بررسی تاثیر افزودن ترکیبات هیدروکلوئیدی گوار و زانتان بر رفتار رئولوژیکی دوغ کم چرب

عباس مهجوریان[۱*]، سید علی مرتضوی[۲]، محسن مختاریان[۳]، شادی جعفری سواره[۴]

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران
٤- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

(تاریخ دریافت: ۹٤/٤/۹ تاریخ پذیرش: ۹٤/٦/۱۰)

چکیده

دوغ نوعی نوشیدنی تخمیری است که از اختلاط ماست با آب و مقداری نمک تهیه می‌شود. نوشیدنی‌هایی مشابه‌ای بر پایه ماست در کشورهای همسایه اطراف ایران وجود دارد. به عنوان مثال نسبت رقت، میزان چربی، خصوصیات رئولوژیکی و مزه‌ای مشابه دوغ داشته، با این وجود، همه اینها دارای کازئین‌های تجمع یافته می‌باشند. دو فازه شدن این فراورده در طول زمان انبارمانی یکی از مشکلات اصلی این محصول می‌باشد. در این مطالعه تأثیر افزودن صمغ‌های گوار (۰/۳٪)، و زانتان (۰/۳٪) و مخلوط دو صمغ به نسبت ۰/۱۵ : ۰/۱۵ درصد بر روی خصوصیات رئولوژیکی و جداسازی سرمی دوغ کم چرب مورد مطالعه قرار گرفت. رفتار رئولوژیکی دوغ حاصل توسط مدل استوالد دی‌اُل برازش داده شد. محاسبات ریاضی یافته‌ها براساس مدل استوالد دی‌اُل نشان داد که دوغ کم چرب از نوع سیال غیرنیوتنی و رقیق شونده با برش (شبه پلاستیک) است. همچنین با استفاده ار معادله آرنیوس تابعیت ویسکوزیته ظاهری دوغ با دما تعیین و انرژی فعال‌سازی بین ۱۱/۰۹ تا ۱۹/۰۷ kJ/mol محاسبه شد.

کلید واژگان: دوغ، هیدروکلوئید، خصوصیات رئولوژیکی، شبه پلاستیک، انرژی فعالسازی.

*مسئول مکاتبات: pnamari@gmail.com

۱- مقدمه

دوغ یکی از نوشیدنی‌های سنتی ایرانیان و برخی ملل دیگر در اروپای شرقی، خاورمیانه و آسیا به شمار می‌آید. این فرآورده از رقیق کردن ماست با آب آشامیدنی، آب پنیر تخمیر شده و یا دوغ کره به دست می‌آید. هم چنین، گیاهان معطر خوراکی نظیر نعناع، پونه، کاکوتی و یا اسانس طبیعی آنها نیز می‌توانند در فرمولاسیون دوغ مورد استفاده قرار گیرند [۱]. هیدروکلوئیدها به طور گسترده‌ای در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ترکیبات به عنوان عوامل تغلیظ‌کننده و ژل‌دهنده، پایدارسازی کف‌ها، امولسیون‌ها و محلول‌ها، امولسیفایر، جلوگیری از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر، ویژگی‌های سدکنندگی در برابر گاز/رطوبت، جلوگیری از اُفت رطوبت، حفظ رنگ و همچنین در افزایش عمر ماندگاری نقش مهمی را در کنترل خصوصیات کیفی مواد غذایی ایفا می‌نمایند [۱٤]. امروزه، اغلب پژوهشگران افزودن پایدارکننده‌ها یا ترکیبات هیدروکلوئیدی را به عنوان راه حلی عملی برای جلوگیری از دوفاز شدن نوشیدنی‌های اسیدی شیر توصیه می‌کنند. به طور کلی، هیدروکلوئیدها در نوشیدنی‌های اسیدی لبنی به دو صورت عمل می‌کنند: یا به عنوان یک عامل قوام دهنده مانند صمغ لوبیای خرنوب، آلژینات، زانتان و گوار یا هیدروکلوئیدهای آنیونی مثل پکتین، کتیرا، لانداکاراگینان و کربوکسی متیل سلولز که با کازئین‌های دارای بار مثبت وارد واکنش می‌شوند [٤، ۹]. صمغ زانتان یک پلی ساکارید خارج سلولی بوده که توسط میکروارگانیسم *گزانتوموناس کامپستریس* (*Xanthomonas campestris*) ترشح می‌شود. شاخه اصلی از واحدهای D-گلوکز با اتصالات بتا (٦←۱) می‌باشد که در موقعیت ۳ مولکول‌های گلوکز به یک زنجیره تری ساکاریدی متشکل از دو واحد D-مانوز و یک واحد D-گالاکتورونیک اسید متصل شده است. زانتان در آب سرد محلول است و ویسکوزیته آن در گستره وسیعی از دما و pH بسیار پایدار است. محلول‌های صمغ زانتان، رفتار روان شونده با برش[1] نشان داده و در اثر به هم زدن ویسکوزیته آن کم می‌شود [۲، ۵]. داریو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که نمک‌های محلول مانند کلرید کلسیم و نیترات کلسیم در غلظت‌های ۱ و ۱۰ گرم بر لیتر، ضریب قوام محلول زانتان را کاهش می‌دهند [۳]. گوار صمغی است که از غده زیرزمینی گیاه *سیانوپسیس تتراگونولوبوس* (*Cyanopsis Tetragonolobus*) از خانواده پروانه آساها بدست می‌آید و عمدتاً متشکل از پلی‌ساکاریدهای هیدروکلوئیدی با وزن ملکولی بالا می‌باشد. زنجیرهٔ اصلی آن از واحدهای β-D-مانوپیرانوز تشکیل شده که توسط اتصالات بتا (٤←۱) به یکدیگر متصل شده‌اند و واحدهای D گالاکتوپیرانوز نیز به صورت یک درمیان با اتصالات آلفا (٦←۱) به زنجیره اصلی پیوند یافته‌اند. این ترکیب دارای وزن مولکولی ۲۲۰۰۰۰ بوده و در غلظت‌های کم تشکیل محلول‌های ویسکوز را می‌دهد و در غلظت ۲-۳ درصد ژل تشکیل می‌دهد. به سهولت آب جذب نموده و یک محلول بسیار غلیظ با خصوصیات تیکسوتروپی[2] را به وجود می‌آورد. به دلیل آنکه صمغ گوار از نظر ساختمانی خنثی می‌باشد، بنابراین ویسکوزیته آن خیلی کم تحت تاثیر pH قرار می‌گیرد. نمک‌ها نیز دارای اثر کمی بر ویسکوزیته مزبور می‌باشند [۲، ۵]. همچنین لازم به ذکر است که، رفتار رئولوژیکی سیالات (نوشیدنی‌ها) در بسیاری از بخش‌های کارخانجات صنعتی نظیر طراحی خطوط لوله‌ها و تعیین توان پمپ‌ها حائز اهمیت می‌باشند. به علاوه، پایداری محصول طی دورهٔ انبارمانی و بافت (که در احساس دهانی مؤثر است)، از مهمترین فاکتورهایی کیفی محصول بوده که تغییر رفتار رئولوژیکی محصول سبب تغییر آن می‌گردد. لذا با توجه به موارد فوق، اهمیت انجام این پژوهش ضروری به نظر می‌رسد.

