



تولید و بررسی ویژگی‌های سیستم نوین تمایز طعم شوری توسط امولسیون دوگانه آب در روغن در آب

هادی هاشمی گهرویی<sup>۱\*</sup>، محمد هادی اسکندری<sup>۱</sup>، سید محمد هاشم حسینی<sup>۱</sup>

۱- بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	با توجه به ارتباط نزدیک بین مصرف زیاد نمک با افزایش شیوع فشار خون و بیماری قلبی عروقی در دنیا، صنعت غذای برای ایجاد غذاهایی که با انتظارات مصرف کنندگان در مورد کاهش سدیم هماهنگی بهتری داشته باشد در تلاش است. در این مطالعه از راهکار تکنیک تضاد طعم با درون‌پوشانی نمک در فاز آبی داخلی امولسیون دوگانه آب در روغن در آب ( $W_1/O/W_2$ )، به عنوان یک رویکرد فناورانه جهت کاهش سدیم مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، در فاز آبی داخلی و فاز روغنی امولسیون‌های دوگانه طراحی شده به ترتیب از غلظت‌های مختلف نمک (۰، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) و سینامالدهید (۱ درصد) به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان استفاده شد. جهت بررسی پایداری امولسیون، راندمان درون‌پوشانی و رفتار رهاشی نمک، فاز روغنی در دو حالت مایع و جامد به شکل اولئوزل تولید شد. ویژگی‌های امولسیون‌های تولیدی از نظر پایداری طی دوره نگهداری، پایداری در برابر حرارت و انجماد، رنگ، اکسیداسیون و رئولوژی بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده، نمونه امولسیونی حاوی شبکه ژلی در فاز روغنی و ۰/۷۵ درصد نمک در فاز آبی داخلی به عنوان بهترین نمونه از نظر پایداری و رفتار رئولوژیکی انتخاب شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹	
کلمات کلیدی: امولسیون دوگانه، کاهش نمک، تکنیک تضاد طعم، درک شوری، اولئوزل.	
DOI: 10.22034/FSCT.19.132.281 DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.21.4	
* مسئول مکاتبات: eskandar@shirazu.ac.ir	

## ۱- مقدمه

بر اساس توصیه‌های غذایی، مصرف بیش از حد سدیمبا حضور نمک به عنوان منبع اصلی سدیم در غذایی انسان، به یک خطر اپیدمی در جهان تبدیل شده است. استفاده از آب نمک یا پودر نمک با غلظت بالا در محصولات غذایی مختلف، از یک سو برای کنترل رشد میکروارگانیسم‌های نامطلوب و از سوی دیگر برای ایجاد عطر و طعم مطلوب، سبب شده است که خطر ابتلا به فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی-عروقی و اختلال عملکرد کلیه افزایش یابد [۱]. این امر منجر به تقاضای بیشتر مصرف‌کنندگان به دریافت محصولات غذایی کم سدیم شده است و صنعت غذایی بایست برای مطابقت با انتظارات مصرف‌کنندگان در جهت کاهش نمک در فرآورده‌های غذایی حرکت کند. اگرچه راهکارهای مختلفی برای کاهش نمک در محصولات غذایی پیشنهاد شده است، همچنان میزان متوسط مصرف نمک در جهان بیش از حد توصیه شده ۵ گرم در روز، معادل دریافت روزانه ۲ گرم سدیم، توسط سازمان بهداشت جهانی است [۲]. نقش چند منظوره نمک، پیچیدگی کاهش سدیم در رژیم غذایی را افزایش می‌دهد و علاوه بر این، راهکارهای کاهش نمک می‌بایست بدون ایجاد درک حسی در مصرف‌کنندگان و متعاقباً کاهش پذیرش محصول طراحی شود. از آنجایی که رهایش طعم از هر بافت غذایی اولین و مهمترین گام برای درک آن توسط حواس انسان و در نتیجه کمک به پذیرش محصول توسط مصرف‌کننده است، حذف، کاهش یا جایگزینی نمک در فرمولاسیون‌های غذایی به سادگی امکان پذیر نیست و پژوهش‌ها در این زمینه همچنان ادامه دارد.

از راهکارهای پیشنهاد شده جهت کاهش میزان سدیم دریافتی می‌توان به کاهش تدریجی و گام به گام غلظت نمک، استفاده از روش جایگزینی نمک سدیم کلرید با نمک‌های کلسیم، لیتیم، منیزیم و پتاسیم کلرید، تعدیل اندازه بلور نمک و توزیع ناهمگن نمک در غذاهای جامد، تکنیک تضاد طعم برای کاهش غلظت نمک سدیم کلرید در فرمولاسیون‌های غذایی بدون تاثیر در شدت درک طعم و روش نوین تکنیک تضاد طعم به وسیله درون‌پوشانی نمک در فاز آبی درونی امولسیون دوگانه آب در روغن در آب ( $W_1/O/W_2$ ) و رهایش ناگهانی آن در دهان

اشاره نمود [۳-۵]. در میان روش‌های فوق، تکنیک تضاد طعم با درون‌پوشانی نمک در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است زیرا هیچ نیازی به تغییر روش تولید و یا تهیه تجهیزات تولیدی متفاوت نیست و نمک درون‌پوشانی شده را می‌توان به سادگی همراه با سایر افزودنی‌های غذایی در هر مرحله‌ای به فرمولاسیون اضافه نمود. گرچه، عامل تعیین‌کننده موفقیت این سیستم‌ها در طراحی غذاهای کم نمک بهینه سازی فرمولاسیون از جهت حجم فازها، غلظت نمک، نوع و غلظت امولسیفایرها و ویژگی‌های رئولوژی امولسیون است [۶ و ۹]. به همین دلیل جهت استفاده از این تکنیک در فرمولاسیون‌های غذایی واقعی، و نه در مدل‌های غذایی، همچنان چالش‌هایی وجود دارد و نیاز به تحقیقات بیشتری است. در این زمینه، Kasprzak و همکاران (۲۰۱۹) امولسیون‌های پایدار آب در روغن در آب حاوی محلول نمکی داخلی را با استفاده از نشاسته برنج مومی اصلاح شده با روش غیر شیمیایی و اصلاح شده با اکتیل سوکسینیک انهیدرید (OSA)، به عنوان نمونه کنترلی، تولید کردند و رهایش نمک را طی فرایند ناپایدارشدن امولسیون ناشی از فعالیت آمیلاز در دهان بررسی کردند [۲]. نتایج این مطالعه نشان داد که کارایی این رویکرد کاهش نمک برای نشاسته برنج مومی اصلاح شده در مقایسه با امولسیون‌های پایدار شده با نشاسته اصلاح شده با OSA افزایش یافته است. ارزیابی حسی روی سوپ گوجه‌فرنگی، برای تأیید این رویکرد کاهش نمک برای یک مدل غذای واقعی، نشان داد که کاهش ۲۵ درصدی نمک در مقایسه با محصولات فعلی بریتانیا به خوبی امکان پذیر است. در سال ۲۰۱۸، Devanthi و همکارانش نیز کاربرد امولسیون دوگانه  $W_1/O/W_2$  را برای درون‌پوشانی مخمر و تلقیح پی در پی زیگوساکارومایسس روکسی و تترازنوکوکوس نمک‌دوست در مورومی طی تخمیر سس سویا را بررسی کردند که در آن میزان سدیم کلرید کاهش و یا با نمک پتاسیم کلرید جایگزین شده بود [۷]. استفاده از امولسیون دوگانه منجر به تولید مورمی با ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و فیزیکی شیمیایی مشابه با نمونه حاوی نمک بالا شد. از سوی دیگر، مورومی با نمک کاهش یافته دارای مشخصات عطر یکسانی با رایحه به دست آمده از نمونه استاندارد داشت که این نتیجه نشان دهنده امکان تولید سس سویا کم نمک بدون کاهش کیفیت آن است. در

