

## اثر دما و سرعت انجماد بر کیفیت و مورفولوژی کریستال‌های یخ در گوشت گوسفند

محسن دلوی اصفهان<sup>۱\*</sup> و ناصر همدمی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۲

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

\* مسئول مکاتبه: Email: Mohsen.Dalvi@Gmail.Com

### چکیده

افزایش سرعت انجماد می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت محصولات منجمد داشته باشد. اهداف این مطالعه تعیین اثر دماهای مختلف انجماد (۲۰-، ۳۰- و ۴۰- درجه سانتی‌گراد) بر مورفولوژی کریستال‌های یخ و اثر آن بر ویژگی‌های کیفی گوشت گوسفند می‌باشد. پس از انجماد در دماهای مختلف، نمونه‌های گوشت رفع انجماد شده و ویژگی‌های کیفی شامل میزان خونابه بافت و رنگ محصول با روش دستگامی تعیین گردید. میکروسکوپ نوری به منظور تعیین اثر فرآیند انجماد بر ریزساختار گوشت مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که دمای انجماد تغییرات قابل توجهی در ریزساختار گوشت ایجاد می‌کند. قطر معادل کریستال‌های یخ در دماهای ۲۰-، ۳۰- و ۴۰- درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۲/۵۸، ۱۹/۳۶ و ۱۷/۴۸ میکرومتر بود و مساحت نسبی کل کریستال‌های یخ در سه دمای فوق به ترتیب ۵۲/۳۲، ۴۹/۸۴ و ۴۶/۳۶ درصد تعیین شد. نتایج همچنین نشان داد که میزان خونابه گوشت با کاهش دمای فریزر، کاهش می‌یابد. ولی دماهای مختلف انجماد اثر معنی‌داری بر روی رنگ نمونه، بافت (سفتی گوشت) و شکل کریستال‌های یخ نشان نداد.

**واژگان کلیدی:** ریزساختار، سرعت انجماد، گوشت گوسفند، مورفولوژی کریستال یخ

### مقدمه

۱۱ کیلوگرم می‌باشد. خانوارهای شهری ۲۴٪ از پروتئین خود را از طریق مصرف گوشت قرمز به دست می‌آورند. میزان تولید گوشت قرمز در سال‌های ۹۲ حدود ۷۵۵ هزار تن تعیین شده است و در طی همین سال بالغ بر یک میلیون و دویست هزار تن به کشورهای حوزه خلیج فارس صادر گردیده است در مقابل در همین دوره نزدیک به ۱۰ درصد از نیاز کشور نیز از طریق واردات تامین گشت. کشورهای برزیل، بلژیک و ایرلند مهم‌ترین کشورهای تامین کننده

گوشت قرمز به عنوان یکی از عمده ترین مواد غذایی مصرفی انسان‌ها شناخته شده که با دارا بودن مقدار سرشاری از پروتئین، انرژی و ویتامین‌های گروه ب، مواد معدنی و اسیدهای آمینه ضروری جزء منابع غذایی مغذی و ارزشمند محسوب میگردد. بر اساس آمار اعلام شده توسط انستیتوی تغذیه کشور، سهم گوشت قرمز در الگوی غذایی متعادل برای هر یک از افراد جامعه به طور متوسط روزانه ۳۰ گرم و سالیانه

گوشت قرمز در ایران می‌باشند (چراغی ۱۳۸۹ و احمدی و همکاران ۱۳۹۳).

در این بین صنعت تبرید تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش زمان نگهداری، کنترل بازار مصرف و واردات این حجم از گوشت قرمز ایفا می‌کند. لذا به دست آوردن روش انجماد مناسبی که بتواند کیفیت گوشت در حین انجماد را به خوبی حفظ نماید از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. به طور کلی گوشت در حین انجماد و در طول مدت زمان نگهداری دچار آسیب می‌شود. آسیب‌های ناشی از انجماد مواد غذایی را می‌توان در سه دسته اصلی تغلیظ مواد محلول، آسیب مکانیکی ناشی از افزایش حجم آب و از دست دادن آب به دلیل ایجاد اختلاف فشار اسمزی درون و بیرون سلول طبقه بندی نمود (رید ۱۹۹۳). در حین نگهداری نیز در اثر نوسانات دمایی، مورفولوژی (اندازه، شکل و تعداد) کریستال‌ها دچار تغییر می‌شوند که این پدیده اصطلاحاً کریستالیزاسیون مجدد نامیده می‌شود (پتزوولد و اگولیرا ۲۰۰۹). علاوه بر این، واکنش‌های شیمیایی در حین نگهداری ادامه می‌یابد و شدت این واکنش‌ها بستگی به دمای نهایی نگهداری و یا مقدار آب غیر قابل انجماد گوشت دارد. بر اساس تعریف ارایه شده توسط بوگ - سونسون (۲۰۰۶) دمای هدفی که در آن ماده غذایی کاملاً منجمد در نظر گرفته می‌شود زمانی است که ۸۰٪ آب به صورت منجمد در آید. دمای ۱۸- درجه سانتی - گراد به عنوان دمای ایده آل برای نگهداری اکثر مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود. ولی برای گوشت در دمای نهایی ۴۰- درجه سانتی گراد مقدار آب غیر قابل انجماد کمی باقی می‌ماند و به همین دلیل دمای مناسب نگهداری برای گوشت شناخته می‌شود (اورلوسکا و همکاران ۲۰۱۴).

