



افزایش خواص ژل و ظرفیت نگهداری آب سوریمی با استفاده از امولسیون‌ها

الهه تقی تبار ملک‌شاه^{۱*}، سکینه یگانه^۲

- ۱- گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۲- گروه تکثیر و پرورش و فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*ایمیل نویسنده مسئول: etaghitabar@gmail.com

چکیده

شستشو در فرآیند تولید سوریمی مرحله‌ای حیاتی است که به‌طور مؤثر پروتئین‌های محلول در آب، رنگدانه‌ها، بوها و لیپیدها را از ماهی حذف کرده و در نتیجه کیفیت و ماندگاری ژل سوریمی را به‌طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. با این حال، حذف لیپیدها، به‌ویژه اسیدهای چرب غیراشباع، ممکن است منجر به کاهش طعم، کاهش ارزش غذایی و ایجاد طعم ناخوشایند در ژل‌های سوریمی شود. افزودن روغن مایع به‌طور مستقیم به سوریمی می‌تواند تأثیر منفی بر پیوند عرضی پروتئین‌ها در حین دناتوراسیون حرارتی داشته و موجب کاهش کیفیت ژل، نرمی بافت، ظرفیت نگهداری آب و رسوب روغن شود. در این راستا، امولسیون‌ها به‌عنوان یک راه‌حل امیدوارکننده برای افزودن روغن به سوریمی مطرح می‌شوند، چراکه می‌توانند پایداری و پراکندگی روغن مایع را بهبود بخشند. این مقاله بینش‌های جدیدی در خصوص مکانیسم ژل شدن سوریمی در اثر حرارت، ارتباط بین امولسیون‌سازی روغن مایع و توانایی تشکیل ژل سوریمی، و همچنین انواع امولسیون‌های مورد استفاده و تثبیت‌کننده‌های آن‌ها ارائه می‌دهد. افزون بر این، اثرات افزودن امولسیون بر خواص ژل سوریمی و پتانسیل کاربردی این ژل‌های پر شده با امولسیون به‌طور جامع بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که افزودن امولسیون به ژل سوریمی می‌تواند کیفیت ژل را بهبود بخشد، خواص آن را تقویت کند و اکسیداسیون چربی را کاهش دهد، در حالی که طعم و ظرفیت نگهداری آب آن نیز بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: امولسیون، ژل سوریمی، خواص ژل، ظرفیت نگهداری آب



۱- مقدمه

سوریمی یک پروتئین میوفیبریل غلیظ شده است که از گوشت ماهی از طریق چرخ کردن مکانیکی، شستشو، تصفیه و آبگیری به دست می‌آید. توانایی ژل شدن سوریمی در اثر حرارت، تولید طیف وسیعی از محصولات ژلی را امکان‌پذیر می‌کند که به دلیل محتوای پروتئین بالا و بافت ژلاتینی متمایز، محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند [1]. شستشو یک مرحله کلیدی در تولید سوریمی است که با حذف پروتئین‌ها و لیپیدهای محلول در آب از گوشت ماهی، کیفیت و ماندگاری ژل‌های سوریمی را افزایش می‌دهد [2]. با این حال، حذف لیپیدها ممکن است منجر به بافتی زبر، کاهش طعم و کاهش ارزش غذایی ژل‌های سوریمی شود [3]. بنابراین، روغن‌های مایع یا چربی‌های جامد معمولاً برای افزایش کیفیت ژل‌های سوریمی اضافه می‌شوند [4]. نکته قابل توجه این است که مصرف بیش از حد چربی‌های جامد ممکن است منجر به نگرانی‌های مختلف سلامتی شود. برعکس، روغن‌های مایع (مانند روغن‌های گیاهی یا روغن ماهی) به دلیل محتوای بالاتر اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه، گزینه‌های ارجح‌تری برای مکمل لیپید در ژل‌های سوریمی هستند [1]. متأسفانه، مطالعات فعلی نشان می‌دهد که افزودن مستقیم روغن مایع ممکن است از اتصال عرضی پروتئین میوفیبریل جلوگیری کند، تأثیر منفی بر خواص ژل‌های سوریمی داشته باشد و به طور بالقوه منجر به تخریب اکسیداتیو شود و در نتیجه کیفیت محصولات سوریمی را کاهش دهد [5].

پیش‌امولسیون‌سازی روغن مایع و پایدارکننده‌ها از طریق هم زدن شدید برای تشکیل امولسیون می‌تواند به عنوان یک رویکرد عملی برای افزایش پایداری روغن مایع و بهبود کیفیت ژل‌های سوریمی در نظر گرفته شود. در مقایسه با افزودن مستقیم روغن مایع، افزودن امولسیون امکان توزیع همگن‌تر قطرات کوچک‌تر را در ماتریس ژل سوریمی فراهم می‌کند و در نتیجه اختلالات در برهمکنش‌های پروتئین-روغن را به حداقل می‌رساند، تشکیل ساختار شبکه پروتئینی متراکم‌تر را تسهیل می‌کند و در نهایت اثرات نامطلوب روغن مایع بر کیفیت محصولات سوریمی را کاهش می‌دهد [6].

هدف از این بررسی، خلاصه‌سازی جامع مکانیسم ژل شدن سوریمی ناشی از حرارت، رابطه بین امولسیون‌سازی روغن مایع و توانایی تشکیل ژل سوریمی، و همچنین انواع امولسیون‌های موجود مورد استفاده برای افزودن روغن به ژل‌های سوریمی و پایدارکننده‌های آنها است. علاوه بر این، اثرات افزودن امولسیون بر ویژگی‌های بافت، ظرفیت نگهداری آب، توزیع آب، ریزساختار، خواص رئولوژیکی، رنگ و طعم ژل‌های سوریمی مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر این، کاربرد ژل‌های سوریمی پر شده با امولسیون در صنایع غذایی خلاصه شده است. هدف این بررسی ارائه بینش‌های نظری ارزشمند برای تسهیل توسعه محصولات سوریمی تغذیه‌ای و سلامت‌محور است.

۲- انواع امولسیون‌های موجود در ژل سوریمی

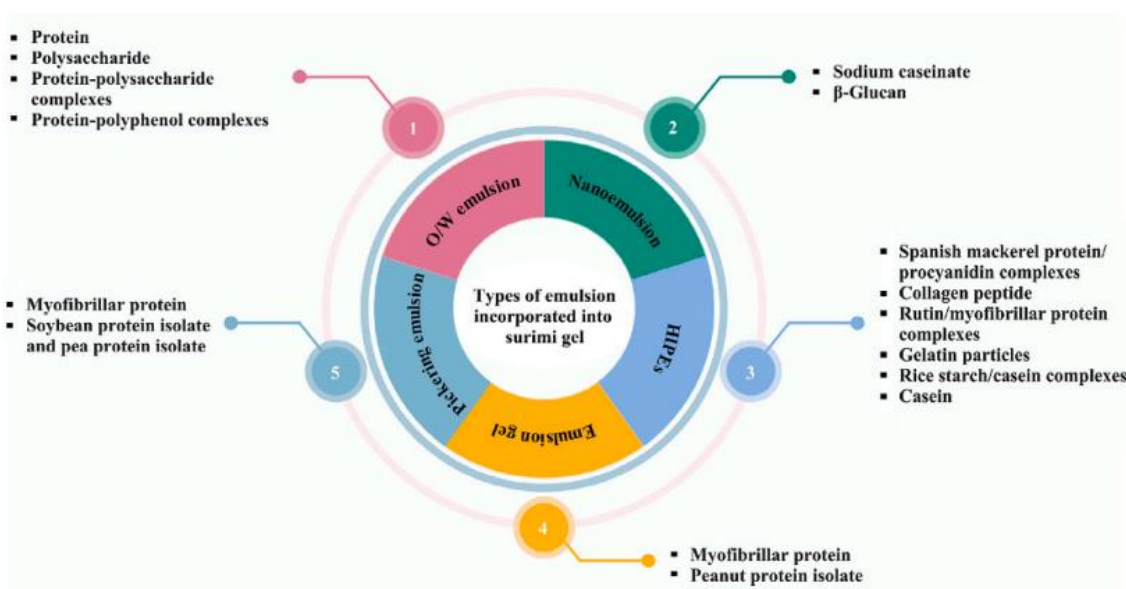
در حال حاضر، انواع اصلی امولسیون‌های موجود در ژل سوریمی شامل امولسیون O/W، امولسیون پیکرینگ، نانوامولسیون، ژل‌های امولسیونی و امولسیون با فاز داخلی بالا هستند (شکل ۱).