## ۲-۱- تولید سیستم تمایز طعم شوری

ساخت امولسیون دوگانه به روش دو مرحله‌ای و با امولسیون کردن مجدد امولسیون اولیه آب در روغن ( $W_1/O$ ) انجام گرفت و ۸ فرمول مختلف مطابق با جدول ۱ و شکل ۱ تهیه شد. جهت بررسی تاثیر حالت فیزیکی فاز روغن بر رفتار رهایش نمک از ساختار امولسیونی، یک بار از روغن مایع آفتابگردان و یک بار از ژل روغن ساختار یافته یا اولئوژل در امولسیون‌سازی استفاده شد. از سوی دیگر، برای مقایسه تاثیر درون پوشانی نمک در میزان درک طعم شوری طی ارزیابی حسی، نمونه‌هایی با حضور نمک آزاد در فاز آبی خارجی نیز به عنوان کنترل، مطابق جدول ۱، طراحی شدند. جهت بررسی تاثیر سینامالدهید بر روند اکسیداسیون نیز، این ترکیب در فاز روغنی امولسیون‌ها درون‌پوشانی شد.

بدین منظور، ابتدا امولسیون اولیه با افزودن فاز آبی محتوی نمک به فاز روغنی حاوی امولسیفایر PGPR و سینامالدهید در ۷۰ درجه سلسیوس و حین همزدن مداوم ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه تهیه می‌شود. سپس از دستگاه اولتراتوراکس با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه برای ۲ دقیقه و ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه برای ۲ دقیقه دیگر جهت هموژنیزاسیون و تولید امولسیون اولیه با اندازه ذره یکنواخت استفاده شد. در تولید نمونه‌های حاوی اولئوژل، از ترکیب ژل ساز مونوگلیسیرید (MG) در فاز روغنی استفاده شد و برای حل شدن آن، فاز روغنی به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. برای تهیه امولسیون ثانویه، امولسیون اولیه پس از کاهش دما تا ۴۰ درجه سلسیوس، به تدریج به فاز آبی خارجی ( $W_2$ ) حاوی امولسیفایر نشاسته اصلاح شده با OSA با حذف شاخه‌های جانبی (۴٪)، حین هم زدن در ۸۰۰ دور در دقیقه اضافه شد و سپس هموژنیزاسیون ثانویه توسط دستگاه اولتراتوراکس در ۱۳۰۰۰ دور بر دقیقه برای ۲ دقیقه و ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه برای ۲ دقیقه انجام گردید. نمونه‌های شاهد بدون نمک و اسانس نیز مطابق با جدول ۱ فرموله شدند. تمامی نمونه‌ها پس از تولید در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند و ویژگی‌های آنها طی ۱۴ روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعه دیگری توسط Chiu و همکارانش (۲۰۱۷)، سدیم (نمک) درون فاز آب داخلی امولسیون‌های غذایی  $W_1/O/W_2$  پایدار شده با ذرات نشاسته، با هدف افزایش درک شدت طعم شوری درون‌پوشانی شد [۸]. نتایج این بررسی نشان داد که در حالی که افزایش سطوح تیمار OSA باعث افزایش پایداری امولسیون می‌شود، سطوح متوسط یا پایین اصلاح نشاسته منجر به افزایش شوری خواهد شد. بنابراین نشاسته اصلاح شده با ۱/۵ درصد OSA برای تحویل سدیم و با ۲٪ OSA برای تحویل سدیم در سیستم‌هایی که به پایداری فرآیند بیشتری نیاز دارند پیشنهاد شد. همچنین، Noort و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که روش تضاد طعم در نان با درون‌پوشانی نمک می‌تواند درک شوری را افزایش دهد و بدین وسیله میزان نمک را تا ۵۰٪ با حفظ ویژگی‌های حسی مطلوب نان، کاهش دادند [۹].

بنابراین با توجه به مطالعات موجود در حوزه کاهش مصرف نمک، استفاده از تضاد طعم برای کاهش محتوای مزه و در عین حال حفظ شدت طعم یک دستاورد مهم محسوب می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده، تاکنون تاثیر حالت فیزیکی فاز روغنی در امولسیون دوگانه بر رفتار نمک درون‌پوشانی شده گزارش نشده است. بر این اساس، در این مطالعه هدف بررسی تاثیر ژل شدن فاز روغنی در امولسیون دوگانه آب در روغن در آب جهت طراحی یک سیستم تمایز طعم جدید بود که بتوان به کمک آن با کاهش محتوای نمک درون پوشانی شده در فاز آبی داخلی امولسیون، شدت طعم شوری مطلوب را حفظ نمود. علاوه بر این، سینامالدهید به عنوان یک ترکیب اکسیدانی طبیعی در فاز روغنی امولسیون درون‌پوشانی شد و پایداری اکسیداسیون سیستم‌های تحویل نمک نیز مورد بررسی قرار گرفت.

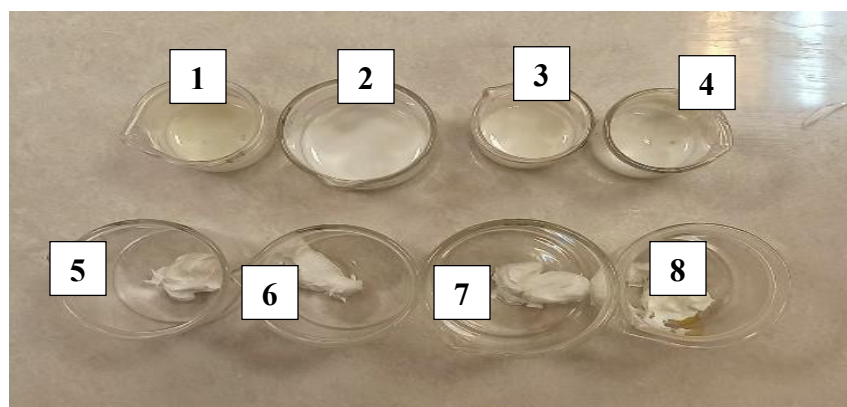
## ۲- مواد و روش‌ها

روغن مایع آفتابگردان (فریکو، ایران)، سینامالدهید (مرک، آلمان)، PGPR (دنيسكو، دانمارک)، مونوگلیسیرید (هنان، چین) خریداری شد. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده با گرید آزمایشگاهی تهیه شد.

**Table 1** Formulation and production conditions of produced double emulsion samples

Sample	Oil type	W <sub>1</sub>		O			W <sub>2</sub>			
		Water (g)	Salt (g)	Oil (g)	PGPR (g)	MG (g)	Water (g)	Modified starch (g)	Salt (g)	
1	1% salt in external	Liquid	20	-	74	6	-	137.5	10	2.5
2	1% salt in internal	Liquid	17.5	2.5	74	6	-	140	10	-
3	0.75% salt in internal	Liquid	18.125	1.875	74	6	-	140	10	-
4	0.5% salt in internal	Liquid	18.75	1.25	74	6	-	140	10	-
5	1% salt in external	Solid	20	-	66	6	8	137.5	10	2.5
6	1% salt in internal	Solid	17.5	2.5	66	6	8	140	10	-
7	0.75% salt in internal	Solid	18.125	1.875	66	6	8	140	10	-
8	0.5% salt in internal	Solid	18.75	1.25	66	6	8	140	10	-

1) 1% salt in W<sub>2</sub> + liquid oil, 2) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 3) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 4) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 5) 1% salt in W<sub>2</sub> + solid oil, 6) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 7) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 8) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.



