نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۲۱ شماره ۴/ سال ۱۳۹۰

کاربرد ماشین آزمون عمومی (اینستران) در ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی ماست

حسن خلیفه[۱]، سید هادی پیغمبردوست[۲*]، جواد حصاری[۲]، صدیف آزادمرد[۲] و محمدرضا دادپور[۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۲٤

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲-دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۳-استادیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: Email: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

چکیده

بافت یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مواد غذایی است که بررسی آن می‌تواند در ارتقای کیفی مواد غذایی مؤثر باشد. بافت و استحکام لخته ماست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و ارزیابی این ویژگی‌ها با استفاده از روش‌ها و دستگاه‌های مختلف همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. در این مطالعه ویژگی‌های رئولوژیکی (نیرو، کرنش کوچی، تنش و مدول یانگ) سه نوع ماست تجاری (دو نمونه نیم‌چرب و پرچرب و یک نمونه ماست گوسفندی) با استفاده از دستگاه ماشین آزمون عمومی(اینستران) مورد بررسی قرار گرفت. به علاوه پروب‌های مناسبی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی ماست ساخته و شرایط بهینه‌ی کار با این دستگاه بررسی شد. شرایط بهینه کار با دستگاه اینستران عبارت بودند از: پروب استوانه‌ای با سطح مقطع ۷۵ میلی‌متر، عمق نفوذ پروب در ظرف ماست ٤٥ میلی‌متر، نسبت سرعت چارت به پیشانی دستگاه (crosshead) ۱ به ۲، سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و مقیاس نیرو (fullscale) ۵ نیوتن. نتایج بدست‌آمده نشان داد در ماست‌های پرچرب و گوسفندی به دلیل بالاتر بودن میزان چربی و بالطبع ماده خشک، استحکام لخته بیشتر بوده و بیشترین نیرو در ماست پرچرب بدست آمد (۱/۱ نیوتن). میزان تنش بدست‌آمده برای ماست‌های پرچرب، نیم‌چرب و گوسفندی به ترتیب ۲۲٤٦، ۱۲۲۲ و ۲۰۰٤ نیوتن و مدول یانگ (نشان‌دهنده میزان سفتی نمونه) برای ماست‌های پرچرب، نیم‌چرب و گوسفندی به ترتیب ۹۰۱۸/۷، ٤۳٤٦/۹ و ۸٤۰۷ پاسکال بدست آمد. این پژوهش امکان استفاده از دستگاه مکانیکی اینستران مدل ۱۱٤۰ در ارزیابی پارامترهای مختلف رئولوژیکی بافت ماست را تأیید نمود.

واژه های کلیدی: اینستران،ماست، ویژگی‌های رئولوژیکی

Application of Universal Testing Machine (Instron) for evaluation of yoghurt rheological properties

H Khalifeh[1], S H Peighambardoust[2*], J Hesari[2] S Azadmard Damirchi[2] and M R Dadpour[3]

Received: January 09, 2011 Accepted: March 14, 2012
[1]MSc student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3]Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[*]Corresponding author: Email: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

Abstract
Texture is one of the most important food properties. The evaluation of texture in food products can be a useful measure to ensure food quality. Texture and curd strength of yoghurt are important quality attributes. In this study, rheological properties (force, Couchi strain, stress, Young module) of three different yoghurts (two low and high fat samples and one sheep yoghurt) were evaluated using Universal Testing Machine (Instron). Furthermore, the optimization of test conditions was carried out. The best conditions were found as follows: probe diameter 75 mm, probe penetration in container 45 mm, chart to crosshead speed ratio 2:1, crosshead speed 50 mm/min and instrument "fullscale" 5 N. The results showed that curd strength in full fat and sheep yoghurt was higher than that of low fat yoghurt, perhaps due to more fat and consequently higher dry matter of yoghurt. Stress and elasticity modules in full fat, low fat and sheep yoghurts were 2246 N and 9018.7 Pa; 1222 N and 4346.9 Pa; 2004 N and 8407 Pa, respectively. This study confirmed the possibility of application using Instron machine (model 1140) in evaluating rheological properties of yoghurt.

Keywords: Instron, Rheological properties, Yoghurt

مقدمه

ماست یکی از فرآورده های تخمیری شیر است که با استفاده ازتلقیح آغازگرهای تجاری حاوی گونه‌های *Streptococcus salivarius ssp. termophilus* و *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* به شیر پاستوریزه تولید می‌شود. تاریخچه تولید ماست به چند هزارسال قبل در خاورمیانه باز می گردد و از همان دوران و به مرور زمان، به عنوان یک منبع مناسب برای تأمین انرژی، پروتئین، چربی، کربوهیدرات، کلسیم، فسفر، ویتامین ها و املاح معدنی شناخته شده است. طی دهه های اخیر با مشخص شدن فواید مصرف ماست در سلامتی بدن و خواص درمانی آن، تولید وتقاضای جهانی این محصول رشد چشمگیری داشته است. امروزه در جهان انواع مختلفی از ماست تولید می شود که می توان آنها را بر اساس ماهیت فیزیکی (ماست قالبی، همزده و ...)، ماهیت شیمیائی (پرچرب، کم چرب و ...)، ویژگی های عطر وطعم (طبیعی و ساده، میوه ای و طعم دار) و تنوع (اضافه نمودن ویتامین ها و روغن های گیاهی، تیمار های حرارتی و ...) طبقه بندی کرد (تمیم و رابینسون ۱۹۹۹).

افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در رابطه با جنبه‌های تغذیه‌ای و حسی ماست، موجب گردیده تا تولیدکنندگان در هنگام تولید به ویژگی‌های ظاهری، عطر و طعمی و بافتی آن بیش از پیش توجه نمایند به طوری که دستیابی به این ویژگی‌ها به خصوص ویژگی‌های بافتی

در تحقیقات متعدد مورد توجه قرار گرفته است. به طور کلی ویژگی‌های فیزیکی و بافت ماست تحت تأثیر سه عامل اصلی قرار می‌گیرد که عبارتند از:

الف) آماده سازی شیر (مانند غنی‌سازی ماده خشک، هوموژنیزاسیون و پیش گرمایش)

ب) شرایط گرم‌خانه‌گذاری (مانندکشت‌های آغازگر و شرایط دما-زمان تخمیر)

ج) تیمارهای پس از گرم‌خانه‌گذاری (یاروس و رم ۲۰۰۳)

