

## تولید مایونز با چربی کاهش یافته با استفاده از کمپلکس‌های الکترواستاتیکی و کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی

عبدالخالق گل کار، علی نصیرپور، جواد کرامت

1- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

2- نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، پست الکترونیکی: ali.nasirpour@cc.iut.ac.ir

3- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: 93/12/20

تاریخ پذیرش: 94/4/16

### چکیده

**سابقه و هدف:** دستکاری برهمکنش‌های پروتئین و پلی‌ساکارید فرصتی را برای کنترل پایداری و بافت در امولسیون‌های غذایی فراهم می‌آورد. پروتئین‌ها به واسطه قابلیت جذب سریع در فضای بین سطحی روغن و آب و پلی‌ساکاریدها با دافعه استریک و افزایش ویسکوزیته، پایداری امولسیون غذایی را امکان‌پذیر می‌نمایند. هدف این پژوهش تولید مایونز با چربی کاهش یافته با استفاده از کمپلکس‌های الکترواستاتیکی و کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی و نیز حذف کلاسترول و کاهش مصرف پایدارکننده‌های دیگر است.

**مواد و روش‌ها:** در ابتدا کمپلکس‌های الکترواستاتیکی و کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی با استفاده از تیمار حرارتی در حالت محلول و خشک تهیه شد. سپس، صمغ فارسی تنها و تمامی کمپلکس‌ها در مایونز با نسبت 1 درصد وزنی استفاده شدند. نمونه‌ها از نظر توزیع اندازه ذرات، ویسکوزیته ظاهری، سفتی یا استحکام، آزمون رنگ و تصویر میکروسکوپی با مایونز بازار (شاهد) مقایسه شدند.

**یافته‌ها:** مقایسه میانگین اندازه ذرات مایونزها نشان داد که کمپلکس حاصل از بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی با نسبت 1:1 طی یک هفته حرارت دادن خشک در دمای 60°C و رطوبت نسبی 75% (D1/11) کوچکترین ذرات چربی را داراست. میانگین اندازه ذرات نمونه‌های مایونز تولید شده با صمغ فارسی تنها (FG) و کمپلکس بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی حاصل از حرارت دادن مرطوب با نسبت 2:1 و pH=6/69 (W/1:2/6.69) مشابه با مایونز بازار بود. مایونز حاصل از FG، تصویر میکروسکوپی غیر یکنواخت داشت. از نظر ویسکوزیته مایونز بازار بالاترین ویسکوزیته و صمغ فارسی در رتبه بعدی قرار گرفت. آزمون سفتی بافت نیز روندی مشابه ویسکوزیته ظاهری از خود نشان داد ( $P<0/05$ ). مایونز بازار با بالاترین عامل زردی از اختلاف معنی‌دار نسبت به بقیه برخوردار بود که ناشی از وجود تخم‌مرغ است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج، کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی پتانسیل استفاده در فرمولاسیون سس مایونز و سالاد (به‌عنوان عامل امولسیفایری و پایدارکننده) را دارد.

**واژگان کلیدی:** بتالاکتوگلوبولین، صمغ فارسی، مایونز با چربی کاهش یافته، الکترواستاتیکی، کووالانسی

### • مقدمه

می‌توانند به‌عنوان یک ترکیب غذایی جدید شناخته شوند (2)،  
(1).

کاربرد کمپلکس‌های الکترواستاتیکی به دلیل طبیعت برهمکنش بین بیوپلیمرها که به pH و قدرت یونی حساسند، با محدودیت‌هایی همراه است. پیوند کووالانسی به روش تیمار حرارتی خشک، از جمله پیوندهای غیر کووالانسی بوده که بین

پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها دو گروه از بیوپلیمرهایی هستند که متخصصین صنعت غذا جهت کنترل ساختار، بافت و پایداری از آنها استفاده می‌کنند. دستکاری برهمکنش‌های پروتئین و پلی‌ساکارید فرصتی را برای کنترل پایداری و بافت در سیستم‌های غذایی فراهم می‌آورد. کمپلکس‌های پروتئین و پلی‌ساکارید به خاطر داشتن ویژگی‌های عملکردی خاص،

می شود زیرا قادر به تشکیل امولسیون و نیز فلوکولاسیون ذرات چربی امولسیون به منظور دستیابی به بافت مناسب است (7). در حقیقت، امولسیفایر نقش مهمی در کاهش کشش بین سطحی آب و روغن دارد. به طور معمول، از زرده تخم مرغ به عنوان امولسیفایر استفاده می شود اما امولسیفایرهای بدون کلسترول یا کم کلسترول همچون، پروتئین های سویا و شیر نیز استفاده شده است (8). طبق استاندارد ملی ایران، میزان چربی در مایونز معمولی کمینه 65% وزنی، مایونز با چربی کاهش یافته بین 40 تا 55% وزنی و مایونز بدون چربی بیشینه 3/5% وزنی است (9).

صمغ فارسی، صمغ ترشگی شفاف است که از درخت *Amygdalus Scoparia spach* (گونه ای بادام کوهی) به دست می آید. این صمغ را صمغ زرد (Zedo gum) یا صمغ شیرازی (Shirazi gum) یا صمغ آنگوم (Angum gum) نیز می نامند. صمغ فارسی به عنوان یک ماده عملکردی برای کاربردهای تغذیه ای و دارویی همچون: محرک اشتها، خردکننده سنگ مثانه و ... کاربرد دارد. استاندارد صمغ زرد 442 ISIRI توسط مؤسسه استاندارد ایران منتشر شده است. در سال های اخیر پژوهش های متعددی در زمینه ویژگی های فیزیکی شیمیایی و خصوصیات امولسیون صمغ فارسی (14-10) و کاربرد این صمغ در تولید پاستیل فراسودمند، دوغ، بستنی و استفاده ترکیبی از صمغ فارسی و زانتان بر خواص رئولوژیکی سس مایونز انجام شده است (18-15).

بتالاکتوگلوبولین از لحاظ مقداری 58% وزنی پروتئین آب پنیر را تشکیل می دهد و برای اولین بار در سال 1934 کشف شد. این پروتئین دارای ساختار کروی است که به دلیل تشکیل شبکه سه بعدی ژل، ایجاد کف، جذب آب و امولسیون کنندگی در فرمولاسیون های غذایی قابل استفاده است (19).

در مطالعات اولیه این تحقیق، بهبود ویژگی های امولسیون کنندگی کمپلکس های الکترواستاتیکی و کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی در سیستم مدل امولسیون نسبت به صمغ فارسی تنها تأیید شد. از این رو در این پژوهش، هدف تولید سس مایونز با چربی کاهش یافته (40% وزنی) با استفاده از کمپلکس های الکترواستاتیکی، تیمار حرارتی مرطوب و خشک بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی می باشد. از این رو، کمپلکس های تولیدی قرار است که به عنوان امولسیفایر و یا پایدارکننده جایگزین کامل تخم مرغ و جایگزین بخشی از پایدارکننده های وارداتی شوند.

پروتئین و پلی ساکراید ایجاد شود. این نوع برهمکنش به کمک واکنش های شیمیایی بین گروه های کربوکسیلیک از پلی ساکرایدها و آمین از پروتئین ها انجام می گیرد. این نوع پیوند با آگیری از کمپلکس ها (خشک کردن انجمادی) و حرارت دادن یا اضافه کردن ماده ای که ایجاد اتصال می کند (کربودی ایمید یا Carbodiimide) به وجود می آید. پیوند کووالانسی یا کنژوگه (conjugate)، در عمل نوعی کمپلکس ایجاد می کند که غیر قابل برگشت و نسبت به تغییرات pH و قدرت یونی بسیار پایدار است (3).

