**مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران**
**سال دهم، شماره 4، زمستان 1394، صفحات 114-103**

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

عبدالخالق گل‌کار، 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 به‌واسطه 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 کلسترول 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 نسبت1:1 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 نسبت2:1 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

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، 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

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

پروتئین و پلی‌ساکارید ایجاد شود. این نوع برهمکنش به کمک واکنش‌های شیمیایی بین گروه‌های کربوکسیلیک از پلی‌ساکاریدها و آمین از پروتئین‌ها انجام می‌گیرد. این نوع پیوند با آبگیری از کمپلکس‌ها (خشک کردن انجمادی) و حرارت دادن یا اضافه کردن ماده‌ای که ایجاد اتصال می‌کند (کربودی‌ایمید یا Carbodiimide) به وجود می‌آید. پیوند کووالانسی یا کنژوگه (conjugate)، در عمل نوعی کمپلکس ایجاد می‌کند که غیر قابل برگشت و نسبت به تغییرات pH و قدرت یونی بسیار پایدار است (3).

دیفتیس و همکارانش (Diftis *et al.*) (2005) ویژگی‌های رئولوژیکی و پایداری سس‌های 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 برهمکنش‌های ذرات چربی امولسیون (بسته به پیشرفت واکنش میلارد) با فلوکولاسیون اتصالی (bridging flocculation)، تهی‌سازی (depletion) و متلاشی شدن (Collapse) ساختار شبکه‌ای امولسیون تحت تأثیر قرار می‌گیرند (4).

سس مایونز به‌عنوان 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 پرمصرف‌ترین مواد غذایی در دنیا به شمار می‌رود (5). به‌منظور ایجاد بافت مناسب و پایدار کردن ساختار مایونز از هیدروکلوئیدها استفاده می‌شود. هم‌اکنون در ایران برای پایداری مایونز مخلوطی از صمغ‌های وارداتی مانند زانتان، کربوکسی متیل سلولز و گوار استفاده می‌شود که این امر هر ساله باعث خروج مقادیر زیادی ارز از کشور می‌گردد (6). کارخانه‌های تولید کننده سس در ایران هر ساله با صرف مقادیر زیادی ارز نسبت به تهیه مواد مذکور از کشورهای خارجی اقدام می‌کنند، در حالی که ایران از جمله تولیدکنندگان برخی صمغ‌های 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 امکان‌پذیر است. از این‌رو، پرداختن به بحث ویژگی امولسیون‌کنندگی صمغ موردنظر به جهت محدوده وسیع از سیستم‌های امولسیونی غذایی توصیه می‌شود. علی‌رغم اینکه نگرانی‌هایی در ارتباط با میزان بالای کلسترول زرده تخم‌مرغ وجود دارد، هنوز هم از زرده تخم‌مرغ به‌عنوان عامل امولسیون‌کننده در فرمولاسیون مایونز استفاده می‌شود زیرا قادر به تشکیل امولسیون و نیز فلوکولاسیون ذرات چربی امولسیون به‌منظور دستیابی به بافت مناسب است (7). در حقیقت، امولسیفایر نقش مهمی در کاهش کشش بین‌سطحی آب و روغن دارد. به‌طور معمول، از زرده تخم‌مرغ به‌عنوان امولسیفایر استفاده می‌شود اما امولسیفایرهای بدون کلسترول یا کم کلسترول همچون، پروتئین‌های 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 ترشحی شفافی است که از درخت *Amygdalus Scoparia spach* (گونه‌ای بادام کوهی) به دست می‌آید. این صمغ را صمغ زدو (Zedo gum) یا صمغ شیرازی (Shirazi gum) یا صمغ آنگوم (Angum gum) نیز می‌نامند. صمغ فارسی به‌عنوان یک ماده عملکردی برای کاربردهای تغذیه‌ای و دارویی همچون: محرک اشتها، خردکننده‌ی سنگ مثانه و ... کاربرد دارد. استاندارد صمغ زدو ISIRI 442 توسط مؤسسه استاندارد ایران منتشر شده است. در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی درزمینهٔ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و خصوصیات امولسیونی 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 می‌دهد و برای اولین بار در سال 1934 کشف شد. این پروتئین دارای ساختار کروی است که به دلیل تشکیل شبکه سه‌بعدی ژل، ایجاد کف، جذب آب و امولسیون‌کنندگی در فرمولاسیون‌های غذایی قابل استفاده است (19).

