

مطالعه تاثیر فیکواریترین بر فعالیت آنتی اکسیدانی، خواص ضد میکروبی و افزایش زمان ماندگاری همبرگر

موسی بهجتی^۱، مریم عطایی^۱، بهاره نوروزی^{۲*}، سید امیر علی انوار^۱، حامد اهری^۳

چکیده

مقدمه

یکی از چالش‌های اساسی در صنعت مواد غذایی، افزایش ماندگاری محصولات فسادپذیر است، که به دلیل رشد میکروبی، دنا توره شدن پروتئین‌ها و اکسیداسیون لیپیدها اتفاق می‌افتد (۱). این فرآیندها منجر به تغییر در بو، طعم، بافت و رنگ محصول شده و در نهایت ماندگاری آن را در طول دوره نگهداری کاهش می‌دهند (۲). از سوی دیگر، استفاده از نگهدارنده‌های سنتتیک به دلیل خطرات متعدد از جمله سرطان‌زایی برای مصرف‌کنندگان محدود شده و لزوم یافتن جایگزین‌های ایمن‌تر احساس می‌شود. همبرگر، به دلیل محتوای بالای مواد مغذی و بسته‌بندی آسیب‌پذیر، محیط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند و به همین دلیل در دسته محصولات فسادپذیر قرار می‌گیرد. میکروارگانیسم‌های سایکروترفوف که در فرآورده‌های گوشتی، به ویژه همبرگر، به شدت فعال هستند، در دمای پایین نیز به رشد خود ادامه داده و منجر به فساد محصول می‌شوند. اگرچه دمای یخچال رشد میکروبی را کند می‌کند، اما به تنهایی برای کنترل فساد همبرگر کافی نیست. بنابراین، ترکیب دماهای پایین با افزودنی‌های ضد میکروبی یا بسته‌بندی در شرایط اتمسفر اصلاح‌شده، راهکار مؤثرتری برای افزایش ماندگاری همبرگر محسوب می‌شود (۳). ماکرو جلبک‌ها حاوی ترکیبات زیست‌فعال مانند رنگدانه‌ها، پلی‌ساکاریدها و ترکیبات فنولی هستند، که

رنگدانه‌های طبیعی مستخرج از سیانوباکتری‌ها، به‌عنوان منابع ارزشمند ترکیبات زیستی شناخته می‌شوند، که دارای اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی قابل‌توجهی هستند. در این پژوهش، خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی فیکواریترین استخراج‌شده از سیانوباکتری *Nostoc sp.* مورد بررسی قرار گرفت. سپس از این ترکیب جهت پوشش‌دهی نمونه‌های همبرگر با درصد‌های مختلف گوشت (۴۰، ۷۵ و ۹۵ درصد) استفاده شد و تغییرات فیزیکیوشیمیایی و ویژگی‌های حسی این نمونه‌ها طی یک دوره نگهداری ۲۱ روزه در فواصل زمانی ۱، ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز و دو دمای ۴ و ۶ درجه سانتیگراد ارزیابی گردید. بررسی نتایج نشان داد، که فیکواریترین توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH را با مقدار $2/0 \pm 71/03$ (mg/ml) دارد. همچنین حداقل غلظت مهاری این ترکیب در برابر سودوموناس آئروژینوزا بالاتر از سایر باکتری‌های مورد بررسی بود، درحالی‌که در باسیلوس سوبتیلیس و باسیلوس سرئوس کمترین تأثیر بازدارندگی را داشت ($p < 0/05$). نتایج مقدار تیوباریوتوریک اسید و اندیس پراکسید در هر دو دمای بررسی‌شده و در تمامی بازه‌های زمانی نشان داد که بیشترین و کمترین میزان این شاخص‌ها مربوط به نمونه همبرگر ۹۵ درصد گوشت بدون پوشش‌دهی بود، درحالی‌که پایین‌ترین مقدار آن در نمونه ۴۰ درصد گوشت با پوشش فیکواریترین مشاهده شد ($p < 0/05$). علاوه بر این، بررسی ویژگی‌های حسی نشان داد که بالاترین امتیاز حسی به نمونه همبرگر ۹۵ درصد گوشت دارای پوشش فیکواریترین اختصاص یافت، درحالی‌که کمترین امتیاز حسی مربوط به نمونه ۴۰ درصد گوشت بدون پوشش بود ($p < 0/05$). به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن فیکواریترین به نمونه‌های همبرگر، تأثیر قابل‌توجهی در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، افزایش زمان ماندگاری و بهبود کیفیت حسی نمونه‌ها داشت.

واژگان کلیدی: پوشش حفاظتی، خواص آنتی‌اکسیدانی، فیکواریترین، ماندگاری، همبرگر

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۴

۱. گروه بهداشت مواد غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

baharehnowruzi77@iau.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

در *Spirulina platensis* و *Chlorella vulgaris* فرآورده‌های گوشتی نشان دادند، که ماکروجلبک‌ها دارای پروفایل تغذیه‌ای مناسبی بوده و مقادیر بالایی PUFA و پروتئین با ارزش بیولوژیکی دارند. عصاره آبی *F. vesiculosus* بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از خود نشان داد که به دلیل وجود فلوروتانین‌ها به عنوان ترکیبات فنولی اصلی بود. افزودن 1000 ppm عصاره *F. vesiculosus* به نمونه‌های همبرگر، آن‌ها را در برابر اکسیداسیون محافظت کرد (۷). Hentati و همکاران در سال ۲۰۱۹ نیز تأثیر افزودن *Cystoseira compressa* و *Jania adhaerens* در غلظت‌های ۰.۵، ۱ و ۱.۵ درصد به برگ ماهی را بررسی کردند و دریافتند که برگ‌های حاوی ۱ درصد جلبک، در مقایسه با گروه شاهد، از بافت و خواص حسی بهتری برخوردار بودند. جلبک‌ها به دلیل داشتن رنگدانه‌ها و پلی‌ساکاریدها، به طور قابل توجهی فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های ماهی را افزایش دادند. در مجموع، این مطالعه نشان داد که *Cystoseira compressa* و *Jania adhaerens* می‌توانند به عنوان افزودنی‌های مغذی در تولید محصولات جدید بر پایه ماهی استفاده شوند (۸). در تحقیق حاضر، برای اولین بار از رنگدانه فیکواریترین، که رنگدانه غالب سیانوباکتری نوستوک است، به منظور افزایش ماندگاری همبرگر استفاده شد.

مواد و روش کار

سیانوباکتری نوستوک خالص سازی شده از مجموعه کشت سیانوباکتری های دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات Cyanobacteria culture collection (CCC) هرابریم البرز، باکتری و قارچ های مورد بررسی در آزمون های ضد میکروبی، باکتری گرم مثبت *Staphylococcus aureus* (PTCC 1112)، *Bacillus subtilis* (PTCC 1023)، *Bacillus cereus* (PTCC 1015)،

می‌توانند در فرمولاسیون‌های غذایی مورد استفاده قرار گیرند. از میان این ترکیبات، فیکواریترین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان و ضدالتهاب قوی شناخته شده است، که قابلیت محافظت در برابر استرس اکسیداتیو و تغییرات فیزیولوژیکی را دارد. در مقابل، آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی نظیر بوتیل هیدروکسی تولوئن و بوتیل هیدروکسی آنیزول، به دلیل خطرات بالقوه برای سلامتی، جای خود را به آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند فیکواریترین داده‌اند. فیکواریترین و فیکوسیانیین به دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، از جایگاه ویژه‌ای در صنعت غذا برخوردار هستند (۴). علاوه بر این، بررسی‌های انجام‌شده نشان داده‌اند که فیکواریترین سیانوباکتری (C-PE) هیچ‌گونه اثر سمی بر روی رده‌های سلولی انسانی نداشته و دارای اثرات تغذیه‌ای قابل توجهی در برابر آسیب‌های متابولیکی و سمی در اندام‌هایی نظیر کبد در مدل‌های حیوانی است. سه نوع فیکواریترین با حداکثر جذب در طول موج‌های متفاوت شناسایی شده‌اند (B-PE ($\lambda_{max} = 565 \text{ nm}$ ، C-PE ($\lambda_{max} = 565 \text{ nm}$) و R-PE ($\lambda_{max} = 565 \text{ nm}$) (Li et al., 2015). افزوان‌ترین فیکوبیلی‌پروتئین، R-phycoerythrin است که در جلبک‌های قرمز یافت می‌شود (۵). تحقیقات بسیاری برای افزایش ماندگاری محصولات غذایی با استفاده از عصاره‌های جلبکی و رنگدانه‌های استخراج‌شده از آن‌ها انجام شده است. مطالعه Haghdoust و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان داد که افزودن فیکوبیلی‌پروتئین و نانولیپوزوم آن در سطوح ۲.۵٪ و ۵٪ وزنی به برگ‌های ماهی کپور طی دوره نگهداری در یخچال، توانست فساد را با کاهش شاخص‌های TVC، TVB-N، TBA، PV و PTC به تأخیر بیندازد (۶). همچنین، Agregán Pérez و همکاران در سال ۲۰۱۹ در بررسی اثر آنتی‌اکسیدانی سه ماکروجلبک دریایی شامل *Ascophyllum nodosum*، *Fucus vesiculosus* و *Bifurcaria bifurcata* و دو ریزجلبک

حاصل در 0 ± 5 درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی دیالیز و سپس فریز درای شد (۱۰).

