

Original Article

Bee Bread as Natural Fermented Superfood: Physicochemical and antioxidant Properties

Seyed Jamaledin Ebrahimi^{1,2} , Sholeh Darvishi^{3*} , Sirwan Mohammadiazar⁴ 

1. PhD Candidate in Food Biotechnology, Department of Food Sciences and Technology, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
2. Vice-Chancellor of Education, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
3. Associate Professor, Department of Food Sciences and Technology, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
4. Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Article history:

Received: January 19, 2026

Revised: July 20, 2026

Accepted: August 11, 2026



*Corresponding author: Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

E-mail: sho.darvishi@iausdj.ac.ir

Abstract

Background and Aim: Bee bread is a product obtained from bee pollen fermentation in the hive. This study aimed to compare the physicochemical and antioxidant properties of natural Kurdistan bee bread with a sample produced in the laboratory using *Lactobacillus delbrueckii subspecies bulgaricus* and *Streptococcus salvarius subspecies thermophilus*.

Materials and Methods: Natural samples of bee bread were collected from Saral, Avalan and Sarshiv areas of Kurdistan province and compared with laboratory fermented samples. Data were analyzed using SPSS software (version 24) and appropriate statistical tests.

Results: The results showed that natural and laboratory samples were rich in protein, total phenols, and total flavonoids, and the laboratory-produced sample had the potential to replace natural bee bread in terms of nutritional and antioxidant compounds.

Conclusion: Bee bread produced with selected strains demonstrates the potential for producing a high-quality alternative with nutritional and antioxidant characteristics comparable to natural bee bread.

Keywords: Antioxidant activity, Bee bread, Fermentation, Kurdistan, Lactic acid bacteria

Please cite this article as follows: Ebrahimi SJ, Darvishi SH, Mohammadiazar S. Bee Bread as Natural Fermented Superfood: Physicochemical and antioxidant properties. SJKUMS. 2026;31(4):359-369. DOI: 10.22034/31.4.359

نان زنبورعسل؛ یک ابرغذای تخمیر شده طبیعی: خواص فیزیوشیمیایی و آنتی اکسیدانی

سیدجمال الدین ابراهیمی^۱، شعله درویشی^{۲*}، سیروان محمدی آذر^۳

۱. دانشجوی دکتری زیست فناوری مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
۲. معاونت آموزشی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران
۳. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
۴. استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

زمینه و هدف: نان زنبورعسل فراورده‌ای حاصل از تخمیر گردۀ زنبورعسل در کندو است. هدف این مطالعه، مقایسه ویژگی‌های فیزیوشیمیایی و آنتی اکسیدانی نان زنبورعسل طبیعی کردستان با نمونه تولیدشده در آزمایشگاه با استفاده از لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس و استرپتوکوکوس سالواریوس زیرگونه ترموفیلوس بود.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های نان زنبورعسل طبیعی از مناطق سارال، اولان و سرشیو استان کردستان جمع‌آوری و با نمونه تخمیرشده آزمایشگاهی مقایسه شدند. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و آزمون‌های آماری مناسب تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد نمونه‌های نان زنبورعسل طبیعی و آزمایشگاهی از نظر پروتئین، فنل کل و فلاونوئیدکل غنی هستند و نمونه تولیدشده در آزمایشگاه از نظر ترکیبات تغذیه‌ای و آنتی اکسیدانی، قابلیت جایگزینی با نان زنبورعسل طبیعی را دارد.

نتیجه‌گیری: نان زنبورعسل تولیدشده با سویه‌های منتخب، قابلیت تولید جایگزینی با کیفیت تغذیه‌ای و آنتی اکسیدانی مشابه نان زنبورعسل طبیعی را دارد.

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۹

ویرایش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۹

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۰

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی کردستان محفوظ است.

***نویسنده مسئول:** شعله درویشی، دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

واژگان کلیدی: نان زنبورعسل، تخمیر، فعالیت آنتی اکسیدانی، باکتری‌های لاکتیک، کردستان

ایمیل: sho.darvishi@iausdj.ac.ir

استناد: ابراهیمی، سیدجمال الدین؛ درویشی، شعله؛ محمدی آذر، سیروان. نان زنبورعسل؛ یک ابرغذای تخمیر شده طبیعی: خواص فیزیوشیمیایی و آنتی اکسیدانی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، پاییز ۱۴۰۵ (۴): ۳۵۹-۳۶۹.

مقدمه

خنثی کنند [۴]. محصولات زنبورعسل، مانند بره موم، نان زنبورعسل، گردۀ گل، عسل، ژل رویال یا زهر زنبورعسل، منابع امیدبخش آنتی اکسیدان هستند؛ زیرا سرشار از ترکیبات فعال زیستی، مانند فلاونوئیدها (مانند کامفرول، کورستین، نارینژنین) و همچنین ترکیبات فنولی، ازجمله مشتقات سینامیک و اسید بنزوئیک هستند [۵].

نان زنبورعسل محصولی با خواص منحصر به فرد برای انسان و زنبورعسل است که از طریق تخمیر گردۀ زنبورعسل در لانه زنبورعسل تولید می‌شود و عمدتاً با باکتری‌های /اسید لاکتیک (LAB, Lactic Acid Bacteria) و سویه‌های مخمر موجود در محیط ایجاد می‌شود [۶]. تخمیر برای اصلاح بافت، ایجاد

درحال حاضر، یکی از مهم‌ترین مسائل در پیشگیری از بیماری‌ها و داشتن زندگی سالم، مصرف مواد غذایی سالم با این ایده است که «شما همان چیزی هستید که می‌خورید» [۱]. امروزه، مفهوم «غذا به عنوان دارو و دارو به عنوان غذا»، که به بقراط منسوب شده است، به‌طور فزاینده‌ای در بخش مواد غذایی رایج است؛ جایی که تولید غذاهای عملکردی بخش مهمی از سبک زندگی انسان است [۲]. با توجه به افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات طبیعی، علاقه زیادی به محصولات زنبورعسل وجود دارد [۳]. آن‌ها به‌عنوان منبع بالقوه آنتی اکسیدان‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شوند که می‌توانند آثار استرس اکسیداتیو را، که زمینه‌ساز بسیاری از بیماری‌هاست،

زمان بر است، خرید آن برای مصرف انسان محدود است. علاوه بر این، زنبورداران در استخراج گرده زنبورعسل با استفاده از تله احساس راحتی بیشتری می کنند که در این روش، خطر رشد کپک های مضر به دلیل رطوبت زیاد وجود دارد. علاوه بر این، برای جلوگیری از فساد عملیات ذخیره سازی مورد نیاز است [۲]. بنابراین، فرصت های جایگزین باید برای غلبه بر این موانع در نظر گرفته شود. فرصت منحصربه فرد، تخمیر بیوتکنولوژیک BP است که فرایند طبیعی در کندو را شبیه سازی می کند و به تولید محصولی با خواص تغذیه ای بالا، مانند نان زنبورعسل، منجر می شود [۱۸]. گرده زنبورعسل با استفاده از تله های گرده در ورودی کندو جمع آوری می شود، در حالی که نان زنبورعسل از قاب های داخل کندو استخراج می شود. جداسازی نان زنبورعسل از شانه موم نیازمند روش انجماد قبلی قابها (۲۴ ساعت) پس از له شدن مکانیکی موم است. پس از فرایند جمع آوری گرده زنبورعسل، نان زنبورعسل به صورت دستی از بقایای موم و قطعات مرده زنبورعسل جدا می شود و سپس لیوفیلیز و تا زمان استفاده در فریزر (-۲۰ درجه سلسیوس) نگهداری می شوند [۱۹]. بنابراین، هدف این مطالعه مقایسه ویژگی های فیزیکی شیمیایی و خواص آنتی اکسیدانی نان زنبورعسل طبیعی مناطق اصلی تولید عسل در استان کردستان و نان زنبورعسل تولید شده در شرایط آزمایشگاهی بود.

