

Biyoaktif Bileşiklerin Elektrospinning Yöntemi ile Nanoenkapsülasyonu

Saadet Çeliközlü¹

Özet

Elektrospinning, yüksek voltajlı bir güç kaynağı kullanarak mikrometrenin altından nanometreye kadar çaplara sahip sürekli nano ölçekli fiberler üretmek için kullanılan bir işlemdir. Elektrospun nanofiberler yüksek gözeneklilik, küçük çap, mükemmel gözenek ara bağlantısı ve yüksek yüzey/hacim oranı gibi olağanüstü özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmüştür. Nanofiberlerin yararlı özellikleri nedeniyle, pek çok sentetik ve doğal polimer, filtreleme ve ısı yalıtımı, koruyucu giysiler, sensörler, iletken cihazlar, yara örtüleri, doku iskeleleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

Enkapsülasyon teknolojisi ise gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde biyoaktif bileşenlerin (aromatik yağlar, vitaminler, bitkisel sekonder metabolitler, nutrasetikler, probiyotikler) uygun duvar malzemeleri kullanılarak kaplanmasına yönelik etkili bir stratejidir.

Bu çalışma, farklı biyoaktif bileşenlerin nanokapsülasyonu için nanotaşıyıcıların elektrospinning bazlı imalatındaki son gelişmelere genel bir bakış sunacaktır. Elektrospinning yaklaşımının ana ilkeleri, enstrümantal kurulumu, fiber özelliklerini etkileyen önemli proses parametreleri ele alınmaktadır. Ayrıca, çeşitli polimerler/biyopolimerler tarafından ve farklı elektroçğirme teknikleri kullanılarak üretilen biyoaktif yüklü elektroçğirme nanolifleri üzerine yapılan son çalışmalardan örnekler sunulmuştur.

1. Giriş

Nanoteknoloji, 100 nm altındaki atomik ya da moleküler seviyedeki olayların kontrolünü sağlayan uygulamalı bilim ve teknolojidir. Nanoteknolojideki son gelişmeler, malzemelerin ve cihazların nano ölçekte üretilmesine olanak sağladı. Nano boyutlu malzemeler, dökme malzemelerle karşılaştı-

1 Dr. Öğr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Altıntaş Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Altıntaş, Kütahya, Türkiye. saadet.celikozlu@dpu.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-9825-6458

rıldığında çok üstün mekanik özelliklere sahiptirler. Özellikler nanofiberler, geleneksel liflerle karşılaştırıldığında son derece yüksek yüzey alanı/hacim oranı, düşük yoğunluk, yüksek gözenek hacmi, küçük gözenek boyutu, üstün sertlik ve çekme mukavemeti gibi benzersiz özellikler göstermektedirler. Nanofiberler doku mühendisliği, filtre ortamı, kompozitlerde takviye, mikro/nano-elektro-mekanik sistemler, çevre bilimleri ve koruyucu giysi üretimi gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Sahoo, vd, 2021).

Elektrospinning, bir polimer çözeltisinin bir elektrik alanının etkisi altında ince bir jet halinde dağıtıldığı ve birkaç mikrometreden birkaç yüz nanometreye kadar çaplara sahip ultra ince fiberlerin üretildiği basit ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Nanofiberlerin yararlı özellikleri nedeniyle, pek çok sentetik ve doğal polimer, filtreleme, koruyucu giysiler, sensörler, iletken cihazlar, yara örtüleri, doku iskeleleri ve ısı yalıtımı gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere elektrospinning yöntemi ile eğirilmektedir (SalehHudin, vd., 2018)

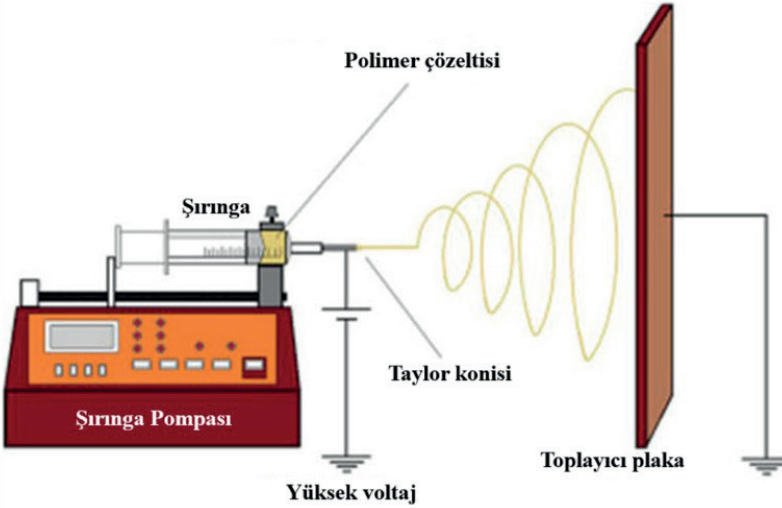
2. Elektrospinning Metodu

Elektrospinning prosesinde, yüksek voltajlı bir güç kaynağı kullanılarak bir polimer çözeltisi şarj edilir ve hacim besleme hızı bir kılcal pompa kullanılarak kontrol edilir. Elektrik alanı, itici elektrik kuvvetinin polimer çözeltisinin yüzey gerilimini yendiği kritik bir değere ulaştığında, polimer çözeltisi bir toplayıcıya püskürtülür. Çözelti jeti, toplayıcıya doğru giderken çözücünün hızlı buharlaşması nedeniyle katılaştır ve bir toplayıcının üzerinde biriktirilir (Rieger, Birch ve Schiffman, 2016; Zhao ve diğerleri, 2018).

Basit bir sıradan elektrospinning düzeni dört ana unsurdan oluşur (Tampau, González-Martínez & Chiralt, 2018).

1. Güçlü bir elektrik alanı; Elektrotun biri polimer çözeltisini içeren şırınganın iğnesine, diğeri topraklanmış toplayıcıya bağlanır.
2. Polimer solüsyonunu beslemek için bir şırınga pompası (akış kontrol pompası)
3. Polimer solüsyonunu depolamak için düz uçlu metal iğneye sahip bir şırınga
4. Farklı geometrilerde sunulan elektrikli olarak iletken bir toplayıcı (hedef)

Şekil 1’de elektrospinning yönteminin şematik tasarımı verilmiştir.



