

## تأثیر انجماد ترموالکتریک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، خصوصیات حسی و کیفیت میکروبی گوشت قرمز

آرزو سیاری<sup>۱</sup>، مجید جوانمرد داخلی<sup>۲\*</sup>، شهریار صرامی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم دارویی، تهران

۲- دانشیار گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۲ تا تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۰۴)

### چکیده

در این پژوهش اثر انجماد ترموالکتریک بر تغییرات رنگ (شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ )، pH، افت انجماد (درصد)، افت یخ‌زدایی (درصد)، ظرفیت نگهداری آب (درصد)، خصوصیات حسی و کیفیت میکروبی گوشت قرمز (گوشت گاو) بررسی شد. نتایج نشان داد که فریزر ترموالکتریک گوشت قرمز را با نرخ انجماد بالاتری نسبت به فریزر معمولی منجمد کرد. pH نمونه‌های گوشت قرمز منجمد شده با فریزر معمولی به‌طور قابل‌توجهی ( $p < 0.05$ ) پایین‌تر از نمونه‌های گوشت منجمد شده با فریزر ترموالکتریک بود. گوشت منجمد شده در فریزر ترموالکتریک به‌طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) شاخص  $L^*$  و افت یخ‌زدایی پایین‌تر و ظرفیت نگهداری آب بالاتری ( $p < 0.05$ ) نسبت به گوشت منجمد شده در فریزر معمولی داشت. نتایج ارزیابی حسی حاکی از آن بود که گوشت منجمد شده در فریزر ترموالکتریک به‌طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) از نمرات حسی بالاتری نسبت به گوشت منجمد شده در فریزر معمولی برخوردار بودند. نتایج آنالیز میکروبی نشان‌دهنده تأثیر غیر معنی‌دار روش انجماد بر کیفیت میکروبی گوشت قرمز بود.

**کلید واژگان:** گوشت قرمز؛ ویژگی‌های کیفی گوشت قرمز؛ انجماد؛ یخ‌زدایی؛ تکنولوژی ترموالکتریک

\* مسئول مکاتبات: Javanmard@irost.ir

## ۱- مقدمه

انجماد انجام شده است [۷]. (۸۷). از جمله این تکنولوژی ها که طی سال های اخیر توسعه پیدا کرده اند می توان به تری- جنریشن<sup>۲</sup> [۸]، چرخه هوا<sup>۳</sup> [۹]، سیستم های جذب- واجذب<sup>۴</sup> [۱۰]، سیستم های دفع کننده<sup>۵</sup> [۱۱]، چرخه استرلینگ<sup>۶</sup> [۱۲] و تجهیزات ترموآکوستیک<sup>۷</sup> [۱۳] اشاره کرد. در این بین، یکی از تکنیک هایی که می تواند جایگزین مناسبی برای روش های رایج انجماد باشد، تبرید به وسیله تجهیزات ترموالکتریک<sup>۸</sup> است [۱۴]. تجهیزات ترموالکتریک، دستگاه های حالت جامدی<sup>۹</sup> می باشند که انرژی الکتریکی را به یک گرادیان دمایی تبدیل می کنند. این تکنیک اولین بار توسط پلنیر<sup>۱۰</sup> در سال ۱۸۳۴ کشف شد، با این وجود کاربرد آن تا توسعه مواد نیمه رسانا<sup>۱۱</sup> محدود بود. دستگاه های ترموالکتریک اولین بار در دهه ۱۹۵۰، برای اهداف سرمازایی و تهویه هوا مورد استفاده قرار گرفتند [۱]. شرح تئوری اثر پلنیر در خیلی از مطالعات [۱۶-۱۵] و یا توسط سازندگان دستگاه از جمله ملکور<sup>۱۲</sup> موجود است. به طور خلاصه، هنگامی که یک جریان مستقیم از میان حداقل یک جفت مواد نیمه رسانای نوع-ان<sup>۱۳</sup> و نوع-پی<sup>۱۴</sup> که معمولاً بیسموت تلوراید<sup>۱۵</sup> ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) می باشند عبور می کند، اثر تبرید ترموالکتریک تولید می شود [۱۷]. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، هنگامی که یک جریان مستقیم از دستگاه عبور می کند، الکترون ها از یک سطح انرژی پایین در ماده نوع-پی به یک سطح انرژی بالاتر در ماده نوع-ان انتقال می یابند که در نتیجه آن گرما از محیط جذب می شود. در سوی دیگر، هنگامی که الکترون ها به یک سطح انرژی پایین تر در مواد نوع-پی باز می گردند، گرما آزاد می گردد [۱۷].

گوشت قرمز بخش قابل توجهی از برنامه غذایی روزانه مردم جهان را تشکیل می دهد. این ماده غذایی منبع عالی از پروتئین ها، اسید آمینه های ضروری، ویتامین ها و مواد معدنی است [۱]. طی سال های اخیر با بهبود استانداردهای زندگی، توجه مردم به کیفیت فرآورده های غذایی بیشتر شده است. از این رو، صنایع غذایی همیشه در جستجوی فناوری های نوینی در فرآیندهای مختلف غذایی به منظور حفظ و بهبود کیفیت فرآورده بوده اند [۲ و ۳]. فرآیندهای سرمایش و انجماد از ضروری ترین بخش های زنجیره غذایی می باشند که در همه مراحل زنجیره، از فرآوری تا توزیع و مصرف مورد استفاده قرار می گیرند. صنایع غذایی از هر دو فرآیند سرمایش (کاهش دمای محیط اطراف فرآورده تا دمایی بالاتر از صفر درجه سلسیوس) و انجماد (کاهش دمای محیط اطراف فرآورده تا دمایی بین ۱۸- و ۳۵- درجه سلسیوس) به منظور کند کردن فعالیت های مخرب فیزیکی، شیمیایی و میکروبی در فرآورده استفاده می کنند. عموماً در فرآیند انجماد، از تکنولوژی های سرمایش و انجماد مکانیکی که بر پایه سیکل های تبرید متراکم سازی بخار<sup>۱</sup> هستند، استفاده می شود [۴]. انجماد گوشت به وسیله فریزرهای مکانیکی علی رغم جلوگیری از فساد بیوشیمیایی، سبب افت کیفیت آن می شود. افت کیفیت گوشت طی انجماد را معمولاً ناشی از تشکیل کریستال های یخ می دانند که سبب تخریب سلول های بافت گوشت و فیبرهای ماهیچه ای می شوند [۵]. مشخص شده است که اندازه و توزیع کریستال های یخ تشکیل شده در فضاهای درون سلولی یا بین سلولی بستگی به نرخ انجماد دارد [۶-۸]. به کارگیری تکنولوژی های مکانیکی برای سرمایش و انجماد علاوه بر تاثیر بر افت کیفی فرآورده های غذایی، از طریق انتشار مستقیم و غیرمستقیم گازهای گلخانه ای سبب آلودگی محیط زیست می شود. بنابراین به منظور بر طرف کردن این محدودیت ها پژوهش های مختلفی با هدف بهبود عملکرد سیستم های رایج و ارائه تکنولوژی های نوین سرمایش و

