

تأثیر کاربرد ایزوله پروتئین جوانه گندم و زانتان به عنوان جایگزین‌های زرده تخم مرغ بر ویژگی‌های رئولوژیکی سس مایونز

مهشید رهبری^{۱*}، مهران اعلمی^۲، مهدی کاشانی نژاد^۲، یحیی مقصودلو^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد (دانشجوی دکتری) علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

سس مایونز یک امولسیون روغن در آب بوده و از پر مصرف‌ترین سس‌ها در سراسر جهان محسوب می‌شود. زرده تخم مرغ، با ویژگی امولسیون کنندگی بالای خود، از ترکیبات عمده مایونز محسوب می‌شود، اما سطح کلسترول بالای موجود در زرده تخم مرغ، باعث شده است که در پی جایگزین‌هایی برای آن و تولید مایونز کم کلسترول، برآیند. در این تحقیق با هدف تولید مایونز کم کلسترول، از ایزوله پروتئین جوانه گندم و صمغ زانتان، به عنوان جایگزین زرده تخم مرغ استفاده شده است. ۱۰ تیمار مختلف با ترکیب ایزوله پروتئین جوانه گندم، زرده تخم مرغ (۹-۰ درصد) و صمغ زانتان (۵/۰-۰ درصد) به منظور جایگزینی با ۹ درصد زرده تخم مرغ موجود در مایونز، با استفاده از طرح آزمایشی مخلوط اپتیمال، مشخص و تأثیر این ترکیبات بر ویژگی‌های رئولوژیکی و ریز ساختار نمونه‌های مایونز بررسی گردید. نتایج آزمون رفتار جریان، نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش و خاصیت تیکسوتروپیک نمونه‌های مایونز بود، که با مدل قانون توان تطبیق داده شد و فاکتورهای مربوط به این مدل در هر تیمار تعیین گردید. همچنین تیمارهای مورد مطالعه، از لحاظ رئولوژیکی ویژگی‌های یک ژل ضعیف را نشان داده و بر روی ویژگی‌های به‌دست آمده از آزمون نوسانی روبش فرکانس مانند مدول ذخیره، مدول افت و تانژانت افت، اثر معنی‌دار داشتند ($P < 0.05$). مقایسه نتایج حاصل از آزمون‌های رئولوژیکی و آزمون میکروسکوپی تیمارها با نمونه شاهد نشان داد که نمونه‌های مایونز کم کلسترول حاوی ایزوله پروتئین جوانه گندم و زانتان، از لحاظ رئولوژیکی و ساختاری با مایونز تجاری برابری کردند و تیمار ۱۰ با ۷۱/۵ درصد و ۴/۲ درصد جایگزینی زرده تخم مرغ با ایزوله پروتئین جوانه گندم و زانتان، به ترتیب، بیشترین نزدیکی را به نمونه شاهد نشان داد.

کلید واژگان: سس مایونز کم کلسترول، ایزوله پروتئین جوانه گندم، صمغ زانتان، ویژگی‌های رئولوژیکی

* مسئول مکاتبات: mahshidrahbari@yahoo.com

۱- مقدمه

سس مایونز نوعی امولسیون روغن در آب است که از امولسیون شدن روغن‌های گیاهی خوراکی در یک فاز آبی به وجود می‌آید. امولسیون روغن در آب مایونز توسط زرده تخم مرغ ایجاد می‌شود که ویژگی امولسیون کنندگی و پایداری مناسبی داشته و ساختمان غالب موجود در فاز پیوسته را تشکیل می‌دهد [۱]. تخم مرغ ارزش تغذیه‌ای بالایی نیز دارد، اما امروزه افزایش مصرف تخم مرغ به خاطر کلسترول بالای موجود در زرده آن، نگرانی عمده‌ای را ایجاد کرده است [۲]. بنابراین مطالعات مختلفی جهت جایگزین کردن زرده تخم مرغ مایونز با هدف کاهش کلسترول فراورده، انجام شده است [۳]. با توجه به توانایی پروتئین‌های گیاهی در کاهش کشش سطحی بین ترکیبات آب دوست و آب گریز، تا کنون چند نوع پروتئین گیاهی مانند پروتئین سویا [۵، ۶]، پروتئین لوبیای لوبین^۱ [۷] و پروتئین گندم [۸، ۹]، به عنوان عامل امولسیون کننده در امولسیون‌های روغن در آب به کار گرفته شده‌اند. جوانه گندم فراورده جانبی حاصل از آسیاب گندم بوده و منبع عمده ویتامین‌ها و ترکیبات عملکردی مانند فرولیک اسید، فیتیک اسید، گلوکوتائون، فیتواستروئول، همچنین، مواد معدنی، فیبر رژیمی و فلاونوئیدها می‌باشد. نظر به ارزش تغذیه‌ای بالا و ویژگی‌های عملکردی مناسب، متخصصان تغذیه، از جوانه گندم به عنوان "خزانه مغذی طبیعی و منبع زندگی بشر" یاد می‌کنند [۱۰]. جوانه گندم حاوی حدود ۱۰ درصد روغن بوده که به‌طور عمده در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی، بهداشتی استفاده می‌شود. فراورده جانبی مهم فرایند استخراج روغن، جوانه چربی گرفته نام دارد که مقدار نسبتاً بالایی (حدود ۳۵ درصد) پروتئین دارد. پروتئین جوانه گندم، که غنی از پروتئین‌های محلول در آب و محلول در آب نمک می‌باشد، از ویژگی‌های عملکردی مطلوبی برخوردار است که آن را تبدیل به

ترکیبی سودمند برای استفاده در فراورده‌های غذایی مختلف، از جمله گوشت‌های فرایند شده، غلات، غذاهای پخته شده و نوشیدنی‌ها کرده است. فعالیت امولسیفایری، توانایی حفظ آب بالا، کف کنندگی و حالیت بالا، از جمله این ویژگی‌ها می‌باشند [۱۱، ۱۲]. جوانه گندم همچنین غنی از اسیدهای آمینه به ویژه اسیدهای آمینه ضروری که در بسیاری از دانه‌های غله‌ای کمیاب هستند، مانند لایزین، متیونین و ترئونین می‌باشد، به همین دلیل، یکی از منابع مهم و با ارزش پروتئین‌های گیاهی به شمار می‌رود [۱۳].

مایونز از نظر رئولوژیکی یک سیال غیر نیوتونی و شبه پلاستیک بوده و دارای خاصیت تیکسوتروپیک می‌باشد [۱۴، ۱۵]. با توجه به اهمیت ویژگی‌های رئولوژیکی در مدت ماندگاری، کیفیت بافتی و کنترل کیفیت فراورده، تحقیقات زیادی روی این ویژگی‌ها در سس مایونز کم کلسترول حاوی پروتئین و پلی ساکارید، شامل ارزیابی ویژگی‌های جریان و ویسکوالاستیسیته محصول، صورت گرفته است. ماندالا و همکاران [۱۶] با افزودن زانتان به سس سفید و هرالد و همکاران [۹] با استفاده از ایزوله پروتئین گندم در مایونز، رفتار رقیق شونده با برش نمونه‌ها را گزارش کرده و نشان دادند که در نمونه‌های حاوی درصد بیشتر پروتئین و صمغ، به دلیل افزایش غلظت فاز پیوسته، ویسکوزیته ظاهری افزایش می‌یابد. لاکا و همکاران [۴] با انجام عمل سانتیفریوژ با دور بالا، بخش گرانولی زرده تخم مرغ که حاوی مقدار کمی کلسترول می‌باشد را از بخش پلاسما جدا کرده و به عنوان جایگزین زرده تخم مرغ در مایونز استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش مقدار گرانول‌های زرده تخم مرغ، مقادیر مدول ذخیره^۲ و مدول کمپلکس^۳ افزایش می‌یابد و نمونه‌ها رفتار ویسکوالاستیک جامد نشان می‌دهند.