برای ارزیابی بافت مواد غذایی عمدتاً از ماشین‌های آزمون عمومی (UTM) استفاده می‌شود که معروفترین این ماشین‌ها عبارتند از اینسترون (Instron) و تحلیلگر بافت (Texture Analyzer). اینسترون اولین ماشین آزمون عمومی بود که در صنایع غذایی مورد استفاده قرار گرفت و امروزه ازمدل‌های مختلف آن برای ارزیابی بافت میوه‌ها، سبزیجات، نان و.... استفاده می‌شود. از نظر فنی این دو ماشین دارای تفاوت‌هایی هستند. نسبت سرعت چارت به پیشانی[1] در اینسترون ۱۰۰۰-۰/۰۵ میلیمتر بر دقیقه و درتحلیلگر بافت ۶۰۰-۶ میلیمتر بر دقیقه می‌باشد. حداکثر مقدار نیروی وارده در اینسترون ۵۰۰ نیوتن و در تحلیلگر بافت ۲۵۰ نیوتن می‌باشد (برن ۲۰۰۲). در ارزیابی ویژگی‌های بافتی محصولات لبنی مانند پنیر، کره و ماست نیز می‌توان از دستگاه اینسترون استفاده نمود به طوری که مطالعات انجام‌شده برای ارزیابی ویژگی‌های بافتی ماست نشان داد که می‌توان با استفاده از این دستگاه نتایج مورد انتظار را به دست آورد.

در بررسی ویژگی‌های طویل شوندگی با استفاده از ویسکومتر جریان فشاری در سه نوع ماست قالبی که به آن‌ها شیرخشک پس‌چرخ، کازئینات و نمک‌های کاراگینان افزوده شده بود، عمل فشرده‌سازی نمونه‌ها به کمک اینسترون با میزان تغییر شکل ثابت انجام شد. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند تغییرات ایجادشده حاصل از افزودن مواد افزودنی مختلف در غلظت‌های مختلف به شیر برای بهبود قوام ماست رابه خوبی تمییز دهد (رافائلیدز و گیولداسی ۲۰۰۵). در ارزیابی بافت واستحکام ماست قالبی تهیه شده از مخلوط شیر پس-چرخ و کنسانتره آب‌پنیر، با نسبت تغییر یافته کازئین به پروتئین‌های آب‌پنیر (از۴/۷:۱ تا ۰/۵:۱)، با استفاده از اینسترون و رئومترآزمون‌های تخریبی و غیرتخریبی رئولوژیکی انجام شد و در نهایت مشخص گردید کاهش نسبت فوق‌الذکر موجب افزایش استحکام لخته ماست، کاهش شیب اولیه نمودار نیرو-زمان و نیز کاهش آب-اندازی می‌گردد (پووانتیران و همکاران ۲۰۰۲). مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و بافتی با استفاده از اینسترون در ماستی که با روش‌های مختلف حرارت‌دهی شیر(مداوم و غیر مداوم) تولید می‌شود نشان داد که به وضوح ویسکوزیته و استحکام ژل ماست در سیستم غیر مداوم وت بیشتر از سیستم‌های مداوم مانند دمای بالازمان کوتاه (HTST) و فرادما (UHT) می‌باشد (پارنل کلونیس و همکاران ۱۹۸۶). بررسی تأثیر تلقیح کشت-های لاکتیکی درون پوشانی‌شده غیر طنابی (فاقد توانایی لازم برای تولید پلی‌ساکاریدها) بر روی ویژگی-های بافتی ماست (مانند استحکام لخته و قابلیت نگهداری آب) با استفاده از اینسترون نشان داد که در ماست تهیه‌شده از سویه‌های منفرد لاکتوباسیلوس کمترین استحکام و نیز کمترین تنش لخته وجود دارد (حسن و همکاران ۱۹۹۶). مطالعه‌ای در مورد تأثیر افزودن فیبرهای رژیمی (سیب، گندم، بامبو یا اینولین) روی ویژگی‌های رئولوژیکی ماست انجام شد. نتایج ارزیابی‌های فشردگی-روزن‌رانی توسط اینسترون مشخص کرد که میانگین نیروی فشردگی در بامبو بیشترین مقدار و در سیب کمترین مقدار را داشته و بیشینه نیروی فشردگی به زمان و نوع فیبر افزوده شده بستگی دارد (دلو استافلو و همکاران ۲۰۰۴). در پژوهشی امکان تولید ماست با خواص رئولوژیکی بهبودیافته از طریق انجام تیمار فراصوت حرارتی در

[1] Crosshead

فرکانس ۲٤KHz روی شیر از قبل گرم‌شده تا ٤٥ درجه بررسی شد و نتایج آنالیز پروفایل بافت با اینستران به وضوح بیانگر ساختار به مراتب قوی‌تر ژل در این ماست نسبت به ماست تهیه شده به روش مرسوم حرارت‌دهی تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد بود. به علاوه این که مشخص شد این تیمار می‌تواند به عنوان جایگزینی مفید برای استفاده از افزودنی‌های بهبوددهنده‌ی بافت باشد (رینر و همکاران ۲۰۱۰).

در این مطالعه امکان استفاده از دستگاه اینستران برای ارزیابی ویژگی‌های بافتی سه نوع ماست نیم‌چرب، پرچرب و گوسفندی مورد مطالعه قرار گرفته است. به طوری که با توجه به حساسیت پایین دستگاه اینستران مدل ۱۱٤۰ مورد استفاده در این پژوهش سعی گردیده است با تغییر دادن نسبت قطر پروب به قطر داخلی ظرف و نیز سرعت نفوذ پروب و نسبت‌های مختلف سرعت چارت به پیشانی دستگاه و تغییر "مقیاس اندازه گیری" بهترین شرایط کار دستگاه برای ارزیابی بافت سه نوع ماست بدست‌آید.

مواد و روش‌ها

۱-آماده‌سازی ماست

در این مطالعه سه نوع ماست تجاری نیم‌چرب و پر-چرب (۲/٥ و ٦ درصد چربی) و ماست گوسفندی از بازار خریداری و مورد آزمون قرار گرفت.

۲- آنالیز شیمیایی نمونه های ماست

اندازه گیری pH، اسیدیته، ماده خشک، ماده خشک بدون چربی و خاکستر ماست با استفاده از روش‌های آنالیز AOAC انجام شد. نتایج تجزیه شیمیایی ماست های تهیه شده از بازار در جدول ۱ نشان داده شده اند.

