

Investigating the Rheological and Physicochemical Characteristics of Low Fat - Free Cholesterol Mayonnaise Using Sodium Octenyl Succinate Starch and Persian Gum

MAHBOOBEH PISHAN¹, GHOLAMREZA ASKARI^{2*}, MAJID JAMSHIDIAN³, ZAHRA EMAMDJOMEH⁴

1. MSc Graduate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: June. 24, 2018- Revised: Sep. 9, 2018- Accepted: Sep. 23, 2018)

ABSTRACT

Fabrication of reduced fat mayonnaise using Persian gum (PG) and sodium octenyl succinate starch (SOS) investigated. Effects of concentration of the PG (4, 3.8 and 3.6%), a mixture of xanthan and guar gum (XG ratio 75:25) at (0.0, 0.2 and 0.4%) and the SOS (0.5%, 1.0% and 1.5) on the stability, textural properties, droplet size and optical properties of low fat - free cholesterol mayonnaise examined. Results showed that all of the low fat mayonnaise samples have similar textural properties to full fat (FF) sample. There was a significant difference in color and droplet size of low fat (LF) and FF samples. The best levels of SOS and PG to provide the most stable formulation were 1 and 3.6%, respectively. In comparison with FF sample, LF samples were more stable and free from cholesterol and had lower calories. According to the evaluations, the results showed that this product can be used as commercial mayonnaise.

Keyword: Mayonnaise, Low fat, Persian gum, Sodium octenyl succinate starch, Textural properties

* corresponding author's email: iraskari@ut.ac.ir

بررسی ویژگی های رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی سس مایونز کم چرب بدون کلسترول با استفاده از نشاسته اکتینیل سوکسینات و صمغ فارسی

محبوبه پیشان^۱، غلامرضا عسکری^{۲*}، مجید جمشیدیان^۳، زهرا امام جمعه^۴

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس

کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۶/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۱)

چکیده

در این پژوهش فرمولاسیون مایونز کم چرب با استفاده از نشاسته سدیم اکتینیل و صمغ فارسی بررسی شد. اثر غلظت صمغ فارسی (۳/۶، ۴/۴ و ۴/۴)، ترکیب (۷۵ به ۲۵) صمغ های گوار و زانتان (۰/۰، ۰/۲ و ۰/۴) و نشاسته (۰/۵، ۱ و ۱/۵) بر روی پایداری، ویژگی های بافتی و ظاهری و اندازه قطرات مایونز کم چرب بدون تخم مرغ مطالعه شد. ویژگی های بافتی فرمولاسیون های کم چرب مشابه محصول تجاری پرچرب بود، اما از نظر رنگ و اندازه ذره بین آنها تفاوت معنی داری وجود داشت. غلظت صمغ فارسی و نشاسته که منجر به تولید محصولی با بالاترین پایداری شد به ترتیب ۳/۶ و ۱٪ بود. در مقایسه با نمونه های پرچرب، نمونه کم چرب پایدارتر بوده و کالری کمتری داشت و به طور کلی فاقد کلسترول بود. با توجه به ارزیابی ها، نتایج نشان داد که از این محصول می توان به عنوان سس مایونز تجاری استفاده نمود.

واژگان کلیدی: مایونز؛ کم کالری؛ صمغ فارسی؛ نشاسته سدیم اکتینیل؛ ویژگی های بافتی

مقدمه

مایونز از ترکیب زرده تخم مرغ، سرکه، روغن و ادویه ها تحت شرایطی مشخص ساخته می شود و روغن جزء اصلی تشکیل دهنده این امولسیون روغن در آب است. با توجه به نگرانی های استفاده زیاد از روغن ها و تاثیر آنها بر چاقی و بیماری های قلبی و عروقی، صنایع غذایی به شکلی روز افزون به سمت استفاده کمتر از چربی و کلسترول رفته است (Liu et al., 2007). تاثیر منفی کلسترول بر بیماری های قلبی و نیز آلرژی زایی زرده تخم مرغ صنایع غذایی را به استفاده از ترکیبات جایگزین تشویق کرده است. مطالعات بسیاری در ارتباط با استفاده از زرده با کلسترول کاهش یافته در پایدار سازی امولسیون های غذایی گزارش شده است (Moros et al., 2002; Paraskevopoulou et al., 1997; Paraskevopoulou et al., 1999). به منظور جایگزینی زرده، پروتئین های گیاهی مانند

پروتئین سویا (Puppo et al., 2000; Diftis et al., 2005)، پروتئین لوبین (Franco et al., 1998)، پروتئین نخود (Franco et al., 2000) و پروتئین گندم (Ghoush et al., 2008) بطور گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفته اند. نشاسته اکتینیل سوکسینات^۱ (OSA) در مقادیر مجاز (کمتر از ۳٪) برای پایدار سازی امولسیون های روغن در آب غذایی مورد استفاده قرار می گیرد (Trubiano, 1986). تولید مایونز کم چرب از طریق جایگزینی چربی با اینولین و نشاسته تغییر یافته (Alimi et al., 2013)، صمغ قدومه شهری (Seifodin et al., 2017)، دکسترین جو دوسر (Shen et al., 2011)، نشاسته زلاتینه شده برنج و صمغ زانتان (Lee et al., 2013) نیز در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. نشاسته سدیم اکتینیل سوکسینات^۲ (SOS)، به عنوان یکی از نشاسته های اصلاح شده

1. Starch octenyl succinate
2. Sodium octenyl succinate starch

(China تهیه شدند.

تهیه امولسیون

ترکیب شیمیایی نمونه پرچرب (کنترل) و ۵ نمونه کم چرب در جدول ۱ ارائه شده است. در همه نمونه‌ها نسبت صمغ زانتان به گوار (XG) ۷۵ به ۲۵ انتخاب شد (Jamshidian *et al.*, 2014). متغیرهای این تحقیق در نهایت غلظت‌های SOS، PG و XG بود. نمونه‌ها در یک مخلوط کن خانگی (مولینکس، فرانسه مدل DAB1) به ترتیب زیر تهیه شدند. نخست آب و سرکه تقطیری با اسیدیته ۰.۵٪ بر حسب اسید استیک با هم مخلوط شدند و مواد اولیه پودری از جمله صمغ‌ها و نشاسته اصلاح شده، به آن اضافه شده و به مدت ۸ دقیقه هم زده شدند. در انتها روغن سویا به آهستگی و طی مدت ۸ دقیقه به مخلوط در حال به هم خوردن اضافه شد، فرایند هم زدن با سرعت متوسط به مدت ۵ دقیقه پس از اضافه کردن روغن ادامه یافت. نمونه‌ها در ظرف‌های شیشه‌ای مقاوم به نفوذ هوا و نور نگهداری شدند. پیش از انجام هر گونه آزمایش نمونه‌ها به مدت ۱ شب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند.

