



## بررسی سینتیک اکسیداسیون و ویژگی‌های میکروبی گوشت سینه مرغ رفع انجماد شده تحت میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا

مهشید رهبری<sup>۱،۲</sup>، ناصر همدمی<sup>۳</sup>، حبیب‌اله میرزایی<sup>۴\*</sup>، سیدمهدی جعفری<sup>۵</sup>،  
مهدی کاشانی نژاد<sup>۶</sup>، مرتضی خمیری<sup>۶</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
<sup>۲</sup>آداره کل استاندارد استان اصفهان، اصفهان، ایران، <sup>۳</sup>دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران  
<sup>۴</sup>دانشیار، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
<sup>۵</sup>استاد، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
<sup>۶</sup>دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** در فناوری میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا با اعمال یک میدان الکتریکی بین دو الکترود نقطه‌ای و صفحه‌ای، جریان هوای موجود در سطح ماده غذایی یونیزه شده و جریان حجمی از هوا موسوم به باد کرونیایی شکل می‌گیرد که با ایجاد اغتشاش در لایه مرزی سطح فراورده موجب افزایش انتقال حرارت می‌شود. در این فناوری، تولید اوزون به دنبال تخلیه کرونیایی و یونیزه شدن هوا، می‌تواند موجب کاهش رشد میکروبی شود. از سوی دیگر، از آنجایی که اوزون اکسنده‌ای قوی می‌باشد، خطر اکسیداسیون چربی فراورده نیز وجود دارد. هدف از این پژوهش استفاده از میدان الکترواستاتیک ولتاژ بالا به منظور رفع انجماد گوشت سینه مرغ و بررسی اثر آن بر رشد میکروبی و اکسیداسیون چربی نمونه‌های رفع انجماد شده می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا گوشت سینه مرغ تازه با قالب طراحی شده و تیغ‌های تیز به قطعات مساوی  $2 \times 2 \times 2$  cm<sup>۳</sup> قطعه‌بندی گردید و سپس در بسته‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی شده و با استفاده از تونل انجماد  $-30$  درجه سانتی‌گراد با سرعت هوای یک متر بر ثانیه منجمد شدند. سپس، در دمای  $-18$  درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایشات نگهداری شدند. رفع انجماد قطعات منجمد تحت میدان الکترواستاتیک در سه ولتاژ انتخابی (بین شروع جریان کرنا و تخلیه الکتریکی) و در فواصل الکترودی معین  $3$ ،  $4/5$  و  $6$  سانتی‌متر انجام شد. یک نمونه نیز به‌عنوان نمونه کنترل با استفاده از روش هوای ساکن در همان شرایط و بدون اعمال ولتاژ رفع انجماد گردید. اکسیداسیون چربی در نمونه‌های گوشت سینه مرغ با اندازه‌گیری شاخص مالون دی‌آلدهید طی دوره نگهداری به مدت یک هفته پس از رفع انجماد در فواصل زمانی روزهای اول، سوم، پنجم و هفتم نگهداری در دمای یخچال بررسی شد. شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها توسط کشت پورپلیت در دمای  $30$  درجه سانتی‌گراد به مدت  $72$  ساعت طی روزهای اول، سوم و ششم نگهداری در دمای یخچال انجام شد و شمارش باکتری‌های سرما دوست توسط کشت سطحی در دمای  $6/5$  درجه سانتی‌گراد طی دوره نگهداری  $10$  روزه مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** با بررسی سینتیک واکنش اکسیداسیون چربی نمونه سینه مرغ رفع انجماد شده توسط مدل درجه صفر، ثابت سرعت واکنش در تیمارهای مختلف تعیین شد. ثابت سرعت واکنش در قدرت‌های پایین میدان ( $1/5$  kV/cm) با نمونه کنترل اختلاف

\*نویسنده مسئول: [mirzaehabib1@gmail.com](mailto:mirzaehabib1@gmail.com)

معنی‌داری نشان نداد، در حالی که تحت قدرت‌های بالاتر (۲/۲۵ kV/cm و ۳) این میزان افزایش یافت. به طور کلی، با افزایش ولتاژ و کاهش فاصله الکترودی، سرعت تشکیل مالون دی‌آلدهید سینه مرغ رفع انجماد شده طی نگهداری افزایش یافت. این در حالی است که در ولتاژهای شروع کرونا، ثابت سرعت تشکیل مالون دی‌آلدهید از نمونه‌های رفع انجماد شده در دمای محیط و بدون اعمال ولتاژ کمتر بود. نتایج بررسی رشد میکروبی نشان داد که شمارش کلی باکتری‌ها در نمونه‌های تحت ولتاژ نسبت به نمونه کنترل و گوشت تازه طی دوره نگهداری شش روزه کاهش یافت. شمارش کلی باکتری‌ها در مورد نمونه کنترل به تدریج از  $1/07 \times 10^6$  cfu/g در روز اول به  $7/82 \times 10^7$  cfu/g در روز ششم و در نمونه‌های تحت ولتاژ ۸ و ۱۰ کیلوولت، به ترتیب از  $5 \times 10^4$  cfu/g و  $3/36 \times 10^4$  cfu/g به  $1/36 \times 10^6$  cfu/g و  $1 \times 10^7$  cfu/g طی دوره نگهداری رسید. این در حالی است که شمارش کلی در نمونه گوشت تازه از  $9/73 \times 10^4$  cfu/g در روز اول به  $6 \times 10^7$  cfu/g در روز ششم افزایش یافت. از سوی دیگر نگهداری ده روزه در دمای ۶/۵ درجه سانتی‌گراد، حاکی از کاهش قابل ملاحظه ( $P < 0.05$ ) باکتری‌های سرمادوست در نمونه‌های تحت ولتاژ می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** نظر به اهمیت فرایند رفع انجماد برای محصولات حساس به فساد مانند گوشت مرغ، می‌توان با به‌کارگیری قدرت میدان  $2/25$  kV/cm برای انجام رفع انجماد تحت میدان الکترواستاتیک، از مزایای این روش در کاهش فساد فراورده و افزایش عمر ماندگاری بهره گرفت.

**واژه‌های کلیدی:** میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا، رفع انجماد، گوشت سینه مرغ، سینتیک اکسیداسیون، ویژگی‌های میکروبی

## مقدمه

انجماد یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی می‌باشد که با کاهش دما به زیر صفر درجه سانتی‌گراد، سرعت رشد میکروارگانیسم‌ها، واکنش‌های آنزیمی و اکسیداسیون در داخل محصول را کاهش می‌دهد. نظر به اهمیت این فرایند در حفظ کیفیت مواد غذایی، امروزه توجه زیادی به آن شده است. به هر حال، حفظ کیفیت محصول منجمد تا زمان مصرف وابسته به فرایند رفع انجماد اعمال شده روی آن نیز می‌باشد که کمتر به آن توجه می‌شود. در واقع، انجماد و رفع انجماد فرایندهای پیچیده انتقال حرارت می‌باشند که از طریق یکسری تغییرات فیزیکی و شیمیایی کیفیت فراورده را تحت تاثیر قرار می‌دهند (۱۹). فرایند رفع انجماد معمولاً آهسته‌تر از انجماد رخ می‌دهد. بنابراین، در طول این فرایند، احتمال آسیب بیشتری به فراورده به دنبال تغییرات شیمیایی و فیزیکی وجود دارد. همچنین، با افزایش دمای سطحی، ممکن است تکثیر میکروبی آغاز شده و منجر به فساد محصول گردد (۱۶). یکی از گروه‌های غذایی که برای نگهداری آنها به صورت متداول از روش انجماد استفاده می‌شود، انواع محصولات گوشتی از جمله گوشت مرغ می‌باشند. گوشت مرغ با محتوای چربی و کلسترول کمتر نسبت به گوشت قرمز مورد توجه مصرف کنندگان در سراسر جهان قرار گرفته است، به طوری که پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۸ مصرف آن تا ۳۴ درصد افزایش یابد (۱۷). واکنش‌های پراکسیداسیون چربی در طی فرایند انجماد و نگهداری در دمای بالای ۴۰- درجه سانتی‌گراد، که توسط گونه‌های اکسیژن فعال<sup>۱</sup> ایجاد می‌شود، منجر به اکسیداسیون ثانویه طی فرایند رفع انجماد شده و تغییرات مخربی در رنگ، بو، طعم و سلامتی به وجود می‌آورد. ترکیبات ثانویه حاصل از این واکنش‌ها

