

تولید سس مایونز بهینه با بکارگیری صمغ عربی و پروتئین نخود

* پریسا پدram آزاد^۱، مزدک علیمی^۲، مریم میزانی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، ^۲ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، ^۳ دانشیار گروه مهندسی کشاورزی - صنایع غذایی، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۲۶

*مسئول مکاتبه: Pedram_azadp@yahoo.com

چکیده

هدف از این پژوهش، کاربرد توأم صمغ عربی (۱/۴۶٪ - ۰٪) و پروتئین نخود (۲/۵٪ - ۰٪) جهت بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و دستیابی به مایونز بهینه مقاوم به انجماد و انجمادزدایی با ویژگی‌های حسی مطلوب بوده است. نمونه‌ها در این تحقیق، در قالب ۱۲ تیمار طرح‌ریزی شدند. ابتدا یک هفته پس از تولید نمونه‌ها، آزمون‌های pH، ویسکوزیته، رنگ‌سنجی و پایداری فیزیکی امولسیون انجام پذیرفت. آنگاه با توجه به نتایج این آزمون‌ها و نرم افزار دیزاین اکسپرت، نمونه بهینه با ۰/۳۹٪ صمغ عربی و ۱/۶۶٪ پروتئین نخود به دست آمد که به همراه نمونه شاهد تجاری، تحت آزمون‌های pH، اسیدیته، ویسکوزیته، پایداری فیزیکی امولسیون، رنگ‌سنجی، پایداری فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزدایی، رفتار جریان، روبش فرکانس و میکروسکوپ نوری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با اضافه کردن صمغ عربی و پروتئین نخود در مقادیر مذکور، نمونه مایونز بهینه از لحاظ شاخص رنگی a^* تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نشان نداده است ($p > 0/05$) اما از نظر شاخص‌های پایداری فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزدایی و ویژگی‌های رئولوژیکی نسبت به نمونه شاهد تجاری برتری معناداری داشته است ($p < 0/05$). از این رو با توجه به نتایج حاصله، نمونه بهینه به عنوان نمونه مایونز مقاوم به انجماد و انجمادزدایی، با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی برتر در این پژوهش معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: صمغ عربی، پروتئین نخود، مایونز، مقاوم به انجماد و انجمادزدایی، ویژگی‌های رئولوژیکی

مقدمه

شماره ۲۴۵۴). مایونز یک امولسیون روغن در آب می‌باشد که از مخلوط شدن روغن، زرده تخم مرغ، سرکه و سایر افزودنی‌ها به دست می‌آید (نیکزاده و همکاران، ۲۰۱۲). بسیاری از

سس، مایع غلیظی است که به عنوان چاشنی برای طعم‌دار کردن، مرطوب کردن و غنی‌سازی سالادها استفاده می‌شود (استاندارد ملی ایران،

آریه و نیکرسون، ۲۰۱۲). صمغ عربی به عنوان یک پلی ساکارید طبیعی به دلیل افزایش خواص امولسیفایری، ویسکوزیته، ثبات در غلظت کم و پروتئین نخود نیز به دلیل افزایش ثبات امولسیون، داشتن فعالیت سطحی، بهبود خصوصیات رئولوژیکی و ساختمانی فاز پیوسته در سس های سالاد و ساندویچ پیشنهاد می شوند (ایبانوقلو^۷، ۲۰۰۲؛ گوش و کوپلند، ۲۰۰۸؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ پتینو و پیلوسوف^۸، ۲۰۱۱؛ مهفودی و همکاران^۹، ۲۰۱۴). اثر سینرژیستی این بیوپلیمرها می تواند موجب بهبود خصوصیات ساختاری، بافتی، رئولوژیکی و کاهش هزینه های تمام شده محصول نهایی گردد (لیو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۰؛ نیو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۴). در واقع پروتئین ها و کربوهیدرات ها می توانند به ثبات امولسیون ها کمک کرده و نیز از طریق ایجاد شبکه ژلی در خصوصیات بافت و ساختمان غذاها موثر باشند (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ال وی و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۳). مطالعات بسیاری در زمینه ی کاربرد صمغ عربی در سس مایونز و محصولات غذایی مختلف و نقش پروتئین ها از جمله پروتئین نخود در تعامل با پلی ساکاریدها صورت گرفته است. کلاس و نیکرسون^{۱۳} (۲۰۱۲) تأثیر pH در تشکیل کمپلکس لگومین و ویسلین پروتئین نخود با صمغ عربی را مورد بررسی قرار دادند. آنها بیان

فرآورده های غذایی آماده به مصرف حاوی سس های امولسیونی هستند (هرناندز و همکاران^۱، ۲۰۱۱). باید توجه داشت که امولسیون ها از لحاظ ترمودینامیکی، سیستم های ناپایداری بوده (بویر و همکاران^۲، ۲۰۱۱) و بسیاری از این گونه محصولات به دلیل بهبود مدت زمان نگهداری و یا با توجه به ماهیت مصرف آنها باید منجمد شوند (گوش و کوپلند^۳، ۲۰۰۸) اما امولسیون ها معمولا طی انجماد و انجمادزدایی دچار ناپایداری فیزیکی در قالب تفکیک دو فاز پراکنده و پیوسته از هم می گردند (ونگ و همکاران^۴، ۲۰۱۱؛ آریه و نیکرسون^۵، ۲۰۱۲). هنگامی که یک امولسیون روغن در آب، در دماهای پایین نگهداری می شود، کریستالیزاسیون در هر دو فاز رخ داده، تغییرات فاز منجر به بی ثباتی امولسیون می گردد و این بی ثباتی توسط کریستالیزاسیون روغن، به صورت جزء کوآلسنس شده، نمایان خواهد گردید (مگنسون و همکاران^۶، ۲۰۱۱). در برخی موارد نیز هنگامی که امولسیون های منجمد ذوب می شوند، ممکن است تا حدی شکسته شوند (گوش و کوپلند، ۲۰۰۸)، از این رو به منظور کاهش و یا جلوگیری از بی ثباتی امولسیون، انتخاب یک امولسیفایر طبیعی مقاوم مانند صمغ ها و پروتئین ها یکی از مهمترین ابزار در دسترس تولیدکنندگان است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱؛

7- Ibanoglu

8- Patino & Pilosof

9- Mahfoudhi *et al*

10- Liu *et al*

11- Niu *et al*

12- Lv *et al*

13- Klassen & Nickerson

1- Hernandez *et al*

2- Bouyer *et al*

3- Ghosh & Coupland

4- Wang *et al*

5- Aryee & Nickerson

6- Magnusson *et al*

داشتند که تشکیل کمپلکس پروتئین- صمغ عربی باعث افزایش ثبات در شرایط اسیدی $\text{pH} < 3$ می شود که علت آن افزایش تعامل های هیدروفوبیک درون ساختاری بوده است. مگنوسون و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر انجماد و ذوب را بر روی سس های مایونز بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که روغن آفتابگردان با میزان اولئیک بالا در دمای $25-^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد، ثبات بسیار کمی در برابر انجماد داشته و همچنین افزایش سرعت انجماد باعث کاهش ثبات در امولسیون ها شده است. فاکتورهای اصلی که ثبات امولسیون ها را در حین انجماد و ذوب تحت تأثیر قرار می دهند، ترکیبات روغن و شرایط انجماد می باشند. ونگ و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر صمغ عربی، پروتئین سویا و تخم پنبه دانه را به عنوان امولسیفایر در امولسیون ها مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند که با افزودن ۲ درصد صمغ عربی به هر دو پروتئین، پایداری امولسیون افزایش یافته و صمغ عربی بهترین ثبات امولسیفایری و افزایش ویسکوزیته ی امولسیون را در تخم پنبه دانه از خود نشان داده است. لیو و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأثیر pH را در کمپلکس صمغ عربی و پروتئین نخود بررسی نمودند و مشخص شد که pH در رفتار عملکردی (حلالیت، خصوصیات امولسیفایری و خصوصیات تشکیل کف) اثر می گذارد. آنها بیشترین تعامل بیوپلیمری را در $\text{pH} = 3/6$ گزارش کردند. ایبانوقلو (۲۰۰۲) رفتار رئولوژیکی و امولسیفایری پروتئین آب پنیر را با (۱۵٪-۰)

صمغ عربی مورد بررسی قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد که در تمامی غلظت های صمغ، رفتار امولسیون رقیق شونده با برش بوده و افزایش قدرت یونی سبب کاهش میزان ویسکوزیته ی ظاهری گردید که بسته به تغییر اندازه ی ذرات و غلظت پلی ساکاریدهای باند نشده، تغییر می نماید. با توجه به افزایش تقاضا برای مواد غذایی آماده به مصرف، روند افزایشی عرضه ی این قبیل از محصولات و نیز وجود سس مایونز به عنوان اجزای تکمیل کننده ی آنها، در این تحقیق سعی شد تا با جایگزین کردن صمغ عربی و پروتئین نخود به عنوان امولسیفایرهای طبیعی و بررسی اثر سینرژیستی آنها، خواص امولسیفایری و ثبات امولسیونی مایونز بهبود یافته و در نتیجه ی آن، بتوان از سس بهینه ی مورد نظر، در فرمولاسیون سالاد آماده مصرف منجمد استفاده نمود.

