

تأثیر افزودن نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی مایونز کم چرب

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

1. کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی
2. استادیار، گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی
3. استادیار، گروه تکنولوژی مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: 94/7/23، تاریخ پذیرش: 94/8/17)

چکیده

نانو فیبر سلولز (NFC) از تجمع محکم فیبریل‌های سلولزی اولیه به دست آمده و شامل هر دو ناحیه کریستالی و آمورف می‌باشد. افزایش نسبت سطح به حجم فیبر سلولز در ابعاد نانو سبب افزایش ویژگی آب‌دوستی در آن شده و سوسپانسیون نانو فیبر سلولز حتی در غلظت‌های پایین، تشکیل شبکه قوی و بسیار ویسکوز ژل مانند می‌دهد. این نانو ماده در مقادیر 0، 0/25، 0/5، 0/75 و 1٪ در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. کربوکسی متیل سلولز (CMC) نیز با هدف افزایش پایداری فیزیکی امولسیون و اصلاح بافت به میزان 0٪ تا 1٪ جهت بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی مایونز کم چرب (حاوی 30٪ روغن) استفاده گردید. پس از تهیه 5 تیمار، آزمون‌های pH، اسیدیته، ویسکوزیته و پایداری فیزیکی امولسیون بر روی آن‌ها انجام شد. سپس 3 نمونه منتخب تحت آزمون‌های رنگ سنجی، بافت سنجی و حسی قرار گرفتند. با افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز میزان اسیدیته و pH در نمونه‌های مایونز به ترتیب افزایش و کاهش یافت. میزان ویسکوزیته و پایداری فیزیکی در تمامی نمونه‌ها کم‌تر از نمونه شاهد تجاری بود ($P < 0/05$) و تنها نمونه حاوی 0/5٪ نانو فیبر سلولز - 0/5٪ کربوکسی متیل سلولز از نظر پایداری فیزیکی دارای تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نبوده است ($P > 0/05$). از نظر میزان روشنایی (L^*) هیچ یک از نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نشان ندادند ($P > 0/05$). از لحاظ دو شاخص بافتی سفتی و چسبندگی، نمونه حاوی 0/5٪ نانو فیبر سلولز - 0/5٪ کربوکسی متیل سلولز تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نشان نداد ($P > 0/05$) و از نظر میزان پیوستگی نیز برتری خوبی نسبت به نمونه شاهد تجاری و تمامی نمونه‌ها داشته است ($P < 0/05$). از لحاظ تمامی ویژگی‌های حسی مورد بررسی، نمونه‌ها مطلوب بودند و تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نشان ندادند ($P > 0/05$) و تنها نمونه حاوی 1٪ کربوکسی متیل سلولز از نظر دو فاکتور بافت و پذیرش کلی، امتیاز کم‌تری نسبت به نمونه شاهد تجاری کسب نموده است ($P < 0/05$). با توجه به نتایج آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و حسی، تیمار حاوی 0/5٪ نانو فیبر سلولز - 0/5٪ کربوکسی متیل سلولز به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: نانو فیبر سلولز، کربوکسی متیل سلولز، مایونز کم چرب، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی.

1- مقدمه

استفاده قرار می‌گیرد [8]. به دلیل ماهیت بسیار هیدروفیل¹ مشتقات فیزیکی سلولز، اغلب مطالعات بر روی پایداری امولسیون‌های روغن در آب به‌ویژه سس‌های سالاد یا مایونز کم کالری و بدون کالری، توسط میکرو کریستالین سلولز یا نانو فیبر سلولز انجام گردیده است [9-12]. با این حال، اطلاعات قابل دسترسی از کاربرد مخلوط نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز در سس مایونز وجود ندارد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات افزودن نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های فیزیکی و فیزیکی‌شیمیایی و حسی مایونز کم چرب و مقایسه توانایی هر یک از آن‌ها به تنهایی و مخلوط آن‌ها، در پایدار نمودن این امولسیون کم چرب بوده است.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد اولیه

در این تحقیق از ژل 3٪ نانو فیبر سلولز تولید شده از ضایعات کشاورزی توسط شرکت دانش بنیان نانو نوین پلیمر (قطر متوسط 10 ± 32 نانومتر و طول بیش‌تر از 5 میکرومتر)، کربوکسی متیل سلولز تولید شرکت سانروز² ژاپن، نشاسته ذرت مومی اصلاح شده (Acetylated di-starch adipate, E-1422) پیش ژلاتینه شرکت روکت³ با نام تجاری Pregeflo CH2O تولید کشور فرانسه و مواد تشکیل دهنده مایونز فراهم شده توسط شرکت غذایی بهروز نیک استفاده گردید.

2-2- تهیه و آماده‌سازی فاز آبی حاوی ژل نانو فیبر

سلولز

ابتدا مقدار نانو فیبر سلولز هر فرمول (0، 0/25، 0/5، 0/75 و 1٪) با میزان آب مربوط به همان فرمول، مخلوط شده و سپس در دمای جوش به مدت 7 دقیقه پاستوریزه و در نهایت تا دمای اتاق خنک گردید. 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 [13].