2. Tri-generation
3. Air cycle
4. Sorption- adsorption
5. Ejector systems
6. Stirling cycle
7. Thermoacoustic
8. Thermoelectric devices
9. Solid state devices
10. Peltier
11. Semiconductor
12. Melcor
13. n-type semiconductor
14. p-type semiconductor
15. Bismuth telluride

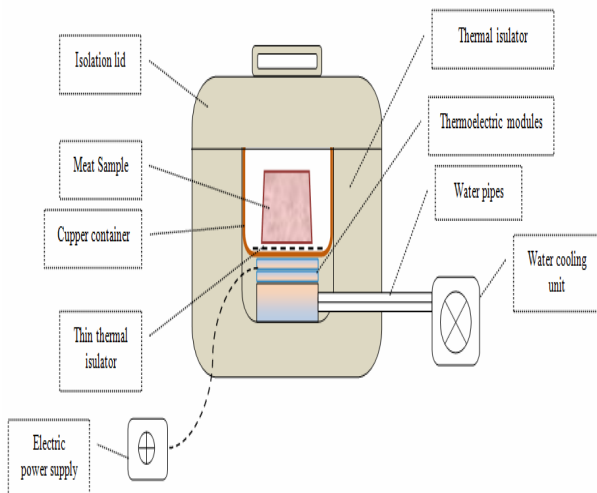
1. The vapor compression refrigeration cycles

نبود پژوهشی در زمینه استفاده از تکنولوژی ترموالکتریک در انجماد گوشت قرمز، در این پژوهش امکان استفاده از سرما سازهای ترموالکتریک در انجماد گوشت قرمز مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- تهیه تیمارها و فرآیند انجماد

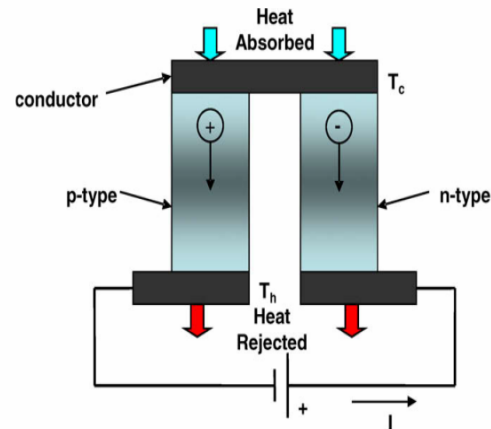
تیمارها شامل گوشت قرمز تازه (گوشت گاو)، گوشت قرمز تازه منجمد شده توسط فریزر معمولی و گوشت قرمز تازه منجمد شده توسط فریزر ترموالکتریک بود (شکل ۲). پس از اتمام انجماد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در  $2-4^{\circ}C$  به منظور یخ‌زدایی<sup>۱۰</sup> نگهداری شدند.



**Fig 2** Specific setup of thermoelectric cooling system for meat sample freezing.

### ۲-۲- تعیین نرخ انجماد

برای تعیین نرخ انجماد گوشت قرمز توسط فریزرهای ترموالکتریک و معمولی از یک ترموکوپل استفاده و طی انجماد، دما در فاصله‌های زمانی مشخص ثبت شد. نرخ انجماد به وسیله مشخصه زمان انجماد<sup>۱۱</sup> ( $t_{cf}$ )، که مدت زمانی است که دمای مرکز جسم از نقطه شروع انجماد تا یک دمایی خاص تغییر می‌کند (در این پژوهش،  $-18$  درجه سلسیوس)، بیان شد [۲۰]. همچنین



**Fig 1** Schematic of a thermoelectric module (or Peltier) [7].

سرما سازهای ترموالکتریک علاوه بر عدم آلودگی محیط زیست (زیست در آن‌ها از کلروفلوئوروکربن<sup>۱</sup> (CFC) هیدروکلروفلوئوروکربن<sup>۲</sup> (HCFC) یا هیچ مبرد دیگری استفاده نمی‌شود)، به دلیل نداشتن بخش‌های مکانیکی متحرک، نسبت به سرما سازهای بر پایه فشرده‌سازی بخار<sup>۳</sup> (فریزرهای معمولی) دارای مزیت‌های دیگری از جمله بدون صدا، بدون لرزش و بدون نیاز به نگهداری می‌باشند. همچنین این دستگاه‌ها می‌توانند طول عمری بیش از ۱۰۰ هزار ساعت داشته باشند. این تجهیزات همچنین، اندازه‌های کوچک، سبک و کنترل دمایی خیلی دقیقی دارند [۱۴]. به‌طور کلی، تا آنجا که ما مطلع هستیم کاربرد سرما سازهای ترموالکتریک در زمینه‌هایی غیر از مواد غذایی بوده است. برای مثال بیرشنک<sup>۴</sup> و جیلی<sup>۵</sup> [۱۸]، تبرید تجهیزات الکتریکی قابل حمل را با استفاده از دستگاه‌های ترموالکتریک<sup>۶</sup> گزارش کردند. همچنین بوجیک<sup>۷</sup> و همکاران [۱۹]، از تکنولوژی ترموالکتریک به منظور خنک‌سازی قطارهای حمل‌ونقل استفاده کردند. در پژوهشی دیگر ریفات<sup>۸</sup> و ما<sup>۹</sup> [۱۶] گزارش کردند که تجهیزات ترموالکتریک می‌توانند به عنوان ابزارهای مناسبی در تهیه هوای ساختمان‌ها بکار گرفته شوند. بنابراین با توجه به