بررسی ترکیب شیمیایی

رطوبت، پروتئین و خاکستر نمونه‌ها به ترتیب بر اساس روش‌های (AOAC, 934.01)، (AOAC, 992.15) و (AOAC, 942.05) انجام شد. چربی نمونه‌ها با بهره‌گیری از روش میستری و حسن (Mistry and Hassan, 1992) اندازه‌گیری شد. حاصل جمع مربوط به پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر نمونه‌ها از ۱۰۰ کم شدند و درصد مربوط به کربوهیدرات محاسبه گردید. ارزش انرژی زایی^۲ نمونه‌های با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Liu *et al.*, 2007)

(کربوهیدرات × ۴) + (چربی × ۹) + (پروتئین × ۴) = ارزش انرژی زایی

2. Caloric value

با ویژگی امولسیفایری از واکنش اکتینیل سوکسینیک اسید و نشاسته تولید می‌گردد (Nilsson *et al.*, 2006; Tesch *et al.*, 2002). با توجه به ویژگی‌های چربی دوستی، این ترکیب می‌تواند در محیط‌های آبی با سایر بیوپلیمرها تشکیل شبکه داده و به این ترتیب به عنوان یک پایدار کننده عمل کند (Ortega-Ojeda *et al.*, 2005). صمغ فارسی^۱ (PG) یک هیدروکلوئید آنیونی با محتوای پروتئینی پایین است که ظرفیت جذب آب بالایی دارد. با داشتن ویژگی‌های امولسیفایری همانند صمغ عربی، این ترکیب کاندیدای خوبی برای استفاده در سیستم‌های غذایی است. پژوهش‌های اخیر نشان دهنده قابلیت‌های این ماده در پایدار سازی سیستم‌های امولسیون، تولید فیلم‌های خوراکی، بهبود ویژگی‌های ماست کم چرب و جایگزین ژلاتین در پاستیل‌هاست (Abbasi *et al.*, 2011; Jafari *et al.*, 2013).

بنا به بررسی‌های نویسندگان، تا کنون مطالعه‌ای با محتوای بررسی اثر همزمان صمغ فارسی و نشاسته سدیم اکتینیل سوکسینات در تولید مایونز فاقد زرده تخم مرغ و با چربی کاهش یافته مشاهده نشده است. بنابر این هدف این مقاله بررسی اثر این دو ترکیب بر روی ویژگی‌های ظاهری، بافتی و ریز ساختار مایونز بدون کلسترول و با چربی کاهش یافته است.

مواد و روش‌ها

تعیین ویژگی‌های مواد اولیه

نشاسته سدیم اکتینیل سوکسینات از شرکت اینگریدیون (Ingredion, New Jersey, USA) تهیه شد. صمغ فارسی از استان فارس خریداری گردید. سایر ترکیبات با درجه غذایی از بازار محلی خریداری شد. صمغ گوار از شرکت دابور (Dabur, India) و صمغ زانتان از شرکت شیمیایی جاست (JustChem)

1. Persian Gum

جدول ۱- فرمولاسیون نمونه‌های مایونز تولیدی

نام ترکیب	زرده*	(SOS)	(PG)	(XG)	روغن	آب	سرکه	شکر	نمک	خردل
FF	۹	۰	۰	۰/۱۶	۶۵	۱۲/۲	۷	۵	۱/۴	۰/۴
LF1	۰	۱	۳/۶	۰/۴۰	۵۰	۲۸/۲	۱۱/۵	۳/۵	۱/۴	۰/۴
LF2	۰	۱	۳/۸	۰/۲۰	۵۰	۲۸/۲	۱۱/۵	۳/۵	۱/۴	۰/۴
LF3	۰	۱	۴	۰/۰	۵۰	۲۸/۲	۱۱/۵	۳/۵	۱/۴	۰/۴
LF4	۰	۰/۵	۳/۸	۰/۲۰	۵۰	۲۸/۲	۱۱/۵	۴/۰	۱/۴	۰/۴
LF5	۰	۱/۵	۳/۸	۰/۲۰	۵۰	۲۸/۲	۱۱/۵	۳/۰	۱/۴	۰/۴

*- مقادیر بر اساس درصد می‌باشد

FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

اندازه گیری pH و اسیدیته

دستگاه pH متر رومیزی (Crison, CLP 22, EEC) برای اندازه گیری pH نمونه‌های ساخته شده مورد استفاده قرار گرفت. اسیدیته نمونه‌ها با استفاده از تیتراسیون نمونه‌ها تا pH برابر با ۸/۱ در برابر سود (۰/۱ نرمال) اندازه‌گیری شده و اسیدیته نمونه‌ها بر اساس استیک اسید گزارش گردید (AOAC, 2005).

آزمون پایداری

امولسیون‌ها پس از یک ماه نگهداری در دمای اتاق، برای مشاهده پدیده‌های مرتبط با ناپایداری امولسیون، مانند دوفاز شدن مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور ۱۵ گرم از هر نمونه به داخل لوله آزمایش (قطر داخلی ۱۵ میلی‌متر، ارتفاع ۱۲۳ میلی‌متر) ریخته شد و سپس در شتاب $1460 \times g$ به مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از سانتریفیوژ آزمایشگاهی (Sigma, USA) سانتریفیوژ شدند. شاخص جدا شدن چربی^۱ (CI) با استفاده از رابطه زیر محاسبه و گزارش شد (Hasenhuettl, 2008).

$$CI = (HS/HE) \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه بالا CI شاخص جدا شدن فاز چربی، HS و HE به ترتیب ارتفاع فاز چربی جدا شده و امولسیون مورد آزمایش هستند

ویژگی‌های بافتی

از روش (Karaman *et al.*, 2011) برای مشخص کردن ویژگی‌های بافتی مانند ضریب قوام، اندیس جریان و ویسکوزیته ظاهری در سرعت برش مشخص، استفاده شد. به طور خلاصه ۴ گرم از هر نمونه در ظرف مخصوص (استوانه متحد المرکز) دستگاه رئومتر (Brookfield, Model DV3THB, Germany) مجهز به سیستم کنترل کننده دما قرار گرفته و آزمون به سرعت انجام شد. اندازه گیری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و دامنه سرعت برش ۰ تا 1000 s^{-1} انجام شد. ویسکوزیته ظاهری در سرعت برش ثابت 50 s^{-1} اندازه گیری شد. داده‌های به دست آمده با استفاده از مدل قانون توان^۲ مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس آن ضریب قوام و اندیس جریان محاسبه شد.

$$\sigma = K \gamma^n \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه بالا (قانون توان) σ تنش برشی (Pa)، γ سرعت برش (s^{-1})، K ضریب قوام ($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-n}$) و n اندیس جریان (بدون بعد) است. اندازه گیری حلقه تیکسوتروپیک با افزایش خطی سرعت برش از ۰ به 200 s^{-1} ، نگهداری در 200 s^{-1} به مدت ۱۵۰ ثانیه و بازگشتن خطی به صفر، انجام شد. پسماند کل^۳ با

استفاده از روابط زیر اندازه گیری شد.

$$H_t = \sum_1^n H_i \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$H_i = S_{ave} \times (\dot{\gamma}_2 - \dot{\gamma}_1) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$S_{ave} = (\Delta S_1 + \Delta S_2)/2 \quad (\text{رابطه ۵})$$

در روابط بالا ΔS_1 و ΔS_2 اختلاف بین تنش برشی حین افزایش و کاهش سرعت برشی در سرعت‌های برش ثابت $\dot{\gamma}_1$ و $\dot{\gamma}_2$ ، H_i سطح پسماند بین $\dot{\gamma}_1$ و $\dot{\gamma}_2$ برابر با سطح کل پسماند است (Laca *et al.*, 2010).