موجب ایجاد بوی نامطبوع شده و بسیاری از فراورده‌های حاصل با اثر مستقیم روی پایداری سلولی پتانسیل بیماری‌زایی دارند (۵، ۲۰). این پدیده‌ها توسط آکامیتاس و همکاران (۱۹۹۰) و هانسن و همکاران (۲۰۰۴) نشان داده شده است (۱، ۶). آن‌ها گزارش کردند که اکسیداسیون چربی‌ها در گوشت‌های منجمد و سپس انجماد زدایی شده تسریع می‌گردد. گوشت ماکیان حاوی مقادیر زیاد اسیدهای چرب غیر اشباع است، البته ترکیب رژیم غذایی، سن کشتار و ... می‌تواند پروفایل اسیدهای چرب را تحت تاثیر قرار دهد (۲۶). چنانچه مطالعات مختلف نشان می‌دهند، اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و پالمیتیک بیشترین مقادیر را در پروفایل اسید چرب گوشت مرغ به خود اختصاص می‌دهند (۱۳، ۱۸). بنابراین با وجود اسیدهای چرب غیر اشباع، گوشت مرغ یکی از حساس‌ترین گوشت‌ها نسبت به اکسیداسیون می‌باشد. از سوی دیگر، باکتری‌های موجود بر سطح پوست و لاشه مرغ، عامل اصلی آلودگی میکروبی طی فرایندهای تکه کردن، پوست‌گیری و استخوان‌گیری می‌باشند و طی فرایند رفع انجماد با طولانی شدن زمان یا افزایش دما می‌توانند تکثیر یابند.

بنابراین، انتخاب روش مناسب برای رفع انجماد یکی از نکات مهم در حفظ کیفیت محصول منجمد تا زمان مصرف می‌باشد. استفاده از هوا، غوطه‌وری در آب و خلا از جمله روش‌های سنتی و متداول رفع انجماد می‌باشند که در این روش‌ها نرخ رفع انجماد تابعی از انتقال حرارت به صورت جابجایی از محیط و هدایت آن به مرکز محصول می‌باشد. انتقال حرارت تحت تاثیر فاکتورهای مختلفی قرار می‌گیرد و در محصولات با هدایت حرارتی ضعیف زمان طولانی خواهد داشت و منجر به افت کیفیت محصول می‌شود (۱۶). چنانچه طاهر و فرید (۲۰۰۱) نشان دادند که رفع انجماد گوشت توسط مایکروویو به صورت غیر

### 1. Reactive oxygen species

یکی از پیامدهای استفاده از میدان الکترواستاتیک در زمینه رفع انجماد، تاثیر ضد میکروبی این فرایند می‌باشد. تا کنون برخی از محققان به بررسی اثر ضد میکروبی میدان الکترواستاتیک پرداخته‌اند. با این حال، مکانیسم دقیق آن کاملاً مشخص نشده است (۳). مهمترین مکانیسم پیشنهاد شده تاثیر میدان الکترواستاتیک بر غشای بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. سلول بیولوژیکی (حیوانی، گیاهی یا میکروبی) در معرض میدان الکترواستاتیک با قدرت کافی متحمل نفوذ پذیری غشا می‌گردد. اگر قدرت میدان ملایم باشد، یک تخریب محلی و برگشت پذیر می‌تواند رخ دهد. این پدیده الکتروپوریشن<sup>۳</sup> نامیده می‌شود (۲۰). از سوی دیگر، میدان الکتریکی بر مولکول‌های اکسیژن هوا اثر گذاشته و موجب تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود که این رادیکال‌ها با سایر مولکول‌های اکسیژن هوا ترکیب شده و موجب تشکیل ترکیب سه اکسیژنه اوزون ( $O_3$ ) می‌شوند. اوزون به عنوان یک عامل اکسید کننده قوی دارای ظرفیت بالایی گندزدایی و ضدعفونی می‌باشد. به طوری که در مطالعات مختلف تاثیر باکتری زدایی اوزون بر روی گوشت طیور نشان داده شده است (۱۵، ۲۹). به هر حال، با توجه به ویژگی اکسید کنندگی اوزون و وجود لیپیدهای غیر اشباع در گوشت طیور نگرانی اکسیداسیون چربی و ایجاد علائم اکسیداسیون وجود دارد. به نظر می‌رسد که می‌توان با تغییر پارامترها و شرایط میدان الکتریکی برقرار شده، اکسیداسیون چربی را کاهش داد. چنانچه مطالعات اندک انجام شده نیز بر این مساله تاکید داشته‌اند.

همان‌طور که ذکر شد فرایندهای معمول رفع انجماد می‌توانند موجب کاهش کیفیت ماده غذایی گردند. بنابراین تعیین روش و شرایط بهینه رفع

یکنواخت بوده به طوری که بعضی از قسمت‌های گوشت سوخته شده<sup>۱</sup> و قسمت‌های درونی منجمد باقی مانده است که به علت جذب شدید اشعه الکترومغناطیسی توسط آب موجود در سطح ماده غذایی به دنبال پدیده چرخش دو قطبی می‌باشد (۲۴). ژو و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که در رفع انجماد گوشت ماهی توسط فشار بالا، فشارهای بالای ۱۰۰ مگاپاسکال روی رنگ گوشت تاثیر نامطلوبی داشته و حالت رنگ پریدگی در آن ایجاد می‌کنند (۳۰).

استفاده از فناوری ایجاد میدان‌های الکتریکی با استفاده از ولتاژ بالا (HVEF)<sup>۲</sup> در چند سال اخیر در صنایع غذایی به دلیل آسیب حرارتی کم، عدم استفاده از مواد شیمیایی و هزینه پایین مورد توجه قرار گرفته است. اساس این فرایند بر تولید باد الکتریکی توسط تخلیه کرونایی استوار است. در این تکنیک از یک میدان الکتریکی قوی بین دو الکتروود نقطه‌ای و صفحه‌ای در محیط یک سیال دی الکتریک برای ایجاد نیرو و در پی آن یک حرکت ثانویه در سیال استفاده می‌شود. جریان ثانویه سیال باد یونی یا باد کرونا نام دارد که حاصل یونیزاسیون موضعی هوای اطراف الکتروود نقطه‌ای است. حرکت یون‌ها را می‌توان به صورت یک میکروجت در نظر گرفت که از یک الکتروود باردار شده به سمت الکتروود مقابل جریان می‌یابد و با مولکول‌های خنثی هوا در مسیر موجب تبادل مومنتوم شده و جریان بیشتر می‌شود. با افزایش جریان کرونا که حاصل افزایش شدت میدان و تعداد مولکول‌های یونیزه هوا می‌باشد، دبی حجمی و سرعت هوای برخورد کننده افزایش می‌یابد که افزایش ضریب انتقال حرارت را به دنبال دارد (۲۲).

1. Over heat  
1. High Voltage Electrostatic Field

الکترواستاتیک: سیستم رفع انجماد تحت میدان الکترواستاتیک پس از انتخاب الکترودهای مناسب سوزنی و صفحه‌ای و تهیه منبع ولتاژ قابل تنظیم بین ۵۰- تا ۵۰ کیلو ولت و بیشینه جریان خروجی ۵ میلی آمپر (Ls50KV5mA, China)، مطابق شماتیک زیر آماده شد (شکل ۱). محفظه سیستم از جنس چوب و الکترودهای سوزنی و صفحه‌ای تشکیل شده است. الکترودهای صفحه‌ای از جنس مس و به ابعاد ۲۰×۱۵ سانتی‌متر، به قطب منفی دستگاه متصل شد. الکترودهای نقطه‌ای از ۱۶ عدد سوزن به قطر ۰/۴ میلی‌متر انتخاب و بر روی صفحه‌ای از جنس پلکسی‌گلاس<sup>۱</sup> با دو لایه ورق نازک آلومینیومی، تعبیه گردید. این الکترودها توسط دو پیچ پلی اتیلنی با قابلیت تنظیم فاصله بین الکترودها به محفظه چوبی متصل شد. در نهایت کل سیستم برای ثبات دما و رطوبت در یک انکوباتور یخچال‌دار (Wisecube, WIG-105, Korea) قرار گرفت. ولتاژ شروع کرونا زمانی در نظر گرفته شد که جریان خروجی دستگاه به ۰/۱ میلی‌آمپر برسد.

