

## معرفی الکتروریسی به عنوان تکنیکی جدید در صنعت غذا و غذا-دارو

بهر روز قرآنی<sup>\*۱</sup>

۱- استادیار گروه نانوفناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد  
(تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۶)

### چکیده

الیاف پلیمری ساختار یافته با قطری در حدود چندین میکرومتر تا چند نانومتر، توجهات قابل ملاحظه‌ای را در علوم مختلف به خود جلب کرده‌اند. از میان روش‌های مختلفی که برای تولید این الیاف بکار می‌روند روش الکتروریسی به عنوان یکی از جدیدترین این روش‌ها مطرح می‌باشد. در این روش از طریق اعمال جریان برق بر محلول پلیمری و با تبخیر حلال موجود در آن، تولید ساختارهای بدون بافت صورت می‌گیرد. در روش الکتروپاشش (به عنوان شاخه‌ای از تکنیک الکتروریسی) فرایند تولید از مسیر تولید لیف به تولید کپسول منحرف شده و بدین ترتیب شرایط برای ارایه کاربردهای متنوع دیگری از این تکنیک نیز فراهم می‌شود. از این ساختارهای الکتروریسی شده در فرایندهایی مانند فیلتراسیون، مهندسی بافت، رسانش هدفمند دارو و غذا-دارو و همچنین به عنوان تقویت کننده سیستم‌های کامپوزیتی استفاده می‌شود. در این مقاله جامع با تکیه بر تجربیات نویسنده، به معرفی الکتروریسی، روش اجرای آن، کاربردها و قابلیت آن در صنعت غذا و همچنین چشم انداز این تکنیک در صنعت پرداخته می‌شود. بطور حتم ورود این روش جدید به صنعت غذا می‌تواند باعث بروز تحولی بزرگ در این صنعت گردد.

کلید واژگان: الکتروریسی، الکتروپاشش، ریزپوشانی، حسگر، تثبیت آنزیم

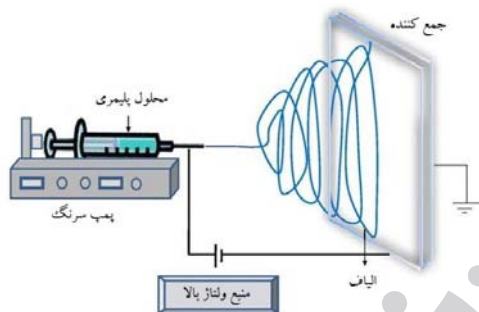
\* مسئول مکاتبات: b.ghorani@rifst.ac.ir

## ۱- مقدمه

برای تولید الیافی بسیار ظریف با دامنه قطر ۱۰ تا صدها نانومتر انجام گرفته است که در این میان تنها طی چند سال اخیر از این روش به عنوان یک روش جدید در صنعت غذا نام برده شده است. این در حالی است که تحقیقات صورت گرفته در این حوزه بر کارایی مؤثر آن در صنعت غذا تأکید می‌کند [۴]. در این مقاله با تکیه بر تجربیات نویسندگان و پژوهش‌های انجام شده، به معرفی این تکنیک، روش اجرای آن و نیز کاربردهای آن در صنعت غذا به صورت جامع پرداخته می‌شود.

## ۱- معرفی فرایند الکتروریسی

در روش الکتروریسی نانو الیاف پلیمری با اعمال یک میدان الکترواستاتیکی به محلول یا مذاب پلیمری به دست می‌آیند. دستگاه الکتروریسی از چند بخش ساده شامل سرنگ، پمپ سرنگ، منبع ولتاژ بالا و جمع کننده تشکیل شده است [۵ و ۶]. شکل ۱ شمایی از یک دستگاه الکتروریسی را نشان می‌دهد.

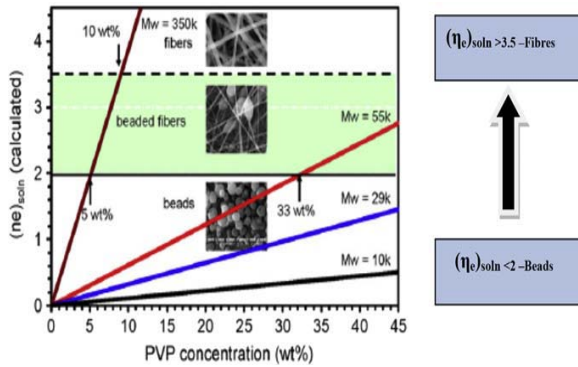


شکل ۱ شمایی از دستگاه الکتروریسی [۳]

به طور کلی دستگاه الکتروریسی از چهار بخش شامل منبع تأمین ولتاژ، پمپ سرنگ؛ سرنگ؛ سر سوزن و جمع کننده تشکیل شده است. با اعمال نیرو به پیستون سرنگ حاوی سیال پلیمری توسط حرکت خطی اهرم پمپ سرنگ، سیال با نرخ ثابت و مشخصی (معمولاً ۵-۰/۱ میلی لیتر بر ساعت) پمپ شده و قطره‌ای در نوک سوزن سرنگ تشکیل می‌دهد. سوزن که از جنس فلز و هادی جریان الکتریکی است به یک منبع ولتاژ بالا (معمولاً ۵۰-۵ کیلو ولت) متصل است و لذا می‌تواند جریان الکتریکی را به قطره پلیمری انتقال دهد. به این ترتیب بارهای همنام روی سطح قطره تجمع کرده و یکدیگر را دفع می‌کنند. حال اگر این نیروی الکترواستاتیکی بر نیروی کشش سطحی قطره پلیمری غلبه کند، قطره کشیده شده و به شکل مخروطی موسوم به «مخروط تیلور» در می‌آید [۷ و ۸]. مخروط تیلور از طریق تعادل ما بین نیروی الکتریکی سطح باردار و کشش سطحی به وجود می‌آید. افزایش ولتاژ اعمالی منجر به