جدول۱- ویژگی‌های شیمیایی ماست‌های مورد آزمون

	ماست نیم‌چرب	ماست پرچرب	ماست گوسفندی
pH	۳/۸ ±۰/۰۲	۳/۷ ±۰/۰۱	۴ ±۰/۰۲
اسیدیته (درصد)	۱/۱ ±۰/۰۱	۱/۲ ±۰/۰۲۶	۰/۹ ±۰/۰۱
ماده خشک (درصد)	۱۱/۶ ±۰/۰۸	۱۴/۳ ±۰/۰۳۶	۱۴/۶ ±۰/۰۸۸
ماده خشک بدون چربی (درصد)	۹/۱ ±۰/۰۳	۸/۴ ±۰/۰۸	۸/۳ ±۰/۰۳۵
چربی (درصد)	۲/۵ ±۰/۰۶	۵/۹ ±۰/۰۶	۶/۳ ±۰/۰۶
خاکستر (درصد)	۰/۷ ±۰/۰۰۱	۰/۷ ±۰/۰۰۱	۰/۹ ±۰/۰۰۵

داده‌های جدول میانگین سه تکرار بعلاوه منهای انحراف استاندارد می‌باشند.

۲- ارزیابی بافت ماست

برای ارزیابی بافت از ماشین آزمون عمومی (اینستران) مدل ۱۱٤۰ ساخت آمریکا (شکل۱) مجهز به لودسل فشاری ٥ کیلوگرمی استفاده شد. سرعت حرکت پیشانی دستگاه ٥۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه، عمق نفوذ پروب پیستونی شکل در ظرف ماست از سطح ماست ٤٥ میلی‌متر انتخاب گردید. از دو نوع نسبت سرعت چارت به پیشانی ۱:۱ و ۲:۱ استفاده شد و مقیاس مورد استفاده ٥ و ۱۰ نیوتن بود. در نهایت هرکدام از انواع ماست با ترکیبی از شرایط فوق، در سه تکرار مورد آزمون قرار گرفت. برای هر یک از انواع ماست نمودارهای نیرو- زمان توسط دستگاه ترسیم شد. منحنی‌های نیرو- زمان پس از اسکن توسط نرم‌افزار XY-Extract تبدیل به داده‌های دیجیتالی شده و به صورت منحنی‌های تنش- کرنش محاسبه گردید.

۳-آماده‌سازی پروب‌های اندازه‌گیری

به منظور بررسی تأثیر اندازه قطر پروب بر بافت ماست، چهار نوع پروب فلزی استوانه‌ای با قطر سطح مقطع ٦۳، ۷٥، ۸٥ و ۹۷ میلی‌متر ساخته شد و به منظور جلوگیری از خوردگی با فلز قلع آبکاری شد.

۳- آزمون تعیین مقیاس اندازه گیری بهینه

انتخاب مقیاس مناسب تعیین‌کننده بیشینه نیروی ثبت-شده بر روی چارت رسم‌شده توسط دستگاه اینسترون می‌باشد که می‌تواند ۵، ۱۰، ۲۰، و ۵۰ نیوتن باشد. هدف از این آزمون تعیین مقیاس مناسب با توجه به ماهیت رئولوژیکی و نیز ویژگی‌های شیمیایی ماست مورد آزمون می‌باشد. با توجه به این که سفتی بافت ماست در مقایسه با سایر مواد غذایی کمتر است در نتیجه از نیروهای کمتر یعنی ۵ و ۱۰ نیوتن استفاده شد.

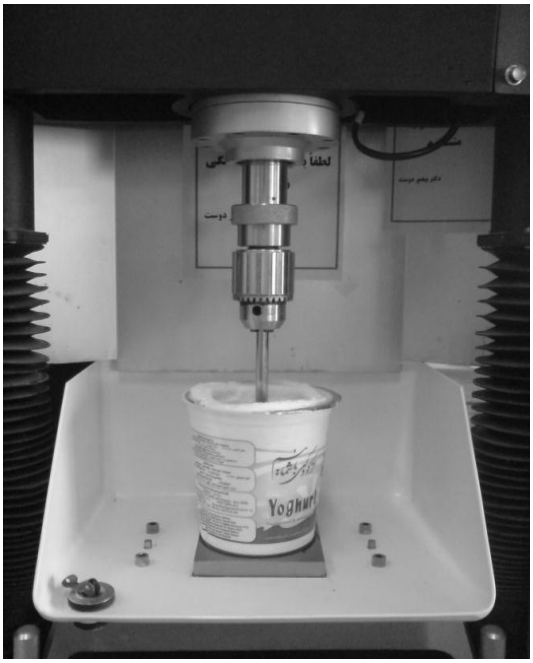
۴- تبدیل چارت‌های مکانیکی به داده‌های الکترونیکی با استفاده از نرم‌افزار XY-Extract

در دستگاه اینسترون مدل۱۱۴۰برای ثبت داده‌های مربوط به اعمال تنش فشاری در بافت ماست، ارتباط دوسویه‌ای با رایانه وجود ندارد و داده‌ها به صورت چارت‌های مکانیکی نیرو- زمان بر روی کاغذ شطرنجی مخصوص دستگاه ثبت می‌شوند. در نتیجه برای محاسبه ویژگی‌های رئولوژیکی فوق‌الذکر، لازم است تا چارت‌های مکانیکی به داده‌های الکترونیکی تبدیل شوند. بدین منظور از نرم‌افزار xyExtract شرکت Wilton Pereira da Silva استفاده شد. ابتدا چارت‌های مکانیکی نیرو- زمان دستگاه اینسترون اسکن شده و به صورت تصاویری با فرمت bmp ذخیره شدند. نحوه کار با این نرم‌افزار بدین صورت است که پس از بارگذاری تصاویر، نقاط ابتدایی و انتهایی محورهای x وy نمودار نیرو- زمان تعیین و مقدار عددی متناسب با آن‌ها به صورت دستی داده می‌شود. سپس با حرکت دادن ماوس بر روی نمودار نیرو- زمان نقاط موجود روی آن علامت‌گذاری می‌گردند. در پایان دو دسته داده که همان مختصات نقاط نمودار نیرو- زمان در محورهای x وy می‌باشند به صورت یک فایل متنی با فرمت txt ذخیره می‌شوند. بدین ترتیب با تبدیل چارت مکانیکی دستگاه اینسترون به داده‌های الکترونیکی امکان پردازش داده‌ها برای محاسبه ویژگی‌های رئولوژیکی میسر می‌گردد.

