

اثر نانوفیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های رئولوژیکی و اندازه ذرات مایونز کم چربی

لاله گلچوبی¹ - مزدک علیمی² - حسین یوسفی³

تاریخ دریافت: 1394/07/20

تاریخ پذیرش: 1394/11/24

چکیده

نانوفیبر سلولز (NFC) پلیمر خطی D-گلوکز با مناطق کریستالی و آمورف می‌باشد که به صورت توأم با کربوکسی متیل سلولز (CMC) به میزان 1 تا 10% با هدف بهبود خصوصیات رئولوژیکی مایونز کم چربی (30% روغن) استفاده گردید. پس از تهیه 5 تیمار، آزمون ویسکوزیته ظاهری روی آنها انجام شد. سپس 3 نمونه منتخب تحت آزمون‌های رئولوژیکی، تعیین اندازه ذرات و میکروسکوپ نوری قرار گرفتند. نمونه حاوی 0/5% نانوفیبر سلولز - 0/5% کربوکسی متیل سلولز با داشتن کوچکترین اندازه ذرات و میزان یکنواختی کمتر از نمونه شاهد تجاری، دارای نزدیکترین مقدار ویسکوزیته ظاهری به ویسکوزیته نمونه شاهد تجاری بود ($p < 0/05$). از برازش داده‌ها با مدل هرشل بالکی مشخص شد که افزودن توأم نانوفیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز موجب تغییر معنادار در شاخص‌های رئولوژیکی مورد بررسی نشد ($p > 0/05$). طی آزمون رویش فرکانس، روند تغییرات مدول الاستیک نمونه‌ها در سطحی بالاتر از مدول ویسکوز ($G' > G''$) قرار گرفت و بیانگر تقویت ویژگی‌های الاستیک در آنها بود. با توجه به نتایج آزمون‌ها، تیمار حاوی 0/5% نانوفیبر سلولز - 0/5% کربوکسی متیل سلولز به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: نانوفیبر سلولز، کربوکسی متیل سلولز، مایونز کم چربی، رئولوژی، اندازه ذرات

مقدمه

(2010, *et al.*) نانوفیبر سلولز به پلیمرهای گلوکز با ضخامت معمول 20-40 نانومتر و طول بلندتر از 5 میکرومتر شامل هر دو مناطق کریستالی و آمورف اطلاق می‌شود که توسط پیوندهای گلوکوزیل (1-4) β به هم متصل شده‌اند (2011, *Yousefi et al.*). مقادیر مدول ذخیره ژل‌های نانوفیبریل سلولز بالا بوده و تقریباً بیش از 2 برابر ژل‌های سلولز گزارش شده است. در واقع بالا بودن نسبت ابعاد نانوفیبریل‌ها منجر به افزایش استحکام شبکه ژلی می‌شود و صرف نظر از غلظت سوسپانسیون، مدول ذخیره سوسپانسیون نانو فیبر سلولز تقریباً 10 برابر بیشتر از مدول افت آن گزارش شده است (2010, *Lavoine et al.*; 2007, *et al.*). این مدول ذخیره بالا، به دلیل طولی بودن فیبریل‌ها می‌باشد که به‌طور ذاتی یک ساختار شبکه‌ای درگیر را تشکیل داده و می‌تواند سبب کاربرد زیاد آن به‌عنوان یک قوام‌دهنده، پایدارکننده بدون کالری سوسپانسیون‌ها و یا ژل‌کننده در انواع گسترده‌ای از محصولات غذایی گردد (Bogati, 2011). کربوکسی متیل سلولز (نمک سدیم) یک پلیمر آنیونی، خطی و محلول در آب است که مشتق حاصل از اصلاح شیمیایی سلولز بوده و از تیمار قلیایی سلولز با کلرو استیک‌اسید به‌دست می‌آید (Coffey, 2006). *et al.* (2006) کربوکسی متیل سلولز به دلیل داشتن خواص قوام‌دهندگی و امولسیفایری در مایونز و سس‌های سالاد مورد استفاده

در طول دهه گذشته، مصرف محصولات غذایی کم چربی (LF) به دلیل ازدیاد بیماری‌های قلبی - عروقی و سرطان افزایش چشمگیری داشته است (2007, *Liu et al.*). یکی از فراورده‌های پرچربی (65%-80% وزنی روغن گیاهی) که مصرف زیادی در جهان دارد، سس مایونز می‌باشد که تولید انواع کم چربی آن با استقبال فراوانی همراه شده است (2012, *Kalashnikova et al.*). هیدروکلونیدها در تهیه محصولات کم چربی، خواص خوبی از قبیل افزایش پایداری و بهبود شبیه‌سازی چربی در دهان را نشان می‌دهند (2006, *Choonhahirun*; 2002, *Quintana et al.*). یکی از جمله مایونز، سلولز و مشتقات حاصل از اصلاح فیزیکی آن مانند نانوفیبر سلولز (NFC) می‌باشد (2006, *Coffey et al.*).

1 و 2- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت‌الله آملی
3- استادیار، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* - نویسنده مسئول: (Email: Ahooora_mazdak@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.50555

یکنواخت به جوش آید و به مدت 7 دقیقه در این دما پاستوریزه و نهایتاً تا دمای اتاق خنک شد (Alimi et al., 2013). وزن مخلوط قبل و بعد از پاستوریزاسیون، تعیین شد و تفاوت وزن حاصل از تبخیر، در حین تهیه امولسیون سس مایونز به صورت آب به فرمول افزوده گردید.

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های مایونز

جهت تهیه نمونه‌های مایونز، کربوکسی‌متیل سلولوز مورد استفاده برای هر فرمول به همراه مواد پودری مربوطه، بکار برده شد. پس از توزین مواد پودری (شکر - 5/7٪، نمک = 2٪، پودر خردل = 0/5٪، بنزوات سدیم = 0/04٪، سوربات پتاسیم = 0/03٪، اسید سیتریک = 0/1٪ و نشاسته فرایند سرد = 1/8٪) و کربوکسی‌متیل سلولوز، ابتدا زرده تخم‌مرغ (5٪) و مقدار 10٪ از روغن به میکسر آزمایشگاهی (60 کیلوگرمی، ارکان فلز، ایران) افزوده شد و سپس به ترتیب، تمام مواد پودری و حدود یک سوم از فاز آبی (نانوفیبر سلولوز و آب) به آن اضافه گردید. در نیمه فرآیند، یک سوم بعدی فاز آبی و باقی‌مانده روغن نیز اضافه گردید. کل روغن فرمولاسیون = 30٪، به تدریج طی مدت 6 دقیقه به امولسیون مایونز افزوده شد. نهایتاً با اتمام روغن، یک سوم پایانی فاز آبی و در آخر نیز سرکه فرمولاسیون (سرکه 11 درصد = 4/8٪) به مخلوط اضافه گردید و به مدت 1 دقیقه همزده شد (Alimi et al., 2013). آنگاه نمونه‌های تولید شده با مقادیر مختلف نانوفیبر سلولوز و کربوکسی‌متیل سلولوز، مطابق جدول (1) کدگذاری شدند. نمونه شاهد، مایونز کم‌چربی تجاری (30٪ روغن) شرکت بهروز نیک بود.