در مطالعات اولیه این تحقیق، بهبود ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی کمپلکس‌های الکترواستاتیکی و کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی در سیستم مدل امولسیون نسبت به صمغ فارسی تنها تأیید شد. از این‌رو در این پژوهش، هدف تولید سس مایونز با چربی کاهش یافته (40% وزنی) با استفاده از کمپلکس‌های الکترواستاتیکی، تیمار حرارتی مرطوب و خشک بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی می‌باشد. از این‌رو، کمپلکس‌های تولیدی قرار است که به‌عنوان امولسیفایر و یا پایدارکننده جایگزین کامل تخم‌مرغ و جایگزین بخشی از پایدارکننده‌های وارداتی شوند.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

## • 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 0/62±8/55% وزنی رطوبت، 0/08±0/69% وزنی پروتئین، 0/06±2/59% وزنی خاکستر، 0/23±87/17% 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 آبگیری، محلول‌های صمغ حدود دو ساعت به‌طور یکنواخت در دمای اتاق (20±1°C)، هم زده شدند. جهت کامل‌سازی فرایند آبگیری صمغ، کلیه محلول‌ها به مدت حداقل 18ساعت 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 7-6/5 بود) و تعدادی دیگر نیز در سه نسبت و در pH دارای کدورت 0/3، در دمای 40°C- به مدت 24 ساعت خشک کردن انجمادی (دنا وکیوم، ایران) شدند (این pH برای هر سه نسبت از روی نمودار کدورت به تغییرات pH به دست آمد و این pH بین $pH_c$ و $pH_{\Phi 1}$ قرار داشت). این pH انتخابی برای بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی 1:1، 2:1 و 1:2 به ترتیب عبارتند از: 0/05±4/35، 0/05±3/80 و 0/05±5/00 (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°C به مدت 25 دقیقه و بدون هم زدن انجام شد. جهت رسیدن دمای مرکز ارلن حاوی نمونه به دمای موردنظر، حمام روی 87°C تنظیم گردید. کنترل دمایی محلول‌ها با دماسنج جیوه‌ای انجام گرفت و براساس اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مشخص شد که به‌طور متوسط بعد 15دقیقه دمای مرکز ارلن‌های حاوی نمونه به دمای 85°C می‌رسد و بنابراین، نمونه‌ها به مدت 10دقیقه در دمای 85°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°C/min بود. جهت سرد کردن نمونه‌ها، ارلن‌ها به مدت نیم‌ساعت در حمام آب با دمای 20±2°C قرار گرفتند. پس از آن، محلول‌ها در فریزر با دمای 20°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°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 پلی ساکارید (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 آبگیری، 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

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

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 14روزه 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 امولسیون کنندگی تمامی کمپلکس‌ها با روش‌های مختلفی همچون، ظرفیت امولسیون کنندگی 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 امولسیون کنندگی/ و یا پایدارکنندگی جهت استفاده در فرمولاسیون مایونز تهیه شدند (22). در ادامه کمپلکس‌های استفاده شده از نظر نسبت بیوپلیمری و pH و نوع تیمار معرفی می‌گردند (جدول1).

**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 آلتراتوراکس یا (Ultra Turrax T18 مدل T18، ساخت شرکت آیکآ آلمان) در دور10000 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.