Şekil 1. Elektrospinning yönteminin şematik gösterimi (Islam, vd., 2019)

Elektrospun lifli yapılar üretilirken, polimer çözeltisi veya eriyik ilk önce güçlü bir elektrik potansiyeline ($\sim 1\text{--}30\text{ kV}$) maruz bırakılır ve bu, polimer çözeltisinin yüksek düzeyde elektrikleşmiş damlalarının oluşmasına yol açar. Bu damlalar, elektrik yükleri yoluyla “Taylor konisi” olarak adlandırılan konik bir düzen halinde yeniden şekillendirilir (Hemamalini & Dev, 2017). Yüksek voltaj uygulanmış polimer jeti, elektrik kuvvetinin polimer çözeltisinin yüzey gerilimini aştığı kritik voltajda ortaya çıkar (Soleimanifar, Jafari ve Assadpour, 2020). Daha sonra yüklü jetin bir karşı elektrota (toplayıcı) doğru hareket ettirilmesiyle çözücü buharlaşır ve kalan nanolifler toplayıcıda toplanır. (Garg & Bowlin, 2011).

Elektroğirmanın temel avantajları arasında (i) çeşitli polimerleri işleyebilme yeteneği; (ii) mikron altı çaplara sahip fiber üretimi; (iii) taşınabilir sistemlerin mevcut olması ve; (iv) 3 boyutlu bir lifli yapının oluşturulması sayılabilir (Zare, vd., 2021).

Elektrospinning tekniği ile nanofiber üretimini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Elektrospinning etkinliğini ve fiber morfolojisini etkileyen parametreler:

Parametre	Elektrospun fiber morfolojisine etkisi	Kaynak	
Çözelti Parametreleri	Polimer konsantrasyonu	1- Düşük konsantrasyonda, yüklü jetler moleküller arası çekimlerini kaybeder ve böylece Taylor konisinden damlacıklara ayrılır. Boncuklanma artar. 2-Yüksek konsantrasyonda, çözeltinin viskozitesi artar, elektroegirme güçleşir. Lif çapı artar.	Greiner & Wendorff 2007
	Çözücü tipi/ uçuculuğu	1- Polimerin tamamen çözünmesi için genellikle iyi bir çözücü gerekir. 2- Yüksek derecede uçucu solventler (örn. aseton) iğnenin tıkanmasına yol açabilir.	Nair & Mathew, 2017
Moleküler ağırlık	1- Çözeltinin molekül ağırlığının azalması daha fazla boncuk oluşumuna yol açar. 2- Molekül ağırlığının artması, pürüzsüz lif oluşumunu sağlar.	Neo, vd., 2013	
Viskozite	1- Viskozite düşükse, jet yörüngesi sırasında yüzey gerilimi nedeniyle lifler parçalanır, boncuklu yapı oluşur. 2- Viskozite yüksekse daha büyük viskoelastik kuvvetler, kırılma mekanizmasını engeller. Böylece çözelti, sürekli bir jet şeklinde topraklanmış hedefe doğru ilerler ve nanofiberler oluşur. 3- Çok yüksek viskozite elektroegirme güçleşir.	Neo, Ray & Perera, 2018	
Yüzey gerilimi	1- Düşük yüzey geriliminde, polimerler ve çözücü molekülleri arasında daha büyük bir etkileşim vardır, boncuksuz fiber oluşur. 2- Yüksek yüzey geriliminde çözücü molekülleri, tek bir yapıda bir araya gelme eğilimi gösterir, boncuklu yapı oluşur.	Islam, vd., 2019	
Elektriksel iletkenlik	1- Yüksek elektrik iletkenliğine sahip çözelti ile daha yüksek yük taşıma kabiliyetine sahip bir jet oluşur. Bu da daha güçlü elektrostatik kuvvetlere yol açar ve küçük çaplı boncuksuz nanofiberler üretilir.	Li, vd., 2018	

İşlem Parametreleri	Volтаж	1- Yüksek voltaj ile, çözelti jetinde daha yüksek elektrostatik itici kuvvetler oluşur, küçük çaplı nanofiberler üretilir. 2- Çok yüksek elektrik voltaj ile daha fazla polimer püskürmesi veya daha büyük kütle akışı nedeniyle büyük çaplı nanofiberler oluşur.	Tang, vd., 2016
	İğne ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe	1- Uzun mesafe ile daha yüksek gerilme ve uzama süresi sebebiyle ince çaplı ve boncuksuz nanofiberler oluşur. 2- Kısa mesafe ile daha güçlü bir elektrostatik alan oluşur ve jet kararsızlığı sonucu boncuklu lifler oluşur.	Alehosseini, vd., 2018
	İğne deliğinin çapı	1- İğne deliğinin çapı azaldıkça, üretilen nanofiberlerin çapı da düşer. İğne deliğinin çapı, dışarı çıkan polimer çözeltisinin miktarını, dolayısıyla oluşan damlanın boyutunu ve pompanın çözeltiyi dışarıya itmek için ihtiyaç duyduğu basınç veya kuvvet miktarını etkiler.	SalehHudin, vd., 2018
	Çözelti akış hızı	1- Çok düşük akış hızında elektroçürme işlemi gerçekleşemez. 2- Çok yüksek akış hızında çözelti tam olarak buharlaşamaz, boncuklu ve büyük çaplı lifler oluşur.	Rodoplu & Mutlu, 2012
	Toplayıcı türü	Toplayıcı yeterince iletken değilse, yüklü jetler hızlı bir şekilde toplayıcıda toplanır, biriken lif miktarı azalır ve boncuklu lifler oluşur.	Ibrahim & Klingner, 2020
Ortam Parametreleri	Sıcaklık	Düşük sıcaklıkta çözücünün yavaş buharlaşması ve jet katılaşmasının yavaş olması ile, elektrospinning jetinde daha uzun bir gerilme ve uzama prosesi gerçekleşir. Yüksek sıcaklıkta çözelti viskozitesi azalır ve ince lif oluşur.	Van-Pham, vd., 2020
	Bağıl Nem	Yüksek nem, lif çapını artırır ve liflerde gözenekler oluşmasına neden olur. Çok düşük nem, Çözücünün buharlaşma oranını artırarak kararsızlığa neden olur.	Ibrahim & Klingner, 2020