نانو فناوری در سال‌های اخیر توانسته است خود را به عنوان یکی از زمینه‌های پژوهشی- کاربردی پیشرفته در سطح دنیا عرضه نماید. مفاهیم نانو تکنولوژی چهار چوبی منطقی را برای توسعه درک واکنش‌ها و رفتار خودآرایی اجزای غذایی در مقیاس کوچک ایجاد می‌کند. این موضوع در ساختمان؛ رئولوژی و خصوصیات زیست فعالی مواد غذایی در مقیاس بزرگ اثر دارد. پیشرفت در فرایندهای تولید نانو ساختارها و نانو مواد با خصوصیات فرمولی مناسب احتمال تولید نانو ذرات پایدار با قابلیت کاربرد در صنعت غذا و صنایع وابسته را فراهم می‌سازد. در این خصوص تحقیقات بسیاری در سال‌های اخیر جهت دستیابی به کاربردهای جدیدتر این علم در صنعت غذا صورت گرفته است؛ که در این میان، سازه‌های نانولیفی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است [۱]. نانوالیاف معمولاً به عنوان الیافی با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر تعریف می‌شوند. زمانی که قطر الیاف پلیمری از میکرومتر به نانومتر کاهش پیدا می‌کند، خصوصیات جالب توجهی در آنها ظاهر می‌شود که از آن جمله می‌توان به بزرگ شدن نسبت سطح به حجم، افزایش قابلیت انعطاف پذیری در گروه‌های عاملی سطحی و عملکرد مکانیکی عالی مانند سختی و قدرت کشسانی اشاره نمود [۲]. با توجه به این ویژگی‌های منحصر به فرد و همچنین ابعاد هندسی و طبیعت انعطاف پذیر نانو الیاف می‌توان آنها را با دیگر ذرات نانویی از قبیل مولکول‌های کروی، مواد دارویی و غذایی تلفیق و نانوساختارهایی با ویژگی‌های جدید ایجاد نمود. نانوالیاف را می‌توان به روش‌های مختلفی از جمله کشش، سنتز قالبی، خود آرایی، جدا سازی فازی و الکتروریسی تولید نمود که در این میان الکتروریسی، نسبت به دیگر فرایندها، ارزانتر و ساده‌تر بوده و قابل فهم‌ترین روش برای تولید الیاف می‌باشد [۳]. الکتروریسی در سال ۱۹۳۴ توسط فرمهالس برای تولید فیلامنت‌های پلیمری به ثبت رسید. مبنای الکتروریسی، استفاده از نیروی کششی میدان الکتریکی بین قطره معلق محلول یا مذاب در نوک سوزن و صفحه جمع کننده است. زمانی که شدت میدان الکتریکی بر کشش سطحی محلول پلیمری غلبه پیدا می‌کند، جریان جت گونه‌ای از سطح قطره خارج شده و به سمت صفحه هدف حرکت می‌کند و الیاف به صورت لایه‌ای بی‌بافت شکل می‌گیرند. طی دهه گذشته، تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از روش الکتروریسی

الکتریکی که بر روی جریان شتابدار محلول الکتروریسی سوار هستند قادر خواهند بود که محلول را به طور کامل بکشند [۱۲]. در شکل ۲ ارتباط بین تشکیل الیاف بدون نقص و مهره‌دار با توجه به تعداد گره خوردگی زنجیره‌های پلیمری ذکر شده است [۱۳].



شکل ۲ ارتباط بین گره خوردگی زنجیره‌های پلیمری با غلظت پلیمر و تاثیر آن بر روی مورفولوژی الیاف [۱۳]

## ۲-۱-۲ کشش سطحی محلول

شروع الکتروریسی به محلول باردار شده نیاز دارد تا بتواند بر کشش سطحی آن غلبه کند. به هر حال، وقتی جریان به سمت صفحه جمع کننده حرکت می‌کند، کشش سطحی ممکن است باعث تشکیل مهره‌ها در طول جت شود. کشش سطحی، نسبت سطح بر واحد جرم یک سیال را کاهش می‌دهد. در یک جت محلول، وقتی غلظت مولکول‌های آزاد حلال زیاد است، مولکول‌های محلول بیشتر تمایل دارند تا دور هم جمع شوند و یک شکل کروی (در اثر کشش سطحی) را به وجود آورند. گرانروی بالا بدین معنا است که اثر متقابل بیشتری بین مولکول‌های حلال و زنجیره‌های پلیمری وجود دارد. بنابراین وقتی محلول تحت تأثیر بارهای الکتریکی کشیده می‌شود، مولکول‌های حلال تمایل دارند تا در سرتاسر مولکول‌های پلیمر در هم رفته منتشر شوند. بنابراین تمایل مولکول‌های حلال برای اینکه تحت تأثیر کشش سطحی تجمع کنند کاهش می‌یابد [۷].

## ۲-۱-۳ اثر حلال و ثابت دی الکتریک

مورفولوژی نانو الیاف ارتباط مستقیمی با حلال‌های مورد استفاده دارد به طوری که یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر روی عملیات الکتروریسی؛ انتخاب نوع حلال می‌باشد [۲]. این پارامتر معیاری است از اینکه حلال چه مقدار از بار الکتریکی

از زیاد طول مخروط می‌شود که بعد از عبور از ولتاژ آستانه؛ جت ریسندگی بیرون می‌آید. با توجه به اینکه در مقابل نوک سوزن به فاصله چند سانتی متر (معمولاً ۲۵-۱۰ سانتی متر) یک جمع کننده فلزی وجود دارد که به زمین و یا ولتاژ مخالف ولتاژ سوزن متصل است، یک میدان الکترو استاتیک قوی در فضای بین سوزن و جمع کننده ایجاد شده که باعث می‌شود یک جریان پیوسته و شتاب دار از محلول موسوم به «جت» از مخروط تیلور خارج شده و به سمت جمع کننده پرتاب شود تا بتواند بار الکتریکی را تخلیه کند [۶].

## ۲- عوامل موثر بر روی قطر و شکل شناسی (مورفولوژی) نانو الیاف

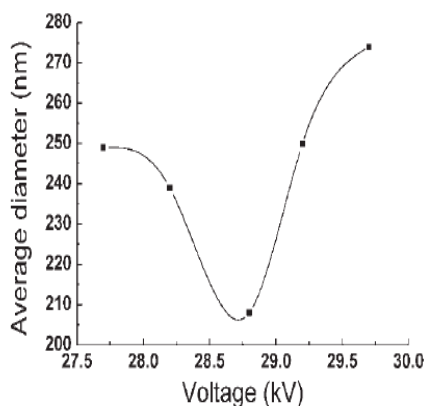
پارامترهایی که در اثر تبدیل محلول‌های پلیمری به نانو الیاف از طریق الکتروریسی موثر هستند و مورفولوژی سطح نانو الیاف، قطر و سایر مشخصات آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند را می‌توان به دو دسته پارامترهای مرتبط با محلول پلیمری و عوامل دستگاهی تقسیم کرد [۹]. در ادامه به شرح مهمترین این خواص پرداخته می‌شود.

### ۲-۱-۱ خواص محلول پلیمری

خصوصیات محلول پلیمری بیشترین تأثیر را بر فرآیند الکتروریسی و مورفولوژی الیاف بدست آمده دارد؛ چرا که اولین شرط لازم برای انجام فرآیند الکتروریسی داشتن محلولی مناسب با قابلیت الکتروریسی است [۱۰].