**رفع انجماد گوشت مرغ:** رفع انجماد قطعات منجمد مرغ تحت میدان الکترواستاتیکی در سه ولتاژ انتخابی (مابین شروع جریان کرونا و تخلیه الکتریکی) و در فواصل الکترودهای معین انجام شد. ولتاژهای به کار رفته عبارتند از: ۴/۵، ۶/۷۵، ۹ کیلوولت؛ ۶/۷۵، ۹، ۱۰/۱۲۵، ۱۳/۵ کیلوولت؛ ۹، ۱۳/۵ و ۱۸ کیلوولت، به ترتیب در فواصل الکترودهای ۳، ۴/۵ و ۶ سانتی‌متر. به طوری که قدرت‌های میدان ۱/۵، ۲/۲۵ و ۳ کیلوولت بر سانتی‌متر برای ولتاژها و فواصل الکترودها به کار رفته حاصل شد (معادله ۱).

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{معادله ۱})$$

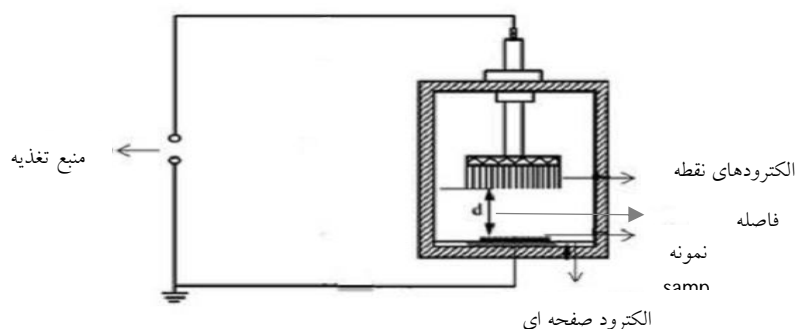
انجماد بسیار حائز اهمیت است. با توجه به حساسیت بالای گوشت سینه مرغ به تغییرات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی، پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثر رفع انجماد گوشت سینه مرغ با روش الکترواستاتیک بر روی سیتیک و اکسیداسیون چربی و ویژگی‌های میکروبی طی نگهداری انجام شده است. به این منظور قدرت‌های مختلف میدان الکترواستاتیک با تغییر ولتاژ و فواصل الکترودها ایجاد و رفع انجماد تحت میدان الکترواستاتیک با روش معمول هوای ساکن مقایسه می‌شود.

### مواد و روش‌ها

**مواد اولیه:** گوشت تازه سینه مرغ از کشتارگاه سپید گوشت ماکیان شهرستان اصفهان، پس از انجام مراحل کشتار، پوست گیری و استخوان گیری تهیه شد. به منظور یکسان بودن نمونه‌ها و مقایسه دقیق‌تر، از نمونه‌های با سن و زمان کشتار یکسان استفاده شد.

**آماده‌سازی نمونه:** برش‌های هم اندازه از گوشت با ابعاد ۲×۲×۲ سانتی متر مکعب توسط چاقوی تیز و قالب مخصوص تهیه شد. سپس، قطعات گوشت با مقادیر مساوی در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی و توسط تونل انجماد با دمای ۳۰- درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای یک متر بر ثانیه منجمد شدند. لازم به ذکر است که قبل از انجماد، منافذی جهت تثبیت ترموکوپل فیبر نوری حین فرایند رفع انجماد در مرکز هندسی برخی قطعات تعبیه شد. پس از انجماد کامل، نمونه‌های گوشت مرغ در فریزر معمولی با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایشات نگهداری شدند.

**آماده‌سازی سیستم رفع انجماد تحت میدان**



شکل ۱: شمایی از سیستم رفع انجماد تحت میدان الکترواستاتیک

Figure 1. Diagram of HVEF thawing apparatus

روش ونگ و یانگ (۲۰۰۵) با کمی تغییر بررسی شد (۲۸).

به این منظور، ۱۰ گرم گوشت سینه مرغ چرخ شده با ۲۵ میلی لیتر محلول ۲۰ درصد تری کلرواستیک اسید (Merck, Darmstadt, Germany) به مدت ۲ دقیقه توسط هموژنایزر (T-25 basic, IKA, Germany)، هموژن شده و با ۲۵ میلی لیتر آب مقطر مخلوط گردید، سپس مخلوط با یک فیلتر کاغذی صاف شد. پس از اختلاط ۵ میلی لیتر عصاره خارج شده با ۵ میلی لیتر محلول تیوباربیتوریک ۰/۰۱ مولار در یک لوله آزمایش، به مدت ۱ ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. درنهایت، جذب نوری مخلوط حاصل پس از سرد شدن در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد و عدد تیوباربیتوریک اسید بر مبنای میلی گرم مالون دی آلدهید در هر کیلوگرم عضله سینه مرغ محاسبه گردید (معادله ۲).

(معادله ۲)

$$TBARS = \left( \frac{A_{532}}{W_s} \right) \times 9.48$$

$A_{532}$  جذب محلول در طول موج ۵۳۲ نانومتر،  $W_s$  وزن نمونه گوشت (گرم) و  $9/48$  ثابت مشتق شده از فاکتور رقت و ضریب جذب مولی فراورده حاصل از واکنش می باشد.

۱۵ قطعه از نمونه های منجمد تهیه شده برای هر تیمار در نظر گرفته شد که تحت شرایط مختلف میدان الکترواستاتیک رفع انجماد شدند. نمونه های منجمد بر روی سطح الکترودهای صفحه ای قرار گرفتند و میدان الکتریکی در فاصله بین دو الکترودهای برقرار شد. لازم به ذکر است که فاصله بین دو الکترودهای صفحه ای و سوزنی به عنوان فاصله الکترودی یا گپ در نظر گرفته شد. دمای نمونه گوشت مرغ طی فرایند رفع انجماد با نصب ترموکوپل فیبر نوری (FOB 651A, Canada) در مرکز هندسی قطعات پایش شد و تا رسیدن دمای مرکز نمونه به صفر درجه سانتی گراد فرایند ادامه یافت.

**تجزیه تقریبی گوشت سینه مرغ:** محتوی رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر نمونه های گوشت سینه مرغ بر اساس روش AOAC (۲۰۰۵) اندازه گیری شد (۲).

**بررسی اکسیداسیون چربی:** اکسیداسیون چربی در نمونه های گوشت سینه مرغ با اندازه گیری شاخص تیوباربیتوریک اسید<sup>۱</sup> بر مبنای میلی گرم مالون دی-آلدهید در هر کیلوگرم عضله سینه مرغ طی دوره نگهداری به مدت یک هفته پس از رفع انجماد در فواصل زمانی روزهای اول، سوم، پنجم و هفتم، طبق

1. Thiobarbituric acid- reactive substances
2. Poured plate

### نتایج و بحث

تجزیه تقریبی گوشت سینه مرغ: ترکیب شیمیایی گوشت مرغ از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است. این تفاوت حتی در یک گونه هم ممکن است مشاهده شود، که دلیل اصلی آن تفاوت در سن کشتار، جنس، شرایط محیطی و نوع تغذیه است. چنانچه مرور مطالعات نشان می‌دهد بیشترین تفاوت در محتوای چربی گوشت مرغ می‌باشد که غالباً بستگی به نوع تغذیه طیور دارد (۱۷). محتوی ترکیبات شیمیایی موجود در گوشت سینه مرغ تازه در جدول ۱ نشان داده شده است.