3. Elektrospon Nanofiberlerin Karakterizasyonu

Elektrosponning yöntemi ile elde edilen nanofiberlerin karakterizasyonu farklı açılardan yapılmaktadır. Karakterizasyon için kullanılan yöntemler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Elektrospon nanofiberlerin karakterizasyonunda kullanılan yöntemler

	Parametreler	Yöntem-Cihaz
Fizikokimyasal karakterizasyon	- Nanofiberlerin lif çapı	Taramalı elektron mikroskobu (SEM)
	- Çap dağılımı	Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM)
	- Lif yönelimi	Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)
	- Lif morfolojisi	X-ışını kırınımı (XRD)
	- Kristallik	Temas açısı ölçümleri
	- Yüzeysel Özellikleri	
Mekanik özellikler	- Çekme mukavemeti	Doku analiz cihazı
	- Kopma uzaması	Optik gerilim ölçer.
	- Tokluk	
	- Sertlik	
	- Elastisite modülü	
Biyoaktivite ve etkileşimler	- Moleküler yapı	Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi
	- Moleküller arası etkileşimler	Raman spektroskopisi
	- Molekül içi etkileşimler	Nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi
	- Kristal durumu	X-ışını kırınımı (XRD)
	- Termal özellikler (erime noktası, kriyalleşme noktası, camsı geçiş)	Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSG)
	- Termal stabilite	Termo gravimetrik analiz cihazı (TGA)
	- Nanofiber ağlarının hava ve buhar taşıma özellikleri	Dinamik nem buharı geçirgenlik hücresi (DMPC)
Diğer karakterizasyon yöntemleri	- Naofiberlerdeki aktif farmasötik bileşen miktarı	UV spektrofotometri
	- Aktif farmasötik bileşenlerin nanofiberlerden salınma mekanizmaları	Yüksek Performans sıvı kromatografisi (HPLC)
	- Stabilite çalışmaları	Sıvı kromatografisi-kütle spektroskopisi (LC-MS)

4. Enkapsülasyon

Enkapsülasyon teknolojisi gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde biyoaktif bileşenlerin (aromatik yağlar, vitaminler, bitkisel sekonder metabolitler,

nutrasetikler, probiyotikler) uygun duvar malzemeleri kullanılarak kaplanmasına yönelik etkili bir stratejidir. Bu teknik, yüklü biyoaktif bileşenlerin işlem ve depolama sırasında çözünürlüğünü, işlevselliğini ve biyoyararlanımını artırır (Rostamabadi, vd., 2020).

Biyoaktif bileşikler pH'a, ışığa, oksijene ve ısıya duyarlıdır ve bu da düşük biyoyararlanım ve biyoaktiviteye neden olur. Ancak polimerik bariyer, biyoaktif bileşikleri sırasıyla midede ve ince bağırsakta asidik ve alkali koşullar altında oksidasyona karşı korur (Naji-Tabasi, Razavi & Mehdiatabar, 2017). Kapsülleme sistemleri özellikle oksijen, ışık ve sıcaklık gibi zorlu çevre koşullarına karşı polimerik bir bariyer sağlar (Rezaei, Fathi & Jafari, 2019). Parçacıkların boyutunun küçültülmesi, yüzey/hacim oranında önemli bir artışa yol açar; bu da daha yüksek çözünürlük ve biyoaktivite, artan stabilite ve hücresel alım, gelişmiş biyoyararlanım, kimyasal reaktivite ve aktif bileşiğin kontrollü salınımı gibi farklı fiziksel-kimyasal ve biyolojik özellikleri sağlar (Mozafari, vd., 2006).

Birçok biyoaktif bileşiğin, özellikle de sulu ortamdaki aroma verici maddelerin düşük çözünürlüğü ve biyoyararlanımının az olması nedeniyle, bu gibi hassas bileşikler hapsedmek ve korumak için kullanılan en etkili kapsülleme yöntemlerinden biri elektrospinning işlemidir (Rezaeina, Emadzadeh & Ghorani, 2020). Biyoaktif bileşen, uygun polimer ve çözücü ile bir çözelti oluşturulur. Bu çözelti elektrospinning işlemine tabi tutulur. Elektroçirgeme esnasında oluşan fiberlere biyoaktif bileşenler hapsedilmiş olur. Çalışmaların çoğunda polimer matrislere katılan biyoaktif bileşiklerin işlevselliğini koruduğu gözlenmiştir (Fonseca, vd., 2019).

Biyoaktif dağıtımda kullanılan geleneksel tekniklerle karşılaştırıldığında, elektrospinning yaklaşımı yüksek esneklik, kullanım kolaylığı, maliyet etkinliği, yüksek yükleme kapasitesi, yüksek kapsülleme verimliliği, oda sıcaklığında uygulanabilirliği ve farklı biyoaktiflerin aynı anda yüklenebilmesi gibi avantajlar taşır. (Ding ve diğerleri, 2019; Bahrami, vd., 2019; Garavand, vd., 2019). Ayrıca, elektrospinning yaklaşımıyla üretilen nanofiberler, yüksek yüzey/hacim oranı, büyük gözeneklilik, kontrol edilebilir mekanik özellikler ve ayrıca değiştirilebilir morfolojiler gibi benzersiz özellikler göstermektedir (Taheri & Jafari , 2019).

Enkapsülasyonda, duvar malzemesi olarak doğal veya sentetik polimerlerden yararlanılmaktadır. Sentetik polimerlerin elektroçirmesi üzerine yapılan çalışmaların çoğu, bunların ilaç ve gıda endüstrilerindeki uygulamalarını araştırmak için yapılmıştır. Polyester gibi sentetik polimerler zayıf mekanik özelliklere sahiptir. Günümüzde hem bu nedenlerden hem de biyoyuumluluk, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve düşük maliyet özellikleri

nedeniyle polisakaritler ve proteinler gibi biyopolimerler üzerine geniş araştırmalar yapılmaktadır (Zhong, vd., 2018).

Bitkisel sakızlar ve müsilağ gibi doğal hidrofilik biyopolimerler, bulunabilirlik, biyolojik olarak parçalanma potansiyeli ve yüksek hidrasyon kapasitesi gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle nanofiberlerin üretiminde kullanılmaktadır. Esas olarak bitkilerde bulunan bu polimerler, suda yüksek oranda çözünür polisakaritlere sahiptir. Sentetik polimerlerle rekabet eden doğal hidrofilik polimerler, düşük maliyetleri, toksik olmamaları ve kimyasal olarak değiştirilebilmeleri nedeniyle ideal malzemeler olarak kabul edilir (de Campo, vd., 2017).

