با افزودن مقادیر مشخصی از بتاگلوکان و ژل آلوئه‌ورا به نمونه‌ها تهیه شدند. شیر تا دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه حرارت داده شد و ماده خشک آن با افزودن شیر خشک تا میزان کل مواد جامد ۱۲ درصد تنظیم شد. سپس بتاگلوکان و ژل آلوئه‌ورا به نمونه‌ها افزوده (مطابق جدول ۱) و شیر تا دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد سرد شد. شیر به ظروف ۳۰۰ میلی‌لیتری منتقل و با استارتر تلقیح شد. نمونه‌ها تا رسیدن اسیدیته به ٦٨-٦٦ درجه دورنیک گرمخانه‌گذاری شدند. در ادامه، نمونه‌ها در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده و سپس خواص فیزیکوشیمیایی و حسی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

اسیدیته و pH: اسیدیته به روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم و بر اساس دستورالعمل روش AOAC 2005 تعیین شد(۱۳). اسیدیته قابل تیتراسیون بر حسب درصد اسیدلاکتیک (٪ لاکتیک اسید) بیان گردید؛ بدین منظور، ۱۰ گرم نمونه ماست در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و سپس با محلول سود ۰/۱ نرمال (NaOH) در حضور معرف فنل‌فتالئین تیتر شد تا رنگ محلول به صورتی کم‌رنگ پایدار تغییر کند.

سنجش pH نیز با استفاده از pH متر متروم ساخت سوئیس انجام گرفت. پیش از اندازه‌گیری، دستگاه با بافرهای استاندارد ٤ و ۷ کالیبره شد. مقدار pH نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

میزان آب‌اندازی: مطابق روش ال-کادامی و همکاران (۲۰۰۳)، مقدار ۳۰ گرم نمونه روی کاغذ صافی واتمن شماره ۲ گسترده شده و بر روی قیف بوخنر قرار داده شد. میزان آب‌اندازی نمونه‌ها بعد از فیلتر کردن تحت خلأ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{آب اندازی } \% = \frac{\text{نمونه اولیه وزن} - \text{فیلتراسیون از پس وزن}}{\text{نمونه اولیه وزن}} \times 100$$

ویسکوزیته: از ویسکومتر چرخشی مجهز به حمام آب سیرکوله استفاده شد. اسپیندل استوانه‌ای (باب و کاپC30) بر اساس ویسکوزیته مخلوط انتخاب شد. جهت مستقل از زمان شدن سیال، درجه برش ۱۰۰ بر ثانیه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اعمال گردید و سپس ویسکوزیته ظاهری در درجه برش ۵۱/۵ گزارش شد.

ارزیابی حسی: ارزیابی حسی نمونه‌های ماست با استفاده از آزمون چشایی به روش هدونیک به‌صورت آزمون ۵ نقطه‌ای (از خیلی بد: ۱، تا خیلی خوب: ۵) در دمای ۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و از نظر ویژگی‌های ارگانولپتیکی طعم، بافت و پذیرش کلی توسط ۹ نفر از کارشناسان آشنا به مفاهیم ارزیابی حسی (۵ مرد و ٤ زن)، مورد ارزیابی قرار گرفتند(١٤) .

طرح آزمایش و آنالیز آماری: در این طرح تیمارهای فرایند به روش کاملاً تصادفی در قالب طرح مرکب مرکزی (Face-Centered Composite Design (FCCD)) با پنج تکرار در نقطه مرکزی برای دو متغیر و در سه سطح انجام شدند به صورتی که تعداد کل تیمارها ۱۳ تیمار شد(جدول ۱). نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری(Design-Expert version 11) به روش سطح پاسخ (Response surface methodology (RSM)) آنالیز شد و هر یک از

متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون چندجمله‌ای ارائه شدند.

جدول ۱- سطوح واقعی متغیرهای مستقل فرمولاسیون ماست کم چرب

Table 1.Actual levels of independent variables in low-fat yogurt formulation

تیمار	ژل آلوئه‌ورا (درصد)	بتاگلوکان (درصد)
Treatment	Aloe vera (%)	B-glucan(%)
1	0	0
2	1	0
3	0	1
4	1	1
5	0	0.5
6	1	0.5
7	0.5	0
8	0.5	1
9	0.5	0.5
10	0.5	0.5
11	0.5	0.5
12	0.5	0.5
13	0.5	0.5

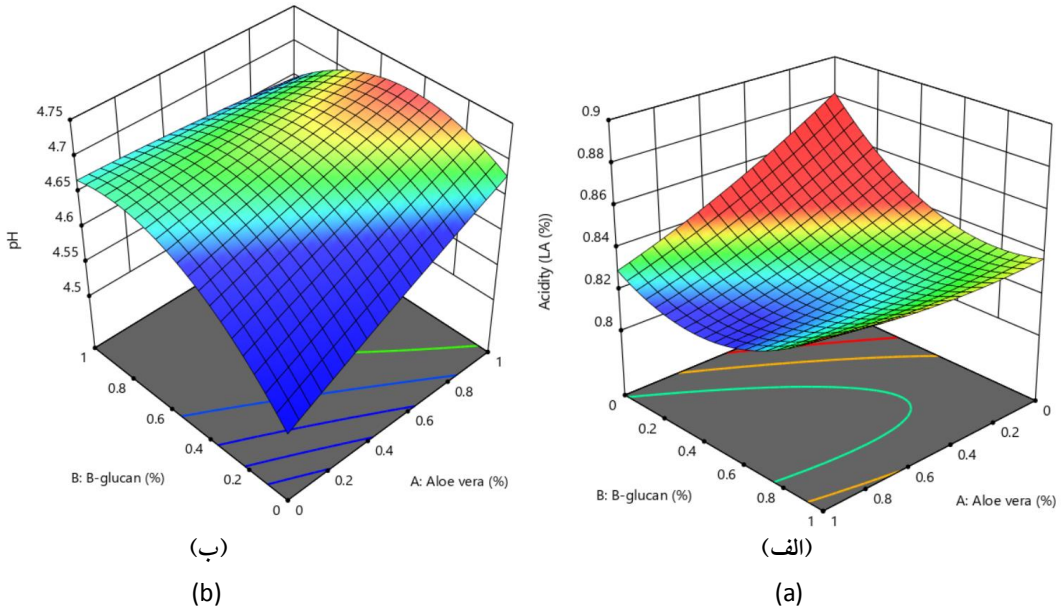
نتایج و بحث

اسیدیته و pH: نتایج نشان داد که اسیدیته نمونه‌ها بین بین ۰/۸۲۰ و ۰/۸۴۳ درصد اسیدلاکتیک و pH بین ٤/٦٥ تا ٤/٧٢ متغیر بود. آنالیز واریانس نیز نشان داد که اثرات خطی درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان و همچنین اثر متقابل آن‌هادر سطح اطمینان ۹۵ درصد بر اسیدیته و pH نمونه‌ها معنی‌دار بودند. مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم (روابط ۱ و ۲) با توجه به ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۰ و عدم معنی‌داری فاکتور عدم برازش($P>0.05$) ، بهترین برازش را بر داده‌های اسیدیته و pH داشتند که در این مدل‌ها A و B به ترتیب نشان‌دهنده درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌باشند.

$$Acidity = 0.88 - 0.06A - 0.11B + 0.06AB + 0.01A^2 + 0.07B^2 \quad (۱)$$

$$pH = 4.5 + 0.17A + 0.37B - 0.18AB - 0.01A^2 - 0.22B^2 \quad (۲)$$

شکل ۱ تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان را بر اسیدیته (الف) و pH (ب) نمونه های ماست را با توجه به ضرائب مدل های ۱ و ۲ نشان می‌دهد.



