

ارزیابی مدل ماکسول عمومی به منظور بررسی رفتار تنش آسای گوشت مرغ تحت رژیم‌های غذایی گوناگون

حمیده فریدی^۱، ابراهیم احمدی^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲. دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۴/۲۳)

چکیده

بررسی واکنش یک ماده غذایی با اعمال نیروهایی همانند بریدن، جویدن، فشردن، و کشیدن درحقیقت ارزیابی بافت آن ماده است و به خصوصیات رئولوژیکی آن بستگی دارد. در این مطالعه، رفتار تنش آسای قسمت‌های گوناگون گوشت مرغ با رژیم‌های غذایی گوناگون براساس مدل ماکسول عمومی بررسی شد. تیمارهای تغذیه‌ای که مرغ‌ها از آنها تغذیه کردند مشتمل بر: ۱. شاهد (بدون افزودنی)، ۲. با افزودنی آنتی‌بیوتیک به میزان ۶۵۰ ppm، ۳. با افزودنی سرخارگل (Echinacea L. purpurea) به میزان ۲ درصد است. آزمون تنش آسای در دمای اتاق روی نمونه‌های گوشت سینه و ران انجام شد. برای بررسی رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌ها، زمان‌های رهاش براساس مدل ماکسول عمومی محاسبه و مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی به‌طور رضایت‌بخشی متناسب با داده‌های تجربی است و با افزودن آنتی‌بیوتیک و سرخارگل تغییراتی در ضرایب فنر مدل ماکسول عمومی اتفاق می‌افتد. افزون بر این، تفاوت فراوانی بین زمان تنش آسای نمونه‌های گوناگون با رژیم‌های تغذیه‌ای گوناگون مشاهده شد.

کلیدواژگان: خواص ویسکوالاستیک، رئولوژی، زمان رهاش، گوشت.

مقدمه

پلاستیک ایده‌آل (بروز رفتار ویسکوز با اعمال یک تنش خاص)، و یا ترکیبی از دو یا چندی از آنها توصیف کرد (Gunasekaran & Mehmet, 2002; Tavakoli Hashtjini, 2003).

از مهمترین مشخصه‌های مواد ویسکوالاستیک تنش آسای^۱ است، که در یک تغییر شکل اولیه ثابت، تنش برحسب زمان به‌طور پیوسته کاهش می‌یابد که آن را استراحت تنش یا کاهش تنش می‌نامند. اندازه و سرعت کاهش تنش به ساختمان و اندازه تغییر شکل بستگی دارد. معمولاً کاهش تنش به‌طور مجانب به یک مقدار حدی میل می‌کند. سرعت کاهش تنش با زمان رهاش، یعنی دوره زمانی که طول می‌کشد تا تنش کاهش یابد، مشخص می‌شود (Sahin & Sumna, 2006).

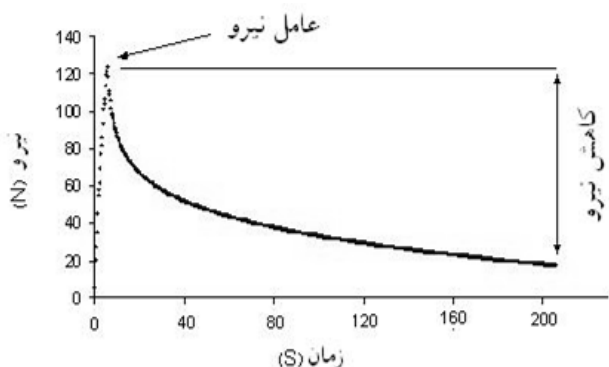
رفتار ماده الاستیک مانند رفتار فنر^۲ است، در حالی که رفتار مایع را با کمک فنر^۳ می‌سنجند. بدین ترتیب می‌توان دستگاهی را برای بررسی رفتار ماده ویسکوالاستیک با ترکیبی از فنر و کمک فنر درست کرد و دستگاه مکانیکی حاصل را مدل رئولوژیکی نامید. این مدل برای نشان دادن پاسخ مواد در موقعیت رهایی تنش مفید است، به‌علاوه می‌تواند اطلاعات

در زمان حاضر به تولید گوشت مرغ به‌عنوان منبع پروتئینی مناسب از نظر اقتصادی و سلامت در مقایسه با گوشت قرمز توجه شده است و توجه خاصی به پرورش و تولید طیور گوشتی می‌شود. این امر سبب توجه بیشتر به سلامت محصولات شده است. از سوی دیگر مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها باعث ظهور مقاومت آنتی‌بیوتیکی در گوشت طیور شده است و عوارض جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت. به‌همین علت در سال‌های اخیر پژوهشگران به استفاده از آن دسته افزودنی‌هایی که ضمن حفظ ویژگی‌های مطلوب فاقد تبعات سوء بهداشتی و زیست‌محیطی باشند، توجه کرده‌اند. در میان این افزودنی‌ها، گیاهان دارویی و فراورده‌های حاصل از آنها اهمیت ویژه‌ای دارند (Hudson, Bampidis et al., 2005; Cross et al., 2007) (2010).

محصولات غذایی عمدتاً از مواد مرکبی تشکیل شده‌اند که نشان‌دهنده طیف گسترده‌ای از رفتارهای گوناگون مکانیکی هستند که می‌توان آنها را با یک تقریب خاص بر پایه مدل‌های ساده مانند جامد ایده‌آل (الاستیک)، سیال ایده‌آل (ویسکوز)،

1. Stress relaxation
2. Spring
3. Dashpot

سبب ایجاد کرنش ۱۰ درصد در جسم شود، می‌توان بررسی و مقایسه کرد. دو پارامتر مکانیکی عامل نیرو و نسبت کاهش نیرو در شکل ۲ نشان داده شده است (Lakes, 1999). از مزیت‌های مدل ماکسول در این تحقیق، که برای مقایسه رژیم‌های تغذیه‌ای گوناگون استفاده شده، امکان تفکیک مؤلفه‌های الاستیک و ویسکوز مدل از یکدیگر است.



شکل ۲. منحنی استراحت تنش و تعریف دو پارامتر عامل نیرو و نسبت کاهش نیرو

به دلیل اینکه جمله اول در مدل ماکسول عمومی بیشترین سهم را در توصیف رفتار مدل دارد، از مقادیر جزء الاستیک و زمان رهایش مربوط به آن جمله در تحلیل نتایج استفاده شده است (Khazaei & Vozary & Meszaros, 2007; Mann, 2004; Campus et al., 2010; Mohsenin, 1986; Maghsoudi et al., 2009).

