

کاربرد توأم نانوفیبر سلولز و صمغ گوار به عنوان پایدار کننده در مایونز کم چرب

لاله گلچوبی^{۱*}، مزدک علیمی^۲، حسین یوسفی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد آیت الله آملی، آمل، ایران.

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد آیت الله آملی، آمل، ایران.

^۳ استادیار گروه تکنولوژی مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۸/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۲۸

چکیده

نانوفیبر سلولز از اصلاح فیزیکی سلولز که فراوانترین کربوهیدرات تجدید پذیر در طبیعت می باشد، به دست می آید. افزایش سطح فیبر سلولز در ابعاد نانو بر تعداد پیوندهای هیدروژنی اثر گذاشته و سبب بهبود خواص هیدروفیلی نانوفیبر سلولز می گردد. صمغ گوار نیز با هدف افزایش پایداری فیزیکی، بهبود ویسکوزیته و اصلاح بافت استفاده گردید. هدف از این پژوهش کاربرد توأم نانوفیبر سلولز (۱٪-۰٪) و صمغ گوار (۵٪-۰٪) جهت بهبود خصوصیات فیزیکی (ویسکوزیته، پایداری فیزیکی امولسیون، رنگ سنجی و اندازه ذرات) و رئولوژیکی به منظور تولید مایونز کم چرب حاوی ۳۰٪ روغن با ویژگی های حسی مطلوب بود. یک هفته پس از تولید نمونه ها، آزمون های ویسکوزیته و پایداری فیزیکی امولسیون انجام شد. سپس ۳ نمونه منتخب تحت آزمون های رنگ سنجی، رفتار جریان، نوسانی، میکروسکوپ نوری، بررسی اندازه ذرات و حسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که نمونه حاوی ۰/۵٪ نانوفیبر سلولز و ۰/۲۵٪ گوار (R3) از لحاظ میزان ویسکوزیته، پایداری فیزیکی امولسیون، روشنایی (L*) و تمامی فاکتورهای حسی برتری معناداری را نسبت به نمونه شاهد تجاری نشان داد (p<۰/۰۵). همچنین این نمونه کوچکترین اندازه ذرات (۲۲/۰±۰/۱۴) و بیشترین میزان یکنواختی را در میان تمامی نمونه ها داشت. آزمون بررسی رفتار جریان نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک در کلیه نمونه ها بوده و از نظر ضریب قوام و شاخص رفتار جریان، تفاوت معناداری بین دو نمونه R3 و شاهد تجاری نشان نداد. طبق آزمون روبش فرکانس نیز در نمونه ها، روند تغییرات مدول الاستیک در سطحی بالاتر از مدول ویسکوز (G'>G'') و نشانه تقویت ویژگی های الاستیک در نمونه های مذکور بود. طبق نتایج آزمون های انجام شده، تیمار R3 به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

واژه های کلیدی: نانوفیبر سلولز، گوار، مایونز کم چرب، پایدار کننده، ویژگی های رئولوژیکی

۱- مقدمه

از نظر عموم افراد جامعه، مقدار و نوع چربی مصرفی به علت ایجاد بیماری‌های مزمن از قبیل چاقی، بیماری‌های قلبی-عروقی و سرطان، از اهمیت زیادی برخوردار است. این نگرانی سبب ایجاد فشار بر صنایع غذایی جهت کاهش مقدار چربی و تولید انواع محصولات کم چرب شده است (۱۹). سس مایونز فراورده پر چربی می‌باشد که تولید انواع کم چرب آن رونق زیادی یافته است (۱۳). عطر و طعم‌های غذای پر چرب ملایم بوده و به مدت طولانی‌تری روی کام باقی می‌ماند اما ممکن است در محصولات کم چرب گزرنده به نظر بیایند (۳۳). برای به حداقل رساندن این اثرات نامطلوب، هیدروکلوئیدها خواص خوبی نشان داده‌اند، زیرا آنها علاوه بر پایدار نمودن امولسیون‌ها، به دلیل اتصال و تمایل به آب درون مولکول، می‌توانند احساس رنولژیکی ناشی از چربی در دهان را نیز شبیه‌سازی نمایند (۷). پایداری مهمترین فاکتور در تکنولوژی امولسیون می‌باشد. هنگامی که محتوای روغن کاهش یافته و غلظت قطرات کم می‌شود، سرعت خامه‌ای شدن افزایش می‌یابد. در نتیجه، پلی‌ساکاریدهای هیدروکلوئیدی توسط بالا بردن ویسکوزیته فاز پیوسته امولسیون، خواص الاستیکی بیشتری به کل سیستم داده، خامه‌ای شدن آن را مهار می‌نمایند و نهایتاً خواص بافتی آن را بهبود می‌دهند (۲۴). یکی از هیدروکلوئیدهای متداول در فرمولاسیون فراورده‌های کم چرب از جمله مایونز، سلولز و مشتقات حاصل از اصلاح فیزیکی آن از قبیل نانوفیبر سلولزی^۱ می‌باشد (۸). فیبریل‌های اولیه سلولزی با ضخامت ۳-۷ نانومتر به طور محکم گرد هم آمده و یک نانوفیبریل با ضخامت حدود ۴۰ نانومتر و طول بلندتر از ۵ میکرومتر را تشکیل می‌دهند (۳۷). ویژگی ژل مانند نانوفیبر سلولزی ناشی از بالا بودن مساحت سطح و تشکیل پیوندهای هیدروژنی زیاد می‌باشد (۱۸). که سبب کاربرد قابل توجه آن به عنوان یک قوام‌دهنده، حمل‌کننده عطر و طعم، پایدارکننده بدون کالری سوسپانسیون‌ها و یا ژل‌کننده در انواع گسترده‌ای از محصولات غذایی شده است (۳). صمغ گوار از جمله گالاکتومانان‌هایی است که ساختمان شیمیایی آنها بر اساس زنجیره اصلی آن از واحدهای $D-\beta$ -مانوپیرانوز تشکیل شده که توسط اتصالات $\beta(1\rightarrow4)$ به یکدیگر متصل شده‌اند و واحدهای D -گالاکتوپیرانوز نیز به صورت یک درمیان با

اتصالات $\alpha(1\rightarrow6)$ به زنجیره اصلی پیوند یافته‌اند (۲۹). زنجیره-های پلیمر گوار در محلول، یکدیگر را درگیر نموده و منجر به افزایش ویسکوزیته محلول می‌گردند (۲۶). این صمغ به عنوان قوام‌دهنده، نگهدارنده آب یا عامل پایدارکننده، کاربرد زیادی در صنایع غذایی دارد (۲۰).

به دلیل ماهیت بسیار هیدروفیل مشتقات فیزیکی سلولز، اغلب مطالعات بر روی پایداری امولسیون‌های روغن در آب به ویژه سس‌های سالاد یا مایونز کم کالری و بدون کالری، توسط ریزبلورهای سلولزی^۱ یا نانوفیبر سلولزی^۲ انجام گردید (۳۴، ۳۶). با این حال، اطلاعات قابل دسترسی از کاربرد مخلوط نانوفیبر سلولز و گوار وجود ندارد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات افزودن نانوفیبر سلولز و صمغ گوار بر ویژگی‌های فیزیکی، رنولژیکی و حسی مایونز کم چرب و مقایسه توانایی هر یک از آنها به تنهایی و اثر هم‌افزایی (سینرژیستی) آنها، در پایدار نمودن این امولسیون کم چرب بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ژل ۳٪ نانوفیبر سلولز تولید شده از ضایعات کشاورزی توسط شرکت دانش بنیان نانونون پلیمر ایران (قطر متوسط 10 ± 32 نانومتر و طول بیشتر از ۵ میکرومتر) کاتالوگ محصول، صمغ گوار تولید شرکت رامنا هندوستان، نشاسته اصلاح شده (E-1422) ذرت مومی پیش ژلاتینه شرکت روکت با نام تجاری پرگفلو تولید کشور فرانسه و مواد تشکیل دهنده مایونز فراهم شده توسط شرکت غذایی بهروز نیک استفاده گردید.