روش کار

نمونه های نان زنبورعسل و گرده زنبورعسل

مطالعه حاضر از نوع توصیفی تحلیلی است که برای انجام آن، یک نمونه گرده زنبورعسل از زنبوردار محلی در غرب استان کردستان (منطقه اولان) تهیه شد و نمونه نان زنبورعسل طبیعی از زنبورداران حرفه ای سه منطقه اصلی تولیدکننده عسل در استان کردستان (ایران)، شامل سارال، سرشیو و اولان (سه کندو از هر منطقه جغرافیایی) طی خرداد ماه ۱۴۰۳ تهیه شد. نمونه ها تا انجام آزمایش ها در یخچال با دمای ۵+ درجه سلسیوس حداکثر به مدت دو هفته نگهداری شد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محل های نمونه برداری نان زنبورعسل طبیعی در مطالعه حاضر را نشان می دهد. این مناطق به ترتیب در مختصات جغرافیایی سارال 35°40'0"N، 46°40'0"E تا 46°50'0"E، سرشیو 35°50'0"N، 46°20'0"E تا 46°30'0"E و اولان 35°40'0"N، 47°0'0"E تا 46°50'0"E واقع شده اند.

میکروارگانسم ها

باکتری های لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس (PTCC No:1737) و استرپتوکوکوس سالواریوس زیرگونه ترموفیلوس (PTCC No:1738) به عنوان مایه میکروبی تخمیر از مرکز کلکسیون میکروارگانسم های صنعتی ایران (سازمان

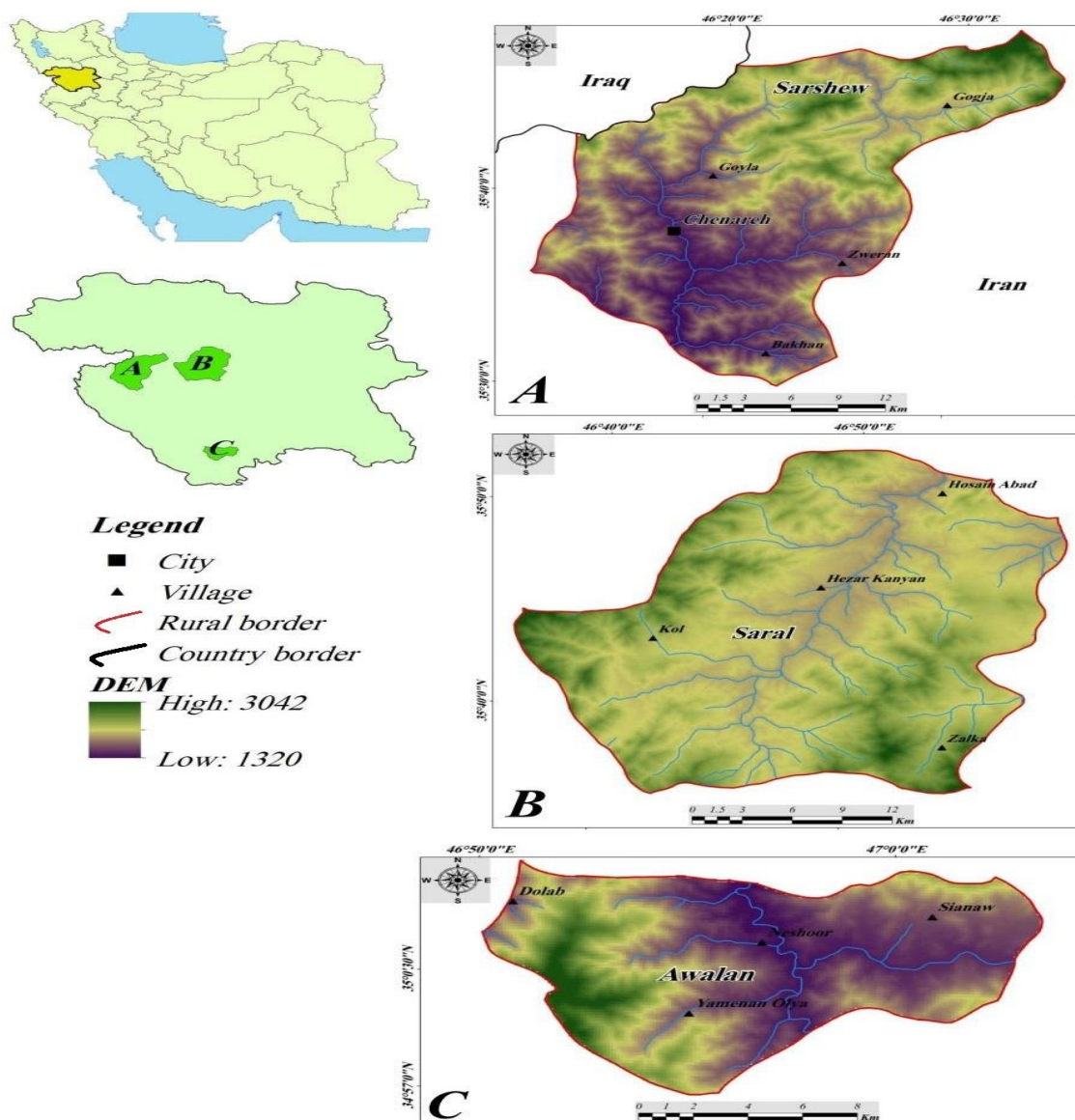
طعم های منحصربه فرد و بهبود خواص تغذیه ای مواد غذایی با تجزیه مواد مغذی موجود در مواد تخمیر شده و تبدیل به مواد مغذی مفید مؤثر است [۷]. در نتیجه تخمیر، اسید لاکتیک با غلظت حداقل ۳ درصد تولید می شود که بیشتر به حفظ نان زنبورعسل کمک می کند [۸]. هم تخمیر و هم تبدیل زیستی با آنزیم های گوارشی زنبورعسل باعث تجزیه گرده و شهد می شوند [۹]. در شرایط بی هوازی، همراه با دما و رطوبت مناسب در کلنی، میکروب های موجود در گرده و آنزیم های ترشح شده توسط زنبورها با هم کار می کنند تا نان زنبورعسل تولید کنند. نان زنبوری، که به خوبی ساخته شده است، سرشار از پروتئین (۱۵ تا ۲۸ درصد)، آنزیم ها، قندها (۲۴ تا ۳۵ درصد)، لیپیدها (۳ تا ۹ درصد)، ویتامین ها و مواد معدنی (۳ تا ۵ درصد) و مواد مغذی دیگر است [۱۰]. همچنین، نان زنبورعسل دارای خواص آنتی اکسیدانی، کاهش چربی خون، محافظ کبد، ضد سرطان، ضد میکروبی و ضد ویروسی به دلیل محتوای بالای پروتئین، قند و چربی است [۱۱].

هنگام جمع آوری گرده، زنبورهای عسل برای مرطوب کردن گرده از شهد و عسل برگشت داده شده استفاده می کنند، در حالی که ترشحات غدد بزاقی آن ها، که سرشار از آنزیم هایی مانند آمیلاز، اینورتاز و گلوکزیداز است، به آگلوتیناسیون گرده و بسته بندی آن کمک می کند [۱۲]. این عمل به تشکیل گلوله ای از دانه های گرده منجر می شود که اندازه آن بین ۱/۴ تا ۴/۰ میلی متر است [۱۳]. نان زنبورعسل حاوی دانه های گرده ای است که لایه ای بیرونی و به دنبال آن، لایه ای از اگزین و اینتین دارد. اگزین، که از اسپورپولنین ساخته شده است، سخت ترین عنصر دانه گرده برای تجزیه در طول پردازش آن است [۱۴]. تخمیر گرده زنبورعسل به دلیل ریخت شناسی گرده و جدار اگزین تا شکسته شدن دیواره و آزاد شدن محتویات گرده به فعالیت آنزیمی مؤثر نیاز دارد [۱۵].

