



اثر رفع انجماد تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا بر ویژگی‌های کیفی و میکروبی گوشت گوسفند

سمیه بهفر^۱، محمدجواد وریدی^{۲*}، ناصر همدمی^۳ و مهدی وریدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۱/۷/۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۲۷/۱۱/۴۰۰

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* نویسنده مسئول مکاتبات: Email: mjvaridi@um.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: میدان الکتریکی ولتاژ بالا یکی از تکنولوژی‌های نوین بکار گرفته شده برای رفع انجماد مواد غذایی منجمد است. **هدف:** هدف از این پژوهش بررسی اثر رفع انجماد گوشت گوسفند تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا بر سرعت فرایند و ویژگی‌های کیفی و میکروبی آن است. **روش کار:** ابتدا گوشت گوسفند به قطعات مساوی (۲×۴×۴ سانتی‌متر مکعب) برش داده شده و با استفاده از تونل انجماد در ۳۰- درجه سانتی‌گراد منجمد گردید. رفع انجماد قطعات گوشت منجمد تحت میدان الکترواستاتیک در سه ولتاژ انتخابی ۷/۶، ۹ و ۱۰/۳۵ کیلوولت با فاصله الکترودی ۴/۵ سانتی‌متر انجام شد. نمونه کنترل در همان شرایط و بدون اعمال میدان الکتریکی رفع انجماد گردید. سرعت و زمان رفع انجماد در ولتاژهای اعمالی، طی فرایند و افت وزن نمونه‌ها، تغییر pH، رنگ و شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها پس از فرایند رفع انجماد اندازه‌گیری شدند. **نتایج:** بررسی نتایج آزمایشات در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی سرعت فرایند رفع انجماد افزایش یافته و بنابراین زمان موردنیاز کاهش می‌یابد. همچنین با اعمال میدان و افزایش شدت آن افت تبخیر تیمارها افزایش، افت رفع انجماد کاهش، افت پخت و افت وزن کلی آنها ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد. تغییر ولتاژ اثر معنی‌داری بر pH و رنگ نمونه‌های گوشت نداشت ولی با افزایش شدت میدان الکتریکی شمارش کلی باکتری‌ها کاهش معناداری ($p < 0.05$) را نشان داد. **نتیجه‌گیری نهایی:** رفع انجماد تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا علاوه بر افزایش سرعت فرآیند منجر به بهبود ویژگی‌های کیفی و میکروبی گوشت گوسفند می‌شود.

واژگان کلیدی: رفع انجماد، شدت میدان، گوشت گوسفند، میدان الکتریکی

مقدمه

است (فائو ۲۰۱۶). انجماد یک روش مرسوم برای افزایش زمان ماندگاری گوشت طی هزاران سال بوده است و گوشت منجمد یکی از متداول‌ترین مواد اولیه مصرفی در صنعت گوشت می‌باشد؛ با این حال، کیفیت گوشت می‌تواند طی فرآیند رفع انجماد کاهش یابد (لیگونی و همکاران ۲۰۱۲). میزان افت کیفیت طی رفع

گوشت گوسفند یک محصول مهم در سطح جهان است که اهمیت آن به دلیل کیفیت عضلانی، ترکیبات و ویژگی‌های تغذیه‌ای آن می‌باشد. طبق آمار فائو سرانه مصرف گوشت گوسفند در ایران در سال ۲۰۱۶، ۳/۲ کیلوگرم بوده که ۱۰ درصد آن به‌صورت منجمد عرضه شده

انجماد به عوامل بسیاری از جمله سرعت رفع انجماد، میکروارگانیزم‌ها و دما بستگی دارد. مدت زمان رفع انجماد از نظر رشد میکروبی اهمیت زیادی دارد زیرا اگر چه اکثر میکروارگانیزم‌ها به طور مؤثری طی انجماد مهار می‌شوند، ولی می‌توانند فعالیت خود را در طی رفع انجماد بازیابند. با توجه به اینکه رفع انجماد نسبت به انجماد فرایند بسیار کندتری است و به صورت غیر یکنواخت نیز صورت می‌گیرد، بخش‌هایی از گوشت از نظر دمایی در شرایط مطلوب‌تری برای رشد میکروبی قرار خواهند گرفت، که این امر در شرایط رفع انجماد با هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر شرایط دمایی، افزایش رطوبت و مواد مغذی در دسترس میکروارگانیزم‌ها، به علت تراوش‌های سلولی طی رفع انجماد، رشد میکروبی را تحریک کرده و منجر به فساد می‌شود. سرعت رفع انجماد بالا و کیفیت خوب گوشت رفع انجماد شده، نیازهای اساسی صنعت گوشت هستند؛ در نتیجه، دانشمندان مواد غذایی همواره در پی روش‌های نوین رفع انجماد مواد غذایی می‌باشند (جیا و همکاران ۲۰۱۷).

رفع انجماد مواد غذایی به طور متداول توسط هوا و غوطه‌وری در آب (سرد، ولرم و گرم) صورت می‌گیرد (استریج و بوکر ۲۰۱۱). روش‌های نوین رفع انجماد شامل رفع انجماد با فشار بالا، مایکروویوی، اهمی، فرکانس رادیویی، فراصوتی، میدان الکتریکی فشار بالا می‌باشند (لی و سان ۲۰۰۲). روش‌های رفع انجماد متداول زمان بر هستند و باعث افت کیفیت گوشت می‌شوند. در این روش‌ها، سرعت رفع انجماد، تابعی از انتقال حرارت به صورت جابجایی از محیط و هدایت آن به مرکز محصول می‌باشد. انتقال حرارت تحت تأثیر فاکتورهای مختلفی قرار می‌گیرد و در محصولات با هدایت حرارتی پایین، زمان طولانی خواهد داشت. اگرچه معایب روش‌های متداول در برخی از روش‌های نوین برطرف شده‌اند، ولی همچنان این روش‌ها محدودیت‌هایی دارند. برای مثال رفع انجماد مایکروویوی غیریکنواخت