۲-۱- امولسیون O/W

امولسیون O/W یک سیستم پراکندگی است که با ترکیب فاز روغنی در فاز آبی با کمک یک امولسیفایر تشکیل می‌شود. تحقیقات قبلی نشان داده است که افزودن امولسیون O/W منجر به پراکندگی همگن قطرات کوچک روغن در ژل‌های



سوریمی می‌شود، در حالی که ساختار شبکه‌ای، استحکام ژل و ظاهر سفید آنها حفظ می‌شود. استفاده از امولسیون O/W به عنوان جایگزینی برای روغن مایع، یک استراتژی عملی برای تولید محصولات سوریمی با کیفیت بالا با حداقل تغییرات در ترکیب اصلی آنها ارائه می‌دهد [7]. برای مثال اثرات مفید افزودن امولسیون O/W بر پایه نشاسته ذرت مومی ۱۰٪ یا امولسیون O/W بر پایه نشاسته آمیلوز بالا ۱۵٪ بر قدرت ژل، سفیدی، ظرفیت نگهداری آب، بافت و خواص حسی ژل سوریمی مورد مطالعه قرار گرفت [8]. افزودن ۵٪ امولسیون O/W بر پایه دی‌آسیل‌گلیسرول به سوریمی منجر به بهبود قابل توجه خواص ژل و جبران از دست دادن چربی در طول فرآیند شستشو شد [9]. مقادیر محدود امولسیون O/W حاوی روغن دانه گلرنگ به طور یکنواخت در ساختار ژل سوریمی به صورت قطرات ریز پراکنده می‌شوند و منجر به یک شبکه سه بعدی متراکم از ژل‌ها با ظرفیت نگهداری آب استثنایی می‌شوند. علاوه بر این، وجود قطرات امولسیون شده در ساختار ژل می‌تواند لیپوکسیژناز را فعال کند و منجر به افزایش تولید اجزای فرار در ژل سوریمی شود [10].



شکل ۱: انواع امولسیون‌های موجود در ژل سوریمی و پایدارکننده‌های مورد استفاده برای تهیه امولسیون.

۲-۲- امولسیون پیکرینگ^۱

امولسیون پیکرینگ یک امولسیون ویژه O/W است که به جای امولسیفایرهای مولکولی مرسوم، توسط ذرات جامد تثبیت می‌شود. جذب ذرات جامد در سطح مشترک معمولاً برگشت‌ناپذیر در نظر گرفته می‌شود، که عمدتاً به دلیل انرژی دفع بالای آنها از سطح مشترک است که به طور قابل توجهی از انرژی حرارتی بیشتر است. به طور کلی، ذرات جامد می‌توانند یک لایه سطحی متراکم در اطراف قطرات روغن تشکیل دهند و به طور مؤثر از طریق موانع مکانیکی و ممانعت فضایی، از انعقاد و رسیدن استوالد جلوگیری کنند و در نتیجه پایداری امولسیون‌های پیکرینگ را بهبود بخشند [11]. در مرجع [12] کشف

¹ Pickering emulsion



کردند که امولسیون پیکرینگ تهیه شده با استفاده از پروتئین میوفیبریلار، مقادیر پتانسیل زتای مطلق بسیار بالایی را نشان می‌دهد و قطرات کوچک را به طور یکنواخت توزیع می‌کند. مهم‌تر از آن، افزودن ۵۰ گرم بر کیلوگرم امولسیون پیکرینگ تثبیت‌شده با پروتئین میوفیبریل، به طور قابل توجهی استحکام ژل، سفیدی و ظرفیت نگهداری آب ژل سوریمی را بهبود بخشید. در یک کار دیگر، افزودن امولسیون پیکرینگ تثبیت‌شده با ایزوله پروتئین سویا به ژل سوریمی، به طور موثری اثرات نامطلوب ناشی از افزودن مستقیم روغن ماهی خاویاری بر کیفیت ژل سوریمی را کاهش داد و در نتیجه تشکیل یک ساختار شبکه ژل همگن‌تر و فشرده‌تر را تسهیل کرد. این رویکرد به طور قابل توجهی خواص بافتی ژل سوریمی را افزایش داد، پایداری انجماد-ذوب آن را افزایش داد و اکسیداسیون لیپید را کاهش داد [13].

۲-۳- نانوامولسیون

نانوامولسیون با اندازه قطرات از ۲۰ نانومتر تا ۲۰۰ نانومتر مشخص می‌شود و معمولاً ظاهری شفاف یا نیمه‌شفاف از خود نشان می‌دهد. مزایای نانوامولسیون نسبت به امولسیون مرسوم از توانایی آن در کاهش اثرات نیروهای گرانشی بر قطرات ناشی می‌شود و در نتیجه از خامه‌ای شدن و رسوب در طول نگهداری جلوگیری می‌کند [14]. یک نانوامولسیون با اندازه قطرات متوسط ۳/۸۸ نانومتر با استفاده از ۳٪ کازئینات سدیم به عنوان امولسیفایر و قرار دادن آن در معرض امواج فراصوت به مدت ۵ دقیقه تهیه شد. در مقایسه با روغن نارگیل بکر، افزودن نانوامولسیون تثبیت‌شده با کازئینات سدیم تأثیر قابل توجهی بر نیروی شکست، تغییر شکل و ثابت شکست ژل سوریمی نداشت، اما سفیدی آن را افزایش داد [15]. به طور مشابه، افزودن نانوامولسیون تثبیت‌شده با بتا-گلوکان حاوی روغن نارگیل بکر به عنوان یک استراتژی مؤثر برای افزایش خواص بافت و سفیدی ژل‌های سوریمی نشان داده شده است [16]. متعاقباً، نانوامولسیون حاوی آنتی‌اکسیدان با استفاده از بتا-گلوکان تهیه شد که تأثیر مثبتی بر استحکام ژل، نیروی شکست، ثابت شکست و مدول نگهداری ژل سوریمی داشت. مهم‌تر از آن، ژل سوریمی ترکیب‌شده با نانوامولسیون آلفا-توکوفرول یا اپی گالوکاتچین گالات (EGCG) پایداری اکسیداسیون بالاتری را نشان داد [17].

۲-۴- ژل‌های امولسیونی

ژل امولسیونی خواص بافتی جامد مانند و ساختار شبکه‌ای ژل مانند را نشان می‌دهد که به دلیل حرکت محدود قطرات روغن و انتشار اکسیژن، مزایایی نسبت به امولسیون سنتی از نظر پایداری نگهداری دارد. بر اساس وضعیت قطرات امولسیونی در ماتریس ژل، ساختارهای ژل‌های امولسیونی را می‌توان به دو نوع طبقه‌بندی کرد: ژل‌های پر شده با قطرات امولسیونی و ژل‌های متراکم شده با قطرات امولسیونی [18]. در مرجع [19] با همگن‌سازی پروتئین میوفیبریل با روغن ذرت ($\phi = 68\%$)، یک ژل امولسیونی تهیه کردند. پس از انجام عملیات حرارتی و انجماد، ژل امولسیونی مدول الاستیک بالایی از خود نشان داد. مهم‌تر از آن، ترکیب ژل امولسیونی تثبیت‌شده با پروتئین میوفیبریل در سوریمی، قطرات روغن را به طور مؤثر در ماتریس ژل پراکنده کرد و استحکام ژل سوریمی را در مقایسه با افزودن مستقیم روغن ذرت به طور قابل توجهی افزایش داد. در یک کار دیگر، یک ژل امولسیونی حاوی ۲۰ درصد وزنی ایزوله پروتئین بادام زمینی و ۵۰ درصد وزنی روغن ماهی، استحکام ژل قوی‌تر و ساختار شبکه‌ای مستحکمی را نشان داد. ژل امولسیونی تثبیت‌شده با ایزوله پروتئین بادام زمینی با پر کردن حفره‌ها و



شکاف‌های درون ماتریس پروتئین، به تراکم ژل سوریمی کمک کرد، در عین حال به عنوان مانعی در برابر از دست دادن آب نیز عمل کرد و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب آن را بهبود بخشید [20].

۲-۵- امولسیون فاز داخلی بالا

امولسیون فاز داخلی بالا^۲ (HIPE) به ژل‌های امولسیونی با بخش فاز روغنی بیش از ۷۴/۰ اشاره دارد که در آن قطرات به صورت چندضلعی‌های نامنظم اکستروده شده و به هم متصل می‌شوند تا یک ساختار شبکه‌ای ژل مانند تشکیل دهند که منجر به پایداری عالی می‌شود [21]. در ژل‌های سوریمی، HIPE ها می‌توانند به عنوان حامل‌های ایده‌آل برای کپسوله کردن روغن مایع در نظر گرفته شوند و به طور بالقوه اختلال در ساختار شبکه ژل پروتئین میوفیبریلار را به حداقل برسانند. به عنوان مثال، مرجع [22] گزارش دادند که ترکیب HIPE های تثبیت‌شده با پروتئین میوفیبریلار روتین^۳/کپور علفخوار به عنوان پرکننده در ژل سوریمی می‌تواند استحکام ژل، سختی، قابلیت جویدن و ظرفیت نگهداری آب آن را افزایش دهد. این بهبود را می‌توان به پراکندگی یکنواخت HIPE ها در شبکه ژل پروتئینی فشرده و سازمان‌یافته به شکل قطرات کوچک روغن نسبت داد. در مقایسه با ژل سوریمی پر شده با روغن کرپل قطب جنوب، افزودن HIPE های تثبیت شده با کارنین به ژل سوریمی، افزایش استحکام ژل و کاهش افت پخت را نشان داد [23]. جایگزینی چربی گوشت خوک با ۷۰٪ HIPE های تثبیت شده با کارنین یا ۵۰٪ HIPE های تثبیت شده با پروتئین ماهی کاد می‌تواند آبدار بودن کیک‌های ماهی را بدون به خطر انداختن استحکام ژل آنها افزایش دهد [24]. علاوه بر این، معرفی HIPE های پایدار تهیه شده با استفاده از ذرات ژلاتین متصل به TGase به ژل سوریمی منجر به بهبود ویژگی‌های مکانیکی شد و در نتیجه چاپ سه بعدی ظرفیت تر و تولید مدل‌های اصلاح‌شده‌تر را تسهیل کرد [1].

