

بررسی رفتار وابسته به زمان سس مایونز کم چرب تهیه شده با صمغ قدومه شهری و کنسانتره پروتئین آب پنیر

هدی سیف الدین^۱، آرش کوچکی^{۲*}، سید محمد علی رضوی^۳، الناز میلانی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۶)

چکیده

در این تحقیق رفتار وابسته به زمان سس مایونز کم چرب (۳۵ و ۵۰ درصد روغن) و کم کلسترول حاوی غلظت های مختلف صمغ قدومه شهری (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) و کنسانتره پروتئین آب پنیر در سرعت های برش ۲۵، ۵۰ و ۷۵ بر ثانیه بررسی گردید. داده های حاصل از آزمون با مدل های رئولوژیکی مربوطه برازش داده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تمام نمونه ها دارای رفتار تیکسوتروپ بوده و با گذشت زمان ویسکوزیته آن ها کاهش یافت. سرعت و میزان کاهش ویسکوزیته به عواملی چون مقدار سرعت برش، درصد چربی و غلظت صمغ بستگی داشت. ویسکوزیته نمونه ها در سرعت های برشی بالاتر، سریعتر کاهش یافته و به حد تعادل نزدیک شد. نمونه های حاوی چربی کمتر، ویسکوزیته پایین تری داشتند و در هنگام اعمال تنش، ویسکوزیته سریعتر به حد تعادل نزدیک گردید. با افزودن صمغ قدومه شهری به عنوان جانشین بخشی از روغن، ویسکوزیته مجددا افزایش یافته و به نمونه با چربی کامل نزدیک شد. در این بررسی ثابت سرعت شکست ساختار با افزایش سرعت برش و غلظت صمغ روند خاصی از خود نشان نداد.

کلید واژگان: رفتار وابسته به زمان، سس مایونز، صمغ قدومه شهری

* مسئول مکاتبات: koocheki@um.ac.ir

۱- مقدمه

سس مایونز به عنوان یک امولسیون روغن در آب طبقه بندی می شود. روغن گیاهی، اسید استیک و زرده تخم مرغ ترکیبات اصلی تشکیل دهنده مایونز هستند [۱]. بر اساس استاندارد ملی ایران، سس مایونز باید حاوی حداقل ۶۶ درصد چربی باشد [۲]. درصد بالای چربی باعث افزایش بیماری های مزمن مانند چاقی، بیماری های قلبی، فشار خون بالا و دیابت می شود. بنابراین، تولید غذاهای کم کالری، مانند غذاهای کم چرب یا بدون چربی اهمیت بسیاری دارد [۳ و ۴]. به منظور کاهش میزان چربی و ایجاد یک محصول با بافت نزدیک به سس مایونز اصلی می توان از ترکیبات مختلف استفاده کرد [۵]. معمولاً در صنعت از صمغ ها به عنوان پایدار کننده استفاده می شود [۶ و ۷]. این ترکیبات با افزایش ویسکوزیته و کنترل حرکت ذرات روغن، باعث جلوگیری از خامه ای شدن^۱ و بهم آمیختگی^۲ ذرات روغن می شوند [۸]. دانه قدومه شهری حاوی پوشش نازک و موسیلاژی است که هنگام خیس شدن در آب، آزاد می شود [۹]. از صمغ استخراج شده از دانه قدومه شهری می توان به عنوان یک ماده غلیظ کننده، جهت پایدار سازی امولسیون های غذایی استفاده کرد [۱۰]. در بین ترکیبات سس مایونز، زرده تخم مرغ به عنوان امولسیفایر نقش بسیار مهمی در پایداری فراورده دارد [۱۱]. اما به دلیل میزان بالای کلسترول آن، جایگزین کردن تخم مرغ و کاهش میزان مصرف آن در فراورده، اهمیت ویژه ای یافته است [۱۲]. کنسانتره پروتئین آب پنیر به طور گسترده به عنوان یک امولسیفایر و پایدار کننده در صنعت غذا استفاده می شود.

رفتار تیکسوتروپ در سس های سالاد و مایونز توسط محققان مختلفی بررسی شده است. هرناندز و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی رفتار تیکسوتروپ سس سالاد پایدار شده با نشاسته اصلاح شده، پکتین و صمغ ژلان پرداختند و بیان داشتند که امولسیون تهیه شده با پکتین پایداری بیشتری در برابر دما و زمان اعمال تنش داشت، در حالی که بیشترین میزان تیکسوتروپی مربوط به نمونه تهیه شده با نشاسته بود [۸]. سینگلا و همکاران (۲۰۱۳) نیز رفتار مستقل از زمان و وابسته به زمان سس مایونز دارای تخم مرغ و فاقد آنرا

بررسی کردند. نتیجه تحقیق نامبردگان نشان داد که تمام نمونه ها رفتار رقیق شونده با برش داشته و در آزمون های وابسته به زمان، رفتار تیکسوتروپ نشان دادند [۱۳]. فیگونی و شوماکر (۱۹۸۳) نیز رفتار وابسته به زمان سس مایونز را بررسی کردند و رفتار تیکسوتروپ را در سس مایونز گزارش نمودند [۱۴]. آگاهی از رفتار رئولوژیکی ماده غذایی در کنترل کیفیت، خصوصیات بافتی، پذیرش مصرف کننده و طراحی تجهیزات مفید می باشد [۱۵]. مطالعه ویژگی های رئولوژیکی وابسته به زمان مواد غذایی در درک ارتباط بین ساختار ماده غذایی و رفتار جریان آن و ارتباط پارامترهای فیزیکی و ارزیابی های حسی اهمیت دارد [۱۴]. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی رفتار وابسته به زمان سس مایونز کم چرب و کم کلسترول حاوی صمغ قدومه شهری و کنسانتره پروتئین آب پنیر می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

روغن آفتابگردان، تخم مرغ، سرکه، نمک، شکر، پودر خردل و کنسانتره پروتئین آب پنیر از بازار تهیه شدند.