2-3- تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های مایونز

جهت تهیه نمونه‌های مایونز، کربوکسی متیل سلولز مورد

1. Hydrophyl
2. Sunrose
3. Roquette

سس مایونز به احتمال زیادی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین چاشنی‌هایی است که امروزه در جهان مصرف می‌شود [1]. این امولسیون خوراکی، از مخلوط کردن آرام روغن با پیش مخلوطی شامل زرده تخم مرغ، سرکه و ادویه‌جات، به خصوص خردل، آماده شده و می‌توان نمک، شکر یا شیرین‌کننده و مواد دیگر را به دلخواه به آن افزود [2]. از این رو سس مایونز به‌عنوان غذایی با چربی زیاد و کالری بالا در نظر گرفته می‌شود [3]. امروزه با افزایش بیماری‌هایی که منجر به مرگ می‌شوند، همانند سکت قلبی و سرطان، تولید انواع کم چرب مایونز رونق زیادی یافته است. در سال‌های اخیر سلولز و مشتقات حاصل از اصلاح فیزیکی آن مانند نانو فیبر سلولز¹ (NFC) در فرآورده‌های کم چرب از جمله مایونز کاربرد یافته‌اند [4-5]. نانو فیبر سلولز به پلیمرهای گلوکزی با ضخامت معمول 20-40 نانومتر و طول بلندتر از 5 میکرومتر شامل هر دو مناطق کریستالی و آمورف اطلاق می‌شود که به‌طور عمده از طریق کوچک سازی ابعاد فیبرهای میکرومتری سلولز با نیروهای مکانیکی به‌دست می‌آید [4، 6]. سوسپانسیون‌های نانو فیبر سلولز رفتار رقیق‌شونده با برش (سودوپلاستیک) داشته و ویسکوزیته آن‌ها در اثر حرارت، کاهش زیادی نمی‌یابد [5]. در واقع این نانو ماده جدید با داشتن هر دو بخش کریستالی و آمورف، توانایی تشکیل ساختار شبکه‌ای را داشته و وسیع بودن مساحت سطح آن‌ها سبب استحکام این شبکه می‌شود. نانو فیبرهای سلولزی دارای ظرفیت نگهداری و جذب آب زیادی بوده و می‌تواند عامل مناسب بدون کالری برای تغلیظ‌کنندگی و پایدارکنندگی مواد غذایی باشد [4، 7]. کربوکسی متیل سلولز (CMC) یک پلیمر آنیونی و خطی است که به صورت اسید آزاد و نمک سدیم وجود دارد. شکل اسید آزاد این ماده، در آب نامحلول بوده و از این رو نمک سدیم آن، رایج‌ترین شکل برای مصارف غذایی می‌باشد. کربوکسی متیل سلولز مشتق حاصل از اصلاح شیمیایی سلولز بوده و از تیمار قلیایی سلولز با کلرو استیک اسید به‌دست می‌آید [5]. کربوکسی متیل سلولز به‌دلیل داشتن خواص قوام‌دهندگی، امولسیفایری، نگهداری آب، جلوگیری از جداسدن گرانشی ذرات معلق و ایجاد ویژگی‌های بافتی و احساس دهانی مطلوب، در مایونز و سس‌های سالاد مورد

1. Nanofiber cellulose

استفاده برای هر فرمول (0، 0/25، 0/5، 0/75 و 1٪) به همراه

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 اصلاح شده ذرت مومی پیش ژلاتینه = 1/8٪ (درصد وزنی) اضافه شد. پس از توزین مواد پودری و کربوکسی متیل سلولز، ابتدا زرده تخم مرغ (5٪) و مقدار اندکی روغن به میکسر آزمایشگاهی (ارکان فلز، ایران) افزوده شد و سپس به ترتیب، تمام مواد پودری و حدود یک سوم از فاز آبی شامل نانو فیبر سلولز و آب، به آن اضافه گردید. در نیمه فرایند، یک سوم بعدی فاز آبی و باقی مانده روغن نیز اضافه گردید. کل روغن فرمولاسیون (30٪)، به تدریج طی مدت 6 دقیقه به امولسیون مایونز افزوده شد. در نهایت با اتمام روغن، یک سوم پایانی فاز آبی و در آخر نیز سرکه فرمولاسیون (سرکه 11٪ به مقدار 4/8٪) به مخلوط اضافه گردید [13]. آن‌گاه نمونه‌های تولید شده با مقادیر مختلف نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز، مطابق جدول (1) کدگذاری گردید. مایونز شاهد تجاری نیز مایونز کم چرب تجاری (30٪ روغن) شرکت بهروز نیک بوده است.

2-5-2- آزمایش‌های فیزیکی

2-5-2-1- تعیین ویسکوزیته ظاهری

جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته تمامی نمونه‌های سس مایونز از دستگاه ویسکومتر دورانی (Rotational Viscometer V1، Viscotech Hispania S.L) ساخت کشور اسپانیا با اسپیندل دیسکی R5 با سرعت 60 دور در دقیقه و دمای 20-23 درجه سانتی‌گراد در طی مدت زمان 20 دقیقه استفاده گردید [13].