2. Storage modulus
3. Complex modulus

1. Lupin Protein

به هر حال، تا کنون هیچ گونه مطالعه‌ای در خصوص استفاده از ایزوله پروتئین جوانه گندم (WGPI)^۱ به عنوان جایگزین زرده تخم مرغ سس مایونز صورت نگرفته است. بنابراین، در پژوهش حاضر از ترکیبی از WGF^۲ و صمغ زانتان (XG)^۳ در قالب ده تیمار با استفاده از طرح مخلوط اپتیمال^۴، با هدف جایگزین کردن تخم مرغ مایونز استفاده شده و تاثیر این ترکیبات بر ویژگی‌های جریان و خصوصیات ویسکوالاستیک مایونز بررسی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه آرد چربی گرفته جوانه گندم

جوانه گندم از یکی از کارخانه‌های آرد شهر گرگان تهیه گردید و با استفاده از هگزان چربی‌گیری و توسط آسیاب آزمایشگاهی (Pertin, 3100) ساخت کشور آلمان، آسیاب شد، به طوری که ذرات آرد شده از الک با مش^۴ ۱۰۰ عبور کنند. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی با درب بسته در شرایط دمایی ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

۲-۲- تهیه ایزوله پروتئینی

مطابق مطالعات انجام شده [۱۷، ۱۸، ۱۹]، از روش استخراج قلیایی و ترسیب اسیدی برای تهیه ایزوله پروتئینی استفاده گردید. ابتدا سوسپانسیونی از آرد چربی گرفته جوانه گندم (DWGF)^۵ و محلول ۰/۵ مولار NaCl تهیه شده، سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق مخلوط شد، پس از تنظیم pH سوسپانسیون روی ۱۰، با استفاده از NaOH ۰/۵ مولار و گذشت زمان ۳۰ دقیقه، سوسپانسیون حاصل در ۸۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، با استفاده از سانتریفوژ یخچال‌دار، سانتریفوژ گردید. سپس محلول رویی

(سوپرناتانت)^۶ حاصل جدا شده و به منظور ترسیب پروتئین‌ها،

ن روی ۴ (نقطه

ایزوالکتریک) تنظیم شد. پس از ۳۰ دقیقه، مجدداً سانتریفوژ انجام شده و رسوب‌های حاصل جدا شده و پس از خنثی کردن pH، رسوب‌ها با استفاده از خشک‌کن انجمادی، خشک شدند.

۲-۳- تهیه مایونز

برای هر تیمار مقدار یک کیلوگرم مایونز تهیه شد. مواد اولیه جهت تولید مایونز از یکی از کارخانه‌های معتبر داخلی تهیه شد.

سس‌های مایونز با فرمولاسیون مشابه همان کارخانه تهیه شدند، با این تفاوت که مقدار زرده تخم مرغ تغییر یافت و ایزوله پروتئین جوانه گندم و صمغ زانتان، مطابق تیمارهای تعریف شده جایگزین آن شدند (جدول ۱)، به طوری که برای زرده تخم مرغ (A) و ایزوله پروتئین جوانه گندم (B) ۹-۰ گرم و برای صمغ زانتان (C) ۵/۰-۰ گرم در ۱۰۰ گرم مایونز در نظر گرفته شد.

این مقادیر بر اساس درصد زرده تخم مرغ در مایونز معمولی (۹ درصد) بوده و مجموع سه ترکیب برابر ۹ گرم در هر ۱۰۰ گرم مایونز، مشخص شد. لازم به ذکر است که WGPI و زانتان جایگزین ماده خشک تخم مرغ شده و به صورت محلول در آب به هر فرمولاسیون اضافه شدند (جدول ۲).

برای تولید مایونز، از مخلوط‌کن آزمایشگاهی^۷ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه استفاده شد. برای تهیه مایونز، ابتدا مقداری آب، زرده تخم مرغ، یک سوم سرکه و مواد پودری شامل نمک، شکر، پودر خردل، WGPI و زانتان با همدیگر مخلوط شدند.

1. Wheat Germ Protein Isolate (WGPI)

2. Xanthan Gum (XG)

3. Optimal mixture design

2. Mesh

3. Defatted Wheat Germ Flour (DWGF)

4. Supernatant

5. Kenwood, AW34655, Germany

جدول ۱ فرمولاسیون سس مایونز: تولدی (درصد وزنی)*

ترکیبات	روغن	زرد تخم مرغ	ایزوله پروتئین جوانه گندم	صمغ زانتان	سر-۱۱٪	سر-۵	سر-۱	سر-۰/۳	آب	پایدار کننده ها
مقدار	۶۵	متغیر	متغیر	متغیر	۷	۵	۱	۰/۳	۱۲/۵۵	۰/۱۵

(درصد وزنی)

*مجموع درصد تخم مرغ، ایزوله پروتئین جوانه گندم و صمغ زانتان ۹٪ می باشد، که در تیمارهای مختلف، متفاوت است.

رئولوژیکی پایا (آزمون رفتار جریان) و آزمون های نوسانی (رویش کرنش^۲ و رویش فرکانس^۳) بودند.

شرایط انجام آزمون رفتار جریان^۴

در این آزمون فاصله صفحات ۱ میلی متر و محدوده نرخ برش s^{-1} ۰/۰۵-۴۵۰ بود. این آزمون برای رسم نمودارهای جریانی و مشخص نمودن تغییرات ویسکوزیته ظاهری^۵ انجام شد. به منظور تعیین مدل مناسب برای توصیف رفتار جریانی، مدل قانون توان^۶ بر داده های تجربی برازش داده شد و پارامترهای مدل مذکور برای کلیه نمونه ها تعیین گردید. رابطه زیر، رابطه این مدل را نشان می دهد:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

که در این رابطه τ تنش برشی (Pa)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1})، K ضریب قوام^۷ ($Pa.s^n$) و n شاخص رفتار جریانی^۸ (بدون بعد) می باشد. ضریب قوام، بزرگی ویسکوزیته سیال و شاخص رفتار جریان، میزان نزدیکی رفتار سیال به سیال نیوتونی را نشان می دهد.

شرایط انجام آزمون های نوسانی^۹

آزمون رویش کرنش در محدوده کرنش ۱۰۰۰-۰/۰۰۵ درصد و فرکانس ثابت ۱ هرتز، به منظور تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شد، زیرا آزمون های ویسکوالاستیک زمانی ارزشمند و قابل تفسیر خواهند بود که در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شوند. آزمون رویش فرکانس در

سیس روغن با سرعت تقریباً ثابت به صورت باریکه از کنار ظرف به آن ها اضافه و در نهایت باقی مانده آب و سرکه به مخلوط افزوده شد. کلیه مراحل تولید طی ۱۱ دقیقه انجام شد و پس از کامل شدن تولید و پر کردن در ظروف شیشه ای، نمونه ها در یخچال (۴ درجه سانتی گراد) قرار داده شدند و پس از یک هفته نگهداری کلیه آزمون ها بر روی آن ها انجام شد.