عمل می‌کند، به طوری که بعضی از قسمت‌های گوشت کاملاً پخته می‌شود ولی بخش‌های دیگر منجمد باقی می‌ماند (طاهر و فرید ۲۰۰۱). در رفع انجماد اهمی نیز ماده غذایی باید بین دو الکتروود قرار گیرد و بنابراین ساختار محصول باید یکنواخت و هموژن باشد که در غیر این صورت توزیع دما غیریکنواخت خواهد بود. امروزه برای غلبه بر این مشکلات، سیستم‌های الکتریکی معرفی شده‌اند؛ در این سیستم‌ها، حرارت به صورت حجمی داخل ماده غذایی تجمع یافته و محدودیت هدایت حرارتی برطرف می‌گردد (جیمز ۲۰۰۲). در سال‌های اخیر استفاده از میدان‌های الکتریکی ولتاژ بالا (HVEF) به دلیل آسیب حرارتی کم، عدم استفاده از مواد شیمیایی و هزینه پایین مورد توجه قرار گرفته است. از میدان‌های الکتریکی ولتاژ بالا برای خشک کردن مواد غذایی (باجگای و هاشیناگا ۲۰۰۱)، حفظ تازگی میوه‌ها و سبزی‌ها و افزایش عمر ماندگاری آنها (ژائو و همکاران ۲۰۱۱) و رفع انجماد مواد غذایی (رهبری و همکاران ۲۰۱۸) استفاده شده است. کاربرد HVEF برای رفع انجماد ابتدا توسط اوتسوکا (۱۹۹۱) به عنوان یک روش سریع که در دمای پایین عمل کرده و منجر به حفظ کیفیت محصول می‌گردد مطرح شد، ولی با توجه به ناشناخته بودن مکانیسم اصلی چنین میدان‌هایی، توجه چندانی به این فناوری نشد. در سال‌های اخیر، محققان بر شناخت مکانیسم اصلی این فرایند و عوامل مؤثر بر آن تمرکز نموده‌اند (بای و همکاران ۲۰۱۱ و هی و همکاران ۲۰۱۳).

در روش رفع انجماد تحت HVEF از یک میدان الکتریکی قوی که بین دو الکتروود نقطه‌ای و صفحه‌ای اعمال شده، استفاده می‌شود که در محیط یک سیال دی الکتریک ایجاد نیرو کرده و در پی آن باعث یک حرکت ثانویه در سیال می‌شود. جریان ثانویه سیال، باد یونی یا باد کرونا نام دارد که حاصل یونیزاسیون موضعی هوای

^۱ - High voltage electrostatic field

^۲ - Corona wind

انجام شده است. به این منظور سه شدت مختلف میدان الکتروستاتیک با تغییر ولتاژ در فاصله الکترودی ثابت ایجاد و رفع انجماد تحت میدان الکتروستاتیک با روش معمول هوای ساکن مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

گوشت گوسفند تازه از کشتارگاه دام نقش جهان اصفهان پس از ذبح و پوست گیری و جمود نعشی خریداری شده و بلافاصله به آزمایشگاه مهندسی صنایع غذایی دانشگاه صنعتی اصفهان انتقال یافت. برای یکنواختی ترکیب گوشت، نمونه‌های مورد نیاز برای هر تکرار از یک لاشه تهیه شدند.

آماده‌سازی نمونه

گوشت گوسفند با استفاده از قالب مخصوص و تیغ‌های تیز به صورت قطعات (۲×۴×۴ سانتیمتر مکعب) و وزن تقریبی ۳۵ گرم برش داده شد. سپس، قطعات گوشت در بسته‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی شده و توسط تونل انجماد با دمای ۳۰- درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت منجمد شدند. پس از انجماد کامل، قطعات گوشت منجمد در فریزر معمولی با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایشات نگهداری شدند.

سیستم رفع انجماد تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا

شمایی از سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است، که شامل ژنراتوری با ولتاژ قابل تنظیم بین ۵۰- تا ۵۰ کیلو ولت و حداکثر جریان خروجی ۵ میلی آمپر (Ls50KV5mA, China)، محفظه چوبی و الکترودهای سوزنی و صفحه‌ای می‌باشد. کل سامانه برای ثبات دما و رطوبت در یک انکوباتور قرار گرفت. الکترود صفحه‌ای از جنس مس و به ابعاد ۲۰×۱۵ سانتی‌متر، به قطب منفی ژنراتور متصل شد. الکترودهای نقطه‌ای از ۱۶ عدد سوزن به قطر ۰/۴ میلی‌متر انتخاب و بر روی صفحه‌ای از جنس پلکسی-

اطراف الکترود نقطه‌ای است. حرکت یونها را می‌توان به صورت یک میکروجت در نظر گرفت که از یک الکترود باردار شده به سمت الکترود 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 برخوردکننده افزایش می‌یابد که افزایش ضریب انتقال حرارت را به دنبال دارد (سینگ و همکاران ۲۰۱۲). در این حالت، الکترود نازک تخلیه کننده الکتریکی و الکترود صفحه‌ای، جمع کننده الکتریکی می‌باشد.