۲-۲- روش ها

- استخراج صمغ قدومه شهری

استخراج صمغ قدومه شهری از دانه کامل توسط آب مقطر به روش کوچکی و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد.

- آماده سازی سس مایونز

نمونه های مختلف سس مایونز در سه تکرار طبق مواد اولیه مندرج در جدول ۱ در دو سطح چربی (۳۵ و ۵۰ درصد) و سه سطح صمغ (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) تهیه شدند. همچنین ۵۰ درصد تخم مرغ کاهش یافته و از کنسانتره پروتئین آب پنیر به عنوان جایگزین آن استفاده گردید.

در ابتدا کلیه مواد پودری شامل نمک، شکر، پودر خردل و کنسانتره پروتئین آب پنیر با تخم مرغ و یک سوم میزان سرکه مورد نیاز مخلوط و با همزن دور زیاد به مدت ۳ دقیقه زده شد، پس از آن مخلوط صمغ و آب اضافه گردید و هم زدن ادامه یافت. سپس روغن به آرامی در حین زدن در طی مدت زمان ۵

1. Creaming
2. Coalescence

دقیقه اضافه گردید تا امولسیون تشکیل شود. در نهایت باقی مانده سرکه اضافه شده با دور زیاد همزن به مدت ۳ دقیقه زده می شود

جدول ۱- مواد اولیه استفاده شده در تهیه نمونه های مختلف سس مایونز بر حسب درصد وزنی

نوع نمونه	روغن	تخم مرغ	سرکه	نمک	شکر	خردل	کنسانتره پروتئین آب پنیر	صمغ	آب
چربی کاهش یافته و کم کلسترول	۵۰٪	۶٪	۱۲٪	۰/۷٪	۵٪	۰/۳٪	۶٪	۰/۵، ۰/۷۵ و ۱٪	تا ۱۰۰٪
کم چرب و کم کلسترول	۳۵٪	۶٪	۱۲٪	۰/۷٪	۵٪	۰/۳٪	۶٪	۰/۵، ۰/۷۵ و ۱٪	تا ۱۰۰٪
شاهد	۷۰٪	۱۲٪	۱۲٪	۰/۷٪	۵٪	۰/۳٪	۰	۰	۰

- بررسی رفتار وابسته به زمان

رفتار وابسته به زمان نمونه ها پس از ۲۴ ساعت نگه داری در یخچال توسط دستگاه ویسکومتر بوهلین (Visco88, Bohlin Ltd, انگلیس) مجهز به سیرکولاتور حرارتی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و در سرعت های برش ۲۵، ۵۰ و ۷۵ بر ثانیه بررسی شد. به منظور بررسی رفتار جریان وابسته به زمان نمونه ها از مدل های زیر استفاده شد. داده های آزمون توسط نرم افزار Slidewrite با مدل های زیر برازش شدند.

۱- مدل درجه اول تنزل تنش با مقدار تنش تعادلی برابر صفر

$$\tau = \tau_0 e^{-kt}$$

۲- مدل درجه اول تنزل تنش با مقدار تنش تعادلی نا برابر صفر

$$\tau - \tau_{eq} = (\tau_0 - \tau_{eq}) e^{-kt}$$

۳- مدل ولتمن $\tau = A + B \ln(t)$

۴- سیلتیک ساختار $\frac{(\eta - \eta_{\infty})^{1-n}}{(\eta_0 - \eta_{\infty})^{1-n}} = (n-1)kt + 1$

در مدل های فوق، t زمان برش (s)، τ_0 مقدار تنش برشی اولیه (pa)، τ_{eq} مقدار تنش برشی تعادلی (pa)، k ثابت سرعت تخریب (1/s)، η_0 ویسکوزیته ظاهری اولیه (pa.s)، η_{∞} ویسکوزیته ظاهری نهایی (pa.s) و A و B به ترتیب تنش برشی اولیه و مشخصه رفتار وابسته به زمان (میزان تخریب) هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویسکوزیته سس مایونز

رفتار وابسته به زمان سس های مایونز با درصدهای مختلف چربی، صمغ دانه قدومه شهری و در سرعت های برش متفاوت در شکل ۱ نشان داده شده است. تمام نمونه ها دارای رفتار