**اکسیداسیون چربی:** با افزایش زمان ماندگاری در دمای یخچال طی روزهای اول تا هفتم شاخص تیوباربتوریک اسید برای کلیه تیمارها افزایش یافت. علاوه بر این، با کاهش فاصله الکترودی در ولتاژ ثابت ۹ کیلوولت به هنگام رفع انجماد، اکسیداسیون چربی در زمان انبارداری با شدت بیشتری پیش رفته و مالون دی‌آلدهید بیشتری تشکیل شده است (شکل ۲). لازم به ذکر است که تنها در فاصله الکترودی ۳ سانتی‌متر در روزهای پنجم و هفتم نگهداری مقادیر تیوباربتوریک اسید کمی بیشتر از حد فساد اکسیداتیو گوشت که بنابر مطالعات انجام شده بیش از ۳ میلی‌گرم مالون دی‌آلدهید در هر کیلوگرم گوشت می‌باشد، مشاهده شد و در ولتاژهای پایین فواصل الکترودی ۴/۵ و ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌داری با نمونه کنترل (بدون اعمال ولتاژ) مشاهده نشد (۲۵).

در توجیه این پدیده باید به تاثیر یونیزاسیون هوا و تولید اوزون تحت ولتاژهای الکتریکی بالا اشاره کرد. همان‌طور که اشاره شد اوزون دارای مزیت‌هایی همچون کاهش بار میکروبی است، از سوی دیگر می‌تواند باعث تشدید اکسیداسیون شود. از آنجایی که اوزون یک ماده اکسنده قوی می‌باشد، وجود آن در فرایند مواد غذایی حساس به اکسیداسیون مشکلاتی از قبیل اکسیداسیون چربی را ایجاد خواهد کرد (۴).

بررسی فعالیت میکروبی (شمارش کلی و سرمدوست) طی دوره نگهداری: جهت بررسی رشد میکروبی، نمونه‌هایی با ابعاد ۲×۲×۴ سانتی‌متر مکعب تهیه و مطابق روش توضیح داده شده منجمد گردیدند. فرایند رفع انجماد تحت ولتاژهای صفر (نمونه کنترل)، ۸ و ۱۰ کیلوولت در فاصله الکترودی ۴/۵ سانتی‌متر، انجام شد. یک نمونه از گوشت تازه سینه مرغ نیز برای شمارش میکروبی انتخاب شد. آماده‌سازی نمونه و نمونه برداری از سطح طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۹۲۳ (۲۰۰۷) صورت گرفت (۱۰). به‌منظور تهیه رقت‌های لازم از محلول نمک استریل (۰/۸۵ gr/۱۰۰ ml) استفاده شد و رقیق سازی تا رقت ۱۰<sup>-۵</sup> انجام گرفت. شمارش کلی میکروارگانیزم‌ها توسط کشت پورپلیت<sup>۱</sup> در محیط کشت پلیت کانت آگار<sup>۲</sup> در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت طی روزهای اول، سوم و ششم نگهداری در دمای یخچال مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۵۲۷۲ (۲۰۱۴) انجام شد (۱۲). شمارش باکتری‌های سرمدوست توسط کشت سطحی<sup>۳</sup> در محیط کشت پلیت کانت آگار در دمای ۰C ۶/۵ به مدت ۱۰ روز مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۲۹ (۲۰۰۳) انجام شد (۹).

**تجزیه و تحلیل آماری:** برای آنالیز داده‌ها از طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل استفاده شد. آنالیز واریانس با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. اثرات متقابل بین متغیرها بر روی اکسیداسیون چربی طی دوره نگهداری، با استفاده از نرم افزار JMP Statistical Discovery بررسی شد. مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

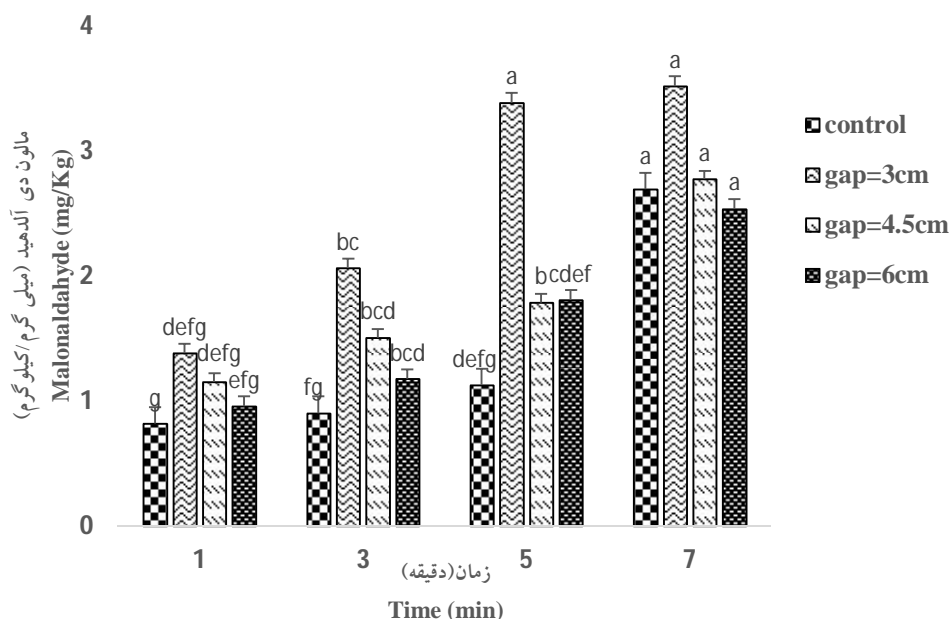
1. Pour plate
2. Plate count agar
3. Surface plate

جدول ۱: تجزیه تقریبی ترکیبات گوشت سینه مرغ تازه (g/100g)

خاکستر Ash	چربی Fat	پروتئین Protein	رطوبت Moisture
0.92±0.01	4.72±0.2	21.93±0.5	72.43±0.3

موسی‌خانی گنجه و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی رفع انجماد ماهی تون با میدان الکترواستاتیک نشان دادند که با افزایش قدرت میدان الکتریکی تا ۲/۵ کیلوولت بر سانتی‌متر، نرخ اکسیداسیون در نمونه‌های رفع انجماد شده افزایش می‌یابد. البته شاخص تیوباربتوریک اسید در نمونه‌های ماهی رفع انجماد شده در روز ششم نگهداری تا ۱۱ میلی‌گرم مالون دی‌آلدهید در کیلوگرم افزایش یافت. به نظر می‌رسد وجود لیپیدهای غیراشباع فراوان در ساختار گوشت ماهی موجب شده است که به شدت تحت تاثیر اکسیداسیون توسط اوزون تولید شده حین فرایند قرار گیرند (۱۴).

با افزایش قدرت میدان الکتریکی در نتیجه افزایش ولتاژ و کاهش فاصله الکتریکی، یونیزاسیون هوا افزایش یافته و به دنبال آن، اوزون بیشتری تولید خواهد شد که نتیجه آن اکسیداسیون بیشتر و افزایش میزان مالون دی‌آلدهید خواهد بود. استیوریوس و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای بر روی اثر تیمار گوشت قرمز با اوزون بر روی رنگ و ویژگی‌های حسی نشان دادند که شاخص رنگ زردی در نمونه‌های تیمار شده با اوزون افزایش یافته است. از سوی دیگر، نمونه‌های مذکور طعم و بوی نامطبوعی نشان دادند که بیانگر اکسیداسیون چربی موجود در گوشت قرمز به دنبال تیمار آن با اوزون می‌باشد (۲۳).



شکل ۲: تغییرات در مقادیر TBA طی نگهداری گوشت سینه مرغ رفع انجماد شده در گپ‌های مختلف و ولتاژ ثابت ۹ kV.

مقادیر ارائه شده حاصل سه تکرار به همراه انحراف استاندارد می‌باشند. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است ( $P \leq 0.05$ )

Figure 2. Changes in TBA values during storage of frozen chicken breast thawed with different electrode gaps but at a constant voltage of 9 kV.

