

Assessment of Methods to Control and Reducing the Indicator Pathogenic Bacteria Contamination in Poultry Carcasses during the Slaughter Process

A. Shafiee Dastgerdi¹, H. Moshtaghi^{1*}, M. Bonyadian¹

1- Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Vet. Med, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(*- Corresponding Author Email: moshtaghi@sku.ac.ir)

Received: 07.07.2025
Revised: 13.09.2025
Accepted: 27.09.2025
Available Online: 16.11.2025

How to cite this article:

Shafiee Dastgerdi, A., Moshtaghi, H., & Bonyadian, M. (2025). Assessment of methods to control and reducing the indicator pathogenic bacteria contamination in poultry carcasses during the slaughter process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(5), 569-584. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.92779.1453>

Introduction

Microbial safety and quality of raw animal products, particularly chicken meat, are among the critical concerns in the food production and distribution chain. Chicken meat holds a significant place in the dietary patterns of many populations due to its high nutritional value, easy accessibility, and affordable price. However, the presence of pathogenic microorganisms like *Salmonella* spp. and *Campylobacter* spp. in chicken carcasses is a major cause of foodborne illnesses, affecting millions of people worldwide annually. According to the World Health Organization (WHO), *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica* are among the leading bacterial agents responsible for human gastroenteritis, with contaminated poultry products being their primary source. Slaughterhouses represent critical control points within the protein supply chain, playing a pivotal role in either the dissemination or mitigation of microbial contamination. Therefore, the adoption of innovative technologies for effective microbial load reduction at early processing stages is essential for enhancing food safety and reducing reliance on chemical preservatives in later distribution stages. In recent years, there has been increased interest in applying non-chemical and non-thermal methods to control microbial contamination. Techniques such as the application of ice powder for thermal shock, ozone as a potent disinfectant and oxidizing agent, lactic acid as a natural organic acid, and pulsed electric fields (PEF) as an emerging non-thermal technology have gained prominence. These approaches effectively reduce pathogenic microbial loads without compromising the physical or sensory qualities of meat products. They are particularly promising in lowering resistant microbial populations and extending the shelf life of meat products. Considering the limitations of conventional thermal or chemical methods in preserving product quality and meeting the growing consumer demand for safer and more naturally processed products, the present study aimed to evaluate and compare the efficacy of four non-chemical methods such as ice powder, ozone, lactic acid, and pulsed electric fields in reducing the total microbial count, *Salmonella*, and *Campylobacter* contamination on chicken carcasses.

Material and Methods

This experimental study was conducted on 150 samples collected from a total of 450 broiler chicken carcasses at an industrial poultry slaughterhouse in Najafabad County, Esfahan Province, Iran. To assess microbial control methods and improve hygienic conditions in the slaughtering process, treatments included immersion in water containing ice powder at 0 and 10 °C, lactic acid at concentrations of 0.5% and 1%, ozonated water at 1 and 2 ppm, pulsed electric fields applied at 60 volts with frequencies of 100 and 200 MHz, and combinations of these four methods at the specified concentrations. Treatment durations were set at 5 and 10 min for all groups. Following treatment, samples were taken from the carcass surfaces, and total microbial counts, *Salmonella*, and *Campylobacter* populations were enumerated according to Iranian National Standard methods. Data were statistically analyzed using one-way ANOVA and means were compared by Tukey's test at a 95% confidence



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.92779.1453>

level.

Results and Discussion

The results of this study demonstrated that most examined treatments significantly reduced the microbial contamination of chicken carcasses compared to the control ($P<0.05$). Among the treatments, lactic acid and the combined method particularly at their highest tested levels, exhibited the greatest effectiveness in reducing total microbial counts and *Campylobacter* populations, highlighting the synergistic potential of combined interventions for improved pathogen control. The use of ice powder showed the least effect in reducing the microbial contamination of poultry carcasses. However, as observed, the combined method successfully reduced the total bacterial count, *Campylobacter* and *Salmonella* by 97%, 91% and 95%, respectively, compared to the control. The findings of this study revealed that the examined treatments led to a significant reduction in the total bacterial count and *Campylobacter* at 5 and 10 minutes ($P<0.05$). However, increasing the treatment duration from 5 to 10 minutes did not result in a further significant reduction of these bacteria ($P>0.05$). Nevertheless, a 5-minute treatment already reduced more than half of the *Salmonella* population, and extending the treatment time to 10 minutes resulted in an even greater reduction in *Salmonella* ($P<0.05$). This finding aligns with Carvalho *et al.* (2022), who reported that the antibacterial activity of organic acids against meat pathogens increases up to a saturation point, beyond which extended exposure yields minimal additional efficacy.

Conclusion

The findings of this study indicate that the application of treatments such as lactic acid, pulsed electric field, ozonated water, and ice powder can significantly reduce the microbial load of poultry carcasses within a short period. These interventions offer promising alternatives to conventional thermal treatments or the use of harsh chemical preservatives. Moreover, the results highlight the critical importance of precise control over parameters such as treatment time, concentration, and intensity, which significantly influence the overall antimicrobial efficacy. In summary, the present study not only confirms the practical applicability of these methods for enhancing the microbial safety of poultry meat but also demonstrates that the strategic combination of physical and chemical technologies with optimized exposure times can effectively control microbial contamination in slaughterhouses and meat processing operations without compromising product quality.

Keywords: *Campylobacter*, Lactic acid, Microbial safety, Ozone, *Salmonella*

مقاله کوتاه پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۴، ص. ۵۸۴-۵۶۹

بررسی روش‌های کنترل و کاهش آلودگی باکتری‌های بیماری‌زای شاخص در لاشه مرغ در فرآیند کشتار طیور

امیر شفیعی دستگردی^۱ - حمدالله مشتاقی^{۱*} - مجتبی بنیادیان^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵

چکیده

آلودگی میکروبی لاشه‌های طیور یکی از چالش‌های اساسی در فرآیند کشتار و تولید فرآورده‌های خام دامی به‌شمار می‌رود. در این مطالعه، ۱۵۰ نمونه از ۴۵۰ لاشه مرغ گوشتی پس از کشتار، به‌صورت تصادفی در یک گروه کنترل و چهار گروه تیمار از نظر شمارش کلی باکتری‌ها، و باکتری‌های بیماری‌زای شاخص نظیر کمپیلوباکتر و سالمونلا بررسی شدند. تیمارها شامل استفاده از آب حاوی پودر یخ (در دماهای ۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد)، اسید لاکتیک (۰/۵ و ۱ درصد)، گاز ازن (۱ و ۲ ppm) و میدان الکتریکی پالسی (۶۰ ولت، ۱۰۰ و ۲۰۰ مگاهرتز)، و اثر ترکیبی تیمارها به‌مدت ۵ و ۱۰ دقیقه بودند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های آماری ANOVA و T-Test آنالیز شدند. نتایج نشان داد که میانگین شمارش کلی باکتری‌ها، کمپیلوباکتر و درصد آلودگی سالمونلا در گروه کنترل به‌ترتیب $6/18 \log CFU/g$ و $2/98 \log CFU/g$ و ۴۲ درصد بود. اعمال تیمار اسید لاکتیک و اثر ترکیبی تیمارها در بالاترین سطوح مورد بررسی به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$)، سبب کاهش آلودگی در کلیه شاخص‌های میکروبی شد. افزایش زمان اعمال تیمار از ۵ به ۱۰ دقیقه منجر به بهبود نسبی در کارایی گردید. همچنین، اعمال تیمارها به‌مدت ۵ دقیقه توانست بیش از نیمی از جمعیت سالمونلا را کاهش دهد اما افزایش زمان تیمار به ۱۰ دقیقه، منجر به کاهش بیشتر این باکتری بیماری‌زا شد ($P < 0/05$). با توجه به این یافته‌ها، به‌کارگیری روش‌های ترکیبی نوین می‌تواند به‌عنوان رویکردی مؤثر و قابل اجرا در ارتقای بهداشت میکروبی و افزایش ایمنی محصولات طیور در صنایع کشتارگاهی مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی میکروبی، اسید لاکتیک، سالمونلا، کمپیلوباکتر، گاز ازن

مقدمه

تغییر الگوهای تغذیه‌ای در دهه‌های اخیر به‌ویژه در جوامع شهری، منجر به افزایش چشمگیر مصرف گوشت سفید به‌ویژه گوشت مرغ شده است. گوشت طیور، به‌ویژه گوشت مرغ، به‌عنوان یکی از منابع اصلی تأمین پروتئین حیوانی در بسیاری از جوامع شناخته می‌شود. ویژگی‌هایی نظیر محتوای پایین‌تر چربی و کلسترول در مقایسه با گوشت قرمز، هضم‌پذیری بالا، ارزش تغذیه‌ای مناسب و طعم مطلوب، مصرف این محصول را در سبد غذایی خانوارها افزایش داده است. از سوی دیگر، به علت سرعت بالای رشد طیور، ضریب تبدیل غذایی مطلوب، و دوره

پرورش کوتاه، این صنعت از نظر اقتصادی نیز برای تولیدکنندگان مقرون به صرفه است (Djeffal, Mamache, Elgroud, Hireche, & Bouaziz, 2018). با این حال، گوشت مرغ در زمره مواد غذایی با فسادپذیری بالا طبقه‌بندی می‌شود و یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی صنایع فرآوری طیور، کنترل و کاهش آلودگی میکروبی در فرآیند تولید است. در میان عوامل بیماری‌زای موجود در لاشه‌های طیور، سالمونلا^۲ و کمپیلوباکتر^۳ به‌عنوان دو عامل اصلی ایجادکننده بیماری‌های ناشی از غذا شناخته شده‌اند که سالیانه میلیون‌ها نفر در سطح جهان را مبتلا کرده و بار اقتصادی و بهداشتی سنگینی بر

۱- گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: moshtaghi@sku.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.92779.1453>

2- *Salmonella* spp.

3- *Campylobacter* spp.

جوامع تحمیل می‌کنند (Song, Wang, & Xu, 2021). سالمونلاها، باکتری‌های گرم منفی، بی‌هوازی اختیاری و متحرک هستند که در صورت ورود به بدن انسان از طریق مصرف غذاهای آلوده، می‌توانند منجر به بروز سالمونلوزیس شده و علائمی مانند تب، اسهال، درد شکمی و در موارد شدید، سپسیس را ایجاد کنند (Boubendir et al., 2021). از سوی دیگر، گونه‌های مختلف کمپیلوباکترینیز جزء عوامل اصلی گاستروانتریت حاد باکتریایی محسوب می‌شوند که در اثر مصرف گوشت مرغ نپخته یا تماس با لاشه‌های آلوده منتقل می‌شوند.