5. Biyoaktif Bileşenlerin Elektrosinning Yöntemi ile Enkapsülasyonuna Dair Yapılan Çalışmalardan Örnekler

Son yıllarda, biyoaktif bileşenlerin elektrosinning yöntemi ile kapsüllenmesine dair yapılmış çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan polimerler, çözücüler, elektrosinning parametreleri, biyoaktif özellikleri tablo halinde sunulmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Biyoaktif bileşenlerin elektrospinning yöntemi ile kapsüllemesine dair yapılmış çalışmalar

Kapsüllenen Biyoaktif Bileşen	Polimer	Çözücü	Nanofiber karakterizasyonu	Sonuçlar	Kaynak
Yeşil kakule esansiyel yağı (16, 32, 64 mg/ml polimer çözeltisi)	Chia tohumu müsiliği/ Polivinil alkol (PVA) (40:60)	Su/asceton (7:3)	- Nanofiber morfolojisi-SEM - Moleküler yapı-FTIR-NMR - Antioksidan aktivite-DPPH - Antibakteriyel aktivite (<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>)	Chia tohumu müsiliği/PVA polimerlerinden elde edilen nanofiberler antibakteriyel ve antioksidan özellikler göstermezken, yeşil kakule esansiyel yağ eklenmesiyle bu özellikleri gösterir hale gelmişlerdir.	Denghani, vd., 2020
Karvakrol (%20, 30 veya 40, v/v)	Çözünür patates nişastası	Formik asit/su (3:1)	- Nanofiber morfolojisi-SEM - Termal stabilite-TGA - Moleküler yapı- FTIR - Kristallik-XRD - Mekanik özellikler - Antioksidan aktivite-ABTS - Antibakteriyel aktivite (<i>L. monocytogenes</i> , <i>S. typhimurium</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>)	Karvakrol yüklü nişasta nanofiberleri, raf ömrünü uzatmak ve gıda ürünlerinin güvenliğini sağlamak için aktif gıda paketeleme sistemleri gibi uygulamalarda faydalı olabilecek mükemmel antioksidan ve antimikrobiyal aktivite sergilemiştir.	Fonseca, vd., 2019
Bergamot esansiyel yağı (%3, v/v) (Tween 20 (%1) ile emülsifiye edildi.)	<i>Lallemantia royleana</i> tohumu sakızı (%5) / PVA (%10) (5:5, 6:4, 7:3, 8:2 ve 9:1 h/h)	Su	- Nanofiber morfolojisi-FESEM - Nanofiber matların yüzey topografyası-AFM - Kimyasal etkileşimler-FTIR - Termal stabilite-DSC - İslama testi - Kapsülleme verimliliği ve yüklenme kapasitesi - In vitro salım çalışması	Çalışmada bergamot esansiyel yağı ile yüklü <i>Lallemantia royleana</i> tohumu sakızı ile hızlı çözünen nanofiber matlar üretilmiştir. Aroma maddelerinin hızlı salınımı sağlayan bu sistem, gıda sistemlerinde lezzetin artırılmasına yönelik yeni bir strateji olarak düşünülmüştür. Ayrıca aroma bileşiklerini koruyacak ve suda çözünürlüğü zayıf olan bileşenlerin, özellikle uçucu bileşiklerin ve aroma maddelerinin kullanımındaki sınırlamanın üstesinden gelecektir.	Rezaeiina, Emadzadeh & Ghorani, 2020
A vitamini (%10, %20 ve %30 w:w) (Tween 80 (%1w/v) ile emülsifiye edildi.)	Tere tohumu müsiliği (%30) / PVA (%5) (60:40)	Su/asceton (70:30)	- Nanofiber morfolojisi-SEM - Kapsülleme verimliliği ve yüklenme kapasitesi - Kimyasal etkileşimler-FTIR - Kristallik-XRD - Termal stabilite-TGA - In vitro salım çalışması	A vitamini simüle edilmiş mide sıvılarında düşük salınım oranı göstermiştir. Çalışmada üretilen A vitamini taşıyan nanofiberin, gıda biyoaktiflerinin asidik koşullarda stabilitesini arttırmak için uygun taşıyıcılar olduğu belirlenmiştir.	Fahami & Fathi, 2018