تیکسوتروپ بودند و با گذشت زمان، قوام نمونه ها کاهش یافت. در تمام سرعت های برشی، ویسکوزیته ظاهری نمونه ها به سرعت در ۱۰۰ ثانیه اول کاهش یافت و پس از ۳۰۰ ثانیه به یک مقدار تعادلی ثابت، نزدیک شد. سرعت و میزان کاهش ویسکوزیته به عواملی چون مقدار سرعت برش، درصد چربی و غلظت صمغ وابسته بود. ویسکوزیته نمونه ها در سرعت های برشی بالاتر، سریعتر کاهش یافته و به حد تعادل نزدیک شد (شکل ۱ الف). این امر نشان می دهد که سرعت شکست ساختار نمونه ها در یک دامنه برش، با افزایش سرعت برش تسریع می شود [۱۶]. ویسکوزیته سس های مایونز با کاهش مقدار چربی کاهش یافت و در هنگام اعمال تنش، ویسکوزیته سریعتر به حد تعادلی نزدیک گردید (شکل ۱ ج). دلوزسکا و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش دادند که افزایش روغن باعث افزایش ویسکوزیته امولسیون می شود [۱۷]. هنگامی که فاز روغن افزایش می یابد، ذرات به یکدیگر نزدیک شده و ذرات روغن به صورت یک توده کنار یکدیگر قرار می گیرند. در نتیجه، واکنش های بین ذره ای قوی تر شده و ویسکوزیته افزایش می یابد [۱۸]. ویسکوزیته سس های مایونز در اثر افزودن صمغ قدومه شهری و با افزایش غلظت آن افزایش یافت (شکل ۱ ب). افزودن صمغ قدومه شهری به عنوان جایگزین قسمتی از چربی توانست سس مایونز با ویسکوزیته مشابه نمونه با چربی کامل ایجاد کند. این امر به دلیل افزایش حضور مولکول های با وزن مولکولی بالا است که باعث افزایش مقاومت نسبت به جریان و افزایش ویسکوزیته ظاهری می شود [۹]. سایر محققان نیز نتیجه مشابهی را مبنی بر افزایش ویسکوزیته ظاهری در اثر افزایش غلظت صمغ های گوار و زانتان در سس سالاد [۱۹]، زانتان و

۲-۳- مدل های رئولوژیکی وابسته به زمان

- مدل درجه اول تنزل تنش با تنش تعادلی صفر

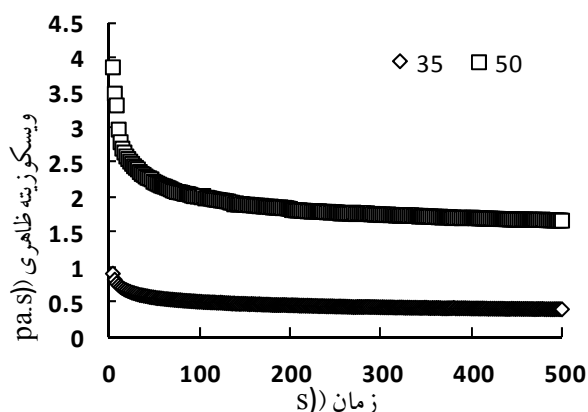
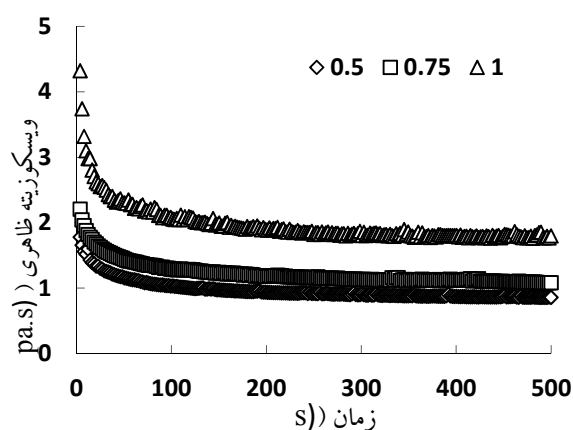
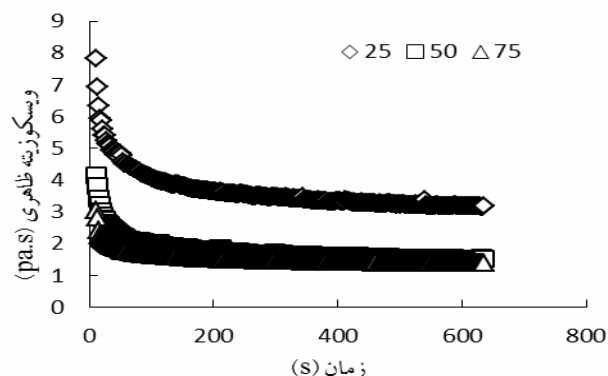
پارامترهای حاصل از برازش داده ها با مدل درجه اول تنزل تنش با تنش تعادلی برابر صفر در جدول ۲، نشان داده شده است. مقدار پایین R^2 نشان می دهد که این مدل برای توصیف رفتار وابسته به زمان نمونه های سس مایونز مناسب نمی باشد. اگرچه نتایج مربوط به برازش داده ها نشان داد که با افزایش سرعت برشی در یک غلظت ثابت، تنش برشی اولیه (τ_0) افزایش یافت.

τ_0 نشان دهنده تنش برشی اولیه مورد نیاز برای شکست ساختار محصول در هنگام اعمال برش می باشد. با کاهش میزان چربی در نمونه های سس مایونز تنش برشی اولیه کاهش یافت. این امر به دلیل کاهش ویسکوزیته در اثر کاهش چربی می باشد [۲۲]. با افزایش میزان صمغ قدومه شهری، ویسکوزیته نمونه ها مجدداً افزایش یافته و در نتیجه تنش برشی اولیه افزایش یافت.

بنابراین با افزودن صمغ قدومه شهری به عنوان جایگزین بخشی از روغن در سس مایونز، می توان سس مایونز با چربی و تخم مرغ کاهش یافته با ویسکوزیته نزدیک به سس مایونز با چربی و تخم مرغ کامل تولید کرد.