مواد و روش ها

مواد: در این تحقیق از صمغ عربی به شکل پودری (بیومدیکال ام پی، هلند)، پروتئین نخود در حالت پودری (آریا فرآور، ایران)، پودر زرده تخم مرغ (اگ وی، هندوستان) و مواد تشکیل دهنده مایونز فراهم شده توسط شرکت غذایی بهروز نیک استفاده گردید.

تهیه و آماده سازی نمونه های مایونز: جهت تهیه نمونه های مایونز، صمغ عربی و پروتئین نخود مورد استفاده برای هر فرمول به همراه مواد پودری مربوطه، استفاده شد. پس از توزین مواد

نسبت ۳:۱) به میکسر آزمایشگاهی افزوده شدند و در ادامه به ترتیب، سایر مواد پودری و باقیمانده روغن به طور تدریجی وارد میکسر گردید. با اتمام روغن فرمولاسیون (۶۷٪)، طی مدت ۶ دقیقه، سرکه فرمولاسیون (۴/۸٪) به امولسیون اضافه شد (علیمی و همکاران، ۲۰۱۳). آنگاه هر یک از نمونه‌های مایونز تیمار شده، مطابق جدول (۱) نامگذاری گردیدند. مایونز تجاری تولیدی توسط شرکت بهروز نیک نیز به عنوان مایونز شاهد تجاری در نظر گرفته شد.

پودری (شکر=۵٪، نمک=۱/۵٪، پودر خردل=۰/۳۵٪، بنزوات سدیم=۰/۰۴٪، سوربات پتاسیم=۰/۰۳٪، اسید سیتریک=۰/۱۴٪ و پودر تخم مرغ=۱/۴٪)، صمغ عربی= ۰-۱/۴۶٪ و پروتئین نخود= ۰-۲/۹۳٪ ابتدا کل آب فرمولاسیون به واسطه پمپ خلا دستگاه به میکسر- هموژنایزر آزمایشگاهی (۳۰۰۰ دور در دقیقه، ارکان فلز، ایران) اضافه گردید. سپس پمپ هموژنایزر روشن و زرده تخم مرغ، صمغ عربی، پروتئین نخود و بخشی از روغن فرمولاسیون (به

جدول ۱- کدگذاری نمونه‌های مایونز دارای مقادیر مختلف صمغ عربی و پروتئین نخود

کد مربوطه	مقدار صمغ عربی (۰-۱/۴۶)	مقدار پروتئین نخود (۰-۲/۹۳)
R1	۰/۰۰	۱/۴۷
R2	۱/۲۵	۰/۴۳
R3	۰/۷۳	۱/۴۷
R4	۰/۷۳	۲/۹۳
R5	۱/۲۵	۲/۵۰
R6	۰/۷۳	۱/۴۷
R7	۰/۷۳	۰/۰۰
R8	۰/۲۲	۲/۵۰
R9	۰/۲۲	۰/۴۳
R10	۱/۴۶	۱/۴۷
R11	۰/۰۰	۲/۵۰
R12	۱/۲۵	۰/۰۰

حاوی مقادیر ۰/۳۹٪ صمغ عربی و ۱/۶۶٪ پروتئین نخود به دست آمد. سپس جهت مقایسه ویژگی‌های نمونه بهینه حاصله با نمونه شاهد تجاری، هر دوی آنها تحت آزمون‌های pH، اسیدیته، ویسکوزیته، پایداری فیزیکی امولسیون،

نکته قابل ذکر آن است که یک هفته پس از تولید نمونه‌ها، آزمون‌های pH، ویسکوزیته، رنگ‌سنجی و پایداری فیزیکی امولسیون بر روی ۱۲ تیمار انجام پذیرفت. آنگاه با توجه به نتایج این آزمون-ها و نرم افزار دیزاین اکسپرت، نمونه مایونز بهینه

رنگ‌سنجی، پایداری فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزدایی، رفتار جریان، روبش فرکانس و میکروسکوپ نوری قرار گرفتند.

آزمون‌های شیمیایی

اندازه‌گیری pH: برای تعیین pH ۲ نمونه، بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۴۵۴، ابتدا محلول ۵ درصد هر یک از نمونه‌های مایونز در داخل بشر تهیه شد و سپس توسط دستگاه pH متر دیجیتال (مدل پی اچ ۲۱۱، هانا^{۱۴}، انگلستان) که با محلول تامپون مناسب کالیبره شده بود، اندازه‌گیری گردید (استاندارد مایونز ایران، شماره ۲۴۵۴).

اندازه‌گیری اسیدیته استیکی: بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۴۵۴، ۱۵ گرم از هر نمونه در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر که در مقابل فنل فتالین خنثی شده بود، رقیق گردیده و سپس با سود ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالین، تیترا شدند. اسیدیته ۲ نمونه از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$(۱) \text{ گرم نمونه} \times 0.6 / 100 = \text{میلی‌لیتر سود مصرفی} = \text{اسیدیته}$$

آزمون‌های فیزیکی

پایداری فیزیکی امولسیون: طی این آزمون ۱۰ گرم از هر نمونه در فالكون‌های مندرج ۱۵ سی‌سی پر گردید. سپس فالكون‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری ۸۰ درجه سانتیگراد حرارت دیدند و

در دستگاه سانتریفیوژ (روتوفیکس ۳۲ ای، هتیچ^{۱۵}، آلمان) با دور ۵۰۰۰ rpm (g ۳۷۰۰) به مدت ۱۵ دقیقه تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار گرفتند. آنگاه پایداری امولسیون از رابطه (۲) به دست آمد (علیمی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$(۲) \text{ گرم کل نمونه} / \text{گرم لایه امولسیفیه} = \text{پایداری}$$

رنگ‌سنجی: جهت انجام آزمون رنگ‌سنجی، داخل سل دستگاه رنگ‌سنج (کالر فلکس ۴۵/۰، هانتربل^{۱۶}، آمریکا) به طور کامل با هر یک از نمونه‌های مایونز پر شد و در محل مورد نظر دستگاه قرار گرفت. سپس شاخص‌های رنگی* L (میزان روشنایی)، a^* (میزان تمایل به رنگ قرمز) و b^* (میزان تمایل به رنگ زرد) اندازه‌گیری گردید (راهنمای کالر فلکس، ۲۰۱۳).