**Fig 1** Appearance of double emulsion samples

1) 1% salt in W<sub>2</sub> + liquid oil, 2) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 3) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 4) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 5) 1% salt in W<sub>2</sub> + solid oil, 6) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 7) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 8) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.

امولسیون در یک فالکون ۱۵ میلی لیتری ریخته شد و سپس در ۱۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلیسیوس سانتریفیوژ شد و میزان آب جدا شده طی ۷ روز نگهداری اندازه گیری و میزان آب بر حسب درصد

۲-۲- بررسی ویژگی های امولسیون های دو گانه

۲-۳- پایداری طی دوره نگهداری

به منظور اندازه گیری پایداری، ۵ میلی لیتر از نمونه

گزارش شد.

## ۲-۴- پایداری تسریع یافته طی انجماد و

### انجمادزدایی

به منظور بررسی پایداری تسریع یافته، از پنج چرخه انجماد-ذوب استفاده شد. نمونه‌ها در فریزر منفی ۲۰ درجه سیلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه منجمد شدند و سپس در دمای ۷۰ درجه سیلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه انجمادزدایی صورت گرفت. پس از پایان چرخه پنجم، پایداری ظاهری نمونه‌ها از نظر هرگونه تغییر رنگ، جداسازی فازها و آب اندازی به صورت چشمی بررسی شد.

## ۲-۵- پایداری در برابر حرارت

به منظور بررسی تاثیر فرایند حرارتی، نمونه‌ها در آن ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سیلسیوس (در شرایط دمایی مشابه با شرایط سرخ کردن همبرگر) به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شده و سپس پایداری ظاهری نمونه‌ها از نظر هرگونه تغییر رنگ، جداسازی فاز و آب اندازی به صورت چشمی بررسی شد.

## ۲-۶- اندازه‌گیری رنگ

اندازه‌گیری رنگ به روش عکس برداری دیجیتال در جعبه‌ای با ابعاد ۶۰×۵۰×۵۰ (طول، عرض و ارتفاع) تحت شرایط کنترل شده انجام شد. دیوارهای داخلی این جعبه با کاغذ A4 سفید پوشانده شده و از یک لامپ کم مصرف (۶۰ وات Cixing) جهت تامین نور لازم برای عکس گرفتن استفاده شد. بعد از عکسبرداری با دوربین از نمونه‌ها، آنالیز رنگ با استفاده از نرم افزار فتوشاپ انجام گرفت. پارامترهای رنگی نمونه‌ها شامل روشنایی ( $L^*$ )، قرمزی/سبزی ( $a^*$ ) و زردی/آبی ( $b^*$ ) توسط روش عکسبرداری دیجیتالی اندازه‌گیری شد. عکاسی با استفاده از دوربین دیجیتال کانن (14 MP، توکیو، ژاپن) از نمونه‌ها انجام شد.

## ۲-۷- اکسیداسیون اولیه

اکسیداسیون اولیه نمونه‌های امولسیون با اندازه‌گیری مقادیر عدد پراکسید (PV) مورد بررسی قرار گرفت. یکی از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری فساد روغن‌های

خوراکی تعیین عدد پراکسید می‌باشد. اگر چه هیدروپراکسیدها به ترکیبات فرار و غیر فرار تجزیه می‌شوند ولی محاسبه میزان پروکسید روشی مناسب برای تخمین میزان اکسیداسیون روغن‌هاست. بدین منظور، ابتدا ۰/۳ گرم نمونه به ۱/۵ میلیلیتر مخلوط کلروفرم/متانول (۱:۱، حجمی: حجمی) برای استخراج فاز لیپیدی، اضافه شد و به مدت ۱ دقیقه به خوبی مخلوط شده و سپس در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. ۱۰۰ میکرولیتر از لایه کلروفرم شفاف با ۴/۹ میلی‌لیتر از مخلوط کلروفرم/متانول (۷:۳، حجمی: حجمی) و ۳۰ میکرولیتر محلول تیوسیانات  $Fe^{2+}$  مخلوط شد (این محلول با مخلوط کردن ۲۵ میکرولیتر محلول تیوسیانات آمونیوم (۳/۹۴ مولار) با ۲۵ میکرولیتر محلول آهن (۰/۰۷۲ مولار) تولید شد. این محلول آهنی از مایع رویی مخلوط ۲۵ میلیلیتر محلول باریم کلرید (۰/۱۳۲ مولار)، ۲۵ میلیلیتر آهن سولفات (۰/۱۴۴ مولار) و ۰/۱ میلیلیتر هیدروکلریک اسید (۱۰ مولار) به دست آمد. پس از آنکوباسیون در شرایط اتاق به مدت ۲۰ دقیقه، جذب در ۵۰۰ نانومتر در برابر یک نمونه کنترل، شامل تمام واکنش دهنده‌ها به جز نمونه هدف، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Spec1650PC, Shimadzu, Osaka, Japan) اندازه‌گیری شد. نتایج برحسب میلی‌اکی والان اکسیژن در هر کیلوگرم روغن نمونه‌ها ارائه شد [۱۰].

## ۲-۸- اکسیداسیون ثانویه

اندازه‌گیری مواد واکنش دهنده با اسید تیوباریتوریک بر اساس روش گزارش شده توسط Cui و همکاران در سال ۲۰۱۸ انجام شد [۱۱]. واکنشگر تیوباریتوریک اسید با مخلوط کردن ۰/۸۴ گرم تیوباریتوریک اسید، ۳۷/۵ گرم تری کلرو استیک اسید، ۴/۴ میلیلیتر هیدروکلریک اسید (۱۲ مولار) و ۲۰۷ گرم آب مقطر تهیه شد. سپس ۵۰ میلیلیتر از معرف تیوباریتوریک اسید تهیه شده به ۱/۵ میلیلیتر اتانول حاوی ۲ درصد بوتیلید دهیدروکسی تولوئن اضافه شد. پس از آن، حجم مساوی از این محلول به طور کامل با نمونه‌های مربوطه مخلوط شد. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سیلسیوس حرارت داده شد، سپس تا دمای ۲۵