یکی از مزایای استفاده از میدان الکتروستاتیک در زمینه رفع انجماد، تأثیر ضد میکروبی این فرایند می‌باشد که مکانیسم دقیق آن کاملاً در تحقیقات مشخص نشده است (بارسوتی و چفلت ۱۹۹۹). مهمترین مکانیسم پیشنهاد شده، تأثیر میدان الکتروستاتیک بر غشای بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. تحت میدان الکتروستاتیک با قدرت بالا، نفوذ پذیری غشای سلول بیولوژیکی تغییر می‌کند. اگر قدرت میدان ملایم باشد، تخریب ناحیه‌ای و برگشت پذیر می‌تواند رخ دهد که این پدیده الکتروپوریشن نامیده می‌شود (مارتینز و همکاران ۲۰۱۲). 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 اوزن (O_3) می‌شوند. اوزون به عنوان یک عامل اکسید کننده قوی دارای ظرفیت بالای گندزدایی و ضدعفونی‌کنندگی می‌باشد. به طوری‌که در مطالعات مختلف تأثیر باکتری زدایی اوزن بر روی گوشت طیور نشان داده شده است (یانگ و چن ۱۹۷۹ و جکش و همکاران ۲۰۰۴). با توجه به حساسیت گوشت گوسفند به تغییرات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی، پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثر رفع انجماد گوشت گوسفند تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا بر سرعت فرایند و ویژگی‌های کیفی و میکروبی آن

تعیین افت وزن

برای میزان افت وزن چهار شاخص بررسی شد، که شامل افت وزن ناشی از تبخیر، افت وزن ناشی از رفع انجماد، افت پخت و افت وزن کلی می‌باشد.

برای اندازه‌گیری افت وزن ناشی از تبخیر و رفع انجماد، قطعات گوشت قبل و بعد از انجمادزدایی توزین شدند و میزان افت آن‌ها از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد.

$$\% \text{ افت وزن ناشی از تبخیر} = \frac{W_0 - W_T}{W_0} \times 100$$

$$\% \text{ افت وزن ناشی از رفع انجماد} = \frac{W_0 - W_{TT}}{W_0} \times 100$$

در اینجا W_0 وزن نمونه قبل از رفع انجماد، W_T وزن نمونه بعد از رفع انجماد و بدون خشک کردن آب خروجی و W_{TT} وزن نمونه پس از رفع انجماد و خشک کردن آب خروجی می‌باشد.

برای اندازه‌گیری افت پخت حدود ۱۰ گرم نمونه رفع انجماد شده در کیسه پلی اتیلنی قرار داده شد و به مدت ۲۵ دقیقه در حمام آب ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، تا دمای مرکز آن به ۷۲ درجه سانتی‌گراد برسد. میزان افت پخت با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$\% \text{ افت پخت} = \frac{M_0 - M_T}{M_0} \times 100$$

که در آن، M_0 وزن نمونه قبل از پخت و M_T وزن نمونه بعد از پخت می‌باشد.

افت وزن کلی قطعات گوشت نیز از مجموع افت رفع انجماد و افت پخت بدست آمد (هی و همکاران ۲۰۱۳).

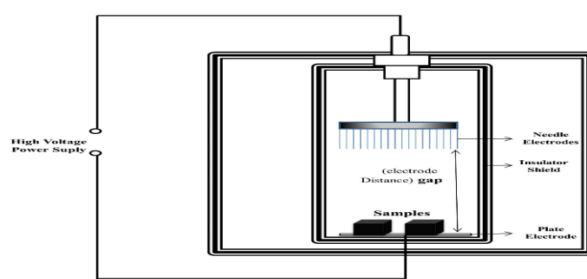
رنگ

به منظور بررسی رنگ نمونه‌های گوشت، بلافاصله پس از رفع انجماد رنگ سطح نمونه‌ها با استفاده از دستگاه هانتربل (RGB-1002) اندازه‌گیری و شاخص‌های رنگ نمونه‌ها (L^* ، a^* و b^*) بدست آمد.

اندازه‌گیری pH

pH نمونه‌ها بلافاصله پس از فرایند رفع انجماد گوشت با استفاده از pH متر کالیبره شده اندازه‌گیری شد (هی و همکاران ۲۰۱۳).

گلاس^۱ با دو لایه ورق نازک آلومینومی تعبیه گردیدند. ولتاژ شروع کرونا از زمان رسیدن جریان خروجی دستگاه به ۰/۰۱ میلی آمپر در نظر گرفته شد.



شکل ۱- شمایی از سیستم رفع انجماد تحت میدان الکترواستاتیک

Figure 1- Schematic of High Voltage Electric Field thawing system

فرایند رفع انجماد و اندازه‌گیری زمان و سرعت رفع انجماد

فرایند رفع انجماد در فاصله الکترودی (گپ) ۴/۵ سانتی‌متری، در سه ولتاژ مختلف بین ولتاژ شروع کرونا و ولتاژ جرقه (ولتاژهای ۷/۶، ۹ و ۱۰/۳ کیلوولت) و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. رفع انجماد نمونه شاهد در همان شرایط و فقط بدون اعمال میدان الکتریکی صورت گرفت. برای هر تیمار دو قطعه گوشت منجمد استفاده شد و همه آزمون‌ها با سه تکرار انجام شدند. ولتاژ کمتر نشان دهنده شروع کرونا بوده و ولتاژ بالایی، بیشترین قدرت میدانی بود که قبل از رسیدن سیستم به جرقه قابل اعمال بود. قدرت میدان الکتریکی از تقسیم ولتاژ به فاصله الکترودی قابل محاسبه می‌باشد.

$$\text{قدرت میدان الکتریکی} = \frac{V}{d}$$

فرایند رفع انجماد تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا تا رسیدن به دمای مرکز نمونه‌ها به صفر درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. برای تعیین زمان پایان رفع انجماد، ترموکوپلی در مرکز قطعات گوشت منجمد قرار داده شد و سپس سرعت رفع انجماد از تقسیم وزن نمونه تحت میدان به زمان رفع انجماد محاسبه گردید.

¹- Plexiglass

آزمون میکروبی

شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها با استفاده از محیط کشت پلیت کانت آگار (مرک) انجام شد. آماده‌سازی نمونه و نمونه برداری از سطح، طبق استاندارد ملی ایران شماره ۸۹۲۳-۱ صورت گرفت (استاندارد ملی ایران ۱۳۸۵/۸۹۲۳-۱). در این روش ۱۰ گرم از گوشت رفع انجماد شده در ۹۰ میلی‌لیتر محلول رقیق‌کننده استریل قرار داده شد. سپس رقت‌های مورد نیاز تهیه شده و یک میلی‌لیتر از هر رقت به روش پورپلیت کشت داده شد. پلیت‌های کشت داده شده در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت گرمخانه گذاری و سپس شمارش شدند (استاندارد ملی ایران شماره ۱-۵۲۷۲).