(الف) (a) (ب) (b)

شکل ۱ - تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان بر اسیدیته (الف) و pH (ب) نمونه های ماست

Figure 1.Effect of Aloe vera and beta-glucan percentages on acidity (a) and pH (b) of yogurt samples

همان‌طور که در شکل ۱ (الف و ب) مشاهده می‌شود با افزایش درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان اسیدیته نمونه‌ها به طور غیر خطی کاهش و pH نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

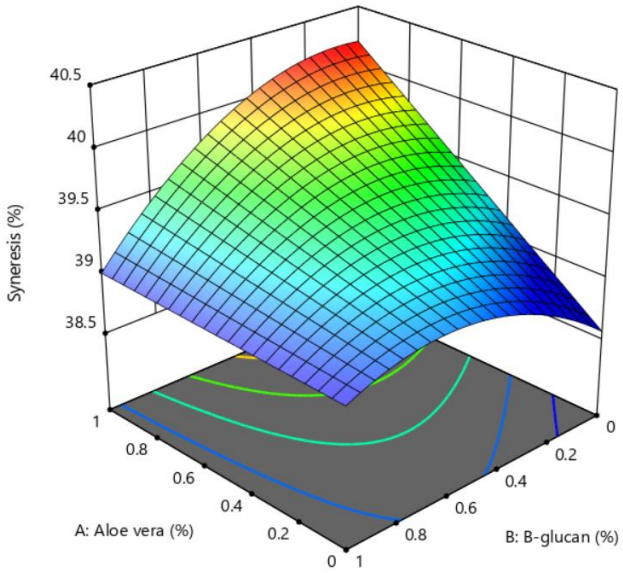
کاهش غیرخطی اسیدی ته و افزایش pH در نمونه‌های ماست کم‌چرب تحت تأثیر افزودن ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان را می‌توان با استفاده از چندین مکانیسم بیوشیمیایی و میکروبیولوژیک تبیین کرد. ژل آلوئه‌ورا دارای pH قلیایی (در حدود ۷٫۵ تا ۸٫۵) است که می‌تواند به طور مستقیم بر pH محصول نهایی تأثیرگذار باشد (۱۵). همچنین آلوئه‌ورا حاوی ترکیبات فنولی و پلی‌ساکاریدهایی است که خاصیت بافری دارند و می‌توانند اسیدهای تولید شده توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک را خنثی کنند. مطالعات نیز نشان داده‌اند که آلوئه‌ورا حاوی ترکیبات ضدمیکروبی مانند آنتراکینون‌ها است که می‌توانند فعالیت باکتری‌های اسیدلاکتیک را تا حدی مهار کنند و در نتیجه تولید اسیدلاکتیک را کاهش دهند (۱۵). بتاگلوکان نیز به‌عنوان یک پلی‌ساکارید محلول در آب، قابلیت جذب آب بالایی دارد و می‌تواند با ایجاد یک شبکه ژلی، محیط را برای فعالیت باکتری‌های اسیدلاکتیک تغییر دهد. تحقیقات Vasiljevic, Kealy and Mishra (12) نشان داد که بتاگلوکان می‌تواند با تأثیر بر متابولیسم باکتری‌های آغازگر ماست، میزان تولید اسیدلاکتیک را کاهش دهد. علاوه بر این، بتاگلوکان به دلیل ساختار شیمیایی خاص خود، می‌تواند به‌عنوان یک عامل بافری عمل کند و از کاهش شدید pH جلوگیری نماید (۱۶). مطالعه Srisuvor et al (17) نشان داد که افزودن فیبرهای پری‌بیوتیک مانند بتاگلوکان به ماست الگوی تخمیر را تغییر می‌دهد و منجر به تولید متابولیت‌های متفاوتی می‌شود که می‌تواند بر اسیدیته نهایی محصول تأثیر بگذارد. همچنین این فیبرها می‌توانند با جذب برخی از اسیدهای آلی تولید شده در طول تخمیر، اسیدیته قابل تیتراسیون را کاهش دهند. اثر غیرخطی مشاهده شده در کاهش اسیدیته با افزایش درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌تواند به دلیل اشباع شدن ظرفیت بافری این ترکیبات در غلظت‌های بالاتر باشد. اگرچه بتاگلوکان به‌عنوان پری‌بیوتیک معمولاً رشد باکتری‌های اسیدلاکتیک و تولید اسیدلاکتیک را افزایش می‌دهد، کاهش اسیدیته در سطوح بالای ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌تواند ناشی از افزایش ظرفیت بافری این ترکیبات، محدودیت نفوذ سوبستراها و متابولیت‌ها بر اثر ایجاد شبکه‌های هیدروکلوئیدی، و اثرات تعدیل‌کننده ترکیبات زیست‌فعال آلوئه‌ورا بر فعالیت میکروبی باشد. ترکیب این عوامل، الگوی غیرخطی مشاهده‌شده را توضیح می‌دهد، هرچند بررسی دقیق‌تر مستلزم مطالعات میکروبی و بیوشیمیایی تکمیلی است. Azari-Anpar et al (۸) در مطالعه خود روی ماست حاوی ژل آلوئه‌ورا دریافتند که اثر ژل آلوئه‌ورا بر pH و اسیدیته در غلظت‌های مختلف متفاوت است و یک رابطه خطی ساده بین غلظت ژل آلوئه‌ورا و تغییرات pH وجود ندارد. علاوه بر این، ترکیب ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌تواند اثرات هم‌افزایی داشته باشد. Rosburg, Boylston and White (۱۸) نشان دادند که ترکیب چند نوع فیبر پری‌بیوتیک می‌تواند اثرات پیچیده‌ای بر فرآیند تخمیر و در نتیجه بر اسیدیته و pH محصول نهایی داشته باشد.

آب اندازی: نتایج تحقیق نشان داد که میزان آب اندازی نمونه‌ها بین ۳۸/۹۹ و ٤٠/١٩ درصد متغیر بود. آنالیز واریانس نشان داد اثرات خطی درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان و همچنین اثر متقابل آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر آب اندازی نمونه‌ها معنی‌دار بود. مدل چندجمله‌ای درجه دوم (رابطه ۳) با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۰ و عدم معنی‌داری فاکتور

عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪، بهترین برازش را بر داده‌های آب اندازی داشت که در این مدل A و B به‌ترتیب نشان‌دهنده درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌باشند.

$$\text{Syneresis} = 39.54 + 0.42A - 0.2B - 0.4AB - 0.36B^2 \quad (۳)$$

شکل ۲ تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان را بر آب اندازی نمونه های ماست را با توجه به ضرائب مدل ۳ نشان می‌دهد.