۳- اثرات افزودن امولسیون بر خواص ژل سوریمی

۳-۱- ویژگی‌های بافتی

ویژگی‌های بافتی به خواص فیزیکی مواد غذایی اشاره دارند که به طور قابل توجهی بر ترجیح و رفتار پذیرش مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارند. هنگام توصیف ساختار ژل سوریمی، ویژگی‌های بافتی در درجه اول شامل عواملی مانند استحکام ژل، فنی بودن، قابلیت تغییر شکل، قابلیت جویدن، انسجام، انعطاف‌پذیری و سختی هستند. این ویژگی‌ها به عنوان شاخص‌هایی برای مشاهده تغییرات ماکروسکوپی در آرایش فضایی ژل سوریمی عمل می‌کنند. ژل‌های سوریمی معمولاً یک ساختار شبکه سه‌بعدی فشرده و منظم را نشان می‌دهند که اغلب استحکام و توانایی حفظ آب قابل توجهی را به نمونه ژل می‌دهد. همزمان، این شبکه‌های یکنواخت و به هم پیوسته نقش مهمی در ایجاد ژل‌های قوی ایفا می‌کنند.

تحقیقات قبلی به طور مداوم همبستگی قوی بین بافت ژل سوریمی و محتوای پروتئین آن را نشان می‌دهد. افزودن روغن مایع به طور کلی منجر به کاهش سطح پروتئین و اختلال در ماتریس پروتئین می‌شود و در نتیجه مانع تجمع و توانایی اتصال

² High internal phase emulsion

³ rutin



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

متقابل پروتئین‌های میوفیبریلار برای تشکیل ژل سوریمی می‌شود. علاوه بر این، این قطرات روغن ذاتاً قابلیت ایجاد اختلال در پیوند دی‌سولفیدی بین پروتئین‌ها را دارند و در نهایت استحکام کششی و سفتی ژل سوریمی را به خطر می‌اندازند. کپسوله کردن امولسیون می‌تواند تا حدودی تأثیر قطرات روغن بر ساختار ژل سوریمی را بهبود بخشد. ژل سوریمی معمولاً یک ساختار شبکه‌ای فضایی را نشان می‌دهد که با ریزمنافذ توزیع شده یکنواخت مشخص می‌شود، که در آن قطرات امولسیون شده عمدتاً در حفره‌های ماتریس ژل در حالت پر شده بی‌حرکت هستند. کاهش اندازه قطرات امولسیون منجر به ادغام نزدیک‌تر با ساختار ژل در منافذ اشغال شده می‌شود و در نتیجه آسیب احتمالی ناشی از شبکه ژل پروتئین را به حداقل می‌رساند [22]. به عنوان مثال، افزودن امولسیون منجر به بهبود قابل توجه در نیروی شکست، انسجام، قابلیت جویدن، سختی و استحکام ژل سوریمی در مقایسه با ژل‌هایی شد که مستقیماً با روغن مایع غنی شده‌اند [8]. این بهبود را می‌توان به تشکیل قطرات روغن کوچک‌تر در ماتریس ژل با افزودن قطرات امولسیون شده نسبت داد که به طور مؤثر شکاف‌های موجود در ساختار شبکه ژل پروتئینی را پر می‌کنند. این قطرات امولسیون شده از طریق پیوندهای دی‌سولفیدی و برهمکنش‌های آبگریز با پروتئین میوفیبریل واکنش نشان دادند و منجر به تشکیل ساختار شبکه ژلی متراکم‌تر و افزایش استحکام ژل سوریمی در طول فرآیند گرمایش شدند. پدیده‌های مشابهی نیز در ژل سوریمی ترکیب شده با امولسیون O/W تثبیت شده با پروتئین میوفیبریل، نانوامولسیون تثبیت شده با بتا-گلوکان، ژل امولسیون تثبیت شده با ایزوله پروتئین بادام زمینی و HIPE های تثبیت شده با ذرات ژلاتین مشاهده شده است [17].

برهمکنش بین پایدارکننده‌های موجود در سطح قطرات امولسیون شده و پروتئین‌های میوفیبریلار در ماتریس ژل، تأثیر قابل‌توجهی بر ساختار شبکه و خواص بافتی ژل سوریمی دارد. به عنوان مثال، ورود امولسیون به ژل سوریمی حاوی فسفولیپید سویا منجر به کاهش قابل توجه سختی، استحکام ژل و ویسکوالاستیسیته می‌شود. علاوه بر این، این قطرات امولسیون شده، لخته‌سازی و توزیع ناهموار در ماتریس ژل را نشان می‌دهند. در مقابل، ژل‌های سوریمی حاوی امولسیون تثبیت شده توسط اوآلبومین یا سدیم اکتیل سوکسینات نشاسته، سختی، استحکام ژل و ویسکوالاستیسیته بیشتری را نشان می‌دهند. این را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که قطرات امولسیون پوشیده شده با فسفولیپید سویا به ماتریس پروتئین میوفیبریلار متصل نیستند. برعکس، اوآلبومین و نشاسته دی‌اکسید اکتیل سوکسینات با پروتئین‌های میوفیبریل در سطح مشترک کمپلکس تشکیل می‌دهند، در حالی که قطرات روغن به عنوان پرکننده‌های فعال برای تقویت شبکه ژل سوریمی عمل می‌کنند [25]. علاوه بر این، مقدار امولسیون اضافه شده و نوع روغن مایع بارگذاری شده تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های بافت ژل سوریمی دارد. عملکرد بهینه هنگام استفاده از مقدار توصیه شده امولسیون حاصل می‌شود، در حالی که بیش از این مقدار منجر به کاهش خواص بافت می‌شود. افزودن مقدار کمی امولسیون روغن بادام زمینی باعث افزایش ویژگی‌های بافت ژل سوریمی می‌شود، در حالی که افزودن بیش از حد منجر به تجمع قطرات روغن می‌شود که مانع از کپسوله شدن کامل آنها توسط لایه‌های پروتئینی و تداخل لایه‌ها می‌شود و در نتیجه بر خواص بافت ژل سوریمی تأثیر منفی می‌گذارد. افزودن چربی خوک امولسیون شده منجر به کاهش استحکام ژل، سختی و قابلیت جویدن ژل سوریمی می‌شود، که در درجه اول به دلیل تأثیر مضر آن بر اتصال عرضی زنجیره‌های سنگین میوزین و یکپارچگی ساختاری شبکه ژل است. با این حال، این اثر تضعیف‌کننده را می‌توان با معرفی TGase مهار کرد، که تشکیل یک شبکه ژل متراکم‌تر و قوی‌تر را تسهیل می‌کند و به طور مؤثر محصولات سوریمی با کیفیت بالا را تضمین می‌کند [26]. در مرجع [27] گزارش دادند که ترکیب مقدار کمی امولسیون روغن آفتابگردان (۲/۵ گرم در ۱۰۰ گرم) منجر به ژل‌های سوریمی با ظرفیت نگهداری آب و مدول نگهداری افزایش یافته می‌شود. برعکس، افزودن مقدار کمی امولسیون روغن بادام زمینی (۲/۵ گرم در ۱۰۰ گرم) محتوای پیوند دی‌سولفیدی و همچنین سطح ساختارهای β -turn و β -sheet را در ژل سوریمی حاصل افزایش داد و منجر به افزایش سختی و مقادیر