2-5-2-2- پایداری فیزیکی امولسیون

طی این آزمون 10 گرم از هر نمونه در فالدکون‌های مندرج 15 میلی‌لیتر پر گردید. سپس فالدکون‌ها به مدت 30 دقیقه در بن ماری 80 درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند و در دستگاه سانتریفوژ (NF 200 Small Centrifuge, Nuve) ساخت کشور ترکیه با دور 5000 rpm (3700 g) به مدت 20 دقیقه تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز قرار گرفتند. آنگاه پایداری امولسیون از رابطه زیر به دست آمد [13].

(2)

= درصد پایداری فیزیکی امولسیون

$100 \times \text{گرم کل نمونه} / \text{گرم لایه امولسیفیه}$

2-5-3- رنگ سنجی

جهت انجام آزمون رنگ سنجی، داخل سل دستگاه (Spectrophotometer color flex® EZ- 45/0 LAV, Hunter lab) ساخت کشور آمریکا به طور کامل با هر یک از نمونه‌های مایونز پر شد و در محل مورد نظر دستگاه قرار گرفت. سپس شاخص‌های رنگی a^* ، L^* و b^* اندازه‌گیری گردید. دستگاه قبل از هر اندازه‌گیری کالیبره یا استاندارد شد [15].

2-4-2- آزمون‌های شیمیایی

2-4-2-1- اندازه‌گیری اسیدیته

بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره 2454، 15 گرم از هر نمونه را در 200 میلی‌لیتر آب مقطر که در مقابل فنل فتالئین خنثی شده است، رقیق نموده و سپس با سود 0/1 نرمال در حضور معرف فنل فتالئین تیترا گردیدند. اسیدیته از رابطه زیر محاسبه شد [14].

(1)

$0/6 \times \text{میلی لیتر سود مصرفی} = \text{اسیدیته بر حسب اسیداستیک مقدار گرم نمونه}$

2-4-2-2- اندازه‌گیری pH

برای تعیین pH بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره 2454، ابتدا محلول 5 در صد هر یک از نمونه‌های مایونز در داخل بشر تهیه شد و سپس توسط دستگاه pH متر مدل Cyberscan 500 ساخت کشور آمریکا که با محلول تامپون مناسب کالیبره

2-4-5-2- بافت سنجی

آزمون بافت سنجی توسط دستگاه بافت سنج (Texture Pro CT V1.6 Build Texture Analyzer, Brookfield) با پروب استوانه‌ای شماره TA10، لودسل 10000g، اعمال بار 10g،

جدول (1) مقادیر هیدروکلوئیدهای موجود در نمونه‌های مایونز کم چرب

کد نمونه	مقدار نانو فیبر سلولز (%0-1)	مقدار CMC (%0-1)
N1	1	0
N2	0/75	0/25
N3	0/50	0/50
N4	0/25	0/75
N5	0	1
شاهد	0	0

بافت سنجی و ارزیابی حسی، تنها بر روی 3 نمونه منتخب N1، N3 و N5، نمونه شاهد تجاری صورت گرفت.

2-7- تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج به دست آمده از آزمون‌های مختلف، از نرم افزار 16 MINI TAB 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 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 غیرپارامتری Kruskal-Wallis جهت بررسی تفاوت معنی‌دار بین داده استفاده گردید. بررسی معنی‌دار بودن میانگین نتایج نمونه‌ها با یکدیگر نیز با استفاده از آزمون Tukey's pairwise comparison انجام شد [13].

3- نتایج و بحث

3-1- اسیدیته و pH

مطابق با نتایج آزمون اسیدیته و pH در جدول (2) افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز سبب ایجاد روند افزایشی اسیدیته در نمونه‌های مایونز کم چرب گردیده است. به طوری که نمونه N1 (1٪ نانو فیبر سلولز) و N5 (1٪ کربوکسی متیل سلولز) به ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین میزان اسیدیته بودند. در نمونه‌های حاوی هر دو هیدروکلوئید نیز کاهش مقدار نانو فیبر سلولز از 0/75 به 0/25٪ و افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز از 0/25 تا 0/75٪ سبب افزایش میزان اسیدیته

فاصله هدف 4 mm/s و سرعت رفت و برگشت 1 mm/s بر روی نمونه‌های منتخب قرار داده شده در ظروف استوانه‌ای شکل با طول، عرض و عمق به ترتیب 80، 10 و 55 میلی‌متر انجام پذیرفت. این آزمون طی دو سیکل صورت گرفت و پارامترهای تغییر سفتی، انسجام یا پیوستگی بافتی¹ و چسبندگی² در نمونه‌های مایونز به دست آمد [16].

2-6- آزمون ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌ها توسط 10 ارزیاب حسی آموزش دیده و با استفاده از روش هدونیک پنج نقطه‌ای برای پارامترهای مزه، رنگ، بو، بافت و پذیرش کلی انجام شد. نحوه امتیازدهی به نمونه‌ها بر این اساس بود که عدد 5 نشان‌دهنده بالاترین امتیاز، بهترین حالت و عدد 1 بیانگر کم‌ترین امتیاز و بدترین حالت باشد [13]. قابل ذکر است که کلیه آزمون‌ها یک هفته پس از تولید نمونه‌های مایونز کم چرب و در دو تکرار انجام پذیرفت. هم‌چنین پس از انجام آزمون‌های تعیین ویسکوزیته ظاهری و پایداری فیزیکی امولسیون، از میان 3 نمونه حاوی مخلوط نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز (N2، N3 و N4)، نمونه N3 (حاوی 0/5٪ نانو فیبر سلولز - 0/5٪ کربوکسی متیل سلولز) بهترین نتایج را نشان داده و انتخاب شد. علاوه بر این به جهت مقایسه اثر هیدروکلوئیدها در کنار یکدیگر و به تنهایی و هم‌چنین بررسی برهم‌کنش آن‌ها در حالت استفاده توأم نسبت به کاربرد تنهایی آن‌ها، 2 نمونه حاوی 1٪ نانو فیبر سلولز و 1٪ کربوکسی متیل سلولز (N1 و N5) نیز انتخاب گردیده و مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمون‌های رنگ سنجی،