۲-۱- تهیه و آماده‌سازی فاز آبی حاوی ژل نانوفیبر سلولز

ابتدا مقدار نانوفیبر سلولز هر فرمول (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۰) با میزان آب مربوط به همان فرمول مخلوط شده (مجموع ترکیبات هر فرمول را با توجه به مقدار نانوفیبر سلولز و گوار آن به دست آورده و سپس تا رسیدن به میزان ۱۰۰ درصد، میزان آب فرمول محاسبه و اضافه گردید) و سپس در دمای جوش به مدت ۷ دقیقه پاستوریزه (۲) و نهایتاً تا دمای اتاق خنک گردید. وزن مخلوط قبل و بعد از پاستوریزاسیون، تعیین شد و اختلاف وزن حاصل از

² Nanofiber Cellulose (NFC)

¹ Microcrystalline Cellulose

۲-۳-۳- آزمون‌های فیزیکی

۲-۳-۳-۱- آزمون تعیین ویسکوزیته ظاهری

جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری تمامی نمونه‌های سس مایونز از دستگاه ویسکومتر دورانی (MYR، مدل V1، اسپانیا، با حداکثر ۲۰۰ و حداقل دور قابل اندازه‌گیری ۰/۳ دور در دقیقه) با اسپیندل دیسکی R5 با سرعت ۶۰ دور در دقیقه و دمای ۲۳-۲۰ درجه سانتیگراد در طی مدت زمان ۲۰ دقیقه استفاده گردید (۲).

۲-۳-۳-۲- آزمون پایداری فیزیکی امولسیون

طی این آزمون ۱۰ گرم از هر نمونه در فالتون‌های مندرج ۱۵ سی‌سی پر گردید. سپس فالتون‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری (Nuve، مدل BM 402، ترکیه) ۸۰ درجه سانتیگراد حرارت دیدند و در دستگاه سانتریفوژ (Nuve، مدل NF 200، ترکیه) با دور ۵۰۰۰ rpm (۳۷۰۰g) به مدت ۲۰ دقیقه تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار گرفتند. آنگاه پایداری امولسیون از رابطه زیر به دست آمد (۲).

$$(1) \quad 100 \times \text{گرم کل نمونه} / \text{گرم لایه امولسیفیه} = \text{درصد پایداری}$$

۲-۳-۳-۳- آزمون رنگ‌سنجی

جهت انجام آزمون رنگ‌سنجی، داخل سل دستگاه رنگ‌سنجی Spectrophotometer color flex[®], Hunter lab، مدل EZ-45/0 LAV، 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. دستگاه قبل از هر اندازه‌گیری کالیبره یا استاندارد شده است (۹).

۲-۳-۳-۴- آزمون تعیین اندازه ذرات

در این آزمون از دستگاه آنالیزگر اندازه ذرات (Mastersizer 2000 Malvern Instrument Ltd، مدل Ver.5.1، انگلیس) و حلال آب مقطر، نور لیزر با طول موج ۶۳۴ نانومتر و سل نمونه از جنس کوارتز در دمای ۲۳-۲۰ درجه سانتیگراد استفاده گردید و اندازه ذرات طبق رابطه (۲) به صورت قطر میانگین حجمی-وزنی یا $D[4,3]$ ارائه شده است. d_i = قطر ذرات، n_i = تعداد ذرات با قطر (۳۵).

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

تبخیر، در حین تهیه امولسیون سس مایونز به صورت آب به فرمول افزوده گردید (۲).

۲-۲- تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های مایونز

جهت تهیه نمونه‌های سس مایونز، گوار مورد استفاده برای هر فرمول، به همراه مواد پودری مربوطه، به کار برده شد. پس از توزین مواد پودری (شکر=۵/۷٪، نمک=۲٪، پودر خردل=۰/۵٪، بنزوات سدیم=۰/۰۴٪، سوربات پتاسیم=۰/۰۳٪، اسید سیتریک=۰/۱٪ و نشاسته اصلاح شده ذرت مومی پیش ژلاتینه=۰/۱۸٪) و گوار هر فرمول (۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۳۷۵ و ۰/۵٪)، ابتدا زرده تخم مرغ=۵٪ و مقدار اندکی روغن به میکسر آزمایشگاهی (ارکان فلز، ایران، با حداکثر توزین ۶۰ کیلوگرم) افزوده شد و سپس به ترتیب، تمام مواد پودری و حدود یک سوم از فاز آبی (نانوفیبر سلولز و آب) به آن اضافه گردید.

در نیمه فرآیند، یک سوم بعدی فاز آبی و باقی مانده روغن نیز اضافه گردید. کل روغن فرمولاسیون=۳۰٪، به تدریج طی مدت ۶ دقیقه به امولسیون مایونز افزوده شد. نهایتاً با اتمام روغن، یک سوم پایانی فاز آبی و در آخر نیز سرکه فرمولاسیون (سرکه ۱۱٪ به میزان ۴/۸٪) به مخلوط اضافه گردید (۲). آنگاه نمونه‌های تولید شده با مقادیر مختلف نانوفیبر سلولز و گوار، مطابق جدول (۱) کدگذاری گردید. مایونز کم چربی تجاری (۳۰٪ روغن) شرکت بهروز نیک نیز به عنوان مایونز شاهد تجاری در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مقادیر هیدروکلوئیدهای موجود در نمونه‌های مایونز

کد مربوطه	مقدار نانوفیبر سلولز (۰-۱٪)	مقدار گوار (۰-۰/۵٪)
R1	۱	۰
R2	۰/۷۵	۰/۱۲۵
R3	۰/۵۰	۰/۲۵۰
R4	۰/۲۵	۰/۳۷۵
R5	۰	۰/۵
CONTROL	۰	۰

۲-۳-۵- میکروسکوپ نوری

امتیازدهی به نمونه‌ها بر این اساس بود که عدد ۵ نشان دهنده بالاترین امتیاز، بهترین حالت و عدد ۱ بیانگر کمترین امتیاز، بدترین حالت باشد (۲).

در این آزمون از میکروسکوپ نوری (Jenaver، مدل Carl Zeiss، آلمان) با لنز شماره ۱۰ و بزرگنمایی ۱۰۰ میکرومتر جهت گرفتن تصاویر میکرومتری از نحوه پخش شدن ذرات در نمونه‌ها 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.

۲-۴-۴- آزمون‌های رئولوژیکی

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری
کلیه آزمون‌ها یک هفته پس از تولید نمونه‌های مایونز کم چربی و در دو تکرار انجام پذیرفت. همچنین آزمون‌های رنگ‌سنجی، بررسی رفتار جریان، نوسانی (رویش کرنش و رویش فرکانس)، تعیین اندازه ذرات، میکروسکوپ نوری و ارزیابی حسی بر روی ۳ نمونه منتخب R1، R3، R5 و نمونه شاهد تجاری صورت گرفت. به منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج به دست آمده از آزمون‌های مختلف، از نرم افزار MINI TAB نسخه ۱۶ استفاده شد و تجزیه و تحلیل‌ها منطبق با طرح کاملاً تصادفی متعادل و در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ انجام گرفت. با استفاده از این نرم افزار 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 غیر پارامتری کروسکال - والیس جهت بررسی تفاوت معنی دار بین داده استفاده گردید. بررسی معنادار بودن میانگین نتایج نمونه‌ها با یکدیگر نیز با استفاده از آزمون مقایسه دوتایی توکی^۱ انجام شد (۲).