تجزیه و تحلیل آماری

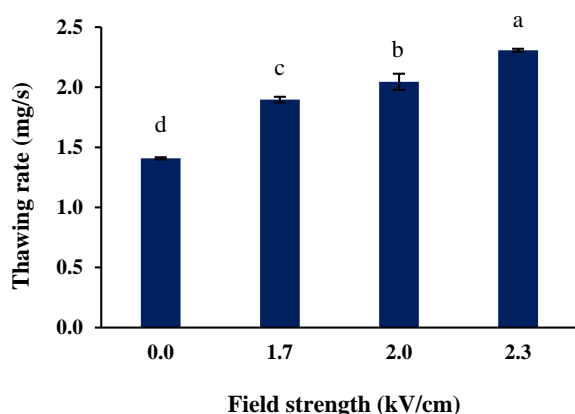
طرح مورد استفاده در این تحقیق طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی بود. آنالیز واریانس داده‌ها (ANOVA) توسط نرم‌افزار آنالیز آماری SPSS 16 و مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

سرعت و زمان رفع انجماد

رفع انجماد قطعات منجمد گوشت گوسفند در ۳ ولتاژ ۷/۶، ۹ و ۱۰/۳۵ کیلوولت و در فاصله الکترودی ۴/۵ سانتی‌متری یعنی در شدت میدان‌های ۱/۷، ۲ و ۲/۳ کیلوولت بر سانتی‌متر در دمای ۲۵°C صورت گرفت. رفع انجماد نمونه شاهد نیز در همان شرایط ولی بدون اعمال میدان انجام گرفت. دمای مرکز قطعات در لحظه شروع رفع انجماد ۱۸- درجه سانتی‌گراد بود و فرایند رفع انجماد تا رسیدن دمای مرکز به صفر درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. سرعت و زمان رفع انجماد نمونه‌ها به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. میانگین سرعت رفع انجماد برای نمونه شاهد ۱/۴ میلی‌گرم در ثانیه بود و با افزایش شدت میدان، سرعت رفع انجماد به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری‌که در شدت ۲/۳

کیلوولت بر سانتی‌متر، سرعت آن به ۲/۳ میلی‌گرم در ثانیه رسید. طبیعتاً زمان رفع انجماد با افزایش سرعت فرآیند کاهش یافت و زمان رفع انجماد نمونه شاهد از حدود ۳۰ دقیقه به ۱۸ دقیقه در نمونه‌های رفع انجماد شده تحت میدان الکتریکی با شدت میدان ۲/۳ کیلوولت بر سانتی‌متر رسید، که حدود ۴۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در شدت‌های ۱/۷ و ۲ کیلوولت بر سانتی‌متر نیز به ترتیب زمان رفع انجماد نمونه‌ها ۲۲ و ۲۰ دقیقه بود. یافته‌های مطالعه رفع انجماد گوشت ماهی تحت فرایند HVEF نیز نشان دادند که زمان رفع انجماد نمونه شاهد ۵۶ دقیقه بود و با اعمال میدان الکتریکی با شدت ۳ کیلوولت بر سانتی‌متر، به ۲۸ دقیقه کاهش یافت (موسی-خانی و همکاران ۲۰۱۵). همچنین نتایج تحقیق در مورد رفع انجماد گوشت خوک نشان داده بود که زمان رفع انجماد از ۶۴ دقیقه در نمونه شاهد به ۴۰ دقیقه در ولتاژ ۱۰ کیلوولت کاهش می‌یابد (هی و همکاران ۲۰۱۳). با افزایش شدت میدان الکتریکی، یونیزاسیون هوای اطراف الکترودها بیشتر شده و این امر نیز منجر به افزایش جابجایی هوای سطحی و ضریب انتقال حرارت می‌شود. بنابراین با افزایش شدت میدان و سرعت رفع انجماد، زمان مورد نیاز فرایند کاهش می‌یابد.



شکل ۲- سرعت رفع انجماد گوشت گوسفند منجمد رفع انجماد شده در شدت‌های مختلف میدان الکتریکی

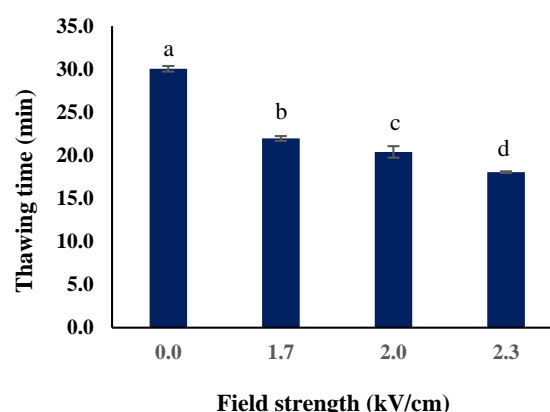
Figure 2- Thawing Rate of frozen mutton thawed under HVEF condition with different strength

Different superscripts represent significant difference at $P < 0.05$.

مشابه با افت پخت دارد، با این تفاوت که تنها اختلاف بین نمونه شاهد و نمونه رفع انجماد شده تحت شدت ۲/۰ کیلو ولت بر سانتی‌متر معنادار ($P < ۰/۰۵$) شده است و در واقع نمونه شاهد کمترین میزان و نمونه رفع انجماد شده تحت شدت ۲/۰ کیلوولت بر سانتی‌متر بیشترین میزان افت کل را داشتند. افت کل با ظرفیت نگهداری آب رابطه معکوس دارد، یعنی وقتی افت کل پایین است ظرفیت نگهداری آب بافت بالا می‌باشد (هی و همکاران ۲۰۱۳).