1. Cohesiveness

2. Adhesiveness

غلظت کربوکسی متیل سلولز، ویسکوزیته نمونه‌های مایونز روند کاهشی داشته است. مرجع [18] نیز نتایج مشابهی را در مورد برهم‌کنش نانو فیبر سلولز با پلیمرهای آنیونی (CMC) گزارش نموده است. آن‌ها گزارش نمودند که کربوکسی متیل سلولز مقداری دافعه الکتروستاتیک به سلولز داشته و جذب غیرقابل برگشت آن روی سلولز، نیازمند دمای بالاتر و غلظت الکترولیت بالا می‌باشد. در واقع افزودن کربوکسی متیل سلولز به محلول‌های نانو فیبر سلولز در مقایسه با پلیمر خنثی، اثر پراکنده شدن کم‌تری را نشان می‌دهد [18]. با توجه به آزمون‌های هیدرودینامیکی پلی‌ساکاریدهای جذب شده بر روی نانو فیبر سلولز توسط ارون و همکاران که نشان داد ضخامت لایه کربوکسی متیل سلولز جذب شده توسط نانو فیبر سلولز بسیار کم‌تر از ضخامت لایه پلیمر خنثی بوده و متعاقباً موجب اتصال مقدار کم‌تری از آب با این پلی‌ساکارید و ایجاد قوام کم‌تر در فاز پیوسته آبی گردید. به نظر می‌رسد تنها نمونه N3 به دلیل برهم‌کنش سینرژیستی مناسب بین نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز در مقدار 0/5٪، ویسکوزیته بالاتری را نسبت به سایر نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز نشان داده است [19].

3-3- پایداری فیزیکی امولسیون

نتایج آزمون پایداری فیزیکی امولسیون نمونه‌های مایونز در جدول (3) نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های حاوی نانو فیبر سلولز، کربوکسی متیل سلولز و یا هر دوی آن‌ها با نمونه شاهد تجاری اختلاف معنی‌داری داشته و نسبت به آن دارای پایداری کم‌تری بودند ($p < 0/05$). میزان این کاهش در دو نمونه حاوی 1٪ نانو فیبر سلولز و 1٪ کربوکسی متیل سلولز (N1 و N5) بیش‌تر شده، به طوری که کاربرد 0/25 و 0/75٪ کربوکسی متیل سلولز (N2 و N4) موجب بیش‌ترین کاهش پایداری نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد تجاری گردیده است، اما نمونه حاوی 0/5٪ کربوکسی متیل سلولز (N5) اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نداشته و از بالاترین میزان پایداری برخوردار شده است ($p > 0/05$). از مقایسه نتایج آزمون‌های ویسکوزیته و پایداری امولسیون در جدول (3) مشاهده می‌شود که به‌طور کلی نانو فیبر سلولز

به‌ترتیب در نمونه‌های N2، N3 و N4 گردیده است.

در واقع کربوکسی متیل سلولز مشتق حاصل از اصلاح شیمیایی سلولز بوده و از تیمار سلولز با کلرو استیک اسید به‌دست می‌آید [5] و وجود گروه‌های کربوکسیلات در ساختمان شیمیایی آن موجب القاء خاصیت اسیدی در نمونه‌های مایونز شده است. در حالی‌که نانو فیبر سلولز با اعمال نیروهای مکانیکی و بدون استفاده از هیدرولیز اسیدی به‌دست آمده، جزء پلیمرهای خنثی بوده و اثری بر اسیدیته محصولات غذایی ندارد [4]. اسیدیته تمامی نمونه‌های مایونز کم‌چربی بیش‌تر از 0/6 درصد و مطابق با استاندارد ملی ایران بود.

از نظر فاکتور pH، طبق گزارش هاتککس و همکاران، pH نمونه‌های مایونز کم‌چرب حاوی جایگزین چربی بیش‌تر از نمونه‌های مایونز حاوی مقادیر بالای چربی بوده که دلیل آن، رقیق شدن اسید استیک در فاز آبی می‌باشد [17]. با توجه به ماهیت خنثی نانو فیبر سلولز، آنیونی بودن کربوکسی متیل سلولز و معکوس بودن روند اسیدیته و pH، مشاهده کم‌ترین و بیش‌ترین میزان pH به ترتیب در نمونه‌های N5 (1٪ کربوکسی متیل سلولز) و N1 (1٪ نانو فیبر سلولز) و روند کاهشی pH در نمونه‌های N2 تا N5 صحیح بوده است. هم‌چنین pH تمامی نمونه‌های مایونز کم‌چرب کم‌تر از 4/1 و مطابق با استاندارد ملی ایران بوده است.