۵- محاسبه ویژگی‌های رئولوژیکی

پس از تعیین مقدار عددی مختصات محورهای x وy نمودار نیرو- زمان، به کمک نرم افزارExcel ویژگی‌های رئولوژیکی ماست‌های مورد آزمون محاسبه شد. تنش نیروی وارد بر سطح یک جسم است که واحد آن نیوتن بر متر مربع (پاسکال) است و باσ نشان داده می‌شود. اگر جهت وارد شدن تنش و سطحی که تنش بر آن وارد می‌شود هم‌نام باشند تنش نرمال و گرنه تنش برشی است. تنش نرمال خود به دو دسته تقسیم می-گردد: تنش کششی و تنش فشاری. در دستگاه اینسترون به نمونه‌ها تنش فشاری وارد می‌شود، زیرا تنش نرمال به طرف داخل وارد میشود. کرنش که با ε نمایش داده می‌شود تغییراتی است که در اثر تنش وارد شده به یک جسم در اندازه و شکل آن نسبت به حالت اولیه‌اش به وجود می‌آید. در شرایطی که بر جسم تنش فشاری وارد گردد کرنش کوچک ε_c عبارتست از: $\varepsilon_c = \frac{L-L_0}{L_0}$ که در آن طول اولیه جسم L_0 و L طول نهایی آن است. در مورد مواد کشسان معادله رئولوژیکی که رابطه تنش با کرنش را در یک ماده مشخص می‌کند قانون هوک نامیده می‌شود که در شرایطی که بر جسم تنش فشاری وارد گردد بدین صورت است:

$\sigma_{۲۲} = E\varepsilon$ که در آن $\sigma_{۲۲}$ تنش نرمال، E مدول یانگ یا الاستیسیته و ε کرنش نرمال است (قنبرزاده ۱۳۸۸). برای محاسبه مدول یانگ کافی است ماده تحت تأثیر تنش نرمال (فشاری) قرار بگیرد و کرنش ایجادشده در ناحیه خطی اندازه‌گیری شود. شیب خط حاصله برابر است با مدول یانگ که همان نسبت تنش نرمال به کرنش نرمال است (برن ۲۰۰۲).



شکل۱- دستگاه اینستران و پروب آن در حال اعمال تنش فشاری بر نمونه ماست

نتایج و بحث

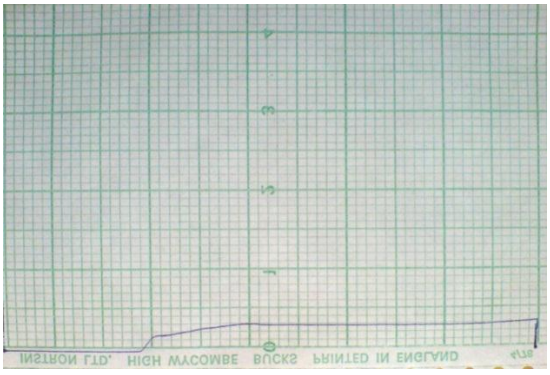
۱- آزمون تعیین قطر پروب بهینه

با توجه به قطر داخلی ظروف ماست استفاده شده (۱۱۰میلی‌متر) نتایج حاصل از بررسی پروب‌های مختلف ساخته شده نشان داد که منحنی‌های حاصل از پروب با قطر ۷۵ میلی متر بهترین نتیجه را می‌دهد.

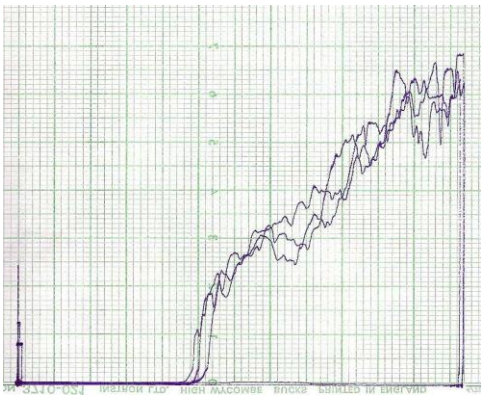
در صورت استفاده از پروب با قطر کوچک (۶۳ میلیمتر)، منحنی های حاصله توسط دستگاه اینستران به دلیل عدم احساس نیرو نتایج مطلوب را در بر نداشت که نمونه ای از آن درشکل ۲ آمده است. در صورت استفاده از پروب هایی با قطر بسیار بزرگ (۹۷ میلیمتر)، منحنی های حاصله توسط دستگاه اینستران به دلیل پس زنی ماست نتایج مطلوب را در بر نداشت که نمونه ای از آن درشکل ۳ آمده است. بهترین نتیجه با پروب با قطر متوسط (۷۵ میلی متر) حاصل شد که نمونه ای از آن در شکل ۸ آمده است.

۲- آزمون تعیین نسبت سرعت چارت به crosshead بهینه

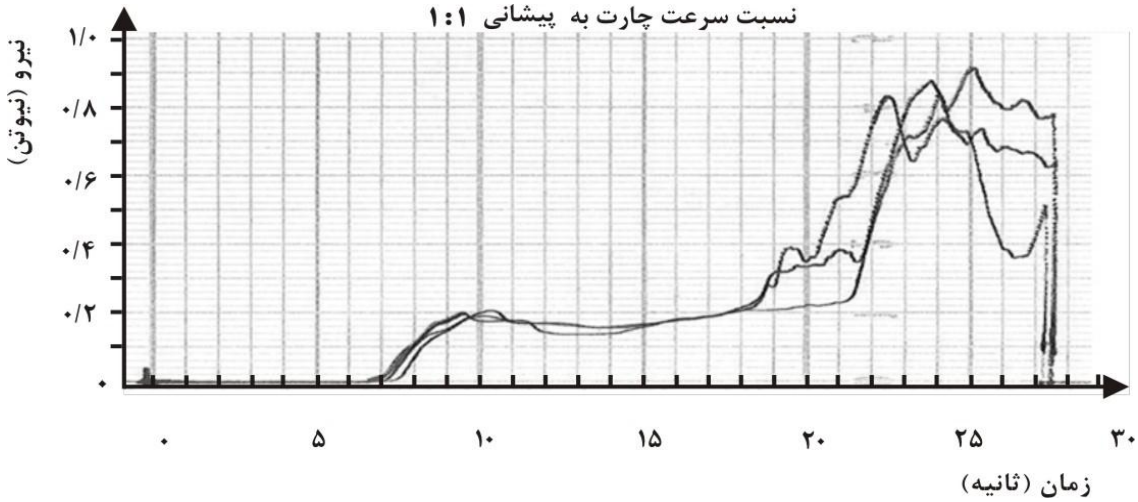
در علم رئولوژی مواد غذایی ماست جزو مواد سودوپلاستیک و نیمه جامد با خصوصیات تیکسوتروپیک و ویسکو الاستیک دسته‌بندی می‌شود.زمانی که نسبت محور افقی به عمودی چارت رسم‌شده توسط دستگاه اینستران یعنی نسبت زمان به نیرو بیشتر باشد(۲برابر)،نمودارهای رسم‌شده از جزئیات بیشتری برخوردارند که امکان ارزیابی بافتی بهتر ماست را فراهم می‌کند.با توجه به این که نسبت چارت به crossheadدستگاه به طور مستقیم بر نسبت زمان چارت به نیرومؤثر است، در نتیجه بهترین نسبت چارت به crossheadنسبت ۲:۱ انتخاب شد. شکل‌های ۲ و ۳ نمودار نیرو- زمان ماست پرچرب رسم‌شده توسط دستگاه اینستران در شرایطی است که در هر دوی آن‌ها قطر پروب ۷۵ میلی‌متر، fullscale ۵ نیوتن، سرعت حرکت crosshead ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه است ولی نسبت چارت به crosshead به ترتیب ۱:۱ و ۱:٤است.