اخیراً، نان زنبورعسل در مقایسه با گرده زنبورعسل، به عنوان مکمل غذایی مطلوب تر مورد توجه قرار گرفته که به افزایش تولید و جمع آوری آن از کندو منجر شده است [۱۶]. برای مثال، اسیدهای آمینه برخی ویتامین ها، مثلاً ویتامین K، فعالیت میکروبی و سطح اسیدیته آزاد در نان زنبورعسل در مقایسه با گرده زنبورعسل بالاترند و علاوه بر این، سرعت هضم نان زنبورعسل بیشتر از گرده زنبورعسل است؛ زیرا دیواره دو لایه گرده زنبورعسل تا حدی با آنزیم های باکتری هضم شده است. قابلیت هضم پروتئین برای گرده زنبورعسل ۶۹ و برای نان زنبورعسل ۷۶ درصد محاسبه شده است [۱۷]. با این حال، ویژگی های عملکردی و ترکیب شیمیایی نان زنبورعسل و گرده زنبورعسل بسته به عواملی مانند منشأ گیاهی گرده، آب و هوا، نحوه جمع آوری، نوع خاک، ذخیره سازی، شرایط جغرافیایی و درجه فراوری متفاوت است [۳].

از آنجاکه جمع آوری نان زنبورعسل از کندو بسیار پرهزینه و

پژوهش‌های علمی صنعتی ایران) به صورت لیوفیلیزه تهیه شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری از نان زنبورعسل (این تصویر موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری را نشان می‌دهد که شامل سه منطقه سارال، آوالان و سرشیو استان کردستان است.)

فرایند تخمیر گرده زنبورعسل و تولید نان زنبورعسل در آزمایشگاه

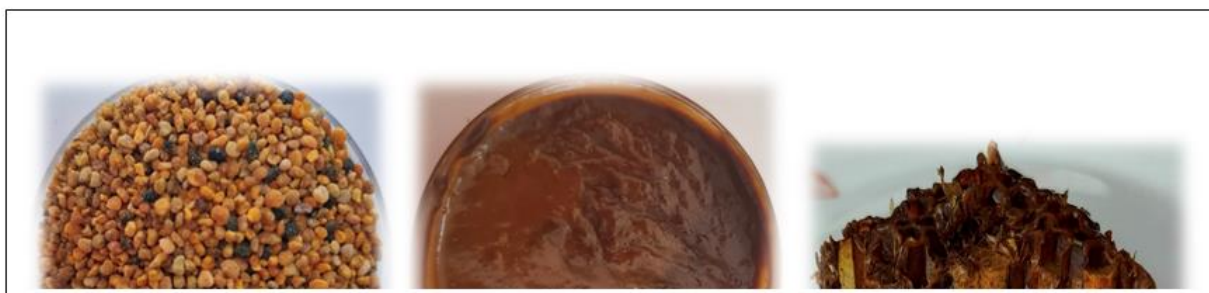
برای تخمیر گرده‌های زنبورعسل براساس روش ذکرشده توسط آداسکوپیوت و همکاران گرده‌های زنبورعسل قبل از انجام آزمایش‌ها و مراحل آماده‌سازی عصاره با یک هاون چینی همگن شد. باکتری‌ها به‌طور ایستا در محیط کشت ام‌آراس براث در دمای ۳۷ درجه سلسیوس کشت داده شد، تا زمانی که چگالی سلولی با استفاده از روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۶۰۰ نانومتر به 0.73×10^9 (۲/۹۲×۱۰^۹) واحدهای شکل کلنی بر میلی‌لیتر رسید. این کشت به‌عنوان مایه تلقیح برای تخمیر میکروبی گرده زنبورعسل استفاده شد [۲۰]. ترکیبات محیط کشت MRS به‌عنوان محیط کشت مرجع، که به‌صورت آماده در دسترس است، شامل مخلوط پپتون ۱۰ گرم بر لیتر، عصاره مخمر ۵ گرم بر لیتر،

عصاره گوشت ۷/۵ گرم بر لیتر، گلوکز ۲۰ گرم بر لیتر، فسفات دی‌پتاسیم ۲ گرم بر لیتر، استات سدیم ۵ گرم بر لیتر، سیترات آمونیوم ۲ گرم بر لیتر، سولفات منیزیم ۰/۵۸ گرم بر لیتر، سولفات منگنز ۰/۲۵ گرم بر لیتر و ماده Tween ۸۰ به میزان ۱ گرم بر لیتر است [۲۱]. سپس ۶ میلی‌لیتر آب مقطر استریل به ۳۰ گرم گرده زنبورعسل همگن اضافه و نگهداری شد تا زمانی که متورم شد. ۱۰ میلی‌لیتر محلول عسل ۶۰ درصد (وزنی/حجمی) جوشانده و سردشده به گرده زنبورعسل اضافه شد.

دو مجموعه یکسان از نمونه‌های مخلوط تخمیر تولید شد. نمونه‌های مجموعه اول با ۶۰۰ میکرولیتر لاکتوباسیلوس دلبروکی و استریپتوکوکوس سالواریوس زیرگونه ترموفیلوس (۲/۹۲×۱۰^۹) واحدهای شکل کلنی بر میلی‌لیتر غنی شد،

دوازده روز، گرده زنبورعسل تخمیر شده و نمونه‌های مجموعه شاهد با روش‌های آزمایشگاهی، آزمایش شدند [۲۲]. شکل ۲ نمونه گرده زنبورعسل، نان زنبورعسل تولید شده طی فرایند تخمیر در آزمایشگاه و نان زنبورعسل طبیعی تخمیر شده در کندو را نشان می‌دهد.

درحالی‌که نمونه‌های مجموعه دوم بدون تلقیح مایه میکروبی تخمیر به‌عنوان شاهد نگهداری شد. نمونه‌ها به پلیت‌های ۲۲ میلی‌لیتری، که ۲۰ تا ۲۵ درصد فضای بالای آن‌ها خالی گذاشته شده بود، اضافه شد و با توجه به شرایط لازم برای تخمیر توسط باکتری‌های لاکتیک در انکوباتور با دمای ۳۲ درجه سلسیوس به‌مدت دوازده روز در شرایط بی‌هوازی نگهداری شد. پس از



شکل ۲. A. نمونه گرده زنبورعسل؛ B. نمونه نان زنبورعسل تولید شده در آزمایشگاه؛ C. نمونه نان زنبورعسل طبیعی

(این تصویر نمونه گرده زنبورعسل تهیه شده برای انجام فرایند تخمیر، نان زنبورعسل تولید شده طی فرایند تخمیر در روز دوازدهم در آزمایشگاه و نان زنبورعسل طبیعی برداشت شده از زنبورستان‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.)

انرژی (کیلو کالری بر ۱۰۰ گرم) = ۴ × (گرم پروتئین + گرم کربوهیدرات) × ۹ + (گرم چربی)

برای تعیین میزان رطوبت ۳ گرم از نمونه با استفاده از آون (Memmert) در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت حرارت داده شد (AOAC 950.46). خاکستر نمونه‌ها (AOAC 923.03) با استفاده از کوره الکتریکی (مدل SF-05، کشور کره جنوبی) انجام شد. لیپید کل با دستگاه سوکسله (مدل SOX406 محصول کمپانی Hanon) تعیین شد که در آن، لیپیدها از ماتریس مواد غذایی با کشیدن حلال استخراج می‌شود. سپس، حلال با حرارت دادن از لیپیدها جدا شد (AOAC 991.36). سنجش پروتئین با استفاده از روش کج‌لدال (AOAC 981.10) با تغییرات وینکلر انجام شد. اسید بوریک برای تعیین مقدار نیتروژن در نمونه با استفاده از ضریب تبدیل ۶/۲۵ (N x 6.25) به کار گرفته شد.

توان احیاکنندگی

به‌منظور سنجش توان احیاکنندگی نمونه‌ها طبق روش ارتسون و همکاران [۱]، حجمی معادل ۰/۲۵ میلی‌لیتر (۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) از عصاره نان زنبورعسل با ۱/۲۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (۰/۲ مولار، pH=۶/۶) و ۱/۲۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری‌سیانید ۱ درصد مخلوط شد. محلول به‌مدت بیست دقیقه در حمام آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس، ۱/۲۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۱۰ درصد به مخلوط اضافه و به‌مدت ده دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۱/۲۵ میلی‌لیتر از لایه بالایی با ۱/۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه و

آنالیزهای فیزیکوشیمیایی

آماده‌سازی و تهیه عصاره نان زنبورعسل

برای آماده‌سازی و تهیه عصاره نان زنبورعسل براساس مطالعه زاولوگا و همکاران، حدود ۱ گرم از نمونه نان زنبورعسل در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری با ۳۰ میلی‌لیتر اتانول (۹۶ درصد حجم / حجم) مخلوط شد. بشر پوشانده و محتویات آن با سرعت کم به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی هم زده شد. محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن فیلتر شده و با اتانول (۹۶ درصد) به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد [۱۸].

pH و اسیدیته آزاد

سنجش pH و اسیدیته آزاد با افزودن ۲ گرم نان زنبورعسل به ۵ میلی‌لیتر آب فوق خالص (دیونایز) انجام شد. pH با استفاده از pH متر (مدل HQD ساخت شرکت Hach آمریکا) تعیین شد و تیتراسیون با هیدروکسید سدیم نیم‌مولار تا رسیدن به pH ۸/۵ ادامه یافت [۲۳].