3-2- ویسکوزیته ظاهری

طبق جدول (3) تمامی نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز دارای اختلاف معنی‌دار و ویسکوزیته کم‌تری نسبت به نمونه شاهد تجاری بودند ($p < 0/05$). به طوری که بالاترین و نزدیک‌ترین میزان ویسکوزیته در نمونه N3 و کم‌ترین میزان آن در نمونه حاوی N5 دیده شده است. از مقایسه دو نمونه حاوی 1٪ نانو فیبر سلولز و 1٪ کربوکسی متیل سلولز (N1 و N5) می‌توان دریافت که خاصیت قوام‌دهندگی نانو فیبر سلولز بیش‌تر از کربوکسی متیل سلولز می‌باشد. در واقع نانو فیبر سلولز همانند میکرو کریستالین سلولز (MCC) از مشتقات اصلاح فیزیکی سلولز بوده و حتی به‌دلیل داشتن هر دو منطقه کریستالی و آمورف، قابلیت جذب آب بیش‌تری نسبت به میکرو کریستالین سلولز دارد [5-6]. به‌طور کلی با افزایش

جدول (2) نتایج آزمون‌های اسیدیته و pH نمونه‌های مایونز کم چرب

کد نمونه	میانگین اسیدیته (%)	میانگین pH
N1	0/610 ± 0/014 ^d	3/60 ± 0/001 ^{ab}
N2	0/630 ± 0/000 ^{bcd}	3/55 ± 0/000 ^b
N3	0/640 ± 0/000 ^{abc}	3/52 ± 0/000 ^{bc}
N4	0/645 ± 0/007 ^{abc}	3/48 ± 0/000 ^{cd}
N5	0/665 ± 0/007 ^a	3/45 ± 0/007 ^d
شاهد	0/650 ± 0/008 ^{ab}	3/50 ± 0/007 ^c

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

جدول (3) نتایج آزمون‌های ویسکوزیته و پایداری امولسیون نمونه‌های مایونز کم چرب

کد نمونه	ویسکوزیته (mPa.s)	پایداری امولسیون (%)
N1	3970 ± 70/7 ^c	91/00 ± 1/41 ^b
N2	3435 ± 120/2 ^c	86/75 ± 0/35 ^c
N3	4525 ± 77/8 ^b	96/55 ± 0/21 ^a
N4	1945 ± 49/5 ^d	87/95 ± 0/63 ^c
N5	1405 ± 35/4 ^e	90/50 ± 0/70 ^b
شاهد	5150 ± 14/1 ^a	95/50 ± 0/70 ^a

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

به تنهایی و به همراه کربوکسی متیل سلولز ایجاد پایداری کم‌تری در نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد تجاری نموده است. با توجه به این‌که نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز دارای ویسکوزیته بیش‌تر از نمونه شاهد تجاری نبوده، نمی‌توان گفت که کربوکسی متیل سلولز از طریق افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته سبب افزایش پایداری در نمونه N3 شده است. بلکه می‌توان نتیجه گرفت که کربوکسی متیل سلولز از طریق پایداری استریکی (پایداری توسط مولکول‌های فعال سطحی) در پایدارسازی امولسیون‌های مایونز نقش داشته است. در واقع کربوکسی متیل سلولز به‌عنوان یک ماکرو مولکول با بار آنیونی، در فضای بین سطحی فازهای پراکنده و پیوسته جذب شده و با ایجاد غشاهای بادوام به دور قطرات روغن موجود در نمونه‌های مایونز، موجب پایداری آن‌ها شده است. در رابطه با پایداری امولسیون، مشابه چنین عملکردی در مورد صمغ کتیرا نیز که یک پلیمر آنیونی است، گزارش گردید [20]. هم‌چنین گزارش شده که کربوکسی متیل سلولز در مایونز کم چرب در غلظت

0/075٪ قادر به تشکیل شبکه مناسبی نبود [21]. لذا امولسیون با ویسکوزیته پایین‌تر و متعاقباً پایداری کم‌تر تشکیل می‌دهد.

3-4- رنگ سنجی

جدول (4) نشان دهنده نتایج آزمون رنگ سنجی شامل فاکتورهای L*، a* و b* برای 3 نمونه منتخب N1، N3 و N5 به همراه نمونه شاهد تجاری بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از لحاظ L* یا میزان روشنایی، هیچ یک از نمونه‌های مایونز دارای اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نبودند (p>0/05). از لحاظ فاکتور a* هیچ یک از نمونه‌ها با نمونه شاهد تجاری تفاوت معنی‌داری نداشتند (p>0/05) و تنها نمونه N5 دارای تفاوت معنی‌دار با نمونه شاهد تجاری بوده است (p<0/05). منفی شدن فاکتور a* در این نمونه نشان دهنده تمایل این نمونه به رنگ سبز می‌باشد. در حالی که دیگر نمونه‌ها و نمونه شاهد تجاری دارای مقادیر مثبت برای فاکتور a* بوده و تمایل به رنگ قرمز داشتند. از نظر فاکتور b* تمامی