1. Chlorofluorocarbon
2. Hydrochlorofluorocarbon
3. Vapour compression refrigeration
4. Bierschenk
5. Gilley
6. Portable Electronic Equipment
7. Bojic
8. Ri,at
9. Ma

10. Thawing

11. Characteristic freezing time

$$WHC(\%) = \left(1 - \frac{W_3 - W_2}{W_1}\right) \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه  $W_1$  وزن نمونه پس از سانتریفیوژ کردن (گرم)،  $W_2$  وزن لوله (با پنبه) پس از سانتریفیوژ و  $W_3$  وزن لوله پس از خروج از سانتریفیوژ و پس از خروج نمونه بود.

### ۲-۳-۴- رنگ

ویژگی‌های رنگی نمونه‌های گوشت با استفاده از یک سیستم پردازش تصویر شامل یک دوربین تصویربرداری دیجیتال و یک کامپیوتر شخصی تعیین شد. برای این منظور در ابتدا تصاویر در یک فاصله ثابت ۳۰ سانتی‌متری از نمونه‌های قرار گرفته در یک جعبه سیاه با ابعاد تقریبی  $1 \times 1 \times 1$  متر و با نورپردازی با زاویه ۴۵ درجه توسط لامپ‌های فلوروسنتی گرفته شد. تصاویر ذخیره شده سپس به محیط متلب<sup>۶</sup> (R2014a (The MathWorks Inc., Natick, Mass, USA) انتقال و با استفاده از این نرم‌افزار شاخص‌های رنگی تعیین شد. برای تعیین ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها، در این پژوهش از مدل رنگی  $CIE L^*a^*b^*$  (CIELAB) استفاده شد. بنابراین از آنجایی که تصاویر در فضای رنگی RGB گرفته شده بود، عملیات تبدیل فضای رنگی، برای به دست آوردن شاخص‌های  $CIE L^*a^*b^*$  انجام شد. در مدل  $CIE L^*a^*b^*$  شاخص  $L^*$  بیان‌کننده مقدار روشنایی،  $a^*$  که بیان‌کننده قرمزی (مقادیر مثبت) و سبزی (مقادیر منفی) و  $b^*$  بیان‌کننده زردی (مقادیر مثبت) و آبی (مقادیر منفی) بودن تصویر است [۲۳]. اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی در ۶ نقطه مختلف از نمونه‌ها (نقاط فاقد بافت چربی) انجام شد.

### ۲-۴- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌ها بر اساس روش مورد استفاده توسط لاگرسدت<sup>۷</sup> و همکاران [۲۴]، با اندکی اصلاحات انجام شد. در پژوهش حاضر، به منظور ارزیابی حسی نمونه‌ها، نمونه‌های گوشت با فویل‌های آلومینیومی پوشانده و در یک آون معمولی در دمای  $150^\circ C$  پخته شد. نمونه‌ها در دمای اتاق خنک و تا زمان آزمون حسی در دمای  $4^\circ C$  نگهداری شدند. نمونه‌های پخته شده به قطعات کوچک‌تر بریده و در ظروف سفید یک‌بار مصرف

نمودار دما در مقابل زمان به منظور نشان دادن نرخ انجماد ترسیم گردید.

## ۲-۳- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

### ۲-۳-۱- pH

به منظور اندازه‌گیری نمونه‌ها، ۵ گرم از هر نمونه گوشت به همراه ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از یک دستگاه هموژنایزر<sup>۱</sup> با  $12000 \text{ rpm}$  به مدت ۱ دقیقه هموزن شد. سپس pH نمونه‌ها در دمای اتاق توسط یک دستگاه pH متر (Metrohm, model 727، ساخت کشور سوئیس) کالیبره شده با بافرهای ۴ و ۷ در ۳ تکرار تعیین شد [۲۱].

### ۲-۳-۲- افت انجماد و یخ‌زدایی

به منظور اندازه‌گیری افت انجماد<sup>۲</sup> و یخ‌زدایی<sup>۳</sup> به ترتیب از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد [۲۱-۲۲]. اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

$$\text{Freezing loss (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Thawing loss (\%)} = \frac{(W_2 - W_3)}{W_2} \times 100 \quad (2)$$

در روابط بالا  $W_1$ ،  $W_2$  و  $W_3$  به ترتیب وزن گوشت قبل از انجماد، وزن گوشت پس از انجماد و وزن گوشت پس از انجماد زدایی می‌باشند.

### ۲-۳-۳- ظرفیت نگهداری آب

ظرفیت نگهداری آب<sup>۴</sup> نمونه‌های گوشت با استفاده از روش کیم<sup>۵</sup> و همکاران [۲۱] تعیین شد. برای این منظور ۱ گرم نمونه را در یک لوله سانتریفیوژ به همراه پنبه قرار داده شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از یک دستگاه سانتریفیوژ با دور  $1500 \text{ g}$  به مدت ۱۰ دقیقه در دمای  $4^\circ C$  سانتریفیوژ شدند. سپس ظرفیت نگهداری آب با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

1. Homogenizer
2. Freezing loss
3. Thawing loss
4. Water holding capacity (WHC)
5. Kim

6. MATLAB  
7. Lagerstedt

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نرخ انجماد

همان‌طور که در شکل ۳ قابل‌مشاهده است، نتایج مطالعه نرخ انجماد نشان داد که مشخصه زمان انجماد (مدت زمانی که دمای مرکز نمونه‌های گوشت قرمز از نقطه شروع انجماد تا ۱۸- درجه سلسیوس تغییر کرد) برای فریزر معمولی ۲۲۱ دقیقه و برای فریزر ترموالکتریک ۸۵ دقیقه بود. این نتیجه حاکی از آن بود که انجماد به وسیله روش نوین ترموالکتریک می‌تواند تا ۲/۶ برابر سریع‌تر از انجماد به وسیله فریزرهای رایج، نمونه‌های گوشت قرمز را منجمد کند. مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش نرخ انجماد آسیب کمتری به گوشت قرمز وارد می‌شود [۲۷]، بنابراین استفاده از روش ترموالکتریک برای انجماد می‌تواند علاوه بر کاهش مدت‌زمان فرایند سبب حفظ کیفیت گوشت شود.

