مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۰/ شماره ۳/سال ۱۳۸۸/ص ٥٦-٤٥

# اثر منبع و مقدار مادهٔ 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: ۲۲۴۸۴۰۴(۰۲۶۱)، پیام‌نگار: mousavi@ut.ac.ir

** به‌ترتیب 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 جریانی و توزیع اندازهٔ ذرات کلوئیدی پروتئینی دوغ بدون چربی تهیه شده از دو منبع، یکی شیر پس چرخ تازه و دیگری شیر خشک بدون چربی آزمایش اثر مقدار مادهٔ خشک جامد کل بر پایداری و خواص رئولوژیک دوغ نیز بررسی شد. ویسکوزیتهٔ دوغ حاصل از شیر تازه ۰/۲٤± ۱/۷۳ سانتی‌پوآز بود. دوغ حاصل از شیر خشک حتی در درصدهای پایین‌تر مادهٔ جامد کل، ویسکوزیته بالاتری نشان داد که به بزرگتر بودن ذرات کلوئیدی مربوط بود. با افزایش مادهٔ جامد کل، ضمن غیر نیوتنی شدن رفتار جریانی، ویسکوزیته افزایش نشان داد و حجم سرم جدا شده کاهش یافت. مشاهدات نشان داد که ذرات کلوئیدی 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

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 صنعتی‌شدن 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 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 نوشیدنی ها، نوشیدنی‌های لبنی اسیدی هستند و متشکل از یک سیستم پروتئینی مایع‌اند که اسیدی‌شدن روی آنها صورت پذیرفته است (Laurent & Boulenguer, 2003). این فراورده ها ممکن است به صورت طبیعی یا مصنوعی اسیدی و همراه یا بدون مواد افزودنی دیگر مصرف

© 2011,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

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 ویسکوزیتهٔ 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[1] 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 اندازهٔ این ذرات کلوئیدی است که مستقیماً روی خواص دیگر دوغ اثر می‌گذارند. کازئین‌ها در شیر به واسطهٔ 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 درشت تر از ذرات کازئین موجود در شیر تبدیل می‌شوند که در ماست همزده به علت فاصلهٔ کم آنها با هم، ویسکوزیته بالاتری ایجاد می‌کنند (Koksoy & Kilic, 2003). در تهیهٔ نوشیدنی‌های تخمیری، رقیق کردن نیز انجام می‌شود (Tamime & Robinson, 1999). با افزودن آب، فاصلهٔ پروتئین‌ها زیاد خواهد شد و بنابراین ویسکوزیتهٔ محصول کاهش می‌یابد. با افزایش مادهٔ 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، مادهٔ 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 زمینهٔ کیفیت و نیز تکنولوژی، خواص جریانی است (McClements, 1999). این خواص در قوام محصول،

1- Churn

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، رابطۀ 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 شبکۀ 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 مادۀ 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 اندازۀ ذرات کلوئیدی بپردازد و اثر عوامل مهمی مانند مقدار مادۀ جامد و منبع شیر مورد استفاده را در تولید دوغ بررسی کند منتشر نشده است.

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 جریانی، ریزساختار، و توزیع اندازه ذرات کلوئیدی بود. جهت بررسی رفتار جریانی از روش ویسکومتری استفاده شد و ضمن مشاهدۀ ریزساختار دوغ با میکروسکوپ نوری، توزیع اندازۀ ذرات با روش پراکنش نور لیزر تعیین شد. اثر استفاده از دو منبع، یکی شیر تازۀ پس چرخ و دیگری شیر خشک و همچنین اثر درصد ماده جامد کل روی خواص رئولوژیک بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

شیر تازۀ 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 پاستوریزه‌شدن در دمای ۹۰ درجۀ 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 درجۀ سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند. و سرانجام نمونه‌ها به یخچال منتقل و تا زمان استفاده، در دمای ۵ درجۀ 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 مادۀ جامد دوغ با افزودن ۰/۵ درصد وزنی نمک طعام (درجۀ 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.