شکل۲- تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان بر آب اندازی نمونه های ماست

Figure 2 .Effect of Aloe vera and beta-glucan percentages on syneresis of yogurt samples

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در سطوح بالای ژل آلوئه‌ورا با افزایش درصد بتاگلوکان آب اندازی نمونه‌ها به شدت کاهش می‌یابد. این در حالی است که در سطوح پایین ژل آلوئه‌ورا با افزایش درصد بتاگلوکان آب اندازی نمونه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در سطوح بالای ژل آلوئه‌ورا، کاهش قابل‌توجه آب‌اندازی با افزایش درصد بتاگلوکان احتمالاً ناشی از اثر هم‌افزایی این دو ترکیب در ایجاد شبکه پروتئینی متراکم‌تر و افزایش ظرفیت نگهداری آب است. ژل آلوئه‌ورا با پلی‌ساکاریدهای محلول خود مانند استومانان، آرابینوگالاکتان و گالاکتان، قادر به برقراری پیوندهای هیدروژنی با مولکول‌های آب و همچنین برهم‌کنش با پروتئین‌های شیر (مانند کازئین) از طریق پیوندهای هیدروژنی و نیروهای واندروالسی است (۱۹). بتاگلوکان نیز با ساختار هیدروکلوئیدی و گروه‌های هیدروکسیل متعدد، علاوه بر جذب مستقیم آب، می‌تواند با پروتئین‌های شیر شبکه‌ای پیوسته تشکیل دهد که حفره‌های کم‌تری برای خروج آب ایجاد می‌کند. حاصل این برهم‌کنش‌ها، ساختار ژلی با منافذریزتر و ظرفیت بالاتر در نگهداری آب است (۲۰). بررسی دقیق این سازوکار در آینده می‌تواند از طریق مطالعات ریزساختاری مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آزمون‌های برهم‌کنش پروتئین–پلی‌ساکارید تکمیل شود. مطالعه Brennan and Tudorica (۱۱) نشان داد که بتاگلوکان با ایجاد یک شبکه سه‌بعدی، آب را به دام انداخته و از خروج آن از ساختار ژل جلوگیری می‌کند. هنگامی‌که هر دو ترکیب در غلظت‌های بالا حضور دارند، شبکه پروتئینی

متراکم‌تری تشکیل می‌شود که آب را محکم‌تر نگه می‌دارد.

رفتار متفاوت در سطوح پایین ژل آلوئه‌ورا (افزایش اولیه و سپس کاهش آب‌اندازی با افزایش بتاگلوکان) را می‌توان با برهم‌کنش پیچیده بین پروتئین‌های شیر، بتاگلوکان و مقادیر کم ژل آلوئه‌ورا توضیح داد. Vasiljevic, Kealy and Mishra (۱۲) گزارش کردند که در غلظت‌های پایین، بتاگلوکان می‌تواند باعث پدیده تفکیک فازی شود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که بتاگلوکان و پروتئین‌های شیر به دلیل ناسازگاری ترمودینامیکی از یکدیگر جدا می‌شوند و سیستم به دو فاز غنی از پروتئین و غنی از پلی‌ساکارید تقسیم می‌شود. Sanchez و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که این تفکیک فازی می‌تواند منجر به تضعیف شبکه پروتئینی و افزایش آب‌اندازی شود.

با افزایش بیشتر غلظت بتاگلوکان در سطوح پایین ژل آلوئه‌ورا، مکانیسم دیگری غالب می‌شود. Sahan, Yasar and Hayaloglu (۱۰) توضیح دادند که در غلظت‌های بالاتر بتاگلوکان شروع به پر کردن فضاهای خالی بین میسل‌های کازئین می‌کند و یک شبکه ثانویه تشکیل می‌دهد که می‌تواند آب را به دام بیندازد. این امر منجر به کاهش آب‌اندازی پس از نقطه بحرانی خاصی می‌شود. مطالعه Staffolo, Bertola and Martino(۲۲) Staffolo, Bertola and Martino (۲۰۰٤) (۲۲) Staffolo, Bertola and Martino(۲۳) که افزودن فیبرهای محلول مانند بتاگلوکان به ماست در غلظت‌های بهینه می‌تواند ساختار ژل را تقویت کرده و آب‌اندازی را کاهش دهد.

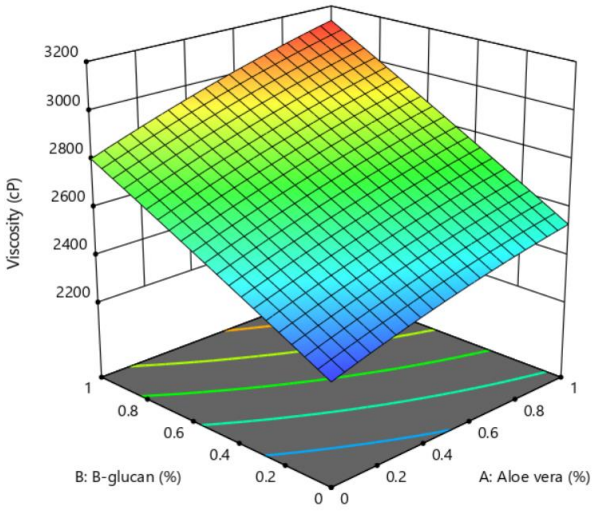
علاوه بر این، Guven و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تغییرات در اسیدیته و pH ناشی از افزودن هیدروکلوئیدها مانند ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان نیز می‌تواند بر میزان آب‌اندازی تأثیر بگذارد، زیرا pH بر میزان دناتوراسیون پروتئین‌های آب پنیر و در نتیجه ساختار شبکه پروتئینی و ظرفیت نگهداری آب تأثیر می‌گذارد.Ramchandran و Shah (۲۰۰۹) نشان دادند که پلی‌ساکاریدهای پری‌بیوتیک نظیر بتاگلوکان با اثرگذاری بر متابولیسم باکتری‌های آغازگر می‌توانند فرآیند اسیدی شدن را دستخوش تغییر کرده و در نهایت بر ساختار ژل و میزان آب‌اندازی ماست تأثیرگذار باشند.

ویسکوزیته: نتایج تحقیق نشان داد که ویسکوزیته نمونه‌ها بین ۲۲۸٤ تا ۳۱۳٦ سانتی پویز متغیر بود. آنالیز واریانس نشان داد اثرات خطی درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان و همچنین اثر متقابل آن‌هادر سطح اطمینان ۹۹ درصد بر ویسکوزیته نمونه‌ها معنی‌دار بود. مدل چندجمله‌ای درجه دوم (رابطه ٤) با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۰ و عدم معنی‌داری فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪، بهترین برازش را بر داده‌های ویسکوزیته داشت که در این مدل A و B به ترتیب نشان‌دهنده درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌باشند.

(٤)

$$\text{Viscosity} = 2285 + 329A + 543B + 80AB - 80A^2 - 21B^2$$

شکل ۳ تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان را بر ویسکوزیته نمونه‌های ماست را با توجه به ضرائب مدل ٤ نشان می‌دهد.



شکل۳- تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان بر ویسکوزیته نمونه های ماست

Figure 3. Effect of Aloe vera and beta-glucan percentages on viscosity of yogurt samples

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش ویسکوزیته ماست کم‌چرب با افزودن ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان که در پژوهش مشاهده شده است، با مکانیسم‌های متعدد فیزیکوشیمیایی و ساختاری قابل توجیه است که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم. ژل آلوئه‌ورا به دلیل ساختار ژلی و حضور پلی‌ساکاریدهای محلول در آب مانند استومانان، گلوکومانان و آسمانان، قابلیت بالایی در افزایش ویسکوزیته سیستم‌های غذایی دارد. مطالعات Ahlawat and Khatkar (۱۹) نشان داده است که پلی‌ساکاریدهای موجود در ژل آلوئه‌ورا با وزن مولکولی بالا (حدود ۱۰۰۰ کیلودالتون) می‌توانند با جذب آب و تشکیل شبکه‌های سه‌بعدی، ویسکوزیته محصولات لبنی را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند. همچنین Azari-Anpar et al (۸) در بررسی اثر افزودن ژل آلوئه‌ورا به ماست پروبیوتیک دریافتند که با افزایش غلظت ژل آلوئه‌ورا از ۵٪ به ۱۵٪، ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها به‌طور معناداری افزایش می‌یابد که این امر را به خاصیت هیدروکلوئیدی و قدرت اتصال به آب ترکیبات موجود در ژل آلوئه‌ورا نسبت دادند.

بتاگلوکان نیز به‌عنوان یک پلی‌ساکارید محلول در آب با ساختار خطی متشکل از واحدهای D-گلوکز، خاصیت ویسکوزکنندگی قوی دارد. Lazaridou and Biliaderis (۲۰) در مطالعه جامع خود بر روی بتاگلوکان غلات نشان دادند که این ترکیب به دلیل وزن مولکولی بالا (۳۰-۳۰۰ کیلودالتون) و ساختار منحصربه‌فرد، قادر به تشکیل محلول‌های بسیار ویسکوز حتی در غلظت‌های پایین است. Vasiljevic, Kealy and Mishra (۱۲) در بررسی اثر افزودن بتاگلوکان به ماست پروبیوتیک گزارش کردند که افزودن ۰,۵٪ بتاگلوکان، ویسکوزیته ماست را تا ٤۰٪ افزایش می‌دهد.

مکانیسم اصلی افزایش ویسکوزیته توسط این دو ترکیب، مربوط به توانایی آن‌هادر جذب آب و تشکیل شبکه‌های پلیمری است. Sahan, Yasar and Hayaloglu (۱۰) توضیح دادند که بتاگلوکان با ایجاد پیوندهای هیدروژنی با مولکول‌های آب، یک شبکه سه‌بعدی تشکیل می‌دهد که حرکت فاز آبی را محدود

کرده و منجر به افزایش ویسکوزیته می‌شود. به‌طور مشابه، Fiszman و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که هیدروکلوئیدهایی مانند ژل آلوئه‌ورا با افزایش اتصالات عرضی بین میسل‌های کازئین، ساختار ژل ماست را تقویت کرده و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند.

علاوه بر این، اثر هم‌افزایی بین ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان نیز می‌تواند در افزایش ویسکوزیته نقش داشته باشد. Brennan and Tudorica (۱۱) در مطالعه خود روی استفاده از بتاگلوکان در محصولات لبنی دریافتند که ترکیب بتاگلوکان با سایر هیدروکلوئیدها می‌تواند اثرات سینرژیستیک در بهبود خواص رئولوژیکی داشته باشد. این اثر هم‌افزایی می‌تواند ناشی از برهم‌کنش بین زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی مختلف و تشکیل شبکه‌های پیچیده‌تر باشد.

فعالیت باکتری‌های آغازگر ماست نیز می‌تواند تحت تأثیر این ترکیبات قرار گرفته و در افزایش ویسکوزیته نقش‌آفرین باشد. مطالعه Ramchandran و Shah (۲۰۰۹) نشان داد که پلی‌ساکاریدهایی مانند بتاگلوکان قادرند به عنوان سوبسترا برای باکتری‌های پروبیوتیک عمل کنند و موجب تحریک تولید اگزوپلی‌ساکاریدها (EPS) توسط این باکتری‌ها شوند. اگزوپلی‌ساکاریدهای تولیدشده از عوامل مهم ارتقاء ویسکوزیته ماست به شمار می‌روند. به‌طور مشابه Varga و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که برخی ترکیبات موجود در ژل آلوئه‌ورا می‌توانند رشد باکتری‌های تولیدکننده EPS را تقویت کرده و در نتیجه به افزایش هرچه بیشتر ویسکوزیته کمک نمایند.

در ماست کم‌چرب، نقش این هیدروکلوئیدها در افزایش ویسکوزیته اهمیت بیشتری می‌یابد(۲۳). Sandoval-Castilla و همکاران (۲۰۰٤) توضیح دادند که کاهش چربی در ماست منجر به کاهش ویسکوزیته و ایجاد بافت نامطلوب می‌شود، زیرا گلبول‌های چربی نقش مهمی در ساختار و بافت ماست دارند. افزودن هیدروکلوئیدهایی مانند ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌تواند این کمبود را جبران کند. Srisuvor et al (۱۷) در مطالعه خود روی ماست کم‌چرب غنی شده با فیبرهای پری‌بیوتیک دریافتند که این ترکیبات با پر کردن فضاهای خالی بین میسل‌های کازئین و تقلید نقش گلبول‌های چربی، ویسکوزیته را افزایش می‌دهند.

خاصیت جذب آب بالای ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان نیز در افزایش ویسکوزیته ماست کم‌چرب نقش مهمی دارد. Guven و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که هیدروکلوئیدها با جذب آب آزاد موجود در سیستم، باعث افزایش غلظت فاز پیوسته و در نتیجه افزایش ویسکوزیته می‌شوند. Staffolo et al (۲۱) نیز تأیید کردند که افزودن فیبرهای محلول به ماست، با کاهش آب آزاد و افزایش آب متصل، ویسکوزیته را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

در نهایت، تغییرات ساختاری ناشی از برهم‌کنش پروتئین‌های شیر با ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان نیز در افزایش ویسکوزیته مؤثر است. Paseephol, Small and Sherkat (٢٤) دریافتند که پلی‌ساکاریدهای محلول می‌توانند با پروتئین‌های شیر برهم‌کنش داشته و ساختار شبکه پروتئینی را تغییر دهند. این برهم‌کنش‌ها می‌تواند منجر به تشکیل شبکه‌های پروتئینی متراکم‌تر و در نتیجه افزایش ویسکوزیته شود.