Tablo 3. Devamı

Kapsüllenen Biyoaktif Bileşen	Polimer	Çözücü	Nanofiber karakterizasyonu	Sonuçlar	Kaynak
α -tokoferol (E vitamini) / β -siklodekstrin kompleksi	Polikaprolakton (PCL)	Formik asit:asetik asit (1:3, h/h)	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-SEM - Fiber çap dağılımı-AFD - Termal analiz-TGA - Antioksidan aktivite-DPPH - Fotostabilite-in vitro salım testi 	Çalışmada ilaçların siklodekstrinlerini elektrospun nanofiberlerle birleştirerek, ilaç taşıyıcı sistemler için bir alternatif oluşturmak için yapılmıştır. PCL/ α -tokoferol/ β -siklodekstrin kompleksi nanofiberler, daha yüksek oksidatif stabilitesi ve daha güçlü fotostabilitesi sağlayan siklodekstrin kompleksinin varlığı nedeniyle PCL/ α -tokoferol nanofiberlerden üstündür. Sonuç olarak bu nanofiberlerin az çözünen ilaçların topikal uygulaması için alternatif bir materyal olduğu belirtilmiştir.	Aytrac & Uyar 2016
Sinamik aldehit (%10, 20, 30 ve 40)	Zein (%13)	Etanol (%80)	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-SEM - Kapsülleme verimliliği ve yüklenme kapasitesi - Kimyasal etkileşimler-FTIR - Termal stabilite-TGA, DSC - Antioksidan aktivite-DPPH - İlaç salınım çalışması ve kinetik modelleme - Antibakteriyel aktivite (<i>E. coli</i>, <i>S. aureus</i>) 	Sinamik aldehit içeren Zein nanofiberleri, sosislerdeki nitritin azaltılması için kullanılmış ve 120 ppm nitrit içeren numuneye karşılaştırıldığında sosislerin rengi, doku profili ve duyuusal özellikleri üzerinde olumsuz bir etki göstermemiştir. Bu makalenin sonuçları, zein nanofiberlerindeki kapsüllemiş sinamik aldehitin sosislerdeki nitrite alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.	Karim, Fathi & Soleimani-Zad, 2021
<i>Lepidium sativum</i> L. tohumu etanol ekstraktı (%0.3, 0.6 ve 1, a/h (PVA))	PVA (%10)		<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-SEM - Kimyasal etkileşimler-FTIR - Nanofiber şişme oranı - In vitro hidrolitik bozunma - In vitro biyo değerlendirme testleri (Yara tedavisi için) 	Çalışmada <i>Lepidium sativum</i> L. tohum ekstraktı yüklü PVA nanofiberlerin yara iyileştirici etkisi araştırılmıştır. <i>Lepidium sativum</i> L. tohum ekstraktı nanofibröz yara pansumanları için ideal adaylardır. <i>Lepidium sativum</i> L. tohum ekstraktının potansiyel antioksidan aktiviteye sahip fenolik asit ve flavonoid içerikleri, üretilen nanofiberleri yara iyileştirici pansuman için uygun hale getirmiştir.	Amer, vd., 2022
Gallik asit (%10)	Mercimek unu / PEO (%3,5) (Emülsiyon için %2 oranında Tween 80 ilave edildi.)	Distile su	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-FESEM - Toplam fenolik madde içeriği-Uv spektrofotometre - Antioksidan aktivite-DPPH - Çözelti reolojik özellikleri ve elektriksel iletkenlik 	Çalışmada, gallik asit yüklü mercimek unu bazlı elektrospun nanofiblerin aktif ambalaj malzemesi olarak kullanılmasına cevazın oksidatif stabilitesinin artırılması amaçlanmıştır. Sonuçta, oksidasyona hassas gıdaların ambalajlanmasında güvenle kullanılabilir bir nanofiber malzeme elde edilmiştir.	Aydoğdu, vd., 2019

Tablo 3. Devam

Kapsüllenen Biyoaktif Bileşen	Polimer	Çözücü	Nanofiber karakterizasyonu	Sonuçlar	Kaynak
<i>Ziziphora clinopodioides</i> esansiyel yağı (0,25 ve 0,75 ml/100 ml polimer) ve susam yağı (0,75 ml/100 ml polimer) (ayrı nanofiberlerde)	Kitosan (4 g/100 ml) / kerten tohumu müsilajı (12 g/100 ml, %2,5'lik)	Etanol (%50), asetik asit (%45), deiyonize su (%5)	<ul style="list-style-type: none"> - Fiziksel-mekanik özellikler (Nanofiberlerin çekme mukavemeti, delinme kuvveti, delinme deformasyonu, su buharı iletim hızı, su buharı geçirgenliği, şişme indeksi) - Kimyasal etkileşimler-FTIR - Kapsülleme verimliliği - İn vitro salınım çalışması - Antioksidan aktivite-DPPH - Antibakteriyel aktivite (<i>S. aureus</i>, <i>L. monocytogenes</i>, <i>S. typhimurium</i>, <i>E. coli</i>) 	Mevcut çalışmanın amacı, <i>Ziziphora clinopodioides</i> esansiyel yağı ile susam yağı ve kerten tohumu müsilajı nanofiberlerinin fiziksel, mekanik, yapısal, morfolojik, antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerini değerlendirmektir. Çalışma sonuçları, elektrospinleme yöntemi kullanılarak hazırlanan kitosan/kerten tohumu müsilajı nanofiberlerinin, gıda paketlenme alanında <i>Ziziphora clinopodioides</i> esansiyel yağı ve susam yağının kapsüllemesi ve ayrıca bunların sürekliliğini için potansiyel uygulamalara sahip olduğunu göstermektedir.	Karami, vd., 2021
<i>Mentha longifolia</i> L. esansiyel yağı (%0.5, %1 ve %2)	Karboksümetil selüloz (%2) / jelatin (%10)	Etanol (%50), asetik asit (%45), deiyonize su (%5)	<ul style="list-style-type: none"> - Antioksidan aktivite-DPPH - Antibakteriyel aktivite (<i>S. aureus</i>, <i>L. monocytogenes</i>, <i>S. typhimurium</i>, <i>E. coli</i>, <i>B. cereus</i>, <i>B. subtilis</i>) - Kapsülleme verimliliği - İn vitro salınım çalışması - Fiziksel-mekanik özellikler (Nanofiberlerin çekme mukavemeti, delinme kuvveti, delinme deformasyonu, su buharı iletim hızı, su buharı geçirgenliği, şişme indeksi) - Renk parametreleri (<i>L. a, b</i>) - Nanofiber morfolojisi-SEM - Yüzey pürüzlülüğü-AFM - Termal stabilite-TGA 	Çalışmada, soyulmuş dev tatlı su karidesinin aktif ambalajlanması için <i>Mentha longifolia</i> L. esansiyel yağı içeren elektrospon karboksümetil selüloz-jelatin nanofiberli filmler üretilmiştir. Özellikler %2 <i>Mentha longifolia</i> L. esansiyel yağı içeren nanofiberli filmler ile paketlenmiş karidesler, 12 ve 14 günlük çalışma süresi boyunca koku, renk, doku, tat ve toplam kabul açısından önemli ölçüde en yüksek duyuşsal puanlara sahip olmuştur.	Shahbazi, vd., 2021
Kekik esansiyel yağı (%1, %2, %3 v/w)	Patates nişastası (%50)	Formik asit (%75)	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-SEM - Fonksiyonel gruplar-FTIR - Termal özellikler-TGA - Kapsülleme verimliliği - Antioksidan aktivitesi-DPPH 	Nişasta nanofiberleri, FTIR spektrumu ve TGA analiziyle birlikte, kekik yağının fenolik bileşiklerinin güçlü bir şekilde korunduğunu gösteren yüksek kapsülleme verimliliği göstermiştir. Üretilen elektrospon nanofiberler yüksek antioksidan aktiviteye sahiptir. Nişasta/kekik yağı nanofiberleri gıda ürünleri veya gıda ambalajlarında uygulanabilir.	Fonseca, vd., 2020