قابلیت جویدن شد. با این حال، تنها چند گزارش نشان داده‌اند که افزودن امولسیون منجر به کاهش ویژگی‌های بافت ژل سوریمی شده است که با اکثر یافته‌های تحقیقاتی در تضاد است. این تناقض ممکن است به استفاده از تثبیت‌کننده‌های مختلف در ساخت سیستم امولسیون نسبت داده شود. در این چند گزارش، پروتئین ماهیچه در درجه اول به عنوان تثبیت‌کننده برای ساخت سیستم‌های امولسیونی استفاده می‌شود که شباهت زیادی به ترکیب پروتئین سوریمی دارد. به عنوان مثال، در مرجع [19] هنگام افزودن ژل امولسیون پروتئین میوفیبریل به جای افزودن مستقیم روغن مایع، کاهش قابل توجهی در استحکام ژل و سختی ژل سوریمی مشاهده کردند. مشخص شد که این کاهش با مقدار ژل امولسیون اضافه شده نسبت معکوس دارد. دلیل احتمالی این پدیده به وجود فاز آب در ژل امولسیون پروتئین میوفیبریل نسبت داده شد که عملکرد آن را تضعیف می‌کرد. به طور مشابه، در مرجع [28] گزارش دادند که افزودن HIPE های تثبیت شده با پتید کلاژن منجر به کاهش سختی، ویسکوزیته و قابلیت جویدن ژل سوریمی می‌شود. با این حال، این ویژگی پتانسیل امیدوارکننده‌ای را برای توسعه محصولات سوریمی ترد و نرم که غنی از لیپید هستند و می‌توانند به عنوان تغذیه کاربردی برای کودکان خردسال و افراد مسن عمل کنند، ارائه می‌دهد. در مطالعه‌ای اثر افزودن امولسیون‌های روغن در آب حاوی روغن نارگیل بکر (VCO) و نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با کوئرستین بر ویژگی‌های بافتی ژل‌های سوریمی بررسی شده است. نتایج نشان داد که افزودن نانوذرات کیتوزان) با یا بدون کوئرستین (به امولسیون‌ها موجب افزایش معنی‌دار استحکام و سختی ژل‌های سوریمی شد، در حالی که تنها نانوذرات بارگذاری شده با کوئرستین کاهش جزئی در تغییر شکل هنگام شکست ایجاد کردند. این بهبودها به پایداری بیشتر امولسیون و پر شدن مؤثرتر شبکه ژل توسط نانوذرات نسبت داده می‌شود که از لخته شدن قطرات روغن جلوگیری کرده و ساختار بافتی منسجم‌تری ایجاد می‌کند [29].

افزودن امولسیون‌های روغن ماهی با فاز داخلی بالا (HIPPEs) که با ترکیب سدیم کازئینات و اسید تانیک پایدار شده‌اند، موجب بهبود قابل توجه ویژگی‌های بافتی ژل سوریمی شد. به‌ویژه، این امولسیون‌ها باعث افزایش سفتی (hardness)، کاهش شکنندگی (fracturability) و تقویت کشسانی (springiness) و چسبندگی (adhesiveness) ژل شدند. این بهبودها به دلیل شکل‌گیری شبکه ژلی منسجم‌تر ناشی از برهم‌کنش‌های بین پروتئین‌های سوریمی و اجزای امولسیون است. ترکیب اسید تانیک و سدیم کازئینات به‌عنوان پایدارکننده، با افزایش پیوندهای غیرکوالانسی و تعاملات آب‌گریز، ساختار ژل را تقویت کرده و بافت مطلوب‌تری ایجاد کرده است [30].

۳-۲- توزیع مولکول‌های آب در ژل سوریمی

NMR با میدان کم معمولاً برای توصیف توزیع مولکول‌های آب در ژل سوریمی استفاده می‌شود که شناسایی حالت‌های مختلف توزیع آب (از جمله آب متصل، آب بی‌حرکت و آب آزاد) را بر اساس اندازه‌گیری‌های مساحت پیک تسهیل می‌کند و نشان‌دهنده فشردگی بین مولکول‌های آب و پروتئین‌های میوفیبریل است. آب بی‌حرکت و آب آزاد نقش مهمی در تعیین توانایی حفظ رطوبت ژل دارند. ورود روغن مایع یا امولسیون می‌تواند به طور بالقوه استحکام پیوند بین مولکول‌های آب در ژل سوریمی را تغییر دهد و در نتیجه بر حرکت آنها در این سه حالت تأثیر بگذارد [31]. افزودن مستقیم روغن مایع منجر به افزایش آب متصل و کاهش آب آزاد و آب بی‌حرکت در ژل سوریمی شد که نشان دهنده تبدیل آب بی‌حرکت و آب آزاد به آب متصل است. این پدیده را می‌توان به برهم‌کنش‌های آب‌گریز بین پروتئین‌های میوفیبریل و قطرات روغن اضافه شده نسبت داد که به عنوان پرکننده در شبکه سوریمی عمل می‌کنند و منجر به ریزساختار متخلخل ناهموار می‌شوند. پس از افزودن



امولسیون به ژل سوریمی، کاهش قابل توجهی در آب متصل و افزایش آب بی حرکت در مقایسه با افزودن روغن مایع مشاهده شد. قطرات امولسیون شده به طور یکنواخت در سراسر ماتریس سوریمی پراکنده شدند تا دخالت روغن ها در ژل شدن کاهش یابد. علاوه بر این، این قطرات امولسیون شده به طور موثری حفره های ماتریس شبکه ژل را پر کرده و با پروتئین میوفیبریل متصل شدند تا ساختار شبکه ژل متراکم تری تشکیل دهند و در نتیجه باعث افزایش حفظ مولکول های آب آزاد در شبکه ژل شوند. به عنوان مثال، افزودن HIPE های تثبیت شده با کازئین به ژل های سوریمی منجر به افزایش آب بی حرکت و کاهش آب متصل در ژل سوریمی شد [23]. پدیده مشابهی در ژل های سوریمی حاوی HIPE های تثبیت شده با پروتئین ماهی کاد مشاهده شده است [32]. با این حال، گزارش های متعددی افزایش قابل توجهی در آب متصل و آزاد در ژل سوریمی هنگام افزودن امولسیون نشان داده اند، در حالی که همزمان منجر به کاهش آب بی حرکت شده می شود. به عنوان مثال افزودن امولسیون O/W حاوی کمپلکس های ایزوله پروتئین سویا/K-کاراگینان منجر به تبدیل آب بی حرکت به آب متصل در ژل های سوریمی می شود. این پدیده را می توان به تغییرات در ترکیبات امولسیفایر و فاز روغنی نسبت داد. پدیده مشابهی در ژل های سوریمی حاوی ژل امولسیون تثبیت شده با پروتئین میوفیبریل تیلایا مشاهده شده است [19].

افزودن امولسیون های روغن ماهی با فاز داخلی بالا (HIPPEs) به ویژه ترکیب سدیم کازئینات و اسید تانیک، تأثیر قابل توجهی بر توزیع مولکول های آب در ژل سوریمی داشت. این امولسیون ها باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب (WHC) ژل ها شدند، که نشان دهنده بهبود توزیع مولکول های آب در ماتریکس پروتئینی است. وجود این امولسیون ها موجب بهبود ساختار شبکه پروتئینی و افزایش پیوندهای هیدروژنی بین پروتئین ها و مولکول های آب گردید. در نتیجه، آب بهتر در داخل ماتریکس ژل نگهداری شده و از خروج آب آزاد جلوگیری می شود [30].

۳-۳- ظرفیت نگهداری آب (WHC)

WHC ژل سوریمی به ظرفیت آن برای حفظ رطوبت در شبکه ژل اشاره دارد که یک ویژگی اساسی است که مستقیماً بر بافت، طعم و پایداری ماندگاری آن تأثیر می گذارد. معمولاً، آرایش بسیار متراکم و ساختار یافته شبکه ژل، با کاهش تحرک مولکول های آب، جذب آب را افزایش می دهد و در نتیجه WHC را بهبود می بخشد. افزودن امولسیون به ژل سوریمی، به دلیل اندازه قطرات کوچکتر و توزیع یکنواخت تر، تعامل آنها با گروه های آبدوست پروتئین را افزایش می دهد. علاوه بر این، این قطرات امولسیون شده به طور مؤثر شکاف های موجود در ماتریس پروتئین را پر می کنند و در نتیجه ساختاری متراکم تر و پایداری ایجاد می کنند. این یکپارچگی ساختاری بهبود یافته، مانع از دست رفتن آب از ژل می شود و در نتیجه WHC آن را افزایش می دهد. علاوه بر این، قطرات امولسیون موجود در ژل سوریمی می توانند با افزایش فشردگی ساختار ژل و جلوگیری مؤثر از هدر رفتن آب و مواد مغذی، به عنوان چسب عمل کنند. برای مثال، HIPE های تثبیت شده با پروتئین میوفیبریلار روتین/کپور علفخوار می توانند به طور یکنواخت در ماتریس سوریمی پراکنده شوند و یک ساختار شبکه ای فشرده تشکیل دهند که سیالیت آب را تغییر می دهد و منجر به افزایش احتباس آب آزاد در شبکه ژل می شود و در نهایت WHC ژل سوریمی را افزایش می دهد [33]. افزودن امولسیون مبتنی بر نشاسته به سوریمی منجر به تشکیل یک شبکه ژلی فشرده تر می شود که WHC آن را افزایش می دهد و در نهایت آبداری و ارزیابی طعم محصولات سوریمی را بهبود می بخشد [8]. تحقیقات انجام شده توسط مرجع [27] نیز نشان داد که افزودن امولسیون منجر به افزایش WHC ژل سوریمی می شود. افزودن امولسیون پیش ساخته روغن نارگیل حاوی پترواستیل بن و سلولز اصلاح شده با TEMPO باعث افزایش ظرفیت



نگهداری آب (WHC) در ژل‌های سوریمی شد. این بهبود عمدتاً به افزایش پایداری امولسیون، بهبود ساختار شبکه ژل و تعامل بهتر میان فاز چربی و ماتریکس پروتئینی نسبت داده شد. به واسطه حضور سلولز اصلاح‌شده با TEMPO، که خاصیت نگهداری آب بالایی دارد، و پترواستیل‌بن با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ساختار ژل تقویت شد و از خروج رطوبت جلوگیری گردید [34].