Values obtained from three replication along with standard deviation. Values having different superscript letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ ).

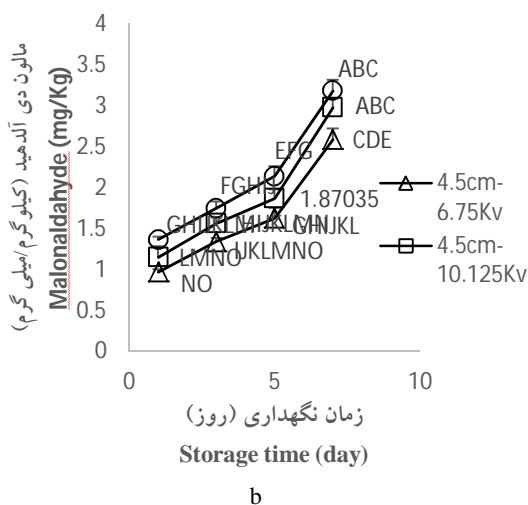
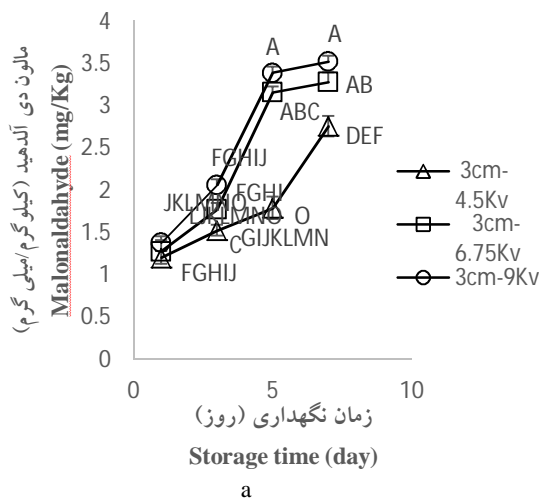


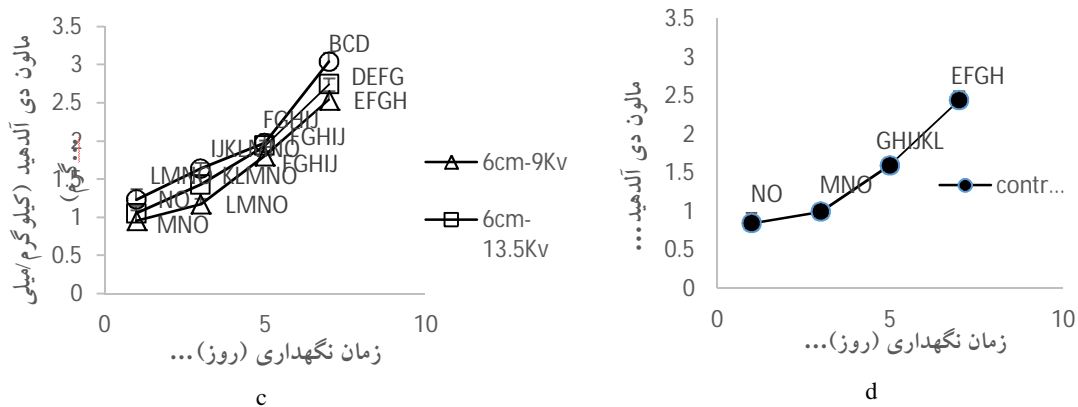
دی‌آلدهید سینه مرغ رفع انجماد شده طی نگهداری افزایش می‌یابد. با افزایش ولتاژ و کاهش فاصله الکترودی، یونیزاسیون هوا و تولید اوزون افزایش می‌یابد، که به موجب آن فرایند اکسیداسیون و سرعت تشکیل مالون آلدهید بیشتر می‌شود. این در حالی است که در ولتاژهای شروع کرونا، ثابت سرعت تشکیل مالون دی‌آلدهید از نمونه‌های رفع انجماد شده در دمای محیط و بدون اعمال ولتاژ (کنترل) کمتر بود. پایین بودن میزان ثابت سرعت در ولتاژهای کمتر، نشان دهنده تولید کمتر اوزون در این ولتاژها بود که باعث تغییرات کمتری در میزان مالون دی‌آلدهید طی نگهداری می‌شود. به طوری که در قدرت‌های میدان ۳ و ۲/۲۵ کیلوولت بر سانتی‌متر ثابت سرعت واکنش اکسیداسیون نسبت به نمونه کنترل افزایش نشان داد. این در حالی است که در نمونه‌های تحت قدرت پایین‌تر میدان الکتریکی (۱/۵ کیلوولت) ثابت سرعت واکنش کاهش یافت.

$$C = Kt + C_0 \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این معادله،  $C_0$  و  $C$  به ترتیب غلظت اولیه و نهایی،  $K$  ثابت سرعت واکنش و  $t$  زمان نگهداری می‌باشند.

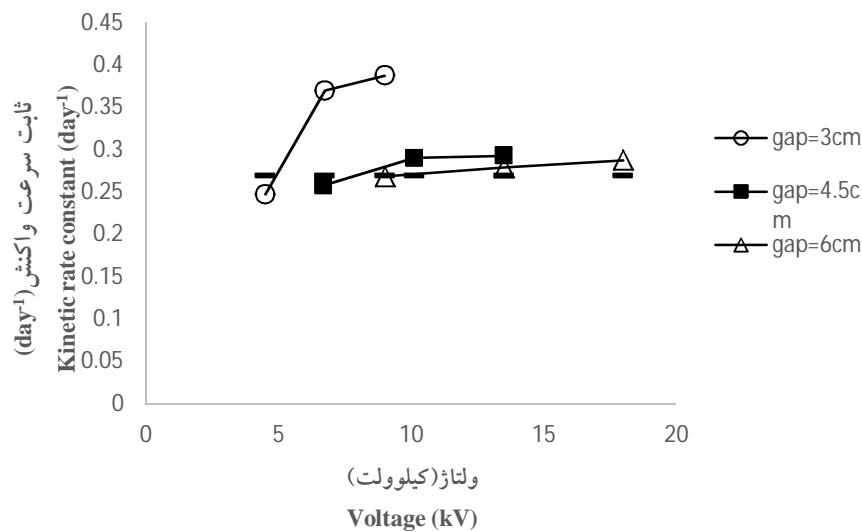
سینتیک واکنش اکسیداسیون: اثر میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا روی تغییرات سینتیک اکسیداسیون گوشت سینه مرغ رفع انجماد شده طی نگهداری در دمای یخچال بررسی شد. واکنش اکسیداسیون سینه مرغ رفع انجماد شده طی نگهداری از نوع درجه صفر می‌باشد (معادله ۳). در جدول ۲ ضرایب مدل استفاده شده برای هر تیمار آورده شده است. با رسم منحنی تغییرات تیوباریتوریک اسید بر حسب زمان ماندگاری، معادله بدست آمده به صورت خطی خواهد بود. شکل ۳ (a, b, c, d) تغییرات غلظت مالون دی‌آلدهید طی دوره نگهداری نمونه‌های رفع انجماد شده در فاصله الکترودی و ولتاژهای مختلف و نمونه کنترل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ اعمالی در فواصل الکترودی ۳، ۴/۵ و ۶ سانتی‌متر، مقادیر مالون دی‌آلدهید افزایش می‌یابد. شیب خط به‌دست آمده از معادلات، سرعت واکنش اکسیداسیون سینه مرغ رفع انجماد شده طی هفت روز نگهداری در یخچال را نشان می‌دهد. شکل ۴ سرعت واکنش اکسیداسیون را در ولتاژ و فواصل الکترودی متفاوت نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است با افزایش ولتاژ و کاهش فاصله الکترودی، سرعت تشکیل مالون





شکل ۳: تغییرات در مقادیر TBA طی نگهداری گوشت سینه مرغ رفع انجماد شده در ولتاژهای مختلف و گپ‌های ۳ سانتی‌متر (a)، ۴/۵ سانتی‌متر (b)، ۶ سانتی‌متر (c) و روش هوای ساکن (کنترل) (d). مقادیر ارائه شده حاصل سه تکرار به همراه انحراف استاندارد می‌باشند. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است ( $P < 0.05$ )

Figure 3. Changes in TBA values during storage of frozen chicken breast thawed with different voltages and electrode gaps, 3 cm (a), 4.5 cm (b), 6 cm (c), and still air method (control) (d). Values obtained from three replication along with standard deviation. Values having different superscript letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ ).



