

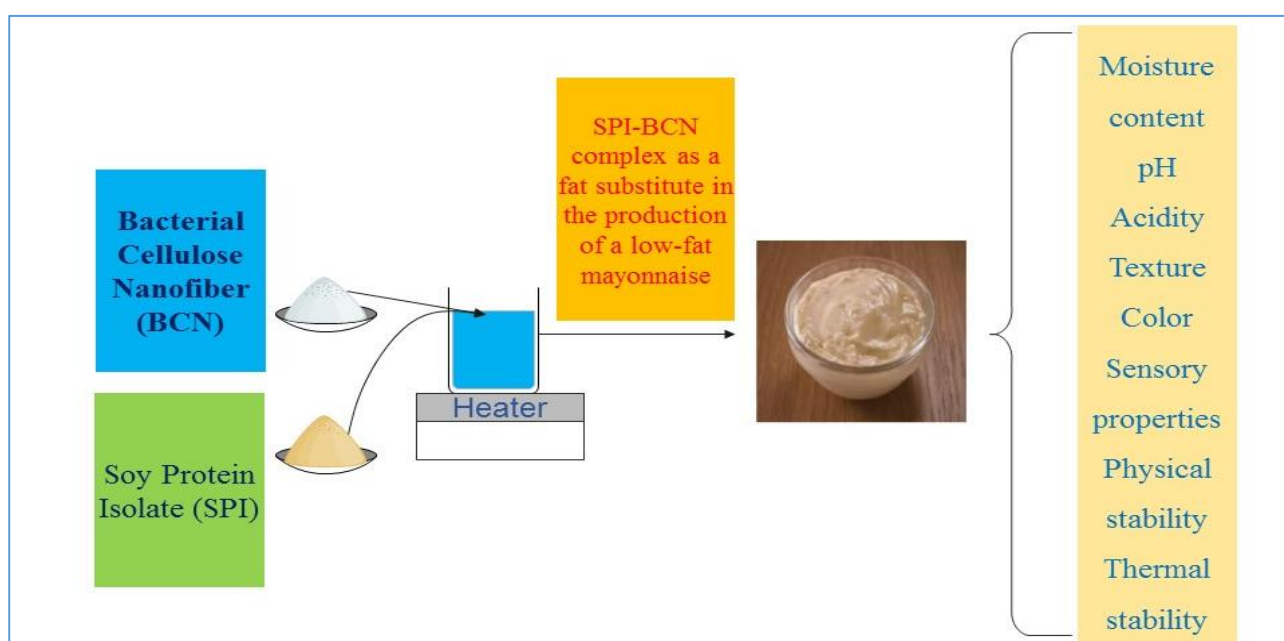
## Investigation of the Use of Soy Protein Isolate-Cellulose Nanofiber Complex as a Fat Substitute in the Production of a Low-Fat Mayonnaise

Mohammad Noshad<sup>1\*</sup>, Behrooz Alizadeh Behbahani<sup>1</sup>, Parisa Ghasemi<sup>1</sup>

1. Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources

University of Khuzestan, Mollasani, Iran

(Received; Apr. 25, 2020- Revised: July. 5, 2020- Accepted: Aug. 22, 2020)



**ABSTRACT :** In recent years, due to the increased awareness of the risk of cardiovascular diseases induced by the consumption of high-fat diets, remarkable attention has been given to reduce the fat level in foods and produce low-fat products. In this study, the three levels of soy protein isolate-cellulose nanofiber complex gel (5, 15, and 25%) and three levels of cellulose nanofiber: soy protein isolate ratio (1:5, 1:10, and 1:15) in the complex gel, were used as a fat substitute to produce a low-fat mayonnaise. The effect of oil substitution by the complex gel on physicochemical properties (moisture, pH, acidity and physical and thermal stability), texture, color, and sensory properties of the mayonnaise were evaluated. The results showed that rising oil substitution by the complex gel significantly ( $P<0.05$ ) increased the moisture content and decreased the acidity, and physical and thermal stability of the mayonnaise. All the textural properties of mayonnaise, such as firmness, cohesiveness, consistency, and viscosity index was significantly reduced upon the oil substitution by the gel and this effect was more pronounced in samples containing higher gel concentrations. The color indices ( $L^*$  and  $b^*$  values) and sensory properties of the samples were decreased significantly, as well. According to the results of the present study, the soy protein isolate-cellulose nanofiber complex gel at 5% oil substitution, particularly the gel with nanofiber cellulose to protein the ratio of 1:5 has a high potential as a fat substitute to fabricate a low-fat mayonnaise with acceptable physical and thermal stabilities, textural, color, and sensory characteristics.

**Keywords:** Sensory evaluation; Texture, Low-fat products; Chemical properties.

# بررسی استفاده از ژل کمپلکس ایزوله پروتئین سویا-نانو فیبر سلولز به عنوان مقلد چربی در تولید سس مایونز کم چرب

محمد نوشاد\*<sup>۱</sup>، بهروز علیزاده بهبهانی<sup>۱</sup>، پریسا قاسمی<sup>۱</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه

علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۴/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۱)

چکیده: در سال‌های اخیر، بدلیل افزایش آگاهی مردم نسبت به خطر ابتلا به انواع بیماری‌های قلبی-عروقی در اثر مصرف رژیم غذایی غنی از چربی، توجه ویژه‌ای به کاهش مقدار چربی در مواد غذایی و تولید محصولات کم‌چرب شده است. در این مطالعه از سه سطح ژل کمپلکس نانوفیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا (۵، ۱۵ و ۲۵ درصد) و سه سطح نسبت نانوفیبر سلولز:ایزوله پروتئین سویا (۱:۵، ۱:۱۰ و ۱:۱۵) در ژل کمپلکس بعنوان جایگزین چربی در تهیه سس مایونز کم‌چرب استفاده گردید. تأثیر جایگزینی روغن با ژل کمپلکس بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (رطوبت، pH، اسیدیته، پایداری فیزیکی و پایداری حرارتی)، بافت، رنگ و خواص حسی نمونه‌های سس مایونز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) سبب افزایش محتوای رطوبت و کاهش اسیدیته، پایداری فیزیکی و حرارتی سس مایونز گردید. تمام ویژگی‌های بافتی سس مایونز مانند سفتی، انسجام، پیوستگی و شاخص ویسکوزیته به‌طور معنی‌داری در اثر جایگزینی روغن با ژل کاهش نشان دادند و این اثر در نمونه‌های حاوی غلظت بالاتر ژل بیشتر مشهود بود. از میزان شاخص‌های رنگی ( $L^*$  و  $b^*$ ) و ویژگی‌های حسی نمونه‌ها نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته شد. با توجه به نتایج این پژوهش، ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا در سطح ۵ درصد جایگزینی با روغن، به ویژه ژل حاوی نسبت ۱:۵ نانوفیبر سلولز به پروتئین، دارای پتانسیل بالایی بعنوان جایگزین چربی جهت تولید سس مایونز کم‌چرب با پایداری فیزیکی، حرارتی، ویژگی‌های حسی، بافت و رنگ قابل قبول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی حسی؛ بافت؛ محصولات کم‌چرب؛ ویژگی‌های شیمیایی

## مقدمه

سس مایونز، به عنوان یکی از پر مصرف‌ترین و محبوب‌ترین انواع سس‌ها در جهان، یک امولسیون روغن در آب است که از طریق مخلوط کردن روغن‌های گیاهی خوراکی (۷۰-۸۰ درصد) با سرکه، زرده تخم‌مرغ و سایر افزودنی‌های مجاز تولید می‌گردد (Chang *et al.*, 2017). پایداری این محصول غذایی به عوامل مختلفی از قبیل ویسکوزیته، میزان روغن، نسبت فاز روغنی به فاز آبی، زرده تخم‌مرغ، درجه حرارت، کیفیت آب و روش مخلوط کردن وابسته می‌باشد (Liu *et al.*, 2007). لازم به ذکر است که سس مایونز بیش از ۶۰ درصد روغن دارد (Ghzaie *et al.*, 2016). امروزه به دلیل افزایش آگاهی مردم نسبت به خطر ابتلا به انواع بیماری‌های قلبی-عروقی در اثر مصرف رژیم غذایی غنی از چربی، توجه ویژه‌ای به کاهش مقدار چربی در مواد غذایی و تولید محصولات کم چرب شده است (Tolouei *et al.*, 2012). در این حالت از موادی استفاده می‌شود که قابلیت ایفای نقش روغن (مقلد روغن) در ماده غذایی را داشته و با داشتن کالری کمتر، تأثیری در ویژگی‌های حسی محصول نهایی ایجاد نکند (Laguna *et al.*, 2014). در این راستا، جایگزین‌های چربی بر پایه پروتئین و کربوهیدرات معمولاً بعنوان مقلد چربی در نظر گرفته می‌شوند که قابلیت جایگزینی کامل ویژگی‌های عملکردی چربی در مواد غذایی را نداشته، اما بافت و ویژگی دهانی مشابه چربی را ایجاد می‌کنند (Sun, *et al.*, 2018).