۳-۴- ریزساختار

توزیع قطرات امولسیون شده در ماتریس ژل سوریمی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشاهده شد که توضیح تغییرات در بافت ژل را تسهیل کرد. در ژل سوریمی طبیعی، پروتئین‌های میوفیبریل به صورت منظم و یکنواخت چیده شده‌اند و حس قوی لایه‌بندی فضایی و فشردگی را نشان می‌دهند که منجر به یک ساختار مشبک معمولی با سوراخ‌های کوچکتر و توزیع ناهموار می‌شود [28]. افزودن روغن مایع به ژل سوریمی باعث تشکیل سوراخ‌هایی در داخل ژل شد که احتمالاً به دلیل به دام افتادن قطرات روغن در شبکه ژل میوفیبریل است. افزایش تدریجی مقدار روغن مایع منجر به بزرگ شدن و انبساط تدریجی منافذ در ماتریس ژل شد. نکته قابل توجه این است که در مقایسه با افزودن مستقیم روغن مایع، افزودن امولسیون به طور قابل توجهی تخلخل را در ژل سوریمی کاهش داد. این امر منجر به انتقال تدریجی سوریمی از ساختار مشبک به حالت فشرده‌تر و ظریف‌تر شد، زیرا قطرات امولسیون شده به صورت قطرات کوچک با توزیع یکنواخت، شکاف‌های بین الیاف پروتئین را اشغال می‌کردند [16]. ساختار متراکم و با پیوندهای عرضی یکنواخت همچنین می‌تواند به بهبود خواص ژل و WHC ژل سوریمی کمک کند [9]. افزودن امولسیون مبتنی بر نشاسته به ژل‌های سوریمی منجر به ریزساختاری فشرده‌تر و اصلاح‌شده‌تر شد و در نتیجه استحکام ژل سوریمی پر شده با امولسیون را افزایش داد. HIPE های ساخته شده توسط کمپلکس‌های پروتئین/روتین میوفیبریلی کپور علفخوار می‌توانند به صورت یکنواخت پراکنده شوند، زیرا قطرات روغن کوچکتر در ژل شبکه پروتئینی منظم و متراکم قرار می‌گیرند، در حالی که افزودن مستقیم روغن سویا باعث تجمع قطرات روغن و اختلال در ساختار شبکه پروتئینی در ژل‌های سوریمی می‌شود. نکته قابل توجه این است که این پدیده فقط در سیستم‌های امولسیون O/W قابل اجرا است. افزودن امولسیون W/O به ژل‌های سوریمی اثرات مشابهی با افزودن روغن مایع داشت، جایی که قطرات روغن بزرگ شده در ژل‌های سوریمی ساختار شبکه را تضعیف کرده و منجر به کاهش نیروی شکست می‌شوند [8].

۳-۵- خواص رئولوژیکی

از نظر خواص رئولوژیکی، تغییر در ویسکوزیته ظاهری ژل‌های سوریمی، نشان‌دهنده خواص پیوند عرضی ساختار داخلی آنها و توانایی آنها در مقاومت در برابر تغییر شکل است [26]. ژل سوریمی با افزودن امولسیون، با افزایش سرعت برش، رفتار رقیق‌شوندگی برشی از خود نشان می‌دهد. در مقایسه با افزودن مستقیم روغن مایع، افزودن امولسیون عموماً ویسکوزیته ظاهری ژل‌های سوریمی را به دلیل اثر رقیق‌کنندگی آن بر سیستم سوریمی کاهش می‌دهد، اما قابلیت اکستروژن شدن و چاپ‌پذیری را افزایش می‌دهد [11]. ویسکوزیته ژل سوریمی با افزایش غلظت HIPE های پپتید کلاژن-روغن ماهی اضافه شده کاهش می‌یابد و در غلظت ۲۰٪ HIPE به حداقل ویسکوزیته می‌رسد [28]. پدیده مشابهی در ژل سوریمی حاوی HIPE های تثبیت شده با ذرات ژلاتین فلس ماهی مشاهده شده است [1]. مدول نگهداری (G') و مدول افت (G'') به عنوان شاخص‌های حیاتی برای توصیف تحولات ساختاری در ژل سوریمی عمل می‌کنند [34]. به طور خاص، G' بسیار مهم است زیرا منعکس‌کننده تغییرات در خواص جامد مانند الاستیسیته و تغییر شکل پذیری ژل سوریمی است. افزایش G' به معنای



افزایش قابل توجه در استحکام و الاستیسیته ژل است. ژل سوریمی اضافه شده به امولسیون، G' به طور قابل توجهی بالاتری را در مقایسه با روغن مایع نشان داد که نشان دهنده خواص ویسکوالاستیک برتر است، همانطور که در چندین گزارش برجسته شده است. این را می‌توان به اندازه قطرات کوچکتر امولسیون نسبت داد که به طور موثر فضاهای خالی درون ماتریس ژل را پر می‌کند و منجر به ساختار شبکه ژل فشرده می‌شود. در نتیجه، این قطرات کوچکتر اثرات مخرب کمتری بر تشکیل شبکه ژل دارند. برخلاف خواص بافتی، خواص رئولوژیکی می‌توانند به طور مؤثر تغییرات ساختار ژل را در دماهای مختلف در طول فرآیند گرمایش برای تشکیل ژل نشان دهند. به طور کلی، G' در طول این فرآیند به طور قابل توجهی از G'' بیشتر می‌شود که نشان دهنده تقویت تدریجی خواص جامد و توسعه تدریجی ساختار شبکه داخلی در ژل‌های سوریمی است. تجزیه و تحلیل جاروب دمایی، مشاهده تشکیل شبکه ژل را در طول گذار ژلاسیون نمونه‌های سوریمی امکان‌پذیر می‌کند. برای ژل سوریمی خالص، G' در طول دنا‌توراسیون گرمایشی سه مرحله را نشان می‌دهد. مرحله اولیه، کاهش تدریجی G' را در محدوده دمایی ۲۴ تا ۴۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد که به طور بالقوه به باز شدن پروتئین نسبت داده می‌شود. در مرحله دوم، افت سریع G' وجود دارد و با افزایش دما به حداقل خود در حدود ۵۵ درجه سانتیگراد می‌رسد. این پدیده ممکن است با شکستن پیوند هیدروژنی و تجمع پروتئین‌های میوفیبریلار مرتبط باشد. علاوه بر این، آنزیم‌های پروتئولیتیک درون‌زا می‌توانند باعث تخریب پروتئین و اختلال در یکپارچگی ساختار شبکه ژل شوند و منجر به کاهش G' شوند. در نهایت، با گرمایش بیشتر، G' دوباره افزایش می‌یابد و پروتئین از طریق تجمع و پیوند عرضی تحت القای گرما، یک ساختار شبکه ژل پایدار تشکیل می‌دهد. تغییرات مشاهده شده در G' در دماهای بالا عموماً با دنا‌توراسیون پروتئین مرتبط است. به عنوان مثال، G' در ژل سوریمی اضافه شده به امولسیون حاوی فسفات دی‌استارچ استیل‌شده یا گلوکومانان کونژاک روند مشابهی با ژل‌های طبیعی نشان داد، در حالی که در گروه ایزوله پروتئین سویا، به دلیل دنا‌توراسیون در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد شروع به کاهش کرد [36]. در مقایسه با ژل سوریمی طبیعی، افزودن HIPE تثبیت شده با پروتئین میوفیبریلار روتین/کپور علفخوار منجر به کاهش G' در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد می‌شود. با این وجود، G' به طور قابل توجهی بالاتر از ژل سوریمی است که مستقیماً با روغن سویا اضافه شده است. این را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که قطرات امولسیون کوچکتر، تشکیل شبکه ژل فشرده‌تر را تسهیل می‌کنند [22].