### ۲-۱-۱-۱ وزن مولکولی پلیمر و گرانروی محلول

یکی از شرایط لازم برای شکل‌گیری الیاف این است که محلول الکتروریسی از پلیمری با وزن مولکولی مناسب تهیه شود تا گرانروی محلول برای الکتروریسی کافی باشد. وقتی یک پلیمر با وزن مولکولی بالاتر در حلالی حل شود، نسبت به محلولی از پلیمر مشابه با وزن مولکولی پایین‌تر، گرانروی بیشتری خواهد داشت. افزایش در غلظت، مشابه افزایش وزن مولکولی موجب افزایش گره خوردگی زنجیره‌های پلیمری می‌شود که برای رسیدن به تداوم جریان شتابدار محلول در طول الکتروریسی لازم است [۱۱]. در گرانروی کمتر که به معنای مقدار بیشتر مولکول‌های حلال است، کشش سطحی با تأثیری آشکار روی طول جریان شتابدار محلول الکتروریسی، باعث تشکیل مهره‌ها در طول لیف می‌شود. با افزایش گرانروی، درگیری بین زنجیره‌های پلیمری در محلول بیشتر می‌شود و لذا بارهای



شکل ۳ ارتباط بین قطر الیاف و ولتاژ در حین فرایند الکتروریسی

[۱۵]

### ۲-۲-۲- نرخ تغذیه (دبی)

نرخ تغذیه، مقدار محلول مورد استفاده برای الکتروریسی را تعیین می‌کند. وقتی نرخ تغذیه افزایش می‌یابد، افزایش متقابلی در قطر لیف یا اندازه مهره‌ها به وجود می‌آید. این پدیده بدیهی است، چرا که حجم بزرگتری از محلول از نوک سوزن بیرون کشیده می‌شود. به هر حال برای افزایش قطر لیف با استفاده از نرخ تغذیه بیشتر، یک محدودیت وجود دارد. بدین معنی که اگر نرخ تغذیه افزایش یابد، بارهای الکتریکی نیز باید افزایش یابند و افزایش بارهای الکتریکی باعث ایجاد افزایش متقابلی در کشش محلول شده که با افزایش قطر مخالفت می‌کند. از سوی دیگر، برای حجم بیشتر محلول کشیده شده از نوک سوزن، مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا جریان شتابدار محلول خشک شود. در نتیجه ممکن است مدت لازم برای تبخیر حلال در زمان پرواز کافی نباشد و حلال باقیمانده بر سطح لیف موجب به هم چسبیدن الیاف شود. بنابراین برای آن که حلال وقت بیشتری برای تبخیر داشته باشد، نرخ تغذیه کمتر، مطلوب‌تر است [۱۶].

### ۲-۲-۳- قطر سوزن

قطر داخلی سوزن، اثر مشخصی روی فرآیند الکتروریسی دارد. قطر داخلی کوچکتر، از مسدود شدن سوزن کاسته و به همان نسبت مهره‌های تشکیل شده در الیاف را کاهش می‌دهد. همچنین کاهش قطر داخلی سوزن باعث کاهش قطر الیاف الکتروریسی شده می‌شود [۱۷].

را می‌تواند در خود نگه دارد. به طور کلی یک محلول با خاصیت دی‌الکتریک بزرگتر، شکل‌گیری مهره‌ها و قطر الیاف الکتروریسی شده را کاهش می‌دهد. ناپایداری خمشی جریان محلول الکتروریسی نیز با افزایش ثابت دی‌الکتریک، افزایش می‌یابد. این عمل با افزایش طول مسیر جریان شتابدار می‌تواند به کاهش قطر الیاف منجر شود.

### ۲-۱-۴- ضریب هدایت الکتریکی محلول

فرایند الکتروریسی اساساً نیازمند انتقال بار الکتریکی از الکتروود به قطره تشکیل شده در نوک سوزن است. بنابراین یک هدایت الکتریکی حداقل در محلول برای الکتروریسی ضروری است. محلول‌هایی که هدایت آنها صفر است نمی‌توانند الکتروریسی شوند. حلال‌هایی که استفاده از آنها در الکتروریسی رایج است هدایت‌هایی بسیار کم، حتی کمتر از آب مقطر دارند. اما معمولاً در اثر انحلال پلیمر در حلال، هدایت محلول به علت دسترسی به اجزاء یونی هادی (غالباً ناشی از ناخالصی‌ها یا افزودنی‌ها) موجود در پلیمر افزایش می‌یابد [۲].

### ۲-۲- عوامل دستگاهی

عوامل مهم دیگری که روی فرآیند الکتروریسی تأثیر می‌گذارند آنهایی هستند که توسط دستگاه روی جریان الکتروریسی اعمال می‌شوند. این عوامل عبارتند از ولتاژ اعمال شده، دبی تغذیه، فاصله بین نوک سوزن و صفحه جمع‌کننده، نوع جمع‌کننده و قطر سوزن [۱۴].

### ۲-۲-۱- ولتاژ

یکی از عناصر مهم الکتروریسی، ولتاژ بالایی است که به محلول اعمال می‌شود. ولتاژ قوی، بار الکتریکی لازم را به محلول القا می‌نماید. به طور کلی ارتباط بین قطر الیاف و اختلاف ولتاژ را می‌توان در شکل ۳ نشان داد. با افزایش ولتاژ در یک فاصله ثابت، به علت افزایش نیروی الکترواستاتیکی و اعمال نیروی بیشتر بر روی قطره‌های پرتاب شده، میانگین قطر الیاف به طور متناوب شروع به کاهش می‌نماید؛ ولی بعد از مدتی به علت کاهش زمان پرواز و در نتیجه کاهش اعمال نیروهای وارده جهت کشیده شدن جت در یک فاصله ثابت، مقدار قطر الیاف پس از یک نقطه مشخص، به آهستگی شروع به افزایش می‌کند. پس به طور کلی افزایش ولتاژ، هم می‌تواند باعث افزایش تعداد و اندازه مهره‌ها گردد و هم می‌تواند آن را کاهش دهد [۱۵].

