

آماده انتشار

مروری بر روش‌های نوین تولید اولئوژل‌ها: کاربردها، چالش‌ها و چشم‌اندازهای آینده

کیمیا صهبا^۱، محمد تقی گلمکانی^{۲*}

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

۲- استاد، بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

*نویسنده مسئول: golmakani@shirazu.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: صنعت غذا با چالش‌های تأمین غذای سالم و پایدار برای جمعیت رو به رشد، پاسخ به نیازهای متغیر مصرف‌کنندگان و الزامات نظارتی مواجه است. افزایش آگاهی عمومی از تأثیر رژیم غذایی بر سلامت و نگرانی‌های زیست‌محیطی، تقاضا برای جایگزین‌های سالم‌تر و پایدارتر را افزایش داده است. لپیدها نقش کلیدی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ساختاری و حسی محصولات غذایی دارند اما چربی‌های جامد سنتی مانند روغن پالم، کره و مارگارین به دلیل محتوای بالای اسیدهای چرب اشباع حدود ۵۰٪ در روغن پالم و ترانس که با بیماری‌های قلبی عروقی مرتبط هستند و اثرات منفی زیست‌محیطی مانند تخریب جنگل‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد انتقاد قرار گرفته‌اند. اولئوژل‌ها به عنوان جایگزین‌های نوآورانه معرفی شده‌اند تا ویژگی‌های عملکردی و حسی محصولات را حفظ کنند، اثرات منفی بر سلامتی را کاهش دهند و پایداری زیست‌محیطی را بهبود بخشند.

مواد و روش‌ها: اولئوژل‌ها با استفاده از عوامل ژل‌ساز یا اولئوژل‌سازها مانند موم‌های طبیعی مثل موم زنبور عسل و موم کارنوبا، پلی‌ساکاریدها مانند سلولز، پروتئین‌ها و ترکیبات کم‌وزن مولکولی تولید می‌شوند که روغن‌های مایع را به ساختاری ژل‌مانند تبدیل می‌کنند. روش‌های تولید شامل تکنیک‌های حرارتی (گرمایش و سرد کردن)، شیمیایی (تغییرات pH یا افزودن نمک) و مکانیکی (برش‌دهی یا امولسیون‌سازی) است. عوامل ژل‌ساز بر اساس روش‌های پخش در روغن (مستقیم، غیرمستقیم، نیمه‌مستقیم) و کاربرد خاصشان دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های حرارتی ساده اما نیازمند تجهیزات خاص و انرژی بالا هستند در حالی که روش‌های شیمیایی ممکن است پیچیدگی‌های بیشتری ایجاد کنند.

یافته‌ها: اولئوژل‌ها به عنوان شبه‌چربی‌های نیمه‌جامد و خودپایدار در محصولات مانند نان، کیک، شکلات، فرآورده‌های گوشتی و لبنیات استفاده می‌شوند. آن‌ها بافت، ظاهر و ویژگی‌های حسی را بدون نیاز به چربی‌های ناسالم حفظ می‌کنند و در محصولات مانند کره‌های گیاهی و شکلات موفقیت‌آمیز بوده‌اند. همچنین، اولئوژل‌ها امکان تولید محصولات غذایی با کالری کنترل‌شده را فراهم می‌کنند. در مقایسه چربی‌های سنتی به دلیل ساختار کریستالی، پایداری حرارتی و طعم آشنا پذیرش بالایی دارند اما اثرات منفی بر سلامت و محیط زیست آن‌ها را کمتر مطلوب می‌کند. اولئوژل‌ها با روغن‌های غیراشباع و عوامل ژل‌ساز طبیعی، سالم‌تر و پایدارتر هستند اما گاهی در دماهای بالا پایداری کمتری دارند.

نتیجه‌گیری: اولئوژل‌ها گامی مهم در جهت تولید غذاهای سالم‌تر، پایدارتر و متناسب با نیازهای مصرف‌کنندگان مدرن هستند. با این حال موفقیت آن‌ها به غلبه بر چالش‌های فنی و اقتصادی مانند بهینه‌سازی پایداری در دماهای مختلف، کاهش هزینه‌های تولید، مقیاس‌پذیری صنعتی و اطمینان از پذیرش حسی توسط مصرف‌کنندگان بستگی دارد. تحقیقات بیشتری برای توسعه عوامل ژل‌ساز مقرون‌به‌صرفه و بهبود ویژگی‌های عملکردی اولئوژل‌ها در مقیاس صنعتی مورد نیاز است.

واژگان کلیدی: اولئوژل، جایگزین چربی، عوامل ژل‌ساز.

۱- مقدمه

صنعت غذا با چالش‌هایی نظیر بهبود رژیم‌های غذایی، پایداری زیست‌محیطی و پاسخ به تقاضای روبه‌رشد مصرف‌کنندگان برای محصولات غذایی سالم‌تر مواجه است. افزایش جمعیت جهانی و آگاهی عمومی از تأثیرات تغذیه بر سلامت، محققان و تولیدکنندگان را به جستجوی جایگزین‌های لیپیدی نوین سوق داده است که بتوانند ویژگی‌های حسی و عملکردی محصولات غذایی را حفظ کنند. چربی‌های جامد سستی مانند کره، مارگارین و روغن پالم به دلیل دارا بودن مقادیر بالای اسیدهای چرب اشباع^۱ و ترانس^۲ که با مشکلات سلامت قلبی-عروقی و اثرات منفی زیست‌محیطی مرتبط هستند با محدودیت‌هایی روبه‌رو شده‌اند (۱). از منظر پایداری اولئوژل‌ها با کاهش وابستگی به روغن‌های گرمسیری مانند روغن پالم که تولید آن‌ها با تخریب جنگل‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کنند (۲). استفاده از روغن‌های مایع به‌جای این چربی‌ها اغلب به کاهش کیفیت بافت و حس چشایی منجر می‌شود که رضایت مصرف‌کنندگان را کاهش می‌دهد (۳).

به همین دلیل تکنیک‌های ساختاردهی روغن و اولئوژل‌سازی به‌عنوان راهکارهایی نوآورانه مورد توجه قرار گرفته‌اند. روش‌های تولید اولئوژل شامل تکنیک‌های حرارتی (گرمایش و سرد کردن)، شیمیایی (تغییر pH یا افزودن نمک) و مکانیکی (برش‌دهی یا امولسیون‌سازی) است. روش‌های حرارتی ساده اما پرهزینه از نظر انرژی هستند در حالی که روش‌های شیمیایی ممکن است پیچیدگی‌های بیشتری به همراه داشته باشند (۴). اولئوژل‌ها در محصولاتمانند نان، کیک، شکلات، فرآورده‌های گوشتی و لبنیات کاربرد دارند اما چالش‌هایی نظیر مقیاس‌پذیری صنعتی، کاهش هزینه‌های تولید، حفظ پایداری در دماهای مختلف و جلب رضایت حسی مصرف‌کنندگان همچنان وجود دارد (۵).