در آزمایش خزش، ماده تحت تنش طولانی مدت قرار می‌گیرد و تغییرات حاصل در کرنش اندازه‌گیری می‌شود. پس از یک دوره از پیش تعیین شده، تنش برداشته می‌شود و درجه بازیابی ارزیابی می‌شود. برای مواد ویسکوالاستیک، اعمال تنش باعث افزایش کرنش تا رسیدن به تغییر شکل ثابت پس از آزادسازی تنش می‌شود. بزرگی کرنش در طول فرآیند خزش، ویژگی‌های پیوند عرضی ساختار داخلی ژل سوریمی را نشان می‌دهد، در حالی که سرعت بازیابی آن نشان دهنده مقاومت آن در برابر تغییر شکل است. افزودن روغن مایع منجر به کاهش سرعت بازیابی ژل سوریمی شد، در حالی که افزودن امولسیون به طور قابل توجهی سرعت خزش ژل‌های سوریمی را کاهش داد که نشان دهنده توانایی مطلوب‌تر برای بازیابی فوری از تغییر شکل است [20]. پدیده مشابهی در ژل سوریمی با افزودن امولسیون پایدار شده با سدیم اکتیل سوکسینات و نشاسته و آل‌بومین مشاهده شده است [25].

افزودن این امولسیون باعث بهبود خواص رئولوژیکی ژل‌های سوریمی شد. بررسی رفتار ویسکوالاستیک نشان داد که با افزودن امولسیون، مدول ذخیره (G') و مدول اتلاف (G'') هر دو افزایش یافتند، که نشان‌دهنده تقویت ساختار ژل و افزایش توانایی ذخیره و انتقال انرژی مکانیکی در شبکه پروتئینی است. این تغییرات بیانگر شکل‌گیری شبکه‌ای قوی‌تر و پایدارتر در ساختار ژل می‌باشد. بهبود خواص رئولوژیکی به برهم‌کنش مناسب بین سلولز اصلاح‌شده با TEMPO، پترواستیل‌بن و



Darya Shilan Dez Co.
نمایشگاه تخصصی فروش آبزیان

همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



۰۴۲۵۰-۴۹۵۴۵



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

پروتئین‌های سوریمی نسبت داده شد، که موجب تقویت ماتریکس ژل و افزایش مقاومت آن در برابر تنش‌های وارده در طول فرآیند ژل شدن گردید [34].

افزودن این امولسیون‌ها باعث افزایش مدول ذخیره (G') و مدول اتلاف (G'') شد، که نشان‌دهنده تقویت رفتار ویسکوالاستیک و توانایی بیشتر ژل در ذخیره انرژی مکانیکی است. این بهبود رئولوژیکی به تشکیل یک شبکه ژل مستحکم‌تر و پیوسته‌تر نسبت داده شد که در آن قطرات روغن به خوبی در ماتریکس پروتئینی توزیع شده‌اند و پایداری ساختار را افزایش داده‌اند. به‌ویژه، امولسیون‌های SC/TA نسبت به گروه‌های فقط روغن یا فقط SC، عملکرد رئولوژیکی بهتری داشتند، که ناشی از تعاملات مؤثرتر بین پروتئین، امولسیفایرها و قطرات روغن در طول فرآیند ژل سازی بود [30].

۳-۶- رنگ

ظاهر کلی و پذیرش ژل سوریمی توسط مصرف‌کننده به طور قابل توجهی تحت تأثیر ویژگی‌های رنگ آن قرار دارد. رنگ‌سنج معمولاً برای تشخیص پارامترهای رنگی مانند روشنایی (L^*)، شاخص قرمزی (a^*) و شاخص زردی (b^*) استفاده می‌شود. با مقایسه نمونه با یک کنترل استاندارد، می‌توان اختلاف رنگ کل (ΔE) را تعیین کرد که شناسایی هرگونه ناهماهنگی در رنگ را تسهیل می‌کند. گزارش‌های قبلی نشان داده‌اند که افزودن امولسیون به ژل سوریمی منجر به کاهش یا افزایش مقدار L^* می‌شود. این اثر در درجه اول تحت تأثیر عواملی مانند نوع روغن مایع اضافه شده به سیستم امولسیون، ویژگی‌های رنگ ذاتی امولسیون و مقدار امولسیون اضافه شده است [9]. به عنوان مثال، در مرجع [22] مشاهده کردند که افزودن HIPE های تثبیت‌شده با پروتئین میوفیبریلار روتین/کپور علفخوار منجر به کاهش مقدار L^* ژل سوریمی شد، در حالی که مقادیر a^* و b^* افزایش قابل توجهی نشان دادند که با افزودن مستقیم روغن ماهی متفاوت بود. علاوه بر این، با افزایش مقدار HIPE، افزایش قابل توجهی در مقدار ΔE مشاهده شد که نشان می‌دهد افزودن HIPE تأثیر قابل توجهی بر رنگ ژل سوریمی داشته است. برعکس، افزودن HIPE های تثبیت‌شده با کازئین حاوی روغن کرپل قطب جنوب به ژل سوریمی باعث افزایش مقدار L^* شد. مقدار سفیدی همچنین می‌تواند به عنوان یک شاخص رنگ حیاتی برای ارزیابی کیفیت محصولات سوریمی عمل کند و سطح بالاتر آن با جذابیت بیشتر مصرف‌کننده مرتبط است [37]. تغییرات در سفیدی تحت تأثیر تغییرات در شبکه سه‌بعدی ژل سوریمی قرار دارد که ارتباط نزدیکی با فرآیندهای دناتوراسیون، تجمع و پیوند عرضی پروتئین میوفیبریلار دارد [38]. افزودن امولسیون به طور قابل توجهی مقدار سفیدی ژل سوریمی را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، این اثر با افزایش سطوح امولسیون، برجسته‌تر می‌شود. این پدیده معمولاً به پراکندگی نور ناشی از وجود امولسیون که به طور یکنواخت در سراسر ماتریس ژل پراکنده شده است، نسبت داده می‌شود [39]. علاوه بر این، به دلیل رنگ خامه‌ای ذاتی آن، ورود امولسیون به منافذ درون ژل سوریمی، پتانسیل افزایش سفیدی آن را دارد [8]. با این حال، برخی گزارش‌ها اشاره کرده‌اند که افزودن امولسیون منجر به کاهش قابل توجه در مقدار سفیدی ژل سوریمی به دلیل ویژگی‌های تثبیت‌کننده امولسیون و انواع روغن مایع مورد استفاده می‌شود [40]. به عنوان مثال، افزودن HIPE های تثبیت‌شده با پروتئین روتین/میوفیبریلار کپور علفخوار به ژل سوریمی منجر به کاهش قابل توجه در مقدار سفیدی شد که به طور بالقوه به تأثیر رنگ روتین و رنگدانه ذاتی روغن ماهی نسبت داده می‌شود [22]. افزودن امولسیون ایزوله پروتئین سویا /کاپا-کاراگینان به ژل سوریمی منجر به کاهش مقدار سفیدی ژل می‌شود [32]. مطالعه انجام شده در مرجع [24] همچنین نشان داد که افزودن امولسیون پایدار شده با ایزوله پروتئین سویا حاوی مقادیر بالای عصاره اتانولی پوسته نارگیل منجر به کاهش سفیدی ژل سوریمی شد. افزودن امولسیون‌های حاوی نانوذرات کیتوزان و کوئرستین تغییرات اندکی در پارامترهای رنگی ایجاد می‌کند.



درخشندگی (L^*) ژل‌ها با افزودن نانوذرات کمی افزایش یافت، اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. رنگ قرمز-سبز (a^*) تقریباً ثابت ماند. با این حال، در ژل حاوی نانوذرات بارگذاری شده با کوئرستین (G-NPQ)، زردی (b^*) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم کوئرستین بر این شاخص بود. همچنین، نانوذرات باعث افزایش سفیدی ژل‌ها شدند، ولی این افزایش تنها در نمونه فاقد کوئرستین (G-NP) معنی‌دار بود، زیرا زردی کوئرستین در G-NPQ این اثر را تا حدودی خنثی کرد. بنابراین، ترکیب نانوذرات و کوئرستین می‌تواند ویژگی‌های بصری ژل‌های سوریمی را تغییر دهد، اما این تغییرات عمدتاً جزئی و کنترل‌پذیر هستند [29].

این تغییرات به توزیع یکنواخت‌تر قطرات روغن و بهبود ساختار داخلی ژل نسبت داده شد، که موجب کاهش پراکندگی نور نامنظم و یکنواخت‌تر شدن ظاهر شد. همچنین در گروه SC/TA، به دلیل تشکیل شبکه متراکم‌تر و جلوگیری از تجمع قطرات روغن، تغییرات رنگی ناخواسته مانند تیرگی یا زردی کاهش یافت. بنابراین، این امولسیون‌ها با بهبود یکنواختی و شفافیت ساختار، به حفظ یا بهبود ظاهر بصری و رنگ ژل سوریمی کمک کردند [30].