قرار می‌گیرد (McClements, 2005). به دلیل ماهیت بسیار آبدوست مشتقات فیزیکی سلولوز، اغلب مطالعات روی پایداری امولسیون‌های روغن در آب به ویژه سس‌های سالاد یا مایونز کم‌کالری و بدون کالری، توسط میکرو کریستالین سلولوز (MCC) یا نانوفیبر سلولوز انجام شده است (McGinley et al., 1997; Kalashnikova et al., 2012; Winuprasith & Suphantharika, 2015). با این حال، اطلاعات قابل دسترسی از کاربرد مخلوط نانوفیبر سلولوز و کربوکسی‌متیل سلولوز وجود ندارد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات افزودن نانوفیبر سلولوز و کربوکسی‌متیل سلولوز بر ویژگی‌های رئولوژیکی و اندازه ذرات مایونز کم‌چربی و مقایسه توانایی هر یک از آنها به تنهایی و مخلوط آنها، در پایدار نمودن این امولسیون کم‌چربی بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از ژل 3٪ نانوفیبر سلولوز تولید شده از ضایعات کشاورزی توسط شرکت دانش بنیان نانو نوین پلیمر (قطر متوسط 32 ± 10 نانومتر و طول بیشتر از 5 میکرومتر (کاتالوگ محصول))، کربوکسی‌متیل سلولوز تولید شرکت سانروز ژاپن، نشاسته اصلاح شده (E-1422) ذرت مومی پیش ژلاتینه شرکت روکت با نام تجاری پرگلو CH_2O تولید کشور فرانسه و مواد تشکیل‌دهنده مایونز فراهم شده توسط شرکت غذایی بهروز نیک استفاده گردید.

تهیه و آماده‌سازی فاز آبی حاوی ژل نانوفیبر سلولوز

مقدار نانوفیبر سلولوز هر فرمول با میزان آب مربوط به همان فرمول، مخلوط و روی هیتر قرار گرفتند تا توأم با همزدن، مخلوط

جدول 1- مقادیر هیدروکلوئیدهای موجود در نمونه‌های مایونز کم‌چربی

کد نمونه	مقدار نانو فیبر سلولوز (%0-1)	مقدار CMC (%0-1)
NFC100	1	0
NFC75/CC25	0/75	0/25
NFC50/CC50	0/50	0/50
NFC25/CC75	0/25	0/75
CC100	0	1
Commercial Control	0	0

مدت زمان 20 دقیقه استفاده گردید (Alimi et al., 2013). قابل ذکر است که نمونه‌های مایونز کم‌چربی در یک مرحله تولید شدند و پس از یک هفته نگهداری در دمای یخچال، تحت آزمون‌های مختلف با دو بار تکرار قرار گرفتند. همچنین آزمون‌های

آزمون تعیین ویسکوزیته ظاهری

جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته تمامی نمونه‌های سس مایونز از دستگاه ویسکومتر دورانی ویسکوتج (اسپانیا) با اسپیندل دیسکی R5 با سرعت 60 دور در دقیقه و دمای 20-23 درجه سانتی‌گراد در طی

نمود. زیرا نمونه‌های گسترش یافته بر روی لام، خشک شده و تصاویر وضوح خوبی نخواهند داشت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های مختلف، از نرم‌افزار MINI TAB 16 استفاده شد و تجزیه و تحلیل‌ها منطبق با طرح کاملاً تصادفی متعادل و در سطح احتمال خطای 0/05 انجام گرفت. با استفاده از این نرم‌افزار ابتدا نرمال 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 غیرپارامتری کروسکال-والیس جهت بررسی تفاوت معنی‌دار بین داده استفاده گردید. بررسی معنادار بودن میانگین نتایج نمونه‌ها با یکدیگر نیز با استفاده از آزمون Tukey's pairwise comparison انجام شد (Alimi et al., 2013).

نتایج و بحث

ویسکوزیته ظاهری

طبق جدول (2) تمامی نمونه‌های حاوی کربوکسی‌متیل سلولوز دارای اختلاف معنی‌دار و ویسکوزیته ظاهری کمتری نسبت به نمونه شاهد تجاری بودند ($p < 0/05$). به‌طوری که از میان این نمونه‌ها، بالاترین و نزدیکترین میزان ویسکوزیته ظاهری به ویسکوزیته نمونه شاهد تجاری، در نمونه حاوی 0/5% نانوفیبر سلولوز - 0/5% کربوکسی‌متیل سلولوز (NFC50/CC50) و کمترین میزان آن در نمونه حاوی 1% کربوکسی‌متیل سلولوز (CC100) دیده شد. از مقایسه دو نمونه حاوی 1% نانوفیبر سلولوز و 1% کربوکسی‌متیل سلولوز (NFC100 و CC100) می‌توان دریافت که خاصیت قوام‌دهندگی نانوفیبر سلولوز بیشتر از کربوکسی‌متیل سلولوز می‌باشد. در واقع نانوفیبر سلولوز همانند میکرو کریستالین سلولوز (MCC) از مشتقات اصلاح فیزیکی سلولوز بوده و به دلیل داشتن هر دو منطقه کریستالی و آمورف، قابلیت جذب آب بیشتری نسبت به میکرو کریستالین سلولوز دارد. در واقع مناطق آمورف نانوفیبر سلولوز به دلیل کاهش اتصالات داخل مولکولی، قادر به ایجاد پیوندهای هیدروژنی بیشتری با مولکول‌های آب می‌باشند (Coffey et al., 2006; Yousefi et al., 2011). در حالیکه کربوکسی‌متیل سلولوز جزء هیدروکلئیدهای با قابلیت ایجاد ویسکوزیته کم بوده (Rajah, 2002) و به‌طور کلی با افزایش کربوکسی‌متیل سلولوز، ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مایونز روند کاهشی داشته است. از سوی دیگر Ahola (2008) نیز نتایج مشابهی را در مورد اینترکشن نانوفیبر سلولوز با پلیمرهای آبیونی (CMC) گزارش نموده است. او دریافت که اینترکشن نانوفیبریل‌های سلولوز مشابه اینترکشن فیبرهای سلولوز بوده اما ساختار ژل مانند و

بررسی رفتار جریان، نوسانی (کرنش متغیر و فرکانس متغیر)، تعیین اندازه ذرات و میکروسکوپ نوری تنها روی 3 نمونه منتخب و نمونه شاهد تجاری صورت گرفت.

آزمون بررسی رفتار جریان و آزمون نوسانی

این آزمون‌ها توسط دستگاه رئومتر آنتون پار مدل MCR 501 (اتریش) با 2 صفحه موازی زیر قطر صفحه 25 میلی‌متر و فاصله ایجاد شده بین دو صفحه 1 میلی‌متر روی 3 نمونه منتخب و نمونه شاهد تجاری، در دمای 24-23 درجه سانتی‌گراد انجام شد. جهت کنترل دما، نمونه‌ها قبل از آزمون در انکوباتور با دمای 24 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (Alimi et al., 2013). در آزمون رفتار جریان طبق معادله (1) از مدل هرشل بالکی و محدوده نرخ برش τ^{-1} 0/01 - 200S استفاده گردید.

$$\tau = \tau_y + k \times \gamma^n \quad (1)$$

τ : تنش برشی، τ_y : تنش تسلیم، k : ضریب قوام، γ : سرعت برشی و n : شاخص رفتار جریان است.