دیفیتیس و همکارانش (2005) (Diftis et al.) ویژگی های رئولوژیکی و پایداری سس های مدل سالاد (model salad dressing emulsions) که با کمپلکس کووالانسی ایزوله پروتئین سویا و دکستران تهیه شده بودند، را بررسی کردند. نتایج نشان داد که برهمکنش های ذرات چربی امولسیون (بسته به پیشرفت واکنش میلارد) با فلوکولاسیون اتصالی (bridging flocculation)، تهی سازی (depletion) و متلاشی شدن (Collapse) ساختار شبکه ای امولسیون تحت تأثیر قرار می گیرند (4).

سس مایونز به عنوان یک امولسیون روغن در آب با pH کمتر از 4/1 است. سس مایونز اولین بار در سال 1756 توسط یک سرآشپز فرانسوی ساخته شد و تا به امروز جزء یکی از پرمصرف ترین مواد غذایی در دنیا به شمار می رود (5). به منظور ایجاد بافت مناسب و پایدار کردن ساختار مایونز از هیدروکلئیدها استفاده می شود. هم اکنون در ایران برای پایداری مایونز مخلوطی از صمغ های وارداتی مانند زانتان، کربوکسی متیل سلولز و گوار استفاده می شود که این امر هر ساله باعث خروج مقادیر زیادی ارز از کشور می گردد (6). کارخانه های تولید کننده سس در ایران هر ساله با صرف مقادیر زیادی ارز نسبت به تهیه مواد مذکور از کشورهای خارجی اقدام می کنند، در حالی که ایران از جمله تولیدکنندگان برخی صمغ های گیاهی (از جمله کتیرا و صمغ فارسی) در جهان است. صمغ فارسی به دلیل طبیعی بودن، اطمینان از بازار تأمین، توجیه اقتصادی و بومی بودن، کاربرد آن در صنایع غذایی امکان پذیر است. از این رو، پرداختن به بحث ویژگی امولسیون کنندگی صمغ مورد نظر به جهت محدوده وسیع از سیستم های امولسیون غذایی توصیه می شود. علی رغم اینکه نگرانی هایی در ارتباط با میزان بالای کلسترول زرده تخم مرغ وجود دارد، هنوز هم از زرده تخم مرغ به عنوان عامل امولسیون کننده در فرمولاسیون مایونز استفاده

## • مواد و روش‌ها

آماده‌سازی پودر صمغ فارسی و مواد اولیه: صمغ فارسی مصرفی از تنه و شاخه درخت بادام کوهی (*Amygdalus scoparia Spach*) در مردادماه 1391 از منطقه چنار ناز، واقع در استان یزد، جمع‌آوری شد. بر طبق مطالعه قبلی پودر صمغ فارسی منجمد خشک شده، آماده‌سازی گردید (12). صمغ حاصل دارای  $8/55 \pm 0/62\%$  وزنی رطوبت،  $0/69 \pm 0/08\%$  وزنی پروتئین،  $2/59 \pm 0/06\%$  وزنی خاکستر،  $87/17 \pm 0/23\%$  وزنی کربوهیدرات کل و مقدار ناچیزی چربی بود. بتالاکتوگلوبولین و روغن سویا نگین به ترتیب از شرکت دویسکو آمریکا و سوپرمارکت محلی خریداری شدند. زانتان، گوار، نمک، شکر، سرکه و اسید سیتریک از کارخانه چیکا اصفهان تهیه شدند. همه مواد از نظر کیفی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره 2454 بودند (9).

آماده‌سازی محلول مادر صمغ فارسی و بتالاکتوگلوبولین: برای تهیه محلول‌های مخلوط بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی با نسبت‌های مختلف پروتئین و پلی‌ساکارید، محلول‌های مادر با غلظت  $3\%$  وزنی از هر دو بیوپلیمر تهیه شد. برای تهیه محلول‌های صمغ فارسی، مقدار لازم از صمغ به‌طور تدریجی و پیوسته به آب دیونیزه که روی همزن مغناطیسی قرار داشت، اضافه شد. به‌منظور آگیری، محلول‌های صمغ حدود دو ساعت به‌طور یکنواخت در دمای اتاق ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ )، هم زده شدند. جهت کامل‌سازی فرایند آگیری صمغ، کلیه محلول‌ها به مدت حداقل 18 ساعت در یخچال نگهداری شدند. محلول‌های بتالاکتوگلوبولین نیز با چنین روندی مشابه صمغ فارسی تهیه گردید.

آماده‌سازی کمپلکس‌های الکترواستاتیکی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی: محلول‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی (در سه نسبت بتالاکتوگلوبولین به صمغ فارسی 1:1، 1:2 و 2:1) و با غلظت بیوپلیمر کل  $1/5\%$  وزنی (با رقیق کردن محلول‌های مادر دو بیوپلیمر و مخلوط کردن با حجم مساوی) تهیه شدند. تعدادی از این کمپلکس‌ها دارای pH طبیعی بودند (pH بعد از مخلوط کردن برای محلول هر سه نسبت بیوپلیمری بین 6/5-7 بود) و تعدادی دیگر نیز در سه نسبت و در pH دارای کدورت 0/3، در دمای  $40^\circ\text{C}$ - به مدت 24 ساعت خشک کردن انجمادی (دنا و کیوم، ایران) شدند (این pH برای هر سه نسبت از روی نمودار کدورت به تغییرات pH به دست آمد و این pH بین  $\text{pH}_{\text{dI}}$  و  $\text{pH}_{\text{c}}$  قرار داشت). این pH انتخابی برای

بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی 1:1، 2:1 و 1:2 به ترتیب عبارتند از:  $4/35 \pm 0/05$ ،  $3/80 \pm 0/05$  و  $5/00 \pm 0/05$  (13).

آماده‌سازی کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین-صمغ فارسی با اعمال تیمار حرارتی در حالت محلول: آماده‌سازی محلول کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین-صمغ فارسی با اعمال تیمار حرارتی در حالت محلول مشابه کمپلکس‌های الکترواستاتیکی بوده و تنها تفاوت آنها در اعمال یک تیمار حرارتی در حالت محلول است. تیمار حرارتی در حمام آب گرم (ممرت، آلمان) با دمای  $85^\circ\text{C}$  به مدت 25 دقیقه و بدون هم زدن انجام شد. جهت رسیدن دمای مرکز ارلن حاوی نمونه به دمای موردنظر، حمام روی  $87^\circ\text{C}$  تنظیم گردید. کنترل دمایی محلول‌ها با دماسنج جیوه‌ای انجام گرفت و براساس اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مشخص شد که به‌طور متوسط بعد 15 دقیقه دمای مرکز ارلن‌های حاوی نمونه به دمای  $85^\circ\text{C}$  می‌رسد و بنابراین، نمونه‌ها به مدت 10 دقیقه در دمای  $85^\circ\text{C}$  قرار گرفته‌اند (قابل ذکر است که نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید، pH و غلظت بیوپلیمر کل، دمای موردنیاز برای کمپلکس دادن را تحت تأثیر قرار می‌دهد). نرخ میانگین گرم‌شدن در ارلن‌های حاوی نمونه،  $3/45^\circ\text{C}/\text{min}$  بود. جهت سرد کردن نمونه‌ها، ارلن‌ها به مدت نیم‌ساعت در حمام آب با دمای  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  قرار گرفتند. پس از آن، محلول‌ها در فریزر با دمای  $20^\circ\text{C}$ - منجمد شدند و سپس با استفاده از خشک‌کن انجمادی مشابه شرایط قبلی خشک گردید. نمونه‌های خشک شده با آسیاب پودر شد و تا زمان استفاده در بسته‌های آلومینیمی غیرقابل نفوذ به رطوبت و در دمای  $20^\circ\text{C}$ - نگهداری شدند. در مجموع، شش نوع پودر کمپلکس با این تیمار به دست آمد. در حقیقت، کمپلکس‌های تولیدی در این روش مشابه الکترواستاتیکی بوده و تنها دارای یک مرحله اضافی تیمار حرارتی بودند (20).