بررسی فعالیت ضد میکروبی با استفاده از روش انتشار دیسک، حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت کشندگی

فعالیت ضد میکروبی فیکواریترین به روش انتشار دیسک بررسی شد. محیط کشت مولر - هیتون آگار برای کشت باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی مورد استفاده قرار گرفت. پس از آماده‌سازی محیط، باکتری‌ها با سوسپانسیون با کدورت استاندارد McFarland 0.5 به محیط تلقیح شدند. دیسک‌های حاوی غلظت‌های مختلف فیکواریترین بر روی پلیت‌ها قرار گرفت و پتری‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در گرم خانه انکوبه شدند. سپس نواحی عدم رشد باکتری‌ها اندازه‌گیری شد (۱۱). محیط سابرو دکستروز آگار برای بررسی اثر ضد میکروبی قارچ‌ها استفاده شد. برای تهیه سوسپانسیون قارچی از محیط کشت مایع سابرو دکستروز برات ۳۰ گرم در لیتر استفاده شد (۱۲). فرمول زیر برای مقایسه فعالیت ضد میکروبی نمونه مورد آزمایش با استاندارد استفاده شد (ایندکس ضد میکروبی):

$$\text{Antimicrobial index} = \frac{\text{Inhibition zone of sample} \times 100}{\text{Inhibition zone of the standard}}$$

حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) با روش microdilution broth تعیین شد. سوسپانسیون باکتریایی در محیط مولر هیتون برات (MHB) با غلظت 6×10^8 CFU/ml تهیه و عصاره فیکواریترین در 4% DMSO حل شد. ۱۰۰ میکرولیتر از هر رقت به همراه ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتریایی در پلیت‌های میکروتیتر ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه گردید. پایین‌ترین غلظتی که رشد میکروارگانیسم‌ها را مهار

منفی (*Escherichia coli* (PTCC 1047)، *Pseudomonas aeruginosa* (PTCC 1310)، *Salmonella typhi* (PTCC 1609)، یک مخمر (*Candida albicans* (ATCC 10231) و یک قارچ پاتوژنیک (*Aspergillus niger* (ATCC 16404) بودند، که از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران و کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

روش‌ها

کشت سویه سیانوباکتری *Nostoc sp.*

سیانوباکتری *Nostoc sp.* در محیط کشت BG110 به صورت خالص و آگزینک کشت داده شد. اطمینان از خالص بودن کشت‌ها از طریق بررسی‌های میکروسکوپی حاصل شد. شرایط کشت شامل دمای 28 ± 2 درجه سانتی‌گراد و نوردهی مداوم فلورسنت با شدت ۳۰۰ میکروانشتین در متر مربع بر ثانیه به مدت ۳۰ روز بود (۹).

جداسازی و استخراج رنگدانه فیکواریترین

برای جداسازی فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، ۵۰۰ میلی‌لیتر از محیط کشت ۱۴ روزه سانتریفیوژ شد (4000 rpm)، سپس رسوب حاصل با بافر فسفات (pH 7.2) شسته و لیوفیلیزه گردید. بیومس خشک‌شده (۲ گرم) در ۵۰۰ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات ۰/۱ مولار (pH 7.2) معلق شد. استخراج فیکوبیلی‌پروتئین‌ها با روش انجماد در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد و ذوب مجدد در دمای اتاق، در تاریکی تکرار شد. مخلوط حاصل در ۱۰,۰۰۰×g به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 0 ± 5 درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ و محتویات فیکواریترین جمع‌آوری شد. برای خالص‌سازی، از رسوب‌گیری با آمونیوم سولفات (۶۵٪) استفاده شد. رسوب

در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، روغن حاصل برای اندازه‌گیری عدد پراکسید استفاده شد (۱۴).

اکسیداسیون لیپید (TBARS)

برای سنجش اکسیداسیون چربی، ۲۰ گرم از نمونه همبرگر با ۵۰ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۲۰٪ مخلوط شد و پس از صاف کردن، ۵ میلی‌لیتر از عصاره با ۰/۰۱ مولار تیوباربتوریک اسید مخلوط و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت نگهداری شد. جذب در ۵۳۲ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۱۴).

تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی همبرگر های پوشش دهی شده با عصاره فیکواریترین

روش DPPH

فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره با توانایی خنثی سازی رادیکال DPPH در متانول بررسی شد. میزان بی‌رنگ شدن محلول بنفش DPPH پس از افزودن عصاره اندازه‌گیری و درصد مهار بر اساس کاهش جذب در ۵۱۷ نانومتر محاسبه شد (۱۵).

آزمون Scavenging کاتیون رادیکال ABTS

رادیکال ABTS با ترکیب محلول استوک ۷ میلی‌مولار ABTS و ۲/۴۵ میلی‌مولار پتاسیم پرسولفات تهیه شد. پس از ۴ تا ۱۶ ساعت، محلول با اتانول رقیق و جذب در ۷۳۴ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها بر اساس کاهش میزان جذب بر اساس $\mu\text{g/mL}$ محاسبه شد (۱۵).

$100 \times (\text{جذب کنترل} / \text{جذب کنترل-جذب نمونه}) = (\%)$
فعالیت حذف رادیکال های ABTS
ویژگی های میکروبی برگرها

کرد، به عنوان MIC گزارش شد. برای تعیین MBC، ۱۰۰ میکرولیتر از محلول هر چاهک روی مولر هینتون آگار کشت داده شد و پلیت‌ها در ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شدند. پایین‌ترین غلظتی که ۹۹.۹٪ از میکروارگانیسم‌ها را از بین برد، به عنوان MBC در نظر گرفته شد. برای قارچ‌ها نیز MIC به همین روش تعیین شد. عصاره فیکواریترین در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تهیه و با استفاده از روش رقیق‌سازی سریال بررسی شد. پس از انکوباسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ تا ۴۸ ساعت، اولین لوله شفاف به عنوان MIC ثبت شد (۱۳).

آماده سازی همبرگر و انجام تیمارها

بر اساس نتایج MIC، بهترین غلظت فیکواریترین برای پوشش‌دهی همبرگر تعیین شد. برای تیمارها، ۸۰ میلی‌لیتر از محلول فیکواریترین آماده شد. همبرگرهای تازه در قطعات ۱۰ و ۲۵ گرمی به مدت ۲۰ دقیقه در محلول فیکواریترین غوطه‌ور شده و در شرایط دمایی +۴ و +۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در زمان‌های ۰، ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز، نمونه‌ها از نظر خواص میکروبی و شیمیایی بررسی شدند.

آزمون های همبرگر

اندازه گیری pH برگرها

برای اندازه‌گیری pH، ۱۵ گرم از نمونه همبرگر با ۱۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط و پس از ۲ دقیقه pH با استفاده از pH متر کالیبره اندازه‌گیری شد (۱۴).

تعیین عدد پراکسید

۵۰ گرم از نمونه همبرگر در ۱۵۰ میلی‌لیتر محلول کلروفرم/متانول (۲:۱) حل شد. پس از فیلتراسیون، ۵۰ میلی‌لیتر محلول پتاسیم کلرید اضافه و پس از دکانتورگذاری، فاز آلی جمع‌آوری شد. پس از تبخیر حلال

قطر هاله عدم رشد، حداقل غلظت ممانعت کنندگی و

حداقل غلظت کشندگی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که حداقل غلظت ممانعت کننده در برابر سودوموناس آئروژینوزا به طور معنی داری بالاتر و در برابر باسیلوس سوبتیلیس و سپس باسیلوس سرئوس به طور معنی داری پایین تر بود ($p < 0.05$). همچنین، فیکواریترین در برابر هیچ کدام از باکتری های بررسی شده اثر کشندگی نداشت ($p < 0.05$). اختلاف آماری معنی داری در قطر هاله عدم رشد فیکواریترین در برابر میکروارگانیزم های مورد بررسی مشاهده نشد ($p < 0.05$). کمترین ممانعت از رشد در برابر سودوموناس آئروژینوزا و بیشترین ممانعت از رشد در برابر باسیلوس سوبتیلیس گزارش شد ($p < 0.05$).

نتایج آزمون های نمونه های همبرگر پوشش دهی شده با

فیکواریترین و نگهداری شده در دماهای 4°C و 8°C

pH

نتایج این پژوهش نشان داد که در هر دو دمای بررسی شده (4°C و 8°C) در تمام دوره های زمانی، بیشترین مقدار pH مربوط به نمونه ۱ (همبرگر با ۴۰ درصد گوشت بدون پوشش دهی) بود. ($p > 0.05$) کمترین مقدار pH نیز در نمونه ۶ (همبرگر با ۹۵ درصد گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد.

تیوباریتوریک اسید (TBA)

نتایج این مطالعه نشان داد که در هر دو دمای بررسی شده (4°C و 8°C) در تمامی بازه های زمانی، بیشترین مقدار تیوباریتوریک اسید مربوط به نمونه ۵ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت بدون پوشش دهی) بود. ($p > 0.05$) کمترین مقدار TBA نیز در نمونه ۲ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد.

نمونه های ۱۰ گرمی به صورت اسپتیک با ۹۰ میلی لیتر پپتون واتر ۰.۱٪ استریل هموژن شده و رقت های سریالی تهیه شد. آزمون شمارش میکروبی مطابق با استاندارد ملی ایران انجام شد. شمارش میکروارگانیزم های زنده در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت و سرما دوست ها در دمای ۷ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ روز انجام شد. همچنین شمارش سالمونلا، *Staphylococcus aureus*، کلی فرم ها، *E. coli*، کپک و مخمر مطابق با استانداردهای ملی ایران انجام شد (۱۶).