اخیراً کاربرد سلولز و مشتقات آن مانند نانو فیبر سلولز در فراورده‌های غذایی کم‌چرب گسترش یافته است. نانو فیبرهای سلولزی (پلیمرهای گلوکز با ۲۰-۴۰ نانومتر ضخامت و طول حداقل ۵ میکرون) از طریق کاهش ابعاد فیبرهای میکرومتری سلولز توسط نیروهای مکانیکی حاصل شده و دارای هر دو بخش آمورف و کریستالی می‌باشند. این ویژگی در کنار وسیع بودن

مساحت سطح نانوفیبرهای سلولزی، توانایی ایجاد ساختار شبکه‌ای مستحکم را به آن می‌دهد (Lavoine *et al.*, 2012). نانو فیبرهای سلولزی دارای قابلیت جذب و نگهداری زیاد آب می‌باشند که کاربرد آن‌ها را در محصولات غذایی به عنوان عوامل تغلیظ کننده و پایدارکننده افزایش داده است (Golchubi *et al.*, 2014). در همین راستا، Golchubi *et al.* (2014) تأثیر افزودن نانو فیبر سلولز (در سطوح ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) و کربوکسی متیل سلولز (در سطوح ۰ و ۱ درصد) را بر ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی سس مایونز کم‌چرب بررسی نمودند. مطابق نتایج این محققین، تیمار حاوی ۰/۵ درصد نانو فیبر سلولز و ۰/۵ درصد کربوکسی متیل سلولز دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی مشابه نمونه شاهد تجاری بود و بعنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

کاربرد دانه سویا در مواد غذایی از اکتبر سال ۱۹۹۹ و از زمانی که ویژگی سلامت‌بخشی پروتئین سویا به اثبات رسید، به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. پروتئین به عنوان دومین جزء تشکیل دهنده دانه سویا شناخته می‌شود که به دلیل ترکیب اسیدهای آمینه آن دارای ارزش تجاری قابل توجهی می‌باشد. این پروتئین دارای هر دو بخش آب‌دوست و آب‌گریز بوده و بنابراین قادر به تسریع تشکیل امولسیون می‌باشد (Garcia *et al.*, 2009). ایزوله پروتئین سویا محصول تجاری پروتئین سویا با حداقل ۹۰ درصد پروتئین (بر اساس وزن خشک) می‌باشد و به‌طور گسترده‌ای به عنوان افزودنی مهم با ارزش تغذیه‌ای بالا، ویژگی‌های عملکردی مطلوب و قیمت پایین در صنایع غذایی استفاده شده است (Hu *et al.*, 2013). مقلد چربی بر پایه پروتئین یکی از مهم‌ترین اجزای جایگزین‌های چربی می‌باشد. در این حالت، پروتئین بدلیل قابلیت بهتر تبدیل شدن به ژل تحت شرایط مشخص دمایی و pH در تولید مقلدهای چربی استفاده می‌شود (Laneville

تهیه ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا برای تهیه ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا، ابتدا محلول‌های نانو فیبر سلولز و پروتئین به نسبت ۵:۱، ۱۰:۱ و ۱۵:۱ وزنی-وزنی با هم ترکیب شدند. در نهایت محلول با آب مقطر به غلظت ۵ درصد رسانیده شد. بعد از هم زنی و همگن‌سازی، محلول حاصله به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. در ادامه، محلول به مدت ۶ دقیقه و در ۸۰۰۰ دور در دقیقه با استفاده از دستگاه همزنایزر (T18 ULTRA- TURRAX, IKA, Germany) همگن گردید و از ژل کمپلکس بدست آمده بعنوان جایگزین چربی در تهیه سس مایونز کم‌چرب استفاده شد.

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های سس مایونز سس مایونز با استفاده از روش Golchubi et al (2014) با اندکی تغییرات تولید گردید. برای این منظور، پس از توزین مواد پودری مانند پودر خردل (۰/۴ درصد)، نمک (۰/۶ درصد) و شکر (۳ درصد)، زرده تخم‌مرغ (۱۰ درصد) به همراه مقدار اندکی روغن توسط همزن الکتریکی مخلوط گردید و در ادامه تمام مواد پودری و یک‌سوم فاز آبی (ژل کمپلکس و آب) به مخلوط افزوده گردید. باقی‌مانده روغن و یک‌سوم بعدی فاز آبی در نیمه فرایند اضافه شد. لازم به ذکر است باقی‌مانده روغن در بازه زمانی ۶ دقیقه به فاز امولسیون سس مایونز اضافه گردید. در مرحله بعد، مقدار باقی‌مانده فاز آبی و در نهایت سرکه (۷/۵ درصد) به امولسیون افزوده شد و مخلوط مجدد همزده شد. نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب مطابق جدول زیر (جدول ۱) کدگذاری و سپس در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

### آزمون‌ها

ارزیابی بافت ژل کمپلکس خصوصیات بافتی ژل با آنالیز پروفایل بافتی (TPA) و با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (Micro TA.XT.PLUS stable system، ساخت انگلستان) ارزیابی گردید. یک

برای اینکه بتوان خصوصیات حسی چربی را در دهان شبیه‌سازی کرد، بایستی تیمار مکانیکی مانند برش بالا یا دیگر روش‌های هموژنیزاسیون جهت تبدیل پروتئین‌های کواگوله شونده به میکروذراتی با قطر ۰/۳ تا ۱۰ میکرون بکار گرفته شود (Chung et al., 2014). حضور پلی‌ساکاریدها از طریق پوشاندن گروه‌های باردار فعال یا کاهش سرعت برخورد بین مولکول‌ها (افزایش ویسکوزیته محلول) سبب جلوگیری از درهم‌آمیختگی و برهمکنش بین میکروذرات پروتئینی می‌شود (Nawrocka et al., Rather et al., 2015). علاوه بر این، پلی‌ساکارید قادر به جذب مقادیر زیادی آب بوده و از این طریق باعث خامه‌ای شدن و احساس دهانی مطلوب می‌شود (Sun et al., 2015). بنابراین، معمولاً از ترکیب پروتئین و پلی‌ساکارید جهت جایگزینی چربی در مواد غذایی و تولید محصولات کم‌چرب استفاده می‌گردد. حال با توجه به این که تاکنون پژوهشی در خصوص استفاده از ژل کمپلکس ایزوله پروتئین سویا-نانو فیبر سلولز به عنوان جایگزین چربی در سس مایونز انجام نشده است، در این مطالعه، پتانسیل استفاده از ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز (به عنوان پلی‌ساکارید) و ایزوله پروتئین سویا به عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون سس مایونز کم‌چرب و اثر این ترکیبات بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سس مایونز مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

مواد نانو فیبر سلولز با قطر ۹۰-۱۰ nm (نانو نوین پلیمر، ایران) و ایزوله پروتئین سویا (۹۰ درصد) (گل‌هار، ایران) خریداری شدند. سایر مواد مورد استفاده در این پژوهش مانند سدیم هیدروکسید و معرف فنل فتالین از درجه تجزیه‌ای برخوردار بوده و از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

تست فشرده‌سازی دو مرحله‌ای (دو رفت و دو برگشت) بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و پارامترهای سفتی، پیوستگی، صمغی بودن، قابلیت جویدن و فنری بودن ژل بررسی گردید.