آماده‌سازی کمپلکس‌های کووالانسی بتالاکتوگلوبولین-صمغ فارسی با استفاده از تیمار حرارتی خشک: بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی با نسبت‌های پروتئین به پلی‌ساکارید 1:1، 1:2 و 2:1 وزنی/وزنی (به‌صورت خشک با هم مخلوط گردید و سپس پودر حاصل به آب دیونیزه (10 برابر وزنی پودر) که روی همزن مغناطیسی در حال چرخش بود، اضافه گردید. محلول‌ها بعد از مدتی هم‌خوردن، جهت تسهیل آگیری، به مدت یک شبانه روز در دمای یخچال نگهداری شدند. پس از آن، محلول‌ها منجمد و سپس با استفاده از خشک‌کن انجمادی، خشک شدند. برای تماس بهتر بین پروتئین و پلی‌ساکارید و انجام واکنش میلارد، پودرهای خشک

کمپلکس‌های استفاده شده از نظر نسبت بیوپلیمری و pH و نوع تیمار معرفی می‌گردند (جدول 1).

**آماده‌سازی سس مایونز در سطح آزمایشگاهی:** مواد تشکیل‌دهنده سس‌های مایونز تولیدی و مقدار آنها عبارتند از: روغن سویا (40% وزنی)، سرکه (3% وزنی)، اسید سیتریک (0/2% وزنی)، نمک (1/75% وزنی)، شکر (4% وزنی)، زانتان (0/1% وزنی)، گوار (0/3% وزنی)، کمپلکس بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی به‌عنوان امولسیفایر و پایدارکننده (1% وزنی) و آب (49/65% وزنی).

برای تولید مایونز، ابتدا آب در ظرفی ریخته و به آن زانتان و گوار اضافه شد تا هیدروکلوئیدها هیدراته شوند و بعد از حدود یک ساعت، شکر و نمک به آن اضافه گردید. سپس عمل هم زدن با هموژنایزر آلترا توراکس یا (Ultra Turrax T18 مدل T18، ساخت شرکت آیکا آلمان) در دور 10000 دور/دقیقه آغاز شد و روغنی که قبلاً کمپلکس بیوپلیمری در آن پراکنده شده بود، آرام آرام به آن اضافه شد. بعد از اضافه کردن تمام روغن، دور هموژنایزر را تا 15000 دور/دقیقه بالا برده و عملیات یکنواخت کردن به مدت 2 دقیقه انجام گردید. بعد از آن در مرحله‌ی آخر، محلول سرکه و اسید سیتریک اضافه شد و باز هم عملیات هموژنیزاسیون در 15000 دور/دقیقه برای 3 دقیقه دیگر ادامه داشت تا مایونزی با بافت کاملاً یکنواخت تهیه گردد. بنابراین کلیه مراحل تهیه مایونز، از ابتدای اضافه کردن روغن تا انتهای اختلاط، 5 دقیقه به طول انجامید. تمامی نمونه‌ها بعد از تولید در دمای یخچال نگهداری شدند و پس از گذشت یک شبانه روز آزمون‌ها انجام شدند.

شده به روش تصعیدی به‌طور کامل آسیاب گردید. سپس، پودرها به‌صورت لایه نازکی در پتری ریخته شدند و پتری‌ها در دسیکاتور دارای کلرید سدیم اشباع (رطوبت نسبی 75%) قرار گرفتند و دسیکاتور در دمای 60°C برای دوره زمانی 14 روزه گرمخانه‌گذاری شدند. بعد تیمار حرارتی خشک، به‌منظور یکنواخت ساختن رطوبت کمپلکس‌های کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی، کمپلکس‌ها در دسیکاتور خلأ دارای مواد جاذب الرطوبه در کف، به مدت 24 ساعت قرار گرفتند. سپس، کمپلکس‌های حاصل تا زمان استفاده در بسته‌های آلومینیمی غیرقابل نفوذ به رطوبت در دمای 20°C- نگهداری شدند (21). نوع اتصالات کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی قبل از استفاده، با آزمایش‌های SDS-PAGE و FT-IR تأیید شد.

قبل از ورود به بحث مایونز ذکر این نکته ضروری است که در آزمون‌های اولیه این پژوهش، شش کمپلکس الکترواستاتیکی، شش کمپلکس کووالانسی در حالت محلول و چهار کمپلکس با تیمار حرارتی خشک تولید شدند. ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی تمامی کمپلکس‌ها با روش‌های مختلفی همچون، ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون به روش سانتریفیوژ، پایداری به خامه‌ای شدن (creaming stability)، میانگین و توزیع اندازه ذرات بلافاصله بعد از تولید و بعد از یک هفته نگهداری در دمای 4°C، تصویر میکروسکوپی از بافت امولسیون‌ها و اندازه‌گیری ویسکوزیته امولسیون‌ها بررسی شدند و در آخر بهترین کمپلکس‌ها از لحاظ ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی/ و یا پایدارکنندگی جهت استفاده در فرمولاسیون مایونز تهیه شدند (22). در ادامه

**جدول 1.** مشخصات تیمارهای کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی

| تیمارهای کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی |                                   |                        |                          |           |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|
| کد                                               | نسبت بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی | نوع تیمار              | مدت گرمخانه‌گذاری (هفته) | pH        |
| D1/11                                            | 1:1                               | حرارت خشک              | 1                        | -         |
| D2/11                                            | 1:1                               | حرارت خشک              | 2                        | -         |
| E/1:2/3.80                                       | 2:1                               | الکترواستاتیکی         | -                        | 3/80±0/05 |
| W/1:2/3.80                                       | 2:1                               | استفاده از حمام آب گرم | -                        | 3/80±0/05 |
| W/1:2/6.69                                       | 2:1                               | استفاده از حمام آب گرم | -                        | 6/69±0/05 |
| FG                                               |                                   | صمغ فارسی تنها         |                          |           |
| Blank                                            |                                   | سس مایونز بازار (شاهد) |                          |           |

کلیه عکس‌ها در جعبه مخصوص گرفته شد. سپس چند نقطه از عکس انتخاب شده و پس از استخراج پارامترهای رنگی، میانگین آنها بیان گردید.  $L^*$  بیانگر میزان روشنایی و دامنه آن از صفر تا 100 متغیر می‌باشد،  $a^*$  بیانگر قرمزی (+) قرمزی و - سبزی) و  $b^*$  شاخص زردی (+) زردی و - آبی) می‌باشد که دامنه آن‌ها از 120- تا 120 است (25).

**تصویر میکروسکوپی از بافت نمونه‌های سس:** به‌منظور مطالعه و مقایسه ریزساختار از بافت کلیه نمونه‌های سس مایونز به‌وسیله میکروسکوپ نوری ساخت ژاپن مدل المپیوس (Olympus) مجهز به دوربین با بزرگنمایی  $400\times$  عکسبرداری شد (26).

**تجزیه و تحلیل آماری:** نتایج در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با هفت تیمار، و هر آزمون حداقل در دو تکرار انجام شد. جهت مقایسه میانگین تیمارها از روش آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) و در صورت معنی‌داری از آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی‌دار) در سطح معنی‌دار 5 درصد استفاده شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.0 استفاده گردید.