فاکتور سفتی تنها بین نمونه N5 (1٪ کربوکسی متیل سلولوز) و نمونه شاهد تجاری نشان داده است ($p < 0/05$). دو نمونه N3 و N5 دارای مقدار سفتی زیاد و مشابه نمونه شاهد تجاری بودند که می‌توان آن را ناشی از برهم‌کنش هم‌افزایی بسیار مطلوب بین 0/5٪ نانو فیبر سلولوز و 0/5٪ کربوکسی متیل سلولوز در نمونه N3 و تشکیل شبکه سه بعدی ژلی قوی توسط 1٪ نانو فیبرهای سلولوزی در نمونه N5 دانست [4]. هم‌چنین کربوکسی متیل سلولوز جزء هیدروکلونیدها با قابلیت قوام‌دهندگی کم می‌باشد که نتوانسته در نمونه N5 سفتی مناسبی را ایجاد نماید [23]. از نظر فاکتور چسبندگی، تنها نمونه N3 همانند نمونه شاهد تجاری دارای بیش‌ترین مقدار بوده و اختلاف معنی‌داری با آن نداشته است ($p > 0/05$). در حالی‌که دو نمونه N1 و N5 در مقایسه با نمونه شاهد تجاری، مقادیر کم‌تر و تفاوت معنی‌داری را نشان دادند ($p < 0/05$). از لحاظ فاکتور انسجام نیز تمامی نمونه‌ها با نمونه شاهد تجاری تفاوت معنی‌دار داشتند ($p < 0/05$). بدین صورت که نمونه N3 بیش‌تر از نمونه شاهد تجاری و دو نمونه N1 و N5 کم‌تر از آن از انسجام برخوردار بودند. دو شاخص چسبندگی و انسجام جهت گسترش پذیری سس مایونز بر روی مواد غذایی و حفظ ساختار در حین اعمال تنش‌های کوچک حائز اهمیت می‌باشند [2]. بهبود و برتری این دو فاکتور در نمونه N3 بسیار مطلوب و ناشی از برهم‌کنش مناسب بین دو هیدروکلونید و اثر هم‌افزایی آن دو در کنار یکدیگر می‌باشد.

3-6- ویژگی‌های حسی

مطابق با جدول (6) از لحاظ فاکتورهای مزه، رنگ و بو، بین نمونه‌های مایونز کم چرب و نمونه شاهد تجاری تفاوت معنی‌داری دیده نشده است ($p > 0/05$). هم‌چنین از نظر فاکتورهای بافت دهانی و پذیرش کلی، دو نمونه حاوی نانو فیبر سلولوز (N1 و N3) با نمونه شاهد تجاری تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند ($p > 0/05$) و فقط نمونه‌ای که حاوی تنها 1٪ کربوکسی متیل سلولوز بوده، از کم‌ترین امتیاز در بافت و پذیرش کلی و تفاوت معنی‌دار با نمونه شاهد تجاری برخوردار بوده است ($p < 0/05$). از نقطه نظر مزه، افزودن غلظت‌های متفاوت نانو فیبر سلولوز و کربوکسی متیل سلولوز موجب کاهش

نمونه‌ها دارای تفاوت معنی‌دار با نمونه شاهد تجاری بوده و در مقایسه با نمونه شاهد تجاری، میزان تمایل به رنگ زرد در آن‌ها افزایش یافته است ($p < 0/05$). با توجه به این‌که L^* یا میزان روشنایی هیچ یک از نمونه‌های مایونز دارای اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری نبوده است، می‌توان بیان کرد که نانوفیبرسلولوز و کربوکسی متیل سلولوز به تنهایی و یا به صورت ترکیب با یکدیگر توانسته‌اند به‌خوبی سبب کاهش اندازه ذرات در نمونه‌های مایونز گردیده و ایجاد میزان روشنایی مشابه با نمونه شاهد تجاری نمایند. زیرا طبق مرجع [22] کاهش اندازه ذره سبب تغییر رنگ امولسیون از خاکستری به سفید روشن گردیده که ناشی از افزایش پراکندگی نور توسط ذرات بوده است. بررسی نتایج به‌دست آمده در ارتباط با فاکتور a^* نشان داد که نمونه‌های مایونز کم چرب به جز نمونه N5 با یکدیگر و با نمونه شاهد تجاری، از لحاظ تمایل به رنگ قرمز تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به این‌که محدوده اعداد منفی بیانگر گرایش محصول به رنگ سبز می‌باشد، نمونه N5 تنها نمونه‌ای است که a^* منفی داشته و متمایل به رنگ سبز بوده است که ناشی از به‌کارگیری بالاترین درصد هیدروکلونید کربوکسی متیل سلولوز در آن می‌باشد. از مقایسه دو نمونه N1 و N5 به نظر می‌رسد میزان تمایل به رنگ قرمز در نانو فیبر سلولوز تا حدی بالا بوده است که توانسته تمایل به رنگ سبز کربوکسی متیل سلولوز در نمونه N5 پوشش داده و سبب ایجاد عدم تفاوت معنی‌دار این نمونه با نمونه شاهد تجاری گردد. با بررسی فاکتور b^* و با توجه به این‌که محدوده اعداد مثبت در آن بیانگر گرایش نمونه به سمت رنگ زرد می‌باشد، مشخص گردید که تمامی نمونه‌های مایونز تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری داشته و نسبت به آن دارای تمایل بیش‌تری به رنگ زرد بودند. هم‌چنین با توجه به مقادیر فاکتور b^* دو نمونه N1 و N5 می‌توان گفت که میزان تمایل به رنگ زرد در نمونه N1 اندکی بیش‌تر بوده و توانسته میزان تمایل به رنگ زرد را در نمونه N3 در مقایسه با نمونه N1 تا بالاترین مقدار افزایش دهد.