آزمون‌های رئولوژیکی (بررسی رفتار جریان و نوسانی) توسط دستگاه رئومتر (Anton Paar GmbH، مدل Paar Physica MCR 501، اتریش) با ۲ صفحه موازی زبر، قطر صفحه ۲۵ میلی‌متر و فاصله ایجاد شده بین دو صفحه ۱ میلی‌متر بر روی ۳ نمونه منتخب R1 (حاوی ۱٪ نانوفیبر سلولز)، R3 (حاوی ۰/۵٪ گوار)، R5 (حاوی ۰/۵٪ نانوفیبر سلولز و ۰/۲۵٪ گوار) و نمونه شاهد تجاری، در دمای ۲۴-۲۳ درجه سانتیگراد انجام شد (۲).

۲-۴-۱- آزمون بررسی رفتار جریان

در این آزمون طبق رابطه (۱) از مدل هرشل بالکی و محدوده نرخ برش $200 S^{-1} - 0.1$ استفاده گردید.

$$\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

در این معادله τ : تنش برشی (pa)، τ_0 : تنش تسلیم (pa)، k : ضریب قوام (pa.Sⁿ)، $\dot{\gamma}$: نرخ برش (s⁻¹) و n : شاخص رفتار جریان (-) است.

۲-۴-۲- آزمون‌های نوسانی

آزمون‌های نوسانی این پژوهش بر دو نوع آزمون رویش کرنش و آزمون رویش فرکانس بوده است. آزمون رویش کرنش، در کرنش متغیر ۱۰۰-۰/۰۱٪ و فرکانس ثابت ۱ هرتز، به منظور تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی انجام شد. سپس آزمون رویش فرکانس در زیر منطقه ویسکوالاستیک خطی، در مقدار کرنش ثابت ۰/۴٪ و فرکانس متغیر ۱۰۰-۰/۰۱ هرتز صورت پذیرفت.

۲-۵- آزمون ارزیابی حسی

۳-۱- ویسکوزیته ظاهری
طبق جدول (۲) نمونه‌های حاوی ۰/۳۷۵ و ۰/۵٪ گوار (R4) و (R5) نسبت به نمونه شاهد تجاری دارای اختلاف معنی داری نبوده (p>۰/۰۵) اما نمونه حاوی ۰/۵٪ نانوفیبر سلولز و ۰/۲۵٪ گوار (R3) در مقایسه با نمونه شاهد تجاری دارای ویسکوزیته بیشتری بوده است. در واقع زنجیره‌های پلیمری گوار در غلظت کافی، توانایی ایجاد برهمکنش درون زنجیره‌ای و تشکیل شبکه سه بعدی بین فیبر - گوار را دارند (۲۷ و ۲۸). همچنین نانوفیبر سلولز با داشتن هر دو منطقه کریستالی و آمورف و گستردگی منطقه سطحی، قابلیت جذب آب بالایی داشته و برهمکنش مناسبی با پلیمرهای خنثی نشان می‌دهند. از اینرو افزایش ویسکوزیته ناشی از افزودن نانوفیبر سلولز در محلول گوار حاصل شد (۱). مطالعات دیگر نیز نشان دادند که ضخامت لایه پلیمر

ارزیابی حسی نمونه‌ها توسط ۱۰ ارزیاب حسی آموزش دیده و با استفاده از روش هدونیک پنج نقطه‌ای برای پارامترهای مزه، آروما (رایحه)، بافت، رنگ، قوام و پذیرش کلی انجام شد. نحوه

جدول ۲- نتایج آزمون‌های پایداری امولسیون و ویسکوزیته

ظاهری نمونه‌های مایونز کم چرب

کد نمونه	ویسکوزیته ظاهری (mPa.s)	پایداری امولسیون (%)
R1	۴۳۷۰ ± ۷۰/۷ ^c	۹۱/۰۰ ± ۱/۴۱ ^c
R2	۳۷۵۰ ± ۱۴۱/۴ ^d	۹۵/۳۰ ± ۰/۵۶ ^b
R3	۵۸۴۰ ± ۴۲/۴ ^a	۱۰۰/۰۰ ± ۰/۰۰ ^a
R4	۴۹۱۰ ± ۱۹۸/۰ ^b	۱۰۰/۰۰ ± ۰/۰۰ ^a
R5	۵۱۷۰ ± ۳۵/۴ ^b	۱۰۰/۰۰ ± ۰/۰۰ ^a
CONTROL	۵۱۵۰ ± ۱۴/۱ ^b	۹۵/۵۰ ± ۰/۷۰ ^b

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ با یکدیگر ندارند

انجام آزمون پایداری فیزیکی، قادر به انتخاب نمونه برتر R3 از میان سه نمونه R2، R3 و R4 شدیم. آنگاه آزمون‌های رنگ-سنجی، بررسی رفتار جریان، نوسانی (رویش کرنش و رویش فرکانس)، تعیین اندازه ذرات، میکروسکوپ نوری و ارزیابی حسی بر روی این ۳ نمونه منتخب R1، R3، R5 و نمونه شاهد تجاری صورت گرفت.

۳-۴- شاخص‌های توزیع اندازه ذرات

مطابق جدول (۳) توزیع اندازه ذرات تحت تأثیر هر دو عامل نوع هیدروکلوئید و میزان آن قرار گرفته و دچار تغییر شد. به طوریکه فاکتور D[4,3] ذرات در تمامی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد تجاری دارای تفاوت معنی‌دار بوده و کاهش یافته است ($p < 0.05$). در امولسیون مایونز، کاهش اندازه قطرات روغن و نتیجتاً افزایش سطح تماس بین قطرات روغن فاز پراکنده منجر به تولید نیروی اصطکاک گردیده که با جریان آزاد امولسیون در حین برش، مخالفت نموده و موجب افزایش ویسکوزیته آن می‌شود (۱۹). در این پژوهش نیز مقایسه نتایج اندازه‌گیری ذرات و تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های مایونز کم چربی نشان داد که نمونه R3 در مقایسه با نمونه‌های R1، R5 و شاهد تجاری، با داشتن کوچکترین اندازه ذرات و توزیع یکنواخت‌تر (مونودیسپرسیته) بیشترین میزان ویسکوزیته ظاهری را نشان داده است. سو و همکاران نیز گزارش نمودند که افزودن فیبر سیتروس و گوار به نمونه مایونز کم چرب در مقایسه با افزودن زانتان و گوار، سبب ایجاد ذرات با اندازه کوچکتر و یکنواخت‌تر در

خنثی جذب شده توسط نانوفیبر سلولز بیشتر از ضخامت لایه دیگر پلیمرها بوده که متعاقباً موجب اتصال مقدار بیشتری از آب با این پلی‌ساکارید و ایجاد ویسکوزیته بیشتر در فاز پیوسته آبی امولسیون گردیده است. با توجه به مطالب مذکور، به نظر می‌رسد که نانوفیبر سلولز در غلظت ۰/۵٪ با غلظت ۰/۲۵٪ پلیمر خنثی گوار، بالاترین برهمکنش و نهایتاً ویسکوزیته ناشی از آن را در نمونه مایونز R3 ایجاد کرده است (۱۲).