اولئوژل‌ها مواد نیمه‌جامدی هستند که از طریق به دام انداختن روغن‌های خوراکی در یک شبکه ژلی سه‌بعدی ساخته شده از عوامل ژل‌ساز یا ساختاردهنده تولید می‌شوند. این عوامل در غلظت‌های پایین استفاده شده و قادرند ساختاری مشابه چربی‌های جامد بدون نیاز به استفاده از چربی‌های ناسالم ایجاد کنند (۶). ژل‌سازها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ژل‌سازهای با وزن مولکولی پایین^۳ مانند موم‌ها، مونوگلیسریدها، استرول‌ها و لسیتین و ژل‌سازهای با وزن مولکولی بالا^۴ مانند پروتئین‌ها، مشتقات

¹ Saturated Fatty Acid

² Trans Fatty Acid

³ Low-Molecular-Weight Gelators

⁴ High-Molecular-Weight Gelators

⁵ Poly Unsaturated Fatty Acid

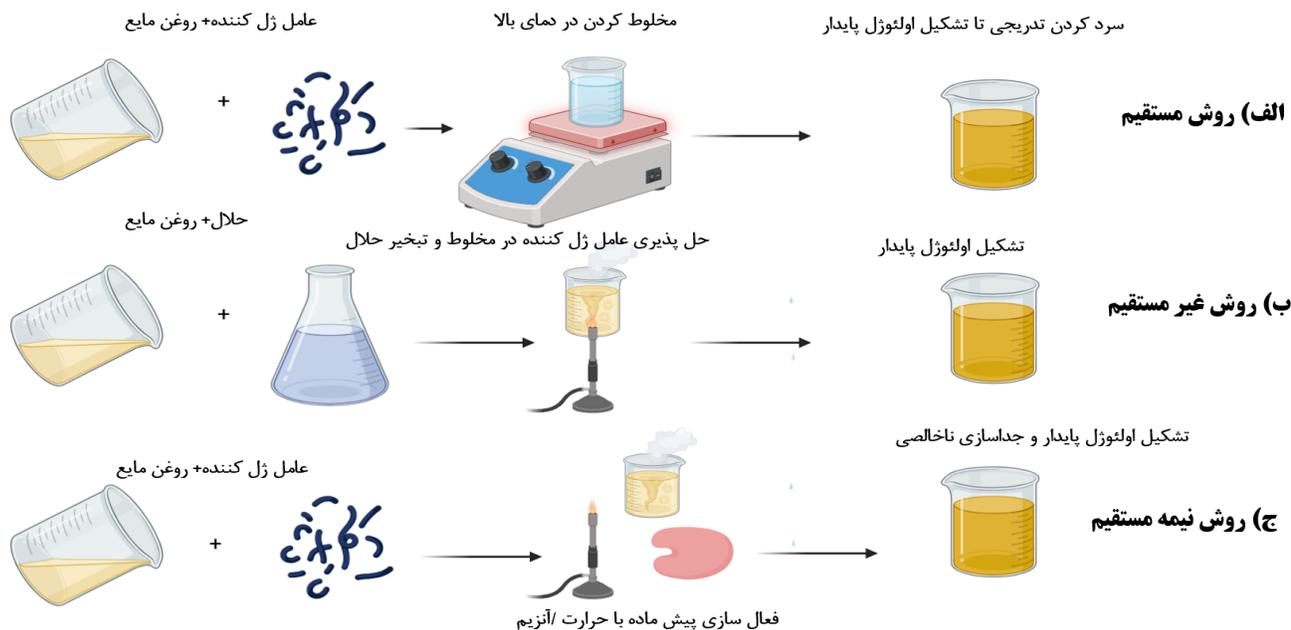
سلولزی و نشاسته‌ها. ژلسازهای با وزن مولکولی پایین معمولاً با فرآیندهای ساده مانند گرمایش و سرد کردن عمل می‌کنند در حالی که ژلسازهای با وزن مولکولی بالا نیازمند روش‌های فرآوری پیچیده‌تر برای تثبیت فاز روغنی هستند (۷).

انتخاب ژلساز به نوع کاربرد، ویژگی مورد نظر و شرایط فرآوری بستگی دارد. از منظر تغذیه‌ای، اولئوژل‌ها با استفاده از روغن‌های غنی از اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه مانند روغن سویا، بذر کتان و ذرت مزایای سلامتی قابل‌توجهی ارائه می‌دهند. اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه‌ها به بهبود متابولیسم کلسترول، تنظیم فشار خون، تقویت عملکرد عصبی و افزایش مقاومت به انسولین کمک می‌کنند (۸). این ویژگی‌ها اولئوژل‌ها را به گزینه‌ای مطلوب برای تولید غذاهای سالم‌تر تبدیل کرده است. خواص فیزیکی اولئوژل‌ها از جمله بافت، پایداری حرارتی و رئولوژیکی به ترکیب شیمیایی روغن و ژلساز، نسبت‌های آن‌ها و شرایط فرآوری وابسته است (۹). دستیابی به تعادل بین حلالیت و عدم حلالیت ژلساز در روغن برای تشکیل ساختار ژلی ضروری است زیرا عدم تعادل ممکن است به رسوب ژلساز یا حل شدن کامل آن منجر شود (۱۰).

با این حال توسعه ژلسازهای اقتصادی و بهبود عملکرد در مقیاس صنعتی نیازمند تحقیقات بیشتری است. ارزیابی جامع خواص حرارتی، رئولوژیکی، بافتی و پایداری اولئوژل‌ها برای درک رفتار و کاربرد آن‌ها در محصولات غذایی حیاتی است. این مقاله به بررسی انواع ژلسازها، ویژگی‌های آن‌ها، روش‌های تولید و استراتژی‌های اولئوژلسازی پرداخته و بینش‌هایی در مورد مزایا، محدودیت‌ها و پتانسیل‌های این فناوری نوین ارائه می‌دهد. اولئوژل‌ها گامی مهم در راستای تولید غذاهای سالم‌تر و پایدارتر هستند اما موفقیت آن‌ها به غلبه بر موانع فنی و اقتصادی وابسته است.

۲- روش‌های اولئوژلسازی

در میان عوامل ساختاری موجود برای روغن‌های خوراکی می‌توان بر اساس نوع روش مورد نیاز برای پراکنندگی آن‌ها در روغن تمایز قائل شد. در این بخش با توجه به شکل ۲-۱- روش‌های مختلف اولئوژلسازی را بررسی می‌کنیم و آن‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنیم: روش‌های مستقیم که از افزودن یک یا چند ژلساز به روغن برای ایجاد ساختار ژل مانند بدست می‌آید. روش‌های غیرمستقیم که از افزودن ژلسازها به یک حلال ثانویه معمولاً آب که باید از سیستم حذف شود تا اولئوژل به دست آید. روش‌های نیمه‌مستقیم که از افزودن ژلسازهایی به روغن که به تنهایی قادر به ساختاردهی به روغن نیستند و برای تشکیل اولئوژل نیاز به حضور مقدار کمی مایع ثانویه دارند (۱۱).