ارزیابی حسی به روش هدونیک ۵ نقطه ای

ارزیابی حسی تیمارهای مختلف همبرگر با آزمون هدونیک ۵ نقطه ای شامل طعم، بافت، رنگ و بو توسط ۳۰ ارزیاب آموزش ندیده انجام شد. نمونه ها به صورت کدگذاری شده و به روش تصادفی در اختیار ارزیاب ها قرار گرفت. میانگین نمرات برای هر پارامتر به عنوان میزان پذیرش کلی ثبت شد (۱۶).

آنالیز آماری

نتایج به دست آمده به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار در سه بار تکرار گزارش شدند. واحدهای تشکیل دهنده کلنی (CFUs) قبل از تحلیل آماری به مقادیر لگاریتمی تبدیل شدند. تجزیه و تحلیل داده ها با آزمون ANOVA یک طرفه و آزمون تعقیبی دانکن با نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. سطح معنی داری $0.05 \leq p$ در نظر گرفته شد.

نتایج

نتایج بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی

در این پژوهش، فعالیت آنتی اکسیدانی فیکواریترین بر اساس مهار رادیکال های آزاد DPPH اندازه گیری شد که مقدار آن برابر با 0.03 ± 2.71 میلی گرم بر میلی لیتر به دست آمد.

آزمون های ضد میکروبی

جدول ۱. مقایسه حداقل غلظت ممانعت کنندگی (MIC) فیکواریترین بر علیه *اشریشیاکلی*، *سالمونلا تیفی*، *سودوموناس آیرزینوزا*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *باسیلوس سوبتیلیس*

باکتری	MIC	MBC	Inhibition Zone (mm)	ممانعت کنندگی از رشد (%)
<i>اشریشیاکلی</i>	$3/33 \pm 1/44^{bc}$	منفی	$11/66 \pm 0/57^a$	$38/59 \pm 3/03^b$
<i>سالمونلا تیفی</i>	$4/16 \pm 1/44^b$	منفی	$10/66 \pm 0/57^a$	$40/35 \pm 3/03^b$
<i>سودوموناس آیرزینوزا</i>	$8/33 \pm 2/88^a$	منفی	$11 \pm 0/00^a$	$29/82 \pm 3/03^c$
<i>استافیلوکوکوس اورئوس</i>	$3/33 \pm 1/44^{bc}$	منفی	$11/66 \pm 0/57^a$	$40/74 \pm 3/20^b$
<i>باسیلوس سرئوس</i>	$2/50 \pm 0/00^{bc}$	منفی	$10/66 \pm 0/57^a$	$43/33 \pm 2/88^{ab}$
<i>باسیلوس سوبتیلیس</i>	$0/83 \pm 0/36^c$	منفی	$11/33 \pm 0/57^a$	$48/33 \pm 2/88^a$

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون می باشد ($p < 0/05$).

جدول ۲. مقایسه میانگین قطر هاله عدم رشد فیکواریترین بر علیه *کاندیدا آلبیکنس* و *آسپرژیلوس نایجر*

<i>کاندیدا آلبیکنس</i>	$7/66 \pm 0/57^a$
<i>آسپرژیلوس نایجر</i>	$6/33 \pm 0/57^b$

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون می باشد ($p < 0/05$).

جدول ۳. تغییرات pH نمونه های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای 4°C

آزمون	زمان نگهداری (روز)				
	روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش	$6/12 \pm 0/00^{aE}$	$6/18 \pm 0/01^{aD}$	$6/24 \pm 0/00^{aC}$	$6/28 \pm 0/00^{aB}$	$6/37 \pm 0/01^{aA}$
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE	$6/12 \pm 0/01^{aE}$	$6/15 \pm 0/00^{bD}$	$6/19 \pm 0/01^{bC}$	$6/24 \pm 0/01^{bB}$	$6/31 \pm 0/01^{bA}$
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش	$5/98 \pm 0/00^{bE}$	$6/05 \pm 0/00^{cD}$	$6/14 \pm 0/00^{cC}$	$6/23 \pm 0/01^{bB}$	$6/30 \pm 0/01^{bA}$
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE	$5/98 \pm 0/00^{bE}$	$6/00 \pm 0/00^{dD}$	$6/07 \pm 0/01^{dC}$	$6/12 \pm 0/00^{cB}$	$6/18 \pm 0/01^{cA}$
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش	$5/83 \pm 0/00^{cE}$	$5/90 \pm 0/01^{cD}$	$5/99 \pm 0/01^{cC}$	$6/08 \pm 0/01^{dB}$	$6/18 \pm 0/01^{cA}$
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE	$5/83 \pm 0/01^{cE}$	$5/86 \pm 0/00^{fD}$	$5/94 \pm 0/01^{fC}$	$6/01 \pm 0/01^{eB}$	$6/06 \pm 0/00^{dA}$

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطر می باشد ($p < 0/05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪.

گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر (۴۰٪ گوشت) پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴):

همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی

شده با محلول فیکواریترین

جدول ۴. تغییرات تیوباریتوریک اسید نمونه‌های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای ۴°C

نمونه	آزمون	زمان نگهداری (روز)				
		روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش		cA ₀ /۲۷±۰/۰۱	cA ₀ /۳۳±۰/۰۰	cA ₀ /۷۴±۰/۰۱	cB ₀ /۹۲±۰/۰۱	cA ₁ /۰۸±۰/۰۲
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE		cA ₀ /۲۷±۰/۰۰	fA ₀ /۳۰±۰/۰۰	fA ₀ /۶۶±۰/۰۰	fB ₀ /۸۲±۰/۰۱	fA ₀ /۹۹±۰/۰۱
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش		bA ₀ /۳۶±۰/۰۰	cA ₀ /۴۳±۰/۰۰	cA ₀ /۹۹±۰/۰۱	cB ₁ /۱۸±۰/۰۰	cA ₁ /۴۱±۰/۰۰
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE		bA ₀ /۳۶±۰/۰۰	dA ₀ /۴۰±۰/۰۰	dA ₀ /۹۰±۰/۰۰	dB ₁ /۰۷±۰/۰۱	dA ₁ /۲۶±۰/۰۱
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش		aA ₀ /۴۴±۰/۰۰	aA ₀ /۵۱±۰/۰۰	aA ₁ /۱۶±۰/۰۱	aB ₁ /۴۴±۰/۰۱	aA ₁ /۶۹±۰/۰۱
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE		aA ₀ /۴۳±۰/۰۰	bA ₀ /۴۸±۰/۰۰	bA ₁ /۰۶±۰/۰۱	bB ₁ /۲۷±۰/۰۱	bA ₁ /۴۷±۰/۰۱

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطر می باشد ($p < 0.05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر ۴۰٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

اندیس پراکسید

نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در تمام بازه‌های زمانی، بالاترین میزان اندیس پراکسید مربوط به نمونه ۵ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت بدون پوشش دهی) بود. ($p > 0.05$) در مقابل، پایین‌ترین میزان اندیس پراکسید در نمونه ۲ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد.

فعالیت آنتی اکسیدانی

به روش مهارکنندگی رادیکال آزاد (DPPH)

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در تمام بازه‌های زمانی، بالاترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی متعلق به نمونه ۶ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت

پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین بود ($p \leq 0.05$). پایین‌ترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در نمونه ۱ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت بدون پوشش دهی) مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش درصد گوشت همبرگرها، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). در نمونه‌های همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین منجر به افزایش معنادار فعالیت آنتی اکسیدانی شد ($p \leq 0.05$). از طرفی، با گذشت زمان، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها به طور معناداری کاهش یافت ($p \leq 0.05$).

جدول ۵. تغییرات اندیس پراکسید نمونه‌های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای ۴°C

نمونه	آزمون	زمان نگهداری (روز)				
		روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش		cA ₀ /۱۴±۰/۰۲	dA ₀ /۳۰±۰/۰۱	eA ₀ /۴۶±۰/۰۱	eA ₀ /۵۹±۰/۰۱	dA ₀ /۷۴±۰/۰۲
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE		bcA ₀ /۱۴±۰/۰۱	eA ₀ /۲۴±۰/۰۱	fA ₀ /۴۰±۰/۰۲	fA ₀ /۴۸±۰/۰۰	eA ₀ /۶۲±۰/۰۲
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش		bA ₀ /۱۷±۰/۰۱	bA ₀ /۵۰±۰/۰۲	cA ₀ /۶۰±۰/۰۲	cA ₀ /۷۷±۰/۰۲	bA ₀ /۱۰۲±۰/۰۲
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE		bcA ₀ /۱۶±۰/۰۱	cA ₀ /۴۱±۰/۰۱	dA ₀ /۵۳±۰/۰۱	dA ₀ /۶۴±۰/۰۱	cA ₀ /۷۹±۰/۰۲
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش		aA ₀ /۲۸±۰/۰۲	aA ₀ /۶۰±۰/۰۱	aA ₀ /۷۹±۰/۰۱	aA ₀ /۹۸±۰/۰۲	aA ₀ /۱۲۸±۰/۰۲
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE		aA ₀ /۲۷±۰/۰۱	bA ₀ /۴۸±۰/۰۲	bA ₀ /۶۸±۰/۰۱	bA ₀ /۸۲±۰/۰۱	bA ₀ /۱۰۳±۰/۰۲