از شاخص‌های مهم کیفی گوشت که تحت تاثیر انجماد و رفع انجماد قرار می‌گیرند می‌توان به کاهش ظرفیت نگهداری آب و تشکیل خونابه در حین رفع انجماد، دناتوراسیون پروتئین‌ها و اکسیداسیون چربی‌ها، افت

رنگ محصول و کاهش میزان سفتی بافت اشاره کرد (رید ۱۹۹۳). یکی از روش‌های شناخته شده برای کاهش آسیب‌های ناشی از انجماد افزایش سرعت انجماد می‌باشد، سرعت انجماد ماده غذایی از نسبت اختلاف بین دمای اولیه و دمای نهایی ماده غذایی به مدت زمان انجماد به دست می‌آید (پرسون و لوندال ۱۹۹۳). این نسبت بستگی به اندازه و شکل محصول (بویژه ضخامت)، مکانیسم انتقال حرارت و دمای محیط سرد کننده دارد (شوالیه و همکاران ۲۰۰۰). سرعت انجماد بر روی پارامترهای اصلی تعداد، اندازه، شکل و توزیع کریستال‌های یخ تاثیر گذار می‌باشد. طبق قاعده کلی، هر چه قدر تعداد کریستال‌های یخ بیشتر باشد اندازه کریستال‌ها کوچک‌تر شده و به همان نسبت شدت آسیب کمتر می‌شود. شکل کریستال‌های یخ نیز مهم می‌باشد زیرا کریستال‌های گرد براحتی بر روی هم لغزیده و بافتی نرم را ایجاد می‌کنند در حالی‌که کریستال‌هایی که لبه دندان‌دار و سطح ناهموار دارند بافتی نامطلوب از لحاظ حسی ایجاد کرده و احتمال پارگی بافت سلولی را نیز افزایش می‌دهند (کیانی و سان ۲۰۱۱).

اثر سرعت انجماد بر خواص کیفی گوشت قرمز توسط محققین بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است. کیم و همکاران (۲۰۱۵) اثر دو روش انجماد سریع و روش کند بر روی گوشت را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که انجماد سریع اثر معناداری بر روی نیروی برشی ندارد ولی به دلیل کاهش میزان خونابه می‌تواند افزایش ظرفیت نگهداری آب گوشت را باعث شود. در مطالعه دیگری یو و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که سرعت انجماد و سرعت رفع انجماد اثر معناداری بر روی مقدار خونابه گوشت خوک دارد. مطالعه اندازه کریستال‌های یخ با میکروسکوپ الکترونی نیز نشان داد که سرعت انجماد کند منجر به تشکیل کریستال‌های یخ در فضای بین سلولی می‌شود ولی در سرعت بالای انجماد بیشتر کریستال‌های یخ درون

گیری شد. سرعت انجماد در محدوده دمایی بین ۵- تا ۱۰- درجه سانتی‌گراد با استفاده از منحنی دما - زمان تعیین گردید. زمان انجماد محدوده زمانی لازم برای رسیدن دمای محصول از دمای اولیه تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد تعیین و محاسبه گردید (لی بیل و همکاران ۲۰۰۸ و زانتاکیس و همکاران ۲۰۱۴).

### ریزساختار گوشت

به منظور تعیین مورفولوژی کریستال‌های یخ از روش تعویض با تثبیت کننده هم دما استفاده شد. این روش به طور موفقیت آمیزی در محصولات مختلف غذایی مورد استفاده قرار گرفته است (زانتاکیس ۲۰۱۳). این روش شامل مراحل تثبیت، آب گیری، شفاف سازی، آغشته سازی، قالب گیری، مقطع گیری، رنگ آمیزی، چسبانیدن و مشاهده با میکروسکوپ می‌باشد.