آزمون‌های نوسانی نیز بر دو نوع آزمون کرنش متغیر و آزمون فرکانس متغیر بوده است. آزمون کرنش متغیر در کرنش متغیر 100-0/01% و فرکانس ثابت 1 هرتز، به‌منظور تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی انجام شد. سپس آزمون فرکانس متغیر در منطقه ویسکوالاستیک خطی، در مقدار کرنش ثابت 0/4% و فرکانس متغیر 100-0/01 هرتز صورت پذیرفت (Alimi et al., 2013).

آزمون تعیین اندازه ذرات

در این آزمون از دستگاه آنالیزگر اندازه ذرات مالورن 2000 مدل Ver. 5.1 (انگلیس) و حلال آب مقطر، نور لیزر با طول موج 634 نانومتر و سل نمونه کوارتز در دمای 23-20 درجه سانتی‌گراد استفاده گردید و میانگین قطر ذرات نمونه‌ها به‌صورت درصد حجمی - سطحی ارائه شد (Worrasinchai et al., 2006).

$$(d_{4,3} = \sum n_i d_i^4 / \sum n_i d_i^3) \quad (2)$$

میکروسکوپ نوری

در این آزمون از میکروسکوپ نوری جناور مدل کارل زئیس (آلمان)، لنز شماره 10 و بزرگنمایی 100 میکرومتر جهت گرفتن تصاویر میکرومتری از ذرات پخش شده در نمونه‌ها استفاده شد. طی این آزمون، مقدار بسیار اندکی از هر نمونه بر روی لام گسترش یافته و سپس بر روی جایگاه مخصوص لام، موجود در زیر لنز میکروسکوپ نوری قرار گرفت. با توجه به میزان وضوح تصاویر و اندازه قطرات فاز پراکنده امولسیون، لنز مورد نظر انتخاب گردیده و گرفتن عکس‌ها صورت پذیرفت. در گرفتن عکس‌ها نباید تاخیر زیادی

که ضخامت لایه کربوکسی‌متیل سلولز جذب شده توسط نانوفیبر سلولز بسیار کمتر از ضخامت لایه پلیمر خنثی جذب شده بر روی آن بوده که متعاقباً موجب اتصال مقدار کمتری از آب با این پلی‌ساکارید و ایجاد قوام کمتر در فاز پیوسته آبی گردید. به نظر می‌رسد تنها نمونه حاوی 0/5% نانوفیبر سلولز - 0/5% کربوکسی‌متیل سلولز (NFC50/CC50) به دلیل اینترکشن سینرژیستی مناسب بین نانوفیبر سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز در مقدار 0/5%، توانسته ویسکوزیته بالاتری را نسبت به سایر نمونه‌های حاوی کربوکسی‌متیل سلولز نشان دهد.

گسترده‌گی منطقه سطحی ویژه نانوفیبریل‌ها، بر روی بسیاری از پدیده‌های بین سطحی آنها از قبیل متورم شدن و جذب پلیمرها بر روی سطوح، اثر می‌گذارد. به‌طوریکه کربوکسی‌متیل سلولز مقداری دافعه الکتروستاتیک به سلولز داشته و جذب غیرقابل برگشت آن روی سلولز، نیازمند دمای بالاتر می‌باشد. در واقع افزودن کربوکسی‌متیل سلولز به محلول‌های نانوفیبر سلولز در مقایسه با یک پلیمر خنثی، اثر پراکنده شدن و ایجاد ویسکوزیته کمتری را نشان می‌دهد. آزمون‌های هیدرودینامیکی پلی‌ساکاریدهای جذب شده بر روی نانوفیبر سلولز توسط Eronen و همکاران (2010) نیز نشان داد

جدول 2- نتایج آزمون ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مایونز کم‌چربی

ویسکوزیته (mPa.s)	کد نمونه
3970 ± 70/7 ^c	NFC100
3435 ± 120/2 ^c	NFC75/CC25
4525 ± 77/8 ^b	NFC50/CC50
1945 ± 49/5 ^d	NFC25/CC75
1405 ± 35/4 ^e	CC100
5150 ± 14/1 ^a	Commercial Control

نتایج به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند ($p > 0/05$).

رقیق‌شوندگی با برش سوسپانسیون نانوفیبر سلولز بکار رفته در آن نیز در القاء این رفتار جریان به نمونه مایونز مذکور تاثیر زیادی داشته است (Coffey et al., 2006). مشاهده رفتار رقیق‌شوندگی با برش در نمونه حاوی 0/5% نانوفیبر سلولز - 0/5% کربوکسی‌متیل سلولز (NFC50/CC50) نیز با توجه به استفاده توأم دو هیدروکلوئید دارای خصوصیت رقیق‌شوندگی با برش، دور از انتظار نبوده است.

نتایج این آزمون با مدل هرشل بالکلی تطبیق داده شده و در جدول (3) آمده است. R^2 یا ضریب تبیین نمونه‌ها نیز در محدوده 0/989 تا 0/996 قرار داشته که حاکی از انطباق نتایج با این مدل ریاضی می‌باشد. نمونه‌های NFC100 و NFC50/CC50 اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نداشته و دارای تنش تسلیم بالایی بودند ($p < 0/05$) اما نمونه CC100 دارای اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری بوده و تنش تسلیم کمتری داشت ($p < 0/05$). تنش تسلیم هنگام استفاده از مایونز به‌عنوان چاشنی سالاد، یک ویژگی مهم می‌باشد. زیرا مایونز باید از توانایی مناسبی جهت عدم سیال شدن بر روی سطح سالاد برخوردار باشد (Liu et al., 2007). به‌نظر می‌رسد ژل نانوفیبر سلولز دارای تنش تسلیم بالایی بوده و افزودن کربوکسی‌متیل سلولز نتوانسته اثر چندانی بر این قابلیت نانوفیبر سلولز در نمونه NFC50/CC50 بگذارد. در ارتباط با k یا ضریب قوام که با ویسکوزیته ظاهری رابطه نزدیکی دارد، هیچ یک از نمونه‌ها دارای

