Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Production of meat analogue product and investigation of texture characteristics and fatty acid profile compared to meat product

Maryam Mirkhaghani Haghighi[1*], Mohammad Vahid Sadeghi Sarvestani [2], Seyed Saeed Sekhavatizadeh[2] and Morteza Moharreri[3]

[1] Msc Graduated, Department of Food Science and Technology, Kherad Institute of Higher Education, Bushehr, Iran
[2] Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, ran
[3] MSc Graduated, Food Science and Technology Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
✉ Corresponding author: mirkhaghani.m@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: Jan 23, 2023
Accepted: sept 28, 2024
Published: Jan 4, 2025

Keywords:
Meat analogue, Soy protein isolate, , Plant-based burger, Fatty acid profile, Texture profile.

ABSTRACT

Background: Plant-based analogue of meat products available in the market possess sensory qualities similar to those of conventional meat. The increased importance of meat analog in the current trend is due to the health awareness among consumers in their diet and for a better future environment. The factors that lead to this shift is due to low fat and calorie foods intake, flexitarians, animal disease, natural resources depletion, and to reduce greenhouse gas emission

Aims: The aim of this study was to produce plant-based (PB) burgers and investigate their textural properties and fatty acid profiles, as well as to compare them with meat-based (MB) burgers.

Methods: Soy protein isolate was utilized to develop the plant-based burgers. The samples were then evaluated for their physicochemical characteristics at 30-day intervals over a 90-day storage period.

Results: The cooking loss and shrinkage were higher in MB burgers than in PB burgers throughout the storage period. The highest and lowest L* values were observed in raw MB burgers (145.96) in the third month and cooked PB burgers (120.97) in the second month, respectively. The a* and b* values showed a significant increase and decrease, respectively, upon cooking the two burger samples ($p \leq 0.05$). No significant differences were found in the textural parameters of hardness, adhesiveness, chewiness, and gumminess ($p > 0.05$). The highest proportion of unsaturated fatty acids (78.08%) in the PB burgers was dominated by linoleic acid (omega-6, 49.83%).

Conclusion: Considering the suitable physicochemical properties of the plant-based burgers, this product can be introduced as a suitable alternative to conventional meat-based burgers.

CC BY NC

OPEN ACCESS

Extended Abstract

Introduction: Awareness of population health and sustainable foods has raised the concept of plant-based protein innovation in many countries. Consumption of plant-based proteins in food products has increased over the years due to animal diseases, high demand for healthier foods, and economic reasons. Therefore, the development and innovation of a new food product that meets consumer demand is highly challenging. Quality, nutrition, and sensory characteristics are the primary parameters that must be considered before developing a plant-based protein diet.

Meat analogue products refer to the substitution of the main ingredient with a non-meat component. These products started in Western markets, such as tofu (soy cheese) and textured soy protein, in the early 1960s, and consumer interest in meat analogues has recently increased. The growing importance of meat analogues in the current trend is due to consumer awareness of health in their diet and for a better environment in the future. Factors leading to this change include the consumption of low-fat and low-calorie foods, flexibility, animal diseases, reduced natural resources, and reduced greenhouse gas emissions.

Currently, the meat analogue products available on the market are plant-based meats with similar quality (i.e., texture and taste) to conventional meats. The main ingredients used are soy proteins. In addition to these traditional Asian products, textured vegetable proteins (TVPs) were the first examples of meat analogues made from defatted soy meal, soy protein concentrate, or wheat gluten. The introduction of these TVPs as meat substitutes appeared in the mid to late 20th century. TVP is a key plant-based protein food that has been used to replace a portion of the meat in burger products to increase water-holding capacity and protein content, create a meat-like texture (such as softness and doughy texture), and reduce the amount of saturated fats and product cost.

Soy protein is a cost-effective and reliable protein source that can be used as a substitute for animal protein in food products. Soy protein isolate (SPI) has meat-like textural characteristics, and is utilized in the production of various food products. Additionally, the fatty acid profile of SPI is healthier compared to animal-based products.

Textured vegetable protein (TVP) also has an elastic and spongy texture, making it a suitable meat substitute in analog products. While some studies have indicated that sensory aspects, particularly aroma, can be a deterrent for some consumers, improving the sensory quality and similarity to meat-containing products can make plant-based alternatives more appealing to consumers.

Materials and Methods

The production and evaluation of both meat-based and plant-based burger samples were carried out at an agricultural education center. This controlled environment allowed for consistent manufacturing processes and comprehensive analysis of the burger properties.

For the meat-based burger, fresh beef was procured and ground to a fine consistency. The ground beef was then mixed with chopped onions, solid vegetable oil, and a blend of powdered seasonings and binders. Water and ice were incorporated to create a homogeneous dough-like mixture.

The plant-based burger relied on soy protein isolate as the primary ingredient. The soy protein was first soaked to hydrate, then combined with hydrogenated soybean oil and onions. This mixture was ground and blended with a similar powdered ingredient formulation as the meat-based version.

Both burger doughs were carefully portioned, molded into patties, and packaged for frozen storage at -18°C. Samples from each type were evaluated at 1, 2, and 3 months of frozen storage to assess changes in post-cooking properties, color, and texture over time.

Prior to analysis, the frozen burger samples were thawed in a refrigerator for 24 hours. The raw patties were weighed, and their diameter

and thickness were measured. The burgers were then pan-fried at 130°C for 7 minutes, flipping halfway through the cooking time. Post-cooking weight, diameter, and thickness were recorded to calculate cooking loss and shrinkage.

Texture profile analysis was conducted using a Texture Analyzer. The burgers underwent a two-cycle compression test, and key textural attributes such as hardness, cohesiveness, adhesiveness, springiness, and chewiness were evaluated.

Color analysis was performed using a digital camera and image analysis software. Nine random points on the surface of each burger sample were measured, and the mean values of L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness) color indices were reported.

To determine the fatty acid profiles, the oil was extracted from the burger samples and analyzed using a gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (GC-FID). The fatty acid methyl esters were identified and quantified according to the AOCS method, providing insights into the differences in lipid composition between the meat-based and plant-based burgers.

This comprehensive set of analyses, conducted at multiple timepoints during frozen storage, allowed for a thorough evaluation and comparison of the physical, textural, and compositional properties of the two burger types.Results and discussion: The study highlights that the presence of specific bonds has increased elasticity in the burgers, leading to reduced cooking loss and shrinkage in the plant-based burger. Additionally, the incorporation of fish protein isolate in burgers has been shown to decrease cooking loss and shrinkage as well. Another study noted that increasing the amount of acorn flour (0, 3, 6, and 9 percent) resulted in reduced cooking loss and shrinkage in burger samples. This was attributed to the acorn flour's ability to retain fat, which helped prevent the loss of meat juices during cooking. The study examines the impact of various factors on the color indices (L*, a*, b*) of meat and plant-based burgers during storage. Results show significant influences from time, composition, and temperature. The raw meat burger exhibited a higher L* index compared to the raw plant-based burger. Cooking increased the a* index in both burger types, with the cooked meat burger showing the highest value. The b* index decreased upon cooking, while both raw samples experienced an increase in storage time, particularly in the plant-based burger, which showed significant changes by the third month. Color is a crucial factor influencing consumer choice in meat products. In cooked samples, the a* index increased for both plant-based and meat burgers, while the L* and b* indices decreased. These changes may result from myoglobin state alterations, water release, and Maillard reactions during cooking, affecting the brightness of cooked meat products. The lowest L* and highest a* and b* in plant-based burgers may be attributed to the yellow hue of soy protein isolate and fiber, which could also explain the higher L* and b* values in cooked plant-based burgers. Texture profile analysis evaluated parameters such as firmness, stickiness, elasticity, cohesiveness, gumminess, and chewiness in meat and plant-based burgers during storage. Statistical analysis showed significant differences in elasticity and cohesiveness, while other parameters exhibited no significant differences. Texture measurements are key in determining final product quality and ingredient selection. Parameters such as firmness, elasticity, and chewiness tend to increase, aligning with current findings. It was observed that as acorn flour content increased (0, 3, 6, and 9%), chewiness and elasticity decreased in burger samples due to reduced water and fat content. Gumminess, defined as the energy required to crush a semi-solid food until ready for swallowing, is calculated by multiplying firmness by cohesiveness. Results indicated a decrease in gumminess for both plant-based and meat burgers during storage, although this change was not statistically significant. Notably, gumminess was lower in plant-based burgers, possibly due to the inclusion of carrageenan in their formulation.