نمونه‌ها به مدت ۲/۵ ساعت در داخل محلول تثبیت کننده کارنوی (الکل مطلق، کلروفرم و اسید استیک گلاشیال به نسبت ۶۰٪، ۳۰٪ و ۱۰٪ حجمی - حجمی) قرار گرفت. پس از پایان فرآیند تثبیت نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای فریزر (دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد) و ۲۴ ساعت در دمای محیط (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) آب گیری شدند و در ادامه نمونه‌ها به منظور عمل شفاف سازی سه مرحله در تولوئن به مدت ۳۰، ۳۰ و ۵۰ دقیقه قرار گرفتند. آغشته سازی و قالب گیری با پارافین گیری در اتو با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از بلوک‌های برنجی صورت پذیرفت. مقطع گیری با استفاده از دستگاه میکروتوم شرکت لایکا آلمان مدل (RM-2055) و با ضخامت ۳ میکرون صورت پذیرفت. و در نهایت نمونه‌ها با استفاده از رنگ آمیزی هماتوکسیلین - ائوزین به مدت دو دقیقه رنگ آمیزی گشتند. بعد از رنگ آمیزی لامل بر روی مقطع برش قرار داده شد و با استفاده از چسب کانادا بالزام عمل چسبانیدن و یا مونته کردن تکمیل گشت در ادامه از بخش مرکزی لام تهیه شده به روش فوق با بزرگنمایی ۱۰۰ عکسبرداری شد.

سلولی می‌باشند. نتایج مطالعات لاگراشدت و همکاران (۲۰۰۸) بر روی گوشت شترمرغ نیز نشان داد که انجماد و رفع انجماد اثر منفی بر کیفیت گوشت شتر مرغ داشته و افزایش سفتی، کاهش رنگ محصول، افزایش اکسیداسیون پروتئین‌ها و کاهش رطوبت در حین انجماد و رفع انجماد می‌تواند باعث کاهش بازارپسندی گوشت گردد. مطالعه حاضر بخشی از تحقیقات صورت گرفته در خصوص اثر دمای فریزر و زمان نگهداری بر کیفیت گوشت گوسفند و تعیین مورفولوژی کریستال‌های یخ (اندازه، شکل) می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

گوشت عضله سرینی متوسط (*Gluteus Medius*) گوسفند ۲۴ ساعت پس از کشتار و در دمای یخچال از فروشگاه محلی تهیه شد و به شکل استوانه‌ای شکل با قطر و ارتفاع ۱۰ میلی‌متر برش داده شد. وزن کم نمونه‌ها امکان تعیین اثر سرعت انجماد بدون اثرات منفی گرادیان دمایی که در نمونه‌هایی با وزن و ابعاد بزرگ ایجاد می‌شود را فراهم می‌سازد. به منظور یکنواختی و تعادل دمایی به مدت یک ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید و به منظور جلوگیری از کاهش رطوبت در حین نگهداری، نمونه‌ها با استفاده از فیلم پلی‌اتیلنی پوشش دهی شدند. میزان رطوبت نمونه‌ها با استفاده از روش AOAC, ۱۹۹۵ تعیین گردید. الکل اتیلیک، تولوئن، پارافین و دیگر مواد شیمیایی مصرفی در آزمایش ریز ساختار گوشت از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

### تعیین سرعت و زمان انجماد

به منظور تعیین سرعت انجماد نمونه‌ها از فریزر جریان هوای سرد استفاده شد. دمای انجماد ۲۰-، ۳۰- و ۴۰- درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای سرد ثابت و ۲ متر بر ثانیه بود. تغییرات دمای نمونه در فواصل زمانی دو دقیقه‌ای تا رسیدن دمای مرکز به ۱۸- درجه سلسیوس، با استفاده از ترموکوپل و ثبات داده اندازه

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad [۲]$$

در رابطه فوق  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  به ترتیب میزان روشنایی، میزان قرمزی و زردی گوشت بوده و شاخص های  $L_0^*$ ،  $a_0^*$  و  $b_0^*$  نیز میزان پارامترهای فوق قبل از انجماد می‌باشد (مانچینی و هانت، ۲۰۰۵ مک کلور و همکاران ۲۰۱۱).

### بافت

آزمون پروفایل بافت (TPA) با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (شرکت سنتام، ایران) با لود سل ۶ کیلویی، پروب با قطر ۴۰ میلی متر، سرعت ۲ میلی متر بر ثانیه، فشرده سازی نمونه‌ها به اندازه ۳۰٪ ضخامت اولیه نمونه و زمان تاخیر ۵ ثانیه بین دو مرحله فشرده سازی استفاده شد و پارامتر سفتی نمونه به دست آمد. سفتی بر اساس بیشترین نیرو برای تراکم نمونه بوده و از روی نمودار توسط بالاترین نیروی وارد شده به نمونه در سیکل اول معین شده و بر حسب نیوتن گزارش شد (میتال و همکاران ۱۹۹۲).