ترکیبات غذایی و ارزش غذایی نان زنبورعسل

آنالیز فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها با استفاده از روش‌های انجمن رسمی شیمی‌دانان تحلیلی انجام شد و بر این اساس، میزان پروتئین کل، چربی کل و خاکستر تعیین مقدار شد و میزان کل کربوهیدرات‌ها و انرژی طبق روابط زیر محاسبه شد [۲۴]:

کربوهیدرات‌ها (گرم) = (گرم خاکستر + گرم پروتئین + گرم چربی + گرم رطوبت) - ۱۰۰ گرم

۰/۲۵ میلی لیتر FeCl_3 با غلظت ۰/۱ درصد مخلوط شد. جذب در طول موج ۷۰۰ نانومتر قرائت شد و نتایج به صورت میلی گرم معادل اسید گالیک در هر گرم وزن خشک نمونه (میلی گرم GAE/g) بیان شد.

فنل کل

میزان فنل کل با استفاده از روش فولین-سیوکالتو (Folin-Ciocalteu) به کاررفته در مطالعه آیلانک و همکاران [۲۵] تعیین شد. در این روش، ۰/۵ میلی لیتر عصاره اتانولی (۱ میلی گرم در میلی لیتر) با ۰/۲۵ میلی لیتر از معرف Folin-Ciocalteu مخلوط شد پس از سه دقیقه، ۱ میلی لیتر Na_2CO_3 ۲۰ درصد اضافه شد و حجم نهایی با افزودن ۵ میلی لیتر آب دیونیزه تنظیم شد. محلول ها به مدت ده دقیقه در بنماری با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، به مدت سی دقیقه در تاریکی باقی ماندند تا خنک شدند. جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر Hach-UV/Visible ساخت کشور آلمان در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد و مقدار کل ترکیبات فنلی نمونه نان زنبورعسل به صورت میلی گرم معادل اسید گالیک در هر گرم از نمونه بیان شد.

سنجش میزان فلاونوئید کل

میزان فلاونوئید کل بر طبق روشی که آیلی و همکاران [۲۶] به کار برده اند، با استفاده از روش کلرید آلومینیوم سنجش شد. در این روش، پس از افزودن ۱۰ میلی لیتر محلول نمونه یا استاندارد با غلظت های مختلف و ۱۰ میلی لیتر استات سدیم ۱۰ درصد، محلول فیلتر شد. محلول فیلترشده (۵ میلی لیتر) به ۳ میلی لیتر محلول ۲/۵ درصد تری کلرید آلومینیم اضافه شد و در یک فلاسک حجمی ۲۵ میلی لیتری با اتانول ریخته شد. پس از هم زدن، این محلول در تاریکی و در دمای اتاق به مدت ۴۵ دقیقه انکوبه شد. جذب نمونه ها در طول موج ۴۳۰ نانومتر با استفاده از کووت های شیشه ای ۱ سانتی متری اندازه گیری شد. استاندارد تحلیلی برای منحنی کالیبراسیون کوئرستین با غلظت های مختلف بود. میزان فلاونوئید کل بر حسب میلی گرم کوئرستین بر گرم نان زنبور بیان شد و با استفاده از منحنی کالیبراسیون به دست آمده برای غلظت های کوئرستین، که بین ۰ و ۰/۱۲ میلی گرم در میلی لیتر متغیر است، محاسبه شد. آزمایش ها در سه تکرار انجام شد.

فعالیت آنتی اکسیدانی رادیکال DPPH (۲ و ۲ دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل)

برای اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی رادیکال DPPH بر طبق روش میگل و همکاران [۲۷]، محلول هایی با غلظت های مختلف عصاره تهیه شد و ۲۵ میکرولیتر از هر محلول به ۱۵۰

میکرولیتر محلول DPPH ($63.4 \mu\text{M}$) و ۱۲۵ میکرولیتر اتانول ۹۶ درصد اضافه شد. مخلوط به مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق باقی ماند. کاهش مقدار رادیکال DPPH موجود با استفاده از کاهش مقدار جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه گیری شد. غلظت عصاره فراهم کننده ۵۰ درصد بازدارندگی (IC_{50}) با استفاده از نمودار درصد اثر مهار در برابر غلظت عصاره محاسبه شد.

درصد اثر مهار از فرمول $[(A_0 - A_1/A_0) * 100]$ محاسبه شد که در آن A_0 جذب یک کنترل منفی است (نمونه شاهد حاوی همان مقدار حلال و محلول DPPH است) و A_1 جذب نمونه است. درصد در برابر غلظت عصاره رسم و مقادیر IC_{50} تعیین می شود (غلظت عصاره قادر به حذف ۵۰ درصد رادیکال آزاد DPPH است). هیدروکسی تولوئن بوتیل (BHT) به عنوان کنترل مثبت استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد، قبل از بررسی فرضیات، آزمون تست نرمالیت کولموگروف اسمیرنوف انجام شد. برای متغیرهایی که توزیع نرمال نداشتند، از آزمون کروسکال والیس و به منظور بررسی فرضیات برای متغیرهایی که توزیع نرمال داشتند، از آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد. تمام آنالیزها در سه تکرار آزمایشگاهی انجام شد و نتایج به عنوان میانگین و انحراف معیار برای هر مجموعه از نتایج محاسبه شد.

نتایج

آنالیز فیزیکی و شیمیایی نمونه ها

نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی نمونه های نان زنبورعسل طبیعی و نان زنبورعسل تولید شده طی فرایند تخمیر گرده زنبورعسل در آزمایشگاه در جدول ۱ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، میزان پی اچ نمونه های نان زنبورعسل طبیعی در محدوده 4.25 ± 0.3 تا 4.28 ± 0.46 و پی اچ نمونه نان زنبورعسل تولیدی معادل 4.22 ± 0.07 بود و براساس نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه، بین پی اچ نمونه ها تفاوت آماری معناداری وجود نداشت ($P > 0.05$). بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات نمونه های نان زنبورعسل طبیعی به ترتیب به منطقه اولان (67.63 ± 1.47) و منطقه سارال (62.2 ± 1) مربوط بود. میزان کربوهیدرات نان زنبورعسل تولیدی 65.68 ± 1 گرم در ۱۰۰ گرم بود و بین میانگین کربوهیدرات نمونه نان زنبورعسل منطقه سارال با بقیه نمونه ها اختلاف معناداری وجود داشت ($P < 0.05$). میزان پروتئین نمونه های نان زنبورعسل طبیعی در محدوده 18.17 ± 0.6 تا 24.85 ± 0.6 گرم در ۱۰۰ گرم بود، در حالی که پروتئین نان زنبورعسل تولیدی 20.23 ± 0.48 گرم