در ارزیابی دینامیکی، از رئومتر آنتون-پار (MCR 301, Graz, Austria) با صفحات موازی با فاصله ۱ میلی‌متر، استفاده شد. در این ارتباط، آزمون روبش تنش در دامنه ۰/۱ تا ۱۰۰۰ پاسکال در حالیکه فرکانس در ۱ هرتز ثابت نگهداشته شده بود، به کار گرفته شد. آزمون روبش فرکانس نیز در حالتی که مقدار تنش برشی در ۱۰ پاسکال (در دامنه ویسکوالاستیک خطی که در آزمون روبش تنش به دست آمد) ثابت نگهداشته شده بود در دامنه ۰/۱ تا ۱۰ هرتز مورد استفاده قرار گرفت. آزمون در دمای اتاق انجام شد.

بررسی‌های میکروسکوپی

مایونز ابتدا به نسبت ۱ به ۵ رقیق شده و سپس با میکروسکوپ نوری (Carl Zeiss Microscope Axio Imager.A2, Germany) مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه قطرات چربی با ارزیابی تصاویر به دست آمده و با استفاده از نرم افزار image J تعیین شد (Zaouadi *et al.*, 2014).

ویژگی‌های ظاهری

ویژگی‌های ظاهری نمونه‌های تولیدی با استفاده از دستگاه رنگ سنج (Konica Minolta, CR-400, Japan)، مورد ارزیابی قرار گرفت. ویژگی‌های رنگی بر اساس شاخص‌های سفیدی (L)، قرمزی-سبزی (a) و آبی-زردی (b) گزارش شدند.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌ها پس از یک روز نگهداری در دمای اتاق صورت گرفت. نمونه‌ها از نظر ظاهر، رنگ، بو، بافت، مزه و پذیرش کلی توسط ۱۲ نفر ارزیاب از پیش آموزش داده شده با استفاده از آزمون هدونیک ۹ نقطه‌ای (۹= بالاترین امتیاز، ۱= پایین‌ترین پذیرش) انجام شد. برای از بین بردن طعم نمونه هنگام انجام ارزیابی حسی، از نان استفاده شد (Worrasinchai *et al.*, 2006).

ارزیابی آماری

همه آزمون‌ها دست کم در سه تکرار انجام شدند. تجزیه

1. Creaming index
2. Power law model
3. Total hysteresis

نمونه‌ها اختلاف معنی داری دیده نمی‌شود. برخی از پژوهشگران استدلال کرده‌اند که به واسطه وجود آب زیادتر و در نتیجه رقیق شدن اسید، میزان pH نمونه‌های کم چرب بیشتر است (Hathcox *et al.*, 1995). با این وجود این استدلال در مورد نمونه‌های تولید شده در این پژوهش موضوعیت نداشت زیرا مقدار pH اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های کم چرب نسبت به نمونه‌های پرچرب کمتر بود. این را می‌توان به حلالیت جزئی اسید استیک در روغن نسبت داد بطوریکه در نمونه‌های پرچرب مقداری از اسید در روغن حل شده و به این ترتیب از غلظت اسید در فاز آبی کاسته می‌شود از سوی دیگر از حذف اثر بافری پروتئین‌ها در نمونه‌های کم چرب نیز نمیتوان چشم‌پوشی کرد زیرا مقداری از H^+ را در pH های کمتر از نقطه ایزوالکتریک می‌تواند جذب پروتئین شود. این اثر در مواردی که میزان چربی در فرمولاسیون بالاتر از ۵۰٪ باشد کاملاً مشهود است (Xiong *et al.*, 2000). در ارتباط با اندازه‌گیری میزان اسیدیته قابل تیترا، اختلاف معنی داری بین فرمولاسیون های کم چرب و پرچرب وجود داشت، با این وجود در بین نمونه‌های کم چرب اختلافی در میزان اسیدیته به چشم نخورد. بالاتر بودن میزان اسیدیته در نمونه‌های پرچرب می‌تواند در نتیجه مهاجرت اسید از روغن به فاز آبی طی فرایند تیتراسیون باشد. از سوی دیگر با پیشرفت فرایند تیتراسیون و افزایش pH به مقادیر بالاتر از نقطه ایزوالکتریک، پروتئین‌ها با ازدست دادن پروتون (H^+) اثر بافری خود را نشان داده و در نتیجه اسید بیشتری اندازه‌گیری می‌شود.

واریانس یک طرفه^۱ در سطح معنی داری ۵٪ با استفاده از نرم افزار SPSS ۱۳ (SPSS Inc., Chicago, IL, USA, 2004) انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی و کالری‌زایی

آنالیز تقریبی شیمیایی و ارزش کالری‌زایی نمونه‌های کم چرب و نمونه تجاری پر چرب در جدول ۲ لیست شده است. مقدار کمتر چربی به معنی بالاتر بودن مقدار رطوبت نمونه‌های کم چرب است. اختلاف معنی داری در مقدار خاکستر نمونه‌های کم چرب و نمونه پرچرب دیده می‌شود. به علت عدم استفاده از زرده تخم مرغ، میزان پروتئین نمونه‌های کم چرب کمتر است در حالیکه به واسطه استفاده از نشاسته و صمغ فارسی میزان کربوهیدرات آنها بالاتر از نمونه پر چرب بود. به واسطه کاهش میزان چربی، کالری زایی نمونه‌های کم چرب به شکل معنی داری کمتر از نمونه‌های پرچرب بود (جدول ۲).

pH و اسیدیته

مقدار pH و اسیدیته نمونه‌های کم چرب و پرچرب پس از ۱ روز نگهداری در دمای ۲۵ درجه در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که در جدول دیده می‌شود، در مقدار pH و اسیدیته

1 - One way ANOVA

جدول ۲. ترکیب شیمیایی و کالری‌زایی نمونه‌های مایونز

نام ترکیب	رطوبت (%)	چربی (%)	کربوهیدرات (%)	پروتئین (%)	خاکستر (%)	کالری زایی
FF	۲۴/۵۲±۰/۰۸ ^{ab}	۶۸/۰۰±۰/۰۵ ^a	۵/۳ ^b	۱/۲۴±۰/۰۲۳ ^a	۰/۸۳±۰/۰۱۷ ^b	۶۳۹/۲±۰/۱۸ ^a
LF1	۳۹/۲۵±۰/۰۹ ^a	۵۰/۱۶±۰/۱۱ ^b	۸/۹۷ ^a	۰/۶۴±۰/۰۰۸ ^b	۰/۹۹±۰/۰۱۳ ^a	۴۸۹/۸±۱/۰۲ ^b
LF2	۳۹/۲۳±۰/۰۹ ^a	۵۰/۲۶±۰/۰۴ ^b	۸/۸۸ ^a	۰/۶۴±۰/۰۰۹ ^b	۰/۹۹±۰/۰۰۷ ^a	۴۹۰/۵±۰/۴۰ ^b
LF3	۳۹/۱۲±۰/۱۳ ^a	۵۰/۱۸±۰/۰۴ ^b	۹/۰۸ ^a	۰/۶۴±۰/۰۱۲ ^b	۰/۹۹±۰/۰۰۶ ^a	۴۹۰/۵±۰/۴۲ ^b
LF4	۳۹/۱۹±۰/۱۰ ^a	۵۰/۱۷±۰/۰۱ ^b	۹/۰۳ ^a	۰/۶۴±۰/۰۰۸ ^b	۰/۹۹±۰/۰۰۳ ^a	۴۹۰/۲±۰/۸۹ ^b
LF5	۳۹/۲۷±۰/۰۸ ^a	۵۰/۱۵±۰/۰۴ ^b	۸/۹۹ ^a	۰/۶۴±۰/۰۰۸ ^b	۰/۹۹±۰/۰۰۶ ^a	۴۸۹/۹±۰/۴۲ ^b

