

بررسی اثر استفاده از امواج فراصدا بر برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و حسی گوشت ماریناد شده با اسید لاتکتیک

نجمه شمس، سیدابراهیم حسینی*

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی

چکیده

استفاده از امواج فراصدا در فرآیند ماریناد کردن یکی از روش‌های جدید در جهت کاهش زمان این فرآیند و بهبود ویژگی‌های گوشت ماریناد شده می‌باشد. در تحقیق حاضر قطعات مکعبی شکل گوشت با ابعاد $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm}$ به مدت 30 دقیقه با شدت‌های $5, 8, 12$ و 16 وات ± 4 ساعت ماریناد شدند. میزان سانتی‌متر مربع تحت تیمار امواج فراصدا قرار گرفتند. سپس توسط اسید لاتکتیک 0.2 مولار به مدت 8 و 16 ساعت ماریناد شدند. میزان جذب ماریناد و پی‌اچ (pH) نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند و عملیات پخت در حمام آب گرم در دمای $90 \pm 4^\circ\text{C}$ انجام شد. پس از آن، افت پخت، پی‌اچ (pH)، تغییرات رنگ و نیروی لازم جهت برش نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند امواج فراصدا تأثیر معناداری بر پی‌اچ (pH) نمونه‌ها ندارند. عامل امواج فراصدا سبب افزایش معنادار جذب ماریناد نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد می‌شود. هم‌چنین، درصد افت پخت در شدت 5 وات بر سانتی‌متر مربع از سایر شدت‌ها و نمونه شاهد کمتر شد. ضمناً، نیروی لازم جهت برش، تغییرات رنگ نسبت به نمونه شاهد تفاوت آماری معناداری ($p < 0.05$) را نشان می‌دهند. به لحاظ ایجاد تردی، تأثیر روی رنگ و افت پخت، با افزایش زمان ماریناد کردن، در ویژگی‌های فوق بهبود حاصل می‌شود. اگر چه از نظر حسی، مدت ماریناد کردن تأثیر معناداری روی تردی، رنگ و آبدار بودن ندارد.

کلیدواژه‌ها: فراصدا، گوشت گوساله، ماریناد کردن، ترددسازی، پی‌اچ (pH)، رنگ، افت پخت، ارزیابی حسی.

اسیدهای ضعیف هستند. اسیدهای مورد استفاده به طور عمده شامل اسید لاتکتیک، اسید استیک و اسید سیتریک می‌باشند که در ماریناد کردن و ایجاد طعم مورد استفاده قرار گرفته و باعث تغییر پی‌اچ (pH) گوشت می‌شود. هم‌چنین، ماریناد کردن عامل‌های مختلفی از قبیل ظرفیت نگهداری آب^۱، آبدار بودن^۲، رنگ و افت پخت را در گوشت تحت تأثیر قرار داده که منجر به متورم شدن الیاف و تارها (فیبرها) و در نتیجه ترد شدن گوشت می‌شوند [۱-۶]. در فرآوری مواد غذایی از پدیده انتقال جرم بین مواد جامد و سیال جهت محافظت و تغییر و اصلاح ویژگی‌های طعم، رنگ و حفظ ارزش غذایی استفاده می‌شود [۷]. انتقال مواد از طریق عوامل مختلفی مانند شبی غلظت، نیروی موئینگی و شبی فشار ناشی از تغییر شکل داخلی مواد غذایی انجام می‌شود [۹]. جهت انتقال جرم به داخل گوشت دو نوع مقاومت وجود دارند: مقاومت داخلی و مقاومت خارجی؛ مقاومت داخلی به وسیله

۱. مقدمه

از جمله موارد مهم در مورد گوشت و محصولات گوشتی بحث کیفیت خوراکی آن مانند تردی، آبدار بودن و رنگ گوشت می‌باشد؛ این موارد بر مقبولیت آن و افزایش تقاضا توسط مصرف کنندگان اثرگذار هستند و از مهم‌ترین مسائل موجود در صنعت گوشت می‌باشند. در طی چند دهه اخیر، محققان مطالعات فراوانی را در این زمینه انجام داده‌اند [۱-۶]. روش‌های متعددی جهت فرآوری و بهبود ویژگی‌های خوراکی گوشت مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از این روش‌ها ماریناد کردن است. ماریناد کردن اسیدی به دلیل ارزان تر بودن، در دسترس بودن و برتری تجاری آن از روش‌های پرکاربرد برای بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش عمر فروشگاهی (ماندگاری)^۳ است. ماریناد کردن اسیدی شامل غوطه‌ور کردن گوشت در محلول اسیدی می‌باشد [۷]. در صنعت، مارینادها بر پایه

* نویسنده پاسخگو: ebhoseini@srbiau.ac.ir

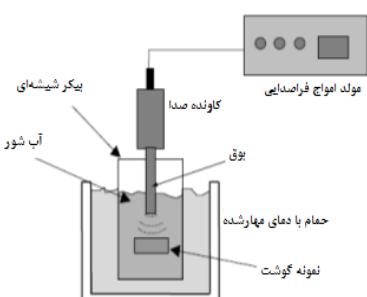
^۱ Shelf life

می دهنده [۱۱، ۱۲].

بیش تر پژوهش های صورت گرفته در مورد بهبود ویژگی های فنی گوشت در رابطه با استفاده از فرآیند ماریناد کردن با مواد مختلف یا به کارگیری امواج فرا صدا با شدت های متفاوت می باشند [۱۴]. این روش ها هر کدام به تنها یی موجب بهبود ویژگی ها در برخی شرایط می شوند. در این تحقیق به کارگیری و تلفیق روش ماریناد کردن (با اسید لاتکتیک) و اعمال امواج فرا صدا و بررسی تأثیر آن بر گوشت گوساله مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش ها

در این پژوهش از ماهیچه گوساله استفاده شد. ماهیچه به قطعات مکعبی شکل با ابعاد $2/5$ سانتی متر برش داده شد. امواج فرا صدا در دمای 1 ± 4 درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه با بسامد 20 کیلوهرتز با شدت های ورودی مختلف ۵ ، ۸ و ۱۲ وات بر سانتی متر مربع به نمونه ها اعمال شدند. اعمال امواج فرا صدا با یک دستگاه آواز^۲ نمونه کیو^۳ که یک سامانه کاونده (پربوی) است انجام شد. نمونه ها داخل آب سرد در فاصله 9 سانتی متری از کاونده (پربو) قرار داده شدند. تصویر ترسیمی از سامانه اعمال امواج فرا صدا به نمونه ها در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱ ترسیمی دستگاه اعمال فرا صدا به نمونه گوشت با سامانه کاونده (پربوی) [۱۰].