۳-۷- طعم

پس از فرآیند شستشو، مشخصات طعم سوریمی نسبتاً ساده می‌شود و به طور بالقوه منجر به کاهش درک طعم توسط مصرف‌کنندگان می‌شود. ترکیب روغن‌های مایع، که حاوی ترکیبات معطر منحصر به فرد هستند، از طریق فناوری کپسوله‌سازی در ژل سوریمی برای افزایش ویژگی‌های طعم آن بسیار مهم است. امولسیون به عنوان یک وسیله مؤثر برای کپسوله کردن روغن‌های مایع در نظر گرفته شده است که نه تنها حفظ یا ترکیب ترکیبات طعم‌دهنده را تسهیل می‌کند، بلکه مقاومت آنها را در برابر تخریب حرارتی نیز افزایش می‌دهد. همزمان، ساختار فضایی متخلخل ژل سوریمی به حفظ ترکیبات طعم‌دهنده کمک می‌کند، در حالی که ماتریکس پروتئینی مکان‌های اتصال متعددی را برای این ترکیبات فراهم می‌کند. در مطالعه‌ی مرجع [41] در مجموع ۱۵ ترکیب فرار را در ژل سوریمی گزارش کردند، از جمله ۲ هیدروکربن، ۵ الکل، ۱ کتون، ۴ آلدهید و ۳ ماده دیگر. با این حال، ژل سوریمی پر شده با HIPE های حاوی روغن لیتسه‌آ کیوبا تعداد بیشتری از ترکیبات فرار (در مجموع ۳۸) را نشان داد، از جمله ۳ کتون، ۷ آلدهید، ۱۳ اولفین، ۳ ترکیب هتروسیکلیک، ۶ الکل و ۶ ماده دیگر. نکته قابل توجه این است که این ترکیبات حاوی چندین جزء فرار مانند سیترال، لینالول و سیترونلال هستند که در ایجاد طعم لیمویی دلپذیر به محصولات سوریمی نقش دارند. تغییرات قابل توجهی در خواص بوی ژل‌های سوریمی با افزودن امولسیون دی‌آسیل‌گلیسرول، به ویژه در غلظت‌های کم ۰.۵٪، مشاهده شد. در مرجع [38] همچنین افزایش قابل توجهی را در نوع و مقدار اجزای فرار، مانند هیدروکربن‌ها، الکل‌ها، آلدهیدها و کتون‌ها، در ژل‌های سوریمی پس از افزودن امولسیون روغن دانه گلرنگ گزارش کردند. در مرجع [25] همچنین نشان دادند که ژل سوریمی پر شده با امولسیون سدیم اکتیل سوکسینات حاوی فسفولیپیدهای سویا، اوآلبومین و نشاسته، در مقایسه با گروه کنترل، سطوح بالاتری از ترکیبات طعم‌دهنده را نشان می‌دهد که نشان می‌دهد امولسیون‌سازی می‌تواند یک لایه محافظ در سطح مشترک روغن-آب تشکیل دهد تا به طور مؤثر از دست دادن ترکیبات معطر را کاهش دهد.

تأثیر روغن‌های مایع بر توسعه طعم ژل سوریمی با اکسیداسیون لیپید ارتباط نزدیکی دارد. در فرآیند تهیه ژل‌های سوریمی، معمولاً از دو مرحله حرارت‌دهی استفاده می‌شود. دما در مرحله اولیه تقریباً ۴۰ درجه سانتیگراد است که ممکن



است لیپوکسیژناز باقیمانده در سوریمی را فعال کند و در عین حال از طریق روغن‌های مایع اضافه شده، سوبستراهای کافی را نیز فراهم کند. این مرحله نقش مهمی در تشکیل ترکیبات طعم‌دهنده در ژل سوریمی ایفا می‌کند. مرحله حرارت‌دهی دوم عموماً حدود ۹۰ درجه سانتیگراد حفظ می‌شود و در درجه اول شامل اکسیداسیون خودکار لیپید و واکنش میلارد است. ترکیبات کربنیل تولید شده توسط اکسیداسیون لیپید به عنوان پیش‌سازهای واکنش میلارد در ژل سوریمی عمل می‌کنند و با پپتیدهای مولکولی کوچک و اسیدهای آمینه آزاد واکنش می‌دهند تا اجزای طعم‌دهنده پیچیده‌تر و متنوع‌تری تولید کنند. این مرحله منجر به تغییرات قابل توجهی در مشخصات طعم ژل سوریمی می‌شود و افزودن بیش از حد روغن یا کنترل ناکافی بر زمان حرارت دادن می‌تواند منجر به بوهای ناخوشایند شود [42]. نکته قابل توجه این است که استفاده از HIPE ها برای کپسوله کردن روغن مایع، اثربخشی قابل توجهی در کاهش اکسیداسیون لیپیدها نشان داده است. علاوه بر این، تجمع قابل توجه HIPE ها در ژل‌های سوریمی، توزیع همگن در ماتریس را تضمین می‌کند و به طور مؤثر از تماس اکسیژن با روغن‌ها جلوگیری می‌کند و بنابراین اکسیداسیون لیپیدها را در ژل‌های سوریمی محدود می‌کند [41]. علاوه بر این، افزودن نانوامولسیون روغن نارگیل بکر تثبیت‌شده با بتا-گلوکان می‌تواند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی هضم سوریمی را افزایش دهد [17].

نتیجه‌گیری

محصولات سوریمی به دلیل طعم متمایز، محتوای پروتئین بالا و مصرف راحت، به طور گسترده توسط مصرف‌کنندگان ترجیح داده می‌شوند. با این حال، فرآیند شستشو منجر به از دست رفتن قابل توجه چربی‌های مفید، به ویژه اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود که می‌تواند بر کیفیت طعم تأثیر منفی بگذارد، شدت طعم را کاهش دهد و ارزش غذایی ژل‌های سوریمی را کم کند. افزودن مستقیم روغن مایع به ژل سوریمی تأثیر منفی بر پیوند عرضی پروتئین‌های میوفیبریل در طول دناتوراسیون حرارتی دارد و در نتیجه کیفیت محصولات ژل را کاهش می‌دهد. در مقابل، افزودن امولسیون غنی‌شده با اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه می‌تواند توزیع یکنواخت قطرات روغن را در ماتریس سوریمی افزایش دهد، در حالی که طعم، رنگ، ویژگی‌های بافت، ظرفیت نگهداری آب و خواص رئولوژیکی آن را بهبود می‌بخشد. با این حال، تحقیقات بیشتری برای تحقق کامل استفاده گسترده از ژل سوریمی پر شده با امولسیون در سیستم‌های غذایی مورد نیاز است.

اگرچه افزودن امولسیون‌ها به ژل سوریمی باعث بهبود خواص بافتی، ظرفیت نگهداری آب، رنگ و طعم می‌شود، اما رابطه پیچیده بین ویژگی‌های فیزیکی و ترکیب امولسیون‌ها هنوز مشخص نیست. نوع روغن مایع، ترکیب اسید چرب و محتوای روغن بر خواص ژل تأثیر می‌گذارند، بنابراین تحقیقات بیشتری برای درک این مکانیسم‌ها لازم است. تحقیقات آینده باید بر توسعه محصولات سوریمی غنی‌شده با مواد مغذی و بررسی تأثیر آن‌ها بر پایداری و فراهمی زیستی اجزای عملکردی تمرکز کند.



مراجع

- [1] Wang Y, Jiao X, Zhang N, Yan B, Ding H, Ye W, Huang J, Zhao J, Zhang H, Chen W, Fan D. Effects of distinct lipid phases and packaging on alleviating the quality deterioration of surimi gels during frozen storage. *Food Bioscience*, 1;58:103678, 2024.
- [2] Zhu S, Chen X, Zheng J, Fan W, Ding Y, Zhou X. Emulsion surimi gel with tunable gel properties and improved thermal stability by modulating oil types and emulsification degree. *Foods*, 11;11(2):179, 2022.
- [3] Zhao X, Wang X, Zeng L, Huang Q, Zhang J, Wen X, Xiong S, Yin T, Zhang B. Effects of oil-modified crosslinked/acetylated starches on silver carp surimi gel: Texture properties, water mobility, microstructure, and related mechanisms. *Food Research International*, 1;158:111521, 2022.
- [4] Liu Y, Tan Z, Huang Y, Liu J, Xu X, Zhu B, Dong X. pH-shift strategy improving the thermal stability and oxidation stability of rice starch/casein-based high internal phase emulsions for the application in fish cake. *Food Chemistry: X*, 30;18:100694, 2023.
- [5] Shen Z, Tian M, Wang F, Liu Y, Wu J, Li X. Enhancing freeze-thaw stability and flavor in surimi products: Impact of virgin coconut oil and fish oil incorporation. *Food Bioscience*, 1;57:103515, 2024.
- [6] Song C, Lin Y, Hong P, Liu H, Zhou C. Compare with different vegetable oils on the quality of the *Nemipterus virgatus* surimi gel. *Food Science & Nutrition*, 10(9):2935-46, 2022.
- [7] Zhang E, Zhao Y, Ren Z, Shi L, Weng W. Comparative effects of W/O and O/W emulsions on the physicochemical properties of silver carp surimi gels. *Food Chemistry: X*, 30;20:100988, 2023.
- [8] Mi H, Liang S, Chen J, Li X, Li J. Effect of starch-based emulsion with different amylose content on the gel properties of *Nemipterus virgatus* surimi. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1;259:129183, 2024.
- [9] Xu Y, Lv Y, Zhao H, He X, Li X, Yi S, Li J. Diacylglycerol pre-emulsion prepared through ultrasound improves the gel properties of golden thread surimi. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1;82:105915, 2022.
- [10] Song C, Lin Y, Hong P, Liu H, Zhou C. Low-content pre-emulsified safflower seed oil enhances the quality and flavor of the *nemipterus virgatus* surimi gel. *Gels*, 9;8(2):106, 2022.
- [11] Wang J, Cui Y, Shi L, Yang S, Qiu X, Hao G, Liu Z, Liu S, Chen Y, Weng W, Ren Z. Effect of ionic types on the characteristics of Pickering emulsions stabilized by myofibrillar proteins from hairtail (*Trichiurus lepturus*). *Lwt*, 1;189:115559, 2023.