پایداری امولسیون در برابر انجماد - انجمادزدایی: برای ارزیابی پایداری فیزیکی در برابر انجماد - انجمادزدایی نمونه‌های مایونز از فالكون‌های مندرج با ظرفیت ۱۵ سی‌سی استفاده شد که توسط ۱۰ گرم از هر نمونه پر گردید و نمونه‌ها به وسیله‌ی قرار گرفتن در فریزر ۲۰- درجه سانتیگراد به مدت ۲۲ ساعت منجمد شدند. سپس در حمام آب ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه به منظور انجمادزدایی قرار گرفتند و آنگاه در دستگاه سانتریفیوژ روتوفیکس ۳۲ ای با دور ۵۰۰۰rpm (g ۳۷۰۰) به مدت ۱۵ دقیقه

¹⁵- Rotofix 32 A Hettich

¹⁶- Spectrophotometer color flex 45/0, Hunter lab

¹⁴- pH 211, HANNA

های سس مایونز بهینه و تجاری از مدل ریاضی کرو^{۲۰} استفاده گردید و پارامترهای مربوط به آن تعیین شد.
۳) مدل کرو:

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \frac{n-1}{(1 + (\lambda\gamma)^2)^2}$$

η_0 = ویسکوزیته در نقطه برشی صفر

η_{∞} = ویسکوزیته در نقطه برشی بی‌نهایت

λ = زمان رها سازی سیال

γ = نرخ برش s^{-1}

n = شاخص رفتار جریان

آزمون نوسانی: آزمون‌های نوسانی این پژوهش بر دو نوع بوده که پس از تولید، بر روی نمونه بهینه و تجاری انجام گرفت: آزمون روبش کرنش^{۲۱} و آزمون روبش فرکانس^{۲۲}. آزمون روبش کرنش، در کرنش متغیر ۱۰۰-۰/۰۱٪ و فرکانس ثابت ۱ HZ، به منظور تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی^{۲۳} انجام شد. سپس آزمون روبش فرکانس در کرنش زیر منطقه ویسکوالاستیک خطی انجام گرفت. این آزمون در مقدار کرنش ثابت ۰/۴٪ و فرکانس متغیر HZ ۱۰۰-۰/۰۱ صورت پذیرفت. از این آزمون، فاکتورهای مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'')

تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز بودند. این سیکل در ۲ تکرار انجام گرفت و خصوصیات پایداری امولسیون، بعد از هر سیکل اندازه‌گیری شد (مون و همکاران، ۲۰۰۸).

آزمون‌های رئولوژیکی (رئومتری)

تعیین ویسکوزیته: جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌های مایونز، از دستگاه ویسکومتر دورانی (مدل دی وی ای، بروکفیلد^{۱۷}، آمریکا) با اسپیندل دیسکی R6 با سرعت ۵۰ دور در دقیقه استفاده گردید. این آزمون در دمای ۲۳-۲۰ درجه سانتیگراد، طی مدت زمان ۲۰ دقیقه انجام گرفت.

بررسی رفتار جریان و آزمون نوسانی (روبش فرکانس): آزمون‌های رفتار جریان و نوسانی توسط دستگاه رئومتر (مدل ام سی آر ۳۰۰، پار فیزیکا، اتریش) برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف هیدروکلوئیدها بر ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه بهینه و مقایسه آن با نمونه شاهد تجاری، در دمای ۲۴-۲۳ درجه سانتیگراد انجام شد. در این آزمون از ۲ صفحه موازی^{۱۸} زبر استفاده گردید، قطر صفحه دستگاه ۲۵ میلی‌متر و فاصله^{۱۹} ایجاد شده بین دو صفحه ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

آزمون بررسی رفتار جریان: در این آزمون از محدوده نرخ برش s^{-1} ۱۰۰-۰/۰۰۱ استفاده شد. به منظور بررسی ویژگی‌های جریان‌ی نمونه

20- Carreau
21- Amplitude Sweep
22- Frequency Sweep
23- γ LVE

17- DVA, Brookfield
18- Parallel Plate
19- Gap

بودن نتایج بررسی شد. سپس اگر نتایج بر منحنی توزیع نرمال منطبق بودند، از آزمون پارامتری آنالیز واریانس ANOVA و در صورت عدم انطباق، از آزمون غیر پارامتری Kruskal - Wallis جهت بررسی تفاوت معنی دار بین داده استفاده - گردید. بررسی معنادار بودن میانگین نتایج نمونه-ها با یکدیگر نیز با استفاده از آزمون pairwise comparison Tukeys انجام شد (علیمی و همکاران، ۲۰۱۳).

نتایج و بحث

pH و اسیدیته نمونه‌های مایونز بهینه و شاهد تجاری: مطابق جدول (۲) میزان pH در نمونه سس مایونز بهینه کاهش یافت. این کاهش احتمالاً به دلیل افزایش گروه‌های کربوکسیل ناشی از قند D- گلوکورونیک اسید و اسید آمینه اسید آسپارتیک در صمغ عربی و خاصیت اندک اسیدی حاصل از آن در فرمولاسیون نمونه مایونز بهینه می‌باشد (دمن، ۱۹۲۵؛ ایمسون، ۲۰۱۰). همچنین طبق جدول (۳) با کاهش pH، میزان اسیدیته در نمونه بهینه به صورت معناداری افزایش یافت ($p < 0.05$) که با معکوس بودن روند pH و اسیدیته مطابقت داشته است. با این وجود، هر دو پارامتر pH و اسیدیته در محدوده استاندارد ایران قرار داشته‌اند. طبق استاندارد ایران، pH مایونز نباید از ۴/۱ بیشتر و اسیدیته کل نباید کمتر از ۰/۶ برحسب گرم درصد اسید استیک باشد (استاندارد مایونز ایران، شماره ۲۴۵۴). اگر

و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) به عنوان تابعی از فرکانس، به دست آمدند.

میکروسکوپ نوری: در این آزمون از میکروسکوپ نوری (المپوس بی ایکس ۵۱، آمریکا؛ دارای دوربین دی پی ۷۲ المپوس، ژاپن)، لنز شماره ۱۰ و بزرگنمایی ۱۰۰ میکرومتر جهت گرفتن تصاویر میکرومتری از ذرات پخش شده در نمونه بهینه و تجاری استفاده گردید. طی این آزمون، با توجه به میزان وضوح تصاویر و اندازه قطرات فاز پراکنده امولسیون، لنز مورد نظر انتخاب گردیده و گرفتن عکس‌ها صورت پذیرفت.

تجزیه و تحلیل آماری: طراحی و ارائه ۱۲ تیمار سس مایونز حاوی صمغ عربی و پروتئین نخود به عنوان متغیرهای مستقل با بهره‌گیری از نرم افزار دیزاین اکسپرت و روش سطح پاسخ انجام شد. در واقع غلظت‌های تعیین شده برای متغیرهای مستقل و تیمارها توسط این روش به عنوان تیمارهای برگزیده از میان میلیون‌ها نقطه یا تیمار محتمل بوده‌اند. علاوه بر این، تعیین مقادیر بهینه و مطلوب متغیرهای مستقل در نمونه سس مایونز بهینه نیز با توجه به نتایج اخذ شده از آزمون‌های فیزیکوشیمیایی توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت انجام شد. به منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج به دست آمده از آزمون‌های مختلف، از نرم افزار MINITAB 16 استفاده گردید و تجزیه و تحلیل‌ها منطبق با طرح کاملاً تصادفی متعادل و در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ انجام

محصول سریعاً فاسد می‌شود. از این رو اسیدیته بهینه بین ۰/۵ تا ۱/۲ درصد گزارش شده است.

نامطلوب در فرآورده نهایی و غیرقابل خوردن آن می‌شود. همچنین اگر اسیدیته خیلی کم باشد

جدول ۲- نتایج آزمون pH نمونه‌های مایونز بهینه و تجاری

نام نمونه	میانگین pH
شاهد تجاری	3.70 ± 0.00^a
بهینه	3.31 ± 0.00^b

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p > 0.05$)

جدول ۳- نتایج آزمون اسیدیته نمونه‌های مایونز بهینه و تجاری

نام نمونه	میانگین اسیدیته (%)
شاهد تجاری	0.63 ± 0.01^b
بهینه	0.66 ± 0.00^a

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p > 0.05$)

بیان نمود که پروتئین نخود و صمغ عربی نیز از خاصیت سینرژیستی و برهمکنش خوبی با یکدیگر برخوردار هستند که منجر به افزایش ویسکوزیته نمونه مایونز بهینه گردیده است. علاوه بر این می‌توان گفت محاسبه میزان صمغ عربی و پروتئین نخود جهت تولید نمونه مایونز بهینه به درستی صورت پذیرفته و برهمکنش سینرژیستی میان آن دو منجر به بروز ویسکوزیته بالا و مشابه ویسکوزیته نمونه شاهد تجاری شده است. به طوری که نمونه بهینه دچار افت ویسکوزیته ظاهری نشده و در بالاترین مقدار باقی مانده است.

ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مایونز بهینه و شاهد تجاری: مطابق با جدول (۴) میزان ویسکوزیته ظاهری مایونز بهینه و مایونز تجاری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند ($p > 0.05$). باید توجه داشت که طبق مطالعات، دو صمغ گوار و زانتان اثر سینرژیستی بسیار خوبی با یکدیگر دارند که منجر به افزایش ویسکوزیته امولسیون می‌گردد و علت این افزایش، تشکیل شبکه سه بعدی بین زانتان-گوار اعلام شده است (سو و همکاران، ۲۰۱۰). از این رو با توجه به عدم وجود تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌های مایونز بهینه و مایونز تجاری، می‌توان

جدول ۴- نتایج آزمون ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مایونز بهینه و تجاری

نام نمونه	میانگین ویسکوزیته (mPa.s)
شاهد تجاری	$1174 \pm 36/8^a$
بهینه	1200 ± 141^a

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p > 0.05$)



پایداری فیزیکی امولسیون مایونزهای بهینه و شاهد تجاری: اصولاً پایداری یک امولسیون به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهمترین آن تجمع و به هم پیوستگی ذرات می باشد. این تغییرات به اندازه و پراکندگی ذرات فاز پراکنده در امولسیون وابسته است. بر اساس قانون استوک، سرعت حرکت قطرات با مربع شعاع آن متناسب می باشد، بنابراین پایداری امولسیون ناشی از جداسازی گرانشی، از طریق کاهش اندازه قطرات تشدید می شود (مک کلمنتس، ۱۹۹۹). همان گونه که نتایج در جدول (۵) نشان می دهد، میزان پایداری فیزیکی امولسیون در نمونه بهینه کمتر از نمونه شاهد تجاری بوده است ($p < 0/05$). با توجه به شکل (۴) نتایج حاصله در مورد تغییرات اندازه قطرات در نمونه بهینه تایید کننده علت کاهش پایداری در این نمونه می باشد. هر چه یکنواختی اندازه قطرات بیشتر باشد، مونودیسپرسیتی و

پایداری نمونه افزایش یافته و برعکس، هر چه این یکنواختی کمتر شد، پلی دیسپرسیتی افزایش یافته و پایداری نمونه کاهش می یابد (گوتیرز و همکاران، ۲۰۰۲). در واقع افزودن صمغ عربی و پروتئین نخود به نمونه مایونز گرچه توانسته میزان ویسکوزیته نمونه بهینه را تا بالاترین مقدار افزایش دهد اما نتوانسته در مورد فاکتور پایداری فیزیکی امولسیون نمونه بهینه به طور مشابهی عمل نماید. به طوری که میزان پایداری فیزیکی امولسیون در نمونه بهینه دچار افت گردید. از این رو نمی توان مطمئن بود که پایداری فیزیکی امولسیون در نمونه بهینه ناشی از افزایش ویسکوزیته آن توسط دو هیدروکلوئید صمغ عربی و پروتئین نخود بوده است. بلکه این دو پلیمر باردار بیشتر از طریق خاصیت امولسیفایری موجب پایداری فیزیکی نمونه بهینه شده اند (سودربرگ، ۲۰۱۳؛ ایمسون، ۲۰۱۰).

جدول ۵- نتایج آزمون پایداری فیزیکی امولسیون نمونه های مایونز بهینه و تجاری

نام نمونه	میانگین شاخص پایداری (%)
شاهد تجاری	$99/20 \pm 0/42^a$
بهینه	$86/25 \pm 0/35^b$

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند ($p > 0/05$)

شاخص های رنگی نمونه های مایونز بهینه و شاهد تجاری: پارامترهای رنگ یکی از عوامل مهم در پذیرش مایونز توسط مصرف کننده است. مطابق با جدول (۶) نمونه مایونز بهینه دارای روشنایی، تمایل به زردی (b^*) کمتر و تمایل به قرمزی

بیشتری نسبت به مایونز تجاری بوده و این تأثیر بیشتر به واسطه حضور ایزوله پروتئین نخود در فرمولاسیون نمونه مایونز بهینه می باشد. علاوه بر این مک کلمنتس و دمتریاتس (۱۹۹۸)، چانتراپورنچای و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند

طوری که نمونه بهینه که مطابق تصاویر میکروسکوپ نوری (شکل ۴) دارای اندازه ذرات بزرگتری بود، از میزان روشنایی کمتری برخوردار گردیده است.

که کاهش اندازه ذره سبب تغییر رنگ امولسیون از خاکستری به سفید روشن گردیده که ناشی از افزایش پراکندگی نور توسط ذرات بوده است. مشابه نتایج آنها در این پژوهش نیز دیده شده، به

جدول ۶- مقادیر شاخص های رنگی L^* ، a^* و b^* نمونه های مایونز بهینه و تجاری

نام نمونه	L^*	a^*	b^*
شاهد تجاری	$83/47 \pm 0/12^a$	$0/91 \pm 0/84^a$	$17/54 \pm 0/93^a$
بهینه	$80/11 \pm 0/16^b$	$1/14 \pm 0/14^a$	$14/84 \pm 0/02^b$

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند ($p > 0/05$)

طوری که با افزودن پروتئین نخود به نمونه بهینه، تعداد بیشتری از قطرات روغن توسط آن احاطه شده و امکان تجمع و به هم پیوستن قطرات روغن پس از رفع انجماد کاهش یافته و دو فاز شدن رخ نمی دهد. از سوی دیگر باید توجه داشت که هر دو پلیمر صمغ عربی و پروتئین نخود دارای گروه های باردار بوده و امکان ایجاد چند لایه الکترواستاتیک در اطراف قطرات روغن توسط آنها بیشتر است (ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۹). احتمالاً خاصیت امولسیفایری پروتئین نخود در کنار پروتئین تخم مرغ و برهمکنش آن با صمغ عربی منجر به بروز پایداری بسیار زیاد مایونز بهینه در برابر انجماد و انجمادزایی گردیده است.

پایداری فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزایی در مایونزهای بهینه و شاهد تجاری:

طبق جدول (۷)، میزان پایداری فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزایی در نمونه بهینه به طور کاملاً معناداری نسبت به نمونه شاهد تجاری افزایش یافته است که نشان دهنده برهمکنش مناسب امولسیفایرهای صمغ عربی و پروتئین نخود می باشد. در واقع پروتئین ها و پلی ساکاریدها با ایجاد لایه محافظ حول قطرات روغن سبب افزایش پایداری امولسیون های روغن در آب، در مقابل انجماد و رفع انجماد می شوند (اوانس و همکاران، ۲۰۱۳) البته کارایی پروتئین ها در ایجاد این نوع پایداری بیشتر از صمغ ها می باشد. به

جدول ۷- نتایج آزمون پایداری فیزیکی در برابر انجماد و انجمادزایی مایونزهای بهینه و تجاری

نام نمونه	میانگین شاخص پایداری (%)
شاهد تجاری	$47/77 \pm 0/85^b$
بهینه	$98/30 \pm 0/46^a$

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند ($p > 0/05$)

طوری که نمونه بهینه که مطابق تصاویر میکروسکوپ نوری (شکل ۴) دارای اندازه ذرات بزرگتری بود، از میزان روشنایی کمتری برخوردار گردیده است.

که کاهش اندازه ذره سبب تغییر رنگ امولسیون از خاکستری به سفید روشن گردیده که ناشی از افزایش پراکندگی نور توسط ذرات بوده است. مشابه نتایج آنها در این پژوهش نیز دیده شده، به

جدول ۶- مقادیر شاخص های رنگی L^* ، a^* و b^* نمونه های مایونز بهینه و تجاری

نام نمونه	L^*	a^*	b^*
شاهد تجاری	$83/47 \pm 0/12^a$	$0/91 \pm 0/84^a$	$17/54 \pm 0/93^a$
بهینه	$80/11 \pm 0/16^b$	$1/14 \pm 0/14^a$	$14/84 \pm 0/02^b$

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند ($p > 0/05$)

طوری که با افزودن پروتئین نخود به نمونه بهینه، تعداد بیشتری از قطرات روغن توسط آن احاطه شده و امکان تجمع و به هم پیوستن قطرات روغن پس از رفع انجماد کاهش یافته و دو فاز شدن رخ نمی دهد. از سوی دیگر باید توجه داشت که هر دو پلیمر صمغ عربی و پروتئین نخود دارای گروه های باردار بوده و امکان ایجاد چند لایه الکترواستاتیک در اطراف قطرات روغن توسط آنها بیشتر است (ویلیمز و فیلیس، ۲۰۰۹). احتمالاً خاصیت امولسیفایری پروتئین نخود در کنار پروتئین تخم مرغ و برهمکنش آن با صمغ عربی منجر به بروز پایداری بسیار زیاد مایونز بهینه در برابر انجماد و انجمادزایی گردیده است.