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها

سطح معنی داری	FBP	آوالان	سرشیو	سارال	
۰/۰۰۷	۴/۲ ± ۰/۰۷	۴/۲۸ ± ۰/۰۵	۴/۲۵ ± ۰/۰۳	۴/۲۶ ± ۰/۰۶	pH
۰/۰۰۲	۶۵/۷ ± ۰/۸	۶۷/۶ ± ۱/۲	۶۵/۹ ± ۰/۶	۶۲/۲ ± ۱	کربوهیدرات (g/100g)
۰/۰۳۸	(۱۹/۱۹-۹۸/۹۸)۱۹/۹۸	(۱۷/۱۷-۸/۸)۱۷/۸	(۱۸/۱۹-۳/۳)۱۹/۳	(۲۴/۲۴-۲/۹)۲۴/۹۴	پروتئین (g/100g)
۰/۰۰۹	۷/۸ ± ۰/۱	۷/۸۵ ± ۰/۷۶	۸/۹ ± ۰/۳	۶/۷۷ ± ۰/۳۷	چربی (g/100g)
۰/۸۳۶	۲/۴۴ ± ۰/۱	۲/۴ ± ۰/۱۴	۲/۳۳ ± ۰/۱۵	۲/۴ ± ۰/۱۵	Total ash (g/100g)
۰/۹۱۹	۳/۸۵ ± ۰/۱۸	۳/۹۴ ± ۰/۱۳	۳/۸۴ ± ۰/۱	۳/۸ ± ۰/۳	فیبر (g/100g)
۰/۰۱۲	۴۱۳/۱ ± ۸/۳	۴۱۳/۴ ± ۸/۸	۴۱۹/۱ ± ۷/۹	۴۰۹/۱ ± ۲/۹	انرژی (Kcal/100g)

(در مواردی که متغیرها از توزیع نرمال پیروی می‌کردند، میانگین $\pm$ انحراف معیار شاخص‌ها محاسبه شده است و در متغیرهایی که از توزیع نرمال پیروی نکردند، از میانه و IQR استفاده شده است. برای مقایسه از آزمون‌های آنالیز واریانس یک طرفه و کروکال والیس استفاده شده است. مقدار P کمتر از ۰/۰۵ به عنوان سطح معنی داری آماری در نظر گرفته شده است.)

محدوده $۱/۵۵ \pm ۴۰۹/۲$ تا $۱۹/۷۴ \pm ۴۱۹/۷۴$ کیلوکالری و میانگین انرژی نان زنبورعسل تولیدی در آزمایشگاه $۱/۳ \pm ۴۱۳/۸$ بود. براساس آزمون آنالیز واریانس یک طرفه، بین انرژی نان زنبورعسل مناطق تفاوت معنی داری وجود دارد. آزمون تعقیبی توکی نشان داد بین میانگین انرژی نمونه نان زنبورعسل طبیعی منطقه سارال و نمونه منطقه سرشیو تفاوت معناداری وجود داشت ($p < ۰/۰۵$).

سنجش آنتی اکسیدان

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار DPPH، توان احیاکنندگی، فلاونوئیدکل و فنل کل موجود در نمونه‌های نان زنبورعسل برداشت شده از زنبورستان‌های مناطق سه گانه را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین میزان DPPH مربوط به نمونه نان زنبورعسل برداشت شده از زنبورستان‌های منطقه سارال $۰/۳۷ \pm ۰/۰۵$ میلی گرم گالیک اسید بر گرم و کمترین مربوط به نمونه برداشت شده از زنبورستان‌های منطقه سرشیو $۰/۲۱ \pm ۰/۰۳$ بود. برطبق آزمون آنالیز واریانس یک طرفه، تفاوت بین میزان DPPH نمونه‌ها معنی دار بود ($p < ۰/۰۵$). برای مقایسه‌های دودویی، از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. نتایج نشان داد که بین میزان DPPH نمونه نان زنبورعسل منطقه سارال با نمونه‌های نان زنبورعسل مناطق سرشیو و آوالان، تفاوت معنی داری وجود داشت.

براساس آزمون کروکال والیس، میانه پروتئین نمونه‌های منطقه سارال بالاتر از نمونه‌های مناطق سرشیو و آوالان و نان زنبورعسل تولیدی در آزمایشگاه بود. میزان چربی نمونه‌های نان زنبورعسل طبیعی برداشت شده از زنبورستان‌های سه منطقه در محدوده $۰/۳۷ \pm ۶/۷۷$ تا $۰/۳ \pm ۸/۹$ گرم در ۱۰۰ گرم بود و میزان چربی نمونه نان زنبورعسل تولیدی در آزمایشگاه برابر با $۷/۸ \pm ۰/۱۳$ گرم در ۱۰۰ گرم بود و براساس نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه، بین میانگین چربی نمونه‌ها در سه منطقه تفاوت معنی داری وجود داشت. آزمون تعقیبی توکی نشان داد که بین میانگین چربی نمونه منطقه سارال با نمونه منطقه سرشیو اختلاف معناداری وجود دارد ($p < ۰/۰۵$).

میزان خاکستر کل نمونه‌های نان زنبورعسل طبیعی در محدوده $۰/۱۵ \pm ۲/۳۳$ تا $۰/۱۷ \pm ۲/۴۲$ گرم در ۱۰۰ گرم و میزان خاکستر نان زنبورعسل تولید شده در آزمایشگاه $۰/۱۴ \pm ۲/۴۴$ گرم در ۱۰۰ گرم بود و بین میزان خاکستر نمونه‌های نان زنبورعسل طبیعی و نان زنبورعسل تولید شده در آزمایشگاه اختلاف معناداری وجود نداشت ($p > ۰/۰۵$). میزان فیبر نمونه‌های نان زنبورعسل طبیعی در محدوده $۰/۳۶ \pm ۳/۸۲$ تا $۰/۱۶ \pm ۳/۹۴$ گرم در ۱۰۰ گرم بود، درحالی که میزان فیبر نان زنبورعسل تولیدی در آزمایشگاه $۰/۲۲ \pm ۳/۸۵$ گرم در ۱۰۰ گرم بود و بین میانگین فیبر نمونه‌ها اختلاف معناداری وجود نداشت ($p > ۰/۰۵$). میزان انرژی نمونه‌های نان زنبورعسل طبیعی برداشت شده از زنبورستان‌های مناطق سارال، سرشیو و آوالان در

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار DPPH، توان احیاکنندگی، فلاونوئیدکل و فنل کل نمونه‌ها

سطح معنی داری	FBP	سارال	سرشیو	آوالان	
۰/۰۰۵	۰/۳۱ ± ۰/۰۳	۰/۳۷ ± ۰/۰۵	۰/۲۱ ± ۰/۰۳	۰/۲۳ ± ۰/۰۴	DPPH
۰/۰۰۰	۳/۵ ± ۰/۱۵	۴/۱۱ ± ۰/۱۴	۲/۱ ± ۰/۱۵	۱/۵۳ ± ۰/۰۵	فلاونوئیدکل
۰/۰۲۲	(۲/۴۵-۲/۵۴)۲/۵۴	(۲/۱۶-۲/۳۱)۲/۳۱	(۲/۰۵-۲/۲۰)۲/۲۰	(۴/۴-۳/۳۵)۴/۳۵	توان احیاکنندگی
۰/۰۱۶	(۸/۷۸-۸/۸۶)۸/۸۶	(۵/۸۹-۶/۳۳)۶/۳۳	(۸/۱۵-۸/۴۲)۸/۴۲	(۱۳/۷۷-۱۴/۱۱)۱۴/۱۱	فنل کل

(در مواردی که متغیرها از توزیع نرمال پیروی می‌کردند، میانگین $\pm$ انحراف معیار شاخص‌ها محاسبه شده و در متغیرهایی که از توزیع نرمال پیروی نکردند، از میانه و IQR استفاده شده است. برای مقایسه از آزمون‌های آنالیز واریانس یک طرفه و کروکال والیس استفاده شده است. مقدار P کمتر از ۰/۰۵ به عنوان سطح معنی داری آماری در نظر گرفته شده است.)

نمونه‌های مناطق مختلف، متفاوت بود. بیشترین میزان فلاونوئید

در مطالعه حاضر، میزان فلاونوئیدکل شناسایی شده در

کل در نمونه نان زنبورعسل برداشت شده از زنبورستان های منطقه سالار $4/11 \pm 0/14$ و کمترین $1/53 \pm 0/05$ میلی گرم کوئرتستین بر گرم در نان زنبورعسل منطقه اولان مشاهده شد و برطبق آزمون آنالیز واریانس یک طرفه، تفاوت بین میزان فلاونوئید کل موجود در نمونه ها معنی دار بود ($p < 0/05$). بیشترین میانه مربوط به توان احیاکنندگی (RP) مربوط به نمونه نان زنبورعسل منطقه سالار $4/35$ میلی گرم گالیک اسید بر گرم و کمترین مربوط به نان زنبورعسل منطقه سرشبو $2/20$ بود و برطبق آزمون کروסקال والیس، تفاوت بین میزان توان احیاکنندگی نمونه ها معنی دار بود ($p < 0/05$). همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می شود، بیشترین میانه فنل کل موجود در نمونه های بررسی شده به ترتیب مربوط به منطقه سالار ($14/11$)، سرشبو ($8/42$) و اولان ($6/33$) میلی گرم گالیک اسید بر گرم بود. برطبق آزمون کروסקال والیس، تفاوت بین میزان فنل کل نمونه ها معنی دار بود ($p < 0/05$).