قربانی‌گرجی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر سه گونه کتیرای ایرانی بر ویژگی‌های رئولوژیک و پایداری دوغ بدون چربی بررسی نمودند. بیشترین پایداری در نمونه‌های حاوی صمغ کتیرا گونه آستراگالوس گوسیپینوس با غلظت ۰/۳ درصد در طول ۳۰ روز بود. همچنین، اطلاعات به دست آمده از آزمون توزیع اندازه ذرات نشان‌دهنده ریز شدن ذرات تجمع یافته بعد از افزودن صمغ و به خصوص گونه آستراگالوس گوسیپینوس صمغ کتیرا بود. از طرفی، گرانروی ظاهری نمونه دوغِ حاوی این گونه، بیشتر از گونه‌های دیگر بود و حساسیت آن به افزایش فرکانس بسیار کم بود که این موضوع در صنعت بسیار حائز اهمیت

1. Shear-thinning

2. Thixotropy

می‌باشد. ارزیاب‌های گروه ارزیابی حسی نمونه‌های حاوی این گونه را از همه جهات بهترین محصول تشخیص دادند [۸]. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر برخی هیدروکلوئیدها بر پایداری فیزیکی، ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی مخلوط شیر آب پرتقال را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که پکتین، صمغ لوبیای خرنوب، گوار، کتیرا و صمغ فارسی، به ترتیب در غلظت‌های ۰/۵، ۰/۵، ۰/٤، ۰/۳ و ۲/۲ درصد تراگاکانتین و بخش محلول صمغ فارسی، به ترتیب در غلظت‌های ۰/۱۷۵ و ۱ درصد به مدت ۳۰ روز از دوفاز شدن جلوگیری کردند. نمونه دارای ترکیب تراگاکانتین و بخش محلول صمغ فارسی (۰/۵۳ درصد) از لحاظ حسی مطلوبیت بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت. مناسب‌ترین مدل برای نمونه شاهد و نمونه دارای پکتین به ترتیب مدل بینگهام و هرشل-بالکلی و برای سایر نمونه‌ها مدل قانون توان شناخته شد [۱۳].

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر صمغ‌های گوار و زانتان و ترکیب آنها بر روی خصوصیات رئولوژیکی، میزان جدایی سرمی و ارزیابی حسی دوغ می‌باشد. همچنین تابعیت ویسکوزیته ظاهری با دما براساس معادلهٔ آرنیوس پیش‌گویی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

صمغ زانتان و گوار از شرکت سیگما آلدریچ (آمریکا) تهیه شد و ماست حاوی ۱/۵ درصد چربی تهیه شده از خط تولید کارخانه لبنیات هراز استفاده گردید. جهت بررسی تأثیر نوع صمغ روی رفتار رئولوژیکی دوغ از غلظت‌های ۰/۳ درصد (وزنی/وزنی) صمغ زانتان و گوار استفاده گردید. همچنین برای بررسی اثر هم‌افزایی[3] صمغ‌های فوق، غلظت ۰/۱۵ درصد (وزنی/وزنی) از هر یک از صمغ‌ها به نسبت مساوی (گوار : زانتان) تهیه و با یکدیگر مخلوط گردید. استارتر ماست با نام تجاری CH_1 از شرکت کریستین هنسن دانمارک خریداری گردید.

۲-۲- تهیه ماست

شیر تازه کم چربی (۱/۵ درصد) تهیه شده از خط تولید کارخانه لبنیات هراز در آزمایشگاه توسط دستگاه همگن‌ساز (AVP، دانمارک) در عملیات همگن‌سازی دو مرحله‌ای (۱٤۰ و ٦۰ بار) همگن و در ویسکوباتور به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد تحت تیمار گرمایی قرار گرفت، سپس تا دمای ٤٤-٤۰ درجه سانتیگراد خنک شده و عمل تلقیح در همین دما با کشت آغازگرکه استارتر ماست با نام تجاری CH_1 بوده که شامل باکتری‌های *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیر گونه بولگاریکوس (*Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*) و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* (*Streptococcus thermophilus*) از شرکت کریستین هنسن دانمارک خریداری گردید، انجام گرفت. نمونه‌ها تا رسیدن به اسیدیته ۸۰ درجه دورنیک در دمای ٤۲ درجه سانتیگراد گرمخانه‌گذاری شدند. در نهایت، نمونه‌ها در دمای ۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند.

۲-۳- تهیه نمونه دوغ

برای تولید دوغ از ٤۰٪ وزنی/وزنی ماست کم چرب (۱/۵ درصد)، ۵۹/۳٪ وزنی/وزنی آب مقطر، ۰/۷٪ وزنی/وزنی نمک طعام با درجه خلوص ۹۵٪ و محلول صمغ (صمغ مورد نظر جهت حل شدن بهتر در آب مقطر حل و و سپس نمک به ان اضافه گردیده و سپس به دوغ اضافه شد) استفاده گردید. سپس همگن‌سازی یک مرحله‌ای (۱۵۰ بار) انجام شد و دوغ حاصل در دستگاه ویسکوباتور در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱ دقیقه تحت تیمار گرمایی قرار گرفت. نمونه‌های دوغ پس از رسیدن به دمای ۱٤ درجه سانتیگراد در بطری‌های پلاستیکی پُر شدند و در دمای ۵ درجه سانتیگراد در طول نگهداری در یخچال قرار گرفتند.

۲-٤- آزمون رئولوژیک

در این تحقیق از ویسکومتر دورانی اِم وای آر مدل وی تو ار (کمپانی ویسکوتک، ساخت کشور اسپانیا) جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌های دوغ استفاده شد. آزمون‌های رئولوژیکی پس از آماده‌سازی نمونه‌ها در شش سطح دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتیگراد و در حضور سه ترکیب صمغی مختلف (زانتان، گوار و ترکیب این دو صمغ) توسط ویسکومتر دورانی

3. Synergetic

تک استوانه‌ای انجام گرفت. این ویسکومتر دارای اسپیندل‌های R1 تا R7 می‌باشد به طوریکه در ویسکوزیته ظاهری بیشتر به این دلیل که گشتاور بیشتری مورد نیاز است بهتر است از اسپیندلی با قطر دیسک کمتر استفاده شود و در ویسکوزیته ظاهری پایین‌تر اسپیندلی با قطر دیسک بیشتر مناسب‌تر است. با توجه به اینکه با افزایش دما ویسکوزیته دوغ کاهش می‌یابد، برای صحت بیشتر در اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌ها از اسپیندل‌های R2 تا R5 در دماهای مختلف استفاده گردید. ویسکوزیته ظاهری هر نمونه پس از گذشت مدت زمان نسبتاً کوتاه (یک دقیقه) در دورهای مختلف در دامنه rpm ۲۰۰-۳۰ در ٤ نقطه اندازه‌گیری و جهت برازش داده‌ها از نرم افزار اِکسل ۲۰۰۳ استفاده شد.