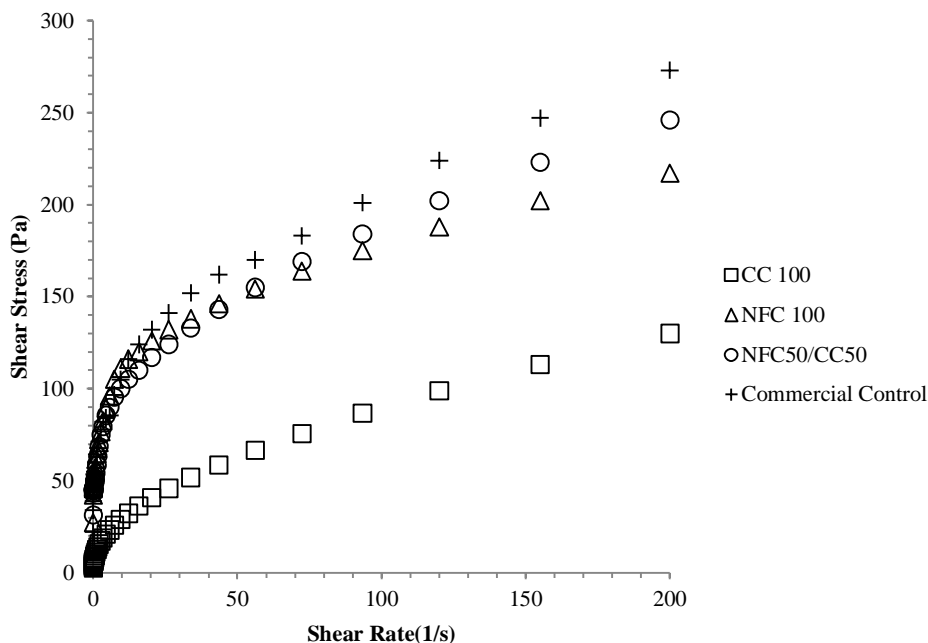
ویژگی‌های رئولوژیکی

نتایج بررسی آزمون رفتار جریان

طبق منحنی رفتار جریان شکل (1)، همه نمونه‌های مایونز رفتار رقیق‌شونده با برش یا سودوپلاستیسیته نشان دادند که مطابق با یافته‌های قبلی بود (Ma & Barbosa-Canovas, 1995; Mun et al., 2010; Su et al., 2009). این رفتار جریان نتیجه تخریب شبکه ژلی ناشی از هیدروکلوئیدها در فاز پیوسته آبی بوده که نهایتاً منجر به کاهش ویسکوزیته ظاهری و تشدید سودوپلاستیسیته می‌شود. در واقع در امولسیون‌های متراکم، قطرات به اندازه کافی به یکدیگر نزدیک شده و اینترکشن آنها با یکدیگر منجر به تشکیل شبکه سه‌بعدی قطرات تجمع یافته می‌گردد. زمانی که سرعت برشی افزایش می‌یابد، نیروهای هیدرودینامیک موجب می‌شوند تا تجمع قطرات، شکل خود را از دست داده و حتی شکسته شوند که این پدیده سبب کاهش ویسکوزیته می‌گردد (Worrasinchai et al., 2006; Mun et al., 2009). Thomareis & Chatziantoniou گزارش کردند که کربوکسی‌متیل سلولز در غلظت‌های کمتر از 2/3% سبب ایجاد خواص سودوپلاستیکی در ژل‌های امولسیونی می‌شود که با رفتار جریان ناشی از بکارگیری غلظت 1% کربوکسی‌متیل سلولز و کمتر از آن، در این پژوهش مطابقت داشته است. در مورد نمونه NFC100 که شامل 1% نانوفیبر سلولز بوده، باید گفت که رفتار

قابل مشاهده است. این اثر هیدروکلوئیدها روی ویژگی‌های سودوپلاستیک مایونز پیش‌تر توسط Alimi و همکاران (2013)، Nikzade و همکاران (2012)، Izidoro و همکاران (2008)، گزارش شده بود. از مقایسه نتایج جدول (3) و شکل (1) می‌توان گفت که از بین نمونه‌های حاوی هیدروکلوئید، روند مقادیر اندیس رفتار جریان در نمونه CC100 افزایش یافته و رفتار رقیق‌شوندگی با برش شاخصی از خود نشان نداده است.

اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نبودند ($p>0/05$) اما نمونه CC100 دارای مقادیر پایینتر ضریب قوام بوده و با نتایج آزمون ویسکوزیته ظاهری مطابقت داشت. n یا اندیس رفتار جریان بیانگر چگونگی رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها می‌باشد که در تمامی نمونه‌ها کوچکتر از 1 و نشان‌دهنده رفتار غیرنیوتنی و رقیق‌شوندگی با برش بوده و اختلاف معنی‌داری در بین آنها و نمونه شاهد تجاری دیده نشد ($p>0/05$). تطابق این نتایج با نمودارهای شکل (1) و (2) به وضوح



شکل 1- روند تغییرات تنش برشی نسبت به سرعت برشی نمونه‌های مایونز کم چربی

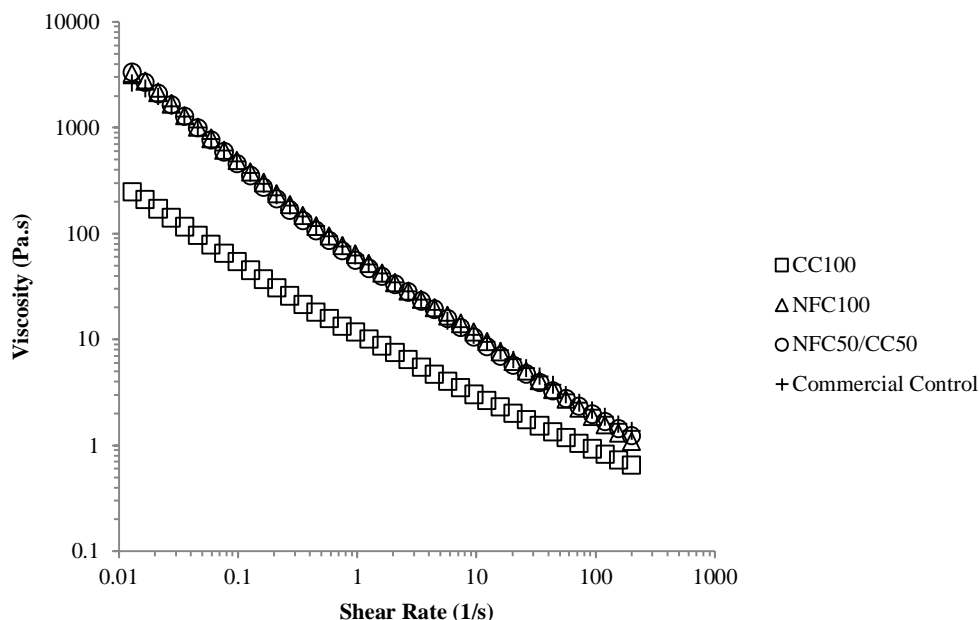
جدول 3- ویژگی‌های رئولوژیکی و شاخص‌های تعیین و توزیع اندازه ذرات نمونه‌های مایونز کم چربی

یکنواختی	D[4,3]	n	k (Pa. S ⁿ)	τ_y (Pa)	کد نمونه
1/55±0/01 ^c	61/4±0/14 ^b	0/3 ±0/05 ^a	28/1 ±9/3 ^{ab}	30/1 ±2/5 ^a	NFC100
1/70±0/01 ^b	31/7±0/14 ^d	0/3 ±0/05 ^a	30/4 ±10/4 ^a	30/4±7/1 ^a	NFC50/CC50
1/88 ±0/01 ^a	73/8±0/14 ^a	0/4 ±0/06 ^a	20/9 ± 0/9 ^b	11/1 ±1/2 ^b	CC100
1/40±0/01 ^d	45/3±0/14 ^c	0/3 ±0/01 ^a	25/6±1/0 ^{ab}	42/1 ±0/3 ^a	Commercial Control

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

این شکل، نمونه CC100 کمترین ویسکوزیته را نشان داده که مطابق نتایج اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری در جدول (2) نیز مطابق بود.