در سایر مطالعات انجام شده بر روی رفع انجماد تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا، هی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که با افزایش ولتاژ اعمالی، افت وزن ناشی از رفع انجماد نمونه‌های گوشت خوک بیشتر می‌شود؛ در حالی که افت پخت و افت وزن کلی، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند (هی و همکاران ۲۰۱۳). رفع انجماد قطعات ماهی تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا نیز نشان داده است که نمونه‌های شاهد، افت پخت کمتری نسبت به نمونه‌های رفع انجماد شده تحت HVEF داشته‌اند و با افزایش شدت میدان، افت پخت ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که افت تبخیر ابتدا کاهش یافته و سپس به دنبال افزایش شدت میدان، افزایش یافته است (موسی‌خانی و همکاران ۲۰۱۵). در مطالعه دیگری که اخیراً بر روی گوشت سینه مرغ انجام شده است نیز مشاهده گردید که افت پخت در نمونه‌های رفع انجماد شده تحت میدان الکتریکی، بیشتر از نمونه شاهد بوده و با افزایش شدت میدان ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است (رهبری و همکاران ۲۰۱۸).

افزایش ناگهانی افت پخت نمونه‌های تحت تیمار HVEF در ولتاژهای پایین، می‌تواند به علت عدم یا کم بودن دنا‌توراسیون پروتئین در زمان رفع انجماد تحت HVEF باشد. تغییرات ناشی از حرارت در حلالیت پروتئین، مربوط به تغییرات ظرفیت نگهداری آب گوشت است (بوتون و هریس ۱۹۷۲). طی این تغییرات، با جمع شدن گوشت در ماتریس بافت، رطوبت در داخل میوفیبریل-



شکل ۳- زمان رفع انجماد گوشت گوسفند منجمد رفع

انجماد شده در شدت‌های مختلف میدان الکتریکی

Figure 3- Thawing time of frozen mutton thawed under HVEF condition with different strength

Different superscripts represent significant difference at $P < 0.05$.

افت وزن، تغییرات pH و رنگ

در این مطالعه به بررسی چهار نوع افت پس از فرایند رفع انجماد پرداخته شد که شامل افت وزن ناشی از تبخیر، افت وزن ناشی از فرآیند رفع انجماد، افت پخت و در نهایت افت وزن کلی (که از مجموع افت پخت و افت ناشی از رفع انجماد بدست می‌آید) می‌باشند. در جدول ۱ میزان افت‌های مختلف گوشت گوسفند رفع انجماد شده تحت شدت‌های مختلف میدان الکتریکی نشان داده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، رفع انجماد تحت میدان الکتریکی منجر به افزایش افت تبخیر نسبت به نمونه شاهد شده و با افزایش شدت میدان الکتریکی، افت وزن ناشی از تبخیر افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اعمال میدان الکتریکی طی رفع انجماد منجر به کاهش افت وزن ناشی از رفع انجماد شده است و با افزایش شدت میدان الکتریکی میزان افت وزن ناشی از رفع انجماد کاهش می‌یابد.

نتایج موجود در جدول ۱ نشان می‌دهد که نمونه شاهد کمترین میزان افت پخت را داشته و در بین نمونه‌های رفع انجماد شده تحت میدان الکتریکی، افت پخت ابتدا با افزایش شدت میدان افزایش یافته ولی در شدت‌های بالاتر مجدداً کاهش یافته است. افت وزن کل نیز روندی

بود، ممکن بود طی حرارت‌دهی دناتوره شده و مقدار آب زیادی طی پخت از دست دهند (رهبری و همکاران ۲۰۱۸).

تغییرات pH و رنگ نمونه‌های گوشت پس از رفع انجماد نیز در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با اعمال میدان الکتریکی طی رفع انجماد و با افزایش شدت میدان، مقدار pH نمونه‌ها افزایش یافت، ولی این افزایش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. بررسی تأثیر میدان الکتریکی ولتاژ بالا طی رفع انجماد روی pH گوشت خوک نیز نشان داد که افزایش شدت میدان، تأثیر معنی‌داری در تغییر pH نمونه‌ها نداشته است (هی و همکاران ۲۰۱۳).

های گوشت در کانال‌های باریک بین فیلامنت‌ها جابجا شده و بنابراین منجر به افت پخت توسط حرارت می‌شود (برتولا و همکاران ۱۹۹۴ و مورفی و مارکز ۱۹۹۹). به عبارت دیگر کاربرد ولتاژهای بالاتر در پی تولید ازن، می‌تواند ساختار پروتئین‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و منجر به دناتوراسیون شود (موسی خانی و همکاران ۲۰۱۶). همچنین رفع انجماد در شرایط بدون اعمال میدان نیز به دلیل زمان بیشتر فرایند، می‌تواند منجر به دناتوراسیون پروتئین شود (شیا و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین مقدار کمتر افت پخت طی حرارت‌دهی این نمونه‌ها که پروتئین‌های آنها قبلاً دناتوره شده بود، انتظار می‌رفت و برعکس نمونه‌هایی که پروتئین‌های آنها سالم

جدول ۱- پارامترهای کیفی مختلف (افت تبخیر، افت رفع انجماد، افت پخت، افت کل، pH و رنگ) گوشت گوسفند منجمد رفع انجماد شده تحت شدت‌های مختلف میدان الکتریکی

Table1- Varying of different quality parameters of thawed mutton under HVEF condition with different strength