Heidarinasab & Moghaddam Nansa (2011) بررسی رفتار ویسکوالاستیک و وابسته به زمان رب گوجه‌فرنگی را بررسی کردند، نتایج به ارائه یک مدل ریاضی بیانگر هر دو رفتار ویسکوالاستیک و وابسته به زمان منجر شد.

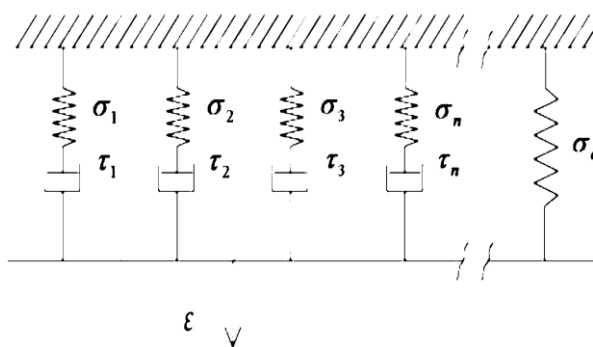
در پژوهشی دیگر Hassanpour et al. (2011) خواص ویسکوالاستیک انگور سفید بیدانه در حین رسیدن را، با آزمون تنش‌آسایی جداگانه روی حبه کامل، گوشت میوه، و پوست آن بررسی کردند. طبق نتایج با رشد و رسیدن میوه رفتار الاستیک پوست انگور تشدید و سفتی میوه افزایش می‌یابد. همچنین مدل سه جزئی ماکسول عمومی با ضریب تبیین بالایی روی داده‌های تجربی برازش شد.

Hassan et al. (2005) آزمون تنش‌آسایی را روی ۸ واریته خرما در دو مرحله رسیدگی خلال و رطب مطالعه و گزارش کردند که زمان رهایش تنش در تمامی واریته‌ها به جز واریته سوکاری در مرحله خلال کوتاه‌تر از مرحله رطب است.

Khazaei & Mann (2005) با مطالعه اثر رطوبت و دفعات بارگذاری، رفتار تنش‌آسایی دانه نخود را بررسی کردند و گزارش

واضح‌تری در زمینه طبیعت عمومی پاسخ ویسکوالاستیک مواد بدهد (Anonymous, 2003).

مدل ماکسول از ترکیب سری فنر و کمک‌فنر تشکیل شده و مدل ماکسول عمومی^۱ از مهمترین مدل‌های رئولوژیکی برای توصیف رفتار مواد بیولوژیک است. این مدل شامل تعدادی مدل ماکسول و یک فنر است که به صورت موازی به هم متصل شده‌اند (Tavakoli Hashtjin, 2003) (شکل ۱). از این مدل برای نشان دادن تنش‌آسایی در محصولات غذایی استفاده می‌شود. برای موادی که رفتار درستی از خود نشان نمی‌دهند، این مدل توصیف مناسب‌تر و بهتری در مقایسه با مدل ماکسول نشان می‌دهد. معمولاً مدل سه جزئی (n=3) به طور مناسبی می‌تواند رفتار واقعی مواد غذایی را بیان کند (Stroshine & Hamann, 1994; Vozary & Meszaros, 2007; Khazaei & Mann, 2004; Campus et al., 2010). تجربه نشان می‌دهد که مقداری از تنش ایجاد شده در محصولات غذایی حتی بعد از گذشت زمان طولانی باقی می‌ماند و به طور دقیق از مدل ماکسول پیروی نمی‌کند، برای رفع این عیب فنی با ضریب E_e به دستگاه ماکسول اضافه می‌کنند. رابطه ۱، معادله رئولوژیکی مربوط برای سه جزء ماکسول و یک جزء فنر را نشان می‌دهد (Vozary & Meszaros, 2007; Afkari Sayyah, 2003).



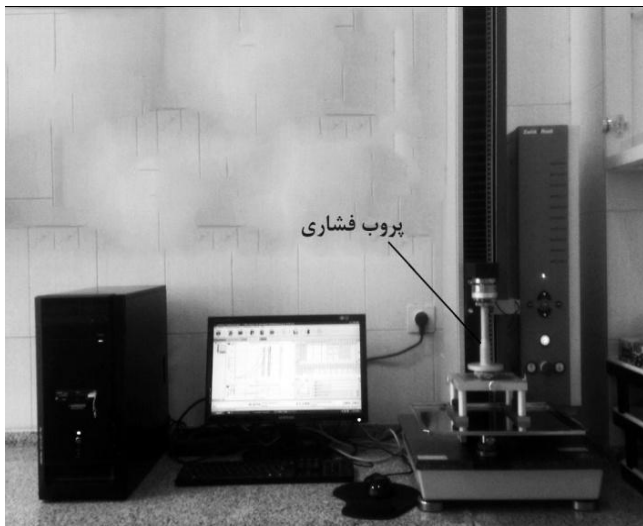
شکل ۱. مدل ماکسول عمومی شامل n جزء ماکسول و یک جزء فنر (رابطه ۱)

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{-\frac{t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{-\frac{t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n e^{-\frac{t}{T_{reln}}} + \sigma_e$$

که در این رابطه: $\sigma(t)$ تابع کاهش نیرو در طی زمان، و σ_n و T_{rel} ضرایب مدل هستند و $T_{rel} = n \tau_n / \sigma_n$ زمان رهایش است. منحنی رهایی تنش، تابعی از ویژگی‌های ویسکوالاستیک محصول است که این ویژگی‌ها را با کمک پارامترهای نسبت کاهش نیرو^۲ (معادل درصد کاهش نیرو نسبت به نیروی اولیه پس از طی زمان آزمایش) و عامل نیرو^۳ (بیشینه نیرویی که

1. Generalized Maxwell model
2. Force decay ratio
3. Force factor

۱- ۲۰۰ mm.min، سرعت بارگذاری اولیه ۱- ۶۰ mm.min، مدت زمان رهایی تنش ۳۰۰ ثانیه، و مقدار تنش در زمان صفر ۱۲۵ کیلوپاسکال (براساس آزمون صفحات فشاری در محدوده کرنش ۱۰ درصد و قبل از آزمون تنش‌آسایی محاسبه شد). مقدار تنش به صورت تنش وابسته به زمان تقسیم بر کرنش ثابت (مدول آرامیدگی) با دستگاه محاسبه شد. کل آزمون برای هر ۶ نمونه متشکل از ران و سینه مرغ در سه تکرار صورت گرفت. طبق تنظیمات اولیه انجام شده روی دستگاه آنالیزور، داده‌های مربوط به نیرو در محدوده زمانی ۰ تا ۳۰۰ ثانیه با نرخ نمونه‌برداری ذکر شده ثبت شدند. مدل ماکسول تعمیم‌یافته برای پیش‌بینی رفتار رهایی تنش نمونه‌ها استفاده شد.