پایداری فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزایی در مایونزهای بهینه و شاهد تجاری:

طبق جدول (۷)، میزان پایداری فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزایی در نمونه بهینه به طور کاملاً معناداری نسبت به نمونه شاهد تجاری افزایش یافته است که نشان دهنده برهمکنش مناسب امولسیفایرهای صمغ عربی و پروتئین نخود می باشد. در واقع پروتئین ها و پلی ساکاریدها با ایجاد لایه محافظ حول قطرات روغن سبب افزایش پایداری امولسیون های روغن در آب، در مقابل انجماد و رفع انجماد می شوند (اوانس و همکاران، ۲۰۱۳) البته کارایی پروتئین ها در ایجاد این نوع پایداری بیشتر از صمغ ها می باشد. به

جدول ۷- نتایج آزمون پایداری فیزیکی در برابر انجماد و انجمادزایی مایونزهای بهینه و تجاری

نام نمونه	میانگین شاخص پایداری (%)
شاهد تجاری	$47/77 \pm 0/85^b$
بهینه	$98/30 \pm 0/46^a$

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند ($p > 0/05$)

جریان و در نتیجه کاهش ویسکوزیته می‌شود. از سوی دیگر کاهش تغییرات ویسکوزیته همزمان با افزایش سرعت برشی را می‌توان به کاهش اندازه توده‌های کلئیدی موجود در نمونه نیز نسبت داد. رفتار رقیق شونده با برش، به پمپ شدن آسان‌تر و جریان یافتن بهتر سس از ظرف حامل آن کمک می‌کند (سادار، ۲۰۰۴؛ اسورن، ۲۰۰۰). طبق شکل (۲) رفتار جریان سس‌های مایونز برحسب رابطه تنش برشی در برابر سرعت برشی نشان می‌دهد که نمونه‌های مایونز از نظر رئولوژیکی جزء سیالات غیرنیوتنی طبقه‌بندی می‌شوند؛ زیرا رابطه تنش برشی - سرعت برشی یک رابطه غیرخطی است. همچنین به منظور دستیابی به مدل ریاضی مناسب برای بررسی رفتار جریان امولسیون، داده‌ها با مدل رئولوژیکی کرو برازش داده شد که در جدول (۸) آمده است. محدوده تغییرات ضریب تخمین یا R^2 برای نمونه‌های مایونز ۰/۹۹۶ تا ۰/۹۹۸ بوده که حاکی از انطباق و مناسب بودن مدل کرو برای بررسی رفتار جریان نمونه‌های امولسیونی می‌باشد. ویسکوزیته سرعت برشی صفر نشان دهنده توانایی محلول هیدروکلئید در تعلیق ذرات فرمولاسیون غذایی نظیر سس‌های سالاد و مایونز می‌باشد (حسینی - پرور و همکاران، ۲۰۱۰).

ویژگی‌های رئولوژیکی مایونزهای بهینه و شاهد تجاری

نتایج بررسی آزمون رفتار جریان: شکل (۱) نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برش، ویسکوزیته ظاهری هر دو نمونه تجاری و نمونه بهینه کاهش یافته و نمونه‌ها رفتار رقیق شونده با برش یا سودوپلاستیسیته نشان دادند. این نتایج مطابق با یافته‌های مون و همکاران (۲۰۰۹)، دولز و همکاران (۲۰۰۷)، لیو و همکاران (۲۰۰۷)، وراسینچای و همکاران (۲۰۰۶) بوده است. به هم پیوستگی ذرات، منجر به شکل‌گیری شبکه سه بعدی از ذرات تجمع یافته می‌گردد. با اعمال نیروی برشی بر روی امولسیون، این شبکه تخریب و ذرات تجمع یافته متفرق شده و مقاومت امولسیون به جریان کاهش می‌یابد. این امر موجب کاهش ویسکوزیته ظاهری امولسیون در طی زمان می‌شود. از این رو ویسکوزیته یک سیال رقیق شونده با برش، با افزایش نرخ برش کاهش می‌یابد (وراسینچای و همکاران، ۲۰۰۶). در سوسپانسیون‌های غلیظ، ذرات امولسیون در تنش برشی کم، آرایش و توزیع سه بعدی و تصادفی دارند. وقتی تنش اعمال شده زیاد گردد، ذرات منظم‌تر شده و تشکیل جریان و لایه‌هایی از ذرات را می‌دهند که باعث کاهش مقاومت به

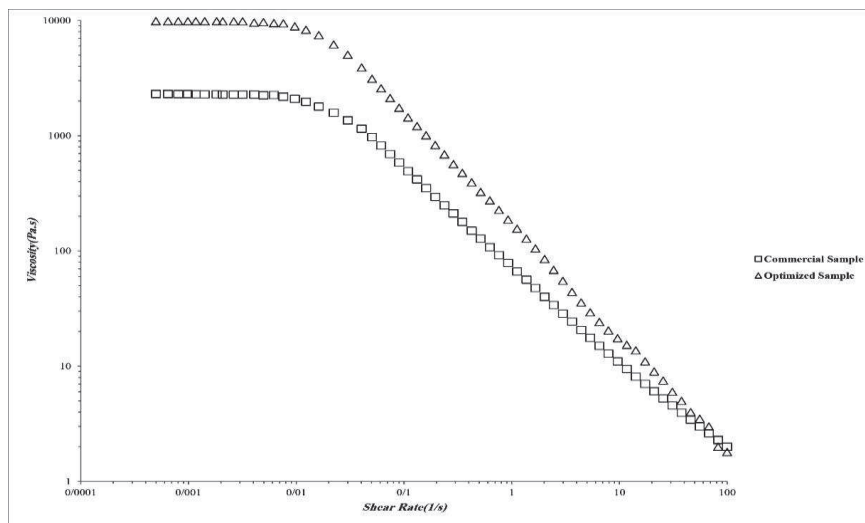
جدول ۸- ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های مایونز بهینه و تجاری منطبق با مدل کرو

نام نمونه	η_0	η_∞	λ	n	R^2
شاهد تجاری	$1846/6 \pm 14/1^b$	$0/81 \pm 0/01^b$	$37/63 \pm 0/75^b$	$0/43 \pm 0/07^b$	۰/۹۹۶
بهینه	$7605/8 \pm 2/83^a$	$2/31 \pm 0/01^a$	$46/30 \pm 0/92^a$	$0/49 \pm 0/07^a$	۰/۹۹۸

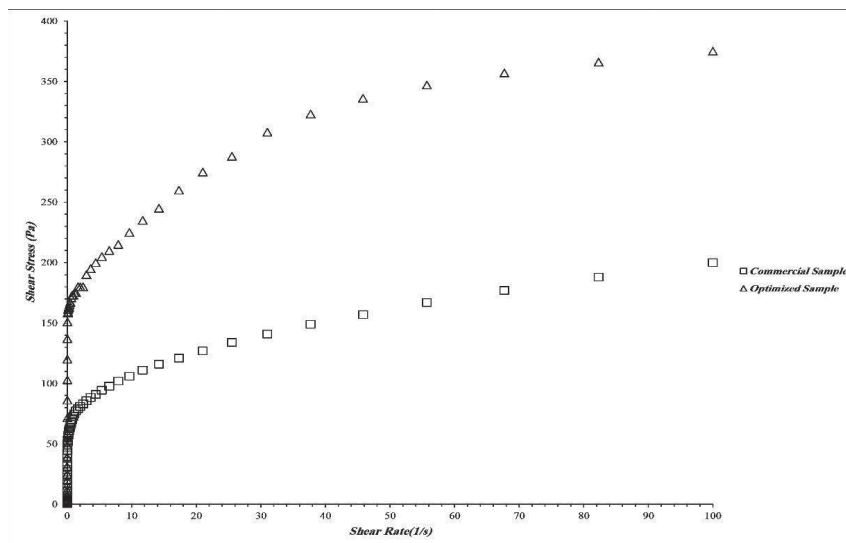
نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p > 0/05$)

