

Extraction and Qualitative Analysis of Chicken feet Gelatin and Investigating Its Effect on the Physical and Chemical Properties of Marshmallow

F. Islami¹, Z. Raftani Amiri^{1*}, A. Motamedzadegan¹, H. Gorjian²

1- Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding Author Email: z.raftani@sanru.ac.ir)

2- Agriculture and Natural Resources Research and Education Center province, Fars, Iran

Received: 16.02.2025	How to cite this article: Islami, F., Raftani Amiri, Z., Motamedzadegan, A., & Gorjian, H. (2025). Extraction and qualitative analysis of chicken feet gelatin and investigating its effect on the physical and chemical properties of marshmallow. <i>Iranian Food Science and Technology Research Journal</i> , 21(4), 409-429. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.92140.1408
Revised: 13.04.2025	
Accepted: 11.05.2025	
Available Online: 18.08.2025	

Introduction

Foams are colloidal systems that are formed by the accumulation of gas bubbles separated from each other by thin liquid layers. Foams have attracted a lot of attention from the food industry and culinary arts due to their unique flavor and texture properties. Marshmallows are an aerated confectionery product that is mainly prepared from gelatin (as a foaming and gelling agent), sugar solution (including glucose syrup and sugar), flavoring, and coloring agents. Gelatins are amphiphilic macromolecules and are obtained from hydrolyzed collagens. Gelatin is a quite digestible protein and contains all essential amino acids except tryptophan. The simplest way to produce gelatin is to convert collagen into gelatin by denaturing or breaking down the collagen molecule to make it soluble in water. This process generally involves an acidic, alkaline, or enzymatic pretreatment. In food applications, gelatin can act as a foaming agent, emulsifier, biodegradable film former, colloidal stabilizer, and microencapsulating agent. Due to health, religious, and economic restrictions on the consumption of gelatin from mammals, other sources for gelatin production must have characteristics such as high amounts of by-product availability (Because continuous production in the industry is an essential economic issue) and a value close to the rheological properties of mammalian gelatin in order to be considered as a alternative suitable source for replacement. Hence, poultry by-products can be investigated as a new source of gelatin extraction.

Materials and Methods

In this study, gelatin was extracted, from chicken feet using an acidic method. The gelatin production process consists of three main steps: pretreatment of raw materials, gelatin extraction, purification, and drying. Gelatin of chicken feet was used in the marshmallow product at two levels of 6 and 8 percent. Physicochemical properties of gelatin including moisture, color, gel strength, rheology, fat, protein, and ash were analyzed. In the evaluation of the marshmallow, textural components, rheology, electron microscopy, differential thermal scanning, and sensory evaluation (Appearance, color, aroma, sweetness, texture, hardness, and gumminess) were determined. The sensory evaluation was conducted on a five-point hedonic scale. Statistical analysis of this study was performed with Duncan's multiple range test using SPSS software.

Result and Discussion

In the physicochemical analysis of gelatin extracted from chicken feet, the protein content was 78.27 ± 0.445 , fat 10 ± 2 , ash 47.6 ± 0.46 and moisture $70.12 \pm 0.28\%$. In the frequency sweep test, the storage modulus was always higher than the loss modulus, indicating the high strength and viscoelastic behavior of gelatin at a given strain. In evaluating the flow behavior of gelatin obtained from chicken feet, the viscosity of the sample decreased with increasing shear rate, indicating the shear-thinning behavior of gelatin. Adding 8% gelatin to the



marshmallow sample significantly increased the hardness, gumminess, and texture adhesion indices. The Overran in the sample contained 8% gelatin was 40, and the marshmallow contained 6% gelatin was 30. The presence of more protein has a positive effect on the process of reducing surface tension, and more proteins, with the polar parts of the molecule is opened towards the water, are absorbed at the interface, creating a stabilizing layer around the bubbles, which causes more foam to form and increases overran. There was no significant difference between the samples in moisture, water activity, and color a, b indices. In terms of sensory parameters of sweetness, texture firmness, gumminess, and overall acceptance, the 8% gelatin sample was given the lowest score. In the applied frequency range, the G' modulus in all samples was higher than the G'' modulus, indicating viscoelastic behavior and gel strength at a definite strain. In all samples, the complex viscosity decreases linearly with increasing applied frequency, reflecting the shear-thinning behavior of the samples. Marshmallow consisting of 6% gelatin was determined as the selected formulation in terms of physicochemical, rheological, and sensory evaluation properties.

Conclusion

Based on the results obtained from this research and In order to optimally utilize chicken waste, this innovation can be used to produce health-oriented and cost-effective product.

Keywords: Chicken feet gelatin, Marshmallow, Rheology, Texture, Thermal properties

استخراج و آنالیز کیفی ژلاتین پای مرغ و بررسی تاثیر آن بر خواص فیزیکوشیمیایی مارشمالو

فاطمه اسلامی^۱ - زینب رفتنی امیری^{۱*} - علی معتمدزادگان^۱ - هایده گرجیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱

چکیده

مارشمالو یک فرآورده‌ی قنادی هواده‌ی شده است که در تهیه آن عمدتاً از ژلاتین (به‌عنوان عامل کف‌کننده و ژل‌کننده)، محلول قندی (شامل شربت گلوکز و شکر)، طعم‌دهنده و رنگ‌دهنده استفاده می‌شود. ژلاتین‌ها درشت‌الکول‌های آمفیدوست هستند و از هیدرولیز کلاژن‌ها به‌دست می‌آیند. ژلاتین یک پروتئین کاملاً قابل هضم است و حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری به جز تریپتوفان است. در این پژوهش ژلاتین پای مرغ به روش اسیدی استخراج شد و در محصول مارشمالو با دو سطح ۶ و ۸ درصد مورد استفاده قرار گرفت. در آنالیز فیزیکوشیمیایی ژلاتین استخراجی از پای مرغ، میزان پروتئین $78/27 \pm 0/445$ ، چربی 10 ± 2 ، خاکستر $6/47 \pm 0/46$ و رطوبت $12/70 \pm 0/28$ درصد بود. در آزمون روبش فرکانس، مدول ذخیره همواره بالاتر از مدول افت بود که حاکی از استحکام بالا و رفتار ویسکوالاستیک ژلاتین در کرنش معین می‌باشد. افزودن ۸ درصد ژلاتین به نمونه مارشمالو شاخص‌های سختی، صمغیت، چسبندگی در بافت را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بین نمونه‌ها در شاخص‌های رطوبت، فعالیت آبی و شاخص a, b رنگ اختلاف معنادار وجود نداشت. از نظر پارامترهای حسی شیرینی، سفتی بافت، صمغیت و پذیرش کلی به نمونه ۸ درصد ژلاتین کمترین امتیاز اعطا شد. در محدوده فرکانس اعمال شده مدول G' در تمامی نمونه‌ها بالاتر از مدول G'' بود که بر رفتار ویسکوالاستیک و قوی بودن ژل در کرنش معین دلالت داشت. مارشمالوی متشکل از ۶ درصد ژلاتین از نظر خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارزیابی حسی به‌عنوان فرمولاسیون منتخب تعیین گردید. با استناد به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش این نوآوری می‌تواند در جهت تولید محصولات سلامت محور و مقرون به‌صرفه در صنعت مواد غذایی کشور به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: بافت، ژلاتین، رئولوژی، مارشمالو، ویژگی‌های حرارتی

مقدمه

ژلاتین یک پلی‌پپتید با وزن مولکولی بالا است که از کلاژن، جزء پروتئینی اولیه بافت‌های همبند حیوانی که شامل استخوان، پوست و تاندون است مشتق شده است. نام ژلاتین در حدود سال ۱۷۰۰ رایج شد و از کلمه لاتین (*gelatus*) به معنی سفت یا منجمد گرفته شد. اگرچه گاهی اوقات اصطلاح ژلاتین برای اشاره به سایر ژل‌سازها استفاده می‌شود، اما اکثراً فقط برای مواد پروتئینی مشتق از کلاژن به کار می‌رود (Poppe, 1992). به‌دلیل خواص عملکردی منحصر به

فرد، زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری عالی، ژلاتین‌ها به‌طور گسترده‌ای در زمینه‌های مواد غذایی، داروسازی، تصویربرداری زیستی و مهندسی بافت مورد کاوش و کاربرد قرار گرفته‌اند. ژلاتین دارای کاربردهای متنوعی در صنایع غذایی است از جمله: فرآورده‌های قنادی هواده‌ی شده (مارشمالو، پاستیل، تافی‌ها)، فرآورده‌های لبنی (ماست‌ها، شیرهای تخمیری حرارت‌دیده، دسرهای خامه‌ای)، فرآورده‌های گوشتی (امولسیون‌های گوشتی، فرآورده‌های گوشتی کنسروی)، تصفیه آبمیوه، ریزپوشانی طعم‌ها (Hosseiniparvar, Keramat, & Kadivar, 2007). این یک پروتئین با ویژگی‌های منحصر به فرد در نظر گرفته می‌شود، هم به‌دلیل توانایی آن در تشکیل ژل برگشت‌پذیر حرارتی با دمای ذوب نزدیک به دمای بدن و هم به‌دلیل حالیت آن در آب است (Zhang et al., 2022). منبع، نژاد و سن حیوانات، اندازه، تعداد، وزن مولکولی و موقعیت تجزیه

۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: z.raftani@sanru.ac.ir

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، ایران
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.92140.1408>

زنجیره‌های پپتیدی، نوع و غلظت بقایای اسیدآمینه موجود در ژلاتین از عوامل مهم در خواص رئولوژیکی ژلاتین است. کیفیت اسیدهای آمینه موجود در ژلاتین خواص و عملکرد منحصر به فرد ژلاتین را تعیین می‌کند. بنابراین، این پارامتر بسیاری از خواص فیزیکی و شیمیایی را تضمین می‌کند و باعث ایجاد تفاوت بین ژلاتین‌ها می‌شود که عمدتاً دارای ترکیب اسیدهای آمینه مختلف و همچنین مقدار پرولین و هیدروکسی پرولین (ایمینو اسید) هستند. هیدروکسی پرولین مشتقی از پرولین است و هر دو با تشکیل پیوندهای هیدروژنی در ساختار کلاژن، مسئول پایداری ساختار کلاژن هستند. میزان اسید ایمینو نیز مسئول دمای ذوب و ژل شدن ژلاتین است. هر چه میزان ایمینو اسید کمتر باشد، دمای ذوب و بعد ژل شدن ژلاتین کمتر می‌شود. مقدار ایمینو اسید در ژلاتین مشتق شده از پوست طیور بیشتر از پستانداران و ماهی است موترو و گومز گوبلن (Gómez-Guillén, Giménez, López-Caballero, & Montero, 2011)، به این نتیجه رسیدند که عامل دیگری که نقش مهمی در توسعه خواص فیزیکی، به‌ویژه قدرت ژل ایفا می‌کند، مقدار اسیدهای آمینه آگریز است (Abedinia et al., 2020). بیشتر ژلاتین‌های موجود از منابع پستانداران ساخته می‌شوند. اما با توجه به مسائل اجتماعی، فرهنگی و بروز مکرر بیماری‌هایی مانند انسفالوپاتی اسفنجی گاوی که باعث مشکلاتی برای سلامت انسان می‌شود، استفاده این محصولات در نهایت به فرآیند مواد غذایی محدود می‌شوند. مصرف ژلاتین پوست خوک در یهودیت و اسلام حرام شمرده می‌شود و ژلاتین گوشت گاو تنها در صورتی قابل قبول است که طبق قوانین رژیم غذایی تهیه شده باشد. بنابراین، شناسایی منابع جدید ژلاتین مانند پوست، پا و استخوان طیور برای جایگزینی منابع پستانداران افزایش یافته است (Abedinia et al., 2020). در طول چند دهه گذشته، مصرف جهانی گوشت مرغ که دارای مقدار متعادلی از اسیدهای آمینه است و هم چربی و هم کالری کمی دارد، به‌طور مداوم افزایش یافته است. طبیعتاً با افزایش مصرف گوشت مرغ، مقدار محصولات جانبی مرغ مانند پا، استخوان، قلب، جگر و سنگدان نیز افزایش می‌یابد (Choe & Kim, 2018). در سال ۲۰۱۷ گوشت طیور در جهان بیش از سال ۲۰۰۹ حدود ۲۷.۵ میلیون تن تولید داشته است که منجر به تولید حجم قابل توجهی از زباله‌های آلی در مراحل مختلف تولید شده است. به‌دلیل محتوای بالای مواد آلی، این ضایعات می‌توانند میزبان تکثیر میکروارگانیسم‌ها باشند و باعث مشکلات زیست‌محیطی ناشی از تیمار ناکافی این پسماندهای جامد صنعتی شوند. ژلاتین به‌دست‌آمده از محصولات جانبی طیور مانند پوست، بقایای استخوان‌زدایی مکانیکی و پاها دارای استحکام ژل بالا و نقطه ژل و ذوب نسبتاً برابر با ژلاتین‌های پستانداران است که آن را به‌عنوان جایگزینی برای مصرف پستانداران در صنعت