Chewability, representing the effort needed to chew, is derived from the product of elasticity and gumminess. Results suggested that meat burgers required more effort to chew compared to plant-based alternatives. Additionally, the fatty acid profile analysis through GC-FID revealed higher unsaturated fatty acids in plant-based burgers, particularly linoleic acid, compared to meat burgers, which exhibited higher saturated fat levels. The essential fatty acids for human health include C18:1, C18:2, and C18:3, which were present in plant-based burgers but only C18:1 and C18:2 was found in meat burgers. The plant-based burger exhibited higher levels of unsaturated fatty acids, specifically C18:1 (22.67%), C18:2 (49.83%), and C18:3 (5.58%), amounting to a total of 78.08%. Conversely, the meat burger contained only 41.4% unsaturated fatty acids. Notably, oleic acid (C18:1 ω-9) was predominant in both types of burgers. The difference in fatty acid profiles suggests that plant-based burgers may provide greater health benefits compared to meat burgers.

Conclusion: Today, the modern global population is increasingly aware of healthy and sustainable food options, leading to a reduction in meat consumption. Utilizing healthier plant-based protein sources as meat alternatives can reduce the risk of stroke, diabetes, and cancer. This study employed soy protein isolate in burgers, demonstrating comparable texture and color to meat burgers, while showing advantageous characteristics like reduced cooking loss and shrinkage. Additionally, the fatty acid profile revealed that the plant-based burger was rich in unsaturated fatty acids, offering greater health benefits than its meat counterpart, indicating the potential for plant-based burgers in the industry.

پژوهش‌های صنایع غذایی
شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵X- ۲۰۰۸
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

تولید آنالوگ گوشتی و بررسی خصوصیات بافتی و پروفایل اسید چرب آن در مقایسه با محصول گوشتی

مریم میرخاقانی حقیقی[۱]✉، محمد وحید صادقی سروستانی[۲] ، سید سعید سخاوتی زاده[۲] ،مرتضی محرری[۳]

[۱]دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، مؤسسه آموزش عالی خرد، بوشهر، ایران.

[۲]عضو هیأت علمی بخش صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

[۳] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

✉ مسئول مکاتبه: mirkhaghani.m@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت:
۱۴۰۲/۱۱/۳
پذیرش:
۱۴۰۳/۷/۷
انتشار:
۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژه:
آنالوگ گوشتی، ایزوله پروتئین سویا، برگر

چکیده

زمینه مطالعاتی: محصولات آنالوگ گوشتی موجود در بازار، محصولاتی با منشاء گیاهی هستند که کیفیت حسی مشابه گوشت‌های معمولی دارند.

هدف: هدف از این مطالعه تولید برگرهای گیاهی (PB)، و بررسی خصوصیات بافت و پروفایل اسید چرب و به‌دنبال آن مقایسه با برگرهای گوشتی (MB) است. روش کار: بدین منظور از ایزوله پروتئین سویا جهت تولید برگر گیاهی استفاده شد. سپس نمونه‌ها در مدت ۹۰ روز (فواصل زمانی ۳۰ روز) مورد ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی قرار گرفتند.

نتایج: میزان افت پخت و چروکیدگی در MB در تمام دوران نگهداری بالاتر از PB بود ($p<۰/۰۵$). به علاوه بالاترین و پائین‌ترین میزان L^* به‌ترتیب مربوط به نمونه برگر گوشتی خام (۱/۹۶±۴۵/۴۴) در ماه سوم و برگر گیاهی پخته شده (۱/۹۷±۲۰/۵۵) در ماه دوم نگهداری بود و دو شاخص a^* و b^* در اثر پخته شدن دو نمونه برگر، به‌ترتیب افزایش و کاهش معنی‌داری داشتند ($p\leq۰/۰۵$). در بین پارامترهای بافتی سفتی، چسبندگی، قابلیت جویدن و صمغیت اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت بالاترین میزان اسیدهای چرب، نوع غیراشباع (۷۸/۰۸ درصد) در برگر گیاهی که در بین این نوع اسیدها، اسید لینولئیک (امگا-۶) (۴۹/۸۳ درصد) بود. نتیجه‌گیری نهایی: با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی مناسب برگر گیاهی، این محصول می تواند به عنوان محصولی مناسب معرفی گردد.

مقدمه

آگاهی از سلامت در جمعیت و غذاهای پایدار، ایده نوآوری گوشت مبتنی بر پروتئین گیاهی را در بسیاری از کشورها مطرح کرده است. مصرف پروتئین‌های گیاهی در محصولات غذایی در طول سال‌ها به دلیل بیماری‌های حیوانی، تقاضای زیاد برای غذاهای سالم‌تر و دلایل اقتصادی افزایش‌یافته است (جوشی و کومار ۲۰۱۵). همبرگر ازجمله محصولات گوشتی محبوبی است که توسط میلیون‌ها مصرف‌کننده در سراسر جهان مورداستفاده قرار می‌گیرد. در فرآورده‌های گوشتی، میزان چربی بر خصوصیات حسی محصول تأثیرگذار بوده و در ایجاد حالت خامه‌ای، ظاهر مطلوب، لذیذی، قابلیت پذیرش بافت و ایجاد احساس سیری نقش عمده‌ای دارد. ازاین‌رو فرموله کردن محصول گوشتی کم‌چرب، بدون تغییر در طعم، احساس دهانی و دیگر ویژگی‌های ارگانولپتیکی فرایندی بسیار دقیق و تخصصی است (حسینی و همکاران ۱۳۹۰)؛ بنابراین توسعه و نوآوری یک محصول غذایی جدید که تقاضای مصرف‌کنندگان را برآورده کند، بسیار چالش‌برانگیز است. کیفیت، تغذیه و ویژگی‌های حسی اولین پارامترهایی هستند که قبل از توسعه رژیم غذایی مبتنی بر پروتئین گیاهی باید در نظر گرفته شوند. محصولات آنالوگ گوشت به جایگزینی ماده اصلی با غیر از گوشت اشاره دارد. این محصولات در بازارهای غربی، مانند توفو (پنیر سویا) و محصولات پروتئینی بافت‌دار سویا، در اوایل دهه ۱۹۶۰ شروع باکار کردند، علاقه مصرف‌کنندگان به محصولات آنالوگ گوشتی اخیراً افزایش‌یافته است (دیمارچی و همکاران ۲۰۲۱).

اهمیت فزاینده آنالوگ گوشت درروند فعلی به دلیل آگاهی مصرف‌کنندگان از سلامتی در رژیم غذایی خود و برای محیطی بهتر در آینده است. عواملی که منجر به این تغییر می‌شود به دلیل مصرف غذاهای کم‌چرب و کالری، انعطاف‌پذیری، بیماری‌های حیوانی، کاهش منابع طبیعی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در حال حاضر، محصولات آنالوگ گوشت موجود در بازار، گوشت‌های گیاهی هستند که کیفیت (بافت و طعم) مشابه گوشت‌های معمولی است. مواد مورداستفاده عمدتاً پروتئین‌های سویا هستند. علاوه بر این محصولات سنتی آسیایی، پروتئین گیاهی با بافت خشک (TVPs) اولین نمونه از آنالوگ‌های گوشتی بود که از کنجاله سویای بدون چربی اکسترود شده، کنسانتره پروتئین سویا یا گلوتن گندم به دست آمد (کینزلا و فرانزن ۱۹۷۸).