در این تحقیق از کاونده ای (پربوی) با قطر 20 میلی متر استفاده شد. نمونه ها وزن شدند و سپس محلول اسید لاتکتیک $۰/۲$ مولار [۲] در کیسه های پلی اتیلنی به آن ها به نسبت $۲:۱$ (۱ گرم گوشت: 2 میلی لیتر محلول) اضافه شد [۱۳]. نمونه ها به مدت ۸ و ۱۶ ساعت در دمای ۴ ± 1

ساختار و ترکیب مواد، ماهیت املاح و پیش تیمارهایی مثل انجامد و یخ زدایی و مقاومت خارجی توسط عواملی مانند دما و آشفتگی، ضربه انتقال جرم خارجی و ضخامت لایه مرزی تحت تأثیر قرار می گیرند [۱۰]. به طور کلی فرآیند انتقال جرم، فرآیندی است که به گندی صورت می پذیرد و بازده انجام کار پایین است. این در حالی است که در صنعت بالا بودن بازده کار، سرعت فرآیند و حفظ کیفیت فرآورده بسیار حائز اهمیت هستند. با توجه به گندی انتقال جرم (انتقال جامد- مایع) چندین روش برای سرعت بخشیدن به فرآیند انتقال جرم در مقالات پیشنهاد شده اند که برخی از آن ها عبارتند از: تپ میدان برقی (الکتریکی)، نیروی گریز از مرکز، خلا جزئی، فشار بالا و امواج فرا صدا [۱۱]. این روش ها می توانند منجر به کاهش زمان فرآیند و صرفه جویی در انرژی شوند. اعمال امواج فرا صدا نمونه ای جدید از این روش ها است که کاربردش در فرآوری مواد غذایی می تواند منجر به بهبود موارد فوق الذکر شود.

امواج فرا صدا، امواج مکانیکی هستند که برای انتشار نیاز به محیط واسطه دارند و وقتی از محیط عبور می کنند مواد را دچار تغییر می نمایند [۱۱]. تباندن امواج فرا صدا بر محیطی مانند گوشت که جامد بوده و مایعاتی در لابه لای آن وجود دارند، سبب تحریک حباب های ذاتی موجود در این مایعات می شوند. حباب ها در یک فرآیند رشد ملایم و سپس فروریزش^۱ ناگهانی، در موضع حباب برای زمانی در حدود نانو ثانیه دمای چند هزار کلوین و فشار چندین بار را ایجاد می کنند. این فرآیند با بسامد امواج فرا صدا تکرار می شود [۱۲]. بازه هی بسامدی امواج فرا صدایی مورد استفاده ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز است. هدف استفاده از این بازه هی بسامدی القای تغییرات در محصولات یا فرآیندهاست. امواج فرا صدا به سبب تغییراتی که در ساختار پروتئین های میووفیبریلی و بافت پیوندی ایجاد می کنند می توانند در سامانه انتقال جرم با افزایش سرعت انتقال جرم در فیلم اطراف ذرات و افزایش سرعت انتقال جرم در داخل بافت، موجب کاهش مقاومت در برابر انتقال داخلی و خارجی شوند. به این ترتیب، این امواج سرعت نفوذ به درون بافت را به میزان 3 الی 4 برابر افزایش

² Sonicator

³ Q700

^۱ Collapse

هر قطعه نمونه پخته شده با استفاده از تیغه فولادی به شکل ۷ (عددی) با زاویه ۵۰ درجه و لودسل ۵۰ کیلوگرم و سرعت ۱۰۰ میلی متر در دقیقه در سه تکرار اندازه گیری شد. سپس، با استفاده از منحنی های جابه جایی - نیرو مقدار نیروی لازم برای رسیدن به نقطه تسليیم بر حسب نیوتن تعیین شد [۱۷].

درجه سلسیوس در محلول ماریناد اسید لاکتیک به شکل غوطه ور نگه داری شدند. پس از پایان یافتن مدت زمان ماریناد کردن، نمونه ها درون کیسه های پلی تیلنی جدید قرار داده شدند و فرآیند پخت مطابق با مرجع [۱۵] در حمام آب گرم با دمای 4 ± 90 درجه سلسیوس تا رسیدن دمای مرکز نمونه ها به 3 ± 75 درجه سلسیوس انجام شد.

۲-۵. رنگ سنجی

ارزیابی تغییرات رنگ در نمونه های تیمار شده به منظور بررسی تأثیر امواج فرا صدا و اسید لاکتیک، با استفاده از دستگاه رنگ سنج مینوتا سی^۵ روی قطعات گوشت ماریناد شده انجام شد. قبل از انجام آزمون دستگاه با کاشی های سفید کالیبره و کنترل شد. شاخص های رنگی ^{a*} (نشان دهنده رنگ قرمز - سبز)، ^{b*} (نشان دهنده رنگ زرد - آبی)، ^{L*} (نماینده روشنایی) و ΔE تعیین شدند.

۲-۶. ارزیابی حسی

در ارزیابی حسی تردی، آبداری، عطر و طعم، رنگ و پذیرش کلی نمونه های گوشت که تحت تیمار امواج فرا صدا قرار گرفته بودند و سپس با اسید لاکتیک ماریناد و پخته شده بودند در مقایسه با نمونه های شاهد که فقط با اسید لاکتیک ماریناد و پخته شده بودند با استفاده از شش نفر ارزیاب آموزش دیده با روش هدونیک^۶ ارزیابی شد. حروف ای، بی و سی بیان گر سه دسته مختلف در این آزمون می باشند.

۲-۷. روش تجزیه و تحلیل داده ها

داده های این پژوهش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. کلیه آزمون ها در سه تکرار انجام شدند. برای بررسی اختلاف معنادار در میان تمام نمونه ها از آزمون واریانس یک طرفه استفاده شد. مقایسه میانگین های نتایج آزمون ها با بهره گیری از آزمون دانکن در تراز اطمینان ۹۵٪ با روش سامانه مند الگوی خطی عام موسوم به جی ال ام^۷ انجام گرفت. نرم افزار مورد استفاده برای انجام تحلیل آماری به شیوه فوق الذکر

⁵ Minota_C400

⁶ Hedonic

⁷ GLM; General Linear Model

۲-۱. پارامتر پی اج

پی اج (pH) نمونه ها قبل و بعد از پخت براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۸^۱ با استفاده از دستگاه پی اج سنج pH (مترا) 691 ± 6 مهتروم^۲ اندازه گیری شد.