همچنین طبق شکل (2)، با افزایش سرعت برشی از 2001/s-0/01، ویسکوزیته تمامی نمونه‌ها کاهش یافته است که بیانگر رفتار سودوپلاستیکی یا رقیق‌شوندگی با برش تمامی نمونه‌ها و تاییدکننده نتایج جدول (3) می‌باشد (Worrasinchai et al., 2006). مطابق با



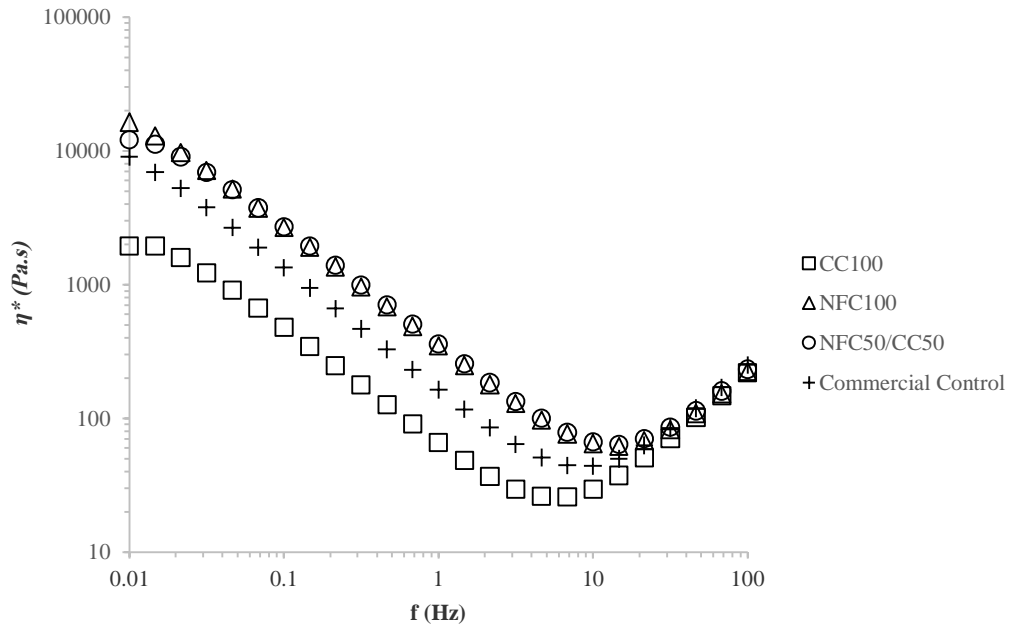
شکل 2- روند تغییرات ویسکوزیته نسبت به سرعت برشی نمونه‌های مایونز کم چربی

ویسکوالاستیک خطی 0/5% بدست آمد که به منطقه تعیین شده برای مایونزهای کم‌چربی در تحقیق Alimi و همکاران (2013) بسیار نزدیک بوده است (4/0%). با توجه به شکل (4) که نمایانگر نتیجه آزمون فرکانس متغیر نمونه‌ها می‌باشد، در تمامی نمونه‌ها روند تغییرات مدول الاستیک (G') بالاتر از مدول ویسکوز (G'') بوده که بیانگر رفتار غالب الاستیک در نمونه‌ها می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه در محدوده فرکانس مورد آزمون (100-0/01 هرتز)، هر دو مدول وابستگی زیادی به تغییر فرکانس نشان دادند می‌توان تمامی آنها را به‌عنوان ژل ضعیف طبقه‌بندی نمود (Lorenzo *et al.*, 2008). رفتار ژل مانند نمونه‌ها نسبت به فرکانس را می‌توان به ساختار سه‌بعدی ژلی ناشی از درگیری‌های فیزیکی در میان زنجیره‌های پلیمری و اینترکشن سینرژیستی بین دو هیدروکلونید نسبت داد (Lorenzo *et al.*, 2008). ویژگی‌های ژل ضعیف مایونز در محدوده فرکانس 100-0/01 هرتز توسط Alimi و همکاران (2013)، 100-0/1 هرتز توسط Worrasinchai و همکاران (2006) و 10-0/1 هرتز توسط Mancini و همکاران (2002) گزارش شده بود. به‌طور کلی انتظار می‌رود که امولسیون‌ها با میزان روغن زیاد، مقادیر G' بالایی نشان دهند (Ma & Barbosa-Canovas, 1995) که در این پژوهش اثر کاهش میزان چربی توسط جایگزین نمودن چربی با نانوفیبر سلولوز و کربوکسی متیل سلولوز در فرمولاسیون متعادل گردید.

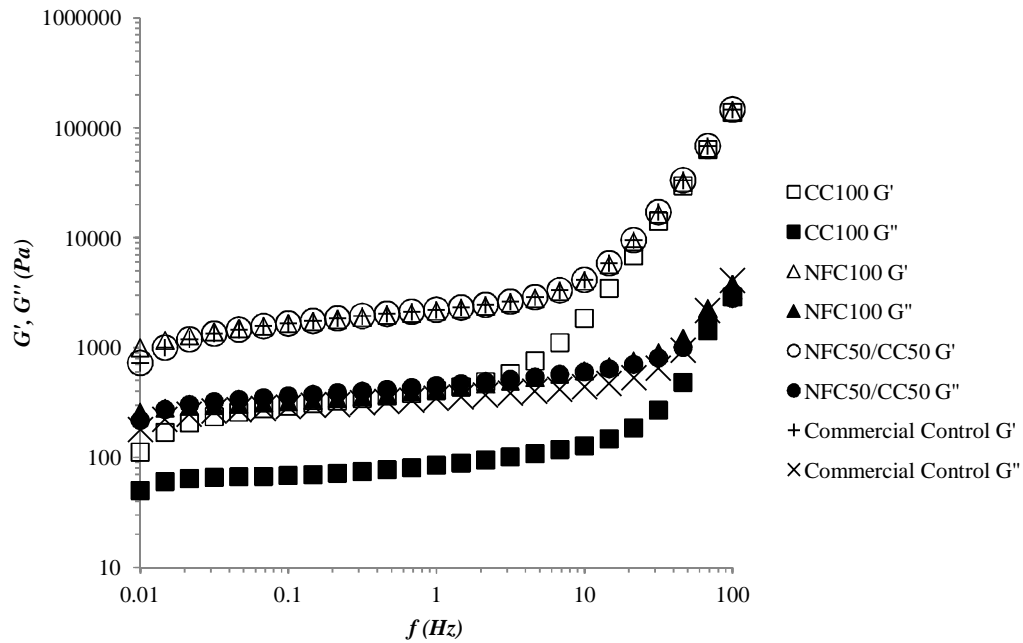
آزمون نوسانی و ویژگی‌های ویسکوالاستیک

در تمامی نمونه‌ها، ویسکوزیته حاصل از افزایش سرعت برشی کمتر از ویسکوزیته کمپلکس (η^*) حاصل از آزمون روبش فرکانس می‌باشد. زیرا آزمون فرکانس متغیر در منطقه ویسکوالاستیک خطی انجام گردیده که موجب به حداقل رساندن تخریب ساختار سه‌بعدی نمونه‌ها شده است (Worrasinchai *et al.*, 2006). طبق روند تغییرات ویسکوزیته کمپلکس (η^*) نسبت به فرکانس در شکل (3) با افزایش فرکانس، ویسکوزیته کمپلکس کاهش یافته و رفتار سودوپلاستیک یا رقیق‌شوندگی با برش نمونه‌ها کاملاً مشهود می‌باشد. در تمامی فرکانس‌ها، روند تغییرات ویسکوزیته کمپلکس نمونه‌های حاوی 1% نانوفیبر سلولوز و 5/0% نانوفیبر سلولوز - 5/0% کربوکسی متیل سلولوز (NFC100 و NFC50/CC50) به‌هم و به نمونه شاهد تجاری نزدیک بوده است. در حالیکه نمونه حاوی 1% کربوکسی متیل سلولوز (CC100) کمترین میزان ویسکوزیته کمپلکس را در تمامی فرکانس‌ها، در مقایسه با سایر تیمارها نشان داده است. این نتیجه در تصدیق نتایج آزمون ویسکوزیته ظاهری در جدول (2) و روند تغییرات ویسکوزیته با سرعت برشی در شکل (2) برای نمونه حاوی 1% کربوکسی متیل سلولوز بوده است.