بحث

در پژوهش حاضر، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه های نان زنبورعسل طبیعی کردستان و نان زنبورعسل تولیدشده در آزمایشگاه بررسی شد. میزان کربوهیدرات نمونه های نان زنبورعسل طبیعی و نان زنبورعسل تولیدی با میزان کربوهیدرات موجود در نمونه های نان زنبورعسل طبیعی در مطالعه کولایی و همکاران [۲۸] ($61/52 \pm 0/44$ تا $73/93 \pm 0/05$) و آیلانک و همکاران [۱۷] ($65/6 \pm 1/5$ گرم در 100 گرم مطابقت داشت، اما با میزان کربوهیدرات نمونه نان زنبورعسل مطالعه کلیسیزیک و همکاران [۲۹] 24 تا 34 درصد گرم بر 100 گرم مطابقت نداشت؛ علت این مطابقت نداشتن را می توان ناشی از تنوع گیاهی و منبع گرده دانست. نان زنبورعسل از گرده های گیاهی مختلف تشکیل می شود و ترکیب قندی آن به شدت تحت تأثیر گونه های گیاهی غالب منطقه است.

برخی گیاهان گرده ای با قندهای ساده و قابل هضم بیشتر تولید می کنند، درحالی که برخی دیگر ترکیب کربوهیدراتی پیچیده تری دارند. بنابراین، تفاوت ترکیب فلور منطقه کردستان با مناطق دیگر مورد مطالعه می تواند از دیگر دلایل تفاوت میزان کربوهیدرات نمونه ها باشد. فرایند تخمیر میکروبی به عنوان کلیدی ترین مرحله در تولید نان زنبورعسل، در تغییرات ترکیبات ماکرومغذی ها نقشی تعیین کننده ایفا می کند. تفاوت در گونه های میکروبی، زمان تخمیر و شرایط محیطی (دما و رطوبت)، باعث می شود که میزان کربوهیدرات و پروتئین، بسته به شدت فعالیت های آنزیمی و تخمیری، نوسان داشته باشد. همچنین، تفاوت در روش های استخراج (حلال های مورد استفاده) و پروتکل های اندازه گیری، مانند روش های رنگ سنجی در برابر روش های کروماتوگرافی، در مطالعات مختلف، از عوامل تکنیکی

مؤثر در تفاوت در میزان کربوهیدرات و پروتئین موجود در نان زنبورعسل مناطق مختلف محسوب می شود. میزان پروتئین شناسایی شده در نمونه های نان زنبورعسل مطالعه حاضر با میزان پروتئین نمونه های نان زنبورعسل مالزی در مطالعه محمد و همکاران [۳۰] $21/23 \pm 7/33$ گرم در 100 گرم و میزان پروتئین نمونه نان زنبورعسل ایران (شهر شیراز) در مطالعه فلاح و همکاران [۳۱] $18/1 \pm 50/4$ گرم در 100 گرم مشابهت داشت.

میزان انرژی نمونه های نان زنبورعسل طبیعی و نمونه نان زنبورعسل تولیدی در آزمایشگاه با میزان انرژی نان زنبورعسل طبیعی مطالعه باکور و همکاران [۳۲] $396/2 \pm 0/4$ کیلوکالری در 100 گرم مشابهت داشت، اما با مقدار چربی و خاکستر نمونه های نان زنبورعسل طبیعی مطالعه باکور و همکاران (به ترتیب $1/90 \pm 0/086$ گرم در 100 گرم و $3/32 \pm 0/08$ گرم در 100 گرم) مشابهت نداشت. مشابهت نداشتن در میزان چربی نمونه ها را می توان ناشی از عوامل مختلفی دانست؛ از جمله وجود چربی بیشتر در برخی گرده ها، نحوه استخراج چربی (نوع حلال، مدت استخراج و آماده سازی نمونه در نتیجه اثر دارد)، تغییرات ناشی از تخمیر (برخی لیپیدها در طول تخمیر تغییر می کنند یا به ترکیبات دیگر تبدیل می شوند)، اکسیداسیون در طول نگهداری (اگر نمونه مدت بیشتری نگهداری شده باشد، ممکن است بخشی از لیپیدها اکسید شوند و مقدار قابل سنجش تغییر کند).

گیاهانی که گرده تولید می کنند، مواد معدنی را از خاک جذب می کنند. بنابراین، نوع خاک، pH، میزان بارندگی و شرایط اقلیمی همگی در ترکیب معدنی گرده و در نتیجه، خاکستر اثر می گذارند. وجود ذرات مومی، بقایای گیاهی، یا ناخالصی های محیطی نیز می تواند مقدار خاکستر را تغییر دهد. در مطالعه کان و همکاران [۳۳] بیشترین و کمترین میزان فلاونوئید کل در نمونه های نان زنبورعسل طبیعی به ترتیب معادل $0/104 \pm 3/504$ و $0/039 \pm 0/681$ میلی گرم کوئرتستین بر گرم، بیشترین و کمترین مقدار فنل کل به ترتیب $14/917 \pm 0/216$ و $0/063 \pm 4/393$ میلی گرم گالیک اسید بر گرم بود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت.

برطبق نتایج مطالعه حاضر، نمونه های نان زنبورعسل تولیدشده در مناطق جغرافیایی مورد مطالعه، به ویژه منطقه سالار، از نظر مقدار ترکیبات فلاونوئیدی در سطحی بالا قرار دارد که می تواند ناشی از چندین عامل بیولوژیکی و محیطی باشد. فلاونوئیدها متابولیت های ثانویه گیاهی هستند که مقدار آن ها به شدت به نوع گیاه موجود در منطقه وابسته است. منطقه سالار احتمالاً شامل گونه های گیاهی است که برای تولید متابولیت های ثانویه (فلاونوئیدها) ظرفیت بیشتری دارد. عوامل استرس زای محیطی در مناطق مختلف، از جمله ارتفاع، شدت تابش آفتاب و میزان رطوبت، می توانند مسیرهای سنتز فلاونوئیدها در گیاهان

همچنین، شرایط انبارداری و سطح اکسیداسیون نمونه‌ها پیش از انجام آزمایش، از عوامل محیطی دخیل در کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برخی نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های دیگر است. در این مطالعه، تولید نان زنبورعسل در آزمایشگاه برای اولین بار در کشور انجام شد؛ ضمن اینکه تاکنون پروفایل اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب و اسیدهای آلی نان زنبورعسل مناطق مختلف استان کردستان در هیچ مطالعه‌ای بررسی نشده است. بنابراین، نوآوری در انجام این مطالعه و ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه ممتاز در سطح کشور به منظور دستیابی به نتایج معتبر و قابل‌اعتماد از دیگر از قوت‌ها و مزایای آن به شمار می‌آید. از محدودیت‌های مطالعه می‌توان به هزینه‌های زیاد تهیه محیط کشت، باکتری‌های مورد استفاده برای تولید نان زنبورعسل، تهیه نان زنبورعسل از مناطق مختلف استان و تعرفه زیاد آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های نان زنبورعسل سه منطقه اصلی تولیدکننده عسل در استان کردستان با نان زنبورعسل تولیدشده طی فرایند تخمیر گردۀ زنبورعسل در آزمایشگاه ارزیابی شد. نان زنبورعسل تولیدشده در آزمایشگاه می‌تواند جایگزین مناسبی از مواد مغذی، ازجمله کربوهیدرات، پروتئین، آنتی‌اکسیدان‌ها و فلاونوئیدها، باشد. با توجه به اینکه نان زنبورعسل منبع تغذیه‌ای بسیار باارزشی است و این مطالعه برای اولین بار ویژگی‌های نان زنبورعسل استان کردستان را بررسی کرده است، می‌تواند اطلاعات مفیدی درخصوص نان زنبورعسل کردستان و افزایش دسترسی عموم با تولید آن در شرایط آزمایشگاهی ارائه دهد و در زمینه تولید نان زنبورعسل طبیعی کردستان، پیشگام توسعه مطالعات بیشتر باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، نان زنبورعسل مناطق دیگر استان با تکرارهای بیولوژیکی بیشتر بررسی شود و تأثیر شرایط آب‌وهوایی و انواع گل‌های مناطق مختلف در میزان مواد مغذی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نان زنبورعسل ارزیابی شود.