معرفی این TVP به‌عنوان جایگزین گوشت در اواسط تا اواخر قرن بیستم ظاهر شد (اسماعیل و همکاران ۲۰۲۰). TVP یک غذای پروتئینی گیاهی کلیدی است که برای جایگزینی بخشی از گوشت در محصولات برگر به‌منظور افزایش ظرفیت نگهداری آب و محتویات پروتئین، ایجاد بافتی شبیه گوشت (مانند نرمی و بافت خمیری) و کاهش میزان چربی‌های اشباع‌شده و هزینه محصول استفاده‌شده است (بایر و دیلجر ۲۰۱٤). یکی از مشکلات فیزیکی و مهم ماست جدا شدن سرم، کاهش پایداری و افزایش آب‌اندازی در ماست است که با افزایش اسیدیته ماست در طول نگهداری رخ داده و منجر به تجمع میسل‌های کازئین می شود . این تغییرات بر قوام، سفتی ماست و پذیرش عمومی مصرف کنندگان تأثیر منفی می‌گذارد. ترکیباتی مانند صمغ‌ها که هیدروکلوئید نامیده می‌شوند و عصاره‌های گیاهی افزودنی‌های رایجی هستند که برای جلوگیری از آب اندازی و افزایش پایداری در ماست استفاده می‌شوند (سلطانی عربشاهی و صداقتی ۲۰۲۲; چو و همکاران ۲۰۲۰). سویا گیاهی است از خانواده بقولات ***Legumineuse*** و اسم علمی آن ***Glycinemaxl*** می‌باشد. پروتئین سویا یک پروتئین کروی است که از دانه‌های سویا جداشده و نسبتاً پایدار است، بنابراین ماندگاری طولانی دارد. دانه‌های سویا تقریباً ۳۸ درصد پروتئین، ۳۰ درصد کربوهیدرات، ۱۸ درصد روغن و ١٤ درصد رطوبت و مواد معدنی دارند. پس از حذف روغن و کربوهیدرات، پروتئین سویا به دست می‌آید. سه شکل مختلف پروتئین سویا بسته به غلظت‌های مختلف (۵۰٪ تا ۹۰٪) وجود دارد که عبارت‌اند از: آرد سویا، کنسانتره پروتئین سویا و ایزوله پروتئین سویا (SPI) (تنساز و بوکاکسینی ۲۰۱٦). پروتئین سویا دارای مقادیر بالای اسیدآمینه لیزین می‌باشد در صورتیکه غلات ازلحاظ این اسیدآمینه دچار کمبود هستند، بنابراین سویا و غلات مکمل یکدیگرند. سویا فاقد پروتئین‌های موجود در گندم یعنی گلوتنین و گلیادین است؛ بنابراین ترکیب ایزوله

پروتئین سویا و گلوتن در محصولاتی مثل برگرهای گیاهی بسیار مفید می‌باشد (چوقتای و همکاران ۲۰۲۲).

ایزوله پروتئین سویا یک منبع پروتئینی اقتصادی و قابل‌اعتماد است که می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای پروتئین‌های گوشت و لبنیات برای کنترل هزینه‌ها و بهبود ارزش غذایی محصولات مختلف غذایی مورداستفاده قرار گیرد (تران و همکاران ۲۰۱۷). ایزوله پروتئین سویا در صنایع غذایی کاربردهای زیادی ازجمله در تولید فیلم‌های کامپوزیتی (اِردم و کایا ۲۰۲۲)، محصولات قنادی ازجمله تولید بیسکویت شیرین بدون گلوتن (کایرس و همکاران ۲۰۲۱) و تولید ماکارونی بدون گلوتن (راچمن و همکاران ۲۰۲۰) دارد.

TVP متشکل از گلوتن گندم و سایر پروتئین‌های گیاهی دارای بافت الاستیک و تا حدودی اسفنجی است و بافتی از محصول را ارائه می‌دهد که برای استفاده به‌عنوان محصولات آنالوگ گوشت مطلوب است (اورکوت و همکاران ۲۰۰۶). TVP بیشتر از دانه‌های سویا تهیه می‌شود. برای مثال پروتئین سویای بافت‌دار (TSP) به دلیل ویژگی‌های بافتی شبیه گوشت، برای مواد غذایی بسیار متنوع است و همچنین کیفیت پروتئین مشابه پروتئین‌های حیوانی را ارائه می‌کند (عسگر و همکاران ۲۰۱۰). علاوه بر این، مواد تشکیل‌دهنده پروتئین‌های گیاهی منبع ارزان‌قیمتی است و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان جایگزین‌های گوشتی شگفت‌انگیزی مانند کنسرو گوشت (فیدراستون ۲۰۱۵) ، تقویت‌کننده گوشت در گوشت گاو (پنفیلد و همکاران ۱۹۹۰) و غذاهای حیوانات خانگی (استین و همکاران ۲۰۰۸) در نظر گرفت؛ اما از طرفی در برخی از مطالعات بر اساس نظرسنجی‌های مصرف‌کنندگان، جنبه حسی، به‌ویژه خاصیت عطر، یک عامل منفی مهم برای مصرف‌کنندگانی است که جایگزین‌های گوشت را می‌پذیرند (الزرمن و همکاران ۲۰۱۵). ازاین‌رو، بهبود قابل‌توجه کیفیت حسی و شباهت به محصولات حاوی گوشت برای اطمینان از اینکه محصولات گیاهی به‌عنوان جایگزینی برای محصولات گوشتی حیوانی برای مصرف‌کنندگان جذاب هستند، بسیار ضروری است. علاوه بر این، محصولات گیاهی با پروفایل اسیدهای چرب (FA) که معمولاً غنی از اسیدهای چرب اشباع‌شده (SFAs) و سرشار از اسیدهای چرب ترانس (t-FAs) هستند، سالم‌تر از محصولات گوشتی حیوانی می‌باشند (کایرس و همکاران ۲۰۲۱)؛ بنابراین، هدف از این مطالعه تولید محصول آنالوگ گوشتی بر پایه ایزوله پروتئین سویا و بررسی بر خصوصیات بعد از پخت و ارزیابی شاخص رنگ، همچنین تعیین پروفایل بافت و پروفایل اسید چرب در برگرهای گیاهی و به دنبال آن مقایسه با برگرهای گوشتی است.

مواد و روش‌ها

مواد مورداستفاده

ترکیبات مورداستفاده در فرمولاسیون برگر گوشتی و گیاهی شامل گوشت قرمز ران گوساله (شرکت دمس، شیراز)، ایزوله پروتئین سویا (یوانگ، چین)، روغن سویای هیدروژنه (شرکت روغن طلائی نیشابور، مشهد) روغن جامد (لادن، تهران)، صمغ کاراگینان (شرکت بیالجی، چین)، فیبر سویا (شرکت بازرگانی میلان فرآیند آترین، ساخت کشور آلمان)، گلوتن، ادویه، پیاز، فلفل دلمه، تخم‌مرغ، آرد سوخاری، آرد سفید، نشاسته و نمک از بازار محلی تهیه شدند. مواد شیمیایی مورد استفاده و معرفه‌ای شیمیایی دارای –خلوص مناسب برای آنالیز شیمیایی، تولیدی شرکت‌های مرک آلمان و سیگما آلدریچ، آمریکا بودند.

تهیه برگر گوشتی و گیاهی

تولید برگر گوشتی و گیاهی در پایلوت واقع در مرکز آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس انجام پذیرفت. به‌منظور تولید برگر گوشتی، ابتدا گوشت گوساله را در دستگاه چرخ‌گوشت شرکتBOSCH ، مدلMFW68640 ، آلمان با مش پنج میلی‌متری چرخ گردید و سپس برای مرحله تولید مورد استفاده قرار گرفت. طی مرحله تولید برای تهیه تیمار برگر گوشتی، ابتدا گوشت چرخ شده وارد همزن شد و در ادامه پیاز چرخ شده و روغن جامد و سپس مواد پودری شامل ادویه، نمک و آرد سوخاری با نسبت‌های معین مطابق با جدول ۱، اضافه گردیدند. در پایان برای حصول خمیر یکنواخت به ترکیب، آب و یخ اضافه شد؛ بطوریکه با افزودن

آب، وزن خمیر به ۱۰۰ واحد رســـید و به مدت ۱۰ دقیقه تا ایجاد خمیر یکنواختی، همزدن ادامه یافت .