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- پایداری طی دوره نگهداری

نتایج پایداری طی دوره نگهداری با اندازه‌گیری درصد فاز آبی جدا شده به روش سانتیفریوژی در جدول ۲ گزارش شده است. سانتیفریوژیک تکنیک جداسازی است که در جداسازی فازی دیسپرسیون‌ها، امولسیون‌ها و سایر فرمولاسیون‌ها در بسیاری از صنایع استفاده می‌شود. همه نمونه‌ها به استثنا نمونه ۱، پایداری خوبی در برابر ناپایداری‌های ترمودینامیک در طی یک هفته نگهداری نشان دادند و هیچ نشانه‌ای از دوفاز شدن و آب اندازی در آنها پس از سانتیفریوژ مشاهده نشد. این امر نشان دهنده موفقیت آمیز بودن فرمولاسیون و روش تولید امولسیون‌های دوگانه بود. حضور نمک در فاز آبی داخلی در هر سه غلظت ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد (نمونه‌های ۲، ۳ و ۴) با متعادل کردن اختلاف فشار لاپلاس بین قطرات امولسیون اولیه آب در روغن، و همچنین حفظ تعادل در اختلاف فشار اسمزی بین فازهای آبی داخلی و خارجی، نقش مهمی در جلوگیری از ادغام قطرات آب و در نتیجه ناپایداری نمونه‌ها داشت [۱۳]. علاوه بر این، گزارش شده است که حضور نمک در غلظت مناسب در فاز آبی داخلی امولسیون‌های دوگانه، کارایی امولسیفایر را با افزایش جذب امولسیفایر در سطح مشترک روغن/آب و کاهش کشش سطحی در قطرات امولسیون اولیه آب در روغن بهبود می‌دهد و به پایداری طولانی مدت نمونه‌ها حتی تحت تاثیر نیروی سانتیفریوژی کمک می‌کند [۱۴]. در نمونه‌های ۶، ۷ و ۸ علاوه بر حضور نمک در فاز آبی داخلی، ایجاد شبکه ژلی در قطرات روغنی، منجر به افزایش ویسکوزیته (متعاقبا توضیح داده خواهد شد) و کاهش سرعت حرکت قطرات شده و متعاقبا احتمال ادغام قطرات فاز آبی داخلی یا ادغام گلبول‌های چربی، تجمع و جداسازی گرانشی را کاهش داد. گیائی و همکاران (۲۰۲۱) نیز در مطالعه خود در ارتباط با تاثیر حالت فیزیکی فاز داخلی آبی و فاز روغنی امولسیون‌های دوگانه، نتایج مشابهی را گزارش کردند [۱۰]. تاثیر ژل شدن گلبول‌های چربی در قطرات امولسیون اولیه آب در روغن، با بهبود خواص ویسکوالاستیک منجر به پایداری نمونه ۵ نیز شده است. در مقابل، در نمونه ۱، به دلیل ویسکوزیته پایین و خواص ویسکوالاستیک ضعیف سیستم، ادغام

درجه سیلیسیوس سرد شد و سانتیفریوژ در ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه انجام شد. مایع رویی جمع آوری و جذب آن در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار مواد واکنش‌دهنده با اسید تیوباریتوریک با توجه به منحنی استاندارد مالون دی آلدئید محاسبه شد.

#### ۲-۹- رئولوژی

رفتار رئولوژیکی نمونه‌های ۴، ۵ و ۸ با استفاده از ویسکومتر چرخشی مدل MCR-302 مطالعه شد. از یک سیستم Peltier (Viscotherm VT2, Phar Physica) برای کنترل دمای صفحه پایین انجام شد. تست رویش کرنش<sup>۱</sup> در یک فرکانس ثابت یک هرتز، دمای ۲۵ درجه ی سلسیسیوس و محدوده کرنش برشی ۰/۱-۱۰۰٪ صورت گرفت تا محدوده ویسکوالاستیک خطی بدست آید. تست رویش فرکانس<sup>۲</sup> در محدوده بین ۰/۱ و ۱۰۰ رادیان بر ثانیه با دامنه تنش ثابت در محدوده ویسکوالاستیک خطی در دمای ۲۵ درجه ی سلسیسیوس صورت گرفت. تست رمپ دما<sup>۳</sup> در دمای بین ۲۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیسیوس در محدوده ویسکوالاستیک خطی و فرکانس یک هرتز انجام شد. محاسبات مودول افت یا ویسکوز (G'')، مودول ذخیره یا الاستیک (G')، مودول افت (tan δ) و ویسکوزیته کمپلکس (μ\*) از نمودارهای حاصل محاسبه و مقایسه شدند [۱۲].

#### ۲-۱۰- روش تحلیل داده‌ها

کلیه آزمایش‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی و حداقل در سه تکرار طراحی و انجام گرفت. داده‌های بدست آمده بر اساس میانگین ± انحراف معیار گزارش شد. میانگین نتایج با استفاده از روش تحلیل واریانس و در سطح معنی داری (P < ۰/۰۵) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و نرم افزار SAS انجام شد.

1. Stress sweep test
2. Frequency sweep test
3. Temperature ramp test

قطرات آب در روغن منجر به جداشدن ۳۱-۴۲ درصد فاز آبی طی سانتیفریوژ شده است.

**Table 2** Storage stability of taste contrast systems

Sample number	Storage (d)			
	1	2	4	7
1	100.00±0.00Aa	42.09±1.68Bb	35.63±1.51Bc	31.90±0.95Bd
2	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa
3	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa
4	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa
5	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa
6	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa
7	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa
8	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa	100.00±0.00Aa

1) 1% salt in W<sub>2</sub> + liquid oil, 2) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 3) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 4) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 5) 1% salt in W<sub>2</sub> + solid oil, 6) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 7) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 8) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.

\*Data represent mean ± standard deviation of three independent repeats.

\*\*Different capital letters in each column and lowercase ones in each row indicate significant differences (P < 0.05).

توسط گیاهی و همکاران (۲۰۲۱) بر تاثیر حالت فیزیکی فاز روغنی موجود در ساختار امولسیون‌های دوگانه گزارش شده است [۱۰]. نمونه‌های ۳ و ۴ حاوی روغن مایع و درصد پایین نمک درون پوشانی شده در فاز داخلی، پایداری نسبی از خود نشان ندادند و شواهدی از جداشدن روغن در پایان چرخه سوم انجماد-انجمادزدایی مشاهده شد که ناشی از مقاومت کم گلبول‌های چربی در حال مایع در مقابل تنش دمایی بود. ناپایدارترین نمونه، نمونه ۱ و پس از آن نمونه ۲ بود که علائم ناپایداری را از پایان چرخه نخستین انجماد-انجمادزدایی نشان دادند. این نتیجه، نشان دهنده تاثیر معنی‌داری حالت فیزیکی فاز روغنی امولسیون دوگانه بر پایداری سیستم و در نتیجه اثر محافظتی بر غلظت بهینه نمک درون‌پوشانی شده در فاز آبی داخلی بود.

### ۲-۳- پایداری تسریع یافته طی انجماد و انجمادزدایی

از آنجایی که سیستم‌های دو فاز معمولاً به ناپایداری‌های فیزیکی تمایل دارند، پایداری تسریع یافته فرمولاسیون امولسیون‌های دوگانه مورد مطالعه قرار گرفت. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، تمام نمونه‌های حاوی چربی جامد در فاز روغنی (نمونه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸)، در برابر ۵ چرخه انجماد و انجمادزدایی مقاومت بسیار خوبی را نشان دادند و هیچ علائمی از جداسازی روغن و آب و تخریب نمونه‌ها مشاهده نشد. این پایداری ناشی از ایجاد نواحی اتصال بین مولکولی مستحکم بین مولکول‌های ژلساز در فاز روغنی است که منجر به ایجاد یک شبکه ۳ بعدی و یکپارچه اولئوزولی شده [۱۵] و پایداری کل سیستم را به تنش دمایی بهبود می‌دهد. نتایج مشابهی

**Table 3** Freeze-thaw stability of taste contrast systems

Sample number	Stability against 5 cycle freeze-thaw				
	1	2	3	4	5
1	Unstable	Unstable	Unstable	Unstable	Unstable
2	Slightly Oil Separation	Slightly Oil Separation	Unstable	Unstable	Unstable
3	Stable	Stable	Slightly Oil Separation	Slightly Oil Separation	Unstable
4	Stable	Stable	Slightly Oil Separation	Slightly Oil Separation	Unstable
5	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
6	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
7	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
8	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable

1) 1% salt in W<sub>2</sub> + liquid oil, 2) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 3) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 4) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 5) 1% salt in W<sub>2</sub> + solid oil, 6) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 7) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 8) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.