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 17.0 انجام گردید. آزمایشات در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه ارزیابی شد و روش آزمون حداقل تفاوت معنا دار (LSD) برای تعیین اختلاف بین میانگین‌ها بکار گرفته شد. آزمایشات در سه تکرار اجرا و نتایج بر اساس میانگین  $\pm$  انحراف معیار گزارش شده است.

### نتایج و بحث

#### سرعت و زمان انجماد

با توجه به اینکه مهم‌ترین ماده تشکیل دهنده گوشت، آب می‌باشد و به منظور تایید یکنواختی رطوبت در بین نمونه‌های مختلف آزمایش شده میزان رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد نتایج میزان رطوبت در گوشت تازه در محدوده نزدیک (۷۰/۲۸ - ۷۱/۱۷) قرار داشت که نشان-دهنده یکنواختی بین نمونه‌های مورد آزمایش می‌باشد.

به منظور تعیین پارامترهای اصلی مورفولوژیکی کریستال یخ، عکس‌های میکروگراف‌ها در نرم افزار image j (1.50a) مورد پردازش تصویر قرار گرفتند.

پارامترهای قطر میانگین کریستال یخ؛ متوسط مساحت نسبی کل<sup>۱</sup> و شکل کریستال‌های یخ (بعد فراکتال<sup>۲</sup>) در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

بعد فراکتال عددی بین ۱-۲ می‌باشد، هر چه مقدار این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان دهنده آن است که کریستال‌ها سطحی صاف و هموار دارند و هر چه به دو نزدیک‌تر شود نشان‌دهنده آن است که سطح کریستال‌ها ناهموار و زبر می‌باشد (بارلتا و باروبوسا ۱۹۹۳).

### خونابه

بلافاصله پس از رسیدن مرکز حرارتی نمونه‌ها به دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد، نمونه‌ها از فریزر خارج شده و توزین شدند و با استفاده از فیلم پلی‌اتیلنی به منظور جلوگیری از تبخیر رطوبت در حین رفع انجماد پوشش دهی گشتند. سپس به مدت سه ساعت در انکوباتور (وایز کیوب، کره جنوبی) با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد به منظور رفع انجماد نگهداری شدند. وزن نمونه پس از رفع انجماد مجدداً اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه زیر میزان خونابه تعیین گردید (اوتو و همکاران ۲۰۰۴).

### [۱]

درصد خونابه =  $\frac{\text{وزن نمونه بعد از انجماد} - \text{وزن نمونه پس از رفع انجماد}}{\text{وزن نمونه بعد از انجماد}} \times 100$

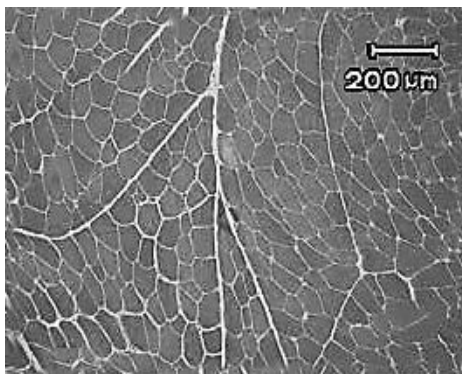
### رنگ

رنگ سطح نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج (نیپون مدل ZE-6000، ژاپن) با منبع نوری D<sub>65</sub> قبل از انجماد، بلافاصله بعد از انجماد و بعد از رفع انجماد تعیین و شاخص‌های  $L$ ،  $a$  و  $b$  تعیین گردیدند. شدت تغییرات رنگ در حین انجماد و رفع انجماد نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید.

<sup>1</sup> Averages of equivalent circular diameter

<sup>2</sup> Averages of total relative area

<sup>3</sup> Fractal Dimension

الف. (دمای  $^{\circ}\text{C}$  -۲۰)ب. (دمای  $^{\circ}\text{C}$  -۳۰)ج. (دمای  $^{\circ}\text{C}$  -۴۰)

د. (گوشت تازه)

شکل ۲ میکروگراف گوشت منجمد شده در دماهای  $-20^{\circ}\text{C}$ ،

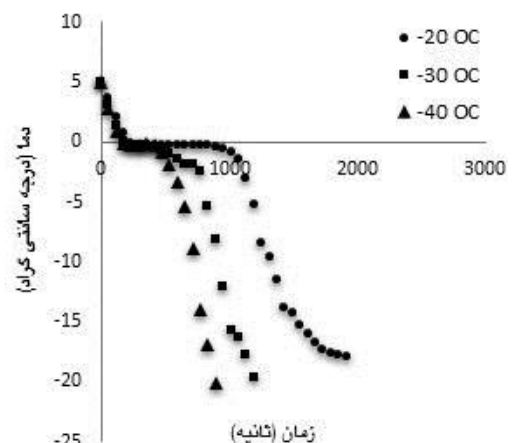
$-30^{\circ}\text{C}$ ،  $-40^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد و نمونه گوشت تازه