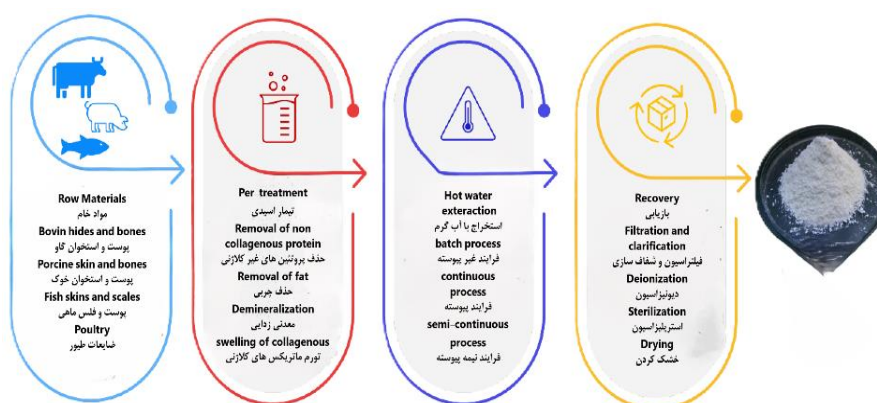
معرفی می‌کند (Abedinia et al., 2020). مارشمالو یکی از اولین شیرینی‌های شناخته شده برای بشر است و در اصل از شیر ریشه گیاه گل ختمی (*Althaea officinalis*) تهیه می‌شد. اولین مارشمالو را با جوشاندن پالپ ریشه گل ختمی با شکر تا زمانی که غلیظ شود درست می‌کردند و سپس مخلوط را صاف می‌کردند و می‌گذاشتند تا خنک شود. در سال ۲۰۰۰ قبل از میلاد، مصریان ریشه گل ختمی را با عسل ترکیب کردند و آب نباتی درست کردند که مخصوص خدایان و خانواده سلطنتی بود. شیرینی‌های مارشمالوی مدرن برای اولین بار در حدود سال ۱۸۵۰ در فرانسه ساخته شدند، زمانی که مارشمالو به‌صورت جداگانه قالبگیری شده و فرم داده می‌شد. زمانی که تولید انبوه در سال ۱۹۰۰ ممکن شد مارشمالو با بکارگیری نشاسته درسلسله مغول^۱ ساخته شد. در سال ۱۹۵۵ الکس دوماک از شرکت دوماک^۲ روش ساخت جدید به نام فرآیند اکستروژن را به ثبت رساند که تاریخچه تولید مارشمالو را تغییر داد و هنوز هم استفاده می‌شود (Du Toit, Bothma, De Wit, & Hugo, 2016). مارشمالو از جمله فرآورده‌های شیرینی‌پزی هوادهی شده موجود در بازار محسوب می‌شود. مارشمالو معمولاً با ژلاتین، شکر، شربت گلوکز و مواد طعم‌دهنده تولید می‌شود (Mardani et al., 2019). ژلاتین در شیرینی‌های هوادهی شده به‌صورت زیر استفاده می‌شود: ۱- عامل کف‌کننده، که وجود ژلاتین کشش سطحی فاز مایع را کاهش می‌دهد ۲- تثبیت‌کننده، وجود ژلاتین به دیواره‌های سلولی مقاومت مکانیکی لازم را می‌دهد تا از تغییر شکل محصول نهایی جلوگیری شود. ۳- اتصال‌دهنده، ژلاتین قادر است مقدار زیادی آب را به هم بچسباند و می‌تواند به محصول نهایی ماندگاری طولانی‌تری بدهد (Poppe, 1992). هوا از طریق هم زدن سریع، وارد ترکیب پروتئین- قند می‌شود. حضور هوا نه تنها به مخلوط حجم می‌دهد، بلکه به نرمی و سبکی بافت، تغییر رئولوژی، تغییر ظاهر، شدت طعم و حس دهانی، تغییر قابلیت هضم و ماندگاری به‌دلیل افزایش تخلخل کمک زیادی می‌کند (Periche, Castelló, Heredia, & Escriche, 2016). بنابراین هدف اصلی از این پژوهش تهیه و مقایسه خواص فیزیکی و شیمیایی مارشمالوهای تولید شده بر پایه‌ی ژلاتین پای مرغ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

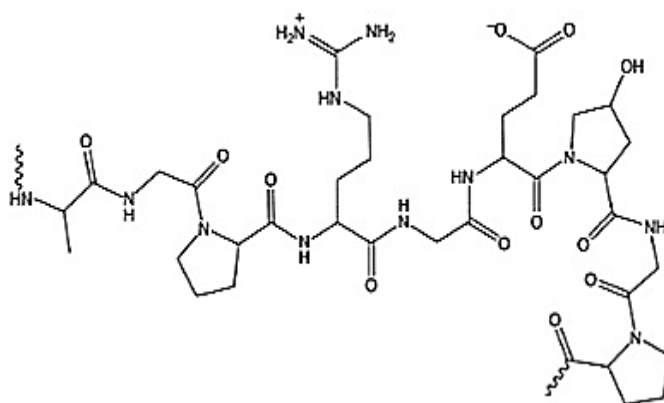
مواد

شربت گلوکز مایع از برند گلشهد، اسانس نارگیل از برند زرد، شکر سفید از برند فرانسیس و پودر نشاسته ذرت از برند پاکتو و پای مرغ از کشتارگاه خزر سیمرغ آسیا تهیه شدند.

1- Mogul
2- Doumak



شکل ۱- مراحل استخراج ژلاتین حیوانی
Fig. 1. Animal gelatin extraction steps



شکل ۲- شماتیک ساختار ملکولی ژلاتین
Fig. 2. Schematic of the molecular structure of gelatin (Qhairul et al., 2021)

تهیه ژلاتین از پای مرغ

ابتدا پای مرغ وزن شده و ناخن و پوست آن جداسازی شده و سپس بدون حرارت دادن با آب سرد شسته شد، سپس به وسیله چرخه گوشت صنعتی خرد گشت. در مرحله بعد پای خرد شده با آب به نسبت ۱۱/۱:۲ (وزنی/ حجمی) شسته شده تا خون و دیگر باقیمانده‌ها حذف شوند. به پای مرغ خرد شده، اسید هیدروکلریک ۰/۵ نرمال به نسبت ۳/۱:۲۲ (وزنی/ حجمی) افزوده شد و در این حالت با مگنت مکانیکی به مدت ۲ ساعت به هم زده شد که pH آن به حدود ۱ رسید. بعد از این مدت اوسئین^۱ (تفاله) جدا شده و با آب مقطر به نسبت ۱۶/۱:۱۲ (وزنی/ حجمی) در دو مرحله هر بار ۱۰ دقیقه شستشو شد تا از اسیدی بودن اوسئین کاسته شود و pH به حدود ۳ برسد. اوسئین به آب مقطر به نسبت ۱:۱ (وزنی/ حجمی) و در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد اضافه شد و سپس در همین دما ۱

ساعت با همزن مکانیکی (پارس آزما مدل M.M11، ایران) همزده شد. ژلاتین به دست آمده توسط پارچه فیلتر شد و با سود نرمال pH آن تا ۷ تنظیم شد. سپس مایع شفاف رویی ظرف را جدا و در یخچال نگهداری نموده و به مدت ۴ روز pH آن اندازه گیری گردید سپس در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ذوب شده و در آن (Memmert-Ufillo، آلمان) با دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ ساعت خشک گردید در نهایت با آسیاب برقی (Sapor-LSCG 420) ساخت چین به صورت پودر در آمد و در ظروف غیرقابل نفوذ به رطوبت در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد در فریزر نگهداری شد (Rezaeizadeh & Raftani Amiri, 2017).

تهیه مارشمالو

در فرمولاسیون مارشمالوی مورد پژوهش محتوای قند در فرمولاسیون مارشمالو به ترتیب ۴۵ و ۴۵ گرم ساکارز و شربت گلوکز می باشد. همچنین، میزان ژلاتین (۶، ۸ گرم در ۱۰۰ گرم) مشخص

حال خود گذاشته شد تا ژلاتین به طور کامل متورم شود. سپس در حمام آب با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شده تا ژلاتین حل شود. پس از خنک شدن تا دمای اتاق به مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در حمام آب سرد با دمای ۱۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد در نهایت قدرت ژل ژلاتین با دستگاه (Brookfield- TexturePro- CT V1، آلمان) پروب (Cylinder Clear Acrylic, Bloom TA10 12.7mm, 35mm) اندازه گیری گردید (Sarban et al., 2013).

رنگ سنجی

رنگ محلول ۶/۶۷ درصد ژلاتین و رنگ پودر ژلاتین با تصویربرداری در شرایط استاندارد توسط دستگاه (IMG Pardazesh, Cam system XI) اندازه گیری شد و شاخص های L^* ، a^* و b^* مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص L^* (طیف سیاه تا سفید) ۱۰۰-۰، فاکتور a^* (طیف رنگی سبز تا قرمز) ۱۲۰-۱۲۰+ و فاکتور b^* (طیف رنگی (آبی تا زرد) ۱۲۰-۱۲۰+ را نشان می دهند (Lassoued et al., 2014).

بررسی خواص رئولوژیکی

آزمون دینامیک نوسانی برای کنترل فرایند تشکیل ژل و خصوصیات ویسکوالاستیک ژل مورد استفاده قرار می گیرد. آزمایش ها بر اساس روش نورزیا و همکاران ۲۰۰۹، با رئومتر (Anton Paar- GMBH، آلمان) مجهز به سیرکولاتور حرارتی برای کنترل دما و استفاده از پروب مخروط و صفحه (plate and Cone) با قطر ۵۰mm Gap. ۲۰۸μm و زاویه ۲ درجه انجام گرفت. محلول ۶/۶۷ درصد نمونه ژلاتین بر روی صفحه رئومتر ریخته شد. آزمون روبش فرکانس؛ در محدوده فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز و کرنش ثابت ۱٪ در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد انجام شد. آزمون روبش دما؛ با روبش گرمایی دمای ۵-۶۰ درجه سانتیگراد (رویش سرمایی) از ۶۰-۵ درجه سانتیگراد و فرکانس ثابت ۱ هرتز و کرنش ثابت ۴٪ انجام گردید. آزمون رفتار جریانی (ویسکوزیته): سرعت برش ۱/s - ۳۰۰- ۰/۰۱ و دمای ۳۰ درجه سانتیگراد انجام گردید (Rezaeizadeh & Raftani Amiri, 2017).

اندازه گیری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی محصول

مارشمالو

اندازه گیری میزان رطوبت و فعالیت آبی

آنالیز میزان رطوبت و فعالیت آبی برای محصولات نهایی انجام خواهد گردید. میزان رطوبت به روش وزن سنجی با خشک کردن تا

گردید. فرمول در یک مخلوط کن حرارتی (Gosonic- ghm81) ساخت چین تهیه شد. مخلوط کردن شکر و آب (به ازای هر گرم شکر)، تا زمانی که به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه به نقطه جوش برسد. سپس ژلاتین به نسبت ۱ گرم ژلاتین به ازای ۶ گرم آب حل گشته تا مخلوطی همگن به دست آید و متعاقباً با مواد طعم دهنده و رنگ دهنده (رنگ صورتی) به شربت اضافه شد. همه مواد به مدت ۵ دقیقه در ۶۰ درجه سانتیگراد و ۳۰۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. سپس، شربت را به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۸۶۰ دور در دقیقه هم زده تا هوا به مخلوط اضافه شود، که عمدتاً بافت مارشمالو را تشکیل می دهد. برای اهداف قالب گیری، مخلوط نهایی در قالب های سیلیکونی با پوشش نازکی از روغن آفتابگردان ریخته شد. قالب های سیلیکونی استوانه ای شکل با قطر ۲۸ میلی متر و ارتفاع ۲۰ میلی متر می باشد. در نهایت قالب ها به مدت ۲۴ ساعت در محفظه ای با دمای محیط قرار گرفتند. سپس نمونه ها از قالب خارج شده و با نشاسته پوشانده شدند تا نمونه ها به هم نچسبند. نمونه ها در کیسه های پلاستیکی (پلی اتیلن چند لایه) در دمای اتاق به مدت ۴۵ روز نگهداری شد.