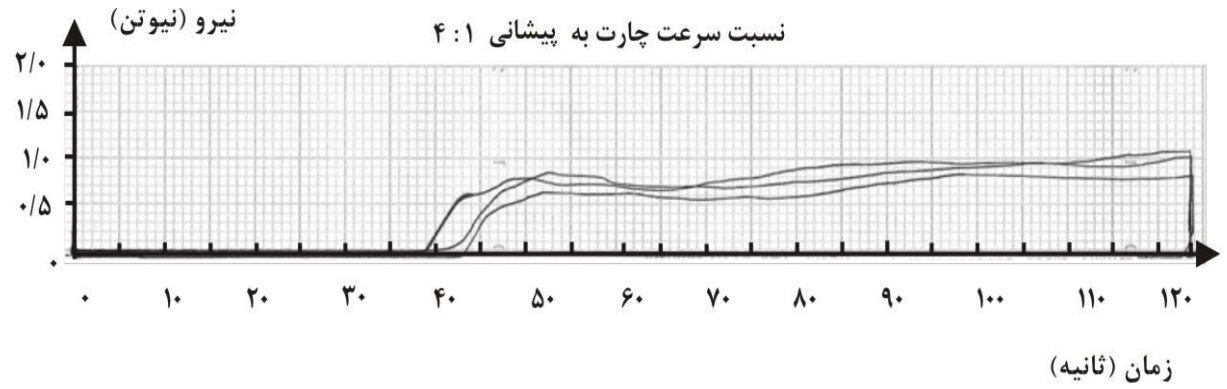
شکل ۲- منحنی نیرو-زمان برای ماست پرچرب بدست آمده با استفاده از پروب با قطر کوچک (۶۳ میلیمتر)



شکل ۳. منحنی نیرو-زمان برای ماست پرچرب بدست آمده با استفاده از پروب با قطر بزرگ (۹۷ میلیمتر)



شکل۴- نمودار نیرو- زمان ماست پرچرب در سه تکرار (قطر پروب ۷۵ میلی‌متر، سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه، مقیاس ۵ نیوتن، نسبت سرعت چارت به پیشانی ۱:۱).



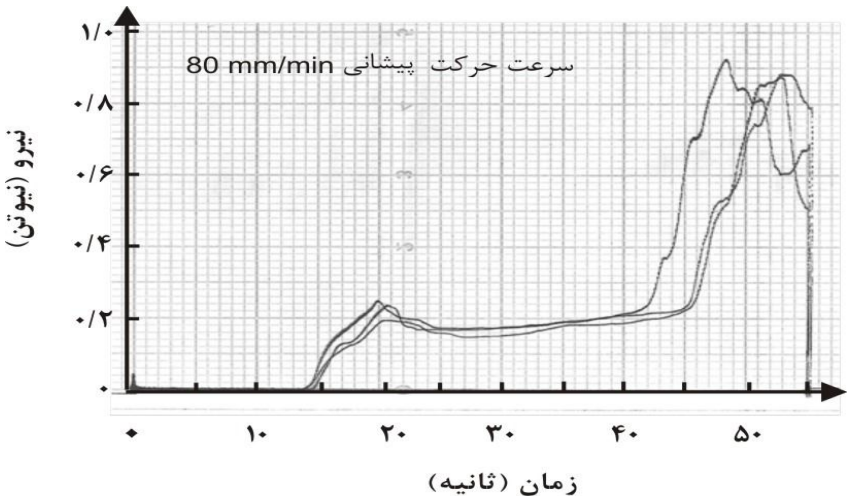
شکل۵- نمودار نیرو- زمان ماست پرچرب در سه تکرار(قطر پروب ۷۵ میلی‌متر، سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه، مقیاس ۵ نیوتن، نسبت سرعت چارت به پیشانی ۴:۱)

۳- آزمون تعیین مقیاس نیروی بهینه

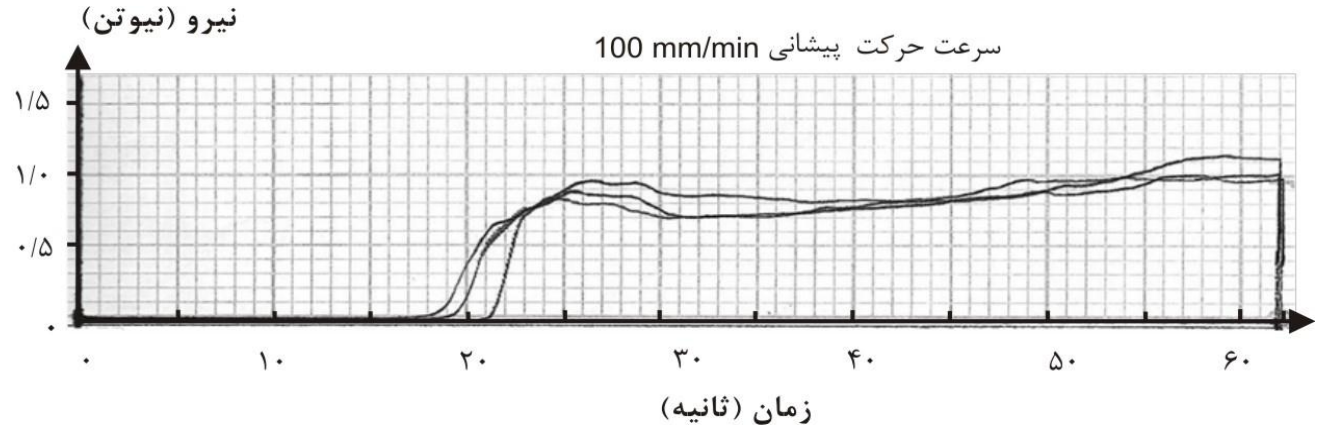
با توجه به ماهیت رئولوژیکی و نیز ویژگی‌های شیمیایی ماست مورد آزمون (ماده خشک و چربی که در سفتی و استحکام بافت ماست مؤثر است) بیشینه نیروی ثبت شده از ۵ نیوتن بیشتر نشده و به عنوان مقیاس بهینه انتخاب شد و در نتیجه نیازی به انتخاب مقیاس بالاتر ۱۰ نیوتن نبود.