در شرایطی که آلودگی اولیه طیور به این باکتری‌ها در سطح مرغداری قابل حذف کامل نیست، کنترل آلودگی در کشتارگاه‌ها به‌عنوان حلقه‌ای حیاتی در زنجیره تولید ایمن مواد غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Dantas et al., 2020). فرآیند کشتار مرغ به‌طور معمول شامل مراحل متعددی است که هر یک می‌تواند به‌عنوان یک نقطه بحرانی در ایجاد آلودگی تلقی شود. منابع آلودگی شامل محتویات دستگاه گوارش، پوست و پر طیور، تجهیزات و ابزارآلات فرآوری، و حتی پرسنل انسانی درگیر در فرایند کشتار هستند. در بسیاری از موارد، آلودگی متقاطع ناشی از تماس لاشه‌ها با سطوح آلوده یا شست‌وشوی ناقص در حین فرایند کشتار، عامل اصلی انتقال میکروب‌ها به محصول نهایی است. بنابراین، استفاده از روش‌های مؤثر برای کاهش بار میکروبی در این مرحله بسیار حائز اهمیت است. بسیاری از کشورها با تدوین پروتکل‌های بهداشتی سخت‌گیرانه، استفاده از روش‌های ضد میکروبی مؤثر را در فرآوری لاشه طیور الزامی کرده‌اند. اما روش‌های سنتی نظیر شست‌وشو با آب یا استفاده از ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی معمول و متداول مانند کلر، به دلیل کارایی محدود در برابر برخی باکتری‌های بیماری‌زا، بروز مقاومت میکروبی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، پاسخ‌گوی نیازهای کنونی صنایع غذایی نیستند (Roobab et al., 2023). در این میان، روش‌های جایگزین نوین و ایمن‌مانند استفاده از ازن (O_3)، میدان الکتریکی پالسی^۱ و اسید لاکتیک به‌عنوان تکنولوژی‌های نوظهور با پتانسیل بالا برای غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها بدون آسیب به کیفیت حسی محصول، مورد توجه قرار گرفته‌اند. این روش‌ها هر یک مزایا و محدودیت‌هایی دارند و انتخاب رویکرد مناسب، نیازمند در نظر گرفتن فاکتورهایی چون اثربخشی میکروبی، هزینه‌های عملیاتی، سازگاری با محیط زیست، و اثرات احتمالی بر کیفیت محصول نهایی است (Monica, Rajan, & Mahendran, 2024). ازینیکی از قوی‌ترین اکسیدکننده‌های طبیعی است که در سال‌های اخیر به‌عنوان جایگزینی برای ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی سنتی مانند کلر مورد توجه قرار گرفته است. خاصیت میکروب‌زدایی ازن، آن را به یک ابزار

کارآمد در کاهش آلودگی سطح لاشه طیور تبدیل کرده است. همچنین، ازن پس از انجام عملکرد ضدعفونی‌کننده خود، به اکسیژن تجزیه می‌شود و هیچ‌گونه باقی‌مانده شیمیایی مضر برجای نمی‌گذارد. به همین علت، استفاده از آن از منظر ایمنی و سلامت محصول نهایی قابل قبول است (Werlang et al., 2022). میدان الکتریکی پالسی نیز یک فناوری غیرحرارتی نوین است که با استفاده از پالس‌های کوتاه و شدید الکتریکی باعث ایجاد منافذ در غشای سلول باکتری‌ها شده و مرگ سلولی را القا می‌کند. این روش بدون آنکه کیفیت فیزیکی یا شیمیایی گوشت را تحت تأثیر قرار دهد، می‌تواند بار میکروبی لاشه را کاهش دهد و ماندگاری محصول را افزایش دهد. استفاده از این فناوری در صنایع غذایی رو به گسترش است و در حوزه فرآوری گوشت طیور نیز توجه محققان را به خود جلب کرده است (Lee & Yoon, 2024). در کنار این فناوری‌ها، استفاده از اسیدهای آلی به‌ویژه اسید لاکتیک نیز برای کاهش آلودگی میکروبی در کشتارگاه‌ها رایج است. اسید لاکتیک به‌عنوان یک ماده ایمن ($GRAS^2$) شناخته شده توسط مراجع نظارتی تأیید شده و می‌تواند به‌طور مؤثر موجب کاهش حضور باکتری بیماری‌زاهای خطرناک از جمله سالمونلا بر سطح لاشه‌ها گردد. مزیت عمده اسید لاکتیک، اثربخشی بالا در غلظت‌های پایین و حداقل تأثیر بر ویژگی‌های حسی گوشت است، به‌ویژه در مورد گوشت مرغ که پوست آن به‌عنوان مانعی طبیعی عمل می‌کند (El-Saadony et al., 2022).

گزارشات متعدد در رابطه با تأثیر فناوری‌های غیر حرارتی در کاهش آلودگی باکتریایی لاشه مرغ بیانگر اثر قابل توجه آنها در کنترل و کاهش آلودگی باکتریایی بوده است. در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که تیمار با غوطه‌وری در اسید لاکتیک (۲ تا ۵ درصد) و همچنین تیمار ازن آبی موجب کاهش معنی‌دار جمعیت هر دو شاخص باکتریایی در تمام ارگان‌ها شد، به جز تیمار ازن در شمارش/شرش^۳ کلی نمونه‌های قلب که تفاوت معناداری نداشت. کاهش باکتری‌های هوازی پس از تیمار با اسید لاکتیک به‌طور میانگین به‌ترتیب در سر، قلب و کبد به میزان ۷۳/۱، ۶۶/۱ و ۵۰/۱ سیکل لگاریتمی در هر نمونه بود؛ در حالی که پس از تیمار ازن این میزان در سر، قلب و کبد به‌ترتیب ۶۶/۱، ۵۲/۰ و ۲۰/۱ سیکل لگاریتمی بود. شمارش/شرش^۳ کلی نیز پس از تیمار با اسید لاکتیک به‌طور میانگین برای سر، قلب و کبد به‌ترتیب ۹۶/۰، ۷۹/۰ و ۱/۰۰ سیکل لگاریتمیکاهش یافت و پس از تیمار ازن در همین ارگان‌ها این میزان به‌ترتیب ۷۵/۰، ۶۲/۰ و ۲۵/۱ سیکل لگاریتمی کاهش پیدا کرد (Vargas et al., 2021). در تحقیق دیگری، کاربرد غیرمستقیم میدان الکتریکی پالسی با سطوح ۲/۵، ۴/۶۷ و ۷ کیلوولت بر سانتی‌متر از منظر رشد برخی باکتری‌های بیماری‌زا و ویژگی‌های کیفی گوشت سینه مرغ

مواد و روش‌ها

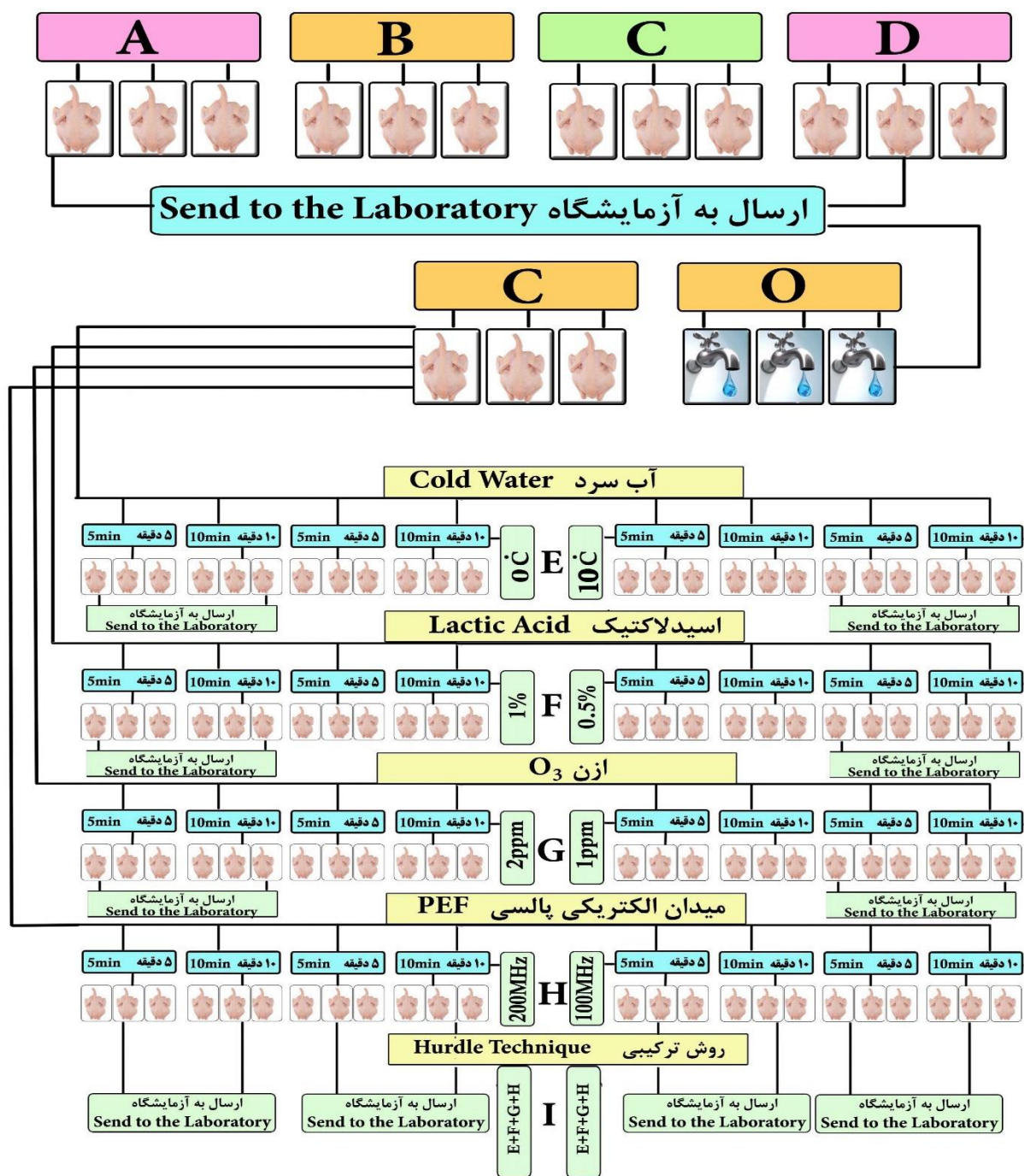
تمامی مواد شیمیایی و محیط‌های کشت میکروبی مورد استفاده در این تحقیق، با درجه خلوص بالا از شرکت مرک آلمان (Darmstadt, Germany) خریداری شدند.

