

اثر منبع و مقدار ماده خشک جامد کل دوغ بدون چربی روی پایداری و

خواص رئولوژیک آن

حسین کیانی، سید محمد علی ابراهیم زاده موسوی*، سید هادی رضوی،

محمد سعید یارمند و علی دینی**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن: (۰۲۶۱)۲۲۴۸۴۰۴، پیام‌نگار: mousavi@ut.ac.ir

** به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد؛ استاد؛ دانشیار؛ استادیار؛ و دانشجوی سابق دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه آموزشی مهندسی صنایع غذایی

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۱۷

چکیده

دوغ، یک نوشیدنی لبنی بومی است و در صنعت غذایی کشور اهمیت فراوانی دارد اما اطلاعات چندانی در مورد خواص مختلف این محصول در دست نیست. در این تحقیق، خواص جریان و توزیع اندازه ذرات کلونیدی پروتئینی دوغ بدون چربی تهیه شده از دو منبع، یکی شیر پس چرخ تازه و دیگری شیر خشک بدون چربی آزمایش اثر مقدار ماده خشک جامد کل بر پایداری و خواص رئولوژیک دوغ نیز بررسی شد. ویسکوزیته دوغ حاصل از شیر تازه $1/73 \pm 0/24$ سانتی‌پواز بود. دوغ حاصل از شیر خشک حتی در درصدهای پایین‌تر ماده جامد کل، ویسکوزیته بالاتری نشان داد که به بزرگتر بودن ذرات کلونیدی مربوط بود. با افزایش ماده جامد کل، ضمن غیر نیوتنی شدن رفتار جریانی، ویسکوزیته افزایش نشان داد و حجم سرم جدا شده کاهش یافت. مشاهدات نشان داد که ذرات کلونیدی دوغ، در گستره‌ای وسیع توزیع یافته‌اند و شکل‌های مختلف با ساختاری پیچیده دارند.

واژه‌های کلیدی

پایداری، توزیع اندازه ذرات، دوغ، رفتار جریانی، ریز ساختار

مقدمه

خواص فیزیکی، رفتار جریانی و خواص رئولوژیک، خواص حسی، و طعم و مزه آن نخستین گام خواهد بود. نوشیدنی‌های لبنی شامل دسته‌ای وسیع از نوشیدنی‌هاست که به طور گسترده تولید و مصرف می‌شوند. یکی از مهمترین گروه از این نوشیدنی‌ها، نوشیدنی‌های لبنی اسیدی هستند و متشکل از یک سیستم پروتئینی مایع‌اند که اسیدی شدن روی آنها صورت پذیرفته است (Laurent & Boulenger, 2003). این فرآورده‌ها ممکن است به صورت طبیعی یا مصنوعی اسیدی و همراه یا بدون مواد افزودنی دیگر مصرف

دوغ، یکی از محصولات بومی ایران است که در بین نوشیدنی‌های مرسوم جایگاهی ویژه دارد. امروزه حجم تولیدات صنعتی این محصول به میزان زیادی افزایش یافته است ولی حجم کمی از تحقیقات به بررسی خواص کاربردی این محصول اقتصادی و بهبود کیفیت آن اختصاص یافته است و با صنعتی شدن این محصول، کیفیت مطلوب آن تا حدودی نیز فراموش شده است. بنابراین، جهت بهبود کیفیت و همچنین درک بهتر فرایند تولید این محصول، تحقیقات بیشتری لازم خواهد بود. در این میان، شناسایی خواص مختلف دوغ مانند

شوند. دوغ که یکی از محصولات قدیمی ایران است در این دسته از آشامیدنی‌ها جای می‌گیرد.

دوغ، یا در کل نوشیدنی ماستی را می‌توان دسته‌ای از ماست همزده با ویسکوزیته پایین به حساب آورد (Tamime & Robinson, 1999). فرایند تولید آن می‌تواند به سه صورت باشد. روش اول، که روش سنتی نیز به این شکل است، شامل رقیق کردن ماست با آب و سپس جدا کردن چربی با استفاده از همزنی با دستگاه چرن^۱ است. اما چنانچه چربی شیر برای ماست‌سازی تنظیم شده باشد، می‌توان از مخلوط‌کردن و همزنی مستقیم آب با ماست، دوغ تولید کرد که این روش به عنوان روش دوم تولید دوغ در صنعت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Akin & Rice, 1994; Tamime & Robinson, 1999; Koksoy & Kilic, 2003, 2004). روش دیگر می‌تواند شامل عمل تخمیر روی شیر با ترکیبات استاندارد شده باشد. برای مثال می‌توان مقداری کافی شیر خشک را جهت رسیدن به ماده جامد کل مورد نظر در آب حل کرد و تخمیر را ادامه داد.

پروتئین‌ها در بسیاری از مواد غذایی در شکل‌های گوناگون و در ساختار، بافت، و پایداری مواد غذایی شرکت دارند. پروتئین‌ها در دوغ به شکل کلوئیدی وجود دارند و از لحاظ ساختاری با آنچه در شیر موجود است متفاوت‌اند. یکی از فاکتورهای مهم و تعیین‌کننده در ارتباط با این مواد، شکل و اندازه این ذرات کلوئیدی است که مستقیماً روی خواص دیگر دوغ اثر می‌گذارند. کازئین‌ها در شیر به واسطه نیروهای دافعه پایدار شده‌اند (Fox, 2003). پایین آوردن pH شیر باعث کاهش نیروی دافعه بین میسل‌های کازئین می‌شود. بنابراین، با وارد شدن نیروهای آبگریز، میسل‌های کازئین تجمع می‌یابند (van Hooydonk et al., 1986). در تولید ماست، یک شبکه سه بعدی متشکل از رشته‌های کازئین تشکیل می‌شود. باکتری‌های اسید