## ۲-۲-۴- فاصله سوزن تا سطح جمع کننده

تغییرات فاصله بین نوک سوزن و جمع کننده، تأثیر مستقیمی بر زمان پرواز و همچنین بر نیروی میدان الکتریکی دارد. وقتی فاصله بین نوک نازل و جمع کننده کاهش یابد، جریان شتابدار محلول فاصله کمتری را برای رسیدن به جمع کننده می‌پیماید. به علاوه، اگر نیروی میدان الکتریکی نیز در زمان مشابه افزایش یابد، شتاب جریان شتابدار محلول به سمت جمع کننده افزایش می‌یابد. لذا ممکن است زمان لازم برای تبخیر شدن حلال‌ها، پیش از برخورد به جمع کننده وجود نداشته باشد. وقتی فاصله بسیار کم باشد، باقیمانده حلال ممکن است موجب فرو رفتن الیاف در یکدیگر شود. از طرف دیگر، افزایش فاصله می‌تواند منجر به کاهش قطر میانگین الیاف شود. با این وجود، در برخی موارد مشاهده شده است که در فاصله بیشتر، قطر الیاف افزایش می‌یابد. این پدیده می‌تواند ناشی از کاهش نیروی میدان الکترواستاتیکی و در نتیجه کمتر کشیده شدن الیاف باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد نیروی میدان الکترواستاتیکی بهینه‌ای وجود دارد که تحت مقادیر کمتر از آن کشش محلول کاهش خواهد یافت و باعث افزایش قطر الیاف خواهد شد [۱۵].

## ۲-۳- عوامل محیطی

اثر محیط پیرامون جریان شتابدار محلول الکتروویسی، زمینه‌ای است که کمتر بررسی شده است. هرگونه اثر متقابل بین محیط و محلول پلیمری می‌تواند بر روی مورفولوژی الیاف الکتروویسی شده مؤثر باشد.

### ۲-۳-۱- رطوبت

رطوبت می‌تواند بر روی مورفولوژی الیاف، مخصوصاً در مورد پلیمر محلول در حلال‌های فرار، اثر داشته باشد. رطوبت محیط، نرخ تبخیر حلال از محلول را نیز تعیین می‌کند. در یک رطوبت بسیار پایین، یک حلال فرار ممکن است با سرعت زیاد تبخیر شود [۳].

### ۲-۳-۲- دما

دمای محلول، بر افزایش نرخ تبخیر تأثیر دارد و همچنین گرانی محلول پلیمری را تغییر می‌دهد. افزایش قابلیت حرکت مولکول‌های پلیمر و در نتیجه افزایش دما اجازه می‌دهد تا نیروهای کولمب<sup>۱</sup> کشش بیشتری را بر مولکول‌های پلیمر اعمال نمایند [۱۸].

## ۲-۳-۳- فشار

معمولاً کاهش فشار محیط اطراف، فرآیند الکتروویسی را بهبود نمی‌بخشد. وقتی فشار کمتر از اتمسفر باشد، محلول پلیمر درون سرنگ تمایل بیشتری برای بیرون رانده شدن از سر سوزن دارد و موجب ایجاد یک جریان ناپایدار محلول شتابدار می‌شود. کاهش فشار موجب حباب زدن سریع محلول در سر سوزن می‌شود. در فشار بسیار کم، به دلیل تخلیه مستقیم بارهای الکتریکی بین نوک سوزن و صفحه، الکتروویسی غیرممکن است [۳].

## ۳- نقطه بهینه در الکتروویسی

به طور کلی عوامل مختلفی در الکتروویسی بر روی مورفولوژی، ساختار و قطر الیاف تأثیرگذار می‌باشند به طوری که همه عوامل به طور هم‌زمان بر روی هم اثر متقابلی را نشان می‌دهند. در نتیجه پیدا کردن یک نقطه بهینه که قادر به تولید الیاف بدون نقص با قطری قابل قبول باشد در این روش الزامی می‌باشد [۹].

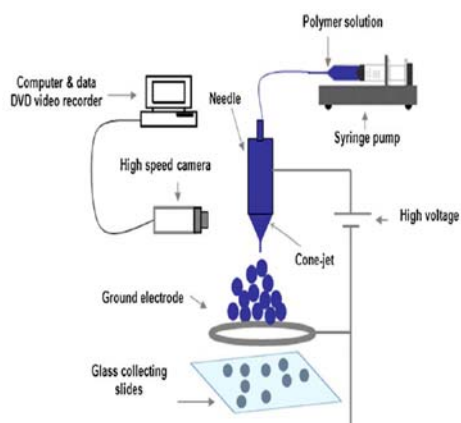
## ۴- تفاوت مفهوم الکتروویسی و

### الکتروپاشش (الکترواسپری)

الکتروویسی و الکتروپاشش به عنوان فن‌آوری‌های «خواهر» در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، مواردی وجود دارد که می‌تواند دو فرایند را از هم متمایز نمود. پاشش الکتروویس و دینامیکی<sup>۲</sup> یا الکتروپاشش، روش متمایز کردن مایع به وسیله نیروهای الکتریکی می‌باشد. در الکتروپاشش یک مایع از نازل باریک که تحت پتانسیل الکتریکی بالایی قرار دارد خارج شده و در اثر میدان الکتریکی به ذرات ریز (کپسول) تبدیل می‌گردد (شکل ۴). تولید قطرات و اندازه قطرات می‌تواند تا اندازه‌ای از طریق جریان مایع و ولتاژ روی نازل کنترل گردد، بر این اساس که کنترل حرکت قطرات باردار شده الکتریکی، به وسیله جریان الکتریکی تسهیل می‌شود (شامل انحراف و متمرکز شدن) [۱۹]. بار الکتریکی ایجاد شده روی قطرات با کشش سطحی قطرات رقابت کرده و منجر به تبدیل قطرات در ابعاد نانو و میکرو و در نهایت معمولاً سبب تبخیر حلال می‌شود. سپس ذرات خشک شده حاصل جمع‌آوری می‌گردند. شکل ۵ تصویری

2. Electrohydrodynamic Atomization (EHDA)

1. Coulombic Force



شکل ۵ شماتیکی از قسمتهای مختلف دستگاه الکتروپاشش

(الکترواسپری) [۲۰]

دو گروه نیرو وجود دارد که باعث تغییر شکل و قطع و اختلال در جت مایع می‌گردد. نیروهای عمده در جت، تنش‌های نرمال و مماس در سطح مایع است. شتاب مایع و شکل مخروط نتیجه تعادل نیروهای فشار مایع، کشش سطحی مایع، وزن و تنش الکتریکی در سطح مایع می‌باشد [۱].

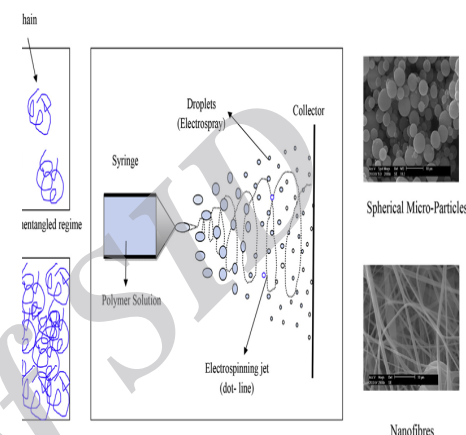
## ۵- روش های مختلف الکترو پاشش

استفاده از نیروهای الکتریکی می‌تواند اثر میکرو و نانوانکپسولاسیون را افزایش دهد. این فرایند الکتروانکپسولاسیون نامیده می‌شود. تکنیک‌های الکتروانکپسولاسیون زیر ممکن است در متون یافت شود (شکل ۶).