۲-۲. درصد جذب ماریناد

برای اندازه گیری درصد جذب ماریناد، پس از ماریناد کردن با اسید لاکتیک، مقدار اضافی محلول توسط کاغذ صافی از سطح نمونه حذف شد. با اندازه گیری وزن نمونه ها قبل و بعد از ماریناد، درصد جذب محلول ماریناد نمونه ها با استفاده از رابطه ذکر شده در ذیل محاسبه شد [۱۶].

$$\text{وزن نمونه بعد از ماریناد} - \text{وزن نمونه قبل از ماریناد} \times 100 = \frac{\text{جذب ماریناد}}{\text{وزن نمونه قبل از ماریناد}} \quad (\text{درصد})$$

۲-۳. درصد افت پخت

پس از انجام عمل پخت، رطوبت اضافی سطح نمونه ها با استفاده از دستمال کاغذی حذف گردید و وزن نمونه ها مورد اندازه گیری قرار گرفت. با استفاده از رابطه زیر میزان افت پخت محاسبه شد [۱۵].

$$\text{وزن نمونه بعد از پخت} - \text{وزن نمونه قبل از پخت} \times 100 = \frac{\text{افت پخت}}{\text{وزن نمونه قبل از پخت}} \quad (\text{درصد})$$

۲-۴. نیروی برش

آزمون برش (آزمون وارنر - براتزلر^۳) با استفاده از دستگاه بافت سنج تستومتریک نمونه ۱م - ۳۵۰ - ۱۰ سی تی^۴ ساخت کشور انگلیس انجام گرفت. به این منظور مقاومت برشی

^۱ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ۱۰۲۸، روش آزمون مرجع، ۱۳۸۶

² Mehtrom

³ Warner-Bratzle

⁴ Testometric M350-10CT

در قطعات گوشت می شوند [۲۱، ۳].

اس پی اس اس ۱۲۰ بوده است.

جدول ۲ پیاج (pH) قبل و بعد از پخت و درصد جذب ماریناد تیمارها.

درصد جذب ماریناد	پیاج بعد از پخت	پیاج قبل از پخت	کد تیمار
۳۹,۲۲۲ ± ۸,۳۹۷ ^{abc}	۴,۷۱۰ ± ۰,۰۷۹ ^b	۴,۴۱۶ ± ۰,۰۸۷ ^{a*}	۱
۳۴,۰۵۶ ± ۶,۳۶۷ ^{bcd}	۴,۷۲۰ ± ۰,۱۷۵ ^b	۴,۵۱۵ ± ۰,۱۷۲ ^{ab}	۲
۴۱,۹۳۶ ± ۵,۹۷ ^{ab}	۴,۷۳۷ ± ۰,۰۷۰ ^b	۴,۵۳۰ ± ۰,۰۷۶ ^{ab}	۳
۴۵,۵۹۳ ± ۶,۲۷۹ ^d	۴,۴۴۲ ± ۰,۱۲۴ ^a	۴,۳۹۲ ± ۰,۱۲۴ ^a	۴
۳۱,۸۰۶ ± ۴,۲۰۱ ^{ab}	۴,۶۵۰ ± ۰,۰۴۹ ^b	۴,۵۴۷ ± ۰,۰۶۸ ^{ab}	۵
۳۲,۸۸۹ ± ۲,۶۹۴ ^{abc}	۴,۷۰۷ ± ۰,۰۶۵ ^b	۴,۳۹۸ ± ۰,۰۹۰ ^a	۶
۲۵,۳۷۹ ± ۲,۷۴۱ ^a	۴,۸۰۳ ± ۰,۰۴۵ ^b	۴,۶۴۰ ± ۰,۰۴۶ ^b	۷
۳۰,۶۳۰ ± ۲,۶۶۵ ^{ab}	۴,۶۴۳ ± ۰,۰۸۱ ^b	۴,۴۵۷ ± ۰,۰۹۴ ^a	۸

* این حروف نشان دهنده تفاوت معنادار دو عدد با هم براساس روش آماری دانکن می باشدند. هر حرف نماینده یک دسته آماری می باشد. اگر دو عدد حتی یک حرف مشترک داشته باشدند به این معناست که این دو عدد تفاوت معناداری ندارند.

نتایج نشان دادند با افزایش مدت زمان ماریناد کردن توسط اسید لاکتیک از میزان پیاج (pH) در نمونه های خام و پخته شده کاسته می شود. نتایج فوق با نتایج متناظر مندرج در مرجع [۲۲] مطابقت دارند. ماریناد اسیدی سبب کاهش پیاج (pH) به زیر نقطه هم بر قایی (ایزو الکتریک)^۲ پروتئین ها می شود. افزایش بارهای مثبت سبب ایجاد نیروی دافعه و تضعیف ساختار پروتئینی شده و نفوذ محلول ماریناد به درون ساختار ماهیچه افزایش می یابد؛ در نتیجه ساختار ماهیچه متورم شده بر میزان آبدار بودن و تردی نمونه افزوده می شود [۲۳]. با افزایش مدت زمان ماریناد کردن و نفوذ بیشتر محلول ماریناد اسیدی به دلیل اینکه یون های هیدروژن بیشتری در محیط حضور دارند از پیاج نمونه ها کاسته می شود [۲۴].

۲-۲. جذب ماریناد

درصد جذب محلول اسید لاکتیک (به عنوان ماریناد اسیدی) در جدول ۲ آورده شده است. همان طور که نتایج نشان می دهند اعمال امواج فراصدا به صورت معناداری سبب افزایش جذب محلول اسید لاکتیک در نمونه ها شده است. نمونه هایی که امواج فراصدا با شدت های ۸ وات بر سانتی متر مربع به آن ها اعمال شده نسبت به نمونه هایی

۳. نتایج و بحث

کد تیمارها با توجه به فعالیت هایی که مطابق بخش قبل روی آن ها انجام گرفته در جدول ۱ ذکر شده اند. در بخش های ذیل ویژگی های فیزیکی - شیمیابی آن ها شامل پیاج (pH)، جذب ماریناد، افت پخت، تردی، رنگ و ارزیابی حسی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته اند.

جدول ۱ مشخصات تیمارهای امواج فراصدا و نمونه ماریناد شده و کد مربوطه برای اسید لاکتیک.

زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک (ساعت)	شدت فراصدا (w/cm ^۲)	کد تیمار
۱۶	۱۲	۱
۸	۱۲	۲
۸	۸	۳
۱۶	۸	۴
۸	۵	۵
۱۶	۵	۶
۸	۰	۷
۱۶	۰	۸

۳-۱. پیاج

نتایج حاصل از اندازه گیری پیاج (pH) نمونه های خام (جدول ۲) نشان می دهند اعمال امواج فراصدا در شدت های مختلف تأثیر معناداری بر کاهش پیاج (pH) نمونه ها نداشته است. نتایج با متناظر خود در مراجع [۱۸-۲۰] مطابقت دارند.