*- در داخل هر ستون حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ است

FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

جدول ۳. نتایج مربوط به pH، اسیدیته قابل تیترا و پایداری فازی نمونه‌های

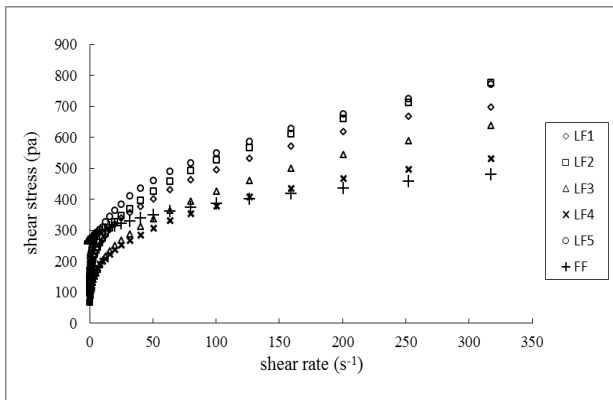
مایونز تولیدی

نام ترکیب	pH	Acidity	Stability
FF	۳/۵۴ ^{ab}	۰/۷۴ ^a	۹۵ ^b
LF1	۳/۳۴ ^b	۰/۶۳ ^b	۱۰۰ ^a
LF2	۳/۴۱ ^b	۰/۶۱ ^b	۱۰۰ ^a
LF3	۳/۳۶ ^b	۰/۶۰ ^b	۱۰۰ ^a
LF4	۳/۳۸ ^b	۰/۶۳ ^b	۱۰۰ ^a
LF5	۳/۳۷ ^b	۰/۶۱ ^b	۱۰۰ ^a

*- در داخل هر ستون حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ است

FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

معادل سرعت برش جویدن در دهان است، نشان داد که ویسکوزیته آنها به شکل معنی داری متفاوت از یکدیگر است. برای ارزیابی رابطه بین تنش و سرعت برش مدل قانون توان مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میزان انطباق رفتار نمونه‌ها با مدل به طرز معنی داری ($R^2 \geq 0.99$) بالاست.



شکل ۱. نمودار جریان (تنش برشی در برابر سرعت برش) نمونه‌های مایونز FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

مقدار اندیس جریان برای همه نمونه‌ها در دامنه 0.07 تا 0.3 قرار داشت که نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش برای همه آنهاست. در غلظت ثابت از نشاسته، ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش غلظت صمغ فارسی افزایش یافت (جدول ۴). در مقابل در غلظت ثابت صمغ، میزان ویسکوزیته نمونه‌ها در غلظت‌های افزایش یافته نشاسته نیز بالاتر بود. گزارش شده که ویسکوزیته امولسیون‌های روغن در آب پایدار شده با مخلوطی از زانتان و گوار، با افزایش میزان هیدروکلوئید به شکل قابل انتظاری افزایش می‌یابد (Lorenzo et al., 2008). نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که میزان ویسکوزیته نمونه‌های کم چرب در شرایطی که غلظت صمغ فارسی و نشاسته به ترتیب برابر با $3/6$ و 1 ٪ باشد در بیشینه میزان خود است. ضریب قوام محاسبه شده برای همه نمونه‌ها در دامنه $10.5/7$ تا 270 ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) قرار داشت. از این نظر اختلاف بین نمونه‌ها معنی دار بود. افزایش تدریجی، حفظ و کاهش تدریجی سرعت برش برای به دست آوردن حلقه پسماند تیکسوتروپیک نمونه‌های فرموله شده مورد استفاده قرار گرفت. اندازه سطح مورد نظر برای تعیین مقدار وابستگی ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها به زمان (تیکسوتروپ بودن) مورد استفاده قرار گرفت. تخریب پیش رونده بافت نمونه در زمان اعمال تنش برشی نشان دهنده تیکسوتروپ بودن نمونه تحت آزمایش

جلوگیری از وقوع چنین پدیده‌ای، عوامل قوام دهنده^۱ مانند صمغ‌ها و پروتئین‌ها به فرمولاسیون اضافه می‌شوند (Mun et al., 2009). به واسطه بالاتر بودن میزان ویسکوزیته فاز آبی، نمونه‌های کم چرب پایداری بالایی از خود نشان دادند. دلیل عمده افزایش ویسکوزیته وجود نشاسته اصلاح شده در فاز آبی بود که تحرک قطرات چربی را مشابه با نمونه‌های پرچرب، به میزان بالایی کاهش داد (جدول ۳). به طور کلی گفته می‌شود که وجود پلیمرهای جذب نشده (در مرز آب و چربی در امولسیون) می‌تواند موجب فلوکوله شدن قطرات چربی شود، (Mun et al., 2009). با این حال این اثر در مورد مایونز مشاهده نشد. نمونه‌هایی که 100 ٪ دارای صمغ فارسی بودند، (LF3) طی مدت یک ماه نگهداری در دمای اتاق کاملاً پایدار بودند و هیچگونه نشانه‌ای از جدا شدن فازها از خود نشان ندادند. نمونه‌های ذکر شده کاملاً عاری از صمغ‌های گوار و زانتان بودند. از این نظر نمونه‌های کم چرب (به واسطه بالاتر بودن ویسکوزیته فاز آبی) هیچگونه اثری ناشی از جدایی فاز در نتیجه اعمال شتاب سانتریفوژی از خود نشان ندادند در حالی که در نمونه‌های پرچرب اثراتی از ناپایداری مشاهده شد. صمغ فارسی قابلیت تشکیل امولسیون و پایدار سازی آن را داراست و این ویژگی‌ها با افزایش غلظت صمغ، افزایش می‌یابد. هرچند قابلیت تشکیل امولسیون صمغ فارسی کمتر از صمغ عربی است ولی مقدار آن قابل توجه است. به طور متعارف قابلیت تشکیل امولسیون در صمغ‌ها، وابسته به فعالیت سطحی مولکول آن-هاست که توانایی کاهش کشش سطحی را دارند. حدس زده می‌شود این صمغ‌ها در ساختارشان دارای قسمت‌ها یا گروه‌های عاملی هیدروفوب کافی هستند که سبب تسهیل جذب ضعیف صمغ بر روی سطح فاز روغن می‌شوند (Khalesi et al., 2012).