Table 1- Formulation for the production of meat and plant-based burgers

Meat burger		Plant-based burger	
Ingredients	**Amount (%)**	**Ingredients**	**Amount (%)**
Meat	30	Soy protein isolate	20
Oil	5	Starch	1.7
Toasted flour	10	Hydrogenated Soybean oil	12
Soy	12	Toasted flour	3.2
Onion	15	Gluten	5
spice	1	White flour	3
Salt	1	Onion	16
Ice & Water	26	Sweet pepper	2
		Spice	1.1
		Salt	1.3
		Carrageenan gum	0.7
		Potato fiber	1
		Egg	7
		Ice & water	26

به‌منظور تهیه برگر گیاهی، ابتدا ایزوله پروتئین سویا در آب به مدت ده دقیقه خیسانده شد. سپس روغن سویای هیدروژنه با سویا خیس شده و پیاز ترکیب و توسط چرخ‌گوشت با مش پنج میلی‌متری چرخ شد. در ادامه مواد چرخ شده وارد همزن شده و تمام مواد پودری با نسبت‌های معین که در جدول ۱ آورده شده، اضافه گردیدند و مابقی مراحل به ترتیب برگر گوشتی انجام شد. بعد از مراحل تولید خمیرها، برگرهای گوشتی و گیاهی با استفاده از ماشین برگر ساز با قالب‌های ۱۰۰ گرمی قالب‌زنی شدند. سپس برگرها در کیسه‌های پلیاتیلن/پلیآمید به ضخامت ۷۵ میکرون بسته‌بندی و در سردخانه ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ماه نگهداری شدند. نمونه‌ها در ماه اول، دوم و سوم نگهداری برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بعد از پخت، شاخصه‌ای رنگ و پروفایل بافت مورد ارزیابی قرار گرفتند هر تیمار در سه تکرار انجام شد، همچنین پروفایل اسید چرب دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی بررسی شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های بعد از پخت برگر

برگرهای خام گیاهی و گوشتی منجمد به مدت ۲٤ ساعت در یخچال جهت یخ‌زدایی قرار داده شدند. سپس وزن، قطر و ضخامت برگرهای خام اندازه‌گیری شد. آنگاه نمونه‌ها در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ دقیقه (هر سمت ۳/۵ دقیقه) در یک تابه سرخ شدند. پس از سرخ شدن با دستمال روغن گیر، روغن برگرها گرفته شد و پس‌ازآن وزن، قطر و ضخامت برگرهای پخته‌شده ثبت گردید. درصد افت پخت و درصد چروکیدگی با دو رابطه ۱ و ۲ محاسبه گردید (حسینی و علیآبادی ۲۰۱۷).

رابطه ۱)

وزن نمونه پخته‌شده – وزن نمونه خام = افت پخت

رابطه ۲)

(درصد)چروکیدگی= $((T1-T2)+(D1-D2))/((T1+D1))\times100$

که در آن T1 ضخامت خام، T2 ضخامت پخته، D1 قطر خام و D2 قطر پخته می‌باشد.

آنالیز پروفایل بافت

ویژگی‌های بافت نمونه‌های برگر با استفاده از دستگاه آنالیز پروفایل بافت) شرکتBrookfield ، مدلCT3-4500 ، آمریکا (تعیین شد. در دمای اتاق نمونه‌هایی با ابعاد ۱×۱×۱ تهیه و برای تعیین پارامترهای بافت، تحت آزمون فشاری در دو سیکل قرار گرفتند. به همین منظور، نمونه‌ها تحت‌فشار بروب به قطر ۵/۳ سانتیمتر متصل به وزنه ۲۵ کیلوگرمی با میزان ۷۰ درصد فشردگی نسبت به ارتفاع اولیه و سرعت ٦۰ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند. با توجه به نمودار حاصل توسط نرمافزار دستگاه خصوصیات بافتی شامل سفتی، پیوستگی، چسبندگی، حالت ارتجاعی و قابلیت جویدن تعیین شد.

بررسی شاخص های رنگ(L*,a*,b*)

برای بدست آوردن خصوصیات رنگی برگرها از دوربین دیجیتالی ۷/۱ مگا پیکسل کونیکا ژاپن و نرم‌افزار گرافیکی فتوشاپ نسخه ششم استفاده شد. پس از عکس‌برداری توسط دوربین دیجیتالی عکس‌ها توسط نرم‌افزار فتوشاپ موردبررسی

قرار گرفت. از سطح هر نمونه ۹ نقطه به‌طور تصادفی انتخاب شد و فاکتورهای *L، *a، b*برای هر نقطه تعیین شد. سپس میانگین این نقاط به‌عنوان فاکتورهای رنگسنجی برای هر نمونه گزارش شد (ویو و سان ۲۰۱۳).

تعیین پروفایل اسیدهای چرب

پروفایل اسیدهای چرب برگر گیاهی و گوشتی توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-FID) (شرکت Beifen-Ruili Analytical Instrument (Group) Co. Beijing، مدل Sp-3420A، کره جنوبی) نیز تعیین گردید. به‌منظور تعیین ترکیب اسید چرب روغن از روش AOCSبه شماره ۲۹–b 13 استفاده شد. جهت بررسی اسیدهای چرب نمونه‌های برگر گیاهی و گوشتی از دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به ستون سیلیسی با طول ۳۰ متر و ضخامت ۲۵ میکرومتر و قطر ۲۵ میلی‌متر و شناساگر FID 1075 system استفاده شد. جداسازی روغن توسط سوکسله انجام شد. برای این منظور ابتدا متیل استرهای اسیدچرب تهیه شد. جهت ارزیابی روغن از نرم‌افزار peak-ABC chromatography work station ver 2/24 استفاده شد. جهت تعیین نوع اسیدهای چرب زمان خارج شدن هرکدام از اسیدهای چرب نمونه بازمان خارج شدن اسیدهای چرب استاندارد مقایسه و بر این اساس نوع اسید چرب مشخص شد. همچنین جهت مشخص کردن درصد هرکدام از اسیدهای چرب در روغن از قسمت محاسبه نرم‌افزار استفاده گردید (استاندارد Aocs 2009).

تجزیه‌وتحلیل آماری

در این مطالعه، آزمون‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های برگر گوشتی و برگر گیاهی به‌جز آزمون دستگاهی (تعیین پروفایل اسید چرب) در سه تکرار انجام شد. نتایج با استفاده از آزمون آنالیز آماری واریانس یک‌طرفه موردبررسی قرار گرفت. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها بر اساس طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ (Chicago, USA) استفاده گردید. جهت تعیین اختلاف معنی‌دار میان تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد (p<۰/۰۵).

نتایج و بحث

ویژگی‌های بعد از پخت برگر

نتایج بررسی تأثیر ایزوله پروتئین سویا بر خصوصیات بعد از پخت برگر شامل افت وزن و میزان چروکیدگی طی دوره ۳ ماه نگهداری در برگر گیاهی و مقایسه این نتایج با برگر گوشتی در جدول ۲ ارائه‌شده است. مطابق با نتایج مشاهده شد که برگر گیاهی در تمام طول دوران نگهداری از میزان افت پخت و چروکیدگی پایین‌تری در مقایسه با برگر گوشتی برخوردار بود هردو محصول در طی دوران نگهداری ازنظر افت پخت و چروکیدگی کاهش معنی‌داری داشتند بطوریکه افت پخت در برگر گیاهی و گوشتی، به ترتیب از ۱۹/۱۳ و ۲۳/۷٤ درصد به ۸/٤۸ و ۲۱/۳٦ درصد کاهش یافتند و همچنین پارامتر چروکیدگی از ۵/٤۲ درصد به ۲/۸٦ درصد در برگر گیاهی و از ۱۹/۳۹ درصد به ۹/۱۳ درصد در برگر گوشتی طی دوره نگهداری کاهش یافت.

اندازه‌گیری افت پخت و چروکیدگی هم ازنقطه‌نظر کیفیت و هم به دلایل اقتصادی از مهم‌ترین آزمون‌های تعیین کیفیت در فرآورده‌های گوشتی هستند. خروج آب بیشتر از فرآورده، سبب افزایش چروکیدگی و افت پخت می‌شود. مقادیر بالاتر چروکیدگی دلالت به افت پخت بالاتر و افزایش سفتی فرآورده و به‌این‌ترتیب اثر منفی بر کیفیت فرآورده دارد. در مقابل از میزان چروکیدگی پایین‌تر انتظار می‌رود که فرآورده آبدارتر و تردتر باشد. در مطالعه‌ای گزارش‌شده که محاسبه میزان چروکیدگی بر اساس سطح فرآورده، ضریب همبستگی بسیار بالایی با میزان افت پخت دارد؛ همگام با افزایش خروج آب از فرآورده، چروکیدگی نیز افزایش می‌یابد. هر چه آب خارج‌شده بیشتر باشد فشار نامتوازن‌تری بین داخل و خارج فرآورده به وجود می‌آید و سبب ایجاد نیروهای انقباضی شده که منجر به چروکیدگی و تغییر می‌گردد (سانچز–زاپاتا و همکاران ۲۰۱۰).