جدول ۱- مقدار ترکیبات مورد استفاده در فرمولاسیون نمونه های مختلف سس مایونز (درصد وزنی)

فرمولاسیون	آب	پودر خردل	نمک	زرده تخم مرغ	سرکه	روغن
A1:5-B5	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۶۰
A1:5-B15	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۵۰
A1:5-B25	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۴۰
A1:10-B5	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۶۰
A1:10-B15	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۵۰
A1:10-B25	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۴۰
A1:15-B5	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۶۰
A1:15-B15	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۵۰
A1:15-B25	۱۳/۵	۰/۴	۰/۶	۱۰	۷/۵	۴۰

A1:5؛ نمونه سس مایونز که چربی آن با ژل کمپلکس با نسبت نانو فیبر سلولز به پروتئین ۵:۱ جایگزین شده است.  
 A1:10؛ نمونه سس مایونز که چربی آن با ژل کمپلکس با نسبت نانو فیبر سلولز به پروتئین ۱۰:۱ جایگزین شده است.  
 A1:15؛ نمونه سس مایونز که چربی آن با ژل کمپلکس با نسبت نانو فیبر سلولز به پروتئین ۱۵:۱ جایگزین شده است.  
 B5؛ نمونه سس مایونز که ۵ درصد چربی آن با ژل کمپلکس جایگزین شده است.  
 B15؛ نمونه سس مایونز که ۱۵ درصد چربی آن با ژل کمپلکس جایگزین شده است.  
 B25؛ نمونه سس مایونز که ۲۵ درصد چربی آن با ژل کمپلکس جایگزین شده است.

حاصله با استفاده از سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال تیترا شد. درصد اسیدیته بر حسب اسید استیک طبق رابطه (۲) محاسبه گردید که در آن s حجم سود مصرفی و a وزن نمونه می‌باشد.

(رابطه ۲)

$$\text{درصد اسیدیته بر حسب اسید استیک} = \frac{0.006 \times s}{a} \times 100$$

پایداری فیزیکی و حرارتی

روش Sher Mohammadi et al (2015) با اندکی تغییر جهت بررسی پایداری فیزیکی و حرارتی امولسیون سس مایونز مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور، ۱۵ گرم از نمونه‌های سس مایونز در لوله فالکن ۵۰ میلی‌لیتری توزین و سپس لوله فالکن به مدت ۳۰ دقیقه در ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در ادامه، وزن امولسیون رسوب شده اندازه‌گیری شد و در نهایت پایداری فیزیکی امولسیون مطابق رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$\text{(رابطه ۳)} \quad \times \frac{\text{وزن امولسیون رسوب شده}}{\text{وزن امولسیون اولیه}} = \text{پایداری امولسیون (درصد)}$$

100

جهت اندازه‌گیری پایداری حرارتی سس مایونز،

اندازه‌گیری رطوبت سس مایونز

رطوبت نمونه‌های سس مایونز با استفاده از روش Golchubi et al (2014) اندازه‌گیری گردید. برای این منظور، ابتدا مقدار مشخصی از نمونه‌های سس توزین شد و سپس در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید. در نهایت، مقدار رطوبت نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\text{(رابطه ۱)} \quad \text{رطوبت} = \frac{(\text{وزن نمونه خشک شده}) - (\text{وزن نمونه اولیه})}{\text{وزن نمونه اولیه}}$$

اندازه‌گیری pH

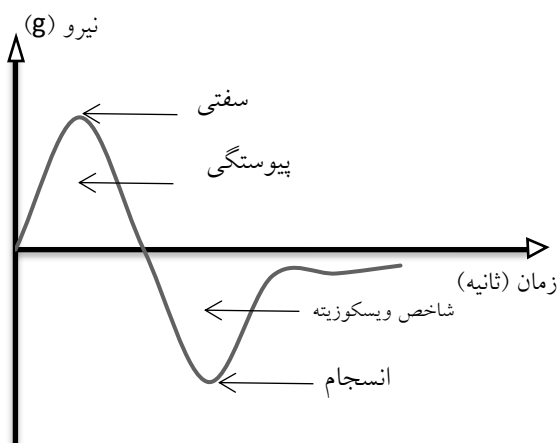
به منظور اندازه‌گیری pH محلول ۵ درصد وزنی- حجمی از سس‌های مایونز تهیه شد و سپس pH محلول در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با استفاده از pH متر اندازه‌گیری گردید (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۴۵۴).

اندازه‌گیری اسیدیته

اسیدیته نمونه‌ها مطابق با استاندارد ملی ایران با شماره ۲۴۵۴ تعیین شد. ابتدا مقدار ۱۵ گرم از نمونه‌های سس مایونز در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق گردید و بعد از افزودن مقدار مشخصی معرف فنل فتالین، محلول



نقطه‌ای (۱= کمترین امتیاز و ۵= بالاترین امتیاز) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های سس مایونز بصورت کاملاً تصادفی و با شماره سه‌رقمی کدگذاری شدند و ارزیابی حسی یک روز بعد از نگهداری نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس صورت پذیرفت.



شکل ۱. منحنی عمومی نیرو- زمان به منظور انجام آزمون اکستروژن برگشتی (Nasaruddin et al., 2012)

### تجزیه و تحلیل آماری

نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب در دو تکرار تهیه شدند و نتایج حاصل از این پژوهش بر پایه طرح کاملاً تصادفی و توسط نرم‌افزار SPSS (SPSS 19 for windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) مورد ارزیابی قرار گرفت. بعلاوه، از آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) جهت مقایسه میانگین داده‌ها استفاده گردید.

### نتایج و بحث

بافت ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا بعضی از ویژگی‌های بافتی از قبیل سفتی، چسبندگی و پیوستگی، اغلب پذیرش نهایی محصولات غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای این منظور، ویژگی‌های بافتی ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا با

لوله فالکن حاوی ۱۵ گرم سس مایونز به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد و ادامه فرایند مطابق روش ذکر شده در بخش پایداری فیزیکی تکرار گردید.

### رنگ سنجی

رنگ نمونه‌های سس مایونز با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Minolta Colorimeter CR-400, Osaka, Japan) مورد بررسی قرار گرفت که در این آزمون، شاخص L بیانگر روشنی، a + بیانگر گرایش به قرمزی، a- نشان دهنده گرایش به سبزی، b + بیانگر گرایش به زردی و b- بیانگر گرایش به رنگ آبی می‌باشد.

### ارزیابی بافت سس مایونز

ویژگی‌های بافتی سس‌های مایونز تولید شده با کمک دستگاه آنالیز بافت (مدل Micro TA.XT.PLUS stable system, ساخت انگلستان) و از طریق آزمون اکستروژن برگشتی<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور از سلول بارگذاری ۵ کیلوگرم، پروب استوانه‌ای شکل و دیسک فشرده‌سازی به قطر ۳۵ میلی‌متر استفاده شد. نمونه‌ها درون ظرف استاندارد (قطر ۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۷۵ میلی‌متر) قرار داده شد و سپس سرعت نفوذ پروب در ۱ میلی‌متر بر ثانیه و عمق فشرده‌سازی ۵۰ میلی‌متری تنظیم گردید. لازم به ذکر است که از دستورالعمل شرکت سازنده دستگاه جهت انتخاب نوع پروب و سایر پارامترهای بافت سنجی استفاده شد. پارامترهای سفتی، انسجام، پیوستگی و شاخص ویسکوزیته نمونه‌ها از نمودار نیرو-زمان استخراج و به عنوان ویژگی‌های بافتی سس مایونز گزارش شدند (شکل ۱).

### ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی (ظاهر، رنگ، طعم، بافت و پذیرش کلی) نمونه‌های سس مایونز توسط گروهی شامل ۱۵ نفر ارزیاب آموزش دیده و مطابق روش هدونیک پنج

سفتی، قابلیت جویدن، صمغی بودن و فبری بودن مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). با این حال، پیوستگی ژل کمپلکس با افزایش نسبت نانو فیبر سلولز به پروتئین افزایش معنی داری نشان داد ( $P < 0.05$ ).

استفاده از آنالیز پروفایل بافتی بررسی و نتایج در جدول ۲ گزارش شده است. مطابق مقادیر بدست آمده از آنالیز پروفایل بافتی، اختلاف معنی داری بین نسبت‌های مختلف نانو فیبر سلولز: ایزوله پروتئین سویا از نظر

جدول ۲- اثر نسبت های مختلف نانوفیبر سلولز- ایزوله پروتئین سویا بر ویژگی های بافتی ژل های کمپلکس تولید شده

ویژگی بافتی	نسبت نانوفیبر سلولز- ایزوله پروتئین سویا		
	۱۵:۱	۱۰:۱	۵:۱
سفتی (g)	$0.186 \pm 0.054^a$	$0.177 \pm 0.041^a$	$0.184 \pm 0.037^{a*}$
قابلیت جویدن (g)	$0.175 \pm 0.02^a$	$0.171 \pm 0.02^a$	$0.172 \pm 0.01^a$
صمغی بودن (g)	$0.175 \pm 0.01^a$	$0.174 \pm 0.02^a$	$0.172 \pm 0.01^a$
فبری بودن (mm)	$0.199 \pm 0.01^a$	$0.199 \pm 0.01^a$	$0.197 \pm 0.01^a$
پیوستگی	$0.184 \pm 0.015^a$	$0.183 \pm 0.01^a$	$0.18 \pm 0.02^b$

\* حروف غیر مشابه در هر سطر بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) می باشد.

رطوبت نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابق نتایج جدول ۳، میزان جایگزینی روغن با ژل اثر معنی داری ( $P < 0.05$ ) بر رطوبت سس‌های مایونز کم‌چرب داشت، اما نسبت نانوفیبر سلولز به ایزوله پروتئین سویا تأثیر معنی داری بر این پاسخ نشان نداد. افزایش نسبت نانو فیبر سلولز به پروتئین سویا تا نسبت ۱ به ۱۰ سبب افزایش میزان رطوبت نمونه‌های سس مایونز و نسبت بالاتر منجر به کاهش محتوای رطوبت نمونه‌ها گردید. در حالیکه رابطه مستقیمی بین میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس با محتوای رطوبت سس‌های مایونز کم‌چرب مشاهده شد و میزان رطوبت در نمونه‌های با مقدار بالاتر ژل به‌طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) بالاتر از سایر نمونه‌ها بود (جدول ۳). این حالت می‌تواند ناشی از ظرفیت نگهداری آب بالای ژل کمپلکس باشد (Khemakhem et al., 2019) و جز پلی‌ساکاریدی ژل کمپلکس نیز قادر به جذب مقادیر زیادی آب می‌باشد (Sun et al., 2015). مطابق نتایج این پژوهش، Sun et al (2018) گزارش نمودند که افزودن کمپلکس پکتین- پروتئین آب‌پنیر به عنوان جایگزین چربی در سس مایونز سبب افزایش معنی دار محتوای رطوبت، پروتئین و کربوهیدرات و کاهش محتوای روغن نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب گردید.

پیوستگی شاخصی از اتصالات و پیوندهای درونی مواد می‌باشد (Sun et al., 2015). افزایش پیوستگی در حضور غلظت بالای پروتئین در ترکیب ممکن است به ایجاد پیوند کووالانسی بین پروتئین و نانو فیبر سلولز در اثر واکنش مایلارد نسبت داده شود که با توجه به دما و زمان بالای استفاده شده جهت تهیه ژل کمپلکس (۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه)، احتمال رخ دادن واکنش مایلارد تحت چنین شرایطی وجود دارد. کاهش سفتی، چسبندگی، صمغی بودن و قابلیت جویدن و بدون تغییر ماندن خاصیت فبری بودن و پیوستگی در ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز- ایزوله پروتئین سویا توسط Sun et al (2015) گزارش شده است که اختلاف مشاهده شده بین نتایج به نسبت‌های مختلف نانو فیبر سلولز به پروتئین مورد استفاده نسبت داده می‌شود.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی، رنگی و حسی سس مایونز کم‌چرب رطوبت

نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سس‌های مایونز کم‌چرب در جدول ۳ آورده شده است. علاوه بر این، اثرات اصلی نسبت نانو فیبر سلولز به پروتئین (A) و میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس (B) بر مقدار

جدول ۳- ویژگی های فیزیکوشیمیایی نمونه های سس مایونز کم چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس به عنوان جایگزین چربی

فرمولاسیون	رطوبت (%)	pH	اسیدیته (برحسب درصد اسید سیتریک)	پایداری فیزیکی (%)	پایداری حرارتی (%)
A1:5-B5	24/8 ± 0/1 <sup>d</sup>	4/15 ± 0/07 <sup>a</sup>	0/72 ± 0/01 <sup>a</sup>	86/3 ± 0/3 <sup>a</sup>	85/8 ± 1/1 <sup>a</sup>
A1:5-B15	30/8 ± 1/7 <sup>ab</sup>	4/03 ± 0/01 <sup>b</sup>	0/71 ± 0/02 <sup>a</sup>	79/9 ± 0/1 <sup>cd</sup>	80/2 ± 0/2 <sup>c</sup>
A1:5-B25	29/3 ± 0/9 <sup>abc</sup>	4/04 ± 0/01 <sup>b</sup>	0/65 ± 0/01 <sup>bc</sup>	78/5 ± 0/1 <sup>d</sup>	79/7 ± 0/2 <sup>c</sup>
A1:10-B5	24/9 ± 0/1 <sup>d</sup>	4/02 ± 0/01 <sup>b</sup>	0/71 ± 0/01 <sup>ab</sup>	84/4 ± 1/4 <sup>ab</sup>	84/6 ± 0/1 <sup>ab</sup>
A1:10-B15	28/4 ± 0/4 <sup>bc</sup>	4/03 ± 0/01 <sup>b</sup>	0/65 ± 0/01 <sup>bc</sup>	80/3 ± 0/1 <sup>cd</sup>	82/4 ± 0/5 <sup>cd</sup>
A1:10-B25	31/8 ± 0/5 <sup>a</sup>	4/05 ± 0/01 <sup>ab</sup>	0/61 ± 0/01 <sup>c</sup>	80/3 ± 0/1 <sup>cd</sup>	79/5 ± 0/3 <sup>c</sup>
A1:15-B5	26/7 ± 0/2 <sup>cd</sup>	4/01 ± 0/01 <sup>b</sup>	0/73 ± 0/01 <sup>a</sup>	84/2 ± 0/1 <sup>b</sup>	85/8 ± 0/4 <sup>a</sup>
A1:15-B15	26/8 ± 0/4 <sup>cd</sup>	4/02 ± 0/01 <sup>b</sup>	0/64 ± 0/03 <sup>c</sup>	81/1 ± 0/3 <sup>c</sup>	82/7 ± 0/2 <sup>bc</sup>
A1:15-B25	31/3 ± 0/5 <sup>a</sup>	4/04 ± 0/01 <sup>b</sup>	0/63 ± 0/01 <sup>c</sup>	80/3 ± 0/4 <sup>cd</sup>	80/6 ± 0/2 <sup>de</sup>

\* حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد ( $P < 0/05$ ) می باشد.