### ۳-۳- پایداری در برابر حرارت

ضمن اعمال حرارت، ویسکوزیته سیستم به شدت کاهش یافته و نمونه‌ها از حالت نیمه جامد به مایع تبدیل شدند. گرچه همچنان امولسیون دوگانه پایدار باقی ماند و جداسازی فازی مشاهده نشد. از سوی دیگر، در دمای بالاتر (۱۵۰ درجه سلسیوس)، نمونه شماره ۱ ناپایدار شد و سایر نمونه‌ها نیز با تبخیر بخش اعظم فاز آبی خود، تنها به شکل یک فاز روغنی باقی ماندند.

نتایج پایداری حرارتی نمونه‌ها در دو دمای مختلف در جدول ۴ گزارش شده است. نمونه ۱ در هر دو دمای مورد مطالعه کاملاً ناپایدار بودند. در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس، نمونه‌های ۲، ۳ و ۴ کاملاً پایدار بودند و نشانه‌ای از آب اندازی و تجمع گلبول‌های چربی در سطح نمونه مشاهده نشد. در نمونه‌های ۵ تا ۸

**Table 4** Heat stability of taste contrast systems

Sample number	Heat stability	
	100 °C for 10 min	150 °C for 10 min)
1	Unstable	Unstable
2	Stable	Evaporation of water
3	Stable	Evaporation of water
4	Stable	Evaporation of water
5	Stable with change to liquid	Evaporation of water
6	Stable with change to liquid	Evaporation of water
7	Stable with change to liquid	Evaporation of water
8	Stable with change to liquid	Evaporation of water

1) 1% salt in W<sub>2</sub> + liquid oil, 2) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 3) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 4) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 5) 1% salt in W<sub>2</sub> + solid oil, 6) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 7) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 8) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.

چندانی بر رنگ امولسیون‌ها نداشت. گرچه در نمونه حاوی فاز

### ۳-۴- رنگ

روغنی مایع و ۱٪ نمک در فاز خارجی، زردی بیشتر و روشنایی کمتری مشاهده شد. این امر می‌تواند ناشی از ناپایداری نسبی این نمونه در مقایسه با سایر نمونه‌ها و تجمع قطراتی از روغن در سطح نمونه باشد که مورد عکسبرداری قرار گرفته است.

در مطالعات رنگ سنجی، هیچ اختلاف معنی‌داری بین پارامترهای روشنایی، قرمزی-سبزی، و آبی-زردی بین نمونه‌های حاوی غلظت‌های مختلف نمک در فاز آبی داخلی مشاهده نشد (جدول ۵). در نتیجه درون پوشانی غلظت‌های مختلف نمک در فاز آبی داخلی و همچنین حالت فیزیکی فاز روغنی در این نمونه‌ها، تاثیر

**Table 5** Color properties of taste contrast systems

Sample number	L*	a*	b*
1	86.67±0.58B	2.00±1.00A	25.00±1.00A
2	89.33±1.53A	2.00±1.00A	17.00±1.00B
3	89.67±1.53A	2.33±1.15A	17.00±1.00B
4	89.67±1.15A	2.00±1.00A	16.33±0.58B
5	89.67±1.53A	1.67±1.15A	17.67±0.58B
6	89.00±1.00A	2.33±1.15A	17.00±1.00B
7	90.67±0.58A	2.00±1.00A	17.33±1.15B
8	89.00±1.00A	2.00±1.00A	17.00±1.00B

1) 1% salt in W<sub>2</sub> + liquid oil, 2) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 3) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 4) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 5) 1% salt in W<sub>2</sub> + solid oil, 6) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 7) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 8) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.

\*Data represent mean ± standard deviation of three independent repeats.

\*\*Different capital letters in each column indicate significant differences (P < 0.05).

اسید تیوباریتوریک در نمونه‌های تازه امولسیون دوگانه را نشان می‌دهد. مقادیر گزارش شده حاکی از پایداری اکسیداتیو خوب

### ۳-۵- اکسیداسیون

جدول ۶ نتایج مربوط به عدد پراکسید و مواد واکنش‌دهنده با



اسیدهای چرب و تنها با افزودن مقدار مناسب ترکیب ژلساز رخ می‌دهد. بنابراین، هیچ فعل و انفعالات شیمیایی بین اجزای مختلف اولئوژل رخ نداده است و ژل در نتیجه خودآرایی مولکولی ایجاد می‌شود. به همین دلیل، با توجه به عدم تغییر پروفایل اسیدهای چرب، اختلافی بین اکسیداسیون نمونه‌های حاوی فاز روغنی مایع و ژل روغنی مشاهده نشد [۱۶].

نمونه‌ها و عدم تولید قابل توجه محصولات حاصل از اکسیداسیون اولیه و ثانویه بود. به علاوه، هیچ اختلاف معنی‌داری بین پایداری اکسیداسیون نمونه‌ها نیز مشاهده نشد. علت این امر ثابت نگه داشتن میزان فاز روغنی و پروفایل حرارتی مشابه در تمام نمونه‌ها بود. همچنین ذکر این نکته حائز اهمیت است که فرآیند تولید اولئوژل در فاز روغنی امولسیون‌های دوگانه، یک اصلاح فیزیکی است و بدون تغییر ترکیب و خواص شیمیایی

Table 6. Peroxide and TBARS of taste contrast systems

Sample number	PV (Meq O <sub>2</sub> /kg oil)	TBARS (mg malondialdehyde/kg oil)
1	0.82±0.06A	0.33±0.09A
2	0.74±0.07A	0.28±0.07A
3	0.81±0.06A	0.35±0.08A
4	0.76±0.09A	0.29±0.08A
5	0.73±0.07A	0.37±0.08A
6	0.76±0.06A	0.28±0.08A
7	0.78±0.07A	0.37±0.05A
8	0.75±0.07A	0.32±0.08A

1) 1% salt in W<sub>2</sub> + liquid oil, 2) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 3) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 4) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, 5) 1% salt in W<sub>2</sub> + solid oil, 6) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 7) 0.75% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil, 8) 0.5% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.

\*Data represent mean ± standard deviation of three independent repeats.

\*\*Different capital letters in each column indicate significant differences (P < 0.05).

است تا محل قرارگیری نمک. این یافته‌ها با گزارش‌های قبلی در مورد وابستگی قوی رفتار رئولوژیکی ساختارهای کلئوئیدی با حالت فیزیکی فازها مطابقت دارد [۱۰ و ۱۲]. از سوی دیگر نقطه تقاطع  $G'$  و  $G''$  که معادل کرنش بحرانی نمونه‌ها بود، برای نمونه‌های ۵ و ۸ به طور قابل توجهی بالاتر از نمونه ۴ بود که نشان‌دهنده حساسیت برشی کمتر و استحکام مکانیکی بیشتر امولسیون دوگانه با حضور شبکه ژلی روغنی بود. فراتراز نقطه تقاطع مدول‌ها، انتقال فاز از یک حالت ژلی جامد به یک مایع ویسکوز برای تمامی نمونه‌ها مشاهده شد که با مقادیر بالاتر  $G''$  مشهود بود (شکل ۲).