ویژگی‌های بافتی

در دامنه سرعت برشی اعمال شده (0 تا 340 s^{-1}) همه نمونه‌ها دارای رفتار تیکسوتروپیک بودند. در امولسیون‌های غلیظ، سیستمی سه بعدی از قطرات به هم نزدیک به واسطه تعامل‌های قطره-قطره ممکن است تشکیل شود. اعمال نیرو در تنش‌های برشی بالا موجب تخریب این ساختارها و در نتیجه کاهش ویسکوزیته خواهد شد (McClement and Demetriades, 1998). همه نمونه‌ها دارای رفتار رقیق شونده با برش بودند و میزان اندیس جریان برای همه آنها کوچکتر از یک بود (شکل ۱). ارزیابی ویسکوزیته نمونه‌ها در سرعت برشی 50 s^{-1} که

است (Abu-Jdayil, 2003).

های قابل برگشت در حضور نشاسته باشد (Thaiudoma and Khantarat, 2011). میزان سطح پسماند هنگامی که صمغ فارسی در بیشینه مقدار مورد استفاده قرار گرفت به کمترین میزان خود رسید و نشان دهنده این موضع است که احتمالاً در غیاب صمغ‌های گوار و زانتان و افزایش میزان صمغ فارسی ساختارهای ژلی قابل تخریب و غیز قابل بازگشت به کمترین میزان خود می‌رسند.

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میزان سطح حلقه مورد نظر برای نمونه‌های پرچرب (FF) از نمونه‌های کم چرب (LF) بیشتر است. این نشان دهنده تخریب بیشتر نمونه‌های پرچرب و از سوی دیگر سخت تر شدن بازگشت بافت این گروه از نمونه‌ها به شرایط اولیه خود نسبت به نمونه‌های کم چرب است. دلیل این موضوع می‌تواند در نتیجه ایجاد میکروژل

جدول ۴. ضریب قوام، اندیس جریان، ویسکوزیته ظاهری و پسماند کل نمونه‌های تولیدی سس مایونز

نام نمونه	K (Pa.s ⁿ)	N	ویسکوزیته (Pa.s) ⁿ *	پسماند کل (Pa)	R ²
FF	۲۷۰/۰۰	۰/۰۷	۱۱۰/۲±۰/۶۱ ^{a***}	۲۱۹۲	۰/۹۹۵۱
LF1	۲۰۱/۵۲	۰/۱۲	۱۰/۲۶±۰/۴۵ ^b	۱۰۴۰	۰/۹۹۰۴
LF2	۱۶۸/۸۲	۰/۲۲	۷/۹۰±۰/۲۴ ^d	۹۶۷	۰/۹۸۰۹
LF3	۱۰۵/۷۰	۰/۳۰	۳/۹۰±۰/۲۳ ^f	۵۵۲	۰/۹۹۲۰
LF4	۱۳۵/۹۶	۰/۲۲	۶/۲۰±۰/۱۹ ^e	۹۷۴	۰/۹۹۵۶
LF5	۱۶۹/۵۴	۰/۲۶	۹/۰۷±۰/۲۹ ^c	۱۴۱۷	۰/۹۹۸۰

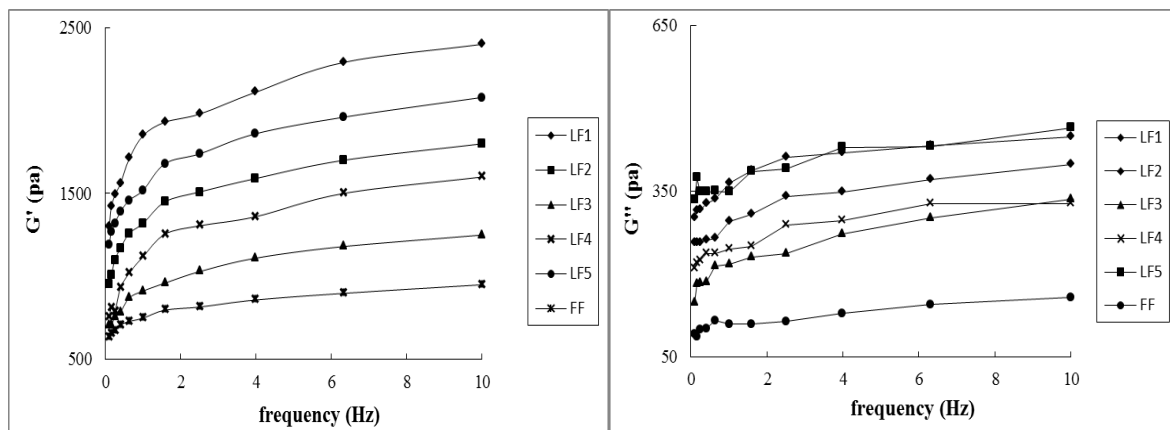
*- ویسکوزیته در سرعت برشی $50 s^{-1}$ اندازه‌گیری شده است

** - در داخل هر ستون حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ است

FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌های کم چرب محتوی مقادیر متفاوتی از صمغ و نشاسته با استفاده از روش‌های نوسانی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن بر اساس مدول‌های ذخیره (G') و مدول اتلاف یا (G'') نمایش داده شد (شکل ۲). نتایج نشان دهنده بالاتر بودن مقدار مدول ذخیره نمونه‌های کم چرب تولیدی در دامنه فرکانسی مورد بررسی است. بنابراین می‌توان گفت که نمونه‌های تولیدی دارای ساختار ژل مانند ضعیفی می‌باشند که ویژگی بافتی غالب سس‌های سالاد است. وجود این ساختار زل مانند در دامنه فرکانسی ۰/۱ تا ۱۰ هرتز نیز پیش از این مشاهده شده است (Mancini et al., 2002; Liu et al., 2007). در سال ۱۹۹۵ گزارش شد که مقدار مدول ذخیره در امولسیون‌های روغن در آب با محتوی روغن بالاتر بیشتر است (Ma and Barboza, 1995). در مطالعه حاضر حتی با داشتن مقدار کمتر روغن، نمونه‌های کم چرب محتوی صمغ فارسی و نشاسته اصلاح شده دارای مدول ذخیره بالاتری بودند که نشان دهنده رفتار الاستیک‌تر آنها است. دلیل این رفتار می‌تواند به تاثیر نشاسته در تشکیل ژل و تاثیر صمغی مانند زانتان در شکل‌گیری تجمعات بزرگ و در نتیجه شکل‌گیری ساختار ویسکوالاستیک نسبت داد (Worrasinchai et al., 2006; Mancini et al., 2002; Liu et al., 2007).

ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌های کم چرب محتوی مقادیر متفاوتی از نشاسته اصلاح شده و صمغ فارسی با آزمون‌های نوسانی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج در قالب مدول‌های ذخیره (G') و افت (G'') نشان داده شد. میزان مدول‌های مذکور در برابر تغییرات فرکانس در شکل ۳ نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان دهنده بالاتر بودن میزان مدول ذخیره نسبت به مدول افت در دامنه فرکانسی مورد استفاده در نمونه‌های کم چرب است. پس می‌توان پیشنهاد کرد که نمونه‌های کم چرب رفتاری مشابه ژل‌های ضعیف - که رفتار شاخص امولسیون‌ها و سس‌های سالاد است - دارند. به علاوه برخی پژوهشگران گزارش کرده‌اند که امولسیون‌های با میزان چربی بالا همواره مدول ذخیره بالاتری دارند (Mancini et al., 2002; Liu et al., 2007). در مطالعه حاضر حتی در مقادیر پایین چربی، نمونه‌های کم چرب حاوی نشاسته و صمغ فارسی دارای مدول ذخیره بالاتری بودند. دلیل این امر وجود نشاسته است که موجب استحکام ساختار ژلی نمونه‌های مایونز می‌شود. نتایج نشان داد که ترکیب صمغ‌های گوار و زانتان نسبت به صمغ فارسی تاثیر بیشتری در استحکام بخشیدن به ساختار ژلی مایونز دارد، در این ارتباط، نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران به دست آمد (Worrasinchai et al., 2006; Mancini et al., 2002; Liu et al., 2007).



شکل ۲. تغییرات در مدول های ذخیره و اتلاف نمونه های تولیدی (ترکیب شیمیایی نمونه ها مطابق با جدول ۱ است)

FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

شکل گیری ظاهری روشن تر می شود. دلیل این امر افزایش پراکنش نور در نتیجه شکسته شدن آن در تعداد زیادی از ذرات است (McClement and Demetriades, 1998). نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که میزان روشنی نمونه ها (L- value) به اندازه ذرات و غلظت نشاسته و صمغ فارسی در نمونه های مایونز، وابسته است. کمترین میزان روشنی برای نمونه ای با کمترین میزان نشاسته (۰/۵٪) و بزرگترین اندازه ذره (۱۶/۳۷ μm) یعنی نمونه LF4، به دست آمد (جدول ۵). با کاهش غلظت صمغ فارسی از ۴ به ۳/۶٪ میزان شاخص روشنی افزایش یافته و از ۶۹/۳۶ به ۷۳/۷۷ رسید. از سوی دیگر با افزایش غلظت نشاسته از ۰/۵ به ۱/۵٪ میزان شاخص از ۶۳/۶۳ به ۷۵/۰۳ افزایش یافت، که می توان آن را مربوط به کوچکتر شدن اندازه ذرات چربی دانست (McClement and Demetridas, 1998) (جدول ۵). (Thaiudoma and Khantarat, 2011) نشان دادند که میزان L در نمونه های کم چرب به واسطه اضافه کردن نشاسته (OSA) همواره بیشتر از انواع پرچرب است.

اثر صمغ فارسی بر روی شاخص قرمزی (a-value) کاملاً واضح بود و قرمزی نمونه ها با افزایش غلظت صمغ بیشتر شد. هرچند که اختلاف معنی داری بین نمونه های تهیه شده با غلظت های ۳/۶ و ۳/۸ مشاهده نشد. نتایج مشابهی در مورد اثر غلظت صمغ فارسی بر روی شاخص زردی (b-value) مشاهده شد. نتایج به دست آمده نشان دهنده اثر مثبت و مستقیم غلظت نشاسته بر روی شاخص قرمزی در نمونه های کم چرب بود. میزان شاخص زردی نمونه پرچرب از تمام نمونه های کم چرب، کمتر بود.

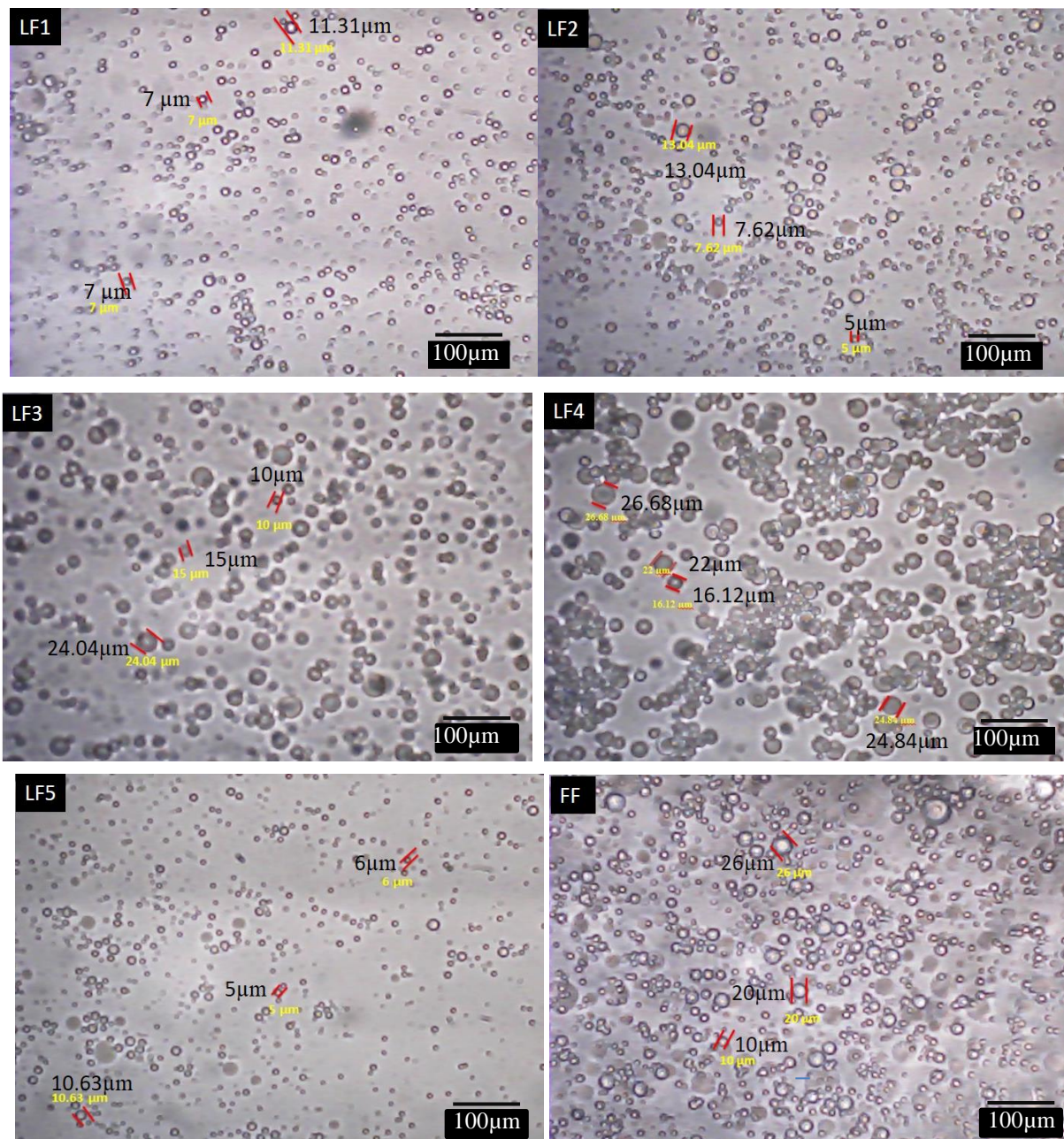
ارزیابی های میکروسکوپی

میکروسکوپ نوری برای تعیین اندازه ذرات و ریز ساختار نمونه های ساخته شده مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳). همه نمونه ها شامل قطرات چربی توزیع شده در یک محیط آبی بودند. ریز ساختار مایونز می تواند تحت تاثیر عوامل زیادی از جمله نوع و غلظت امولسیفایر و عوامل پایدار کننده و نیز غلظت و ویسکوزیته فاز روغنی تغییر کند. به علاوه شرایط عملیاتی نظیر روش و شدت هموژنیزاسیون نیز مهم است (Mun et al., 2009). همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است نمونه های پرچرب حاوی قطراتی با بزرگترین اندازه هستند. در این نمونه ذرات می توانند به آسانی تخریب شده و پدیده الحاق رخ دهد زیرا چربی موجود در این نمونه به میزان بحرانی (۰/۸) نسبت چربی به کل امولسیون نزدیک است (Thaiudoma and Khantarat, 2011).