لاکتیک با تولید اسید، pH را به نقطه ایزوالکتریک کازئین می‌رسانند و با رسوب کازئین‌ها لخته تشکیل خواهد شد (Tamime & Robinson, 1999). رشته‌های کازئین با اعمال نیروی برشی شکسته می‌شوند و تکه‌ها یا مجتمع‌های پروتئینی ایجاد می‌شود. هر چه شدت نیروی اعمال شده بیشتر باشد تکه‌ها کوچک‌تر خواهند بود (Afonso & Joao, 1999). همزنی باعث از هم گسیختن این شبکه می‌شود و بنابراین پروتئین‌ها به ذراتی درشت‌تر از ذرات کازئین موجود در شیر تبدیل می‌شوند که در ماست همزده به علت فاصله کم آنها با هم، ویسکوزیته بالاتری ایجاد می‌کنند (Koksoy & Kilic, 2003). در تهیه نوشیدنی‌های تخمیری، رقیق کردن نیز انجام می‌شود (Tamime & Robinson, 1999). با افزودن آب، فاصله پروتئین‌ها زیاد خواهد شد و بنابراین ویسکوزیته محصول کاهش می‌یابد. با افزایش ماده جامد کل، رفتار جریان‌ی تغییر می‌یابد و ویسکوزیته تابع سرعت همزنی یا سرعت برشی می‌شود (Koksoy & Kilic, 2003). بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۳، ماده خشک دوغ حداقل ۳/۲ درصد بدون احتساب چربی و چربی آن نیز ۱ درصد است. بیشینه pH برابر ۴/۵ و اسیدیته آن بر حسب اسید لاکتیک حداکثر ۱ درصد است. بر اساس تعریف ارائه شده در این استاندارد، دوغ چهار نوع است: دوغ گازدار، دوغ بدون چربی گازدار، دوغ بدون گاز، دوغ بدون چربی بدون گاز (Anon, 1991).

خواص رئولوژیک در میان دیگر ویژگی‌های مواد غذایی اهمیت بسزایی دارد و امروزه توجه زیادی به آن جلب شده است (Farhoodi, 1998; Afonso & Joao, 1999; McClements, 1999; Smit, 2003). در مایعات و نوشیدنی‌ها یکی از خواص مهم رئولوژیک در زمینه کیفیت و نیز تکنولوژی، خواص جریان‌ی است (McClements, 1999). این خواص در قوام محصول،

در این تحقیق دوغ بدون چربی تولید شده از شیر پس چرخ تازه و شیر خشک بدون چربی مورد آزمون قرار گرفت. هدف از این کار بررسی رفتار جریان، ریزساختار، و توزیع اندازه ذرات کلوئیدی بود. جهت بررسی رفتار جریان از روش ویسکومتری استفاده شد و ضمن مشاهده ریزساختار دوغ با میکروسکوپ نوری، توزیع اندازه ذرات با روش پراکنش نور لیزر تعیین شد. اثر استفاده از دو منبع، یکی شیر تازه پس چرخ و دیگری شیر خشک و همچنین اثر درصد ماده جامد کل روی خواص رئولوژیک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

شیر تازه بدون چربی با استفاده از دستگاه خامه گیر در پایلوت لبنیات گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تهران تهیه شد. شیر خشک بدون چربی از شرکت زرین لبن قزوین خریداری و جهت تولید شیر با ماده جامد مورد نظر در آب دیونیزه حل شد. شیر، پس از پاستوریزه شدن در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه و خنک شدن تا دمای ۴۴-۴۰ درجه سانتی‌گراد، با کشت آغازگر YF-3331 تهیه شده از شرکت Christian Hansen دانمارک تلقیح شد. نمونه‌ها تا رسیدن به pH مطلوب در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند. و سرانجام نمونه‌ها به یخچال منتقل و تا زمان استفاده، در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. جهت تولید دوغ از شیر تازه، از رقیق کردن ماست استفاده شد. ماده جامد ماست بر اساس روش ذکر شده در استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۳ محاسبه و ماده جامد دوغ با افزودن ۰/۵ درصد وزنی نمک طعام (درجه خلوص ۹۹/۵ درصد) روی ۵ درصد وزنی تنظیم شد. محصول، با استفاده از دستگاه همگن ساز APV ساخت دانمارک در فشار ۱۵۰ بار همگن شد.

احساس دهانی، و پذیرش مصرف‌کننده نقش مؤثری دارند. در دست داشتن اطلاعات مفید در این زمینه به بهبود کیفیت و فرایند تولید کمک خواهد کرد. در اکثر امولسیون‌ها و محلول‌های کلوئیدی، رابطه بین سرعت برشی و تنش برشی رابطه‌ای خطی نیست و بنابراین ویسکوزیته به سرعت برشی اعمال شده بستگی خواهد داشت. این رابطه را شبه پلاستیک یا رقیق شونده می‌شناسند. در چنین رابطه‌ای، ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد و سرانجام پس از رسیدن به یک سرعت برشی بحرانی به صورت ثابت در می‌آید. دلیل ایجاد چنین رابطه‌ای، هم جهت شدن مولکول‌های درشت با جریان و از بین رفتن شبکه ایجاد شده بر اثر نیروهای غیر کووالان بین مولکول‌های کلوئیدی است. بر اساس یافته‌های قبلی، نوشیدنی‌های اسیدی لبنی اغلب رفتار غیر نیوتنی دارند و عواملی مانند مقدار ماده خشک جامد، خواص یونی و فرایندی روی آنها اثر می‌گذارند (Keogh & O'Kennedy, 1998; Koksoy & Kilic, 2003). کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2008) خواص جریانی دوغ تجاری را بررسی کردند. نتایج بررسی‌ها، نیوتنی بودن رفتار جریانی دوغ تجاری را نشان می‌دهد. در آزمایش‌های فروغی‌نیا و همکاران (Foroughinia *et al.*, 2007) نیز نشان داده شد که دوغ معمولی بدون مواد پایدار کننده با نسبت رقیق‌سازی ۶۰ به ۴۰ (آب و نمک به ماست) رفتار جریانی نیوتنی نشان می‌دهد. بر اساس دانش ما، تاکنون تحقیق جامعی که به بررسی خواص جریانی دوغ و تعیین ریز ساختار و اندازه ذرات کلوئیدی پردازد و اثر عوامل مهمی مانند مقدار ماده جامد و منبع شیر مورد استفاده را در تولید دوغ بررسی کند منتشر نشده است.