۲-۵- مدلسازی رفتار رئولوژیکی دوغ

جهت مدلسازی رفتار رئولوژیکی دوغ کم چرب، ابتدا با استفاده از ویسکوزیته ظاهری (η) و سرعت چرخشی (rpm) ثبت شده توسط دستگاه ویسکومتر و با فرض پیروی دوغ کم چرب حاوی هیدروکلوئید از رابطهٔ قانون توان[4] (رابطهٔ ۱)، ضریب پایداری (K) و شاخص رفتار جریان (n) به صورت زیر قابل تقریب می‌باشد.

(۱)

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

ویسکوزیته ظاهری از رابطه زیر به دست می‌آید:

(۲)

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{K\dot{\gamma}^n}{\dot{\gamma}} = K\dot{\gamma}^{n-1}$$

آهنگ برشی (s^{-1}) برای یک سیال قانون توان و در یک ویسکومتر دورانی به صورت زیر می‌باشد [۱٦].

(۳)

$$\dot{\gamma} = \frac{2\omega}{n} = \frac{4\pi N}{n}$$

با گرفتن لگاریتم طبیعی از طرفین رابطه (۲) خواهیم داشت:

(٤)

$$\ln\eta = \ln K - (n-1)\ln n + (n-1)\ln(4\pi N)$$

در این معادلات، τ تنش برشی (Pa)، K ضریب پایداری (Pa.s)، $\dot{\gamma}$ آهنگ برشی (s^{-1})، n شاخص رفتار جریان (بدون بُعد)، η ویسکوزیته ظاهری (Pa.s)، ω سرعت دورانی[5] (هرتز یا دور بر ثانیه) و N سرعت چرخشی اسپیندل (rpm) است.

با در نظر گرفتن $Y=\ln\eta$ و $X=\ln(4\pi N)$ و ترسیم نمودار Y بر حسب X، پارامترهای رئولوژیکی دوغ کم چرب با استفاده از رگرسیون خطی از طریق شیب (n-1) و عرض از مبدأ (-lnK (n-1)lnn) معادلهٔ خط قابل محاسبه می‌باشد. در این روابط، N سرعت چرخش اسپیندل بر حسب دور در ثانیه است. با جانشانی مقادیر شاخص رفتار جریان و ضریب پایداری در معادلهٔ (۱)، مقدار تنش برشی (τ) برای هر آهنگ برشی ($\dot{\gamma}$) قابل محاسبه می‌باشد. لازم به ذکر است که مقادیر آهنگ برشی توسط معادلهٔ (۳) تعیین می‌شود.

۲-٦- تعیین تابعیت ویسکوزیته با دما

جهت تعیین تابعیت ویسکوزیته با دما از رابطه آرنیوس استفاده گردید و ثابت‌های معادله جهت مدل‌سازی محاسبه گردید.

(٦)

$$\eta = \eta_\infty \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

با گرفتن لگاریتم طبیعی از دو طرف معادله (٤) داریم:

(۷)

$$\ln\eta = \ln\eta_\infty + \ln\frac{E_a}{R}.\frac{1}{T}$$

در این معادله، η، ویسکوزیته ظاهری نمونه در دمای T (Pa.s)، $\eta\infty$ ، ویسکوزیته ظاهری در دمای بی‌نهایت (Pa.s)، Ea، انرژی فعالسازی (kJ/mol)، R، ثابت جهانی گاز (kJ/mol.K ۸/۳۱٤×۱۰-۳) و T، دمای مطلق (K) می‌باشد. با رسم نمودار $\ln\mu$ بر حسب عکس دمای مطلق (1/T) ویسکوزیته در دمای بی نهایت و انرژی فعالسازی تعیین گردید [۱٦].

۲-۷- اندازه‌گیری میزان دو فاز شدن

برای تعیین جداسازی فازی از استوانه‌های مدرج ۵۰ میلی‌متری هم‌شکل استفاده شد. پس از ریختن نمونه‌ها در استوانه مدرج، دربندی توسط فویل آلومینیوم انجام شد. نمونه‌ها به یخچال منتقل شده و در دمای ٤ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ روز نگهداری شدند. برای ثبت میزان جدایی فازها، در فواصل زمانی معین (هر ۷ روز) حجم فراورده از انتهای استوانه مدرج تا خط فاصل جدایی فاز بعدی بر حسب میلی‌لیتر گزارش شد.

4. Power low

5. Rotational Speed

۲-۸- ارزیابی حسی

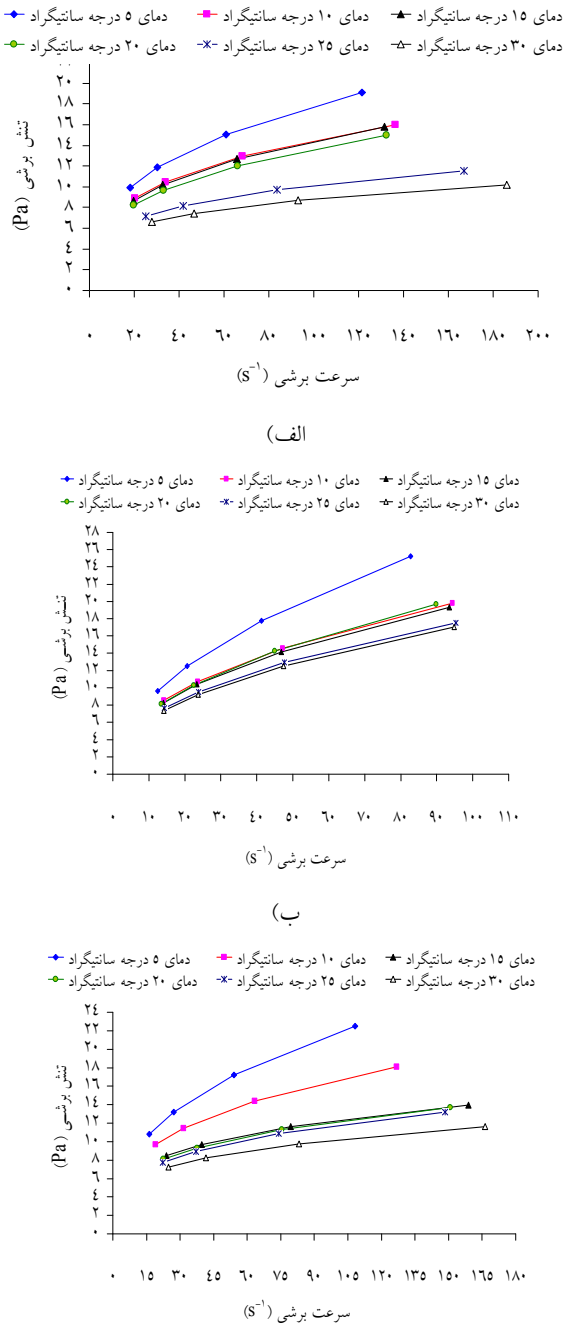
آزمون ارزیابی حسی به وسیله‌ی یک گروه ارزیاب حسی متشکل از ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده در محدودهٔ سنی ۲۰ تا ۳۰ سال (مرد و زن) انجام گرفت. کلیه‌ی ارزیابی‌ها به روش امتیازبندی هدونیک[6] پنج نقطه‌ای صورت گرفت. بدین ترتیب که پرسشنامه‌هایی تهیه و بین تیم ارزیاب توزیع گردید. برای هر سؤال ۵ گزینه به عنوان پاسخ در نظر گرفته شد. سؤالات مطرح شده عبارتند از: آروما، طعم و مزه، قوام، رنگ و پذیرش کلی.

۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماری با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین داده با استفاده از آزمون LCD در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام گرفت. همچنین لازم به ذکر است که جهت مقایسه میانگین ارزیابی حسی محصول تولیدی نیز از آزمون LCD در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده گردید. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شد. جهت آنالیز آماری از نرم افزار Statistix نسخه ۸ استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

شکل ۱ (الف، ب و ج) نمودارهای تنش برشی در مقابل آهنگ برشی برای نمونه‌های دوغ کم چرب فرموله شده با ترکیبات هیدروکلوئیدی صمغ گوار و زانتان را در غلظت‌ها و دماهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود دوغ‌های تهیه شده با صمغ زانتان در مقایسه با نمونه‌های حاوی صمغ گوار به تنهایی و نمونه‌های حاوی ترکیب دو صمغ (به منظور بررسی اثر هم‌افزایی)، در یک دما و آهنگ‌های برش ثابت دارای تنش‌های برشی بالاتری هستند (جدول ۱). برای روشن شدن این بحث، مقادیر تنش‌برشی و ویسکوزیته ظاهری در یک آهنگ برشی و دمای ثابت ($50\ s^{-1}$ و ۵ درجه سانتیگراد) برای دوغ کم چرب در مورد صمغ‌های مختلف، توسط مدل استوالد دی‌اُل پیش‌بینی گردید. مقادیر بدست آمده در جدول ۱ ثبت گردید.



شکل ۱ تاثیر دما-نوع ترکیب هیدروکلوئیدی بر روی منحنی تغییرات تنش برشی-آهنگ برشی ماست کم چرب: (الف) صمغ گوار، (ب) صمغ زانتان و (ج) صمغ گوار+زانتان.

6. Hedonic

بررسی نتایج نشان داد که میزان تنش برشی و ویسکوزیتهٔ ظاهری در حالت استفاده از صمغ زانتان به مراتب بالاتر از سایر صمغ‌ها بود و تأثیر هم‌افزایی صمغ‌های دوگانه (گوار:زانتان) نیز بیشتر از بکارگیری صمغ گوار است. با مبنا قرار دادن صمغ گوار به عنوان نمونه کنترل و فرض ۱۰۰ درصدی تنش برشی و ویسکوزیتهٔ ظاهری، درصد افزایش تنش برشی و ویسکوزیته ظاهری برای صمغ‌های زانتان و مخلوط دوگانه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میزان درصد افزایش صمغ‌های فوق نسبت به حالت مبنا (یعنی صمغ گوار) به ترتیب در مورد تنش برشی ۱۲۸/۰۵ و ۱۱۵/۷۶ و در مورد ویسکوزیته ظاهری ۱۲۷/۹۴ و ۱۱۵/۶۱ محاسبه شد.

جدول ۱ مقادیر درصد افزایش تنش برشی و ویسکوزیته ظاهری در سرعت برشی ثابت $50\ s^{-1}$ و دمای ۵ درجه سانتیگراد.

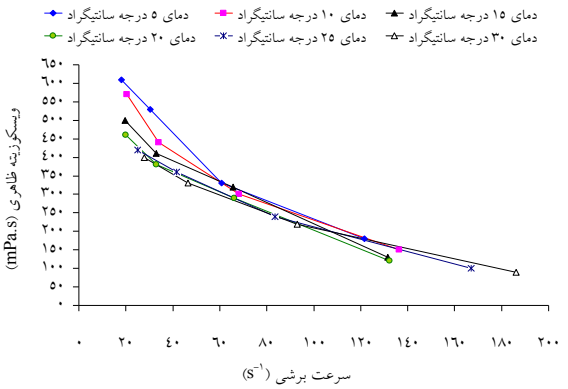
نوع صمغ	تنش برشی** (Pa)	ویسکوزیته ظاهری** (mPa.s)	درصد افزایش	
			تنش برشی	ویسکوزیته ظاهری
گوار	۱۴/۰۵	۲۸۱	۱۰۰	۱۰۰
زانتان	۱۹/۵۳	۳۹۰	۱۲۸/۰۵	۱۲۷/۹۴
مخلوط*	۱۶/۶۸	۳۳۳	۱۱۵/۷۶	۱۱۵/۶۱

* مخلوط = زانتان ۰/۱۵٪ + گوار ۰/۱۵٪.

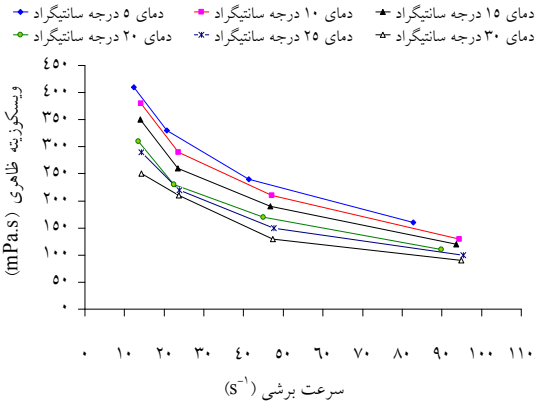
** نتایج براساس معادلهٔ ۱ و ۲ محاسبه گردید.