ثابت سرعت شکست ساختار k ، معیاری از سرعت تجزیه ساختار نمونه ها است و میزان وابستگی نمونه ها به زمان را نشان می دهد. با افزایش غلظت صمغ و چربی و افزایش سرعت برش روند خاصی در ثابت شکست ساختار دیده نشد (جدول ۲). بلاتا و همکاران (۲۰۱۲) نیز رفتار وابسته به زمان امولسیون روغن در آب پایدار شده با ایزوله پروتئین آب پنیر را بررسی نمودند. نتایج این محققان نیز روند مشخصی در ثابت سرعت شکست ساختار نشان نداد [۲۳]. فیگونی و شوماکر (۱۹۸۳) دریافتند که میزان شکست ساختار مایونز با افزایش سرعت برش روند مشخص افزایشی یا کاهشی نداشت که این موضوع به دلیل محدوده باریک سرعت برش مورد استفاده بود [۱۴].

لوبیای لوکاست در سس مایونز [۲۰] و صمغ های گوار، زانتان و کربوکسی متیل سلولز در سس بچامل^۱ [۲۱] گزارش نمودند.



شکل ۱ ویسکوزیته سس مایونز با مقادیر متفاوت چربی، صمغ، پروتئین و سرعت برشی به عنوان تابعی از زمان. الف. سس مایونز با ۵۰ درصد چربی، ۰/۵ درصد صمغ و ۶ درصد پروتئین در شدت های برش متفاوت. ب. سس مایونز با ۵۰ درصد چربی و ۶ درصد پروتئین با درصدهای متفاوت صمغ در سرعت برش ۵۰. ج. سس مایونز با ۰/۵ درصد صمغ و ۶ درصد پروتئین با درصد متفاوت چربی در سرعت برش ۵۰.

جدول ۲ پارامترهای مدل درجه اول تنزل تنش با تنش تعادلی برابر صفر نمونه های سس مایونز

چربی	صمغ	پروتئین	سرعت برش	τ_0 (Pa)	k (s ⁻¹)	R^2
۳۵	۰/۵	۶	۲۵	۲۵/۵۲±۲/۵۶	۰/۰۰۰۶±۰/۰۰	۰/۷۴۹
			۵۰	۳۱/۱۶±۱/۰۱	۰/۰۰۰۷±۰/۰۰	۰/۷۱۲
			۷۵	۳۴/۶۳±۱/۸۹	۰/۰۰۰۹±۰/۰۰	۰/۶۸۲
۳۵	۰/۷۵	۶	۲۵	۴۶/۸۸±۰/۲۲	۰/۰۰۰۹±۰/۰۰	۰/۷۴۶
			۵۰	۵۶/۶۶±۲/۱۲	۰/۰۰۰۹±۰/۰۰	۰/۶۵۳
			۷۵	۵۹/۴۴±۱/۱۲	۰/۰۰۰۶±۰/۰۰	۰/۵۵۹
۳۵	۱	۶	۲۵	۶۶/۹۲±۵/۹۱	۰/۰۰۰۸±۰/۰۰	۰/۷۱۱
			۵۰	۷۰/۶۹±۳/۸۶	۰/۰۰۰۶±۰/۰۰	۰/۵۹۱
			۷۵	۷۷/۳۳±۲/۷۳	۰/۰۰۰۵±۰/۰۰	۰/۵۵۲
۵۰	۰/۵	۶	۲۵	۱۱۲/۹۸±۳/۴۵	۰/۰۰۰۶±۰/۰۰	۰/۶۰۴
			۵۰	۱۱۳/۳۹±۹/۶۹	۰/۰۰۰۷±۰/۰۰	۰/۵۹۵
			۷۵	۱۳۷/۲۴±۲/۴۶	۰/۰۰۰۵±۰/۰۰	۰/۵۳۷
۵۰	۰/۷۵	۶	۲۵	۱۷۴/۱۶±۴/۳۸	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰	۰/۶۵۱
			۵۰	۱۹۶/۳۴±۲/۷۱	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰	۰/۵۸۳
			۷۵	۲۲۴/۸۱±۱/۷۶	۰/۰۰۰۱±۰/۰۰	۰/۵۸۷
۵۰	۱	۶	۲۵	۱۸۵/۱۶±۲/۴۴	۰/۰۰۰۴±۰/۰۰	۰/۶۰۴
			۵۰	۲۲۶/۰۷±۰/۴۴	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰	۰/۶۹۰
			۷۵	۲۵۸/۹۱±۲/۱۵	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰	۰/۶۵۲
۷۰	۰	۰	۲۵	۹۲/۴۵±۲/۱۲	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰	۰/۶۹۸
			۵۰	۱۱۳/۵۶±۱/۹۴	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰	۰/۷۴۵
			۷۵	۱۲۴/۶۱±۱/۸۸	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰	۰/۶۰۶

- مدل درجه اول تنزل تنش با تنش تعادلی نابرابر صفر

داده های آزمایش مربوط به برازش نمونه های سس مایونز با مدل درجه اول تنزل تنش با تنش تعادلی نابرابر صفر در سرعت های برشی مختلف در جدول ۳، نشان داده شده است. R^2 بالا نشان دهنده مناسب بودن این مدل برای توصیف رفتار وابسته به زمان نمونه های سس مایونز بود. نتایج مربوط به برازش داده ها نشان داد که در این مدل نیز تنش برشی اولیه (τ_0) و تنش برشی تعادلی (τ_{eq}) با کاهش میزان چربی کاهش یافته و با افزایش

غلظت صمغ افزایش یافت. نتایج مشابهی از افزایش تنش برشی اولیه (τ_0) و تنش برشی تعادلی (τ_{eq}) با افزایش غلظت محلول صمغ دانه بالنگو گزارش شده است [۱۶]. در این مدل نیز ثابت سرعت تخریب ساختار (k) ، در نمونه های مختلف و در سرعت برشی مختلف روند مشخصی نداشت. کوچکی و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که با افزایش غلظت صمغ قدومه شیرازی، روند خاصی در میزان ثابت سرعت تخریب ساختار مشاهده نشد [۲۴].