**جدول1.** مشخصات تیمارهای کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی

| کد | تیمارهای کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی | | | |
|---|---|---|---|---|
| | نسبت بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی | نوع تیمار | مدت گرمخانه گذاری (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) | | |

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

**بررسی توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها:** آنالیز اندازه ذرات با استفاده از دستگاه پراکنش اشعه لیزر LA-930 مدل هوریبا (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 امولسیونی 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. D43 و D0.5 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 همه‌ی 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، 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).

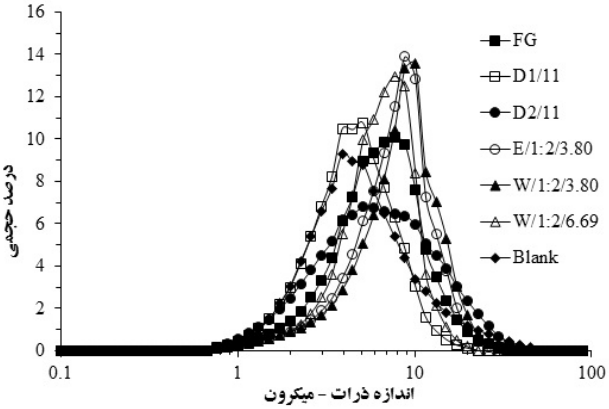
**تصویر میکروسکوپی از بافت نمونه‌های سس:** به‌منظور مطالعه و مقایسه ریزساختار از بافت کلیه نمونه‌های سس مایونز به‌وسیله میکروسکوپ نوری ساخت ژاپن مدل اُلمپیوس (Olympus) مجهز به دوربین با بزرگنمایی 400x عکسبرداری شد (26).

**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 شکل1 نشان داده شده، اما برای مقایسه بهتر میانگین (D43) و شاخص میانه (D0.5) اندازه ذرات هم در جدول2 گزارش شد. شکل1 نشان می‌دهد که اندازه ذرات در تمامی نمونه‌ها، تقریباً در یک محدوده قرار دارند. مقایسه توزیع اندازه ذرات نمونه مایونز D1/11 و D2/11 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 (D43) و عامل میانه (D0/5) اندازه ذرات قضاوت کرد (جدول2). 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.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]




**شکل1.** توزیع اندازه ذرات نمونه‌های مایونز 24 ساعت بعد از تولید

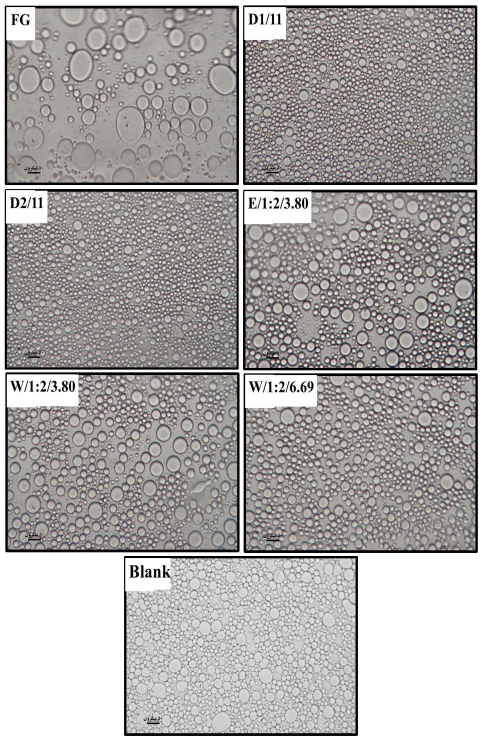
مقایسه میانگین اندازه ذرات مایونزها نشان می‌دهد که D1/11 کوچک‌ترین ذرات چربی را داراست که نسبت به نمونه D2/11 قابل ملاحظه است. نمونه FG (صمغ تنها) و W/1:2/6.69نیز میانگین اندازه ذرات تقریباً مشابه با مایونز بازار را نشان دادند و نمونه E/1:2/3.80 و W/1:2/3.80 نسبت به بقیه از میانگین اندازه ذرات بالاتری برخوردار است. در صورت مقایسه $D_{0.5}$ نمونه‌ها، نتایج جالب‌تری حاصل می‌شود به‌عنوان 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 نمونهD2/11 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 شکل2، مایونز D1/11، 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 بین‌سطحی روغن-آب و ممانعت فضایی به‌واسطه 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 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 W/1:2/3.80 داشت.