اندازه گیری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ژلاتین پای

مرغ

اندازه گیری تقریبی ژلاتین

عملکرد ژلاتین، بر اساس وزن تر از طریق میزان ژلاتین خشک شده به وزن پای مرغ مورد استفاده در هر استخراج به دست آمد. رطوبت، خاکستر و چربی ژلاتین خشک شده با روش (AOAC, 2006) تعیین شد. میزان پروتئین خام با محاسبه مقدار نیتروژن کل ژلاتین به روش (AOAC, 2006)، تعیین و از فاکتور ۵/۴۶ برای تبدیل نیتروژن به پروتئین استفاده گردید (Sarban, Badii, & Howell, 2013).

(۱۰۰× وزن تر پاهای مرغ / وزن خشک ژلاتین) = عملکرد

اندازه گیری pH

برای اندازه گیری pH ابتدا ۱ گرم ژلاتین در ۹۹ میلی لیتر آب مقطر حل شده و سپس به مدت ۵ دقیقه در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد حرارت داده شد بعد از حل شدن و رسیدن دمای محلول به دمای اتاق، pH توسط دستگاه pH متر (Sartorius -MKD120100، UK، تایوان) اندازه گیری شد (Shyni et al., 2014).

اندازه گیری قدرت ژل

۶/۶۷ گرم نمونه ژلاتین با ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه مخلوط گردید. این مخلوط در درجه حرارت اتاق به مدت ۳ ساعت به

بررسی خصوصیات رئولوژیکی

اندازه‌گیری‌های روبش دامنه (LVR) برای تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی در حالت کرنش برشی کنترل شده (CSS) (۰/۰۱-۱۰۰ درصد) فرکانس ثابت (۱ هرتز) و ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از رئومتر (AntonPaar Physic MCR301، آلمان) انجام گردید. تست‌های روبش فرکانس در یک کرنش ثابت در ناحیه LVE (۰/۵٪) در محدوده فرکانس ۰/۰۱-۱۰۰ هرتز و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای ارزیابی خواص ویسکوالاستیک نمونه‌ها انجام شدند در آزمایش دینامیکی، لبه نمونه با لایه‌نازکی از روغن سیلیکون پوشانده شد تا از تبخیر نمونه در حین اندازه‌گیری جلوگیری شود. از نرم‌افزار (Matlab 2015a) و تجزیه و تحلیل داده‌های رئومتر، Rheoplus/32 Version V3.40) برای تجزیه و تحلیل نتایج رئولوژیکی آزمون دینامیکی استفاده شد (Mardani et al., 2019).

اندازه‌گیری overrun

برای اندازه‌گیری سرریز، مخلوط همزده به‌طور یکنواخت در یک ظرف استوانه‌ای به حجم ۶۰۰ میلی‌لیتر ریخته شد و با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد (Mardani et al., 2019).

$$\text{Overrun} = \frac{(\text{حجم مایع اولیه (ml)} - \text{حجم کف-حجم مایع اولیه (ml)})}{\text{حجم مایع اولیه (ml)}} \times 100 \quad (2)$$

بررسی میکروساختار با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM) برای جلوگیری از تغییر اندازه حباب‌ها و تغییر شکل، ژل تنظیم و ثابت شد. قطعات فوم ژل با استفاده از نیتروژن مایع منجمد شدند (برای جلوگیری از تغییرات ساختاری در حین خشک کردن انجمادی)، سپس به خشک‌کن انجمادی (model Vaco5, Technology Zirbus، آلمان) منتقل شدند. پس از خشک شدن، تصاویر بلافاصله با استفاده از ابزار FE-SEM (Mira3 LMU، TESCAN، جمهوری چک) با یک آشکارساز الکترونی ثانویه در ولتاژ ۱۰ کیلوولت گرفته شد (Mardani et al., 2019).

ارزیابی حسی

ارزیابی ویژگی‌های حسی با استفاده از فرم‌های ارزیابی حسی و توسط ۸ نفر ارزیاب آموزش دیده انجام گردید. برای ارزیابی ویژگی‌های زیر استفاده شد: ظاهر، رنگ، عطر، شیرینی، بافت، سختی و صمغی بودن. آزمون در مقیاس هدونیک پنج نقطه‌ای امتیازدهی

وزن ثابت در آن خلأ در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (AOAC, 2006) تعیین گردید. فعالیت آبی (aw) با رطوبت‌سنج تعیین شد (Rezaeizadeh & Raftani Amiri, 2017).

اندازه‌گیری pH

pH محصول با pH متر (Sartorius Uk -MKD120100) تایوان) در شربت اولیه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در سه تکرار انجام گردید (Perriche et al., 2016).

رنگ‌سنجی

رنگ نمونه‌های مارشمالو با تصویربرداری در شرایط استاندارد توسط دستگاه (IMG Pardazesh, Cam system XI) اندازه‌گیری شد و شاخص‌های L^* ، a^* و b^* مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص L^* (طیف سیاه تا سفید) ۰-۱۰۰، فاکتور a^* (طیف رنگی سبز تا قرمز) ۱۲۰- تا ۱۲۰+ و فاکتور b^* (طیف رنگی (آبی تا زرد) ۱۲۰- تا ۱۲۰+ را نشان می‌دهند (Lassoued et al., 2014).

اندازه‌گیری قدرت ژل

نمونه‌ها (سیلندرهایی با قطر ۲۸ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰ میلی‌متر) با تست (Texture Profile Analysis TPA) با استفاده از (Brookfield- TexturePro- CT V1.6) مورد بررسی قرار گرفتند. ابزارها مجهز به لودسل ۵۰ کیلوگرمی و پروب استوانه‌ای به قطر ۴۵ میلی‌متر بودند. شرایط آزمایش شامل دو چرخه متوالی فشرده‌سازی ۵۰٪ با ۱۵ ثانیه بین چرخه‌ها بود. سرعت تست ۱ میلی‌متر بر ثانیه بود (Perriche et al., 2016). پارامترهای کمی استخراج شده از منحنی نیرو-زمان عبارت‌اند از: سفتی (حداکثر نیروی پیک در طول اولین سیکل فشرده‌سازی)، فزنی بودن (ارتفاعی که نمونه در طول مدت زمانی که بین پایان چرخه اول و آغاز چرخه دوم سپری می‌شود بازایی می‌کند)، انسجام (نسبت ناحیه نیروی مثبت در طول فشرده‌سازی دوم و فشار اول) و صمغی (سفتی × انسجام) (Mardani et al., 2019).

آنالیز کالریمتری اسکن افتراقی (DSC)

ویژگی‌های حرارتی مارشمالو با استفاده از کالریمتری اسکن افتراقی تعیین می‌گردد (دستگاه DSC شرکت صنایع گستر ایران مدل ۴۱۱). کالبراسیون تجهیزات با ایندیوم انجام شد و یک تابه خالی به‌عنوان مرجع اعمال شد. برای انجام این آزمایش، ۱۵ میلی‌گرم از هر نمونه به‌طور دقیق در تابه‌های آلومینیومی DSC وزن می‌شود و قبل از آزمایش به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق نگهداری گردید، نمونه‌ها از ۱۶ تا ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد با آهنگ گرمایش برنامه‌ریزی شده ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه اسکن شدند. شروع (To)، ذوب (Tm) دما و آنتالپی (ΔH) تعیین گشت (Mardani et al., 2019).

شد. آنالیز داده‌ها برای امتیاز بسیار بد عدد ۱، بد عدد ۲، متوسط عدد ۳، خوب عدد ۴ و بسیار خوب عدد ۵ منظورگردید (Rezaeizadeh & Raftani Amiri, 2017).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایشات مربوط به ژلاتین استخراجی از پای مرغ و محصول مارشمالو در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شدند. داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن تجزیه و تحلیل و مقایسه خواهند شد. آزمون‌های t-test و Anova یک‌طرفه در سطح معنی‌داری $p \leq 0.05$ با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد (Mardani, Yeganehzad, & Niazmand, 2022). رسم نمودارها توسط نرم‌افزار origin pro 2022 انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز ژلاتین پای مرغ

نتایج به‌دست‌آمده از ویژگی‌های ژلاتین تهیه‌شده از پای مرغ در جدول ۱ ارائه شده‌است. طبق تحقیقات انجام شده ژلاتین عمدتاً از پروتئین، رطوبت و مواد دیگری نظیر لیپید، خاکستر و دیگر ناخالصی‌ها در مقدار کم می‌باشد که در این پژوهش میزان تقریبی پروتئین 78.27 ± 0.445 و میزان چربی 10 ± 2 به‌دست آمد. مقدار خاکستر مواد غذایی به محتوای مواد معدنی، پلی‌ساکاریدها و نمک‌های موجود در آن بستگی دارد. میزان خاکستر در این تحقیق 46.0 ± 6.47 به‌دست آمد. میزان خاکستر به مواد خام اولیه، فرآیند استخراج و فیلتراسیون مرتبط است (Asgarzadeh, Ataee, & Shafiur Rahman & Al-Chobkar, 2020). رحمان و محروقی (Mahrouqi, 2009) میزان خاکستر موجود در ژلاتین خوک‌ی گاوی و ماهی‌ها را به ترتیب ۰/۳۵، ۱/۳، ۲/۹۲ درصد اعلام کردند. این نتایج با نتیجه به‌دست‌آمده از تحقیق همخوانی ندارد. میزان رطوبت نه‌تنها به منبع استخراج ژلاتین بلکه به روش استخراج مرتبط بوده و به‌طور کلی ظرفیت جذب آب در مواد غذایی مختلف بر اساس نوع ترکیب اسیدهای امینه، آرایش فضایی پروتئین، میزان آبدوستی و آبگریزی آن و همچنین حضور کربوهیدرات‌های آبدوست تغییر می‌کند (Asgarzadeh et al., 2020). میزان رطوبت ژلاتین پای مرغ استخراج‌شده 12.70 ± 0.28 شد. باتوجه به یافته‌های چریبر و گریس (Schrieber, 2007) رطوبت بهینه ژلاتین بین ۸-۱۲ درصد است و رطوبت بالاتر از ۱۶٪ به دلیل خطر به هم چسبیدن و رشد میکروبی مطلوب نمی‌باشد. میزان عملکرد ژلاتین پای مرغ به روش اسیدی بر اساس وزن تر، $3/25 \pm 1/81$ شد. بازده ژلاتین

استخراج‌شده بسته به نوع، سن حیوان، مقدار کلاژن، روش استخراج و شرایط استخراج (دما، زمان و pH) و اندازه ذرات ماده اولیه بستگی دارد (Songchotikunpan, Tattiyakul, & Supaphol, 2008). ساربن و همکاران (Sarbon et al., 2013)، میزان عملکرد ژلاتین پوست مرغ بر اساس وزن تر $2/16$ را درصد گزارش کردند که بنا بر نتیجه این تحقیق میزان عملکرد ژلاتین پای مرغ بیشتر از پوست مرغ می‌باشد. pH ژلاتین استخراج‌شده قبل خشک‌کردن از ۱ به $3/0 \pm 7/11$ افزایش یافت که نشان می‌دهد مرحله شست‌وشو برای کاهش اسید باقی‌مانده از مرحله تیمار اسیدی کافی بوده‌است. pH ژلاتین بعد از خشک‌کردن $6/55 \pm 0/25$ می‌باشد. چو و همکاران (Cheow, Norizah, Kyaw, & Howell, 2007) مقادیر pH را از $3/35$ تا $4/87$ در ژلاتین پوست ماهی گرمسیری ثبت کرد. pH محلول ژلاتین تحت تأثیر عملیات شیمیایی به کار رفته در حین استخراج قرار می‌گیرد و pH بالاتر ژلاتین احتمالاً به دلیل کفایت شست‌وشو پس از عملیات شیمیایی در طول آماده‌سازی ماده خام، قبل از استخراج است (Almeida & Lannes, 2013). در مطالعه رضایی زاده و رفتنی امیری (Rezaeizadeh & Raftani Amiri, 2017) pH ژلاتین قبل خشک‌کردن $3/7$ و بعد خشک‌کردن ۶ بود که همسو با نتایج پژوهش حاضر بود.