تشکر و قدردانی

از زحمات مسؤول محترم آزمایشگاه میکروبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج و مسؤولان محترم آزمایشگاه معیار دانش پارس اصفهان تشکر می‌شود

ملاحظات اخلاقی

کد تصویب پایان‌نامه
۱۱۰۰۴۸۹۳۷۳۰۲۰۵۶۳۳۷۰۲۱۱۶۲۷۴۷۹۲۵ است

منطقه را تغییر دهند و در نهایت، در نان زنبورعسل که زنبورها تولید می‌کنند، تغییرات کیفی ایجاد می‌کنند. بیشترین مقدار IC50 نمونه‌ها برای فعالیت مهار رادیکال DPPH برابر با ۲/۸۹۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گالیک اسید بود که بیشتر از نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر بود، درحالی‌که کمترین مقدار DPPH برابر ۰/۲۴۲ بود که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت.

کانیزارو و همکاران رژیم‌های غذایی زنبورهای عسل جنگل‌های گرمسیری گینه نو، ازجمله اسیدهای چرب، را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تنوع منابع گرده برای حفظ پروفایل کامل اسیدهای چرب در حفظ سلامت زنبورهای عسل اهمیت ویژه‌ای دارد [۲۴]. برطبق نتایج مطالعه کازلینو و همکاران، پروفایل متابولیتی و میزان ترکیبات زیست‌فعال موجود در گردۀ زنبورعسل و نان زنبور عسل، به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر منشأ جغرافیایی و گیاه‌شناسی منطقه قرار دارد و پروفایل‌های فنولی می‌توانند برای ارزیابی کیفیت این محصولات به‌عنوان نشانگرهای شیمی‌تاکسونومیک استفاده شوند [۳۵]. در مطالعه‌ای و همکاران بیشترین میزان فنل کل برحسب میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم در نمونه BBE8 و BBE10 به‌ترتیب (۰/۲۹ ± ۱۸/۳۰ و ۰/۵۱ ± ۱۸/۳۰) بود و کمترین میزان در نمونه شماره BBE2 (۰/۰۵ ± ۷/۱۰) بود که با نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر مطابقت داشت [۳۶].

بیشترین میزان فلاونوئید کل در نمونه BBE3 (۰/۵۱۶ ± ۱/۸۶ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم) و کمترین میزان در نمونه BBE7 (۰/۳۵ ± ۰/۴۵) بود که با نمونه‌های اولان و سرشیو در مطالعه حاضر مطابقت داشت و از مقدار فلاونوئیدکل در نمونه سارال کمتر بود. در مطالعه گرچک و همکاران، میزان فنل کل بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم (۰/۵۴ ± ۴/۹۶)، فلاونوئیدکل بر حسب میلی‌گرم کوئرستین بر گرم (۰/۰۲ ± ۰/۸) و مقدار DPPH بر حسب میلی‌گرم ترلوکس بر گرم (۱/۰۱ ± ۹/۸۳) بود [۳۶] که به‌ترتیب از نتایج فنل کل و فلاونوئیدکل در مطالعه حاضر کمتر و در مقایسه با DPPH بسیار بیشتر بود. در مطالعه مایدا و همکاران، میزان فلاونوئیدکل بر حسب میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ۰/۴۲ ± ۲/۷۲ بود [۳۷] که کم‌تر از میزان فلاونوئیدکل به‌دست‌آمده در منطقه سارال و نان زنبورعسل تولیدی در آزمایشگاه بود و از فلاونوئیدکل نمونه‌های مناطق سرشیو و اولان بیشتر بود.

همچنین، میزان DPPH ۰/۱۰۰ ± ۳/۳۷۳ میلی‌گرم TEAC بر گرم بیشتر از نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر بود. وجود تفاوت در میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی این مطالعه با مطالعات دیگر می‌تواند ناشی از اختلاف در ترکیب کیفی پلی‌فنول‌ها باشد؛ زیرا توانایی مهار رادیکال‌های آزاد صرفاً به غلظت کل فنل‌ها وابسته نیست، بلکه به نوع و ساختار شیمیایی ترکیبات فنلی موجود در گرده‌های هر منطقه بستگی دارد.

تضاد منافع

هیچ کدام از نویسندگان این مطالعه، افراد یا دستگاه‌ها تعارض منافی برای انتشار این مقاله ندارند.

حمایت مالی

هزینه انجام طرح به صورت شخصی تأمین شده و از هیچ سازمانی دریافت نشده است.