1. Initial shear stress
2. Equilibrium shear stress

- مدل ولتمن

درصد صمغ و افزایش سرعت برش افزایش یافت. کوچکی و

همکاران (۲۰۰۹)، نیز با بررسی محلول صمغ قدومه شیرازی

نشان دادند که با افزایش غلظت صمغ، میزان B افزایش یافت

[۲۴]. نتیجه تحقیق سایر محققان نیز نشان دادند که میزان B با

افزایش سرعت برش افزایش می یابد [۲۵ و ۲۶].

پارامترهای مدل ولتمن در جدول ۴، نشان داده شده است. پارامتر

A که بیانگر تنش برشی اولیه مورد نیاز برای شکست ساختار

می باشد، همانند مدل های قبلی با کاهش چربی کاهش و با

افزایش درصد صمغ افزایش یافت. میزان توسعه تیکسوتروپی

(B) نمونه ها نیز با کاهش درصد چربی کاهش و با افزایش

جدول ۳- پارامترهای مدل درجه اول تنزل تنش با تنش تعادلی نا برابر صفر نمونه های سس مایونز

چربی	صمغ	پروتئین	سرعت برش	τ_0 (Pa)	τ_{eq} (Pa)	k (s ⁻¹)	R ²
			۲۵	۳۲/۳۵±۴/۰۰	۱۸/۳۶±۲/۵۵	۰/۰۱۰±۰/۰۰	۰/۹۵۳
۳۵	۰/۵	۶	۵۰	۴۰/۳۱±۱/۱۳	۲۲/۱۵±۱/۰۱	۰/۰۱۱±۰/۰۰	۰/۹۴۸
			۷۵	۴۹/۰۵±۴/۴۷	۲۲/۵۸±۱/۱۷	۰/۰۱۳±۰/۰۰	۰/۹۴۵
			۲۵	۶۲/۹۳±۳/۰۸	۳۰/۳۸±۲/۰۱	۰/۰۱۰±۰/۰۰	۰/۹۷۱
۳۵	۰/۷۵	۶	۵۰	۷۹/۱۱±۴/۸۴	۳۷/۳۴±۳/۶۵	۰/۰۱۵±۰/۰۰	۰/۹۴۴
			۷۵	۸۶/۷۲±۵/۸۶	۴۵/۰۲±۱/۶۳	۰/۰۱۷±۰/۰۰	۰/۹۵۰
			۲۵	۸۹/۳۶±۵/۸۰	۴۶/۶۱±۳/۲۴	۰/۰۱۱±۰/۰۰	۰/۹۵۹
۳۵	۱	۶	۵۰	۹۹/۷۸±۶/۷۷	۵۲/۸۳±۱/۸۱	۰/۰۱۵±۰/۰۰	۰/۹۶۲
			۷۵	۱۰۹/۶۰±۵/۲۹	۶۰/۷۰±۲/۵۸	۰/۰۱۸±۰/۰۰	۰/۹۲۶
			۲۵	۱۵۲/۸۱±۳/۹۱	۷۵/۶۸±۲/۸۵	۰/۰۱۴±۰/۰۰	۰/۹۲۶
۵۰	۰/۵	۶	۵۰	۱۷۲/۷۸±۶/۴۸	۸۸/۹۴±۱۰/۶۶	۰/۰۱۹±۰/۰۰	۰/۸۹۴
			۷۵	۱۹۵/۰۹±۳/۱۳	۱۰۸/۴۷±۲/۷۶	۰/۰۱۹±۰/۰۰	۰/۹۰۹
			۲۵	۲۰۵/۳۷±۷/۴۸	۱۵۲/۸۴±۱/۷۶	۰/۰۱۴±۰/۰۰	۰/۸۹۳
۵۰	۰/۷۵	۶	۵۰	۲۲۶/۲۶±۳/۲۷	۱۷۶/۴۵±۲/۵۷	۰/۰۱۴±۰/۰۰	۰/۷۸۱
			۷۵	۲۴۱/۸۰±۲/۸۲	۱۳۳/۷۵±۱/۳۷	۰/۰۱۰±۰/۰۰	۰/۹۶۰
			۲۵	۲۷۴/۴۱±۵/۴۰	۱۴۵/۷۵±۲/۵۲	۰/۰۱۶±۰/۰۰	۰/۹۶۸
۵۰	۱	۶	۵۰	۲۸۷/۱۲±۵/۰۰	۱۸۸/۶۴±۰/۳۲	۰/۰۱۱±۰/۰۰	۰/۹۴۳
			۷۵	۳۱۲/۴۳±۶/۵۶	۲۲۷/۹۲±۱/۸۳	۰/۰۱۳±۰/۰۰	۰/۹۲۵
			۲۵	۱۰۳/۶۱±۲/۱۲	۸۳/۳۶±۱/۶۹	۰/۰۱۲±۰/۰۰	۰/۸۴۶
۷۰	۰	۰	۵۰	۱۲۴/۳۵±۲/۰۱	۹۸/۴۹±۱/۸۵	۰/۰۰۸±۰/۰۰	۰/۸۹۶
			۷۵	۱۴۷/۴۰±۱/۷۰	۱۱۱/۵۴±۱/۹۶	۰/۰۱۵±۰/۰۰	۰/۸۶۵