سنجش رنگ

نتایج رنگ پودر ژلاتین و محلول ژلاتین در جدول ۲ گزارش شده است. رنگ این ماده پروتئینی به مواد خام مورد استفاده، روش استخراج و خشک‌کردن بستگی دارد. به‌طور کلی رنگ خواص عملکردی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد و تنها برای استفاده از ژلاتین در صنعت غذا رنگ آن دارای اهمیت دارد (Shyni et al., 2014). در شاخص L، نماینده طیف رنگ سیاه تا سفید بین محلول ژلاتین و پودر ژلاتین اختلاف معنی‌داری مشاهده شد که میزان روشنایی محلول ژلاتین بیشتر از پودر آن بود و شاخص‌های a نشان‌دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز و b نشان‌دهنده طیف رنگ آبی تا زرد در پودر ژلاتین و محلول ژلاتین مورد مقایسه قرار گرفتند که بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در مطالعه رضایی زاده و رفتنی امیری (Rezaeizadeh & Raftani Amiri, 2017) ارزیابی شاخص‌های رنگ (a,b,L) ژلاتین پای مرغ حاکی از وجود اختلاف معنادار در شاخص L بوده‌است که میزان L در پودر ژلاتین روند افزایشی داشته‌است و در شاخص‌های a,b اختلاف معنادار مشاهده نشده‌است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکیوشیمیایی ژلاتین استخراج شده از پای مرغ
Table 1- Physicochemical properties of gelatin extracted from chicken feet

آزمون Analysis	نتیجه Result
خاکستر Ash (%)	6.47± 0.46
چربی Fat (%)	10±2
پروتئین Protein (%)	78.27± 0.445
رطوبت Moisture	12.70± 0.28
بافت Texture	889.33±108.51
راندمان Yield (%)	3.25±1.81
قبل خشک کردن pH (%) pH before drying	3.44 ±0.13
بعد خشک کردن pH (%) pH after drying	6.55 ±0.25

جدول ۲- رنگ پودر و محلول ژلاتین استخراج شده
Table 2- The color of extracted gelatin powder and solution

نمونه Sample	a	b	L
پودر ژلاتین Gelatin powder	-0.56 ± 0.61	3.67±0.107	15.98 ±0.360
محلول ژلاتین Gelatin solution	-0.33 ±0.66	3.61 ±0.343	20.80 ±0.817

قدرت ژل

استحکام ژل، طبق تعریف، وزنی است که بر حسب گرم باید به وسیله پیستونی به قطر ۷.۱۲ میلی متر روی سطح ژل اعمال شود به منظور اینکه فرورفتگی به عمق ۴ میلی متر ایجاد شود. مطالعات نشان داده است که مهم ترین تفاوت در قدرت ژل ژلاتین های مختلف، تنوع آن ها در مقدار اسیدهای ایمینو است که تحت تاثیر میزان کلاژن موجود در گونه های مختلف و همچنین شرایط استخراج است. گروه های هیدروکسیل در هیدروکسی پرولین با پیوند هیدروژنی بین زنجیره ای از طریق یک مولکول آب و همچنین پیوند هیدروژنی مستقیم به گروه کربونیل نقشی در پایداری مارپیچ ایفا می کنند (et al., 2014). گزارش شده است که ژلاتین های استخراج شده از بقایای جوجه یا بوقلمون بدون استخوان زدایی مکانیکی بالاترین ارزش بلم را در PG نشان می دهند. به عنوان مثال، مقادیر بلم ۲۶۰، ۲۹۴، ۳۳۸، ۳۵۵، ۴۳۹، ۵۲۰ و ۸۳۱ برای پوست اردک، ژلاتین فرآورده های جانبی مرغ، ژلاتین گوشت بوقلمون جدا شده مکانیکی، ژلاتین سر مرغ، ژلاتین استخوان مرغ، ژلاتین باقی مانده بدون استخوان مرغ، گزارش شده است (Abedinia et al., 2020). استحکام ژلاتین پای مرغ مورد آزمون در این تحقیق ۱۰۸/۵۱

به دست آمد که بنابر گزارش تحقیقات قبلی و قدرت ژل ژلاتین در این پژوهش، پای مرغ می تواند دارای میزان بالایی اسید آمینه هیدروکسی پرولین باشد. پرولین و هیدروکسی پرولین مسئول ساختار ثانویه منحصربه فرد کلاژن هستند. این اسیدهای آمینه چرخش ستون فقرات پلی پپتید را محدود می کند و در نتیجه به پایداری مارپیچ سه گانه کمک می کند. گروه هیدروکسیل هیدروکسی پرولین نقش مهمی در تثبیت مارپیچ سه گانه کلاژن دارد (Gómez-Guillén et al., 2011).

بررسی خواص رئولوژیک ژلاتین

ناحیه ویسکوالاستیک خطی

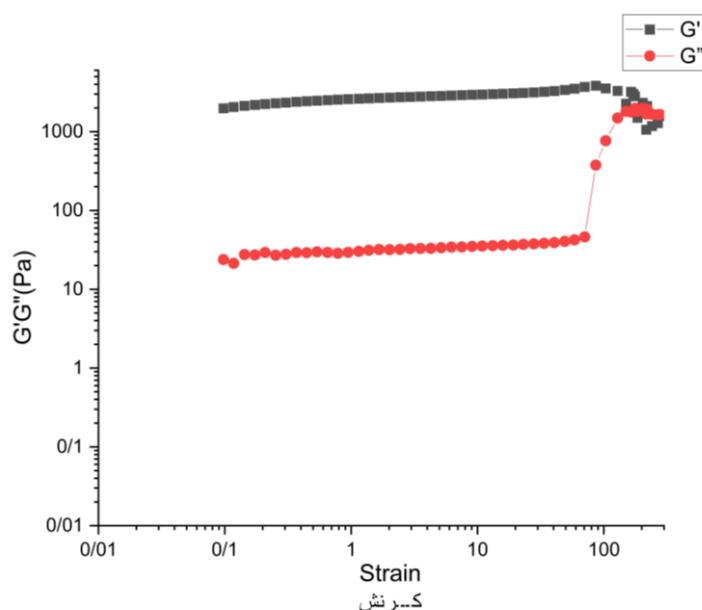
محدود ویسکوالاستیک خطی آزمونی جهت تعیین ژل های قوی از ضعیف است. بیشتر بودن ناحیه ویسکوالاستیک خطی نشانه ی پایداری بیشتر امولسیون در آزمون روبش کرنش است. در این آزمون خطوط مدول ذخیره و افت تا محدوده کرنش ۱۰۰ از حالت افقی خارج نشدند و مدول ذخیره G' بالاتر از G'' بود بدین معنی که ژل حالت

1- Storage modulus

2- Loss modulus

مدول‌های الاستیک و ویسکوز همدیگر را قطع می‌کنند و ژل دچار تغییر شکل می‌شود.

ویسکوز ندارد و استحکام بالاتری در محدوده خطی دارد و با حذف تنش ژل به حالت اولیه خود باز می‌گردد. اما در کرنش بالاتر



شکل ۳- مدول ذخیره G' و مدول افت G'' ژل ژلاتین پای مرغ در ناحیه ویسکوالاستیک خطی

Fig. 3. Storage modulus G' and drop modulus G'' of chicken leg gelatin gel in the linear viscoelastic region

فرکانس بالاتر احتمال نزدیک شدن نمودار دو مدول ذخیره و افت وجود داشت که علت آن را تضعیف شبکه ژلی دانستند.

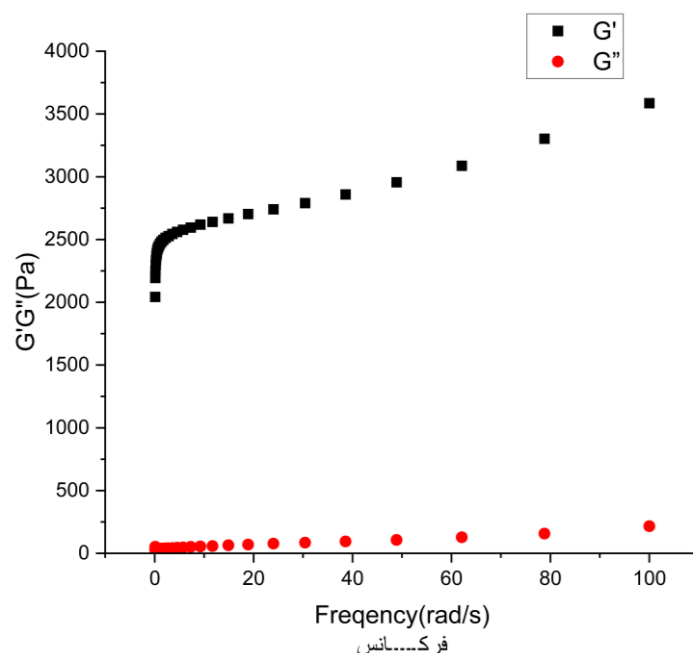
رویش فرکانس

در شکل ۴ نمودار رویش فرکانس ژلاتین پای مرغ نشان داده شده است. در ژلهای قوی در تمامی گستره فرکانس‌ها مدول G' از G'' بالاتر بوده و برخلاف ژل ضعیف هر دو مدول مستقل از فرکانس هستند. ژل قوی در اثر ایجاد اتصالات عرضی به مقدار کافی بین مولکول‌های پلیمر ایجاد شده و شبکه سه بعدی تشکیل می‌شود. دو مدول G' و G'' در محدوده فرکانسی بر هم منطبق نشدند می‌توان گفت ژلاتین مورد پژوهش استحکام بالایی داشته و غنی از ایمینواسید است و در این دما الاستیک است و وابستگی کمی به فرکانس دارد و تاییدکننده آزمون ویسکوالاستیک خطی است. با افزایش غلظت، امکان ایجاد اتصالات عرضی افزایش پیدا می‌کند. همچنین معمولاً ژلهای قوی (مانند ژلاتین) دارای تنش تسلیم بسیار بالایی هستند ولی ژلهای ضعیف مانند (ژل‌گزانتان) تنش تسلیم بسیار پایینی دارند. با توجه به مطالب بالا و اینکه دو مدول G' و G'' در محدوده فرکانسی بر هم منطبق نشدند می‌توان گفت ژلاتین مورد پژوهش استحکام بالایی داشته و غنی از ایمینواسید است و در این دما الاستیک بوده و وابستگی کمی به فرکانس دارد. در مطالعه رضایی زاده و رفتنی امیری (Rezaeizadeh & Raftani Amir, 2017)، در محدوده فرکانس ۱۰۰ هرتز مدول $G' > G''$ بود و در

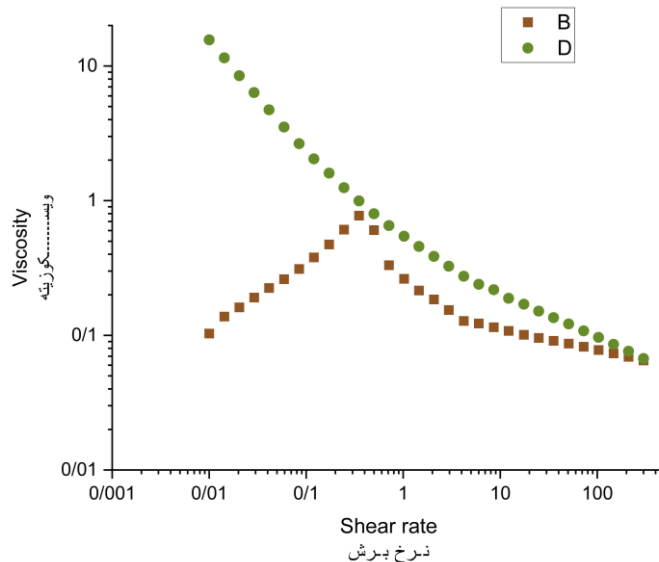
رفتار جریانی (ویسکوزیته)