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطر می‌باشد ($p < 0.05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪. گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر ۴۰٪. گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪. گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪. گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪. گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪. گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

جدول ۶. تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانی (به روش مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH) نمونه‌های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای ۴°C

نمونه	آزمون	زمان نگهداری (روز)				
		روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش		aA ₃₂ /۲۲±۰/۳۶	aA ₃₅ /۱۸±۰/۶۵	aA ₃₉ /۲۳±۰/۲۳	aA ₄₄ /۶۴±۰/۱۵	aA ₄₉ /۱۱±۰/۳۶
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE		bA ₂₈ /۸۵±۰/۲۲	cA ₃₀ /۴۲±۰/۵۵	cA ₃₁ /۲۷±۰/۰۰	cA ₃₃ /۸۲±۰/۰۰	cA ₃₅ /۷۴±۰/۰۹
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش		bA ₂₈ /۷۸±۰/۱۴	bA ₃₁ /۵۷±۰/۳۰	bA ₃₃ /۵۶±۰/۰۸	bA ₃₆ /۳۳±۰/۲۹	bA ₄₂ /۲۳±۰/۲۶
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE		cA ₂₅ /۰۹±۰/۴۴	dA ₂₇ /۲۲±۰/۰۵	dA ₂₈ /۴۵±۰/۱۲	dA ₂₉ /۷۳±۰/۱۳	cA ₃₁ /۶۴±۰/۰۷
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش		dA ₂₀ /۸۸±۰/۳۴	eA ₂₃ /۰۲±۰/۱۵	eA ₂₄ /۸۷±۰/۱۴	eA ₃₈ /۹۵±۰/۱۲	dA ₃₂ /۴۲±۰/۳۹
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE		eA ₁₅ /۷۸±۰/۳۷	fA ₁₆ /۴۱±۰/۳۲	fA ₁₇ /۵۱±۰/۱۱	fA ₁₈ /۸۱±۰/۲۴	fA ₂₀ /۴۳±۰/۰۳

($p \leq 0.05$). کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه ۱ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت بدون پوشش‌دهی) مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش درصد گوشت در همبرگرها منجر به افزایش معنادار فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد ($p \leq 0.05$). در نمونه‌های همبرگر با درصد گوشت

فعالیت آنتی اکسیدانی (به روش جذب رادیکال ABTS) نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در تمام بازه‌های زمانی، بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به نمونه ۶ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت پوشش‌دهی شده با محلول فیکواریترین) تعلق داشت

یکسان، افزودن فیکواریترین به افزایش معنادار فعالیت آنتی اکسیدانی منجر شد ($p \leq 0.05$). همچنین، با گذشت زمان، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها به طور معناداری کاهش یافت ($p \leq 0.05$).

جدول ۷. تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانی (به روش جذب رادیکال ABTS) نمونه‌های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای $^{\circ}\text{C}$

۴

نمونه	آزمون	زمان نگهداری (روز)				
		روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
فاقد پوشش	همبرگر ۴۰ درصد	$aA25/35 \pm 0.47$	$aA25/75 \pm 0.30$	$aA28/03 \pm 0.48$	$aA30/14 \pm 0.30$	$aA32/49 \pm 0.15$
پوشش PE	همبرگر ۴۰ درصد با پوشش	$bA22/48 \pm 0.43$	$bA22/63 \pm 0.14$	$bA23/26 \pm 0.09$	$cA24/31 \pm 0.33$	$cA25/22 \pm 0.36$
فاقد پوشش	همبرگر ۷۵ درصد	$bA22/42 \pm 0.49$	$bA23/01 \pm 0.24$	$bA23/37 \pm 0.20$	$bA26/91 \pm 0.08$	$bA29/89 \pm 0.22$
پوشش PE	همبرگر ۷۵ درصد با پوشش	$cA19/33 \pm 0.09$	$cA20/49 \pm 0.34$	$cA21/60 \pm 0.26$	$dA23/11 \pm 0.04$	$dA23/83 \pm 0.27$
فاقد پوشش	همبرگر ۹۵ درصد	$dA15/90 \pm 0.03$	$dA16/25 \pm 0.17$	$dA18/37 \pm 0.43$	$eA19/08 \pm 0.00$	$eA21/09 \pm 0.08$
پوشش PE	همبرگر ۹۵ درصد با پوشش	$eA11/84 \pm 0.12$	$eA12/15 \pm 0.16$	$eA12/90 \pm 0.36$	$fA13/75 \pm 0.34$	$fA14/60 \pm 0.18$

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطر می باشد ($p < 0.05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر ۴۰٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

آنالیزهای میکروبی

جمعیت کل باکتری‌های زنده مزوفیل

همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین منجر به کاهش معنادار جمعیت کل باکتری‌های زنده مزوفیل شد ($p \leq 0.05$). از طرفی، با گذشت زمان، جمعیت کل باکتری‌های زنده مزوفیل نمونه‌ها به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در تمام بازه‌های زمانی، بالاترین جمعیت کل باکتری‌های زنده مزوفیل متعلق به نمونه ۵ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت بدون پوشش دهی) بود ($p \leq 0.05$). کمترین جمعیت کل باکتری‌های زنده مزوفیل در نمونه ۲ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش درصد گوشت همبرگرها، جمعیت کل باکتری‌های زنده مزوفیل به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). در نمونه‌های

جدول ۸. تغییرات در شمارش ($\log_{10}$ CFU/ g) کل باکتری‌های زنده مزوفیل در نمونه‌های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای 4°C

نمونه	زمان نگهداری (روز)				
	روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش	aE۴/۱۹±۰/۰۰	bD۵/۱۹±۰/۰۱	cC۵/۴۵±۰/۰۲	aB۸/۲۱±۰/۰۴	cA۱۰/۸۲±۰/۰۴
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE	aE۴/۱۷±۰/۰۰	cD۴/۹۶±۰/۰۱	cC۵/۲۷±۰/۰۱	eB۶/۶۲±۰/۰۶	fA۹/۳۴±۰/۰۱
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش	cE۴/۰۸±۰/۰۰	aD۵/۳۰±۰/۰۲	bC۵/۹۶±۰/۰۳	bB۸/۱۳±۰/۰۴	bA۱۱/۱۰±۰/۰۱
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE	cE۴/۰۷±۰/۰۰	dD۴/۸۲±۰/۰۴	cC۵/۲۹±۰/۰۲	dB۶/۸۵±۰/۰۲	cA۹/۵۷±۰/۰۷
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش	cE۴/۰۸±۰/۰۲	bD۵/۲۲±۰/۰۱	aC۶/۳۴±۰/۰۲	cB۸/۰۵±۰/۰۲	aA۱۱/۳۳±۰/۰۱
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE	bE۴/۱۲±۰/۰۴	cD۴/۵۹±۰/۰۶	dC۵/۴۰±۰/۰۱	dB۶/۸۳±۰/۰۷	dA۹/۹۰±۰/۰۴

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطر می‌باشد ($p<0.05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر (۴۰٪ گوشت) پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

جمعیت کل باکتری‌های سایکروتروف

نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در تمام بازه‌های زمانی، نمونه ۵ (همبرگر با ۹۵ درصد گوشت و بدون پوشش دهی) بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشت ($p>0.05$). کمترین جمعیت باکتری‌های سایکروتروف در نمونه ۲ (همبرگر با ۴۰ درصد گوشت و پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش درصد گوشت در

همبرگرها، جمعیت کل باکتری‌های سایکروتروف به‌طور معناداری افزایش یافت ($p\leq 0.05$). در نمونه‌هایی که درصد گوشت یکسانی داشتند، افزودن فیکواریترین باعث کاهش معنادار جمعیت باکتری‌های سایکروتروف شد ($p\leq 0.05$). علاوه بر این، با گذشت زمان، جمعیت کل باکتری‌های سایکروتروف در نمونه‌ها به‌طور معناداری افزایش پیدا کرد ($p\leq 0.05$).