Tablo 3. Devam

Kapsüllenen Biyoaktif Bileşen	Polimer	Çözücü	Nanofiber karakterizasyonu	Sonuçlar	Kaynak
Gallik asit/siklodekstrin (1:1)	Poli laktik asit (PLA)	Diklorometan/dimetilformamid (7:3)	<ul style="list-style-type: none"> - Termal özellikler-TGA - Molar oranın değerlendirilmesi-NMR - Nanofiber morfolojisi-SEM - Çözelti viskozitesi ve elektriksel iletkenlik - Antioksidan aktivite-DPPH 	Çalışmada, gallik asitin PLA/gallik asit/siklodekstrin kompleksi içeren nanofiberleri ve PLA/gallik asit nanofiberlerinden salınım çalışmaları su, %10 etanol ve %95 etanol içerisinde gerçekleştirilmiştir. Gallik asitin PLA nanofiberine dahil edilmesi durumunda elektrosponning işleminin gallik asitin antioksidan aktivitesi üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.	Aytaç, vd., 2016
Üzüm çekirdeği ekstraktı (%20)	Çavdar unu ve peynir altı suyu protein konsantrisi (%4) / Polietilen oksit (PEO) (%2) (Emülsiyon için %2 oranında Tween 80 ilave edildi.)	Distile su	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-SEM - Su buharı geçirgenliği - X ışın kırınımı-XRD - Termal analiz-DSC, TGA - FTIR - Toplam fenolik madde içeriği-UV spektrofotometre - Antioksidan aktivite-DPPH 	Bu çalışma, çavdar unu ve üzüm çekirdeği ekstraktının elektrosponning uygulaması için iyi adaylar olduğunu ve bunların nanofiber filmlerinin, çok katmanlı ambalajlama olarak diğer malzemelerle kombinasyon halinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Çavdar unu ve peynir altı suyu proteininden üretilen üzüm çekirdeği ekstresi katkılı nanofiberler, yüksek antioksidan aktiviteye ve gelişmiş termal stabiliteye sahip biyolojik olarak parçalanabilir filmler için umut verici bir malzeme olarak önerilebilir.	Aslaner, Sumnu, & Sahin, 2021
Keten tohumu yağı (%10, %20, %40)	Keten tohumu müsülajı / PVA (60:40)	Deiyonize su / etanol (80:20)	<ul style="list-style-type: none"> - Kapsülleme verimliliği ve yüklenme kapasitesi - Nanofiber morfolojisi-SEM - Moleküler etkileşimler-FTIR - Oksidatif stabilite 	Bu çalışmada, keten tohumu yağının (FO) kapsüllenmesinde duvar malzemesi olarak keten tohumu müsülajı nanofiberinin potansiyeli araştırılmıştır. Oksidasyon testinin sonuçları, nanofiberin keten tohumu yağının oksidatif stabilitesini arttırmada başarılı olduğunu gösterdi.	Hadad & Goli, 2019
<i>Althea officinalis</i> ekstraktı (ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20)	Poli (ε-kaprolakton) (%10) / jelatin (%4)	Formik asit/asetik asit (2:1)	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-SEM - Gözeneklilik yüzdesi - Kimyasal yapı-FTIR - Mekanik özellikler (Young modülü, mukavemet ve kopma gerilimi) - Hücre kültürü ve toksisite değerlendirmesi 	v	Ghasemi-nezhad, vd., 2020

Tablo 3. Devam

Kapsüllenen Biyoaktif Bileşen	Polimer	Çözücü	Nanofiber karakterizasyonu	Sonuçlar	Kaynak
<i>Tannacetum balsamita</i> L. esansiyel yağı	Salep (%3) / PVA (%10) (40:60 v/v)	Distile su	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-SEM - Kapsülleme verimliliği ve yüklenme kapasitesi - Moleküler etkileşimler-FTIR - Termal davranışlar-DSC - Kristal yapı-XRD - Renk ölçümü (<i>L</i>, <i>a</i>, <i>b</i>) - Su temas açısı - Antioksidan aktivite-DPPH - İn vitro salınım çalışması 	Çalışmada, gıda uygulamalarında aroma verici ve biyoaktif bileşik olarak kullanımını geliştirmek için hızlı çözünen <i>Tannacetum balsamita</i> L. esansiyel yağı yüklü salep elektropun nanolifli mat üretilmiştir. Bu matlar, aroma maddelerine hızlı salınım verme özelliğindedir ve yüksek antioksidan kapasitesine sahiptir. Gıda endüstrisinde farklı uygulamalarda kullanılabilir.	Ebadi, vd., 2023
Kateşin (500, 1000, 2000, 3000 mg/L)	<i>Corchorus olitorius</i> L sakızı (%0,2) / PVA (%8) (70:30)	Deiyonize distile su	<ul style="list-style-type: none"> - Çözelti viskozitesi ve elektriksel iletkenlik - Kapsülleme verimliliği ve yüklenme - Nanofiber morfolojisi-SEM - Termal stabilite-TGA 	Bu çalışmada kateşinin <i>Corchorus olitorius</i> L sakızı-polivinil alkol nanolifleri içerisinde nanoenkapsülasyonu elektropunleme yoluyla gerçekleştirildi. Kateşin, hidrojen bağlan yoluyla polimer çözeltisiyle etkileşime girmiş ve moleküller zincirler arasındaki yapışmanın artması nedeniyle nano liflerin termal direncini geliştirmiştir. Bu çalışmanın sonuçları dayanarak, aktif gıda ambalajlarının tasarımı ve farmasötik uygulamalar için fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşiklerin nanoenkapsülasyonu için elektropunning prosesinin zararlı etkileri minimum olan tek adlı bir yöntem olduğu belirlenmiştir.	Hoseyni, vd., 2020
Tere tohumu müsilajı	PVA (%8) / nişasta (%2,5) (40:60)	Distile su	<ul style="list-style-type: none"> - Nanofiber morfolojisi-FESEM - Moleküler etkileşimler-FTIR - Termal davranışlar-DSC 	Çalışmada doğal biyolojik olarak parçalanabilen bir polimer olarak nişasta kullanılmış ve bu polimerin elektroçiribirliğini arttırmak için endüstriyel bir polimer olarak çeşitli oranlarda polivinil alkol polimeri ile karışımları yapılmış ve nanofiber matların suya karşı davranışını geliştirmek için tere tohumu sakızı kullanılmıştır. Çalışma bulguları, tere tohumu müsilajı/PVA/nişasta kompleksinin gıda ambalajı da dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılacak elektropun nanoliflerin üretimi için yeni bir biyopolimer kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.	Alradha, Hanaa & Al-Zubiedy, 2023

6. Sonuç

Son zamanlarda, elektrospun nano yapılar, ilaç kapsüllenmesi ve salınımında, gıdalar için ambalaj materyalleri olarak doğal yüksek yüzey alanı/hacim oranı, ayarlanabilir morfolojiler ve mekanik özellikler, salım performansı ve maliyet etkinliği gibi cazip faydalı özellikleri ortaya çıkarmıştır. Çok çeşitli doğal ve sentetik malzemeler, bunların kombinasyonlarıyla birlikte, elektrospun bazlı nanofiberler halinde iyi bir şekilde tasarlanmıştır.