نمونه‌برداری و طراحی آزمایش

این مطالعه به صورت تجربی، از مردادماه تا آذرماه سال ۱۴۰۲ در یکی از کشتارگاه‌های صنعتی طیور شهرستان نجف‌آباد در استان اصفهان انجام شد. فرآیند نمونه‌برداری در ۶ نوبت مجزا به‌طوری که در هر نوبت تعداد ۲۵ نمونه طی دوره انجام مطالعه انتخاب گردید، صورت گرفت. در مجموع، تعداد ۴۵۰ قطعه لاشه مرغ گوشتی به صورت تصادفی پس از عبور از نقطه کنترل بحرانی مدنظر در خط کشتار انتخاب شد و این نقاط شامل قسمت تخلیه اندرون، دوش شستشوی لاشه، چیلر شستشو و چیلر خنک کننده لاشه مورد بررسی قرار گرفتند. در هر نوبت برای هر نمونه، سه لاشه به صورت کاملاً تصادفی از بخش‌های مختلف خط کشتار جدا و برای نمونه‌برداری انتخاب شد. برای ارزیابی آلودگی میکروبی، پوست ناحیه گردن به عنوان ناحیه شاخص انتخاب شد. این انتخاب به دلیل تماس مستقیم این ناحیه با محیط، تجهیزات، و دست‌کاری‌های انسانی در مراحل مختلف فرآوری، و همچنین تجمع آلودگی‌های سطحی از جمله باکتری‌های بیماری‌زای رایج مانند *سالمونلا* و *کمپیلوباکتر* انجام گرفت. پوست گردن مربوط به هر سه لاشه با استفاده از قیچی استریل جدا شده و پس از انتقال به ظروف سترون، با هم مخلوط گردید و به عنوان یک نمونه مرکب جهت انجام آزمون‌های میکروبی در نظر گرفته شد (Ivo, 2020). نمونه‌برداری از آب چیلرهای مورد استفاده در شستشوی لاشه‌ها به صورت مجزا و در هر نوبت نمونه‌گیری به مقدار ۵۰ میلی‌لیتر از آب انتهایی چیلر (O) تحت شرایط کاملاً استریل انجام شد. برای این منظور، از ظروف پلاستیکی استریل یک‌بار مصرف بهره گرفته شد تا از آلودگی‌های احتمالی جلوگیری شود. در مجموع، طی ۶ نوبت نمونه‌برداری، تعداد ۱۵۰ نمونه جهت بررسی میکروبیولوژیکی جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها به ۱۰ گروه مختلف تفکیک شدند. گروه کنترل به منظور بررسی میزان آلودگی میکروبی از نقاط کنترل بحرانی در مطالعه قرار داده شد که از ۵ بخش مختلف شامل O, A, B, C و D جداسازی شدند. در مقابل، گروه‌های تیمار که به منظور بررسی روش‌های کنترل و کاهش آلودگی میکروبی در لاشه مرغ در فرآیند کشتار طیور انجام گردید و همگی از قسمت انتهایی چیلر شستشو (C) گرفته شدند، به ترتیب با عناوین E, F, G, H و I نامگذاری گردیدند.

طی نگهداری در سردخانه (۴ درجه سانتی‌گراد) نشان داد، آستانه شمارش باکتری‌های هوازی مزوفیل در گروه‌های تیمار شده با میدان الکتریکی پالسی (شدت‌های ۴/۶۷ و ۷ kV/cm) نسبت به گروه کنترل با فاصله زمانی ۲ روز دیرتر مشاهده شد. برای باکتری‌های کلی‌فرم، تقریباً تفاوت ۲ لگاریتمی بین گروه‌های تیمار شده و کنترل وجود داشت. شمارش *سودوموناس آئروژینوزا* تغییر محسوسی نداشت، در حالی که رشد *لیستریا مونوسیتوژنز* توسط شدت ۴/۶۷ kV/cm افزایش یافت. همچنین این مطالعه نشان داد که اعمال پالس‌های با شدت متوسط، همراه با نگهداری سرد، موجب بهبود ماندگاری گوشت سینه مرغ می‌شود (Aşık-Canbaz, Çömlekçi, & Can Seydim, 2022). در پژوهشی، استفاده از فناوری نور پالسی به منظور کنترل گونه‌های *کمپیلوباکتر* روی گوشت طیور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نور پالسی باعث کاهش معنی‌دار شمارش *انتروباکتریاسه* شد، اما در کاهش بیش از ۱ لگاریتم جمعیت *کمپیلوباکتر* در گوشت مرغ موفق نبود. گوشت مرغ تیمار شده با نور پالسی نسبت به نمونه شاهد، اندکی روشن‌تر، قرمزتر و زردتر شد. همچنین، فناوری پالس نوریتوانست نسبت آلدئیدها (به‌ویژه ترکیبات مرتبط با بوی گوشت مرغ و بوی پوست مرغ) به کل ترکیبات فرار در گوشت را کاهش دهد (Baptista et al., 2022).

با وجود مزایای متعدد روش‌های فوق، هنوز در کشور ما پژوهش‌های کاربردی و تجربی کافی برای ارزیابی و مقایسه اثربخشی این تکنیک‌ها در شرایط عملیاتی کشتارگاه‌های صنعتی انجام نشده است. از طرفی، شرایط اقلیمی، نحوه پرورش، تجهیزات فرآوری و استانداردهای بهداشتی در کشتارگاه‌های داخلی، ممکن است نتایجی متفاوت با یافته‌های بین‌المللی به همراه داشته باشد. از این رو، اجرای مطالعات میدانی بومی، می‌تواند داده‌های ارزشمندی برای بهبود راهکارهای بهداشتی ارائه دهد (Alali & Hofacre, 2018). بنابراین، هدف پژوهش حاضر، بررسی کاربرد و اثربخشی روش‌های مختلف کاهش آلودگی میکروبی، از جمله استفاده از آب حاوی پودر یخ در دمای صفر و ۱۰ درجه سانتی‌گراد، ازن، میدان الکتریکی پالسی و اسید لاکتیک در کاهش آلودگی میکروبی باکتری‌های بیماری‌زا شاخص (*سالمونلا* و *کمپیلوباکتر*) در فرآیند تولید گوشت مرغ در کشتارگاه طیور نجف‌آباد است. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی علمی برای انتخاب روش‌های بهینه ضدعفونی در کشتارگاه‌های صنعتی کشور و ارتقاء ایمنی میکروبی گوشت مرغ در زنجیره تأمین غذا استفاده شود.



شکل ۱- مراحل توزیع نمونه‌ها در گروه‌های کنترل و تیمار (آب حاوی پودر یخ در دماهای ۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (E))، اسید لاکتیک (۵ و ۱ درصد (F))، گاز ازن (۱ و ۲ ppm (G))، میدان الکتریکی پالسی ۶۰ ولت (۱۰۰ و ۲۰۰ مگاهرتز (H)) و تیمار ترکیبی (I) به همراه نمایش مشخصات و نحوه انجام آزمایش تیمارها

Fig. 1. The distribution stages of samples into control and treatment groups (Water containing ice powder (E): (at temperatures of 0 and 10 °C), lactic acid (F): (at 0.5% and 1%), ozone gas (G): (at 1 and 2 ppm), and pulsed electric field (H): (60 V, 100 and 200 MHz)), along with the description of their characteristics and the methodology of conducting the treatment experiments

در این پژوهش به‌منظور بررسی روش‌های کنترل و کاهش آلودگی میکروبی و بهبود وضعیت بهداشتی فرآیند تولید در کشتارگاه طیور از آب حاوی پودر یخ (E) در دمای صفر و ۱۰ درجه سانتی‌گراد، اسید لاکتیک (F) در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد، آب ازن‌دار (G) با غلظت‌های ۱ ppm و ۲، میدان الکتریکی پالسی (H) با ولتاژ ۶۰ ولت با فرکانس‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ مگاهرتز و اثر ترکیبی (I) تیمارهای فوق‌(نمونه‌ها به‌ترتیب در معرض آب حاوی پودر یخ، اسید لاکتیک، آب حاوی ازن و میدان الکتریکی پالسی قرار گرفتند به عبارتی هر ۴ نوع تیمار با هم انجام شد) در دو سطح یا غلظت و دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه بر روی گروه‌های تیمار استفاده شد. در شکل ۱ نحوه توزیع نمونه‌ها در گروه کنترل و تیمارها به همراه مشخصات، تعداد نمونه، زمان انجام تیمارها، ترتیب تیمارها و نحوه ارسال به آزمایشگاه به تفکیک نشان داده شده است.

روش اعمال تیمارها

برای بررسی اثر هر یک از تیمارهای مورد مطالعه لاشه‌های مرغ از قسمت انتهای چیلر شستشو (C) به‌صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد و جهت ارزیابی اثر آب حاوی پودر یخ (E)، از

پودر یخ تولید شده توسط دستگاه یخ‌ساز کشتارگاه، و به‌منظور سنجش تأثیر اسید لاکتیک (F)، از اسید لاکتیک با خلوص ۹۰ درصد بهره گرفته شد. در این تحقیق، برای بررسی اثر ازن (G) بر روی لاشه‌ها، دستگاه مولد ازن با ظرفیت ۱۰ گرم در ساعت که به‌صورت سفارشی توسط شرکت آرکا صنعت تهران ساخته شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، جهت ارزیابی تأثیر میدان الکتریکی پالسی (H)، دستگاه مولد میدان الکتریکی پالسی ساخت سفارشی شرکت تحقیقاتی مهندسی افرا صنعت کیمیا مشهد به کار گرفته شد. برای بررسی اثر ترکیبی تیمارها (I)، ابتدا هر ۴ تیمار قبلی یکی همه در سطوح اولدر دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه و سپس مجدد در سطوح دوم آزمایش شدند. پس از انجام تیمارها، نمونه‌ها در داخل کیسه‌های زیپ‌دار به همراه پودر یخ نگهداری شدند. تمامی مراحل انتقال نمونه‌ها به کیسه‌های استریل، جابجایی‌ها و انتقال‌ها با استفاده از پنس استریل و در مجاورت شعله چراغ الکی آزمایشگاه و با رعایت کامل شرایط آسپتیک و استریل انجام گرفت تا از هرگونه آلودگی خارجی جلوگیری شود (Golden, Rothrock Jr, 2021 & Mishra). جدول ۱ مشخصات دقیق محل‌های نمونه‌برداری، کدگذاری و نام‌گذاری نمونه‌ها، گروه‌های آزمایشی، تعداد نمونه‌ها و واحدهای اندازه‌گیری تیمارها را به تفکیک نشان داده است.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌ها و محل‌های نمونه‌برداری
Table 1- Specifications of samples and sampling sites

کد نمونه Sample code	محل نمونه‌برداری و شرح نمونه Sampling place and description of the sample	واحد اندازه‌گیری The unit of measurement	مقدار/غلظت Amount/concentration	تعداد نمونه Number of samples
O	نمونه آب چیلر شستشوی Chiller washing water	-	-	6
A	لاشه مرغ پس از تخلیه اندرون Chicken carcass after evisceration	-	-	6
B	لاشه مرغ پس از دوش آب با فشار Chicken carcass after high-pressure water shower	-	-	6
C	لاشه مرغ انتهای چیلر شستشوی Chicken carcass at the end of the washing chiller	-	-	6
D	لاشه مرغ انتهای چیلر خنک کننده Chicken carcass at the end of the cooling chiller	-	-	6
E	لاشه مرغ در مخزن آب سرد Chicken carcass in the cold water tank	°C	10-0	24
F	لاشه مرغ در مخزن آب حاوی اسید لاکتیک Chicken carcass in the tank containing lactic acid	درصد %	0.5-1	24
G	لاشه مرغ در مخزن آب ازن Chicken carcass in the ozone water tank	ppm	1-2	24
H	لاشه مرغ در مخزن آب دارای میدان الکتریکی پالسی ۶۰ ولت Chicken carcass in the water tank with a 60-volt pulsed electric field	MHz	100-200	24
I	اثر ترکیبی تیمارهای فوق بر روی لاشه مرغ Combined effect of the above treatments on chicken carcass	-	-	24
کل Total			-	150