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

توزیع ذرات کلوئیدی با استفاده از روش پراکنش نور دینامیک، به کمک دستگاه Mastersizer 2000S (شرکت مالورن انگلیس) تعیین شد. سنجش توزیع اندازه ذرات کلوئیدی در دوغ توسط این دستگاه، بر اساس دو اصل فیزیکی فرانهوفر و موهر انجام می‌شود که در این آزمون تنظیمات دستگاه به گونه‌ای انجام شد که اصل فرانهوفر به‌کار 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 اندازهٔ ذرات بر اساس درصد حجمی کل ذرات تخمین زده می شود 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 ($d_{3,2}$):

$$d_{3,2} = \frac{\sum_{i=1} n_i d_i^3}{\sum_{i=1} n_i d_i^2} \qquad (۱)$$

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

$$d_{4,3} = \frac{\sum_{i=1} n_i d_i^4}{\sum_{i=1} n_i d_i^2} \qquad (۲)$$

که در آنها، $d_i$ و $n_i$ به ترتیب قطر میانگین و تعداد ذرات در محدوده، دامنه، یا دسته‌ای خاص از اندازهٔ ذرات هستند که جزئی از گسترهٔ اندازه ذره‌اند و مقداری بیشینه و مقداری کمینه دارند. این امر بر اساس تقسیم گسترهٔ اندازهٔ 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) به‌کار گرفته شد. از بازوی چرخان یا اسپیندل ULA استفاده شد و آزمون‌ها در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد اجرا شدند. نمودارهای جریان با نرم افزار اکسل رسم و داده‌ها جهت مقایسه، با مدل قانون توان برازش داده شدند.

جهت مشاهده ذرات کلوئیدی 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.

با انـدازه‌گیـری نـسبت حجـم سـرم جـدا شـده در لوله‌های آزمـایش ۱۰ میلـی‌لیتـری، دو فـاز شـدن دوغ بررسـی شـد. لولـه‌هـا در دمـای ۴ درجـهٔ سـانتی‌گـراد نگهداری شدند و تا ۱۵ روز مقدار سرم اندازه‌گیری شد.

## نتایج و بحث

### اثر منبع شیر مورد استفاده روی رفتـار رئولـوژیکی دوغ، شیر تازه و شیر خشک

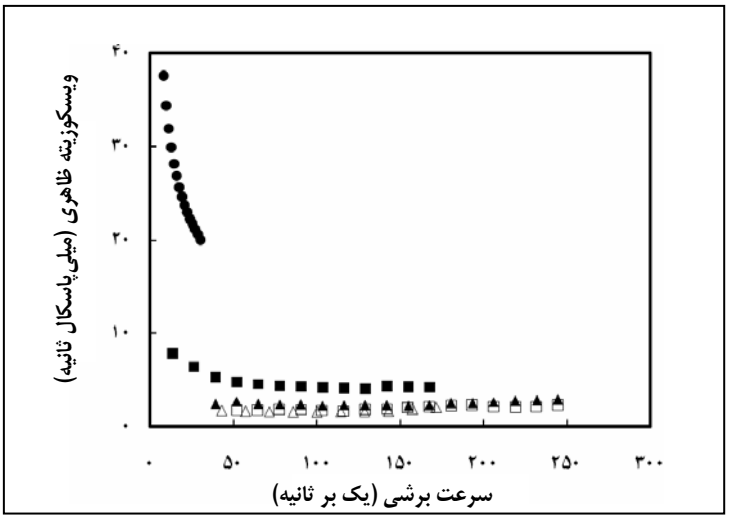
نمودار ویسکوزیته برای نمونه‌هـای مختلف دوغ در شکل ۱ نشان داده شده است. دوغ بدون چربـی تولیـد شده از شیر پس چرخ با ماده خشک ۵ درصـد، رفتـاری نزدیک به رفتار نیوتنی از خود نشان داد به گونـه‌ای کـه در سرعت‌های برشی بالاتر، بـا افـزایش سـرعت برشـی، تنش برشی بـا آهنگـی ثابـت تغییـر کـرد. ویـسکوزیته ظاهری در حدود ۱ تا ۲ میلی‌پاسکال ثانیـه بـا میـانگین ۱/۷۳ ±۰/۲۴ سانتی‌پوآز بود. نتایج بـه دسـت آمـده بـا رفتاری که در مورد دوغ تجاری دیده شده است مطابقت داشت (Kiani *et al.*, 2008). جهـت مقایـسهٔ دو منبـع شیر تازه و شیر خشک به منظور تولید دوغ، نمونه‌هـایی نیز با استفاده از شیر خشک تولید شدند. رفتار جریـانی دوغ تولید شده از این دو منبع به طورکلی متفاوت بـود، به گونه‌ای که دوغ حاصل از شیر خشک حتی در مقادیر پایین‌تر مادهٔ خشک، ویسکوزیته بـالاتری از دوغ حاصـل از شـیر تـازه نـشان داد. همـان طـور کـه در شـکل ۱ مشاهده مـی‌شـود، نمودارهـای ویـسکوزیتهٔ مربـوط بـه نمونه‌های تولید شده از شیر خشک در مقایسه با نمـودار ویسکوزیته دوغ حاصل از شیر تازه بالاتر هستند. بـرای بررسـی بیـشتر ایـن موضـوع، قطـر ذرات کلوئیـدی نمونه‌های مختلف محاسبه شد. در اینجا ابتدا باید گفت که رقت، اثری بر نتایج حاصل از آنالیز قطر ذرات ندارد و در این آزمون نیـز نتـایج حاصـل بـرای نمونـه‌هـایی بـا رقت‌های مختلف و منبع یکسان مشابه بود. اندازهٔ ذرات برای دوغ بدون چربی تولید شده از شیر پس چرخ تـازه و شیر خشک بدون چربی در جدول ۱ نـشان داده شـده است.