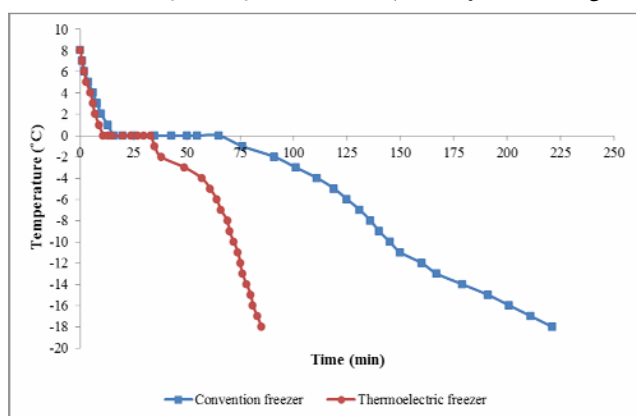


Fig 3 Decrease of meat temperature during convention and thermoelectric freezing.

#### ۳-۲- pH

نتایج اثر روش‌های انجماد ترموالکتریک و معمولی بر pH گوشت قرمز در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن بود که افت pH در نمونه گوشت‌های منجمد شده به وسیله فریزر معمولی به‌طور قابل‌توجهی ( $p < 0.05$ ) بیشتر از نمونه‌های گوشت منجمد شده توسط فریزر ترموالکتریک بود.

و شماره‌گذاری شده (اعداد ۳ رقمی تصادفی) قرار داده شد. ظروف حاوی نمونه سپس در اختیار گروه داوران که شامل یک گروه ۱۰ نفره (مرد و زن) بودند، قرار داده شد. ویژگی‌های حسی شامل رنگ، بو، مزه، تردی<sup>۱</sup>، آبداری<sup>۲</sup> و پذیرش کلی بر اساس یک آزمون هدونیک ۹ نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این آزمون نمونه‌هایی با شدت دوست داشتن زیاد نمره ۹ و نمونه‌هایی با شدت دوست نداشتن زیاد نمره ۱ و نمونه‌های حد واسط نیز نمره ۵ گرفتند.

#### ۲-۵- کیفیت میکروبی

برای آنالیز میکروبی، ۱۵ گرم نمونه به‌صورت اسپتیک از گوشت جدا و با استفاده از یک استوماکر<sup>۳</sup> با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب پپتونه ۱ درصد (w/v) به مدت ۶۰ ثانیه هموزن شد. سپس رقت‌های سری ۱۰ برابر تهیه و بر اساس دستورالعمل زیر این رقت‌ها کشت داده شد: شمار کلی<sup>۴</sup> (TVC) با استفاده از محیط PCA در دمای ۳۲°C به مدت ۴۸ ساعت؛ شمارش کپک و مخمر با استفاده از محیط ساپرود دگستروز ۲ درصد آگار<sup>۵</sup> (SDA)، انکوباسیون در ۲۵°C به مدت ۵ روز. شمارش میکروبی به صورت لگاریتم CFU بر گرم ( $\log \text{CFU g}^{-1}$ ) بیان شد [۲۶-۲۵].

#### ۲-۶- آنالیز آماری

این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام و جهت آنالیز داده‌ها از تجزیه واریانس<sup>۶</sup> (ANOVA) استفاده شد. همچنین به منظور تعیین معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) اختلاف میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۷</sup> استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS SAS Institute Inc., Cary, NC, USA نسخه ۹/۱ صورت پذیرفت.

1. Tenderness
2. Juiciness
3. Stomacher
4. Total viable counts
5. Sabouraud Dextrose 2% Agar
6. Analysis of variance
7. Duncan

زدایی سبب کاهش pH فرآورده به دلیل خروج الکترولیتها می شود. در سوی دیگر، کیم<sup>۲</sup> و لی<sup>۳</sup> [۲۹] گزارش کردند که انجماد و یخ زدایی سبب افزایش pH می شود. همچنین موئلا<sup>۴</sup> و همکاران [۳۰] بیان کردند که pH گوشت تازه نسبت به گوشت پس از یخ زدایی تفاوت آماری معنی داری ندارد.

### ۳-۴- افت انجماد و یخ زدایی

نتایج اثر روش های انجماد ترموالکتریک و معمولی بر افت انجماد و افت یخ زدایی گوشت قرمز در جدول ۱ نشان داده شده است. این نتایج نشان داد که روش انجماد تأثیر معنی داری بر شاخص افت انجماد گوشت قرمز نداشت ( $p > 0.05$ ). با این وجود، نتایج اثر روش های انجماد ترموالکتریک و معمولی بر افت یخ زدایی گوشت قرمز حاکی از آن بود که روش انجماد تأثیر قابل توجهی ( $p < 0.05$ ) بر شاخص افت یخ زدایی گوشت قرمز داشت. بالاتر بودن مقدار افت یخ زدایی در تیمار گوشت منجمد شده توسط فریزر معمولی می تواند ناشی از سرعت پایین یخ زدایی در این تیمار باشد. تأثیر سرعت انجماد بر افزایش افت یخ زدایی در سایر پژوهش ها نیز گزارش شده است [۲۲-۲۱]. مورتسن<sup>۵</sup> و همکاران [۳۱] نشان دادند که دماهای پایین انجماد و سرعت های پایین انجماد سبب افزایش افت یخ زدایی در گوشت قرمز می شود.