- [12] Lin M, Cui Y, Shi L, Li Z, Liu S, Liu Z, Weng W, Ren Z. Characteristics of hairtail surimi gels treated with myofibrillar protein-stabilized Pickering emulsions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(7):4251-9, 2024.
- [13] Yuan L, Guo X, Xiong Z, Wang X, Monto AR, Jin W, Li J, Gao R. Effects of sturgeon oil and its Pickering emulsion on the quality of sturgeon surimi gel. *Food Chemistry: X*, 30;22:101451, 2024.
- [14] Shah MA, Zhang Y, Cui Y, Hu X, Zhu F, Kumar S, Li G, Kubar AA, Mehmood S, Huo S. Ultrasonic-assisted green extraction and incorporation of *Spirulina platensis* bioactive components into turmeric essential oil-in-water nanoemulsion for enhanced antioxidant and antimicrobial activities. *Food Chemistry*, 15;452:139561, 2024.
- [15] Gani A, Benjakul S. Impact of virgin coconut oil nanoemulsion on properties of croaker surimi gel. *Food Hydrocolloids*, 1;82:34-44, 2018.
- [16] Gani A, Benjakul S. Effect of β -glucan stabilized virgin coconut oil nanoemulsion on properties of croaker surimi gel. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 7;28(2):194-209, 2019.
- [17] Gani A, Benjakul S, ul Ashraf Z. Nutraceutical profiling of surimi gel containing β -glucan stabilized virgin coconut oil with and without antioxidants after simulated gastrointestinal digestion. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8):3132-41, 2020.
- [18] Lin D, Kelly AL, Miao S. Preparation, structure-property relationships and applications of different emulsion gels: Bulk emulsion gels, emulsion gel particles, and fluid emulsion gels. *Trends in Food Science & Technology*, 1;102:123-37, 2020.
- [19] Pei Z, Wang H, Xia G, Hu Y, Xue C, Lu S, Li C, Shen X. Emulsion gel stabilized by tilapia myofibrillar protein: Application in lipid-enhanced surimi preparation. *Food Chemistry*, 1;403:134424, 2023.
- [20] Yu J, Song L, Xiao H, Xue Y, Xue C. Structuring emulsion gels with peanut protein isolate and fish oil and analyzing the mechanical and microstructural characteristics of surimi gel. *Lwt*, 15;154:112555, 2022.
- [21] Liu C, Wang L, Chen H, Gao P, Xu Y, Xia W, Liu SQ. Interfacial structures and processing stability of surimi particles-konjac glucomannan complexes stabilized pickering emulsions via one-step and layer-by-layer. *Food Hydrocolloids*, 1;147:109349, 2024.
- [22] Zhang X, Xie W, Liang Q, Jiang X, Zhang Z, Shi W. High inner phase emulsion of fish oil stabilized with rutin-grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) myofibrillar protein: Application as a fat substitute in surimi gel. *Food Hydrocolloids*, 1;145:109115, 2023.



[23] Lv Y, Sun X, Jia H, Hao R, Jan M, Xu X, Li S, Dong X, Pan J. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil high internal phase emulsions improved the lipid quality and gel properties of surimi gel. *Food Chemistry*, 15;423:136352, 2023.

[24] Buamard N, Benjakul S. Effect of ethanolic coconut husk extract and pre-emulsification on properties and stability of surimi gel fortified with seabass oil during refrigerated storage. *Lwt*, 1;108:160-7, 2019.

[25] Yu J, Xiao H, Xue Y, Xue C. Effects of soybean phospholipids, ovalbumin, and starch sodium octenyl succinate on the mechanical, microstructural, and flavor properties of emulsified surimi gels. *Lwt*, 1;161:113260, 2022.

[26] Fang Q, Shi L, Ren Z, Hao G, Chen J, Weng W. Effects of emulsified lard and TGase on gel properties of threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) surimi. *Lwt*, 1;146:111513, 2021.

[27] Chen M, Wang Y, Tong Y, Zhong Q, Zhuang Y, Yang H. Physicochemical properties of surimi gel from silver carp as affected by ultrasonically emulsified vegetable oils. *International Journal of Food Properties*, 22;26(1):1214-29, 2023.

[28] Lu S, Pei Z, Lu Q, Li Q, He Y, Feng A, Liu Z, Xue C, Liu J, Lin X, Li Y. Effect of a collagen peptide–fish oil high internal phase emulsion on the printability and gelation of 3D-printed surimi gel inks. *Food Chemistry*, 15;446:138810, 2024.

[29] Alemán A, Montero MP, Ramos S, Gómez-Guillén MC. Enrichment of surimi gels with water-in-oil emulsions formulated with virgin coconut oil and quercetin-loaded chitosan nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 1;158:110497, 2025.

[30] Wang Y, Yu G, Liu Z, Shi H, Zhang X, Zhao Y, Wang J, Xia G. Effects of sodium caseinate/tannic acid stabilization of high internal phase fish oil emulsions on surimi gel properties and 3D printing quality. *LWT*, 15;220:117580, 2025.

[31] Ding J, Zhao X, Li X, Huang Q. Effects of different recovered sarcoplasmic proteins on the gel performance, water distribution and network structure of silver carp surimi. *Food Hydrocolloids*, 1;131:107835, 2022.

[32] Sun X, Lv Y, Jia H, Mráz J, Gu Y, Xu X, Li S, Dong X, Pan J. Improvement of flavor and gel properties of silver carp surimi product by Litsea cubeba oil high internal phase emulsions. *Lwt*, 15;192:115745, 2024.

[33] Zhang H, Zhang W, Zhao X, Xu X. The determination of aggregation size on the emulsion properties of myofibrillar protein. *Food Hydrocolloids*, 1;144:109015, 2023.

[34] Tian F, Chen W, Guan W, Li Y, Ni Z, Zhang C, Wang X, Cai L. The enhancement of surimi gels by utilizing coconut oil pre-emulsion loaded with pterostilbene and tempo modified cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 1;357:123488, 2025.



[35] Feng Y, Liang X, Zhang J, Kong B, Shi P, Cao C, Zhang H, Liu Q, Zhang Y. Effects of transglutaminase coupled with κ -carrageenan on the rheological behaviours, gel properties and microstructures of meat batters. *Food Hydrocolloids*, 1;146:109265, 2024.

[36] Jia R, Jiang Q, Kanda M, Tokiwa J, Nakazawa N, Osako K, Okazaki E. Effects of heating processes on changes in ice crystal formation, water holding capacity, and physical properties of surimi gels during frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 1;90:254-65, 2019.

[37] Tong Y, Wang Y, Chen M, Zhong Q, Zhuang Y, Su H, Yang H. Effect of high-content ultrasonically emulsified lard on the physicochemical properties of surimi gels from silver carp enhanced by microbial transglutaminase. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(6):2974-84, 2023.

[38] Song C, Lin Y, Hong P, Liu H, Zhou C. Low-content pre-emulsified safflower seed oil enhances the quality and flavor of the *Nemipterus virgatus* surimi gel. *Gels*, 9;8(2):106, 2022.

[39] Mi H, Yu W, Li Y, Li J, Chen J, Li X. Effect of modified cellulose-based emulsion on gel properties and protein conformation of *Nemipterus virgatus* surimi. *Food Chemistry*, 15;455:139841, 2024.

[40] Mi H, Zhang Y, Zhao Y, Li J, Chen J, Li X. Cryoprotective effect of soluble soybean polysaccharides and enzymatic hydrolysates on the myofibrillar protein of *Nemipterus virgatus* surimi. *Food Chemistry*, 15;446:138903, 2024.

[41] Sun X, Lv Y, Jia H, Mráz J, Gu Y, Xu X, Li S, Dong X, Pan J. Improvement of flavor and gel properties of silver carp surimi product by *Litsea cubeba* oil high internal phase emulsions. *Lwt*, 15;192:115745, 2024.

[42] An Y, Wen L, Li W, Zhang X, Hu Y, Xiong S. Insight into the evolution of aroma compounds during thermal processing of surimi gel from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food chemistry*, 16;374:131762, 2022.