طی آزمون کرنش متغیر، روند تغییرات مدول الاستیک یا ذخیره (G') و مدول ویسکوز یا افت (G'') نسبت به کرنش (100-0/01%) در فرکانس ثابت 1 هرتز بررسی شد و میزان کرنش در منطقه



شکل 3- تغییرات ویسکوزیته کمپلکس نمونه‌های مایونز کم‌چربی نسبت به فرکانس



شکل 4- تغییرات مدول ذخیره و افت نمونه‌های مایونز کم‌چربی نسبت به فرکانس

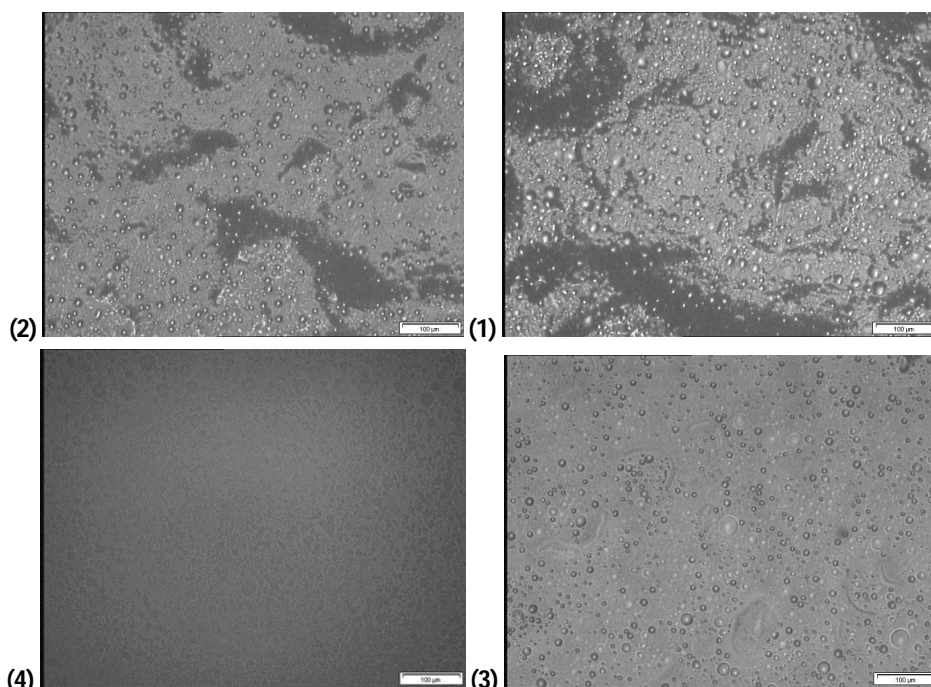
(Worrasinchai *et al.*, 2006). البته باید توجه شود که نمونه‌های حاوی نانوفیبر سلولز (NFC100 و NFC50/CC50) دارای مدول

در واقع این هیدروکلوئیدها به ساختار ژلی مایونزها استحکام بخشیدند و سبب افزایش مدول الاستیک آنها شدند

تعیین و توزیع اندازه ذرات

طبق شکل (4) و جدول (3) نمونه CC100 که دارای کمترین مقادیر G' و G'' بوده، نسبت به دیگر نمونه‌ها حاوی ذرات با اندازه بزرگتر بوده است. این یافته‌ها با نتایج Worrasinchai و همکاران (2006)، Langton و همکاران (1999) مطابقت داشته است. Langton و همکاران (1999) با اندازه‌گیری مقادیر G' در ناحیه ویسکوالاستیک خطی دریافتند حضور قطرات ریزتر فاز پراکنده روغن، موجب تقویت ویژگی‌های جامد الاستیک در مایونز می‌گردد، در حالیکه مایونز حاوی قطرات بزرگتر روغن، ویژگی‌های مایع مانند (ویسکوز) بیشتری بروز دادند. این نتیجه به‌طور تقریباً مشابه در نمونه‌های مایونز کم‌چربی این پژوهش مشاهده گردید.

الاستیک (G') بیشتر از نمونه حاوی کربوکسی‌متیل سلولوز (CC100) بودند. زیرا نانوفیبر سلولوز با داشتن خواص ذاتی جالبی از قبیل نسبت سطح به حجم بالا، انعطاف‌پذیری، گروه‌های هیدروکسیل زیاد در سطح و بالا بودن ظرفیت نگهداری آب می‌تواند در غلظت پایین، ژلهایی با مقادیر مدول الاستیک بالا تشکیل دهد که منجر به افزایش استحکام شبکه ژلی می‌شود (Ahola, 2008). Paakko و همکاران (2007) نیز طی مطالعات خود گزارش کردند که صرف نظر از غلظت سوسپانسیون، مدول الاستیک سوسپانسیون نانوفیبر سلولوز تقریباً 10 برابر بیشتر از مدول افت آن می‌باشد. تمامی این ویژگی‌های نانوفیبر سلولوز توانسته بر ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌های مایونز حاوی آن تاثیرگذار باشد



شکل 5- تصاویر میکروسکوپی مایونزها (1) NFC100، (2) NFC50/CC50، (3) CC100، (4) COMMERCIAL CONTROL

NFC50/CC50 به ترتیب نمونه‌های شاهد تجاری و NFC100 دارای اندازه ذرات کوچکتری بودند اما از نظر میزان یکنواختی، نمونه شاهد تجاری از بالاترین میزان یکنواختی در میان نمونه‌ها برخوردار بوده و نمونه NFC100 در رتبه سوم قرار گرفت. از این‌رو اگرچه اندازه ذرات در نمونه شاهد تجاری افزایش یافته اما هنوز این نمونه در مقایسه با دو نمونه NFC100 و CC100، به عنوان نمونه مایونز با اندازه ذرات کوچک به حساب آمده که دارای بالاترین میزان یکنواختی در میان نمونه‌ها بوده است و توانسته بیشترین میزان ویسکوزیته ظاهری را به‌خود اختصاص دهد. نمونه حاوی 1%

علاوه بر اندازه ذرات، یکنواختی ذرات نیز عامل مهمی به‌شمار می‌آید. بدین صورت که ویسکوزیته امولسیون‌های غیر یکنواخت (پلی‌دیسپرس) به میزان زیادی کمتر از ویسکوزیته امولسیون‌های یکنواخت (مونودیسپرس) با همان نسبت حجمی می‌باشد (Gutierrez *et al.*, 2002). از این‌رو نمونه حاوی 0/5% نانوفیبر سلولوز - 0/5% کربوکسی‌متیل سلولوز اگر چه کوچکترین اندازه ذرات را داشته (p<0/05) اما به دلیل اینکه میزان یکنواختی آن کمتر از نمونه شاهد تجاری بوده، طبق جدول (2) میزان ویسکوزیته ظاهری کمتری را نسبت به نمونه شاهد تجاری نشان داده است. بعد از نمونه