بررسی‌ها نشان داد که ذرات عمده دوغ تولید شـده از شیر تازه، در محدودهٔ یک میکرون تا ۵۰ میکرون قرار داشتند و بیـشترین قطـر ذرات بـین ۲ تـا ۳۰ مـشاهده گردید. در مورد دوغ تولید شـده از شـیر خـشک، ذرات عمـــده بـــین ۸ تـــا ۶۰ میکرومتـــر بودنـــد و ذرات از یک میکرون تا ۱۰۰ میکرون نوسان داشتند. ایـن ذرات تکه‌های پروتئینی هستند و در گـستره‌ای نـسبتاً وسـیع پراکنده شده‌اند؛ یعنی ذراتی بـا انـدازه‌هـای مختلـف در دوغ یافت می شـود. ایـن امـر از لحـاظ تکنولوژیـک در بحث پایداری و نیز خواص حسی بسیار مهـم اسـت. در مقایسه با میسل‌های کازئین در شـیر کـه بـا قطـری در حدود ۱۲۰ نانومتر و دارای محـدودهٔ پراکنـدگی ۵۰ تـا ۶۰۰ نانومتر هستند (Fox, 2003)، ذرات موجود در دوغ بسیار درشت‌ترند و می‌توان به سادگی مشاهده کرد کـه یک ذره پروتئینی در دوغ از لحاظ اندازه معادل با ده‌ها و یـا صـدها میـسل کـازئین اسـت. ایـن ذرات در رفتـار رئولوژیکی دوغ بسیار مؤثرند به گونه‌ای که دوغ، با اینکه مقدار مواد جامد آن نسبت به شیر کامل و بـدون چربـی یک‌سوم تا یک‌دوم است، ویسکوزیته مشابه یا بـالاتری را نشان می‌دهد. غیر نیوتنی بودن دوغ تولید شده از شـیر خشک نیز به بزرگ‌تر بودن قطر ذرات مربوط مـی‌شـود. شیر خشک، حین تولید، تحت تأثیر تیمارهـای مختلـف حرارتی قرار می‌گیرد. این امر رفتار پروتئین‌ها را تحـت تأثیر قرار می دهـد. کیفیـت شـیر خـشک بـه کیفیـت پروتئین آن وابسته است که آن نیز بـه فراینـد حرارتـی اعمال شده در تولید شیر خشک بستگی دارد. این عامل مستقیماً بافـت محـصول را تحـت تـاثیر قـرار مـی‌دهـد (Tamime & Robinson, 1999). خواص پروتئین‌هـای شیر بسیار به تیمار حرارتی وابسته است. شرایط دمـایی