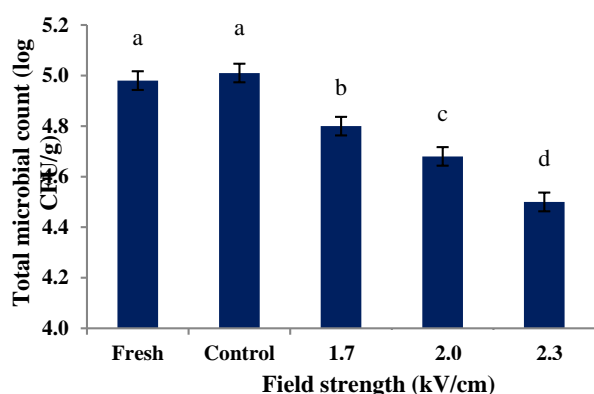
Parameters	Field strength (kV/cm)			
	0	1.7	2.0	2.3
Evaporation Loss	0.695 ± 0.068 ^c	0.729 ± 0.280 ^{bc}	0.878 ± 0.087 ^b	0.912 ± 0.120 ^a
Thawing Loss	2.024 ± 0.025 ^a	1.450 ± 0.210 ^b	1.133 ± 0.007 ^c	1.039 ± 0.034 ^c
Drip Loss	1.195 ± 0.053 ^a	0.738 ± 0.387 ^b	0.720 ± 0.082 ^b	0.721 ± 0.050 ^b
Cooking Loss	32.874 ± 0.420 ^c	34.315 ± 0.300 ^b	35.740 ± 0.294 ^a	34.380 ± 0.550 ^b
Total Loss	34.899 ± 0.445 ^b	35.548 ± 0.119 ^b	36.871 ± 0.289 ^a	35.420 ± 0.515 ^b
pH	5.68 ± 0.007 ^a	5.70 ± 0.037 ^a	5.69 ± 0.01 ^a	5.72 ± 0.04 ^a
L*	37.22 ± 0.38 ^b	37.53 ± 0.078 ^{ab}	37.95 ± 0.78 ^{ab}	38.25 ± 0.5 ^a
a*	16.24 ± 0.29 ^a	15.17 ± 0.28 ^b	16.15 ± 0.194 ^a	14.83 ± 0.36 ^b
b*	5.14 ± 0.18 ^a	5.40 ± 0.37 ^a	5.66 ± 0.39 ^a	5.93 ± 0.78 ^a

Dissimilar letter in each column indicate significant difference ($P \leq 0.05$).

افت کلی گوشت رفع انجماد شده، نرمال بود و افزایش چشمگیری نداشت.

رنگ سطح گوشت با اندازه‌گیری مقادیر شاخص‌های L^* ، a^* و b^* بررسی شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار شاخص a^* که بیان‌کننده درجه قرمزی گوشت است، اهمیت ویژه‌ای در رنگ گوشت دارد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار شاخص a^* مربوط به نمونه شاهد بوده و با اعمال میدان الکتریکی طی رفع انجماد

مقادیر pH به طور مؤثری ظرفیت حفظ آب گوشت را تحت تأثیر قرار می‌دهند. وقتی که pH به مقدار ایزوالکتریک پروتئین‌های مهم گوشت می‌رسد، گروه‌های قطبی پروتئین یکدیگر را جذب کرده و منجر به کاهش آب قابل نگهداری پروتئین می‌شود (هاف لانرگان و لانرگان ۲۰۰۵). به دلیل اینکه مقادیر pH در محدوده نرمال ۵/۸-۵/۶ قرار داشتند، ظرفیت حفظ آب و بنابراین



شکل ۴- شمارش کل میکروب‌های گوشت گوسفند تازه و نمونه‌های رفع انجماد شده تحت شدت‌های مختلف میدان

الکتریکی

Figure 4- Total Microbial Count of thawed samples under HVEF conditions with different strength
Different superscripts represent significant difference at $P < 0.05$.

طبق نتایج گزارش شده در شکل (۴) طی رفع انجماد نمونه شاهد، بار میکروبی نسبت به نمونه گوشت تازه کمی افزایش یافت که این افزایش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. ولی در تیمارهای رفع انجماد شده تحت میدان الکتریکی، با افزایش شدت میدان شمارش کل میکروب‌ها به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش یافت که می‌توان آن را به تأثیر اوزن و یون‌های منفی هوای تولید شده در اثر تخلیه کرونایی نسبت داد، که موجب کاهش بار میکروبی و متعاقباً کاهش فساد میکروبی گوشت قرمز می‌شود. با افزایش ولتاژ و قدرت میدان الکتریکی، هوا بیشتر یونیزه شده و اوزن بیشتری تولید خواهد شد. همچنین این یافته‌ها مطابق با نتایج حاصل از مطالعه هی و همکاران (۲۰۱۳) و جیا و همکاران (۲۰۱۷) بود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق و نتایج پژوهش‌های مشابه در زمینه رفع انجماد در رابطه با کاهش مؤثر زمان فرایند، می‌توان استفاده از میدان الکترواستاتیک ولتاژ بالا برای رفع انجماد گوشت را یک روش مؤثر برای تسریع فرایند رفع انجماد و کاهش زمان موردنیاز در

مقدار شاخص a^* کاهش یافته است. هرچند با افزایش شدت میدان از ۱/۷ به ۲ کیلوولت مقدار a^* ابتدا افزایش و در افزایش شدت میدان از ۲ به ۲/۳ کیلوولت مجدداً کاهش یافته است. مقدار شاخص L^* (روشنایی) نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های رفع انجماد شده تحت میدان الکتریکی کمتر بود و با افزایش شدت میدان، مقدار شاخص L^* افزایش یافت به طوری که تنها تفاوت بین نمونه شاهد و نمونه رفع انجماد شده تحت شدت ۲/۳ کیلوولت بر سانتی‌متر میدان از نظر آماری معنادار بود. مقدار شاخص b^* (زرد-آبی) رنگ نیز با اعمال میدان الکتریکی و افزایش شدت میدان افزایش یافت، ولی این تغییر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. این نتایج با نتایج هی و همکاران (۲۰۱۲) تطابق داشت. در تحقیق آن‌ها نیز شاخص روشنایی و شاخص زرد-آبی با افزایش شدت میدان الکتریکی افزایش یافت. تغییر در پارامترهای رنگی تحت میدان الکتریکی تا حدودی مربوط به ازن تولیدی توسط میدان الکتریکی می‌باشد.