اندازه ذرات در تصاویر (1) و (3) نسبت به تصاویر (2) و (4) بزرگتر شده اما میزان یکنواختی ذرات در تصویر (1) به مقدار زیادی حفظ گردیده است. در حالیکه علاوه بر اندازه ذرات، میزان تفاوت در اندازه ذرات و غیریکنواختی آنها نیز در تصویر (3) به حد اکثر خود رسیده و تاییدکننده کاهش میزان ویسکوزیته ظاهری در نمونه حاوی 1% کربوکسی‌متیل سلولز بوده است.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج حاصله از آزمون‌ها و تفسیر آنها در بخش‌های پیشین، با افزودن نانوفیبر سلولز به همراه کربوکسی‌متیل سلولز، شاخص ویسکوزیته نزدیکترین مقدار را به نمونه شاهد تجاری نشان داده و فاکتور $D[4,3]$ ذرات نسبت به نمونه شاهد تجاری برتری معناداری داشته است ($p < 0/05$). تمامی ویژگی‌های رئولوژیکی مورد بررسی نیز در بهترین سطح بوده و تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نشان ندادند ($p > 0/05$). همچنین مدول الاستیک بر مدول ویسکوز ($G' > G''$) غالب بوده که بیانگر تقویت ویژگی‌های الاستیک در آن و مشابه روند در نمونه شاهد تجاری بوده است. با توجه به نتایج حاصله، نمونه NFC50/CC50 (حاوی 0/5% نانوفیبر سلولز - 0/5% کربوکسی‌متیل سلولز) به‌عنوان نمونه مایونز کم‌چربی برگزیده با ویژگی‌های رئولوژیکی و اندازه ذرات برتر در این پژوهش معرفی گردید.

کربوکسی‌متیل سلولز (CC100) نیز با داشتن بزرگترین و غیریکنواخت‌ترین اندازه ذرات، دارای کمترین میزان ویسکوزیته گردیده است. همچنین با توجه به وجود تفاوت معنادار میان نتایج توزیع اندازه ذرات نمونه حاوی کربوکسی‌متیل سلولز تنها و نمونه حاوی نانوفیبر سلولز - کربوکسی‌متیل سلولز، برقراری یک اینترکشن سینرژیستی میان دو هیدروکلوئید فوق نیز کاملاً مشهود می‌باشد. تصاویر تهیه شده از نمونه‌های مایونز با میکروسکوپ نوری در شکل (5) به همراه نتایج حاصل از آزمون توزیع اندازه ذرات می‌تواند در بررسی اندازه قطرات، مقدار یکنواختی آنها در امولسیون و تخمین میزان مدول الاستیک و ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها بسیار مفید باشد. بر اساس تصاویر میکروسکوپی شکل (5)، تمامی نمونه‌ها نسبت به نمونه حاوی 1% کربوکسی‌متیل سلولز در تصویر (3) دارای ساختار متراکم‌تر و نهایتاً G' بزرگتری بودند. طبق این نتایج می‌توان اظهار کرد که تجمعات متراکم قطرات روغن در شبکه امولسیونی مسئول ویژگی‌های الاستیک و مقاومت امولسیون در برابر تغییر شکل می‌باشد (Liu et al., 2007). همچنین تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های مایونز کم‌چربی تاییدکننده نتایج آزمون اندازه ذرات بوده است. به‌طوریکه از مقایسه تصاویر می‌توان دریافت که تصویر (2) نشان‌دهنده کوچکترین اندازه ذرات در نمونه حاوی 0/5% نانوفیبر سلولز - 0/5% کربوکسی‌متیل سلولز بوده و بعد از آن اندازه ذرات به ترتیب در تصویر (4) مربوط به نمونه شاهد تجاری، تصویر (1) مربوط به نمونه 1% نانوفیبر سلولز و تصویر (3) مربوط به نمونه 1% کربوکسی‌متیل سلولز افزایش یافته است. همانطور که مشاهده می‌شود

منابع

- Ahola, S., 2008, Properties and interfacial behaviour of cellulose nanofibril. Doctora Thesis, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 42-47.
- Alimi, M., Mizani, M., Naderi, G., Mortazavian, A.M., Bameni Moghadam, M., 2013, Development of low-fat mayonnaise containing combined mixtures of different types of inulin. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(1), 99-104.
- Bogati, D. R., 2011, Cellulose Based Biochemicals and their applications. Bachelor's Thesis, Saimaa University of Applied Sciences, Imatra, Finland, 25-30.
- Choonhahirun, A., 2008, Influence of added water and konjac flour as fat replacer on some quality characteristics of celery mayonnaise. *Journal of Assumption University of Thailand*, 11(3), 154-158.
- Coffey, D. G., Bell, D. A., Henderson, A., 2006, Cellulose and Cellulose Derivatives, In: Stephen, A. M., Philips, G. O., Williams, P. A, ed, *The Food Polysaccharides and Their Applications*, 2th edn, CRC Press, Florida, 146-179.
- Eronen, P., Junka, K., Haggblom, M., Laine, J., Osterberg, M., 2010, Polysaccharide interactions with nanocellulose as a platform for biomimetic modifications. In: Proceeding of International Conference on Nanotechnology for the Forest Products Industry, TAPPI Press, Georgia, 1099-1122.
- Gutierrez, X., Siliva, F., Chirinos, M., Leiva, J., Rivas, H., 2002, Bitumen-in-water emulsion: an overview on formation, Stability and rheological properties. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 23, 405-418.
- Izidoro, D. R., Scheer, A. P., Sierakowski, M. R., Haminiuk, C.W., 2008, Influence of green banana pulp on the rheological behaviour and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). *Journal of LWT-Food Science Technology*, 41, 1018-1028.
- Kalashnikova, I., Bizot, H., Cathala, B., Capron, I., 2012, Modulation of cellulose nanocrystals amphiphilic properties to stabilize oil/water interface. *Journal of Biomacromolecules*, 13, 267-275.
- Langton, M., Jordansson, E., Altskar, A., Sorensen, C., Hermansson, A., 1999, Microstructure and image analysis of

- mayonnaises. *Journal of Food Hydrocolloids*, 13, 113-125.
- Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A., Bras, J., 2012, Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 90, 735-764.
- Liu, H., Xu, X. M., Guo, S. D., 2007, Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *Journal of LWT-Food Science Technology*, 40, 946-954.
- Lorenzo, G., Zaritzky, N., Califano, A., 2008, Modeling rheological properties of low-in-fat o/w emulsions stabilized with xanthan/guar mixtures. *Journal of Food Research International*, 41, 487- 494.
- Ma, L., Barbosa-Canovas, G.V., 1995, Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *Journal of Food Engineering*, 25, 409-425.
- Mancini, F., Montanari, L., Peressini, D., Fantozzi, P., 2002, Influence of alginate concentration and molecular weight on functional properties of mayonnaise. *Journal of Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, 35, 517-525.
- McClements, D. J. 2005. Food Emulsions; Principles, Practice, and Techniques. 2th edn, CRC Press, Florida, 533-543.
- McGinley, E. J., Venables, A. C., Krawczyk, G. R., 1997, A cellulose composition, its preparation, and its use in foods. W.O. Patent No. 1997045024 A1.
- Mun, S., Kim, Y. L., Kang, C. G., Park, K. H., Shim, J. Y., Kim, Y. R., 2009, Development of reduced-fat mayonnaise using 4GTase-modified rice starch and xanthan gum. *Journal of Biomacromolecules*, 44, 400-407.
- Nikzade, V., Tehrani, M. M., Saadatmand-Tarzan, M., 2012, Optimization of low-cholesterol low fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Journal of Food Hydrocolloids*, 28, 344-352.
- Paakko, M., Ankerfors, M., Kosonen, H., Nykanen, A., Ahola, S., Osterberg, M., Ruokolinen, J., Laine, J., Larsson, P. T., Ikkala, J., Lindstrom, T., 2007. Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels. *Journal of Biomacromolecules*, 8(6), 1934-1941.
- Quintana, J. M., Califano, A. N., Zaritzky, N. E., Partal, P., 2002, Effect of salt on the rheological properties of low-in-fat O/W emulsions stabilized with polysaccharides. *Journal of Food Science and Technology International*, 8(4), 213-221.
- Rajah, K. K. 2002. Fats in Food Technology. Sheffield Academic Press, Sheffield, 256-260.
- Su, H. P., Lien, C. P., Lee, T. A., Ho, R. S., 2010, Development of low- fat mayonnaise containing polysaccharide gums as functional ingredients. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 90, 806-812.
- Thomareis, A. S., Chatziantoniou, A., 2011, Evaluation of the consistency of low-fat mayonnaise by squeezing flow viscometry. *Journal of Procedia Food Science*, 1, 1997-2002.
- Winuprasith, T., Suphantharika, M., 2015, Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by microfibrillated cellulose from mangosteen rind. *Journal of Food Hydrocolloids*, 43, 690-699.
- Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S., Jammong, P., 2006, -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Journal of Food Hydrocolloids*, 20, 68-78.
- Yousefi, H., Nishino, T., Faezipour, M., Ebrahimi, G. H., Shakeri, A., 2011, Direct fabrication of all-cellulose nanocomposite from cellulose microfibers using ionic liquid-based nanowelding. *Journal of Biomacromolecules*, 12, 4080-4085.