Table 2- Investigating the characteristics of after cooking in plant-based and meat burgers during the storage period

product	Storage during (Month)	Parameter (%)	
		Cook loss	Shrinkage
Plant-based burger	1	19.13±1.92 [cd]	5.42±2.02 [d]
	2	15.71±1.95 [e]	9.39±1.97 [c]
	3	8.48±2.18 [f]	2.86±1.94 [e]
Meat burger	1	23.74±1.72 [ab]	19.39±2 [a]
	2	16.69±1.9 [de]	14.45±1.96 [b]
	3	21.36±1.94 [bc]	9.13±2.03 [c]

[*] Data are reported in two replications in terms of (Mean ± SD value).
[**] The similar small letters (a-f) in each column indicate no significant difference (p>0.05) based on the Duncan test between the means.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان بیان کرد که دلایل کاهش چروکیدگی در برگر گیاهی، ظرفیت حفظ آب بالای ترکیبات فرمولاسیون است بطوریکه میزان چروکیدگی در برگر گیاهی طی ۳ ماه نگهداری در محدوده بین ۹/۳۹–۲/۸۶ درصد بود در حالیکه میزان این فاکتور در برگر گوشتی بین ۱۹/۳۹–۹/۱۳ درصد بود؛ که می‌توان علت این امر را به استفاده از ایزوله پروتئین سویا، فیبر سویا و صمغ کاراگینان بکار برده شده در فرمولاسیون نسبت داد. از طرفی آزاد شدن چربی و آب دو عامل اصلی در تغییرات این دو فاکتور هستند که بستگی به قدرت تشکیل ژل توسط پروتئین‌ها و نیز تغییر ماهیت پروتئین‌ها هنگام فرآیند حرارتی دارد (کریستینسون و همکاران ۲۰۰۵). پروتئین‌ها در فرآیند حرارتی تغییر ماهیت داده و شبکه‌های پروتئینی علاوه بر پیوندهای هیدروژنی به‌وسیله پیوندهای هیدروفوبی و دی سولفیدی تثبیت می‌شوند (حسینی و علیآبادی ۲۰۱۷). در نمونه برگر گیاهی که حاوی ایزوله پروتئین سویا است، مقدار پروتئین در این محصول افزایش داشته است؛ درنتیجه، این پیوندها باعث ایجاد حالت الاستیکی بیشتر در برگر شده و همین امر باعث کاهش کمتر افت پخت و چروکیدگی در برگر گیاهی شده است. در همین راستا، استفاده از ایزوله پروتئین ماهی در همبرگر سبب کاهش افت پخت و میزان چروکیدگی گردید (سالارکریمی و همکاران ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر مشاهده شد که با افزایش میزان آرد بلوط (۰، ۳، ٦ و ۹ درصد) میزان افت پخت و چروکیدگی نمونه‌های همبرگر کاهش یافت که علت آن را به دلیل دارا بودن آرد بلوط در ظرفیت حفظ چربی بیان کردند که این امر توانست از خروج عصاره گوشت در حین پخت جلوگیری کند (برور ۲۰۱۲).

ارزیابی شاخص‌های رنگ (L^*,a^*,b^*)

نتایج بررسی شاخص‌های رنگ (L^*,a^*,b^*) در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی به دو صورت خام و پخته شده طی دوره نگهداری در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج بررسی نشان داد که سه عامل زمان، ترکیبات سازنده و دما بر مولفه‌های رنگ تأثیرگذار بوده، بطوری‌که در هر سه فاکتور بین دو نمونه برگر خام و پخته شده طی دوره نگهداری اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p<۰/۰۵$). در بررسی شاخص L^* مشاهده گردید که بالاترین و پائین‌ترین میزان در این شاخص به‌ترتیب مربوط به نمونه برگر گوشتی خام (٤٥/٤٤±١/٩٦) در ماه سوم و برگر گیاهی پخته شده (٢٠/٥٥±١/٩٧) در ماه دوم نگهداری بود. برگر گیاهی به دو صورت خام و پخته شده طی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$) و همین امر در برگر گوشتی خام نیز صدق می‌کند. در نتایج شاخص L^* مشاهده گردید که میزان این شاخص در برگر گوشتی خام نسبت به برگر گیاهی خام بالاتر است که نشان‌دهنده تأثیر ترکیبات سازنده در فرمولاسیون این دو محصول است. در نتایج شاخص a^* مشاهده گردید که در اثر پخته شدن دو نمونه برگر، میزان این شاخص افزایش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$). بطوری‌که بالاترین میزان شاخص a^* در برگر گوشتی پخته شده (١٤/٣٣±١/٩٧) در ماه سوم نگهداری بود و پائین‌ترین میزان این شاخص در برگر گیاهی خام (١/١١±١/٨٩) در ماه سوم نگهداری وجود داشت. همچنین با توجه به نتایج جدول ۳

مشاهده شد که در دو نمونه برگر خام و پخته شده با افزایش زمان نگهداری، میزان شاخص a^* کاهش معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$) که این امر در مورد برگر گوشتی پخته شده مستثنی بود.

شاخص b^* در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی در اثر پخته شدن کاهش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$). شاخص b^* در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی خام طی زمان نگهداری افزایش یافت که در برگر گیاهی این افزایش در ماه سوم نسبت به ماه اول و دوم نگهداری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$)؛ بطوری‌که بالاترین میزان این شاخص در برگر گیاهی در ماه سوم با میزان ۲/۰±۳۶/۵۵ بود.

رنگ فرآورده‌های گوشتی یکی از پارامترهای مهم در انتخاب محصول توسط مصرف‌کنندگان است. در نتایج مشاهده‌شده در جدول ۳، در نمونه‌های پخته‌شده شاخص a^* در دو نمونه برگر گیاهی و گوشتی افزایش و دو شاخص L^* و b^* دو نمونه کاهش یافت. علت این امر می‌تواند تغییر در حالت میوگلوبین، رهاسازی آب و همچنین وقوع واکنش میلارد در طی فرآیند پخت باشد که در کاهش روشنایی فرآورده‌های گوشتی پخته‌شده تأثیرگذار است (ایزدخواست و همکاران ۲۰۱۹). هم‌راستا با نتیجه مطالعه حاضر مبنی بر کاهش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) شاخص L^* در برگر گیاهی بعد از پخت، مطالعه‌ای گزارش‌شده که نتایج آن‌ها حاکی از کاهش چشمگیر در شاخص L^* نمونه‌های همبرگر حاوی ایزوله پروتئین سویا بعد از پخت است و دلیل آن را واکنش‌های احتمالی میلارد و کاراملیزاسیون در طی فرآیند پخت بیان کردند (دانوسکا-اوزیویچ ۲۰۱٤). از طرفی کمترین میزان L^* و بیشترین میزان b^* و a^* در نمونه برگر گیاهی نسبت به نمونه برگر گوشتی می‌تواند به دلیل زردرنگ بودن ایزوله پروتئین سویا و فیبر سویا در فرمولاسیون این محصول باشد، همچنین این خود می‌تواند دلیلی برای بالاتر بودن میزان L^* و b^* در برگر گیاهی پخته‌شده باشد. در مطالعه‌ای اضافه کردن فیبر رژیمی انگور به همبرگرهای مرغ خام و پخته نشان داد که میزان روشنایی کاهش‌یافته که علت آن را حضور ترکیبات غیر گوشتی بیان کردند که احتمالاً سبب رقیق‌تر شدن رنگ‌دانه‌های گوشت شده باشد (سایاگو-آیردی و همکاران ۲۰۰۹).

Table 3- Evaluation of color indices (L^*, a^*, b^*) of plant-based and meat burgers during the storage period

Product		Storage (month)	L*	a*	b*
Plant-based burger	Non-Cooked	1	27.77±1.99^{e**}	7.88±2.00^{cd}	23.22±1.99^{bc}
		2	31.00±2.02^{de}	5.44±1.9^{de}	27.66±2.02^{b}
		3	44.11±2.00^{ab}	1.11±1.89^{f}	36.55±2.00^{a}
	Cooked	1	25.55±1.91^{ef}	12.11±1.89^{ab}	11.22±2.03^{e}
		2	20.55±1.97^{f}	11.11±1.96^{abc}	9.88±2.00^{e}
		3	38.11±2.01^{bc}	8.88±2.02^{bcd}	25.00±1.97^{bc}
Meat burger	Non-Cooked	1	39.33±2.02^{abc}	7.22±2.00^{d}	23.00±2.02^{bc}
		2	41.22±2.00^{abc}	6.33±2.03^{d}	22.77±0.65^{bc}
		3	45.44±1.96^{a}	2.22±1.95^{ef}	24.44±2.00^{bc}
	Cooked	1	35.11±2.01^{cd}	13.77±1.89^{a}	19.33±2.00^{cd}
		2	25.77±1.95^{ef}	12.55±1.99^{ab}	20.88±2.03^{bc}
		3	28.22±1.89^{e}	14.33±1.97^{a}	13.55±1.96^{de}

*Data are reported in two replications in terms of (Mean ± SD value).
** The similar small letters (a-f) in each column indicate no significant difference (p>0.05) based on the Duncan test between the means.