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

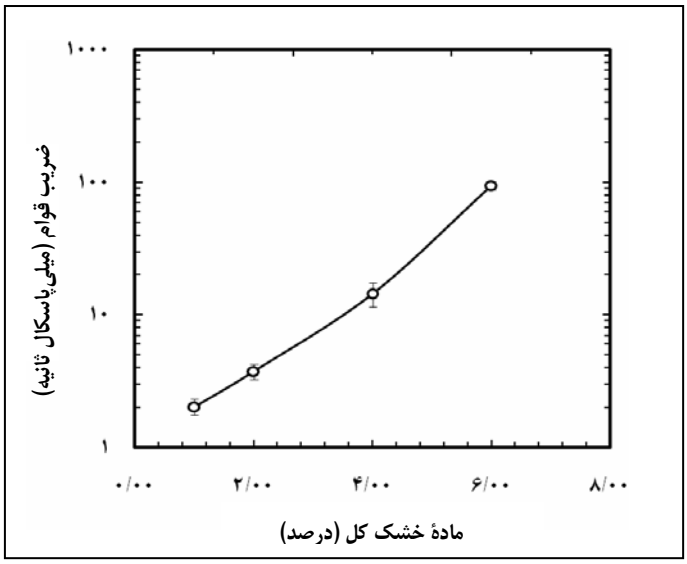
یکی از عوامل مهم در رفتار جریانی دوغ، حجم ذرات پروتئینی موجود در دوغ است. در غلظت‌های بالاتر به علت نزدیک بودن این ذرات، برهم‌کنش‌ها بیشتر است و رفتار غیر نیوتنی مشاهده می‌شود (Koksoy & Kilic, 2003). اتصالات موجود بین ذرات دلیل ایجاد رفتار غیر نیوتنی است که در سرعت‌های برشی بالاتر این اتصالات از بین می‌روند. این رخداد باعث مشاهده رفتار جریانی رقیق شونده در دوغ با مادهٔ خشک بالا می‌شود. رقیق کردن دوغ فاصلهٔ 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 مادهٔ جامد، ویسکوزیته افزایش یابد. این امر در مورد آیران که محصول مشابه تولید شده در ترکیه است مشاهده می‌شود به گونه‌ای که به رغم نشان دادن رفتار غیر نیوتنی، ویسکوزیتهٔ ظاهری در برخی نمونه‌ها در حدود ۱۰ برابر دوغ بوده است (Koksoy & Kilic, 2003). این نمونه‌ها دارای مادهٔ جامد بالاتری بوده‌اند. اثر مقدار مادهٔ خشک روی ضریب قوام دوغ تولید شده از شیر خشک پس چرخ در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش مقدار مادهٔ 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 ویسکوزیتهٔ ظاهری و بنابراین ضریب قوام و منجر به بروز رفتار غیر نیوتنی می‌شود. غیر نیوتنی بودن رفتار جریانی 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 اندازهٔ کافی از نمونه عبور نکرد و بنابراین مشاهدهٔ ریزساختار ممکن نشد. درصورتی‌که با رقیق‌کردن نمونه‌ها ذرات به خوبی قابل رویت بودند.




**شکل ۱- نمودار ویسکوزیته نمونه‌های مختلف دوغ بدون چربی (Δ: تولید شده از شیر تازه، □: ۱ درصد شیر خشک، ▲: ۲ درصد شیر خشک، ■: ٤ درصد شیر خشک، ●: ٦ درصد شیر خشک)**

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

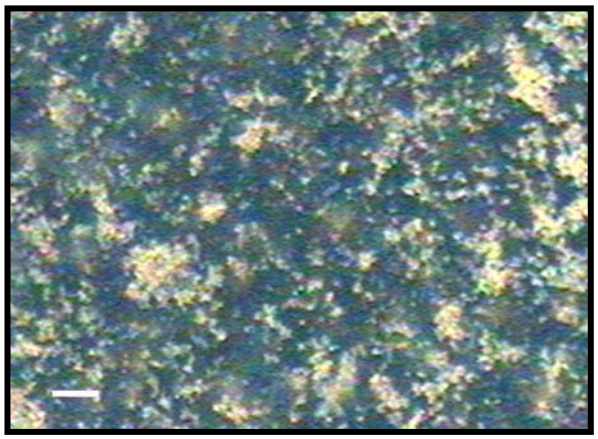
| | قطر میانگین سطحی-حجمی ذرات ($d_{3,2}$) | قطر میانگین "کسر حجمی"-طولی ذرات ($d_{4,3}$) | اندیس یکنواختی | اندیس گستردگی |
|---|---|---|---|---|
| دوغ تولید شده از شیر تازه | ۳/۳۸±۰/۴۷ | ۵/۶۲±۰/۹۱ | ۰/۵۲±۰/۰۹ | ۱/۶۸±۰/۱۰ |
| دوغ تولید شده از شیر خشک | ۲۰/۳۸±۲/۸۴ | ۵۰/۶۷±۵/۱۳ | ۰/۸۵±۰/۰۸ | ۲/۳۵±۰/۲۱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