**جدول2.** میانگین و انحراف معیار ($D_{43}$) و ($D_{0.5}$) اندازه ذرات در نمونه‌های مختلف سس مایونز

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

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




**شکل2.** تصویر میکروسکوپی بافت نمونه‌های سس مایونزها، 24 ساعت بعد از تولید
(بزرگنمایی400×. خط مقیاس نمایانگر 50 میکرون است).

بر اساس شکل2، اگرچه میانگین اندازه ذرات نمونهD1/1 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

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

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.

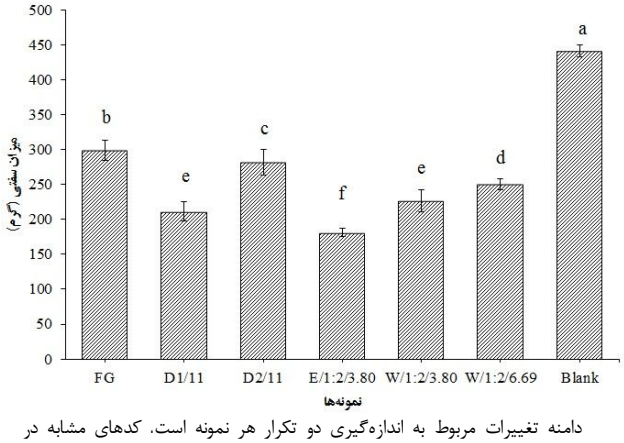
**مقایسه ویسکوزیته ظاهری:** نتایج این بررسی در جدول3 نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌ها با افزایش سرعت چرخشی، گرانروی ظاهری کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند ناشی از باز شدن پیوندهای داخل ساختار و جهت یافتگی واحدهای بیوپلیمری باشد.

جدول3 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 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 (شکل2، 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.

**جدول3.** ویسکوزیته ظاهری (سانتی پوآز) نمونه‌های سس‌های مایونز در سرعت‌های چرخشی متفاوت

| کد | سرعت چرخشی (دور بر دقیقه) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| FG | $3/36\times10^4$ | $1/86\times10^4$ | $1/06\times10^4$ | $0/73\times10^4$ | $0/56\times10^4$ |
| D1/11 | $2/15\times10^4$ | $1/20\times10^4$ | $0/70\times10^4$ | $0/49\times10^4$ | $0/38\times10^4$ |
| D2/11 | $2/71\times10^4$ | $1/54\times10^4$ | $0/86\times10^4$ | $0/61\times10^4$ | $0/48\times10^4$ |
| E/1:2/3.80 | $1/87\times10^4$ | $1/13\times10^4$ | $0/68\times10^4$ | $0/49\times10^4$ | $0/39\times10^4$ |
| W/1:2/3.80 | $2/00\times10^4$ | $1/14\times10^4$ | $0/68\times10^4$ | $0/48\times10^4$ | $0/37\times10^4$ |
| W/1:2/6.69 | $2/35\times10^4$ | $1/37\times10^4$ | $0/80\times10^4$ | $0/57\times10^4$ | $0/45\times10^4$ |
| Blank | $5/22\times10^4$ | $2/85\times10^4$ | $1/64\times10^4$ | $1/21\times10^4$ | $0/96\times10^4$ |

**سفتی یا استحکام بافت:** در شکل3، 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 گرمخانه گذاری 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 $P<0/05$).