شکل ۱ پروفیل دما- زمان در مرکز حرارتی نمونه در طی انجماد نمونه در ۳ دمای مختلف فریزر را نشان می‌دهد. سرعت انجماد نمونه‌ها بر اساس تعریف انجماد بین‌المللی سرما و بر حسب درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تعیین شد. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش گرادیان دما بین فریزر و دمای محیط، زمان انجماد نمونه روند کاهشی را نشان می‌دهد به طوری‌که زمان انجماد با کاهش ۲۰ درجه‌ای دمای فریزر، بیش از ۱۸ دقیقه کاهش یافته است. این نتیجه قابل انتظار می‌باشد زیرا بر اساس رابطه پلانک با افزایش گرادیان دما بین دمای نمونه و دمای محیط انجماد زمان انجماد کاهش و سرعت انجماد افزایش نشان می‌دهد (جدول ۱).

جدول ۱- زمان و سرعت انجماد گوشت در دماهای مختلف\*

دمای فریزر ( $^{\circ}\text{C}$ )	-۲۰	-۳۰	-۴۰
زمان انجماد (دقیقه)	$32 \pm 1/2^a$	$19/16 \pm 1/8^{ab}$	$14 \pm 0/08^b$
سرعت انجماد (درجه سانتی‌گراد بر دقیقه)	$0/540 \pm 0/072^a$	$1/807 \pm 0/048^b$	$1/117 \pm 0/032^c$

\* اعداد، میانگین + انحراف معیار می‌باشند. در هر ردیف اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنادار می‌باشند ( $p > 0.05$ )



شکل ۱- پروفیل تغییرات دمای نمونه گوشت به عنوان تابعی از دمای فریزر

جدول ۲ - تغییرات مورفولوژی کریستال یخ در اثر تغییر دمای انجماد گوشت\*

دما (درجه سانتی‌گراد)	-۲۰	-۳۰	-۴۰
قطر میانگین (میکرومتر)	$22/58 \pm 7/16^a$	$19/36 \pm 4/35^a$	$17/48 \pm 5/12^a$
متوسط مساحت نسبی کل (درصد)	$52/32 \pm 5/45^a$	$49/84 \pm 6/35^b$	$46/36 \pm 6/61^c$
شاخص FD (۱-۲)	$1/76 \pm 0/07^a$	$1/73 \pm 0/031^a$	$1/73 \pm 0/048^a$

\* اعداد، میانگین  $\pm$  انحراف معیار می باشند. در هر ردیف اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می باشند ( $p > 0.05$ )

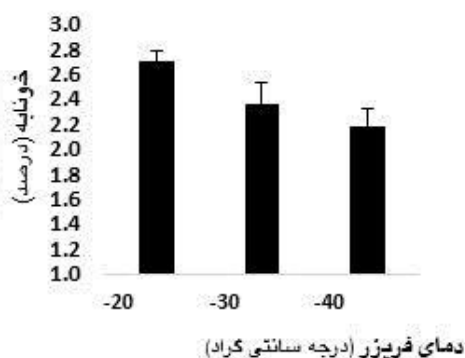
### ریز ساختار گوشت

شکل ۲ میکروگراف‌های گوشت گوسفند و تغییرات میکروسکوپی در بافت گوشت در اثر انجماد را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقدار قطر معادل و متوسط مساحت نسبی کل اشغال شده توسط کریستال‌های یخ با افزایش دمای فریزر روند نزولی را نشان می‌دهد، به طوری که قطر معادل کریستال‌های یخ از  $22/58$  میکرومتر در دمای  $-20$  درجه سانتی‌گراد به حدود  $17/48$  میکرومتر در دمای  $-40$  درجه سانتی‌گراد کاسته شد. دلیل این موضوع می‌تواند به تشکیل کریستال‌های ریزتر که در شکل نیز به صورت لکه‌های سفید رنگ مشخص می‌باشد مربوط شود. البته از لحاظ آماری تنها کاهش سطح کریستال‌های یخ معنادار بود. شاخص فراکتال نیز عددی تقریباً ثابت در دماهای مختلف را نشان می‌دهد که نشان دهنده آن است که شکل کریستال‌های یخ در اثر دمای فریزر تغییر چندانی نمی‌کند.