که در آنها، d_i و n_i به ترتیب قطر میانگین و تعداد ذرات در محدوده، دامنه، یا دسته‌ای خاص از اندازه ذرات هستند که جزئی از گستره اندازه ذره‌اند و مقداری بیشینه و مقداری کمینه دارند. این امر بر اساس تقسیم گستره اندازه ذرات به محدوده‌های کوچک و شمارش تعداد در هر محدوده پایه‌ریزی شده است و هدف آن تسهیل محاسبات، به علت زیاد بودن تعداد ذرات است. هر محدوده، تعدادی خاص از ذرات مشابه را در خود جای می‌دهد که قطر میانگین یا وسط محدوده و تعداد ذرات موجود در این محدوده مشخص است. آزمون‌ها پس از گذشت حداقل ۲۴ ساعت از زمان تولید نمونه‌ها آغاز شد تا حالت ثابت در نمونه‌ها حاصل شده باشد. جهت اطمینان بیشتر، دمای نمونه‌ها پس از خارج کردن آنها از یخچال به دمای اتاق رسانده شد.

جهت اجرای آزمون‌های رئولوژیک و بررسی خواص جریان‌ی نمونه‌ها، دستگاه ویسکومتر-رئومتر چرخشی بروکفیلد مدل RV II (ساخت امریکا) به کار گرفته شد. از بازوی چرخان یا اسپیندل ULA استفاده شد و آزمون‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اجرا شدند. نمودارهای جریان با نرم افزار اکسل رسم و داده‌ها جهت مقایسه، با مدل قانون توان برازش داده شدند.

جهت مشاهده ذرات کلئیدی و ریز ساختار ایجاد شده در دوغ، از میکروسکوپ نوری (Lieca Galen III, Germany) مجهز به دوربین دیجیتال با قابلیت ایجاد فاز متضاد استفاده شد. در ابتدا، نمونه‌ها با رنگ رودامین رنگ‌آمیزی شدند. برای این کار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول ۰/۰۵ درصد رودامین به ۹/۵ میلی‌لیتر از نمونه دوغ افزوده و نمونه به خوبی هم زده شد. رودامین با پروتئین‌ها واکنش غیر کووالانسی می‌دهد و باعث شفاف شدن و تمایز آنها در زیر نور معمولی می‌شود. سپس اسلایدها تهیه و بلافاصله زیر میکروسکوپ مشاهده شدند.

pH نمونه‌ها روی ۴-۴/۲ تنظیم و با نگهداری نمونه‌ها در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد در این محدوده حفظ شد. جهت تولید دوغ از شیر خشک بدون چربی، ماده جامد با توزین مقدار پودر مورد نیاز در ابتدا تنظیم گردید و نمونه‌های مختلف دوغ با ماده خشک ۱، ۲، ۴ و ۶ درصد تولید شدند. روش و شرایط تخمیر کاملاً مشابه نمونه دوغ تولید شده از شیر پس چرخ بود.

توزیع ذرات کلئیدی با استفاده از روش پراکنش نور دینامیک، به کمک دستگاه Mastersizer 2000S (شرکت مالورن انگلیس) تعیین شد. سنجش توزیع اندازه ذرات کلئیدی در دوغ توسط این دستگاه، بر اساس دو اصل فیزیکی فرانوفر و موهر انجام می‌شود که در این آزمون تنظیمات دستگاه به گونه‌ای انجام شد که اصل فرانوفر به کار گرفته شود. اساس کار این دستگاه تاباندن نور لیزر با طول موج خاص به نمونه است که با سنجش چگونگی و میزان پراکنش نور تابانده شده، توزیع اندازه ذرات بر اساس درصد حجمی کل ذرات تخمین زده می‌شود و قطر میانگین ذرات به دست می‌آید. اطلاعات مربوط به پراکنش ذرات، با آشکارساز تشخیص داده و سپس به رایانه منتقل می‌شود و با نرم افزار مربوط تجزیه و تحلیل خواهد شد. برای بیان قطر میانگین ذرات از دو روش استفاده شد (McClements, 1999):

قطر میانگین سطحی - حجمی $(d_{3,2})$:

$$d_{3,2} = \frac{\sum_{i=1} n_i d_i^3}{\sum_{i=1} n_i d_i^2} \quad (1)$$

قطر میانگین "کسر حجمی" - طولی $(d_{4,3})$:

$$d_{4,3} = \frac{\sum_{i=1} n_i d_i^4}{\sum_{i=1} n_i d_i^2} \quad (2)$$

برای دوغ بدون چربی تولید شده از شیر پس چرخ تازه و شیر خشک بدون چربی در جدول ۱ نشان داده شده است.