۳-۲- پایداری فیزیکی امولسیون

مطابق با جدول (۲) نمونه حاوی ۱٪ نانوفیبر سلولز (R5) با نمونه شاهد تجاری اختلاف معنی‌داری داشته ($p < 0.05$) و نسبت به آن دارای پایداری کمتری بوده است. افزایش گوار در غلظت ۰/۱۲۵٪ موجب افزایش پایداری امولسیون شده، به طوریکه نمونه حاوی ۰/۷۵٪ نانوفیبر سلولز و ۰/۱۲۵٪ گوار (R2) دارای پایداری مشابه نمونه شاهد تجاری گردیده است اما افزایش گوار در غلظت‌های بیشتر موجب افزایش بیشتر پایداری در نمونه‌های حاوی ۰/۲۵، ۰/۳۷۵، ۰/۵٪ گوار شده است. بطوریکه نمونه‌های R3، R4 و R5 نسبت به نمونه شاهد تجاری پایداری بیشتری را نشان دادند. با توجه به اینکه صمغ گوار توانایی ایجاد ویسکوزیته زیاد داشته و جزء هیدروکلوئیدهای ایجاد کننده ویسکوزیته بالا طبقه‌بندی می‌شود (۲۵). از اینرو با تشکیل شبکه ژلی سه بعدی، افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته آبی در امولسیون مایونز، کاهش تحرک قطرات روغن فاز پراکنده و جلوگیری از پیوستن آنها، موجب کاهش پدیده خامه‌ای شدن و افزایش پایداری امولسیون می‌گردد (۲۲) که با نتایج آزمون ویسکوزیته مطابقت داشته است. علاوه بر این، گوار صمغی است که موجب افزایش پراکندگی قطرات روغن در فاز پیوسته و نهایتاً پایداری امولسیون می‌شود (۳۱). در واقع نانوفیبر سلولز به همراه گوار سبب افزایش پایداری نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد تجاری گردیده که ناشی از افزایش ویسکوزیته بوده است.

پس از تولید نمونه‌ها، انتخاب دو نمونه R1 (حاوی نانوفیبر سلولز تنها) و R5 (حاوی گوار تنها) قطعی بود اما برای مقایسه اثر هر یک از هیدروکلوئیدها به تنهایی با اثر هم‌افزایی آنها، انتخاب نمونه برتر حاوی نانوفیبر سلولز و گوار ضروری شد. از اینرو در ابتدا با اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها توسط ویسکومتر و

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی نمونه‌های مایونز کم چرب (اندازه ذرات و رنگ سنجی)

کد نمونه	D[4,3]	یکنواختی	L*	a*	b*
R1	31.7 ± 0.14 ^b	1.70 ± 0.01 ^b	84.10 ± 0.184 ^{ab}	0.73 ± 0.113 ^a	14.99 ± 0.403 ^a
R3	22.0 ± 0.14 ^d	1.06 ± 0.01 ^d	84.47 ± 0.233 ^a	0.80 ± 0.063 ^a	13.57 ± 0.000 ^{bc}
R5	26.7 ± 0.14 ^c	1.12 ± 0.01 ^c	84.55 ± 0.255 ^a	0.54 ± 0.134 ^a	13.66 ± 0.021 ^{bc}
CONTROL	45.3 ± 0.14 ^a	1.88 ± 0.01 ^a	83.83 ± 0.445 ^c	0.70 ± 0.021 ^a	13.37 ± 0.170 ^c

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ با یکدیگر ندارند

گرددیده که ناشی از افزایش پراکندگی نور توسط ذرات بوده است (۵). مشابه نتایج آنها، در این پژوهش نیز نمونه‌های R3، R5 و R1 که مطابق آزمون تعیین اندازه ذرات (جدول ۳) و تصاویر میکروسکوپ نوری (شکل ۱) دارای کوچکترین اندازه ذرات بودند، از بیشترین میزان روشنایی برخوردار گردیدند. از نظر فاکتور a* یا تمایل به رنگ قرمز، تفاوت معنی داری بین نمونه‌های مایونز با یکدیگر و نمونه شاهد تجاری وجود نداشته است (0.05 > p). با بررسی فاکتور b* و با توجه به این که محدوده اعداد مثبت در آن بیانگر گرایش نمونه به سمت رنگ زرد می‌باشد، مشخص می‌گردد که نمونه‌های R3 و R5 تفاوت معنی داری با نمونه شاهد تجاری نداشته و دارای تمایل کمتری به رنگ زرد بودند (0.05 > p). در حالیکه این تمایل در نمونه R1 (حاوی ۱٪ نانوفیبر سلولز) تا حدی زیاد بوده که توانسته میزان فاکتور b* را تا بالاترین مقدار افزایش دهد. به نظر می‌رسد که اگرچه هیدروکلئید نانوفیبر سلولز در مقایسه با صمغ گوار، دارای تمایل بیشتری به رنگ زرد بوده اما قدرت تاثیرگذاری صمغ گوار بر روی رنگ زرد بسیار بیشتر از نانوفیبر سلولز بوده است. به طوریکه توانسته میزان این تمایل را در نمونه R3 (حاوی ۰/۵٪ نانوفیبر سلولز و ۰/۲۵٪ گوار) کاهش داده و سبب ایجاد عدم تفاوت معنی دار این نمونه با نمونه شاهد تجاری گردد.

نمونه مذکور شده است (۳۰). ویسکوزیته امولسیون‌های غیر یکنواخت (پلی‌دیسپرس) به میزان زیادی کمتر از ویسکوزیته امولسیون‌های مونودیسپرس با همان نسبت حجمی می‌باشد (۱۴). همچنین با کاهش میزان روغن، ذرات با اندازه کوچکتر تشکیل شبکه ژلی سه بعدی وسیعتری می‌دهند که منجر به افزایش ویسکوزیته امولسیون می‌شود (۲۲). از اینرو نمونه‌های حاوی R3 و R5 دارای تفاوت معنی دار با نمونه شاهد تجاری بودند (0.05 < p). به طوریکه با داشتن ذرات کوچکتر و یکنواخت‌تر، به ترتیب دارای ویسکوزیته بیشتر از نمونه شاهد تجاری گردیدند و در نهایت پایداری فیزیکی این دو نمونه نیز از نمونه شاهد تجاری بیشتر بوده است. توانایی صمغ گوار در هیدراتاسیون و تشکیل شبکه ژلی در فاز پیوسته آبی مایونز و نهایتاً افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته، تحرک قطرات فاز پراکنده روغن را به تعویق انداخته که عملاً منجر به ممانعت از پدیده تجمع^۱ و ادغام^۲ شده و توزیع یکنواخت و قطر پایین تر ذرات قطرات روغن و مونودیسپرسی را سبب گردید. همچنین با توجه به وجود تفاوت معنادار میان نتایج توزیع اندازه ذرات نمونه حاوی گوار تنها و نمونه حاوی نانوفیبر سلولز و گوار، برقراری یک برهمکنش سینرژیستی میان دو هیدروکلئید فوق نیز کاملاً مشهود می‌باشد.