جدول ۹. تغییرات در شمارش ($\log_{10}$ CFU/ g) کل باکتری‌های سایکروتروف در نمونه‌های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای 4°C

نمونه	آزمون	زمان نگهداری (روز)				
		روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش		aE۴/۱۹±۰/۰۰	bD۵/۱۹±۰/۰۴	cC۵/۴۵±۰/۰۵	aB۸/۲۱±۰/۰۴	cA۱۰/۸۲±۰/۰۳

همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE	$aE_{4/17 \pm 0.00}$	$cD_{4/96 \pm 0.02}$	$cC_{5/27 \pm 0.02}$	$cB_{6/62 \pm 0.04}$	$eA_{9/34 \pm 0.04}$
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش	$cE_{4/08 \pm 0.00}$	$aD_{5/30 \pm 0.02}$	$bC_{5/96 \pm 0.03}$	$bB_{8/13 \pm 0.04}$	$bA_{11/10 \pm 0.01}$
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE	$cE_{4/07 \pm 0.00}$	$dD_{4/82 \pm 0.00}$	$cC_{5/29 \pm 0.02}$	$dB_{6/85 \pm 0.02}$	$eA_{9/57 \pm 0.00}$
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش	$cE_{4/08 \pm 0.00}$	$bD_{5/22 \pm 0.01}$	$aC_{6/34 \pm 0.02}$	$cB_{8/05 \pm 0.02}$	$aA_{11/33 \pm 0.01}$
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE	$bE_{4/12 \pm 0.02}$	$cD_{4/59 \pm 0.00}$	$cC_{5/40 \pm 0.01}$	$dB_{6/83 \pm 0.01}$	$dA_{9/90 \pm 0.00}$

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطر می باشد ($p < 0.05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪. گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر (۴۰٪ گوشت) پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

انتروباکتریاسه

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در روز اول، هیچ اختلاف آماری معناداری در جمعیت استافیلوکوکوس اورئوس مشاهده نشد ($p \leq 0.05$). در سایر بازه های زمانی، بالاترین جمعیت استافیلوکوکوس اورئوس متعلق به نمونه ۵ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت بدون پوشش دهی) بود و کمترین جمعیت استافیلوکوکوس اورئوس در نمونه ۲ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد ($p \leq 0.05$). بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش درصد گوشت همبرگرها، جمعیت استافیلوکوکوس اورئوس به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). در نمونه های همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین منجر به کاهش معنادار جمعیت استافیلوکوکوس اورئوس شد ($p \leq 0.05$). از طرفی، با گذشت زمان، جمعیت استافیلوکوکوس اورئوس در نمونه ها به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در روز اول، هیچ اختلاف آماری معناداری در جمعیت انتروباکتریاسه مشاهده نشد ($p \leq 0.05$). در سایر بازه های زمانی، بالاترین جمعیت انتروباکتریاسه متعلق به نمونه ۵ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت بدون پوشش دهی) بود و کمترین جمعیت انتروباکتریاسه در نمونه ۲ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد ($p \leq 0.05$). بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش درصد گوشت همبرگرها، جمعیت انتروباکتریاسه به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). در نمونه های همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین منجر به کاهش معنادار جمعیت انتروباکتریاسه شد ($p \leq 0.05$). از طرفی، با گذشت زمان، جمعیت انتروباکتریاسه در نمونه ها به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$).

استافیلوکوکوس اورئوس

جدول ۱۰. تغییرات در شمارش ($\log_{10} \text{CFU/g}$) باکتری های انتروباکتریاسه در نمونه های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای

		°C ۴				
نمونه	آزمون	زمان نگهداری (روز)				
		روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش		aE۱/۰۰±۰/۰۰	bD۳/۵۱±۰/۰۲	cC۶/۶۰±۰/۰۲	bB۶/۱۴±۰/۰۳	cA۷/۸۱±۰/۰۳
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE		aE۱/۰۰±۰/۰۰	dD۳/۰۸±۰/۰۰	fC۳/۹۶±۰/۰۱	eB۶/۶۷±۰/۰۶	dA۷/۱۲±۰/۰۴
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش		aE۱/۰۰±۰/۰۰	aD۳/۷۲±۰/۰۰	bC۶/۷۳±۰/۰۵	cB۵/۹۱±۰/۰۰	bA۸/۱۴±۰/۰۱
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE		aE۱/۰۰±۰/۰۰	cD۳/۳۲±۰/۰۲	eC۶/۲۶±۰/۰۱	dB۵/۳۹±۰/۰۱	cA۷/۰۵±۰/۰۰
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش		aE۱/۰۰±۰/۰۰	aD۳/۸۱±۰/۰۳	aC۵/۰۴±۰/۰۰	aB۶/۲۸±۰/۰۰	aA۸/۳۸±۰/۰۱
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE		aE۱/۰۰±۰/۰۰	cD۳/۳۹±۰/۰۲	dC۶/۳۷±۰/۰۰	dB۵/۳۸±۰/۰۰	cA۷/۰۸±۰/۰۰

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطر می باشد ($p < ۰/۰۵$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر (۴۰٪ گوشت) پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

جدول ۱۱. تغییرات در شمارش ($\log_{10}$ CFU/ g) استافیلوکوکوس اورئوس در نمونه های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای

		°C ۴				
نمونه	آزمون	زمان نگهداری (روز)				
		روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴	روز ۲۱
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش		aE۱/۰۰±۰/۰۰	aD۳/۰۸±۰/۰۳	aC۳/۰۸±۰/۰۲	aB۵/۲۲±۰/۰۳	aA۷/۳۳±۰/۰۲
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE		aE۱/۰۰±۰/۰۰	cD۲/۷۹±۰/۰۰	cC۲/۷۹±۰/۰۰	dB۶/۹۳±۰/۰۳	dA۶/۳۶±۰/۰۳
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش		aE۱/۰۰±۰/۰۰	bD۲/۹۸±۰/۰۱	bC۲/۹۸±۰/۰۲	bB۵/۰۸±۰/۰۳	bA۷/۲۵±۰/۰۰
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE		aE۱/۰۰±۰/۰۰	dD۲/۶۰±۰/۰۰	dC۲/۶۰±۰/۰۰	eB۶/۴۳±۰/۰۲	cA۶/۲۱±۰/۰۳
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش		aE۱/۰۰±۰/۰۰	bD۲/۹۱±۰/۰۲	cC۲/۹۱±۰/۰۱	cB۶/۳۳±۰/۰۰	cA۶/۶۳±۰/۰۱
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE		aE۱/۰۰±۰/۰۰	dD۲/۵۸±۰/۰۰	fC۲/۵۸±۰/۰۲	fB۳/۸۸±۰/۰۰	fA۵/۷۸±۰/۰۱

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطر می باشد ($p < 0.05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر (۴۰٪ گوشت) پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

کپک و مخمر

افزایش درصد گوشت همبرگرها، جمعیت کپک و مخمر به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). در نمونه های همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین منجر به کاهش معنادار جمعیت کپک و مخمر شد ($p \leq 0.05$). از طرفی، با گذشت زمان، جمعیت کپک و مخمر در نمونه ها به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). این کاهش در نمونه های پوشش دهی شده با فیکواریترین به دلیل فعالیت ضد کپک و مخمری آن است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در روز اول، هیچ اختلاف آماری معناداری در جمعیت کپک و مخمر مشاهده نشد ($p \leq 0.05$). در سایر بازه های زمانی، بالاترین جمعیت کپک و مخمر متعلق به نمونه ۵ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت بدون پوشش دهی) بود و کمترین جمعیت کپک و مخمر در نمونه ۲ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین) مشاهده شد ($p \leq 0.05$). بر اساس نتایج به دست آمده، با

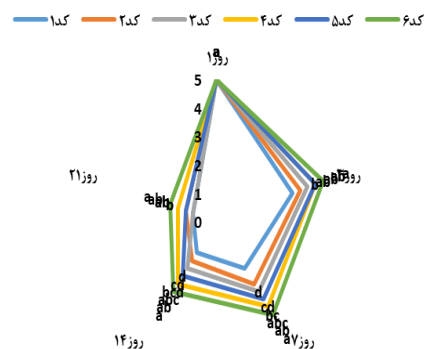
جدول ۱۲. تغییرات در شمارش (log₁₀ CFU/g) کپک و مخمر در نمونه های همبرگر پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای ۴ °C

آزمون	زمان نگهداری (روز)				
	نمونه	روز ۱	روز ۳	روز ۷	روز ۱۴
همبرگر ۴۰ درصد فاقد پوشش	aE۱/۰۰±۰/۰۰	aD۲/۹۵±۰/۰۰	aC۴/۳۴±۰/۰۱	aB۵/۱۷±۰/۰۲	aA۶/۷۶±۰/۰۱
همبرگر ۴۰ درصد با پوشش PE	aE۱/۰۰±۰/۰۰	bD۲/۸۳±۰/۰۰	dC۳/۹۸±۰/۰۱	dB۴/۳۴±۰/۰۳	cA۶/۲۳±۰/۰۱
همبرگر ۷۵ درصد فاقد پوشش	aE۱/۰۰±۰/۰۰	abD۲/۷۹±۰/۰۱	bC۴/۲۷±۰/۰۱	bB۴/۸۶±۰/۰۲	bA۶/۴۵±۰/۰۲
همبرگر ۷۵ درصد با پوشش PE	aE۱/۰۰±۰/۰۰	cD۲/۷۲±۰/۰۱	dC۳/۷۶±۰/۰۱	dB۴/۳۴±۰/۰۵	cA۶/۲۰±۰/۰۳
همبرگر ۹۵ درصد فاقد پوشش	aE۱/۰۰±۰/۰۰	dD۲/۴۶±۰/۰۲	cC۳/۵۴±۰/۰۳	cB۴/۴۸±۰/۰۰	dA۵/۷۴±۰/۰۳
همبرگر ۹۵ درصد با پوشش PE	aE۱/۰۰±۰/۰۰	eD۲/۲۴±۰/۰۲	eC۳/۱۱±۰/۰۱	eB۴/۱۰±۰/۰۳	eA۵/۱۵±۰/۰۳

حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در ستون و حروف کوچک متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در سطر می باشد ($p < 0.05$). کد (۱): همبرگر ۴۰٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۲): همبرگر (۴۰٪ گوشت) پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۳): همبرگر ۷۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۴): همبرگر ۷۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین، کد (۵): همبرگر ۹۵٪ گوشت بدون پوشش دهی، کد (۶): همبرگر ۹۵٪ گوشت پوشش دهی شده با محلول فیکواریترین

نتایج حسی امتیاز بو

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو دمای مورد بررسی، در روز اول، هیچ اختلاف آماری معناداری در امتیاز بو نمونه‌ها مشاهده نشد ($p \leq 0.05$). در سایر بازه‌های زمانی، بالاترین امتیاز بو، رنگ، بافت، و پذیرش کلی متعلق به نمونه ۶ (همبرگر ۹۵ درصد گوشت پوشش‌دهی شده با محلول فیکواریترین) بود و پایین‌ترین امتیاز بو در نمونه ۱ (همبرگر ۴۰ درصد گوشت بدون پوشش‌دهی) مشاهده شد ($p \leq 0.05$). بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش درصد گوشت همبرگرها، امتیاز بو نمونه‌ها به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). در نمونه‌های همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین منجر به افزایش معنادار امتیاز بو نمونه‌ها شد ($p \leq 0.05$). از طرفی، با گذشت زمان، امتیاز بو در نمونه‌ها به طور معناداری کاهش یافت ($p \leq 0.05$).