شکل ۲-۱- نمایش دسته بندی جریان روش های نوین ساخت اولئوژل

۲-۱- روش های مستقیم

روش های مستقیم پرکاربردترین رویکرد در اولئوژل سازی هستند که شامل افزودن مستقیم ژل سازها به روغن برای ایجاد ساختار ژل مانند می شوند. این روش مشابه ساختاردهی سنتی روغن است که در آن شبکه ای کلئوئیدی از کریستال های تری اسیکل گلیسرید تشکیل می شود مشابه آنچه در محصولات چربی تجاری یافت می شود. ژل سازهای مورد استفاده در این روش معمولاً ژل سازهای با وزن مولکولی پایین هستند که قادر به کریستالیزه شدن یا خودآرایی در روغن بوده و آن را به حالت نیمه جامد تبدیل می کنند (۱۰).

۲-۱-۱- روش مستقیم گرم

در این روش، مخلوط روغن و ژل ساز تا دمایی بالاتر از نقطه ذوب ژل ساز یا دمای انتقال شیشه ای (در مورد اتیل سلولوز) گرم می شود. این فرآیند معمولاً با هم زدن مداوم به مدت ۱۰ تا ۳۰ دقیقه انجام می شود تا حل شدن کامل ژل ساز تضمین شود. سپس مرحله خنک سازی در دمایی پایین تر از دمای انتقال ژل سازی انجام می شود که منجر به تشکیل شبکه سه بعدی قابل بازگشت حرارتی می شود و روغن را در ساختار ژل به دام می اندازد (۹). ویژگی های مکانیکی اولئوژل به عواملی مانند نوع روغن، ژل ساز، نسبت آن ها، سرعت خنک سازی و ترکیب ژل سازها در سیستم های چندجزئی بستگی دارد. برای مثال استفاده از مقدار ناکافی ژل ساز یا ناسازگاری بین ژل سازها می تواند منجر به تشکیل مایع ویسکوز یا پراکندگی کریستال ها به جای ژل شود. دمای مورد نیاز به نوع ژل ساز وابسته است. مونوگلیسریدها معمولاً به دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد، مومها به ۵۰ تا بیش از ۹۰ درجه سانتی گراد و سیستم های چندجزئی مانند بتا-سیستوسترول و گاما-اوریزانول به ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد نیاز دارند (۱۲).

اتیل سلولز تنها ژل‌سازهای با وزن مولکولی بالا که به صورت مستقیم روغن را ساختاردهی می‌کند، به دمای بالای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد نیاز دارد (۷). تعاملات غیرکوالانسی مانند پیوندهای هیدروژنی، پیوندهای $\pi-\pi$ و نیروهای پراکندگی لاندن، خودآرایی مولکول‌های ژل‌ساز را هدایت می‌کنند و ساختارهای سوپرمولکولی مانند شبکه‌های کریستالی، میسل‌ها و فیبریل‌ها را تشکیل می‌دهند (۴). تعادل بین حلالیت و عدم حلالیت ژل‌ساز در روغن برای تشکیل ژل حیاتی است زیرا عدم تعادل می‌تواند به رسوب یا حل شدن کامل ژل‌ساز منجر شود.

۲-۱-۲- روش مستقیم سرد

روش مستقیم سرد شامل پراکندگی ژل‌سازها در دمای اتاق یا پایین‌تر بدون نیاز به حرارت است. این روش با هم‌زدن ساده انجام می‌شود و از اکسیداسیون روغن ناشی از دما جلوگیری می‌کند، که مزیتی نسبت به روش گرم است (۱۳). به عنوان مثال پاتل و همکاران (۲۰۱۵) از سیلیکای دودزا^۵ برای تهیه اولئوزل با روغن آفتاب‌گردان استفاده کردند. پراکندگی‌های روغنی با مخلوط کردن ذرات سیلیکای کلئیدی آب‌دوست و برش‌دهی با هم‌زنایزر پرسرعت در دمای اتاق تهیه شدند. در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ درصد سیلیکا شبکه‌ای سه‌بعدی مبتنی بر تجمع فراکتال ذرات تشکیل شد که روغن را با حداقل نشتی به دام انداخت. سیلیکای آب‌گریز به دلیل کاهش پیوندهای هیدروژنی ژل‌سازی ضعیفی نشان داد (۱۳). رویکرد دیگر شامل استفاده از سلولز مرسریزه‌شده در روغن کلزا بود. پراکندگی‌های پودر سلولز با غلظت‌های ۵ تا ۴۰ درصد به صورت دستی در دمای اتاق هم‌زده شدند. نتایج نشان داد که غلظت حداقل ژل‌سازی و ویژگی‌های بافتی به اندازه فیبرهای سلولز نه منبع گیاهی آن بستگی دارد. این روش به دلیل سادگی و کاهش مصرف انرژی پتانسیل بالایی برای کاربردهای صنعتی دارد (۱۴).

۲-۲- روش‌های غیرمستقیم

بیشتر پلیمرهای مورد تأیید برای استفاده در مواد غذایی به طور ذاتی آب‌دوست هستند و بنابراین نمی‌توانند به طور مستقیم روغن را ساختاردهی کنند. موادی مانند پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها به طور منظم در کاربردهای غذایی استفاده می‌شوند و معمولاً از نظر قوانین بسته به نوع خاص پروتئین یا پلی‌ساکارید و منبع آن مشکلی ایجاد نمی‌کنند. روش‌های غیرمستقیم اولئوزل‌سازی مفید هستند زیرا امکان استفاده از پلیمرهای آب‌دوست و آمفی‌فیلک را در ساختاردهی روغن فراهم می‌کنند معمولاً با شروع از سیستم‌های غنی از آب و شامل مجموعه‌ای از مراحل برای حذف آب از سیستم است (۵).