### ۳-۵- ظرفیت نگهداری آب

به طور کلی گوشت قرمز حاوی تقریباً ۷۵ درصد آب است که طی فرآیندهای مختلف ذبح، انجماد، نگهداری و فرآوری به آسانی مقداری از آب خود را از دست می دهد. گزارش شده است که افت آب گوشت تازه بین ۱ تا ۳ درصد است، با این حال فرآیندهایی از جمله انجماد می تواند سبب افت آب گوشت قرمز تا درصدهای بالاتری شوند. توانایی گوشت قرمز در نگهداری همه یا بخشی از آب خود را ظرفیت نگهداری آب که یکی از ویژگی های کیفی مهم گوشت است، می نامند [۳۲]. در پژوهش حاضر نتایج اثر روش های انجماد ترموالکتریک و معمولی بر ظرفیت نگهداری آب گوشت قرمز در جدول ۱ گزارش شده است. این نتایج نشان داد که روش انجماد تأثیر

**Table 1** Effect of freezing methods on physico-chemical properties of meat.

Treatment	Fresh meat	Frozen meat at convention freezer	Frozen meat at thermoelectric freezer
pH	6.95 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.69 ± 0.06 <sup>c</sup>	6.80 ± 0.03 <sup>b</sup>
Freezing loss (%)	-	0.63 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.10 <sup>b</sup>
Thawing loss (%)	-	2.70 ± 0.30 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.20 <sup>b</sup>
WHC(%)	92.67 ± 3.16 <sup>a</sup>	82.40 ± 4.25 <sup>b</sup>	89.77 ± 0.76 <sup>a</sup>
L*	27.78 ± 0.71 <sup>a</sup>	22.50 ± 0.50 <sup>c</sup>	25.23 ± 0.68 <sup>b</sup>
a*	11.00 ± 1.00	10.66 ± 1.52	10.47 ± 0.50
b*	7.27 ± 0.38 <sup>a</sup>	4.40 ± 0.40 <sup>c</sup>	5.53 ± 0.45 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup> Means with different letters in the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ).

از آنجایی که pH مقدار یون آزاد هیدروژن موجود در محلول را اندازه گیری می کند، کاهش pH پس از انجماد و انجماد زدایی می تواند ناشی از تأثیر این فرآیندها بر دانتوراسیون پروتئین ها و آزاد شدن یون های هیدروژن باشد [۲۷]. خروج مایع از آب طی انجماد زدایی که با افزایش غلظت مواد محلول همراه است می تواند دلیل دیگری بر کاهش pH گوشت پس از انجماد و یخ زدایی باشد. همچنین دامیناسیون پروتئین ها به وسیله فعالیت های میکروبی و یا آنزیمی که سبب آزاد شدن اتم های هیدروژن می شوند را می تواند از دیگر دلایل کاهش pH گوشت قرمز دانست [۲۸]. مطالعات پیشین نتایج متناقضی را در رابطه با تأثیر انجماد و یخ زدایی بر pH گوشت نشان می دهند. برای مثال، لگوئیبه<sup>۱</sup> و همکاران [۲۷] گزارش کردند که انجماد و انجماد

2. Kim  
3. Lee  
4. Muela  
5. Mortensen

1. Leygonie

معنی‌داری بر شاخص  $a^*$  گوشت قرمز نداشت. عدم معنی‌داری شاخص رنگ سطح نمونه‌های گوشت منجمد و تازه ممکن ناشی از بازگشت رنگ گوشت پس از یخ‌زدایی باشد، زیرا میوگلوبین ممکن است پیکربندی طبیعی خود را باز یابد [۳۷].

نتایج اثر روش‌های رایج و ترموالکترونیک انجماد بر شاخص رنگی  $b^*$  گوشت قرمز نشان داد که روش انجماد تأثیر معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بر شاخص  $b^*$  سطح نمونه‌های گوشت قرمز داشت (جدول ۱). این نتایج حاکی از آن بود که انجماد سبب کاهش شاخص  $b^*$  نمونه‌های گوشت قرمز در مقایسه با نمونه کنترل می‌شود. این نتیجه می‌تواند ناشی از اثر انجماد بر آسیب به بافت گوشت و همچنین خروج آب از بافت گوشت طی یخ‌زدایی باشد. همچنین آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاهش شاخص  $b^*$  در گوشت قرمز منجمد شده توسط فریزر ترموالکترونیک که از نرخ انجماد بالاتری برخوردار بود، به‌طور قابل توجهی کمتر از گوشت قرمز منجمد شده توسط فریزر معمولی بود (جدول ۱). هائینان<sup>۶</sup> و همکاران [۳۸] نیز در پژوهشی نشان دادند که شاخص  $b^*$  نمونه‌های پتی<sup>۷</sup> با افزایش نرخ انجماد در فریزهای مختلف افزایش می‌یابد. موئلا و همکاران [۳۰] نیز طی پژوهشی نشان دادند کاهش نرخ انجماد سبب افت بیشتر شاخص  $b^*$  در نمونه‌های گوشت قرمز می‌شود.

### ۳-۷- ارزیابی حسی

نتایج اثر روش‌های انجماد ترموالکترونیک و معمولی بر شاخص‌های حسی رنگ، بو، مزه، تردی، آبدار و پذیرش کلی گوشت قرمز نشان داد که روش انجماد تأثیر قابل توجهی ( $P < 0.05$ ) بر ویژگی‌های حسی گوشت قرمز دارد (شکل ۳). نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که گروه ارزیاب‌های حسی به ترتیب بالاترین نمرات را به نمونه‌های گوشت قرمز کنترل، گوشت قرمز منجمد شده توسط فریزر ترموالکترونیک و گوشت قرمز منجمد شده توسط فریزر معمولی اختصاص دادند. مطالعات پیشین به خوبی نشان داده است که با انجماد و تشکیل کریستال‌های یخ در گوشت، صدمات ساختاری به فرآورده وارد می‌شود. انجماد سبب تغلیظ مواد حل شده در گوشت می‌شود که این امر به نوبه خود با تغییر واکنش‌های بیوشیمیایی رخ داده در