### • یافته‌ها

**توزیع اندازه ذرات سس‌ها:** توزیع اندازه ذرات در شکل 1 نشان داده شده، اما برای مقایسه بهتر میانگین ( $D_{43}$ ) و شاخص میانه ( $D_{0.5}$ ) اندازه ذرات هم در جدول 2 گزارش شد. شکل 1 نشان می‌دهد که اندازه ذرات در تمامی نمونه‌ها، تقریباً در یک محدوده قرار دارند. مقایسه توزیع اندازه ذرات نمونه مایونز  $D_{1/11}$  و  $D_{2/11}$  نشان می‌دهد که کمپلکس بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی تیمار حرارتی خشک دو هفته‌ای در مقایسه با کمپلکس بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی تیمار حرارتی خشک یک هفته‌ای، اثر قابل ملاحظه‌ای روی توزیع اندازه ذرات داشته است. براساس توزیع اندازه ذرات، مایونز حاوی صمغ فارسی تنها نیز توزیع اندازه ذرات قابل قبولی داشته است. بر اساس نمودار توزیع می‌توان استنباط کرد که توزیع نسبتاً یکنواخت‌تری در مقایسه با بقیه داشته‌اند (دارای نمودار توزیع با پهنه اندک) که برای مشخص شدن بهتر می‌توان براساس میانگین ( $D_{43}$ ) و عامل میانه ( $D_{0.5}$ ) اندازه ذرات قضاوت کرد (جدول 2). نزدیک بودن دو مقدار میانگین و میانه اندازه ذرات در نمونه‌های  $E/1:2/3.80$ ،  $W/1:2/3.80$  و  $W/1:2/6.69$  می‌تواند دلیلی بر تأیید این فرضیه باشد، اگرچه تصویر میکروسکوپی نیز می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد.

**بررسی توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها:** آنالیز اندازه ذرات با استفاده از دستگاه پراکنش اشعه لیزر LA-930 مدل هوربا (Horiba, LA-930) ژاپن مجهز به پرتو لیزر 5 میلی ولت هلیوم/نئون (635 نانومتر)، انجام گردید. در دستگاه، اندیس شکست آب و روغن سویا به ترتیب  $1/330$  و  $1/520$  تنظیم شد. برای جلوگیری از فلوکولاسیون ذرات چربی، نمونه‌های امولسیون قبل از تزریق به دستگاه به میزان  $1:100$  با سدیم دو دسیل سولفات (SDS) 0/1% وزنی/حجمی رقیق و بعد از همگن کردن به دستگاه تزریق شدند.  $D_{0.5}$  و  $D_{43}$  به ترتیب نشان‌دهنده میانگین اندازه ذرات و میانه آنها است. میانه نشان می‌دهد که 50% ذرات امولسیون کوچک‌تر از این مقدار هستند (13).

**مقایسه ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها:** با توجه به اینکه سس مایونز جزء سیالات غیرنیوتونی بوده، رفتار شبه پلاستیک (pseudoplastic) نشان می‌دهد (23). بنابراین، برای سس مایونز از واژه ویسکوزیته ظاهری استفاده می‌شود. ویسکوزیته ظاهری سس‌ها با ویسکومتر چرخشی شرکت بروکفیلد (Brookfield) آمریکا مدل DVII (مجهز به Small sample adaptor و بن‌ماری جهت سیرکولاسیون آب با دمای مشخص) در پنج سرعت مختلف (10، 20، 40، 60، 80rpm) و با اسپیندل شماره 6 اندازه‌گیری شد. قبل از اندازه‌گیری، نمونه‌ها در یخچال نگهداری شدند و ویسکوزیته تمامی نمونه‌ها در بشر مشابه خوانده شد (23).

**مقایسه سفتی یا استحکام نمونه‌ها:** سفتی سس‌ها با دستگاه آنالیز بافت (Texture analyzer) بروکفیلد آمریکا، مدل LFRA 4500 و با پروب استوانه‌ای 38 میلی‌متری انجام شد. از آنجایی که تست بک اکستروژن برای ارزیابی بافت غذاهای نیمه جامد مناسب است، از این تست برای مقایسه بافت سس‌ها استفاده گردید. در این تست، تا جایی نیرو به نمونه وارد می‌گردد که نمونه بین فضای پروب و ظرف جاری شود. در تمامی نمونه‌ها سرعت پروب 1 میلی‌متر/ثانیه و میزان نفوذ 3 سانتی‌متر تنظیم گردید. حداکثر نیروی اندازه‌گیری شده معادل با میزان سفتی بافت سس‌هاست. همانند تست ویسکوزیته، تمامی نمونه‌ها در یخچال نگهداری شدند و همگی اندازه‌گیری‌ها در ظروف یکسان انجام شد (24).

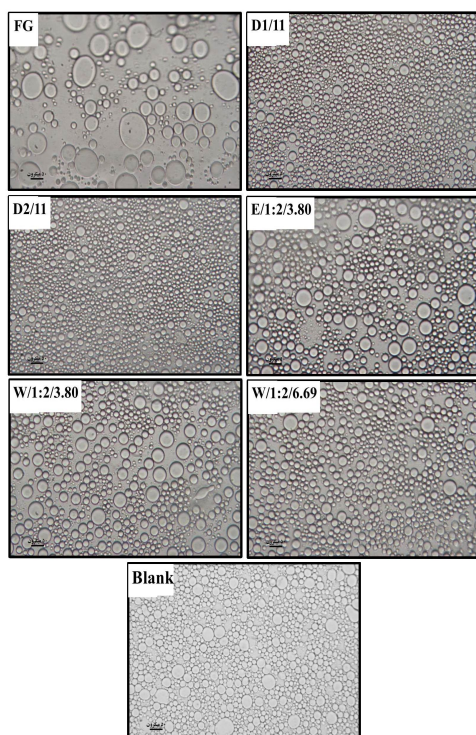
**آزمون رنگ:** جهت اندازه‌گیری رنگ، از روش تفکیک رنگ‌های به دست آمده از تصویر سس مایونز توسط دوربین دیجیتال (پاناسونیک، مدل TZ5، ژاپن)، در برنامه فتوشاپ و اندازه‌گیری شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در این برنامه انجام گرفت. به‌منظور عکس‌برداری تحت شرایط کنترل شده نوری،

حاصل از صمغ فارسی تنها، بافت غیر یکنواختی دارد. به علاوه، بافت مایونز بازار از لحاظ ظاهری شباهت زیادی به مایونزهای D1/11، D2/11 و W1/2/3.80 داشت.

**جدول 2.** میانگین و انحراف معیار ( $D_{0.5}$ ) و ( $D_{43}$ ) اندازه ذرات در نمونه‌های مختلف سس مایونز

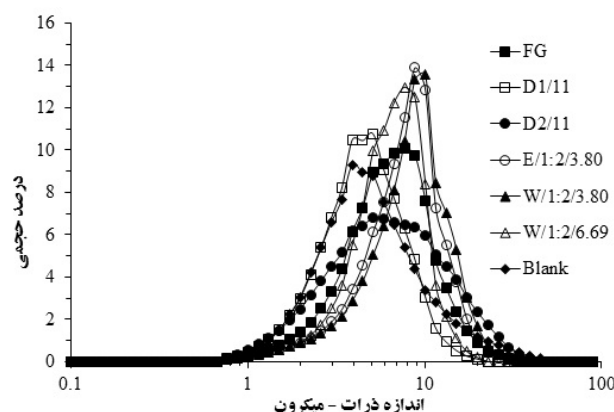
| اندازه ذرات (میکرون)    |                         | نمونه مایونز |
|-------------------------|-------------------------|--------------|
| $D_{0.5}$               | $D_{43}$                |              |
| 5/87±0/15 <sup>cd</sup> | 6/49±0/28 <sup>c*</sup> | FG           |
| 4/25±0/08 <sup>f</sup>  | 4/81±0/17 <sup>d</sup>  | D1/11        |
| 5/72±0/07 <sup>d</sup>  | 7/29±0/05 <sup>b</sup>  | D2/11        |
| 7/45±0/03 <sup>b</sup>  | 7/73±0/06 <sup>ab</sup> | E/1/2/3.80   |
| 7/94±0/05 <sup>a</sup>  | 8/27±0/07 <sup>a</sup>  | W/1/2/3.80   |
| 6/07±0/04 <sup>c</sup>  | 6/29±0/05 <sup>c</sup>  | W/1/2/6.69   |
| 4/51±0/19 <sup>e</sup>  | 6/37±0/59 <sup>c</sup>  | Blank        |

- اعداد به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.  
 -  $D_{0.5}$  و  $D_{43}$  به ترتیب نشان‌دهنده میانگین اندازه ذرات و میانه آنهاست.  
 \*حروف در هر ستون در بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح  $P < 0/05$  می‌باشد.