بررسی‌ها نشان داد که ذرات عمده دوغ تولید شده از شیر تازه، در محدوده یک میکرون تا ۵۰ میکرون قرار داشتند و بیشترین قطر ذرات بین ۲ تا ۳۰ مشاهده گردید. در مورد دوغ تولید شده از شیر خشک، ذرات عمده بین ۸ تا ۶۰ میکرومتر بودند و ذرات از یک میکرون تا ۱۰۰ میکرون نوسان داشتند. این ذرات تکه‌های پروتئینی هستند و در گستره‌ای نسبتاً وسیع پراکنده شده‌اند؛ یعنی ذراتی با اندازه‌های مختلف در دوغ یافت می‌شود. این امر از لحاظ تکنولوژیک در بحث پایداری و نیز خواص حسی بسیار مهم است. در مقایسه با میسل‌های کازئین در شیر که با قطری در حدود ۱۲۰ نانومتر و دارای محدوده پراکندگی ۵۰ تا ۶۰۰ نانومتر هستند (Fox, 2003)، ذرات موجود در دوغ بسیار درشت‌ترند و می‌توان به سادگی مشاهده کرد که یک ذره پروتئینی در دوغ از لحاظ اندازه معادل با ده‌ها و یا صدها میسل کازئین است. این ذرات در رفتار رئولوژیکی دوغ بسیار مؤثرند به گونه‌ای که دوغ، با اینکه مقدار مواد جامد آن نسبت به شیر کامل و بدون چربی یک‌سوم تا یک‌دوم است، ویسکوزیته مشابه یا بالاتری را نشان می‌دهد. غیر نیوتنی بودن دوغ تولید شده از شیر خشک نیز به بزرگ‌تر بودن قطر ذرات مربوط می‌شود. شیر خشک، حین تولید، تحت تأثیر تیمارهای مختلف حرارتی قرار می‌گیرد. این امر رفتار پروتئین‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کیفیت شیر خشک به کیفیت پروتئین آن وابسته است که آن نیز به فرایند حرارتی اعمال شده در تولید شیر خشک بستگی دارد. این عامل مستقیماً بافت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tamime & Robinson, 1999). خواص پروتئین‌های شیر بسیار به تیمار حرارتی وابسته است. شرایط دمایی

با اندازه‌گیری نسبت حجم سرم جدا شده در لوله‌های آزمایش ۱۰ میلی‌لیتری، دو فاز شدن دوغ بررسی شد. لوله‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و تا ۱۵ روز مقدار سرم اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

اثر منبع شیر مورد استفاده روی رفتار رئولوژیکی دوغ، شیر تازه و شیر خشک

نمودار ویسکوزیته برای نمونه‌های مختلف دوغ در شکل ۱ نشان داده شده است. دوغ بدون چربی تولید شده از شیر پس چرخ با ماده خشک ۵ درصد، رفتاری نزدیک به رفتار نیوتنی از خود نشان داد به گونه‌ای که در سرعت‌های برشی بالاتر، با افزایش سرعت برشی، تنش برشی با آهنگی ثابت تغییر کرد. ویسکوزیته ظاهری در حدود ۱ تا ۲ میلی‌پاسکال ثانیه با میانگین $1/73 \pm 0/24$ سانتی‌پواز بود. نتایج به دست آمده با رفتاری که در مورد دوغ تجاری دیده شده است مطابقت داشت (Kiani et al., 2008). جهت مقایسه دو منبع شیر تازه و شیر خشک به منظور تولید دوغ، نمونه‌هایی نیز با استفاده از شیر خشک تولید شدند. رفتار جریان دوغ تولید شده از این دو منبع به طور کلی متفاوت بود، به گونه‌ای که دوغ حاصل از شیر خشک حتی در مقادیر پایین‌تر ماده خشک، ویسکوزیته بالاتری از دوغ حاصل از شیر تازه نشان داد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، نمودارهای ویسکوزیته مربوط به نمونه‌های تولید شده از شیر خشک در مقایسه با نمودار ویسکوزیته دوغ حاصل از شیر تازه بالاتر هستند. برای بررسی بیشتر این موضوع، قطر ذرات کلئیدی نمونه‌های مختلف محاسبه شد. در اینجا ابتدا باید گفت که رقت، اثری بر نتایج حاصل از آنالیز قطر ذرات ندارد و در این آزمون نیز نتایج حاصل برای نمونه‌هایی با رقت‌های مختلف و منبع یکسان مشابه بود. اندازه ذرات

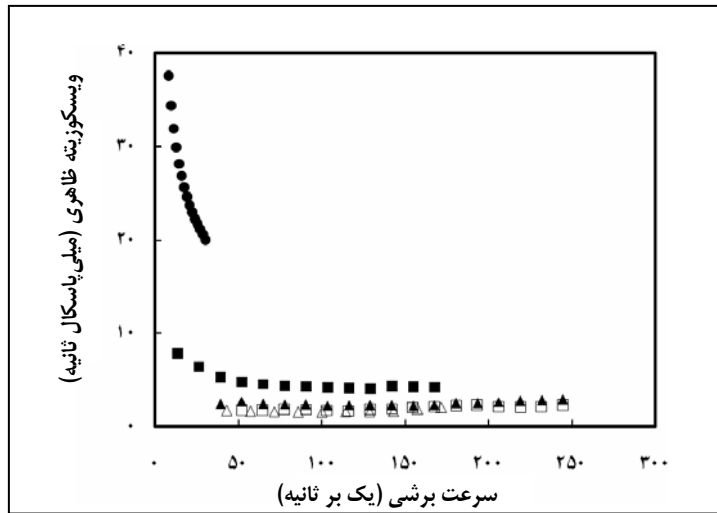
محصول مشابه تولید شده در ترکیه است مشاهده می‌شود به گونه‌ای که به رغم نشان دادن رفتار غیر نیوتنی، ویسکوزیته ظاهری در برخی نمونه‌ها در حدود ۱۰ برابر دوغ بوده است (Koksoy & Kilic, 2003). این نمونه‌ها دارای ماده جامد بالاتری بوده‌اند. اثر مقدار ماده خشک روی ضریب قوام دوغ تولید شده از شیر خشک پس چرخ در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش مقدار ماده خشک کل دوغ، ضریب قوام به صورت لگاریتمی و با سرعتی بالا افزایش یافت. در غلظت‌های بالاتر، ذرات فضای کمتری برای حرکت دارند و بنابراین به یکدیگر برخورد می‌کنند و باعث افزایش برهم‌کنش‌ها می‌شوند. این برهم‌کنش‌ها به دلیل طبیعت کلوئیدی ذرات موجود در دوغ باعث افزایش ویسکوزیته ظاهری و بنابراین ضریب قوام و منجر به بروز رفتار غیر نیوتنی می‌شود. غیر نیوتنی بودن رفتار جریان به خوبی در شکل ۱ نشان داده شده است. پیشتر اشاره شد که دلیل اصلی این پدیده همپوشانی ذرات کلوئیدی موجود در دوغ است. این امر در مشاهدات ریز ساختار به خوبی مشخص بود به گونه‌ای که در غلظت‌های بالاتر به دلیل همپوشانی ذرات، نور به اندازه کافی از نمونه عبور نکرد و بنابراین مشاهده ریزساختار ممکن نشد. در صورتی که با رقیق کردن نمونه‌ها ذرات به خوبی قابل رویت بودند.