REFERENCES

1. Ertosun S, Aylanc V, Falcão SI, Vilas-Boas M. Thermal stability and antioxidant activity of bioactive compounds in bread enriched with bee pollen and bee bread. *Antioxidants* (Basel). 2023;12(9):1691. [DOI: [10.3390/antiox12091691](https://doi.org/10.3390/antiox12091691)]
2. Barta DG, Cornea-Cipcigan M, Margaoan R, Vodnar DC. Biotechnological processes simulating the natural fermentation process of bee bread and therapeutic properties: an overview. *Front Nutr*. 2022;9:871896. [DOI: [10.3389/fnut.2022.871896](https://doi.org/10.3389/fnut.2022.871896)]
3. Aksoy A, Altunatmaz SS, Aksu F, Tokatlı Demirok N, Yazıcı K, Yıkmiş S. Bee bread as a functional product: phenolic compounds, amino acid, sugar, and organic acid profiles. *Foods*. 2024;13(5):795. [DOI: [10.3390/foods13050795](https://doi.org/10.3390/foods13050795)]
4. Martinello M, Mutinelli F. Antioxidant activity in bee products: a review. *Antioxidants* (Basel). 2021;10(1):71. [DOI: [10.3390/antiox10010071](https://doi.org/10.3390/antiox10010071)]
5. Urcan AC, Cristea AD, Szanto KI, Ștefan R, Zahan M, Muscă AS, et al. Antimicrobial and antiproliferative activity of green synthesized silver nanoparticles using bee bread extracts. *Pharmaceutics*. 2023;15(7):1797. [DOI: [10.3390/pharmaceutics15071797](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071797)]
6. Poyraz F, Yalmanlı D, İspirli H, Dertli E. Characterization of bee bread produced with defined starter cultures mimicking the natural fermentation process. *Fermentation*. 2023;9(2):174. [Link]
7. Liu Y, Jiang B, Wang K. A review of fermented bee products: sources, nutritional values, and health benefits. *Food Res Int*. 2023;174(Pt 1):113506. [DOI: [10.1016/j.foodres.2023.113506](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113506)]
8. Mišek M, Mołoń M, Kula-Maximenko M, Sidor E, Zagula G, Džugan M. Chemical composition and bioactivity of laboratory-fermented bee pollen in comparison with natural bee bread. *Biomolecules*. 2023;13(7):1025. [DOI: [10.3390/biom13071025](https://doi.org/10.3390/biom13071025)]
9. Pokajewicz K, Lamaka D, Hudz N, Adamchuk L, Wiczorek PP. Volatile profile of bee bread. *Sci Rep*. 2024;14(1):6870. [DOI: [10.1038/s41598-024-57159-y](https://doi.org/10.1038/s41598-024-57159-y)]
10. Wang Y, Ma L, Xu B. Bee wisdom: exploring bee control strategies for food microflora by comparing the physicochemical characteristics and microbial composition of beebread. *Microbiol Spectr*. 2023;11(6):e0181823. [DOI: [10.1128/spectrum.01818-23](https://doi.org/10.1128/spectrum.01818-23)]
11. Mišek M, Mołoń M, Kiełar P, Sidor E, Bocian A, Marciniak-Lukasiak K, et al. The comparison of honey enriched with laboratory-fermented pollen vs. natural bee bread in terms of nutritional and antioxidant properties, protein in vitro bioaccessibility, and its genoprotective effect in yeast cells. *Molecules*. 2023;28(15):5851. [DOI: [10.3390/molecules28155851](https://doi.org/10.3390/molecules28155851)]
12. Bakour M, Laaroussi H, Ousaïd D, El Ghouzi A, Es-Safi I, Mechchate H, et al. Bee bread as a promising source of bioactive molecules and functional properties: an up-to-date review. *Antibiotics* (Basel). 2022;11(2):203. [DOI: [10.3390/antibiotics11020203](https://doi.org/10.3390/antibiotics11020203)]
13. Svečnjak L, Bošković K, Prdun S, Mrkonjić Fuka M, Tanuwidjaja I. Metric and spectral insight into bee pollen to bee-bread transformation process. *Foods*. 2023;12(22):4149. [DOI: [10.3390/foods12224149](https://doi.org/10.3390/foods12224149)]
14. Mohammad SM, Mahmud-Ab-Rashid NK, Zawawi N. Stingless bee-collected pollen (bee bread): chemical and microbiological properties and health benefits. *Molecules*. 2021;26(4):957. [DOI: [10.3390/molecules26040957](https://doi.org/10.3390/molecules26040957)]
15. Zhang Z, Cao H, Chen C, Chen X, Wei Q, Zhao F. Effects of fermentation by *Ganoderma lucidum* and *Saccharomyces cerevisiae* on rape pollen morphology and its wall. *J Food Sci Technol*. 2017;54(12):4026-34. [DOI: [10.1007/s13197-017-2868-1](https://doi.org/10.1007/s13197-017-2868-1)]
16. Baky MH, Abouelela MB, Wang K, Farag MA. Bee pollen and bread as a super-food: a comparative review of their metabolome composition and quality assessment in the context of best recovery conditions. *Molecules*. 2023;28(2):715. [DOI: [10.3390/molecules28020715](https://doi.org/10.3390/molecules28020715)]
17. Aylanc V, Falcão SI, Vilas-Boas M. Bee pollen and bee bread nutritional potential: chemical composition and macronutrient digestibility under in vitro gastrointestinal system. *Food Chem*. 2023;413:135597. [DOI: [10.1016/j.foodchem.2023.135597](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135597)]
18. Zuluaga CM, Serrato J, Quicazán M. Chemical, nutritional and bioactive characterization of Colombian bee-bread. *Chem Eng Trans*. 2015;43:175-80. [Link]
19. Ertosun S, Falcão SI, Aylanc V, et al. The impact of bee product incorporation on the processing properties, nutritional value, sensory acceptance, and microbial stability of bread. *Food Meas*. 2024;18:451-63. [Link]
20. Adaškevičiūtė V, Kaškonienė V, Barčauskaitė K, Kaškonas P, Maruška A. The impact of fermentation on bee pollen polyphenolic compounds composition. *Antioxidants*. 2022;11:645. [DOI: [10.3390/antiox11040645](https://doi.org/10.3390/antiox11040645)]
21. Zhang J, Bu Y, Zhang C, Yi H, Liu D, Jiao J. Development of a low-cost and high-efficiency culture medium for bacteriocin Lac-B23 production by *Lactobacillus plantarum* J23. *Biology* (Basel). 2020;9(7):171. [DOI: [10.3390/biology9070171](https://doi.org/10.3390/biology9070171)]
22. Kaškonienė V, Katilevičiūtė A, Kaškonas P, Maruška A. The impact of solid-state fermentation on bee pollen phenolic compounds and radical scavenging capacity. *Chem Pap*. 2018;72:2115-20. [Link]
23. Costa MCA, Morgano MA, Ferreira MMC, Milani RF. Analysis of bee pollen constituents from different Brazilian regions: quantification by NIR spectroscopy and PLS regression. *LWT Food Sci Technol*. 2017;80:76-83. [Link]
24. AOAC International. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. Horwitz W, editor. Gaithersburg (MD): AOAC International; 2000. [Link]
25. Aylanc V, Tomás A, Russo-Almeida P, Falcão SI, Vilas-Boas M. Assessment of bioactive compounds under simulated gastrointestinal digestion of bee pollen and bee bread: bioaccessibility and antioxidant activity. *Antioxidants* (Basel). 2021;10(5):651. [DOI: [10.3390/antiox10050651](https://doi.org/10.3390/antiox10050651)]
26. Ilie CI, Oprea E, Geana EI, Spoiala A, Buleandra M, Gradisteanu Pircalabioru G, et al. Bee pollen extracts: chemical composition, antioxidant properties, and effect on the growth of selected probiotic and pathogenic bacteria. *Antioxidants* (Basel). 2022;11(5):959. [DOI: [10.3390/antiox11050959](https://doi.org/10.3390/antiox11050959)]
27. Miguel MD, Doughmi O, Aazza S, Antunes D, Lyoussi B. Antioxidant, anti-inflammatory and acetylcholinesterase inhibitory activities of propolis from different regions of Morocco. *Food Sci Biotechnol*. 2014;23(1):313-22. [Link]
28. Kolaylı S, Okumus Yukunc G, Kara Y, Demir Kanbur E, Can Z, Ozkok A, et al. Bee bread from Anatolia: its chemical composition, phenolic and aromatic profiles, and antioxidant properties. *J Apic Res*. 2025;64(3):944-58. [Link]
29. Kieliszek M, Piwowarek K, Kot AM, Błażej S, Chlebowska-Śmigiel A, Wolska I. Pollen and bee bread as new health-oriented products: a review. *Trends Food Sci Technol*. 2018;71:170-80. [Link]
30. Mohammad SM, Mahmud-Ab-Rashid NK, Zawawi N. Botanical origin and nutritional values of bee bread of stingless bee (*Heterotrigona itama*) from Malaysia. *J Food*

- Qual. 2020;2020:1-12. [\[Link\]](#)
31. Fallah M, Najafi F, Kavooosi Gh. Proximate analysis, nutritional quality and anti-amylase activity of bee propolis, bee bread and royal jelly. *Int J Food Sci Technol*. 2022;57(5):2944-53. [\[Link\]](#)
 32. Bakour M, Fernandes A, Barros L, Sokovic M, Ferreira ICFR. Bee bread as a functional product: chemical composition and bioactive properties. *LWT*. 2019;109:276-82. [\[Link\]](#)
 33. Can Z, Gidik B, Kara Y, Kolaylı S. Antioxidant activity and phenolic content of bee breads from different regions of Türkiye by chemometric analysis (PCA and HCA). *Eur Food Res Technol*. 2024;250(12):2961-71. [\[Link\]](#)
 34. Cannizzaro C, Brooks P, Ovah R, Inae K, Wilson R, Kämper W, et al. Floral diversity in tropical landscapes affects fatty acid composition in bee bread. *Front Bee Sci*. 2026;4:1773714. [\[Link\]](#)
 35. Cozzolino R, Albanese G, Matarazzo C, De Nigris A, Ambrosone L, De Cristofaro A, et al. Chemical fingerprint of phenolamides and flavonoid glycosides in bee pollen and bee bread from different altitudes and botanical origins. *Food Biosci*. 2026:108948. [\[Link\]](#)
 36. Ilie CI, Spoiala A, Geana EI, Chircov C, Ficai A, Ditu LM, et al. Bee bread: a promising source of bioactive compounds with antioxidant properties—first report on some antimicrobial features. *Antioxidants*. 2024;13(3):353. [\[DOI: 10.3390/antiox13030353\]](#)
 37. Gerçek YC, Dagsuyu E, Basturk FN, Kırkinci S, Yıldırım N, Kiskan G, et al. Enzyme inhibitory, physicochemical, and phytochemical properties and botanical sources of honey, bee pollen, bee bread, and propolis obtained from the same apiary. *Antioxidants*. 2024;13(12):1483. [\[Link\]](#)
 38. Mayda N, Özkök A, Bayram NE, Gerçek YC, Sorkun K. Bee bread and bee pollen of different plant sources: determination of phenolic content, antioxidant activity, fatty acid and element profiles. *J Food Meas Charact*. 2020;14:1795-1809. [\[Link\]](#)