**شکل 2.** تصویر میکروسکوپی بافت نمونه‌های سس مایونزها، 24 ساعت بعد از تولید (بزرگمایی 400×. خط مقیاس نمایانگر 50 میکرون است).

بر اساس شکل 2، اگرچه میانگین اندازه ذرات نمونه D1/11 و D2/11 تفاوت داشتند اما تصاویر میکروسکوپی ساختار کاملاً مشابهی را نشان می‌دهد. همچنین، براساس نتایج توزیع اندازه ذرات امولسیون صمغ فارسی تنها هم قابل قبول بود اما تصویر



**شکل 1.** توزیع اندازه ذرات نمونه‌های مایونز 24 ساعت بعد از تولید

مقایسه میانگین اندازه ذرات مایونزها نشان می‌دهد که D1/11 کوچک‌ترین ذرات چربی را داراست که نسبت به نمونه D2/11 قابل ملاحظه است. نمونه FG (صمغ تنها) و W/1/2/6.69 نیز میانگین اندازه ذرات تقریباً مشابه با مایونز بازار را نشان دادند و نمونه E/1/2/3.80 و W/1/2/3.80 نسبت به بقیه از میانگین اندازه ذرات بالاتری برخوردار است. در صورت مقایسه  $D_{0.5}$  نمونه‌ها، نتایج جالب‌تری حاصل می‌شود به عنوان مثال، نمونه D1/11 باز هم کمترین مقدار میانه اندازه ذرات را دارد که به نظر می‌رسد از یکنواختی ذرات چربی بالایی برخوردار باشد. اما میزان میانه ( $D_{0.5}$ ) اندازه ذرات مایونز بازار نسبت به میانگین اندازه ذرات ( $D_{43}$ ) اختلاف دارند که این اختلاف زیاد می‌تواند به این دلیل باشد که در نمونه تعدادی ذره چربی نسبتاً بزرگ وجود داشته و باعث شده میانگین ذرات با میانه تفاوت داشته باشد (وجود ذره چربی درشت می‌تواند ناشی از فرایند الحاق ذرات چربی طی نگهداری باشد). این حالت در مورد نمونه D2/11 هم دیده شده که می‌تواند عملکرد نامناسب (حرکت کند به سمت فضای بین سطوحی روغن و آب و عدم جذب سریع کمپلکس در فضای مربوط) کمپلکس طی هموژنیزاسیون و ایجاد ذرات چربی نسبتاً درشت باشد. در ادامه بررسی تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها، نتایج بهتری را مشخص خواهد کرد.

**تصویر میکروسکوپی از بافت نمونه‌ها:** با توجه به ریزساختار مایونزها در شکل 2، مایونز D1/11 و D2/11 و W/1/2/6.69 دارای قطرات چربی منظم و یکنواخت هستند که می‌تواند به دلیل برهمکنش‌های کمپلکس بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی در فضای بین سطحی روغن-آب و ممانعت فضایی به واسطه جذب این کمپلکس‌ها و در نهایت دافعه حاصل از قطرات چربی با یکدیگر باشد که باعث پایداری امولسیون مایونز شده است. با توجه به تصاویر میکروسکوپی، مایونز

یک هفته‌ای ایجاد کرده است. مایونز تولیدی با کمپلکس‌های الکترواستاتیکی و تیمار حرارتی مرطوب (1% وزنی)، اگر چه میزان صمغ بالاتری (به دلیلی نسبت بتالاکتوگلوبولین به صمغ فارسی 2:1) نسبت به نمونه تیمار حرارتی خشک دارند اما مایونز حاصل از آنها از ویسکوزیته پایین‌تری برخوردار است که این می‌تواند به خاطر اندازه ذرات بزرگ‌تر آنها باشد. از بین تمامی نمونه‌ها، مایونز حاوی کمپلکس‌های الکترواستاتیکی، پایین‌ترین ویسکوزیته را دارند. اما نمونه حاوی صمغ فارسی ویسکوزیته بالاتری نسبت به نمونه‌های دیگر بجز مایونز بازار دارد که ناشی از اندازه ذرات کوچک‌تر آن نسبت به بقیه نیست (شکل 2، نمونه FG)، بلکه میزان بیشتر صمغ باعث افزایش ویسکوزیته شده است. در مجموع، به‌طور کلی تمامی نمونه‌های مایونز تولیدی به‌جز نمونه بازار دارای محدوده ویسکوزیته تقریباً مشابهی هستند.

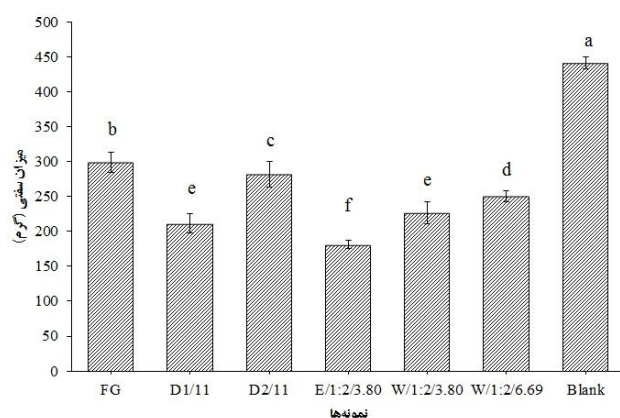
میکروسکوپی از بافت آن نشان داد که دارای بافت نامناسبی است و نسبت به دیگر کمپلکس‌ها و نمونه بازار بافت بسیار نامنظمی دارد. به علاوه، نمونه W/1:2/6.69 از لحاظ ذرات چربی بافت قابل قبولی نشان داد.

**مقایسه ویسکوزیته ظاهری:** نتایج این بررسی در جدول 3 نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌ها با افزایش سرعت چرخشی، گرانروی ظاهری کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند ناشی از باز شدن پیوندهای داخل ساختار و جهت یافتگی واحدهای بیوپلیمری باشد.