الف) تأثیر دو قطره با بار مخالف (شکل ۶-۸): هر دو جریان قطره از دو نازل مویرگی جداگانه با پتانسیل‌های مخالف، یکی از سوزن‌ها مثبت و دیگری منفی، به بیرون پرتاب می‌شوند. قطرات به دلیل جاذبه نیروی کولمب با هم برخورد می‌کنند، و تشکیل یک کپسول از طریق ادغام قطره با کشش سطحی بالاتر در قطره با کشش سطحی پایین‌تر را می‌دهند.

ب) الکتروپاشش / تبخیر سوسپانسیون کلئیدی (شکل ۶-۸): سوسپانسیون الکتروپاشش می‌شود و سپس پوسته توسط تبخیر حلال به حالت جامد در می‌آید. حلال مازاد محلول تبخیر گشته و تشکیل یک پوشش سخت را می‌دهد. الکتروانکپسولاسیون با استفاده از روش اسپری سوسپانسیون کلئیدی به غلظت پایینی از ذرات حمل شونده (دارو یا مواد موثره جهت

شماتیک از بخش‌های مختلف سیستم الکتروپاشش را نشان می‌دهد. تفاوت بین روش‌های الکتروریسی و الکتروپاشش بر پایه غلظت محلول پلیمر می‌باشد. اگر غلظت محلول پلیمری کم باشد، جت ثابت کمی داشته و از این رو قطرات ریز تشکیل می‌شوند. این قطرات بسیار باردار شده، خود در فضا پراکنده می‌شوند، در نتیجه از تجمع و توده‌ای شدن<sup>۳</sup> و کواگولاسیون (انعقاد) قطره جلوگیری می‌کنند [۴].



شکل ۴ چپ: شماتیک نمایش فیزیکی از درگیری زنجیره‌های

مولکولی در غلظت محلول پلیمری رقیق و غلیظ، وسط: دیاگرام شماتیک از فرایند الکتروریسی (تشکیل جت) و الکترواسپری (اتمیزه کردن مایع به صورت قطرات)، راست: نمونه‌هایی از تصاویر میکروسکوپ الکترونی از میکرومهره‌ها و نانو الیاف [۱]

دستگاه الکتروپاشش متشکل از یک نازل مویرگی است که معمولاً از یک سوزن نازک و یک الکتروود حلقه‌ای ساخته شده است. معمولاً، نازل مویرگی به یک منبع ولتاژ بالا متصل است، در حالی که الکتروود حلقه‌ای و بستر (جمع کننده) به زمین متصل هستند. در یک ساختار دیگر، نازل به زمین، در حالی که الکتروود حلقه‌ای به ولتاژ بالا متصل است (شکل ۵). این به این معنی است که یک میدان الکتریکی قوی در خروجی سوزن موئینه ساخته می‌شود. مایع از نازل به بیرون جریان می‌یابد و یک قوس یا هلال بوجود می‌آورد که در این میدان الکتریکی کشیده شده و به وسیله نیروهای الکتریکی به صورت قطرات پاشیده می‌شود [۲۰، ۱۹].

### 3. Agglomeration

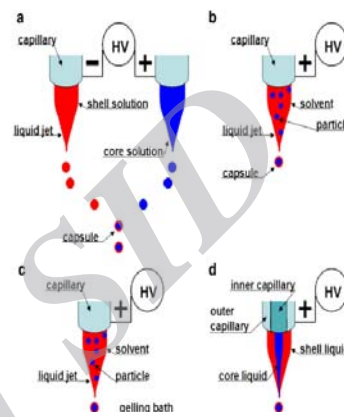
## ۶- کاربردهای الکتروریسی در صنایع

### غذایی

#### ۶-۱- ریزپوشانی

تکنیک‌های مختلف میکرو و نانو کپسولاسیون (به عنوان مثال، خشک کردن پاششی<sup>۵</sup>، خشک کردن انجمادی<sup>۶</sup>، روش‌های اکستروژن<sup>۷</sup>، پوشش‌دهی بستر سیال<sup>۸</sup>، امولسیون سازی<sup>۹</sup>، کوآسرواسیون (روش توده‌ای)<sup>۱۰</sup>، نانو بارش<sup>۱۱</sup> و غیره) برای حفاظت ترکیبات زیست فعال با محاسن و معایب خود وجود دارند. با این حال، برخی از این روش‌ها نیاز به حرارت و یا مواد آلی در حداقل یکی از مراحل تولید دارند که منجر به تخریب مواد مغذی حساس ریزپوشانی شده می‌گردند. این در حالی است که همچنان مشکلات مرتبط با سمیت ناشی از عوامل باقیمانده مواد آلی وجود دارد. بنابراین فناوری‌های جدید که باعث اعمال این شرایط نامناسب نشده و کپسول‌های کوچکتری ایجاد کنند مورد توجه می‌باشند. خشک کردن پاششی یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای ریزپوشانی می‌باشد. هزینه پائین و سادگی نسبی این روش، مهمترین دلیل برای کاربرد گسترده این روش در صنعت است. با این حال، خشک کردن پاششی برای ترکیبات مؤثره و به ویژه پروبیوتیک، به دلیل میزان بقای کم باکتری‌ها در طی خشک کردن و ثبات و پایداری پایین حین انبارمانی محصول نهایی از نظر تجاری هنوز توسعه نیافته است. اصلی‌ترین عامل محدود کننده این روش شمار محدود مواد دیواره است که لزوماً باید در آب حلالیت خوبی داشته باشند. عیب دیگر این روش این است که پودر میکروکپسول حاصل بسیار ریز بوده و نیازمند فرایند بعدی همچون اگلومریزاسیون می‌باشد [۱]. خشک کردن انجمادی نیز یکی از کم ضررترین و معمول‌ترین روش‌ها برای خشک کردن پروبیوتیک‌ها است. با این حال این روش نیز فرایندی بسیار گران است [۲۱]. معایب اصلی خشک کردن انجمادی، ورودی انرژی بالا و زمان فرآیند طولانی می‌باشد. علاوه بر این، در طول فرایند، مانعی با ساختار متخلخل بین

ریزپوشانی) در داخل محلول کلونیدی به منظور تولید قطرات تنها با یک ذره در درون آن نیاز دارد (هر قطره حاوی درصد اندکی از غلظت کل مواد ریزپوشانی شده می‌باشد). معمولاً یک سورفاکتانت به سوسپانسیون کلونیدی آماده شده برای الکتروپاشش به منظور جلوگیری از انعقاد (کوآگولاسیون) ذرات، تجمع (توده ای شدن)، و یا لخته شدن و مهمتر از آن جهت کاهش کشش سطحی محلول اضافه می‌شود [۱۹].