جدول ۴ پارامترهای مدل ولتمن نمونه های سس مایونز

چربی	صمغ	پروتئین	سرعت برش	A (Pa)	-B (Pa)	R ²
۳۵	۰/۵	۶	۲۵	۳۹/۴۷±۳/۲۱	۳/۴۱±۰/۵۲	۰/۹۷۰
			۵۰	۴۸/۱۹±۱/۵۲	۴/۲۹±۰/۱۹	۰/۹۶۷
			۷۵	۵۷/۲۹±۴/۱۰	۵/۷۸±۰/۵۹	۰/۹۴۸
۳۵	۰/۷۵	۶	۲۵	۷۷/۴۸±۳/۱۳	۷/۷۵±۰/۸۹	۰/۹۶۲
			۵۰	۸۸/۹۸±۱/۱۳	۸/۶۵±۰/۸۴	۰/۹۳۰
			۷۵	۹۱/۲۷±۰/۵۵	۷/۷۹±۰/۳۶	۰/۸۹۰
۳۵	۱	۶	۲۵	۱۰۳/۶۰±۴/۲۲	۹/۹۷±۱/۰۰	۰/۹۵۱
			۵۰	۱۰۹/۲۷±۲/۹۴	۹/۳۲±۰/۲۶	۰/۹۰۱
			۷۵	۱۱۴/۷۹±۳/۶۹	۹/۲۰±۰/۵۶	۰/۸۸۳
۵۰	۰/۵	۶	۲۵	۱۷۱/۸۳±۳/۶۲	۱۶/۱۲±۰/۱۸	۰/۹۰۴
			۵۰	۱۰۸/۳۵±۳/۰۴	۱۵/۴۹±۲/۱۵	۰/۸۷۵
			۷۵	۲۰۱/۳۱±۲/۸۲	۱۵/۷۵±۰/۰۲	۰/۸۷۹
۵۰	۰/۷۵	۶	۲۵	۲۲۰/۸۴±۸/۱۶	۱۱/۲۸±۱/۱۶	۰/۹۰۳
			۵۰	۲۴۱/۹۲±۳/۵۹	۱۰/۹۹±۰/۳۱	۰/۸۳۹
			۷۵	۲۶۰/۷۰±۳/۹۲	۸/۶۶±۰/۴۰	۰/۸۳۸
۵۰	۱	۶	۲۵	۲۸۳/۰۸±۳/۲۵	۲۲/۹۷±۰/۴۰	۰/۸۶۰
			۵۰	۳۱۹/۶۳±۱/۹۳	۲۱/۵۷±۰/۳۰	۰/۸۹۸
			۷۵	۳۳۵/۵۰±۵/۱۵	۱۷/۸۷±۰/۵۵	۰/۹۲۰
۷۰	۰	۰	۲۵	۱۱۱/۵۶±۲/۲۹	۴/۶۹±۰/۴۳	۰/۹۰۳
			۵۰	۱۴۰/۶۶±۱/۸۸	۶/۸۳±۰/۵۰	۰/۹۷۴
			۷۵	۱۵۵/۸۳±۱/۸۹	۷/۵۲±۰/۴۷	۰/۹۰۷

- مدل سینتیک ساختار

پارامترهای حاصل از برازش داده ها با مدل سینتیک ساختار در جدول ۵ نشان داده شده است. ویسکوزیته اولیه (η_0) نمونه های سس مایونز با کاهش مقدار چربی کاهش یافت. همانطور که پیش از این ذکر شد افزایش روغن باعث افزایش ویسکوزیته امولسیون می شود [۱۷]، که این امر ناشی از توده ای شدن ذرات روغن در اثر افزایش فاز روغن می باشد [۱۸]. با افزایش مقدار صمغ ویسکوزیته نمونه ها افزایش یافت. این امر نیز به دلیل افزایش حضور مولکول های صمغ با وزن مولکولی بالا است که باعث افزایش مقاومت نسبت به جریان و افزایش ویسکوزیته امولسیون می شود [۹]. افزایش سرعت برش نیز باعث کاهش ویسکوزیته اولیه (η_0) نمونه ها گردید. همانگونه که پیش از این ذکر شد این

امر نشان دهنده رفتار غیر نیوتنی رقیق شونده با برش در این سس ها می باشد.

با کاهش چربی از سطح ۵۰ درصد به ۳۵ درصد مقدار k کاهش یافت. بلاتا و همکاران (۲۰۱۲) نیز نتیجه گرفتند که با کاهش مقدار روغن در امولسیون روغن در آب پایدار شده با ایزوله پروتئین آب پنیر، مقدار k کاهش یافت [۲۳]. ابوجدایل (۲۰۰۳) نیز با بررسی نمونه های سس مایونز به این نتیجه رسیدند که مقدار k با افزایش روغن افزایش یافت [۲۷]. نامبردگان دلیل این امر را افزایش توده ای شدن ذرات روغن در اثر افزایش میزان روغن دانستند. افزایش میزان صمغ اثر چندانی بر مقدار k نداشته و با افزایش این ترکیب روند مشخصی در ثابت سرعت شکست ساختار مشاهده نشد. افزایش سرعت برش نیز تاثیر چندانی بر k نمونه های سس مایونز نداشته و روند خاصی در آنها مشاهده

نشد. رضوی و همکاران (۲۰۰۹) نیز نتیجه گرفتند که افزایش سرعت برش بر محلول صمغ بالنگو بی تاثیر است [۱۶].