۳-۳- آزمون رنگ سنجی

مطابق با نتایج آزمون رنگ سنجی در جدول (۳)، از لحاظ L* یا میزان روشنایی، نمونه‌های R1، R3 و R5 دارای اختلاف معنی دار با نمونه شاهد تجاری بوده و میزان روشنایی در آنها افزایش یافته است (0.05 < p). چانتراپونچای و همکاران بیان کردند کاهش اندازه ذره سبب تغییر رنگ امولسیون از خاکستری به سفید روشن

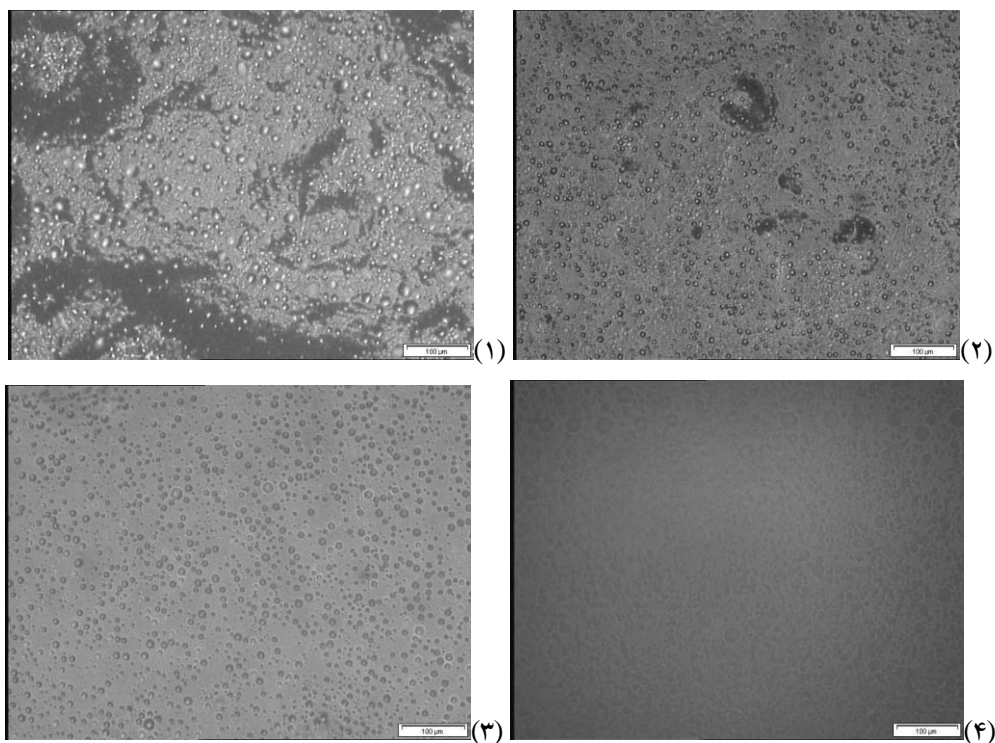
۳-۵- ویژگی‌های رئولوژیکی

۳-۵-۱- بررسی آزمون رفتار جریان

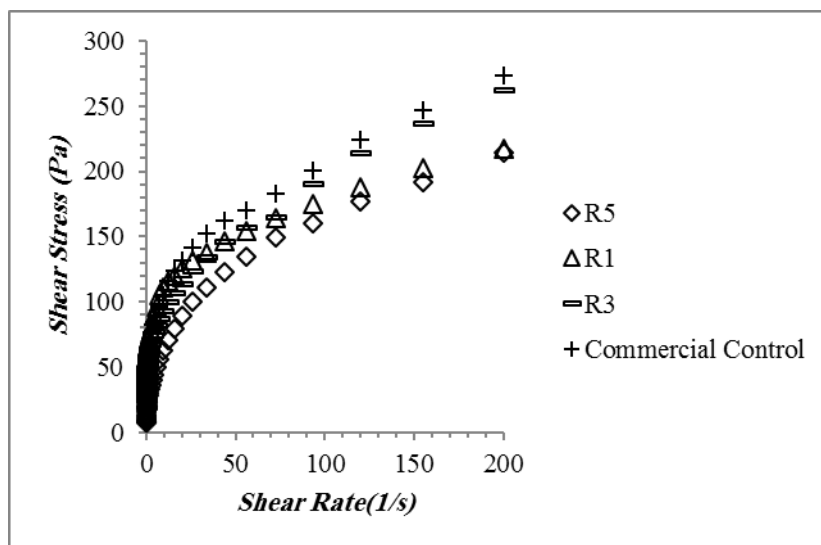
طبق منحنی جریان (شکل ۲)، همه نمونه های مایونز رفتار رقیق شونده با برش یا سودوپلاستیسته از خود نشان دادند که مطابق با یافته‌های دیگران بوده است (۳۵، ۱۹، ۲). این رفتار جریان نتیجه

¹ Flocculation

² Coalescence



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی برای نمونه‌های مایونز (۱)R1، (۲)R3، (۳)R5، (۴)CONTROL. بزرگنمایی ۱۰۰×



شکل ۲- روند تغییرات تنش برشی نسبت به سرعت برشی نمونه‌های مایونز کم چرب

آزمون با مدل هرشل بالکلی تطبیق داده شده که در جدول (۴) نشان داده شده است. R^2 یا ضریب تبیین نمونه‌ها نیز در محدوده ۰/۹۹۸ تا ۰/۹۹۹ قرار داشته که حاکی از انطباق نتایج با این مدل ریاضی می‌باشد. آنچه مشهود است، نمونه R1 اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نداشته ($p > 0.05$) و نسبت به بقیه نمونه‌ها دارای تنش تسلیم بیشتری بوده است. در حالیکه نمونه‌های R3

تغییر شکل ذرات تجمع یافته روغن و نیز تخریب شبکه ژلی ناشی از هیدروکلونیدها در فاز پیوسته آبی بوده که نهایتاً منجر به کاهش ویسکوزیته ظاهری و تشدید سودوپلاستیسیته گردید (۲۳ و ۲). دویسنه و همکاران اعلام کردند که صمغ گوار در غلظت‌های کمتر از ۰/۶٪ سبب ایجاد خواص سودوپلاستیکی در ژل‌های امولسیون می‌شود (۱۰). نتایج به دست آمده از این

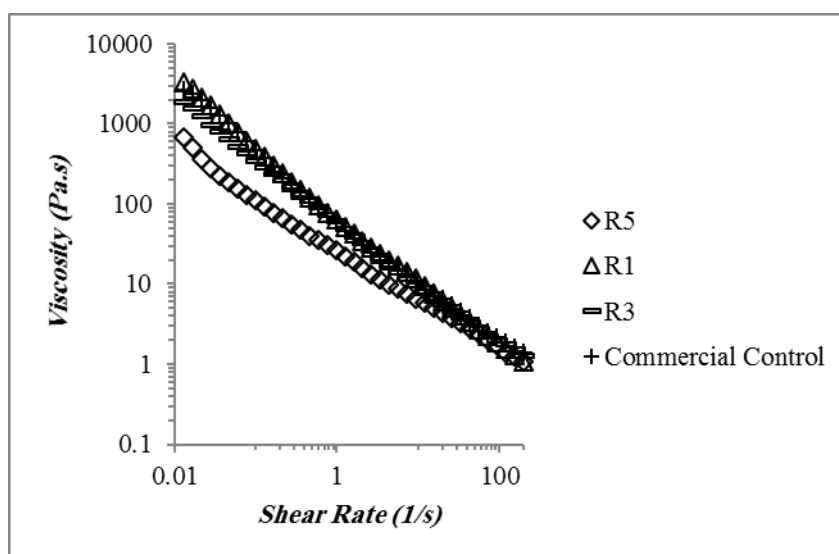
افزودن صمغ گوار به محلول صمغ زانتان موجب افزایش ویسکوزیته آن گردید. همچنین افزایش ویسکوزیته حاصل از افزودن گوار به نانوفیبرسلولز در مایونز کم چربی با نتایج افزودن گوار به فیبر سیتروس در مایونز کم چربی نیز منطبق بوده است (۳۰). n یا اندیس رفتار جریان در تمامی نمونه‌ها کوچکتر از ۱ و نشان دهنده رفتار غیرنیوتنی و رقیق شونده با برش بوده و اختلاف معنی داری در بین آنها و نمونه شاهد تجاری دیده نشده است ($p > 0.05$). البته تاثیر پذیری ویژگی‌های سودوپلاستیک مایونز از هیدروکلئیدها پیش‌تر نیز گزارش شده بود (۲، ۲۳ و ۳۵). مطابق با شکل (۳)، با افزایش سرعت برشی از $2001/s$ - $0.1/s$ ، ویسکوزیته تمامی نمونه‌ها کاهش یافته است که بیانگر رفتار سودوپلاستیکی یا رقیق شونده با برش تمامی نمونه‌ها می‌باشد (۳۵).