معنی‌داری بر شاخص افت انجماد گوشت قرمز دارد ( $P < 0.05$ ). میلر<sup>۱</sup> و همکاران [۳۳] نیز همسو با نتایج پژوهش حاضر بیان کردند که با انجماد گوشت خوک ظرفیت نگهداری آب به دلیل آسیب به بافت آن کاهش قابل توجهی می‌یابد. نگاپو<sup>۲</sup> و همکاران [۳۴] نشان دادند که آسیب به غشاهای سلولی طی انجماد سبب خروج مایعات از فضای داخل سلولی به فضای خارج سلولی بافت‌های ماهیچه‌ای گوشت طی یخ‌زدایی می‌شود. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که وسعت آسیب به وجود آمده توسط انجماد به بافت گوشت بستگی به اندازه بلورهای یخ که خود تابع سرعت انجماد است، دارد [۳۰ و ۳۵]. در پژوهش حاضر نتایج مقایسه تیمارها نشان داد که انجماد به روش ترموالکترونیک تأثیر به‌سزایی حفظ ظرفیت نگهداری آب نسبت به روش رایج انجماد دارد. این نتیجه می‌تواند ناشی از نرخ بالای انجماد و متعاقب آن آسیب کمتر به سلول‌ها و بافت گوشت نسبت به فریزر معمولی باشد.

### ۳-۶- رنگ

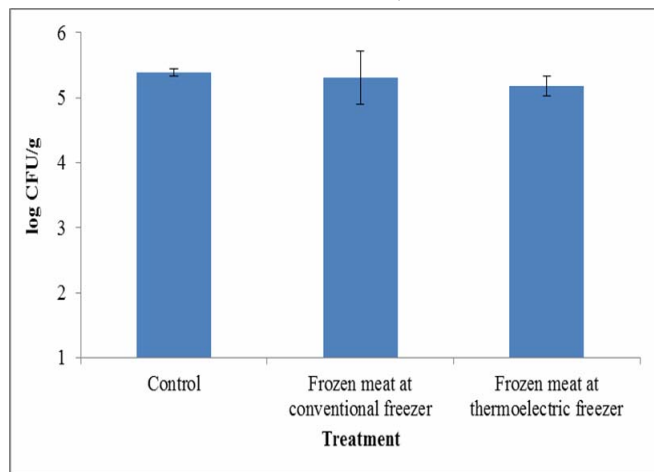
نتایج اثر روش‌های انجماد ترموالکترونیک و معمولی بر شاخص‌های رنگی گوشت قرمز در جدول ۱ گزارش شده است. نتایج اثر روش‌های انجماد ترموالکترونیک و معمولی بر شاخص رنگی  $L^*$  (روشنایی) آب گوشت قرمز نشان داد که استفاده از روش ترموالکترونیک نسبت به روش رایج، سبب افت کمتر شاخص  $L^*$  شد. موری<sup>۳</sup> و یانگ<sup>۴</sup> [۳۵] نشان دادند که، نمونه‌های گوشت قرمز تازه نسبت به نمونه‌های منجمد روشنایی بیشتری داشتند. همچنین در مطالعه دیگری، فاروک<sup>۵</sup> و همکاران [۳۶] گزارش کردند که سرعت پایین انجماد سبب کاهش افت شاخص روشنایی در گوشت قرمز می‌شود. کاهش شاخص روشنایی تحت تأثیر انجماد می‌تواند ناشی از مقدار آب اندازی گوشت پس از انجماد باشد، به‌طوری که سرعت کمتر انجماد با آب اندازی بالاتر و متعاقب آن کاهش روشنایی بیشتری همراه است [۳۶].

نتایج اثر روش‌های انجماد ترموالکترونیک و معمولی بر شاخص رنگی  $a^*$  آب گوشت قرمز نشان داد که روش انجماد تأثیر

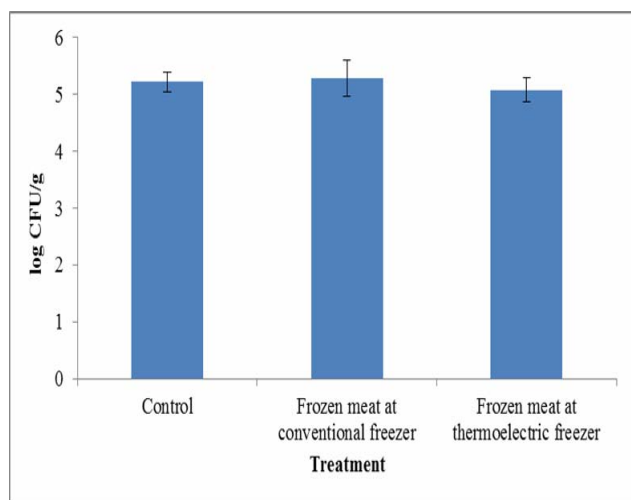
1. Miller
2. Ngapo
3. Moore
4. Young
5. Farouk

6. Haenian  
7. Patties

تغذیه‌ای از جمله آمینواسیدها و ویتامین‌ها همراه با خروج آب، رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها شدیدتر می‌شود [۴۰].



**Fig 5** Effect of freezing methods on changes in microbial total count of red meat.

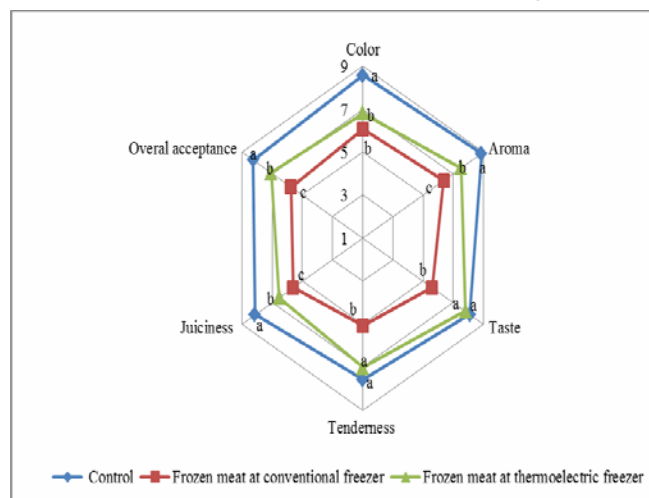


**Fig 6** Effect of freezing methods on changes in yeasts and moulds counts count of red meat

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که نرخ انجماد گوشت قرمز در فریزر ترموالکتریک به مراتب بالاتر از نرخ انجماد گوشت قرمز توسط فریزرهای معمولی بود. نرخ انجماد بالاتر گوشت قرمز می‌تواند مزیت‌های زیادی به همراه داشته باشد. از جمله این مزیت‌ها کاهش آسیب به بافت گوشت و متعاقب آن حفظ بهتر ویژگی‌های کیفی گوشت (افت کمتر pH، تغییر کمتر رنگ، افت پایین‌تر یخ‌زدایی و افت پایین‌تر ظرفیت نگهداری آب) بود.