3-5- بافت سنجی

بررسی آماری در جدول (5) تفاوت معنی‌داری را از لحاظ

جدول (4) مقادیر شاخص های رنگی L*، a* و b* نمونه‌های مایونز کم چرب

نام نمونه	L*	a*	b*
N1	83/80 ± 0/18 abc	0/73 ± 0/11 a	14/99 ± 0/40 a
N3	83/52 ± 0/28 abc	0/78 ± 0/03 a	14/85 ± 0/12 a
N5	83/13 ± 0/17 bc	-0/20 ± 0/17 b	14/41 ± 0/40 ab
شاهد	81/73 ± 0/44 c	0/70 ± 0/02 a	13/37 ± 0/17 c

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

جدول (5) شاخص‌های آنالیز بافت نمونه‌های مایونز کم چرب

نام نمونه	سفتی (N)	چسبندگی (Nm)	پیوستگی (-)
N1	4/1±0/14 ab	0/2 ± 0/14 b	3/21±0/01 c
N3	4/8±0/14 a	0/6 ± 0/14 a	5/96±0/01 a
N5	3/8 ± 0/14 b	0/1 ± 0/00 b	3/12±0/01 d
شاهد	4/7 ± 0/14 a	0/6 ± 0/14 a	3/81±0/01 b

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

جدول (6) نتایج آزمون حسی نمونه‌های مایونز کم چرب

کد نمونه	مزه	رنگ	بو	بافت	پذیرش کلی
N1	3/6±1/0 a	3/4±0/96 a	3/8±1/1 a	3/8±0/9 a	4/2±0/7 a
N3	3/4±0/9 a	3/8 ± 0/91 a	3/3±1/1 a	4/1±0/5 a	4/1±0/5 a
N5	3/0±1/0 a	3/2±1/22 a	3/3±0/6 a	2/5±1/2 b	1/7±0/8 c
شاهد	3/2±1/2 a	4/0±0/94 a	2/9±0/7 a	4/0±0/9 a	3/3±0/9 ab

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

طعم و مزه در نمونه‌های مایونز نگردید. از لحاظ رنگ نیز با وجود این که رنگ ظاهری نمونه شاهد تجاری اندکی روشن تر به نظر می‌آید، اما افزودن غلظت‌های مختلف نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز به نمونه‌های مایونز کم چرب سبب ایجاد رنگ کرم مایل به زرد گردیده که از نظر ارزیاب‌ها و استاندارد ملی ایران قابل قبول بوده است. از این رو نمونه‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌دار با یکدیگر و نمونه شاهد تجاری نشده‌اند. از نظر فاکتور بو نیز علت اصلی عدم وجود تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌های مایونز و نمونه شاهد تجاری را می‌توان ناشی از بی‌بودن مواد اولیه (نانو فیبر سلولز و کربوکسی متیل سلولز) به کار رفته در فرمول‌ها و عدم تاثیر آن‌ها بر بوی نمونه‌ها دانست. قابل به ذکر است که نانو فیبر سلولز به کار رفته در فرمول‌ها دارای هیچ گونه بویی نبوده است. از نظر فاکتور بافت، در تحقیقات پیشین نیز به ویژگی جایگزینی چربی مشتقات سلولز به خصوص میکرو کریستالین سلولز در محیط‌های آبی و ایجاد بافت و احساس دهانی مشابه چربی اشارات متعددی شده است. طبق بررسی‌ها، کاربرد 1/5-1٪ میکرو کریستالین سلولز در امولسیون حاوی 20٪ روغن ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی مشابه امولسیون حاوی 60٪ روغن را ایجاد نمود [24]. از این رو با توجه به ماهیت مشابه نانو فیبر سلولز کلونیدی و میکرو کریستالین سلولز کلونیدی به تنهایی و در کنار کربوکسی متیل سلولز، این تاثیر مثبت بر روی ویژگی‌های بافت دهانی در آزمون حسی این تحقیق نیز به‌طور کامل مشهود می‌باشد. از لحاظ فاکتور پذیرش کلی، نمونه N5 دارای کم‌ترین امتیاز بوده

است. زیرا پایین بودن کیفیت بافت در نمونه مذکور به میزان زیادی بر فاکتور پذیرش کلی تاثیر گذاشته و موجب کاهش امتیاز آن گردیده است.

4- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصله از آزمون‌ها و تفسیر آن‌ها در بخش‌های پیشین، افزودن نانو فیبر سلولز به همراه کربوکسی متیل سلولز می‌تواند سبب تولید مایونز کم چرب با ویژگی‌های فیزیکی و حسی مطلوب و مشابه نمونه شاهد تجاری گردد. به طوری که از لحاظ ویژگی پایداری فیزیکی امولسیون، تمامی

شاخص‌های رنگی و فاکتورهای حسی مزه، رنگ و بو نسبت به نمونه شاهد تجاری تفاوت معنی‌داری نداشته و دچار افت کیفیت نشده است ($p < 0/05$). از نظر شاخص ویسکوزیته نیز توانسته پس از نمونه شاهد تجاری، بیش‌ترین میزان ویسکوزیته را در نمونه مایونز کم چرب ایجاد نماید. از این رو با توجه به نتایج حاصله، نمونه N3 (حاوی 0/5% نانو فیبر سلولز- 0/5% کربوکسی متیل سلولز) به‌عنوان نمونه مایونز کم چرب برگزیده، با شاخص ویسکوزیته، ویژگی‌های فیزیکی و حسی برتر در این پژوهش معرفی می‌شود.

منابع

- lulose nanocomposite from cellulose microfibrils using ionic liquid-based nanowelding. *J. Biomacromolecules*, 12, 4080-4085.
- [7] Bogati, D.R. (2011). Cellulose Based Biochemicals and their applications. Bachelor's Thesis of Paper Technology, Saimaa University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Imatra, Finland.
- [8] McClements, D.J. (2005). *Food Emulsions; Principles, Practice, and Techniques*, 2th ed, CRC Press, FL, pp 533-543.
- [9] Bauer, R., Cuccurullo, J.A., Dazo, P.O., Kochakji, D.J., Rikon, S.M., Rubow, R.E. Fat Mimetic Containing Salad Dressing and Process Therefor. U.S. Patent 5,286,510, February 15, 1994.
- [10] Oza, K.P., Frank, S.G. (1986). Microcrystalline cellulose stabilized emulsions. *J. Disper. Sci. Technol.*, 7, 543-561.
- [11] Xhanari, K., Syverud, K., Chinga-Carrasco, G., Paso, K., Stenius, P. (2011). Structure of nanofibrillated cellulose layers at the o/w interface. *J. Colloid Interf. Sci.*, 356, 58-62.
- [12] Turbak, A.F., Snyder, F.W., Sandberg, K.R. Suspensions Containing Microfibrillated Cellulose. U.S. [1] Choonhahirun, A. (2008). Influence of added water and konjac flour as fat replacer on some quality characteristics of celery mayonnaise. *AU. J. Technol.*, 11(3), 154-158.
- [2] Liu, H., Xu, X.M., Guo, S.D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *J. LWT-Food Sci. Technol.*, 40, 946-954.
- [3] Su, H.P., Lien, C.P., Lee, T.A., Ho, R.S. (2010). Development of low-fat mayonnaise containing polysaccharide gums as functional ingredients. *J. Sci. Food Agr.*, 90, 806-812.
- [4] Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A., Bras, J. (2012). Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydr. Polym.*, 90, 735– 764.
- [5] Coffey, D.G., Bell, D.A., Henderson, A. (2006). Cellulose and cellulose derivatives, in: Stephen, A.M., Philips, G.O., Williams, P.A (Eds.), *Food Polysaccharides and Their Applications*, 2th ed, CRC Press, FL, pp 146-179.
- [6] Yousefi, H., Nishino, T., Faezipour, M., Ebrahimi, G.H., Shakeri, A. (2011). Direct fabrication of all-cel-

- squeezing flow viscometry. *J. Procedia Food Science.*, 1, 1997-2002.
- [22] Chantrapornchai, W., Clydesdale, F., McClements, D.J. (1999). Influence of droplet characteristics on the optical properties of colored oil-in water emulsions. *Colloid. Surfaces A.*, 155, 373-382.
- [23] Rajah, K.K. (2002). *Fats in Food Technology*. Sheffield Academic Press, Shef, pp 256-271.
- [24] Tuason, D.C., Krawczyk, G.R., Buliga, G. (2010). Microcrystalline cellulose, in: Imeson, A (Eds.), *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*, Wiley-Blackwell Publishing Ltd, Oxf, pp 218-236.
- Patent 4,378,381, March 29, 1983.
- [13] 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. *J. Food Agr. Env.*, 11(1), 99-104.
- [14] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (1380). ویژگی‌های مایونز و سس‌های سالاد. استاندارد شماره 2454.
- [15] Reston, R. (2013). *ColorFlex EZ User's Manual*. Hunter Associates Laboratory, VA, pp 8-9.
- [16] Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S., Jammong, P. (2006). β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloid.*, 20, 68-78.
- [17] Hathcox, A.K., Beuchat, L.R., Doyle, M.P. (1995). Death of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in real mayonnaise and reduced-calorie mayonnaise dressing as influenced by initial population and storage temperature. *Appl. Environ. Microb.*, 61, 4172-4177.
- [18] Ahola, S. (2008). Properties and interfacial behaviour of cellulose nanofibril. Doctora Thesis of Paper in Technology, Helsinki University of Technology, Faculty of Chemistry and Materials Sciences, Espoo, Finland.
- [19] 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*, (pp. 1099-1122), TAPPI Press, Georgia.
- [20] Yokoyama, A., Srinivasan, K.R., Fogler, H.S. (1988). Stabilization mechanism of colloidal suspensions by gum tragacant: the influence of pH on stability. *J. Colloid Interf. Sci.*, 126(1): 147-149.
- [21] Thomareis, A.S., Chatziantoniou, A. (2011). Evaluation of the consistency of low-fat mayonnaise by