و R5 دارای اختلاف معنی داری با نمونه شاهد تجاری بوده و تنش تسلیم کمتری داشتند ($p < 0.05$). از آنجا که مایونز باید از توانایی مناسبی جهت عدم سیال شدن بر روی سطح سالاد برخوردار باشد، تنش تسلیم حین استفاده از مایونز به عنوان چاشنی سالاد یک ویژگی مهم می‌باشد (۱۹). به نظر می‌رسد ژل نانوفیبرسلولز دارای تنش تسلیم بالایی بوده و صمغ گوار با داشتن تنش تسلیم پایین، میزان تنش تسلیم را در نمونه R3 مشابه نمونه R5 کاهش داده است. سو و همکاران نیز به طور مشابهی اعلام نمود که صمغ گوار توانسته پارامترهای k و τ_y معادله جریان را در نمونه‌های مایونز کم چربی تحت تأثیر قرار دهد (۳۰). در ارتباط با k یا ضریب قوام که با ویسکوزیته رابطه نزدیکی دارد، هیچ یک از نمونه‌ها دارای اختلاف معنی داری با نمونه شاهد تجاری نبودند اما از بین تیمارهای مایونز حاوی هیدروکلئید، نمونه R3 دارای مقادیر بالاتر ضریب قوام بوده که با نتایج آزمون ویسکوزیته و یافته‌های چن مطابقت داشت (۶). او نشان داد که

جدول ۴- ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های مایونز کم چرب

نام نمونه	τ_y (Pa)	K (Pa.S ⁿ)	n (-)
R1	30.18 ± 2.59^a	30.11 ± 9.30^{ab}	0.35 ± 0.05^a
R3	7.45 ± 4.71^b	54.82 ± 12.26^a	0.28 ± 0.01^a
R5	2.10 ± 2.97^b	28.50 ± 11.49^{ab}	0.38 ± 0.09^a
CONTROL	42.11 ± 0.37^a	25.62 ± 1.08^{ab}	0.34 ± 0.01^a

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ با یکدیگر ندارند

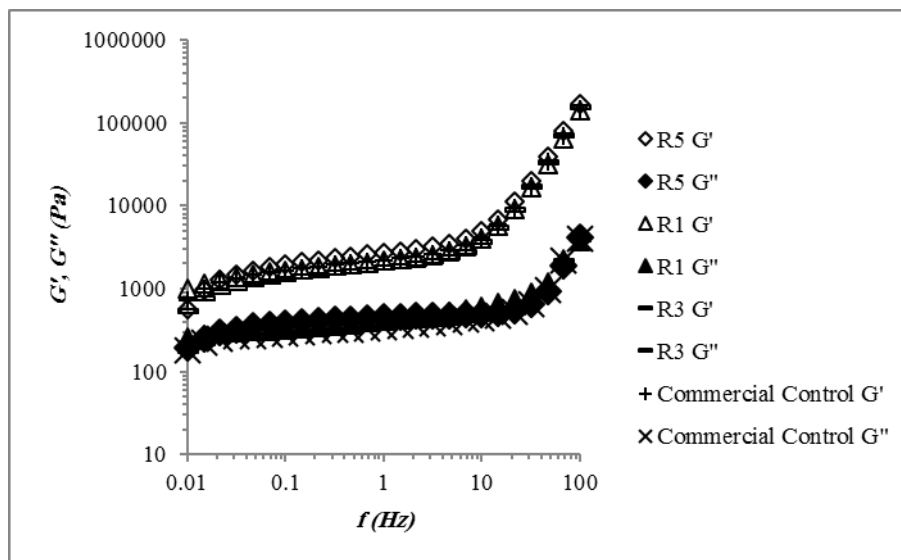


شکل ۳- روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به سرعت برشی نمونه‌های مایونز کم چرب

۳-۵-۲- آزمون‌های نوسانی و ویژگی‌های ویسکوالاستیک

طی این آزمون‌ها روند تغییرات مدول الاستیک یا ذخیره (G') و مدول ویسکوز یا افت (G'') نسبت به کرنش (۱۰۰-۰/۰۱٪) در فرکانس ثابت ۱ هرتز بررسی شد و میزان کرنش در منطقه ویسکوالاستیک خطی ۰/۰۶٪ به دست آمد. با توجه به نتیجه آزمون روبش فرکانس نمونه‌ها در شکل (۴)، در تمامی نمونه‌ها روند تغییرات مدول الاستیک (G') بالاتر از مدول ویسکوز (G'') قرار گرفته و نشان دهنده غالب بودن خاصیت الاستیک در نمونه‌ها می‌باشد. همچنین وابستگی زیاد هر دو مدول به تغییر فرکانس (۱۰۰-۰/۰۱ هرتز)، نشان دهنده ساختار زل ضعیف در آنها بوده است (۳۵ و ۲۱). در این پژوهش اثر کاهش میزان چربی توسط جایگزین نمودن چربی با نانوفیبر سلولز و صمغ گوار در فرمولاسیون متعادل گردید. در واقع این هیدروکلوئیدها به ساختار ژلی مایونزها استحکام بخشیدند و اثر کاهش میزان چربی در فرمولاسیون را متعادل نمودند. طبق پیشنهادات کایزنز و همکاران، خوریه و همکاران، زانتان دارای ساختار سلولز مانند حاوی نواحی نامنظم و زنجیره‌های هلیکسی (منظم) می‌باشد که برای ایجاد باندهای بین مولکولی با گالاتومانان، نیازمند تخریب بوده و ساختار نامنظم زانتان، برقرار کننده اصلی برهمکنش با گالاتومانان می‌باشد (۱۶ و ۴). از اینرو با توجه به وجود نواحی