شکل ۳. دستگاه تست محوری مجهز به تنظیم آزمون تنش‌آسایی

همانطور که پیشتر نیز گفته شد، روش‌های گوناگونی برای بررسی رهایی تنش در یک جسم و محاسبه زمان آن وجود دارد. روش استفاده شده در این مطالعه برای مدل ماکسول عمومی روش باقیمانده‌های متوالی^۱ است. این روش توسط Mohsenin (1986) ارائه شد. پس از رسم منحنی لگاریتم تنش-زمان، بخشی از منحنی اصلی که به صورت موازی با محور افقی (زمان) درآمده است مشخص، خطی بر آن مماس شد و معادله رگرسیون خطی با نرم‌افزار اکسل (نسخه 2010) به دست آمد. سپس مقدار زمان‌ها در معادله به دست آمده جایگذاری شد و تفاضل مقدار تنش به دست آمده با معادله ۲ برای هر زمان از مقدار تنش اصلی در آن زمان محاسبه شد. سرانجام نمودار تنش به دست آمده (منحنی اختلاف) در مقابل زمان رسم شد. عرض از مبدأ معادله رگرسیون تعیین شده برابر با ضریب جمله نمایی

دادند که میزان رطوبت یک اثر کاهشی و دفعات بارگذاری یک اثر افزایشی روی مقادیر جزء الاستیک و زمان رهایی جمله اول، مدل ماکسول سه‌جزئی دارد.

تدوین مدل ویسکوالاستیک گوشت مرغ با رژیم‌های غذایی گوناگون براساس منحنی رهایی تنش به منظور بررسی بافت آن با بارگذاری‌های متفاوت، می‌تواند در راستای طراحی تجهیزات فراوری مفید واقع شود.

هدف از این پژوهش، بررسی مدل تعمیم‌یافته ماکسول در توصیف رفتار تنش‌آسایی گوشت مرغ با جیره‌های غذایی گوناگون از قبیل شاهد (بدون افزودنی)، با افزودنی آنتی‌بیوتیک ۶۵۰ ppm، و با افزودنی ۲ درصد سرخارگل است. اطلاعات این تحقیق می‌تواند ضمن بررسی تأثیر تغذیه مرغ در طول دوره رشد آن روی کیفیت بافت، استفاده از فرآورده‌های گیاهان دارویی همانند سرخارگل را به عنوان جانشینی برای آنتی‌بیوتیک در خوراک طیور مطرح کند.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمایش، ۶ عدد مرغ به صورت سه دسته دوتایی از یک سوله تحقیقاتی واقع در مزرعه عباس‌آباد، دانشگاه بوعلی‌سینای همدان، انتخاب شد. تیمارهای تغذیه‌ای مشتمل بر: ۱. شاهد (بدون افزودنی)، ۲. با افزودنی آنتی‌بیوتیک به میزان ۶۵۰ ppm، و ۳. با افزودنی سرخارگل به میزان ۲ درصد در طول دوره رشد مرغ اعمال شد. پس از کشتار، گوشت مرغ‌ها از هرگونه بافت چربی و غیره جداسازی و قطعات گوشت به دست آمده به دو گروه ران و سینه تقسیم شدند. نمونه‌های تهیه شده به مدت دو روز در دمای ۱۸ درجه سلسیوس زیر صفر، در کیسه‌های وکیوم بسته‌بندی، و در آزمایشگاه دانشگاه بوعلی‌سینا منجمد شد. قبل از آزمون تنش‌آسایی، نمونه‌هایی به صورت مکعب مستطیل به ابعاد $10 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ با چاقوی تیز برش داده شدند. همچنین به منظور ارزیابی رفتار تنش‌آسایی، آزمون فشاری روی نمونه‌ها انجام شد. نمونه‌های تهیه شده زیر فشار آنالیزور مکانیکی Zwick/Roell مدل BT1_FR0.5TH.D14، با محدوده ولتاژ ۱۰۰ تا ۱۲۹ و فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز، با استفاده از لودسل مدل Xforce HP با ظرفیت ۵۰ نیوتن و با مشخصه 2 mV/V مجهز به پروب‌های فشاری با سطح مقطع‌های ویژه برای به دست آوردن منحنی نیرو-تغییر شکل قرار گرفتند (شکل ۳). سطح مقطع قرارگیری هر نمونه زیر پروب فشاری برابر با 0.002 m^2 بود. شرایط اعمال شده برای انجام آزمایش در دمای اتاق عبارت است از: نیروی بارگذاری اولیه برابر با ۰/۵ نیوتن، سرعت آغاز تست

1. Successive residuals

و گوشت جیره ۲ درصد سینه بیشترین مقدار (۹/۶ ثانیه) دارد. این بدان معناست که گوشت شاهد قسمت سینه سریع‌تر دچار تنش‌آسایی می‌شود. به عبارت دیگر قسمت سینه گوشت شاهد برای کاهش دادن تنش اعمالی در شرایط کرنش ثابت توانا تر است در حالی که گوشت قسمت سینه مرغ تغذیه شده دیرتر دچار تنش‌آسایی می‌شود. این مطلب نشان می‌دهد که افزودن موادی مانند آنتی‌بیوتیک و جیره سرخارگل، در قسمت سینه نمونه روی سفتی گوشت مرغ مؤثرند و سبب افزایش این پارامتر و ویژگی الاستیسیته می‌شوند (Kajuna et al., 1998) که از نظر مصرف‌کننده پارامتری منفی است، زیرا می‌تواند روی افزایش زمان پخت و هضم نمونه تأثیرگذار باشد (Offer & Knight, 1989). همچنین قسمت ران گوشت آغشته به آنتی‌بیوتیک (۸/۸۴ ثانیه) و شاهد (۸/۴۷ ثانیه) زمان تنش‌آسایی بزرگتری در مقایسه با قسمت سینه گوشت این دو نوع تیمار دارد. در حالی که برای تیمار جیره‌بندی شده ۲ درصد این نتیجه کاملاً متفاوت است یعنی قسمت سینه زمان تنش‌آسایی بیشتری (۹/۶ ثانیه) به نسبت قسمت ران (۶/۳۷ ثانیه) دارد. در واقع قسمت سینه این تیمار در مدت زمانی طولانی‌تر از قسمت ران آن دچار کاهش تنش شده است.