امتیاز بافت، طعم و پذیرش کلی: نتایج تحقیق نشان داد که امتیاز بافت (۳/۷ تا ٤/٥)، طعم (٤ تا ٤/٦) و پذیرش کلی (۳/۷ تا ٤/۳) نمونه‌ها متغیر بود. آنالیز واریانس نشان داد اثرات خطی درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان و همچنین اثر متقابل آن‌هادر سطح اطمینان ۹۹ درصد بر تمامی پارامترهای ارزیابی حسی معنی‌دار بودند. مدل‌های

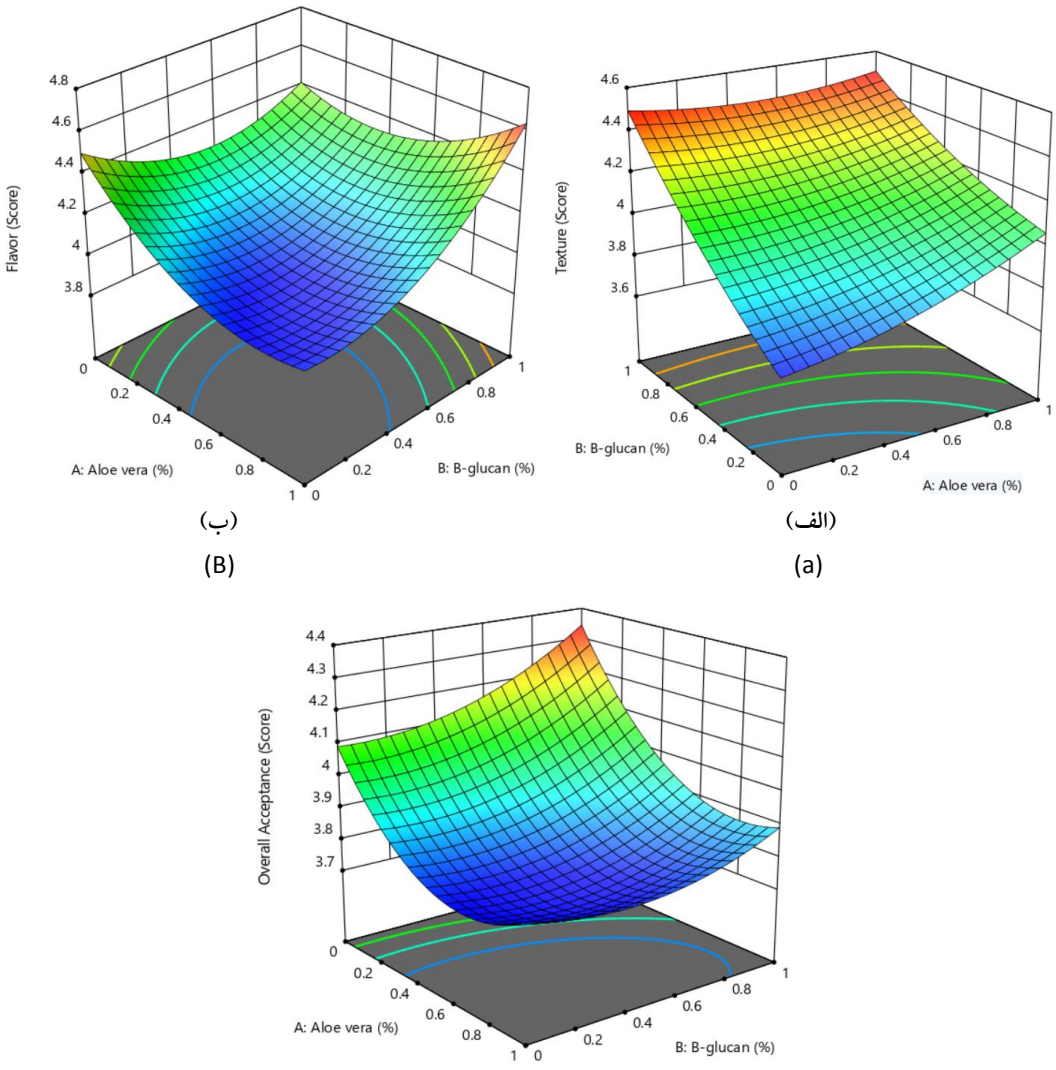
چندجمله‌ای درجه دوم (روابط ۵، ۶ و ۷) با ضریب تبیین بالاتر از ۸۰/۰ و عدم معنی‌داری فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪، بهترین برازش را بر داده‌های حسی داشتند که در این مدل‌ها A و B به ترتیب نشان‌دهنده درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان می‌باشند.

$$\text{Texture} = 3.7 + 0.14A + 0.57B - 0.35AB + 0.21A^2 + 0.21B^2 \quad (۵)$$

$$\text{Flavor} = 4.5 - 1.2A - 0.8B + 0.7AB + 0.72A^2 + 0.7B^2 \quad (۶)$$

$$\text{Overall Acceptance} = 4 - 0.97A - 0.04B - 0.18AB + 0.7A^2 + 0.3B^2 \quad (۷)$$

شکل ٤ تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان را بر امتیاز بافت (الف)، طعم (ب) و پذیرش کلی (ج) نمونه های ماست را با توجه به ضرائب مدل های نشان می‌دهد.



(الف)

(a)

(ب)

(B)

(ج)

(c)

شکل٤ – تأثیر درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان بر امتیاز بافت (الف)، طعم (ب) و پذیرش کلی (ج) نمونه های ماست

Figure 4. Effect of Aloe vera and beta-glucan percentages on texture score (a), flavor (b), and overall acceptability (c) of yogurt samples

همان‌طور که در شکل ٤ (الف) مشاهده می‌شود با افزایش درصد ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان امتیاز بافت نمونه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش امتیاز بافت با افزودن ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان به ماست کم‌چرب را می‌توان به خواص هیدروکلوئیدی این ترکیبات نسبت داد (۲۵). مطالعات نشان داده‌اند که بتاگلوکان به دلیل ظرفیت بالای نگهداری آب و تشکیل شبکه‌های سه‌بعدی، می‌تواند به‌عنوان جایگزین چربی در محصولات لبنی کم‌چرب عمل کند (۱۱). ژل آلوئه‌ورا نیز با ساختار ژلی و پلی‌ساکاریدهای محلول خود مانند استومانان، ظرفیت بالایی در بهبود قوام و احساس دهانی دارد (۱۹). تحقیقات Sahan, Yasar and Hayaloglu (۱۰) نشان داد که افزودن بتاگلوکان به ماست کم‌چرب، قوام و چسبندگی بافت را افزایش می‌دهد که به‌طور مثبتی توسط ارزیاب‌های حسی درک می‌شود. همچنین مطالعه Gad و همکاران (۲۰۱۵) تأیید کرد که افزودن ژل آلوئه‌ورا به ماست، بافت را نرم‌تر و یکنواخت‌تر می‌کند که می‌تواند امتیاز حسی بالاتری را به دنبال داشته باشد.