۴-آزمون تعیین سرعت حرکت بهینه برای پیشانی دستگاه

با توجه به عدم تفاوت در استفاده از سرعت‌های مختلف پیشانی از نظر میزان بیشینه‌ی نیروی ثبت‌شده در چارت‌های بدست‌آمده برای ماست‌های مورد آزمون، سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه بعنوان مناسب ترین سرغت انتخاب شد. شکل‌های ٦ و۷ نمودار نیرو- زمان ماست پرچرب رسم‌شده توسط دستگاه اینستران را نشان می دهد. در این شکل‌ها قطر پروب ۷۵ میلی‌متر، نسبت سرعت چارت به پیشانی۲:۱، مقیاس نیرو ۵ نیوتن ثابت، ولی سرعت حرکت پیشانی به ترتیب۸۰ و ۱۰۰میلی‌متر بر دقیقه است.

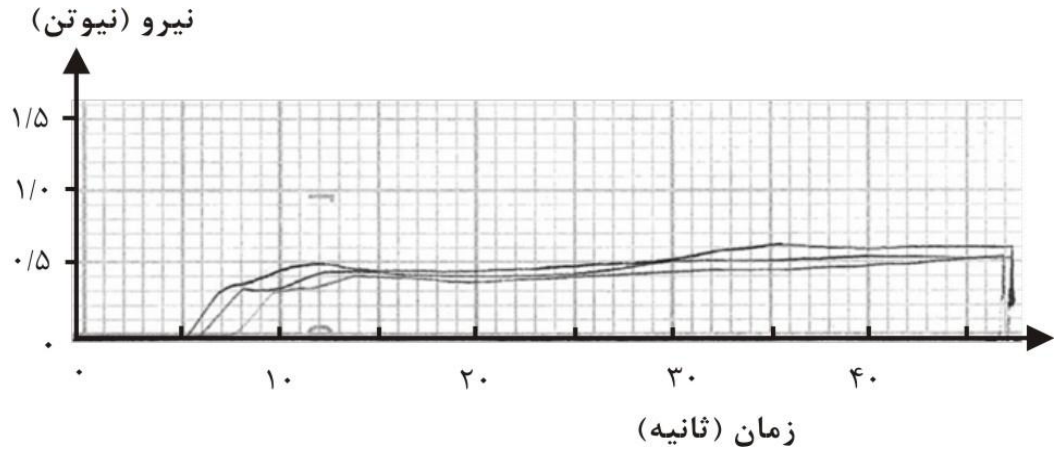


شکل۶- نمودار نیرو- زمان ماست پرچرب(قطر پروب ۷۵ میلی‌متر، نسبت چارت به پیشانی۲:۱، سرعت حرکت پیشانی۸۰ میلی‌متر بر دقیقه و مقیاس نیرو ۵ نیوتن).

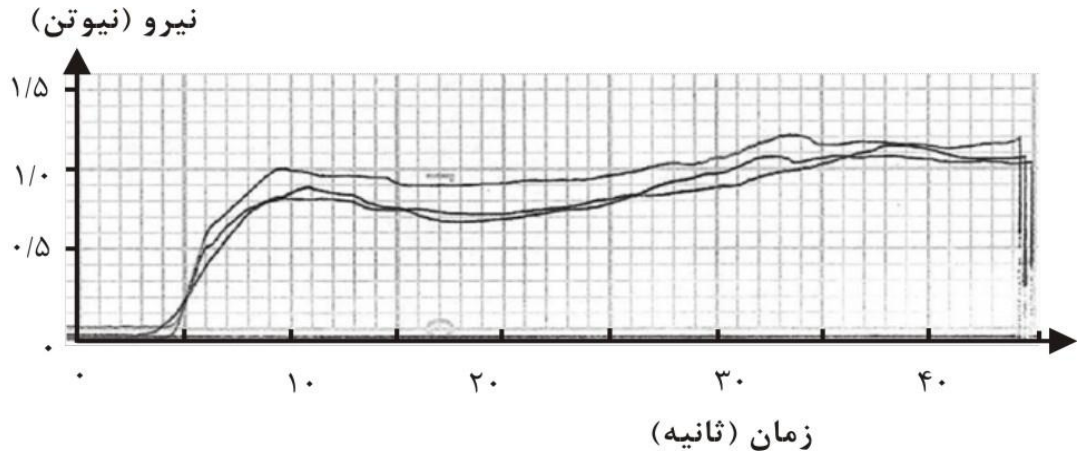


شکل۷- نمودار نیرو- زمان ماست پرچرب رسم‌شده توسط دستگاه اینستران (قطر پروب ۷۵ میلی‌متر، نسبت سرعت چارت به پیشانی ۲:۱ ، سرعت حرکت پیشانی ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و مقیاس نیرو ۵ نیوتن).

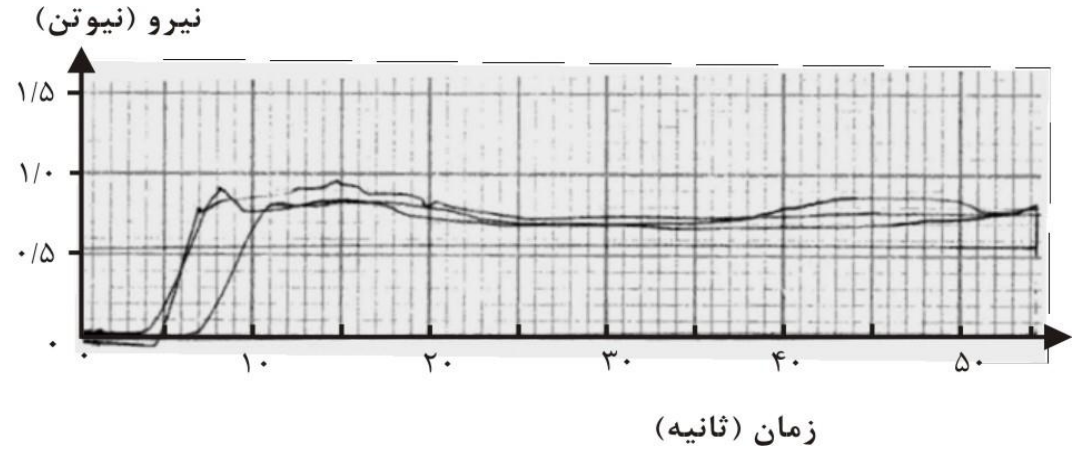
شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب نمودار تغییرات نیرو-زمان برای ماست نیم‌چرب، پرچرب و گوسفندی رسم‌شده توسط دستگاه اینستران در شرایطی است که قطر پروب ۷۵ میلی-متر، نسبت چارت به پیشانی ۲:۱ ، سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و مقیاس ۵ نیوتن است. همانطور که در این شکل ها ملاحظه می‌شود، بیشترین نیروی بیشینه ثبت‌شده مربوط به ماست پرچرب است (۱/۱نیوتن). در مورد ماست-های نیم‌چرب و گوسفندی این مقادیر به ترتیب عبارتند از ۰/۵٤ و ۰/۸۸ نیوتن.