شکل ۳ نتایج تست روبش فرکانس را نشان می‌دهد. نمونه‌های ۵ و ۸ رفتارهای وابسته به فرکانس ضعیف تری نسبت به نمونه ۴ نشان دادند زیرا هر دو منحنی،  $G'$  و  $G''$  شیب‌های مثبت بسیار جزئی حتی در فرکانس‌های نوسانی بالا داشتند. مطابق شکل ۳، مقادیر مدول الاستیک در کل محدوده فرکانس مورد مطالعه برای همه نمونه‌ها بیشتر از مدول ویسکوز بود. بنابراین، عدم وجود

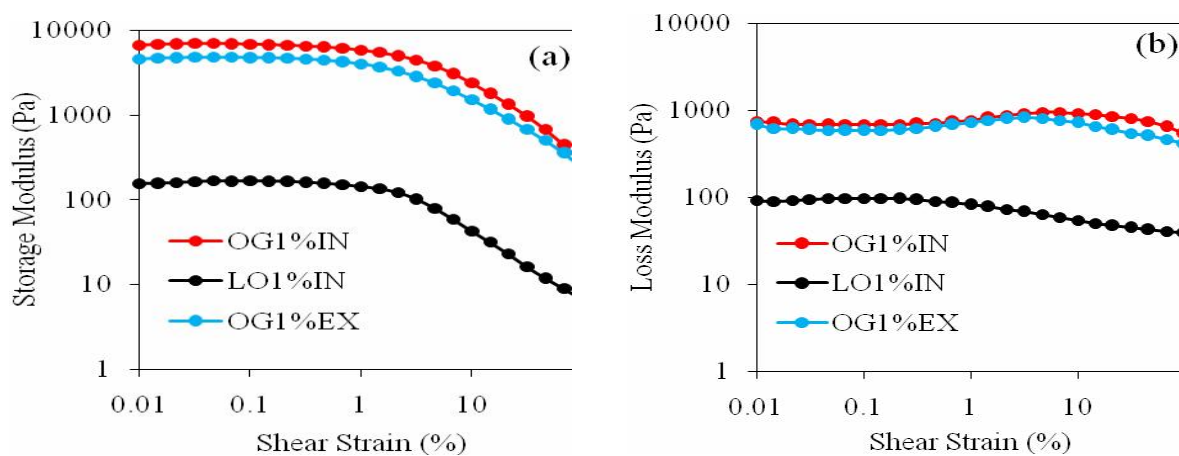
### ۳-۶- رئولوژی

نتایج تست روبش کرنش، جهت بررسی محدوده ویسکوالاستیک خطی نمونه‌ها و میزان کرنش بحرانی در محل تقاطع مدول الاستیک و ویسکوز، در شکل ۲ نشان داده شده است. در همه نمونه‌ها،  $G'$  در ابتدا بزرگتر از  $G''$  بود، که نشان‌دهنده یک رفتار الاستیک ژلی غالب در نمونه‌ها بود. گرچه، نمونه‌های ۵ و ۸ با داشتن فاز روغنی ژلی مقادیر بسیار بالاتری از مدول‌های الاستیک و ویسکوز نسبت به نمونه ۴ در کل محدوده تنش برشیمورد مطالعه نشان دادند. این امر نشان دهنده ساختار داخلی قوی‌تر و خواص ویسکوالاستیک بیشتر امولسیون‌های دوگانه با حضور شبکه اولئوژلی بود که تاییدکننده پایداری ترمودینامیک بالای این نمونه‌ها در مقایسه با ساختار امولسیون دوگانه معمولی است. حضور نمک در فاز آبی در مقایسه با فاز آبی خارجی بر میزان مدول‌های الاستیک و ویسکوز نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت. این نتیجه نشان می‌دهد که خواص رئولوژیکی امولسیون‌های دوگانه طراحی شده بیشتر تحت تأثیر حالت فیزیکی فاز روغنی

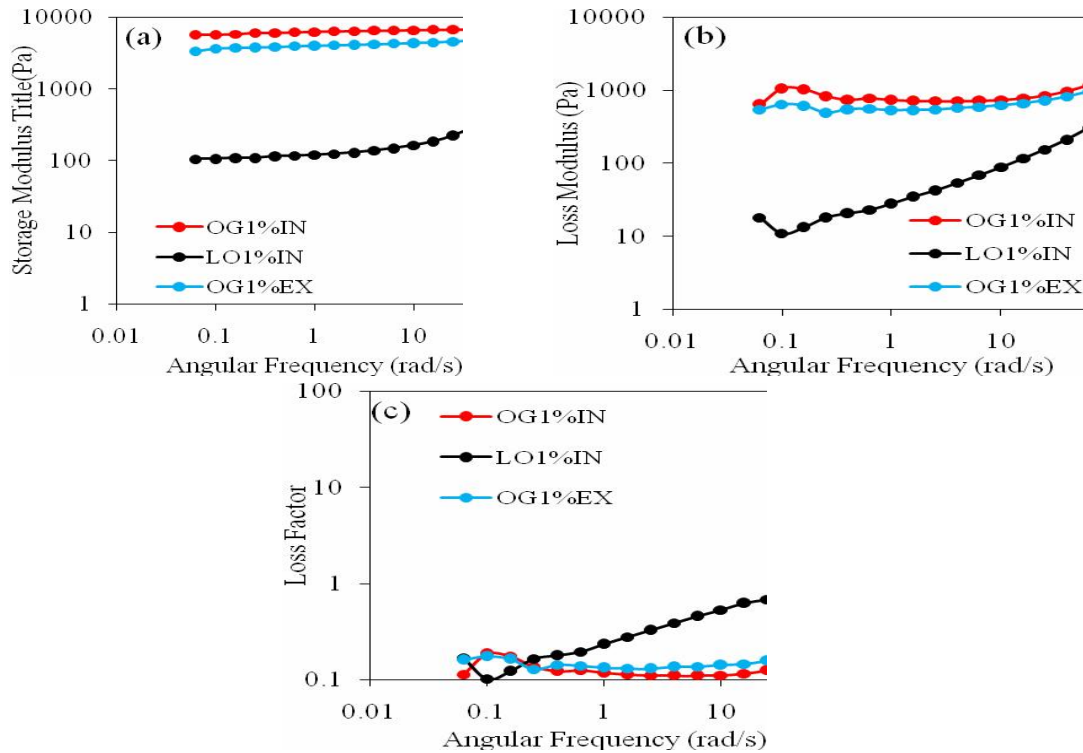
که نشاندهنده تغییر رفتار از حالت ژل به سل بود [۱۷]. در این نقطه، تخریب سریع فعل و انفعالات بین مولکولی در فاز اول ژل به دلیل ذوب مولکول‌های ژلساز مونوگلیسریدی آغاز شده که منجر به غلبه شدید رفتار ویسکوز به رفتار الاستیک می‌شود. در مقابل، در نمونه ۴ میزان هر دو مدول  $G'$  و  $G''$  طی افزایش دما تقریباً بدون تغییر باقی ماند و از این رو انتقال ژل-سل در کلمحدوده دمایی مورد آزمایش مشاهده نشد. علت این امر عدم وجود شبکه ژلی در نمونه ۴ و در نتیجه عدم انتقال فاز در اثر تغییر دما بود. به طور مشابه، مقادیر مدول افتدر نمونه ۴، هنگام گرم شدن ثابت بود در حالیکه در نمونه‌های ۵ و ۸ با ذوب شدن شبکه ژلی روغنی در دماهای بالا، افزایش شدید  $\tan \delta$  و نزدیک شدن آن به ۱، حاکی از کاهش قدرت نمونه‌ها نسبت به یک ژل واقعی بود (شکل ۳). علاوه بر این، مطابق شکل ۳، ویسکوزیته کمپلکس در نمونه ۴ وابستگی ضعیفی به تغییرات دمایی نشان داد در حالیکه در نمونه‌های ۶ و ۸ در دماهای پایین میزان ویسکوزیته کمپلکس به طور معنی داری بالاتر از نمونه ۴ بود و با افزایش بیشتر دما به دلیل ذوب شدن شبکه ژلی در فاز روغنی، شدیداً کاهش می‌یافت.