شکل ۶ شماتیک فرایندهای مختلف الکتروپاشش: (a) تاثیر دوقطره با بار مخالف (b) الکتروپاشش/تبخیر سوسپانسیون کلونیدی (c) الکتروپاشش/ژلاتینه شدن سوسپانسیون کلونیدی (d) سیستم دو محوری [۱۹]

(ج) الکتروپاشش / ژلاتینه شدن سوسپانسیون کلونیدی (شکل ۶-۳): سوسپانسیونی از مواد هسته به یک حمامی از عامل ژلاتینه کننده یا پلیمریزه کننده الکتروپاشش می‌گردد. این عامل یک پوشش سخت بر روی مواد هسته تشکیل می‌دهد. (د) سیستم دو محوری<sup>۴</sup> (شکل ۶-۴): فرایند پاشش همزمان دو مایع مختلف از دو لوله موئین هم محور است. در این مورد، موئین‌ها در پتانسیل یکسانی هستند. مایع هسته از لوله موئین مرکزی، و مایع پوشش از نازل حلقوی بین لوله‌های موئین جریان می‌یابند. سیستم دو محوری اجازه اسپری مایع هسته دارای مقاومت بالا را تنها در صورتی که هدایت پوشش به اندازه کافی بالا باشد می‌دهد [۱۹].

5. spray drying
6. freeze drying
7. extrusion methods
8. fluidized bed coating
9. emulsification
10. coacervation
11. nanoprecipitation

4. Electro-coextrusion

محصول آگاه کند؛ زیرا محصولات غذایی حساس اگر طی انبارداری، حمل و نقل و توزیع در شرایط محیطی بدی قرار گیرند و فاسد شوند، مصرف کننده تنها با توجه به تاریخ انقضای روی بسته‌بندی از فاسد بودن محصول آگاه نمی‌شود. نانوحسگرهای تولید شده به روش الکتروریسی به عنوان یک بارکد شیمیایی نسبت به وجود متابولیت‌هایی که در اثر فساد محصول غذایی تولید می‌شوند حساس بوده و در اثر واکنش با آنها موجب تغییر رنگ بسته‌بندی می‌گردند. نکته قابل توجه اینکه حسگرهای تولیدی به روش الکتروریسی، به دلیل نسبت سطح به حجم بیشتر می‌توانند قدرت پاسخگویی سریعتری نسبت به حسگرهای تولیدی با استفاده از سایر روش‌های معمول را داشته باشند [۳۹].

### ۶-۳- طراحی فیلترها

امروزه در صنعت، سازه‌های فیلتری جایگاه بسیار مهمی را به خود اختصاص داده‌اند. مطالعات اولیه نشان می‌دهد که یکی از روش‌های مهم که در حال حاضر بصورت صنعتی درآمده، استفاده از فناوری تولید نانوالیاف در سازه‌های فیلتری است. برای این منظور از نانوالیاف تولیدی به روش الکتروریسی بر روی یک بستر استفاده می‌شود. بسترهای نانوالیاف بی‌بافت، بدلیل وزن پایین، ضریب تخلخل بالا، سطح مخصوص بالا، افت فشار کمتر در دو طرف لایه فیلتری و اندازه خلل و فرج بسیار پایین کارایی بسیار بالایی در فیلتر آلودگی‌های موجود در هوا دارند [۴۰].

### ۶-۴- تثبیت آنزیم

پراکنده شدن نانوذرات در محلول واکنش و بازیابی آنها برای استفاده دوباره، یکی از چالش‌های استفاده از نانوذرات در تثبیت آنزیم است. به نظر می‌رسد استفاده از نانوالیاف بتواند تا حدودی این مشکل را رفع کند. برای مثال، نانوالیاف الکتروریسی شده سطح بسیار بزرگی برای اتصال یا به دام انداختن آنزیم‌ها ارائه می‌دهند. نانوالیاف متخلخل نیز می‌توانند مسیر نفوذ سوبسترا از محیط واکنش به سایت‌های فعال آنزیم را کاهش دهند. نانوالیاف الکتروریسی شده مقاوم بوده، به راحتی از محیط جدا می‌شوند و همچنین می‌توانند به صورت متخلخل تولید شوند [۴].

عامل فعال و محیط احاطه کننده آن شکل می‌گیرد که تخلخل بالای این محیط، حفاظت ضعیفی را بر روی ترکیب ریزپوشانی شده اعمال می‌کند [۲۲].

الکتروریسی و الکتروپاشش، فرایندهای ساده و یک مرحله‌ای برای تولید میکرو و نانو کپسول‌ها به صورت خشک می‌باشند. علاوه بر این، این فرایندها عملیات ریزپوشانی ترکیبات را در درجه حرارت محیط و در فشار اتمسفر انجام می‌دهند [۲۳]. الکتروریسی و الکتروپاشش از طیف گسترده‌ای از مواد پلیمری زیست سازگار و زیست تخریب پذیر، مانند پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، به عنوان مواد دیواره برای ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال استفاده می‌کنند. ترکیبات پروتئینی متداول که به عنوان دیواره جهت ریزپوشانی به روش الکتروریسی به کار می‌روند شامل ایزوله پروتئین آب پنیر، کنسانتره پروتئین آب پنیر [۲۴]، ایزوله پروتئین سویا [۲۵]، آلبومین تخم مرغ [۲۶]، کلاژن [۲۷]، ژلاتین [۲۸]، زئین [۲۹] و کازئین [۳۰] هستند. پلی‌ساکاریدهای طبیعی و اصلاح شده به دلیل سازگاری زیستی، زیست تخریب پذیری و پتانسیل بالا جهت اصلاح و دستیابی به ویژگی‌های مطلوب، ترکیباتی مناسب جهت ریزپوشانی عناصر غذایی در مقیاس میکرو و نانو هستند [۳۱]. الکتروریسی ترکیبات کربوهیدراتی همچون کیتوزان [۳۲]، آلزینات [۳۳]، سلولز و مشتقات آن [۲]، نشاسته [۳۴]، اینولین [۳۵]، صمغ گوار [۳۶] و دکستران [۳۷] به عنوان دیواره خارجی در ریزپوشانی، بصورت رضایت بخشی گزارش شده است. اگر چه بسیاری از پلیمرها برای انحلال و متعاقباً الکتروریسی نیاز به حلال‌های آلی دارند، بیوپلیمرها را می‌توان از یک محلول آبی، فقط با تنظیم پارامترهای فرایند و یا تغییر ویژگی‌های محلول از طریق اضافه نمودن مواد افزودنی مناسب، الکتروریسی کرد؛ در نتیجه، به عنوان یک روش ایده‌آل برای حفاظت از اجزاء حساس نظیر پروبیوتیک‌ها پیشنهاد می‌شود [۳۸]. مزایای استفاده از تکنیک‌های الکتروریسی و الکتروپاشش، ریزپوشانی با کارایی بالا، رهایش ثابت و پایدار مواد ریزپوشانی شده، پایداری بیشتر در برابر حرارت، نور و در نتیجه افزایش زمان نگهداری و همچنین حفاظت مواد فعال زیستی از تخریب شیمیایی می‌باشد [۱].