آنالیز پروفایل بافت

آنالیز پروفایل بافت شامل سفتی، چسبندگی، قابلیت ارتجاعی، پیوستگی، صمغیت و قابلیت جویدن در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی طی دوره نگهداری در جدول ٤ گزارش‌شده است. نتایج آنالیز آماری نشان می‌دهد که در بین داده‌های موجود در جدول ٤ اختلاف آماری معنی‌داری در بین پارامترهای قابلیت

ارتجاعی و پیوستگی طی دوره نگهداری بین دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی وجود داشته است ($p<۰/۰۵$)، اما پارامترهای دیگر نظیر سفتی، چسبندگی، قابلیت جویدن و صمغیت اختلاف آماری معنی‌داری در بین آن‌ها وجود نداشت ($p>۰/۰۵$).

Table 4- Investigating the texture profile of plant base burger and meat burgers during the storage period

Parameter	Plant-based burger			Meat burger		
	Day 30	Day 60	Day 90	Day 30	Day 60	Day 90
Hardness (g)	92±16.15^{a**}	99.66±17.34^{a}	99.66±18.64^{a}	100.5±12.00^{a}	111.5±21.01^{a}	115.65±22.54^{a}
Adhesiveness (g.mm)	0.016±0.006^{a}	0.028±0.11^{a}	0.07±0.036^{a}	0.04±0.02^{a}	0.023±0.008^{a}	0.043±0.014^{a}
Springiness (mm)	0.53±0.11^{c}	0.54±0. 21^{bc}	0.54±0.21^{bc}	0.55±0.038^{bc}	0.61±0.15^{ab}	0.63±0.88^{a}
Cohesiveness	1.00±0.51^{a}	0.406±0.008^{b}	0.406±0.007^{b}	1.00±0.19^{a}	0.52±0.2^{b}	0.46±0.15^{b}
Gumminess (g)	67.7±12.33^{a}	42.53±6.21^{a}	42.53±6.21^{a}	112.83±17.58^{a}	92.86±38.98^{a}	65.4±30.75^{a}
Chewiness (mJ)	0.22±0.33^{a}	0.22±0.33^{a}	0.36±0.075^{a}	0.36±0.18^{a}	0.58±0.24^{a}	0.68±0.11^{a}

*Data are reported in two replications in terms of (Mean ± SD value).

** The similar small letters (a-c) in each row indicate no significant difference ($p>0.05$) based on the Duncan test between the means.

اندازه‌گیری پروفایل بافت، کیفیت محصول نهایی را بیان می‌کند و می‌تواند به انتخاب بهترین ترکیبات سازنده جهت تولید محصول کمک کند (هررو و همکاران ۲۰۰۷). سفتی محصولات گوشتی یکی از مهم‌ترین عواملی است که روی تمایل مصرف‌کنندگان به غذا تأثیر می‌گذارد (هوآنگ و همکاران ۲۰۱۱). میزان سختی درواقع حداکثر ارتفاع منحنی نیرو در طی نفوذ اول می‌باشد و نتایج حاصل آمده از تجزیه واریانس در مورد سختی نمونه‌های برگر تولیدشده نشان می‌دهد که میزان سختی آن‌ها با در برگر گیاهی نسبت به برگر گوشتی کاهش یافت اما این کاهش بین دو نمونه و در طی زمان نگهداری معنی‌دار نبود ($p<۰/۰۵$) در مطالعه حاضر میزان سختی در طی دوره نگهداری افزایش یافت و تحقیقات نشان داده که دلیل آن کاهش رطوبت نمونه‌ها در طی زمان می‌باشد (سونکا و همکاران ۲۰۱۵). در مطالعه‌ای علت کاهش سختی نمونه‌های سوسیس با افزایش مقدار جایگزینی و همچنین با افزایش نسبت کنجد، جایگزینی کنجاله سویا و کنجاله کنجد با آرد گندم و افزایش مقدار فیبر و مقدار پروتئین با جایگزینی (کنجاله سویا و کنجد) در نمونه‌ها و تشکیل شبکه فیبری ضعیف توسط آن‌ها و کاهش پروتئین‌های گلوتنی گندم و تشکیل شبکه ضعیفی با استحکام پایین‌تر نسبت داده‌شده است (امبوگونگ و همکاران ۲۰۱۵). از طرفی برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزودن برخی از هیدرو کلوئیدها منجر به تولید محصولی با بافت نرم‌تر شده است (مندوزا و همکاران ۲۰۰۱؛ توتوسائوس و پرز–چابلا ۲۰۰۹). استفاده از کربوهیدرات‌ها، به‌ویژه هیدرو کلوئیدها، به‌عنوان جایگزین چربی در محصولات گوشتی، ویژگی‌های حسی و گوشتی محصولات را اصلاح می‌کند؛ در همین راستا نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه آتش‌کار و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که با افزودن صمغ‌های کاراگینان، کنجاک و تراگاکانت (سطح ۰/۵٪) در سوسیس‌های کم‌چرب، سختی نسبت به نمونه‌های بدون صمغ کاهش قابل‌توجهی نشان داد (آتشکار و همکاران ۲۰۱۸). همچنین در میزان چسبندگی در دو نمونه‌های برگر گیاهی و گوشتی در زمانهای مختلف نگهداری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p<۰/۰۵$)؛ که با تحقیق ایزدخواست و همکاران (۲۰۱۹) که نشان دادند، افزودن کنجاله کنجد و سویا در خاصیت چسبندگی نمونه‌های سوسیس تفاوت معنی‌داری ایجاد نمی‌کنند، مطابقت دارد. پیوستگی وابسته به‌شدت پیوندهای داخلی سازنده بدنه محصول است. فرمولاسیون محصولات گوشتی و سطح چربی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پیوستگی هستند (ارگونول ۲۰۰۹). نتایج بررسی میزان پیوستگی در مطالعه حاضر طی دوره نگهداری کاهش

معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$)؛ که علت این امر را می‌توان به کاهش میزان رطوبت در طی دوره نگهداری نسبت داد. قابلیت ارتجاعی یا کشسانی، مقدار تغییر شکل نمونه در اثر نیروی اعمال‌شده است که پس از برداشتن نیرو، نمونه به حالت اولیه‌اش برمی‌گردد؛ که در نتایج مطالعه حاضر مشاهده شد که این پارامتر در دو نمونه برگر گیاهی و گوشتی در طی دوره نگهداری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$) در مطالعه‌ای گزارش‌شده میزان آب و چربی در گوشت، به‌طور قابل‌توجهی کیفیت فرآورده‌های گوشتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ چنانچه میزان آب و چربی در نمونه‌ای کاهش پیدا کند، پارامترهای سختی، قابلیت ارتجاعی و نیز قابلیت جویدن افزایش پیدا می‌کنند (برکتی و همکاران ۲۰۱۸) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. در مطالعه‌ای مشاهده شد که با افزایش میزان آرد بلوط (۰، ۳، ٦ و ۹ درصد) با کاهش میزان آب و چربی در نمونه‌های همبرگر، میزان قابلیت جویدن و قابلیت ارتجاعی نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت (برورِ ۲۰۱۲) .

حالت صمغیت عبارت است از انرژی لازم برای خرد کردن یک ماده غذایی نیمه جامد تا هنگامی‌که آماده بلع شود که مقدار آن از حاصل‌ضرب مقادیر سختی در پیوستگی به‌دست‌آمده و با واحد گرم و یا نیوتن نشان داده می‌شود. نتایج نشان داد که میزان صمغیت در دو نمونه برگر گیاهی و گوشتی طی دوره نگهداری کاهش یافت اما این تغییر معنی‌دار نبود($p<۰/۰۵$). همچنین لازم به ذکر است که میزان صمغیت در نمونه برگر گیاهی نسبت به برگر گوشتی پایین‌تر است، علت این امر را می‌توان به استفاده از صمغ کاراگینان در فرمولاسیون برگر گیاهی نسبت داد. در مطالعه‌ای میزان صمغیت در نمونه‌های مرغ برگر حاوی ۱/۵ درصد کربوکسیمتیل سلولز و ۱/۵ درصد نشاسته سیب‌زمینی کاهش معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد داشت که در مطالعه خود گزارش کردند ترکیب دو یا چند هیدرو کلوئید به دلیل اثر هم‌افزایی بین آن‌ها، در تقویت و یا تضعیف بعضی از پارامترهای بافتی مؤثرتر عمل می‌کند (سیوا کومار و همکاران ۲۰۱۷) .