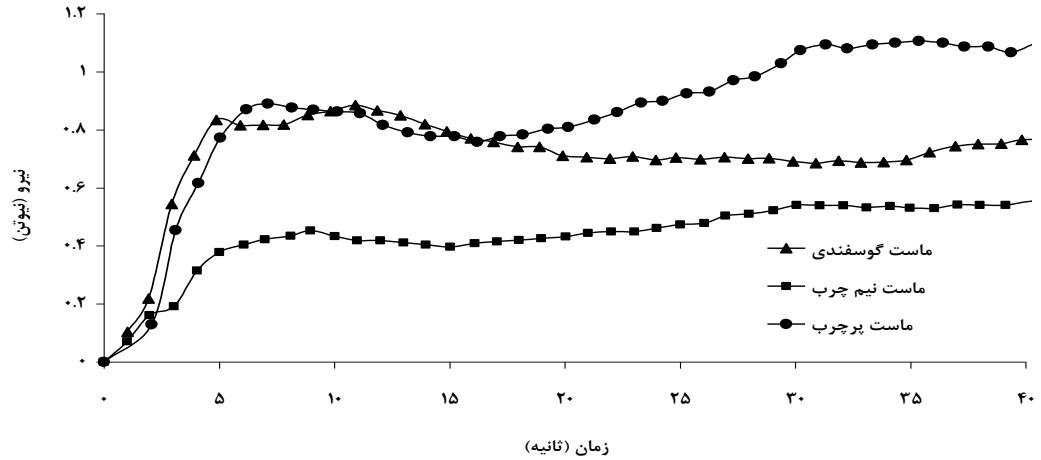
شکل۸- نمودار نیرو- زمان برای ماست نیم چرب.



شکل۹- نمودار نیرو- زمان برای ماست پرچرب.



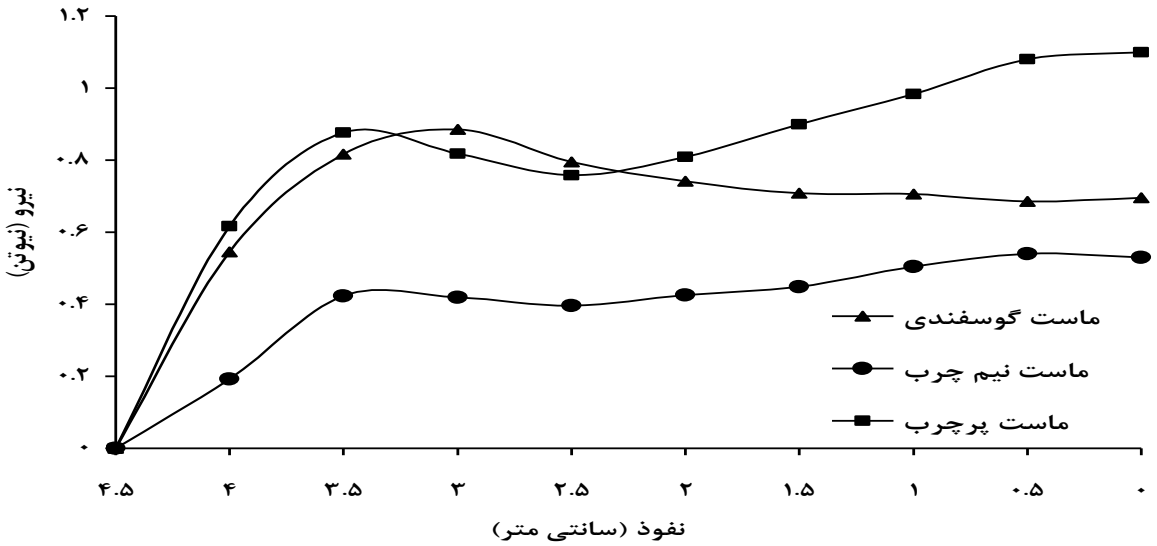
شکل۱۰- نمودار نیرو- زمان برای ماست گوسفندی.



شکل۱۱– مقایسه میانگین نمودارهای نیرو– زمان بدست آمده از نرم افزار XY-Extract برای ماست پرچرب، نیم چرب و گوسفندی

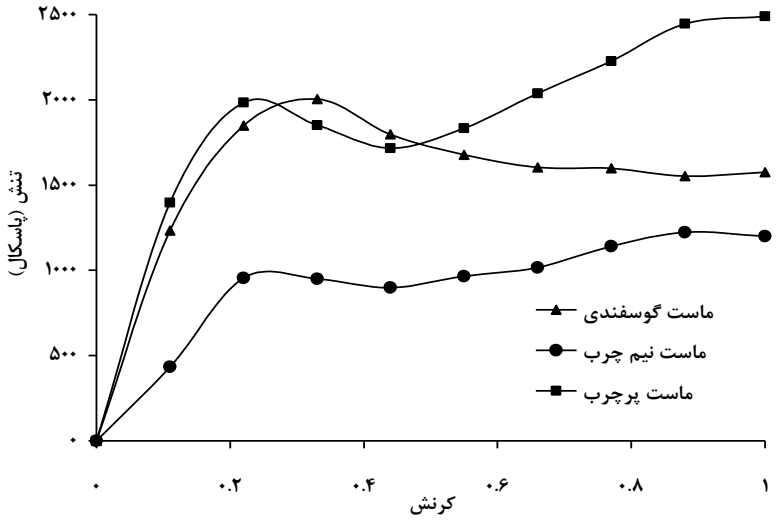
شکل ۱۱ نمودار تغییرات نیرو–زمان ماست نیم‌چرب، پرچرب و گوسفندی رسم‌شده توسط دستگاه اینستران در شرایطی است که قطر پروب ۷۵ میلی‌متر، نسبت چارت به پیشانی ۲:۱، سرعت حرکت پیشانی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و مقیاس نیرو ۵ نیوتن است.

انرژی مورد نیاز برای ایجاد کرنش کوچی در اثر تنش فشاری نشان‌دهنده استحکام لخته بوده و در نتیجه با سفتی بافت ماست رابطه مستقیم دارد. در واقع انرژی همان مساحت زیر نمودار نیرو–نفوذ (شکل شماره ۱۲) است که مقدار آن در ماست تجاری نیم‌چرب، پرچرب و گوسفندیبه ترتیب برابر ۰/۰۱۸۰۷۵، ۰/۰۳۶۹۶۰ و ۰/۰۳۱۱۵۳ ژول می‌باشد.