نتیجه‌ای که از مقایسه مقادیر موجود در جدول ۱ گرفته می‌شود این است که با افزودن آنتی‌بیوتیک با منشأ گیاهی (جیره سرخارگل ۲ درصد) مقدار ضرایب σ_1 ، σ_2 ، σ_3 ، σ_4 و σ_6 برای نمونه قطعات ران کاهش یافتند و در نمونه‌های سینه مقدار ضرایب σ_3 ، σ_4 ، σ_5 ، σ_6 دچار کاهش شدند. حال با توجه به اینکه ضرایب مذکور در مدل ماکسول عمومی بیان‌کننده خصوصیات الاستیک فنر هستند، بنابراین با افزودن این جیره غذایی، ضریب کشسانی نمونه گوشت‌ها (ماده ویسکوالاستیک)، نیز کاهش می‌یابد. البته باید اشاره کرد که در موارد دیگر اختلاف معناداری مشاهده نشد. به دلیل مهم بودن ضرایب و زمان استراحت تنش جمله اول، طبق جدول ۱ این نتیجه حاصل می‌شود که افزودن هر دو نوع آنتی‌بیوتیک در نمونه سینه سبب افزایش این ضریب و زمان استراحت اول می‌شود ولی در نمونه ران برای محرک رشد جیره ۲ درصد از هر دو ضریب و زمان استراحت اول کاسته می‌شود اما برای رژیم آنتی‌بیوتیک فقط زمان استراحت اول کاهش می‌یابد، در حالی که ضریب جمله اول مدل ماکسول عمومی برای رژیم آنتی‌بیوتیک در قسمت ران در مقایسه با نمونه شاهد (بدون افزودنی) دچار افزایش می‌شود.

معادله تنش‌آسایی σ_1 است. با تکرار روش مذکور تا زمانی که منحنی واقعی توسط تعدادی کافی از شرایط نمایی نشان داده شود، منحنی به دست آمده نهایی به صورت خط راست خواهد بود. برای محاسبه ثابت زمانی، T_{rel} یا به عبارتی زمان رهایی تنش از معادله ۲ می‌توان استفاده کرد:

$$T_{rel} = \frac{T_2 - T_1}{\ln(\sigma_1) - \ln(\sigma_2)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

سپس مدل رهایی تنش از معادله ۳ به دست می‌آید:

(رابطه ۳)

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{-\frac{t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{-\frac{t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n e^{-\frac{t}{T_{reln}}} + \sigma e$$

مدل به دست آمده از معادله ۳ به کمک داده‌های تجربی ارزیابی و نمودار تنش در مقابل زمان رسم می‌شود، سپس مدل تجربی و مدل تخمین زده شده مقایسه می‌شوند. شایان ذکر است که تمامی این آزمایش‌ها پیش از پخت روی نمونه‌ها انجام شده است.

نتایج و بحث

با انجام آزمایش‌های تنش‌آسایی، مشخص شد که برای استخراج مدل ویسکوالاستیک گوشت مرغ براساس منحنی رهایی تنش، حداقل به ۳۰۰ ثانیه زمان استراحت نیاز است، تا مدل نمایی^۱ مربوط به آن فراهم شود، زیرا به نظر می‌رسد که در مدت زمان کمتر از این مقدار بخش انتهایی منحنی هنوز به ثبات لازم نرسیده است و استخراج جزء‌های مدل در بسیاری از موارد امکان‌پذیر نمی‌شود. برای انجام این آزمایش از روش Successive Residual معرفی شده توسط (Mohsenin, 1986) استفاده شد. جمله‌ای را که دارای بیشترین مقدار جزء الاستیک است جمله اول و مقدار زمان رهایی آن به عنوان زمان استراحت تنش ماده در نظر گرفته شد. این روش را برخی محققان دیگر نیز پذیرفته‌اند (Khazaei & Mann, Vozary & Meszaros, 2007; Maghsoudi et al., 2009).

مدل ماکسول عمومی برای تمامی نمونه‌ها در سه گروه گوناگون به صورت مدل شش‌المانه ارائه شد. جدول ۱ مقادیر ضرایب و زمان‌های رهایی از تنش مدل شش‌المانی ماکسول را که با رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شده است، نشان می‌دهد. مقادیر مربوط به این مدل در جدول ۱ ارائه شده است.

طبق جدول ۱ و تئوری (Mohsenin, 1986) زمان رهایی

اول (T_{rel1}) برای گوشت شاهد-سینه کمترین مقدار (۶/۰۲ ثانیه)

جدول ۱. مقدار تنش و زمان تنش آسای در المان‌های ویسکوالاستیک مدل ماکسول عمومی ارائه شده