جدول ۴- جدول آنالیز واریانس (ANOVA) خواص فیزیکوشیمیایی نمونه های سس مایونز کم چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس بعنوان جایگزین چربی

منبع	درجه آزادی (DF)	رطوبت	pH	اسیدیته	پایداری فیزیکی	پایداری حرارتی
مقدار ثابت معادله	۱	1439/1 E4 <sup>**</sup>	294/6 E5 <sup>**</sup>	8/ 13 E5 <sup>**</sup>	120/16/1 E5 <sup>**</sup>	122/138/24 E5 <sup>**</sup>
A	۲	0/04*	0/04*	0/03*	0/09 <sup>ns</sup>	2/14 <sup>**</sup>
B	۲	42/7 <sup>**</sup>	0/01 <sup>ns</sup>	0/013 <sup>**</sup>	49/16 <sup>**</sup>	46/24 <sup>**</sup>
A × B	۴	6/21 <sup>ns</sup>	0/04*	0/01 <sup>ns</sup>	2/7 <sup>**</sup>	1/73 <sup>**</sup>
خطا	۹	0/53	0/01	0/01	0/272	0/21
R <sup>2</sup>		0/96	0/84	0/94	0/98	0/98
R <sup>2</sup> adj		0/92	0/7	0/88	0/96	0/97

ns، \*\* و \*\*\* به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار، معنی داری در سطح  $P < 0/05$  و معنی داری در سطح  $P < 0/01$  می باشد.

A = نسبت نانو فیبر سلولز به ایزوله پروتئین سویا؛ B = نسبت جایگزینی چربی با ژل کمپلکس

#### pH و اسیدیته

سایر محققین نیز همخوانی دارد (Golchubi et al., 2014؛ Amiri et al., 2012) تأثیر جایگزینی روغن با ژل کمپلکس و نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین بر اسیدیته نمونه ها معنی دار بود ( $P < 0/05$ ) و پایین ترین میزان اسیدیته در نمونه های سس مایونز حاوی بیشترین میزان ژل کمپلکس مشاهده شد (جدول ۴)؛ به این معنی که جایگزینی روغن با ژل کمپلکس نانوفیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا سبب کاهش معنادار اسیدیته نمونه ها شده است (جدول ۳). در منابع گزارش شده است که استفاده از جایگزین چربی در تولید سس مایونز کم چرب سبب رقیق شدن اسید استیک در فاز آبی می شود (Hathcox et al., 1995). بنابراین می توان کاهش اسیدیته نمونه ها در اثر جایگزینی چربی با ژل کمپلکس را به رقیق شدن اسید استیک توسط فاز آبی نسبت داد که با نتایج محتوای رطوبت نمونه های سس

اگرچه نمونه های حاوی نسبت های بالاتر نانوفیبر سلولز به پروتئین مقدار pH پایین تری نشان دادند و اثر نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین بر pH نمونه ها معنی دار بود ( $P < 0/05$ )، اما میزان جایگزینی ژل کمپلکس با روغن تأثیر معنی داری بر میزان pH نمونه های سس مایونز کم چرب نداشت ( $P > 0/05$ ) (جدول ۴). بیشترین مقدار pH در نمونه های حاوی ۵ درصد ژل کمپلکس و نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین ۵:۱ (A1:5-B5) مشاهده شد و سایر نمونه ها pH کمتری نشان دادند (جدول ۳). طبق استاندارد ملی ایران pH نمونه های سس مایونز بایستی کمتر از ۴/۱ باشد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۴۵۴) و همانطور که از نتایج مشاهده می شود، pH تمام نمونه های سس مایونز کم چرب پایین تر از حد مجاز و مطابق استاندارد موجود برای سس مایونز بود که با نتایج



پیوسته و تشکیل شبکه ژل مانند به بهبود پایداری امولسیون‌ها کمک می‌کنند (Wang et al., 2017). اگرچه گزارش شده است که افزایش غلظت ذرات جذب نشده به سطح قطرات روغن در فاز پیوسته، از طریق سازوکار به هم پیوستگی نقصانی<sup>۱</sup> سبب ناپایداری امولسیون می‌شود (McClements, 2000). در پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد که ایزوله پروتئین سوپا قادر بوده است که جذب سطح قطرات روغن در سس مایونز کم‌چرب شود، اما افزایش غلظت پروتئین در فاز پیوسته (به علت اشباع شدن سطح قطرات از پروتئین) از طریق به هم پیوستگی نقصانی منجر به ناپایداری سامانه امولسیونی سس مایونز شده است. در راستای نتایج این پژوهش، کاهش پایداری فیزیکی و حرارتی سس مایونز کم‌چرب در مقایسه با نمونه پرچرب در مطالعات مختلف نیز گزارش شده است (Sher et al., 2015). علاوه بر این، کاهش ویسکوزیته فاز پیوسته عامل مهمی در تعیین ناپایداری فیزیکی و حرارتی و جدایی فاز سس مایونز کم‌چرب می‌باشد که در بخش ویژگی‌های بافتی به آن اشاره می‌شود.

#### ویژگی‌های بافتی

نتایج ارزیابی ویژگی‌های بافتی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب در جدول ۵ ارائه شده است. به علاوه، اثرات اصلی میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس و نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین بر پارامترهای بافتی نمونه‌ها در جدول ۶ گزارش شده است. نسبت نانو فیبر سلولز به پروتئین در جایگزین چربی دارای تأثیر معنی‌داری ( $P < 0/05$ ) بر شاخص سفتی، پیوستگی و انسجام سس‌های مایونز تولیدی بود. به طوری که افزایش مقدار جزء پروتئین در جایگزین چربی سبب کاهش معنی‌دار این پارامترهای بافتی گردید. همانطور که از جدول ۶ مشخص است، میزان جایگزینی روغن با ژل نیز تأثیر معنی‌داری بر تمام شاخص‌های بافتی مورد مطالعه

تولیدی مطابقت دارد؛ به طوری که نمونه‌ی با بیشترین میزان ژل کمپلکس بیشترین محتوای رطوبت را نشان داد. لازم به ذکر است که اگرچه اسیدیته نمونه‌ها با افزایش میزان جایگزینی کاهش معنی‌داری یافت، اما تفاوت معنی‌داری بین pH نمونه‌ها در اثر جایگزینی روغن با ژل مشاهده نشد (جدول ۴). این حالت می‌تواند ناشی از ظرفیت بافری پروتئین باشد که سبب جلوگیری از تغییر قابل ملاحظه pH (۴/۰۳-۴/۰۶) در نمونه‌های سس مایونز شده است.

#### پایداری فیزیکی و حرارتی

نتایج آزمون پایداری فیزیکی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب و اثرات اصلی میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس و نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین در ژل کمپلکس بر مقدار این پارامتر (جدول ۳) نشان می‌دهد که نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین در ژل افزوده شده به سس مایونز تأثیر معنی‌داری بر پایداری فیزیکی محصول نداشته است ( $P > 0/05$ )، در حالی که اثر میزان جایگزین چربی استفاده شده (ژل کمپلکس) بر این پاسخ معنی‌دار بوده است ( $P < 0/05$ ). پایداری نمونه‌های سس مایونز با افزایش میزان ژل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. روند مشابهی نیز برای پایداری حرارتی سس مایونز کم‌چرب تهیه شده با ژل کمپلکس مشاهده شد (جدول ۳)، با این تفاوت که هر دو فاکتور میزان جایگزینی روغن با ژل و نسبت نانو فیبر: پروتئین استفاده شده تأثیر معنی‌داری بر پایداری حرارتی نمونه‌های سس مایونز نشان دادند (جدول ۴). در امولسیون‌های روغن در آب، مولکول‌های پروتئین به علت فعالیت سطحی ذاتی خود قادر به جذب شدن روی سطح قطرات روغن از طریق برهمکنش‌های آب‌گریز بوده و با تشکیل فیلم بین‌سطحی ضخیم و ویسکوز سبب پایداری امولسیون می‌شوند (McClements, 2004)؛ در حالی که پلی‌ساکاریدها بیشتر از طریق افزایش ویسکوزیته فاز

تماس بین قطرات و افزایش ویسکوزیته منجر می‌شود که این پارامتر می‌تواند به‌طور جزئی بازگو کننده‌ی پارامترهای بافت سنجی نیز باشد. بنابراین، کاهش معنی‌دار پارامترهای سفتی، انسجام، پیوستگی و ویسکوزیته نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب در اثر افزودن جایگزین چربی به پخش نشدن کامل ژل کمپلکس در محلول و افزایش قطر قطرات چربی نسبت داده شد (Liu et al., 2007) لازم به ذکر است که کاهش ویسکوزیته امولسیون سس مایونز کم‌چرب حاوی ژل کمپلکس نیز می‌تواند سبب تسریع ناپایداری فیزیکی و حرارتی محصول تولیدی گردد (جدول ۳).