نتایج حاکی از آن بودند که پخت نمونه ها سبب افزایش پیاج (pH) در آن ها شده است. شدت های مختلف امواج فراصدا کاهش معناداری در پیاج (pH) نمونه های پخته شده ایجاد نکردند. در مورد افزایش پیاج (pH) پس از پخت می توان به این نکته اشاره داشت که پخت سبب انعقاد و افزایش دناتوره شدن پروتئین های ماهیچه و در نتیجه کاهش گروه های کربوکسیلیک در دسترس در پروتئین و آزاد شدن کلسیم و منیزیم از پروتئین ها می شود که تمامی موارد عنوان شده سبب افزایش پیاج

² Isoelectric¹ SPSS 20

پروتئین‌های میوفیبریلی را افزایش می‌دهد. بافت پیوندی نیز در اثر کاهش پی‌اچ (pH) و حرارت، ژلاتینه شده و توانایی نگهداری آب در آن افزوده می‌شود و در مقابل افت پخت کاهش می‌یابد. در واقع پی‌اچ (pH) پایین‌تر سبب جذب آب بیش‌تر و افت پخت کمتری می‌شود [۲۷].

جدول ۳ تأثیر شدت‌های مختلف امواج فراصدا، مدت زمان ماریناد کردن بر افت پخت.

کد تیمار	درصد افت پخت
۱	$24,840 \pm 2,585^b$
۲	$25,602 \pm 1,652^b$
۳	$23,606 \pm 3,085^b$
۴	$18,226 \pm 1,598^a$
۵	$24,210 \pm 1,451^b$
۶	$16,393 \pm 4,162^a$
۷	$22,711 \pm 1,845^b$
۸	$25,195 \pm 1,619^b$

۴-۳. نیروی برش

در جدول ۴ نتایج نیروی برشی نمونه‌ها نشان داده شده‌اند. همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد، امواج فراصدا سبب کاهش نیروی برشی در نمونه‌ها شده‌اند. از نظر میزان شدت، در نمونه‌هایی که با شدت‌های ۵ و ۸ وات بر سانتی‌متر مربع امواج فراصدا به آن‌ها اعمال شده مقدار مقاومت نیروی برشی به صورت معناداری کمتر از مقدار متضاظر در نمونه‌های در معرض شدت ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع شده است.

جدول ۴ تأثیر شدت‌های مختلف امواج فراصدا و مدت زمان ماریناد کردن بر تردی ماهیچه.

کد تیمار	درصد افت پخت
۱	$51,063 \pm 11,994^{cd}$
۲	$52,556 \pm 1,701^{cd}$
۳	$43,573 \pm 5,777^{abc}$
۴	$37,566 \pm 2,619^{ab}$
۵	$38,452 \pm 0,447^{ab}$
۶	$33,396 \pm 3,702^{abc}$
۷	$55,450 \pm 5,571^d$
۸	$46,310 \pm 7,798^{bcd}$

که با شدت ۵ و ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع امواج فراصدا به آن‌ها اعمال شده دارای جذب اسیدلاکتیک بیش‌تری هستند که این تفاوت از نظر آماری معنادار است ($p < 0.05$). در رابطه با تغییر افزایش مدت زمان ماریناد کردن اسیدی ملاحظه می‌شود که در میزان جذب اسید لاکتیک به عنوان محلول ماریناد تأثیر معناداری ایجاد نشده است. از جمله دلایل افزایش درصد جذب اسید لاکتیک توسط نمونه‌های تیمارشده با امواج فراصدا می‌توان به ایجاد ریزشیار^۱ و افزایش شیارهای بین الیاف و تارهای (فیبرهای) ماهیچه در اثر کواکزایی (کاویتاسیون) اشاره داشت. ضمن اینکه کواکزایی (کاویتاسیون) انتقال رطوبت در گوشت را تحت تأثیر قرار داده سبب بهبود انتقال رطوبت نیز می‌شود [۱۰]. نتایج حاصله با تحقیقات [۳، ۱۰، ۱۸، ۲۴] مطابقت دارد.

۴-۳-۳. افت پخت

نتایج افت پخت در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. تیمار با امواج فراصدا با شدت ۵ وات بر سانتی‌متر مربع از نظر درصد افت پخت تفاوت آماری معناداری با تیمارهای ۰ و ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع داشت. علاوه، دارای کمترین میزان افت پخت بوده و بین شدت ۵ و ۸ وات بر سانتی‌متر مربع اختلاف آماری معناداری وجود نداشته است. در خصوص تأثیر مدت زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک بر میزان افت ناشی از پخت، نمونه‌هایی که به مدت ۱۶ ساعت با اسید لاکتیک ماریناد شده‌اند نسبت به نمونه‌هایی که ۸ ساعت در محلول ماریناد اسید لاکتیک قرار گرفته بودند میزان افت پخت کمتر نشان دادند. امواج فراصدا در شدت بهینه با تغییر در ساختمان گوشت قدرت اتصال در گوشت را افزایش داده و سبب افزایش ویژگی‌های نگهداری آب در آن می‌شوند به همین دلیل افت پخت محصول کاهش می‌یابد [۲۵-۲۶]. از طرف دیگر، همان‌طور که ذکر شد شکستگی‌های ایجادشده در ساختار پروتئین‌های میوفیبریلی و بافت پیوندی سبب نفوذ بیش‌تر محلول ماریناد در ساختار ماهیچه می‌شوند.

این امر با کاهش پی‌اچ (pH) به زیر نقطه هم‌برقی (ایزووالکتریک) پروتئین‌ها، ظرفیت اتصال آب و تورم

^۱ Microchannel

داده و تردی کمتری ایجاد می شود [۳۰]. نتایج تحقیقات گونزالس در سال ۲۰۰۳ [۳۰] تأیید کننده نتایج فوق می باشند.

افزایش بازه زمانی ماریناد کردن با اسید لاكتیک از ۸ ساعت به ۱۶ ساعت به صورت معناداری کاهش مقاومت برشی نمونه ها را سبب شده است. دلیل کاهش مقاومت برشی نمونه های ماریناد شده با اسید لاكتیک بهبود توزیع محلول ماریناد اسیدی در گوشت بدلیل تغییرات ایجاد شده توسط امواج فرا صدا می باشد. تحقیق جورگنسن و همکاران در سال ۲۰۱۲ نیز تأیید کننده تأثیر امواج فرا صدا بر بهبود ویژگی های بافتی نمونه های ماریناد شده می باشد [۳].