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

**شکل3.** سفتی نمونه‌های سس مایونز

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

**آزمون رنگ سس‌های مایونز:** همان‌طوری که در جدول4 مشاهده می‌شود مایونز حاصل از کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی دو هفته گرمخانه گذاری شده، دارای رنگ روشن‌تری نسبت به بقیه نمونه‌هاست اما این تفاوت در مقایسه با نمونه‌های مایونز حاصل از کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی یک هفته گرمخانه گذاری شده، تیمار حرارتی مرطوب و نمونه بازار معنی‌دار 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 تخم‌مرغ و دیگر افزودنی‌ها) است.

نمونه مایونز حاصل از صمغ فارسی و W/1:2/3.80 نیز بالاترین زردی را بعد از مایونز بازار به خود اختصاص داده‌اند که احتمالاً به دلیل ذرات چربی بزرگ‌تر نمونه‌هاست. از نظر زردی در سایر نمونه‌ها هم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

**جدول4.** میانگین شاخص‌های رنگ در نمونه‌های مایونز

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

- حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح P<0/05 می‌باشد.
* پارامترهای *L، *a و *b به ترتیب بیانگر شاخص‌های روشنایی، قرمزی و زردی نمونه‌هاست.

## • بحث

اندازه ذرات امولسیون یکی از عوامل کلیدی در تعیین ویژگی‌های سیستم امولسیونی است. در این مطالعه اندازه ذرات چربی در مایونزهای تولیدی و بازار با هم مقایسه شده است. نمونه مایونز حاصل از کمپلکس کوالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی یک هفته گرمخانه گذاری شده در مقایسه با نمونه دو هفته گرمخانه گذاری شده، میانگین اندازه ذرات کمتری نشان داد. این اتفاق ممکن است مربوط به اتصال کووالانسی بتالاکتوگلوبولین به صمغ فارسی باشد زیرا طی گذشت زمان گرمخانه‌گذاری، کمپلکس‌های با وزن مولکولی بالا به وجود می‌آید که منجر به کاهش حلالیت کمپلکس کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی می‌گردد و در نتیجه بعد از هموژنیزاسیون به‌سختی در فضای بین سطحی روغن-آب نفوذ می‌کنند (27). به علاوه، احتمالاً ناشی از شکست ترکیبات آمادوری بعد دو هفته گرمخانه‌گذاری 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 مناسب‌تر به لحاظ ویژگی‌های حسی می‌گردد. علاوه بر کمپلکس‌های کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی تولیدی در تیمار خشک، کمپلکس‌های 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. به‌طور کلی، دو واکنش طی حرارت دادن در حالت محلول اتفاق می‌افتد: 1) دناتوراسیون یا توده‌ای شدن بتالاکتوگلوبولین 2) اتصال کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی. در حقیقت، این برهمکنش‌ها می‌تواند با pH، دما، نسبت بیوپلیمری و ... کنترل شود (29). به علاوه، اثر ازدحام مولکولی (Macromolecular crowding effect) هم این مشکل را محدود می‌نماید (30). ویژگی‌های امولسیون کنندگی بهتر W/1:2/6.69 و W/1:2/3.80 می‌تواند مربوط به میزان بیشتر صمغ فارسی در کمپلکس باشد که باعث محدود کردن پیشرفت توده‌ای 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 $pH_c>pH>pH_{\Phi 1}$ (pH =3/80) می‌تواند مربوط به اتصال بین کمپلکس‌های محلول در pH اسیدی باشد. Vardhanabhuti و همکاران دریافتند که کاهش pH (از 6/2 به 5/6) منجر به تولید کمپلکس‌های با وزن مولکولی بالا در بتالاکتوگلوبولین و دکستران شد (31).