تعیین میزان آلودگی لاشه‌های مرغ به سالمونلا

در نخستین مرحله جهت تهیه سوسپانسیون اولیه، مقدار ۲۶ گرم از هر نمونه با مقدار ۲۳۴ میلی‌لیتر محیط مایع استریل پپتون واتر بافری (BPW^۱) مخلوط و به مدت ۱ دقیقه هموژن و همگن گردید. از این مقدار ۲۶۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون اولیه، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر معادل ۱ گرم به لوله آزمایش استریل منتقل شد تا از آن برای شمارش کلی باکتری‌ها و جداسازی و شمارش کمپیلوباکتر استفاده شود و رقت‌سازی سریالی تا رقت ۱۰^{-۶} ادامه پیدا کرد. جهت ارزیابی حضور سالمونلا در نمونه‌های لاشه مرغ، فرآیند جداسازی و شناسایی بر اساس دستورالعمل استاندارد ملی ایران به شماره ۱۸۱۰ انجام شد. سپس مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه معادل ۲۵ گرم نمونه با رقت ۱۰^{-۱} به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد. پس از آن مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از این سوسپانسیون به منظور افزایش احتمال جداسازی سالمونلا، به محیط غنی‌سازی انتخابی سلنیت برات بیس^۲ (مرک، آلمان)، منتقل و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شد. در ادامه، از محیط غنی‌شده به صورت خطی بر روی محیط کشت اختصاصی برلیانت گرین آگار^۳ (BGA^۳) (مرک، آلمان) کشت داده شد و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور قرار گرفت. کلنی‌های مشکوک به سالمونلا، که معمولاً به صورت صورتی تا قرمز با ناحیه اطراف بی‌رنگ یا زرد ظاهر می‌شوند، انتخاب و به محیط‌های افتراقی شامل آگار سه قند آهن^۴ (TSI)، لیزین آهن آگار^۵ (LIA) و محیط اوره آگار^۶ (مرک، آلمان) منتقل شدند، و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری گردیدند. پس از بررسی نتایج اولیه، از کلنی‌های دارای ویژگی‌های سازگار با سالمونلا کشت خالص بر روی محیط برلیانت گرین آگار (مرک، آلمان) صورت پذیرفت و کلنی‌های حاصل به محیط‌های بیوشیمیایی تکمیلی از جمله SIM^۷، VP-MR^۸ و سیمون سیترات (مرک، آلمان) منتقل گردیدند و پس از گرمخانه‌گذاری به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، تفسیر نتایج این آزمون‌ها به عنوان مبنایی برای شناسایی نهایی حضور یا عدم حضور گونه‌های سالمونلا در نمونه‌های مورد بررسی مورد استفاده قرار گرفت (ISIRI, 2010).

شمارش و تأیید گونه‌های کمپیلوباکتر در لاشه‌های مرغ

شناسایی و شمارش گونه‌های کمپیلوباکتر با بهره‌گیری از استاندارد ملی ایران به شماره ۹۶۶۱ صورت گرفت. از رقت‌های ۱۰^{-۱}، ۱۰^{-۲} و ۱۰^{-۳} تهیه شده از مابقی سوسپانسیون اولیه که جهت شناسایی سالمونلا تهیه گردید، مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر بر روی محیط کمپیلوباکتر آگار انتخابی بدون خون^۹ (مرک، آلمان)، به صورت یکنواخت و سطحی کشت داده شد. پلیت‌ها در شرایط میکروآتروفیلیک و در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. پس از اتمام زمان انکوباسیون، کلنی‌هایی با مشخصات ظاهری مشکوک، شامل سطح خاکستری با درخشندگی فلزی، شکل مسطح و رطوبت‌دار، با گرایش به پخش شدن، مشاهده و پلیت‌هایی با شمارش کمتر از ۱۵۰ کلنی انتخاب شدند. جهت تأیید بیوشیمیایی، از هر پلیت پنج کلنی به صورت تصادفی انتخاب و برای تهیه کشت خالص به محیط کلمبیا بلاد آگار خون‌دار^{۱۰} (مرک، آلمان) منتقل گردید. این پلیت‌ها نیز مجدداً در شرایط میکروآتروفیلیک و دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت انکوبه شدند. کلنی‌های حاصل از کشت خالص، برای انجام مجموعه‌ای از آزمون‌های شناسایی به کار گرفته شدند. جهت بررسی ویژگی‌های میکروسکوپی، از هر کلنی سوسپانسیونی در محیط بروسلا برات^{۱۱} (مرک، آلمان) تهیه شد و زیر میکروسکوپ نوری، شکل مارپیچی و خمیده باکتری‌ها همراه با حرکت فعال مشاهده گردید. بررسی توان رشد در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط هوازی، و همچنین در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط میکروآتروفیلیک، منفی گزارش شد که با ویژگی‌های افتراقی این باکتری مطابقت داشت. در آزمون اکسیداز، بخشی از کلنی به وسیله میله‌ی شیشه‌ای استریل به کاغذ صافی آغشته به معرف اکسیداز منتقل شد. مشاهده رنگ بنفش یا آبی پررنگ در کمتر از ۱۰ ثانیه، بیانگر واکنش مثبت بود. همچنین، برای ارزیابی فعالیت آنزیم اوره‌آز، با استفاده از آنس استریل، بخشی از کلنی‌ها به صورت زیگزاگ بر سطح شیب‌دار محیط اوره‌آز (مرک، آلمان) کشت داده شده و پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط میکروآتروفیلیک، عدم تغییر رنگ به عنوان نتیجه منفی در نظر گرفته شد. تست کاتالاز نیز با افزودن کلنی‌ها به قطره‌ای از محلول پراکسید هیدروژن بر روی لام انجام و با ایجاد حباب ظرف ۳۰ ثانیه، نتیجه مثبت تأیید شد. در مجموع، تعداد ۲۵ کلنی خالص جهت اجرای آزمون‌های تأییدی مورد بررسی قرار گرفتند. کلنی‌هایی که در حداقل پنج آزمون دارای نتایج سازگار با مشخصات کمپیلوباکتر بودند، به عنوان

7- Sulfide-Indole-Motility

8- Voges-Proskauer/Methyl Red

9- Campylobacter Blood-Free Selective Agar Base

10- Columbia Blood Agar

11- Brucella broth

1- Buffered Peptone Water

2- Selenite F Broth

3- Brilliant Green Agar

4- Triple Sugar Iron Agar

5- Lysine Iron Agar

6- Urea Agar Base

ایزوله‌های قطعی تلقی گردیدند. شمارش نهایی کلنی‌ها با استفاده از رابطه (۱) انجام شد.

$$a = \frac{b}{A} \times C \quad (1)$$

در رابطه فوق، a: تعداد کمپیلوباکتر در هر پلیت، A: تعداد کلنی انتخاب شده برای شناسایی، b: تعداد کلنی‌هایی که پس از شناسایی با میکروارگانیسم مربوطه مطابقت دارد، c: تعداد کلنی‌های شمارش شده در هر پلیت (ISIRI, 2006).

شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

بدین منظور، پس از تهیه رقت‌های متوالی (تا رقت 10^{-6}) از سوسپانسیون اولیه، از رقت‌های 10^{-4} ، 10^{-5} و 10^{-6} به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر بر روی محیط پلیت کانت آگار^۱ (مرک، آلمان) به روش شمارش صفحه‌ای سطحی کشت داده شد. پلیت‌ها در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. برای شمارش کلی، پلیت‌های دارای ۳۰ - ۳۰۰ پرگنه انتخاب گردیدند (Stęczyński & Kokoszyński, 2021).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تجزیه و تحلیل شدند. برای بررسی تفاوت بین گروه‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید و در صورت معنی‌دار بودن نتایج ($P < 0.05$)، مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام گرفت. نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شد.

نتایج و بحث

به منظور بررسی سطح آلودگی در کشتارگاه تعدادی از نقاط کنترل بحرانی نمونه‌برداری و مورد بررسی قرار گرفت که در جدول ۲ میزان آلودگی و وضعیت بهداشتی نقاط مدنظر در حین فرآیند کشتار نشان داده شده است. در خط کشتار مرغ، پرندۀ پس از عبور از مراحل ذبح و پرکنی، تخلیه امعاء و احشاء (A) به صورت دستی یا اتوماتیک انجام می‌شود و میزان آلودگی سطحی لاشه طیور معمولاً در این مرحله به دلیل جداسازی احشاء خوراکی و غیر خوراکی و پارگی بعضی از آنها در بالاترین حد خود می‌باشد و نتایج پژوهش حاضر نیز مؤید این مطلب است. پس از این مرحله عملیات شستشوی لاشه طیور ابتدا توسط دوش‌های پرفشار آب (B) و سپس در چیلرهای شستشو (C) انجام می‌شود و انتظار می‌رود تمامی آلودگی‌های فیزیکی و میکروبی روی

سطح لاشه و داخل محوطه شکمی لاشه تخلیه شده کاهش یابد. در کشتارگاه مورد بررسی به دلیل کارایی نامناسب و وجود نقص در عملکرد دوش‌های شستشوی لاشه در این نقطه میزان آلودگی در بالاترین سطح از نظر شمارش کلی باکتری‌ها، کمپیلوباکتر و درصد سالمونلا بود، و تفاوت معناداری ($P < 0.05$) با برخی نقاط دیگر نشان داد (جدول ۲). پس از این مرحله لاشه طیور به منظور خنک‌سازی وارد چیلرهای آبی حاوی پودر یخ (D) می‌شود و در این نقطه لاشه طیور بایستی همان شرایط لاشه مورد مصرف را داشته باشد که نتایج این پژوهش نیز گویای این موضوع است و آلودگی در این نقطه پایین‌ترین میزان و تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$)، با سایر نقاط نشان داد. به منظور بررسی احتمال ایجاد آلودگی متقاطع در چیلرهای شستشو و انتقال آن به سایر لاشه‌های کشتار شده در پایان هر مرحله از آب چیلرهای شستشو (O) نیز نمونه‌برداری انجام شد که میزان آلودگی در این نقطه پس از چیلرهای خنک کننده کمتر از سایر بخش‌ها بود (جدول ۲).