شکل ۲ (الف، ب و ج) نمودارهای ویسکوزیته ظاهری در مقابل آهنگ برشی را در نمونه‌های دوغ تهیه شده با صمغ‌های مختلف در دماهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از نمودارها مشخص است، نمونه‌های دوغ تهیه شده با صمغ‌های گوار و ترکیب دو صمغ در سرعت‌های برشی پایین، به مراتب ویسکوزیتهٔ ظاهری بالاتری دارد و با افزایش آهنگ برشی کاهش ویسکوزیتهٔ ظاهری در کلیهٔ حالات مشاهده شد که بیانگر خصوصیت رقیق شونده با برش بودن، سیال (دوغ) تهیه شده می‌باشد. نکته قابل توجه این بود که در همه نمونه‌های حاوی صمغ، کاهش ناگهانی، ویسکوزیتهٔ ظاهری در نرخ برش‌های پایین رخ داد، در صورتی که بعد از این کاهش ناگهانی، ویسکوزیتهٔ ظاهری نمونه‌ها با شیب کمتری کاهش یافت. این رفتار را می‌توان به کاهش اندازه ذرات در نرخ برش‌های بالا نسبت داد [۸]. همچنین نتایج نشان داد که افزایش دما، سبب کاهش ویسکوزیته ظاهری گردید. در مورد کاهش ویسکوزیته با دما می‌توان گفت که، در مایعات عامل اصلی ویسکوزیته پیوستگی بین مولکولی یا به بیان دیگر نیروی جاذبهٔ بین مولکولی ذرات بوده که مانع حرکت آزاد آنها می‌شود. با افزایش دما فاصلهٔ بین مولکول‌ها افزایش یافته، بنابراین جاذبهٔ بین مولکولی و در نهایت ویسکوزیته کاهش می‌یابد [۱۵].

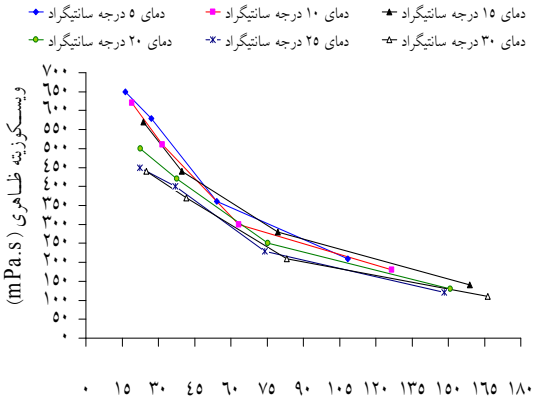
روابط بدست آمده بین آهنگ برشی و تنش برشی با توجه به تأثیر نوع صمغ بکار گرفته شده در فرمولاسیون دوغ کم چرب، روی ویژگی‌های رئولوژیکی براساس مدل استوالد دی‌اُل (قانون توان) برازش داده شده و نتایج در جدول ۲ گزارش گردید. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، خصوصیات رئولوژیکی دوغ‌های مختلف تهیه شده متفاوت است. به طوری که در دوغ‌های مختلف تهیه شده با صمغ‌های مختلف، افزایش دمای انبارمانی سبب تغییر رفتار رئولوژیکی از حالت رقیق شونده با برش ملایم (یا تقریباً نیوتنی) در نمونه‌های انبارمانی شده در دمای ۵ درجه سانتیگراد به سمت رفتار غیرنیوتنی رقیق شونده با برش قوی‌تر (شبه پلاستیک) در نمونه‌های دوغ انبارمانی شده در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد گردید. همانطور که مشاهده می‌گردد، شرایط فراوری و نوع ترکیبات هیدروکلوئیدی نقش بسزایی در خصوصیات رئولوژیکی مواد غذایی دارد.



الف)



ب)



ج)

شکل ۲ تاثیر دما–نوع ترکیب هیدروکلوئیدی بر روی منحنی تغییرات ویسکوزیته ظاهری–آهنگ برشی ماست کم چرب: (الف) صمغ گوار، (ب) صمغ زانتان و (ج) صمغ گوار+زانتان.

مقادیر شاخص رفتار جریان (n) برای انواع دوغ‌های تولیدی در دماهای مختلف انبارمانی در جدول ۲ گزارش شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در دماهای مختلف انبارمانی مقادیر شاخص رفتار جریان در دوغ‌های تهیه شده با صمغ زانتان بیشتر است (به یک نزدیک) در حالیکه مقادیر این شاخص در مورد سایر صمغ‌ها کوچکتر می‌باشد. قابل ذکر است که هرچه مقدار شاخص رفتار جریان به عدد یک نزدیکتر باشد، بیانگر خصوصیات رفتار نیوتنی سیال بوده و هرچه این مقدار در این حالت به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهندهٔ خصوصیات رفتار رئولوژیکی یک سیال غیرنیوتنی می‌باشد [۷]. در ارتباط با رفتار جریانی و ویژگی‌های رئولوژیکی دوغ باید یادآور شد که سایر محققان نیز دوغ (حاوی حدود ۶ درصد ماده خشک با چربی) را به عنوان سیالی نیوتنی مطرح کرده‌اند [۶]. البته ذکر این نکته هم ضروری است که عوامل متعددی مانند درصد ماده خشک، چربی، نمک، همگن کردن و حضور یا عدم حضور پلی ساکاریدهای خارج سلولی[7] روی رفتار جریانی و ویژگی‌های رئولوژیکی دوغ تأثیر دارند. به علاوه، قانون توان توسط پژوهشگران دیگری نیز به عنوان مدل ریاضی مناسب برای پیش‌گویی رفتار جریانی فراورده‌هایی مشابه دوغ و نوشیدنی‌های تخمیری شیر پایدار شده توسط هیدروکلوئیدها معرفی شده است [۱۰، ۱۲]. بنابراین، مشخص می‌شود که حضور هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون دوغ موجب تغییر نوع رفتار جریانی این محصول از نیوتنی به غیرنیوتنی شده است.

برای تعیین تابعیت ویسکوزیته ظاهری با درجه حرارت در سرعت‌های چرخشی مختلف، از مدل آرنیوس (معادله ۶) استفاده گردید و با استفاده از رگرسیون خطی ضریب پیش نمایی (E_a) و انرژی فعالسازی (η_∞) محاسبه گردید که مقادیر آنها برای صمغ‌های مختلف مورد استفاده در تهیه دوغ کم چرب در جدول ۳ ارائه شده است.

7. Exopolysaccharides

جدول ۲ مقادیر پارامترهای رئولوژیکی و آماری مدل قانون توان برای دوغ کم چرب تهیه شده با ترکیبات هیدروکلوئیدی مختلف.