قابلیت جویدن، کار لازم برای جویدن و خمیر کردن نمونه هنگام بلع است و از حاصل‌ضرب قابلیت ارتجاعی در میزان صمغیت محاسبه می‌شود. نتایج نشان داد که برگر گوشتی به نیروی کار بیشتری جهت جویدن نسبت به نمونه برگر گیاهی نیاز دارد. صمغیت و قابلیت جویدن پارامترهای ثانویه پروفایل بافت هستند زیرا صمغیت به‌سختی و پیوستگی و قابلیت جویدن به صمغیت و قابلیت ارتجاعی بستگی دارد (یاداو و همکاران ۲۰۱۸). در مطالعه سالارکریمی و همکاران (۲۰۱۹) با افزایش میزان آرد بلوط (۰، ۳، ٦ و ۹ درصد) در همبرگر، قابلیت جویدن در تمام تیمارها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). آن‌ها اظهار کردند که این نتیجه در تیمارهای حاوی آرد بلوط، نشان دهندهٔ نرمتر شدن نمونه‌ها و درنتیجه کاهش نیروی لازم برای عمل جویدن است، این نیز می‌تواند مرتبط با میزان بالاتر ظرفیت حفظ چربی تیمارهای حاوی آرد بلوط باشد (سالارکریمی و همکاران ۲۰۱۹)

پروفایل اسید چرب

نتایج پروفایل اسید چرب دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی توسط دستگاه GC-FID مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن‌ها در جدول ۵ گزارش‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بالاترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع در برگر گیاهی با میزان ۷۸/۰۸ درصد شناسایی شد که بیشترین میزان مربوط به اسید لینولئیک (امگا-٦) (٤۹/۸۳ درصد) بود؛ در حالیکه میزان اسیدهای چرب غیراشباع در برگر گوشتی برابر با ٤۱/٤ درصد بود. با توجه به نتایج در جدول ۵ بالاترین میزان اسیدهای چرب اشباع در برگر گوشتی (٤۹/٤۸ درصد) نسبت به برگر گیاهی (۱۹/۹۵ درصد) مشاهده شد.

Table 5- Profile of fatty acids in plant-based and meat burgers

Type of fatty acid	Fatty acid name	Plant-based burger	Meat burger
C14:0	Myristic acid	0.55	3.61
C16:0	Palmitic acid	12.53	26.95
C17:0	Margaric acid	-	1.28
C18:0	Stearic acid	3.62	16.79
C18:1	Oleic acid (ω-9)	22.67	36.2
C18:2	Linoleic acid (ω-6)	49.83	5.2
C18:3	α-Linolenic acid (ω-3)	5.58	-
C20:0	Arachidic acid	2.96	0.39
C22:0	Behenic acid	0.29	0.46
Other fatty acids	-	1.97	9.12
Total saturated fatty acid		19.95	49.48
Total unsaturated fatty acid		78.08	41.4

چربی به‌عنوان باارزش‌ترین منبع تأمین‌کننده انرژی، ویتامینهای محلول در چربی و اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد (اسماعیل ۲۰۰۵)؛ بنابراین، پروفایل اسیدهای چرب در برگر گیاهی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و با برگر گوشتی مقایسه شد که نتایج نشان داد بالاترین میزان اسید چرب در برگر گیاهی متعلق به لینولئیک اسید (C18:2 ω-6) با میزان ٤٩/٨٣ درصد بود و در حالیکه میزان همین اسید چرب در برگر گوشتی ٥/٢ درصد به دست آمد. مهم‌ترین اسیدهای چرب برای سلامتی انسان C18:1، C18:2 و C18:3 هستند (کایرس و همکاران ۲۰۲۱) که در تحقیق حاضر در نمونه برگر گیاهی هر سه اسید چرب وجود داشت اما در برگر گوشتی فقط دو اسید چرب C18:1 و C18:2 مشاهده شد. همچنین در بین اسیدهای چرب غیراشباع نمونه‌های برگر گیاهی تولیدشده بیشترین میزان اسید چرب به C18:1 (٢٢/٦٧ درصد)، C18:2 (٤٩/٨٣ درصد) و C18:3 (٥/٥٨ درصد) اختصاص دارد، بطوریکه میزان اسیدهای چرب غیراشباع در برگر گیاهی ٧٨/٠٨ درصد به دست آمد در حالیکه میزان این اسیدهای چرب در برگر گوشتی برابر با ٤١/٤ درصد بود. سه اسید چرب اصلی در برگر گوشتی، به ترتیب فراوانی، اولئیک اسید (C18:1 ω-9) (٣٦/٢ درصد)، اسید پالمیتیک (C16:0) (٢٦/٩٥ درصد) و اسید استئاریک (C18:0) (١٦/٧٩ درصد) بودند؛ که در همین راستا، در مطالعه‌ای مشاهده شد که سه اسید چرب اصلی در برگر پخته نشده گوشت گاو شامل اولئیک اسید (C18:1 ω-9) (٢٨/٣٧درصد)، اسید پالمیتیک (C16:0) (٢٦/١٤ درصد) و اسید استئاریک (C18:0) (١٩/٨٦ درصد) بودند (ساینی و کئوم ۲۰۱۸) که نتایج آن‌ها بامطالعه حاضر همخوانی دارد. در مطالعه هی و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده شد که نمونه‌های برگر گیاهی حاوی درصد قابل‌توجه بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع (۲۹/۸۷ درصد) نسبت به برگر گوشت گاو با میزان ۲/۷۷ درصد اسید چرب غیراشباع بودند، همچنین در مطالعه آن‌ها گزارش‌شده که در نمونه‌های برگر گیاهی اولئیک اسید (C18:1 ω-9) با بیشترین درصد و پس‌ازآن اسید لینولئیک (C18:2 ω-6) شناسایی شد که در مطالعه حاضر نیز دو اسید چرب C18:1 و C18:2 در برگر گیاهی بالاترین میزان را به خود اختصاص دادند. در میان اسیدهای چرب تک غیراشباعی اولئیک اسید (C18:1 ω-9) عمده‌ترین اسید چرب در روغن‌های گیاهی و حیوانی می‌باشد. لینولئیک اسید (C18:2 ω-6) و آلفا–لینولنیک اسید (C18:3 ω-3) به‌عنوان اسیدهای چرب ضروری شناخته می‌شوند و از اهمیت بالایی در رژیم غذایی برخوردار هستند زیرا این اسیدهای چرب توسط بدن سنتز نمی‌شوند و بایستی از طریق رژیم غذایی تأمین شوند (ماکی و همکاران ۲۰۱۸). مصرف بیش‌ازحد برخی از اسیدهای چرب اشباع با چندین بیماری مزمن مرتبط است، در حالیکه چندین فواید سلامتی با مصرف مواد غذایی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه اسیدهای چرب چند غیراشباع مرتبط است (ساینی و کئوم ۲۰۱۸). با توجه به اینکه میزان اسیدهای چرب اشباع در برگر گیاهی و گوشتی به ترتیب، ۱۹/۹۵ و ٤٩/٤٨ درصد است؛ بنابراین، از منظر ترکیب اسیدهای چرب،

برگر گیاهی می‌تواند مزایای سلامتی بیشتری نسبت به برگر گوشتی برای مصرف‌کنندگان فراهم کند.

نتیجه‌گیری

امروزه جمعیت مدرن جهانی که سعی در کاهش مصرف گوشت در رژیم غذایی روزانه خوددارند، نسبتاً از غذاهای سالم و پایدار آگاه هستند. استفاده از منابع پروتئینی سالم‌تر بر مبنای گیاهان برای جایگزینی پروتئین‌های گوشتی می‌تواند خطر سکته مغزی، دیابت و سرطان را کاهش دهد. ازاین‌رو در مطالعه حاضر از یک نوع پروتئین گیاهی بانام ایزوله پروتئین سویا به‌عنوان جایگزین گوشت در برگر استفاده شد. نتایج نشان داد که خصوصیاتی ازجمله بافت و رنگ در برگر گیاهی با برگر گوشتی اختلاف چشمگیری نداشت و حتی در مواردی مانند افت پخت و میزان چروکیدگی نسبت به برگر گوشتی مطلوب‌تر بود. همچنین در بررسی پروفایل اسید چرب مشاهده گردید که برگر گیاهی سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع بوده که در مقایسه با برگر گوشتی از مزایای سلامتی بخش بالاتری برخوردار بودند. درنتیجه‌ی این مشاهدات می‌توان بیان کرد که تولید برگرهای گیاهی قابلیت توسعه بالقوه در صنعت را داشته و می‌تواند یک جایگزین امیدوارکننده برای پروتئین‌های گوشت باشد.