سازمان دامپزشکی کشور بر اساس دستورالعمل اجرایی ضوابط فنی بهداشتی کشتار، استحصال، بسته‌بندی و عرضه گوشت طیور با کد دستورالعمل ۰۶-۴۴-۸۷ ویژگی‌های میکروبی لاشه طیور و مقادیر مجاز آن مشخص شده است. بنابراین بر اساس این دستورالعمل، لاشه‌های طیور از نظر شمارش کلی باکتری‌ها، کمپیلوباکتر و حضور باکتری سالمونلا در ۲۵ گرم نمونه به ترتیب 10^{-5} ، 10^{-3} و منفی باشد. به عبارتی، لاشه‌های با بار میکروبی بالاتر از این مقادیر اجازه مصرف ندارد و قضاوت و نحوه مصرف آن بستگی به تعداد نمونه و وضعیت آلودگی آنها دارد. که از این نظر وضعیت آلودگی در نقاط کنترل بحرانی وضعیت مناسبی را نداشته و بکارگیری و استفاده از روش‌های کاهش‌دهنده آلودگی میکروبی و تکنولوژی‌های جدید در کشتارگاه طیور بیش از پیش مورد نیاز است. بر همین اساس در این پژوهش از روش‌هایی برای کاهش آلودگی میکروبی و بهبود وضعیت بهداشتی کشتارگاه طیور استفاده گردید.

نتایج این تحقیق نشان داد که در میان روش‌های اعمال شده، تیمارهای گاز ازن، اسید لاکتیک، میدان الکتریکی پالسی و اثر ترکیبی آنها به ویژه در سطوح بالاتر توانستند میزان آلودگی‌های میکروبی لاشه مرغ را نسبت به نمونه کنترل (C) کاهش دهند ($P < 0.05$). بیشترین میزان شمارش کلی باکتری‌ها ($6.18 \log \text{cfu/g}$) در نمونه کنترل مشاهده شد که نشان‌دهنده بار میکروبی اولیه و نسبتاً بالای نمونه‌های لاشه مرغ است. در میان روش‌های اعمال شده جهت کنترل و کاهش آلودگی باکتری‌ها، اسید لاکتیک در بالاترین سطوح مورد بررسی (۱٪ - به مقدار $1.58 \log \text{cfu/g}$ و $1.90 \log \text{cfu/g}$ توانستند بیشترین

روش‌های فیزیکی مورد بررسی عمل کرده است (Ramirez- Hernandez, Brashears, & Sanchez-Plata, 2018). مشابه روند شمارش کلی باکتری‌ها، شمارش کمپیلوباکتر در نمونه کنترل نیز بیشترین مقدار ($2/98 \log \text{cfu/g}$) را داشت و اختلاف معنی‌دار ($P < 0/05$) با اکثر تیمارها از خود نشان داد.

اثر بخشی را در کاهش بار کلی میکروبی داشته باشند ($P < 0/05$). کاهش بار میکروبی به ترتیب به هنگام استفاده از پودر یخ، ازن و میدان الکتریکی پالسی کمتر از دو روش مذکور بود ($P < 0/05$). این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از عوامل شیمیایی مانند اسید لاکتیک، به دلیل خاصیت ضدباکتریایی مستقیم در مهار رشد میکروب‌ها مؤثرتر از

جدول ۲- میانگین شمارش کلی باکتری‌ها و شمارش کمپیلوباکتر (لگاریتم تعداد واحد کلنی به ازای هر گرم یا میلی‌لیتر) و آلودگی سالمونلا (درصد) در نقاط کنترل بحرانی در طی فرآیند کشتار

Table 2- The mean of total bacterial count and *Campylobacter* count (Log CFU/g) and *Salmonella* contamination (%) at critical control points during the slaughter process

نقاط کنترل بحرانی Critical control points	شمارش کلی باکتری‌ها (Log CFU/g) Total count of bacteria	شمارش کمپیلوباکتر (Log CFU/g) <i>Campylobacter</i> count	درصد آلودگی سالمونلا (%) The percentage of <i>Salmonella</i> infection
(A) تخلیه شکم Internal evacuation	6.26 ± 0.26^a	3.20 ± 0.48^{ab}	41 ± 0.41^a
(B) دوش شستشو Washing shower	6.43 ± 0.29^a	3.32 ± 0.42^a	42 ± 0.41^a
(C) چیلر شستشو Washing chiller	6.18 ± 0.33^a	2.98 ± 0.15^{ab}	42 ± 0.41^a
(D) چیلر خنک کننده Cooling chiller	5.55 ± 0.39^b	2.81 ± 0.33^{ab}	25 ± 0.55^b
(O) آب چیلر شستشو Chiller washing water	5.29 ± 0.32^b	2.64 ± 0.18^b	25 ± 0.55^b

حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون توکی هستند.

Different letters indicate significant differences at the 5% level according to Tukey's test.

داد. سایر روش‌ها نظیر میدان الکتریکی پالسی ($8/5\%$)، ازن ($16/5\%$) و پودر یخ (25%) نیز در کاهش سالمونلا اثر داشتند اما تأثیر آنها در کاهش آلودگی سالمونلا در مقایسه با اسید لاکتیک و روش ترکیبی کمتر بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده ترکیبی از روش‌های شیمیایی و فیزیکی می‌تواند استراتژی مناسبی برای کاهش خطرات بهداشتی ناشی از سالمونلا باشد. اثرات قابل توجه اسید لاکتیک و روش ترکیبی در کاهش آلودگی باکتری‌های بیماری‌زا به احتمال زیاد ناشی از کاهش pH محیط و اثرات مستقیم ضدباکتریایی اسید لاکتیک است که موجب اختلال در عملکرد غشای سلولی و متابولیسم باکتری‌ها می‌شود. در مقابل، روش‌های فیزیکی مانند ازن و میدان الکتریکی پالسی با ایجاد استرس اکسیداتیو و اختلال در ساختار سلولی میکروب‌ها، به کاهش بار میکروبی کمک می‌کنند (Qian et al., 2019)، اگرچه در این مطالعه اثر بخشی آن‌ها در کاهش آلودگی باکتری‌های باکتری بیماری‌زا و شمارش کلی کمتر از اسید لاکتیک بود.

یافته‌های این تحقیق با پژوهش‌های پیشین که بر تأثیر ازن، اسید لاکتیک و همچنین روش‌های ترکیبی بر کاهش بار میکروبی گوشت طیور تأکید دارند، همسو بود. در مطالعه‌ای که توسط مگاهید و همکاران (Megahed et al., 2020) انجام شد، استفاده از محلول‌ازن با غلظت ۸ ppm با به‌کارگیری دو روش غوطه‌وری و اسپری متوالی، کاهش

میزان کاهش در شمارش کمپیلوباکتر در نمونه‌های تیمار شده با اسید لاکتیک در بالاترین سطوح مورد بررسی ($1/02 \log \text{cfu/g}$) و روش ترکیبی در بالاترین سطوح تمامی تیمارها ($1/39 \log \text{cfu/g}$) نشان‌دهنده اثر مثبت این دو روش در کنترل این باکتری که از عوامل مهم بیماری‌زایی در مواد غذایی محسوب می‌شود، بود. در نمونه‌های تیمار شده با ازن و میدان الکتریکی پالسی نیز کاهش شمارش کمپیلوباکتر نسبت به نمونه کنترل گزارش شد که تنها در سطوح بالاتر تیمارها (غلظت بالاتر ازن و فرکانس بالاتر میدان الکتریکی پالسی در هر دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه)، تفاوت آماری معنی‌داری را نسبت به نمونه کنترل نشان دادند ($P < 0/05$). استفاده از پودر یخ در سطوح مختلف مورد بررسی تأثیری در کاهش آلودگی کمپیلوباکتر نداشت ($P > 0/05$). این نتایج تأکید می‌کند که ترکیب چند روش می‌تواند اثرات هم‌افزایی ایجاد کرده و در مهار باکتری‌های بیماری‌زا مؤثرتر عمل کند (جدول ۳).

طبق جدول ۳، میزان آلودگی سالمونلا در نمونه کنترل ۴۲٪ بود که نسبت به نمونه‌های تیمار شده با روش‌های مختلف بسیار بالاتر بود ($P < 0/05$). استفاده از روش ترکیبی تیمارها موجب کاهش بیشتر این باکتری شد که تفاوت معنی‌داری ($P < 0/05$)، با سایر تیمارها و نمونه کنترل داشت. همچنین اسید لاکتیک نیز در مقایسه با سایر روش‌های مورد بررسی به‌طور مؤثرتری آلودگی به این باکتری بیماری‌زا را کاهش

درصد را بر کاهش بار میکروبی لاشه مرغ بررسی کرد. نتایج حاکی از کاهش قابل توجه شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها، کمپیلوباکتر و درصد آلودگی *سالمونلا* بود. این کاهش در بار میکروبی با افزایش غلظت ازن تشدید شد که نشان‌دهنده افزایش اثربخشی ترکیب مذکور می‌باشد. همچنین، استفاده از این ترکیب در مرحله‌ی خنک‌سازی لاشه مرغ، کاهش ۱/۱۶ سیکل لگاریتمی شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها را به همراه داشت. بای و همکاران (Bai et al., 2020) نیز ترکیبی از اسیدهای آلی (اسید سیتريك و اسید لاکتیک) همراه با سدیم دودسیل سولفات (SDS) را به‌عنوان ضدعفونی‌کننده‌ی مؤثر معرفی کردند که با مکانیسم هم‌افزایی توانستند در مدت ۱۵ ثانیه کاهش ۱۰۰ درصدی *سالمونلا* و کمپیلوباکتر را در غلظت‌های پایین ایجاد کند. کاهش بیش از $4.7 \log \text{CFU/mL}$ در شمارش باکتری‌ها نشان‌دهنده قدرت بالای این ترکیب در کنترل آلودگی‌های میکروبی طی فرآیندهای کشتار طیور است.