دما انبارمانی	گوار (۰/۳٪)			زانتان (۰/۳٪)			گوار (۰/۱۵٪) + زانتان (۰/۱۵٪)		
(°C)	n	K (Pa.s^n)	R^2	n	K (Pa.s^n)	R^2	n	K (Pa.s^n)	R^2
۵	۰/۳۴۴۲	۳/۶۵۶	۰/۹۶۶۶	۰/۵۰۶۱	۲/۶۹۸۰	۰/۹۹۴۶	۰/۳۸۶۵	۳/۶۷۸	۰/۹۶۶۸
۱۰	۰/۳۰۷۲	۳/۵۳۵	۰/۹۷۱۷	۰/۴۴۳۹	۲/۶۳۳	۰/۹۹۲۱	۰/۳۳۰۴	۳/۶۵۶	۰/۹۸۷۰
۱۵	۰/۳۱۸۵	۳/۳۴۱	۰/۸۹۶۱	۰/۴۴۷۵	۲/۵۳۴	۰/۹۹۴۳	۰/۲۶۳۶	۳/۶۷۰	۰/۹۷۸۶
۲۰	۰/۳۱۶۵	۳/۱۸۹	۰/۹۰۳۶	۰/۴۶۵۹	۲/۴۱۹	۰/۹۹۵۰	۰/۲۷۷۶	۳/۴۰۰	۰/۹۷۲۱
۲۵	۰/۲۵۰۷	۳/۱۹۷	۰/۹۲۵۹	۰/۴۳۹۲	۲/۳۶۹	۰/۹۹۹۷	۰/۲۸۲۳	۳/۲۲۳	۰/۹۶۱۱
۳۰	۰/۲۲۴۹	۳/۱۴۳	۰/۹۳۳۷	۰/۴۴۱۴	۲/۲۸۲	۰/۹۸۹۰	۰/۲۵۱۶	۳/۲۱۱	۰/۹۷۴۵

مقادیر بالای ضریب تبیین (R^2) نشان دهندهٔ تابعیت بالای ویسکوزیته ظاهری از مدل آرنیوس بود (R^2>۰/۸۲۷). نتایج نشان داد که افزایش سرعت چرخشی در کلیه ترکیبات هیدروکلوئیدی مورد استفاده، سبب افزایش انرژی فعالسازی گردید.

جدول ۳ تأثیر سرعت‌های چرخشی روی انرژی فعالسازی فرمولاسیون‌های مختلف دوغ کم چرب.

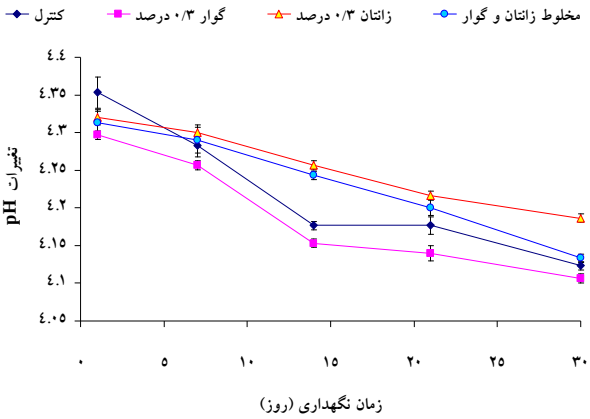
نوع صمغ	سرعت چرخشی (rpm)	انرژی فعالسازی (kJ/mol)	ضریب پیش‌نمایی* (Pa.s)	R^2	معادله رگرسیونی
گوار (۰/۳٪)					
	۳۰	۱۲/۴۶	۰/۰۰۲۷	۰/۹۸۹	$\ln\eta = ۱۴۹۹\ T^{-1} - ۵/۸۸۳$
	۵۰	۱۲/۲۳	۰/۰۰۲۵	۰/۹۶۰	$\ln\eta = ۱۴۷۲\ T^{-1} - ۵/۹۸۰$
	۱۰۰	۱۱/۰۹	۰/۰۰۲۸	۰/۸۲۷	$\ln\eta = ۱۳۳۴\ T^{-1} - ۵/۸۶۹$
	۲۰۰	۱۹/۰۷	۴/۶۱×۱۰$^{-۵}$	۰/۹۹۲	$\ln\eta = ۲۲۹۴\ T^{-1} - ۹/۹۸۴$
زانتان (۰/۳٪)					
	۳۰	۱۳/۵۹	۰/۰۰۱۱	۰/۹۸۳	$\ln\eta = ۱۶۳۵\ T^{-1} - ۶/۷۵۲$
	۵۰	۱۲/۹۰	۰/۰۰۱۲	۰/۹۶۹	$\ln\eta = ۱۵۵۲\ T^{-1} - ۶/۷۲۲$
	۱۰۰	۱۶/۷۲	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۴	$\ln\eta = ۲۰۱۲\ T^{-1} - ۸/۶۶۱$
	۲۰۰	۱۵/۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۷۶	$\ln\eta = ۱۸۱۰\ T^{-1} - ۸/۳۸۸$
مخلوط**					
	۳۰	۱۲/۱۷	۰/۰۰۳۴	۰/۹۷۱	$\ln\eta = ۱۴۶۴\ T^{-1} - ۵/۶۷۷$
	۵۰	۱۲/۱۴	۰/۰۰۲۹	۰/۹۵۸	$\ln\eta = ۱۴۶۱\ T^{-1} - ۵/۸۳۹$
	۱۰۰	۱۴/۴۵	۰/۰۰۰۶	۰/۹۸۵	$\ln\eta = ۱۷۳۹\ T^{-1} - ۷/۳۱۲$
	۲۰۰	۱۸/۱۹	۷/۶۹×۱۰$^{-۵}$	۰/۹۵۴	$\ln\eta = ۲۱۸۸\ T^{-1} - ۹/۴۷۳$

* η_∞ : ضریب پیش‌نمایی آرنیوس یا ویسکوزیتهٔ ظاهری بی‌نهایت.

** مخلوط = زانتان ۰/۱۵٪ + گوار ۰/۱۵٪.

تغییرات pH فرمولاسیون‌های مختلف دوغ تولیدی بر حسب زمان نگهداری در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که روند این تغییرات بر حسب زمان نگهداری کاهشی می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌گردد میزان این تغییرات در مورد

نمونه‌های دوغ کنترل و دوغ حاوی صمغ گوار پایین‌تر تعیین گردید.