تنش (kpa)													نمونه	اجزای گوشت مرغ
زمان تنش آسای (s)														
T _{rel1}	T _{rel2}	T _{rel3}	T _{rel4}	T _{rel5}	T _{rel6}	σ ₆	σ ₅	σ ₄	σ ₃	σ ₂	σ ₁	σ _e	R ²	
۸/۸۴	۳۳/۵۱	۵۷/۱۶	۸۲/۷۵	۱۱۴/۴۵	۱۵۲/۴۵	۴۵/۰۸	۲۰/۰۱	۱۱/۸	۹/۴	۴/۵	۱۱/۶	۲۲/۷	۰/۹۹۹۸	آنتی‌بیوتیک جیره
۶/۳۷	۳۰/۰۶	۵۸/۳۸	۸۹/۶۴	۱۲۶/۵۴	۱۶۵/۹۱	۶۰/۵۸	۱۹/۴	۹/۲۲	۶/۷۵	۴/۴	۶/۹	۱۷/۸	۰/۹۹۹۸	ران مرغ سرخارگل ۲درصد
۸/۴۷	۳۶/۰۵	۶۴/۳۷	۹۳/۹۴	۱۲۶/۷۷	۱۶۶/۸۶	۴۸/۷۳	۱۸/۵۹	۱۰/۴	۸/۰۲	۶/۰۵	۹/۴	۲۳/۹۷	۰/۹۹۹۹	شاهد
۷/۳۴	۳۹/۱۲	۷۱/۵۸	۱۰۳/۸	۱۳۶/۰۶	۱۸۱/۷۷	۵۶/۳۳	۱۵/۸۱	۸/۱۶	۶/۷۷	۵/۲۸	۸/۵۳	۲۴/۱۴	۰/۹۹۳۴	آنتی‌بیوتیک جیره
۹/۶	۵۲/۲۴	۹۹/۸۷	۱۴۵/۰۱	۱۹۱/۷۹	۲۴۱/۰۶	۴۵/۵۸	۱۴/۱۸	۷/۳۷	۶/۱۷	۴/۸۱	۹/۰۷	۳۲/۸۲	۰/۹۹۹۹	سینه مرغ سرخارگل ۲درصد
۶/۰۲	۳۲/۹۶	۶۲/۱۳	۹۶/۰۹	۱۳۴/۲۴	۱۷۸/۰۶	۶۴/۰۱	۱۶/۶۲	۸/۶۴	۶/۲۱	۴/۴۸	۶/۶۶	۱۸/۴۴	۰/۹۹۹۹	شاهد

تیمار شاهد شده است.

این نتیجه نشان می‌دهد که گوشت ران تیمار شاهد رفتار الاستیک (شبه‌جامد) بیشتری در مقایسه با گوشت سینه دو تیمار دیگر از خود نشان می‌دهد و تنش‌های باقیمانده کمتری در خود ذخیره می‌کند و تمایل آن برای بازگشت به حالت اولیه بیشتر است. این فنر تنها جزء الاستیک مدل است که با زمان همراه نیست و به سرعت در مقابل تنش واکنش نشان می‌دهد. مقدار به دست آمده از رابطه زیر بیانگر مؤلفه داشپات (کمک فنر) است که مربوط به خصوصیات جریان ماده می‌شود:

$$\eta_i = T_{Reli} \cdot \sigma_i \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این رابطه:

σ_i مدول الاستیک المان فنر مدل ماکسول، T_{Reli} زمان رهایی از تنش، و η_i ویسکوزیته المان‌ها (KPa.s) هستند.

جدول ۲ مقادیر ویسکوزیته مربوط به المان‌های مدل ماکسول را نشان می‌دهد.

جدول ۲ نشان می‌دهد که در زمان رهایش اول، مقدار ویسکوزیته المان اول دارای کمترین مقدار (۴۰/۰۹ کیلوپاسکال ثانیه) و بیشترین مقدار (۱۰۲/۵۴ کیلوپاسکال ثانیه) به ترتیب برای گوشت شاهد سینه و قسمت ران رژیم آنتی‌بیوتیک است. این مقدار نشان می‌دهد که گوشت شاهد سینه خاصیت جریان‌پذیری کمتری در مقایسه با انواع دیگر دارد و گوشت ران رژیم آنتی‌بیوتیک رفتار ویسکوزیته بیشتری را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ جیره‌های غذایی ذکر شده سبب افزایش ویسکوزیته در زمان تنش آسای اول گوشت مرغ در قسمت سینه شده است در حالی که برای ران افزایش ویسکوزیته در رژیم آنتی‌بیوتیک و کاهش آن در رژیم جیره ۲ درصد مشاهده می‌شود. در زمان‌های دوم تا چهارم برای

همچنین طبق جدول ۱، برای زمان‌های تنش آسای دوم گوشت جیره سرخارگل ۲ درصد قسمت سینه دارای بیشترین مقدار (۵۲/۲۴ ثانیه) و قسمت ران آن با مقدار ۳۰/۰۶ دارای کمترین زمان تنش آسای دوم است. این نتیجه نشان می‌دهد که قسمت سینه گوشت جیره ۲ درصد پیش از پخت بافت سفت‌تری به نسبت قسمت ران دارد. در نتیجه هنگام فرایند حرارتی نیز گوشت سینه این تیمار دیرتر پخته می‌شود که از نظر مصرف‌کننده خیلی مطلوب به نظر نمی‌آید. جدول ۱ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین زمان تنش آسای برای زمان‌های سوم تا پنجم به ترتیب مربوط به قسمت سینه تیمار ۲ درصد و قسمت ران تیمار آنتی‌بیوتیک است. در نتیجه گوشت ران آغشته به آنتی‌بیوتیک، گوشتی لطیف‌تر در مقایسه با سایر تیمارها دارد، سریعتر دچار کاهش تنش می‌شود و در نتیجه بافت آن خاصیت الاستیسیته کمتری به نسبت سایر نمونه‌ها دارد. این ویژگی می‌تواند روی پارامترهای دیگری چون زمان پخت تأثیر مثبتی بگذارد. افزودن دو رژیم به تغذیه مرغ‌ها سبب کاهش زمان‌های استراحت در نمونه ران و افزایش این پارامتر در نمونه سینه شده است.

با توجه به اینکه میزان تنش اولیه وارد شده به نمونه‌های گوشت مرغ برای هر سه نوع تیمار برابر با مقدار ۱۲۵ کیلوپاسکال است، مؤلفه فنر سری با مجموعه المان‌ها که نشان‌دهنده حالت تعادل است، بیشترین مقدار را (۳۲/۸۲ کیلوپاسکال) برای قسمت سینه تیمار جیره ۲ درصد و کمترین مقدار را (۱۷/۸ کیلو پاسکال) برای قسمت ران تیمار جیره سرخارگل ۲ درصد دارد. همچنین نشان می‌دهد که افزودن دو رژیم در نمونه ران سبب کاهش σ_e شده در حالی که سبب افزایش این پارامتر در نمونه سینه هر دو رژیم در مقایسه با

افزایشی در مقایسه با نمونه شاهد داشته است. برای زمان ششم روند ویسکوزیته هر دو افزودنی برای گوشت سینه به نسبت نمونه شاهد کاهش یافته است.