شکل ۴: نرخ واکنش اکسیداسیون گوشت مرغ در گپ‌ها و ولتاژهای مختلف  
Figure 4. Oxidation reaction rates of chicken at different voltages and gaps

شمارش کلی باکتری‌ها برای نمونه‌های رفع انجماد شده در فاصله الکترودی ۴/۵ سانتی‌متر، در ولتاژهای ۸ و ۱۰ کیلوولت با نمونه رفع انجماد شده در هوای آزاد (نمونه کنترل) و نمونه گوشت تازه سینه مرغ، طی دوره نگهداری شش روزه در دمای یخچال، در روزهای اول، سوم و ششم مقایسه شد.

ویژگی‌های میکروبی: محدوده فساد باکتریایی در گوشت طیور  $10^6 - 10^7$  cfu/g است و در شرایط بسته بندی تحت خلا مدت عمر ماندگاری گوشت تازه طیور در دمای یخچال به طور میانگین ۵ روز و در بسته بندی معمولی ۳ روز می‌باشد (۱۱). به منظور بررسی اثر میدان الکترواستاتیک بر رشد میکروبی،

Table 2. Statistical results obtained from different models

$R^2$	$K$	$C_0$	ولتاژ (کیلوولت) Voltage (kV)	فاصله الکترودی (سانتی‌متر) Electrode gap (cm)
0.921	0.247	0.829	4.5	3
0.951	0.369	0.893	6.75	3
0.974	0.387	1.038	9	3
0.969	0.257	0.599	6.75	4.5
0.971	0.290	0.729	10.125	4.5
0.994	0.293	0.938	13.5	4.5
0.993	0.268	0.546	9	6
0.990	0.278	0.677	13.5	6
0.982	0.287	0.824	18	6
0.981	0.269	0.391	0	0

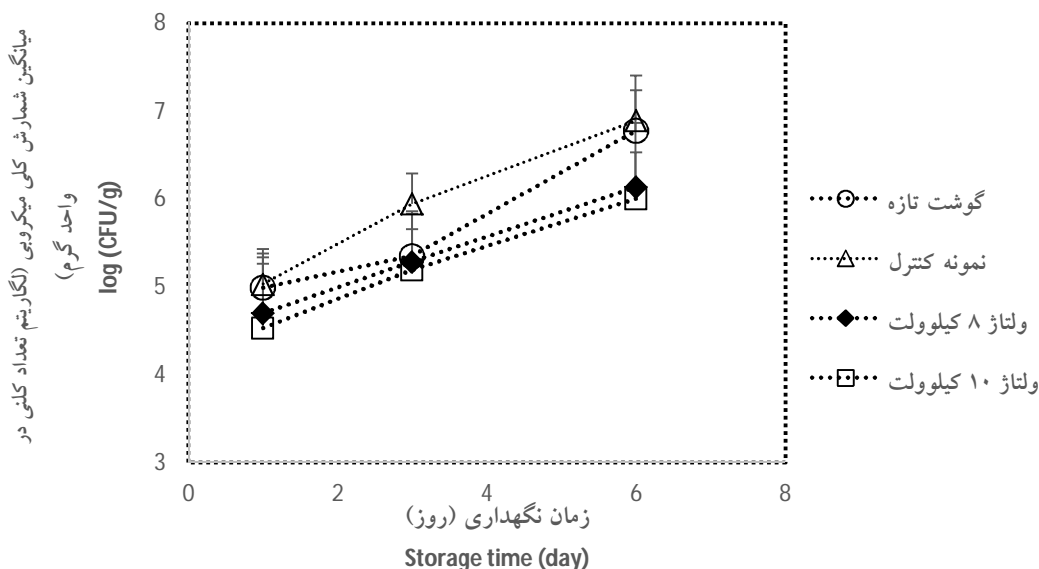
سوم نگهداری نمونه های تحت ولتاژ ۸ و ۱۰ کیلوولت نسبت به نمونه گوشت تازه به ترتیب ۱/۰۱ و ۱/۰۳ سیکل لگاریتمی کاهش نشان دادند. با توجه به بسته بندی معمولی نمونه‌ها، می‌توان ادعان داشت که با کاربرد فرایند رفع انجماد تحت میدان الکترواستاتیک، عمر ماندگاری گوشت سینه مرغ افزایش می‌یابد.

از سوی دیگر نتایج رشد باکتری‌های سرمادوست طی دوره نگهداری ده روزه در دمای ۶/۵ درجه سانتی‌گراد حاکی از کاهش قابل ملاحظه ( $P < 0.05$ ) رشد میکروبی در نمونه‌های تحت ولتاژ نسبت به نمونه کنترل و نمونه گوشت تازه می‌باشد (شکل ۶). در بیان علت کاهش شمارش کلی و رشد باکتری‌های سرمادوست می‌توان به تاثیر اوزون و یون‌های منفی هوای تولید شده در اثر تخلیه کرونایی پی برد که موجب کاهش بار میکروبی و متعاقبا کاهش فساد گوشت مرغ خواهد شد. با افزایش ولتاژ و قدرت میدان الکتریکی، مولکول‌های هوا بیشتر یونیزه می‌شوند و اوزون بیشتری تولید خواهد شد. اوزون با ویژگی اکسیدانی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل، با تحت تاثیر قرار دادن پروتئین و چربی غشا، موجب نابودی باکتری‌ها می‌شود (تیاگی و همکاران، ۲۰۱۲) (۲۶). کاربرد میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا موجب

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در مورد نمونه کنترل شمارش کلی باکتریایی به تدریج از  $۷/۸۲ \times 10^6$  cfu/g در روز اول به  $۱/۰۷ \times 10^6$  cfu/g در روز ششم و در نمونه‌های تحت ولتاژ ۸ و ۱۰ کیلوولت، به ترتیب از  $۵ \times 10^4$  cfu/g و  $۳/۳۶ \times 10^4$  cfu/g به  $۱/۳۶ \times 10^6$  cfu/g و  $۱ \times 10^6$  طی دوره نگهداری رسید. این در حالی است که شمارش کلی در نمونه گوشت سینه مرغ تازه از  $۹/۷۳ \times 10^4$  cfu/g در روز اول به  $۶ \times 10^6$  cfu/g در روز ششم افزایش یافت. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که رفع انجماد در هوای آزاد (نمونه کنترل) موجب افزایش بار میکروبی نسبت به گوشت تازه شده است. از سوی دیگر، شمارش کلی در نمونه های رفع انجماد شده تحت میدان الکترواستاتیک در روز اول و طی دوره نگهداری کاهش نشان داد. به طوری که مقادیر کمتری از گوشت تازه نیز شمارش شد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که رشد میکروبی در نمونه کنترل در روز اول یک سیکل لگاریتمی بیشتر از نمونه گوشت تازه بوده است. از سوی دیگر، شمارش باکتریایی در نمونه‌های تحت ولتاژ ۸ و ۱۰ کیلوولت نسبت به نمونه کنترل به ترتیب ۱/۰۷ و ۱/۱۱ سیکل لگاریتمی در روز اول و ۱/۱۲ و ۱/۱۶ در روز ششم کاهش نشان داده است. این در حالی است که در روز

و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد (۷، ۸). آن‌ها نشان دادند که تیمار با میدان الکتریکی ولتاژ بالا باعث کاهش بار میکروبی و میزان ازت فرار در گوشت مرغ و خوک رفع انجماد شده می‌شود.