نمودار ۱. تغییرات امتیازات حسی در نمونه‌های همبرگر پوشش‌دهی شده با محلول فیکواریترین در دمای 4°C

بحث

استفاده از فیکواریترین به عنوان یک رنگ طبیعی در صنایع غذایی، علاوه بر ایمنی بالا، دارای پتانسیل آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی است (۱۷). آنتی‌اکسیدان‌ها با خنثی کردن

رادیکال‌های آزاد، زنجیره واکنش‌های آسیب‌رسان اکسیداتیو را متوقف می‌کنند. این ترکیبات بدون خطر واکنش نشان داده و پیش از آنکه رادیکال‌های آزاد به سلول‌ها آسیب بیشتری برسانند، آن‌ها را مهار می‌کنند. این فرآیند با انتقال الکترون از آنتی‌اکسیدان به رادیکال آزاد انجام می‌شود، بدون اینکه خود آنتی‌اکسیدان به رادیکال تبدیل شود. ترکیبات مشتق‌شده از جلبک‌های دریایی، از جمله الیگوساکاریدها، پپتیدها، فلوروتانین‌ها، کاروتنوئیدها و ویتامین‌ها، به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی شناخته شده‌اند (۱۸). مقایسه‌ای بین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآزمی مانند فروسولفات، اسید آسکوربیک، اسید اوریک، آلفا-توکوفرول و فیکوسیانین نشان داد که رنگدانه‌های سیانوباکتری‌ها فعالیتی برابر یا حتی بالاتر از سایر آنتی‌اکسیدان‌ها دارند. نسبت فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیکوسیانین نسبت به فروسولفات، اسید آسکوربیک، اسید اوریک و آلفا-توکوفرول به ترتیب ۴.۲۵، ۱.۷۸، ۰.۹۴، ۳.۹۸ و ۲.۵۶ گزارش شده است. گروه پروستتیک تتراپیرولی خطی، معروف به بیلین‌ها، به این رنگدانه توانایی مهار گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را می‌دهند و آن را به یک آنتی‌اکسیدان مؤثر تبدیل می‌کنند (۱۹).

مطالعه Afreen و Fatma در سال ۲۰۱۳ که روی استخراج، خالص‌سازی و شناسایی فیکواریترین از *Microchaete* انجام شد، نشان داد که این ترکیب در آزمون‌های مختلف، مانند مهار رادیکال‌های آزاد DPPH، ABTS و SOR، فعالیت آنتی‌اکسیدانی مطلوبی دارد. بر اساس این مطالعه، فیکواریترین توانایی مهار بهتری در برابر ABTS ($\text{IC}_{50} = 0.023 \text{ mg/ml}$) نسبت به DPPH ($\text{IC}_{50} = 0.043 \text{ mg/ml}$) و SOR ($\text{IC}_{50} = 0.553 \text{ mg/ml}$) داشت (۲۰). همچنین Nowruzi و همکاران در سال ۲۰۲۰ گزارش کردند که فیکواریترین استخراج‌شده از *Nostoc sp. FAI* به عنوان یک مهارکننده قوی رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند و این فعالیت

با افزایش غلظت رنگدانه به طور قابل توجهی افزایش می یابد (۲۱).

رنگدانه ارغوانی فیکواریترین، به دلیل خواص بیولوژیکی و صنعتی خود، دارای اهمیت تجاری قابل توجهی است. در حالی که کاربرد اولیه این ترکیب در صنایع غذایی به عنوان یک رنگ طبیعی مطرح است، مطالعات متعدد نشان داده اند که این رنگدانه دارای ویژگی های آنتی اکسیدانی و آنتی میکروبی نیز هست (۱۷). نتایج مطالعات مختلف، فعالیت آنتی میکروبی مشابهی را نشان داده اند. این مطالعات تأیید کرده اند که فیکواریترین استخراج شده از سویه های مختلف سیانوباکتری در برابر میکروارگانیسم هایی مانند کاندیدا آلیکنس، آسپرژیلوس نایجر، سودوموناس آئروژینوزا، اشریشیا کلی و استافیلوکوکوس فعالیت ضد میکروبی متوسطی دارد (۱۹). بررسی Afreen و Fatma در سال ۲۰۱۳ نشان داد که در غلظت ۰.۲ میلی گرم در میلی لیتر، فیکواریترین در برابر کاندیدا آلیکنس مقاومت بیشتری نسبت به آسپرژیلوس نایجر داشت. علاوه بر این، فیکواریترین فعالیت ضدباکتریایی مناسبی علیه گونه های گرم مثبت و گرم منفی نشان داد. مهار رشد با غلظت ۰.۱ mg/ml فیکواریترین به ترتیب علیه سودوموناس آئروژینوزا (MTCC2543)، اشریشیا کلی (ATCC 25922) و استافیلوکوکوس اورئوس (MTCC902) مشاهده شد (۲۰). مطالعه Nowruzi و همکاران در سال ۲۰۲۰ نیز نشان داد، که فیکواریترین استخراج شده از *Nostoc sp. FAI* قوی ترین فعالیت بازدارندگی را در برابر باسیلوس سوبتیلیس (۱۰.۵ میلی متر) و کاندیدا آلیکنس (۱۰.۹۸ میلی متر) داشت (۲۱). طبق یافته ها، با افزایش درصد گوشت در همبرگرها، مقدار pH به طور معناداری کاهش یافت ($p \leq 0.05$)، که این امر به pH طبیعی گوشت نسبت داده می شود. پس از ذبح، به دلیل تولید اسید لاکتیک از گلیکوزن طی فرآیند گلیکولیز بی هوازی، pH گوشت تازه کاهش یافته و در نهایت به

حدود ۵.۵ می رسد.

pH گوشت یکی از عوامل مهم کیفی محسوب می شود، زیرا بر ثبات رنگ، بو، طعم، تردی، کیفیت خوراکی، میزان فسادپذیری و رشد میکروارگانیسم ها تأثیر می گذارد. مقدار pH همچنین در استحکام امولسیون فرآورده های گوشتی، از جمله همبرگر، نقش مهمی دارد و هرگونه تغییر در آن می تواند ظرفیت نگهداری آب محصول را تحت تأثیر منفی قرار دهد. در نمونه های همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین باعث کاهش معنادار pH شد ($p \leq 0.05$)، که این امر نیز به pH پایین فیکواریترین نسبت داده می شود. از آنجا که تغییرات pH مستقیماً با تغییرات جمعیت میکروبی مرتبط است، نتایج به دست آمده از بررسی تغییرات pH کاملاً با نتایج آزمون جمعیت میکروبی کل همخوانی داشت. در تمامی دوره های بررسی، pH نمونه های فاقد فیکواریترین به طور معناداری بالاتر از نمونه های حاوی فیکواریترین بود. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که عصاره فیکواریترین توانسته است تا حد زیادی از تشکیل و توسعه ترکیبات آمینی و نیتروژن دار که عامل فساد هستند، جلوگیری کند. نمونه های حاوی فیکواریترین، به دلیل کاهش جمعیت میکروبی، روند کاهش pH کندتری در مقایسه با نمونه های فاقد فیکواریترین داشتند. در هر دو دمای بررسی شده، pH نمونه ها به مرور زمان به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$) و این افزایش در دمای ۸ درجه سانتی گراد سریع تر از ۴ درجه رخ داد. نتایج این پژوهش با یافته های مطالعاتی که نشان دادند pH نمونه های ماهی کپور در طی مدت نگهداری افزایش یافته و افزودن فیکوبیلی پروتئین ها نرخ افزایش pH را در مقایسه با نمونه های شاهد کاهش داده است، همسو بود. این اثر به خاصیت ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی فیکوبیلی پروتئین ها نسبت داده شد. همچنین، فیکوبیلی پروتئین های ریزپوشانی شده و نانولیپوزوم ها تأثیر قابل توجهی بر مهار

اکسیداسیون لیپیدها استفاده می‌شود. ترکیبات فعال TBA نشان‌دهنده مرحله دوم اکسیداسیون هستند که طی آن پراکسیدها به آلدئیدها، کتون‌ها و الکل‌ها تبدیل می‌شوند. هرچند مالون‌آلدئید تنها ترکیب تولیدکننده پیگمان قرمز در واکنش با TBA نیست و سایر آلدئیدها نیز می‌توانند وارد این واکنش شوند. بنابراین، مقدار محصولات ثانویه اکسیداسیون معمولاً به صورت ترکیبات واکنش‌پذیر تیوباربتوریک اسید (TBARS) و به صورت میلی گرم معادل مالون‌آلدئید در هر کیلوگرم نمونه بیان می‌شود (۲۳).