۵-۳. رنگ

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود، تیمار امواج فرا صدا به صورت معناداری سبب افزایش شاخص L^* شده است. شدت های ۸ و ۱۲ وات بر سانتی متر مربع روشنسی بیشتری نسبت به شدت ۵ وات بر سانتی متر مربع در نمونه ها ایجاد کرده اند؛ این تفاوت در تراز آماری ٪۵ معنادار هست. افزایش در میزان روشنسی گوشت زمانی اتفاق می افتد که علاوه بر کاهش میوگلوبین در سطح، پراکندگی نور نیز در ساختار ماهیچه افزایش یابد. امواج فرا صدا با ایجاد کاواک زایی (کاویتاسیون) در گوشت و تغییر در ساختار ماهیچه، عوامل ذکر شده را ایجاد می نمایند [۳۱، ۱۹].

در شدت های ۸ و ۱۲ وات بر سانتی متر مربع میزان تغییر در ساختار ماهیچه در حدی بوده که بیشترین بازتاب نور

امواج فرا صدا با فرآیند کاواک زایی (کاویتاسیون) که ایجاد می کنند موجب اعمال انرژی به ماهیچه و تغییر ساختار آن می شوند و در نهایت باعث افزایش تردی ماهیچه می شوند. تغییرات ناشی از اعمال امواج فرا صدا عبارتند از: کاهش وزن مولکولی کلژن و تخریب مکانیکی بافت میوفیبریلی. این تغییرات سبب تفکیک ترکیب اکتو میوزین و تولید اکتین و میوزین و پرو تئولیز میوفیبریل های کلیدی و پرو تئین های همراه مانند دسمین، تروپونین و تروپومیوزین می شوند. پرو تئین های همراه یکپارچگی ساختار میوفیبریل ها را حفظ می کنند. تجزیه این پرو تئین ها از طریق پرو تئولیز منجر به تضعیف بافت میوفیبریلی می شود. پرو تئازه های مسئول این تغییرات، کالپاین و کاتپسین هستند. امواج فرا صدا با شدت بالا از طریق کاواک زایی (کاویتاسیون) با ایجاد تخریب در ساختار غشاء یاخته ای (سلولی) سبب آزاد شدن کاتپسین از لیزو زم و آزاد شدن یون کلسیم از رتیکولوم و فعال شدن آنزیم کالپاین می شوند [۲۸-۲۹].

شدت فرآیند کاواک زایی (کاویتاسیون) روی نمونه با افزایش شدت امواج فرا صدا اعمال شده در محل کاونده (پروب) دستگاه رابطه مستقیمی ندارد بدین معنا که ابتدا با افزایش شدت امواج فرا صدا در محل کاونده (پروب)، شدت کاواک زایی (کاویتاسیون) روی نمونه نیز افزایش می یابد. اما، با زیادتر شدن شدت امواج فرا صدا به دلیل حباب هایی که مابین کاونده (پروب) و نمونه ها ایجاد می شوند بخشی از امواج فرا صدا توسط آن ها جذب می شود و امواج فرا صدا با شدت کمتری به محل نمونه ها می رسدند، در نتیجه فرآیند کاواک زایی (کاویتاسیون) ضعیفتر رخ

جدول ۵ تغییرات رنگ تیمارها.

ΔE	L^*	b^*	a^*	کد تیمار
$62,279 \pm 0,800^{bc}$	$32,54 \pm 0,495^{cd}$	$6,279 \pm 1,616^a$	$4,514 \pm 1,886^a$	۱
$68,112 \pm 3,873^c$	$29,41 \pm 3,850^c$	$9,452 \pm 0,874^b$	$8,332 \pm 0,398^{cd}$	۲
$55,588 \pm 1,451^a$	$39,988 \pm 1,213^e$	$10,402 \pm 1,144^{bc}$	$5,423 \pm 1,567^{abc}$	۳
$79,501 \pm 1,564^d$	$16,337 \pm 1,671^b$	$12,536 \pm 1,612^{cd}$	$9,035 \pm 0,523^d$	۴
$63,252 \pm 0,828^{bc}$	$31,639 \pm 0,949^c$	$6,362 \pm 0,968^a$	$5,672 \pm 0,242^{abc}$	۵
$90,308 \pm 1,060^e$	$8,584 \pm 0,758^a$	$20,724 \pm 1,375^e$	$11,945 \pm 1/70,3^e$	۶
$59,119 \pm 4,242^{ab}$	$36,603 \pm 4,045^{de}$	$10,589 \pm 0,433^{bcd}$	$7,239 \pm 0,821^{abcd}$	۷
$84,908 \pm 3,391^e$	$10,626 \pm 2,981^a$	$12,756 \pm 1,388^d$	$5,943 \pm 3/824^{abcd}$	۸

میزان زردی نمونه‌ها شده است. نتایج فوق در رابطه با تأثیر اسید بر کاهش^{a,b} با نتایج حاصل از تحقیقات هینکل در سال ۲۰۱۰ [۳۵] و سایر و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۳۶] مطابقت دارند. در رابطه با شاخص ΔE یا تغییر رنگ، نتایج نشان می‌دهند، اعمال امواج فراصدا به صورت معناداری سبب کاهش تغییر رنگ در نمونه‌ها شده است. کمترین میزان تغییر رنگ در نمونه‌های مشاهده می‌شود که امواج فراصدا باشد ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع به آن‌ها اعمال شده است. همچنین، با افزایش بازه زمانی ماریناد کردن با اسید لاکتیک تفاوت آماری معناداری در شاخص ΔE مشاهده می‌شود. افزایش مدت زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک از ۸ ساعت به ۱۶ ساعت سبب افزایش تغییر رنگ در نمونه‌ها شده است. البته چون شاخص‌های L^* , a^* و b^* به صورت موازی تغییر نمی‌کنند نسبت تأثیر آن‌ها در تغییر ویژگی‌های کیفی گوشت متفاوت است. بنابراین شاخص ΔE که شامل تغییرات L^* , a^* و b^* می‌باشد برای تعیین دقیق‌تر کیفیت گوشت از اهمیت کمتری نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار است [۳۶].