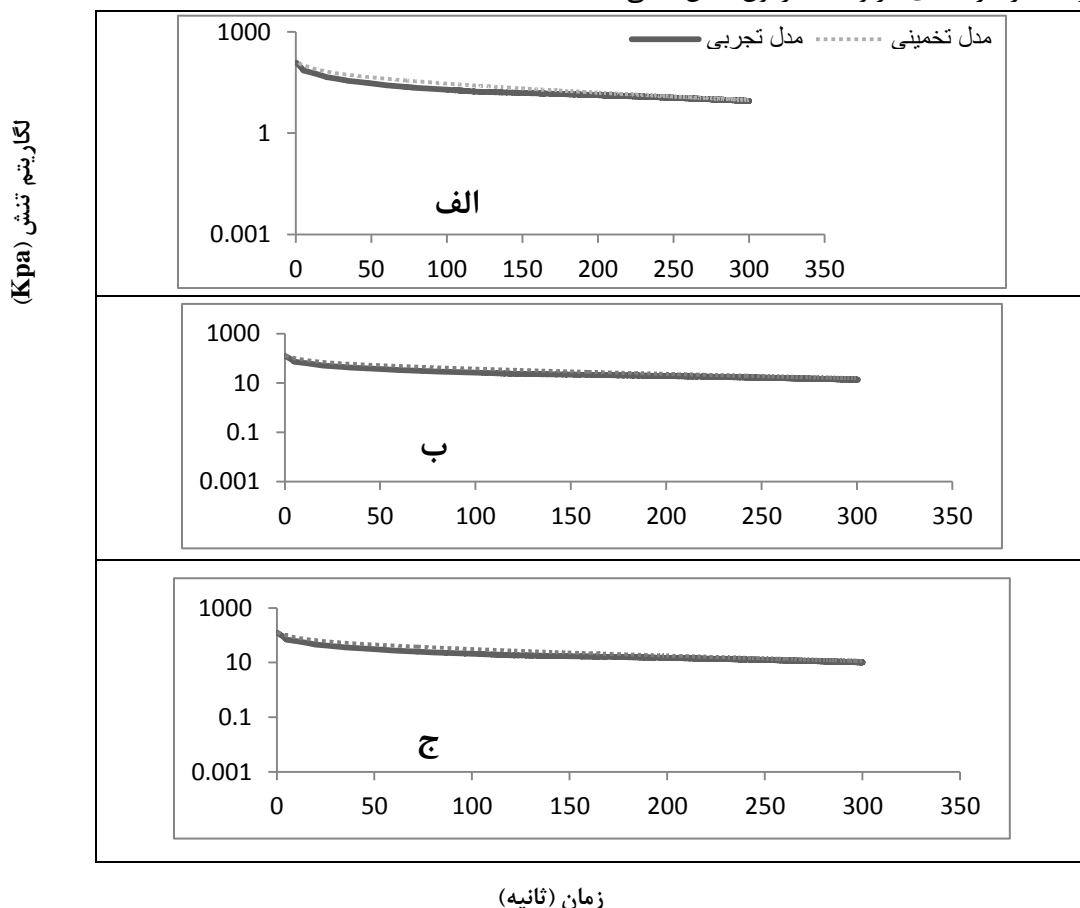
هر قسمت سینه دو رژیم آنتی بیوتیک و سرخارگل ۲ درصد افزایش ویسکوزیته به نسبت رژیم شاهد نیز حاصل شده است. در حالی که برای زمان پنجم قسمت سینه در رژیم آنتی بیوتیک ویسکوزیته روند کاهش یافته و در رژیم جیره سرخارگل ۲ درصد روند

جدول ۲. مقدار ویسکوزیته المان‌های مدل ماکسول عمومی ارائه شده (KPa.s)