جدول ۲ تیمارهای آزمایش بر اساس متغیرهای فرمول در طرح

مخلوط اپتیمال (متغیرها بر حسب گرم)*

تیمار (t)	A	B	C
۱	۴/۳۸	۴/۳۸	۰/۲۵
۲	۹	۰	۰
۳	۸/۵	۰	۰/۵
۴	۰	۹	۰
۵	۶/۴۴	۲/۱۹	۰/۳۸
۶	۰	۸/۵	۰/۵
۷	۸/۷۵	۰	۰/۲۵
۸	۴/۵	۴/۵	۰
۹	۰	۸/۷۵	۰/۲۵
۱۰	۲/۱۹	۶/۴۴	۰/۳۸

*A: زرد تخم مرغ، B: ایزوله پروتئین جوانه گندم، C: صمغ زانتان (A+B+C=۹ گرم)

۲-۴- بررسی ویژگی های رئولوژیکی

آزمون های رئولوژیکی توسط دستگاه رئومتر MCR301 ساخت شرکت Anton Paar اتریش، با استفاده از دو صفحه موازی^۱ در دمای $20^{\circ}C$ انجام شد. این آزمون ها شامل آزمون

2. Strain sweep
3. Frequency sweep
4. Flow behavior test
5. Apparent viscosity
6. Power law
7. Consistency coefficient
8. Flow behavior index
9. Dynamic oscillation

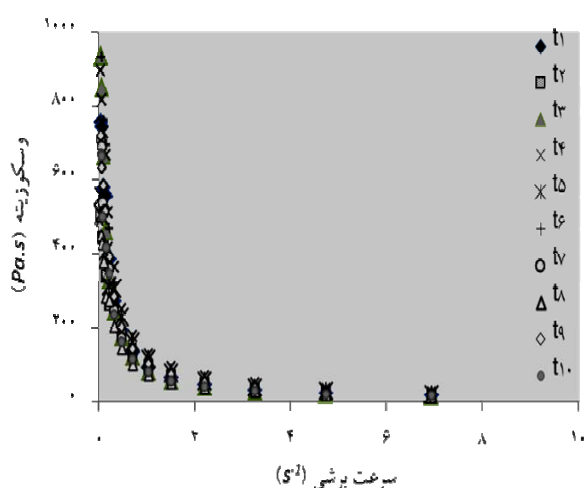
1. Parallel plate

سه ترکیب زرده تخم مرغ، ایزوله پروتئین جوانه گندم و زانتان استفاده شد. ترکیب چندگانه از این متغیرها منجر به یک طرح آزمایشی با ۱۰ تیمار گردید (جدول ۲). آزمون میانگین واریانس جهت بررسی معنی دار بودن اختلاف داده‌ها توسط نرم افزار SPSS (نسخه ۱۸) انجام گرفت ($P < 0.05$). کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویسکوزیته ظاهری

ارتباط بین ویسکوزیته ظاهری و سرعت برشی نمونه‌های مایونز در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مایونز با افزایش سرعت برشی (منظور از t_1 تا t_{10} تیمارهای ۱ تا ۱۰ می‌باشند) با افزایش سرعت برش، ویسکوزیته ظاهری تمامی نمونه‌ها کاهش یافت و تمام نمونه‌ها رفتار رقیق شونده با برش^۴ نشان دادند. در یک امولسیون غلیظ، به هم پیوستگی ذرات، منجر به شکل گیری شبکه سه بعدی از ذرات تجمع یافته می‌گردد. با ایجاد نیروی برشی بر روی امولسیون، ذرات تجمع یافته به صورت پیش رونده تخریب شده و مقاومت امولسیون به جریان کاهش می‌یابد. این امر موجب کاهش ویسکوزیته ظاهری امولسیون در طی زمان می‌شود [۲۱]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت پروتئین و صمغ (تیمارهای ۴، ۶ و ۹)، ویسکوزیته ظاهری در تمام محدوده نرخ برش افزایش می‌یابد، که می‌تواند به دلیل ترکیب این دو ماده باشد که با عمل

محدوده فرکانس ۱۰۰-۰/۰۰۱ هرتز و با اعمال کرنش ثابت ۰/۵ درصد در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شد [۲۰]. منحنی‌هایی که از آزمون روبش فرکانس بدست می‌آیند ممکن است بر حسب فرکانس (با واحد هرتز) یا فرکانس زاویه ای (با واحد رادیان بر ثانیه) رسم شوند. دو پارامتر مهم که از این آزمون نتیجه می‌شوند، مدول ذخیره یا مدول برشی (G') و مدول ویسکوز یا مدول افت^۱ (G'') می‌باشند. مدول ذخیره میزان رفتار الاستیک و مقدار انرژی بازیابی شده در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش را نشان می‌دهد و مدول افت یا مدول ویسکوز (G'') بیانگر میزان رفتار جریانی و مقدار انرژی به هدر رفته در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش می‌باشد. در آزمون روبش فرکانس چنانچه $G' > G''$ ، نمونه دارای رفتار ویسکوالاستیک جامد و چنانچه $G'' > G'$ ، نمونه رفتار ویسکوالاستیک مایع از خود نشان می‌دهد. نسبت G' به G'' ، پارامتر دیگری را نشان می‌دهد که تانژانت افت^۲ نامیده می‌شود. چنانچه تانژانت افت بزرگتر از یک باشد، بدین مفهوم است که ماده ویسکوالاستیک مایع است و در صورتی که کمتر از یک باشد، بیانگر رفتار ویسکوالاستیک جامد در ماده می‌باشد.

۲-۵- بررسی ریز ساختار مایونز

به منظور مطالعه و مقایسه ریز ساختار نمونه‌های مایونز، از بافت کلیه نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ نوری مجهز به دوربین^۳ عکس برداری شد. ابتدا مقدار کمی از نمونه مایونز به-طور مستقیم روی لام قرار گرفت و پس از توزیع یکنواخت نمونه روی لام و مشاهده آن با عدسی با بزرگنمایی ۴۰، از نمونه‌ها عکس تهیه شد و مشخصات ابعادی نمونه‌ها توسط نرم افزار Image J تعیین گردید.

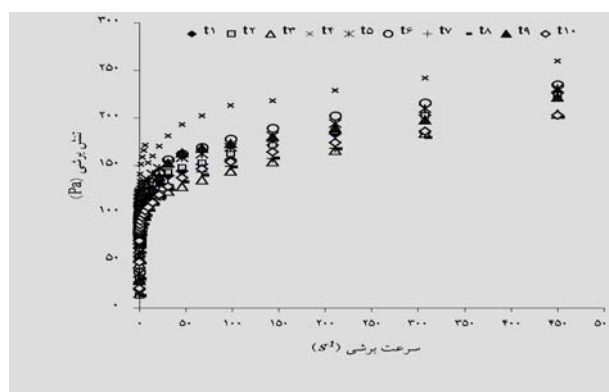
۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر جایگزین کردن زرده تخم مرغ مایونز با ایزوله پروتئین جوانه گندم و صمغ زانتان، در تهیه سس مایونز کم کلسترول، از طرح مخلوط اپتیمال توسط نرم افزار Design Expert (نسخه ۱، ۷، ۸، ۰) برای