و مدت زمان تیمار، خواص مهمی مثل آبگریزی یا آبدوستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vasbinder *et al.*, 2001). به هر ترتیب فرایندهای اعمال شده روی شیر خشک باعث می‌شود که دوغ تولید شده در شرایط کاملاً یکسان حاوی ذرات کلوئیدی درشت‌تر باشد. بنابراین، ذرات درشت‌تر به علت برهم‌کنش‌های بیشتر منجر به ایجاد ویسکوزیته بالاتری در دوغ می‌شوند.

اثر مقدار ماده جامد کل روی رفتار رئولوژیکی دوغ

یکی از عوامل مهم در رفتار جریانی دوغ، حجم ذرات پروتئینی موجود در دوغ است. در غلظت‌های بالاتر به علت نزدیک بودن این ذرات، برهم‌کنش‌ها بیشتر است و رفتار غیر نیوتنی مشاهده می‌شود (Koksoy & Kilic, 2003). اتصالات موجود بین ذرات دلیل ایجاد رفتار غیر نیوتنی است که در سرعت‌های برشی بالاتر این اتصالات از بین می‌روند. این رخداد باعث مشاهده رفتار جریانی رقیق شونده در دوغ با ماده خشک بالا می‌شود. رقیق کردن دوغ فاصله بین ذرات را افزایش می‌دهد و بنابراین امکان ایجاد اتصالات عرضی کاهش می‌یابد. این امر باعث می‌شود که در سرعت برشی بالا یا پایین، تنش برشی دارای تناسب ثابت با سرعت برشی باشد. انتظار می‌رود با افزایش ماده جامد، ویسکوزیته افزایش یابد. این امر در مورد ایران که

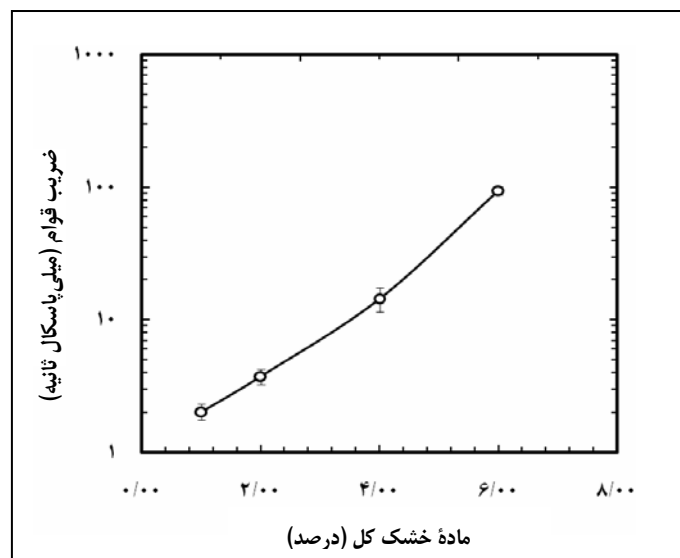
اثر منبع و مقدار ماده خشک جامد کل دوغ...



شکل ۱- نمودار ویسکوزیته نمونه‌های مختلف دوغ بدون چربی (Δ): تولید شده از شیر تازه، □: ۱ درصد شیر خشک، ▲: ۲ درصد شیر خشک، ■: ۴ درصد شیر خشک، ●: ۶ درصد شیر خشک

جدول ۱- قطر ذرات دوغ بدون چربی اندازه‌گیری شده با روش پراکنش نور بر حسب میکرومتر

اندیس گسترده‌گی	اندیس یکنواختی	قطر میانگین "کسر حجمی"- طولی ذرات (d _{4,3})	قطر میانگین سطحی-حجمی ذرات (d _{3,2})	
۱/۶۸±۰/۱۰	۰/۵۲±۰/۰۹	۵/۶۲±۰/۹۱	۳/۳۸±۰/۴۷	دوغ تولید شده از شیر تازه
۲/۳۵±۰/۲۱	۰/۸۵±۰/۰۸	۵۰/۶۷±۵/۱۳	۲۰/۳۸±۲/۸۴	دوغ تولید شده از شیر خشک