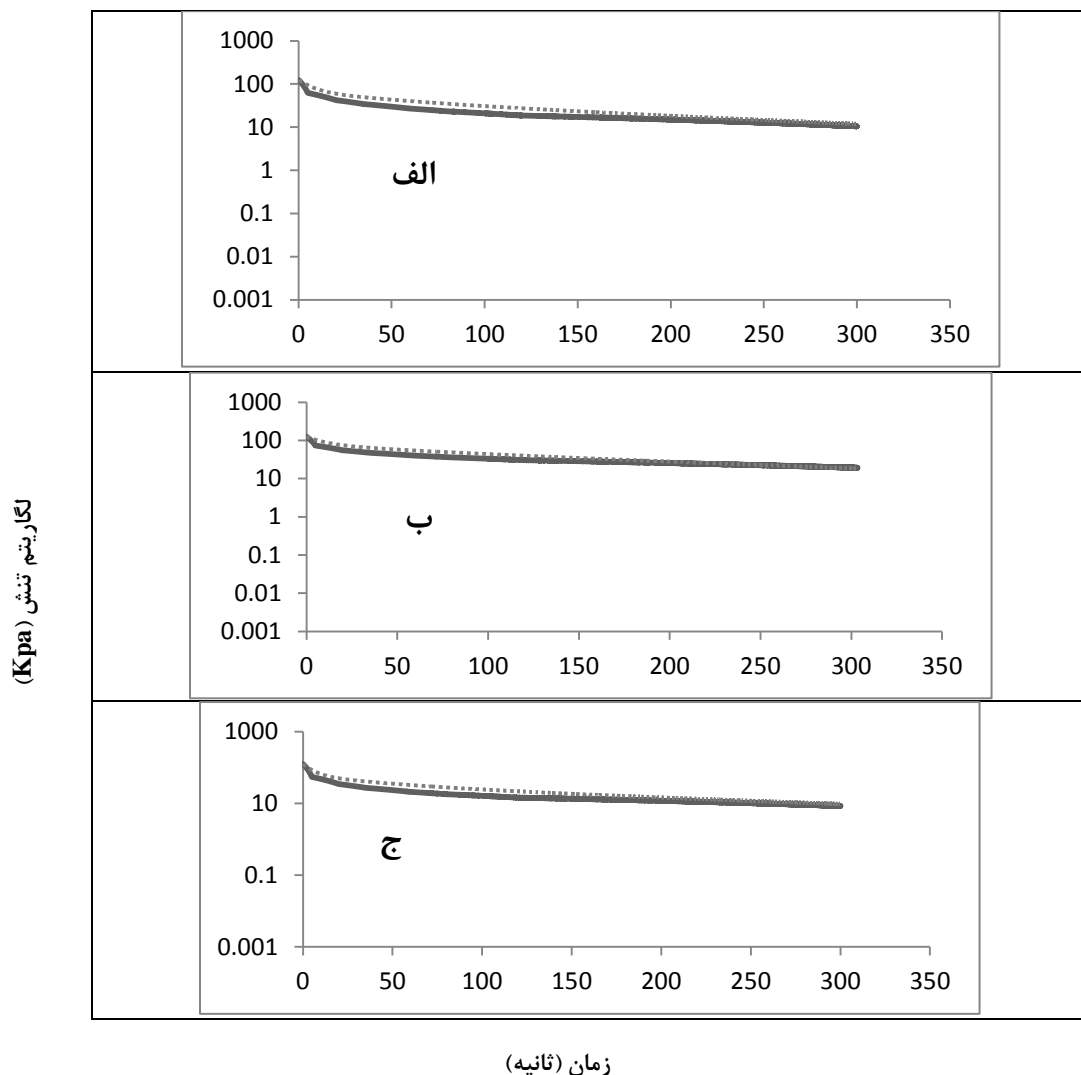
اجزای گوشت مرغ	نمونه	ویسکوزیته المان‌های مدل ماکسول (KPa.s)					
		η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6
آنتی بیوتیک ۶۵۰ ppm	۶۵۰ ppm	۱۰۲/۵۴	۱۵۰/۸	۵۳۷/۳	۹۷۶/۴۵	۲۲۹۰/۱۴	۶۸۷۲/۴۵
ران مرغ	جیره سرخارگل ۲ درصد	۴۳/۹۵	۱۳۲/۲۶	۳۹۴/۰۷	۸۲۶/۴۸	۲۴۵۴/۸۸	۱۰۰۵۰/۸۳
	شاهد	۷۹/۶۲	۲۱۸/۱	۵۱۶/۲۵	۹۷۶/۹۸	۲۳۵۶/۶۵	۸۱۳۱/۰۹
آنتی بیوتیک ۶۵۰ ppm	۶۵۰ ppm	۶۲/۶۱	۲۰۶/۵۵	۴۸۴/۶	۸۴۷/۰۱	۲۱۵۱/۱۱	۱۰۲۳۹/۱
سینه مرغ	جیره سرخارگل ۲ درصد	۸۷/۰۷	۲۵۱/۲۷	۶۱۶/۲	۱۰۶۸/۷۳	۲۷۱۹/۵۸	۱۰۹۸۷/۵۱
	شاهد	۴۰/۰۹	۱۴۷/۶۶	۳۸۵/۸۳	۸۳۰/۲۲	۲۲۳۱/۰۷	۱۱۳۹۷/۶۲

(شکل ۴ و ۵) مشاهده می‌شود، در ابتدا کاهش زیادی در تنش مشاهده می‌شود. سپس تنش به مقدار ثابتی می‌رسد. این رفتار مشابه با نتایج محققان گوناگون روی سیستم‌های ناهمگون غذایی زیادی است (Bertola et al., 1996; Del Nobile et al., 2007; Gunasekaran & Ak, 2002; Singh et al., 2006; Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cañovas, 2005).

زمان‌های تنش آسایبی توصیف کننده گرایش ماده برای جریان یافتن هستند. چنانچه این زمان‌ها افزایش یابند، مؤلفه الاستیک نیز به واسطه آن افزایش می‌یابد (Steffe, 1996). شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نمودار تنش در برابر زمان برای گوشت ران و سینه نمونه‌ها با در نظر گرفتن جیره‌های غذایی: الف) آنتی بیوتیک، ب) جیره ۲ درصد سرخارگل، و ج) شاهد هستند. همانطور که در گراف‌های مربوط به آزمون تنش آسایبی



شکل ۴. نمودار تنش در برابر زمان برای گوشت ران نمونه‌ها: الف) آنتی بیوتیک، ب) جیره ۲ درصد سرخارگل، و ج) شاهد



شکل ۵. نمودار تنش در برابر زمان برای گوشت سینه نمونه‌ها: الف) آنتی‌بیوتیک، ب) جیره ۲ درصد سرخارگل، و ج) شاهد

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق گوشت مرغ جامد ویسکوالاستیک محسوب می‌شود که خصوصیات ویسکوز و الاستیک آن از تغییرات در رژیم غذایی مرغ‌ها تأثیر می‌پذیرد. آزمون تنش‌آسایی ماهیت واقعی ماده ویسکوالاستیک را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این است که نوع جیره غذایی داده شده به مرغ‌ها روی پارامترهای کیفی گوشت مرغ مؤثر است. همچنین این جیره‌های غذایی روی قسمت‌های گوناگون گوشت همانند ران و سینه تأثیرات متفاوتی دارند. افزودن جیره سرخارگل ۲ درصد و آنتی‌بیوتیک به گوشت مرغ ساختار کیفی گوشت را دچار تغییرات اساسی و متفاوت با گوشت شاهد کرده است. این تغییرات در برخی شرایط مطلوب و در برخی دیگر نامطلوب تلقی می‌شوند. به‌عنوان مثال در حالتی که گوشت شاهد خام است، نیروی کمتری برای جداسازی بافت آن لازم است، درحالی‌که برای دو نوع گوشت دیگر مقدار این نیرو بیشتر است.

با توجه به عوارضی که در سال‌های اخیر برای تزریق آنتی‌بیوتیک به مرغ مشاهده شده است، جیره ۲ درصد از ماده گیاهی سرخارگل پیشنهاد می‌شود که همان خاصیت آنتی‌بیوتیک را بدون داشتن عوارض ایفا می‌کند. در مقابل، اثر این افزودنی‌ها روی سینه مرغ متفاوت است.