1. Loss modulus
2. Loss tangent
3. Olympus DP-12, Japan

4. Shear thinning

امولسیون کنندگی و پایدار کنندگی خود، حرکت قطرات روغن را کاهش داده، فیلم ویسکوالاستیک در اطراف قطرات روغن تشکیل می‌دهند و امولسیون روغن در آب را پایدار می‌کنند. سایر پژوهشگران با کاربرد پروتئین گندم به عنوان جایگزین تخم مرغ در مایونز [۹] و با افزودن زانتان به سس سفید [۱۶]، به نتایج مشابهی دست یافتند. از داده‌های ویسکوزیته ظاهری در سرعت‌های برش میانی ($1-100\text{ s}^{-1}$) برای مطالعه ارزیابی حسی و احساس دهانی استفاده می‌شود. به همین منظور، ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها در سرعت برشی 50 s^{-1} مقایسه شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که افزایش مقدار WGPI و صمغ زانتان در نمونه‌ها، موجب افزایش ویسکوزیته می‌گردد. کمترین ویسکوزیته مربوط به تیمار ۸ (50% جایگزینی تخم مرغ با WGPI و فاقد زانتان) بود (جدول ۳) و تیمار ۴ (حاوی 9% WGPI) بیشترین ویسکوزیته را نشان داد ($4/17\text{ Pa.s}$). همچنین کلیه تیمارها به جز تیمار ۸ ویسکوزیته بالاتری از تیمار ۲ (شاهد) نشان دادند ($3/05\text{ Pa.s}$). امولسیون‌ها با قرارگیری پروتئین در اطراف قطرات روغن که موجب جلوگیری از ادغام شدن قطرات روغن (کوالسنس)^۱ ذرات می‌شود، پایدار می‌شوند. در واقع پروتئین نقش امولسیون کننده و پایدار کننده دارد. پلی ساکاریدها مانند صمغ، نقش پایدار کننده داشته و عمل خود را از طریق افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و کاهش حرکت قطرات روغن ایفا می‌کنند [۲۲].



شکل ۲ رابطه تنش برشی - سرعت برشی نمونه‌های مایونز (منظور از t_1 تا t_{10} تیمارهای ۱ تا ۱۰ می‌باشند)

۲-۳- رفتار جریان

شکل ۲ رابطه تنش برشی در مقابل سرعت برشی نمونه‌های مختلف مایونز را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه تنش برشی - سرعت برشی غیر خطی می‌باشد، بنابراین ی طبقه بندی می‌شوند. از طرفی به دلیل کاهش ویسکوزیته ظاهری با افزایش سرعت برشی، نمونه‌های مایونز رفتار رقیق شونده با برش دارند. به منظور تعیین رفتار جریان نمونه‌های مایونز، مدل قانون توان با ضریب همبستگی (R^2) بالا، برای برازش داده‌های تنش برشی در مقابل سرعت برشی استفاده شد. در جدول ۳ و ۴ مقادیر پارامترهای مدل قانون توان، برای هریک از نمونه‌های سس مایونز نشان داده شده است. مدل قانون توان در سطح وسیعی جهت توصیف روابط بین تنش برشی و سرعت برشی در بسیاری از فراورده‌ها و امولسیون‌های غذایی روغن در آب به کار می‌رود [۱۶]. سانهیول و همکاران [۲۳] ضمن بررسی ویژگی‌های رفتار جریان سس مایونز تولید شده از پروتئین نوعی ماهی صاف^۲ به عنوان جایگزین تخم مرغ، رفتار رقیق شونده با برش نمونه‌های مایونز را گزارش کردند. همچنین، تمام نمونه‌های مایونز حاوی پروتئین لوبیایی لوبین و زانتان، رفتار رقیق شونده با برش نشان دادند [۷].

جدول ۳ پارامترهای مدل قانون توان برای نمونه‌های مایونز (منحنی بارگذاری)^۱

نمونه مایونز (t)	K (Pa.s)	n	R^2	ویسکوزیته در سرعت برشی 50 s^{-1} (Pa.s)
۱	۸۲/۲۲	۰/۱۷۲	۰/۹۳	$3/11 \pm 0/02^{cd}$
۲	۷۶/۶۲	۰/۲۰۰	۰/۹۰	$3/05 \pm 0/03^d$
۳	۸۸/۲۲	۰/۱۵۳	۰/۹۵	$3/19 \pm 0/025^c$
۴	۱۱۶/۸۹	۰/۱۴۰	۰/۹۱	$4/17 \pm 0/03^a$
۵	۸۵/۱۰۵	۰/۱۶۰	۰/۹۰	$3/20 \pm 0/035^c$
۶	۱۰۵/۵۳	۰/۱۲۰	۰/۹۱	$3/61 \pm 0/04^b$
۷	۸۱/۴۳	۰/۱۸۵	۰/۹۴	$3/08 \pm 0/02^{cd}$
۸	۶۱/۹۶	۰/۲۰۰	۰/۹۴	$2/81 \pm 0/015^e$
۹	۹۸/۶۴	۰/۱۴۳	۰/۹۲	$3/56 \pm 0/02^b$
۱۰	۸۸/۷۷	۰/۱۵۰	۰/۹۵	$3/20 \pm 0/010^c$

1. Arrowtooth flounder

1. Coalescence

۳، ۷، K بیشتری داشتند. کمترین K در تیمار ۸ (۵۰٪ جایگزینی زرده تخم مرغ با پروتئین و فاقد زانتان)، مشاهده شد (۶۱/۹۶). همچنین، تیمار ۸ کمترین ویسکوزیته را نشان داد. به نظر می‌رسد که بین پروتئین تخم مرغ و پروتئین جوانه گندم اثر آنتاگونیستی^۳ وجود دارد و ترکیب این دو ماده با هم نمی‌تواند امولسیون پایداری تولید کند. هرال و همکاران [۹] نیز با افزودن پروتئین گندم و آب پنیر در دو سطح جایگزینی ۵۰ و ۱۰۰ درصد به فرمولاسیون مایونز، نتایج مشابهی را گزارش کردند. سایر پژوهشگران نیز گزارش کردند که با افزایش درصد جایگزینی تخم مرغ با شیر سویا [۲۴] و زانتان [۱۵]، ضریب قوام افزایش می‌یابد. به‌طور کلی تیمارهای حاوی WGPI (تیمار ۴) یا ترکیبی از WGPI و زانتان (تیمارهای ۶ و ۹) در محدوده سرعت برشی اعمال شده، بیشترین میزان نیروی برشی را داشتند، همچنین کمترین مقدار اندیس رفتار جریان و بیشترین مقدار شاخص قوام را نشان دادند. سایر محققان در خصوص استفاده از پروتئین لوبیای لوبین و زانتان در امولسیون روغن در آب [۷] و با کاربرد نشاسته برنج اصلاح شده و زانتان در مایونز [۲۱]، به نتایج مشابهی دست یافتند.

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در تمامی نمونه‌های مایونز تولید شده، منحنی‌های بارگذاری بر منحنی‌های باربرداری منطبق نبوده و ویژگی تیکسوتروپیک^۴ نشان دادند. ممکن است این پدیده به خاطر تجزیه شدن ساختار ماده در اثر تداوم برش باشد. در سیالات تیکسوتروپیک بر خلاف سیالات سودوپلاستیک، در نمودار تنش برشی-سرعت برشی، منحنی بارگذاری (افزایش تنش) و باربرداری (منحنی کاهش تنش پس از گذشت زمان t) بر هم منطبق نیستند. در واقع در سیالات تیکسوتروپیک اگر تنش برشی به عنوان تابعی از سرعت برش اندازه‌گیری شود، زمانی که سرعت برش ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد، در منحنی تنش برشی در برابر سرعت برش، یک حلقه هیستریسیس^۵ مشاهده می‌گردد. تغییر مساحت بین دو منحنی (مساحت هیستریسیس)، متناسب با تجزیه پیش‌رونده ساختار فراورده در طی زمان و افزایش سرعت برشی