شکل ۳ تغییرات pH فرمولاسیون‌های مختلف دوغ تولیدی بر حسب زمان نگهداری

نتایج جداسازی سرمی دوغ کم چرب تولیدی در این پژوهش در جدول ٤ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن ترکیبات هیدروکلوئیدی سبب کاهش میزان جداسازی سرمی دوغ تولیدی گردید. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده گردید که میزان جداسازی سرمی دوغ کم چرب، در یک دورهٔ انبارمانی ۳۰ روزه در مورد نمونه‌های دوغ کنترل، حاوی صمغ گوار، زانتان و ترکیب دوتایی صمغ‌های فوق به ترتیب بین ٤٤/٦٦–١٩/٣٣ میلی‌متر، ٣/١٣–صفر میلی‌متر، ١/٦٦–صفر میلی‌متر و ٠/٨٣٣–صفر میلی‌متر اندازه‌گیری شد. همانطور که مشاهده می‌شود اثر سینرژیستی (هم‌افزایی) ترکیب دو صمغ در جداسازی سرمی بالاتر از بکارگیری هر یک به تنهایی تعیین شد. با توجه به نتایج جدول مشخص گردید که در مورد صمغ‌های زانتان و ترکیب دوتایی آنها، بعد از ۷ روز انبارمانی هیچ گونه جداسازی سرمی مشاهده نگردید. یکی از مهمترین مشکلات در تولید نوشیدنی‌های اسیدی شیر، دوفاز شدن آنها در طی تولید و نگهداری است که این مسئله ناشی از ویسکوزیته پایین، pH کم و تأثیر آنها بر ته‌نشین شدن پروتئین‌ها است. اساساً پایداری میسل‌های کازئین در pH طبیعی شیر، به علت قرار گرفتن کاپا–کازئین‌ها در سطح میسل کازئین است که با تشکیل لایه‌های مویی در سطح آنها و سازکارهای دافعه فضایی و الکترواستاتیک، مانع نزدیک شدن میسل‌ها به یکدیگر می‌گردند. در صورتی که به هر دلیلی لایه‌های مویی جدا شوند (شکسته شدن توسط آنزیم‌های دلمه کننده شیر) و یا متلاشی گردند (از دست دادن بار خالص مؤثر با کاهش pH، افزایش قدرت یونی و کاهش قابلیت انحلال)، ناپایداری در میسل‌های کازئین رخ می‌دهد. زیرا در اثر اسیدی شدن محیط، فسفات کلسیم به تدریج از میسل خارج شده، بار الکتریکی منفی میسل کاهش می‌یابد و میسل کازئین متلاشی می‌شود [٦، ١١، ١٢]. مکانیسم عمل هیدروکلوئیدها در جلوگیری از جداشدن سرم، به ساختار مولکولی هیدروکلوئید مورد استفاده بستگی دارد. در صورتیکه صمغ مورد استفاده باردار باشد از طریق ممانعت فضایی و دفع الکترواستاتیک سبب پایداری نوشیدنی‌های تخمیری می‌شود به نظر می‌رسد مکانیزمی که در این بررسی باعث افزایش پایداری دوغ می‌شود، افزایش ویسکوزیته و به دام افتادن ذرات پروتئینی در یک شبکه مولکولی که توسط صمغ مورد استفاده ایجاد شده است، می‌باشد [١١].

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های دوغ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($p<٠/٠٥$) بین نمونه‌ها و نمونه کنترل برای صفات رنگ، طعم و مزه، قوام، بو و پذیرش کلی بود (جدول ٤). طبق نتایج، بیشترین میزان رنگ در نمونه‌های حاوی ترکیب دوتایی این دو صمغ دیده شد که تفاوت آماری معنی‌دار با نمونه‌های دوغ حاوی صمغ‌های گوار و زانتان نداشت. بنابراین، استفاده از هیدروکلوئیدها تأثیری بر رنگ نمونه‌ها نداشت. از طرفی، کمترین میزان رنگ به نمونه فاقد پلی‌ساکارید (کنترل) تعلق داشت و میان این نمونه‌ها با سایرین، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. ارزیابی‌های انجام شده در مورد ویژگی بو، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میان نمونه‌های حاوی ترکیبات هیدروکلوئیدی و نمونهٔ کنترل بود به طوری که دوغ‌های حاوی صمغ زانتان دارای بالاترین امتیاز بودند. بررسی نتایج ارزیابی طعم و مزه دوغ نشان داد که نمونه‌های دوغ حاوی ترکیب دوتایی این دو صمغ دارای بالاترین امتیاز شدند. بررسی قوام نمونه‌ها نیز حاکی از تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌ها و نمونه کنترل بود. میانگین امتیازات کسب شده برای صفت قوام، نشان‌دهنده مطلوبیت دوغ‌های دارای

هیدروکلوئید است به طوری که بیشترین مقدار قوام در نمونه‌های حاوی ترکیب دوتایی این دو صمغ دیده شد. نتایج به دست آمده از پذیرش کلی نمونه‌ها نیز نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های حاوی هیدروکلوئید با نمونه کنترل بود. به طوری که بیشترین امتیاز مربوط به نمونه‌های حاوی ترکیب دوتایی این دو صمغ بود. همچنین نتایج نشان داد که بین نمونه‌های حاوی صمغ زانتان و گوار اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشد.

جدول ٤ نتایج جداسازی سرمی و ارزیابی حسی دوغ کم چرب تولیدی در این پژوهش.

فرمولاسیون دوغ	اندازه‌گیری جداسازی سرمی (میلی‌متر)				
	۱ روزه	۷ روزه	١٤ روزه	۲۱ روزه	۳۰ روزه
کنترل	۱۹/۳۳ ± ۱/۵۲ ^{e}	۲٤/۳۳ ± ۱/۱۵ ^{d}	۳۱/۳۳ ± ۱/۵۲ ^{c}	۳۵/۳۳ ± ۱/۱۵ ^{b}	٤٤/٦٦ ± ۲/۵۱ ^{a}
گوار (۰/۳٪)	۰/۰۰۰ ± ۰/۰ ^{j}	۱/۰۰ ± ۰/۰ ^{hij}	۲/۳۳ ± ۰/۵۷ ^{fgh}	۲/٦۳ ± ۰/۰۵ ^{fg}	۳/۱۳ ± ۰/۱۱ ^{f}
زانتان (۰/۳٪)	۰/۰۰۰ ± ۰/۰ ^{j}	۰/۰۰۰ ± ۰/۰ ^{j}	۰/۵۰۰ ± ۰/۲۰ ^{ij}	۱/۵۰ ± ۰/۵۰ ^{ghi}	۱/٦٦ ± ۰/۰۵ ^{ghi}
مخلوط*	۰/۰۰۰ ± ۰/۰ ^{j}	۰/۰۰۰ ± ۰/۰ ^{j}	۰/۰۳۳ ± ۰/۰۵ ^{j}	۰/۵٦٦ ± ۰/۱۱ ^{ij}	۰/۸۳۳ ± ۰/۰۵ ^{ij}
فرمولاسیون دوغ	ارزیابی حسی**				
	رنگ	بو	طعم و مزه	بافت (قوام)	پذیرش کلی
کنترل	٤/۱۰ ± ۰/۱۰ ^{b}	۳/۹۳ ± ۰/۱۵ ^{b}	۳/۸۰ ± ۰/۱۰ ^{c}	۳/۵۳ ± ۰/۰۵ ^{c}	٤/۰٦ ± ۰/۰۵ ^{c}
گوار (۰/۳٪)	٤/۳۳ ± ۰/۰۵ ^{a}	٤/۳٦ ± ۰/۰۵ ^{a}	٤/۲٦ ± ۰/۰۵ ^{b}	٤/۳۰ ± ۰/۱۰ ^{b}	٤/۳۳ ± ۰/۱۱ ^{b}
زانتان (۰/۳٪)	٤/۳۳ ± ۰/۰۵ ^{a}	٤/٤۰ ± ۰/۱۰ ^{a}	٤/۳۰ ± ۰/۱۰ ^{b}	٤/۳٦ ± ۰/۰۵ ^{b}	٤/۳٦ ± ۰/۱۵ ^{b}
مخلوط*	٤/۳٦ ± ۰/۱۱ ^{a}	٤/۳٦ ± ۰/۰۵ ^{a}	٤/٤٦ ± ۰/۰۵ ^{a}	٤/۵٦ ± ۰/۰۵ ^{a}	٤/۵٦ ± ۰/۰۵ ^{a}

* مخلوط = زانتان ۰/۱۵٪ + گوار ۰/۱۵٪.