### ۶-۲- طراحی سنسورها

تاریخ انقضای نوشته شده بر روی بسته‌بندی محصولات غذایی همیشه نمی‌تواند به درستی مصرف کنندگان را از تازگی



- Cellulose Acetate Fibre Webs. International Journal of Polymer Science: p. 12.
- [3] Ramakrishna, S. 2005. *An introduction to electrospinning and nanofibers*, Hackensack, NJ, World Scientific.
- [4] Anu Bhushani, J., & Anandharamakrishnan, C. (2014). Electrospinning and electrospaying techniques: Potential food based applications. *Trends in Food Science & Technology*, 38(1), 21-33.
- [5] Frenot, A. and I.S. Chronakis. 2003. Polymer nanofibers assembled by electrospinning. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 8(1): p. 64-75.
- [6] Doshi, J. and D.H. Reneker. 1993. Electrospinning process and applications of electrospun fibers. in *Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1993 IEEE*.
- [7] Reneker, D.H., A.L. Yarin, H. Fong, and S. Koombhongse. 2000. *Bending instability of electrically charged liquid jets of polymer solutions in electrospinning*. *Journal of Applied Physics* 87(9): p. 4531-4547.
- [8] Yarin, A., S. Koombhongse, and D. Reneker. 2001. *Bending instability in electrospinning of nanofibers*. *Journal Applied Physics* 89(5): p. 3018-3026.
- [9] Tan, S.H., R. Inai, M. Kotaki, and S. Ramakrishna. 2005. Systematic parameter study for ultra-fine fiber fabrication via electrospinning process. *Polymer* 46(16): p. 6128-6134.
- [10] Teo, W.E. and S. Ramakrishna. 2006. *A review on electrospinning design and nanofibre assemblies*. *Nanotechnology* 17(14): p. 89-106.
- [11] Shenoy, S.L., W.D. Bates, H.L. Frisch, and G.E. 2005. Wnek, Role of chain entanglements on fiber formation during electrospinning of polymer solutions: good solvent, non-specific polymer-polymer interaction limit. *Polymer* 46(10): p. 3372-3384.
- [12] Gupta, P., C. Elkins, T.E. Long, and G.L. Wilkes. 2005. Electrospinning of linear homopolymers of poly(methyl methacrylate): exploring relationships between fiber formation, viscosity, molecular weight and concentration in a good solvent. *Polymer* 46(13): p. 4799-4810.
- [13] Munir, M.M., A.B. Suryamas, F. Iskandar, and K. Okuyama. 2009. *Scaling law on particle-to-fiber formation during*

## ۷- چشم انداز کاربرد الکترورسی در

### صنعت غذا و چالش‌های مرتبط با آن

یکی از دلایل رشد و حرکت سریع علم در قرن حاضر، همراهی و اشتراک میان علمی است که حاصل آنها، نیل به اهداف و دستیابی به کاربردهای مشخص می‌باشد. صنعت غذا نیز از جمله صنایعی است که پیشرفت و رفع نیازهای آن مدیون علوم چندرشته‌ای می‌باشد. محققین بخوبی دریافته‌اند که با دارا بودن دیدگاه وسیع نسبت به علوم پایه نه تنها می‌توان مشکلات صنعت غذا را رفع کرد بلکه موجبات توسعه فناوری در آن و در نتیجه افزایش بازده اقتصادی نیز فراهم می‌آید. الکترورسی با زیرساختی از جنس علم فیزیک، به عنوان یکی از تکنیک‌های نوین در تولید نانوالیاف مطرح است و پژوهش‌های اخیر غذایی با استفاده از این تکنیک، به خوبی کاربردهای مطرح شده برای آن را تأیید نموده است. ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال و باکتری‌های پروبیوتیک با کارایی بسیار بالا، انجام فیلتراسیون محصولات غذایی و تولید فیلترهای جاذب و همچنین ارائه نوآوری در حوزه بسته‌بندی و برجسب‌های آن، تنها مواردی از کاربردهای این تکنیک در صنعت غذا به شمار می‌روند. در حال حاضر، تحقیقات آزمایشگاهی به خوبی کارایی این سیستم و بازده مناسب اقتصادی آن را به اثبات رسانیده‌اند اما همانند هر نوع تکنیک تازه ظهور در یک حوزه علمی، استفاده صنعتی از این روش نیازمند اصلاح فرایند و تطبیق آن با شرایط لازم در فرایند است. ورود این تکنیک به سطح صنعتی نیازمند ایجاد تغییراتی مانند استفاده از سیستمهای چند سوزنی (جت‌های همزمان)، سیستم‌های بدون نازل و گریز از مرکز می‌باشند. خوشبختانه این امر بخوبی با الگوگیری طراحی و تنظیمات دستگاه از سایر صنایعی که از این سیستم بصورت تجاری استفاده می‌کنند امکان‌پذیر است.

## ۸- منابع

- [1] Ghorani, B. & Nick Tucker, *Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology*, *Food Hydrocolloids*, Volume 51, October 2015, Pages 227-240.
- [2] Ghorani, B., S.J. Russell, and P. Goswami. 2013. *Controlled Morphology and Mechanical Characterisation of Electrospun*