معنی‌دار جمعیت *سالمونلا* را روی سطح پوست و بافت زیرجلدی ران مرغ نشان داد. به‌طوری‌که کاهش آلودگی پس از چندین مرحله غوطه‌وری و اسپری به‌ترتیب به حدود $1/\log/\text{cm}^2$ و $0.9/\log/\text{cm}^2$ رسید. علاوه بر این، افزودن اسید لاکتیک به محلول ازن موجب افزایش ظرفیت ضد میکروبی این ترکیب شد که این موضوع نشان‌دهنده اثر سینرژیک بین این دو عامل است. مطالعه دیگری توسط رحیمیان و همکاران (Rahimian et al., 2019) در شرایط خنک‌سازی لاشه طیور، نشان داد که استفاده از ازن با غلظت ۷ ppm توانست به‌طور قابل توجهی تعداد کل باکتری‌ها را کاهش دهد و نتایج آن با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت داشت. این موضوع بیانگر نقش مؤثر ازن در کاهش بار میکروبی در مراحل پس از کشتار است که برای حفظ کیفیت و ایمنی محصولات طیور اهمیت زیادی دارد. همچنین، پژوهشی که کاظمی تسکوه و همکاران (Kazemi Taskooh et al., 2016) انجام دادند، تأثیر ترکیبی ازن با غلظت‌های ۱ و ۲، و اسید لاکتیک ۱

جدول ۳- میانگین شمارش کلی باکتری‌ها، کمپیلوباکتر و درصد آلودگی *سالمونلا* در گروه‌های مورد مطالعه

Table 3- The mean total bacterial count, *Campylobacter* count, and the percentage of *Salmonella* contamination in the studied groups

تیمارها Treatments	سطوح و زمان اعمال تیمار Level and time of treatments	شمارش کلی باکتری‌ها Total bacterial log (count) (CFU/g)	کمپیلوباکتر <i>Campylobacter</i> log (count) (CFU/g)	<i>سالمونلا</i> <i>Salmonella</i> contamination (%)
کنترل Control (C)	-	6.18±0.33 ^a	2.98±0.15 ^a	42±0.41 ^a
پودر یخ (E) Ice powder	10 درجه - 5 دقیقه	6.05±0.07 ^{ab}	2.95±0.35 ^a	34.00±0.51 ^{ab}
	10 درجه - 10 دقیقه	5.87±0.13 ^{bc}	2.76±0.26 ^a	25.00±0.55 ^{abc}
	0 درجه - 5 دقیقه	5.72±0.13 ^c	2.60±0.26 ^a	25.00±0.55 ^{abc}
	0 درجه - 10 دقیقه	5.58±0.11 ^c	2.56±0.35 ^a	16.50±0.52 ^c
ازن (G) Ozone	1 ppm - 5 دقیقه	5.87±0.24 ^a	2.88±0.24 ^a	34.00±0.52 ^b
	1 ppm - 10 دقیقه	5.77±0.17 ^{ab}	2.69±0.15 ^{ab}	17.00±0.51 ^{bc}
	2 ppm - 5 دقیقه	5.42±0.29 ^b	2.48±0.24 ^b	8.50±0.41 ^c
	2 ppm - 10 دقیقه	5.35±0.17 ^b	2.44±0.23 ^b	8.50±0.41 ^c
میدان الکتریکی پالسی (H) Pulse electric field	100-5 mhz دقیقه	5.71±0.32 ^{ab}	2.67±0.25 ^{ab}	25.00±0.55 ^b
	100-10 mhz دقیقه	5.61±0.32 ^b	2.49±0.26 ^{ab}	8.50±0.41 ^c
	200-5 mhz دقیقه	5.38±0.37 ^b	2.37±0.20 ^b	0.00±0.00 ^d
	200-10 mhz دقیقه	5.22±0.31 ^b	2.31±0.48 ^b	0.00±0.00 ^d
اسید لاکتیک (F) Lactic acid	0.5% - 5 دقیقه	5.16±0.36 ^b	2.42±0.40 ^{ab}	8.50±0.41 ^b
	0.5% - 10 دقیقه	5.37±0.32 ^{bc}	2.28±0.44 ^b	8.50±0.41 ^b
	1% - 5 دقیقه	4.69±0.32 ^c	2.15±0.31 ^b	0.00±0.00 ^c
	1% - 10 دقیقه	4.60±0.30 ^c	1.96±0.41 ^b	0.00±0.00 ^c
اثر ترکیبی (I) Combined effect	همه تیمارها 1	4.93±0.19 ^b	2.26±0.24 ^b	8.50±0.41 ^b
	همه تیمارها 2	4.78±0.29 ^{bc}	1.97±0.26 ^{bc}	0.00±0.00 ^c
	همه تیمارها 3	4.57±0.37 ^{bc}	1.83±0.32 ^{bc}	0.00±0.00 ^c
	همه تیمارها 4	4.28±0.39 ^c	1.59±0.30 ^c	0.00±0.00 ^c

در هر ستون، میانگین تیمارها نسبت به گروه کنترل (میانگین ± انحراف معیار) که دارای حروف متفاوت هستند، در سطح پنج درصد آزمون توکی اختلاف معنی‌دار دارند.
In each column, means (mean ± standard deviation) with different letters are significantly different at the 5% level according to Tukey's test.

همانگونه که در **جدول ۳** مشاهده می‌شود افزایش سطوح تیمارها (غلظت ازن، غلظت اسید لاکتیک و فرکانس میدان الکتریکی پالسی) باعث کاهش بیشتر شمارش میکروبی شد. ارتباط مثبت بین غلظت مواد فعال و و کارایی بالاتر در کاهش آلودگی میکروبی با مکانیسم عمل بسیاری از عوامل زیست‌فعال در ارتباط است، به‌گونه‌ای که افزایش غلظت باعث تخریب بیشتر غشاهای سلولی میکروب‌ها، اختلال در فرآیندهای متابولیکی و در نهایت مرگ سلولی می‌شود. این موضوع در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است. برای مثال، در مطالعاتی که اثر ضد باکتریایی اسید لاکتیک و گاز ازن بر باکتری‌های باکتری بیماری‌زا طیور بررسی شد، رابطه مستقیم میان افزایش غلظت این مواد و کاهش بار میکروبی به اثبات رسیده است (Wang et al., 2019). حبیب (Habeb, 2018) گزارش نمود که ترکیبات لاکتات سدیم، اسید لاکتیک و اسید استیک، چه به‌صورت مجزا و چه به‌صورت ترکیبی، توانستند کاهش قابل‌توجهی را در میزان آلودگی *سالمونلا* روی سطح ران مرغ ایجاد کنند. اثر ترکیبی این اسیدها به‌وضوح بیشتر از تأثیر هر یک به تنهایی بود، که این امر نشان‌دهنده وجود هم‌افزایی در فعالیت ضدباکتریایی آن‌هاست. همچنین، نتایج آن‌ها نشان‌دهنده رابطه‌ی دوز-وابسته بود؛ به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت ترکیبات، میزان کاهش آلودگی به *سالمونلا* به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین، کاربرد میدان الکتریکی پالسی با ولتاژهای بالا و به‌صورت ترکیبی با عوامل ضد میکروبی توانسته است کاهش چشمگیری در میزان میکروارگانیسم‌ها به همراه داشته باشد (Aşık-Canbaz et al., 2022). در همین راستا، نتایج مطالعه‌ی سلیمنت و همکاران (Clemente et al., 2020) نشان داد که استفاده از میدان الکتریکی پالسی به‌تنهایی قادر است کاهش قابل‌توجهی در شمارش *کمپیلوباکتر ژرونی*^۱ در محیط‌های مایع ایجاد کند، به‌طوری‌که اعمال شدت میدان بالا و مدت زمان کافی منجر به کاهش چندین لگاریتمی جمعیت این باکتری می‌شود. اما با این حال، اثر این تیمار به‌تنهایی بر روی مرغ خام محدود بوده و کاهش معنی‌داری در جمعیت باکتری‌ها مشاهده نشده که این امر نشان‌دهنده چالش‌های نفوذپذیری این روش در ساختار پیچیده گوشت است. ترکیب میدان الکتریکی پالسی با ترکیبات ضدباکتریایی مانند اسید استیک و اسید فرمیک اثربخشی بیشتری در غیرفعال‌سازی/کاهش باکتری و سایر میکروارگانیسم‌های هدف داشت زیرا این ترکیبات با افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، اثر ضدباکتریایی میدان الکتریکی پالسی را تقویت کرده و منجر به تخریب سریع‌تر و مؤثرتر باکتری‌ها می‌گردند. علت اصلی این رابطه مثبت میان غلظت و کارایی، با ویژگی‌های ساختاری و عملکردی سلول‌های میکروبی مرتبط است. در حقیقت، غشاهای سلولی با افزایش غلظت تیمارها بیشتر تحت

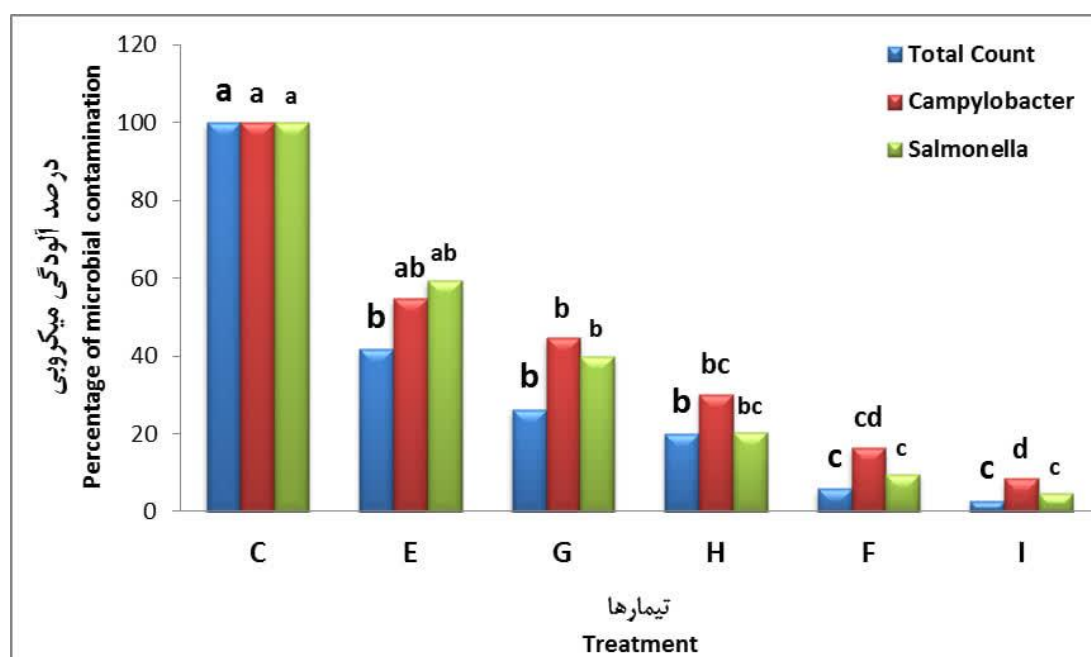
فشار اکسیداتیو یا تخریب مکانیکی قرار گرفته و این امر موجب نشت محتویات سلولی، اختلال در توازن یونی و نهایتاً توقف فرآیندهای حیاتی مانند تنفس و سنتز پروتئین می‌شود. چنین مکانیسم‌هایی در مطالعات میکروبیولوژیکی مختلف برای توضیح اثربخشی عوامل ضد میکروبی به کرات گزارش شده است (Gonzalez-Fandos, Maya, Martínez-Laorden, & Perez-Arnedo, 2020).