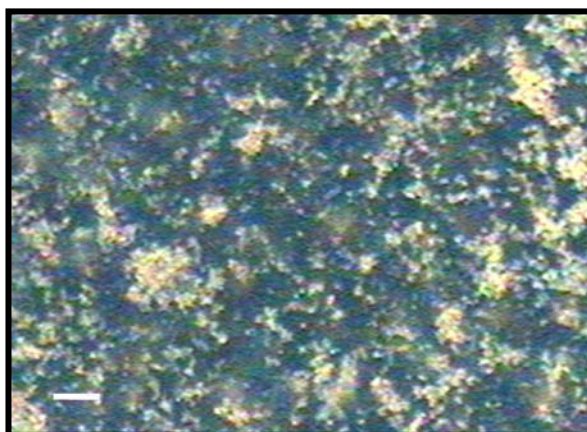


شکل ۲- اثر افزایش ماده خشک کل بر ضریب قوام دوغ

ریز ساختار

می‌شود. ذرات کلوئیدی موجود در دوغ در واقع تکه‌های پروتئینی هستند که قبلاً در یک شبکه سه بعدی جای داشته‌اند. فرایندها در ساختار آنها تغییراتی ایجاد کرده‌اند و گفتنی است که در صورت وجود گلبول‌های چربی، حین هموژنیزاسیون، کازئین‌ها بر سطح آنها قرار می‌گیرند و بنابراین رفتار آنها مانند کلوئیدهای متشکل از کازئین خواهد بود (Fox, 2003). شرایط و عواملی که منجر به تغییر شکل، اندازه، و دیگر خواص این ذرات شود، بر خواص نهایی محصول تأثیر بسیار زیادی خواهد داشت.

شکل ۳، ریز ساختار نمونه‌ای از دوغ را نشان می‌دهد که تنها به منظور ارائه وضعیت کلی ذرات تهیه شده است. ذرات دوغ در زمینه تیره به طور شفاف قابل مشاهده‌اند. ذرات به شکل کلوئیدی‌های نامنظم و در اندازه‌های گوناگون به چشم می‌خورند و بین آنها حفره‌هایی نیز مشاهده می‌شود. قبلاً نیز اشاره شد که دوغ از همزنی و در واقع شکستن شبکه سه بعدی زنجیره‌های کازئینی در ماست و سپس رقیق کردن آن تولید و نیز هموژنیزاسیون باعث کاهش اندازه ذرات



شکل ۳- ریز ساختار نمونه‌ای از دوغ (تولید شده از شیر خشک و ده برابر رقیق شده) در زیر میکروسکوپ نوری فاز متضاد پس از رنگ آمیزی برای مشاهده چگونگی پراکنندگی ذرات (مقیاس داخل شکل ۱۲۵ میکرومتر است)

واندروالس، هیدروفوب، و دیگر عوامل است. این امر سبب می‌شود ذرات به هم نزدیک شوند، تجمع یابند، و به اصطلاح فلوکوله شوند که تجمع ذرات سرانجام به تشکیل رسوب کمک می‌کند (Laurent & Boulenguer, 2003; Koksoy & Kilic, 2004; Sedlmeyer et al., 2004). دو فاز شدن دوغ تولید شده از شیر خشک بدون چربی با مقدار مواد جامد مختلف، درون لوله‌های ۱۰ میلی‌لیتری بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش ماده جامد کل حجم سرم

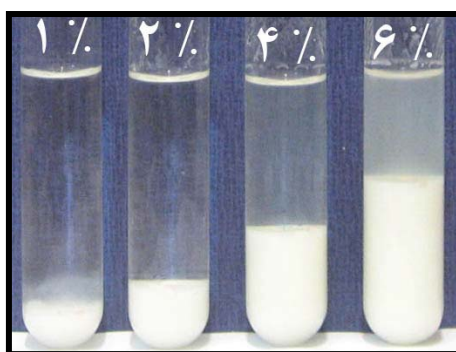
پایداری

نوشیدنی‌های لبنی اسیدی بعد از مدتی ماندگاری تشکیل دوفاز می‌دهند که فاز ته‌نشین شده شامل پروتئین‌ها و ذرات کلوئیدی و فاز رویی یا سرم نیز شامل آب و مواد محلول در آن مثل لاکتوز و املاح معدنی است. ذرات کلوئیدی دوغ ذراتی درشت‌اند و در صورت ساکن ماندن دوغ، بر اساس قانون استوک-انیشنتین ته‌نشین می‌شوند. عامل دیگر در ایجاد رسوب، گرایش ذرات پروتئینی به هم بر اثر عوامل مختلف مثل نیروهای

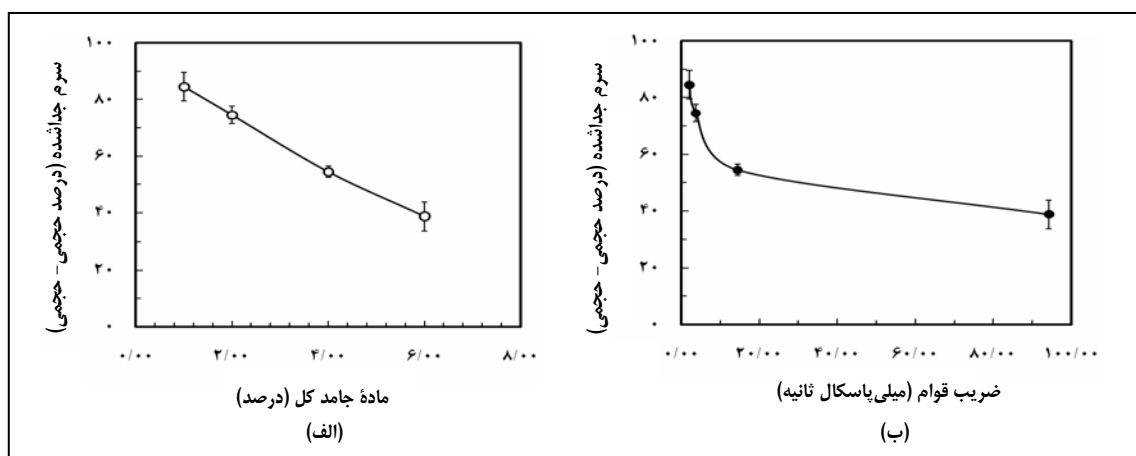
اثر منبع و مقدار ماده خشک جامد کل دوغ...