جدول ۴ پارامترهای مدل قانون توان برای نمونه‌های مایونز (منحنی باربرداری)^۲

نمونه مایونز (t)	K (Pa.s)	n	R^2
۱	۴۳/۵۰۶	۰/۲۳۴	۰/۹۶
۲	۳۸/۵۳	۰/۲۴۹	۰/۹۶
۳	۴۲/۰۲	۰/۲۳۲	۰/۹۶
۴	۹۰/۸۶	۰/۱۶۶	۰/۹۹
۵	۴۶/۱۷	۰/۲۳۸	۰/۹۶
۶	۸۵/۰۲	۰/۱۴۳	۰/۹۷
۷	۴۰/۳۸	۰/۲۴۴	۰/۹۷
۸	۳۹/۹۱	۰/۲۵۰	۰/۹۷
۹	۷۷/۳۳	۰/۱۵۷	۰/۹۸
۱۰	۴۸/۱۵	۰/۲۳۸	۰/۹۷

شاخص رفتار جریان، شاخصی است که چگونگی رفتار ماده غذایی را مشخص می‌کند و مقادیر آن در محدوده، ۰-۱ می‌باشد. در سیالات نیوتنی $n = 1$ ، در سیالات سودو پلاستیک (رقیق شونده با برش) $0 < n < 1$ و در سیالات دایلاتانت (غلظت شونده با برش) $n > 1$ می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، شاخص رفتار جریان همه نمونه‌ها کمتر از یک می‌باشد، بنابراین نمونه‌های مایونز رفتار رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) دارند [۱۵]. استفاده از هیدروکلوئیدهای دارای n کمتر در مایونز، موجب ایجاد ویسکوزیته بالا و احساس دهانی مطلوب آن می‌شوند. تمامی سس‌های مایونز تهیه شده در این تحقیق اندیس رفتار جریان کمتر از ۰/۴ داشتند که از این حیث استفاده از ترکیب WGPI و زانتان به عنوان جایگزین زرده تخم مرغ، مطلوب به نظر می‌رسد.

با جایگزین کردن مقادیر مختلف WGPI، ضریب قوام افزایش یافت، به‌طوری که تیمار ۴ بیشترین ضریب قوام را نشان داد. افزودن زانتان نیز موجب افزایش ضریب قوام شد. تیمارهای حاوی WGPI و زانتان (۱، ۵، ۶، ۹ و ۱۰)، نسبت به تیمار شاهد و یا تیمارهای حاوی زرده تخم مرغ و زانتان (تیمارهای

3. Antagonistic effect

4. Tixotropic

5. Hysteresis

1. Loading curve

2. Unloading curve

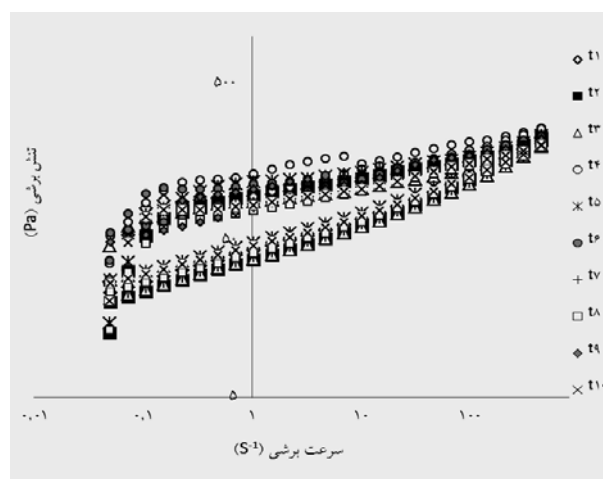
*حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین نمونه‌ها می‌باشد ($P < 0.05$)

همان‌طور که مشاهده می‌شود، تیمار ۲ (شاهد) دارای بیشترین میزان مساحت هیستریسیس بود، که نشان می‌دهد رفتار آن بیش از سایر نمونه‌ها وابسته به زمان بوده و پس از حذف سرعت برشی، کمتر از سایر نمونه‌ها توانایی بازسازی ساختار خود را دارد. تیمار ۴ کمترین میزان مساحت هیستریسیس را نشان داد، بنابراین پایداری رئولوژیکی بیشتری دارد. به‌طور کلی تیمارهای حاوی WGPI یا ترکیبی از WGPI و زانتان، مساحت هیستریسیس کمتری از تیمارهای حاوی تخم مرغ داشتند. در واقع می‌توان مساحت هیستریسیس نمونه‌های مایونز را با میزان ویسکوزیته و قوام آن‌ها مرتبط دانست، به طوری که تیمارهای دارای ویسکوزیته و K بیشتر، (مانند تیمارهای ۴ و ۹) مساحت هیستریسیس کمتر و تیمارهای کمتر ویسکوز، (مانند تیمارهای ۲ و ۸) مساحت هیستریسیس بیشتری نشان دادند. سایر محققان نیز با به کار بردن گرانول‌های زرده تخم مرغ در تولید سس مایونز کم کلسترول، به نتایج مشابهی دست یافتند [۴].

۳-۳- آزمون دینامیکی یا نوسانی

در آزمون روبش کرنش، کرنش 0.05 به عنوان بهترین کرنش متناظر با محدوده ویسکوالاستیک خطی مشخص شد. در محدوده فرکانس‌های اعمال شده در این آزمون، $G' > G''$ بود، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نمونه‌های مایونز ساختار ضعیف و ژل مانند دارند و ویژگی‌های یک ژل ضعیف را نشان می‌دهند. مطالعات مختلف نیز گزارش کرده‌اند که مایونز در فرکانس‌های $10-1$ هرتز، ویژگی‌های ژل ضعیف را نشان می‌دهد [۱۴، ۱۵]. حضور صمغ در فرمولاسیون امولسیون‌های روغن در آب، با افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و کاهش فرایند انعقاد، موجب کوچکتر شدن ذرات روغن شده و الاستیسیته امولسیون را افزایش می‌دهد. ترکیب پروتئین با صمغ می‌تواند با تشکیل ساختار ژلی مستحکم در فاز پیوسته، به افزایش این خاصیت کمک کند [۷]. در این تحقیق، به دنبال کاهش تخم مرغ در فرمولاسیون مایونز و استفاده از WGPI و زانتان، رفتار ویسکوالاستیک جامد در بین تمامی نمونه‌ها مشاهده شد. در واقع با وجود حذف و یا کاهش زرده تخم مرغ

می‌باشد. هرچه وابستگی ماده غذایی به زمان بیشتر باشد، مساحت بین دو منحنی بیشتر خواهد بود. همچنین در منحنی‌های بارگذاری (افزایش سرعت برشی) در مقایسه با منحنی‌های باربرداری (کاهش سرعت برشی) ضریب قوام افزایش و اندیس رفتار جریان کاهش می‌یابد، که این امر در جداول ۵ و ۶ مشهود است. با توجه به مشاهدات به عمل آمده، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تمامی نمونه‌های تولید شده در این تحقیق دارای خاصیت تیکسوتروپیک بودند.



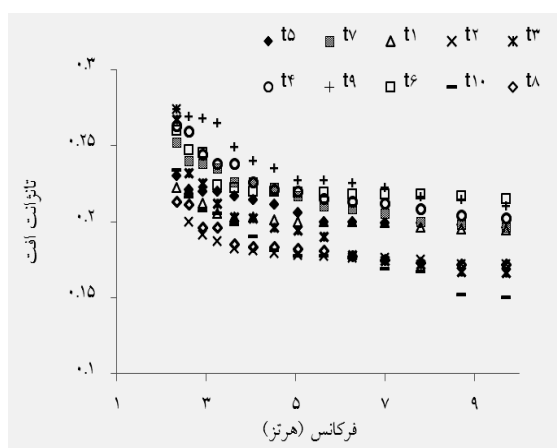
شکل ۳ منحنی بارگذاری و باربرداری نمونه‌های مایونز (رفتار تیکسوتروپیک) (منظور از t1 تا t10 تیمارهای ۱ تا ۱۰ می‌باشند)

در جدول ۵ مساحت هیستریسیس نمونه‌های مختلف مایونز حاصل را با هم مقایسه شده است.