شاخص TBA میزان محصولات ثانویه اکسیداسیون، به ویژه آلدئیدها، را نشان می‌دهد. روند افزایشی این شاخص طی دوره نگهداری ممکن است به دلیل افزایش آهن آزاد و سایر عوامل پراکسیدان در گوشت باشد. همچنین، آلدئیدها به عنوان محصولات ثانویه اکسیداسیون از تجزیه هیدروپراکسیدها ایجاد می‌شوند، که افزایش این ترکیبات ممکن است دلیل افزایش TBA باشد. اندازه‌گیری TBA یکی از متداول‌ترین روش‌های پایش اکسیداسیون در مواد غذایی است. در این روش، مقدار محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون چربی، مانند آلدئیدها و کتون‌ها، تعیین می‌شود. تعیین TBA به عنوان شاخصی از میزان اکسیداسیون ثانویه اهمیت زیادی دارد، زیرا این ترکیبات به طور قابل توجهی ویژگی‌های حسی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تحقیقات نشان داده‌اند که آستانه درک طعم تند ناشی از اکسیداسیون در محصولات گوشتی ۰.۵ میلی گرم مالون‌آلدئید به ازای هر کیلوگرم فرآورده گوشتی است (۲۴).

براساس یافته‌ها، با افزایش درصد گوشت در همبرگرها، میزان اندیس پراکسید به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). همچنین، در نمونه‌هایی با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین به طور معناداری منجر به کاهش اندیس پراکسید شد ($p \leq 0.05$). از سوی دیگر، با گذشت زمان،

تغییرات pH و کنترل رشد باکتری‌ها داشتند. Hentati و همکاران در سال ۲۰۱۹ نیز در پژوهش خود تأثیر افزودن جلبک‌های *Jania adhaerens* و *Cystoseira compressa* را در غلظت‌های ۰.۵، ۱ و ۱.۵ درصد به برگر ماهی بررسی کرده و گزارش کردند که افزودن ۱ درصد جلبک *C. compressa* باعث کاهش معنادار pH نمونه‌ها شد (۸).

طبق یافته‌ها، با افزایش درصد گوشت در همبرگرها، مقدار TBA به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$)، که احتمالاً به دلیل افزایش میزان چربی موجود در گوشت بوده است. در تمام دوره‌های زمانی، در نمونه‌های همبرگر با درصد گوشت یکسان، افزودن فیکواریترین منجر به کاهش معنادار تیوباربتوریک اسید شد ($p \leq 0.05$). این اثر به خاصیت آنتی‌اکسیدانی فیکواریترین نسبت داده می‌شود که توانسته است به طور مؤثری از اکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کند و در نتیجه میزان TBA را در طول زمان کاهش دهد. همچنین، با گذشت زمان، مقدار تیوباربتوریک اسید نمونه‌ها به طور معناداری افزایش یافت ($p \leq 0.05$)، که این افزایش در دمای بالاتر (۸ درجه سانتی‌گراد) سریع‌تر رخ داد (۲۲).

نتایج این پژوهش همسو با یافته‌های Haghdoust و همکاران در سال ۲۰۲۲ بود که در بررسی تأثیر فیکوبیلی‌پروتئین جلبک و نانولیپوزوم آن بر افزایش ماندگاری برگر ماهی کپور طی دوره نگهداری در یخچال نشان دادند که مقدار TBA در برگرهای کپور به طور معناداری طی ۱۸ روز نگهداری افزایش یافت. با این حال، مقادیر TBA در نمونه‌های تیمار شده با فیکوبیلی‌پروتئین‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از نمونه شاهد بود. این پژوهش بیان کرد که فیکوبیلی‌پروتئین‌های استخراج شده از *Gracilaria gracilis* می‌توانند نقش مؤثری در مهار اکسیداسیون لیپیدها ایفا کنند (۶). مقدار TBA به طور گسترده‌ای به عنوان شاخصی برای نشان دادن درجه

زیست توده یا پودر میکرو و ماکرو جلبک در غذاهای دریایی برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری از طریق کاهش اکسیداسیون لیپید و کنترل رشد میکروبی استفاده شده است (۶).

ترکیبات پلی فنولی و رنگدانه های جلبک ها به طور موفقیت آمیزی از اکسیداسیون لیپید در محصولات غذایی جلوگیری می کنند. Taghavi Takyar و همکاران در سال ۲۰۱۹ گزارش کردند که عصاره های اتانولی *Spirulina platensis* و *Chlorella vulgaris* منجر به کاهش اکسیداسیون لیپیدها و افزایش مدت ماندگاری فیله ماهی قزل آلا ی رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال شد (۲۷). Sudhakar و همکاران در سال ۲۰۲۳ در ارزیابی پتانسیل ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی فیکواریترین استخراج شده از جلبک دریایی *Gracilaria corticata*، اذعان کردند که فعالیت آنتی اکسیدانی کل ($\mu\text{g/ml}$) DPPH (۲۲/۹۱٪) و اثر مهارکنندگی رادیکال ($264/90$)، توانایی چنگالی کنندگی یون آهن در فیکواریترین (۲۶/۰۶٪) بود (۲۸).

طبق استاندارد ملی ایران، حداکثر تعداد باکتری های زنده مزوفیل در هر گرم همبرگر می تواند 1×10^6 CFU/g باشد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۳۰۴، ۱۳۹۵). در تحقیق حاضر، تعداد باکتری های زنده مزوفیل در تمام نمونه ها و تمام بازه های زمانی در محدوده استاندارد قرار داشت، به جز نمونه همبرگر ۶۰ درصد گوشت (شاهد) که در روز ۹۰ام خارج از محدوده استاندارد ملی ایران بود. Haghdooost و همکاران در سال ۲۰۲۲ در بررسی تاثیر فیکوبیلی پروتئین جلبک و نانولیپوزوم آن در افزایش ماندگاری برگرهای ماهی کپور، نشان دادند که افزودن فیکوبیلی پروتئین به طور قابل توجهی از رشد باکتری مزوفیل جلوگیری کرد (۶).

Sudhakar و همکاران در سال ۲۰۲۳ در ارزیابی پتانسیل

میزان اندیس پراکسید در نمونه ها به طور معناداری افزایش پیدا کرد ($p \leq 0.05$). به طور کلی، اندیس پراکسید بیانگر میزان میلی اکی والان گرم پراکسید یا اکسیژن فعال موجود در یک کیلوگرم از نمونه روغن یا چربی است و به عنوان شاخصی برای نشان دادن میزان فساد اکسیداتیو در روغن ها و چربی ها به کار می رود. در فرآیند اکسیداسیون، پراکسیدها یا اکسیژن فعال در روغن تولید می شوند و وجود آن ها به عنوان کاتالیزور، فرآیند اکسیداسیون را تسریع می کند. اندیس پراکسید متداول ترین روش برای اندازه گیری شدت اکسیداسیون در مراحل اولیه این فرآیند است. از آنجا که پراکسیدها ترکیباتی بدون طعم و بو هستند، توسط مصرف کنندگان قابل تشخیص نیستند، اما این ترکیبات در طی فرآیند حرارتی می توانند به ترکیبات ثانویه ای مانند آلدئیدها، کتون ها و الکل ها تجزیه شوند که باعث ایجاد بو و طعم نامطلوب در محصول می شوند (۲۵).

در مرحله آغازین اکسیداسیون، اسیدهای چرب غیراشباع می توانند اکسیژن جذب کرده و پراکسید تولید کنند. در این مرحله، سرعت تشکیل هیدروپراکسیدها بیشتر از سرعت تجزیه آن ها است، اما در مراحل بعدی این روند معکوس می شود. بنابراین، اندیس پراکسید نشان دهنده تغییرات اکسیداتیو در مراحل اولیه است و معیار اندازه گیری هیدروپراکسیدها به شمار می رود. هیدروپراکسیدها به عنوان محصولات اولیه اکسیداسیون شناخته می شوند که ممکن است به ترکیبات ثانویه فرار و غیرفرار تجزیه شوند (۲۶).