Kaynaklar

- Alehosseini, A., Ghorani, B., Sarabi-Jamab, M., & Tucker, N. (2018). Principles of electrospraying: A new approach in protection of bioactive compounds in foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(14), 2346-2363.
- Alradha, R. M., Hanaa, J., & Al-Zubiedy, A. A. (2023). Preparation and characterization of Polyvinyl Alcohol/Starch/Bio Oil Extraction Blends Coating for Food Packaging Using Electrospraying Technique. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(2), 141-149.
- Amer, A. A., Mohammed, R. S., Hussein, Y., Ali, A. S., & Khalil, A. A. (2022). Development of lepidium sativum extracts/PVA electrospun nanofibers as wound healing dressing. *ACS omega*, 7(24), 20683-20695.
- Aslaner, G., Sumnu, G., & Sahin, S. (2021). Encapsulation of grape seed extract in rye flour and whey protein-based electrospun nanofibers. *Food and Bioprocess Technology*, 14(6), 1118-1131.
- Aydogdu, A., Yildiz, E., Aydogdu, Y., Sumnu, G., Sahin, S., & Ayhan, Z. (2019). Enhancing oxidative stability of walnuts by using gallic acid loaded lentil flour based electrospun nanofibers as active packaging material. *Food Hydrocolloids*, 95, 245-255.
- Aytac, Z., & Uyar, T. (2016). Antioxidant activity and photostability of α -tocopherol/ β -cyclodextrin inclusion complex encapsulated electrospun polycaprolactone nanofibers. *European Polymer Journal*, 79, 140-149.
- Aytac, Z., Kusku, S. I., Durgun, E., & Uyar, T. (2016). Encapsulation of gallic acid/cyclodextrin inclusion complex in electrospun polylactic acid nanofibers: Release behavior and antioxidant activity of gallic acid. *Materials Science and Engineering: C*, 63, 231-239.
- Bahrami, A., Delshadi, R., Jafari, S. M., & Williams, L. (2019). Nanoencapsulated nisin: An engineered natural antimicrobial system for the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 94, 20-31.
- de Campo, C., Dos Santos, P. P., Costa, T. M. H., Paese, K., Guterres, S. S., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2017). Nanoencapsulation of chia seed oil with chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) as wall material: Characterization and stability evaluation. *Food chemistry*, 234, 1-9.
- Dehghani, S., Noshad, M., Rastegarzadeh, S., Hojjati, M., & Fazlara, A. (2020). Electrospun chia seed mucilage/PVA encapsulated with green cardamom essential oils: Antioxidant and antibacterial property. *International Journal of Biological Macromolecules*, 161, 1-9.
- Ding, Y., Li, W., Zhang, F., Liu, Z., Zanzanjadeh Ezazi, N., Liu, D., & Santos, H. A. (2019). Electrospun fibrous architectures for drug delivery, tissue engineering and cancer therapy. *Advanced Functional Materials*, 29(2), 1802852.

- Ebadi Ghareh Koureh, L., Ganjloo, A., Hamishehkar, H., & Bimakr, M. (2023). Fabrication and characterization of costmary essential oil loaded salep-polyvinyl alcohol fast-dissolving electrospun nanofibrous mats. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-18.
- Fahami, A., & Fathi, M. (2018). Development of cress seed mucilage/PVA nanofibers as a novel carrier for vitamin A delivery. *Food Hydrocolloids*, 81, 31-38.
- Fonseca, L. M., dos Santos Cruxen, C. E., Bruni, G. P., Fiorentini, Â. M., da Rosa Zavareze, E., Lim, L. T., & Dias, A. R. G. (2019). Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol. *International journal of biological macromolecules*, 139, 1182-1190.
- Fonseca, L. M., Radünz, M., dos Santos Hackbart, H. C., da Silva, F. T., Camargo, T. M., Bruni, G. P., ... & Dias, A. R. (2020). Electrospun potato starch nanofibers for thyme essential oil encapsulation: Antioxidant activity and thermal resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(11), 4263-4271.
- Garavand, F., Rahae, S., Vahedikia, N., & Jafari, S. M. (2019). Different techniques for extraction and micro/nanoencapsulation of saffron bioactive ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 89, 26-44.
- Garg, K., & Bowlin, G. L. (2011). Electrospinning jets and nanofibrous structures. *Biomicrofluidics*, 5(1).
- Ghaseminezhad, K., Zare, M., Lashkarara, S., Yousefzadeh, M., & Aghazadeh Mohandesi, J. (2020). Fabrication of althea officinalis loaded electrospun nanofibrous scaffold for potential application of skin tissue engineering. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(16), 48587.
- Greiner, A., & Wendorff, J. H. (2007). Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(30), 5670-5703.
- Hadad, S., & Goli, S. A. H. (2019). Improving oxidative stability of flaxseed oil by encapsulation in electrospun flaxseed mucilage nanofiber. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 829-838.
- Hemamalini, T., & Dev, V. R. G. (2018). Comprehensive review on electrospinning of starch polymer for biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 106, 712-718.
- Hoseyni, S. Z., Jafari, S. M., Tabarestani, H. S., Ghorbani, M., Assadpour, E., & Sabaghi, M. (2020). Production and characterization of catechin-loaded electrospun nanofibers from Azivash gum-polyvinyl alcohol. *Carbohydrate polymers*, 235, 115979.
- Ibrahim, H. M., & Klingner, A. (2020). A review on electrospun polymeric nanofibers: Production parameters and potential applications. *Polymer*