جدول 3 نشان می‌دهد که نمونه مایونز بازار بالاترین ویسکوزیته را داراست از نظر ویسکوزیته مایونز حاوی صمغ فارسی در رتبه بعدی قرار دارد. مقایسه دقیق مقادیر عددی داده‌های ویسکوزیته نمونه‌های مایونز کمپلکس تیمار حرارتی خشک یک و دو هفته گرمخانه‌گذاری شده، نشان می‌دهد که تیمار به مدت دو هفته ویسکوزیته بالاتری در مقایسه با نمونه

**جدول 3. ویسکوزیته ظاهری (سانتی پوآز) نمونه‌های سس‌های مایونز در سرعت‌های چرخشی متفاوت**

| کد         | سرعت چرخشی (دور بر دقیقه) |                    |                    |                    |                    |
|------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            | 80                        | 60                 | 40                 | 20                 | 10                 |
| FG         | $0/56 \times 10^4$        | $0/73 \times 10^4$ | $1/06 \times 10^4$ | $1/86 \times 10^4$ | $3/36 \times 10^4$ |
| D1/11      | $0/38 \times 10^4$        | $0/49 \times 10^4$ | $0/70 \times 10^4$ | $1/20 \times 10^4$ | $2/15 \times 10^4$ |
| D2/11      | $0/48 \times 10^4$        | $0/61 \times 10^4$ | $0/86 \times 10^4$ | $1/54 \times 10^4$ | $2/71 \times 10^4$ |
| E/1:2/3.80 | $0/39 \times 10^4$        | $0/49 \times 10^4$ | $0/68 \times 10^4$ | $1/13 \times 10^4$ | $1/87 \times 10^4$ |
| W/1:2/3.80 | $0/37 \times 10^4$        | $0/48 \times 10^4$ | $0/68 \times 10^4$ | $1/14 \times 10^4$ | $2/00 \times 10^4$ |
| W/1:2/6.69 | $0/45 \times 10^4$        | $0/57 \times 10^4$ | $0/80 \times 10^4$ | $1/37 \times 10^4$ | $2/35 \times 10^4$ |
| Blank      | $0/96 \times 10^4$        | $1/21 \times 10^4$ | $1/64 \times 10^4$ | $2/85 \times 10^4$ | $5/22 \times 10^4$ |



دامنه تغییرات مربوط به اندازه‌گیری دو تکرار هر نمونه است. کدهای مشابه در  $P < 0/05$  معنی‌دار نیستند.

**شکل 3. سفتی نمونه‌های سس مایونز**

**سفتی یا استحکام بافت:** در شکل 3، سفتی بافت نمونه‌های مایونز تولیدی با هم مقایسه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، نمونه بازار با اختلافی معنی‌دار نسبت به بقیه از بیشترین میزان سفتی برخوردار است و بعد از آن مایونز حاوی صمغ فارسی قرار دارد. همچنین، نمونه مایونز تولید شده با کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی دو هفته گرمخانه‌گذاری شده هم اختلاف معنی‌داری نسبت به نمونه مایونز کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی یک هفته‌ای دارد. مشابه نتایج ویسکوزیته، باز هم نمونه حاوی کمپلکس الکترواستاتیکی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی پایین‌ترین میزان سفتی را نسبت به بقیه نمونه‌ها نشان داد (اختلاف معنی‌دار در  $P < 0/05$ ).

میانگین اندازه ذرات کمتری نشان داد. این اتفاق ممکن است مربوط به اتصال کووالانسی بتالاکتوگلوبولین به صمغ فارسی باشد زیرا طی گذشت زمان گرمخانه گذاری، کمپلکس های با وزن مولکولی بالا به وجود می آید که منجر به کاهش حلالیت کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی می گردد و در نتیجه بعد از هموژنیزاسیون به سختی در فضای بین سطحی روغن - آب نفوذ می کنند (27). به علاوه، احتمالاً ناشی از شکست ترکیبات آمادوری بعد دو هفته گرمخانه گذاری است. این نتایج توسط Miralles و همکاران برای کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و کیتوزان گزارش شد (28).

در حقیقت، پخش منظم قطرات چربی باعث ایجاد ساختار پایدار و البته مناسب تر به لحاظ ویژگی های حسی می گردد. علاوه بر کمپلکس های کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی تولیدی در تیمار خشک، کمپلکس های تیمار حرارتی مرطوب ( $W/1:2/6.69$  و  $W/1:2/3.80$ ) نیز عملکرد بهتری نسبت به صمغ فارسی تنها روی کاهش اندازه ذرات و توزیع یکنواخت تصویر میکروسکوپی امولسیون مایونز نشان دادند. به طور کلی، دو واکنش طی حرارت دادن در حالت محلول اتفاق می افتد: 1) دناتوراسیون یا توده ای شدن بتالاکتوگلوبولین 2) اتصال کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی. در حقیقت، این برهمکنش ها می تواند با pH، دما، نسبت بیوپلیمری و ... کنترل شود (29). به علاوه، اثر ازدحام مولکولی (Macromolecular crowding effect) هم این مشکل را محدود می نماید (30). ویژگی های امولسیون کنندگی بهتر  $W/1:2/6.69$  و  $W/1:2/3.80$  می تواند مربوط به میزان بیشتر صمغ فارسی در کمپلکس باشد که باعث محدود کردن پیشرفت توده ای شدن بتالاکتوگلوبولین به دلیل اثر ازدحام مولکولی و در نتیجه تسهیل کمپلکس دادن بین بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی باشد. براساس نتایج توزیع اندازه ذرات و تصویر میکروسکوپی،  $W/1:2/6.69$  عملکرد بهتری نسبت به  $W/1:2/3.80$  نشان داد که عملکرد بهتر این نسبت در pH بعد از مخلوط کردن ( $pH = 6/69$ ) در مقایسه با  $pH_c > pH > pH_{D1}$  می تواند مربوط به اتصال بین کمپلکس های محلول در pH اسیدی باشد. Vardhanabhuti و همکاران دریافتند که کاهش pH (از 6/2 به 5/6) منجر به تولید کمپلکس های با وزن مولکولی بالا در بتالاکتوگلوبولین و دکستران شد (31).

ویسکوزیته یکی از عوامل مهم و مؤثر در مایونز از نظر پذیرش مصرف کنندگان است. در مایونز، مساحت سطح تماس بالا بین ذرات چربی منجر به اصطکاک بین ذرات چربی

**آزمون رنگ سس های مایونز:** همان طوری که در جدول 4 مشاهده می شود مایونز حاصل از کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی دو هفته گرمخانه گذاری شده، دارای رنگ روشن تری نسبت به بقیه نمونه هاست اما این تفاوت در مقایسه با نمونه های مایونز حاصل از کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی یک هفته گرمخانه گذاری شده، تیمار حرارتی مرطوب و نمونه بازار معنی دار نیست.

اثر اندازه ذرات چربی روی روشنایی در نمونه مایونز تولیدی با کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی یک و دو هفته گرمخانه گذاری شده و  $W/1:2/6.69$  (به ویژه نمونه مایونز حاصل از کمپلکس کووالانسی دو هفته گرمخانه گذاری شده) مشهود بوده اما نمونه مایونز بازار هم که میانگین اندازه ذرات کوچکتری داشت، عامل روشنایی به نسبت پایینی دارد که احتمالاً به خاطر وجود مواد دیگر در فرمولاسیون (از جمله زده تخم مرغ و دیگر افزودنی ها) است.

نمونه مایونز حاصل از صمغ فارسی و  $W/1:2/3.80$  نیز بالاترین زردی را بعد از مایونز بازار به خود اختصاص داده اند که احتمالاً به دلیل ذرات چربی بزرگ تر نمونه هاست. از نظر زردی در سایر نمونه ها هم تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

**جدول 4. میانگین شاخص های رنگ در نمونه های مایونز**

| کد         | شاخص های رنگ     |                     |                      |
|------------|------------------|---------------------|----------------------|
|            | $b^*$            | $a^*$               | $L^*$                |
| FG         | $12/4 \pm 0/4^b$ | $-1/4 \pm 0/4^a$    | $64/4 \pm 0/4^{bc}$  |
| D1/11      | $9/6 \pm 1/6^c$  | $-2/0 \pm 0/6^{ab}$ | $65/6 \pm 1/0^{abc}$ |
| D2/11      | $8/2 \pm 0/4^c$  | $-2/4 \pm 0/2^{bc}$ | $66/7 \pm 0/9^a$     |
| E/1:2/3.80 | $8/9 \pm 0/7^c$  | $-1/1 \pm 0/7^a$    | $63/9 \pm 0/5^c$     |
| W/1:2/3.80 | $11/4 \pm 1/8^b$ | $-3/0 \pm 0/2^c$    | $65/0 \pm 0/8^{abc}$ |
| W/1:2/6.69 | $7/9 \pm 0/5^c$  | $-1/5 \pm 0/3^{ab}$ | $65/7 \pm 2/1^{ab}$  |
| Blank      | $16/6 \pm 1/4^a$ | $-4/3 \pm 0/7^d$    | $65/1 \pm 0/3^{abc}$ |

- حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار در سطح  $P < 0/05$  می باشد.

\* پارامترهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  به ترتیب بیانگر شاخص های روشنایی، قرمزی و زردی نمونه هاست.

## • بحث

اندازه ذرات امولسیون یکی از عوامل کلیدی در تعیین ویژگی های سیستم امولسیونی است. در این مطالعه اندازه ذرات چربی در مایونز های تولیدی و بازار با هم مقایسه شده است. نمونه مایونز حاصل از کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی یک هفته گرمخانه گذاری شده در مقایسه با نمونه دو هفته گرمخانه گذاری شده،

رنگ از دیگر عوامل مهم در پذیرش مایونز توسط مصرف کننده است. روشنایی مایونز اثر مهمی روی ظاهر محصول دارد. معمولاً با کاهش اندازه ذرات امولسیون، رنگ آن روشن تر می شود که به دلیل افزایش پراکنش نور است (24). این بیان به خوبی در مورد کمپلکس های کوآلانسبی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی مشاهده شد. همچنین، عامل  $b^*$  بالاتر (زردی بیشتر) و  $a^*$  بالاتر (قرمزی بیشتر) را نشان می دهد. نمونه مایونز بازار با بالاترین زردی و اختلاف معنی دار با بقیه نمونه ها نشان دهنده وجود زرده تخم مرغ در فرمولاسیون است که عامل زردی را تحت تأثیر قرار داده است.

ذکر این نکته ضروری است که رنگ مایونزها ممکن است تحت تأثیر رنگ بیوپلیمر استفاده شده باشد، زیرا کمپلکس های تیمار حرارتی شده خشک، رنگ زرد مایل به قهوه ای روشن داشته اما کمپلکس های تیمار حرارتی مرطوب رنگ سفیدتری حتی نسبت به نمونه الکترواستاتیکی داشتند. به علاوه، احتمالاً از آنجایی که صمغ فارسی مورد استفاده رنگبری نشده و با حداقل فرایند مصرف شد، روی رنگ مایونز تولیدی تأثیرگذار بوده است. با وجود زرد رنگ بودن کمپلکس کوآلانسبی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی، به دلیل عملکرد امولسیون با لای آن و کاهش اندازه ذرات مایونز، منجر به غلبه عامل کاهش اندازه ذرات مایونز بر رنگ کمپلکس تولیدی روی فاکتور روشنایی مایونز (به دلیل افزایش پراکنش نور) شد.

در مجموع، با توجه به بهبود فعالیت امولسیون کنندگی کمپلکس صمغ فارسی با بتالاکتوگلوبولین، می توان علاوه بر نقش پایدارکنندگی، به عنوان امولسیفایر جایگزین تخم مرغ شود. کمپلکس های کوآلانسبی بتالاکتوگلوبولین و صمغ یک و دو هفته گرمخانه گذاری شده عملکرد بهتری داشتند و با توجه به نتایج به دست آمده می توان ادعا کرد که کمپلکس های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی می توانند به عنوان یک امولسیفایر و یا پایدارکننده در فرمولاسیون سس مایونز به کار روند.

### سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان بر خود لازم می دانند که از حمایت های مالی و همکاری کارکنان گروه صنایع غذایی دانشگاه صنعتی اصفهان در طی این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند. همچنین، از بخش تحقیق و توسعه شرکت فناوری غذا و سلامت پویان به جهت در اختیار قرار دادن دستگاه های پراکنش اشعه لیزر و آنالیز بافت سپاسگزاری می گردد.

می گردد، که با اعمال کردن تنش در برابر حرکت آزادانه مخالفت نموده و از این رو، ویسکوزیته افزایش می یابد. کاهش قطر ذرات چربی باعث می گردد که سطح تماس بین قطرات چربی بیشتر شده و در نتیجه افزایش ویسکوزیته را به دنبال خواهد داشت. بنابراین، ویسکوزیته نمونه ها می تواند تا اندازه ای پارامترهای آنالیز بافت را منعکس کند (26، 32).

یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در سس مایونز، میزان سفتی بافت آن بوده که این عامل در پذیرش و جلب رضایت مصرف کنندگان بسیار مؤثر است. یکی از دلایل بالا بودن ویسکوزیته نمونه مایونز بازار می تواند مربوط به روش تولید متفاوت آن با نمونه های تولیدی با کمپلکس های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی باشد زیرا شرایط تولید آنها با هم متفاوت است. بنابراین، براساس ویژگی های بافتی و رئولوژیکی فرمولاسیون ها با نمونه بازار ذکر این نکته ضروری است که در مطالعات بعدی، غلظتی از کمپلکس بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی بررسی و مشخص گردد تا به لحاظ ویژگی های گفته شده با فرمولاسیون بازار برابری داشته باشد. در حقیقت یکی از دلایل پایین بودن ویسکوزیته ظاهری و استحکام بافت مایونز های تولیدی با کمپلکس های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی، صمغ فارسی تنها و نمونه بازار مربوط به میزان صمغ فارسی مصرفی در فرمولاسیون مایونز است. زیرا در تمامی فرمولاسیون ها 1% وزنی بیوپلیمر کل (بدون در نظر گرفتن نسبت بیوپلیمری) استفاده شد که بسته به نسبت بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی، مقدار صمغ فارسی در فرمولاسیون ها متفاوت است. وجود صمغ فارسی عامل مهمی در افزایش ویسکوزیته و سفتی بافت است. Difitis و همکاران (2005) خصوصیات رئولوژیکی امولسیون های سالاد حاوی کمپلکس کوآلانسبی ایزوله پروتئین سویا و دکستران در حالت خشک را به عنوان امولسیفایر با آزمون های رئومتری دینامیک (جهت بررسی ساختار امولسیون ها و روشن ساختن مکانیسم پایدارسازی آنها در برابر خامه ای شدن) بررسی کردند. ویژگی های رئولوژیکی و رفتار خامه ای شدن سالادهای پوششی تحت تأثیر روند اتصال کوآلانسبی پروتئین و دکستران و نیز اضافه کردن زانتان است. آنها گزارش کردند که بسته به پیشرفت واکنش کوآلانسبی پروتئین و پلی ساکارید ممکن است اثرات مکانیسم تهی سازی یا فلوکولاسیون عرضی غالب شود که در نتیجه بر متلاشی شدن ساختار شبکه ای قطرات چربی طی نگهداری مؤثر است (4).