** نتایج ارزیابی حسی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد ($p<۰/۰۵$).

نتایج: (SD ± میانگین)

٤- نتیجه‌گیری

برای بررسی رفتار رئولوژیکی دوغ حاوی صمغ های گوار و زانتان به تنهایی و مخلوط این دو از مدل استوالد دی ال استفاده شد. نتایج نشان داد که دوغ‌های تهیه شده با صمغ زانتان در مقایسه با نمونه‌های حاوی صمغ گوار به تنهایی و نمونه‌های حاوی ترکیب دو صمغ، در یک دما و آهنگ‌های برش ثابت دارای تنش‌های برشی بالاتری هستند. همچنین در همه نمونه‌های حاوی صمغ، کاهش ناگهانی، ویسکوزیتهٔ ظاهری در نرخ برش‌های پایین رخ داد، در صورتی که بعد از این کاهش ناگهانی، ویسکوزیتهٔ ظاهری نمونه‌ها با شیب کمتری کاهش یافت. عوامل متعددی مانند درصد ماده خشک، چربی، نمک، همگن کردن و حضور یا عدم حضور پلی ساکاریدهای خارج سلولی[8] روی رفتار جریانی و ویژگی‌های رئولوژیکی دوغ تأثیر دارند. پیشنهاد می‌شود با توجه به اثرات سلامتی تحقیقات بیشتری در زمینه فاکتورهای موثر بر روی خصوصیات رئولوژیکی دوغ که بر روی دوفاز شدن و بازار پسندی محصول دارد، صورت پذیرد.

٥- منابع

[1] Azarikia, F., Abbasi, S., and Azizi, M. (2009). Efficiency and mechanism of action of hydrocolloids in preventing serum separation in Doogh. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 4 (1), 11-22 (In Farsi).

8 - Exopolysaccharides

[2] Belitz, H. D., Grosch, W., and Schieberle, P. (2009). Food chemistry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[3] Dário, A. F., Hortêncio, L. M. A., Sierakowski, M. R., Queiroz Neto, J. C., and Petri, D. F. S. (2011). The effect of calcium salts on the viscosity and adsorption behavior of xanthan. *Carbohydrate Polymer*, 84, 669-76.

[4] Everett, D. W., and McLeod, R. E. (2005). Interactions of polysaccharide stabilizers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *International Dairy Journal*, 15(11), 1175-83.

[5] Fennema, O. R. (1996). Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York.

[6] Foroughinia, S., Abbasi, S., and Hamidi Esfahani, Z. (2007). Effect of individual and combined addition of salep, tragacanth and guar gums on the stabilization of Iranian Doogh. *Iranian Journal Nutritional Science and Food Technology*, 2 (2), 15-25 (In Farsi).

[7] Ganokar, A. G. (1995). Rheological concepts for probing ingredient interactions in food systems. Ingredient interaction: Effects on food quality. Marckel Dekker, New York.

[8] Ghorbani Gorji, E., Mohammadifar, M. A., Ezzatpanah, H., and Mortazavian, A. R. (2011). Influence of three types of Iranian gum tragacanths on rheological properties and stabilization of fat-free Doogh, an Iranian yoghurt drink. *Iranian Journal of Nutrition Science and Food Technology*, 6(2), 31-42 (In Farsi).

[9] Hansen, P. M. T. (1993). Food hydrocolloids: structures, properties and functions. In: Nishinari K, Doi E, editors. Food hydrocolloids in the dairy industry. New York: Plenum Press, 211–24.

[10] Janhoj, T., Bom Frost, M., and Ipsen, R. (2008). Sensory and rheological characterization of acidified milk drinks. *Food Hydrocolloids*, 22, 798–806.

[11] Karamooz, N., Mohamadi Sani, A., and Rashidi, H. (2016). Effect of the addition of Gellan, Tragacanth and High-Methoxyl Pectin on the Stabilization of Doogh. *Journal of Food Science and Technology*, 52(13), 93-101 (In Farsi).

[12] Koksoy, A., and Kilic, M. (2004). Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink Ayran. *Food Hydrocolloids*, 18, 593-600.

[13] Mohammadi, S., Abbasi, S., and Hamidi, Z. (2010). Effects of hydrocolloids on physical stability, rheological and sensory properties of milk-orange juice mixture. *Iranian Journal of Nutrition Science and Food Technology*, 5(4), 1-12 (In Farsi).

[14] Mokhtarian, M., and Tavakolipour, H. (2014). Production of low-fat kiwi chips with aloe vera gel and determination of the mass transfer profile in deep fat frying. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 9 (2), 95-104 (In Farsi).

[15] Mokhtarian, M., Tavakolipour, H., Jafari Savareh, S., and Amiri, M. (2013). Determination of optimal parameters to extraction and formulation of functional drink from green tea and determining its physicochemical and rheological properties. *Research and Innovation in Food Science*, 3(1), 295-310 (In Farsi).

[16] Steffe, J. (1996). Rheological methods in food process engineering. Freeman Press, New York, USA.

Investigation of the effects of adding hydrochlorides (Guar and Xanthan) on rheological behavior of low fat doogh

Mahjoorian, A. [1*], Mortazavi, S. A. [2], Mokhtarian, M. [3], Jafari Savare, Sh. [4]

1. Young Researchers and Elite Club, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
2. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
3. Young Researchers and Elite Club, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
4. Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

(Received: 94/4/9 Accepted: 94/6/10

Doogh is a fermented beverage that is prepared by mixing yoghurt with water and some salt. There are resembling beverage basis of yogurt in neighboring countries around Iran. For example, dilution ratio, fat content, rheological characteristics and taste like doogh, however, they all contain aggregated casein Serum separation is one of the main problems of this product during storage period. In this study, the effect of the additional of guar gums (0.3%), and xanthan (0.3%) and a mixture of two gums (0.15%-0.15%) on the rheological properties and serum separation of low fat doogh was examined. Rheological behavior of doogh samples was fitted with Ostwald-*de* Waele model. Mathematical calculations of data based *Ostwald-de* Waele model, showed that the low-fat doogh is non-Newtonian and shear thinning (Pseudo plastic) fluid type. Also, using the Arrhenius equation dependence of the apparent viscosity to temperature is determined and the activation energy between 11.09 to 19.07 kJ/mol is calculated.

Keywords: Doogh, Rheological properties, Pseudo plastic, Activation energy

* Corresponding Author E-Mail Address: pnamari@gmail.com