نمودار رویش رفتار جریانی ژلاتین پای مرغ را در شکل ۵ مشاهده می‌کنید که با افزایش سرعت برش، مقدار ویسکوزیته کاهش پیدا می‌کند نمونه از نوع رقیق شونده با برش است. منحنی رویش برگشت منطبق با منحنی رویش رفت نشد یعنی هنگامی که تنش برشی اعمال شد کمی زمان نیاز است تا نمونه به حالت ابتدایی خود بازگردد. اگر منحنی‌ها برهم منطبق می‌شدند حاکی از این بود که ژل بلافاصله به حالت اولیه بازگشته است. نمونه در این تحقیق در دمای ۳۰ درجه تحت آزمون قرار گرفته است بنابراین وجود هیسترسیس و نبود انطباق منحنی‌ها طبیعتاً اتفاق می‌افتد. ویسکوزیته محلول ژلاتین غلیظ عمدتاً به برهم‌کنش‌های هیدرودینامیکی بین مولکول‌های ژلاتین بستگی دارد. مشارکت حلال (آب) و هر مولکول ژلاتین با افزایش غلظت، کمتر و کمتر می‌شود. ویسکوزیته همچنین به دما (بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد، ویسکوزیته به صورت تصاعدی با افزایش دما کاهش می‌یابد)، به pH (ویسکوزیته در نقطه ایزوالکتریک حداقل است) و غلظت بستگی دارد (Poppe, 1992). در مطالعه رضایی زاده و رفتنی امیری (Rezaeizadeh & Raftani Amir,

(2017) ژلاتین پای مرغ ابتدا رفتار غلیظ شونده با برش نشان داده بود. با افزایش نرخ برش، ویسکوزیته نمونه نیز کاهش یافته است. اما از سرعت برشی ۰/۱ رفتار رئولوژیکی ژلاتین رقیق شونده با برش



شکل ۴- مدول ذخیره G' و مدول افت G'' ژل ژلاتین پای مرغ در محدوده ای از فرکانس
Fig. 4. Storage modulus G' and drop modulus G'' of chicken leg gelatin gel in a range of frequency



شکل ۵- رویش رفت و برگشت ویسکوزیته ژلاتین پای مرغ
Fig. 5. Reversing the viscosity of chicken foot gelatin

کم به هم نزدیک شده و سپس در نقطه‌ی ۳۴/۷۳ به هم برخورد کرده‌اند که این نقطه‌ی ذوب ژل است. سپس دما از ۶۰ درجه شروع به کاهش کرده تا در نقطه‌ی ۲۸/۸۹، مجدد نمودار G' و G'' همدیگر

رویش دما

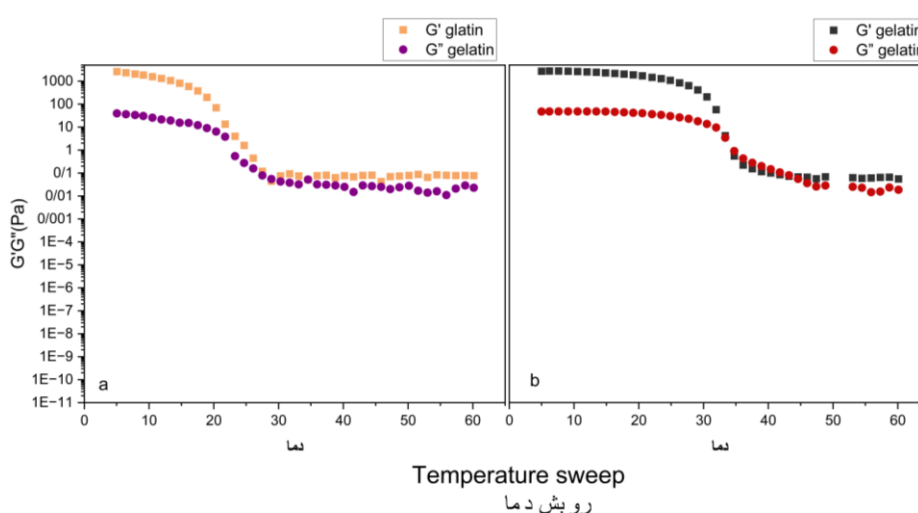
آزمون در بازه دمایی ۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. با شروع آزمون در دمای ۵ درجه با افزایش حرارت، مدول‌های G' و G'' کم

است. همچنین نقطه ذوب بالا در این مطالعه ممکن است به محتوای بالای اسیدهای ایمینو نسبت داده شود. پرولین نقش عمده‌ای در ترویج تشکیل ماریج پلی‌پرولین ایفا می‌کند (Sarbon *et al.*, 2013). بوران و همکاران (Boran, Mulvaney, & Regenstein, 2010) نشان دادند ژلاتین تهیه‌شده از پوست ماهی کپور نقره‌ای دارای دمای ژل شدن 18 ± 3 می‌باشد که در مقایسه با ژلاتین گاوی با دمای تشکیل ژل 24 ± 1 و ژلاتین خوک با 25 ± 1 بسیار کمتر است. بنابراین گزارش دمای ژل شدن ژلاتین پای مرغ در این پژوهش به دمای بستن ژل در ژلاتین حاصل از منبع خوک نزدیک است. در مطالعه عسگرزاده و همکاران (Asgarzadeh *et al.*, 2020) دمای ذوب شدن ژل ژلاتین فانوس ماهی 23 ± 5 درجه سانتی‌گراد و در پژوهش رضایی زاده و رفتی امیری (Rezaeizadeh & Raftani Amiri, 2017) نقطه ذوب ژلاتین پای مرغ $39/64$ درجه سانتی‌گراد اعلام گردید. با توجه به این گزارشات نقطه ذوب به‌دست آمده از این پژوهش ($34/73$ درجه سانتی‌گراد) نزدیک به دمای ذوب ژلاتین استخراجی از فانوس ماهی بود.

را قطع کردند که محل تقاطع آن‌ها نقطه بستن ژل است (شکل ۶). نقطه ذوب تحت تأثیر موارد زیر است:

۱. زمان تشکیل ژل مستحکم: نشان دادند که نقطه ذوب ژلاتین با گرید بالا به شرایط در ساعت اول مستحکم شدن ژل بستگی دارد.
۲. غلظت: نقطه ذوب با افزایش غلظت ژلاتین افزایش می‌یابد.
۳. نمک‌ها: کلرید سدیم نقطه ذوب ژلاتین را کاهش می‌دهد (Poppe, 1992).

بالابودن نقطه ذوب در ژلاتین با وزن زنجیره مولکولی آن در ارتباط است. هرچه میزان زنجیره آلفا ۱ به آلفا ۲ بیشتر باشد نقطه ذوب افزایش می‌یابد. یعنی هر چه میزان پپتیدهای کوچک‌تر از زنجیره آلفا بیشتر باشد زمان تشکیل ژل افزایش می‌یابد (Mobini, Nateghi, & Eshaghi, 2021). بنابراین می‌توان گفت در این پژوهش به‌دلیل افزایش میزان زنجیره آلفا نقطه ذوب افزایش یافته



شکل ۶- مدول ذخیره G' و مدول افت G'' ژل ژلاتین پای مرغ در روبش گرمایشی و سرمایشی نمودار a روبش سرمایشی و نمودار b روبش گرمایشی را نشان می‌دهد.

Fig. 6. Storage modulus " G' " and loss modulus " G'' " of chicken foot gelatin gel in heating and cooling scans. Graph a show the cooling scan and graph b shows the heating scan

جدول ۳- نتایج بررسی کیفی نمونه‌های مارشمالو

Table 3- The results of the qualitative examination of marshmallow samples

نمونه Sample	Overrun کف‌پذیری	Aw فعالیت آبی	Moisture رطوبت
مارشمالو ۶٪ Marshmallow 6%	30	0.783	33.54
مارشمالو ۸٪ Marshmallow 8%	40	0.797	33.79

نتایج بررسی محصول مارشمالو

اندازه‌گیری overrun

اورران نمونه‌های مارشمالو در جدول ۳ ارائه شده است. اورران در نمونه حاوی ۸ درصد ۴۰ و در مارشمالوی ۶ درصد ژلاتین ۳۰ بود. تشکیل فیلم بر روی حباب‌های فوم تحت تأثیر غلظت پروتئین است و فشار سطحی تابعی از ترکیب و غلظت پروتئین در سطح مشترک هوا/آب است (Alleoni, 2006). بنابراین حضور ژلاتین به میزان ۸ درصد و افزایش پروتئین در سوسپانسیون سورفاکتانت هوادهی شده می‌تواند کشش سطحی را به میزان بیشتری کاهش دهد و در طول حرکت سطحی، پروتئین‌های نیمه باز شده، پیوندهای بین مولکولی جدیدی با مولکول‌های همسایه تشکیل می‌دهند و لایه‌های منسجمی را تشکیل داده که برای تشکیل کف ضروری است. بنابراین فوم‌هایی که با غلظت بالاتری از پروتئین به دست می‌آیند به دلیل افزایش ضخامت لایه‌های سطحی، متراکم‌تر و پایدارتر هستند (Periche et al., 2016).

سنجش بافت

ویژگی‌های بافتی ماده غذایی آن دسته ویژگی‌های فیزیکی هستند که از اجزای سازنده ماده غذایی منشأ گرفته و عمدتاً توسط حواس ششگانه درک می‌شود. مطابق با نتایج اثر غلظت‌های مختلف ژلاتین بر شاخص‌های بافتی مانند سختی، صمغیت، چسبندگی، قابلیت جویدن و ... مورد بررسی قرار گرفته و در جدول ۴ ارائه شدند. سفتی: مقاومت ماده غذایی نسبت به اعمال نیروی فشار به کار گرفته شده است. در فاکتور سختی بافت بین نمونه ۸ درصد ژلاتین با نمونه ۶ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در نمونه ۸٪ ژلاتین، غلظت ژلاتین بالاتر منجر به تشکیل شبکه‌های ژل قوی‌تر در بافت می‌شود (Mardani et al., 2022). ژلاتین باعث جویدن مارشمالو به وسیله تشکیل یک شبکه سه بعدی در هم پیچیده از زنجیره‌های پلیمری می‌شود. هنگامی که ژلاتین در آب گرم حل می‌شود، یک دیسپرسیون

تشکیل می‌دهد که منجر به اتصال عرضی زنجیره‌های مارپیچ شکل آن می‌شود. پیوند در شبکه پروتئین ژلاتین، به نام "مناطق اتصال" رخ می‌دهد (Du Toit et al., 2016). تان و لیم (Tan & Lim, 2008) اظهار داشتند که تشکیل شبکه ژلاتینی به سخت شدن در مارشمالو کمک می‌کند (Santoso, Pranoto, Afriyanti, & Mulyani, 2019). در فاکتور جویدن بین مارشمالوی ۶ و ۸ درصد اختلاف معنادار وجود ندارد.

الاستیسیته: توانایی نمونه برای بازگشت به حالت اولیه بعد از حذف نیروی تغییر شکل دهنده است. پیوستگی: مقاومت درونی ساختار ماده غذایی است و میزان آن به برهمکنش درون مولکولی اجزای فرمول بستگی دارد (Mojavarian, Bardani Amiri, & Shahiri Tabarestani, 2019). در پارامترهای قابلیت ارتجاع و پیوستگی بین نمونه‌ها اختلاف معناداری مشاهده نشد.

صمغی بودن: میزان تراکم ماده غذایی که در برابر جویدن مقاومت می‌کند را نشان می‌دهد. چسبندگی: کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروی جاذبه بین ماده با سطح سایر مواد که در تماس با آن است (Mojavarian et al., 2019). فاکتورهای صمغیت و چسبندگی بین مارشمالوها اختلاف معنی‌دار بود. عامل ژلاتین و ویسکوزیته که در کف‌پذیری و در نهایت سختی بافت مؤثر بودند بر این دو مشخصه بافتی هم تأثیرگذار بوده‌اند. در مطالعه فیوضی و همکاران (Fiyuzi, Mazaheri Tehrani, & Khazaei, 2016) در فرآورده ژله خرما مشکل از نسبت‌های مشخصی از ژلاتین، زانتان و آب پنیر، افزایش غلظت ژلاتین در فرمولاسیون سبب سفتی بافت و استحکام شبکه ژلی شده‌است. در مطالعه مجاوریان و همکاران (Mojavarian et al., 2019) سفتی نمونه‌ها از ۱۸۴۳ تا ۴۱۶۰ گرم بود و میزان ژلاتین و کنسانتره انگور بر مؤلفه سفتی بافت اثر افزایشی داشته‌است و ژلاتین نقش اصلی را در تشکیل ساختمان ژل و سفتی آن بر عهده داشته است.