۳-۶. ارزیابی حسی

تحلیل داده‌های استخراج شده از نظر ارزیابی کنندگان برای شدت‌های مختلف امواج فراصدا نشان می‌دهد که امواج فراصدای اعمالی تأثیر معناداری بر تردی نمونه‌ها نداشته‌اند اما بیشترین میزان تردی در نمونه‌هایی که در شدت ۸ وات بر سانتی‌متر مربع امواج فراصدا به آن‌ها اعمال شده، احساس شده است (جدول ۶). در رابطه با رنگ، عطر و طعم، آب‌دار بودن و پذیرش کلی نمونه‌ها، اختلاف معناداری بین اعمال شدت‌های ۰، ۵، ۸ و ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع به نمونه‌ها مشاهده نشده است. نتایج نشان می‌دهند از نظر پانلیست‌ها افزایش مدت زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک تأثیر معناداری بر میزان تردی، رنگ، عطر و طعم نمونه‌ها نداشته است. ارزیابی کنندگان نمونه‌هایی که با ۵ و ۸ وات بر سانتی‌متر مربع امواج فراصدا به آن‌ها اعمال شده را مطلوب‌تر و آب‌دارتر اعلام کرده‌اند اما این اختلاف از نظر آماری معنادار نیست. در پذیرش کلی مدت زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک

را ایجاد کرده است. امواج فراصدا در نمونه‌ها سبب ایجاد تغییرات خطی نمی‌شوند و در اکثر موارد روند تغییرات غیرخطی است. نتایج فوق با نتایج تحقیقات انجام شده توسط پلمن و همکاران در سال ۱۹۹۷ دارای تطابق می‌باشند [۳۲, ۳۰]. بازه‌های زمانی ماریناد کردن با اسید لاکتیک نیز از نظر میزان روشنی با یکدیگر اختلاف آماری معنادار داشته‌اند.

با افزایش زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک از میزان روشنی نمونه‌ها کاسته شده است. کاهش پی‌اچ (pH) در اثر فرآیند ماریناد کردن با اسید لاکتیک منجر به دناتوره^۱ شدن (تغییر ساختار) پروتئین‌های سارکوپلاسمی و میوفیبریلی می‌شود. این امر سبب تغییر در ساختار، میزان توانایی نگهداری آب در گوشت و بازتاب نور در گوشت می‌شود. بعلاوه، افزایش بازه زمانی ماریناد کردن این تغییرات را شدت می‌بخشد [۳۳, ۳۱]. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود اعمال امواج فراصدا دارای تأثیر معناداری بر میزان قرمزی یا a^* نبوده است. نتایج این بررسی با نتایج تحقیقات پلمن و همکاران در سال ۱۹۹۷ مطابقت دارند [۳۲]. در این تحقیق افزایش مدت زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک تأثیر معناداری بر میزان قرمزی نمونه‌ها ایجاد نکرده است. نتایج فوق با تحقیقات انجام شده توسط سایر و همکاران [۳۴] در سال ۲۰۰۹ و تحقیقات هینکل [۳۵] در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارند. شاخص رنگی b^* بیان کننده میزان زردی در نمونه می‌باشد، نتایج نشان می‌دهند اعمال امواج فراصدا سبب کاهش میزان زردی در گوشت شده. بعلاوه، اختلاف آماری معناداری در میزان شاخص b^* در شدت‌های ۰، ۵ و ۸ وات بر سانتی‌متر مربع با نمونه ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع را سبب شده است. به نظر می‌رسد گرمای ایجاد شده حین فرآیند اعمال امواج فراصدا سبب دناتوره شدن پروتئین‌ها و تغییر در نسبت‌های میوگلوبین، اکسی میوگلوبین و مت‌میوگلوبین شده که این امر تغییر در میزان زردی نمونه‌ها را به دنبال دارد [۱۸-۱۹]. زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک اختلاف آماری معناداری بر میزان b^* نمونه‌ها ایجاد کرده است. در نمونه‌های ماریناد شده با اسید لاکتیک افزایش بازه زمانی سبب افزایش

^۱ Denature

جدول ۶ نتایج تردی، رنگ، عطر و طعم، آب دار بودن و پذیرش کلی تیمارها.

کد تیمار	تردی	رنگ	عطر و طعم	آب دار بودن	پذیرش کلی
۱	۲,۸۳۳ ± ۰,۷۵۲ ^a	۲,۶۶۶ ± ۰,۵۱۶ ^a	۲,۶۶۶ ± ۱,۲۱۱ ^a	۳,۱۶۶ ± ۰,۷۵۲ ^a	۲,۵۰۰ ± ۰,۵۴۷ ^a
۲	۲,۸۳۳ ± ۰,۹۸۳ ^a	۳,۰۰۰ ± ۰,۸۹۴ ^a	۲,۸۳۳ ± ۰,۷۵۲ ^a	۲,۸۳۳ ± ۱,۴۷۱ ^a	۳,۱۶۶ ± ۰,۹۸۳ ^a
۳	۳,۰۰۰ ± ۰,۸۹۴ ^a	۲,۶۶۶ ± ۰,۵۱۶ ^a	۲,۸۳۳ ± ۰,۷۵۲ ^a	۲,۳۲۳ ± ۰,۸۱۶ ^a	۳,۳۳۳ ± ۰,۵۱۶ ^a
۴	۴,۱۶۶ ± ۰,۷۵۲ ^b	۳,۰۰۰ ± ۰,۶۳۲ ^a	۲,۶۶۶ ± ۱,۲۱۱ ^a	۳,۳۳۳ ± ۱,۰۳۲ ^a	۳,۶۶۶ ± ۰,۹۰۳ ^a
۵	۳,۳۳۳ ± ۱,۲۱۱ ^{ab}	۲,۸۳۳ ± ۰,۴۰۸ ^a	۲,۸۳۳ ± ۱,۱۶۹ ^a	۳,۰۰۰ ± ۰,۶۳۲ ^a	۳,۶۶۶ ± ۰,۴۰۸ ^a
۶	۲,۶۶۶ ± ۰,۵۱۶ ^a	۲,۵۰۰ ± ۰,۵۱۶ ^a	۳,۱۶۶ ± ۰,۹۸۳ ^a	۲,۸۳۳ ± ۰,۷۵۲ ^a	۳,۳۳۳ ± ۰,۸۱۶ ^a
۷	۲,۵۶۶ ± ۰,۵۱۶ ^a	۲,۶۶۶ ± ۰,۵۱۶ ^a	۲,۵۰۰ ± ۱,۰۴۸ ^a	۲,۳۲۳ ± ۰,۵۴۷ ^a	۲,۶۶۶ ± ۰,۸۱۶ ^a
۸	۲,۸۳۳ ± ۰,۷۵۲ ^a	۲,۶۶۶ ± ۰,۵۱۶ ^a	۲,۱۶۶ ± ۰,۷۵۲ ^a	۲,۶۶۶ ± ۱,۲۱۱ ^a	۳,۶۶۶ ± ۰,۴۰۸ ^a