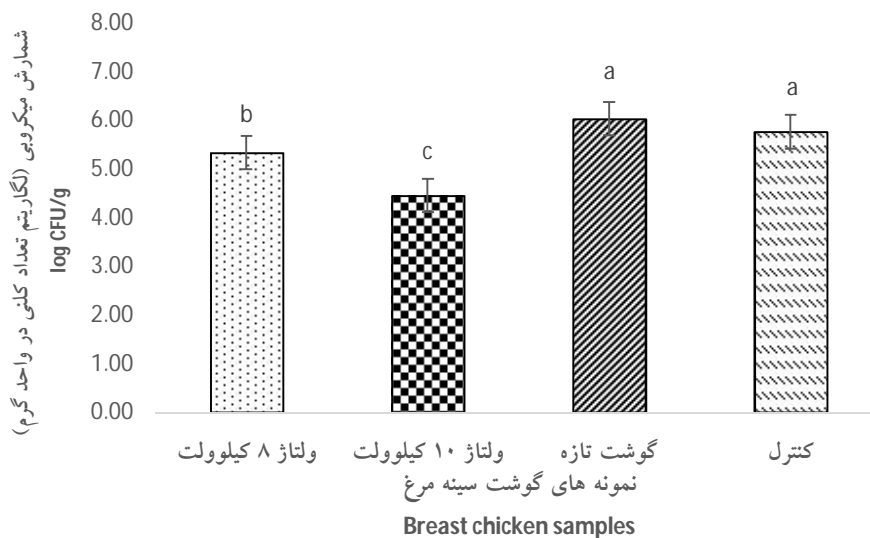
افزایش عمر ماندگاری سینه مرغ پس از رفع انجماد می‌شود که برتری این روش را نسبت به روش‌های معمول آشکار می‌کند. این نتایج مطابق نتیجه بدست آمده از مطالعات هی و همکاران (هی، ۲۰۱۴) و هسیه



شکل ۵: تغییرات شمارش کلی میکروبی نمونه‌های گوشت مرغ تازه و رفع انجماد شده در ولتاژهای مختلف طی دوره نگهداری در  $4^{\circ}\text{C}$ . مقادیر ارائه شده حاصل سه تکرار به همراه انحراف استاندارد می‌باشند.

Figure 5. Changes in total microbial count of fresh chicken, and thawed chicken samples under different voltages during storage at  $4^{\circ}\text{C}$

Values obtained from three replication along with standard deviation. Values having different superscript letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ ).



شکل ۶: مقایسه رشد باکتری‌های سرمادوست در نمونه‌های گوشت مرغ تازه و رفع انجماد شده در ولتاژهای مختلف. مقادیر ارائه شده حاصل سه تکرار به همراه انحراف استاندارد می‌باشند. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار است ( $P < 0.05$ )

Figure 6. Comparison of psychrotrophic bacteria in fresh chicken and thawed chicken samples under different voltages.

Values obtained from three replication along with standard deviation. Values having different superscript letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ ).

## نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر حاکی از برخی از مزایا و معایب میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا به عنوان یک روش جدید رفع انجماد می باشد. به طوری که به دنبال یونیزه شدن هوا، تخلیه کرونیایی و تولید اوزون ناشی از میدان الکترواستاتیک، شمارش کلی باکتریایی و باکتری های سرمادوست گوشت سینه مرغ رفع انجماد شده طی دوره نگهداری شش روزه در دمای یخچال کاهش یافت و مقادیر کمتری از بیشینه مجاز گزارش شد. از سوی دیگر، قدرت های بالای میدان الکتریکی، موجب تشدید اکسیداسیون ثانویه چربی ها شده و در نمونه های تحت ولتاژ بالا شاخص مالون دی آلدئید طی نگهداری، نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت. با بررسی سینتیک اکسیداسیون توسط مدل درجه صفر و معادلات خط بدست آمده، ثابت سرعت واکنش در تیمارهای مختلف تعیین شد. نتایج حاکی از آن است که در قدرت های بالاتر میدان، ثابت سرعت واکنش اکسیداسیون نسبت به نمونه کنترل افزایش نشان داده است؛ این در حالی است که در نمونه های تحت قدرت پایین تر میدان الکتریکی، ثابت سرعت واکنش کاهش یافت. به هر حال، طی دوره نگهداری پنج روزه که حداکثر مدت نگهداری گوشت مرغ با بسته بندی معمولی در یخچال می باشد، شاخص

اکسیداسیون، به جز در ولتاژهای ۶/۷۵ و ۹ کیلوولت فاصله الکترودی ۳ سانتی متر، به حد فساد نرسیده است.

از سوی دیگر، بررسی نتایج رشد میکروبی نشان می دهد که شمارش باکتریایی در نمونه های تحت ولتاژ ۸ و ۱۰ کیلوولت نسبت به نمونه کنترل به ترتیب ۱/۰۷ و ۱/۱۱ سیکل لگاریتمی در روز اول و ۱/۱۲ و ۱/۱۶ در روز ششم کاهش یافته است. این در حالی است که در روز سوم نگهداری نمونه های تحت ولتاژ ۸ و ۱۰ کیلوولت نسبت به نمونه گوشت تازه به ترتیب ۱/۰۱ و ۱/۰۳ سیکل لگاریتمی کاهش نشان دادند.

با در نظر گرفتن نتایج حاصل از اکسیداسیون چربی و رشد میکروبی نمونه های تحت تیمار میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا، به نظر می رسد که می توان با به کارگیری ترکیب مناسب فاصله الکترودی و ولتاژ برای ایجاد میدان الکتریکی از مزایای این فناوری بهره برد. طبق نتایج حاصل از مطالعه، می توان فاصله الکترودی ۴/۵ سانتی متر و ولتاژ ۱۰/۱۲۵ کیلوولت (قدرت میدان ۲/۲۵ کیلوولت بر سانتی متر) را ترکیب مناسبی برای ایجاد میدان الکترواستاتیک و رفع انجماد گوشت سینه مرغ با هدف حفظ ویژگی های کیفی و کاهش رشد میکروبی در نظر گرفت.

## منابع

1. Akamittath, J., Brekke, C., and Schanus, E. 1990. Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. *Journal of Food Science*. 55: 1513-1517.
2. AOAC. 2005. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, Vol. II. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
3. Barsotti, L., and Cheftel, J.C. 1999. Food processing by pulsed electric fields, *Biological aspects*. Food Review International. 15 (2): 181-213.
4. Donnell, C., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., and Rice, R.G. 2012. Ozone in food processing. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, pp 3-53.
5. Duthie, G., Campbell, F., Bestwick, C.H., Stephen, S., and Russell, W. 2013. Antioxidant effectiveness of vegetable powders on the lipid and protein oxidative stability of cooked turkey meat patties: Implications for Health. *Nutrients*. 5: 1241-1252.