(سفتی، انسجام، پیوستگی و ویسکوزیته) نشان داد و افزایش میزان ژل در سس مایونز تولیدی به کاهش معنی‌دار ( $P < 0.05$ )، شاخص‌های بافتی محصول منجر گردید.

نتایج مشابهی توسط Liu et al (2007) در مورد تأثیر جایگزینی روغن با ژل کمپلکس پروتئین آب پنیر- پکتین در تولید سس مایونز کم‌چرب گزارش شده است. این محققین بیان نمودند که سطح تماس زیاد بین قطرات روغن در مایونز سبب افزایش نیروهای اصطکاکی بین قطرات و متعاقباً افزایش ویسکوزیته نمونه می‌شود. همچنین، کاهش قطر قطرات روغن نیز به افزایش سطح

جدول ۵- ویژگی‌های بافتی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس بعنوان جایگزین چربی

فرمولاسیون	سفتی (g)	انسجام (g.s)	پیوستگی (g)	شاخص ویسکوزیته (gs)
A1:5-B5	0.29 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.15 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.59 ± 0.06 <sup>a</sup>
A1:5-B15	0.15 ± 0.01 <sup>cd</sup>	2.34 ± 0.11 <sup>c</sup>	0.11 ± 0.01 <sup>cd</sup>	0.24 ± 0.05 <sup>abc</sup>
A1:5-B25	0.12 ± 0.01 <sup>cd</sup>	1.83 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>de</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>c</sup>
A1:10-B5	0.25 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.98 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>abc</sup>
A1:10-B15	0.15 ± 0.01 <sup>cd</sup>	2.36 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.09 ± 0.01 <sup>cde</sup>	0.13 ± 0.03 <sup>c</sup>
A1:10-B25	0.12 ± 0.01 <sup>cd</sup>	1.96 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.22 ± 0.02 <sup>bc</sup>
A1:15-B5	0.24 ± 0.01 <sup>b</sup>	4.02 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.22 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.52 ± 0.01 <sup>ab</sup>
A1:15-B15	0.16 ± 0.02 <sup>c</sup>	2.46 ± 0.15 <sup>c</sup>	0.12 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.27 ± 0.07 <sup>abc</sup>
A1:15-B25	0.12 ± 0.01 <sup>d</sup>	1.91 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>c</sup>

\* حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) می‌باشد.

جدول ۶- جدول آنالیز واریانس (ANOVA) ویژگی‌های بافتی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس بعنوان جایگزین چربی

منبع	درجه آزادی (DF)	سفتی	ویسکوزیته	انسجام	پیوستگی
مقدار ثابت معادله	۱	0.59**	1.37**	0.35**	1.26**
A	۲	0.03 ns	0.68 ns	0.06 ns	0.9 ns
B	۲	0.26**	2.19**	0.32**	1.46**
A × B	۱	0.01 ns	0.01 ns	0.01 ns	0.01 ns
خطا	۱۲	0.01	0.21	0.02	0.01
R <sup>2</sup>		0.88	0.86	0.82	0.85
R <sup>2</sup> adj		0.78	0.72	0.77	0.76

ns, \*\*, \*\*\* به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح  $P < 0.05$  و معنی‌داری در سطح  $P < 0.01$  می‌باشد.

A = نسبت نانو فیبر سلولز به ایزوله پروتئین سویا؛ B = نسبت جایگزینی چربی با ژل کمپلکس

نمونه‌ها شد ( $P < 0.05$ ) و نمونه‌های حاوی نسبت بالاتر نانوفیبر سلولز به پروتئین (نسبت ۱:۱۵) میزان روشنایی بالاتری ( $P < 0.05$ ) در مقایسه با سایر نمونه‌ها نشان دادند. مطابق جدول ۷، بالاترین مقدار L\* (۷۶/۹) در

مؤلفه‌های رنگی شاخص روشنایی (L\*) نقش بسیار مهمی در پذیرش نمونه‌های سس مایونز توسط مصرف‌کننده ایفا می‌کند. افزودن ژل کمپلکس سبب کاهش معنی‌دار L\* در

بعنوان جایگزین چربی نیز توسط Worrasinchai et al (2006) گزارش شده است.

شاخص  $b^*$  (بیانگر میزان زردی نمونه) یکی از عوامل محدود کننده تولید سس مایونز کم چرب می باشد (Batista et al., 2006) اثر اصلی افزودن ژل کمپلکس بر شاخص زردی ( $b^*$ ) سس های مایونز نیز معنی دار بود ( $P < 0.05$ ) و افزایش میزان جایگزینی منجر به کاهش میزان  $b^*$  نمونه ها گردید؛ درحالیکه افزایش نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین در ژل کمپلکس سبب افزایش شاخص زردی نمونه های سس مایونز شد (جدول ۸). مطالعات پیشین نشان می دهد که افزایش مقدار جایگزین چربی می تواند به کاهش شاخص  $b^*$  سس مایونز منجر شود (Li et al., 2014).

نمونه A1:5-B5 و پایین ترین مقدار آن (۷۳/۷) در نمونه A1:5-B25 مشاهده گردید. در مطالعات مختلف گزارش شده است که کاهش اندازه قطرات روغن سبب افزایش میزان روشنایی (تبدیل رنگ خاکستری به سفید) امولسیون می شود که این حالت به افزایش پراکندگی نور توسط ذرات ریز حاصله نسبت داده شده است (McClements, & Demetriades, 1998; Chantapornchai et al., 1999). همان طور که در بخش ویژگی های بافتی به آن اشاره شد، حضور ژل کمپلکس به عنوان جایگزین چربی در سس مایونز می تواند به تولید محصولی با اندازه قطرات بزرگتر گردد که در این حالت احتمال کاهش پراکندگی نور و در نتیجه کاهش روشنایی محصول وجود دارد. کاهش روشنایی سس مایونز کم چرب در حضور بتا-گلوکان

جدول ۷- شاخص های رنگی نمونه های سس مایونز کم چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس به عنوان جایگزین چربی

فرمولاسیون	شاخص روشنایی ( $L^*$ )	شاخص زردی ( $b^*$ )	شاخص سبز-قرمزی ( $a^*$ )
A1:5-B5	$76/9 \pm 0/3^{a*}$	$-4/8 \pm 0/1^b$	$15/7 \pm 0/3^{cd}$
A1:5-B15	$75/3 \pm 0/8^c$	$-4/5 \pm 0/1^d$	$15/6 \pm 0/1^{cd}$
A1:5-B25	$73/7 \pm 0/1^f$	$-3/9 \pm 0/1^f$	$14/4 \pm 0/1^e$
A1:10-B5	$76/1 \pm 0/3^b$	$-5/1 \pm 0/1^a$	$16/3 \pm 0/1^b$
A1:10-B15	$75/3 \pm 0/1^c$	$-4/6 \pm 0/1^{cd}$	$15/5 \pm 0/1^d$
A1:10-B25	$74/2 \pm 0/3^e$	$-4/3 \pm 0/1^e$	$15/6 \pm 0/1^d$
A1:15-B5	$76/3 \pm 0/1^b$	$-4/1 \pm 0/1^a$	$16/4 \pm 0/1^b$
A1:15-B15	$75/4 \pm 0/1^c$	$-4/6 \pm 0/1^c$	$16/1 \pm 0/1^{bc}$
A1:15-B25	$74/7 \pm 0/1^d$	$-4/6 \pm 0/1^c$	$17/3 \pm 0/1^a$

\* حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) می باشد.