**شکل ۲- اثر افزایش مادهٔ خشک بر ضریب قوام دوغ**

**ریز ساختار**

شکل ۳، ریز ساختار نمونه‌ای از دوغ را نشان می‌دهد که تنها به منظور ارائهٔ وضعیت کلی ذرات تهیه شده است. ذرات دوغ در زمینهٔ 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 شبکهٔ سه بعدی زنجیره‌های کازئینی در ماست و سپس رقیق کردن آن تولید و نیز هموژنیزاسیون باعث کاهش اندازه ذرات 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.



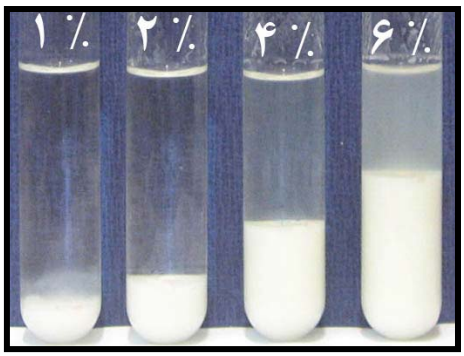
**شکل ۳- ریز ساختار نمونه‌ای از دوغ (تولید شده از شیر خشک و ده برابر رقیق شده) در زیر میکروسکوپ نوری فاز متضاد پس از رنگ آمیزی برای مشاهدهٔ چگونگی پراکندگی ذرات (مقیاس داخل شکل ۱۲۵ میکرومتر است)**

**پایداری**

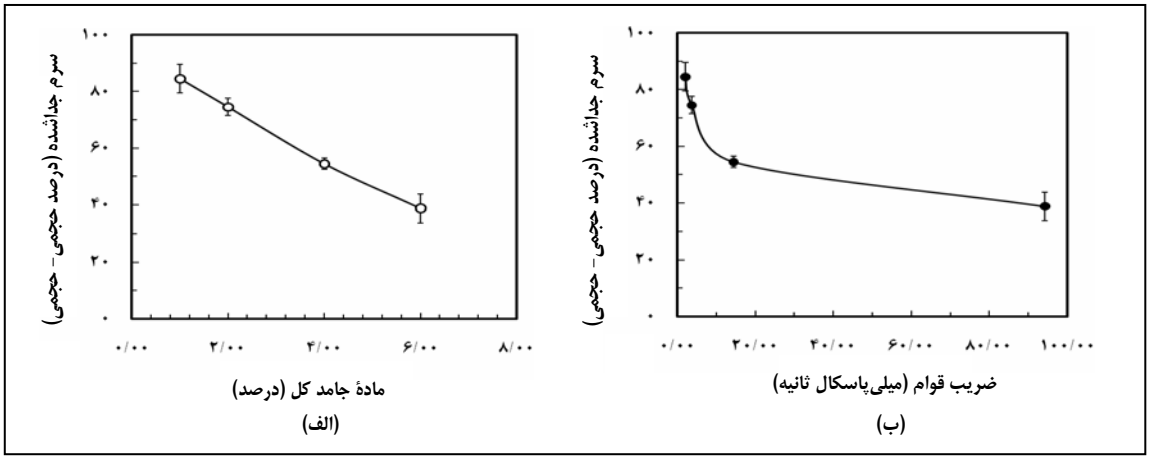
نوشیدنی‌های لبنی اسیدی بعد از مدتی ماندگاری تشکیل دوفاز می‌دهند که فاز ته‌نشین شده شامل پروتئین‌ها و ذرات کلوئیدی و فاز رویی یا سرم نیز شامل آب و مواد محلول در آن مثل لاکتوز و املاح معدنی است. ذرات کلوئیدی دوغ ذراتی درشت‌اند و در صورت ساکن ماندن دوغ، بر اساس قانون استوک- انیشتین ته‌نشین می‌شوند. عامل دیگر در ایجاد رسوب، گرایش ذرات پروتئینی به هم بر اثر عوامل مختلف مثل نیروهای 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. همان‌طورکه در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش مادهٔ جامد کل حجم سرم