۲-۲-۱- روش‌های اصلی مبتنی بر الگوی امولسیون

روش‌های غیرمستقیم اولئوزل‌سازی مبتنی بر الگوی امولسیون با تهیه امولسیون روغن در آب آغاز می‌شوند. روموسکانو و مزنگا (۲۰۰۶) روشی را معرفی کردند که در آن امولسیون تک‌پراکنده با محلول ۱٪ بتا-لاکتوگلوبولین تهیه شده و قطرات روغن توسط پروتئین تثبیت می‌شوند. پس از جذب پروتئین متصل‌سازی حرارتی (۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۰ دقیقه) یا شیمیایی (با گلو تارآلدئید) انجام می‌شود. شستشو برای حذف مواد اضافی افزودن گلیسرول برای محافظت در برابر تنش‌های خشک‌کردن و خشک کردن در

⁵ Fumed Silica

دمای اتاق اولئوژل شفاف با ساختار پلی‌هدرال تولید می‌کند. این روش به دلیل پیچیدگی، نرخ خروجی پایین و نگرانی‌های ایمنی (متصل‌سازی شیمیایی) یا انرژی بر بودن (متصل‌سازی حرارتی) محدود است (۵,۱۵). روش‌های اصلاح‌شده با حذف متصل‌سازی از پلی‌ساکاریدها (هیدروکسی پروپیل متیل سلولز^۶ و صمغ زانتان^۷) برای پایداری بهتر امولسیون استفاده می‌کنند (۲).

۲-۱-۱-۲-۲- روش اصلاح‌شده مبتنی بر الگوی امولسیون

روموسکانو و مزنگا (۲۰۰۶) با استفاده از پروتئین‌های متصل‌شده قابلیت پلیمرهای آب‌دوست و آمفی‌فیلک را برای ساختاردهی روغن نشان دادند (۱۵). پاتل و همکاران (۲۰۱۵) این روش را با ترکیب پلی‌ساکاریدهای فعال سطحی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز یا متیل سلولز^۸ و غیرفعال (صمغ زانتان) اصلاح کردند. امولسیون روغن در آب با هموژنیزاسیون پرسرعت هیدروکسی پروپیل متیل سلولز یا متیل سلولز و افزودن صمغ زانتان تهیه شد که پایداری امولسیون و یکنواختی قطرات را بهبود بخشید. پس از خشک کردن در ۵۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد و برش ۳۰ ثانیه‌ای اولئوژل با بیش از ۹۷٪ روغن و بدون نشی تولید شد. پلیمرهای با ویسکوزیته پایین‌تر ژل‌های قوی‌تری ایجاد کردند که به دلیل سختی سطح مشترک بود. این روش ویژگی‌های رئولوژیکی مانند مدول ذخیره بالا و بازیابی تیکسوتروپیک ارائه داد. روش جایگزین با ژلاتین و صمغ زانتان بدون متصل‌سازی از تعاملات پروتئین-پلی‌ساکارید بهره برد و با خشک کردن کوره‌ای یا انجمادی به اولئوژل تبدیل شد (۱۰). تاونیر و همکاران (۲۰۱۷) با پروتئین‌های بدون اصلاح (ایزوله سویا و ۲٪ سدیم کازئینات) نیز موفقیت‌هایی کسب کردند اما تعاملات پروتئین-پلی‌ساکارید نیاز به بررسی بیشتر دارد (۱۶).

۲-۲-۲- رویکرد مبتنی بر الگوی میکروکپسول

اولئوژل‌های ساخته‌شده با ژل‌سازهای کم‌وزن مولکولی مانند کریستال‌های چربی، حس دهانی و ویژگی‌های فرآوری مشابه چربی‌ها دارند، در حالی که ژل‌سازهای پلیمری سختی و یکنواختی بافتی ایجاد می‌کنند (۱۷). ترکیب این ویژگی‌ها با روش‌های مستقیم مانند (اتیل سلولز-گلیسرول مونولئات) یا غیرمستقیم (امولسیون‌های پیکرینگ با زئین-استئارات) به دلیل فرآیندهای انرژی‌بر مانند گرمایش بالا یا خشک کردن انجمادی مقیاس‌پذیری محدودی دارد. پاتل و همکاران (۲۰۱۷) رویکردی نوین با میکروکپسول‌های پالم استئارین تثبیت‌شده با متیل سلولز ارائه دادند (۱۷). امولسیون روغن در آب با رقیق‌سازی در آب یخ‌زده جامد شده و در ۳۰-۳۲ درجه سانتی‌گراد خشک می‌شود. میکروکپسول‌ها در روغن پراکنده شده، تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شوند تا کپسول‌ها ذوب شوند و رشته‌های پلیمری تشکیل دهند. خنک‌سازی به دمای اتاق شبکه‌ای از پالم استئارین کریستالیزه شده و متیل سلولز ایجاد می‌کند، که کریستالیزاسیون کنترل‌شده‌ای نسبت به پالم استئارین خالص ارائه می‌دهد (۴).

۲-۲-۳- اولئوزوم‌ها

⁶ Hydroxypropyl Methylcellulose

⁸ Xanthan Gum

⁸ Methylcellulose

¹⁰ Freeze Drying

اولئوزومها، میکروبادی‌های طبیعی در دانه‌ها و میوه‌های روغنی قطرات روغنی کپسوله‌شده توسط غشای پروتئینی/فسفولیپیدی هستند که برای ذخیره لیپید و محافظت در برابر تنش‌های محیطی عمل می‌کنند. این ساختار بستری مناسب برای تشکیل اولئوژل‌هاست اما کاربرد آن‌ها محدود است. مرت و ویلگیس (۲۰۲۱) اولئوزوم‌های فندق را با صمغ زانتان یا پکتین و رسوب الکترواستاتیکی تثبیت کردند که پایداری امولسیون را بهبود بخشید. پس از خشک کردن انجمادی^۹ و برش‌دهی اولئوژل با شبکه‌ای از کمپلکس‌های پروتئین اولئوزین و پلی‌ساکارید تشکیل شد. این روش به دلیل استفاده از ساختارهای طبیعی، پایدار و اقتصادی است. تعاملات الکترواستاتیکی در سیستم‌های حاوی اولئوزوم سویا، آلزینات سدیم و صمغ زانتان نیز بررسی شده تا کاربردهای اولئوژل گسترش یابد (۱۸).

۲-۲-۴- روش مبتنی بر الگوی کف

پاتل و همکاران (۲۰۱۵) روش مبتنی بر الگوی کف را با استفاده از پلیمرهای محلول در آب مانند هیدروکسی‌پروپیل‌متیل‌سلولز یا متیل‌سلولز توسعه دادند. این پلیمرها به دلیل خاصیت آمفی‌فیلیک ناشی از جایگزینی گروه‌های هیدروکسیل، برای تشکیل کف مناسب‌اند. محلول ۱-۲٪ هیدروکسی‌پروپیل‌متیل‌سلولز با هموژنیزاسیون پرسرعت (۱۱,۰۰۰ دور در دقیقه) به کف با حباب‌های کمتر از ۱۵۰ میکرومتر تبدیل شد. کف با خشک کردن انجمادی به کریوژل متخلخل تبدیل شده و پس از جذب روغن آفتاب‌گردان (۹۸-۹۹ برابر وزن کریوژل) و برش‌دهی پرسرعت، اولئوژل بدون نشتی تولید کرد. ترکیب ژلاتین یا پروتئین نخود/فابا با صمغ زانتان پایداری کف را بهبود بخشید. پروتئین سبوس برنج نیز با تنظیم pH موفق بود. این روش با حذف نیاز به دمای بالا، اکسیداسیون لیپید را کاهش می‌دهد اما خشک کردن انجمادی آن انرژی‌بر و زمان‌بر است (۱۰).