زمان (شکل ۶)، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب قوام در کاهش حجم سرم دوغ معمولی اثر چندانی ندارد و مقدار پروتئین‌ها مؤثرتر است. بنابراین، رابطه مشاهده شده در شکل ۵-ب، تنها یک همبستگی را نشان می‌دهد و افزایش ضریب قوام اثر زیادی روی حجم سرم ندارد. توضیح این مسئله می‌تواند مربوط شود به تفاوت ضریب قوام یا ویسکوزیته کل محلول با ضریب قوام یا ویسکوزیته فاز پیوسته که عبارت است از آب یا آب حاوی املاح شیر. از آنجایی که در این تحقیق ویسکوزیته محلول محاسبه گردید و از طرفی در قانون استوک ویسکوزیته فاز پیوسته مورد نظر است، بهتر است کاهش حجم سرم را بیشتر به برهم‌کنش‌های ذرات در غلظت‌های بالاتر نسبت داد تا به ویسکوزیته.

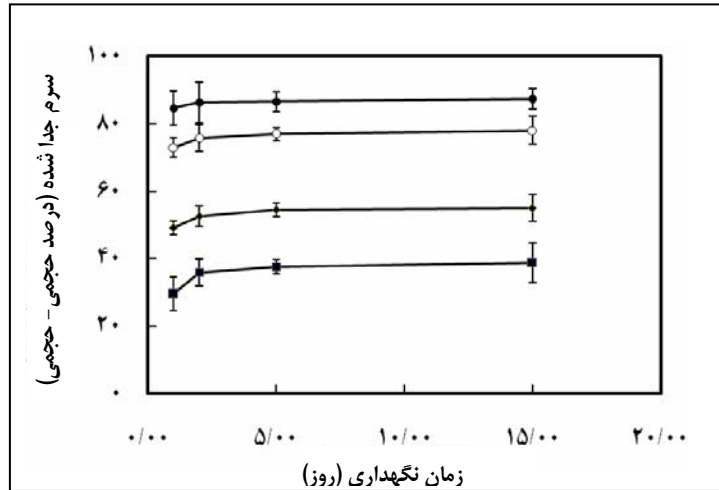
جدا شده کاهش می‌یابد. بررسی رابطه حجم سرم با ضریب قوام نشان می‌دهد که بین این دو رابطه منفی وجود دارد (شکل ۵). مقداری از این کاهش حجم به افزایش ماده جامد کل مربوط است که ضمن آن مقدار پروتئین‌های کلوئیدی بیشتر می‌شود و به تناسب آن حجم سرم کاهش می‌یابد. بخشی از کاهش حجم سرم ایجاد شده نیز به ضریب قوام مربوط می‌شود. برای بررسی این مطلب، حجم سرم جدا شده در طول زمان بررسی شد. نتایج بررسی در شکل ۶ نشان می‌دهد که ته‌نشینی وابسته به زمان نیست. از آنجا که نمودار تغییرات حجم سرم نسبت به افزایش ماده خشک خطی است (شکل ۵-الف) و همچنین با توجه به شیب کم نمودارهای تغییرات حجم سرم نسبت به



شکل ۴- مشاهده دو فاز شدن نمونه‌های دوغ با درصدهای ماده جامد کل مختلف پس از ۱۵ روز نگهداری



شکل ۵- (الف) اثر ماده جامد و (ب) ضریب قوام دوغ روی حجم سرم جدا شده



شکل ۶- سینتیک جداسدن سرم در دوغ با مواد جامد کل مختلف (دایره پر، دایره خالی، لوزی، و مربع به ترتیب ماده جامد کل ۱، ۲، ۴، و ۶ درصد)

نتیجه گیری

فرایندی، و عوامل مربوط به ترکیبات روی این خاصیت اثر می‌گذارد.

- دوغ تولید شده از شیر خشک ذراتی درشت‌تر دارد و رفتار جریان‌ی غیر نیوتنی از خود نشان می‌دهد. این امر از یک طرف اثر قطر ذرات کلونیدی را بر خواص دوغ و از طرف دیگر تفاوت شیر خشک را با شیر تازه به عنوان منبع تولید دوغ نشان می‌دهد.

- ماده خشک کل دوغ اثر قابل توجهی بر رفتار جریان‌ی دوغ دارد به گونه‌ای که هم باعث افزایش شدید ویسکوزیته و هم موجب نشان دادن رفتار جریان‌ی غیر نیوتنی می‌شود.

- ذرات کلونیدی موجود در دوغ، تکه‌هایی پروتئینی هستند که در شبکه سه بعدی ژل جا داشته‌اند. این ذرات می‌توانند با یکدیگر برهم‌کنش کنند و رفتار ایجاد کنند.

- ذرات کلونیدی دوغ، در گستره‌ای وسیع توزیع یافته‌اند و دارای شکل‌های مختلف با ساختاری پیچیده هستند.