وجود قطره هایی با کوچکترین اندازه می تواند توضیح دهنده پایداری بالای نمونه های کم چرب باشد. بسته به غلظت نشاسته و صمغ فارسی اختلاف زیادی در بین اندازه قطرات روغن در نمونه های کم چرب مشاهده شد. افزایش میزان صمغ فارسی موجب شکل گیری امولسیون با اندازه قطرات درشت تر شد. گزارش شده که در نسبت های بالای فاز روغنی (۰/۷۷۵wt) - (۰/۶۵)، اندازه قطرات روغن افزایش می یابد (Moros et al., 2002). و اینکه اندازه قطره روغن در نمونه های پرچرب نسبت به نمونه کم چرب بزرگتر است (Worrasinchai et al., 2006).

رنگ

ظاهر مایونز عمدتاً با میزان سفیدی (روشنی) آن سنجیده می شود. گزارش شده که کاهش اندازه ذرات در مایونز موجب



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از اندازه قطره‌های چربی در نمونه‌های کم چرب (LF) و تجاری (FF) مایونز با بزرگنمایی $\times 40$. FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

جدول ۵. پارامترهای رنگی سفیدی (L)، قرمزی - سبزی (a)، زردی - آبی (b) و شاخص اختلاف رنگ نمونه‌های مایونز

نام نمونه	L	A	B	ΔE
LF1	$73/77 \pm 1/2^{ab*}$	$4/66 \pm 0/53^c$	$4/67 \pm 1/01^{bcd}$	$7/86 \pm 1/41^b$
LF2	$70/92 \pm 0/73^b$	$5/03 \pm 0/68^c$	$5/24 \pm 0/98^c$	$9/02 \pm 1/21^b$
LF3	$69/36 \pm 1/65^c$	$6/65 \pm 0/52^a$	$9/40 \pm 0/49^a$	$8/88 \pm 2/78^b$
LF4	$63/63 \pm 0/95^d$	$6/28 \pm 0/52^{ab}$	$7/52 \pm 2/50^{ab}$	$13/88 \pm 3/03^a$
LF5	$75/03 \pm 2/86^a$	$5/30 \pm 0/88^{bc}$	$1/62 \pm 1/08^d$	$10/10 \pm 1/12^{ab}$
FF	$75/97 \pm 3/03^a$	$0/89 \pm 0/59^d$	$10/48 \pm 0/66^a$	-

*- در داخل هر ستون حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ است

FF: نمونه پرچرب شاهد، LF1: نمونه کم چرب شماره ۱، LF2: نمونه کم چرب شماره ۲، LF3: نمونه کم چرب شماره ۳، LF4: نمونه کم چرب شماره ۴، LF5: نمونه کم چرب شماره ۵

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از ارزیابی پذیرش کلی نمونه‌ها نشان می‌دهد که در بین نمونه‌های کم کالری نمونه یک به‌علت بیشتر بودن میزان مخلوط دو صمغ زانتان و گوار امتیاز پذیرش کمتری کسب کرده است در حالی که در بین دیگر نمونه‌ها با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. داده‌های حاصل از ارزیابی بافت نمونه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش میزان نشاسته و مخلوط دو صمغ زانتان و گوار امتیاز مربوط به بافت کاهش پیدا می‌کند. در نمونه سه که روغن به طور کامل با صمغ فارسی جایگزین شده است بافت مطلوب ارزیابی شده است و با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشته است. بیشترین امتیاز بافت مربوط به دو نمونه دو بوده است که میزان نشاسته در آنها یک درصد و میزان صمغ فارسی ۹۵٪ از میزان کل صمغ مصرفی بوده است. داده‌های حاصل از طعم و رنگ نشان می‌دهد که کاهش میزان نشاسته به حد نیم درصد از شدت طعم کاسته است به طوری که نمونه چهار با دیگر نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار داشته است، نتایج حاصل از رنگ نمونه‌ها نشان می‌دهد با افزایش میزان صمغ فارسی کاهش اندک امتیاز برابر با ۱/۱ مربوط به رنگ و با افزایش نشاسته افزایش اندک امتیاز برابر با ۰/۱ اتفاق افتاده است.

نتیجه‌گیری کلی

ارزش کالری‌زایی نمونه‌های کم چرب به واسطه کاهش میزان چربی و جایگزینی آن با آب به میزان زیادی کاهش یافت. ویژگی‌های بافتی نمونه‌های کم چرب بطور کلی مشابه با نمونه‌های پرچرب تجاری بود. با این حال نمونه‌های کم چرب دارای پایداری بالاتری بودند که این پایداری به حضور نشاسته اصلاح شده در این گروه نسبت داده شد. رنگ نمونه‌های کم چرب متفاوت از نمونه پرچرب بود و غلظت نشاسته و صمغ و نیز اندازه ذرات رنگ را تحت تاثیر قرار دادند. ارزیابی حسی نمونه‌های کم چرب همانند نمونه پرچرب بود. نتایج نشان داد که نشاسته و صمغ فارسی را می‌توان به ترتیب به عنوان جایگزین برای زرده تخم مرغ و صمغ های رایج تجاری (زانتان و گوار) در نظر گرفت. به علاوه این تحقیق اثبات می‌کند که می‌توان از نشاسته و صمغ فارسی برای توسعه محصولات مشابه با چربی کاهش یافته و فاقد کلسترول استفاده کرد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام شده است. نگارندگان از شرکت تهران ترگل، نماینده شرکت اینگریدیون در ایران برای تهیه برخی مواد مورد استفاده در این پژوهش تقدیر می‌کنند.