نمونه بیشتر از صفر بوده که نشان دهنده‌ی رفتار غیرنیوتنی نمونه‌های مایونز می‌باشد. با توجه به اینکه هر چه مقدار λ فاصله بیشتری از صفر بیابد، رفتار غیرنیوتنی در نمونه تشدید می‌شود، نمونه بهینه دارای رفتار غیرنیوتنی شدیدتری بوده که با شکل (۲) نیز مطابقت دارد. فاکتور n یا شاخص رفتار جریان بیانگر چگونگی رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها می‌باشد و برای هر دو نمونه کوچکتر از ۱ بوده که نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک یا رقیق شوندگی با برش آنها می‌باشد البته هر چه مقدار n در معادله کرو به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر تشدید رفتار غیرنیوتنی در نمونه بوده و در واقع رفتار غیرنیوتنی شدیدتر در نمونه بهینه را نشان می‌دهد که با فاکتور λ نیز مطابقت داشته است. به نظر می‌رسد که ویژگی سودوپلاستیسیته در کاربرد توأم صمغ عربی و پروتئین نخود تشدید می‌شود که می‌تواند ناشی از ویژگی‌های رقیق شوندگی با برش قوی و ضعیف، به ترتیب در محلول پروتئین نخود و محلول صمغ عربی باشد (ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۹). این خاصیت رقیق شوندگی با برش سس مایونز باعث بهبود پراکندگی ذرات روغن در فاز مایع شده و از به هم چسبیدن ذرات روغن و دو فاز شدن سس در طی زمان جلوگیری می‌کند (ماندالا و همکاران، ۲۰۰۴).

از جدول (۸) مشخص است، نمونه شاهد تجاری دارای فاکتور η_0 یا ویسکوزیته در سرعت برشی صفر کمتری نسبت به نمونه بهینه بوده که این نتیجه با شکل (۱) مطابقت داشته است. به نظر می‌رسد که ویژگی η_0 در حضور توأم صمغ عربی و پروتئین نخود نسبت به عدم حضور آنها قوی‌تر بوده و در نمونه بهینه سبب معلق شدن و پراکندگی بهتر ذرات امولسیون شده است. فاکتور η_{∞} یا ویسکوزیته در سرعت برشی بی‌نهایت، نشانگر روند مشابه برای رسیدن به حالت نیوتنی در سرعت‌های برشی بالا می‌باشد (حسینی‌پرور و همکاران، ۲۰۱۰). این مقدار نیز در نمونه مایونز بهینه بیشتر از نمونه شاهد تجاری بوده است. با توجه به دو فاکتور η_0 و η_{∞} ، به نظر می‌رسد که نمونه بهینه دچار کمترین میزان افت ویسکوزیته ناشی از اعمال برش شده باشد. این پدیده می‌تواند ناشی از ایجاد برهمکنش مناسب میان صمغ عربی و پروتئین نخود در بهترین مقادیر مورد محاسبه توسط روش سطح پاسخ (۰/۳۹٪ و ۱/۶۶٪) بوده که مطابق با جداول (۴) و (۷)، از ویسکوزیته مشابه نمونه شاهد تجاری و پایداری در برابر انجماد بالاتری نیز برخوردار بوده است. از نظر فاکتور λ (زمان رهاسازی سیال) نیز نمونه بهینه با نمونه شاهد تجاری دارای اختلاف معنی‌داری گردید ($p < 0/05$). مقادیر λ نیز در هر دو



شکل ۱- روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به سرعت برشی برای نمونه‌های مایونز بهینه و تجاری (□: نمونه تجاری، Δ: نمونه بهینه)



شکل ۲- روند تغییرات تنش برشی نسبت به سرعت برشی برای نمونه‌های مایونز بهینه و تجاری (□: نمونه تجاری، Δ: نمونه بهینه)

زاویه‌ای ثابت ۱ رادیان بر ثانیه بررسی شد و میزان کرنش در منطقه ویسکوالاستیک خطی برابر با ۰/۵٪ به دست آمد. آنگاه آزمون روبش فرکانس در زیر منطقه ویسکوالاستیک خطی یعنی کرنش

آزمون نوسانی و ویژگی‌های ویسکوالاستیک: طی آزمون روبش کرنش، روند تغییرات مدول الاستیک یا ذخیره (G') و مدول ویسکوز یا افت G'' نسبت به کرنش ۰/۰۱-۱۰۰٪ در فرکانس

دارای رفتار ویسکوالاستیک جامد بوده و $G' < G''$ باشد، نمونه رفتار ویسکوالاستیک مایع از خود نشان می‌دهد (کوئیتانا و همکاران، ۲۰۰۲). شکل (۳) نشان می‌دهد که در هر دو نوع مایونز مؤلفه‌های الاستیک و ویسکوز وابسته به فرکانس بوده است که بیانگر وجود ساختار ژل ضعیف در نمونه‌ها می‌باشد. طی آزمون روبش فرکانس در محدوده ویسکوالاستیک خطی، مدول ذخیره (G') در تمام محدوده فرکانس زاویه‌ای بالاتر از مدول افت (G'') بوده است که این روند حاکی از غالب بودن ویژگی الاستیک در نمونه‌های مایونز می‌باشد. پژوهشگران دیگر نیز گزارش نمودند که مایونز در فرکانس‌های ۱۰-۰/۱ هرتز و ۱۰۰-۰/۱ هرتز، ویژگی‌های ژل ضعیف را نشان می‌دهد (لیو و همکاران، ۲۰۰۷؛ وراسینچای و همکاران، ۲۰۰۶؛ مانسینی و همکاران، ۲۰۰۲). به طور کلی انتظار می‌رود که امولسیون‌ها با میزان روغن زیاد، مقادیر G' بالایی نشان دهند (ما و باربوسا-کانواس، ۱۹۹۵). بالاتر بودن این شاخص در نمونه مایونز بهینه نشان دهنده قوی‌تر بودن ویژگی الاستیک در این نمونه نسبت به نمونه شاهد تجاری است. رفتار ژل مانند نمونه‌ها نسبت به فرکانس می‌تواند به ساختار سه بعدی ژلی ناشی از درگیری‌های فیزیکی در میان زنجیره‌های پلیمری نسبت داده شود. برهمکنش سینرژیستی

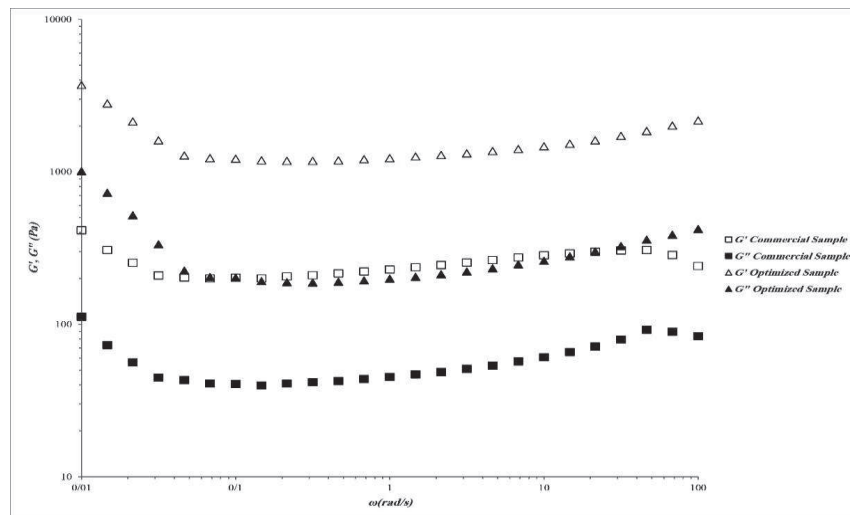
ثابت 0.4% و محدوده فرکانس زاویه‌ای ۱۰۰-۰/۰۱ رادیان بر ثانیه انجام شد. طیف وسیعی از تنش‌های وارد بر امولسیون‌هایی از قبیل مایونز، رفتار ویسکوالاستیک خطی را به نمایش می‌گذارند که می‌تواند بیانگر ماهیت نیروهای بین مولکولی لیپوپروتئین‌های جذب شده در اطراف قطرات روغن باشد، به طوری که امولسیون‌های حاوی نیروهای بین مولکولی ضعیف‌تر، نسبت به برش حساس‌تر بوده و محدوده ویسکوالاستیک کوچکتری دارند. معمولاً نیروهای بین مولکولی ناشی از برهمکنش‌های هیدروکلوئیدها، قوی‌تر بوده و از محدوده ویسکوالاستیک بزرگتری برخوردار می‌باشند (کوئیتانا و همکاران، ۲۰۰۲). منحنی‌های حاصل از آزمون روبش فرکانس، ممکن است برحسب فرکانس (با واحد هرتز) یا فرکانس زاویه‌ای (با واحد رادیان بر ثانیه) رسم شوند. G' (مؤلفه الاستیک) به عنوان معیاری از قدرت ساختاری^{۲۵} یا قابلیت حفظ شکل^{۲۶} می‌باشد. مدول ذخیره میزان رفتار الاستیک و مقدار انرژی بازیابی شده در واحد حجم و در هر سیکل کامل موج کرنش را نشان می‌دهد و G'' (مؤلفه ویسکوز) 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 $G' > G''$ باشد، نمونه

25- Structural strength

26-Shape retention factor

عرضی شبکه می‌باشد (لورنزو و همکاران، ۲۰۰۸).