بازارپسندی هر محصول مستقیماً با کیفیت آن محصول ارتباط دارد. در مورد دوغ نیز این امر صادق است و می‌توان گفت بهبود کیفیت و تلاش برای یکنواختی خواص محصول، برای گسترش مصرف دوغ ضروری است. تأثیرگذارترین خواص در کیفیت و فرایند تولید مواد غذایی، خواص رئولوژیک آنهاست. شناسایی این خواص و خواص مرتبط دیگر مانند ریزساختار و رفتار اجزای مواد غذایی در ارتباط با یکدیگر، جهت تحلیل بررسی‌های رئولوژیک و کسب نتایجی نزدیک‌تر به واقعیت به منظور بهره‌برداری از آنها در طراحی فرایند و طراحی فرمولاسیون لازم است. در این تحقیق این خواص برای دوغ بدون چربی شناسایی و ارائه شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که:

- در دوغ بدون چربی معمولی یا تولید شده از شیر تازه، رفتار جریان‌ی نیوتنی مشاهده شد که علت آن رقیق بودن دوغ و ناهمپوشانی بودن ذرات کلونیدی آن است. بدون شک عوامل مختلف محیطی،

اثر منبع و مقدار ماده خشک جامد کل دوغ...

در تولید محصولی با خواص مطلوب از لحاظ ویژگی‌های حسی، پایداری، و مسائل اقتصادی که خود بی‌ارتباط به خواص رئولوژیک نیستند، توجه به مسائل مربوط به این خواص ضروری است. ارتباط خواص جریان و ریزساختار با پایداری و ویژگی‌های حسی می‌تواند در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرد.

قدردانی

از شرکت زمزم ایران که امکانات و آزمایشگاه خود را در اختیار این تحقیق قرار داده و از آن پشتیبانی کرده است قدردانی می‌شود.

مراجع

- Afonso, I. M., and Joao, M. M. 1999. Rheological monitoring of structure evolution and development in stirred yoghurt. *J. Food Eng.* 42, 183–190.
- Akin, N., and Rice, P. 1994. Main yoghurt and related products in Turkey. *Cultured Dairy Products J.* 29(3): 23.
- Anon. 1991. Doogh: Characteristics and examination. ISIRI. Standard Number 2453. (in Farsi)
- Farhoodi, F. 1998. Milk Technology. Research and Education Jahad of Tehran Corporation Press. (in Farsi)
- Foroughinia, S., Abbasi, S., Himidi Esfahani, Z. 2007. Effect of Individual and Combined Addition of Salep, Tragacantin and Guar Gums on the Stabilization of Iranian Doogh. *Iranian J. Nutrition Sci. Food Technol.* 2, 15-25. (in Farsi)
- Fox, P. F. 2003. The major constituents of milk. Chapter 1 in Smit, G. (Ed.), *Dairy Processing: Improving Quality*.
- Keogh, M. K. and O’Kennedy, B. T. 1998. Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids. *J. Food Sci.* 63(1): 108-112
- Kiani, H., Mousavi, S. M. and Emam-Djomeh, Z. 2008. Rheological properties of Iranian yoghurt drink, Doogh. *Inter. J. Dairy Sci.* 3(2):71-78.
- Koksoy, A. and Kilic, M. 2003. Effects of water and salt level on rheological properties of Ayran, a Turkish yoghurt drink. *Inter. Dairy J.* 13, 835-839.
- Koksoy, A., Kilic, M. 2004. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, Ayran. *Food Hydrocol.* 18, 593-600.
- Laurent, M. A. and Boulenguer, P. 2003. Stabilization mechanism of acid dairy drinks (ADD) induced by pectin. *Food Hydrocol.* 17, 445-454.
- McClements, D. J. 1999. *Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques*. CRC Press LLC.
- Sedlmeyer, F., Brack, M., Rademacher, B. and Kulozik, U. 2004. Effect of protein composition and homogenisation on the stability of acidified milk drinks. *Inter. Dairy J.* 14, 331–336.
- Smit, G. 2003. *Dairy Processing: Improving Quality*. CRC Press LLC.
- Tamime, A. Y. and Robinson, R. K. 1999. *Yoghurt Science and Technology*. Woodhead Publishing Ltd.
- van Hooydonk, A. C. M., Boerrigter, I. J. and Hagedoorn, H. G. 1986. pH-induced physico-chemical changes of casein micelles in milk and their effect on renneting: 2. Effect of pH on renneting of milk. *Netherlands Milk and Dairy J.* 40, 297-313.
- Vasbinder, J., Peter, J., van Mil, J. M., Bot, A. and de Kruif, K. G. 2001. Acid-induced gelation of heat-treated milk studied by diffusing wave spectroscopy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 21, 245-250.
- Walstra, P. and Jenness, R. 1984. *Dairy Chemistry and Physics*. New York: Wiley.

Effect of Source and Amount of Total Solids Content on the Rheological Properties and Stability of Non-Fat Doogh

**H. Kiani, S. M. A. Ebrahimzadeh Mousavi*, S. H. Razavi,
M. S. Yarmand and A. Dini**

* Corresponding Author: Professor. University of Tehran, P. O. Box: 4111, Tehran, Iran. E-mail: mousavi@ut.ac.ir

As a native fermented dairy drink, doogh is an important industrial product in Iran. However, its characteristics have not been completely evaluated. This study evaluated the flow behavior, particle size distribution and stability of non-fat doogh as affected by the raw material employed (fresh skim milk or skim milk powder) and the total solids (TS) content of the final drink. The viscosity of samples produced using fresh skim milk was 1.73 ± 0.24 cPs. Those produced using skim milk powder exhibited higher viscosity resulting from bigger particle size. Increasing the TS content caused the viscosity of the doogh to increase, but the volume of the separated serum was reduced. Flow behavior became non-Newtonian at higher TS contents. Evaluations indicated that the colloidal particles existing in doogh were distributed among a wide range of sizes. Different particle shapes with complex structures were observed.

Key Words: Doogh, Flow behavior, Microstructure, Particle Size Distribution, Stability