۲-۲-۵- روش مبتنی بر الگوی هیدروژل

دو وریس و همکاران (۲۰۱۵) روشی برای تولید اولئوژل با استفاده از ایزوله پروتئین آب پنیر^{۱۰} به‌عنوان تنها ژل‌ساز از طریق تبادل حلال توسعه دادند. ابتدا هیدروژل از ایزوله پروتئین آب پنیر با دناتوراسیون در ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه تشکیل شد. هیدروژل‌ها به قطعات استوانه‌ای برش داده شده و با استفاده از حلال واسطه استون در مراحل تدریجی (۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪) با روغن آفتاب‌گردان جایگزین شدند. اولئوژل نهایی با ۹۱٪ روغن و کمتر از ۱٪ آب، مدول یانگ دو برابر هیدروژل داشت اما سفت و شکننده بود و انعطاف‌پذیری رئولوژیکی محدودی داشت. در روش جایگزین محلول از ایزوله پروتئین آب پنیر ۴٪ در pH ۵.۷ دناتوره شد (۸۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۵ دقیقه)، هموژنیزه و با سانتریفیوژ تجمعات پروتئینی جمع‌آوری شدند. این تجمعات در استون و سپس روغن پراکنده شده و پس از تبخیر استون یا خشک کردن انجمادی، اولئوژل تشکیل شد. این روش با ایجاد شبکه‌ای از تعاملات آب‌دوست در محیط روغنی، امکان تنظیم بهتر ویژگی‌های رئولوژیکی را فراهم کرد (۱۹).

۲-۲-۶- روش مبتنی بر الگوی آنروژل

¹⁰ Whey Protein Isolate

مانزوکو و همکاران (۲۰۱۷) روش مبتنی بر الگوی آئروژل را معرفی کردند. هیدروژل کاپاکاراگینان^{۱۱} با جایگزینی مرحله‌ای آب با اتانول به ژل الکلی تبدیل شد و سپس با دی‌اکسید کربن فوق بحرانی^{۱۲} در ۱۱ مگاپاسکال و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت خشک شد تا آئروژل مونولیتیک تشکیل شود. آئروژل در روغن آفتاب‌گردان خیسانده شد و اولئوژل با ۲۰-۲۵٪ بیوپلیمر و سختی ۱۰۰-۳۰۰ نیوتن تولید کرد که ۶۰-۸۰٪ روغن را حفظ می‌کرد. افزودن کاهو یا استفاده از ضایعات سالاد و پروتئین آب پنیر سختی را کاهش و جذب روغن را تا ۱۵ برابر افزایش داد(۲۰). آئروژل‌های نشاسته با کیتوزان نیز ویژگی‌های مکانیکی و ساختاردهی را بهبود بخشیدند(۲۱). خشک کردن انجمادی به‌عنوان جایگزین SC-CO₂ با انجماد در -۸۰ درجه سانتی‌گراد و خشک کردن در -۲۰ تا -۶۰ درجه سانتی‌گراد، آئروژل‌هایی با منافذ کوچک‌تر تولید کرد اما ساختار ضعیف‌تری داشت. افزودن کربوکسی‌متیل کیتوزان به ایزوله پروتئین آب پنیر یا کنژوگه‌های آلژینات/پروتئین سویا جذب روغن را تا ۵-۱۰.۹ برابر و حفظ ۴۰-۹۶٪ روغن بهبود بخشید (۲۲،۲۳). آئروژل‌های ژلاتین نیز با جذب ۲۰-۱۰۰ برابر روغن و بازیابی تیکسوتروپیک^{۱۳} ۷۶-۹۴٪ موفق بودند (۲۳).

۲-۲-۷- روش مبتنی بر الگوی نانوفیبرهای الکترووریسی شده

روش الکترووریسی^{۱۴} فرآیندی الکترویدرودینامیکی، نانوفیبرهای بیوپلیمری مانند (ژلاتین، ژئین، پروتئین وی) با قطر کمتر از ۱ میکرومتر تولید می‌کند که نیازی به ویژگی‌های امولسیون‌کننده یا کف‌زا ندارند و برای ساختاردهی روغن مناسب‌اند. لی و ژانگ(۲۰۲۳) نانوفیبرهای ژلاتین را با میدان الکتریکی ۱.۳ کیلوولت بر سانتی‌متر در محلول اسید استیک تولید کردند. نانوفیبرها در ترت‌بوتانول همورنیزه شده با خشک کردن انجمادی به آئروژل تبدیل شدند و در روغن کاملیا غوطه‌ور شدند تا اولئوژل تشکیل دهند. این اولئوژل‌ها ۶۰-۱۲۵ برابر جرم اولیه روغن جذب کرده و ۶۰-۸۰٪ آن را با بازیابی تیکسوتروپیک^{۱۳} ۳۶-۷۹٪ و آزادسازی ۴۰-۵۰٪ اسیدهای چرب در هضم آزمایشگاهی حفظ کردند. در روشی نوین نانوفیبرهای پلی‌اتیلن اکسید با الکترووریسی بهبودیافته با اولتراسوند^{۱۵} در روغن‌های کلزا، گردو و بذر کتان پراکنده شده و با کریو-آسیاب اولئوژل‌هایی با سختی وابسته به غلظت نانوفیبر بالای ۱۰٪ و غیراشباعیت روغن تولید کردند. محدودیت‌هایی مانند انسداد اسپینر^{۱۶} و زمان فرآوری طولانی همچنان چالش‌ساز است (۲۴).

۲-۳- روش نیمه‌مستقیم اولئوژل‌سازی

¹¹ k-Carageenan

¹² Super Critical-CO₂

¹³ Thixotropic

¹⁴ Electrolysis

¹⁵ Ultrasound Electrolysis

¹⁶ Spinner

روش نیمه‌مستقیم ترکیبی از ویژگی‌های روش‌های مستقیم و غیرمستقیم با افزودن ذرات یا ژل‌سازهای نامحلول (۱۰-۶۰٪) به روغن و استفاده از مایع ثانویه آب (۲-۲۰٪) برای تشکیل اولئوزل عمل می‌کند. برخلاف روش‌های غیرمستقیم آب نمی‌تواند حذف شود زیرا ساختار خودپایدار اولئوزل وابسته به آن است. در سوسپانسیون‌های موئینه، ذرات در روغن پراکنده شده و با افزودن آب و مخلوط کردن پل‌های موئینه تشکیل می‌دهند که منجر به تولید اولئوزل می‌شود. این روش بخشی از سیستم‌های سه‌جزئی ذره-مایع-مایع بسته به نسبت اجزا می‌تواند امولسیون‌های پیکرینگ^{۱۷}، بی‌ژل‌ها^{۱۸} یا مواد گرانوله^{۱۹} نیز تولید کند (۲۵).