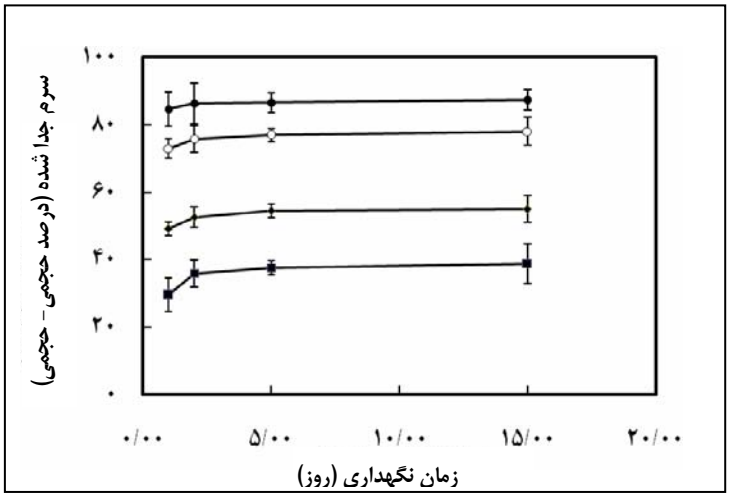
جدا شده کاهش می‌یابد. بررسی رابطهٔ حجم سرم با ضریب قوام نشان می‌دهد که بین این دو رابطهٔ منفی وجود دارد (شکل ۵). مقداری از این کاهش حجم به افزایش مادهٔ جامد کل مربوط است که ضمن آن مقدار پروتئین‌های کلوئیدی بیشتر می‌شود و به تناسب آن حجم سرم کاهش می‌یابد. بخشی از کاهش حجم سرم ایجاد شده نیز به ضریب قوام 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 مادهٔ خشک خطی است (شکل ۵- الف) و همچنین با توجه به شیب کم نمودارهای تغییرات حجم سرم نسبت به زمان (شکل ۶)، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب قوام در کاهش حجم سرم دوغ معمولی اثر چندانی ندارد و مقدار پروتئین‌ها مؤثرتر است. بنابراین، رابطهٔ 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.




**شکل ٤- مشاهدهٔ دو فاز شدن نمونه‌های دوغ با درصدهای مادهٔ جامد کل مختلف پس از ۱۵ روز نگهداری**




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




**شکل ٦- سینتیک جداشدن سرم در دوغ با مواد جامد کل مختلف (دایرهٔ پر، دایرهٔ خالی، لوزی، و مربع به‌ترتیب مادهٔ جامد کل ۱، ۲، ٤، و ٦ درصد)**

## نتیجه‌گیری

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 ناهمپوشانی‌بودن ذرات کلوئیدی آن است. بدون شک عوامل مختلف محیطی، 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 کلوئیدی را بر خواص دوغ و از طرف دیگر تفاوت شیر خشک را با شیر تازه به عنوان منبع تولید دوغ نشان می‌دهد.
- مادهٔ 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 کلوئیدی موجود در دوغ، تکه‌هایی پروتئینی هستند که در شبکهٔ سه بعدی ژل جا داشته‌اند. این ذرات می‌توانند با یکدیگر برهم‌کنش کنند و رفتار ایجاد کنند.
- ذرات کلوئیدی دوغ، در گستره‌ای وسیع توزیع یافته‌اند و دارای شکل‌های مختلف با ساختاری پیچیده هستند.

در تولیـد محـصولی بـا خـواص مطلـوب از لحـاظ ویژگـی‌هـای حـسی، پایـداری، و مـسائل اقتـصادی کـه خود بی‌ارتباط بـه خـواص رئولوژیـک نیـستند، توجـه بـه مسائل مربوط به این خواص ضروری است. ارتباط خواص جریـانی و ریزسـاختار بـا پایـداری و ویژگـی‌هـای حـسی 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.**

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.10/No.3/2009/P: 45-56*

# 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 row 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 ± 0.24cPs. 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