جدول ۸- جدول آنالیز واریانس (ANOVA) شاخص های رنگی نمونه های سس مایونز کم چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس به عنوان جایگزین چربی

منبع	درجه آزادی (DF)	شاخص روشنایی ( $L^*$ )	شاخص سبز-قرمزی ( $a^*$ )	شاخص زردی ( $b^*$ )
مقدار ثابت معادله	۱	$102124/8^{**}$	$383/4^{**}$	$4536/3^{**}$
A	۲	$0/14^{**}$	$0/19^{**}$	$2/86^{**}$
B	۲	$7/23^{**}$	$0/72^{**}$	$0/29^{**}$
A × B	۴	$0/39^{**}$	$0/04^{**}$	$0/91^{**}$
خطا	۹	$0/011$	$0/001$	$0/019$
$R^2$		$0/99$	$0/99$	$0/98$
$R^2$ adj		$0/98$	$0/99$	$0/97$

\*\*\* و \*\* ns به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری، معنی داری در سطح  $P < 0.05$  و معنی داری در سطح  $P < 0.01$  می باشد.

A = نسبت نانو فیبر سلولز به ایزوله پروتئین سویا؛ B = نسبت جایگزینی چربی با ژل کمپلکس

## ویژگی‌های حسی

نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب حاوی ژل کمپلکس نانو فیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا در جدول ۹ آورده شده است. اگرچه اثر اصلی نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین در ژل کمپلکس بر خواص حسی محصول بی‌معنی بود ( $P > 0.05$ )، اما میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس تأثیر معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بر تمام خواص حسی مورد مطالعه مانند رنگ، ظاهر، طعم، بافت و پذیرش کلی سس مایونز نشان داد و افزایش میزان ژل سبب کاهش امتیازات حسی گردید (جدول ۱۰).

بیشترین امتیاز رنگ در نمونه‌های A1:5-B5، A1:15-B5، A1:10-B5، A1:5-B15، A1:15-B15 و A1:15-B5 (نمونه تهیه شده با ۲۵ درصد ژل کمپلکس با نسبت ۱۵:۱ نانو فیبر سلولز به پروتئین) مشاهده شد. ویژگی ظاهری نمونه‌ها نیز روند مشابهی را نشان داد. به‌طور کلی، رنگ و ظاهر نمونه‌های سس مایونز بصورت تیره و متراکم بود که با نتایج بدست آمده از آنالیز دستگامی رنگ سنجی مطابقت دارد (جدول ۷).

کاهش میزان زردی در نمونه‌های سس مایونز تولید شده با ژل کمپلکس نانوفیبر سلولز-پروتئین سویا احتمالاً مربوط به میزان رطوبت بالای سس‌های مایونز حاصله است؛ به این صورت که رطوبت بالا سبب رقیق شدن رنگدانه‌های محلول در چربی (مانند لوتئین زرده تخم‌مرغ) و متعاقباً کاهش شدت رنگ زرد نمونه‌ها می‌شود. با اینحال، نمونه سس مایونز حاوی ۲۵ درصد ژل با نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین برابر با ۱۵:۱ (A1:15-B25) بیشترین مقدار  $b^*$  را نشان داد. این حالت ممکن است ناشی از واکنش مایلارد بین غلظت بالای پروتئین و نانوفیبر سلولز تحت شرایط تهیه ژل (دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه) باشد که منجر به تولید رنگدانه‌ی قهوه‌ای رنگ شده است (Karbasi *et al.*, 2019)؛ بنابراین ژل کمپلکس بدست آمده تحت شرایط شدیدتر واکنش مایلارد ممکن است به تولید محصولی با شدت رنگ زرد بالاتر نسبت به سایر نمونه‌ها منجر شود. گزارش شده است که رقیق شدن رنگدانه‌های محلول چربی توسط رطوبت بالای سس مایونز کم‌چرب نیز سبب کاهش شاخص  $a^*$  (افزایش گرایش به سبزی) محصول تولیدی می‌گردد (Sun *et al.*, 2018) که با نتایج این تحقیق نیز همپوشانی دارد (جدول ۷).

جدول ۹- ارزیابی حسی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس به عنوان جایگزین چربی

فرمولاسیون	رنگ	ظاهر	طعم	بافت	پذیرش کلی
A1:5-B5	$4.3 \pm 0.2^a$	$4.1 \pm 0.1^a$	$4.3 \pm 0.1^a$	$4.1 \pm 0.1^a$	$4.4 \pm 0.2^a$
A1:5-B15	$3.8 \pm 0.1^{ab}$	$3.7 \pm 0.4^{ab}$	$4.1 \pm 0.1^{ab}$	$3.6 \pm 0.5^{abc}$	$3.7 \pm 0.1^{bc}$
A1:5-B25	$3.4 \pm 0.2^{bc}$	$3.1 \pm 0.1^c$	$3.7 \pm 0.2^{ab}$	$3.2 \pm 0.1^{abc}$	$3.3 \pm 0.2^{cd}$
A1:10-B5	$4.2 \pm 0.1^a$	$4.1 \pm 0.1^a$	$4.3 \pm 0.1^a$	$4.1 \pm 0.2^a$	$4.2 \pm 0.1^{ab}$
A1:10-B15	$3.4 \pm 0.1^{bc}$	$3.5 \pm 0.1^{abc}$	$4.1 \pm 0.1^{ab}$	$3.8 \pm 0.4^{abc}$	$3.6 \pm 0.1^c$
A1:10-B25	$3.5 \pm 0.3^{bc}$	$3.1 \pm 0.2^{bc}$	$3.9 \pm 0.3^{ab}$	$3.1 \pm 0.1^{bc}$	$3.1 \pm 0.1^d$
A1:15-B5	$4.3 \pm 0.2^a$	$4.1 \pm 0.1^a$	$4.1 \pm 0.3^{ab}$	$4.1 \pm 0.1^{ab}$	$4.2 \pm 0.1^{ab}$
A1:15-B15	$3.6 \pm 0.1^{abc}$	$3.6 \pm 0.1^{abc}$	$4.1 \pm 0.1^{ab}$	$3.4 \pm 0.2^{abc}$	$3.9 \pm 0.1^{cd}$
A1:15-B25	$3.1 \pm 0.1^c$	$3.1 \pm 0.1^c$	$3.3 \pm 0.5^b$	$3.1 \pm 0.1^c$	$3.3 \pm 0.1^{cd}$

\* حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) می‌باشد.

جدول ۱۰ - جدول آنالیز واریانس (ANOVA) ویژگی‌های حسی نمونه‌های سس مایونز کم چرب حاوی مقادیر مختلف ژل کمپلکس به عنوان جایگزین چربی

منبع	درجه آزادی (DF)	ظاهر	رنگ	بافت	پذیرش کلی	طعم
مقدار ثابت معادله	۱	۲۳۰/۸ E۳ **	۲۵۲/۱ E۳ **	۲۳۲/۵ E۳ **	۲۴۵/۶ E۳ **	۲۸۵/۵ E۳ **
A	۲	۰/۰۶۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۶۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۶۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۴۴ <sup>ns</sup>
B	۲	۱/۰۵۱ <sup>**</sup>	۱/۲۷۷ <sup>**</sup>	۱/۴۵۳ <sup>**</sup>	۱/۸۳۴ <sup>**</sup>	۰/۴۹۲ <sup>**</sup>
A × B	۴	۰/۰۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۵۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۰ <sup>ns</sup>
خطا	۹	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۵۷	۰/۰۱۸	۰/۰۵۴
R <sup>2</sup>		۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۷۵
R <sup>2</sup> adj		۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۹۲	۰/۵۹

\*\*\* و \*\* و ns به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح  $P < 0.05$  و معنی‌داری در سطح  $P < 0.01$  می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، افزودن ژل کمپلکس نانوفیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا بعنوان جایگزین چربی سبب کاهش پایداری فیزیکی و حرارتی، پارامترهای بافتی، حسی و رنگی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب می‌شود که این حالت به افزایش قطر قطرات روغن و افزایش رطوبت نمونه‌ها نسبت داده شد که سبب کاهش ویسکوزیته و روشنایی محصول نهایی گردید. بر اساس نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده و ارزیابی حسی، نمونه تهیه شده با غلظت کمتر ژل کمپلکس (۵ درصد) و نسبت نانوفیبر سلولز به پروتئین (۵:۱) به عنوان بهترین نمونه سس مایونز کم‌چرب انتخاب شد. بنابراین می‌توان از این ترکیب به عنوان جایگزین مناسب برای چربی در تولید سس مایونز کم‌چرب استفاده کرد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی تشکر و قدردانی نمایند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