## • References

- Dickinson E. Stability and rheological implications of electrostatic milk protein-polysaccharide interactions. *Trends Food Sci Tech* 1998; 9: 347-354.
- Ye A. Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: principles and applications—a review. *Int J Food Sci Tech* 2008; 43: 406-415.
- Kato A. Industrial Applications of Maillard-Type Protein-Polysaccharide Conjugates. *Food Sci Technol Res* 2002; 8: 193-199.
- Diftis NG, Biliaderis CG, Kiosseoglou VD. Rheological properties and stability of model salad dressing emulsions prepared with a dry-heated soybean protein isolate-dextran mixture. *Food Hydrocolloid* 2005; 19: 1025-1031.
- Duncan SE. Fats: Mayonnaise P 329-341, In: *Food Processing; Principles and Applications*. Smith JS and Hui YH, (edi). Blackwell Publishing 2004.
- Alemzadeh T, Mohammadifar MA, Azizi MH, Ghanati K. Effect of two different species of Iranian gum tragacanth on the rheological properties of mayonnaise sauce. *J Food Sci Tech* 2010; 7: 127-141 [in Persian].
- Depree JA Savage GP. Physical and flavour stability of mayonnaise. *Trends Food Sci Tech* 2001; 12: 157-163.
- Nunes MC, Raymundo A, Empis J, Sousa I. Physical Characterisation of Commercial Mayonnaises and Salad Dressings. *Rheo pt* 2002; 2: 30-41.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Mayonnaise and salad dressing, ISIRI no 2454. Karaj: ISIRI; 1992 [in Persian].
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Shirazi Gum (Zedo). ISIRI no 442. Kaaj: ISIRI [in Persian].
- Fadavi G, Mohammadifar MA, Zargarraan A, Mortazavian AM, Komeili, R. Composition and physicochemical properties of Zedo gum exudates from *Amygdalus scoparia*. *Carbohydr polym* 2014; 101: 1074-1080.
- Gasempour Z, Alizadeh M, Bari, MR. Optimisation of probiotic yoghurt production containing Zedo gum. *Int J Dairy Technol* 2012; 65: 118-125.
- Golkar A, Nasirpour A, Keramat J.  $\beta$ -lactoglobulin-Angum Gum (*Amygdalus Scoparia* Spach) Complexes: Preparation and Emulsion Stabilization. *J Disper Sci Technol* 2014; 36: 38-694.
- Jafari SM, Beheshti P, Assadpour E. Emulsification properties of a novel hydrocolloid (Angum gum) for d-limonene droplets compared with Arabic gum. *Int J Biol Macromol* 2013; 61: 182-188.
- Abbasi S, Mohammadi S, Rahimi S. Partial replacement of gelatin with Persian gum and application of frankincense for producing functional pastilles. *Iran Biosyst Eng J* 2011; 42: 121-131.
- Leghaie L, Zomorodi SH. Effect of Arabic gum, xanthan gum, Zedo gum and CHO commercial stabilizer on sensory and physicochemical properties on Doogh (Iranian yoghurt drink) using response surface methodology (RSM); 2014; Gorgan, Iran. [In Persian]
- Ahmadi ME, Raftani Amiri Z, Hosseini-Parvar SH. The possibility of application of Persian gum as stabilizer in ice cream; 2012; Savadkooh, Iran. [In Persian]
- Barzegari M, Raftani Amiri Z, Motamedzadegan A, Mohammad Zade Milani J. The effect of combined application of Persian gum and xanthan gum on the rheological properties of mayonnaise; 2012; Savadkooh, Iran. [In Persian]
- Madureira AR, Pereira CI, Gomes AMP, Pintado ME, Xavier Malcata F. Bovine whey proteins—overview on their main biological properties. *Food Res Int* 2007; 40: 1197-1211.
- Jones OG, Decker EA, McClements DJ. Formation of biopolymer particles by thermal treatment of  $\beta$ -lactoglobulin-pectin complexes. *Food Hydrocolloid* 2009; 23: 1312-1321.
- Neiryck N, Van Der Meeren P, Bayarri Gorbe S, Dierckx S, Dewettinck K. Improved emulsion stabilizing properties of whey protein isolate by conjugation with pectins. *Food Hydrocolloid* 2004; 18: 949-957.
- Golkar A. Emulsifying Properties of Covalent and Non-covalent Complexes of  $\beta$ -lactoglobulin-Farsi Gum [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture; 2013 [in Persian].
- Mesbahi GR, Jamalian J, Golkari H. Substitution of Tragacanth in Mayonnaise for Imported Stabilizers and Thickeners. *J Water Soil Sci* 2004; 8:191-205.
- Worrasinchai S, Suphantharika M, Pinjai S, Jamnong P. b-Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloids* 2006; 20: 68-78.
- Yam KL, Papadakis SE. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *J Food Eng* 2004; 61: 137-142.
- Liu H, Xu XM, Guo SD. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT* 2007; 40: 946-954.
- Golkar A, Nasirpour A, Keramat J. Emulsifying properties of Angum gum (*Amygdalus scoparia* Spach) conjugated to  $\beta$ -lactoglobulin through Maillard-type conjugation. *Int J Food Prop* 2014; 18: 2042-2055.

28. Miralles B, Martínez-Rodríguez A, Santiago A, van de Lagemaat J, Heras A. The occurrence of a Maillard-type protein-polysaccharide reaction between  $\beta$ -lactoglobulin and chitosan. *Food Chem* 2007; 100: 1071-1075.
29. Zhu D, Damodaran S, Lucey, JA. Physicochemical and emulsifying properties of whey protein isolate (WPI)-dextran conjugates produced in aqueous solution. *J Agri Food chem* 2010; 58: 2988-2994.
30. Zhuo XY, Qi JR, Yin SW, Yang XQ, Zhu JH, Huang LX. Formation of soy protein isolate-dextran conjugates by moderate Maillard reaction in macromolecular crowding conditions. *J Sci Food Agri* 2013; 93: 316-323.
31. Vardhanabhuti B, Yucel U, Coupland JN, Foegeding EA. Interactions between  $\beta$ -lactoglobulin and dextran sulfate at near neutral pH and their effect on thermal stability. *Food Hydrocolloid* 2009; 23: 1511-1520.
32. McClements DJ. *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. 1st ed. CRC press 2004.

## Production of Reduced-fat Mayonnaise Using Electrostatic and Covalent Complexes of $\beta$ -lactoglobulin and Farsi Gum

Golkar A<sup>1</sup>, Nasirpour A<sup>2\*</sup>, Keramat J<sup>3</sup>

1- M.Sc Student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- \*Corresponding author: Assistant Prof, Dept. of Food Science and Technology, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: ali.nasirpour@cc.iut.ac.ir

3- Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan university of Technology, Isfahan, Iran.

Received 11 Mar, 2015

Accepted 7 Jul, 2015

**Background and Objectives:** Manipulation of protein-polysaccharide interactions provides an opportunity to control the stability and texture of food emulsions. Proteins are surface-active ingredients and can function as effective emulsifying agents; also polysaccharides with polyelectrolytes capacity can impart excellent colloidal stability to emulsion droplet by a combination of electrostatic and steric mechanisms. The aim of this study is production of reduced-fat mayonnaise using electrostatic and covalent of  $\beta$ -lactoglobulin and Farsi gum as stabilizer, as well as elimination of cholesterol and reducing application of other stabilizers.

**Materials and Methods:** At first, electrostatic and covalent complexes of  $\beta$ -lactoglobulin and Farsi gum with dry and wet heat treatment were produced. Then Farsi gum and all of the complexes with 1% wt concentration were used in the mayonnaise. The samples were compared in terms of droplet size distributions, apparent viscosity, firmness, color and microscopic analysis.

**Results:** Comparison of mean droplet size of the samples showed that mayonnaise contained dry-heated (for one week at 60 °C and relative humidity of 75%, 1:1 biopolymer mixing ratio)  $\beta$ -lactoglobulin-Farsi gum complex (D1/11) had the smallest size. Mayonnaise containing Farsi gum and W/1:2/6.69 (wet-heated  $\beta$ -lactoglobulin-Farsi gum complex with 1:2 biopolymer mixing ratio and pH=6.69) had mean droplet size similar to commercial mayonnaise. Mayonnaise containing Farsi gum showed non-uniform microstructure by microscopy observation. Commercial mayonnaise had the highest apparent viscosity followed by mayonnaise containing Farsi gum. Firmness result also had the same trend ( $P<0.05$ ). Commercial samples showed significant differences and the highest yellowness compared to others due to the presence of egg.

**Conclusions:** According to the above results,  $\beta$ -lactoglobulin-Farsi gum complexes can be used as emulsifier and stabilizer in mayonnaise and salad dressing.

**Keywords:**  $\beta$ -lactoglobulin, Farsi gum, Reduced-fat mayonnaise, Electrostatic, Covalent