REFERENCES

- Abbasi, S., Mohammadi, S., and Rahimi, S. (2011). Partial substitution of gelatin with Persian gum and use of Olibanum in production of functional pastille. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 42(1), 121-131. (In Farsi)
- Alimi, M., Mizani, N., Naderi, Gh., and Shokoohi, Sh. (2013). Effect of Inulin Formulation on the Microstructure and Viscoelastic Properties of Low-Fat Mayonnaise Containing Modified Starch. *Journal of Applied Polymer Science* 130(2): 801-9
- AOAC International. Official methods of analysis of AOAC international. 18th ed. Horwitz W, editor. Maryland: AOAC International; 2005
- Abu-Jdayil, B. (2003). Modelling the time dependant rheological behaviour of semi-solid foodstuffs. *Journal of Food Engineering*. 57, 97-1026.
- Cornelia, M., Titri, S., and Retna, P. (2015). The Utilization of Extract Durian (*Durio Zibethinus L.*) Seed Gum as an Emulsifier in Vegan Mayonnaise. *Procedia Food Science* 3: 1-18
- Diftis, N. G., Biliaderis, C. G., and Kiosseoglou, V. D. (2005). Rheological properties and stability of model salad dressing emulsions prepared with a dry-heated soybean protein isolate-dextran mixture. *Food Hydrocolloids*. 19(6), 1035-1031.
- Franco, J. M., Partal, P., Ruiz-M rquez, D., Conde, B., and Gallegos, C. (2000). Influence of pH and protein thermal treatment on the rheology of pea protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 77(9), 975-984.
- Franco, J. M., Raymundo, A., Sousa, I., and Gallegos, C. (1998). Influence of processing variables on the rheological and textural properties of lupin protein-stabilized emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(8), 3109-3115.
- Ghoush, M. A., Samhour, M., Al-Holy, M., and Herald, T. (2008). Formulation and fuzzy modeling of emulsion stability and viscosity of a gum-protein emulsifier in a model mayonnaise system. *International Journal of Food Engineering*, 84(2), 348-357.
- Hasenhuettl, G.L. (2008). In Food Emulsifiers and their Applications. In G.L. Hasenhuettl and R.W. Hartel (Eds). *Overview of Food Emulsifiers*, (PP 1-7). New York: Chapman and Hall.
- Hathcox, A. K., Beuchat, L. R., and Doyle, M. P. (1995). Death of enterohemorrhagic *Escherichia coli O157:H7* in real mayonnaise and reduced-calorie mayonnaise dressing as influenced by initial population and storage temperature. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 61(12), 4172-4177.
- Jafari, S. M., Beheshti, P., and Assadpour, E. (2013). Emulsification properties of a novel hydrocolloid (*Angum gum*) for d-limonene droplets compared

- with Arabic gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 182–188.
- Jamshidian, M., Savary, G., Grisel, M., and Picard, C. (2014). Stretching properties of xanthan and hydroxypropyl guar in aqueous solutions and in cosmetic emulsions. *Carbohydrate Polymers*, 112, 334–341.
- Karaman, S., Yilmaz, M. T., Kayacier, A. (2011). Simplex lattice mixture design approach on the rheological behavior of glucomannan based salep-honey drink mixtures: an optimization study based on the sensory properties. *Food Hydrocolloids*, 25, 1319-1326.
- Khalesi, H., Alizadeh, M., and Zadbari, M. R. (2012). Physicochemical and functional properties of zedo gum (*amygdala scopariaspach*) from Fars state. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8(3), 317-326.(in farsi)
- Laca, A., Saanz, M.C., Parades, B., Diaz, M. (2010). Rheological properties, stability and sensory evaluation of low cholesterol mayonnaise prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *Journal of Food Engineering*, 97 (2), 243-252.
- Lee, I., Lee, S., Lee, N., and Ko, S. (2013). Reduced-fat mayonnaise formulated with gelatinized rice starch and xanthan gum. *Cereal Chemistry*, 90(1), 29-34
- Liu, H., Xu, X. M., Guo, Sh. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *Journal of LWT- Food Science and Technology*, 40(6), 946-954.
- Lorenzo, G., Zaritzky, N., Califano, A. (2008). Modeling rheological properties of low-in-fat o/w emulsions stabilized with xanthan/guar mixtures. *Journal of Food Research International* 41(5), 487–494.
- Ma, L., Barbosa-Cánovas, G. V. (1995). Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *Journal of Food Engineering*, 25, 409-425.
- Mancini, F., Montanari, L., Peressini, D., Fantozzi, P. (2002). Influence of Alginate Concentration and Molecular Weight on Functional Properties of Mayonnaise. *Journal of LWT- Food Science and Technology*, 35, 517–525.
- McClements, D. J., and Demetriades, K. (1998). An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 511–536.
- Mistry, V. V., Hassan, H. N. (1992). Manufacture of nonfat yogurt from a high milk protein powder. *Journal of Dairy Science*, 75, 947–957.
- Moros, J. E., Franco, J. M., Gallegos, C. (2002). Rheological properties of cholesterol-reduced, yolk-stabilized mayonnaise. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(8), 837–843.
- Mun, S., Kim, Y. L., Kang, C. G., Park, K. H., Shim, J. Y., Kim, Y. R. (2009). Development of reduced-fat mayonnaise using 4 α GTase-modified rice starch and xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 44(5), 400–407.
- Nilsson, L., Leeman, M., Wahlund, K. G., Bergenståhl, B. (2006). Mechanical degradation and changes in conformation of hydrophobically modified starch. *Biomacromolecules*, 7(9), 2671-2679.
- Ortega-Ojeda, F. E., Larsson, H., Eliasson, A. C. (2005). Gel formation in mixtures of hydrophobically modified potato and high amylopectin potato starch. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 59(3), 313–327.
- Paraskevopoulou, A., Kiosseoglou, V., Pegiadou, S. (1997). Interfacial behavior of egg yolk with reduced cholesterol content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45 (10), 3717–3722.
- Paraskevopoulou, A., Kiosseoglou, V., Alevisopoulos, S., Kasapis, S. (1999). Influence of reduced-cholesterol yolk on the viscoelastic behaviour of concentrated O/W emulsions. *Journal of Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 12(3), 107–111.
- Puppo, M. C., Sorgentini, D. A., Anon, M. C. (2000). Rheological study of dispersions prepared with modified soybean protein isolates. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(1), 63–71.
- Seyfoddin, H., Koocheki, A., Razavi, S., and Milani, E. (2017). Time-dependent behavior of low fat mayonnaise prepared with lepidium perfoliatum seed gum and whey protein concentrate. *Food Science and Technology*, 13(59), 97-107. (In Farsi)
- Tesch, S., Gerhards, C. Schubert, H. (2002). Stabilization of emulsions by OSA starches. *Journal of Food Engineering*, 54, 167-174.
- Shen, Ruiling, Shuangqun Luo, and Jilin Dong. 2011. Application of Oat Dextrin for Fat Substitute in Mayonnaise. *Food Chemistry* 126(1): 65–71
- Thaiudom, Siwatt, and Kallaya Khantarat. (2011). Stability and Rheological Properties of Fat-Reduced Mayonnaises by Using Sodium Octenyl Succinate Starch as Fat Replacer. *Procedia Food Science* 1: 315–21
- Worrasinchai, S., Supphantharika, M., Pinjai, S., Jamnong, P. (2006). β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*. 20(1), 68–78.
- Xiong, R., Xie, G., Edmondson, A. S. (2000). Modelling the pH of mayonnaise by the ratio of egg to vinegar. *Food Control*. 11, 49–56.
- Zauouadi, N., Cheknane, B., Hadj-Sadok, A., Canselier, J. P., Hadj Ziane, A. (2014). Formulation and Optimization by Experimental Design of Low-Fat Mayonnaise Based on Soy Lecithin and Whey. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 36(1), 94–102.