References

Aocs F. 2009. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemist's Society, Ce 5-86 .

Asgar M, Fazilah A, Huda N, Bhat R and Karim A. 2010. Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 9(5): 513-529 .

Atashkar M, Hojjatoleslamy M and Sedaghat Boroujeni L. 2018. The influence of fat substitution with κ-carrageenan, konjac, and tragacanth on the textural properties of low-fat sausage. Food Science & Nutrition 6(4): 1015-1022 .

Baer A A and Dilger A C. 2014. Effect of fat quality on sausage processing, texture, and sensory characteristics. Meat Science, 96(3): 1242-1249 .

Barekati M, Beigmohammadi Z and Shahiri T H. 2018. Study on the Quality of Low-fat Chicken Burger Formulated by Carboxy Methyl Cellulose and Potato Starch .

Brewer M S. 2012. Reducing the fat content in ground beef without sacrificing quality: A review. Meat Science 91(4): 385-395 .

Cayres C A, Ascheri J L R and Couto M. 2021. Evaluation of nutritional characteristics and consumers' acceptance of gluten-free sweet biscuits made from rice-based pregelatinized composite flours containing orange pomace and soy protein isolate. SN Applied Sciences, 3(2): 1-13 .

Chughtai M F J, Khaliq A, Zahoor T, Ahsan S, Liaqat A, Nadeem M and Junaid-ur-Rehman S. 2022. Meat Replacers and Meal Plans Based on Plant Protein Isolates for Human Consumption. In Plant Protein Foods (pp. 439-465): Springer.

Danowska-Oziewicz M. 2014. Effect of soy protein isolate on physicochemical properties, lipid oxidation and sensory quality of low-fat pork patties stored in vacuum, MAP and frozen state. Journal of Food Processing and Preservation 38(2): 641-654 .

De Marchi M, Costa A, Pozza M, Goi A and Manuelian C L. 2021. Detailed characterization of plant-based burgers. Scientific Reports 11(1): 1-9 .

Elzerman J E, Hoek A C, van Boekel M J and Luning P A. 2015. Appropriateness, acceptance and sensory preferences based on visual information: A web-based survey on meat substitutes in a meal context. Food Quality and Preference 42: 56-65 .

Erdem B G and Kaya S. 2022. Characterization and application of novel composite films based on soy protein isolate and sunflower oil produced using freeze drying method. Food Chemistry 366: 130709 .

Ergönül B. 2009. Farklı probiyotik kültürler kullanarak hindi sucuğu üretimi ve kalite üzerine etkileri. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi .

Featherstone S. 2015. Ingredients used in the preparation of canned foods. A Complete Course in Canning and Related Processes 147-211 .

He, J., Liu, H., Balamurugan, S., & Shao, S. (2021). Fatty acids and volatile flavor compounds in commercial plant-based burgers. Journal of Food Science, 86(2), 293-305.

Herrero A, Ordóñez J, de Avila R, Herranz B, De la Hoz L and Cambero M. 2007. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. Meat Science 77(3): 331-338 .

Hosseini F and Milani E and Bolurian Sh.1390.Effect of microcrystalline cellulose as a fat replacer on physicochemical, textural and sensory properties of low fat hamburger. Food Research Journal 21(3): 372_378.

Hoseini S and Aliabadi M. 2017. The effect of substitution of beef by turkey meat on physicochemical and sensory properties of burger .

Huang S, Tsai Y and Chen C. 2011. Effects of wheat fiber, oat fiber, and inulin on sensory and physico-chemical properties of Chinese-style sausages. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 24(6): 875-880 .

Ismail H M. 2005. The role of omega-3 fatty acids in cardiac protection: an overview. Frontires in Bioscience 10: 1079-1088 .

Ismail I, Hwang Y H and Joo S T. 2020. Meat analog as future food: a review. Journal of Animal Science and Technology 62(2): 111 .

Izadkhasti Z, Fazel M and Abbasi H. 2019. Effect of sesame and soybean meal mixture on physicochemical, textural properties of sausage. Journal of Food Technology and Nutrition 16(4): 33-44 .

Joshi V and Kumar S. 2015. Meat Analogues: Plant based alternatives to meat products-A review. International Journal of Food and Fermentation Technology 5(2): 107-119 .

Kinsella J E and Franzen K L. 1978. Texturized proteins: fabrication, flavoring, and nutrition. Critical Reviews in Food Science & Nutrition 10(2): 147-207 .

Kristinsson H G, Theodore A E, Demir N and Ingadottir B. 2005. A comparative study between acid-and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from channel catfish muscle. Journal of Food Science 70(4): C298-C306 .

Maki K C, Eren F, Cassens M E, Dicklin M R, and Davidson M H. 2018. ω-6 polyunsaturated fatty acids and cardiometabolic health: current evidence, controversies, and research gaps. Advances in Nutrition 9(6): 688-700 .

Mbougueng P, Tenin D, Tchiégang C and Scher J. 2015. Effect of starch type on the physicochemical and textural properties of beef patties formulated with local spices. American Journal of Food Science and Technology 3(2): 33-39 .

Mendoza E, Garcıa M, Casas C and Selgas M. 2001. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. Meat Science, 57(4), 387-393 .

Orcutt M, McMindes M, Chu H, Mueller I, Bater B and Orcutt A. 2006. Textured soy protein utilization in meat and meat analog products. Soy Applications in Food 155-184 .

Penfield M P, Campbell A M and Penfield M P. 1990. Experimental food science: Academic press San Diego.

Rachman A, A Brennan M, Morton J and Brennan C S. 2020. Effect of egg white protein and soy protein isolate addition on nutritional properties and in-vitro digestibility of gluten-free pasta based on banana flour. Foods 9(5): 589 .

Saini R K and Keum Y S. 2018. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance—A review. Life Sciences 203: 255-267 .

Salarkarimi V, Varidi M J and Varidi M. 2019. The Effect of Chestnut (Quercus Brantii) Flour Substitution on the Physicochemical and Sensory Properties of Burgers. Research and Innovation in Food Science and Technology 8(1): 15-30 .

Sánchez-Zapata E, Muñoz C, Fuentes E, Fernández-López J, Sendra E, Sayas E and Pérez-Alvarez J. 2010. Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. Meat Science 85(1): 70-76 .

Sáyago-Ayerdi S, Brenes A and Goñi I. 2009. Effect of grape antioxidant dietary fiber on the lipid oxidation of raw and cooked chicken hamburgers. LWT-Food Science and Technology 42(5): 971-976 .

Siva Kumar S, Balasubramanyam B, Jayaraj Rao K, Heartwin Amala Dhas P and Surendra Nath B. 2017. Effect of flaxseed oil and flour on sensory, physicochemical and fatty acid profile of the fruit yoghurt. Journal of Food Science and Technology 54(2): 368-378 .

Soncu E D, Kolsarıcı N, Cicek N, Öztürk G S and Arıcı Y K. 2015. The comparative effect of carrot and lemon fiber as a fat replacer on physico-chemical, textural, and organoleptic quality of low-fat beef hamburger. Korean Journal for Food Science of Animal Resources 35(3): 370 .

Stein H H, Berger L L, Drackley J K, Fahey Jr G C, Hernot D C and Parsons C M. 2008. Nutritional properties and feeding values of soybeans and their coproducts. In Soybeans (pp. 613-660): Elsevier.

Tansaz S and Boccaccini A R. 2016. Biomedical applications of soy protein: A brief overview. Journal of Biomedical Materials Research Part A 104(2): 553-569 .

Thrane M, Paulsen P, Orcutt M and Krieger T. 2017. Soy protein: Impacts, production, and applications. In Sustainable Protein Sources (pp. 23-45): Elsevier.

Totosaus A and Perez-Chabela M L. 2009. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts. LWT-Food Science and Technology 42(2): 563-569 .

Wu D and Sun D W. 2013. Colour measurements by computer vision for food quality control–A review. Trends in Food Science and Technology 29(1): 5-20 .

Yadav S, Pathera A K, Islam R U, Malik A K and Sharma D P. (2018). Effect of wheat bran and dried carrot pomace addition on quality characteristics of chicken sausage. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 31(5): 729 .