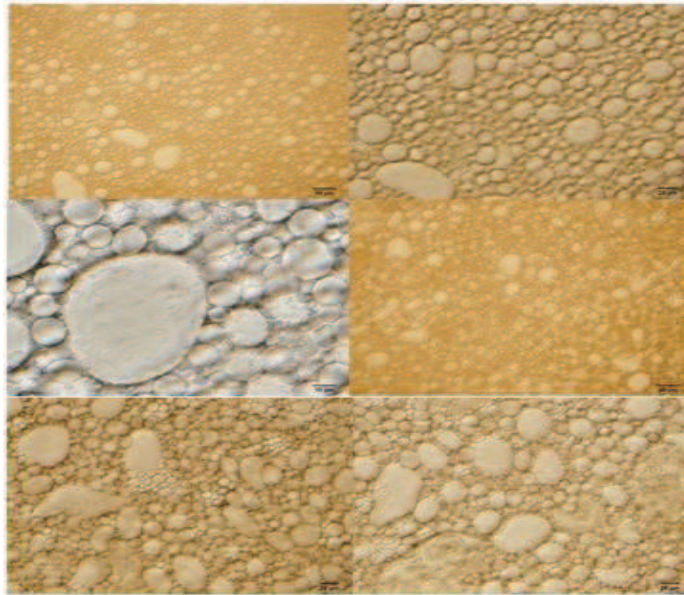
بین هیدروکلوئید صمغ عربی و ایزوله پروتئین نخود نیز فاکتور مطلوبی جهت توسعه اتصالات



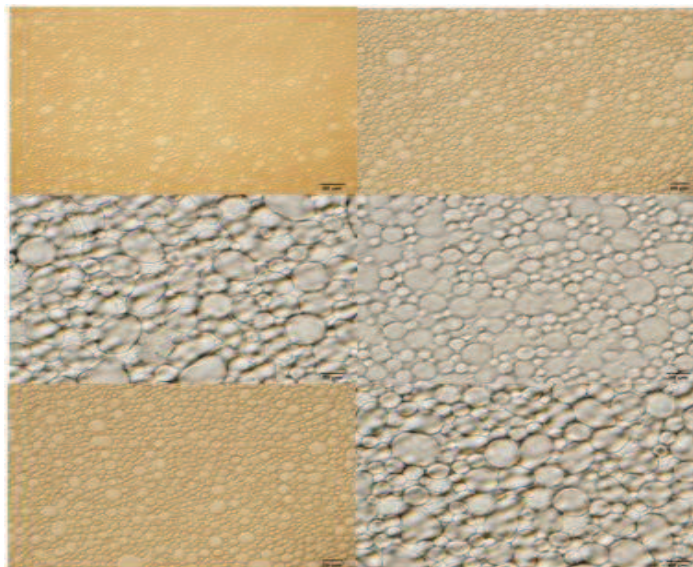
شکل ۳- روند تغییرات مدول ذخیره و افت نسبت به فرکانس برای نمونه‌های مایونز بهینه و تجاری (□: نمونه تجاری، Δ: نمونه بهینه)

متراکم‌تری حاصل گردید، در حالی که در نمونه بهینه میزان پلی‌دیسپرسیته افزایش و یا به عبارت دیگر یکنواختی اندازه قطرات کاهش یافته است. این نتایج با نتایج مأخوذه از آزمون پایداری فیزیکی امولسیون کاملاً منطبق و سازگار می‌باشد. بدین صورت که افزودن صمغ عربی توانسته موجب افزایش اندازه ذرات در نمونه بهینه گردد. علاوه بر دلایل مذکور، طبق گزارشات سو و همکاران (۲۰۱۰) مواد ژل‌کننده ضعیف به میزان کمی در فاز پیوسته آبی پراکنده شده و نهایتاً موجب بزرگتر شدن اندازه ذرات می‌گردند.

تصاویر میکروسکوپ نوری برای نمونه‌های مایونز بهینه و شاهد تجاری: ریزساختار نمونه‌های مایونز در اشکال (۴) و (۵) نشان داده شده است. مایونز شامل قطرات روغن پراکنده در فاز آبی می‌باشد. فاکتورهایی مانند نوع امولسیفایر، پایدار کننده و غلظت آنها، اندازه قطرات و غلظت روغن و ویسکوزیته فاز آبی، تعیین کننده ساختار مایونز می‌باشند (مون و همکاران، ۲۰۰۹). در نمونه مایونز تجاری اندازه قطر ذرات کوچک بوده و به صورت یکنواخت و منظم کنار یکدیگر قرار گرفتند و ریزساختار



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی سس مایونز بهینه



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی سس مایونز تجاری

مایونز به عنوان پایدار کننده را دارد، به طوری که پس از طراحی نمونه مایونز بهینه با استفاده از روش سطح پاسخ و انجام آزمون‌های مختلف، مشاهده شد که این نمونه در مقایسه با نمونه شاهد تجاری از لحاظ شاخص‌های پایداری

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، صمغ عربی در کنار پروتئین نخود سبب بهبود بسیاری از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی مایونز شده و قابلیت استفاده در سس

می‌تواند جایگزین مناسبی جهت صمغ‌های وارداتی در فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی از قبیل سس مایونز باشد. بنابراین می‌توان سس مایونز را با استفاده از مقادیر مناسب صمغ عربی و پروتئین نخود تولید نمود، بدون آنکه در شرایط مختلف نگهداری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سس مایونز در مقایسه با نمونه‌های شاهد دچار تفاوت عمده‌ای گردد. به عبارتی دیگر با توجه به مشابهت یا بهبود خصوصیات اصلی سس مایونز محتوی صمغ عربی و پروتئین نخود با سس مایونز تجاری، می‌توان استفاده از این صمغ کاملاً طبیعی، بی‌زیان و قابل کشت در ایران را به عنوان جانشین مناسبی برای مواد مذکور به کارخانجات سس مایونز پیشنهاد کرد.

فیزیکی امولسیون در برابر انجماد و انجمادزدایی، ویژگی‌های رئولوژیکی η_0 (ویسکوزیته در سرعت برشی صفر) و η_{∞} (ویسکوزیته در سرعت برشی بی‌نهایت) نسبت به نمونه شاهد تجاری برتری معناداری داشته ($p < 0/05$) و از لحاظ شاخص رنگی a^* تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نشان نداده است ($p > 0/05$). علاوه بر این کاربرد توام صمغ عربی و پروتئین نخود توانسته سبب حفظ کیفیت روشنائی و ویژگی‌های آن در طی فرایند انجماد شود. از این رو نمونه مایونز بهینه (حاوی ۰/۳۹٪ صمغ عربی - ۱/۶۶٪ پروتئین نخود) به عنوان نمونه مایونز برگزیده در این پژوهش معرفی می‌شود. در واقع صمغ عربی با توجه به فراوانی و دسترسی آسان و قیمت مناسب

منابع

۱. دمن، ج. م. ۱۳۸۲. مبانی شیمی مواد غذایی. ترجمه ب. قنبرزاده، انتشارات آبیژ، تهران، ۳۲۷ ص.
۲. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۷۱. "مایونز و سس‌های سالاد-ویژگی‌ها"، استاندارد شماره ۲۴۵۴، چاپ اول.
3. Alimi, M., Mizani, M., Naderi, Gh., Mortazavian, A.M. and Bameni Moghadam, M. 2013. Development of low – fat mayonnaise containing combined mixtures of different types of inulin. *Food Agriculture and Environment*, 11(1): 99-104.
4. Aryee, F.N.A. and Nickerson, M.T. 2012. Formation of electrostatic complexes involving mixtures of lentil protein isolates and gum Arabic polysaccharides. *Food Research International*, 48: 520-527.
5. Bouyer, E., Mekhloufi, Gh., Potier, I., Kerdaniel, T., Grossiord, J., Rosilio, V. and Agnely F. 2011. Stabilization mechanism of oil-in-water emulsions by β -lactoglobulin and gum Arabic. *Colloid and Interface Science*, 354: 467-477.
6. ColorFlex EZ User's Manual. 2013. Hunter Associates Laboratory, Virginia, pp: 8-9.
7. Chantrapornchai, W., Clydesdale, F. and McClements, D.J. 1999. Influence of droplet characteristics on the optical properties of colored oil-inwater emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 155: 373-382.
8. Dolz, M., Hernandez, M.J. and Delegido, J. 2006. Oscillatory measurements for salad dressings stabilized with modified starch, xanthan gum and locust bean gum. *Applied Polymer Science*, 102(1): 897-903.