بررسی نسبت ویسکوزیته اولیه به بی نهایت نشان داد که با تغییر میزان چربی، صمغ و سرعت برش، روند مشخصی در این پارامتر مشاهده نشد. در واقع تغییر در ترکیبات مذکور، اثری بر میزان شکست ساختار نمونه ها نداشته است.

جدول ۵ پارامترهای مدل سینتیک ساختار نمونه های سس مایونز

چربی	صمغ	پروتئین	سرعت برش	η_0 (Pa.s)	η_0/η_∞	k (s ⁻¹)	R^2
۳۵	۰/۵	۶	۲۵	۱/۵۴±۰/۲۵	۲/۲۲±۰/۳۹	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۹۸۶
			۵۰	۰/۸۹±۰/۰۲	۲/۲۹±۰/۰۷	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۹۸۵
			۷۵	۰/۷۴±۰/۰۵	۳/۲۶±۰/۵۹	۰/۰۳±۰/۰۰	۰/۹۸۷
۳۵	۰/۷۵	۶	۲۵	۳/۰۲±۰/۲۶	۲/۷۴±۰/۴۷	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۹۹۲
			۵۰	۱/۸۵±۰/۱۶	۲/۴۸±۰/۸۴	۰/۰۳±۰/۰۱	۰/۹۸۷
			۷۵	۱/۳۹±۰/۱۴	۲/۵۱±۰/۲۶	۰/۰۵±۰/۰۱	۰/۹۸۷
۳۵	۱	۶	۲۵	۴/۲۹±۰/۲۹	۲/۵۷±۰/۱۵	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۹۹۱
			۵۰	۲/۳۶±۰/۲۸	۲/۳۵±۰/۴۹	۰/۰۴±۰/۰۳	۰/۹۸۶
			۷۵	۱/۸۰±۰/۱۵	۲/۴۳±۰/۲۱	۰/۰۶±۰/۰۲	۰/۹۷۹
۵۰	۰/۵	۶	۲۵	۸/۵۳±۰/۴۹	۲/۹۱±۰/۰۷	۰/۰۴±۰/۰۰	۰/۹۷۹
			۵۰	۴/۶۷±۰/۴۴	۲/۸۱±۰/۱۲	۰/۰۸±۰/۰۳	۰/۹۷۱
			۷۵	۳/۳۶±۰/۱۷	۲/۴۵±۰/۱۳	۰/۰۷±۰/۰۰	۰/۹۸۰
۵۰	۰/۷۵	۶	۲۵	۹/۴۳±۰/۲۴	۱/۶۳±۰/۰۷	۰/۰۴±۰/۰۱	۰/۹۵۱
			۵۰	۶/۵۰±۰/۹۴	۲/۰۲±۰/۳۰	۰/۱۵±۰/۰۴	۰/۹۰۴
			۷۵	۵/۳۱±۰/۵۷	۲/۲۶±۰/۶۰	۰/۲۱±۰/۰۲	۰/۹۴۷
۵۰	۱	۶	۲۵	۱۹/۰۳±۲/۴۲	۳/۳۰±۰/۴۲	۰/۰۸±۰/۰۱	۰/۹۹۱
			۵۰	۷/۷۸±۰/۴۱	۲/۱۶±۰/۱۵	۰/۰۵±۰/۰۰	۰/۹۴۳
			۷۵	۵/۷۴±۰/۷۲	۱/۸۷±۰/۱۹	۰/۰۶±۰/۰۱	۰/۹۷۲
۷۰	۰	۰	۲۵	۴/۷۴±۰/۰۷	۱/۳۸±۰/۱۶	۰/۰۳±۰/۰۰	۰/۹۱۷
			۵۰	۲/۵۵±۰/۰۹	۱/۳۹±۰/۱۹	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۹۵۸
			۷۵	۲/۲۶±۰/۰۸	۱/۵۶±۰/۲۳	۰/۰۵±۰/۰۰	۰/۹۵۲

های مربوطه نشان داد که مدل سینتیک ساختار R^2 بیشتری داشته و در نتیجه برای توصیف رفتار جریان نمونه ها بهتر بود.

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، مشخص گردید که رفتار جریان نمونه های سس مایونز تیکسوتروپ بود. کاهش ویسکوزیته در نمونه ها به درصد چربی، غلظت صمغ و میزان سرعت برش بستگی داشت. با افزایش سرعت برش و کاهش میزان چربی و صمغ، ویسکوزیته سریعتر کاهش یافته و به حد تعادلی نزدیک شد. پارامترهای حاصل از برازش داده ها با مدل

۵- منابع

- [1] Bortnowska, G., & Makiewicz, A. (2006). Technological utility of guar gum and xanthan for the production of low fat inulin-enriched mayonnaise. *Acta Sci Poland Tecnol*, 5, 135–146.