### خونابه

از دست دادن آب (خونابه) می‌تواند به افت کیفیت محصول و ارزش تغذیه‌ای آن، کاهش قابلیت اتصال با پروتئین و کاهش وزن محصول منجر شود که هر سه عامل از نقطه نظر فروش نیز حائز اهمیت می‌باشد این پارامتر به دو فاکتور اصلی عوامل ذاتی از قبیل نژاد، جیره دام و نوع عضله و عوامل سرد کنندگی از قبیل سرعت سرمایش و رفع انجماد بستگی دارد (لوری ۲۰۰۶). شکل ۳ تغییرات میزان خونابه در حین انجماد با سرعت انجماد مختلف را نشان می‌دهد

با توجه یکنواختی بین نمونه‌ها و سرعت رفع انجماد یکسان در نمونه‌های مختلف می‌توان سرعت انجماد را به عنوان عامل اصلی تفاوت در میزان خونابه گوشت در نظر گرفت. همانطور که از شکل مشاهده می‌شود با افزایش دمای فریزر میزان خونابه کاسته شده است دلیل این روند را می‌توان به کاهش آسیب‌های ناشی از انجماد ماده غذایی مرتبط دانست. این نتیجه‌گیری می‌تواند با نتایج حاصل از میکروگراف‌های گوشت نیز توضیح داده شود که با افزایش سرعت انجماد اندازه کریستال‌های یخ کاسته شده و در نتیجه میزان آسیب بافت کاهش یافته و میزان خونابه نیز کمتر شده است.



شکل ۳- اثر دمای انجماد بر میزان خونابه گوشت

نتایج مشابهی توسط انون و کالویلو (۱۹۸۰)، گاپو و همکاران (۱۹۹۹) و کیم و همکاران (۲۰۱۵) در خصوص اثر سرعت انجماد بر میزان خونابه گوشت گزارش شده است.

## رنگ

یکی از خصوصیات مهم گوشت رنگ آن است و اثر مهمی بر تصمیم‌گیری مصرف‌کننده به منظور خرید گوشت دارد زیرا معمولاً با کیفیت گوشت در ارتباط می‌باشد (مانچینی و هانت ۲۰۰۵). شیمی رنگ گوشت، شیمی رنگدانه‌های میوگلوبین و هموگلوبین است که از گذشته دور به عنوان رنگ گوشت شناخته می‌شوند. در حین انجماد و رفع انجماد به دلیل خروج بخشی از میوگلوبین به همراه خونابه، رنگ گوشت افت محسوسی می‌کند. در سرعت انجماد خیلی بالا رنگ پریدگی در گوشت مشاهده می‌شود. دلیل این موضوع به رشد کریستال‌های یخ مربوط می‌شود. کریستال‌های ریز که در اثر سرعت انجماد بالا ایجاد می‌شوند نور بیشتری را در مقایسه با کریستال‌های بزرگ پراکنده می‌کنند و از این رو گوشتی که سریع منجمد شده باشد دارای رنگی پریده و مات می‌باشد و گوشتی که در به صورت کند منجمد شده باشد نیمه مات و تیره می‌شود (لوری ۲۰۰۶). با این وجود اختلاف معناداری بین رنگ نمونه‌ها قبل و بعد از رفع انجماد مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ). جدول ۳. علت این موضوع به اختلاف دمایی کم بین تیمارهای مختلف می‌تواند مرتبط باشد (لیند و همکاران ۱۹۷۱). علاوه بر این همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود تغییرات رنگ بعد از انجماد عدد بزرگتری را نسبت به رفع انجماد نشان می‌دهد که علت این امر به دلیل تغلیظ رنگدانه‌ها و افزایش شاخص‌های a (قرمزی) و b (زردی) در حین انجماد مرتبط می‌باشد (کاستیگلیگو و همکاران ۲۰۱۲ و مانچینی و همکاران ۲۰۰۵).

## بافت

در بین پارامترهای مختلف آنالیز بافت، سفتی به عنوان مهم‌ترین عامل از منظر فروش و مصرف‌کننده شناخته شده است (روئیز و همکاران ۲۰۰۵). شکل ۴ تغییرات سفتی بافت گوشت در طی رفع انجماد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان سفتی گوشت غیرمنجمد حدود ۲۶/۲ نیوتن می‌باشد ولی بعد از