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

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

می‌گردد، که با اِعمال کردن تنش در برابر حرکت آزادانه مخالفت نموده و از این رو، ویسکوزیته افزایش می‌یابد. کاهش قطر ذرات چربی باعث می‌گردد که سطح تماس بین قطرات چربی بیشتر شده و در نتیجه افزایش ویسکوزیته را به دنبال خواهد داشت. بنابراین، ویسکوزیته نمونه‌ها می‌تواند تا اندازه‌ای 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 مصرف‌کنندگان بسیار مؤثر است. یکی از دلایل بالا بودن ویسکوزیته نمونه مایونز بازار می‌تواند مربوط به روش تولید متفاوت آن با نمونه‌های تولیدی با کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی باشد زیرا شرایط تولید آنها با هم متفاوت است. بنابراین، براساس ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی فرمولاسیون‌ها 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 ویژگی‌های گفته شده با فرمولاسیون بازار برابری داشته باشد. در حقیقت یکی از دلایل پایین بودن ویسکوزیته ظاهری و استحکام بافت مایونزهای تولیدی با کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی، صمغ فارسی تنها و نمونه بازار مربوط به میزان صمغ فارسی مصرفی در فرمولاسیون مایونز است. زیرا در تمامی فرمولاسیون‌ها 1% وزنی بیوپلیمر کل (بدون در نظر گرفتن نسبت بیوپلیمری) استفاده شد که بسته به نسبت بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی، مقدار صمغ فارسی در فرمولاسیون‌ها متفاوت است. وجود صمغ فارسی عامل مهمی در افزایش ویسکوزیته و سفتی بافت است. Diftis و همکاران (2005) خصوصیات رئولوژیکی امولسیون‌های سالاد حاوی کمپلکس کووالانسی ایزوله پروتئین سویا و دکستران در حالت خشک را به‌عنوان امولسیفایر با آزمون‌های رئومتری دینامیک (جهت بررسی ساختار امولسیون‌ها و روشن ساختن مکانیسم پایدارسازی آنها در برابر خامه‌ای شدن) بررسی کردند. ویژگی‌های رئولوژیکی و رفتار خامه‌ای شدن سالادهای پوششی تحت تأثیر روند اتصال کووالانسی پروتئین و دکستران و نیز اضافه کردن زانتان است. آنها گزارش کردند که بسته به پیشرفت واکنش کووالانسی پروتئین و پلی‌ساکارید ممکن است اثرات مکانیسم تهی سازی یا فلوکولاسیون عرضی غالب شود که در نتیجه بر متلاشی شدن ساختار شبکه‌ای قطرات چربی طی نگهداری مؤثر است (4).

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 روشن‌تر می‌شود که به دلیل افزایش پراکنش نور است (24). این بیان به‌خوبی در مورد کمپلکس‌های کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی مشاهده شد. همچنین، عامل $b^*$ بالاتر (زردی بیشتر) و $a^*$ بالاتر (قرمزی بیشتر) را نشان می‌دهد. نمونه مایونز بازار با بالاترین زردی و اختلاف معنی‌دار با بقیه نمونه‌ها نشان دهنده وجود زرده تخم‌مرغ 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 کمپلکس‌های تیمار حرارتی شده خشک، رنگ زرد مایل به قهوه‌ای روشن داشته اما کمپلکس‌های 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 کوالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی، به دلیل عملکرد امولسیونی بالای 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، می‌توان علاوه بر نقش پایدارکنندگی، به‌عنوان امولسیفایر جایگزین تخم‌مرغ شود. کمپلکس‌های کووالانسی بتالاکتوگلوبولین و صمغ یک و دو هفته گرمخانه‌گذاری شده عملکرد بهتری داشتند و با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان ادعا کرد که کمپلکس‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ فارسی می‌توانند به‌عنوان یک امولسیفایر و یا پایدارکننده در فرمولاسیون سس مایونز به کار روند.

## سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های 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 دستگاه‌های پراکنش اشعه لیزر و آنالیز بافت سپاسگزاری می‌گردد.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

## References


1. Dickinson E. Stability and rheological implications of electrostatic milk protein–polysaccharide interactions. Trends Food Sci Tech 1998; 9: 347-354.
2. 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.
3. Kato A. Industrial Applications of Maillard-Type Protein-Polysaccharide Conjugates. Food Sci Technol Res 2002; 8: 193-199.
4. 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.
5. Duncan SE. Fats: Mayonnaise P 329-341, In: Food Processing; Principles and Applications. Smith JS and Hui YH, (edi). Blackwell Publishing 2004.
6. 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].
7. Depree JA Savage GP. Physical and flavour stability of mayonnaise. Trends Food Sci Tech 2001; 12: 157-163.
8. Nunes MC, Raymundo A, Empis J, Sousa I. Physical Characterisation of Commercial Mayonnaises and Salad Dressings. Rheo pt 2002; 2: 30-41.
9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Mayonnaise and salad dressing, ISIRI no 2454. Karaj: ISIRI; 1992 [in Persian].
10. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Shirazi Gum (Zedo). ISIRI no 442. Kaaj: ISIRI [in Persian].
11. Fadavi G, Mohammadifar MA, Zargarran A, Mortazavian AM, Komeili, R. Composition and physicochemical properties of Zedo gum exudates from Amygdalus scoparia. Carbohyd polym 2014; 101: 1074-1080.
12. Gasempour Z, Alizadeh M, Bari, MR. Optimisation of probiotic yoghurt production containing Zedo gum. Int J Dairy Technol 2012; 65: 118-125.
13. Golkar A, Nasirpour A, Keramat J. β-lactoglobulin-Angum Gum (Amygdalus Scoparia Spach) Complexes: Preparation and Emulsion Stabilization. J Disper Sci Technol 2014; 36: 38-694.
14. 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.
15. 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.
16. 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]
17. 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]
18. 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]
19. 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.
20. Jones OG, Decker EA, McClements DJ. Formation of biopolymer particles by thermal treatment of β-lactoglobulin–pectin complexes. Food Hydrocolloid 2009; 23: 1312-1321.
21. Neirynck 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.
22. Golkar A. Emulsifying Properties of Covalent and Non-covalent Complexes of β-lactoglobulin-Farsi Gum [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture; 2013 [in Persian].
23. Mesbahi GR, Jamalian J, Golkari H. Substitution of Tragacanth in Mayonnaise for Imported Stabilizers and Thickeners. J Water Soil Sci 2004; 8:191-205.
24. 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.
25. Yam KL, Papadakis SE. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. J Food Eng 2004; 61: 137-142.
26. Liu H, Xu XM, Guo SD. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. LWT 2007; 40: 946-954.
27. Golkar A, Nasirpour A, Keramat J. Emulsifying properties of Angum gum (Amygdalus scoparia Spach) conjugated to β-lactoglobulin through Maillard-type conjugation. Int J Food Prop 2014; 18: 2042-2055.


[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

28. Miralles B, Martínez-Rodríguez A, Santiago A, van de Lagemaat J, Heras A. The occurrence of a Maillard-type protein-polysaccharide reaction between β-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 β-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.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]

# Production of Reduced-fat Mayonnaise Using Electrostatic and Covalent Complexes of β-lactoglobulin and Farsi Gum

*Golkar A[1], Nasirpour A[2*], Keramat J[3]*

*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 β-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 β-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 ºC and relative humidity of 75%, 1:1 biopolymer mixing ratio) β-lactoglobulin-Farsi gum complex (D1/11) had the smallest size. Mayonnaise containing Farsi gum and W/1:2/6.69 (wet-heated β-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, β-lactoglobulin-Farsi gum complexes can be used as emulsifier and stabilizer in mayonnaise and salad dressing.

**Keywords:** β-lactoglobulin, Farsi gum, Reduced-fat mayonnaise, Electrostatic, Covalent

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-11 ]