سطح سلولی همراه است. مجموع اتفاقات رخ داده در گوشت قرمز طی انجماد اثر منفی قابل‌توجهی بر ویژگی‌های کیفی گوشت می‌گذارند [۲۷]. بنابراین همان‌طور که قابل پیش‌بینی بود، با افت ویژگی‌های کیفی گوشت قرمز طی انجماد، ویژگی‌های حسی نیز افت پیدا کرد. مطالعات پیشین نیز به خوبی نشان‌دهنده تأثیر منفی انجماد بر افت ویژگی‌های حسی گوشت بود [۲۴ و ۳۹]. در انجماد ترموالکتریک، همان‌طور که نتایج نشان داد، گوشت منجمد با افت ویژگی‌های کم‌تری نسبت به انجماد به روش معمول همراه بود (شکل ۴). بنابراین استفاده از تکنولوژی ترموالکتریک به منظور انجماد گوشت قرمز می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر حفظ ویژگی‌های حسی فرآورده داشته باشد.



**Fig 4** Effect of freezing methods on sensory properties of meat.

#### ۳-۸- کیفیت میکروبی

آنالیز میکروبی نمونه‌های گوشت منجمد شده به روش‌های معمول و ترموالکتریک نشان داد که انجماد تأثیر معنی‌داری بر کاهش شمارش کلی، کپک و مخمرهای گوشت قرمز ندارد (شکل‌های ۵ و ۶). همانند نتایج پژوهش حاضر، مرور مطالعات پیشین نیز به خوبی نشان می‌دهد که نه انجماد و نه یخ‌زدایی سبب کاهش شمار میکروب‌های زنده گوشت نمی‌شوند [۲۷ و ۴۰] با این وجود انجماد به خوبی سبب غیرفعال کردن میکروب‌های عامل فساد و بیماری‌زا در گوشت می‌شود. البته متأسفانه، طی یخ‌زدایی این میکروب‌ها فعالیت و رشد خود را از سر می‌گیرند، به شکلی که در بعضی مواقع به سبب خروج مواد



- Journal of Process Mechanical Engineering, 217 (3): 267–273.
- [10] Ziegler, F, 2002, State of the art in sorption heat pumping and cooling technologies, International Journal of Refrigeration, 25: 450–459.
- [11] Chunnanond, K., & Aphornratana, S, 2004, Ejectors: applications in refrigeration technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8: 129–155.
- [12] Lane, N. W., 2005, Commercialization status of free-piston Stirling machines, in: 12<sup>th</sup> International Stirling Engine Conference, Durham, UK.
- [13] Bammann, T.C., Howard, C.Q., & Cazzolato, B.S, 2005, Review of flow-through design in thermoacoustic refrigeration, in: Proceedings of ACOUSTICS, 9–11 November, Busselton, Western Australia.
- [14] Tassou, S., De-Lille, G., & Ge, Y, 2009, Food transport refrigeration—Approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. Applied Thermal Engineering. 29(8):1467-77.
- [15] Godfrey, S, 1996, An introduction to thermoelectric coolers, Electronics cooling, 30: 2-4.
- [16] Riffat, S.B., & Ma, X, 2003, Thermoelectrics: a review of present and potential applications, Applied Thermal Engineering, 23(8):913-35.
- [17] Chatterjee, S., Pandey, K, 2003, Thermoelectric cold-chain chests for storing/transporting vaccines in remote regions, Applied energy, 76(4):415-33.
- [18] Bierschenk, J., Gilley, M., 2006, Assessment of TEC thermal and reliability requirements for thermoelectrically enhanced heat sinks for CPU cooling applications, Thermoelectrics, ICT'06 25th International Conference on: IEEE.
- [19] Bojić, M., Savanović, G., Trifunović, N., Radović, L., & Šaljić, D, 1997, Thermoelectric cooling of a train carriage by using a coldness-recovery device, Energy, 22(5):493-500.
- [20] Delgado, A., Zheng, L., & Sun, D-W, 2009, Influence of Ultrasound on Freezing Rate of Immersion-frozen Apples, Food and Bioprocess Technology, 2:263–270.
- [21] Kim, K-I., Shim, J-B., Yoo, S-M., Min, S-G., Lee, S., Jo, Y-J., et al, 2015, Effects of همچنین افزایش نرخ انجماد علاوه بر حفظ قابل توجه کیفیت گوشت، افزایش راندمان انجماد را به همراه خواهد داشت. بنابراین نتایج این پژوهش مناسب بودن تکنولوژی ترموالکتریک را برای انجماد گوشت قرمز به منظور کاهش افت کیفی گوشت و همچنین کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نشان داد.