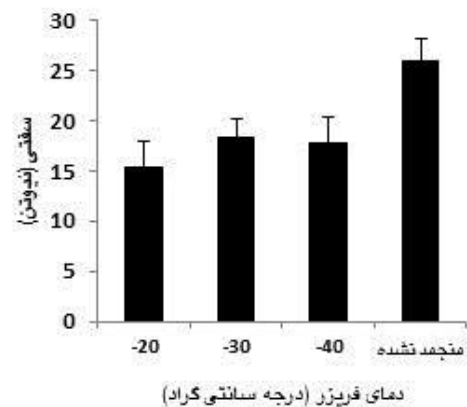
انجماد مقدار این پارامتر کاهش معناداری را نشان می‌دهد. در خصوص اثر انجماد بر بافت گوشت دو نظریه وجود دارد بر طبق یک نظریه در طول مدت انجماد به دلیل تشکیل کریستال‌های یخ و آسیب ناشی از فرآیند انجماد، میزان سفتی گوشت کاسته می‌شود (لیگونی و همکاران ۲۰۱۲)، در مقابل، نظریه دیگر معتقد است که به دلیل خروج خونابه از گوشت، رطوبت لازم برای هیدراته کردن فیبرهای عضلانی کاسته شده، و به همین دلیل نیروی برشی افزایش نشان می‌دهد و در نتیجه بر سفتی بافت نیز افزوده می‌شود (لارگراشت و همکاران ۲۰۰۸). نتایج این مطالعه تایید کننده نظریه اول می‌باشد. بعلاوه نتایج نشان داد که دمایی فریزر اثر معناداری بر روی سفتی بافت ندارد ( $p > 0.05$ ). نتایج کیم و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد که سرعت انجماد اثری بر نیروی برشی گوشت گاو ندارد.

جدول ۳- تغییرات رنگ نمونه بعد از انجماد و پس از رفع

انجماد*		
تغییرات رنگ پس از رفع انجماد ( $\Delta E$ )	تغییرات رنگ بعد از انجماد ( $\Delta E$ )	دمای فریزر (درجه سانتی گراد)
$4/48 \pm 0/3^b$	$8/01 \pm 0/5^a$	-۲۰
$5/27 \pm 0/3^b$	$7/78 \pm 0/6^a$	-۳۰
$3/30 \pm 0/6^b$	$8/67 \pm 0/3^a$	-۴۰

\* اعداد، میانگین  $\pm$  انحراف معیار می‌باشند. در هر ستون اعداد با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند ( $p > 0.05$ ).

گوسفندی مورد مطالعه قرار گرفت نتایج نشان می‌دهد که دمای فریزر می‌تواند باعث کاهش اندازه و سطح کریستال یخ شود ولی تاثیر قابل توجهی بر روی شکل کریستال‌ها و بر روی کیفیت (رنگ و بافت) گوشت حاصله ندارد. با این وجود با افزایش سرعت انجماد میزان خونابه کاهش می‌یابد. البته در مطالعه دیگری به اثر نگهداری در دماهای مختلف فریزر بر روی کیفیت گوشت پرداخته میشود. با تعیین اثر دو عامل سرعت انجماد و زمان نگهداری می‌توان شرایط بهینه انجماد گوشت را از لحاظ اقتصادی و کیفیت تعیین نمود.



شکل ۴ - اثر دمای انجماد بر بافت گوشت

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر دمای فریزر در سه سطح، -۲۰، -۳۰ و -۴۰ درجه سانتی‌گراد بر روی کیفیت گوشت

### منابع مورد استفاده

- احمدی ک، عبادزاده ح، محمد نیا افروزی ش، طاقانی ر ع، سعادت اختر ع، ۱۳۹۳، بررسی روند تولید فرآورده‌های پروتئینی کشور، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات . ۷۶ .
- چراغی د، قلی پور س. ۱۳۸۹. مروری بر عمده‌ترین چالش‌های گوشت قرمز در ایران. بررسی‌های بازرگانی. ۴۱ (۱۱۰-۸۹).
- Anon M C and Calvelo A, 1980. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Science* 4(1), 1-14.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry (16 ed). AOAC International, Washington, USA.
- Barleita BJ and Barbosa-Caovas GV, 1993. Fractal Analysis to Characterize Ruggedness Changes in Tapped Agglomerated Food Powders. *Journal of Food Science* 58(5), 1030-1035.
- Bøgh-Sørensen L, 2006. Definitions and explanations. In *Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods*, 4th Edition, pp. 8-33, IIF-IIR International Institute of Refrigeration, Paris, France.
- Castigliengo L, Armani A and Guidi A, 2012. Meat color. In Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of meat and meat processing*: CRC Press.
- Chevalier D, Le-Bail A and Ghoul M, 2000. Freezing and ice crystals formed in a cylindrical food model: part I. Freezing at atmospheric pressure. *Journal of Food Engineering* 46, 277-285.
- Kiani H and Sun DW, 2011. Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review. *Trends in Food Science & Technology* 22, 407-426.
- Kim Y, Liesse C, Kemp R and Balan P, 2015. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. *Meat Science* 110, 40-45.
- Lagerstedt Å, Enfält L, Johansson L and Lundström K, 2008. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*. *Meat Science* 80(2), 457-461.