### REFERENCES

Amiri Aghdaie, S.S., Aalami, M., & Daraie Garmh Khani, A. (2012). The use of tragacanth gum as a fat substitute on rheological properties, sensory and

از نظر طعم بیشترین امتیاز مربوط به نمونه A1:5-B5 و کمترین امتیاز مربوط به نمونه A1:15-B25 بود. با توجه به اینکه عطر و طعم غالب در مایونز مربوط به سرکه می‌باشد، بنابراین می‌توان بیان داشت که ژل کمپلکس سبب پوشش عطر و طعم سس مایونز کم‌چرب شده است. علاوه بر این، چربی نقش بسیار مهمی در طعم و احساس دهانی مطلوب سس مایونز دارد (Zareie et al., 2017)، بنابراین کاهش چربی بر طعم فرآورده نهایی نیز تأثیر منفی می‌گذارد. افزایش میزان ژل کمپلکس در سس مایونز سبب کاهش معنی‌دار امتیاز بافت محصول تولیدی گردید که همبستگی بالایی با نتایج دستگاهی بافت سنجی نشان داد (جدول ۵). امتیازات پذیرش کلی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری با افزایش میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس کاهش یافت که عمدتاً به ویژگی‌های رنگ و ظاهر نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب برمی‌گردد. نتایج این مطالعه در راستای مشاهدات Worrasinchai et al (2006) و Liu et al (2007) می‌باشد که به ترتیب اثر جایگزینی بتا-گلوکان و ژل پکتین-پروتئین آب‌پنیر بعنوان جایگزین چربی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی، بافتی و رئولوژیکی سس مایونز کم‌چرب را مطالعه کردند.

texture of low-fat myonnasie. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8(2), 180-189, (In Farsi).

Batista, A. P., Raymundo, A., Sousa, I., &



- Empis, J. (2006). Rheological characterization of coloured oil-in-water food emulsions with lutein and phycocyanin added to the oil and aqueous phases. *Food Hydrocolloids*, 20(1), 44-52.
- Chang, C., Li, J., Li, X., Wang, C., Zhou, B., Su, Y., & Yang, Y. (2017). Effect of protein microparticle and pectin on properties of light mayonnaise. *LWT-Food Science and Technology*, 82, 8-14.
- Chantrapornchai, W., Clydesdale, F., & 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(2-3), 373-382.
- Chung, C., Degner, B., & McClements, D. J. (2014). Reduced calorie emulsion-based foods: Protein microparticles and dietary fiber as fat replacers. *Food Research International*, 64, 664-676.
- Garcia, K., Sriwattana, S., No, H. K., Corredor, J. A. H., & Prinyawiwatkul, W. (2009). Sensory optimization of a mayonnaise-type spread made with rice bran oil and soy protein. *Journal of Food Science*, 74(6), S248-S254.
- Ghzaie, sh.E., Myzani, M., Pyravay Vanak, Z., & Alimi, M. (2016). Study of physicochemical and biological properties of low-fat mayonnaise formulated with potato starch as a substitute for eggs. *Food Technology and Nutrition*, 13(4), 103-111 (In Farsi).
- Golchubi, L., Alimi, M., & Yousefi, M. (2014). The effect of adding nano-fiber cellulose and arboxymethyl cellulose on physicochemical properties and sensory properties of low-fat mayonnaise. *Journal of Food Technologies*, 3(9), 23-32, (In Farsi).
- 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. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(12), 4172-4177.
- Hu, H., Wu, J., Li-Chan, E. C., Zhu, L., Zhang, F., Xu, X., . . . Pan, S. (2013). Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. *Food Hydrocolloids*, 30(2), 647-655.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Chemical tests mayonnaise, Standard Number 2454. (In Farsi)
- Karbasi, M., Askari, G., & Madadlou, A. (2019). Surface decoration of whey protein microgels through the Maillard conjugation with maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 91, 190-197.
- Khemakhem, M., Attia, H., & Ayadi, M. A. (2019). The effect of pH, sucrose, salt and hydrocolloid gums on the gelling properties and water holding capacity of egg white gel. *Food Hydrocolloids*, 87, 11-19.
- Laguna, L., Primo-Martín, C., Varela, P., Salvador, A., & Sanz, T. (2014). HPMC and inulin as fat replacers in biscuits: Sensory and instrumental evaluation. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 494-501.
- Laneuville, S., Paquin, P., & Turgeon, S. (2000). Effect of preparation conditions on the characteristics of whey protein—xanthan gum complexes. *Food Hydrocolloids*, 14(4), 305-314.
- Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A., & Bras, J. (2012). Microfibrillated cellulose—Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, 90(2), 735-764.
- Li, J., Wang, Y., Jin, W., Zhou, B., & Li, B. (2014). Application of micronized konjac gel for fat analogue in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 35, 375-382.
- Liu, H., Xu, X., & Guo, S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, 40(6), 946-954.
- McClements, D. (2000). Comments on viscosity enhancement and depletion flocculation by polysaccharides. *Food*

- Hydrocolloids*, 14(2), 173-177.
- McClements, D. J. (2004). Protein-stabilized emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9(5), 305-313.
- McClements, D. J., & Demetriades, K. (1998). An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(6), 511-536.
- Nasaruddin, F., Chin, N.L., Yusf, Y.A. (2012). Effect of processing on instrumental textural properties of traditional dodol using back extrusion. *International Journal of Food Properties*, 15(3), 495-506.
- Nawrocka, A., Szymańska-Chargot, M., Miś, A., Wilczewska, A. Z., & Markiewicz, K. H. (2017). Aggregation of gluten proteins in model dough after fibre polysaccharide addition. *Food Chemistry*, 231, 51-60.
- Rather, S. A., Masoodi, F. A., Akhter, R., Gani, A., Wani, S. M., & Malik, A. H. (2015). Effects of guar-xanthan gum mixture as fat replacer on the physicochemical properties and oxidative stability of goshtaba, a traditional Indian meat product. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2935-2946.
- Sher Mohammadi, m., Azadmard Damirchi, S., Souty Khiabani, M., & Mortazavi, S. H. (2015). The effect of adding flaxseed powder on some physico-chemical and sensory properties of low fat mayonnaise. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 24(3), 387-398 (In Farsi).
- Sun, C., Liu, R., Liang, B., Wu, T., Sui, W., & Zhang, M. (2018). Microparticulated whey protein-pectin complex: A texture-controllable gel for low-fat mayonnaise. *Food Research International*, 108, 151-160.
- Sun, L., Chen, W., Liu, Y., Li, J., & Yu, H. (2015). Soy protein isolate/cellulose nanofiber complex gels as fat substitutes: rheological and textural properties and extent of cream imitation. *Cellulose*, 22(4), 2619-2627.
- Tolouei, o., Mortazavi, S.A., Aalami. M., & Sadeghi Mahunak, A. (2012). Physicochemical properties of pectin, textural and sensory properties of low fat mayonnaise contain inulin and pectin. *Journal of Food Science and Technology Magazine*, 3(1), 35-42 (In Farsi).
- Wang, Y.-J., Maina, N. H., Ekholm, P., Lampi, A.-M., & Sontag-Strohm, T. (2017). Retardation of oxidation by residual phytate in purified cereal  $\beta$ -glucans. *Food Hydrocolloids*, 66, 161-167.
- Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S., & Jamnong, P. (2006).  $\beta$ -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 20(1), 68-78.
- Zareie, A., Ghiafeh Davoodi, M. (2017). Evaluation of physicochemical, image, textural and sensory properties of low fat mayonnaise containing melon seed flour. *Journal of Food Science and Technology*, 61(13), 165-172 (In Farsi).