۲-۳-۱- روش نیمه‌مستقیم: سوسپانسیون‌های موئینه

سوسپانسیون‌های موئینه از طریق تشکیل پل‌های مایع بین ذرات با استفاده از نیروهای موئینه ساختار ژل‌مانند ایجاد می‌کنند. این نیروها به عواملی مانند اندازه ذرات، فاصله بین آن‌ها، کشش سطحی بین مایعات و زاویه تماس سه‌فازی وابسته‌اند. این روش به دو حالت تقسیم می‌شود:

- حالت پاندولار^{۲۰}: ذرات آب‌دوست در روغن پراکنده شده و مایع ثانویه (آب) با ترجیح تر کردن ذرات پل‌های پاندولار تشکیل می‌دهد. سطح اشباع نزدیک به صفر است.
- حالت موئینه: ذرات در مایع ترکنده (روغن) پراکنده شده و مایع ثانویه غیرترکنده شکاف‌ها را پر می‌کند خوشه‌هایی با سطح اشباع نزدیک به یک ایجاد می‌کند.

در هر دو حالت تبدیل از سوسپانسیون مایع‌مانند به ژل‌مانند رخ می‌دهد که ساختاردهی روغن را تسهیل می‌کند (۲۵).



¹⁷ Pickering

¹⁸ Bigels

¹⁹ Granular Materials

²⁰ Pandola

شکل ۲-۲- نمایش انواع روش های اولئوژل سازی

جدول ۱- روش های تولید اولئوژلها: مروری بر عملکرد

Table 1 - Production of Oleogels: A Review of Functionality

منابع	معایب	مزایا	ویژگی های کلیدی	محصول حاصل	روش تولید
			استفاده از گرانول های نشاسته و ذرات کاکائو (۳۰-۳۵٪ کسر حجمی) و ۱۰-۳۰٪ آب؛ افزودن گلیسرول برای افزایش استحکام ژل؛ ویژگی های رئولوژیکی وابسته به کسرهای حجمی؛ ترتیب افزودن مایع ثانویه بی تأثیر	ژل نیمه جامد روغن آفتاب گردان	سوسپانسیون های موئینه
(۲۵)	نیاز به کنترل دقیق کسرهای حجمی، پیچیدگی در مقیاس پذیری	پایداری بالا، استفاده از مواد طبیعی، مناسب برای روغن های غیراشباع	استفاده از ژل سازهای کریستالی مانند موم های کارنوبا، کندلیلا (۲-۱۰٪)؛ اتیل سلولوز و مونوگلیسریدها؛ مناسب برای روغن های غیراشباع (زیتون، کانولا)؛ پروفایل لیپیدی نزدیک به روغن پایه	محصولات نانویی	اولئوژل سازی با روش مستقیم
(۲)	شکنندگی در غلظت های بالا، چالش در تقلید پروفایل ذوب چربی های اشباع	فرآیند ساده، انعطاف پذیری در انتخاب روغن، هزینه نسبتاً پایین	استفاده از بیوپلیمرها (پروتئین ها، پلی ساکاریدها) از طریق امولسیون های آب در روغن؛ ساختارهای پیچیده با پایداری بالا؛ نیاز به فرآیندهای چندمرحله ای	محصولات گوشتی	اولئوژل سازی با روش غیرمستقیم
(۱۳)	فرآیند پیچیده، هزینه بالا، چالش در مقیاس پذیری صنعتی	مناسب برای محصولات پیچیده، بهبود بافت و پایداری	استفاده از آئروژل های بیوپلیمری (سلولوز، نشاسته) برای جذب روغن؛ ساختار متخلخل با ظرفیت جذب روغن بالا (تا ۹۰٪ وزنی)	محصولات نانویی، دسر ها	آئروژل های مبتنی بر اولئوژل
(۷)	نیاز به تجهیزات پیشرفته، محدودیت مقیاس پذیری، هزینه بالا	کنترل عالی بر خواص رئولوژیکی، کاربردهای نوآورانه در بسته بندی	استفاده از نانوفیبرهای پلی ساکاریدی (کیتوزان) یا پروتئینی برای ساختاردهی روغن؛ کنترل دقیق خواص مکانیکی و پروفایل ذوب	پوشش های غذایی	نانوفیبرهای الکتروریسی شده
(۱)	پیچیدگی در فرمولاسیون، چالش های پایداری طولانی مدت	انعطاف پذیری در فرمولاسیون، مناسب برای غذاهای سلامت بخش	ترکیب اولئوژل ها با امولسیون های آب در روغن؛ امکان گنجاندن ترکیبات محلول در آب (ویتامین ها) و چربی (فیتواستروئول ها)؛ پایداری	غذاهای کاربردی، سس ها، سس مایونز	امولسیون های مبتنی بر اولئوژل

۳- کاربردهای روش های نوین اولئوژل ها

مطالعات اولیه هافمن و همکاران (۲۰۱۹) و مصطفی و همکاران (۲۰۱۸) بر ساختاردهی روغن های خوراکی با استفاده از سوسپانسیون های موئینه تمرکز داشتند. هافمن با استفاده از گرانول های نشاسته و ذرات کاکائو (۳۰-۳۵٪ کسر حجمی) و ۱۰-۳۰٪ آب، روغن آفتاب گردان را ساختاردهی کرد و افزودن گلیسرول استحکام ژل را افزایش داد اما ترتیب افزودن آب تأثیری بر خواص رئولوژیکی نداشت. مصطفی از ضایعات کشاورزی مانند پوست گوجه فرنگی و تفاله قهوه (۲۵٪ کسر حجمی ذرات و ۱۷-۵۷٪ آب) برای ساختاردهی روغن بادام زمینی استفاده کرد که با افزایش آب و کاهش اندازه ذرات از طریق هموژنیزاسیون فشار بالا، ژل سفت تری تولید شد. این روش ها با ایجاد پل های موئینه، شبکه ای سه بعدی تشکیل داده و فاز روغنی را به دام می اندازند (۲۶،۲۵). چربی های سنتی مانند کره و مارگارین به دلیل داشتن اسیدهای چرب اشباع و ترانس با مشکلات سلامتی مانند بیماری های قلبی-عروقی مرتبط هستند. سازمان بهداشت جهانی حذف اسیدهای چرب ترانس و محدود کردن اسیدهای چرب اشباع به ۱۰٪ انرژی روزانه را توصیه کرده است. در پاسخ به تقاضای رو به رشد برای غذاهای سالم و پایدار، اولئوژل ها با استفاده از روغن های گیاهی غیراشباع (مانند زیتون، کانولا و سویا) و ژل سازهایی مثل موم ها، لسیتین و بیوپلیمرها توسعه یافته اند. این مواد با شبیه سازی عملکرد چربی های سخت، در محصولاتی مانند اسپردها، نانوائی و فرآورده های گوشتی کاربرد دارند و پروفایل لیپیدی بهتری نسبت به چربی های سنتی ارائه می دهند (۲۷،۲۸،۲۹،۳۰). با وجود پیشرفت ها، اولئوژل ها با چالش هایی مانند کنترل دقیق پروفایل ذوب، خواص مکانیکی و رئولوژیکی، پذیرش حسی و مقیاس پذیری مواجه هستند. روش های نوین مانند سوسپانسیون های موئینه، آئروژل ها و نانوفیبرهای الکترووریسی شده پتانسیل بهبود مقیاس پذیری و عملکرد را دارند، اما نیاز به فناوری های کم هزینه تر و ایمن برای مصرف انسانی وجود دارد. تحقیقات آینده باید بر ساده سازی روش های تولید، بهبود ویژگی های حسی، افزایش پایداری اکسیداسیون و بررسی اثرات فیزیولوژیکی متمرکز شود تا کاربرد اولئوژل ها در صنعت غذا گسترش یابد و جایگزین مناسبی برای چربی های سنتی شوند (۱،۳،۴،۵،۸).