- Lawrie RA and Ledward, DA, 2006. Lawrie's meat science. 7th ed., 75-155. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge: England and CRC Press Boca Raton, New York, Washington DC.
- Le-Bail A, Chapleau N, Anton-De Lamballerie M, and Vignolle M, 2008. Evaluation of the mean ice ratio as a function of temperature in a heterogeneous food: Application to the determination of the target temperature at the end of freezing. *International Journal of Refrigeration* 31(5), 816-821.
- Leygonie C, Britz TJ and Hoffman LC, 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science* 91(2), 93-98.
- Lind ML, Harrison DL, and Kropf DH, 1971. Freezing and thawing rates of lamb chops: effects on palatability and related characteristics. *Journal of Food Science* 36(4), 629-631.
- Mancini RA and Hunt MC, 2005. Current research in meat color. *Meat Science* 71(1), 100-121.
- McClure BN, Sebranek JG, Kim YH, and Sullivan GA, 2011. The effects of lactate on nitrosylmyoglobin formation from nitrite and metmyoglobin in a cured meat system. *Food Chemistry* 129(3), 1072-1079.
- Mittal GS, Nadulski R, Barbut S and Negi SC, 1992. Textural profile analysis test conditions for meat products. *Food Research International* 25(6), 411-417
- Ngapo TM, Babare IH, Reynolds J and Mawson RF, 1999. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork. *Meat Science* 53(3), 149-158.
- Orlowska M, LeBail A and Havet M. 2014. Electrofreezing. In *Ohmic Heating in Food Processing* (pp. 423-440): CRC Press.
- Otto G, Roehe R, Looft H, Thoelking L, and Kalm E, 2004. Comparison of different methods for determination of drip loss and their relationships to meat quality and carcass characteristics in pigs. *Meat Science* 68(3), 401-409.
- Persson PO and Lohndal G, 1993. Freezing Technology, *Frozen Food Technology* (Mallett CP ed.), Chapman and Hall, London, UK.
- Petzold G and Aguilera J, 2009. Ice Morphology: Fundamentals and Technological Applications in Foods. *Food Biophysics* 4, 378-396.
- Reid DS. 1993. Basic physical phenomena in freezing and thawing of plant and animal tissues. In C.P.Mallett (Ed.), *Frozen Food Technology* (pp. 1-19). Glasgow, Scotland Blackie academic and professional.
- Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Blázquez, B and Onega E, 2005. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science* 69(3), 527-536.
- Xanthakis E, Havet M, Chevallier S, Abadie J and Le-Bail A, 2013. Effect of static electric field on ice crystal size reduction during freezing of pork meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 20(0), 115-120.
- Xanthakis E, Le-Bail A and Ramaswamy H, 2014. Development of an innovative microwave assisted food freezing process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 26, 176-181
- Yu XL, Li XB, Zhao L, Xu, XL, Ma HJ, Zhou, GH, and Boles JA, 2010. Effects of different freezing rates and thawing rates on the manufacturing properties and structure of pork. *Journal of Muscle Foods* 21(2), 177-196.

## The effect of temperature and freezing rates on the quality and morphology of ice crystals in frozen lamb meat

M Dalvi-Isfahan<sup>1\*</sup> and N Hamdami<sup>2</sup>

Received: February 09, 2016

Accepted: July 02, 2016

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

\*Corresponding author: Mohsen.Dalvi@gmail.com

### Abstract

Increasing freezing rate can have an effective role in improving the quality of frozen products. The objectives of this study were to compare ice crystal morphology of frozen lamb meat under different freezing temperatures (-20, -30 and -40 °C) and their effect on the quality attributes of the lamb meat. After freezing in different freezing temperatures, the meat samples were thawed and their quality characteristics such as drip loss, texture, and colour were assessed by instrumental methods. Light microscopy technique was used to investigate the effect of freezing process on the lamb meat microstructure. Results showed that freezing temperature led to the significant microstructural changes in meat tissues. The equivalent diameter of the ice crystals formed were 22.58, 19.36 and 17.48  $\mu\text{m}$  for the samples subjected to processes -20, -30 and -40 °C respectively and total relative ice area for temperatures above were determined 52.32, 49.84 and 46.36% respectively. It was also found that the drip loss decreased with decreasing the freezing temperature but freezing temperatures didn't show any significant effect on colour, texture (stiffness) and shape of ice crystals.

**Keywords:** Microstructure, Freezing rate, Lamb Meat, Ice crystal morphology