همچنین مطابق شکل ٤ (ب) در مقادیر پایین بتاگلوکان با افزایش درصد آلوئه‌ورا امتیاز طعم نمونه‌ها کاهش می‌یابد درحالی‌که در مقادیر بالای بتاگلوکان با افزایش درصد ژل آلوئه‌ورا امتیاز طعم نمونه‌ها ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. همچنین مطابق شکل با افزایش بتاگلوکان در مقادیر بالای ژل آلوئه‌ورا طعم نمونه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج مربوط به طعم نشان می‌دهد که رابطه پیچیده‌ای بین مقادیر ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان وجود دارد. کاهش امتیاز طعم با افزایش آلوئه‌ورا در مقادیر پایین بتاگلوکان را می‌توان به طعم تلخ و شیرین طبیعی آلوئه‌ورا نسبت داد. Basannavar, Pothuraju and Sharma (۹) گزارش کردند که آلوئه‌ورا دارای ترکیبات تلخی مانند آلوئین و آلوئه‌امودین است که می‌توانند طعم نامطلوبی ایجادکنند. بااین‌حال در مقادیر بالای بتاگلوکان، الگوی متفاوتی مشاهده می‌شود (کاهش و سپس افزایش امتیاز طعم با افزایش آلوئه‌ورا). این پدیده می‌تواند به اثر پوشاننده طعم بتاگلوکان مربوط باشد. Lazaridou and Biliaderis (۲۰) توضیح دادند که بتاگلوکان به دلیل ویسکوزیته بالا می‌تواند برخی طعم‌های نامطلوب را بپوشاند. در غلظت‌های پایین ژل آلوئه‌ورا هنوز طعم نامطلوب آن قابل تشخیص است، اما با افزایش غلظت ژل آلوئه‌ورا، ترکیبات آروماتیک موجود در آن می‌توانند با بتاگلوکان برهم‌کنش داشته و طعم جدیدی ایجادکنند که موردپسند ارزیاب‌ها قرار می‌گیرد.

افزایش امتیاز طعم با افزایش بتاگلوکان در مقادیر بالای ژل آلوئه‌ورا را می‌توان به اثر هم‌افزایی این دو ترکیب نسبت داد. Vasiljevic, Kealy and Mishra (۱۲) دریافتند که بتاگلوکان می‌تواند رشد باکتری‌های پروبیوتیک را تحریک کند که منجر به تولید ترکیبات عطروطعم مطلوب می‌شود. در حضور مقادیر بالای ژل آلوئه‌ورا، بتاگلوکان می‌تواند طعم تلخ ژل آلوئه‌ورا را پوشانده و همزمان تولید متابولیت‌های مطلوب را افزایش دهد. علاوه بر این، Ranadheera et al (۲٦) گزارش کردند که پلی‌ساکاریدهای پری‌بیوتیک مانند بتاگلوکان می‌توانند پروفایل متابولیکی باکتری‌های آغازگر را تغییر داده و در نتیجه پروفایل طعم محصول را بهبود بخشند.

شکل ٤ (ج) نیز نشان می‌دهد که افزایش بتاگلوکان موجب افزایش پذیرش کلی نمونه‌ها و افزایش ژل آلوئه‌ورا موجب کاهش پذیرش کلی نمونه‌ها می‌گردد. در مورد پذیرش کلی، نتایج نشان می‌دهد که بتاگلوکان اثر مثبت و ژل آلوئه‌ورا اثر منفی دارد. این یافته‌ها با مطالعات قبلی همخوانی دارد. Staffolo, Bertola and Martino (۲۲) نشان دادند که افزودن فیبرهای محلول مانند بتاگلوکان به ماست،

پذیرش کلی را افزایش می‌دهد که عمدتاً به دلیل بهبود بافت و احساس دهانی است. از سوی دیگر، کاهش پذیرش کلی با افزایش ژل آلوئه‌ورا می‌تواند به طعم خاص آن مربوط باشد. Azari-Anpar et al (۸) دریافتند که پذیرش حسی ماست با افزایش درصد ژل آلوئه‌ورا از حد مشخصی کاهش می‌یابد که عمدتاً به‌دلیل طعم تلخ و پس‌طعم نامطلوب آن است. همچنین، محققان نشان داده‌اند که رنگ سبز مایل به زرد ژل آلوئه‌ورا نیز می‌تواند بر پذیرش بصری محصول تأثیر منفی بگذارد (۲۷).

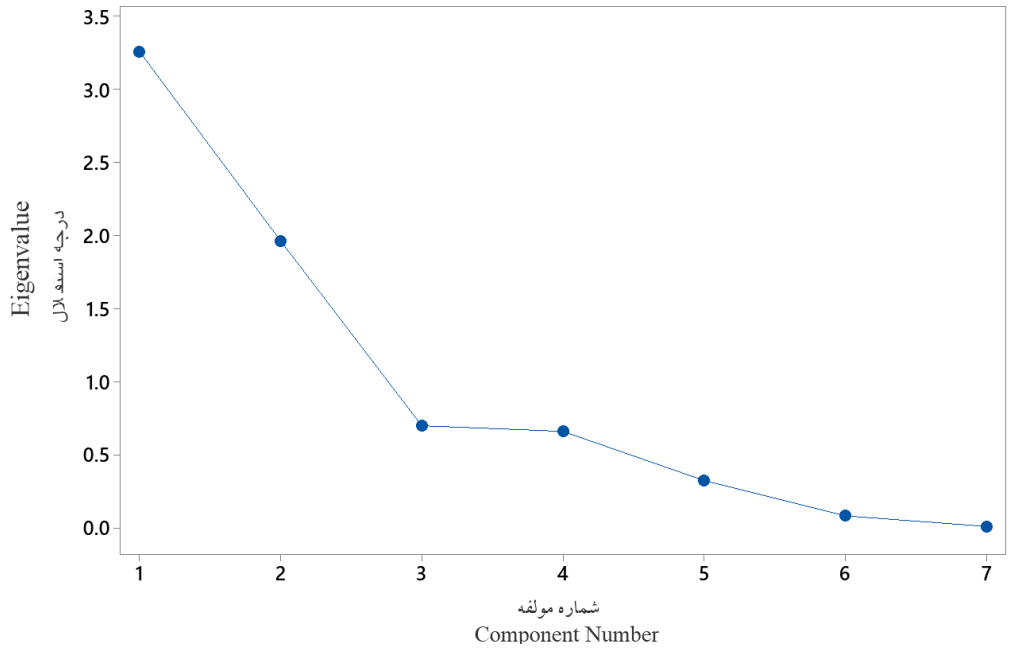
بهینه‌یابی عددی: یکی از کاربردهای روش سطح پاسخ، بهینه سازی متغیرهای فرایند تولید می‌باشد. بهینه‌سازی متغیرها به‌گونه‌ای صورت می‌گیرد که مجموع پاسخ‌ها بیشترین امتیاز ممکن را دریافت نمایند. در این تحقیق یافتن مقادیری از بتاگلوکان (در دامنه صفرتا یک درصد) و آلوئه ورا (در دامنه صفر تا یک درصد) به‌گونه‌ای که ویسکوزیته، امتیاز بافت، طعم و پذیرش کلی نمونه‌ها حداکثر و آب اندازی حداقل باشد، مدنظر بوده است. با توجه به صفات مذکور، میزان ژل آلوئه‌ورا ۰,۹٤ درصد و بتاگلوکان ۰,۹۹ درصد به دست آمد که چنین محصولی دارای اسیدیته ۸۳ درصد اسیدلاکتیک، pH ٤,٦، آب اندازی ۳۹ درصد، ویسکوزیته ۳۱۲۲ سانتی پویز، امتیاز بافت ٤,٤، طعم ٤,٥، پذیرش کلی ۳,۸ بود و میزان رضایت‌مندی(درجه مرغوبیت) ۰/۷۲ به دست آمد. لازم به ذکر است که درجه مرغوبیت کلی (D) یک میانگین هندسی از همه درجه مرغوبیت‌های منفرد (di) است که از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند(۲۸).