جدول ۴- نتایج بررسی فاکتورهای بافت در آنالیز

Table 4- The results of examination of tissue factors in TPA analysis

نمونه Sample	سختی Hardness	پیوستگی Cohesiveness	قابلیت ارتجاع Springiness	صمغیت Gumminess	چسبندگی Adhesiveness	قابلیت جویدن Chewiness
مارشمالو ۶٪ Marshmallow6%	460 ^b	0.9362 ^a	7.31 ^a	420.33 ^b	1.116 ^b	32.99 ^a
مارشمالو ۸٪ Marshmallow8%	1108.33 ^a	0.95 ^a	4.59 ^a	822.33 ^a	2.59 ^a	37.10 ^a

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ می‌باشد.

Different letters in each column indicate a significant difference at the confidence level of 0.05%.

جدول ۵- سنجش فاکتورهای رنگ در مارشمالو
Table 5- Measurement of color factors in marshmallow

نمونه Sample	a	b	L
مارشمالو ۶٪ Marshmallow6%	1.015 ^a	0.343 ^a	2.267 ^b
مارشمالو ۸٪ Marshmallow8%	0.903 ^a	0.342 ^a	3.603 ^a

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ می‌باشد.

Different letters in each column indicate a significant difference at the confidence level of 0.05%.

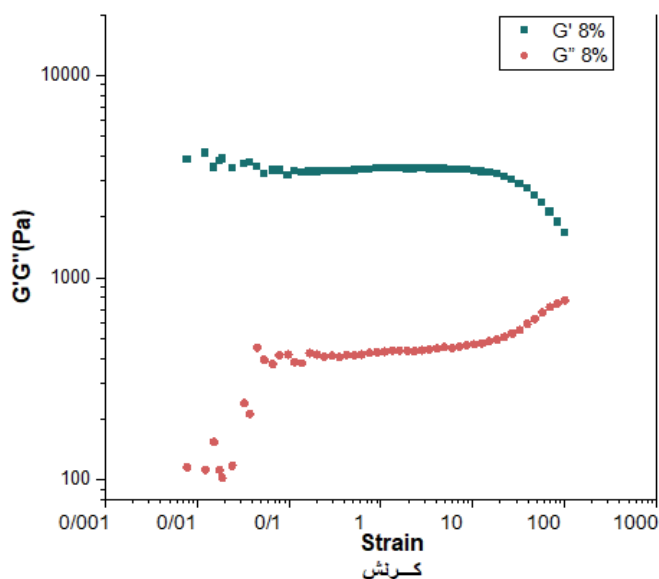
ناحیه ویسکوالاستیک خطی

برای تعیین ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌ها از دو مدول ذخیره (بزرگی انرژی ذخیره شده در ماده) و افت (بزرگی انرژی تلف شده در ماده) استفاده می‌شود. در این آزمون ناحیه ویسکوالاستیک خطی هر قدر مدول ذخیره بالاتر از افت باشد ژل حالت ویسکوز ندارد و از حالت الاستیک قوی‌تری ژل برخوردار است و در نتیجه با افزایش فشار و نیرو جریان پیدا نمی‌کند و به فرم اولیه خود باز می‌گردد و دارای رفتار جامد گونه در محدوده ویسکوالاستیک است. با توجه به این مطالب برای نمونه ۸٪ و ۶٪ دو مدول ذخیره و افت در کرنش ۱۰۰ به هم نزدیک می‌شوند و احتمالاً در کرنش بالای ۱۰۰ همدیگر را قطع کرده و بافت نمونه دچار تغییر شود. در نمونه ۸٪ فاصله‌ی خطوط G' و G'' بیشتر از سایر مارشمالوها می‌باشد و از خصوصیت الاستیک بیشتری برخوردار است.

سنجش رنگ

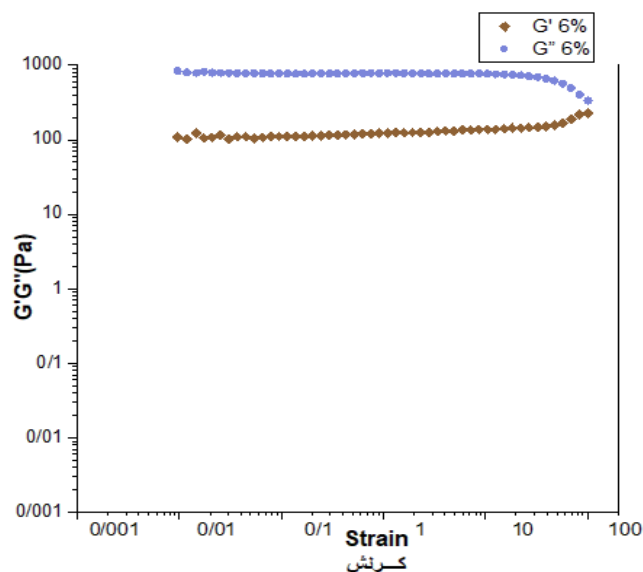
رنگ یکی از اولین ویژگی‌های ظاهری محصول می‌باشد که در جلب نظر مصرف‌کنندگان مؤثر است. نتایج آنالیز رنگ در جدول ۵ ذکر شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فاکتور L در نمونه‌های مارشمالو حاوی شکر سفید اختلاف معنی‌دار بود که درصد ژلاتین عاملی بوده است که بر فاکتور L یا درخشندگی محصول تأثیر داشته و با افزایش ژلاتین درخشندگی هم افزایش یافته است و در فاکتورهای a و b بین نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

بررسی خواص رئولوژیک مارشمالو



شکل ۷- مدول ذخیره G' و مدول افت G'' مارشمالوی حاوی ۸ درصد ژلاتین در ناحیه ویسکوالاستیک خطی

Fig. 7. Storage modulus G' and drop modulus G'' of marshmallows containing 8% gelatin in the linear viscoelastic region

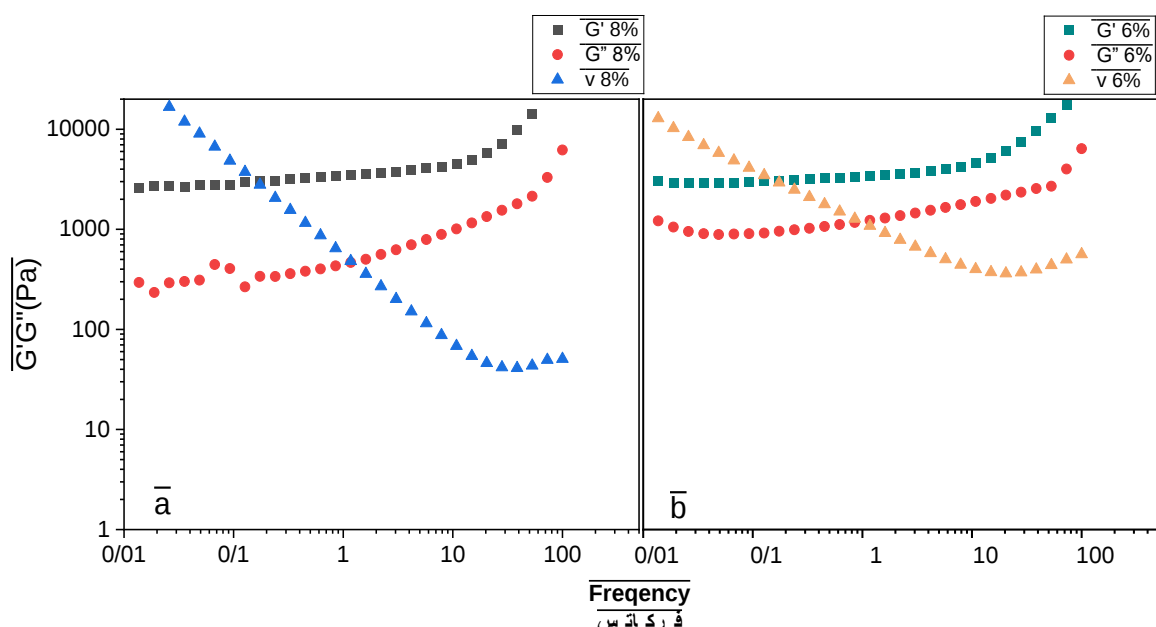


شکل ۸- مدول ذخیره G' و مدول افت G'' مارشمالوی حاوی ۶ درصد ژلاتین در ناحیه ویسکوالاستیک خطی
Fig. 8. Storage modulus G' and drop modulus G'' of marshmallows containing 6% gelatin in the linear viscoelastic region

نشان‌دهنده رفتار کشسانی و توانایی زنجیره ملکولی آنها برای تشکیل شبکه بود (Mardani et al., 2019). در همه نمونه‌ها ویسکوزیته پیچیده بصورت خطی با افزایش فرکانس اعمال شده کاهش می‌یابد که منعکس کننده رفتار نازک شونده برشی نمونه‌هاست (Mardani et al., 2022).

رویش فرکانس

در شکل ۹ مدول ذخیره‌سازی در تمام نمونه‌ها بالاتر از مدول افت بود و در محدوده فرکانس اعمال شده هیچ نقطه متقاطع مشاهده نشد که می‌تواند به‌عنوان یک ماده ویسکوالاستیک از نوع ژل در نظر گرفته شود و مدول تلفات کمتر از مدول ذخیره‌سازی بود که



شکل ۹- مدول ذخیره G' و مدول افت G'' مارشمالوی حاوی ۸ درصد ژلاتین (نمودار a) و مارشمالوی حاوی ۶ درصد ژلاتین (نمودار b) در محدوده فرکانس ۱۰۰ هرتز

Fig. 9. Storage modulus " G' " and loss modulus " G'' " of marshmallows containing 8% gelatin (diagram a) and marshmallows containing 6% gelatin (diagram b) in the frequency range of 100 Hz

ذوب و آنتالپی نمونه‌های مارشمالو گزارش شده است. نمونه‌های مارشمالوی ۸ درصد ژلاتین و ۶ درصد ژلاتین به ترتیب بیشترین تا کمترین نقطه ذوب را داشتند. نقطه ذوب بالاتر نمونه ۸ درصد به دلیل سختی بالاتر و بافت فشرده‌تر و افزایش انرژی مورد نیاز برای ذوب مربوط می‌باشد (Mardani et al., 2022).

شکل ۱۰ ترموگرام‌های DSC نمونه‌های مارشمالو را نمایش می‌دهد که در هر کدام یک پیک اندوترم که از دمای حدود ۵۰ درجه شروع شده و تا حدود ۱۰۰ درجه ادامه داشته وجود دارد. اوج این پیک گرماگیر از همپوشانی چند فرآیند منشا می‌گیرد. ۱. تبخیر آب ۲. ذوب و تبلور مجدد کریستال‌های کوچک یا ناقص ژلاتین به اصطلاح اولین انتقال شیشه‌ای ژلاتین که با انتقال شیشه‌ای قطعات اسید آمینه در زنجیره پلی‌پپتیدی ارتباط دارد (Patil, Mark, Apostolov, 2000). هر چه محتوای آب بیشتر باشد پیک پهن‌تری تشکیل می‌شود.

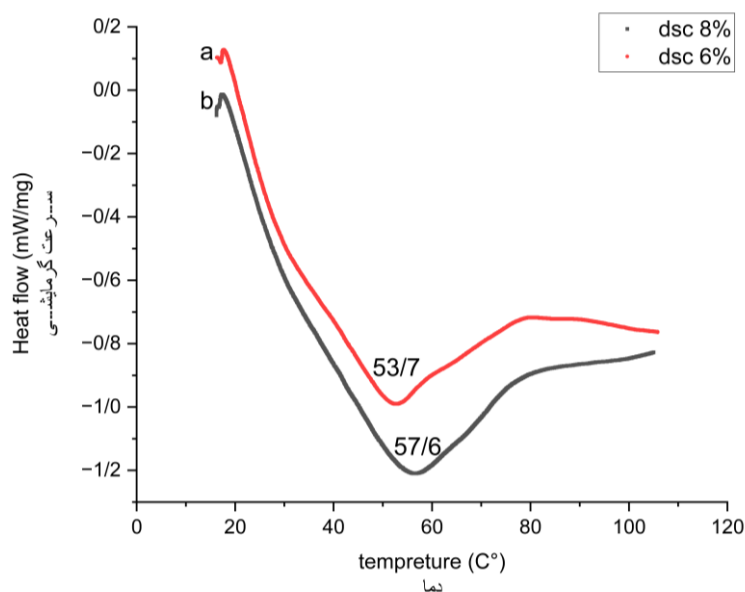
بیشترین شیب مدول‌ها مربوط به مارشمالو ۸٪ است که نشان دهنده تشکیل ژل قوی‌تر از نمونه‌های دیگر است. در فرکانس بیشتر از ۱۰ هرتز نمونه ۸ درصد رفتار الاستیک بیشتری از خود نشان داد. الاستیسیته بالا ممکن است به دلیل اورران کم، عدم تشکیل کف مناسب و بافت فشرده در محصول باشد (Mardani et al., 2019). همچنین اتصالات داخل زنجیره‌ای زمان کافی برای بازآرایی در فرکانس‌های بالا را نداشتند و خواص الاستیکی در فرکانس بالا افزایش یافته است.