۴- چالش ها و چشم اندازهای آینده روش های تولید اولئوژل ها

انتخاب اولئوژل ها برای جایگزینی چربی های اشباع به دلیل چالش هایی مانند تقلید پروفایل ذوب، خواص مکانیکی و رئولوژیکی با محدودیت هایی مواجه است. افزایش غلظت ژل ساز می تواند سختی مشابه چربی های اشباع ایجاد کند اما ممکن است باعث شکنندگی و کاهش ویژگی های حسی شود (۸). رویکردهایی مانند استفاده از مخلوط ژل سازها، پلاستی سایزها و اولئوژل های کامپوزیتی برای بهبود تغییر شکل پلاستیک و تیکسوتروپی بررسی شده اند. با این حال، اطلاعات محدودی درباره هضم، متابولیسم ژل سازها و اثرات فیزیولوژیکی آن ها وجود دارد که نیاز به تحقیقات گسترده تر در محیط زنده را نشان می دهد. روش های نوین مانند سوسپانسیون های موئینه و فناوری های فرآوری (خشک کردن با میکروویو یا گرمایش اهمی) می توانند خواص و مقیاس پذیری اولئوژل ها را بهبود بخشند. برای تسریع جایگزینی چربی های اشباع، نیاز به درک بهتر ساختاردهی ژل سازها، بهینه سازی پروفایل ذوب، افزایش پایداری اکسیداسیون و بهبود ویژگی های حسی است. اولئوژل ها می توانند حامل ترکیبات زیست فعال مانند فیتواسترول ها و کورکومین باشند و امولسیون های مبتنی بر آن ها امکان توسعه غذاهای کاربردی با خواص سلامت بخش را فراهم می کنند (۸). با وجود پیشرفت ها، مقیاس بندی به سطح صنعتی و ارزیابی امکان سنجی فنی و اقتصادی

همچنان چالش برانگیز است. ابزارهای نوآورانه و روش‌های فرآوری جدید می‌توانند محدودیت‌ها را برطرف کرده و فرصت‌های تازه‌ای برای تولید اولئوژل‌های کارآمدتر ایجاد کنند (۱).

۵- نتیجه گیری

این مقاله مروری به بررسی دستاوردهای اخیر در روش‌های تولید اولئوژل، کاربردهای آن‌ها، چالش‌های موجود و چشم‌اندازهای آینده این حوزه می‌پردازد. روش‌های اولیه تولید اولئوژل از تکنیک‌های سنتی ساختاردهی روغن و چربی‌های جامد موجود در طبیعت الهام گرفته شده بود. این روش‌ها ساده بودند و شامل افزودن مستقیم ژل‌سازهای محلول در روغن می‌شدند که از طریق تعاملات حلال-حلال، حلال-ذره و ذره-ذره، روغن را به ساختاری ژل‌مانند تبدیل می‌کردند. این مطالعات اولیه نقش مهمی در شناسایی ژل‌سازهای اصلی و پایه‌گذاری تحقیقات اولئوژل ایفا کردند. با روشن شدن قابلیت‌های اولئوژل‌ها پژوهشگران به سمت روش‌های پیشرفته‌تری حرکت کردند که شامل مراحل تولید هیدروژل‌ها، امولسیون‌ها، کف‌ها، آئروژل‌ها، فیبرها و سوسپانسیون‌های ذره‌ای بود. این نوآوری‌ها با هدف گسترش تنوع ژل‌سازها، بهبود پذیرش حسی توسط مصرف‌کنندگان، رفع کاستی‌های روش‌های پیشین و تنظیم دقیق خواص اولئوژل‌ها برای کاربردهای خاص انجام شدند. در این مقاله طبقه‌بندی اولئوژل‌ها بر اساس پارامترهای مرتبط با صنعت مورد بحث قرار گرفته است تا مزایا و کاربردهای آن‌ها به جامعه نزدیک‌تر شود. تحقیقات در حوزه اولئوژل‌ها همچنان در حال پیشرفت است و انتظار می‌رود روش‌های نوآورانه جدیدی در آینده ظهور کنند.

منابع

1. Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2016). Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food & function*, 7(1), 20-29.
2. Patel, A. R. (2015). *Alternative routes to oil structuring* (pp. 15-27). New York, NY, USA:: Springer International Publishing.
3. Marangoni, A. G., & Garti, N. (Eds.). (2018). *Edible oleogels: structure and health implications*. Elsevier.
4. Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. *Food & function*, 9(2), 758-773.
5. Scholten, E. (2019). Edible oleogels: How suitable are proteins as a structurant?. *Current Opinion in Food Science*, 27, 36-42.
6. Edmund Daniel Co, & Marangoni, A. G. (2012). Organogels: An alternative edible oil-structuring method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(5), 749-780.
7. Davidovich-Pinhas, M., Barbut, S., & Marangoni, A. G. (2016). Development, characterization, and utilization of food-grade polymer oleogels. *Annual review of food science and technology*, 7(1), 65-91.
8. Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental biology and medicine*, 233(6), 674-688.