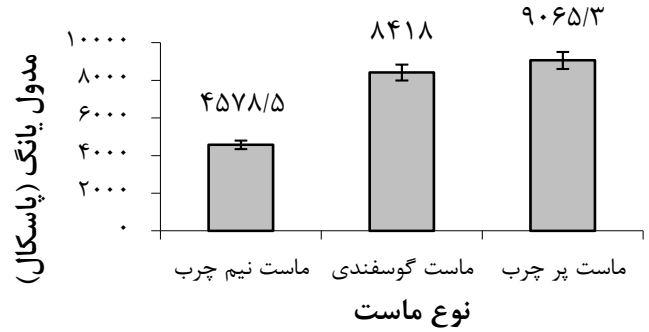
شکل۱۲- نمودار نیرو– نفوذ (میانگین بدست آمده از نرم افزار XY-Extract) برای ماست پرچرب، نیم چرب و گوسفندی.

شکل ۱۳ روند کلی تغییرات تغییرات تنش–کرنش را برای سه نوع ماست مورد آزمون نشان می‌دهد. .کمترین تنش در ماست نیم چرب به میزان ۱۲۰۱ پاسکال مشاهده شد. در ماست‌های پرچرب و گوسفندی این مقادیر برابر۲٤۸۹ و ۲۰۰٤ پاسکال بدست آمد. شیب ناحیه خطی در این نمودار نشان دهنده مدول یانگ (مدول الاستیسیته) می‌باشد.



شکل۱۳- نمودار تنش-کرنش ماست پرچرب، نیم چرب و گوسفندی

سمدول یانگ به طور مستقیم با سفتی بافت و نیز استحکام لخته ماست‌های مورد آزمون در ارتباط بود. به طوری که در ماست پرچرب میزان مدول یانگ (شیب نمودار تنش-کرنش در ناحیه خطی) بیشترین مقدار یعنی ۹۰٦۵/۳ پاسکال را ارائه داد. سایر مقادیر مدول یانگ برای ماست‌های مورد آزمون در شکل ١٤ نشان داده شده اند.



شکل۱۴- مدول یانگ ماست پرچرب، نیم چرب و گوسفندی.

نتیجه‌گیری

دستگاه ماشین آزمون عمومی (اینستران مدل ۱۱٤۰مکانیکی) با لود سل ۵۰ کیلوگرمی با اعمال تغییراتی در نسبت قطر پروب به قطر داخلی ظرف به صورت موفقیت‌آمیزی برای اندازه‌گیری بافت ماست و تفکیک بافت ماست کم‌چرب با ماست‌های پرچرب و گوسفندی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از تکنیک پردازش تصویر با نرم‌افزارهای مناسب، داده های چارت مکانیکی را به داده‌های الکترونیکی تبدیل و پارامترهای مختلف رئولوژیکی را محاسبه گردید. در این مطالعه شرایط بهینه کار با این دستگاه برای اندازه گیری بافت ماست با استفاده از پروب با قطر ۷۵ میلی-متر، عمق نفوذ پروب در ظرف ٤۵ میلی‌متر، نسبت سرعت چارت به پیشانی ۲:۱، سرعت حرکت پیشانی ۵۰

میلیمتر بر دقیقه و مقیاس نیروی ۵ نیوتن بدست آمد. نتایج حاصل از ارزیابی بافت دو نوع ماست تجاری نیم-چرب و پرچرب (۲/۵ و ٦ درصد چربی) و یک نوع ماست سنتی گوسفندی با استفاده از دستگاه اینستران نشان داد که می‌توان ویژگی‌های رئولوژیکی ماست (نیرو، کرنش کوچی، تنش و مدول یانگ یا الاستیسیته) را مشخص کرد. نتایج به دست‌آمده نشان داد در ماست پرچرب بیشترین بیشینه‌ی نیرو حاصل گردید (۱/۱نیوتن). میزان تنش و مدول یانگ ماست‌های پرچرب، نیم‌چرب و گوسفندی به ترتیب ۲۲٤٦ نیوتن و۹۰۱۸/۷ پاسکال، ۱۲۲۲نیوتن و ٤۳٤٦/۹ پاسکال، ۲۰۰٤ نیوتن و ۸٤۰۷/۰۷ پاسکال حاصل گردید.

در خاتمه قابل ذکر است هرچند که با استفاده ازدستگاه آنالایزر بافت برای ارزیابی خواص بافتی ماست می توان نتایج دقیق تری گرفت اما هدف این مطالعه بررسی امکان استفاده از مدل مکانیکی دستگاه اینستران موجود در آزمایشگاه محققین در ارزیابی چند نمونه ماست با هم بوده و برای ارائه نتایج رئولوژیکی دقیق تر از بافت ماست می بایست از دستگاه های نظیر آنالایزر بافت یا رئومتر نوسانی استفاده کرد.

منابع مورداستفاده

قنبرزاده ب، ۱۳۸۸. مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی. انتشارات دانشگاه تهران

AOAC. 1992. Official methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC

Bourne MC, 2002. Food texture and viscosity: concept and measurement.Elsevier Sscience and Technology Books.

DelloStaffolo M, Bertola N, Martino M and Bevilacqua YA, 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory properties of yogurt. International Dairy Journal 14: 263–268.

Hassan AN, Frank JF, Schmidt KA and Shalabi SI, 1996. Textural properties of yoghurt made with encapsulated nonropy lactic culture. Journal of Dairy Science 79: 2098-2103.

Jaros D and Rohm H, 2003.The rheology and textural properties of yoghurt. pp. 321-349. In: McKenna BM. Texture in Food. Woodhead Publishing Limited.

Parnell-Clunies EM, Kakuda Y, Mullen K, Arnott DR and DeMan JM, 1986. Physical properties of yoghurt: A comparison of vat versus continuous heating systems of milk. Journal of Dairy Science 69: 2593-2603.

Puvanenthiran A, Williams RPW and Augustin MA, 2002. Structure and viscoelastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. International Dairy Journal 12: 383–391.

Raphaelides SN and Gioldasi A, 2005. Elongational flow studies of set yoghurt. Journal of Food Engineering 70: 538–545.

Riener J, Noci F, Cronin DA, Morgan DJ and Lyng JG, 2010. A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. Food Chemistry 119: 1108–1113.

Tamime AY and Robinson RK, 1999. Yoghurt Science and Technology. Woodhead PublishingLimited.