نقاط تقاطع بین مدول ذخیره و افت، ویژگی الاستیک جامد غالب آن‌ها را تایید کرد [۱۲]. از سوی دیگر، در تمام محدوده فرکانس مورد مطالعه،  $G'$  و  $G''$  در نمونه‌های حاوی شبکه ژلی روغنی بیشتر از نمونه حاوی فاز روغنی مایع بود که این مشاهده در راستای نتایج تست روبش کرنش بود و خواص ویسکوالاستیک قویتر نمونه‌های ۵ و ۸ را تایید می‌کرد. به علاوه، محل قرارگیری نمک در کل محدوده فرکانس تاثیر معنی داری بر مدول ویسکوز و الاستیک نداشت. مقادیر مدول افت ( $\tan \delta$ ) برای همه نمونه‌ها بین ۰/۱-۱ بود (شکل ۳) که گواه ساختار شبه ژلی در آنها بود. گرچه در نمونه ۵ و ۸ با افزایش فرکانس، همچنان مقادیر  $\tan \delta$  نزدیک به ۰/۱ باقی می‌ماند که شباهت زیاد ساختاری این نمونه‌ها را به ژل واقعی نشان می‌داد.

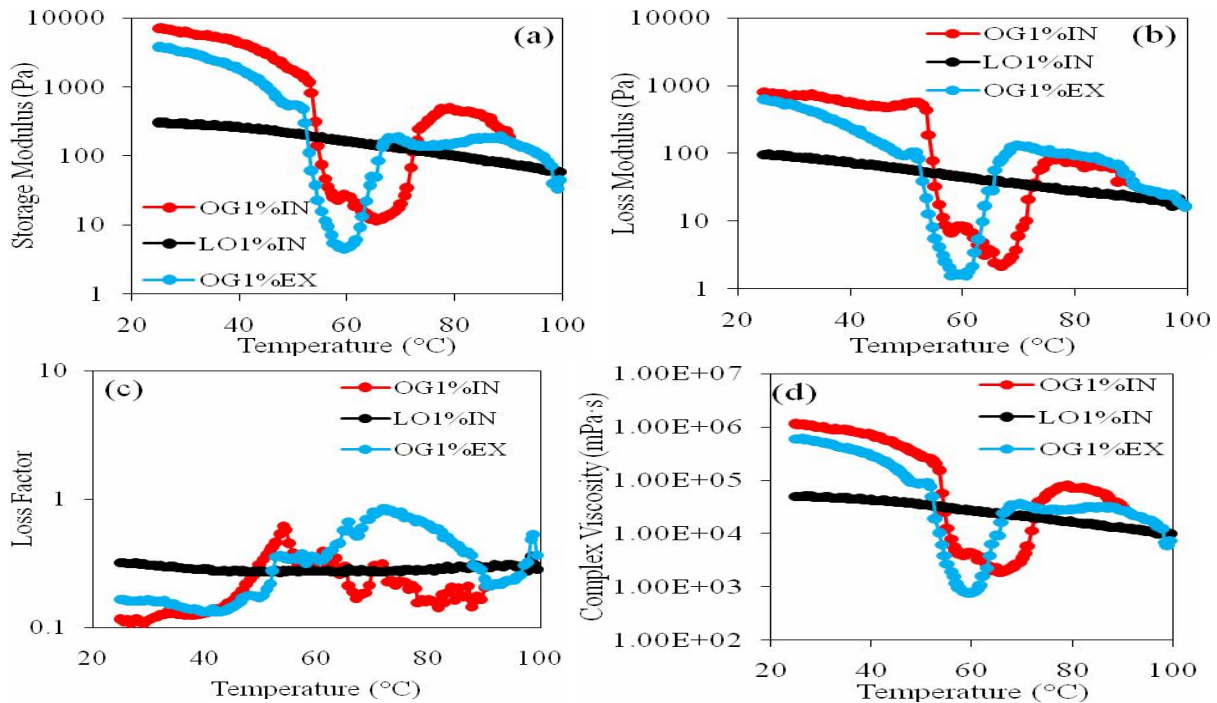
آزمایش رمپ دما برای ارزیابی رفتارهای رئولوژیکی نمونه‌ها تحت تاثیر افزایش دما تا ۱۰۰ درجه سلسیوس انجام شد. شکل ۴ رفتار وابسته به دما قوی  $G'$  و  $G''$  در نمونه‌های ۵ و ۸ را نشان می‌دهد. در دماهای پایین، مدول الاستیک بیشتر از مدول ویسکوز بود و با افزایش دما، مقادیر هر دو مدول کاهش می‌یافت، با این حال، میزان کاهش  $G'$  سریعتر از  $G''$  بود و منجر به ایجاد یک نقطه متقاطع در محدوده دمایی ۵۵-۷۰ درجه سلسیوس می‌شد



**Fig 2** Amplitude sweep test of taste contrast systems. LO1%IN) 1% salt in W<sub>1</sub>+ liquid oil, OG1%EX) 1% salt in W<sub>2</sub>+ solid oil, OG1%IN) 1% salt in W<sub>1</sub>+ solid oil.



**Fig 3** Frequency sweep test of taste contrast systems. LO1%IN) 1% salt in  $W_1$ + liquid oil, OG1%EX) 1% salt in  $W_2$  + solid oil, OG1%IN) 1% salt in  $W_1$ + solid oil.



**Fig 4** Temperature ramp of taste contrast systems. LO1%IN) 1% salt in  $W_1$ + liquid oil, OG1%EX) 1% salt in  $W_2$  + solid oil, OG1%IN) 1% salt in  $W_1$ + solid oil.

## ۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش با موفقیت از امولسیون‌های دوگانه آب در روغن در آب پایدارشده توسط شبکه اولئوزلی در فاز روغنی برای درون پوشانی نمک خوراکی و آزادسازی آن به صورت کنترل شده، جهت کاهش مصرف میزان نمک و حفظ طعم شوری استفاده شد. بدین منظور در فاز اولیه این مطالعه، تاثیر حالت فیزیکی فاز روغنی، حضور درصدهای مختلف نمک در فازآبی داخلی بر پایداری، ظرفیت درون پوشانی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی امولسیون دوگانه مورد بررسی قرار گرفت و با نمونه حاوی درصد مشخصی از نمک در فاز آبی بیرونی نیز مقایسه انجام گرفت. در بررسی پایداری طی دوره نگهداری، پایداری تسریع یافته و پایداری در برابر حرارت، نمونه حاوی ۱ درصد نمک در فاز خارجی و فاز روغنی مایع، کمترین پایداری را نشان داد. در مقابل نمونه‌های حاوی فاز روغنی ژلی در تمام سطوح نمک به خوبی پایداری خود را حفظ کردند. نمونه‌های حاوی فاز روغنی مایع و نمک درون پوشانی شده در فاز آبی داخلی نیز به طور نسبی پایدار بودند. روند پیشرفت اکسیداسیون اولیه و ثانویه نمونه‌های امولسیونی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. از نظر رفتار جریان، تمامی نمونه‌ها شبه پلاستیک بوده و ویسکوزیته نمونه‌های امولسیونی طراحی شده با شبکه ژلی روغنی به طور معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های امولسیونی معمولی با فاز روغنی مایع بود. بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌ها نشان داد که خواص ویسکوالاستیک امولسیون‌های دوگانه بیشتر تحت تأثیر حالت فیزیکی فاز روغنی است تا محل قرارگیری نمک. بدین ترتیب، مقادیر مدول الاستیک در کل محدوده فرکانس مورد مطالعه برای همه نمونه‌ها بیشتر از مدول ویسکوز بود و خواص ویسکوالاستیک قویتر نمونه‌های حاوی شبکه ژلی روغنی تایید شد. در مطالعه تاثیر دما بر ویژگی‌های رئولوژیکی، برای نمونه‌های حاوی فاز روغنی مایع تغییر رفتار از حالت ژل به سل (به عبارتی تقاطع مدول افت و ذخیره) طول کل آزمایش مشاهده نشد، در حالیکه تخریب شبکه اولئوزلی در دماهای بالا سبب تغییر غلبه رفتار ویسکوز به رفتار الاستیک در نمونه‌های طراحی شده با فاز روغنی جامد می‌شد. به طور کلی، بر اساس نتایج حاصل، نمونه امولسیونی حاوی شبکه ژلی در فاز روغنی و

۰/۷۵ درصد نمک در فاز آبی داخلی به عنوان بهترین نمونه برای تولید محصول انتخاب شد.