آنالیز کالریمتری اسکن افتراقی DSC

ابزار محبوبی است که تغییرات خاصی را با استفاده از تابعی از دما و سرعت جریان گرما پیش‌بینی می‌کند. اندازه‌گیری نقطه ذوب و آنتالپی فوم ژل‌ها به دلیل تأثیر آنها بر حس دهان مصرف‌کننده و همچنین دمای نگهداری محصول و مقاومت در برابر پاستوریزاسیون حرارتی حائز اهمیت است (Mardani et al., 2022). جدول ۶ نقاط

جدول ۶- نتایج نقطه ذوب و آنتالپی مارشمالو
Table 6- Melting point and enthalpy results of marshmallow

نمونه	نقطه ذوب	انتالپی
Sample	Melting point	Enthlpy
مارشمالو ۶٪	53.7	128.481
Marshmallow6%		
مارشمالو ۸٪	57.6	449.994
Marshmallow8%		

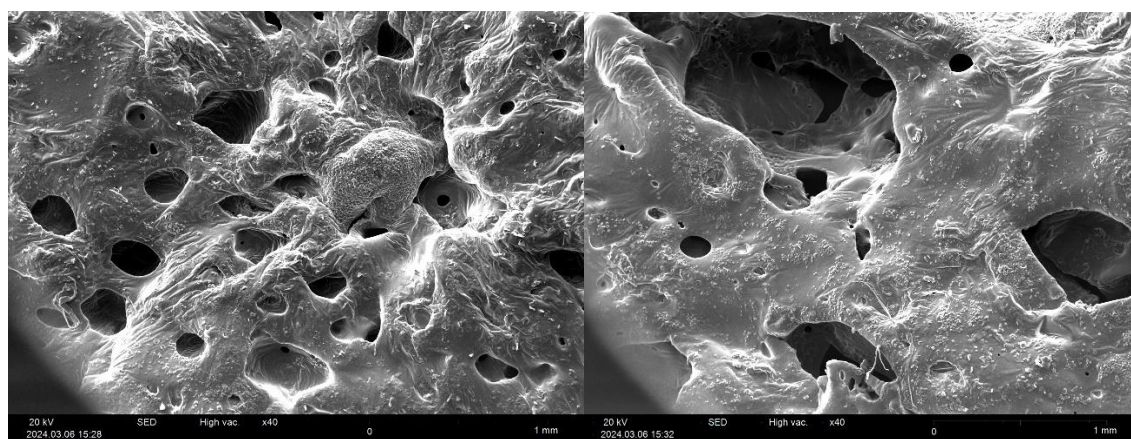


شکل ۱۰- ترموگرام DSC نمونه‌های مارشمالوی حاوی ۶ درصد (a) و ۸ درصد (b) ژلاتین پای مرغ
Fig. 10. DSC thermogram of marshmallow samples containing 6% (a) and 8% (b) chicken feet gelatin

بررسی میکروسکوپی بافت مارشمالو

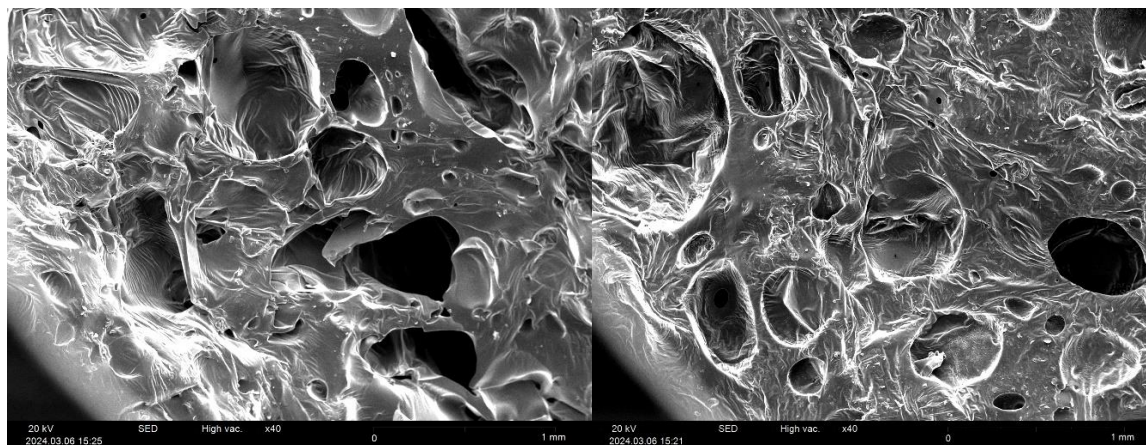
اندازه و توزیع حباب یکی از چالش‌های اصلی در تولید محصولات هوادهی است. بسیاری از نویسندگان اهمیت قطر حباب و توزیع آن در غذاهای هوادهی شده را گزارش کرده‌اند. توزیع یکنواخت سلول‌های هوای کوچک، هم آزاد شدن طعم و هم ظاهر محصول را بهبود می‌بخشد. تفاوت قطر حباب‌ها می‌تواند روی خواص مورفولوژی و بافتی یک محصول اثر بگذارد. به‌طور کلی، ساختار حباب‌ها در محصولات فوم جامد به‌عنوان سلول‌های هوا توصیف شده است که به شکل کروی هستند و توسط یک لایه از هم جدا شده‌اند (2022)

(Mardani et al.,). با توجه به تصاویر با افزایش ژلاتین در نمونه به ۸ درصد شبکه‌ای ژلی با حباب هوای کمتر و غیر یکنواخت‌تر با قطر بیشتر تشکیل شده است که دلیل آن افزایش ویسکوزیته و قوام که مانع از ورود هوا هنگام هم زدن شده و کاهش در دسترس بودن سورفکتانت و قرار گرفتن کمتر آن در لایه سطحی و کاهش هوادهی و سختی بافت محصول می‌باشد (شکل ۱۱). در مارشمالو ۶ درصد ژلاتین وجود غلظت ساپونین و زنجیره‌های قند بیشتر در سیستم، می‌تواند اتصالات بیشتر و پوشش بهتر حباب‌ها را ایجاد کند که در بیشتر نواحی حباب‌های بیشتر و یکنواخت‌تر تشکیل شده‌اند (شکل ۱۲).



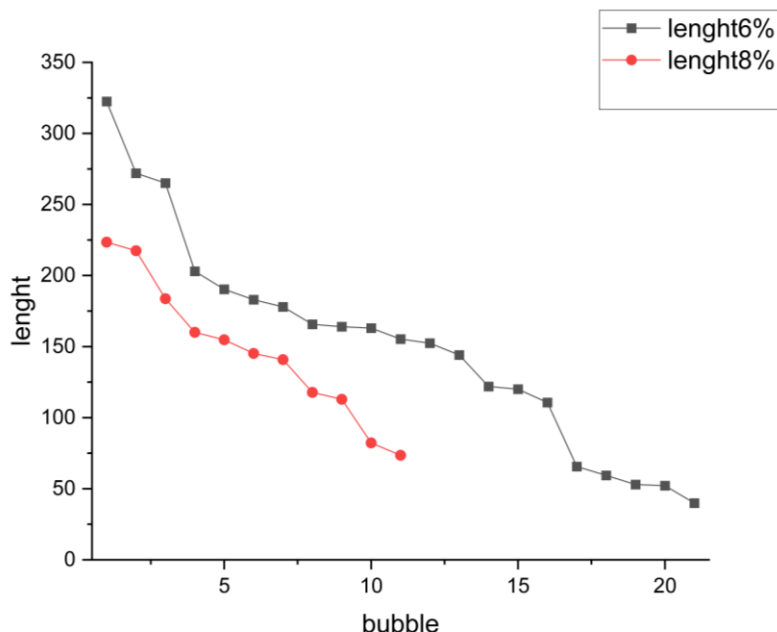
شکل ۱۱- تصویر میکروسکوپی بافت مارشمالوی حاوی ۶ درصد ژلاتین توسط میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۲۰

Fig. 11. Microscopic image of marshmallow tissue containing 6% gelatin by electron microscope with 20 magnifications



شکل ۱۲- تصویر میکروسکوپی بافت مارشمالوی حاوی ۸ درصد ژلاتین توسط میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۲۰

Fig. 12. Microscopic image of marshmallow tissue containing 8% gelatin by electron microscope with 20 magnifications



شکل ۱۳- نمودار طول حباب‌های هوای تشکیل شده در نمونه‌های مارشمالوی مورد پژوهش
Fig. 13. Diagram of the length of air bubbles formed in the marshmallow samples under study

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از سنجش حسی نمونه‌های مارشمالو در جدول ۷ گزارش شده است. اساساً اندازه‌گیری کیفیت یک فرآورده بر اساس اطلاعات دریافتی از پنج حس بینایی، بویایی، چشایی و لامسه ارزیابی حسی گفته می‌شود، که این روش بهترین راه برای ارزیابی طعم و بافت در مواد غذایی جدید به‌ویژه غذاهای ترکیبی یا فرموله شده در مراحل اولیه توسعه است (Fiyuzi et al., 2016). با توجه به یافته‌های این بررسی و تحلیل پاسخ ارزیابان درصدهای مختلف ژلاتین روی شدت رنگ نمونه اثر معناداری نداشت. از نظر مقبولیت رنگ، مارشمالو ۸ درصد با امتیاز ۴ بیشترین امتیاز را دارا شد. با افزودن ۸ درصد ژلاتین به تیمار سختی بافت به‌صورت معناداری روند افزایشی داشته است. همچنین با افزودن ۸ درصد ژلاتین به تیمار به‌صورت معنادار سختی بافت روند افزایشی داشته است. به نظر

می‌رسد برهمکنش بین ژلاتین و گروه قندی و جذب آب به بافت انسجام و سختی بیشتری بخشیده و ساکارز به پایداری این ساختار کمک کرده است. از حیث پارامتر صمغی بودن نمونه ۸ درصد با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین امتیاز را دریافت کرد. در شاخص ارزیابی شده عطر بین نمونه ۸ درصد و ۶ درصد ژلاتین اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در نمونه ۸ درصد، افزایش درصد ژلاتین در فرمولاسیون و سخت شدن بافت رهایش مواد طعمی کاهش داده است. در نمونه ۶ کاهش ویسکوزیته و بهبود کف‌پذیری در آزاد شدن ترکیب معطر تأثیر مثبت داشته است. از نظر ظاهری بین نمونه‌های مارشمالو شاهد و سایر نمونه‌ها اختلاف معنادار بود. فرآورده فرموله شده ۶ درصد ژلاتین در این سنجش حسی بهترین امتیاز و مطلوبیت را به‌دست آورد.