شدت ها اختلاف آماری معنادار با یکدیگر ایجاد نمی کنند. نتایج همچنین نشان می دهند افزایش بازه زمانی ماریناد کردن از ۸ ساعت به ۱۶ ساعت اختلاف آماری معناداری در درصد افت پخت نمونه های ماهیچه ایجاد نمی کند. قطعات ماهیچه ای که به مدت ۱۶ ساعت در محلول ماریناد اسید لاکتیک قرار داده می شوند نسبت به نمونه هایی که به مدت ۸ ساعت در محلول ماریناد اسیدی قرار گیرند از درصد افت پخت کمتری برخوردارند. امواج فرا صدا در برخی شدت ها سبب کاهش نیروی برشی در نمونه ها می شود. از نظر میزان شدت در نمونه هایی که امواج فرا صدا با شدت های ۵ و ۸ وات بر سانتی متر مربع به آن ها اعمال بشود مقاومت نیروی برشی به صورت معناداری کمتر از شدت ۱۲ وات بر سانتی متر مربع می شود. افزایش بازه زمانی ماریناد کردن با اسید لاکتیک موجب کاهش مقاومت برشی نمونه ها می شود.

تیمار امواج فرا صدا به صورت معناداری سبب افزایش شاخص روشی می شود. شدت های ۸ و ۱۲ وات بر سانتی متر مربع روشنی بیشتری نسبت به شدت ۵ وات بر سانتی متر مربع در نمونه ها ایجاد می کنند. این تفاوت روشنی در تراز آماری ۵٪ معنادار است. در شدت های ۸ و ۱۲ وات بر سانتی متر مربع، میزان روشنی گوشت افزایش می یابد. از نظر میزان روشنی، بازه های زمانی ماریناد کردن با اسید لاکتیک با یکدیگر اختلاف آماری معنادار ایجاد کرده اند. با افزایش زمان ماریناد کردن از میزان روشنی نمونه ها کاسته می شود. اعمال امواج فرا صدا دارای تأثیر معناداری بر میزان قرمزی نداشته و افزایش مدت زمان ماریناد کردن اسیدی نیز تأثیر معناداری بر میزان قرمزی

تأثیر معناداری نداشته است (جدول ۶). نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه ها در بخش میزان تردی با نتایج به دست آمده از آزمون بافت سنجی مطابقت دارند. همچنین در رابطه با آب دار بودن نتایج ارزیابی حسی در مورد تأثیر امواج فرا صدا دارای تطبیق با نتایج حاصل از اندازه گیری میزان افت پخت می باشند. نتایج فوق با تحقیقات یوسپ و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۵] و پلمن و همکاران در سال ۱۹۹۷ [۳۲] سازگاری دارند.

۴. نتیجه گیری

به طور کلی نتایج نشان می دهند شدت های مختلف امواج فرا صدا با بسامد ۲۰ کیلوهertz در مدت ۳۰ دقیقه به صورت کاونده ای (پروپی) تأثیر معناداری بر میزان پی اچ (pH) نمونه ها ندارند. افزایش مدت زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک از ۸ ساعت به ۱۶ ساعت به شکل معناداری سبب کاهش پی اچ (pH) نمونه ها می شود. اعمال امواج فرا صدا به صورت معناداری سبب افزایش جذب اسید لاکتیک در نمونه ها می شود. نمونه هایی که امواج فرا صدا با شدت ۸ وات بر سانتی متر مربع به آن ها اعمال شده جذب ماریناد بیشتری (با تفاوت معنادار) نسبت به نمونه هایی که با شدت ۵ وات بر سانتی متر مربع امواج فرا صدا به آن ها اعمال شده دارند. افزایش مدت زمان ماریناد کردن در میزان جذب اسید لاکتیک تأثیر معناداری ندارد. تیمار امواج فرا صدا با شدت ۵ وات بر سانتی متر مربع از نظر درصد افت پخت دارای تفاوت آماری معناداری با اثر شدت های ۰ و ۱۲ وات بر سانتی متر مربع دارد و دارای کمترین میزان افت پخت است؛ سایر

- protein matrices in acidic marinades," *Meat Science*, vol. 90, pp. 618, 2012.
- [5] S.M. Yusop, M.G. O'Sullivan, J.F. Kerry, J.P. Kerry, "Effect of marinating time and low pH on marinade performance and sensory acceptability of poultry meat," *Meat Science*, vol. 85, no. 4, pp. 657, 2010.
- [6] H. Ergezer, R. Gokce, "Comparison of marinating with two different types of marinade on some quality and sensory characteristics of turkey breast meat," *Animal and Veterinary Advances*, vol. 10, pp. 60, 2011.
- [7] Y.H. Hui, "Handbook of Meat and Meat Processing," CRC Press, New York, 2012.
- [8] N. Graiver, A. Pinotti, A. Califano, N. Zaritzky, "Mathematical modeling of the uptake of curing salts in pork meat," *Journal of Food Engineering*, vol. 95, pp. 533, 2009.
- [9] S.J. Santchurn, A. Colligan, G. Trystram, "Impact of solute molecular mass and molality, and solution viscosity on mass transfer during immersion of meat in a complex solution," *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 1188, 2007.
- [10] J.A. Carcel, J. Benedito, J. Bon, A. Mulet, "High intensity ultrasound effects on meat brining," *Meat Science*, vol. 76, pp. 611, 2007.
- [11] J.A. Cárcel, J.V. García-Pérez, J. Benedito, A. Mulet, "Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound," *Journal of Food Engineering*, vol. 110, pp. 200, 2012.
- [12] D.F. Gaitan, "An Experimental Investigation of Acoustic Cavitation in Gaseous Liquids," PhD Dissertation, 1990.
- [13] J. Jian-Bing, L. Xiang-Hong, C. Mei-Qiang, X. Zhi-Chao, "Improvement of leaching process of Geniposide with ultrasound," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 13, pp. 455, 2006.
- [14] M. Noubarani, "Investigation of Marination Effect on Physicochemical and Sensory of Beef Using Citric Acid (Lemon Juice) along with Phosphate and Sodium Chloride," MS Thesis, Azad University, 2012 (In Persian).
- [15] J. Han, J.D. Morton, A.E.D. Bekhit, J.R. Sedcole, "Pre-rigor infusion with kiwifruit juice improves lamb tenderness," *Meat Science*, vol. 82, pp. 324, 2009.
- [16] D.P. Smith, "Effect of ultrasonic marination on broiler breast meat quality and *Salmonella* contamination," *International*