9. Evans, M., Ratcliffe, I. and Williams, P.A. 2013. Emulsion stabilisation using polysaccharide-protein complexes. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 18: 272-282.
10. Ghosh, S. and Coupland, J.N. 2008. Factors affecting the freeze-thaw stability of emulsions. *Food Hydrocolloids*, 22: 105-111.
11. Gutierrez, X., Siliva, F., Chirinos, M., Leiva, J. and Rivas, H. 2002. Bitumen-in-water emulsion: an overview on formation, stability and rheological properties. *Dispersion Science and Technology*, 23: 405-418.
12. Hernandez-Carrion, M., Guardeno, L.M., Carot, J.M., Perez-Munuera, I., Quiles, A. and Hernando, I. 2011. Structural stability of white sauces prepared with different types of fats and thawed in microwave oven. *Food Engineering*, 104: 557-564.
13. Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L., Goh, K.K.T., Razavi, S.A. and Mortazavi, S.M.A. 2010. Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: Effect of concentration and temperature. *Food Engineering*, 101: 236-243.
14. Ibanoglu, E. 2002. Rheological behavior of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum Arabic. *Food Engineering*, 52: 273-277.
15. Imeson, A. 2010. *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Blackwell Publishing, Chichester, 354 p.
16. Klassen, D.R. and Nickerson, M.T. 2012. Effect of pH on the formation of electrostatic complexes within admixtures of the formation of electrostatic complexes within admixtures of partially purified pea proteins (legumin and vicilin) and gum Arabic polysaccharides. *Food Research International*, 46: 167-495.
17. Liu, H., Xu, X.M. and Guo, S.D. 2007. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, 40: 946-954.
18. Lorenzo, G., Zaritzky, N. and Califano, A. 2008. Modeling rheological properties of low-in-fat o/w emulsions stabilized with xanthan/guar mixtures. *Food Research International*, 41: 487- 494.
19. Lv, Y., Zhang, X., Zhang, H., Abbas, Sh. and karangwa, E. 2013. The study of pH-dependent complexation between gelatin and gum Arabic by morphology evolution and conformational transition. *Food Hydrocolloids*, 30: 323-332.
20. Ma, L. and Barbosa-Canovas, G.V. 1995. Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *Food Engineering*, 25: 409-425.
21. Magnusson, E., Rosen, C. and Nilsson, L. 2011. Freeze-thaw stability of mayonnaise type oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 25: 707-715.
22. Mahfoudhi, N., Sessa, M., Chouaibi, M., Ferrari, G., Donsi, F. and Hamdi, S. 2013. Assessment of emulsifying ability of almond gum in comparison with gum Arabic using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 37: 49-59.
23. Mancini, F., Montanari, L., Peressini, D. and Fantozzi, P. 2002. Influence of alginate concentration and molecular weight on functional properties of mayonnaise. *Food Science and Technology*, 35(6): 517- 525.
24. 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. *Food Engineering*, 64: 335-342.
25. McClements, D.J. 2009. Biopolymers in food emulsions. In: *Modern Biopolymer Science* (Editors: S. Kasapis, I.T. Norton, and J.B. Ubbink). Springer, New York, pp: 129-166.
26. McClements, D.J. and Demetriades, K. 1998. An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. *Critical Reviews and Food Science Nutrition*, 38(6): 511-536.

27. Mun, S., Cho, Y., Decker, E.A. and McClements, D.J. 2008. Utilization of polysaccharide coatings to improve freeze-thaw and freeze-dry stability of protein-coated lipid droplets. *Food Engineering*, 86: 508-518.
28. Nikzade, V., MazaheriTehrani, M. and Saadatmand-Tarzjan, M. 2012. Optimization of low cholesterol-low fat mayonnaise formulation. *Food Hydrocolloids*, 28: 344-352.
29. Niu, F., Su, Y., Liu, Y., Wang, G., Zhang, Y. and Yang, Y. 2014. Ovalbumin-gum arabic interactions: Effect of pH, temperature, salt, biopolymers ratio and total concentration. *Colloids and Surfaces B:Biointerfaces*, 113: 477-482.
30. Patino, J. and Pilosof, A. 2011. Protein-polysaccharide interactions at fluid interfaces. *Food Hydrocolloids*, 25: 1925-1937.
31. Quintana, J.M., Califano, A.N., Zaritzky, N.E. and Partal, P. 2002. Effect of salt on the rheological properties of low-in-fat O/W emulsions stabilised with polysaccharides. *Food Science and Technology (Campinas.)*, 8(4): 213-221.
32. Sadar, L.N. 2004. Rheological and textural characteristics of copolymerized hydro colloidal solutions containing curdlan gum. *MSc thesis*, University of Maryland, Maryland.
33. Söderberg, J. 2013. Functional properties of legume proteins compared to egg proteins and their potential as egg replacers in vegan food. *Master thesis*, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
34. Su, HP., Lien, C.P., Lee, T.A. and H, R.S. 2010. Development of low- fat mayonnaise containing polysaccharide gums as functional ingredients. *Science of Food and Agriculture*, 90: 806-812.
35. Sworn, G. 2000. Xanthan gum. In: *Hand book of hydrocolloids* (Editors: G.O. Phillips, and P.A. Williams). Woodhead Publishing, Cambridge. Pp: 103-115
36. Wang, B., Wang, L., Li, D., Adhikari, B. and Shi, J. 2011. Effect of gum Arabic on stability of oil-in-water emulsion stabilized by flaxseed and soybean protein. *Carbohydrate Polymers*, 86: 343-351.
37. Williams, P.A. and Phillips, G.O. 2009. *Handbook of hydrocolloids*. CRC press, Washington, Dc.
38. Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S. and Jamnong, P. 2006. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 20: 68-78.



Production of optimized mayonnaise by Arabic gum and Pea protein

*P. Pedram Azad¹, M. Alimi², M. Mizani³

¹ MSc Graduate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Food Science, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, ² Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Food Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, ³ Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch

Received: 5-4-2017; Accepted: 16-5-2017

Abstract

The aim of this study was to apply arabic gum (1.46% - 0%) and pea protein (2.5% - 0%) to improve the physico-chemical and rheological properties to produce mayonnaise resistant to freezing and defrost with desirable characteristics. The samples in this study were planned in 12 treatments. One week, after production of the samples, pH, viscosity, color and emulsion stability tests were performed and the results of these tests and the application of optimal design expert with 0.39% arabic gum and 1.66% pea protein tested for pH, acidity, emulsion stability tests, color measurement, freezing and defrost stability, flow behavior, frequency sweep and light microscopy tests were performed on optimized sample and commercial control one. The results revealed that addition of arabic gum and pea protein have not shown significant difference in a^* factor ($p > 0.05$) but optimized sample has shown significant difference in freezing and defrost test and rheological properties of the commercial control ($p < 0.05$). Therefore, regarding to the mentioned results, in this study optimized sample containing 0.39% arabic gum and 1.66% pea protein is introduced as mayonnaise resistant to freezing and defrost with optimized physicochemical and rheological properties.

Keywords: Arabic gum, Pea protein, Freezing and defrost stability, Mayonnaise, Rheological properties.