آمورف در نانوفیبر سلولز می‌توان پیشنهاد کرد که همانند زانتان-گوار، اتصالات بین مولکولی خوبی میان این نواحی آمورف و گوار ایجاد شده است. نانوفیبریل‌های سلولز با موادی از قبیل پلی‌ساکاریدها که نزدیکی ساختاری با سلولز دارند، برهمکنش مناسبی می‌دهند. بار الکتریکی و ساختار زنجیره اصلی پلی-ساکاریدها، نقش مهمی در میزان برهمکنش‌ها دارند. به طوریکه پلی‌ساکارید خنثی بیشترین میزان جذب بر روی نانوفیبر سلولز را داشته است. بررسی خواص ویسکوالاستیک پلی‌ساکاریدهای جذب شده بر روی نانوفیبر سلولز نشان داد که پلیمر خنثی تشکیل لایه ضخیم متورم داده، از اینرو بیشترین ویژگی ویسکوالاستیکی، در پلی‌ساکاریدهای خنثی (گوار) جذب شده بر روی نانوفیبر سلولز دیده شد. همچنین در همان پژوهش آزمون تخمین میزان برهمکنش و جذب پلی‌ساکاریدهای مختلف بر روی نانوفیبر سلولز نشان داد که میزان جذب صمغ گوار بسیار بالا بوده و می‌توان گفت که اثر بار الکتریکی پلی‌ساکاریدها بر برهمکنش سینرژیستی میان زنجیره‌های پلیمری، بسیار موثرتر از فاکتور شباهت ساختاری آنها با نانوفیبریل‌های سلولز می‌باشد (۱۲). این گزارشات با نتایج پژوهش حاضر کاملاً مطابقت دارد.



شکل ۴- تغییرات مدول ذخیره و افت نمونه‌های مایونز کم چرب نسبت به فرکانس

۳-۶- ویژگی های حسی

است ($p > 0.05$). همچنین تأثیر مثبت کاربرد توأم ریزبلورهای سلولز به همراه گوار بر ویژگی های بافتی و ایجاد ویژگی های مشابه چربی و خصوصاً بهبود احساس دهانی به اثبات رسیده است. توده های کروی ریزبلورهای سلولز- گوار (به صورت لایه گوار جذب شده روی سلولز) و برهمکنش میان این دو پلیمر، خصوصیات مشابه قطرات روغن را خصوصاً در امولسیون های روغن در آب ایجاد می نماید. در واقع این توده های کروی با ایجاد نرمی و روانی می توانند خصوصیات فیزیکی و حسی مشابه چربی به همراه یک احساس دهانی مطلوب بدون ایجاد هیچ پس مزه ای را در محصول کم چرب فراهم نمایند (۳۲). از اینرو با توجه به ماهیت مشابه نانوفیبر سلولز کلونیدی و ریزبلورهای سلولز کلونیدی به تنهایی و در کنار گوار، این تأثیر مثبت بر روی ویژگی های بافت دهانی در آزمون حسی این تحقیق نیز کاملاً مشهود می باشد. از لحاظ فاکتور قوام یا ویسکوزیته، امتیاز و میزان قوام نمونه R5 نسبت به دیگر نمونه ها کاهش یافته است اما این کاهش به اندازه ای نبوده که ایجاد تفاوت معنی دار با نمونه شاهد تجاری نماید. از لحاظ فاکتور پذیرش کلی نیز تنها نمونه R5 دارای تفاوت معنی دار و پذیرش کمتری نسبت به نمونه شاهد تجاری بوده است ($p < 0.05$). زیرا نامطلوبی مزه در نمونه R5 به میزان زیادی بر فاکتور پذیرش کلی تأثیر گذاشته و موجب کاهش امتیاز آن گردیده است.

مطابق با جدول (۵) از لحاظ فاکتور مزه، بین نمونه های مایونز و نمونه شاهد تجاری تفاوت معنی داری دیده نشده ($p > 0.05$) و تنها نمونه حاوی ۰/۵٪ گوار دارای اختلاف معنی دار و مزه ضعیفتری نسبت به نمونه شاهد تجاری بوده است ($p < 0.05$). در واقع افزایش غلظت صمغ گوار موجب کاهش طعم و مزه در نمونه R5 گردیده است. کوستیرا و باریلکو، با افزودن ۰/۸٪ صمغ گوار به عنوان پایدار کننده به مایونز کم چرب (۵۰٪ چربی) و مقایسه آن با مایونز حاوی چربی زیاد (۸۰٪ چربی) گزارش نمودند که با توجه به یکسان بودن ویسکوزیته نمونه های مایونز، کاهش عطر و طعم و مزه در مایونز کم چرب ناشی از افزودن صمغ گوار بوده است (۱۷). با وجود اینکه رنگ ظاهری نمونه شاهد تجاری اندکی روشن تر به نظر می آمد اما افزودن غلظت های مختلف نانوفیبر سلولز و گوار به نمونه های مایونز کم چرب سبب ایجاد رنگ کرم مایل به زرد گردیده که از نظر ارزیاب ها و استاندارد ملی ایران قابل قبول بوده است. از اینرو نمونه های مختلف دارای تفاوت معنی دار با یکدیگر و نمونه شاهد تجاری نشدند ($p > 0.05$). از نظر فاکتور بو نیز علت اصلی عدم وجود تفاوت معنی دار بین نمونه ها و نمونه شاهد تجاری را می توان ناشی از بی بودن مواد اولیه (نانوفیبر سلولز و گوار) به کار رفته در فرمول ها و عدم تأثیر آنها بر بوی نمونه ها دانست. از نظر فاکتور بافت، در تمامی نمونه های حاوی نانوفیبر سلولز امتیاز بافت دهانی نمونه ها با نمونه شاهد تجاری تفاوت معنی داری را نشان نداده

جدول ۵- نتایج آزمون حسی نمونه های مایونز کم چرب

نام نمونه	مزه	رنگ	بو	بافت	قوام	پذیرش کلی
R1	۳/۶ ± ۱/۰۷ ^a	۳/۴ ± ۰/۹۶ ^a	۳/۸ ± ۱/۱۳ ^a	۳/۸ ± ۰/۹۱ ^a	۴/۲ ± ۰/۷۸ ^a	۳/۷ ± ۰/۹۴ ^a
R3	۳/۱ ± ۱/۲۸ ^a	۳/۰ ± ۰/۹۴ ^a	۲/۸ ± ۱/۳۱ ^a	۳/۸ ± ۰/۷۸ ^a	۳/۸ ± ۰/۷۸ ^a	۳/۵ ± ۰/۵۲ ^a
R5	۲/۳ ± ۱/۳۵ ^b	۳/۵ ± ۰/۹۷ ^a	۴/۰ ± ۰/۶۶ ^a	۳/۰ ± ۱/۱۵ ^{ab}	۲/۵ ± ۰/۷۰ ^{bc}	۲/۲ ± ۰/۸۴ ^b
CONTROL	۳/۲ ± ۱/۲۲ ^a	۴/۰ ± ۰/۹۴ ^a	۲/۹ ± ۰/۷۳ ^a	۴/۰ ± ۰/۹۴ ^a	۳/۳ ± ۰/۹۴ ^{ab}	۳/۴ ± ۱/۰۷ ^a

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ با یکدیگر ندارند.

۴- نتیجه گیری

D[4,3] و میزان یکنواختی ذرات نسبت به نمونه شاهد تجاری برتری معناداری مشاهده شده است ($p < 0.05$). از لحاظ ویژگی های رئولوژیکی k (ضریب قوام) و n (شاخص رفتار جریان) و تمامی ویژگی های حسی مورد بررسی نیز تفاوت معنی داری با نمونه شاهد تجاری نشان ندادند ($p > 0.05$). با توجه به نتایج

نتایج آزمون ها نشان داده که افزودن نانوفیبر سلولز به همراه صمغ گوار سبب بهبود بسیاری از ویژگی های فیزیکی، رئولوژیکی و حسی مایونز کم چرب می شود. به طوریکه از لحاظ شاخص های ویسکوزیته، پایداری فیزیکی امولسیون، شاخص رنگی L^* ،

biomimetic modifications. In Proceeding of the International Conference on Nanotechnology for the Forest Products Industry (pp. 1099-1122). Georgia: TAPPI Press.