آنالیز میکروبی

برای بررسی تأثیر میدان الکتریکی ولتاژ بالا بر رشد میکروبی نمونه‌های گوشت منجمد رفع انجماد شده، کشت میکروبی در سه تکرار انجام شد که نتایج آن در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، داده‌ها کاهش معنی‌داری ($P < 0.05$) را در تعداد میکروارگانیسم‌های باقی‌مانده در نمونه رفع انجماد شده توسط HVEF، در مقایسه با نمونه شاهد نشان می‌دهند. شمارش کل میکروب‌ها در گوشت تازه $4.98 \log \text{CFU/g}$ بود که پس از رفع انجماد در نمونه شاهد به $5.01 \log \text{CFU/g}$ افزایش یافت. در نمونه‌های رفع انجماد شده تحت HVEF در شدت‌های ۱/۷، ۲/۰، ۲/۳ و ۲/۳ کیلوولت بر سانتی‌متر، شمارش کل میکروب‌ها به ترتیب به $4.8 \log \text{CFU/g}$ ، $4.69 \log \text{CFU/g}$ و $4.5 \log \text{CFU/g}$ حداکثر شمارش کلی قابل پذیرش برای گوشت قطعه‌بندی شده 10^6 در هر گرم می‌باشد (استاندارد ۲۳۹۴).

نظر گرفت. همچنین این روش برای غیر فعال کردن میکروارگانیزم‌ها نیز به عنوان روشی مناسب می‌تواند بکار گرفته شود. امید است که نتایج این مطالعه و پژوهش‌های مشابه در رابطه با مکانیسم رفع انجماد

تحت HVEF بتواند زمینه را برای کاربرد صنعتی آن در رفع انجماد فراهم کرده و مطالعات بیشتری از کاربردهای مختلف آن را جذب کند.

منابع مورد استفاده

- Bai Y, Sun Y, Li Z and Kang D, 2011. Study the optimum parameters of high voltage electrostatic field thawing. *Procedia Engineering* 16: 679-684.
- Bajgai T and Hashinaga F, 2001. Drying of spinach with a high electric field. *Drying Technology* 19: 2331-2341.
- Barsotti L and Cheftel JC, 1999. Food processing by pulsed electric fields, Biological aspects. *Food Reviews International* 15 (2): 181-213.
- Bertola NC, Bevilacqua AE and Zaritzky NE, 1994. Heat treatment effect on texture changes and thermal denaturation of proteins in beef muscle. *Journal of Food Processing and Preservation* 18: 31-46.
- Bouton PE and Harris PV, 1972. The effect of cooking temperature and time on some mechanical properties of meat. *Journal of Food Science* 37:140-144.
- Eastridge JS and Bowker BC, 2011. Effect of rapid thawing on the meat quality attributes of USDA select beef strip loin steaks. *Journal of Food Science* 76 (2): 156-162.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2016. *FAO Statistical Pocketbook*, Rome, 2015.
- Gambuteanu C, Borda D and Alexe P, 2013. The Effect of Freezing and Thawing on Technological Properties of Meat: Review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 19(1): 88-93.
- He X, Liu R, Nirasawa S, Zheng D and Liu H, 2013. Effect of high voltage electrostatic field treatment on thawing characteristics and post-thawing quality of frozen pork tenderloin meat. *Journal of Food Engineering* 115: 245-250.
- He X, Liu R, Tatsumi E, Nirasawa S 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 technologies* 22: 110-115.
- Hsieh CW and Ko WC, 2008. Effect of high-voltage electrostatic field on quality of carrot juice during refrigeration. *LWT-Food Science and Technology* 41: 1752-1757.
- Hsieh CW, Lai CH, Ho WJ, Huang SC and Ko WC, 2010. Effect of Thawing and Cold Storage on Frozen Chicken Thigh Meat Quality by High-Voltage Electrostatic Field. *Journal of Food Science* 75: 193-197.
- Hsieh CW, Lai, CH, Lee, CH and Ko WC, 2011. Effects of High-Voltage Electrostatic Fields on the Quality of Tilapia Meat during Refrigeration. *Journal of Food Science* 76: 312-317.
- Huff-Lonergan E and Lonergan SM, 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science* 71,194-204.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2006. *Microbiology of the food chain Horizontal method for the enumeration of microorganisms Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique. 2nd revision, ISIRI No. 5272 [In Persian]*.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2006. *Microbiology of food and animal feeding stuffs – Preparation of test samples, nitial suspension and decimal dilutions for microbiological examination Part 2: specific rules for the preparation of meat and meat products. 2nd revision, ISIRI No. 8923 [In Persian]*.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2007. *Microbiology red meat - Carcasses, minced red meat - Specifications and test methods. 1st revision, ISIRI No. 2394 [In Persian]*.
- Jaksch D, Margesin R, Mikoviny T, Skalny JD, Hartungen E, Schinner F, Mason NJ and Marks TD, 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 Molecular Sciences* 239: 209-214.
- James SJ and James C, 2002. *Meat refrigeration*: Elsevier.
- Kalichevsky MT, Knorr D and Lillford PJ, 1995. Potential food applications of highpressure effects on ice-water transitions. *Trends in Food Science and Technology* 6 (8): 253-259.
- Leygonie C, Britz TJ and Hoffman LC, 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science* 91: 93-98.
- Li B and Sun DW, 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. *Journal of Food Engineering* 54: 175-182.
- Martinez PE, Lopez AS, Fortuny RS and Bellose OM, 2012. Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods, Chapter 4, Pulsed Electric Field Processing of Fluid Foods, pp 63- 108.
- Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, and Soltanizadeh N, 2015. Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*). *Journal of Food Engineering*, 156: 39–44.
- Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, and Soltanizadeh N, 2016. Thawing of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*) using still air method combined with a high voltage electrostatic field. *Journal of Food Engineering*, 169: 149–154.
- Murphy RY, Marks BP and Marcy JA, 1998. Specific heat of chicken breast patties and their constituent proteins by differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science* 63: 88–92.
- Ohtsuki T, 1991. Process for thawing foodstuffs. United States Patent, Patent Number: 5034236.
- 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: 1812-1820.
- Yang PPW, Chen TC, 1979. Effects of ozone treatment on microflora of poultry meat, *Journal of Food Processing and preservation* 3(2): 177–85.