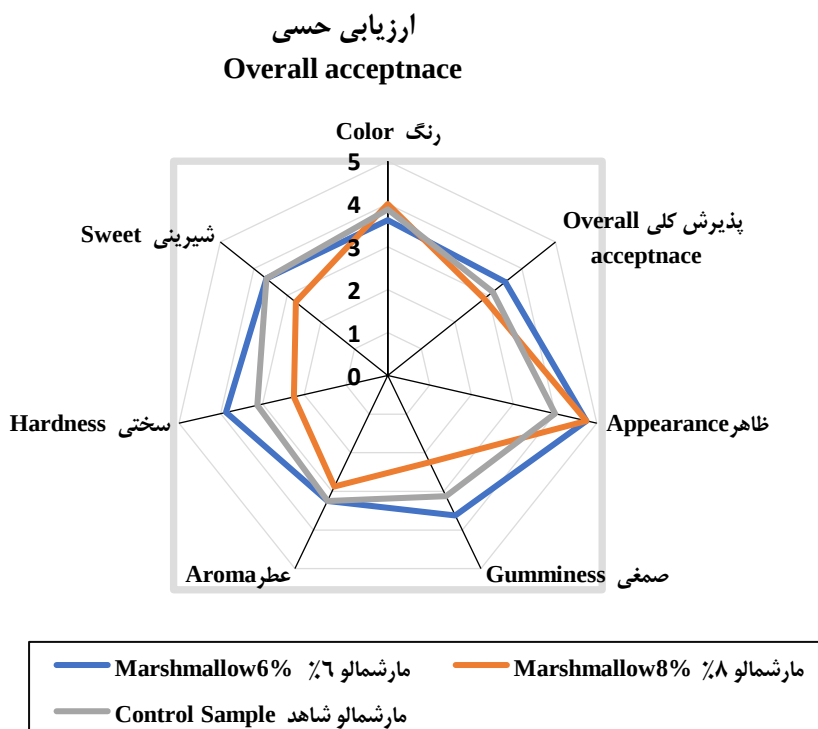
جدول ۷- نتایج ارزیابی حسی مارشمالو

Table 7- Marshmallow sensory evaluation results

نمونه Sample	رنگ Color	شیرینی Sweets	سفتی Hardness	عطر Aroma	صمغی Gumminess	ظاهر Appearance	پذیرش کلی Overall acceptance
مارشمالو ۶٪ Marshmallow 6%	3.625 ^a	3.625	3.875 ^a	3.25 ^a	3.625 ^a	4.75 ^a	3.5 ^a
مارشمالو ۸٪ Marshmallow 8%	4 ^a	2.75	2.25 ^b	2.875 ^b	2.25 ^b	4.75 ^a	2.875 ^b
مارشمالو شاهد Control sample	3.875 ^b	3.625	3.125 ^c	3.25 ^a	3.125 ^a	4 ^b	3.125 ^a

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ می‌باشد.

Different letters in each column indicate a significant difference at the confidence level of 0.05%.



شکل ۱۴- نمودار ارزیابی حسی نمونه‌های مارشمالو
Fig. 14. Diagram of sensory evaluation of marshmallow samples

نتیجه‌گیری

در این پژوهش جایگزینی ژلاتین پای مرغ در دو سطح (۶/۸، ۸/۸) در محصول مارشمالو مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهایی مانند تأثیر ژلاتین بر بافت، رنگ، فعالیت آبی، نقطه ذوب آنالیز شدند. مطابق با نتایج، نقاط ذوب و بستن ژلاتین به ترتیب ۳۴/۷۳ و ۲۸/۸۹ به دست آمد. میزان بازده ژلاتین استحصالی $11/81 \pm 3/25$ بود. نرخ تبدیل کلاژن به ژلاتین بستگی به پارامترهای (دما، زمان، pH)، ماده خام اولیه و نحوه پیش تیمار آن دارد. استحکام ژلاتین پای مرغ تحت آنالیز بافت $1105 \pm 889/33$ بود که نشان‌دهنده قدرت بلوم بالا به دلیل وجود مقدار بالای اسید آمینه‌های پرولین و هیدروکسی پرولین است که باعث افزایش قدرت ژل می‌شوند. در شاخص L (نماینده طیف رنگ سیاه تا سفید) اختلاف معنی‌داری بین محلول ژلاتین و پودر ژلاتین مشاهده گردید، به طوری که میزان روشنایی محلول ژلاتین بیشتر از فرم پودری آن بود ($p < 0/05$). در محصول مارشمالو نقطه ذوب نمونه‌های ۶ و ۸ درصد به ترتیب ۵۲/۷، ۵۶/۲ به دست آمد. در فعالیت آبی و سختی بافت بین نمونه‌ی ۶ و ۸ درصد ژلاتین اختلاف معنادار نبوده و دارای aw، ۰/۷۹۷ و ۰/۷۳۴ و سختی ۲۱۴/۶۶ و ۱۱۰۸/۳۳ بودند. در تصویربرداری SEM در این نمونه

فضای متخلخلی با حباب‌های کوچک هوا مشاهده شده است که با در دسترس قرار دادن بیشتر سورفکتانت در سطح مشترک هوا و مایع با کاهش بیشتر کشش سطحی، از طریق برهمکنش‌های مولکولی هوای وارد شده به سیستم ژلی را حبس و از فروپاشی و خروج آن از سیستم جلوگیری می‌کند. مطابق با نتایج حاصل از پژوهش و افزایش ضایعات طیور، ژلاتین استخراج شده از پای مرغ از حیث کیفیت و موضوع حلال و سلامتی مصرف‌کنندگان می‌تواند در فرمولاسیون‌های حاوی ژلاتین مورد استفاده قرار گیرد.

میزان مشارکت نویسندگان

فاطمه اسلامی: تحقیق و بررسی، نرم‌افزار، منابع، نوشتن (پیش‌نویس اصلی)، مدیریت داده‌ها، روش‌شناسی، مفهوم‌سازی.
زینب رفتی امیری: نظارت، مدیریت پروژه، اعتبارسنجی-نوشتن (بررسی و ویرایش).
علی معتمدزادگان: نظارت، مدیریت پروژه.
هایده گرجیان: نوشتن (بررسی و ویرایش)، اعتبارسنجی.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان نامه ارشد است که بدین وسیله از
حمایت های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جهت اجرا
تشکر به عمل می آید.

References

1. Abedinia, A., Nafchi, A.M., Sharifi, M., Ghalambor, P., Oladzadabbasabadi, N., Ariffin, F., & Huda, N. (2020). Poultry gelatin: Characteristics, developments, challenges, and future outlooks as a sustainable alternative for mammalian gelatin. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.001>
2. Alleoni, A.C.C. (2006). Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *Scientia Agricola*, 63, 291-298. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000300013>
3. Almeida, P.F., & Lannes, S.C.D.S. (2013). Extraction and physicochemical characterization of gelatin from chicken by-product. *Journal of Food Process Engineering*, 36(6), 824-833. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12051>
4. AOAC. (2006). Official methods of analysis of AOAC international (18th ed.). Virginia, USA: Association of Official and Analytical Chemists International. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.1380>
5. Asgarzadeh, F., Ataee, M., & Chobkar, N. (2020). Comparative comparison of the physicochemical properties of gelatin extracted from the lantern fish *Benthosema pterotum* Alcock, 1890) and bovine gelatin. *Scientific Journal of Iranian Fisheries*, 29(2), 53-63.
6. Boran, G., Mulvaney, S.J., & Regenstien, J.M. (2010). Rheological properties of gelatin from silver carp skin compared to commercially available gelatins from different sources. *Journal of Food Science*, 75(8), E565-E571. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01543.x>
7. Choe, J., & Kim, H.Y. (2018). Effects of chicken feet gelatin extracted at different temperatures and wheat fiber with different particle sizes on the physicochemical properties of gels. *Poultry Science*, 97(3), 1082-1088. <https://doi.org/10.3382/ps/pex381>
8. Cheow, C.S., Norizah, M.S., Kyaw, Z.Y., & Howell, N.K. (2007). Preparation and characterisation of gelatins from the skins of sin croaker (*Johnius dussumieri*) and shortfin scad (*Decapterus macrosoma*). *Food Chemistry*, 101(1), 386-391 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.046>
9. Du Toit, L., Bothma, C., De Wit, M., & Hugo, A. (2016). Replacement of gelatin with liquid *Opuntia ficus-indica* mucilage in marshmallows. Part1: Physical parameters. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 18, 25-39. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v18i.51>
10. Fiyuzi, B., Mazaheri Tehrani, M., & Khazaei, E. (2016). Formulation of dates gel and condensed whey and analysis of its sensory and chemical properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 12(1), 61-78.
11. Gómez-Guillén, M.C., Giménez, B., López-Caballero, M.A., & Montero, M.P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1813-1827. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>
12. Hosseiniparvar, S.H., Keramat, J., & Kadivar, M. (2007). Optimal conditions for extracting edible gelatin from bovine bones by acidic method using response surface regression RSREG. *Soil and Water Sciences (Isfahan University of Technology)*, 11(40), 317-330.
13. Lassoued, I., Jridi, M., Nasri, R., Dammak, A., Hajji, M., Nasri, M., & Barkia, A. (2014). Characteristics and functional properties of gelatin from thornback ray skin obtained by pepsin-aided process in comparison with commercial halal bovine gelatin. *Food Hydrocolloids*, 41, 309-318. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.04.029>
14. Mardani, M., Yeganehzad, S., & Niazmand, R. (2022). Structure–function relationship of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) root extract–xanthan/guar gum mixture in a high sugar content system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(3), 1056-1065. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11441>
15. Mardani, M., Yeganehzad, S., Ptichkina, N., Kodatsky, Y., Kliukina, O., Nepovinnykh, N., & Naji-Tabasi, S. (2019). Study on foaming, rheological and thermal properties of gelatin-free marshmallow. *Food Hydrocolloids*, 93, 335-341. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.033>
16. Mobini, E., Nateghi, L., & Eshaghi, M.R. (2021). Investigation of the conditions for producing pastilles using gelatin extracted from the fish Kilika and its physicochemical, rheological, and sensory properties compared to commercial gelatin (bovine). *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 17(5), 831-847. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v18i1.86414>
17. Mojavarian, S.P., Bardani Amiri, P., & Shahiri Tabarestani, M. (2019). Evaluation of sensory parameters of ginger pastille using response surface methods and principal component analysis. *Food Industry Engineering Research*, 18(1), 17-32.
18. Patil, R.D., Mark, J.E., Apostolov, A., Vassileva, E., & Fakirov, S. (2000). Crystallization of water in some crosslinked gelatins. *European Polymer Journal*, 36(5), 1055-1061. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(99\)00144-5](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(99)00144-5)

19. Poppe, J. (1992). Gelatin. In: Imeson, A. (eds) Thickening and Gelling Agents for Food. Springer, Boston, MA.
20. Periche, Á., Castelló, M.L., Heredia, A., & Escriche, I. (2016). *Stevia rebaudiana*, Oligofructose and isomaltulose as sugar replacers in Marshmallows: Stability and antioxidant properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4), 724-732. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12653>
21. Qhairul, N., Mohd, I., Razali, R.S., Ismail, N.K., Ramli, R.A., Rozzamri, A., & Shaarani, S. (2021). Application of green technology in gelatin extraction. *Processes*, 9(12), 1-23. <https://doi.org/10.3390/pr9122227>
22. Rezaeizadeh, A., & Raftani Amiri, Z. (2017). Extraction and properties of chicken foot gelatin and its application in watermelon jelly. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(2), 322-332. <https://doi.org/10.22067/iftstrj.v1395i0.48995>
23. Sarbon, N.M., Badii, F., & Howell, N.K. (2013). Preparation and characterisation of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.009>
24. Schrieber, R. (2007). *Gelatine handbook: Theory and industrial practice*. John Wiley & Sons.
25. Songchotikunpan, P., Tattiyakul, J., & Supaphol, P. (2008). Extraction and electrospinning of gelatin from fish skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 42(3), 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2007.11.005>
26. Shafiur Rahman, M., & Al-Mahrouqi, A.I. (2009). Instrumental texture profile analysis of gelatin gel extracted from grouper skin and commercial (bovine and porcine) gelatin gels. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup7), 229-242. <https://doi.org/10.1080/09637480902984414>
27. Shyni, K., Hema, G.S., Ninan, G., Mathew, S., Joshy, C.G., & Lakshmanan, P.T. (2014). Isolation and characterization of gelatin from the skins of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), dog shark (*Scoliodon sorrakowah*), and rohu (*Labeo rohita*). *Food Hydrocolloids*, 39, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.008>
28. Tan, J.M., & Lim, M.H. (2008). Effects of gelatine type and concentration on the shelf-life stability and quality of marshmallows. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(9), 1699-1704. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01756.x>
29. Santoso, U., Pranoto, Y., Afriyanti, Y.T., & Mulyani, S. (2019). The physical and chemical properties of marshmallow made from Buffalo (*Bubalus bubalis*) hide gelatin compared to commercial gelatin. *Journal of Applied Food Technology*, 6(2).
30. Zhang, T., Xu, J., Zhang, Y., Wang, X., Lorenzo, J.M., & Zhong, J. (2020). Gelatins as emulsifiers for oil-in-water emulsions: Extraction, chemical composition, molecular structure, and molecular modification. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 113-131. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.005>