[13] Gunstone, F. D. 2008. Oils and fats in the food industry. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, pp. 126-127.

[14] 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.

[15] Kalashnikova, I., Bizot, H., Cathala, B. and Capron, I. 2012. Modulation of cellulose nanocrystals amphiphilic properties to stabilize oil/water interface. Biomacromolecules, 13: 267-275.

[16] Khouryieh, H. A., Herald, T. J., Aramouni, F. and Alavi, S. 2006. Influence of mixing temperature on xanthan conformation and interaction of xanthan-guar gum in dilute aqueous solutions. Food Research International, 39(9): 964-973.

[17] Kostyra, E. and Baryłko-Pikielna, N. 2007. The effect of fat levels and guar gum addition in mayonnaise-type emulsions on the sensory perception of smoke-curing flavour and salty taste. Food Quality and Preference, 18: 872-879.

[18] Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A. and Bras, J. 2012. Microfibrillated cellulose – its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. Carbohydrate Polymers, 90: 735-764.

[19] 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 Technology, 40: 946-954.

[20] Long, Z., Zhao, Q., Liu, T., Kuang, W., Xu, J. and Zhao, M. 2012. Role and properties of guar gum in sodium caseinate solution and sodium caseinate stabilized emulsion. Food Research International, 49: 545-552.

[21] Mancini, F., Montanari, L., Peressini, D. and Fantozzi, P. 2002. Influence of alginate concentration and molecular weight on functional properties of mayonnaise. Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie, 35: 517-525.

[22] McClements, D. J. 2005. Food emulsions; principles, practice, and techniques. 2th ed, CRC Press, Florida, pp. 533-543.

[23] Mun, S., Kim, Y. L., Kang, C. G., Park, K. H., Shim, J. Y. and Kim, Y. R. 2009. Development of reduced-fat mayonnaise using α -GTase-modified rice starch and xanthan gum. Biomacromolecules, 44: 400-407.

[24] Quintana, J. M., Califano, A. N., Zartzy, N. E. and Partal, P. 2002. Effect of salt on the

حاصله، نمونه R3 (حاوی ۰/۵٪ نانوفیبر سلولز و ۰/۲۵٪ گوار) به عنوان نمونه مایونز کم چرب برگزیده، با ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی و حسی برتر در این پژوهش معرفی گردید.

۵- منابع

[1] Ahola, S. 2008. Properties and interfacial behaviour of cellulose nanofibril, Doctora Thesis of Agricultural Engineering, Wood and Paper Technology, Helsinki University of Technology, Faculty of Chemistry and Materials Sciences.

[2] 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. Food, Agriculture and Environment, 11(1): 99-104.

[3] Bogati, D. R. 2011. Cellulose based biochemicals and their applications. Bachelor's Thesis of Agricultural Engineering, Wood and Paper Technology, Saimaa University of Applied Sciences, Faculty of Paper Technology.

[4] Cairns, P., Miles, M. J., Morris, V. J. and Brownsey, G. J. 1987. X-ray fiber diffraction studies of synergistic, binary polysaccharide gels. Carbohydrate Research, 160: 411-423.

[5] Chantrapornchai, W., Clydesdale, F. and McClements, D. J. 1999. Influence of droplet characteristics on the optical properties of colored oil-in-water emulsions. Colloids and surfaces a: physicochemical and engineering aspects, 155: 373-382.

[6] Chen, Y. H. 1995. The properties and applications of Xanthan gum. Food Industry, 27: 24-30.

[7] Choonhahirun, A. 2008. Influence of added water and konjac flour as fat replacer on some quality characteristics of celery mayonnaise. Assumption University of Thailand, 11(3): 154-158.

[8] Coffey, D. G., Bell, D. A. and Henderson, A. 2006. Cellulose and cellulose derivatives. in: Food polysaccharides and their applications (Editors: A. M. Stephen., G. O. Philips and P. A. Williams). 2th ed, CRC Press, Florida, pp. 146-179.

[9] Ceston, R. 2013. Colorflex ez user's manual. Hunter Associates Laboratory, Virginia, pp. 7-9.

[10] De Vicente, J., Stokes, J. R. and Spike, H. A. 2006. Soft lubrication of model hydrocolloids. Food Hydrocolloids, 20: 483-491.

[11] Doi, M. and Edwards, S. F. 1986. The theory of polymer dynamics. Clarendon Press, New York, pp. 114-150.

[12] Eronen, P., Junka, K., Haggblom, M., Laine, J. and Osterberg, M. 2010. Polysaccharide interactions with nanocellulose as a platform for

- [37] Yousefi, H., Nishino, T., Faezipour, M., Ebrahimi, G. H. and Shakeri, A. 2011. Direct fabrication of all-cellulose nanocomposite from cellulose microfibrils using ionic liquid-based nanowelding. *Biomacromolecules*, 12: 4080-4085.
- rheological properties of low-in-fat O/W emulsions stabilized with polysaccharides. *Food Science and Technology International*, 8(4): 213-221.
- [25] Rajah, K. K. 2002. *Fats in food technology*. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp. 256-271.
- [26] Rayment, P., Ross-Murphy, S. B. and Ellis, P. R. 1995. Rheological properties of guar galactomannan and rice starch mixtures-I, steady shear measurements. *Carbohydrate Polymers*, 28: 121-130.
- [27] Richardson, R. K. and Ross-Murphy, S. B. 1987. Non-linear viscoelasticity of polysaccharide solutions. I. guar galactomannan solutions. *Biological Macromolecules*, 9: 249-312.
- [28] Robinson, G., Ross-Murphy, S. B. and Morris, E. R. 1982. Viscosity-molecular weight relationships, intrinsic chain flexibility, and dynamic solution properties of guar galactomannan. *Carbohydrate Research*, 107: 17-32.
- [29] Sahin, H. and Ozdemir, F. 2004. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocolloids*, 18: 1015-1022.
- [30] Su, H. P., Lien, C. P., Lee, T. A. and Ho, R. S. 2010. Development of low-fat mayonnaise containing polysaccharide gums as functional ingredients. *Science of Food and Agriculture*, 90: 806-812.
- [31] Thomareis, A. S. and Chatziantoniou, A. 2011. Evaluation of the consistency of low-fat mayonnaise by squeezing flow viscometry. *Procedia Food Science*, 1: 1997-2002.
- [32] Tuason, D. C., Krawczyk, G. R. and Buliga, G. 2010. Microcrystalline cellulose. in: *Food stabilisers, thickeners and gelling agents* (Editors: A. Imeson). Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, pp. 218-236.
- [33] Wendin, K., Ellekjr, M. R. and Solheim, R. 1999. Fat content and homogenization effects on flavour and texture of mayonnaise with added aroma, *LWT - Food Science and Technology*, 32(6): 377-383.
- [34] Winuprasith, T. and Suphantharika, M. 2015. Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by microfibrillated cellulose from mangosteen rind. *Food Hydrocolloids*, 43: 690-699.
- [35] 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.
- [36] Xhanari, K., Syverud, K., Chinga-Carrasco, G., Paso, K. and Stenius, P. 2011. Structure of nanofibrillated cellulose layers at the o/w interface. *Colloid and Interface Science*, 356, 58-62.