Journal of Food Research, 2022,32(3):129-140
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>

OPEN ACCESS

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

DOI: 10.22034/FR.2022.48208.1807

Impact of high voltage electric field thawing on the quality and microbial properties of frozen mutton

S Behfar¹, M Javad Varidi^{2*}, N Hamdami³ and M Varidi²

Received: October 3, 2021 Accepted: February 16, 2022

¹PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding Author: mjvaridi@um.ac.ir

Introduction: Freezing and thawing are complex heat transfer processes and the chemical and physical changes that occur during these processes can affect the product quality (Li and Sun, 2002). During the thawing process, physicochemical changes and microorganism activities damage the food products (Bertola et al, 1994; Kalichevsky, Knorr, & Lillford, 1995). Several factors can affect the degree of quality loss, including the rate of thawing, temperature, and microorganisms (Jia et al, 2017). The rate and quality of the thawing process are the fundamental needs of the meat industry, and accordingly, many studies have investigated the thawing conditions to achieve the best quality of meat products (Jia et al, 2017). Modern thawing methods such as high pressure, microwave, ohmic, radiofrequency, ultrasonic, and high voltage electric field thawing can improve the thawing rate at the low temperature (Hsieh et al., 2010). In recent years, the use of high voltage electric fields (HVEF) has been considered due to low thermal damage, no chemical consumption, and being economical. In HVEF thawing, a strong electric field is used between point and plate electrodes in an environment of dielectric fluid to create a force, followed by a secondary motion in the fluid. The secondary flow of fluid name ionic wind, or corona wind, results from localized air ionization around the point electrode. By increasing the corona flow, the volume fluctuation and air velocity increase, which results in an increase in the heat transfer coefficient (Singh et al., 2012). In this case, the thin electrode is an electric discharge electrode and another electrode is a ground electrode. One of the advantages of using an electric field for thawing is the antimicrobial effect of this method. In addition, the electric field can affect oxygen molecules of air and generates free radicals of ozone molecules, which is a strong oxidizing agent with a high disinfection capacity that various studies reported the effect of ozone depletion on poultry meat (Yang and Chen, 1979; Jaksch et al., 2004). The present study was conducted to study the effect of HVEF thawing of mutton on the process rate and its qualitative and microbial properties. For this purpose, three different strengths of the electric fields were produced by varying the voltage at a constant electrode distance, and the HVEF thawing was compared with the conventional air thawing.

Material and methods: The fresh mutton meat was cut into cube pieces ($4 \times 4 \times 3 \text{ cm}^3$, 35 g) and after packing in polyethylene bags were frozen by a freezing tunnel at -30°C for 1 hour and stored at -18°C until analysis. The HVEF system was consists of a generator with adjustable voltages between -50 and 50 kV and a maximum output current of 5 mA (Ls50KV5mA, China), multiple needle and plate electrodes, and a wooden enclosure. The copper plate electrode was connected to the negative pole and the spot electrode

connected to the positive pole of the high voltage power. The thawing process was performed at an electrode distance of 4.5 cm and 3 different voltages of 7.6, 9, and 10.3 kV at a temperature of 25 °C. The thawing process proceeded until the center of samples reached 0°C and an optical fiber thermocouple (FOB 651A, Canada) was used to determine the end time of thawing. The evaporation, thawing, cooking and total losses were measured by weighting the frozen samples before and after thawing and cooking (Mousakhani- Ganjeh et al., 2015). The surface color, pH value and total microbial count of meat samples were measured after thawing.

Results and discussions: Thawing of frozen mutton was carried out at 3 voltages of 7.6, 9, and 10.35 kV, and at an electrode distance of 4.5 cm that is equal to the field strength of 1.7, 2.0, and 2.3 kV/cm. Thawing of the control sample was performed at the same condition without field application. Results showed that the thawing rate of the frozen samples significantly increased with increasing field strength so that the thawing time at the near-spark voltage in comparison with the control sample reduced 45%. Investigation of different losses of mutton samples thawed under different strengths of the electric field showed that the evaporation loss of the thawed samples under HVEF increased by arise the electric field strength, conversely, the thawing loss was reduced with increasing the electric field strength. The control sample had the lowest cooking loss and the thawed sample under the strength of 2.0 kV/cm had the highest cooking loss. As the results show, the pH value increased with increasing the strength of the electric field, but this increase was not statistically significant ($p>0.05$). Investigation of the color parameters of thawed samples showed a a^* index, as a particular index in the meat color, decreased and L^* index increased with increasing the electric field strength. The results of microbial counts of thawed samples under different strengths of the electric field showed a significant decrease ($P<0.05$) in the total viable counts in thawed samples under HVEF compared to the control sample. Total microbial count of HVEF thawed samples under strengths of 1.7, 2.0, and 2.3 kV/cm decreased to 4.8, 4.69, and 4.5 log CFU/g, respectively.

Conclusion: This study investigated the HVEF thawing of frozen mutton in comparison with air thawing. The results showed that the HVEF thawing of frozen mutton improved the thawing rate and the evaporation, cooking and total loss of the conventional thawed sample was lower than the HVEF thawed samples while the thawing loss decreased by applying the electric field during the thawing process. In addition, HVEF thawing process reduced the total microbial count of thawed samples by the production of ozone and negative ions that this effect improved with increasing the electric field strength.

Keywords: Electric Field, Electric field strength, Mutton, Thawing