- using soy protein and poly(lactic acid) electrospun fibers. *Food Research International*, 42(8), 933-940.
- [24] López-Rubio, A., & Lagaron, J. M. (2012). Whey protein capsules obtained through electrospraying for the encapsulation of bioactives. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 13(0), 200-206.
- [25] Xu, X., Jiang, L., Zhou, Z., Wu, X., & Wang, Y. (2012). Preparation and Properties of Electrospun Soy Protein Isolate/Polyethylene Oxide Nanofiber Membranes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4(8), 4331-4337.
- [26] Saowakon Wongsasulak, Jochen Weiss, Pitt Supaphol. 2010. Electrospinning of food-grade nanofibers from cellulose acetate and egg albumen blends. *Journal of Food Engineering*, 98(3):370-376.
- [27] Bürck, J., Heissler, S., Geckle, U., Ardakani, M. F., Schneider, R., Ulrich, A. S., & Kazanci, M. (2012). Resemblance of Electrospun Collagen Nanofibers to Their Native Structure. *Langmuir*, 29(5), 1562-1572.
- [28] Songchotikunpan, P., Tattiyakul, J., & Supaphol, P. (2008). Extraction and electrospinning of gelatin from fish skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 42(3), 247-255.
- [29] Brahatheeswaran, D., Mathew, A., Aswathy, R. G., Nagaoka, Y., Venugopal, K., Yoshida, Y., Maekawa, T., & Sakthikumar, D. (2012). Hybrid fluorescent curcumin loaded zein electrospun nanofibrous scaffold for biomedical applications. *Biomed Mater*, 7(4), 045001.
- [30] Nieuwland, M., Geerdink, P., Brier, P., van den Eijnden, P., Henket, J. T. M. M., Langelaan, M. L. P., Stroeks, N., van Deventer, H. C., & Martin, A. H. (2013). Food-grade electrospinning of proteins. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20(0), 269-275.
- [31] Schiffman, J. D., & Schauer, C. L. (2008). A Review: Electrospinning of Biopolymer Nanofibers and their Applications. *Polymer Reviews*, 48(2), 317-352.
- [32] Desai, K., Kit, K., Li, J., & Zivanovic, S. (2008). Morphological and Surface Properties of Electrospun Chitosan Nanofibers. *Biomacromolecules*, 9(3), 1000-1006.
- electrospinning*. *Polymer* 50(20): p. 4935-4943.
- [14] Mazoochi, T. and V. Jabbari. 2011. Chitosan Nanofibrous Scaffold Fabricated via Electrospinning: The Effect of Processing Parameters on the Nanofiber Morphology. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization* 16(5): p. 277-289.
- [15] Lin, Y., Y. Yao, X. Yang, N. Wei, X. Li, P. Gong, R. Li, and D. Wu. 2008. Preparation of poly(ether sulfone) nanofibers by gas-jet/electrospinning. *Journal of Applied Polymer Science* 107(2): p. 909-917.
- [16] Zong, X., K. Kim, D. Fang, S. Ran, B.S. Hsiao, and B. Chu. 2002. Structure and process relationship of electrospun bioabsorbable nanofiber membranes. *Polymer* 43(16): p. 4403-4412.
- [17] Mo, X.M., C.Y. Xu, M. Kotaki, and S. Ramakrishna. 2004. Electrospun P(LLA-CL) nanofiber: a biomimetic extracellular matrix for smooth muscle cell and endothelial cell proliferation. *Biomaterials* 25(10): p. 1883-1890.
- [18] De Vrieze, S., T. Van Camp, A. Nelvig, B. Hagström, P. Westbroek, and K. De Clerck. 2009. The effect of temperature and humidity on electrospinning. *Journal of Materials Science* 44(5): p. 1357-1362.
- [19] Jaworek, A., & Sobczyk, A. T. 2008. Electrospinning route to nanotechnology: An overview. *Journal of Electrostatics*, 66(3-4), 197-219.
- [20] Enayati, M., Chang, M.-W., Bragman, F., Edirisinghe, M., & Stride, E. (2011). Electrohydrodynamic preparation of particles, capsules and bubbles for biomedical engineering applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 382(1-3), 154-164.
- [21] Manojlović, V., Nedović, V., Kailasapathy, K., & Zuidam, N. (2010). Encapsulation of Probiotics for use in Food Products. In N. J. Zuidam & V. Nedovic (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 269-302): Springer New York.
- [22] Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1(0), 1806-1815.
- [23] Vega-Lugo, A.-C., & Lim, L.-T. (2009). Controlled release of allyl isothiocyanate

- loaded fibers with potential biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 94(1), 147- 153.
- [38] Pérez-Masiá, R., Lagaron, J., & López-Rubio, A. (2014). Development and Optimization of Novel Encapsulation Structures of Interest in Functional Foods Through Electrospraying. *Food and Bioprocess Technology*, 7(11), 3236-3245.
- [39] Van der Schueren, L., Mollet, T., Ceylan, Ö., De Clerck, K. 2010. The development of polyamide 6.6 nanofibres with a pH-sensitive function by electrospinning. *Journal of European Polymer*, 46 (12): 2229-2239.
- [40] Ghorani, B. 2012. Production and Properties of Electrospun Webs for Therapeutic Applications, University of Leeds (School of Design).
- [33] Alborzi, S., Lim, L.-T., & Kakuda, Y. (2010). Electrospinning of Sodium Alginate-Pectin Ultrafine Fibers. *Journal of Food Science*, 75(1), C100-C107.
- [34] Kong, L., & Ziegler, G. R. (2012). Role of molecular entanglements in starch fiber formation by electrospinning. *Biomacromolecules*, 13(8), 2247-2253.
- [35] Jain, A. K., Sood, V., Bora, M., Vasita, R., & Katti, D. S. (2014). Electrospayed inulin microparticles for microbiota triggered targeting of colon. *Carbohydrate Polymers*, 112(0), 225-234.
- [36] Lubambo, A. F., de Freitas, R. A., Sierakowski, M.-R., Lucyszyn, N., Sasaki, G. L., Serafim, B. M., & Saul, C. K. (2013). Electrospinning of commercial guar-gum: Effects of purification and filtration. *Carbohydrate Polymers*, 93(2), 484-491.
- [37] Sun, X.-Z., Williams, G. R., Hou, X.-X., & Zhu, L.-M. (2013). Electrospun curcumin-

Archive of SID

## Introducing Electrospinning as a New Approach in Food and Nutraceuticals Industry

Ghorani, B. <sup>1\*</sup>

1. Assistant Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science & Technology, (RIFST), Mashhad, IRAN.

(Received: 94/6/7 Accepted: 94/9/16)

Structured polymer fibres with a diameter of about several micrometers to a few nanometres have attracted considerable attention in various scientific fields. Among the various methods applied to produce the fibre, electrospinning is proposed as one of the novel techniques. In this method, the non-woven structures are produced by applying electrical field to the polymer solution and due to the solvent evaporation. In the electrospinning method (as a branch of the electrospinning technique), the manufacturing process of the fibre production shifts to the production of capsules and thus conditions are provided for other varied applications of this technique. The electrospun fibres are applied in the processes such as filtration, tissue engineering, drug and nutraceutical targeted delivery as well as reinforcement of composite systems. In this comprehensive paper, relying on the experiences of the author, the introduction of electrospinning, the method of its implementation, and its potential applications in the food industry as well as the prospect of this technique in the industry will be discussed. Indeed, the entrances of this new approach to the food industry can induce significant alterations in this area of science.

**Keywords:** Electrospinning, Electrospinning, Encapsulation, Sensor, Immobilized enzyme

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: b.ghorani@rifst.ac.ir