یافته‌های حاصل از **جدول ۳** نشان می‌دهد که میانگین شمارش کلی باکتری‌ها و *کمپیلوباکتر* پس از اعمال اکثر تیمارها در زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه، کاهش معنی‌داری نسبت به گروه کنترل داشتند ($P < 0.05$). همانطور که مشخص است اعمال تیمارها در کاهش بار میکروبی، در هر دو بازه زمانی به شکل مؤثری عمل کردند، ولی افزایش زمان از ۵ به ۱۰ دقیقه، تأثیری در کاهش بیش‌تر در شمارش باکتریایی نداشت ($P > 0.05$). در این تحقیق مشخص شد که هرچند که روند کاهش در میزان آلودگی باکتری‌ها در دو زمان متفاوت بود، اما افزایش زمان تیمار از ۵ به ۱۰ دقیقه اثر معنی‌دار در کاهش میزان آلودگی نداشت که این امر نشان‌دهنده آن است که بخش اعظم اثر ضدباکتریایی تیمارها در دقایق اولیه حاصل شده و احتمالاً با گذشت زمان به اشباع اثر رسیده است، به‌گونه‌ای که افزایش زمان، اثر قابل‌توجهی در کاهش میزان آلودگی ایجاد نکرد. مشابه این یافته‌ها در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است. مطالعه‌ی زانگ و همکاران (Zhang et al., 2022) نشان داد که استفاده از میدان الکتریکی پالسی در کاهش *کمپیلوباکتر ژرونی* در مرغ، در دقایق ابتدایی اثرگذار بوده و افزایش زمان تیمار تأثیری بر کاهش بیشتر باکتری نداشت. در تحقیق نوویچچوک و همکاران (Novickij et al., 2019) نیز نتایج حاکی از آن است که کاهش بار میکروبی تحت تأثیر تیمارهای غیرحرارتی (نظیر میدان الکتریکی پالسی یا ترکیبات ضد میکروبی طبیعی) بیشتر از اینکه به مدت تماس‌دهی بستگی داشته باشد، با شدت و نوع تیمار ارتباط دارد، چرا که باکتری‌ها در مدت زمان کوتاه به آستانه آسیب ساختاری می‌رسند و افزایش زمان تنها در مواردی با دوز پایین‌تر می‌تواند مؤثرتر باشد.

میانگین درصد آلودگی به *سالمونلا* در گروه کنترل برابر با ۴۲ درصد بود، که این میزان در تیمارهای با سطوح بالاتر (غلظت بالاتر-زمان بالاتر ازن و اسید لاکتیک، و فرکانس بالاتر-زمان طولانی‌تر میدان الکتریکی پالسی) کاهش بیشتری در مقایسه با تیمارهای با سطوح پایین‌تر (غلظت کمتر-زمان کوتاه‌تر ازن و اسید لاکتیک، و فرکانس پایین‌تر-زمان کوتاه‌تر میدان الکتریکی پالسی) نشان داد، که این امر بیانگر وجود رابطه‌ی وابسته به دوز میان افزایش غلظت ترکیبات و اثربخشی ضدباکتریایی آن‌ها است. مطالعات متعددی در

فناوری‌های نوین، از جمله اسیدهای آلی، میدان‌های الکتریکی پالسی و اوزونیزه کردن را در کاهش میزان آلودگی *سالمونلا* در گوشت طیور تأیید کردند (Barroug, Chaple, & Bourke, 2021). زانگ و همکاران (Zhang et al., 2020) نشان دادند که ترکیب اسید لاکتیک با فناوری میدان الکتریکی پالسی می‌تواند بیش از ۵۰ درصد از میزان آلودگی *سالمونلا* در سیستم‌های غذایی را در زمان کوتاهی کاهش دهد، که این میزان با یافته‌های مطالعه حاضر (کاهش ۵۳ درصدی در ۵ دقیقه) مطابقت داشت. همچنین در تحقیق دیگری، کاروالهو و همکاران (Carvalho et al., 2022) با بررسی اثر زمان تیمار روی فعالیت ضدباکتریایی اسیدهای آلی علیه باکتری بیماری‌زاهای غذایی گزارش کردند که افزایش زمان تماس تا حدی اثربخشی را افزایش می‌دهد، اما پس از رسیدن به یک نقطه اشباع، افزایش بیشتر زمان تأثیر چندانی ندارد؛ این موضوع در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد، اگرچه کاهش میزان آلودگی *سالمونلا* در بازه زمانی بین ۵ تا ۱۰ دقیقه معنی‌دار گزارش شد، اما شدت این کاهش به اندازه افت قابل توجهی که در پنج دقیقه نخست مشاهده شد، چشمگیر نبود.

سال‌های اخیر نشان داده است که استفاده از ترکیبات ضدباکتریایی طبیعی و اسیدهای آلی به‌خصوص اسید لاکتیک، اسید استیک و نمک‌های لاکتات، توانسته‌اند به‌طور مؤثری جمعیت *سالمونلا* در محصولات گوشتی را کاهش دهند (El-Saadony et al., 2022). در همین رابطه، پژوهش توماس و همکاران (Thomas et al., 2020) اثربخشی اسید لاکتیک و ترکیبات آلی دیگر را در کاهش رشد *سالمونلا* در گوشت مرغ گزارش کردند که نتایج آنها مؤید آن است که افزایش دوز این ترکیبات، با کاهش مؤثر رشد باکتری بیماری‌زا همراه بوده که با یافته‌های مطالعه حاضر در خصوص وابستگی اثر غیرفعال‌کنندگی به میزان دوز، هم‌راستا می‌باشد. همچنین، هیلمی و همکاران (Hilmi et al., 2024) با بررسی اثر ترکیبی اسید لاکتیک و نانوذرات نقره، کاهش قابل توجهی در میزان آلودگی *سالمونلا* مشاهده نمودند که نشان‌دهنده نقش مهم اثرات سینرژیک در افزایش کارایی ضدباکتریایی است. یافته‌های این تحقیق حاکی از آن بود که انجام تیمارها به مدت ۵ دقیقه توانست بیش از نیمی از جمعیت *سالمونلا* را کاهش دهد و افزایش زمان تیمار به ۱۰ دقیقه، منجر به کاهش بیشتر این باکتری بیماری‌زا شد ($P < 0.05$). مطالعات پیشین نیز اثربخشی ترکیبات ضدباکتریایی و



شکل ۲- میانگین درصد کاهش شمارش کلی باکتری‌ها، شمارش کمپیلوباکتر (تعداد واحد کلنی در هر گرم نمونه) و آلودگی *سالمونلا* (درصد) با اعمال هر یک از تیمارها نسبت به گروه کنترل

Fig. 2. Average percentage reduction in total bacterial count, Campylobacter count (number of colony-forming units per gram of sample), and Salmonella contamination (percentage) with each treatment compared to the control group

(F) بیشترین اثر را در کاهش آلودگی میکروبی لاشه‌های طیور داشتند. این مسئله می‌تواند به‌دلیل مکانیسم عملکرد متفاوت و مکمل این

یافته‌های شکل ۲ نشان می‌دهد که در میان روش‌های بررسی شده، استفاده از پودر یخ (E) کمترین و تیمار ترکیبی (I) و اسید لاکتیک

عوامل باشد؛ اسید لاکتیک با کاهش pH سطح لاشه و ایجاد اختلال در فعالیت‌های متابولیک باکتری‌ها، محیط نامطلوبی برای رشد و بقای میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، میدان الکتریکی پالسی با ایجاد ایجاد منفذ یا تخریب در ساختار غشای سلولی باکتری‌ها، نفوذپذیری را افزایش داده و مرگ سلولی را تحریک می‌کند. هنگام کاربرد همزمان این دو عامل، اختلال در ساختار غشایی با اثر بازدارندگی اسید لاکتیک ترکیب شده و اثر سینرژیستی بر کاهش بار میکروبی ایجاد می‌گردد (Manzoor et al., 2020). همانطور که ملاحظه می‌شود روش ترکیبی توانست تعداد کل باکتری‌ها و تعداد کمپیلوباکتر را به ترتیب به میزان ۹۷ و ۹۱ درصد نسبت به گروه کنترل (تعداد واحد کلنی در هر گرم نمونه) و میزان سالمونلا را ۹۵ درصد نسبت به گروه کنترل کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که لاشه‌های طیور کشتارگاه از نظر بار کلی میکروبی و حضور باکتری بیماری‌زاهای شاخص، به‌ویژه سالمونلا و کمپیلوباکتر، در سطح نسبتاً بالایی از آلودگی قرار داشتند؛ به‌گونه‌ای که مقادیر به‌دست‌آمده تا حدودی نزدیک به حدود مجاز تعیین‌شده در ضوابط بهداشتی سازمان دامپزشکی کشور بودند. در این تحقیق، تیمار اسید لاکتیک در بالاترین سطوح مورد بررسی (۱-۱۰٪) دقیقاً و روش ترکیبی در بالاترین سطوح تمامی تیمارها به‌ترتیب به مقدار $1/58 \log \text{cfu/g}$ و $1/90 \log \text{cfu/g}$ در کاهش بار کلی میکروبی، و $1/02 \log \text{cfu/g}$ و $1/39 \log \text{cfu/g}$ در کاهش شمارش کمپیلوباکتر بیشترین اثربخشی را در مقایسه با سایر تیمارها داشتند. همچنین، یافته‌های این پژوهش نشان داد که تیمارهای اعمال‌شده منجر به کاهش معنی‌داری در شمارش کلی باکتری‌ها و کمپیلوباکتر در زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه شدند ($P < 0.05$)، اگرچه افزایش زمان تیمار از

۵ به ۱۰ دقیقه، تأثیر بیشتری بر کاهش این باکتری‌ها نداشت ($P > 0.05$). اما همین زمان ۵ دقیقه بیش از نیمی از جمعیت سالمونلا را کاهش داد، و با افزایش زمان تیمار به ۱۰ دقیقه، کاهش بیشتری در سالمونلا را به همراه داشت ($P < 0.05$). از آنجاکه اعمال هر یک از تیمارها در سطوح بالاتر ممکن است با اثرات جانبی زیان‌آور همراه باشد، به‌کارگیری همزمان آن‌ها (اثر ترکیبی) در دوزهای پایین‌تر، راهکاری مناسب برای دستیابی به اثربخشی مطلوب بدون به خطر انداختن کیفیت محصول یا ایمنی مصرف‌کننده به‌شمار می‌رود. با این حال، احتمال وقوع برهم‌کنش‌های فیزیکی و شیمیایی بین تیمارهای ترکیبی نظیر تشکیل یون‌های آزاد یا بارهای الکتریکی می‌تواند منجر به کاهش یا خنثی‌شدن اثرات سینرژیک گردد. از این‌رو، انجام مطالعات تکمیلی جهت روشن‌سازی مکانیسم‌های اثر، بررسی پایداری ترکیب تیمارها و تعیین شرایط بهینه اجرای آن‌ها در مقیاس صنعتی، امری ضروری به نظر می‌رسد. در مجموع، یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که استفاده از فناوری‌های نوین ترکیبی می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد مؤثر، ایمن و قابل اعمال در مقیاس صنعتی، در راستای کاهش آلودگی میکروبی لاشه طیور و بهبود ایمنی مواد غذایی در زنجیره تولید، پردازش و عرضه فرآورده‌های دامی به‌کار گرفته شود.