- Testing*, 90, 106647. Islam, M. S., Ang, B. C., Andriyana, A., & Afifi, A. M. (2019). A review on fabrication of nanofibers via electrospinning and their applications. *SN Applied Sciences*, 1, 1-16.
- Karami, N., Kamkar, A., Shahbazi, Y., & Misaghi, A. (2021). Electrospinning of double-layer chitosan-flaxseed mucilage nanofibers for sustained release of *Ziziphora clinopodioides* essential oil and sesame oil. *Lwt*, 140, 110812.
- Karim, M., Fathi, M., & Soleimani-Zad, S. (2021). Nanoencapsulation of cinnamic aldehyde using zein nanofibers by novel needle-less electrospinning: Production, characterization and their application to reduce nitrite in sausages. *Journal of Food Engineering*, 288, 110140.
- Li, L., Wang, H., Chen, M., Jiang, S., Jiang, S., Li, X., & Wang, Q. (2018). Butylated hydroxyanisole encapsulated in gelatin fiber mats: Volatile release kinetics, functional effectiveness and application to strawberry preservation. *Food Chemistry*, 269, 142-149.
- Mozafari, M.R.; Flanagan, J.; Matia-Merino, L.; Awati, A.; Omri, A.; Sunter, E.Z.; Singh, H. Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods. *J. Sci. Food Agric.* 2006, 86, 2038–2045
- Nair, S. S., & Mathew, A. P. (2017). Porous composite membranes based on cellulose acetate and cellulose nanocrystals via electrospinning and electrospraying. *Carbohydrate polymers*, 175, 149-157.
- Naji-Tabasi, S., Razavi, S. M. A., & Mehditabar, H. (2017). Fabrication of basil seed gum nanoparticles as a novel oral delivery system of glutathione. *Carbohydrate polymers*, 157, 1703-1713.
- Neo, Y. P., Ray, S., & Perera, C. O. (2018). Fabrication of functional electrospun nanostructures for food applications. *Role of materials science in food bioengineering*, 109-146.
- Neo, Y. P., Ray, S., Jin, J., Gizdavic-Nikolaidis, M., Nieuwoudt, M. K., Liu, D., & Quek, S. Y. (2013). Encapsulation of food grade antioxidant in natural biopolymer by electrospinning technique: A physicochemical study based on zein-gallic acid system. *Food chemistry*, 136(2), 1013-1021.
- Rezaei, A., Fathi, M., & Jafari, S. M. (2019). Nanoencapsulation of hydrophobic and low-soluble food bioactive compounds within different nanocarriers. *Food hydrocolloids*, 88, 146-162.
- Rezaeina, H., Emadzadeh, B., & Ghorani, B. (2020). Electrospun balangu (*Lallemantia royleana*) hydrocolloid nanofiber mat as a fast-dissolving carrier for bergamot essential oil. *Food Hydrocolloids*, 100, 105312.
- Rieger, K. A., Birch, N. P., & Schifman, J. D. (2016). Electrospinning chitosan/poly (ethylene oxide) solutions with essential oils: Correlating solution rheology to nanofiber formation. *Carbohydrate polymers*, 139, 131-138.

- Rodoplu, D., & Mutlu, M. (2012). Effects of electrospinning setup and process parameters on nanofiber morphology intended for the modification of quartz crystal microbalance surfaces. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 7(2), 155892501200700217.
- Rostamabadi, H., Assadpour, E., Tabarestani, H. S., Falsafi, S. R., & Jafari, S. M. (2020). Electrospinning approach for nanoencapsulation of bioactive compounds; recent advances and innovations. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 190-209.
- Sahoo, M., Vishwakarma, S., Panigrahi, C., & Kumar, J. (2021). Nanotechnology: Current applications and future scope in food. *Food Frontiers*, 2(1), 3-22.
- SalehHudin, H. S., Mohamad, E. N., Mahadi, W. N. L., & Muhammad Afifi, A. (2018). Multiple-jet electrospinning methods for nanofiber processing: A review. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(5), 479-498.
- Shahbazi, Y., Shavisi, N., Karami, N., Lorestani, R., & Dabirian, F. (2021). Electrospun carboxymethyl cellulose-gelatin nanofibrous films encapsulated with *Mentha longifolia* L. essential oil for active packaging of peeled giant freshwater prawn. *Lwt*, 152, 112322.
- Soleimanifar, M., Jafari, S. M., & Assadpour, E. (2020). Encapsulation of olive leaf phenolics within electrosprayed whey protein nanoparticles; production and characterization. *Food Hydrocolloids*, 101, 105572.
- Taheri, A., & Jafari, S. M. (2019). Gum-based nanocarriers for the protection and delivery of food bioactive compounds. *Advances in colloid and interface science*, 269, 277-295.
- Tampau, A., González-Martínez, C., & Chiralt, A. (2018). Release kinetics and antimicrobial properties of carvacrol encapsulated in electrospun poly-(ϵ -caprolactone) nanofibres. Application in starch multilayer films. *Food Hydrocolloids*, 79, 158-169.
- Tang, S., Zhao, Z., Chen, G., Su, Y., Lu, L., Li, B., ... & Jin, R. (2016). Fabrication of ampicillin/starch/polymer composite nanofibers with controlled drug release properties by electrospinning. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 77, 594-603.
- Van-Pham, D. T., Thi Bich Quyen, T., Van Toan, P., Nguyen, C. N., Ho, M. H., & Van Hong Thien, D. (2020). Temperature effects on electrospun chitosan nanofibers. *Green Processing and Synthesis*, 9(1), 488-495.
- Zare, M., Dziemidowicz, K., Williams, G. R., & Ramakrishna, S. (2021). Encapsulation of pharmaceutical and nutraceutical active ingredients using electrospinning processes. *Nanomaterials*, 11(8), 1968.
- Zhao, D., Li, J. S., Suen, W., Chang, M. W., & Huang, J. (2016). Preparation and characterization of *Ganoderma lucidum* spores-loaded alginate mic-

rospheres by electrospraying. *Materials Science and Engineering: C*, 62, 835-842.

Zhong, J., Mohan, S. D., Bell, A., Terry, A., Mitchell, G. R., & Davis, F. J. (2018). Electrospinning of food-grade nanofibres from whey protein. *International journal of biological macromolecules*, 113, 764-773.