$$D = (d_1 \times d_2 \times ... \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left(\prod_{1-2}^{n} d_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

در فرمول فوق n تعداد پاسخ‌ها است. اگر هریک از پاسخ‌ها در خارج از محدوده تعیین شده قرار گیرد آنگاه درجه مرغوبیت برابر با صفر می‌شود.

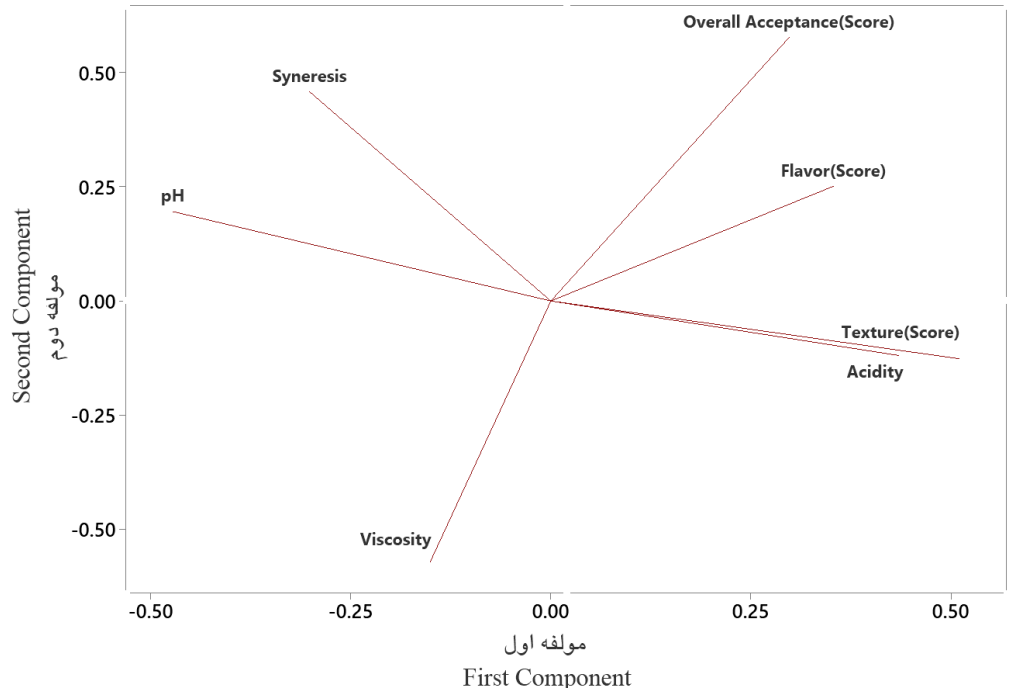
همبستگی بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب

آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA): جهت بررسی رابطه بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب، ابتدا نمودار پراکنش آن‌ها در فضای PC مورد استفاده قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می شود از مجموع ۷ مؤلفه که با درجات استقلال متفاوت تعریف شده‌اند فقط دو مؤلفه دارای درجه استقلال بالا می‌باشند که به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در نظر گرفته شدند. بنابراین مولفه‌های اصلی PCA داده‌های مربوط به ۷ نمونه ماست کم‌چرب با دو مؤلفه اصلی به ترتیب ٤٦/٦٪ و ۲۸/۱٪ واریانس محاسبه شده‌اند.



شکل ۵- مولفه های اصلی به عنوان تابعی از درجه استقلال پارامترهای فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم چرب

Figure 5.Principal components as a function of independence degree of physicochemical and sensory parameters of low-fat yogurt



شکل ٦- سهم ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم چرب اندازه گیری شده در دو مولفه اصلی اول و دوم

Figure 6.Contribution of physicochemical and sensory properties of low-fat yogurt measured in the first and second principal components