9. Scharfe, M., & Flöter, E. (2020). Oleogelation: From scientific feasibility to applicability in food products. *European journal of lipid science and technology*, 122(12), 2000213.
10. Rogers, M. A. (2009). Novel structuring strategies for unsaturated fats—Meeting the zero-trans, zero-saturated fat challenge: A review. *Food Research International*, 42(7), 747-753.
11. Marangoni, A. G., Van Duynhoven, J. P., Acevedo, N. C., Nicholson, R. A., & Patel, A. R. (2020). Advances in our understanding of the structure and functionality of edible fats and fat mimetics. *Soft matter*, 16(2), 289-306.
12. Wang, F. C., Gravelle, A. J., Blake, A. I., & Marangoni, A. G. (2016). Novel trans fat replacement strategies. *Current Opinion in Food Science*, 7, 27-34.
13. Patel, A. R., Mankoč, B., Sintang, M. B., Lesaffer, A., & Dewettinck, K. (2015). Fumed silica-based organogels and 'aqueous-organic' bigels. *Rsc Advances*, 5(13), 9703-9708.
14. David, A., David, M., Lesniarek, P., Corfias, E., Pululu, Y., Delample, M., & Snabre, P. (2021). Oleogelation of rapeseed oil with cellulose fibers as an innovative strategy for palm oil substitution in chocolate spreads. *Journal of Food Engineering*, 292, 110315.
15. Romoscanu, A. I., & Mezzenga, R. (2006). Emulsion-templated fully reversible protein-in-oil gels. *Langmuir*, 22(18), 7812-7818.
16. Tavernier, I., Patel, A. R., Van der Meeren, P., & Dewettinck, K. (2017). Emulsion-templated liquid oil structuring with soy protein and soy protein: κ -carrageenan complexes. *Food hydrocolloids*, 65, 107-120.
17. Patel, A. R. (2017). Methylcellulose-coated microcapsules of Palm stearine as structuring templates for creating hybrid oleogels. *Materials Chemistry and Physics*, 195, 268-274.
18. Mert, B., & Vilgis, T. A. (2021). Hydrocolloid coated oleosomes for development of oleogels. *Food Hydrocolloids*, 119, 106832.
19. De Vries, A., Hendriks, J., Van Der Linden, E., & Scholten, E. (2015). Protein oleogels from protein hydrogels via a stepwise solvent exchange route. *Langmuir*, 31(51), 13850-13859.
20. Manzocco, L., Valoppi, F., Calligaris, S., Andreatta, F., Spilimbergo, S., & Nicoli, M. C. (2017). Exploitation of κ -carrageenan aerogels as template for edible oleogel preparation. *Food hydrocolloids*, 71, 68-75.
21. Alavi, F., & Ciftci, O. N. (2023). Effect of starch type and chitosan supplementation on physicochemical properties, morphology, and oil structuring capacity of composite starch bioaerogels. *Food Hydrocolloids*, 141, 108637.
22. Zhao, W., Wei, Z., Xue, C., & Meng, Y. (2023). Development of food-grade oleogel via the aerogel-templated method: Oxidation stability, astaxanthin delivery and emulsifying application. *Food Hydrocolloids*, 134, 108058.
23. Chen, K., & Zhang, H. (2020). Fabrication of oleogels via a facile method by oil absorption in the aerogel templates of protein-polysaccharide conjugates. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(6), 7795-7804.
24. Li, J., & Zhang, H. (2023). Efficient fabrication, characterization, and in vitro digestion of aerogel-templated oleogels from a facile method: Electrospun short fibers. *Food Hydrocolloids*, 135, 108185.
25. Hoffmann, S., Koos, E., & Willenbacher, N. (2014). Using capillary bridges to tune stability and flow behavior of food suspensions. *Food Hydrocolloids*, 40, 44-52.
26. Mustafa, W., Pataro, G., Ferrari, G., & Donsì, F. (2018). Novel approaches to oil structuring via the addition of high-pressure homogenized agri-food residues and water forming capillary bridges. *Journal of Food Engineering*, 236, 9-18.
27. Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D., & Katan, M. B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *The American journal of clinical nutrition*, 77(5), 1146-1155.

28. Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, 354(15), 1601-1613.
29. Willett, W. C. (2012). Dietary fats and coronary heart disease. *Journal of internal medicine*, 272(1), 13-24.
30. World Health Organization. (2023). *Saturated fatty acid and trans-fatty acid intake for adults and children: WHO guideline*. World Health Organization.

A Review of Novel Methods for Producing Oleogels: Applications, Challenges, and Future Perspectives

Kimia Sehba¹, Mohammad Taghi Golmakani*²

¹ PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

² Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

*Corresponding Author: golmakani@shirazu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The food industry is constantly evolving to address the changing needs of consumers, scientific advancements, and regulatory requirements. Key challenges include providing healthy and sustainable food for a growing global population while ensuring the sustainability of raw materials, processes, and final products. Rising public awareness of the impact of diet on health and environmental concerns related to food production has increased demand for healthier and more sustainable alternatives. Lipids play a critical role in the physicochemical properties, structural integrity, and sensory quality of food products. However, traditional solid fats such as palm oil, coconut oil, butter, and margarine have been criticized for their high saturated and trans fatty acid content, which is linked to cardiovascular health risks, as well as their negative environmental impact, such as deforestation and

greenhouse gas emissions. Oleogels have emerged as innovative substitutes for traditional solid fats, aiming to maintain the functional and sensory properties of food products while reducing adverse health effects and improving environmental sustainability.

Materials and Methods: Oleogels are produced using gelators or oleogelators, such as natural waxes (e.g., beeswax, carnauba wax), polysaccharides (e.g., cellulose), proteins, and low-molecular-weight compounds, which transform liquid oils into a gel-like structure. Production methods include thermal techniques (heating and cooling), chemical techniques (pH adjustments or salt addition), and mechanical techniques (shearing or emulsification). Gelators are categorized based on their dispersion methods in oil (direct, indirect, semi-direct) and their specific applications. Thermal methods are simple but require specialized equipment and high energy, while chemical methods may introduce additional complexity.

Results: Oleogels, as semi-solid, self-sustaining lipid-based materials, are used in products like bread, cakes, chocolate, meat products, and dairy. They maintain texture, appearance, and sensory properties without relying on unhealthy fats, achieving success in applications such as plant-based butters and chocolate. Additionally, oleogels enable the production of foods with controlled calorie content. In comparison, traditional solid fats, with their crystalline structure, offer high thermal stability and familiar taste, leading to greater consumer acceptance, but their negative health and environmental impacts make them less desirable. Oleogels, made with unsaturated oils and natural gelators, are healthier and more sustainable but may exhibit lower stability at high temperatures.

Conclusion: Oleogels represent a significant step toward producing healthier, more sustainable foods that align with the needs of modern consumers. However, their success depends on overcoming technical and economic challenges, such as optimizing stability at various temperatures, reducing production costs, achieving industrial scalability, and ensuring sensory acceptance by consumers. Further research is needed to develop cost-effective gelling agents and enhance the functional properties of oleogels for industrial-scale applications.

Keywords: Oleogel, Fat Replacement, Gelators.