جدول ۵ مساحت هیستریسیس نمونه‌های مایونز*

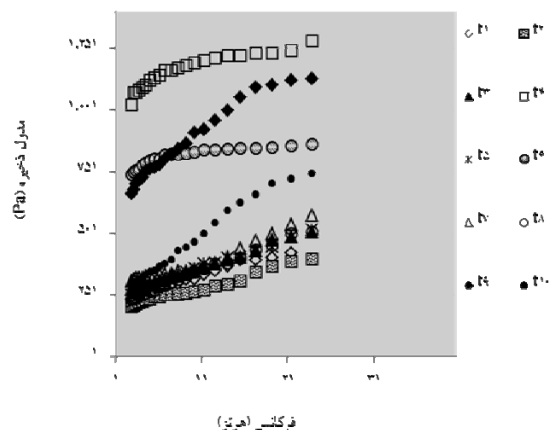
نمونه	مساحت هیستریسیس (Pa/s)
۱	$8673/87 \pm 50/05^{cd}$
۲	$10206/14 \pm 140/15^a$
۳	$8130/26 \pm 49/95^{cd}$
۴	$6252/42 \pm 151/55^f$
۵	$9606/17 \pm 160/00^{bc}$
۶	$7303/90 \pm 552/07^{de}$
۷	$8993/82 \pm 230/07^{bc}$
۸	$10712/73 \pm 94/25^{ab}$
۹	$6374/90 \pm 163/69^f$
۱۰	$9128/14 \pm 414/90^{bcs}$

تانژانت افت نمونه‌های مایونز در فرکانس ۱ هرتز در جدول ۶ مقایسه شده است. نتایج نشان داد که در تمامی نمونه‌ها $\tan \delta$ کمتر از یک بود، که نشان دهنده بیشتر بودن خاصیت الاستیک نسبت به خاصیت ویسکوز است. سایر محققان نیز در تولید مایونز کم کلسترول با به کار بردن گرانول‌های زرده تخم مرغ [۴] و با کاربرد ایزوله پروتئین آب پنیر در تهیه مایونز کم چرب [۱۵]، به نتایج مشابهی دست یافتند. در بین نمونه‌ها، پایین‌ترین تانژانت افت در تیمار ۱۰ و تیمار ۲ مشاهده شد که بیانگر این مطلب است که این نمونه‌ها نسبت به سایر نمونه‌های مایونز، خاصیت الاستیک بیشتری دارند. بالاترین میزان $\tan \delta$ در تیمار ۹ مشاهده شد که بیانگر گرایش بیشتر این نمونه به رفتار شبه مایع است. افزودن آب در فرمولاسیون‌های حاوی WGPI، ممکن است موجب افزایش آب آزاد این فرمولاسیون‌ها و گرایش این نمونه‌ها به رفتار شبه مایع گردد (شکل ۶).

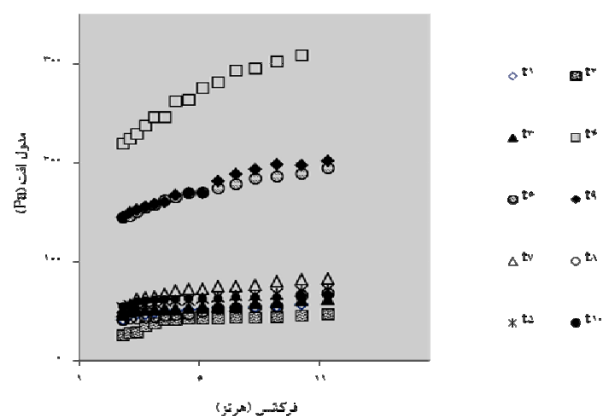


شکل ۶ مقایسه تانژانت افت نمونه‌های مایونز (منظور از t1 تا t10 تیمارهای ۱ تا ۱۰ می‌باشند)

به عنوان امولسیفایر مهم مایونز، ساختار مایونز حفظ شد. در تیمارهایی که زرده تخم مرغ آن‌ها به‌طور کامل حذف و WGPI و زانتان جایگزین آن شده بود (مانند تیمارهای ۴، ۶ و ۹)، مقادیر G' بیشتر از سایر تیمارها بود. تیمار ۲ (شاهد)، نسبت به تیمارهای حاوی WGPI و زانتان، G' کمتری را نشان داد و کمترین G' در تیمار ۸ مشاهده گردید (شکل ۴). تیمارهای ۴، ۹ و ۶ بالاترین مدول افت را نیز داشتند و تیمار ۲ (شاهد)، کمترین مدول افت را نشان داد (شکل ۵). تیمارهای حاوی WGPI بیشتر (۴، ۶ و ۹)، ویسکوزیته کمپلکس بالاتری را نیز نشان دادند که نشان دهنده ساختار مستحکم‌تر این نمونه‌ها می‌باشد. مقادیر این پارامترها در فرکانس ۱ هرتز، در نمونه‌های مایونز، مقایسه شده است (جدول ۶).



شکل ۴ مقایسه مدول ذخیره نمونه‌های مایونز (منظور از t1 تا t10 تیمارهای ۱ تا ۱۰ می‌باشند)



شکل ۵ مقایسه مدول افت نمونه‌های مایونز (منظور از t1 تا t10 تیمارهای ۱ تا ۱۰ می‌باشند)