## ۵- تقدیر و تشکر

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح پسا دکترا جناب آقای دکتر هادی هاشمی گهرویی به شماره ۴۰۰۹۰۱ انجام شده است.

## ۶- منابع

- [1] Gaudette, N. J., Pietrasik, Z., & Johnston, S. P. (2019). Application of taste contrast to enhance the saltiness of reduced sodium beef patties. *LWT*, 116, 108585.
- [2] Kasprzak, M., Wilde, P., Hill, S. E., Harding, S. E., Ford, R., & Wolf, B. (2019). Non-chemically modified waxy rice starch stabilised wow emulsions for salt reduction. *Food & function*, 10(7), 4242-4255.
- [3] Rama, R., Chiu, N., Carvalho Da Silva, M., Hewson, L., Hort, J., & Fisk, I. D. (2013). Impact of salt crystal size on in-mouth delivery of sodium and saltiness perception from snack foods. *Journal of Texture Studies*, 44(5), 338-345.
- [4] Noort, M. W., Bult, J. H., Stieger, M., & Hamer, R. J. (2010). Saltiness enhancement in bread by inhomogeneous spatial distribution of sodium chloride. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 378-386.
- [5] Tian, X., & Fisk, I. D. (2012). Salt release from potato crisps. *Food & function*, 3(4), 376-380.
- [6] Chiu, N., Hewson, L., Fisk, I., & Wolf, B. (2015). Programmed emulsions for sodium reduction in emulsion based foods. *Food & function*, 6(5), 1428-1434.
- [7] Devanathi, P. V. P., Linforth, R., El Kadri, H., & Gkatzionis, K. (2018). Water-in-oil-in-water double emulsion for the delivery of starter cultures in reduced-salt moromi fermentation of soy sauce. *Food chemistry*, 257, 243-251.
- [8] Chiu, N., Tarrega, A., Parmenter, C., Hewson, L., Wolf, B., & Fisk, I. D. (2017).

- stability of W1/O/W2 emulsions as influenced by WPC and NaCl in inner aqueous phase. *Journal of food science and technology*, 57(9), 3482-3492.
- [14] Kanouni, M., Rosano, H., & Naouli, N. (2002). Preparation of a stable double emulsion (W1/O/W2): role of the interfacial films on the stability of the system. *Advances in Colloid and Interface Science*, 99(3), 229-254.
- [15] Ghiasi, F., Eskandari, M. H., Golmakani, M.-T., Rubio, R. G., & Ortega, F. (2021). Build-Up of a 3D Organogel Network within the Bilayer Shell of Nanoliposomes. A Novel Delivery System for Vitamin D3: Preparation, Characterization, and Physicochemical Stability. *Journal of agricultural and food chemistry*, 69(8), 2585-2594.
- [16] Thakur, D., Singh, A., Prabhakar, P. K., Meghwal, M., & Upadhyay, A. (2022). Optimization and characterization of soybean oil-carnauba wax oleogel. *LWT*, 157, 113108.
- [17] Kolawole, O. M., Lau, W. M., & Khutoryanskiy, V. V. (2019). Chitosan/ $\beta$ -glycerophosphate in situ gelling mucoadhesive systems for intravesical delivery of mitomycin-C. *International Journal of Pharmaceutics: X*, 1, 100007.
- Optimisation of octinyl succinic anhydride starch stabilised w1/o/w2 emulsions for oral destabilisation of encapsulated salt and enhanced saltiness. *Food hydrocolloids*, 69, 450-458.
- [9] Noort, M. W., Bult, J. H., & Stieger, M. (2012). Saltiness enhancement by taste contrast in bread prepared with encapsulated salt. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 218-225.
- [10] Ghiasi, F., Golmakani, M.-T., Eskandari, M. H., & Hosseini, S. M. H. (2022). Effect of sol-gel transition of oil phase (O) and inner aqueous phase (W1) on the physical and chemical stability of a model PUFA rich-W1/O/W2 double emulsion. *Food chemistry*, 376, 131929.
- [11] Cui, L., Fan, J., Sun, Y., Zhu, Z., & Yi, J. (2018). The prooxidant activity of salts on the lipid oxidation of lecithin-stabilized oil-in-water emulsions. *Food chemistry*, 252, 28-32.
- [12] Ghiasi, F., Eskandari, M. H., Golmakani, M.-T., & Hosseini, S. M. H. (2019). Development of highly stable colloidal dispersions of gelled-oil nanoparticles loaded with cuminaldehyde. *Journal of colloid and interface science*, 541, 65-74.
- [13] Wankhede, V. P., Sharma, P., Hussain, S. A., & Singh, R. R. B. (2020). Structure and



## Preparation and evaluation of novel Saltiness taste contrast system using water in oil in water double emulsion

Hashemi Gahrue, H. <sup>1</sup>, Eskandari, M. H. <sup>1\*</sup>, Hashem Hosseini, S. M. <sup>1</sup>

1. Department of Food Science and Technology, Collage of Agriculture, Shiraz University, Iran.

### ABSTRACT

Due to the close relationship between high salt consumption and the increasing prevalence of high blood pressure and cardiovascular disease in the world, the food industry is trying to create foods that better align with consumer expectations regarding sodium reduction. In this study, the strategy of taste contrast technique through salt encapsulation in the internal aqueous phase of the water-in-oil-in-water double emulsion ( $W_1/O/W_2$ ) was investigated as a novel technological approach for sodium reduction. To this end, different concentrations of salt (0, 0.5, 0.75, and 1%) and cinnamaldehyde (1%) as an antioxidant agent were used in the internal aqueous phase and the oil phase of the double emulsion, respectively. In order to investigate emulsion stability, encapsulation efficiency, and salt release behavior, the oil phase was fabricated in two liquid and solid states in the form of oleogel. The characteristics of the produced emulsions were investigated in terms of storage stability, heat and freezing stability, color, oxidation, encapsulation efficiency, viscosity, rheology, and morphology. The emulsion sample containing gel network in the oil phase and 0.75% salt in the internal aqueous phase was the best sample in terms of stability and rheological behavior.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 07/ 13  
Accepted 2023/ 01/ 19

#### Keywords:

Double emulsion,  
Salt reduction,  
Taste contrast system,  
Saltiness perception,  
Oleogel.

**DOI:** 10.22034/FSCT.19.132.281

**DOR:** 20.1001.1.20088787.1401.19.132.21.4

\*Corresponding Author E-Mail:  
eskandar@shirazu.ac.ir