یافته های این تحقیق با نتایج مطالعه Haghdooost و همکاران در سال ۲۰۲۲ همسو است که تاثیر فیکوبیلی پروتئین جلبک و نانولیپوزوم آن را در افزایش ماندگاری برگرهای ماهی کپور طی دوره نگهداری در یخچال بررسی کردند. آن ها گزارش دادند که میزان پراکسید در نمونه های تیمار شده با PBPs و PBP محصور شده به طور قابل توجهی کمتر از نمونه شاهد در طول دوره نگهداری بود. علاوه بر این،

فهرست منابع

1. Benjakul S, Visessanguan W, Thongkaew C, Tanaka M. Effect of frozen storage on chemical and gel-forming properties of fish commonly used for surimi production in Thailand. *Food hydrocolloids*. 2005 Mar 1;19(2):197-207.
2. Duan J, Jiang Y, Cherian G, Zhao Y. Effect of combined chitosan-krill oil coating and modified atmosphere packaging on the storability of cold-stored lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets. *Food chemistry*. 2010 Oct 15;122(4):1035-42.
3. Torrieri E, Cavella S, Villani F, Masi P. Influence of modified atmosphere packaging on the chilled shelf life of gutted farmed bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Food Engineering*. 2006 Dec 1;77(4):1078-86.
4. Kumar S, Gowda PR, Mallikarjuna NM. Evaluation of selected F6 tomato lines for extended shelf life.
5. Malairaj S, Muthu S, Gopal VB, Perumal P, Ramasamy R. Qualitative and quantitative determination of R-phycoerythrin from *Halymenia floresia* (Clemente) C. Agardh by polyacrylamide gel using electrophoretic elution technique. *Journal of Chromatography A*. 2016 Jul 8;1454:120-6.
6. Haghdooost A, Golestan L, Hasani M, Shahidi Noghbi M, Shahidi SA. Preparation of Nano-liposomes Carrying Phycobiliprotein Extracted from Red Algae (*Gracilaria gracilis*) with Chitosan Polymer Coating: Evaluation of Physicochemical, Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Research and Innovation in Food Science and Technology*. 2022 Sep 6;11(2):109-22.
7. Agregán Pérez R. Seaweed extract effect on the quality of meat products (Doctoral dissertation, Enxeñaría química).
8. Hentati D, Chebbi A, Hadrich F, Frikha I, Rabanal F, Sayadi S, Manresa A, Chamkha M. Production, characterization and

ضد میکروبی فیکواریترین استخراج شده از جلبک دریایی *Gracilaria corticata*. نشان دادند که این ماده دارای فعالیت ضد میکروبی قابل توجهی علیه باکتری‌های مختلف است (۲۸).

طبق استاندارد ملی ایران، حداکثر تعداد باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* در هر گرم همبرگر می‌تواند 1×10^3 CFU/g باشد (استاندارد ملی ایران، شماره ۱۳۹۵، ۲۳۰۴). Afreen و همکاران در سال ۲۰۱۸ نشان دادند، که فیکواریترین فعالیت مهاري قوی در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس* دارد (۲۹). Nowruzi و همکاران در سال ۲۰۲۳ نیز در بررسی اثر تیمار فیکواریترین بر افزایش ماندگاری ماهی، نشان دادند که این ماده می‌تواند به کنترل باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* کمک کند (۳۰). طبق استاندارد ملی ایران، حداکثر تعداد کپک و مخمر در هر گرم همبرگر می‌تواند 1×10^3 CFU/g باشد (استاندارد ملی ایران، شماره ۱۳۹۵، ۲۳۰۴). در تحقیق حاضر، تعداد کپک و مخمر در تمام نمونه‌ها تا روز ۳۰ام در محدوده استاندارد قرار داشت و پس از آن به طور معناداری افزایش یافت. Nowruzi و همکاران در سال ۲۰۲۳ در بررسی اثر تیمار فیکواریترین بر افزایش ماندگاری ماهی، نشان دادند که بالاترین امتیاز طعم، بافت، رنگ، و پذیرش کلی متعلق به فیله پوشش داده شده با محلول فیکواریترین بود (۳۰). Haghdooost و همکاران در سال ۲۰۲۲ نیز نشان دادند که افزودن فیکوبیلی پروتئین می‌تواند کیفیت همبرگرها را بدون تأثیر منفی بر بو، رنگ، و بافت حفظ کند (۶).

نتایج کلی این تحقیق نشان می‌دهد که افزودن فیکواریترین به نمونه‌های همبرگر با درصد‌های گوشت متفاوت، تأثیر قابل توجهی در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و کاهش فاکتورهای فساد و بهبود کیفیت حسی نمونه‌ها در طی بیست و یک روز داشت.

- biotechnological potential of lipopeptide biosurfactants from a novel marine *Bacillus stratosphericus* strain FLU5. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019 Jan 15;167:441-9.
9. Ghadiri M, Haghighat S, Nowruzi B, Norouzi R, Hutarova L. First observation of genus *Komarkiella* in Iranian saline soils. *Scientific Reports*. 2025 Mar 14;15(1):8813.
10. Mishra SK, Shrivastav A, Mishra S. Effect of preservatives for food grade C-PC from *Spirulina platensis*. *Process Biochemistry*. 2008 Apr 1;43(4):339-45.
11. Rodriguez-Tudela JL, Arendrup MC, Alikan S, Barchiesi F, Bille J, Chryssanthou E, Cuenca-Estrella M, Dannaoui E, Denning D, Donnelly J, Fegeler W. EUCAST DEFINITIVE DOCUMENT E. DEF 9.1: Method for the determination of broth dilution minimum inhibitory concentrations of antifungal agents for conidia forming moulds. Def. 2008 Jul;9:1-3.
12. Nowruzi B, Khavari-Nejad RA, Sivonen K, Kazemi B, Najafi F, Nejadshattari T. Optimization of cultivation conditions to maximize extracellular investments of two *Nostoc* strains. *Algological Studies*. 2013 May 1;142(1):63-76.
13. Ahmadi A, Anvar SA, Nowruzi B, Golestan L. Author Correction: Effect of phycocyanin and phycoerythrin on antioxidant and antimicrobial activity of refrigerated low-fat yogurt and cream cheese. *Scientific Reports*. 2025 Feb 5;15:4347.
14. Abed S, Nowruzi B, Anvar SA. Production of *Oncorhynchus mykiss* biosensor based on polyvinyl alcohol/chitosan nanocomposite using phycocyanin during refrigerated storage. *Scientific Reports*. 2025 Jan 3;15(1):703.
15. Nowruzi B, Sabzevari Joopari O. Anti-inflammatory, cytotoxic and morphological impact of phycocyanin on ultraviolet radiation irradiated human fibroblast cells. *Cutaneous and Ocular Toxicology*. 2024 Oct 1;43(4):396-404.
16. Chamari M, Anvar SA, Pourahmad R, Nowruzi B, Yousefi S. Study of alginate-encapsulated phycoerythrin in promoting the biological activity of synbiotic ice cream with *Lactobacillus casei*. *Scientific Reports*. 2024 Jul 5;14(1):15471.
17. Basheva D, Moten D, Stoyanov P, Belkinova D, Mladenov R, Teneva I. Content of phycoerythrin, phycocyanin, allophycocyanin and phycoerythrocyanin in some cyanobacterial strains: Applications. *Engineering in Life Sciences*. 2018 Nov;18(11):861-6.
18. Ren HY, Liu BF, Kong F, Zhao L, Ren N. Hydrogen and lipid production from starch wastewater by co-culture of anaerobic sludge and oleaginous microalgae with simultaneous COD, nitrogen and phosphorus removal. *Water Research*. 2015 Nov 15;85:404-12.
19. Arun N, Gupta S, Singh DP. Antimicrobial and antioxidant property of commonly found microalgae *Spirulina platensis*, *Nostoc muscorum* and *Chlorella pyrenoidosa* against some pathogenic bacteria and fungi. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2012 Dec 1;3(12):4866.
20. Afreen S, Fatma T. Laccase production and simultaneous decolorization of synthetic dyes by cyanobacteria. *Int J Innov Res Sci Eng Technol*. 2013;2:3563-8.
21. Nowruzi B, Anvar A, Ahari H. Extraction, purification and evaluation of antimicrobial and antioxidant properties of phycoerythrin from terrestrial cyanobacterium *Nostoc* sp. FA1. *Journal of Microbial World*. 2020 Aug 22;13(2):138-53.
22. Nowruzi, B., Anvar, S.A.A. and Shafaroodi, A., 2024. Study of phycocyanin powder on probiotic bacteriologically and antioxidant properties of yogurt at 4 C. *Nutrire*, 49(2), p.42.
23. Raeisi S, Sharifi-Rad M, Quek SY, Shabanpour B, Sharifi-Rad J. Evaluation of antioxidant and antimicrobial effects of shallot (*Allium ascalonicum* L.) fruit and

- ajwain (*Trachyspermum ammi* (L.) Sprague) seed extracts in semi-fried coated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets for shelf-life extension. *Lwt.* 2016 Jan 1;65:112-21.
24. Sheard PR, Enser M, Wood JD, Nute GR, Gill BP, Richardson RI. Shelf life and quality of pork and pork products with raised n-3 PUFA. *Meat science.* 2000 Jun 1;55(2):213-21.
25. Ozyurt NN, Bayari CS. Temporal variation of chemical and isotopic signals in major discharges of an alpine karst aquifer in Turkey: implications with respect to response of karst aquifers to recharge. *Hydrogeology Journal.* 2008 Mar;16:297-309.
26. Shahidi F, Zhong Y. Lipid oxidation: measurement methods. *Bailey's industrial oil and fat products.* 2005 Jul 15.
27. Takyar MB, Khajavi SH, Safari R. Evaluation of antioxidant properties of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* and their application in order to extend the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during refrigerated storage. *Lwt.* 2019 Feb 1;100:244-9.
28. Sudhakar MP, Arunkumar K, Dharani G, Mathimani T. (Re)-thinking the red seaweed biomass for biofuel production to meet sustainable development goals toward circular bioeconomy. *Energy, Ecology and Environment.* 2024 Feb;9(1):42-57.
29. Afreen S, Anwer R, Singh RK, Fatma T. Extracellular laccase production and its optimization from *Arthrospira maxima* catalyzed decolorization of synthetic dyes. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 2018 Nov 1;25(7):1446-53.
30. Nowruzi B, SA AA. Effect of Phycoerythrin on Antimicrobial Activity and Shelf-life Extension of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) at Refrigerator Temperature. *Archives of Razi Institute.* 2023 Dec 30;78(6):1811.