جدول ۶ پارامترهای رئولوژیکی حاصل از آزمون نوسانی (فرکانس ۱ هرتز)*

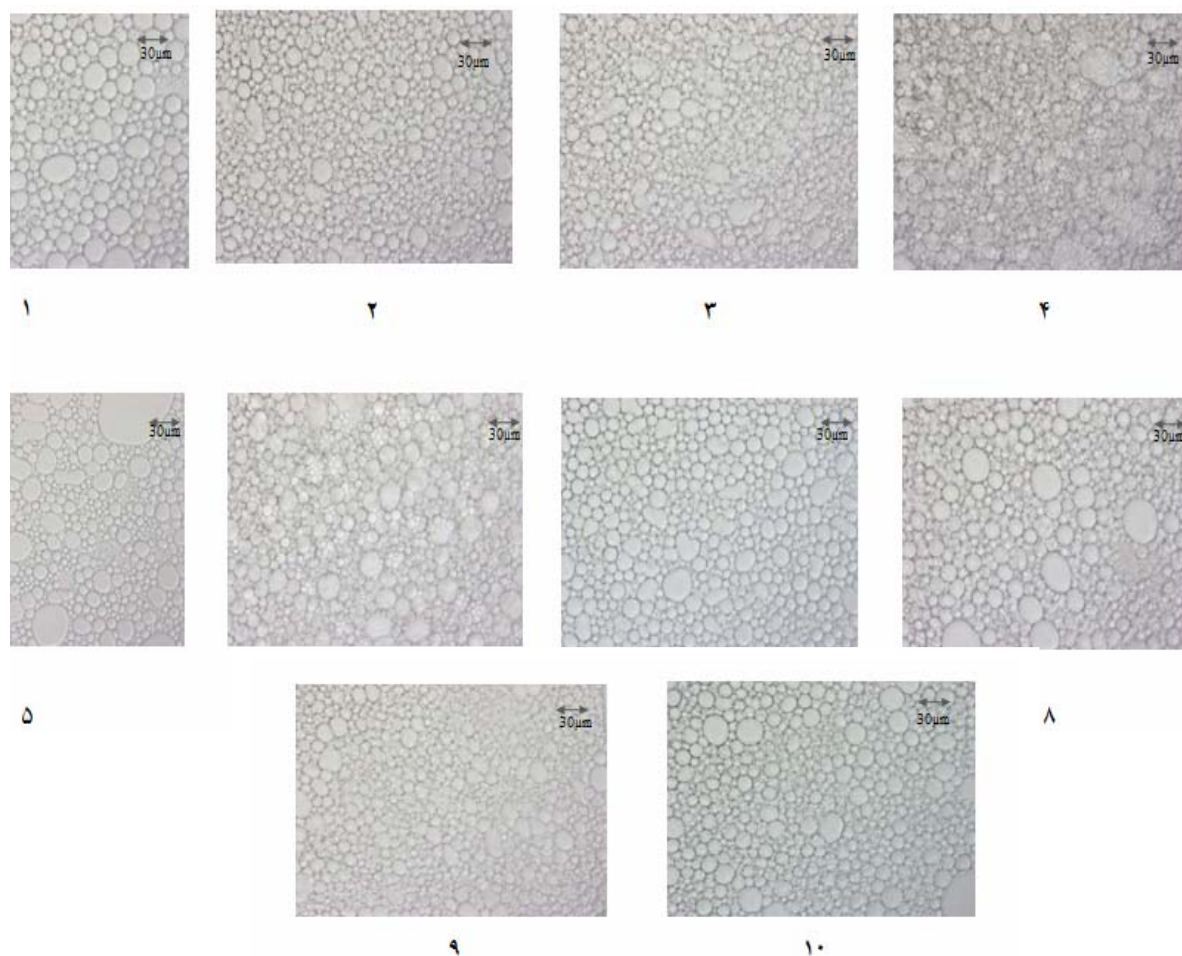
نمونه (t)	مدول ذخیره (Pa)	مدول افت (Pa)	تانژانت افت	ویسکوزیته کمپلکس (Pa.s)
۱	۲۳۲/۵±۱/۵ ^g	۴۹/۱±۲/۵ ^{def}	۰/۲۱۱±۰/۰۱ ^{ab}	۱۵/۳۰±۰/۷۰ ^d
۲	۲۵۶±۷/۰ ^{fg}	۳۷/۰۵±۱/۴۵ ^f	۰/۱۴۵±۰/۰۰۲ ^d	۱۶/۶۵±۰/۴۵ ^d
۳	۲۷۲±۵/۵ ^{ef}	۵۱/۶±۰/۶ ^{de}	۰/۱۸۹±۰/۰۰۲ ^{bcd}	۱۷/۸۵±۰/۹۵ ^d
۴	۱۰۷۵±۷/۰۷ ^a	۲۰۱/۰±۲/۰ ^a	۰/۱۸۷±۰/۰۰۵ ^{bcd}	۷۰/۱۵±۳/۴۵ ^a
۵	۲۸۳/۵±۷/۵ ^c	۴۰/۱±۰/۵ ^{ef}	۰/۲۰۶±۰/۰۰۱ ^{abc}	۱۶/۶۰±۰/۲۰ ^d
۶	۷۶۱/۵±۴/۵ ^b	۱۴۵/۰±۱/۰ ^b	۰/۱۹۰±۰/۰۰۵ ^{bcd}	۴۹/۸۵±۲/۴۵ ^b
۷	۳۱۸/۵±۴/۵ ^d	۷۶/۰±۸/۰ ^c	۰/۲۰۷±۰/۰۴۳ ^{abc}	۲۰/۷۵±۱/۳۵ ^d
۸	۲۳۴±۲/۰ ^g	۴۲/۰±۱/۰ ^{ef}	۰/۱۷۹±۰/۰۰۲ ^{bcd}	۱۵/۳۰±۰/۷۰ ^d
۹	۶۶۹±۸/۰ ^c	۱۴۶/۵±۲/۵ ^b	۰/۲۳۳±۰/۰۰۱ ^a	۴۴/۰۵±۱/۸۵ ^c
۱۰	۲۴۴/۵±۱/۵ ^g	۵۸/۵±۳/۲ ^d	۰/۱۶۴±۰/۰۰۱ ^{cd}	۱۵/۹۵±۰/۷۵ ^d

* حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد.

۳-۴- ریز ساختار نمونه های مایونز

ریز ساختار نمونه های مایونز در شکل ۷ نشان داده شده است. مایونز شامل قطرات روغن پراکنده در فاز آبی می باشد. فاکتورهایی مانند نوع امولسیفایر و پایدار کننده و غلظت آن ها، اندازه قطرات و غلظت روغن و ویسکوزیته فاز آبی، تعیین کننده ساختار مایونز می باشند [۲۱]. در نمونه های مایونز محتوی WGPI و زانتان، اندازه قطر ذرات کاهش یافته، قطرات چربی به صورت یکنواخت و منظم کنار یکدیگر قرار گرفتند و ریز ساختار متراکم تری حاصل شد (تیمارهای ۴، ۶، ۹ و ۱۰)، که دلیل آن، افزایش ویسکوزیته فاز آبی و غلیظتر شدن فاز پیوسته می باشد. قطر متوسط این نمونه ها زیر ۲۰ μm و ریز ساختار آن ها یکنواخت بود. ماندالا و همکاران [۱۶] نشان دادند که افزایش غلظت صمغ تا حد معین، موجب ایجاد تماس و ارتباط

بیشتر با گویچه های چربی و کاهش جریان پذیری و افزایش ویسکوزیته امولسیون می شود. تیمار ۲ (شاهد) ریز ساختار یکنواخت با اندازه ذرات بزرگتر نشان داد (۲۰ μm). در نمونه های مایونز با درصد جایگزینی کمتر، ذرات با اندازه های متفاوت مشاهده شدند (تیمارهای ۱، ۵ و ۸) و قطر متوسط این نمونه ها بالای ۳۰ μm بود. به طور کلی با افزایش درصد جایگزینی زرده تخم مرغ با WGPI و زانتان، قطر ذرات مایونز کاهش یافت و تیمار ۱۰ شباهت ساختاری بیشتری با تیمار شاهد نشان داد. اندازه قطر ذرات مایونز بر ویژگی های رئولوژیکی موثر می باشد، به طوری که، ویسکوزیته امولسیون ها با اندازه ذرات متفاوت و ناپایدار، مانند تیمار ۸ به طور قابل ملاحظه کمتر از ویسکوزیته امولسیون های منظم و پایدار (تیمارهای ۴، ۶، ۹ و ۱۰) بود ($P < 0.05$).



شکل ۷ ساختار میکروسکوپی نمونه‌های مایونز (شماره عکس‌ها بر اساس شماره فرمولاسیون جدول ۲ می‌باشد)

۴- نتیجه گیری

نتایج آزمون‌های رئولوژی نشان داد که تمامی نمونه‌های مایونز رفتار رقیق شونده با برش داشته و دارای خاصیت تیکسوتروپیک بودند. همچنین، حلقه هیسترسیس به وجود آمده در منحنی تنش برشی- سرعت برشی، در تیمار ۲ (شاهد) بیشترین مساحت و در تیمارهای ۴ و ۶ (فاقد زرده تخم مرغ) کمترین مساحت را داشت، که نشان دهنده رفتار وابسته به زمان بیشتر نمونه‌های حاوی زرده تخم مرغ و پایداری رئولوژیکی بیشتر نمونه‌های حاوی WGPI و زانتان می‌باشد. در تمامی نمونه‌های مایونز، مدول ذخیره بیشتر از مدول افت بود، از این رو، نمونه‌ها در ردیف مواد ویسکوالاستیک جامد طبقه بندی شدند. مقایسه نتایج حاصل از آزمون‌های رئولوژیکی و آزمون میکروسکوپی تیمارها با نمونه شاهد نشان داد که کلیه تیمارها

از لحاظ رئولوژیکی و ساختاری با مایونز تجاری برابری کردند. بنابراین می‌توان به‌طور رضایت‌بخش از جنبه رئولوژیکی و ساختاری، زرده تخم مرغ موجود در مایونز را با ایزوله پروتئین جوانه گندم جایگزین نمود. به هر حال، در بین تیمارهای مایونز، تیمار ۱۰ بیشترین نزدیکی را به نمونه شاهد داشته و ویژگی‌های رئولوژیکی مناسبی را نشان داد، بنابراین، می‌توان ترکیبی از ایزوله پروتئین جوانه گندم و زانتان (۷۱/۵ و ۴/۲ درصد، جایگزینی زرده تخم مرغ با ایزوله پروتئین جوانه گندم و صمغ زانتان، به ترتیب) را به عنوان جایگزین مناسبی برای زرده تخم مرغ مایونز در نظر گرفت.