شکل ٦ نمودار پراکنش (Biplot) حاصل از تجزیه‌وتحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) است که توزیع پارامترهای مختلف ماست کم‌چرب را بر مبنای دو مؤلفه اصلی اول و دوم نشان می‌دهد. با استفاده از این نمودار می توان روابط بین پارامترهای مختلف مورد بررسی و میزان تأثیرگذاری هر پارامتر بر تغییرات کلی داده‌ها را بررسی کنیم. مؤلفه اول بیشترین واریانس را تبیین می‌کند، با پارامترهای بافت، اسیدیته و طعم که بارهای عاملی مثبت و بالایی دارند. مؤلفه دوم با پارامترهای pH و آب اندازی (با بار عاملی مثبت) و ویسکوزیته (با بار عاملی منفی) مشخص می‌شود. پارامترهای بافت، اسیدیته، طعم و پذیرش کلی در سمت راست نمودار قرارگرفته و همبستگی مثبتی با یکدیگر دارند pH .و آب اندازی در ربع بالا سمت چپ قرار دارند و با مؤلفه دوم همبستگی مثبت دارند، درحالیکه ویسکوزیته در ربع پایین سمت چپ با همبستگی منفی با مؤلفه دوم قرار دارد. همبستگی مثبت بین بافت، اسیدیته، طعم و پذیرش کلی به دلیل وجود پلی ساکاریدها و فیبرهای غذایی در آلوئه ورا است که ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهند (۸). این ترکیبات با تشکیل شبکه سه‌بعدی، ویسکوزیته را افزایش و آب اندازی را کاهش می‌دهند (۹) . بتاگلوکان نیز به‌عنوان فیبر محلول، با افزایش ظرفیت نگهداری آب به بهبود بافت کمک می‌کند (۲۹). رابطه معکوس ویسکوزیته و آب اندازی توسط Brennan and Tudorica (11) توضیح داده شده که بتاگلوکان با تشکیل کمپلکس با پروتئین‌های شیر آب شبکه پروتئینی را افزایش می‌دهد. Srisuvor et al (۱۷) نیز گزارش کردند که هیدروکلوئیدها ویسکوزیته را افزایش و آب اندازی را کاهش می‌دهند. همبستگی مثبت بین بافت و پذیرش کلی به ترجیح مصرف کنندگان برای بافت خامه‌ای مربوط است. Sahan, Yasar and Hayaloglu (۱۰) نشان دادند که بتاگلوکان احساس دهانی ماست کم‌چرب را بهبود می‌بخشد. Azari-Anpar et al (۸) نیز گزارش کردند که آلوئه ورا با پوشاندن طعم‌های اسیدی خواص حسی ماست را بهبود می بخشد. قرار گرفتن pH و اسیدیته در طرف‌های مخالف نمودار به دلیل رابطه معکوس آن‌هاست. آلوئه ورا و بتاگلوکان به‌عنوان پری بیوتیک رشد باکتری‌های اسیدلاکتیک را تحریک کرده و فرآیند تخمیر را تحت تأثیر قرارمی‌دهند (۱۷).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج تحقیق، این پژوهش نشان داد که افزودن همزمان ژل آلوئه‌ورا و بتاگلوکان تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم‌چرب دارد. افزودن این ترکیبات موجب کاهش اسیدیته و افزایش pH به دلیل خاصیت بافری و تأثیر بر متابولیسم باکتری‌های آغازگر شد، همچنین با افزایش درصد بتاگلوکان، به‌ویژه در سطوح بالای ژل آلوئه‌ورا، آب‌اندازی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت که نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی این دو ترکیب در افزایش ظرفیت نگهداری آب است. ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش درصد هر دو ترکیب به دلیل خواص هیدروکلوئیدی و توانایی تشکیل شبکه‌های سه‌بعدی افزایش یافت. در ارزیابی حسی، افزایش بتاگلوکان تا سطح ۱ درصد موجب بهبود معنی‌دار امتیاز بافت، طعم و پذیرش کلی شد. درحالی‌که افزایش ژل آلوئه‌ورا باعث بهبود امتیاز بافت گردید ولی تاثیر منفی بر طعم و پذیرش کلی داشت. تاثیر منفی آلوئه ورا بر طعم، در مقادیر بالای بتاگلوکان تعدیل می‌گردید. نتایج تحلیل PCA نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم مجموعاً ٧٤/٧درصد از تغییرات را با همبستگی مثبت بین بافت، اسیدیته، طعم و پذیرش کلی، و همبستگی منفی بین ویسکوزیته و آب‌اندازی توجیه

می‌کنند. بهینه‌یابی عددی نشان داد که فرمولاسیون بهینه با ۰/۹٤ درصد ژل آلوئه‌ورا و ۰/۹۹ درصد بتاگلوکان، بهترین خصوصیات را با میزان رضایت‌مندی ۰/۷۲ ایجاد می‌کند، که می‌تواند به‌عنوان یک محصول فراسودمند با خواص تغذیه‌ای و عملکردی مطلوب به صنعت لبنیات معرفی شود.

References

1. Guggisberg D, Cuthbert-Steven J, Piccinali P, Bütikofer U, Eberhard P. (2009).*Int. Dairy J.* 19:10715
2. Víquez-Barrantes D, Lau-Lee N, Cubero-Castillo E, Cordero-García M. (2023). *NFS Journal* 33:100156
3. Lobato-Calleros C, Ramírez-Santiago C, Vernon-Carter EJ, Alvarez-Ramirez J. (2014). *J. Food Eng.* 131:110-5
4. Jooyandeh H, Alizadeh Behbahani B. (2024). *Food Science & Nutrition* 12:4656-66
5. Mohammadi M, Saidi M. (2021). *Food Processing and Preservation Journal* 12:39-52
6. Mensah EO, Adadi P, Asase RV, Kelvin O, Mozhdehi FJ, Amoah I, Agyei D. (2025). *PharmaNutrition* 31:100436
7. Ahmad A, Anjum FM, Zahoor T, Nawaz H, Dilshad SMR. (2012). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 52:201-12
8. Azari-Anpar M, Payeinmahali H, Daraei Garmakhany A, Sadeghi Mahounak A .(۲۰۱۷) . *Journal of Food Processing and Preservation* 41
9. Basannavar S, Pothuraju R, Sharma RK. (2014). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94:2712-7
10. Sahan N, Yasar K, Hayaloglu A. (2008). *Food hydrocolloids* 22:1291-7
11. Brennan CS, Tudorica CM. (2008). *International Journal of Food Science & Technology* 43:824-33
12. Vasiljevic T, Kealy T, Mishra VK. (2007). *Journal of Food Science* 72:C405-C11
13. Association of Official Analytical C. (2005). *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg, MD ,USA: AOAC International
14. Walstra P. (1999). *Dairy technology: principles of milk properties and processes*. CRC Press
15. Ramachandra CT, Rao PS. (2008). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 3:502-10
16. Laitinen M, Mäkelä-Salmi N, Maina NH. (2023). *Food Hydrocolloids* 141:108722
17. Srisuvor N, Chinprahast N, Prakitchaiwattana C, Subhimaros S. (2013). *LWT-Food Science and Technology* 51:30-6
18. Rosburg V, Boylston T, White P. (2010). *Journal of Food Science* 75:C439-C44
19. Ahlawat KS ,Khatkar BS. (2011). *Journal of Food Science and Technology* 48:525-33
20. Lazaridou A, Biliaderis CG. (2007). *Journal of Cereal Science* 46:101-18
21. Staffolo D, Bertola M, Martino N, Bevilacqua M. (2004). *International Dairy Journal* 14:263-8
22. Staffolo MD, Bertola N, Martino M. (2004). *International Dairy Journal* 14:263-8
23. Rashidi H, Kashaninejad M, Bolandy M, Ghaffary S. (2021). *Research and Innovation in Food Science and Technology* 10:43-58
24. Paseephol T, Small DM, Sherkat F. (2008). *Journal of Texture Studies* 39:617-34
25. Ahmadian H, Beig Mohammadi Z, Soltani M. (2023). *Food Processing and Preservation Journal* 15:1-22
26. Ranadheera CS, Evans CA, Adams MC, Baines SK. (2012). *Food Chemistry* 135:1411-8
27. Panesar PS, Shinde C. (2012). *Current Research in Dairy Sciences* 4:17-23
28. Kashaninejad M, Najaf Najafi M, Shateri A. (2021). *Journal of Food and Bioprocess Engineering* 4:160-7
29. ingla A, Gupta OP, Sagwal V, Kumar A, Patwa N, et al. (2024). In *Nutrients*, 16. 6 of.
30. Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). Yoghurt: Science and Technology (3rd ed.). Woodhead Publishing.