6. Hansen, E., Juncher, D., Henckel, P., Karlsson, A., Bertelsen, G., and Skibsted, L.H. 2004. Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage. *Meat Science*. 68: 479-484.
7. He, X., Liu, R., Nirasawa, S., Zheng, D., and Liu, H. 2014. Factors affecting the thawing characteristics and energy consumption of frozen pork tenderloin meat using high-voltage electrostatic field. *Innovative Food Science and Emerging Technology*. 6: 1-6.
8. Hsieh, C.W., Lai, C.H., Ho, W.J., Huang, S.C., and KO, W.C. 2010. Effect of thawing and cold storage on frozen chicken thigh meat quality by high voltage electrostatic field. *Journal of Food Science*. 75(4):193-197.
9. Iranian national standard. Number 2629. 2003. Microbiology of food and animal feeding. Stuffs Enumeration of psychrotrophic Microorganisms - Test method. First Revision. First edition (In Persian).
10. Iranian national standard. Number 8923-1. 2007. Microbiology of food and animal feeding stuffs –Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination–Part 1: General rules for the preparation of initial suspension and decimal dilutions. First edition (In Persian).
11. Iranian national standard. Number 9714. 2007. Fresh poultry meat – Specifications. First edition (In Persian).
12. Iranian national standard. Number 5272-1. 2014. Microbiology of the food chain– Horizontal method for the enumeration of microorganisms – Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique. First edition (In Persian).
13. Moslemi, M., Khaksar, R., Taslimi, A., Hosseini, H., and Ferdousi, R. 2012. Effects of soybean and canola oils on fatty acids profile of chicken during storage. *J. Food Health*. 2 (2): 39-50 (In Persian).
14. Mousakhani-Ganjeh, A., Hamdami, N., and Soltanzadeh, N. 2016. Effect of high voltage electrostatic field thawing on the lipid oxidation of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*). *Innovative Food Science and Emerging Technology*. Accepted manuscript. doi:10.1016/j.ifset.2016.05.017.
15. Jaksch, D., Margesin, R., Mikoviny, T., Skalny, J.D., Hartungen, E., Schinner, F., Mason, N.J., and Marks, T.D. 2004. The effect of ozone treatment on the microbial contamination of pork meat measured by detecting the emissions using PTR-MS and by enumeration of microorganisms. *International Journal of Mass Spectrometry*. 239: 209-214.
16. James, S.J. 2002. Meat refrigeration, first ed. Woodhead Publishing Limited, Abington, pp. 159-163.
17. Jaturasitha, S., Srikanthai, T., Kreuzer, M., and Wicke, M. 2008. Difference in carcass and meat characteristics between chicken indigenous to northern Thailand (Black-boned and Thai native) and imported extensive breeds (Bresse and Rhode Island Red). *Poultry Science*. 87: 160-169.
18. Kumar, R.P., and Rani, M.S. 2014. Chemical composition of chicken of various commercial brands available in market. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 7(7): 22-26.
19. Li, B., and Sun, D.W. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. *Journal of Food Engineering*. 54: 175-182.
20. Martinez, P.E., Lopez, A.S., Fortuny, R.S., and Bellose, O.M. 2012. Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods, Chapter 4, Pulsed Electric Field Processing of Fluid Foods, pp 63- 108.
21. Poli, G., Schaur, R.J., Siems, W.G., and Leonarduzzi, G. 2007. 4-Hydroxynonenal: A membrane lipid oxidation product of medical interest. *Medicinal Research Reviews*. 28: 569–631.
22. Singh, A., Orsat, V., and Raghavan, V. 2012. A Comprehensive review on electrohydrodynamic drying and high-voltage electric field in the context of food and bioprocessing. *Drying Technology*. 30 (16): 1812-1820.

23. Stivarius, M.R., Pohlman, F.W., McElyea, K.S., and Apple, J.K. 2002. Microbial, instrumental color and sensory color and odor characteristics of ground beef produced from beef trimmings treated with ozone or chlorine dioxide, *Meat Science*. 60: 299–305.
24. Taher, B.J., and Farid, M.M. 2001. Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 40: 379–389.
25. Teets, A.S., Sundararaman, M., and Were, L.M. 2008. Electron beam irradiated almond skin powder inhibition of lipid oxidation in cooked salted ground chicken breast. *Food Chemistry*. 111: 934–941.
26. Tyagi, A., and Malik, A. 2010. Antimicrobial action of essential oil vapours and negative air ions against *Pseudomonas fluorescens*. *International Journal of Food Microbiology*, 143: 205-210.
27. Valsta, L.M., Tapanainen, H., and Mannisto, S. 2005. Meat fats in nutrition. *Meat Science*. 70: 525-530.
28. Wang, L.L., and Xiong, Y.L. 2005. Inhibition of lipid oxidation in cooked beef patties by hydrolyzed potato protein is related to its reducing and radical scavenging ability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 9186-9192.
29. Yang, P.P.W., and Chen, T.C. 1979. Effects of ozone treatment on microflora of poultry meat. *Journal of Food Processing and Preservation*. 3(2): 177–85.
30. Zhu, S., Ramaswamy, H.S., and Simpson, B.K. 2004. Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods. *LWT- Food Science and Technology*. 37: 291- 299.

## Investigation of oxidation kinetics and microbial characteristics of thawed chicken breast under high voltage electrostatic field

M. Rahbari<sup>1,2</sup>, N. Hamdami<sup>3</sup>, H. Mirzaei<sup>4\*</sup>, S.M. Jafari<sup>5</sup>, M. Kashaninejad<sup>5</sup>, M. Khomeiri<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Ph.D graduate, Department of Food Materials and Process Design Engineering,  
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>2</sup>Iranian National Standards Organization, Administration Standards of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Food Science and Technology,  
Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering,  
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>5</sup>Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering,  
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>6</sup>Associate Professor, Department of Food Science and Technology,  
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2017/07/04; Accepted: 2017/11/17

### Abstract

**Background and objectives:** In high voltage electrostatic field technique, by applying a high voltage electric field (HVEF) in a needle- plate electrode system, air at the surface of food product is ionized, and a volumetric flow known as corona wind is formed, that increases the heat transfer coefficient in food product by volumetric heat generation. In this technology, ozone generation followed by the corona discharge and air ionization, are capable to reducing microbial contamination; on the other hand, since ozone is a strong oxidizer, there is a risk of lipid oxidation. The aim of this paper is using high voltage electrostatic field for thawing of chicken breast, and investigating its effects on microbial count and lipid oxidation.

**Materials and methods:** First, fresh chicken breast were cut into equal cubes ( $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ ) by a designed cast and sharp razor, then, were frozen by a freezing tunnel with forced air circulation at  $-30^\circ\text{C}$  and 1 m/s air velocity, after vacuum packaging in polyethylene bags. The frozen samples were kept at  $-18^\circ\text{C}$  until use. Thawing under HVEF at three different voltages (from the corona start voltage to the breakdown voltage), and specific electrode gaps were done. The control sample was subjected to no HVEF but thawed conventionally by still air method. Fat oxidation of thawed samples were investigated at first, third, fifth, and seventh days intervals during storage at refrigerator. The thawed samples were kept at refrigerator ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ) after packaging, and evaluated for microbiological tests (total microbial count and psychrotrophic), and the oxidation kinetics were investigated. Total microbial count during first, third and sixth days of storage at refrigerator, by pour plate at  $30^\circ\text{C}$  for 72 hours, and psychrotrophic bacteria count during ten days storage at  $6.5^\circ\text{C}$  by surface plate were investigated.

**Results:** The equation resulted from TBARS- time changes curve, is linear. By evaluation of zero-order kinetic model, the kinetic rate constant was determined at different treatments. The kinetic rate constant had no significant difference with control at low electric field strength (1.5 kV/cm); while, this factor was more intense with increasing electric field strength (2.25 and 3 kV/cm). Generally, malonaldehyde formation rate of thawed chicken was increased by

---

\* Corresponding author: [mirzaeihabib1@gmail.com](mailto:mirzaeihabib1@gmail.com)



increasing voltage and decreasing electrode gap during storage. However, at corona start voltages, malonaldehyde formation rate constant was less than control. Results from microbial growth showed total microbial count decreased at HVEF thawed samples compared with control and fresh chicken during six days storage. Total microbial count in the case of control was  $1.07 \times 10^5$  cfu/g at first day, that was increased to  $7.82 \times 10^6$  cfu/g at sixth day, and in the case of HVEF thawed samples at 8 and 10 kV, were  $5 \times 10^4$  cfu/g and  $3.36 \times 10^4$  cfu/g at first day, that were increased to  $1.36 \times 10^6$  cfu/g and  $1 \times 10^6$  cfu/g at sixth day, respectively. However, total microbial count of fresh chicken was increased from  $9.73 \times 10^4$  cfu/g at first day to  $6 \times 10^6$  cfu/g at sixth day. On the other hand, storage at  $6.5^\circ\text{C}$  during 10 days, decreased the psychrotrophic microorganisms significantly at HVEF thawed samples ( $P < 0.05$ ).

**Conclusion:** Due to the importance of thawing for products susceptible to spoilage, such as chicken, it is possible to benefit from HVEF thawing method to decreasing spoilage and increasing shelf life, by applying 2.25 kV/cm electric field strength.

**Keywords:** High voltage electrostatic field, Thawing, Chicken breast, Oxidation kinetics, Microbial characteristics.