۵- منابع

- supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 102 (1):123–128.
- [14] Mancini, F., Montanari, L., Peressini, D., and Fantozzi, P. 2002. Influence of alginate concentration and molecular weight on functional properties of mayonnaise. *Journal of Food Science and Technology*, 35(6): 517–525.
- [15] Liu, H., Xu, X.M., and Guo, Sh.D. 2007. Rheological, texture and sensory properties of low fat mayonnaise with different fat mimetics. *Journal of Food Science and Technology*, 40: 946–954.
- [16] Mandala, I. G., Savvas, T.P., and Kostaropoulos, A. E. 2004. Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model–sauce. *Journal of Food Engineering*, 64 (3): 335–342.
- [17] Hettiarachchy, N. S., Griffin, V. K., and Gnanasambandam, R. 1996. Preparation and functional properties of a protein isolate from defatted wheat germ. *Cereal Chemistry*, 73: 364–367.
- [18] Zhu, K.X., Zhou, H.M., and Qian, H.F. 2006b. Proteins extracted from defatted wheat germ: nutritional and structural properties. *Cereal Chemistry*, 83(1): 69–75.
- [19] Hassan, H.M.M., Afify, A.S., Basyiony, A.E., Ahmed, A.E., and Ghada, T. 2010. Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2): 348–358.
- [20] Lorenzo, G., Zaritzky, N., and Califano, A. 2008. Modeling rheological properties of low in fat O/W emulsions stabilized with xanthan/guar mixtures. *International Food Research Journal*, 41(5): 487–494.
- [21] Mun, S., Kim, Y.L., Kang, C., Kang, C., Shim, J., and Kim, Y. 2009. Development of reduced–fat mayonnaise using 4[alpha] GTase–modified rice starch and xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 44(5): 400–407.
- [22] Dickinson, E. 1994. Protein-stabilized emulsions. *Journal of Food Engineering*, 22 (1): 59–74.
- [23] Sathivel, S., Bechtel, P., Babbitt, J., Prinyawiwatkul, W., and Patterson, M. 2005. Functional, nutritional, and rheological properties of protein powders from Arrowtooth Flounder and their application in mayonnaise. *Journal of Food Engineering and Physical Properties*, 70 (2): 57–63.
- [24] Nikzade, V., Mazaheri Tehrani, M. and Saadatmand–Tarzjan, M. 2012. Optimization of low–cholesterol/low–fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Food Hydrocolloids*, 28: 344–352.
- [1] Depree, J.A., and Savage, G.P. 2001. Physical and flavor stability of mayonnaise. *Journal of Food Science and Technology*, 12: 157–163.
- [2] Paraskevopoulou, A., Kiosseoglou, V., Alevisopoulos, S., and Kasapis, S. 1999. Influence of reduced–cholesterol yolk on the viscoelastic behaviour of concentrated O/W emulsions. *Journal of Colloids and Surface*, 12: 107–111.
- [3] Dolz, M., Hernandez, M.J., and Delegido, J. 2006. Oscillatory measurements for salad dressings stabilized with modified starch, xanthan gum, and locust bean gum. *Journal of Applied Polymer Science*, 102 (1), 897–903.
- [4] Laca, A., Saenz, M. C., Paredes, B., and Diaz, M. 2010. Rheological properties, stability and sensory evaluation of low–cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *Journal of Food Engineering*, 97: 243–252.
- [5] Rir, L., Feldman, L., Aserin, A., and Garti, N. 1994. Surface properties and emulsification behavior of denatured soy protein. *Journal of Food Science*, 606–607.
- [6] Takeda, K., Matsumura, Y., and Shimizu, M. 2001. Emulsifying and surface properties of wheat gluten under acidic conditions. *Journal of Food Science*, 66: 393–399.
- [7] Raymundoa, A., Franco, J. M., and Gallegos, C. 2002. Optimization of the composition of low–fat oil in water emulsions stabilized by white lupin protein. *Journal of AOCS*, 79 (8): 783–789.
- [8] Abu Ghoush, M., 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. *Journal of Food Engineering*, 84: 348–357.
- [9] Herald, T.J., Abugoush, M., and Aramoun, F. 2009. Physical and sensory properties of egg yolk and egg yolk substitutes in a model mayonnaise system. *Journal of Texture Studies*, 40: 692–709.
- [10] Zhu, K.X., Zhou, H.M., and Qian, H. 2006a. Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. *Process Biochemistry*, 41: 1296–1302.
- [11] Gomez, M., Gonzalez, J., and Oliete, B. 2012. Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. *Food Bioprocess Technology*, 5(6): 2409–2418.
- [12] Arshad, M.U., Anjum, F.M., and Zahoor, T. 2007. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 102: 123–128.
- [13] Muhammad, U., M. Faqir., and Z. Tahir. 2007. Nutritional assessment of cookies

Effect of wheat germ protein isolate and xanthan gum as egg substitutes on the rheological properties of mayonnaise

Rahbari, M.^{1*}, Aalami, M.², Kashaninejad, M.³, Maghsoudlou, Y.³

1. M.Sc. graduate (Ph.D. student) of Food Science and Technology, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources

2. Associate professor of Food Science and Technology, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources

Mayonnaise is a kind of oil in water emulsion, that most widely used sauce in the world. Egg yolk is a key ingredient in mayonnaise, due to excellent emulsifying properties. Nevertheless, one main problem with egg yolk is its high cholesterol content, so different attempts have been carried out to develop low cholesterol mayonnaise. The aim of this study was to prepare low cholesterol mayonnaise containing wheat germ protein isolate (WGPI) and xanthan gum (XG) as egg yolk substitutes. The mayonnaise prepared with different composition of WGPI, egg yolk (0-9% of each component) and XG (0-0.5%), as formula variables by applying the optimal mixture design approach. Effect of this substitution on rheological characteristics and microstructure of mayonnaise samples were evaluated. The results indicated that all mayonnaise samples exhibited thixotropic shear thinning behavior under steady shear tests, which fitted by Power law model and the factors related to this model were specified in the samples. Also, it was observed that mayonnaises exhibited weak- gel like properties, by using dynamic oscillatory shear tests and had significant effects on acquired parameters from frequency sweep test, such as storage modulus, loss modulus and tan delta. According to rheological and microstructure results, the low cholesterol mayonnaise contained WGPI and XG shows similar characteristics to those of a typical mayonnaise. Formulation 10 (71.5% and 4.2% egg replacement with WGPI and XG, respectively) shows the most similarity to control sample.

Keywords: Low cholesterol mayonnaise, Wheat germ protein isolate, Xanthan gum, Rheological characteristics

* Corresponding Author E-Mail Address: mahshidrahbari@yahoo.com