میزان مشارکت نویسندگان

حمدالله مشتاقی: تهیه پروپوزال، تصحیح و ویرایش متن نوشتاری پروژه. امیر شفیعی: انجام پروژه و تأمین بخشی از منابع. مجتبی بنیادیان: کمک در انجام کار آماری.

منابع تأمین مالی

بودجه این کار توسط دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد پشتیبانی مالی شد.

References

- Alali, W.Q., & Hofacre, C.L. (2018). Preharvest food safety in broiler chicken production. *Preharvest Food Safety*, 69-86. <https://doi.org/10.1128/9781555819644.ch4>
- Aşık-Canbaz, E., Çömlekçi, S., & Can Seydim, A. (2022). Effect of moderate intensity pulsed electric field on shelf-life of chicken breast meat. *British Poultry Science*, 63(5), 641-649. <https://doi.org/10.1080/00071668.2022.2051431>
- Bai, Y., Ding, X., Zhao, Q., Sun, H., Li, T., Li, Z., Wang, H., Zhang, L., Zhang, C., & Xu, S. (2022). Development of an organic acid compound disinfectant to control food-borne pathogens and its application in chicken slaughterhouses. *Poultry Science*, 101(6), 101842. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101842>
- Barroug, S., Chaple, S., & Bourke, P. (2021). Combination of natural compounds with novel non-thermal technologies for poultry products: a review. *Frontiers in Nutrition*, 8, 628723. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.628723>
- Baptista, E., Borges, A., Aymerich, T., Alves, S.P., Gama, L.T., Fernandes, H., Fernandes, M.J., & Fraqueza, M.J. (2022). Pulsed light application for *Campylobacter* control on poultry meat and its effect on colour and volatile profile. *Foods*, 11(18), 2848. <https://doi.org/10.3390/foods11182848>

6. Boubendir, S., Arsenault, J., Quessy, S., Thibodeau, A., Fravalo, P., Thériault, W.P., Fournaise, S., & Gaucher, M.L. (2021). *Salmonella* contamination of broiler chicken carcasses at critical steps of the slaughter process and in the environment of two slaughter plants: prevalence, genetic profiles, and association with the final carcass status. *Journal of Food Protection*, 84(2), 321-332. <https://doi.org/10.4315/JFP-20-250>
7. Carvalho, D., Menezes, R., Chitolina, G.Z., Kunert-Filho, H.C., Wilsmann, D.E., Borges, K.A., Furian, T.Q., Salle, C.T.P., Moraes, H.L.D.S., & do Nascimento, V.P. (2022). Antibiofilm activity of the biosurfactant and organic acids against foodborne pathogens at different temperatures, times of contact, and concentrations. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53(2), 1051-1064. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00714-4>
8. Clemente, I., Condón-Abanto, S., Pedrós-Garrido, S., Whyte, P., & Lyng, J.G. (2020). Efficacy of pulsed electric fields and antimicrobial compounds used alone and in combination for the inactivation of *Campylobacter jejuni* in liquids and raw chicken. *Food Control*, 107, 106491. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.01.017>
9. Dantas, S.T., Camargo, C.H., Tiba-Casas, M.R., Vivian, R.C., Pinto, J.P., Pantoja, J.C., Hernandez, R.T., Júnior, A.F., & Rall, V.L. (2020). Environmental persistence and virulence of *Salmonella* spp. Isolated from a poultry slaughterhouse. *Food Research International*, 129, 108835. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108835>
10. Djeflal, S., Mamache, B., Elgroud, R., Hireche, S., & Bouaziz, O. (2018). Prevalence and risk factors for *Salmonella* spp. contamination in broiler chicken farms and slaughterhouses in the northeast of Algeria. *Veterinary World*, 11(8), 1102. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1102-1108>
11. El-Saadony, M.T., Salem, H.M., El-Tahan, A.M., Abd El-Mageed, T.A., Soliman, S.M., Khafaga, A.F., Swelum, A.A., Ahmed, A.E., Alshammari, F.A., & Abd El-Hack, M.E. (2022). The control of poultry salmonellosis using organic agents: an updated overview. *Poultry Science*, 101(4), 101716. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101716>
12. Golden, C.E., Rothrock Jr, M.J., & Mishra, A. (2021). Mapping foodborne pathogen contamination throughout the conventional and alternative poultry supply chains. *Poultry Science*, 100(7), 101157. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101157>
13. Gonzalez-Fandos, E., Maya, N., Martínez-Laorden, A., & Perez-Arnedo, I. (2020). Efficacy of lactic acid and modified atmosphere packaging against *Campylobacter jejuni* on chicken during refrigerated storage. *Foods*, 9(1), 109. <https://doi.org/10.3390/foods9010109>
14. Habeeb, G.A.H. (2020). The effects of sodium lactate, lactic acid and acetic acid, alone or in combination, on improving the shelf life of chicken drumstick and the survival of *Salmonella* spp. inoculated on the chicken drumstick (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü). <https://doi.org/10.26873/svr-955-2020>
15. Hilmi, M., Zuprizal, D.N., & Ariyadi, B. (2024). Silver nanoparticles as an antibacterial candidate for poultry: An alternative to synthetic antibiotics. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(11), 2136-2143. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2024/12.11.2136.2143>
16. ISIRI-9661/1. (2006). Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for detection and enumeration of *Campylobacter* spp. In *Detection method* (Vol. 9661, pp. 30). Islamic Republic of Iran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran. <https://doi.org/10.3403/30112075>
17. ISIRI 1810. (2010). Microbiology of food and animal feeding stuffs — Method for detection of *Salmonella* spp. (Vol. 1810, p. 30). Tehran, Iran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran. <https://doi.org/10.3403/02663250u>
18. IVO. (2020). *Animal Slaughterhouses Process Hygiene Criteria Self Control*. Iran veterinary organization: IVO
19. Kazemi Taskooh, N., Haddad Khodaparast, M.H., Varidi, M.J., & Tabatabaai Yazdi, F. (2016). The effect of combined aqueous ozone and lactic acid treatment for control of microbial contamination of poultry carcass in immersion chiller of slaughterhouse. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 5(2), 211-220. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2016.09.17.528>
20. Lee, Y., & Yoon, Y. (2024). Principles and applications of non-thermal technologies for meat decontamination. *Food Science of Animal Resources*, 44(1), 19. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e72>
21. Manzoor, A., Jaspal, M.H., Yaqub, T., Haq, A.U., Nasir, J., Avais, M., Asghar, B., Badar, I.H., Ahmad, S., & Yar, M.K. (2020). Effect of lactic acid spray on microbial and quality parameters of buffalo meat. *Meat Science*, 159, 107923. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107923>
22. Megahed, A., Aldridge, B., & Lowe, J. (2020). Antimicrobial efficacy of aqueous ozone and ozone-lactic acid blend on *Salmonella*-contaminated chicken drumsticks using multiple sequential soaking and spraying approaches. *Frontiers in Microbiology*, 11, 593911. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.593911>
23. Monica, V., Rajan, A., & Mahendran, R. (2024). Novel disinfectant technologies applications for the food industries. In *Non-Thermal Technologies for the Food Industry* (pp. 300-315). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003359302-19>
24. Novickij, V., Lastauskienė, E., Staigvila, G., Girkontaitė, I., Zinkevičienė, A., Švedienė, J., ... & Novickij, J. (2019). Low concentrations of acetic and formic acids enhance the inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* with pulsed electric fields. *BMC Microbiology*, 19, 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1447-1>

25. Qian, J., Zhuang, H., Nasiru, M.M., Muhammad, U., Zhang, J., & Yan, W. (2019). Action of plasma-activated lactic acid on the inactivation of inoculated *Salmonella Enteritidis* and quality of beef. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102196. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102196>
26. Rahimian, Y., Moeini, M., Kheiri, F., & Davoodi, S.M. (2019). The effect of cold water chilling, hydrogen peroxide solution and ozone therapy in reducing microbial load of poultry carcasses.
27. Ramirez-Hernandez, A., Brashears, M.M., & Sanchez-Plata, M.X. (2018). Efficacy of lactic acid, lactic acid-acetic acid blends, and peracetic acid to reduce *Salmonella* on chicken parts under simulated commercial processing conditions. *Journal of Food Protection*, 81(1), 17-24. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-087>
28. Roobab, U., Madni, G.M., Ranjha, M.M.A.N., Khan, A.W., Selim, S., Almuhayawi, M.S., Samy, M., Zeng, X.A., & Aadil, R.M. (2023). Applications of water activated by ozone, electrolysis, or gas plasma for microbial decontamination of raw and processed meat. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1007967.
29. Song, X., Wang, H., & Xu, X. (2021). Investigation of microbial contamination in a chicken slaughterhouse environment. *Journal of Food Science*, 86(8), 3598-3610. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15842>
30. Stęczny, K., & Kokoszyński, D. (2021). Effect of probiotic preparations (EM) on productive characteristics, carcass composition, and microbial contamination in a commercial broiler chicken farm. *Animal Biotechnology*, 32(6), 758-765. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1754841>
31. Thomas, C., Schönknecht, A., Pünning, C., Alter, T., Martin, A., & Bandick, N. (2020). Effect of peracetic acid solutions and lactic acid on microorganisms in on-line reprocessing systems for chicken slaughter plants. *Journal of Food Protection*, 83(4), 615-620. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-350>
32. Vargas, D.A., Casas, D.E., Chávez-Velado, D.R., Jiménez, R.L., Betancourt-Barszcz, G.K., Randazzo, E., Lynn, D., Echeverry, A., Brashears, M.M., Sánchez-Plata, M.X., & Miller, M.F. (2021). In-plant intervention validation of a novel ozone generation technology (Bio-safe) compared to lactic acid in variety meats. *Foods*, 10(9), 2106. <https://doi.org/10.3390/foods10092106>
33. Wang, J., Wang, S., Sun, Y., Li, C., Li, Y., Zhang, Q., & Wu, Z. (2019). Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and naturally present microbes on fresh-cut lettuce using lactic acid and aqueous ozone. *RSC advances*, 9(39), 22636-22643. <https://doi.org/10.1039/C9RA03544C>
34. Werlang, G.O., Kich, J.D., Lopes, G.V., Coldebella, A., Feddern, V., & Cardoso, M. (2022). Effect of gaseous ozone application during chilling on microbial and quality attributes of pig carcasses. *Food Science and Technology International*, 28(4), 366-376. <https://doi.org/10.1177/10820132211014985>
35. Zhang, H., Tikekar, R.V., Ding, Q., Gilbert, A.R., & Wimsatt, S.T. (2020). Inactivation of foodborne pathogens by the synergistic combinations of food processing technologies and food-grade compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 2110-2138. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12582>
36. Zhang, C., Zhao, W., & Yang, R. (2022). Response of foodborne pathogens to pulse electric fields. In *Stress Responses of Foodborne Pathogens* (pp. 251-280). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90578-1_9