بررسی تغییرات ویسکوالاستیک گوشت مرغ نشان می‌دهد که تغییر در ویژگی الاستیک یا ویسکوز فقط تحت تأثیر تغذیه مرغ نیست بلکه می‌تواند تحت تأثیر پارامترهای دیگری همانند قطعات گوناگون گوشت (ران و سینه)، میزان WHC بافت (Khazaei & Mann, 2005)، و سایر موارد باشد. در این تحقیق، منحنی‌های تنش‌آسایی به‌دست‌آمده برای نمونه‌های گوناگون با استفاده از مدل ماکسول تعمیم‌یافته دارای شش‌المان به روش مطلوبی رفتار این ماده غذایی را قبل از پخت پیش‌بینی می‌کنند (برازش ۰/۹۹۹۹). این نتیجه موافق با نتایجی است که Silvina *et al.* (2008) روی سوسیس‌های گوشت مرغ به‌دست آورده‌اند.

را به‌طور مناسبی پیش‌بینی می‌کند. مدل ارائه‌شده متناسب با مدل تجربی به‌دست آمده است زیرا نمودارهای تنش-زمان ارائه‌شده مدل تخمین‌زده‌شده با ضریب تبیین بسیار بالایی روی مدل تجربی برازش شد.

این مطلب نشان می‌دهد که افزودن این مواد به جیره غذایی مرغ، سبب سفت‌تر شدن بافت گوشت خام می‌شود. همچنین مدل ماکسول ارائه‌شده به‌همراه شش المان تنش‌های وابسته به زمان و میزان ویسکوزیته المان‌های ویسکوز

REFERENCE

- Afkari Sayyah, A. (2003). Hardness measurement and its relationship with the quality of wheat flour production. PhD Thesis of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, P-151. (In Farsi)
- Anonymous. (2003). Viscoelasticity. University of Nottingham, School of Polymer Engineering. pp: 1-25
- Bampidis, V. H., Christodoulou, V., Florou-Paneri, P., Christaki, E., Chatzopoulou, P. S., Tsilingianni, T. & Spais, A.B. (2005). Effect of dietary dried oregano leaves on growth performance, carcass characteristics and serum cholesterol of female early maturing turkeys. *British Poultry Science*, 46, 595-601.
- Bertola, N., Califano, A. N., Bevilacqua, A. & Zaritzky, N. E. (1996). Textural changes and proteolysis of low moisture Mozzarella Cheese Frozen under various conditions. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie*, 29, 470-474.
- Campus, M, Addis M. F., Cappuccinelli, R., Porcu, M. C., Pretti, L., Tedde, V., Secchi, N., Stara, G. & Roggio, T. (2010). Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. *Journal of Food Engineering*, 96, 192-198.
- Cross, D. E., McDevitt, R. M., Hillman, K. & Acamovic, T. (2007). The effects of herbs and their associated essential oils on performance, dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age. *British Poultry Science*, 48, 496-504.
- Del Nobile, M. A., Chillo, S., Mentana, A. & Baiano, A. (2007). Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. *Journal of Food Engineering*, 78, 978-983.
- Gunasekaran, S. & Ak, M. M. (2002). *Cheese rheology and texture*. New York: CRC PRESS.
- Gunasekaran, S. & Mehmet, M. A. (2002). Dynamic oscillatory shear testing of foods selected applications. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 115-127.
- Hassan, B. H., Alhamdan, A. M. & Elansari, A. M. (2005). Stress relaxation of dates at Khalal and Rutab stages of maturity. *Journal of Food Engineering*, 66, 439-445.
- Hassanpour, A., Esmaili, M., Modarres Motlagh, A. & Rahmani Didar, A. (2011). Changes in viscoelastic properties of thompson seedless Grapes during ripening. *Journal of Food Research (University Of Tabriz)*, 20, 133-145. (In Farsi)
- Heidarinasab, A. & Moghaddam Nansa, V. (2011). Viscoelastic and time dependant behavior of tomato paste. *Journal of Food Technology & Nutrition*, 8, 21-28. (In Farsi)
- Hudson, J. B. (2010). The multiple actions of the phytomedicine Echinacea in the treatment of colds and flu. *Journal of Medicinal Plants Research*, Vol. 4(25), 2746-2752.
- Kajuna, S., Bilanski, W. K. & Mittal, G. S. (1998). Effect of ripening on the parameters of three stress relaxation models for banana and plantain. *Transactions of the ASAE*, 41(1), 55-61.
- Khazaei, J. & Mann, D. D. (2004). Effects of temperature and loading characteristics on mechanical and stress-relaxation behavior of sea Buckthorn Berries. Part 3. relaxation behavior. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Science Research Development*, 5, 1-12.
- Khazaei, J. & Mann D. D. (2005). Effects of moisture content and number of loadings on force relaxation behaviour of chickpea kernels. *International Agrophysics*, 19, 305-313.
- Lakes, R. S. (1999). *Viscoelastic solids*. 1st ed., Boca Raton, Florida. CRC Press, 476 pp.
- Maghsoudi, H., Khosh Taghaza. M. & Minaei, S. (2009). Evaluation of visco-elastic behavior for pistachio nut mouth closed off under semi-static load. *Proceedings of The Fifth National Conference On Agricultural Machinery Engineering And Mechanisation*. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi)
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties*. 2nd ed., Gordon Breach Science Publisher, New York.
- Offer, G. & Knight, P. (1989). The structural basis of water-holding in meat. Part 2: Drip losses. In Lawrie (Ed.), *Developments in meat science*. Barking, UK: Elsevier Applied Science.
- Sahin, S. & Sumna, S. (2006). *Physical properties of foods*. Springer-Verlag, Berlin.
- Silvina, C. A., Noemi, E. Z. & Alicia, N. C. (2008). Stress relaxation characteristics of low-fat chicken sausages made in Argentina. *Journal of Meat Science*, 79, 589-594.
- Singh, H., Rockall, A., Martin, C. R., Chung, O. K. & Lookhart, G. L. (2006). The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyser. *Journal of Texture Studies*, 37, 383-392.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food*

- processing engineering (2nd ed.). Michigan, Freeman Press.
- Stroshine, R. & Hamann, D. (1994). Physical properties of agricultural materials and food products. 1st ed. West Lafayette, IN.
- Tabilo-Munizaga, G. & Barbosa-Cañovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. Journal of Food Engineering, 67, 147-156.
- Tavakoli Hashtjin, T. (2003). Mechanics agricultural products, Compilation by Sitki, G. The first edition, Published by University of Zanjan, P-520. (In Farsi)
- Vozary, E. & Meszaros, P. (2007). Effect of mechanical stress on apple impedance parameters. ICEBI, IFMBE Proceedings, 17, 118-121.