Evaluation of the effect of nanofiber cellulose and carboxy methyl cellulose on rheological properties and particle size of low-fat mayonnaise

L. Golchoobi¹, M. Alimi^{*2}, H. Yousefi³

Received: 2015.10.12

Accepted: 2016.02.15

Introduction: Mayonnaise, a semisolid oil in water emulsion containing vegetable oil, vinegar, egg yolk and optional ingredients such as salt, sugar and mustard, is a conventional old condiment containing high fat ingredient (minimum of 65%). The need to reduce the amount of saturated fat in diets, has led to the development of alternative processes to produce low fat mayonnaise. Cellulose and its physically-treated derivatives i.e. microcrystalline cellulose (MCC) and microfibrillated cellulose (MFC) lately investigated as NFC is one of the conventional fat replacers used in low-fat products formulation such as mayonnaise. Nanofiber cellulose (NFC) is a glucose polymer connecting together by β (1-4) glycosidic bonds. This low-cost new kind of cellulose can be obtained from physical modification of cellulose as naturally occurring carbohydrate that is renewable, biodegradable and nontoxic. Increased specific surface area, enhanced mechanical and hydrophilic properties of nanoscale cellulose are affected by the number of hydrogen bond in nanofiber chain of cellulose and low concentration of NFC suspension can form a strong and viscous semi-gel network. As a result, because of all the functional properties, NFC can be employed as a fat replacer in reduced or low calorie food products, and as an improver of the product structure consistency. In fact, because of downsizing cellulose to nanoscale, the surface to volume ratio of NFC increases and the surface hydroxyl groups participate in the formation of hydrogen bonds in the network. Hence, more appropriate mechanical properties for NFC are achieved, even in a lower dosage. Therefore, NFC is theoretically a proper thickener and stabilizer for low-fat systems. Carboxy methyl cellulose (CMC) is a synthesized derivative of cellulose which is gained by adding carboxy methyl groups (-CH₂-COOH) to cellulose. CMC is used in different food systems with the E number E466 as emulsions stabilizer, control and modification of texture in various products. In this research, application of combination of nanofiber cellulose (0%-1%) and CMC (0%-1%) to optimize rheological properties and production of low-fat mayonnaise (30% oil) with desirable characteristics were studied. Due to the hydrophilic nature of cellulose derivatives, several research works have been focused on the stabilization of oil-in-water (o/w) emulsions specially salad dressing or low-fat and fat free mayonnaise by NFC. However, no information is available on NFC/CMC mixtures. The main aim of this study was to investigate the possible mutual interactions between NFC and CMC in mayonnaise formulation regarding to the nutritional benefits that each can be individually contribute to low-fat healthy products. Rheological characterization and particle size of low fat mayonnaise, containing NFC and CMC, were conducted to validate the practical applicability of the proposed formulation in food industry.

Materials and methods: The nanofiber cellulose of each formulation (0.25, 0.5, 0.75 and 1%) was first mixed with the related formulation water and pasteurized using a EUROSTAR power control-visc 6000 homogenizer for 5 min inside water bath at 85°C. Then, it was added to the raw materials of its treatment. After production of 5 samples, viscosity test was performed using a rotational viscometer. Then, particle size measurement (D[4,3] with distilled water as the solvent, a Mastersizer 2000 equipped to quartz cell and laser beam with $\lambda=634$ nm), light microscopy (optical microscope, magnification of 100×) and rheological tests such as flow behavior (shear rate: 0.01-200 1/s), complex viscosity and frequency sweep (frequency: 0.01-100 Hz) were performed on 3 selected samples (stress-controlled rheometer with a serrated parallel-plate geometry). Commercial low fat mayonnaise (30% fat) produced by Behrouz factory was selected as the control sample.

1 And 2. M. Sc. Graduate and Assistant Professor, Food Science and Technology, Science and Research Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(*Corresponding Author Email: Ahoora_mazdak@yahoo.com)

Results & discussion: Overall, the viscosity results revealed that by the addition of NFC and CMC, only the sample containing 0.5% nanofiber cellulose and 0.5% CMC did not show significant difference compared to the commercial control sample ($p < 0.05$). The results of flow behavior test of low-fat mayonnaise samples show a non-newtonian and pseudoplastic behavior in all samples. The obtained results of data fitting with Herschel-Buckley model indicated that the addition of NFC together with CMC did not significantly alter the flow behavior index, consistency coefficient and yield stress. Moreover, in frequency sweep test for selected samples containing NFC and CMC, the trend of changes in elastic modulus were higher than viscose modulus ($G' > G''$) that has revealed the predominating of the elastic features in the mentioned samples, similar to the trend of commercial control sample. The obtained data of complex viscosity was in consistency with this data. With respect to the obtained results of particle size distribution, the sample containing 0.5% nanofiber cellulose and 0.5% CMC were considered to have the minimum value of D[4,3] and desirable uniformity in comparison with other samples.

Conclusion: Considering the aforementioned results, in this study NFC50/CC50 sample containing 0.5% nanofiber cellulose and 0.5% CMC was employed to formulate low-fat mayonnaise with interesting particle size and rheological properties that is attributed to the synergistic interaction between 0.5% NFC and 0.5% CMC. In fact, the effect of fat reduction is balanced by replacing of 0.5% nanofiber cellulose and 0.5% CMC. Therefore, these hydrocolloids generated a robust gel-structure in the network of this sample. In addition, tridimensional gel structure was formed by physical entanglements among polymeric chains along with the development of the crosslinked network formed between both hydrocolloids. On the other hand, reduction of dispersion phase size and suitable uniformity of droplets in NFC50/CC50 sample resulted in appropriate monodispersity, which increases the resistance to deformation and the enhancement of its viscosity.

Keywords: Nanofiber cellulose, Carboxy methyl cellulose, Low-fat mayonnaise, Rheological properties, Particle size.