- as emulsifying agent. *Journal of Food Engineering*, 97, 243–252.
- [13] Singla, N., Verma, P., Ghoshal, G., & Basu, S. (2013). Steady state and time dependent rheological behaviour of mayonnaise (egg and eggless). *International Food Research Journal*, 20(4), 2009–2016.
- [14] Figoni, P., & Shoemaker, C. (1983). Characterization of time dependent flow properties of mayonnaise under steady shear. *Journal of Texture Studies*, 14, 431–442.
- [15] Steffe, J.F. 1996. *Rheological Methods in Foods Process Engineering*, second ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan, USA.
- [16] Razavi, S.M.A., & Karazhiyan, H. (2009). Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: experimental and modeling studies. *Food Hydrocolloids*, 23, 908–912.
- [17] Dlużewska, E., Stobiecka, A., & Maszewska, M. (2006). Effect of oil phase concentration on rheological properties and stability of beverage emulsions. *Acta Science Poland Technology Alimentarius*, 5, 147–156.
- [18] Mewis, J., & Wagner, N. J. (2009). Thixotropy. *Advances in Colloid and Interface Science*, 147–148, 214–227.
- [19] Wendin, K., & Hall, G. (2001). Influences of Fat, Thickener and Emulsifier Contents on Salad Dressing: Static and Dynamic Sensory and Rheological Analyses. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 34, 222–233.
- [20] Mandala, I.G., Savvas, T.P., 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, 335–342.
- [21] Heyman, B., Depypere, F., Delbaere, C., & Dewettinck, K. (2010). Effects of non-starch hydrocolloids on the physicochemical properties and stability of a commercial béchamel sauce. *Journal of Food Engineering*, 99, 115–120.
- [22] Borwankar, R.P., Frye, L.A., Blaurock, A.E., & Sasevich, F.J. (1992). Rheological characterization of melting of margarines and tablespreads. *Journal of Food Engineering*, 16, 55–74.
- [23] Bellalta, P., Troncoso, E., Zúñiga, R.N., & Aguilera, J.M. (2012). Rheological and microstructural characterization of WPI-stabilized O/W emulsions exhibiting time-
- [2] National Standard of Iran, No. 2454, Mayonnaise and salad dressings- properties, First Edition.
- [3] Hoefkens, C., Verbeke, W., & Van Camp, J. (2011). Europeans consumers' perceived importance of qualifying and disqualifying nutrients in food choices. *Food Quality and Preference*, 22, 550–558.
- [4] Nehir El, S., & Simsek, S. (2012). Food technology applications for optical nutrition: an overview of opportunities for the food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 2–12.
- [5] Liu, H., Xu, X. M., & Guo, Sh. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT*, 40, 946–954.
- [6] Friberg, S.E., Larsson, K., & Sjoblom, J. (2004). *Food emulsions. 4rd edition*, Marcel Dekker, Inc. pp. 525–572.
- [7] Mc Clements, D.J. (1999). *Food emulsions, principles, practice and techniques*. CRC press. pp. 1–16.
- [8] Hernandez, M.J., Dolz, J., Delegido, J., Cabeza, C., & Dolz, M. (2008). Thixotropic Behavior of Salad Dressings Stabilized with Modified Starch, Pectin, and Gellan Gum. Influence of Temperature. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 29, 213–219.
- [9] Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S.M.A., & Bostan, A. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids*, 23, 2369–2379.
- [10] Koocheki, A., Taherian, A.R., & Bostan, A. (2013). Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum. *Food Research International*, 50, 446–456.
- [11] Hasenhuettl, G.L. (2008). Overview of food emulsifiers. In G. L. Hasenhuettl, & R. W. Hartel (Eds.), *Food emulsifiers and their applications*. USA: Springer Science & Business Media. (pp. 1e7)
- [12] Laca, A., Sáenz, M.C., Paredes, B., & Díaz, M. (2010). Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules

- [26] Razavi, S. M. A., Habibi Najafi, M. B., & Alaei, Z. (2008). Rheological characterization of low fat sesame paste blended with date syrup. *International Journal of Food Properties*, 11, 92–101.
- [27] Abu-Jdayil, B. (2003). Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 57, 97–102.
- dependent flow behaviour. *LWT - Food Science and Technology*, 46, 375–381.
- [24] Koocheki, A., & Razavi, S.M.A. (2009). Effect of concentration and temperature on flow properties of Alyssum homolocarpum seed gum solutions: assessment of time dependency and thixotropy. *Food Biophysics*, 4, 353–364.
- [25] Abu-Jdayil, B., & Mohameed, H. (2002). Experimental and modeling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. *Journal of Food Engineering*, 52, 359–365.

Time-dependent behavior of low fat mayonnaise prepared with *Lepidium perfoliatum* seed gum and whey protein concentrate

Seyfoddin, H. ¹, Koocheki, A. ^{2*}, Razavi, S. M. A. ³, Milani, E. ⁴

1. M Sc Student of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(Received: 93/9/12 Accepted: 93/12/16)

In this research, time dependency of low fat- low cholesterol mayonnaise with 35 and 50% oil at the different concentration of *Lepidium perfoliatum* seed gum (0.5, 0.75 and 1%) and whey protein concentrate were studied. Data were fitted with famous rheological models. Results showed that all samples had thixotropic behavior and their viscosity decreased with time. The rate and extent of viscosity decay were dependent on the applied shear rate, percent of fat and gum concentration. The viscosity of the samples tended to decay more rapidly at higher shear rates toward an equilibrium viscosity. Samples containing less fat, showed lower viscosity and approached rapidly to the equilibrium. Addition of gum to mayonnaise caused higher viscosity and samples become like the full-fat sample. In this study, the breakdown rate constant did not show a clear trend with increasing gum concentration and shear rate.

Key words: Thixotropic behavior, mayonnaise, *Lepidium perfoliatum* seed gum

* Corresponding Author E-Mail Address: koocheki@um.ac.ir