## منابع

- [1] McAfee, A.J., McSorley, E.M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M., Bonham, M. P., et al, 2010, Red meat consumption: An overview of the risks and benefits, Meat science, 84(1):1-13.
- [2] Sun, D-W., & Hu, Z, 2003, CFD simulation of coupled heat and mass transfer through porous foods during vacuum cooling process, International Journal of Refrigeration, 26(1):19-27.
- [3] Sun, D-W., & Zheng, L, 2006, Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future, Journal of Food Engineering, 77(2):203-14.
- [4] Xia, X., Kong, B., Liu, Q., & Liu, J, 2009, Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. Meat Science. 83(2):239-45.
- [5] Sebranek, J, 1982, Use of cryogenics for muscle foods, Food technology.
- [6] Barbut, S., & Mittal, G, 1990, Influence of the freezing rate on the rheological and gelation properties of dark poultry meat, Poultry Science. 69(5):827-32.
- [7] Tassou, S., Lewis, J., Ge, Y., Hadaway, A., & Chaer, I. (2010), A review of emerging technologies for food refrigeration applications, Applied Thermal Engineering. 30(4):263-76.
- [8] Tassou, S., Chaer, I., Sugiarta, N., Ge, Y.T., & Marriott, D, 2007, Application of trigeneration systems to the food retail industry, Energy Conversion and Management, 48 (11): 2988–2995
- [9] Williamson, N.J., & Bansal, P.K, 2005, Feasibility of air cycle systems for lowtemperature refrigeration applications with heat recovery, Proceedings of I MechE, Part E:

- [31] Mortensen, M., Andersen, H.J., Engelsen, S.B., & Bertram, H.C, 2006, Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities, *Meat Science*, 72(1):34-42.
- [32] Xiong, Z., Sun, D-W., Zeng, X-A., & Xie, A, 2014, Recent developments of hyperspectral imaging systems and their applications in detecting quality attributes of red meats: A review, *Journal of Food Engineering*, 132: 1-33.
- [33] Miller, A.J., Ackerman, S.A., & Palumbo, S.A, 1980, Effects of frozen storage on functionality of meat for processing, *Journal of Food Science*, 45(6):1466-1471.
- [34] Ngapo, T., Babare, I., Reynolds, J., & Mawson, R, 1999, Freezing rate and frozen storage effects on the ultrastructure of samples of pork, *Meat science*, 53(3):159-68.
- [35] Moore, V.J., & Young, O.A 1991, The effects of electrical stimulation, thawing, ageing and packaging on the colour and display life of lamb chops, *Meat Science*, 30(2): 131-145.
- [36] Farouk, M.M., Wieliczko, K.J., & Merts, I, 2003, Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef, *Meat Science*, 66(1); 171-179.
- [37] Fernández, P.P., Sanz, P.D., Molina-García, A.D., Otero, L., Guignon, B., & Vaudagna, S.R, 2007, Conventional freezing plus high pressure-low temperature treatment: Physical properties, microbial quality and storage stability of beef meat, *Meat Science*, 77(4):616-25.
- [38] Haenian, R., Mittal, G.S., Osborne, W.R, 1989, Effects of pre-chilling, freezing rate, and storage time on beef patty quality, *Journal of Food Science*, 54(3): 532-535.
- [39] Hildrum, K.I., Solvang, M., Nilsen, B.N., Frøystein, T., & Berg, J, 1999, Combined effects of chilling rate, low voltage electrical stimulation and freezing on sensory properties of bovine *M. Longissimus dorsi*, *Meat Science*, 52: 1-7.
- [40] Akhtar, S., Issa Khan, M., & Faiz, F, 2013, Effect of Thawing on Frozen Meat Quality: A comprehensive Review, *Journal of Food Science*, 23(4): 198-211.
- various freezing and thawing techniques on pork quality in ready-to-eat meals. *African Journal of Food Science*,9(11):525-33.
- [22] Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T., Takai, R, 2007, Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing, *Journal of Food Engineering*, 80 292-9.
- [23] Quevedo, R., Díaz, O., Caqueo, A., Ronceros, B., Aguilera, J, 2009, Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L\* color information from digital images, *LWT-Food Science and Technology*, 42(8):1367-73.
- [24] Lagerstedt, Å., Enfält, L., Johansson, L., & Lundström, K, 2008, Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*, *Meat science*, 80(2):457-61.
- [25] Berruga, M., Vergara, H., & Gallego, L, 2005, Influence of packaging conditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat, *Small Ruminant Research*, 57(2):257-64.
- [26] Garriga, M., Grebol, N., Aymerich, M., Monfort, J., & Hugas, M, 2004, Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4):451-7.
- [27] Leygonie, C., Britz, T.J., & Hoffman, L.C, 2012, Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat science*, 91(2):93-8.
- [28] Leygonie, C., Britz, T.J., & Hoffman, L.C, 2011, Oxidative stability of previously frozen ostrich *Muscularis iliofibularis* packaged under different modified atmospheric conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(6):1171-8.
- [29] Kim, B.S., & Lee, Y.E, 2011, Effect of antioxidant on quality of ground beef during the refrigeration storage. *Korean Journal of Food and Nutrition*, 24(3):422-433.
- [30] Muela, E., Sañudo, C., Campo, M., Medel, I., & Beltrán, J, 2010, Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display, *Meat science*, 84(4):662-9.

## Effects of Thermoelectric Freezing on Physico-Chemical Properties, Sensorial Characteristics and Microbial Quality of Red Meat

Sayari, A. <sup>1</sup>, Javanmard, M. <sup>2\*</sup>, Sarami, Sh. <sup>3</sup>

1. Ms.c. Graduated, Food Science, Islamic Azad University, Pharmaceutical Sciences Branch, Tehran, Iran

2. Associate Prof., Department of Chemical Engineering, Iranian Research Organization for Science & Technology (IROST), Tehran, Iran

3. Assistant Prof., Department of Agriculture, Iranian Research Organization for Science & Technology (IROST), Tehran, Iran

(Received: 2016/09/23 Accepted:2017/07/26)

In this study, the effects of thermoelectric technology as a new freezing method and conventional system on changes in color (CIE L\*, a\* and b\*), pH, freezing loss (FL) (%), thawing loss (TL) (%), water holding capacity (WHC) (%), microbial content and sensorial characteristics of beef meat were investigated. Results showed that thermoelectric freezer had a higher freezing rate compared to the conventional system. The pH value was significantly ( $p < 0.05$ ) lower in conventional freezing system. The meat frozen in thermoelectric freezer showed the significantly ( $p < 0.05$ ) lower L\* and TL and considerably ( $p < 0.05$ ) higher WHC compared to the meat frozen in conventional system. Sensory evaluation showed that meat frozen in thermoelectric freezer had significantly ( $p < 0.05$ ) higher sensorial scores. Results revealed that freezing methods not significant effects on microbial growth of meat samples.

**Keywords:** Red meats, Meat qualities, Freezing, Thawing, Thermoelectric technology

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: Javanmard@irost.ir