نمونه‌ها ایجاد نمی‌کند. اما، اعمال امواج فراصدا سبب کاهش میزان زردی در گوشت شده است. اختلاف آماری معناداری در میزان شاخص زردی شدت‌های ۰، ۵ و ۸ و ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع با نمونه‌هایی که امواج فراصدا با شدت ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع به آن‌ها اعمال شده مشاهده می‌شود. زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک اختلاف آماری معناداری بر میزان زردی نمونه‌ها ایجاد کرده است. افزایش بازه زمانی ماریناد کردن اسیدی سبب افزایش میزان زردی نمونه‌ها می‌شود. از نظر ارزیابی حسی، اعمال امواج فراصدا تأثیر معناداری بر تردی نمونه‌ها ندارد. در رابطه با رنگ، عطر و طعم، آبدار بودن و پذیرش کلی نمونه‌ها اختلاف معناداری بین اعمال شدت‌های ۰، ۵، ۸ و ۱۲ وات بر سانتی‌متر مربع به نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود. افزایش مدت زمان ماریناد کردن با اسید لاکتیک تأثیر معناداری بر نمونه‌ها ندارد. از مهم‌ترین اهداف این پژوهش ایجاد ویژگی‌های مطلوب در گوشت با استفاده از مدت زمان مناسب ماریناد کردن با اسید لاکتیک و شدت بهینه‌ای از امواج فراصدا بوده است. براساس نتایج حاصله، با توجه به اهمیت مسأله زمان و انرژی، ماریناد کردن با اسید لاکتیک به مدت ۱۶ ساعت و اعمال امواج فراصدا در شدت ۵ وات بر سانتی‌متر مربع حد مطلوبی از تردی و دیگر ویژگی‌ها در گوشت ایجاد می‌شود.

۵. فهرست منابع

- [1] T. Goli, J. Ricci, P. Bohuonb, S. Marchesseauc, A. Colliganb, "Influence of sodium chloride and pH during acidic marination on water retention and mechanical properties of turkey breast meat," *Meat Science*, vol. 96, pp. 1133, 2014.
- [2] T. Goli, P.A. Nakhoul, N. Zakhia-Rozis, G. Trystram, P. Bohuon, "Chemical equilibrium of minced turkey meat in organic acid solutions," *Meat Science*, vol. 75, pp. 308, 2007.
- [3] A.S. Jorgensen, M. Christensen, P. Ertbjerg, "Marination with kiwifruit powder followed by power ultrasound tenderizes porcine m. biceps femoris," International Conference of Meat Science and Technology, Cape Town, South Africa, 2008.
- [4] T. Goli, P. Bohuon, J. Ricci, A. Colligan, "Evolution of pH during immersion of meat

- [27] N. Aktas, M. Aksu, M. Kaya, "The effect of organic acid marination on tenderness cooking loss and bound water content of beef," *Journal of Muscle Foods*, vol. 14, pp. 181, 2003.
- [28] S.D. Jayasooriya, B.R. Bhandari, D. Torley, B.R. D'Arcy, "Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review," *International Journal of Food Properties*, vol. 7, pp. 301, 2004.
- [29] M. Koohmariae, "Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat," *Meat Science*, vol. 43, pp. 193, 1996.
- [30] G.M. Gonzalez, "Effects of Power Ultrasound Treatments on Properties of Longissimus Beef Muscle," PhD Dissertation, 2003.
- [31] M. Dikeman, C. Devine, "Encyclopedia of Meat Sciences," Available from: <http://alltitles.ebrary.com/Doc?id=10899174>, 2014.
- [32] F.W. Pohlman, M.E. Dikeman, D.H. Kropf, "Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis muscle," *Meat Science*, vol. 46, pp. 89, 1997.
- [33] R.A. Lawrie, D.A. Ledward, "Lawrie's Meat Science," Seventh Edition, Taylor and Francis New York, 2006.
- [34] J.T. Sawyer, J.K. Apple, Z.B. Johnson, "Fresh and cooked color of dark-cutting beef can be altered by post-rigor enhancement with lactic acid," *Meat Science*, vol. 83, pp. 263-270, 2009.
- [35] J.B. Hinkle, "Acid Marination for Tenderness Enhancement of Beef Bottom Round," PhD Dissertation, 2010.
- [36] T. Karamucki, J. Gardzielewska, A. Rybarczyk, M. Jakubowska, W. Natalczyk-Szymkowska, "Usefulness of selected methods of colour change measurement for pork quality assessment," *Journal of Food Sciences*, vol. 29, pp. 212, 2011.
- [17] K.O. Honikel, "Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat," *Meat science*, vol. 49, pp. 447, 1998.
- [18] S.D. Jayasooriya, P.J. Torley, B.R. D'Arcy, B.R. Bhandari, "Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles," *Meat Science*, vol. 75, pp. 628, 2007.
- [19] J. Stadnik, Z.J. Dolatowski, "Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus)," *European Food Research and Technology*, vol. 233, pp. 553, 2011.
- [20] J. Stadnik, Z.J. Dolatowski, H.M. Baranowska, "Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (m. semimembranosus) during ageing," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 41, no. 10, pp. 2151-2158, 2008.
- [21] I. Siro, C. Ven, C. Balla, C.G. Jónás, I. Zeke, L. Friedrich, "Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in procine meat," *Journal of Food Engineering*, vol. 91, pp. 353, 2009.
- [22] P. Masniyom, O. Benjama, "Effect of lactic, acetic and citric acids on quality changes of refrigerated green mussel, perna viridis (Linnaeus, 1758)," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 29, no. 4, pp. 1123, 2007.
- [23] T. Goli, P. Bohouon, J. Ricci, G. Trystram, A. Collignan, "Mass transfer dynamics during the acidic marination of turkey meat," *Journal of Food Engineering*, vol. 104, pp. 161, 2011.
- [24] C. Ozuna, A. Pig, J. Garcia-perez, A. Mulet, J.A. Carcel, "Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (longissimus dorsi) brined at different NaCl concentrations," *Journal of Food Engineering*, vol. 119, pp. 84, 2013.
- [25] J.B. Reynolds, D.B. Anderson, G.R. Schmidt, D.M. Theno, D.G. Siegel, "Effects of ultrasonic treatment on binding strength in cured ham rolls," *Journal of Food Science*, vol. 43, no. 3, pp. 866, 1978.
- [26] C. Gambuteanu, V. Filimon, P. Alexe, "Effects of ultrasound on technological properties of meat: A review," *Annals. Food Science and Technology*, vol. 14, no. 2, pp. 176, 2013.